Jahresbericht 1995

Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik
Berlin GmbH

Jahresbericht

1995

Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH
Einsteinufer 37, D-10587 Berlin, Telefon (030) 310 02-0, Telefax (030) 310 02-213

Inhalt

5 **Bericht der Geschäftsführung**
7 **Forschungsaufgaben des Heinrich-Hertz-Instituts**
7 **Gesamtziel**
7 **Forschungsgebiet Kommunikationsnetze**
7 **Forschungsgebiet Elektronische Bildtechnik für Multimedia**
8 **Wesentliche Ergebnisse der Forschung**
9 **HHI-Beteiligung an nationalen Verbundforschungsvorhaben**
9 **HHI-Beteiligung an europäischen Verbundforschungsvorhaben**
10 **Struktur**
10 **Wissenschaftler-Austausch**
11 **Organisationsstruktur und Personal**
12 **Organigramm des HHI**

13 **Kurzbeschreibung des Forschungsprogramms**
15 **Schwerpunkt Kommunikationsnetze**
15 **Übersicht**
16 **Access und Customer Network**
17 **Core Network**
18 **Mobile Breitbandsysteme**
18 **Photonische Komponenten und Technologien**
21 **Schwerpunkt Elektronische Bildtechnik für Multimedia**
21 **Übersicht**
22 **Bildsignalverarbeitung**
22 **Endsysteme und Anwendungen**

25 **Projekte und Arbeitsgruppen Kommunikationsnetze**
27 Architekturen in optischen Netzen
28 Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme
29 Coherent Optical Broadband Island (COBI)
31 OFDM-LAN mit optischer Filtertechnik mit den Teilvorhaben:
Optisch-transparente Zusammenschaltung von OFDM-Inselnetzen und OFDM-LAN/MAN
33 Coherent Optical Systems Implemented for Business Traffic Routing and Access (COBRA)
34 Komponenten und Subsysteme für die optische Zeitmultiplextechnik
36 Funktionselemente für den optisch transparenten Trägerfrequenzkanal
37 Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen mit den Teilprojekten:
Transparenzbegrenzung in optischen Netzen
38 Signalregeneration in optischen Netzen
42 Pan-European Photonic Transport Overlay Network (PHOTON)
42 Integrationstechnologie: Frequenzselektive abstimmbare Empfänger-OEICs auf Indiumphosphid-Basis für OFDM-Systeme
44 OEIC Modules for the Access Network (OMAN)
45 Broadband Lightwave Sources and Systems (BLISS)
46 User Friendly Optical Sources (UFOS)
48 Metropolitan Optical Networks (METON)
49 Halbleiterverstärkerkomponenten für OTDM-Anwendungen
51 Höchstfrequente Empfänger-OEICs auf InP-Basis
53 MSM-Photodetektoren mit Submikrometer-Geometrie
53 Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen, Teilprojekt:
Integrierter photonischer Sender mit schnellem Wanderwellenmodulator

55 Quantum Well Components for High Speed Transmission Systems (WELCOME)
56 Photonic Technologies for Ultra High Speed Information Highways (HIGHWAY)
57 SiO_2/Si-Wellenleiterschalter mit LC-Schichten
58 Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen, Teilprojekt: Thermo-optische Polymerschalter
60 Integrierte Wellenleiterkomponenten auf SiO_2/Si-Basis für OFDM-Systeme
61 Polungsoptimierung sowie elektrische und optische Grundlagenuntersuchungen für NLO-Polymer-Wellenleiterbauelemente
62 Numerische Simulation photonischer Komponenten
64 Elektrische Meßtechnik
65 Fortgeschrittene Lithographieverfahren
66 Trockenätztechnik
67 Dielektrische Schichten für integrierte Kondensatoren auf InP
68 Epitaxie- und III-V-Materialuntersuchungen
70 Metallorganische Molekularstrahlepitaxie (MOMBE)
72 Arbeitsgruppe Optische und Elektrische Aufbau- und Verbindungstechnik
73 Optische Schaltelemente mittels resonanter Gitterstrukturen
73 Grundlagenuntersuchungen zur Farbelektrolumineszenz
74 Vollfarb-Elektrolumineszenz auf der Basis von II^a-VI^a-Verbindungen
75 New Phosphors for Large Area Colour Displays (NEPLACD)
76 Optische Mikrowellenerzeugung für die Mobilkommunikation

79 Projekte Elektronische Bildtechnik für Multimedia

81 High Definition Advanced Multi Level Encoding Techniques (HAMLET)
82 Codec für die hierarchische digitale Fernsehübertragung
83 Schlüsselkomponenten für elektronische Bildtechniken
84 VLBV für Multimediadienste in Mobilfunk- und Datennetzen
85 Intelligente Codierverfahren für Bildkommunikation und Multimedia
86 Soap-Opera Coding (Codierung von Videosequenzen mit begrenztem Bildhintergrund)
87 Signalaufbereitung für VLTV-Systeme
88 Verfahren zur blickgesteuerten Interaktion mit autostereoskopischen Multimedia-Displays / Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems and Applications (PANORAMA)
90 Zweikanaliges Linsenrasterverfahren für Bildwiedergabe mit Trackingsystem
91 Telepräsenz am Arbeitsplatz
93 Fernseh-Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten

95 Ergebnis - Übersicht

97 Veröffentlichungen
123 Berichte
126 Patentanmeldungen
130 Dissertationen
131 Diplomarbeiten
134 Studienarbeiten
136 Vorträge
140 Vorlesungen
140 Workshops und Tagungen
141 Ausstellungsbeteiligungen
141 Berufungen
141 Preisverleihungen

Bericht der Geschäftsführung

Forschungsaufgaben des Heinrich-Hertz-Instituts

Gesamtziel

Die Zukunft der Industrienationen wird durch die Informationstechnik bestimmt. Nur Staaten, die dieser Bedeutung der Informationstechnik Rechnung tragen, haben langfristig eine Chance, ihre Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich zu behaupten.

Deutschland kann sich auf eine starke Telekommunikationsindustrie stützen, die aber zunehmendem internationalen Wettbewerb ausgesetzt ist. Aufgabe des HHI ist es, zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Telekommunikationsindustrie sowie der Betreiber von Kommunikationsinfrastrukturen und der Medienanbieter beizutragen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, betreibt es anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der Informationstechnik im Verbund mit der Industrie.

Das umfassende Ziel der Informationstechnik besteht darin, jeden Dienst zu jeder Zeit jedem Teilnehmer für multimediale Anwendung verfügbar zu machen. Die erforderlichen Basistechnologien entwickelt das HHI in seinen beiden Forschungsgebieten **Kommunikationsnetze** und **Elektronische Bildtechnik für Multimedia**.

Forschungsgebiet Kommunikationsnetze

Weltweit an jedem Ort, zu jeder Zeit in Text, Ton und Bild kommunizieren zu können, ist die Vision der modernen Kommunikation. Diese Vision soll mit Hilfe globaler, universeller Kommunikationsnetze Wirklichkeit werden. Solche Kommunikationsnetze bestehen aus Festnetzen, den Photonik-Netzen, und überlagerten, satellitengestützten Mobilkommunikationsnetzen. Die Forschungsarbeiten des HHI konzentrieren sich auf das **photonische Netz** und zunehmend auf die **breitbandige Mobilkommunikation**.

Photonik-Netze werden mit Hilfe optischer Zeitmultiplextechniken (OTDM) und optischer Frequenzmultiplextechniken (OFDM) die Übertragungskapazität der Glasfaser ausschöpfen. Dies eröffnet den Weg zu Netzen hoher Flexibilität im Sinne Intelligenter Netze. In Photonik-Netzen werden die Nachrichten nicht nur optisch übertragen, sondern auch optisch vermittelt. Dies führt zu optisch transparenten Netzen, die zwischen den Teilnehmern außerordentlich breitbandige Nachrichtenwege herstellen, über die beliebige Dienste abgewickelt werden können; Photonik-Netze sind somit dienstunabhängige Netze.

Durch den Wunsch nach verstärkter Mobilität einerseits und das Auftreten neuer Netzbetreiber ohne direkten Zugang zu den Teilnehmern andererseits gewinnen die Mobilkommunikationsnetze zunehmend an Bedeutung. Derartige Netze müssen im Teilnehmeranschlußbereich breitbandfähig sein, dürfen nur geringe Sendeenergien erfordern und müssen kostengünstig sein.

Das HHI konzentriert seine Forschung auf Arbeitsgebiete, die zur Realisierung der Transportebenen zukünftiger Kommunikationsnetze von Bedeutung sind.

Fachgebiete:
- Access und Customer Network
- Core Network
- Photonische Komponenten und Technologien.
- Mobile Breitbandsysteme

Forschungsgebiet Elektronische Bildtechnik für Multimedia

In diesem Schwerpunkt verfolgt das HHI das Ziel, Basistechnologien für multimediale Informations- und Kommunikationsdienste bereitzustellen. Die Umsetzung der Forschungsergebnisse soll zu erweiterten Systemleistungen bei günstigen Kosten und damit zu einer besseren Erfüllung von Nutzeranforderungen führen.

Um die gewünschten Systemleistungen bei ökonomischer Ausnutzung der verfügbaren Speicher- und Übertragungskapazitäten bereitstellen zu können, werden **digitale Signalverarbeitungsverfahren** benötigt. Das HHI arbeitet an Verfahren für die Codierung, Speicherung und Übertragung von Bildsignalen sowie an Verfahren für die Nachverarbeitung und für die Aufbereitung von Bildsignalen in Endsystemen. Die Algorithmenentwicklung wird ergänzt durch die Entwicklungen von VLSI-Komponenten und durch Hardwareaufbauten für Demonstratoren.

Im Bereich der Anwendungen konzentriert sich das HHI auf die Entwicklung und Erprobung **interaktiver Telepräsenztechniken** in multimedialen Endsystemen.

Fachgebiete:
- Bildsignalverarbeitung
- Endsysteme und Anwendungen

Wesentliche Ergebnisse der Forschung

Kommunikationsnetze

Ein rein optischer **zweistufiger Frequenzkonverter** arbeitet im Wellenlängenbereich des EDFA-Fensters (Erbium Doped Fibre Amplifier) **polarisations- und wellenlängenunabhängig**.

Ein integriert optisches Modul (OptoElectronic Integrated Circuit, OEIC) zur **optischen Erzeugung von Mikrowellen für Mobilfunkanwendungen** wurde bei 12 und 60 GHz zur Datenübertragung eingesetzt.

Ein **integriert optischer Detektor** mit Wellenleiter auf InP (OEIC) wurde mit einer 3 dB-Grenzfrequenz von **45 GHz** realisiert.

Für ein integriertes nichtlineares Mach-Zehnder Interferometer (NLI) mit Halbleiterverstärker (OEIC) wurde eine **rein optische Add/Drop OTDM Multiplexerfunktion** bei 40 Gbit/s nachgewiesen. In Verbindung mit **rein optischer Taktrückgewinnung** (modengelockter Laser) wurde dieses Bauteil in einem Übertragungsexperiment (100 km) erfolgreich eingesetzt.

Eine **neue Schalterarchitektur** für Schaltmatrizen auf InP für den Einsatz als Raumstufe in einem optischen Crossconnect wurde entwickelt. Sie zeichnet sich durch eine **digitale Kennlinie** und **ein Nebensprechen von besser als -40 dB** aus.

Für **Wellenleiter mit einer Rippe an Luft**, den am meisten verbreiteten Typ in OEICs, wurde ein **polarisationsunabhängiger Taper** hergestellt, der bei einer Justiertoleranz von ≥ 2,4 µm (für 1 dB Zusatzverlust) eine Einfügedämpfung von 3 dB (ohne Reflexionsverluste) aufweist.

Elektronische Bildtechnik für Multimedia

Organisation des **European Workshop and Exhibition on Image Format Conversion and Transcoding** am 22. und 23. März 1995 im HHI.

Präsentation der Ergebnisse des nationalen Förderschwerpunkts **Hierarchical Digital TeleVision Transmission - $^{H}DTV_{T}$** im Rahmen der **IFA '95** in Berlin.

Abschluß **erfolgreicher Feldversuche** mit der digitalen terrestrischen TV-Übertragungskette, die im Rahmen von **$^{H}DTV_{T}$** entwickelt wurde.

Belegung des **ersten Platzes bei den MPEG-4 Tests** in der Kategorie **Object Scalibility** für mittlere bis hohe Datenraten (Class B/C).

Disparitätsgesteuerte Bildmischung zur stereoskopischen Darstellung von Personen in einem "virtuellen Konferenzraum" bei Mehrpunkt-Konferenzen.

Verfahren zur **raumstabilen 3D-Szenenreproduktion** durch computergrafische Kompensation von Latenzzeiten der Bewegungsparallaxe ("Dynamic Viewer").

Bildauswertungsverfahren zur schnellen, genauen und stabilen **Ermittlung der Blickpunkt-Position** beim Sehen ("Gaze Reader" für blickgesteuerte 3D-Displays).

Autostereoskopisches Verfahren zur **Wiedergabe von Szenen mit unbegrenzter Tiefe** durch natürliche Kopplung von Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung und Nachbildung der endlichen Schärfentiefe des Auges.

Methode zur **Reduktion der Irrelevanz** aufgrund des Sehschärfeabfalls bei der Verfolgung bewegter Objekte.

HHI-Beteiligung an nationalen Verbundforschungsvorhaben

BMBF-Förderschwerpunkt **Photonik II** (Federführung: HHI und IAF)

1. OFDM-LAN mit optischer Filtertechnik
   Teilprojekte:
   - OFDM-LAN/MAN
   - Optisch transparente Zusammenschaltung von OFDM-Inselnetzen
2. Optische Mikrowellenerzeugung für die Mobilkommunikation
3. Komponenten und Subsysteme für die optische Zeitmultiplextechnik
   - Halbleiterlaserverstärker für OTDM-Anwendungen
4. Architekturen in optischen Netzen
5. Frequenzselektive abstimmbare Empfänger-OEICs auf Indiumphosphid-Basis für OFDM-Systeme
6. Höchstfrequente Empfänger-OEICs auf InP-Basis
7. Flächenselektive MOMBE für die Laser/Wellenleiter-Integration

BMBF-Förderschwerpunkt **Hierarchische Digitale Fernseh-Übertragung - $^{H}DTV_{T}$** (Federführung: HHI)

1. Codierung für die hierarchische digitale Fernseh-Übertragung
2. Codec für die hierarchische digitale Fernseh-Übertragung
3. Schlüsselkomponenten für elektronische Bildtechniken

BMBF-Förderschwerpunkt **Drei-Fünf-Elektronik**, Forschungsprojekt Polytektische Strukturierungsverfahren:

1. Selektive MOMBE für planare elektronische Bauelemente auf InP-Basis

BMBF-Förderschwerpunkt **Materialtechnologie - MaTech**

1. Polungsoptimierung sowie elektrische und optische Grundlagenuntersuchungen für nichtlinear-optische Polymer-Wellenleiterbauelemente

HHI-Beteiligung an europäischen Verbundforschungsvorhaben

RACE II

1. Digital Stereoscopic Imaging and Applications, **DISTIMA**
2. Transcoding of Images for Terminals, **TRANSIT**
3. Coherent Optical Systems Implemented for Business Traffic Routing and Access, **COBRA**
4. User Friendly Optical Sources, **UFOS**
5. High Definition Advanced Multi Level Encoding Techniques, **HAMLET**
6. Quantum Well Components for High Speed Transmission Systems, **WELCOME**
7. OEIC-Modules for the Access Network, **OMAN**

ACTS

1. Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems and Applications, **PANORAMA**
2. Paneuropean Photonic Transport Network, **PHOTON**
3. Metropolitan Optical Network, **METON**
4. Broadband Lightwave Sources and Systems, **BLISS**
5. Photonic Technologies for Ultra High Speed Information Highways, **HIGHWAY**

Brite/EuRam

1. New Phosphors for Large Area Colour Displays, **NEPLACD**

Struktur

Das Heinrich-Hertz-Institut wurde im Februar 1928 durch Erlaß des damaligen Preußischen Ministers für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung gegründet und der Technischen Hochschule Berlin angegliedert. Im Jahr 1936 wurde das Institut in "Institut für Schwingungsforschung" umbenannt, das 1938 vom Preußischen Staat übernommen wurde. Nach dem Krieg wurde es bis 1954 von der neuentstandenen Technischen Universität Berlin und von 1954 bis 1974 von der "Förderungsgemeinschaft des Heinrich-Hertz-Instituts für Schwingungsforschung e.V." betrieben. Seit 1974 hat das Institut die Rechtsform einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung (HHI GmbH), deren Gesellschafteranteile je zur Hälfte von der Bundesrepublik Deutschland und vom Land Berlin gehalten werden. Die Fördergemeinschaft unterstützt auch weiterhin das Institut in Form einer "Gesellschaft von Freunden des Heinrich-Hertz-Instituts e.V."

Die Organe der HHI GmbH sind die Gesellschafterversammlung, der Aufsichtsrat, die Geschäftsführer und der Wissenschaftlich-Technische Rat.

Dem **Aufsichtsrat** gehörten im Berichtsjahr folgende Mitglieder an:

Prof. Dr. J. Hesse, Oberkochen (Vorsitz)
MinDirig Dr. K. Rupf, Bonn (1. stellv. Vorsitzender)
Senatsrat P. Schuhe, Berlin (2. stellv. Vorsitzender)
MR J. Claus, Bonn
Prof. Dr. H. Berger, Berlin
Ltd. SenRat P. Borkamm, Berlin
Ltd. SenRat Dr. K. Kroll, Bonn
Dr. L. Mühlbach, Berlin
Dr. H. Roehle, Berlin
MR Dr. J. Sander, Bonn
Dr. H. Venghaus, Berlin

Der **Wissenschaftlich-Technische Rat** ist paritätisch mit Abteilungsleitern und gewählten Mitarbeitern des Instituts besetzt und berät den Aufsichtsrat und die Geschäftsführung in allen wichtigen wissenschaftlichen und technischen Fragen.

Die Gesellschaft beruft außerdem einen **Wissenschaftlichen Beirat** aus Experten der Industrie, der Deutschen Telekom AG und des Hochschulbereichs. Dem Wissenschaftlichen Beirat gehörten im Berichtsjahr folgende Mitglieder an:

Prof. Dr. G. Kohn, Stuttgart (Vorsitz)
Dipl.-Ing. E.A. Geiger, Villingen
Prof. Dr. W. Klimek, Köln
Prof. Dr. P. Kühn, Stuttgart
Prof. Dr. E. Lüder, Stuttgart
Dipl.-Ing. F. Müller-Römer, München
Prof. Dr. H. Ohnsorge, Stuttgart
Prof. Dr. U. Reimers, Braunschweig
Dr. W. Schilz, Aachen
Prof. Dr. G. Siegle, Bonn
Dr. K. U. Stein, München
Prof. Dr. G. Weimann, Garching

Wissenschaftler-Austausch

Auch im vergangenen Jahr hat das Institut mit zahlreichen Institutionen einen Wissenschaftleraustausch gepflegt.

In der folgenden Zusammenstellung sind Wissenschaftler des HHI und anderer Institute aufgeführt, die an dem Austauschprogramm teilgenommen haben. Die Finanzierung der Gastaufenthalte erfolgte aus Mitteln der beteiligten Institutionen und aus dem Fonds des Vereins der Freunde des Heinrich-Hertz-Instituts.

Gastwissenschaftler-Aufenthalte von HHI-Mitarbeitern im Ausland

Detlef Runde
ATR Human Information Processing Research Laboratory, Kyoto, Japan
(Finanzierung durch den Verein der Freunde des HHI)
3.10.1994 - 28.3.1995

Edgar Pawlowski
NTT, Ibaraki-Ken, Japan
(Finanzierung durch den Verein der Freunde des HHI)
9.1.1995 - 14.7.1995

Frank Fidorra
AT&T, Holmdel, New York, USA
(Grundfinanzierung des HHI)
20.3.1995 - 19.3.1996

Dr. Michael Eiselt
AT&T Bell Labs, New Jersey, USA
(Finanzierung im Rahmen eines BMBF-Projekts, s.S. 34)
1.6.1995 - 31.5.1996

Gastwissenschaftler im HHI

Guohui Lin
Shanghai International Studies University (SISU)
Shanghai, University Xiamen, VR China
(Finanzierung bis 30.9.95 durch Stipendium der VR China, ab 1.10.1995 Grundfinanzierung des HHI)
10.10.94 - 30.9.96

Prof. Dr. Howard J. Wintle
Queen's University, Physics Dpt.,
Kingston, Ontario, Kanada
(Finanzierung durch DAAD)
4.1.95 - 30.3.95

Prof. Gadi Eisenstein
Technion, Haifa, Israel
(Finanzierung durch den Verein der Freunde des HHI)
12.2.95 - 11.3.95

Prof. Dr. Thomas K. Plant
Oregon State University, Corvallis, USA
(Finanzierung durch DAAD und NATO)
1.4.95 - 30.6.95

Dr. Zhong-Yang Cheng
Electronic Materials Research Labs (EMRL)
Xi'an, VR China
(Grundfinanzierung des HHI)
23.5.95 - 22.5.96

Organisationsstruktur und Personal

Das Institut betreibt Vorlaufforschung im Vorfeld der industriellen Anwendung in der Informationstechnik mit den Forschungsgebieten **Kommunikationsnetze** und **Elektronische Bildtechnik für Multimedia**. Die Abteilungen Nachrichtensysteme, Optische Vermittlung, Optische Signalverarbeitung, Materialtechnologie, Strukturtechnologie und Integrationstechnologie bilden das Forschungsgebiet Kommunikationsnnetze, und die Abteilungen Anthropotechnik und Bildsignalverarbeitung bilden das Forschungsgebiet Elektronische Bildtechnik für Multimedia. Schwerpunktübergreifend arbeiten die Infrastrukturabteilungen Verwaltung und Planung sowie die Werkstatt.

Am Ende des Berichtsjahres (Stichtag 1.11.1995) beschäftigte das Institut:

Wissenschaftliche Mitarbeiter	149,7
Technische Mitarbeiter, Verwaltungsmitarbeiter	108,5

Insgesamt waren damit zum Jahresende 258 Mitarbeiter beschäftigt. Von diesen Mitarbeitern gehörten 146 Mitarbeiter zum Forschungsgebiet Kommunikationsnnetze, 61 Mitarbeiter zum Forschungsgebiet Elektronische Bildtechnik für Multimedia sowie 51 Mitarbeiter zur technischen und administrativen Infrastruktur. Außerdem wurden zum Stichtag neun Doktoranden, ein Postdoktorand, sieben Auszubildende und 86 studentische Hilfskräfte beschäftigt.

Im Rahmen unserer Kooperationen arbeiteten 1995 fünf Gastwissenschaftler im HHI.

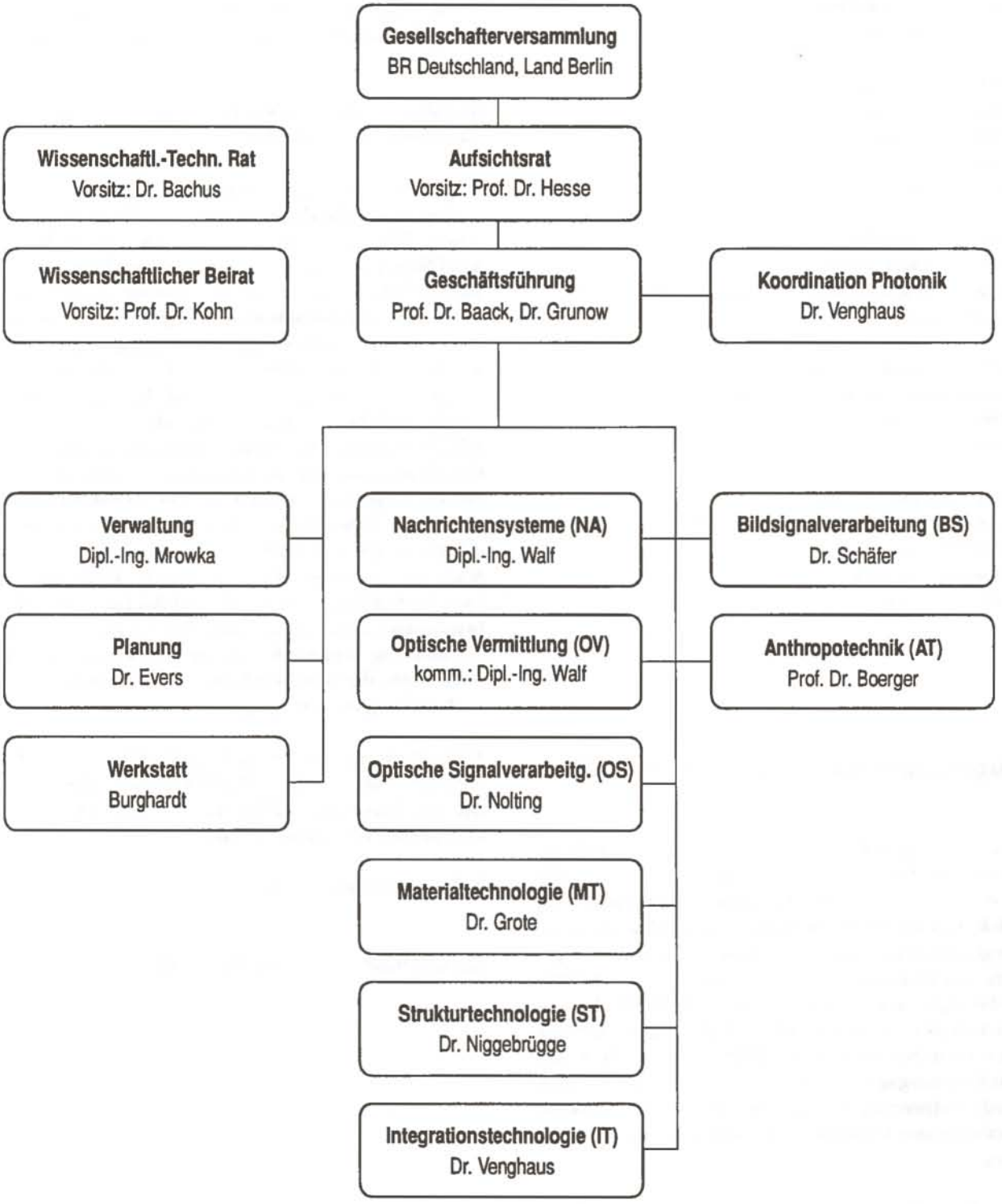
Die Finanzierung der vom HHI durchgeführten Projekte erfolgte durch Projektförderungen des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) im Rahmen des Förderkonzepts Informationstechnik 1993 - 1996 der Bundesregierung, insbesondere im Rahmen der BMBF-Förderschwerpunkte Photonik II, Hierarchische Digitale Fernseh-Übertragung - $^{H}DTV_{T}$ und der neuen BMBF-Förderschwerpunkte Mobilkommunikation und Netzübergreifende Multimediakommunikation sowie durch F&E-Verträge mit der Deutschen Telekom AG, der deutschen nachrichtentechnischen Industrie und über Projekte der von der Europäischen Union durchgeführten Programme. Künftig ist eine Projektförderung auch durch die Senatsverwaltung für Wirtschaft und Technologie Berlin und durch die Bundesanstalt für Arbeit Nürnberg vorgesehen. Die institutionelle Förderung erfolgt durch die Bundesregierung und das Land Berlin. Im begrenzten Umfang werden diese Mittel auch zur Projektdurchführung eingesetzt ("interne" Projekte). Weitere Mittel stellte die Gesellschaft von Freunden dem Institut zur Forschung zur Verfügung.

Allen Förderern und Freunden des Heinrich-Hertz-Instituts sei an dieser Stelle im Namen der Geschäftsführung und der Institutsangehörigen für die Unterstützung im vergangenen Jahr herzlich gedankt.

Berlin, im November 1995

Clemens Baack Wolfgang Grunow

Organigramm des HHI



Kurzbeschreibung des Forschungsprogramms

Schwerpunkt Kommunikationsnetze

Übersicht

Zukünftige Kommunikationsnetze sollen jede Art von Informationsaustausch, sei es in Text, Ton oder Bild, zu jeder Zeit, weltweit und für jeden ermöglichen. Dafür wird ein globales Breitbandkommunikationsnetz benötigt, das auch die sogenannten "Information Highways" enthält. Multimedia-Kommunikation soll dienste- und netzübergreifend mit einem universellen Endgerät erfolgen. Die globalen Nachrichtennetze bestehen aus Festnetzen, den Photonik-Netzen, und überlagerten, satellitengestützten Mobilkommunikationsnetzen. Die Forschungsarbeiten des HHI konzentrieren sich auf das **Photonik-Netz** und zunehmend auf die **breitbandige Mobilkommunikation**.

Das Photonik-Netz wird die außerordentlich hohe Bandbreite der Lichtwellenleiter durch Optische Frequenzmultiplextechniken und durch Optische Zeitmultiplextechniken intensiv nutzen. Das führt zu **flexiblen** Netzen im Sinne Intelligenter Netze und im Sinne eines effektiven Netzmanagements. In Photonik-Netzen werden die Nachrichten nicht nur optisch übertragen, sondern auch optisch vermittelt. Nur durch solche **optisch transparenten** Netze kann verhindert werden, daß das Bandbreitenpotential der Lichtwellenleiter durch den Vermittlungsprozeß eingeschränkt wird. Derartige transparente Netze sind - und das ist entscheidend - **diensteunabhängige** Netze. Sie stellen sehr breitbandige Transportwege zur Verfügung, über die alle heutigen und alle zukünftigen Dienste abgewickelt werden können.

Ziel des HHI ist es, mit seinen Forschungsarbeiten maßgeblich zur Entwicklung des Photonik-Netzes beizutragen. Folgende Themen werden schwerpunktmäßig behandelt:

- Entwicklung von Netzkonzepten für die verschiedenen Ebenen des Photonik-Netzes.
- Ausloten des Potentials optischer Multiplexverfahren wie der Optischen Frequenzmultiplextechnik und der Optischen Zeitmultiplextechnik zur Ausnutzung der Lichtwellenleiterbandbreite sowie zur Gestaltung flexibler Netze. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die optimale Kombination beider Multiplexverfahren für die verschiedenen Netzebenen des Telekommunikationsnetzes wie Core Network, Access und Customer Network.
- Ausloten der Grenzen der optischen Transparenz, d.h. die Ermittlung der Transparenzfeldlänge von photonischen Netzen.
- Ermittlung der Anforderungen an die Netzkonzepte, die Netzkomponenten, d.h. an die Übertragungsstrecken und Vermittlungseinrichtungen sowie an die photonischen Komponenten.
- Entwicklung von Komponenten für das Photonik-Netz. In enger Zusammenarbeit mit den Systemvorhaben sollen Schlüsselkomponenten sowie monolithisch integrierte optoelektronische Schaltkreise (OEICs) auf Indiumphosphidbasis entwickelt und hergestellt werden. Insbesondere für den Masseneinsatz der Glasfaser im Access und Customer Bereich ist die Bereitstellung zuverlässiger und kostengünstiger Photonischer Komponenten eine unabdingbare Voraussetzung.

Das HHI geht davon aus, daß langfristig die Terminals bei den Teilnehmern entweder direkt über Lichtwellenleiter, d.h. die Lichtwellenleiter reichen bis zu den Terminals (Fiber to the Terminal - FTTT), oder über Funkstrecken von wenigen Metern bis zu mehreren Kilometern mit dem Photonik-Netz breitbandig verbunden sein werden.

Durch den Wunsch nach verstärkter Mobilität einerseits und das Auftreten neuer Netzbetreiber ohne direkten Zugang zu den Teilnehmern andererseits gewinnt die Mobilkommunikationstechnik zunehmend an Bedeutung. Neben den bekannten Mobilfunknetzen rücken die kleinzelligen Mobilfunksysteme für den Access-Bereich, der drahtlose Teilnehmeranschluß sowie drahtlose Inhousekommunikationssysteme ins Blickfeld. Derartige Systeme müssen breitbandtauglich sein, mit geringen Sendeleistungen arbeiten und kostengünstig sein. Eine geringe Sendeleistung ist zum einen aus der Sicht des Energieverbrauchs, zum anderen wegen der elektromagnetischen Verträglichkeit erforderlich. Diese Forderung, die angestrebte Breitbandigkeit sowie der Wunsch, unter Berücksichtigung der knappen Ressource an Funkfrequenzen möglichst viele Teilnehmer in einem Gebiet bedienen zu können, führen zu kleinen Funkzellen mit Durchmessern von weniger als 300 m. Zur breitbandigen Kommunikation werden Übertragungsraten bis zu 155 Mbit/s angestrebt. Die Systeme müssen ATM-tauglich (asynchronous transfer mode) sein. Insbesondere die hohe Übertragungsrate unter Berücksichtigung des bestehenden Frequenzverteilungsplanes führt zu höheren Sendefrequenzen, die sich ausgehend von den heutigen Frequenzen im unteren GHz-Bereich bis zu einigen 100 THz (Licht) erstrecken können. Das HHI geht davon aus, daß die breitbandige Mobilkommunikation im Access- wie auch im Customer-Bereich eine ebenso große Bedeutung wie die breitbandige leitungsgebundene Kommunikation erlangen wird. Ziel des HHI ist es, mit seinen Forschungsarbeiten zur Entwicklung breitbandiger Mobilkommunikationssysteme maßgeblich beizutragen. Die Arbeiten sollen sich hauptsächlich auf die Transportebene, d.h. auf die Übertragungstechnik und Systemtechnik konzentrieren.

Im folgenden werden die im Jahr 1995 auf dem Forschungsgebiet Kommunikationsnetze erzielten Ergebnisse, gegliedert nach den Fachgebieten:

- Access und Customer Network,
- Core Network,
- Mobile Breitbandsysteme,
- Photonische Komponenten und Technologien

dargestellt.

Die Vorhaben wurden im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts Photonik II, zu einem geringen Teil auch im BMBF-Förderschwerpunkt III-V-Elektronik (DFE) und im BMBF-Forschungsprogramm MaTech, im Auftrag der Deutschen Telekom AG, im Rahmen der EU-Programme RACE II, ACTS und Brite/EuRam sowie als grundfinanzierte HHI-Aktivitäten durchgeführt. Die neu gestarteten ACTS-Projekte setzen zum Teil auf RACE II Projekten auf, die mit Ende des Berichtsjahres erfolgreich beendet wurden. Die Arbeiten werden organisatorisch in Projekten und Arbeitsgruppen (AG) durchgeführt.

Die systemtechnischen Arbeiten zu den Kommunikationsnetzen werden durch theoretische Systemuntersuchungen in dem Photonik II-Vorhaben ***Architekturen in optischen Netzen*** begleitet. Im Mittelpunkt dieser Arbeiten steht das vermaschte OFDM-Netz.

Die Arbeitsgruppe ***Kommunikationssysteme*** untersucht spezifische Fragen photonischer Netze in Zusammenarbeit mit Projekten des Hauses, der Industrie, den Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen. Themen dieses Jahres waren die Transparenzbegrenzung in optischen Netzen, der Einfluß der Frequenzkonversion auf die Netz-Performance und die Entwicklung von Methoden und Programmwerkzeugen für die Planung von photonischen Backbone-Netzen.

Access und Customer Network

Die Forschungsaktivitäten des Fachgebietes Access und Customer Network sind im wesentlichen auf Arbeiten zum Einsatz der optischen Frequenzmultiplextechnik (OFDM-Technik, Optical Frequency Division Multiplexing Technique) zur optimalen und flexiblen Gestaltung von Photonik-Netzen im Access und Customer Bereich ausgerichtet. Im Vordergrund der Arbeiten steht das optisch transparente Netz sowie die transparente Kopplung von Netzinseln. Ausgehend vom LAN/MAN-Bereich, der bisher vorrangig betrachtet wurde, konzentrieren sich die Arbeiten zunehmend auch auf den Access-Bereich.

Ziel der Arbeiten zum Themenkomplex signaltransparentes optisches Netz für den LAN/MAN-Bereich ist es, die Übermittlungskapazität in lokalen Kommunikationssystemen zu erhöhen, um Breitbanddienste, wie z.B. hochwertiges Bildfernsprechen, Videokonferenz und hochratige Datendienste, flexibel abwickeln zu können. Speziell die optische Frequenzmultiplextechnik bietet die Möglichkeit, die benötigte Übermittlungskapazität flexibel bereitzustellen. In einem derartigen Kommunikationssystem sind die Teilnehmer (Endgeräte) über ein optisch transparentes Netzwerk miteinander verbunden. Jeder Teilnehmer sendet hierbei auf einer bestimmten, ihm zugewiesenen optischen Frequenz. Die Übertragungsrate kann von Kanal zu Kanal unterschiedlich sein. Das im Februar 1995 erfolgreich abgeschlossene Vorhaben ***Coherent Optical Broadband Island (COBI)***, durchgeführt im Auftrag der Deutschen Telekom AG, zeigte die Möglichkeiten der OFDM-Übermittlungstechnik für den Einsatz in einem lokalen Breitband-Kommunikationsnetz. Von besonderer Bedeutung sind hierbei der bidirektionale Anschluß der Teilnehmer an das Kommunikationsnetz sowie die relative und absolute Frequenzstabilisierung der Laser in den optischen Sende- und Empfangseinheiten. In dem Projekt wurden Konzepte für die Frequenzstabilisierung erarbeitet und in einem Experimentalsystem realisiert. Weitere Arbeitspunkte waren Untersuchungen zur elektro/optischen und rein optischen Netzkopplung, die auch anläßlich des International Switching Symposiums (ISS '95) im April 1995 einem Fachpublikum durch Schaltung von Videokonferenzverbindungen demonstriert wurde. Das Vorhaben wurde in Absprache und im engen Kontakt mit dem Forschungszentrum der Deutschen Telekom AG durchgeführt. Für die rein optische Kopplung wurden spezielle Verfahren entwickelt, um eine Mehrwegeübertragung zu vermeiden.

Aufbauend auf diesen Arbeiten werden in dem neuen Photonik II-Teilvorhaben ***OFDM-LAN mit optischer Filtertechnik*** die Untersuchungen zum Einsatz der OFDM-Technik im Access und Customer Bereich fortgeführt. Es wurden sowohl breitbandige optische Frequenzmultiplexsysteme mit geringem Kanalabstand (Vergleich von Direkt- und Heterodyn-Empfangskonzepten) als auch generelle Aspekte der Erweiterbarkeit und der transparenten Kopplung von OFDM-Netzen unterschiedlicher Topologie systemtheoretisch und experimentell untersucht. Hier handelt es sich um den Einsatz von Filtertechniken, die eine verlustfreie Zusammenführung und Trennung der Kanäle erlauben. Diese Eigenschaften sollen in neuen Netztopologien z.B. für "Frequency-Self-Routing" experimentell untersucht werden.

Die Entwicklung der hierfür benötigten schmalbandigen Multiplexer und Demultiplexer bilden einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten. Die Elemente werden in Kooperation von der Firma "IOT Entwicklungsgesellschaft für Integrierte Optik-Technologie mbH" und der Universität Dortmund (Prof. Voges) als integrierte Wellenleiterkomponenten auf Glas-Substrat sowie für weitergehende Arbeiten im Rahmen eines HHI-Vorhabens auf SiO_2-Basis hergestellt (s. auch Abschnitt Photonische Komponenten und Technologien).

Fragen der OFDM-Übermittlungstechnik wurden in dem jetzt abgeschlossenen RACE II-Vorhaben ***Coherent Opti-***

cal Systems Implemented for Business Traffic Routing and Access (COBRA) bearbeitet. Wesentliche Arbeitspunkte des Vorhabens waren Untersuchungen zum Einsatz von OFDM-Verfahren in Breitbandübermittlungssystemen sowie die Entwicklung und der Aufbau von Demonstratoren, mit denen die vielfältigen Möglichkeiten der OFDM-Technik praxisnah demonstriert wurden. Wesentliches Ziel war der Einsatz der OFDM-Technik in Nebenstellenanlagen für kommerzielle Nutzer (Business Customer Premises Network, BCPN) und in Verbindungsnetzwerken dieser Nebenstellenanlagen sowie in Transit-Netzwerken. Das HHI war mit Untersuchungen und Entwicklungen zur Frequenzstabilisierung von OFDM-Systemen sowie mit Systemstudien an dem Vorhaben beteiligt. Das vom HHI entwickelte und dem Demonstrator zugelieferte Frequenzstabilisierungssystem kann mehr als 100 Kanäle mit Bitraten ≤ 2.5 Gbit/s im EDFA-Band stabilisieren und ist auch für gegenwärtig diskutierte OFDM-Systeme mit Kanalabständen im 100 GHz-Bereich anwendbar.

Core Network

Die Forschungsarbeiten zum Core Network sind schwerpunktsmäßig auf die Themen höchstbitratige Punkt-zu-Punkt Übertragung über möglichst große Entfernungen, optischer Crossconnect und transparentes optisches Netz ausgerichtet. Im Mittelpunkt stehen hierbei Untersuchungen zu einer möglichst hohen Kapazitätsauslastung des Lichtwellenleiters durch den Einsatz der OFDM-Technik und zu einer sehr hochratigen Zeitmultiplextechnik sowie Untersuchungen zum Einsatz optischer Mittel in Crossconnects. Ferner werden Methoden zur hochratigen, rein optischen Signalregeneration untersucht. Die Datenströme im Core Network liegen in einer groben Granularität vor, d.h. es werden Datenbündel mit Bitraten im Gbit/s-Bereich in den Crossconnectoren geschaltet.

In dem Photonik II-Vorhaben ***Komponenten und Subsysteme für die optische Zeitmultiplextechnik*** werden die physikalischen Grenzen der optischen Erzeugung und Übertragung höchster Bitraten bis hin zu 160 Gbit/s untersucht. Im Mittelpunkt der Arbeiten stehen neben der Generierung, Modulation und Detektion von optischen Pulsen das rein optische Multiplexen, das rein optische Demultiplexen sowie die Synchronisation von hochratigen optischen Signalen. Dazu sind optische und optoelektronische Komponenten, die hierfür eine zentrale Rolle spielen, in assoziierten Projekten entwickelt worden. Optische Pulsquellen im Femto-Sekunden (fs)-Bereich in Verbindung mit passiven Multiplexern und ultraschnellen Modulatoren bilden die Basis für die Signalerzeugung. So wurde eine universell einsetzbare fs-Pulsquelle (modengekoppelter Laser) aufgebaut und bezüglich ihrer Pulswiederholrate verbessert, die mit einem passiven Fasermultiplexer Pulszüge mit einer Wiederholrate zwischen 10 und 160 mit einer Wiederholrate zwischen 10 und 160 GHz erzeugt. Ein besonderes Interesse gilt dem nichtlinearen optischen Halbleiterverstärker, dessen Einsatz als optisches Multifunktionselement zur Modulation, zur Frequenzumsetzung, zum Demultiplexen im Zeitbereich und zur Kompensation von Dispersion und Nichtlinearitäten des Lichtwellenleiters untersucht wurde. Ein im assoziierten Projekt ***Halbleiterverstärkerkomponenten für OTDM Anwendungen*** realisierter Demultiplexer auf der Basis eines nichtlinearen Mach-Zehnder Interferometers mit jeweils einem Halbleiterlaser-Verstärker je Wellenleiterverzweigung wurde für ein Demultiplex-Experiment bei einer Datenrate von 40 Gbit/s eingesetzt. Das Mach-Zehnder Interferometer wird durch optische Kontrollpulse geschaltet, die den Datenpulsen entgegen gerichtet sind. Für diese auf Indiumphosphid (InP) integrierte Komponente konnten sowohl Add- als auch Drop-Funktionen nachgewiesen werden. Dies erlaubt den Aufbau flexibler Netze.

Ein wichtiges Ergebnis war die Realisierung einer rein optischen Taktrückgewinnung für den Demultiplexer. Dabei wurde das Datensignal von 40 Gbit/s in die fs-Pulsquelle eingekoppelt und dadurch der Laser auf seiner Grundfrequenz von 10 Gbit/s synchronisiert. Die optischen Pulse des modengekoppelten Lasers konnten direkt als Kontrollsignal für den Demultiplexer eingesetzt werden. Diese Kombination von rein optischer Taktrückgewinnung und Demultiplexen wurde erfolgreich in einem Übertragungsexperiment bei 40 Gbit/s über eine Länge von 100 km eingesetzt. Die Anordnung zur Taktrückgewinnung ist in weiten Grenzen polarisations- und wellenlängenunabhängig.

Die Erfahrungen verschiedener Gruppen des HHI auf dem Gebiet der Frequenzumsetzung mittels Halbleiterverstärker führte zu einer Zusammenarbeit mit der Firma Siemens AG mit dem Ziel, einen ingenieurmäßig entwickelten Frequenzumsetzer für einen Crossconnect Demonstrator aufzubauen. Der vom HHI entwickelte Frequenzumsetzer basiert auf einem Halbleiterverstärker-Chip der Firma Siemens.

Im Vorhaben ***Transparenzbegrenzung in optischen Netzen*** (Teil der von der Deutschen Telekom AG finanzierten Aktivität "Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen") werden theoretische und experimentelle Untersuchungen zu transparenten optischen OFDM-Crossconnects sowie deren Kaskadierung durchgeführt. Das besondere Interesse gilt hierbei der Ermittlung der Transparenzfeldlänge in OFDM-Netzen. Die untersuchten optischen Crossconnects bestehen im wesentlichen aus einer Raumstufe mit Faserschaltern bzw. Schaltmatrizen auf Polymerbasis und einer Frequenzstufe mit optischen Frequenzumsetzern. In Schleifenexperimenten kann die Kaskadierung sowohl einzelner Komponenten, wie z.B. Filter, Raumschalter, Frequenzumsetzer, als auch von Crossconnectoren und Übertragungsstrecken untersucht werden.

Die Einflüsse von Dispersion, Dämpfung, Rauschakkumulation und Nichtlinearitäten führen zu einer Signaldegradation, die an der Transparenzfeldgrenze des Netzes eine Signalregeneration erforderlich macht. Theoretische Untersuchungen ergaben, daß - mit heute verfügbaren Komponenten - ein hochratiges Core-Netz mit transparenten Pfaden über einige Crossconnects mit Transparenzlängen von einigen tausend Kilometern aufgebaut werden kann.

In optischen Netzen treten im Vergleich zur einfachen Punkt-zu-Punkt-Übertragung eine Vielzahl zusätzlicher Störungen auf, die die Tranzparenzfeldlänge begrenzen. In großen Netzen wird eine Regeneration der Signale daher unumgänglich sein. Möglichkeiten der rein optischen Signalregeneration wurden in dem im Auftrag der Deutschen Telekom AG durchgeführten Teilvorhaben ***Signalregeneration in optischen Netzen*** im Rahmen der Thematik "Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen" untersucht. Es wird angestrebt, Signale rein optisch bezüglich der Amplitude, Form und zeitlichen Lage der Pulse zu regenerieren. Dazu werden die Funktionen Taktrückgewinnung und Entscheidung zunächst separat bearbeitet. Für die Taktrückgewinnung wurde die steuerbare Selbstpulsation von Distributed Feedback (DFB)-Lasern untersucht, mit denen Pulswiederholraten von 80 GHz und Fangbereiche bis zu 800 MHz erzielt wurden. Durch Einführung einer Phasensektion wurde eine reproduzierbare Herstellung selbstpulsierender DFB-Laser erreicht. Die Selbstpulsation kann nun kontrolliert gesteuert werden. Im anderen Teil steht optisch-optisches Schalten unter Ausnutzung des "injection locking" im Mittelpunkt der Untersuchungen. Es wurde eine zweistufige Anordnung bestehend aus dem injektionsgelockten Fabry-Perot (FP)-Laser und einem optischen Verstärker als Entscheider aufgebaut. Diese Anordnung macht den Entscheider polarisationsunabhängig und erlaubt die Verwendung in einem großen Wellenlängenbereich. Die Arbeitsgeschwindigkeit des FP-Lasers konnte auf 16 Gbit/s gesteigert werden.

Optische Schalter unterschiedlicher Spezifikation sind für OTDM-Systeme und für Crossconnects Schlüsselkomponenten. Die erreichten Ergebnisse werden im Detail im Kapitel Photonische Komponenten und Technologien beschrieben. Hier sei nur auf die aus Systemsicht wichtigen Aspekte hingewiesen. Die Entwicklung schneller Schalter auf der Basis von Wanderwellenansteuerung und Quantenfilm-Strukturen geht von 40 GHz zu höheren Bandbreiten. Sie werden für Demultiplexer und Add/-Drop Multiplexer benötigt. Die Integration eines schnellen Schalters mit einem Laser bildet die Basis für hochbitratige Sendestufen. Ein äußerst wichtiges Resultat für den optischen Crossconnect war die Realisierung von optischen Schaltern mit einem Crosstalk <-40 dB. Der kohärente Crosstalk erzwingt diese niedrigen Werte für die Kaskadierung von Schaltern.

Im ACTS Projekt ***Pan-European Photonic Transport Overlay Network (PHOTON)*** soll die Anwendung der WDM-Technik (wave division multiplexing) im Core Network bei Datenraten von 10 Gbit/s pro WDM-Kanal untersucht werden. Das HHI ist mit der Erstellung der Wellenlängenreferenz sowie mit Systemstudien beteiligt.

Mobile Breitbandsysteme

In dem neuen Fachgebiet Mobile Breitbandsysteme wird bisher das Vorhaben ***Optische Mikrowellenerzeugung für die Mobilkommunikation*** durchgeführt. Ziel dieses Photonik II-Vorhabens, das in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) in Freiburg, der Firma Alcatel-SEL AG und die Firma Robert Bosch GmbH (Hildesheim) durchgeführt wird, ist es, die vorteilhafte Anwendung von Prinzipien der optischen Frequenzmultiplextechnik zur kostengünstigen Erzeugung und Verteilung von Mikrowellensignalen für zellulare Breitbandfunknetze aufzuzeigen. Im Mittelpunkt des Interesses stehen Breitbandmobilkommunikationsnetze, die im Frequenzbereich bei 60 GHz arbeiten. Derartige Netze weisen sehr kleine Zellen mit einem Durchmesser von weniger als 100 Metern auf. Die kostengünstige Erzeugung und Übertragung der Mikrowellensignale ist eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau derartiger Netze. Einen vielversprechenden Ansatz hierzu stellt die Erzeugung und Übertragung der Mikrowellensignale mit optischen Mitteln dar. In dem Vorhaben wird die Erzeugung des Mikrowellensignals durch die Überlagerung des Lichtes von zwei Lasern untersucht. Für die experimentellen Untersuchungen ist der Aufbau eines Demonstrators mit Hin- und Rückkanal in Zusammenarbeit mit der Firma Robert Bosch GmbH vorgesehen.

Photonische Komponenten und Technologien

Für fortgeschrittene photonische Systeme werden optische und optoelektronische Komponenten benötigt, die wegen der besonderen Anforderungen an ihre Leistungsfähigkeit kommerziell nicht erhältlich sind und deshalb in enger Zusammenarbeit mit systemorientierten Gruppen in unserem Institut entwickelt werden. Zum einen sind die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der Bauelemente ausgerichtet auf die Erreichung neuer und erweiterter Funktionalitäten. Zum anderen wird die Realisierung von monolithisch integrierten photonischen/-optoelektronischen Schaltungen verfolgt, die im Vergleich zu hybriden Modulen auf längere Sicht deutliche Vorteile hinsichtlich Kompaktheit, Robustheit und Kosten versprechen. Die Komponentenentwicklung ihrerseits erfordert die Verfügbarkeit einer breiten Palette von Technologien von der Materialherstellung bis zur Aufbautechnik, deren Leistungsvermögen, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit stetig verbessert werden müssen. Die Arbeiten konzentrieren sich vorrangig auf III-V-Halbleiterkomponen-

ten auf InP-Basis, da sich in diesem Materialsystem ein weites Spektrum optischer und optoelektronischer Funktionselemente für den Wellenlängenbereich von 1,3 - 1,6 µm und auch elektronische Schaltkreise realisieren lassen. Daneben werden auch Bauelemente in SiO_2/Si- und Polymer-Technologie entwickelt, die für bestimmte Anwendungen günstigere Eigenschaften als III-V-Halbleiter besitzen und billiger herzustellen sind.

Die monolithische Integration steht im Mittelpunkt mehrerer Vorhaben, in denen diese Technologie zur Realisierung innovativer Komponenten zum Einsatz kommt und gleichzeitig weiterentwickelt wird:

Hauptziele des Vorhabens ***Integrationstechnologie: Frequenzselektive abstimmbare Empfänger-OEICs auf Indiumphosphid-Basis für OFDM-Systeme*** sind die Entwicklung und Bereitstellung einer technologischen "Toolbox" zur Integration photonischer Grundelemente (Laser, Wellenleiterkomponenten, Photodetektoren) und die Demonstration des Potentials des Integrationsprozesses. Nach der weltweit ersten erfolgreichen Realisierung eines polarisationsunabhängigen Heterodynempfänger-OEICs und der weiteren Verbesserung von Untereinheiten des Chips für eine kompakte zweite Generation wurde als nächste Zielsetzung mit der Entwicklung eines bidirektionalen WDM-Transceivers begonnen. Bei diesem Chip ist besonderes Augenmerk auf die Minimierung des optischen und elektrischen Übersprechens zu legen.

Eng verbunden mit diesem Vorhaben war das Projekt ***OEIC Modules for the Access Network (OMAN)***, das mit Ende des RACE II-Programms abgeschlossen wurde und in dem die Etablierung eines universellen Integrationsprozesses zur Herstellung von unterschiedlichen OEICs und die Entwicklung einer robusten, kostengünstigen Technologie zur "Verpackung" solcher Komponenten in zukünftigen europäischen "Foundries" im Vordergrund stand. Weiterhin galt es, die Voraussetzungen zu schaffen, um erste OEICs im IBCN (Integrated Broadband Communications Network) einsetzen zu können. Das HHI trat dem Konsortium im Oktober 1994 bei und hat seit dieser Zeit einen "Dense"-WDM-Laser-OEIC realisiert, der einerseits für den Einsatz als weit abstimmbare Laserquelle in optischen Fasernetzen, andererseits für die optische Erzeugung eines höchstfrequenten Mikrowellenträgers innerhalb von mobilen Systemen im Telekommunikations-, aber auch Telematikbereich interessant ist.

Auf den gewonnenen Erfahrungen in der Integrationstechnologie baut das neu im Rahmen des ACTS-Programms begonnene Vorhaben ***Broadband Lightwave Sources and Systems (BLISS)*** auf. Ziel ist die Realisierung von integriert-optischen Modulen für den Netzzugangs- und Transportbereich. Das HHI wird in diesem Vorhaben zum einen einen optischen Baustein in Form eines nichtlinear optischen Interferometers entwickeln, der als schneller Demultiplexer und als Add/Drop-Multiplexer im Transportbereich eingesetzt werden soll. Zum anderen soll ein 1,5/1,3 µm Transceiver-Chip für den Feldeinsatz im Teilnehmerbereich realisiert werden.

Das Projekt ***User Friendly Optical Sources (UFOS)*** wurde als Teil des ausgelaufenen RACE II-Programms beendet. Das HHI trug mit theoretischen Untersuchungen zu neuen Laser-Strukturen bei. Alle Partner dieses Projektes werden im Rahmen des BLISS-Projektes weiterhin zusammenarbeiten.

Im Vorhaben ***Metropolitan Optical Networks (METON)***, das ebenfalls im ACTS-Programm durchgeführt wird, wird das HHI ein optoelektronisches "Drop"-Filter entwickeln. Diese monolithisch integrierte InP-Komponente wird ein optisches Filter, einen Detektor und einen elektronischen HEMT (High Electron Mobility Transistor)-Vorverstärker enthalten, dessen Bandbreite einen Empfang von 10 Gbit/s NRZ (nonreturn to zero) Signalen ermöglichen soll. Wichtige Eigenschaften des Filters sind Abstimmbarkeit und Polarisationsunempfindlichkeit. Mit dem Design des Filters sowie der Transimpedanzverstärkerschaltung wurde begonnen.

Optische Empfänger sind Schlüsselkomponenten für alle optischen Kommunikationssysteme. Im Projekt ***Höchstfrequente Empfänger-OEICs auf InP-Basis*** werden hochratige Empfängerkomponenten für schnelle Zeitmultiplextechnik-Systeme und für optische Mikrowellen-Verteilsysteme entwickelt. Hierfür werden eine wellenleiter-integrierte pin-Photodiode und eine MMIC-ähnliche (monolithic microwave integrated circuit) HEMT-Verstärkerstufe monolithisch integriert. Als Projektziel wird eine Empfangsdatenrate von 40 Gbit/s angestrebt, wobei das hier verfolgte Konzept für eine Fortentwicklung zu noch höheren Frequenzen ausgelegt ist. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Aktivitäten zum einen auf die Optimierung der einzelnen Komponenten des OEIC, zum anderen wurden kritische technologische Herstellungsschritte untersucht und das Design des vollständigen Empfänger-OEIC erstellt. Alternativ zu pin-Photodioden wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Festkörperphysik der TU Berlin auch ***MSM-Photodetektoren mit Submikrometer-Geometrie*** *(metal semiconductor metal)* hergestellt und untersucht.

Auf der Senderseite wird - im Rahmen des Telekom-Auftrags "Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen" - im Teilprojekt ***Integrierter photonischer Sender mit schnellem Wanderwellenmodulator*** ein kompaktes Sendemodul für Multigigabit-Übertragungssysteme entwickelt, das eine geringe Schaltspannung und einen möglichst geringen Wellenlängen-Chirp aufweisen soll. Kernstück des Moduls ist ein Drei-Sektions-DFB-Laser, der monolithisch mit einem externen MQW-Modulator mit Wanderwellenelektroden integriert wird. Basierend auf den verwendeten Modulatorschichtstrukturen wurde darüber hinaus eine neue Art digitaler, nebensprecharmer

Schalter entwickelt, bei denen durch geeignete Kombination von Elektrorefraktion und Elektroabsorption Nebensprechwerte von <-45 dB erreicht wurden. In enger Verbindung mit dem vorstehenden Vorhaben wurde innerhalb des RACE II-Projekts ***Quantum Well Components for High Speed Transmission Systems (WELCOME)*** die Entwicklung von sehr schnellen optischen Schaltern verfolgt, die langfristig Schaltgeschwindigkeiten im 100 GHz-Bereich erlauben. Erreicht wurde eine Grenzfrequenz von 40 GHz.

Die Arbeiten des WELCOME-Projekts werden teilweise im ACTS-Vorhaben ***Photonic Technologies for Ultra High Speed Information Highways (HIGHWAY)*** fortgeführt, dessen Gesamtziel der Aufbau eines kompletten 40 Gbit/s-Übertragungssystems mit abschließendem Feldversuch ist. Das HHI trägt zu diesem Projekt mit der Entwicklung von polarisationsunabhängigen Demultiplexern und einer Komponente zur Taktrückgewinnung auf der Basis selbstpulsierender DFB-Laser bei.

Außer auf Halbleitern werden optische Schalter auch auf der Basis von SiO_2 und Polymeren untersucht, wobei die erzielbaren Schaltgeschwindigkeiten im µs/ms-Bereich für den Einsatz in Crossconnects ausreichend sind. Im HHI-Projekt ***SiO_2/Si-Wellenleiterschalter mit LC-Schichten*** wird ein Realisierungskonzept verfolgt, bei dem die in Flüssigkristallen (LC) erreichbaren großen Brechzahländerungen genutzt werden sollen, um über die Änderung des Totalreflektionswinkels das in einem Wellenleiter geführte Licht umzulenken. Die technologischen Arbeiten zur Entwicklung eines Prototyps wurden vorangetrieben.

Bereits weit fortgeschritten ist die Herstellung von ***Thermo-optischen Polymerschaltern*** für Raumstufen und Schaltmatrizen aus Polymermaterialien, die als Teil des bereits zitierten Telekom-Auftrages "Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen" erfolgt. Auf der Basis von Richtkopplerschaltern wurde erstmals eine rekonfigurierbare (4 x 4)-Schaltmatrix hergestellt, die - als Modul aufgebaut - während der CeBit '95 vorgeführt wurde. Durch weitere Designverbesserungen wurden in Einzelschaltern Nebensprechdämpfungen von <-45 dB erreicht.

Eine wichtige Aufgabe in OFDM-Netzen ist das Zusammenführen und Trennen von Signalen auf verschiedenen Trägerfrequenzen. Hierzu sollen optische Filterkomponenten nach dem Interferometerprinzip verwendet werden, die nahezu verlustfrei arbeiten. Die Entwicklung entsprechender Komponenten in Silica-Technik (SiO_2-Wellenleiter auf Si-Wafern) ist die Hauptaufgabe im Projekt ***Integrierte Wellenleiterkomponenten auf SiO_2-Basis für OFDM-Systeme***. Im Berichtsjahr wurden die zur Herstellung erforderlichen Lithographie- und Ätzprozesse entwickelt und ein Designentwurf für ein Phased-Array-Filter, Multimode-Koppler und Testwellenleiter durchgeführt. Erste Komponenten wurden hergestellt und charakterisiert.

Noch stark grundlagenorientierten Charakter haben Arbeiten zu nichtlinear optischen (NLO) Polymeren, die längerfristig für die Realisierung von Bauelementfunktionen wie optisch-optisches Schalten oder parametrische optische Verstärkung von Interesse sind. Im Projekt ***Polungsoptimierung sowie elektrische und optische Grundlagenuntersuchungen für NLO-Polymer-Wellenleiterbauelemente***, das im BMBF-MaTech-Programm zusammen mit Industriefirmen durchgeführt wird, stehen die Charakterisierung von NLO-Polymermaterialien und die Optimierung von Polungsprozessen im Mittelpunkt. In Kooperation mit AKZO Nobel (NL) und dem Center for Research on Electro-Optics and Lasers (CREOL, USA) konnte die Eignung unterschiedlicher Polungsverfahren für Wellenleiterfrequenzverdoppelung experimentell nachgewiesen werden.

Die Weiterentwicklung der zur Herstellung fortschrittlicher photonischer Bauelemente erforderlichen Berechnungs-, Herstellungs- und Meßverfahren geschieht zum Teil innerhalb der Bauelementeprojekte, zum Teil in infrastrukturellen Arbeitsgruppen:

Die Arbeitsgruppe ***Numerische Simulation photonischer Komponenten*** hat die Aufgabe, die Modellierung optischer Bauelemente zu entwickeln. Dazu wurden insbesondere numerische Rechenprogramme für Wellenleiterbauelemente mit und ohne Quantenbrunnenstrukturen entwickelt. Zusätzlich wurden neue Aktivitäten zur numerischen Simulation der optischen Signalausbreitung auf der Glasfaser begonnen.

In der Arbeitsgruppe ***Elektrische Meßtechnik***, die sich mit der elektrischen Materialanalytik sowie Hochfrequenzmessungen und -simulationen zur Entwicklung von Bauelementen und Modulen beschäftigt, wurden höchstfrequente Verbindungsträger für Frequenzen bis 40 GHz dimensioniert. Weiterhin wurde ein Verfahren erarbeitet, aus Rauschmessungen im Bereich 100 Hz bis 15 GHz in Verbindung mit Kleinsignal-Ersatzschaltbildern die minimale Rauschzahl von Transistoren abzuschätzen.

In der Arbeitsgruppe ***Fortgeschrittene Lithographieverfahren*** wurde im Hinblick auf zukünftige Bauelemententwicklungen die Erzeugung von Nanometerstrukturen durch Elektronenstrahl-Lithographie vorangetrieben; Linienbreiten von weniger als 30 nm konnten generiert werden. Weiterhin wurde die optische Lithographie mit semitransparenten Masken erfolgreich zur Herstellung von Wellenleiter-Tapern eingesetzt.

Auf dem Gebiet der Strukturtechnologie gelang es der Arbeitsgruppe ***Trockenätztechnik***, durch den Einsatz eines Abschirmringes eine nahezu perfekte makroskopische Uniformität beim reaktiven Ionenätzen (CH_4/H_2-RIE) von In(GaAs)P zu erreichen. Durch die Verwendung einer geeigneten Maskierungstechnologie konnten darüber hinaus die optischen Verluste in trockengeätzten Rippen-

wellenleitern erheblich vermindert werden. Auf der anderen Seite wurde ein Niedertemperaturherstellungsverfahren für ***Dielektrische Schichten für integrierte Kondensatoren auf InP***, wie sie z.B. für MMIC-artige integrierte Schaltungen benötigt werden, erarbeitet.

Die Arbeitsgruppe ***Epitaxie und III-V-Materialuntersuchungen*** hat die Aufgabe, die für die Bauelementeentwicklung benötigten Schichtstrukturen zu entwickeln. Darüber hinaus werden in begrenztem Umfang Untersuchungen zu übergeordneten Material- und verfahrensorientierten Fragen durchgeführt. Themen waren die thermische Stabilität von QW-Schichten, der Einsatz von Wasserstoffradikalen in der MBE und N_2 als Trägergas in der MOVPE. Ein weiterer Schwerpunkt liegt bei der ***Metallorganischen Molekularstrahlepitaxie (MOMBE)***, bei der insbesondere deren Potential für flächenselektives Wachstum untersucht wird. Diese Arbeiten sind in das BMBF-Programm III-V-Elektronik und das Photonik II-Programm des BMBF eingebunden.

Für den Einsatz von Komponenten ist ein systemgerechter Aufbau unverzichtbar. Die wesentlichen Arbeiten hierzu werden in der Arbeitsgruppe ***Optische und Elektrische Aufbau- und Verbindungstechnik*** geleistet. Vorrangig wurde die Laserschweißtechnik, die V-Nuttechnik sowie selbstjustierendes Flip-Chip-Bonden bearbeitet. Bei letzterem Verfahren konnte unter Vakuumbedingungen eine Selbstjustage der Bauelemente erreicht werden.

Erwähnt sei noch das Vorhaben ***Optische Schaltelemente mittels resonanter Gitterstrukturen***, das mit Förderung des BMBF am Weizmann Institute of Science, Rehovot (Israel), durchgeführt und vom HHI betreut wurde. In diesem Projekt wurden ein optisches Filter und ein optischer Schalter realisiert, deren Funktionsweise auf einem Resonanzeffekt in einer Gitter-Wellenleiter-Struktur beruht.

Auf die Entwicklung von Vollfarb-Displays auf der Basis von Hochfeldelektrolumineszenz zielt das BMBF-Projekt ***Vollfarb-Elektrolumineszenz auf der Basis von II^a-VI^a-Verbindungen***. Diese Aktivitäten wurden mit der Übernahme einer entsprechenden Arbeitsgruppe aus der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR im Jahre 1992 in das FuE-Programm des HHI aufgenommen. Im genannten Projekt werden die Grundlagen für die Realisierung eines Kleindisplays geschaffen. Dies wird nach dem Konzept "Farbe aus Weiß" auf der Basis von SrS:Ce als blau-grün emittierender Leuchtschicht sowie einem geeigneten Rotemitter angestrebt. Die Optimierung des Materials SrS:Ce zur Erhöhung der Effizienz der blauen Elektrolumineszenz bleibt ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten. Untersucht werden soll u.a. der Einfluß von Kodotanten auf die Cer-Emission. Außerdem sollen physikalische Grundlagenuntersuchungen zum grundsätzlichen Verständnis der Hochfeld-Elektrolumineszenz in Erdalkalisulfiden durchgeführt werden, um die Leuchtdichte und -effizienz weiter zu verbessern. Das Projekt knüpft direkt an die Ergebnisse des BMBF Projekts ***Grundlagenuntersuchungen zur Farbelektrolumineszenz*** an, in welchem die bisher weltweit höchste Effizienz von 1,6 lm/W für SrS:Ce Elektrolumineszenz erreicht wurde.

Die Einführung leistungsfähiger neuer Leuchtphosphore für Dünnfilm-Elektrolumineszenz-Strukturen ist das Hauptziel des im Rahmen von Brite/EuRam geförderten Projektes ***New Phosphors for Large Area Colour Displays (NEPLACD)***, an dem das HHI beteiligt ist. Ausgangspunkt für die Arbeiten war SrS:Ce mit verschiedenen Kodotierungen, weitere Untersuchungen galten $SrGa_2S_4$ und $CaGa_2S_4$ als interessanter Alternative zum SrS:Ce als Blauemitter.

Schwerpunkt Elektronische Bildtechnik für Multimedia

Übersicht

Der Weg in die Informationsgesellschaft der Zukunft ist durch Veränderungen des Arbeitslebens und der Freizeitgestaltung gekennzeichnet. Eine wesentliche Rolle spielt die Einbindung verteilter Ressourcen (Menschen, Datenbanken, Computer) in die Aktivitäten des Einzelnen. Die vorhanden Ansätze des verteilten Produzierens, des verteilten Verwaltens, der dezentralen Informationsangebote, der Spiele mit verteilten Partnern, des Teleshopping etc. werden sich weiterentwickeln. Die informationstechnischen Voraussetzungen für diesen Wandel werden heute in den Industrienationen geschaffen und entwickeln sich über den Weg der Standardisierung zu marktbeherrschenden Instrumenten. Eine Schlüsselfunktion hat die Technologie für den multimedialen Informationsaustausch. Erst durch die Berücksichtigung der komplexen Formen menschlicher Interaktionen auf der Grundlage von Text, Grafik, Audio und Video wird es möglich, jeden Einzelnen in seinem zielgerichteten kommunikativen Handeln optimal zu unterstützen.

Im Forschungsschwerpunkt Elektronische Bildtechnik für Multimedia beteiligt sich das HHI an der Bereitstellung dieser informationstechnischen Grundlagen. Es erfolgt eine Ausrichtung der Forschung auf die Entwicklung neuer Bildsignalverarbeitungsverfahren (z.B. zur Datenkompression) und neuer Bilddarstellungsverfahren (z.B. zur 3D-Bilddarstellung). Diese Arbeiten werden durch die prototypische Entwicklung und Erprobung neuer multimedialer Anwendungssysteme und durch intensive Standardisierungsaktivitäten ergänzt.

Bildsignalverarbeitung

Die Aufgaben im Themenbereich Bildsignalverarbeitung sind auf die Signalaufbereitung, -verarbeitung und die Codierung für Bilddienste unterschiedlichster Auflösungen und Anwendungen sowie auf die Realisierung von VLSI-Komponenten und Hardwareaufbauten (Demonstratoren) ausgerichtet. Die Bildformate reichen vom CIF (Common Image Format) mit 288 x 360 Bildpunkten bis hin zum HDTV mit 1152 x 1920 Bildpunkten. Typische Anwendungen sind VLBV (Very low bitrate video) für niedrigratige Multimediakommunikation, TV- und HDTV-Verteil- und Kommunikationsdienste sowie Studioapplikationen für TV, HDTV und VLTV (VisionLike TeleVision). Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag bei der digitalen TV- und HDTV-Übertragung über Satelliten, Kabel- und terrestrische Sendernetze. Die Untersuchungen zu diesen Themen wurden im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts Hierarchische Digitale Fernsehübertragung - $^{H}DTV_{T}$ durchgeführt, das vom HHI geleitet wurde, und an dem insgesamt 11 Partner aus Forschung und Industrie teilnahmen. Das $^{H}DTV_{T}$ Projekt war wiederum Teil der europäischen Entwicklungen zu digitalem TV, die vom Europäischen DVB-Projekt (Digital Video Broadcast) koordiniert werden. Ein weiterer, eher langfristig anzusehender Schwerpunkt, besteht in der Entwicklung neuer Bildkompressionsverfahren im Rahmen von MPEG4.

Hierarchische, auf MPEG2 (Moving Pictures Expert Group der ISO) basierende Hybrid-DCT Verfahren wurden bis Mitte 1994 im Rahmen des Projekts "Codierung für die hierarchische digitale Fernsehübertragung" (s. Jahresbericht 1994) und bis Ende 1995 im Rahmen des RACE-Projekts ***High Definition Advanced Multi Level Encoding Techniques (HAMLET)*** weiterentwickelt und optimiert. Basierend auf diesen Vorarbeiten wurde im Projekt ***Codec für die hierarchische digitale Fernseübertragung*** ein Quellendecoder aufgebaut, der in der Übertragungskette eingesetzt wird, die im Rahmen des Förderschwerpunkts $^{H}DTV_{T}$ aufgebaut wurde. In diesem Quellendecoder wurden VLSI-Bausteine eingesetzt, die vom Projekt ***Schlüsselkomponenten für elektronische Bildtechniken*** entwickelt wurden. Das zuerst und die beiden zuletzt genannten Projekte waren Teilvorhaben des nationalen Förderschwerpunkts $^{H}DTV_{T}$.

Bildpunkt- und bildblockbasierte Codierverfahren, wie sie z.Z. beispielsweise bei MPEG2 zur Anwendung kommen, haben eine gewisse Sättigung ihrer Leistungsfähigkeit erreicht. Wesentliche Verbesserungen können nur von den sogenannten intelligenten Codierverfahren erwartet werden, die sich Methoden der Bildanalyse und Bildsynthese bedienen. Im Projekt ***VLBV für Multimediadienste in Mobilfunk- und Datennetzen*** werden solche Techniken für die Bildübertragung mit extrem niedrigen Datenraten (8... 64 kbit/s) entwickelt, wobei das Bildmaterial jedoch eingeschränkt ist (z.B. auf Bildtelephonie). Dagegen sollen diese Techniken im Projekt ***Intelligente Codierverfahren für Bildkommunikation und Multimedia*** für allgemeines Bildmaterial eingesetzt werden, was eine sehr hohe Herausforderung an die Leistungsfähigkeit dieser Verfahren darstellt. Die Ergebnisse dieser beiden Projekte werden bei MPEG4 und COST 211 eingebracht.

Die Bildkompression für eine besondere Klasse von Bildmaterial wird im Projekt ***Soap Opera Coding***, das von der Telekom finanziert wird, untersucht. Hierbei handelt es sich um Videoszenen mit immer gleichem, bewegten Hintergrund, vor dem sich bewegliche Objekte (hauptsächlich Personen) befinden. Solche Verhältnisse trifft man vor allen Dingen bei "Seifenopern und Game-Shows" an, die sich immer größerer Beliebtheit erfreuen, und für die man mit objektbasierten Ansätzen sehr hohe Kompressionsfaktoren (>100) erreichen kann.

Die Verarbeitung bewegter 3D-Sequenzen ist Thema des Projekts ***Signalaufbereitung für VLTV-Systeme***, wobei der Schwerpunkt bei der kombinierten Bewegungs- und Disparitätsschätzung sowie Kompensation liegt. Anwendungen für diese Techniken ergeben sich sowohl im Studiobereich (3D-Produktion, depth-keying) als auch bei der Bildkommunikation (3D-Videokonferenz).

Endsysteme und Anwendungen

Telekommunikationsdienste sollen zweckmäßige, benutzerfreundliche, attraktive und kostengünstige Anwendungen ermöglichen. Neben Fernsehen sind Beispiele solcher Anwendungen: Multimedia-Konferenz, Multimedia-Informationsbeschaffung, Tele-Kooperation, dezentrale Virtual Reality-Produktion unter Verwendung zentraler Spezialrechner und Videospiele mit verteilten Teilnehmern. Die Schwerpunkte der HHI-Arbeiten sind die Entwicklung interaktiver 3D-Bildsysteme, benutzerfreundlicher Interaktionstechniken und die nutzergerechte Gestaltung und Erprobung anwendungsspezifischer Bild-Kommunikationssysteme. Um eine sensorisch reiche interaktive Vermittlung visueller Information zu erreichen, erfolgt der Aufbau von Bildsystemen nach den Prinzipien des HHI - Konzepts VisionLike TeleVision.

Für die Reproduktion dreidimensionaler Szenen werden am HHI stereoskopische Bildwiedergabeverfahren entwickelt, die eine uneingeschränkte und augenverträgliche Informationsdarstellung ermöglichen. Die natürlichen Funktionen der begrenzten Schärfentiefe und der Kopplung zwischen Akkommodation und Konvergenz des visuellen Systems müssen dazu ebenso wie die Aspektveränderungen bei Änderungen des Betrachterstandortes mithilfe einer dynamischen Anpassung der Bildsignale an den jeweiligen Fixationspunkt und die jeweilige Betrachterposition nachgebildet werden. Dieses

Vorgehen erfordert neue Bildsignalverarbeitungsverfahren zur Erzeugung einer synthetischen Schärfentiefe, zur Berechnung perspektivischer Zwischenansichten und zur video-basierten Ermittlung der Augen- und Fixationspunkte. Diese Themen werden im Projekt ***Verfahren zur blickgesteuerten Interaktion mit autostereoskopischen Multimedia-Displays*** bearbeitet. Eine Demonstration dieser Funktionen soll auf einem autostereoskopischen Arbeitsplatz-Display erfolgen, bei dem statt einer Maus-gesteuerten Benutzeroberfläche ein Blickpunkt-gesteuerter Benutzer-Interaktionsraum verwendet wird. Teilthemen werden gemeinsam mit europäischen Partnern im Rahmen des laufenden ACTS-Projekts ***Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems and Applications (PANORAMA)*** verfolgt.

Die räumliche Bildwiedergabe mittels Stereoskopie erfordert einen Mechanismus zur optischen Bildtrennung, d.h. zur getrennten Zuweisung je einer Ansicht zu jedem Auge. Bildtrennung durch Spezialbrillen mit Polarisationsfiltern oder mit alternierender Bildzuweisung (Shutterbrillen) sind erprobte Verfahren, sie sind aber für zahlreiche Anwendungen ungeeignet. Zur Bildtrennung ohne Brillen (Autostereoskopie) werden im HHI Linsenrasterschirme entwickelt, die die Bildpunktstruktur von Direktsichtdisplays und von Videoprojektoren richtungsselektiv den Betrachteraugen zuführen. Im Vorhaben ***Zweikanaliges Linsenrasterverfahren für 3D-Bildwiedergabe mit Trackingsystem*** wird nun versucht, einen speziellen Doppel-Linsenrasterschirm für die Rückprojektion mit nachgeführten Projektoren zu entwickeln. Rückprojektion ermöglicht eine Darstellung kontrastreicher Bilder bei normaler Umgebungsbeleuchtung. Diese Eigenschaft wird vor allem bei der Bildkommunikation gefordert. Mit der Projektornachführung bietet sich die Möglichkeit, die optischen Strahlenbündel wechselnden Betrachterpositionen nachzuführen. In Verbindung mit neuen Verfahren zur Berechnung perspektivisch korrekter Zwischenansichten wird es dann auch möglich sein, mit diesem Display Bewegungsparallaxe wiederzugeben. Dieses Verfahren wird in dem o.g. Vorhaben ***Verfahren zur blickgesteuerten Interaktion mit autostereoskopischen Multimedia-Displays*** weiterentwickelt.

Im Vorhaben ***Telepräsenz am Arbeitsplatz*** werden die bisher an Zweipunkt-Videokonferenzen gewonnenen Erkenntnisse zum Einsatz von 3D-Techniken auf Multipoint-Arbeitsplatz-Konferenzsysteme angewendet und erweitert. Dabei werden verschiedene optische, kinematische und signalverarbeitende Verfahren entwickelt, mit denen die unverzerrte Wiedergabe der Bewegungsparallaxe, der Objektform und -größe und des Blickkontakts möglich sind und mit denen eine perspektivisch korrekte Bildmischung sowie 3D-Fernzeigen mit der tiefenrichtigen Plazierung einer Zeigemarke auf der Oberfläche der dargestellten Objekte durchgeführt werden können. Die im Vorhaben entwickelten Verfahren sollen mittels eines autostereoskopischen Arbeitsplatzdisplays demonstriert werden. Ein weiteres Thema in diesem Vorhaben ist die Ermittlung von Anforderungen an Bildtechniken, die eine informelle Kommunikation unterstützen. Damit sind Formen der nicht-geplanten und nicht-moderierten Kommunikation zwischen mehreren Teilnehmern gemeint.

Die Bestimmung der Irrelevanz in Videosequenzen aufgrund der unvollkommenen Verfolgung bewegter Objekte mit dem Auge war das Ziel des inzwischen abgeschlossenen Vorhabens ***Fernseh-Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten***. Unter Verwendung neuer Daten der raum-zeitlichen Filterung und des Blickfolgeverhaltens des visuellen Systems wurde ein Modell aufgestellt, das die letztlich erreichbare visuelle Bildschärfe bei beliebigen bewegten Szenen vorherzusagen gestattet. Um diese Daten bei der Irrelevanzeliminierung in Codierverfahren anwenden zu können, mußte ein Weg gefunden werden, die modellierten Übertragungseigenschaften des visuellen Systems in zulässige Luminanz-Quantisierungsfehler umzudeuten.

Projekte und Arbeitsgruppen Kommunikationsnetze

Hinweis:
Am Kopf jeder Beschreibung sind die beteiligten Abteilungen durch Abkürzungen gekennzeichnet. Die federführende Abteilung ist durch Fettdruck hervorgehoben. Die Bedeutung der Abteilungsabkürzungen ist im Organigramm auf Seite 12 erklärt.

Architekturen in optischen Netzen

Projektleiter: Dr. J. Giglmayr — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: NA

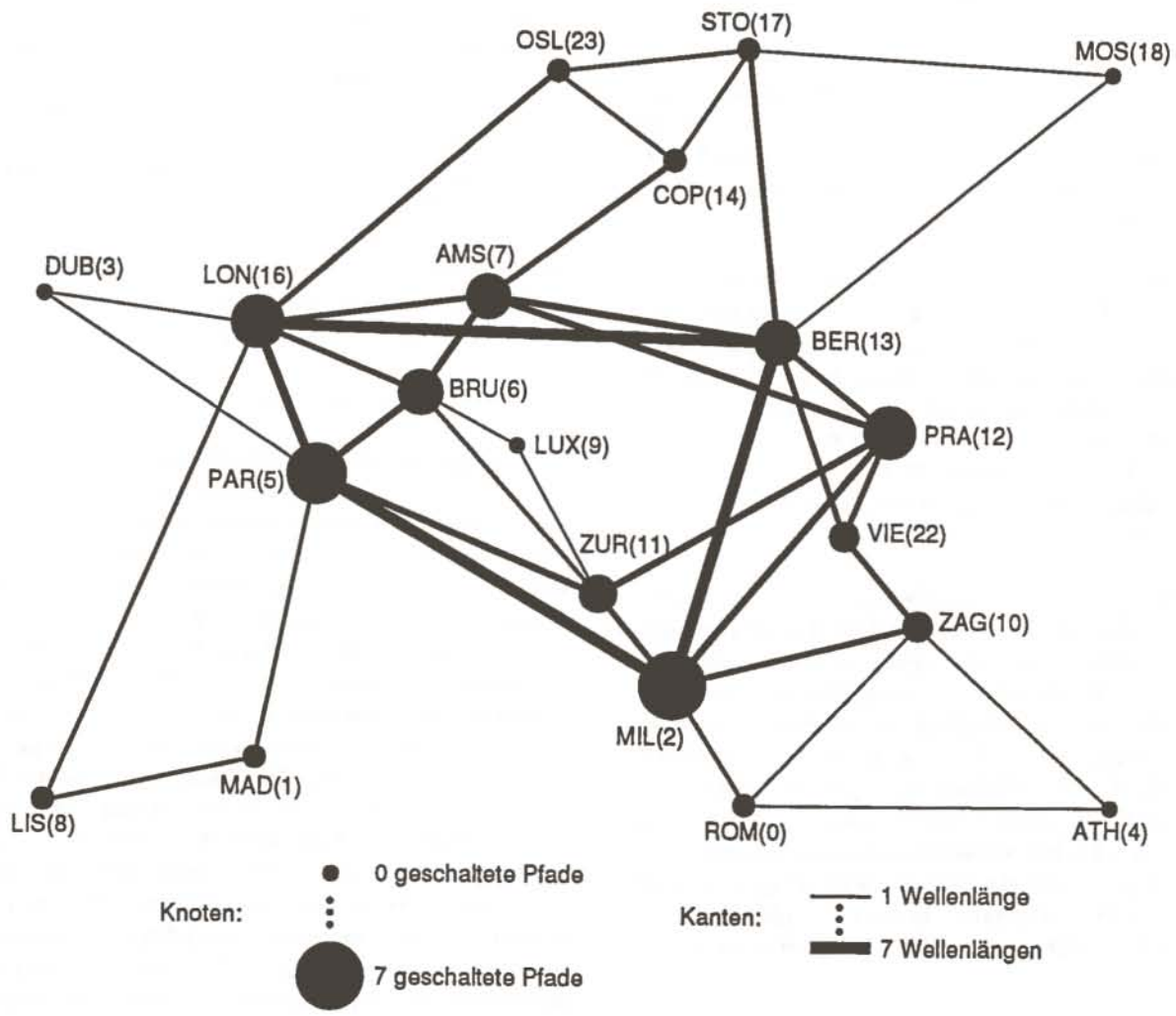
Ziel

Das Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung von Architekturen und Algorithmen von OFDM-Netzen mit einer Vermittlung sowohl im Raum als auch im Frequenzbereich. Auf jeder Faser zwischen den Crossconnects ist eine feste Zahl von Frequenzkanälen vorgesehen. Für einen Weg zwischen zwei Knoten sollte möglichst nur eine feste Wellenlänge verwendet werden. Führen mehrere Wege über ein- und dieselbe Faser, sind den einzelnen Wegen verschiedene Wellenlängen zuzuordnen. Gegebenenfalls muß eine Frequenz auf eine andere umgesetzt werden, oder der Verbindungswunsch geht verloren.

Die Untersuchung umfaßt das Auffinden geeigneter Topologien des Netzes, die Entwicklung von Algorithmen für die Wellenlängenzuordnung, für das Routen von Signalen im Netz durch Selbststeuerung und die Bestimmung der erforderlichen Größe der einzelnen Knoten (Crossconnects). Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Computer-Programme eines optischen Netzes umgesetzt.

Ergebnisse

Knotenarchitekturen (z.B. für Crossconnects) mit mehrstufigen 2-D Verbindungssystemen wurden untersucht. Für blockierende und nicht-blockierende 2-D Shuffle-Netze wurde ein Selbststeuerungs-Algorithmus auf der Basis der Numerierung der Ein- und Ausgangs-Arrays durch Paare in Gemischt-Zahlen-Basis-Darstellung angegeben /7/. Damit läßt sich Selbststeuerung auch auf gemischte Shuffle (Shuffle für eine Koordinate und inverses Shuffle für die andere) anwenden. Für zwei mehrstufige



Europa-Graph der Cost-239 Arbeitsgruppe mit der Zahl der verschiedenen Wellenlängen auf den Kanten und der Zahl der über diese Knoten führenden (kürzesten) Pfade (Vermittlungsbedarf) bei gleichzeitiger Kommunikation aller Knotenpaare

2-D Architekturen mit optischen Verbindungen nur zwischen benachbarten Schaltern (Spanke-Benes-Netz und homogenes Netz von 4x4-Schaltern) wurde, im Vorgriff auf die Erzeugung beliebiger Permutationen, das Sortieren von Datenfeldern/Datenwürfeln gezeigt /8/.

Einbettungen von realen Netzen in reguläre gerichtete (de Bruijn- und Kautz-) Graphen mittels C++-Programmen wurden untersucht. So wurde das Europa-Netz der Arbeitsgruppe Cost-239 mit 20 Knoten in den de Bruijn-Graph B(5,2) mit 25 Knoten eingebettet (Grad $\Delta = 5$, Durchmesser $D = 2$). Damit lassen sich Selbststeuerung und Fehlertoleranz auf reale Netze übertragen. Die fünf nicht eingebetteten Knoten werden durch einen fehlertoleranten Algorithmus umfahren, der im Projekt erarbeitet wurde.

Die de Bruijn-Graphen wurden als geeignete Architekturen für mehrstufige optische Freistrahl-Verbindungssysteme /5/ und die Kautz-Graphen für optische selbststeuernde Glasfaser-Netze erkannt /6/. Innerhalb der Familie der Kautz-Graphen wurden Einbettungen gefunden (sog. n-gon-Netze), die es erlauben, die Fehlertoleranz von Kautz-Graphen maximal zu nutzen und die Schranke von 2Δ-1 (Zahl der tolerierbaren Knotenausfälle) zu überschreiten. Kritische Knoten eines realen Netzes sind auf die Knoten der n-gons zu legen. Für diese n-gons wird zur Zeit ein Selbststeuerungs-Algorithmus entwickelt.

Summen und Produkte von de Bruijn- und Kautz-Graphen wurden bestimmt und untersucht. Insbesondere wurde diese analytisch/numerisch durch Differenzen-Gleichungen für die Zahl der Knotenpaare mit minimaler Distanz beschrieben, aus der sich die mittlere Distanz im Netz und die mittlere Ladung der Kanten (= Zahl der Wellenlängen) bestimmen läßt. Dasselbe gilt für die Einbettungen, so daß ev. auch reale Netze auf diese Weise beschrieben werden können.

Die Zahl der gemeinsamen Kanten (= Zahl der verschiedenen Wellenlängen) für den Fall der gleichzeitigen Kommunikation aller Knotenpaare in einem OFDM-Netz wurde untersucht, und ein Konzept für die optimale Zuordnung von Wellenlängen zu den Pfaden in einem Netz wurde angegeben /3/. Ein Simulator in C++ wurde fertiggestellt, der für beliebige Netze die Knotenbelastung/Vermittlungsbedarf (= Zahl der über einen Knoten führenden Pfade) für verschiedene Routing-Strategien (z.B. shortest path) und die Zahl der Wellenlängen (s. **Bild**) bestimmt. Diese Ergebnisse können mit Hilfe der Einbettungen in reguläre Graphen (s.o.) überprüft werden.

Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme

Leiter: Dipl.-Ing. K.-D. Langer — Finanzierung: HHI
Abteilung: NA/OV

Ziel

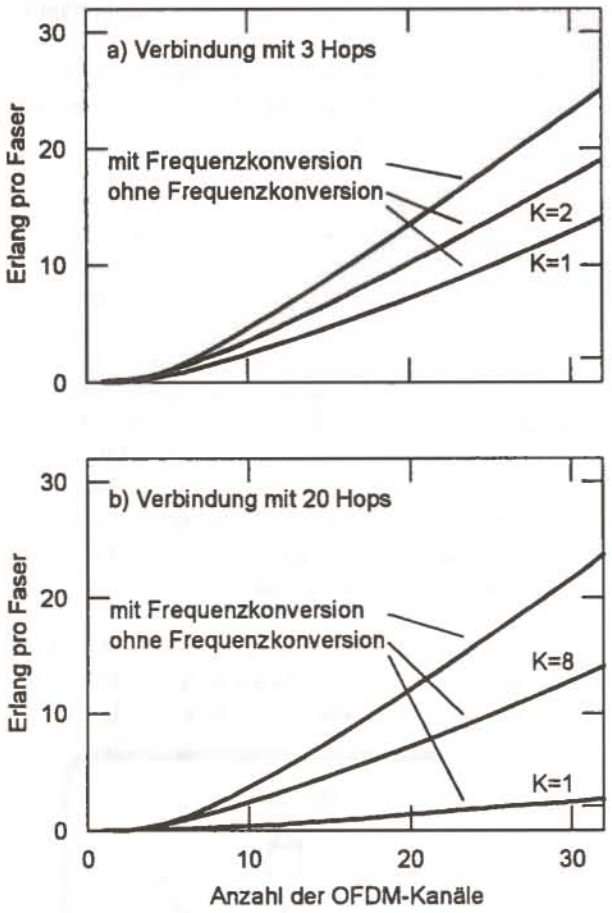
In enger Zusammenarbeit mit hausinternen Projekten sowie Industrie, Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen sollen spezifische Fragen photonischer Kommunikationsnetze bearbeitet werden.

Ergebnisse

Transparenzbegrenzung in optischen Netzen
Optisch transparente Kommunikationskanäle zeichnen sich u.a. durch Flexibilität in Übertragungsformat und -geschwindigkeit aus. Neben der Übertragungs- und Vermittlungstechnik sind davon insbesondere Steuerungs- und Managementfunktionen sowie Dienstarten betroffen. Im Rahmen des Projektes "Transparenzbegrenzung in optischen Netzen" (s.S. 37) wurde der Einfluß einer optisch transparenten Transportebene auf die Architektur des Core-Netzes untersucht. Basierend auf den derzeit international diskutierten Vorschlägen und Experimentalsystemen sind die dahinterstehenden Netzkonzepte unter Berücksichtigung der Anforderungen an künftige Fernnetze klassifiziert und verglichen worden. Im nächsten Schritt folgt eine Gegenüberstellung mit den Resultaten der im o.g. Vorhaben durchgeführten Ringexperimente.

Einfluß der Frequenzkonversion auf die Netz-Performance
Das Konzept des Virtual-Wavelength-Path (VWP) setzt die Möglichkeit der Frequenzkonversion in den Netzknoten voraus. Die Anzahl der konkurrierenden Hops auf den Faserabschnitten eines solchen Netzes hängt von dessen Struktur und von der Verkehrsverteilung im Netz ab. Grundsätzlich steigt die für eine einzuhaltende Blockierung erreichbare Verkehrslast pro Faser mit der Anzahl vorhandener OFDM-Kanäle. Die mit dem VWP-Konzept mögliche Verkehrslast kann deshalb in vielen Fällen auch mit dem Wavelength-Path-Konzept, d.h. ohne Frequenzumsetzer, erreicht werden. Die Frage, wieviel zusätzliche OFDM-Kanäle dann nötig sind, läßt sich mit Hilfe eines relativ einfachen Rechenmodells beantworten. Danach kommen wenig vermaschte Netze und solche mit geringer Anzahl von Hops ohne Frequenzkonversion aus. Das **Bild 1a** zeigt, daß mit wenigen zusätzlichen Kanälen die gleiche Verkehrsauslastung erzielt wird. Unverzichtbar sind Frequenzkonverter dagegen bei stark vermaschten Netzen mit einer großen Anzahl von Hops. Wie aus **Bild 1b** ersichtlich ist, hätte der Verzicht auf Frequenzkonverter einen unverhältnismäßigen Mehrbedarf an OFDM-Kanälen zur Folge. Allerdings muß der optische

Pfad in stark vermaschten Netzen oft über zahlreiche Frequenzkonverter geführt werden, was zu einer erheblichen Signaldegradation führen kann. Bei einem Netz mit vorgegebener Topologie und Kapazität besteht also das allgemeine Problem in einem Aufwandsvergleich hinsichtlich Zahl der Frequenzkanäle, der Frequenzkonverter, der Regeneratoren und der Steuerung. Hierfür sind Simulationen mit realistischen Parametern erforderlich.



Verkehrsauslastung im OFDM-Netz mit und ohne Frequenzkonversion in Abhängigkeit der Anzahl von OFDM-Kanälen für die Blockierwahrscheinlichkeit 10^{-3} (K = Anzahl konkurrierender Hops)

Methoden und Programmwerkzeuge für die Planung von photonischen Backbone-Netzen

Diese Kooperation mit der Siemens AG, München, und der Universität Stuttgart hat die Entwicklung von Methoden und Programmwerkzeugen für die Netzgestaltung sowie die Planung und Optimierung von Netzknoten und Netzstrukturen zum Ziel. Es wurden die wesentlichen physikalischen und technologischen Randbedingungen insbesondere für Frequenzkonverter und Raumschalter ermittelt und darauf aufbauend erste Koppelnetzkonzepte erarbeitet. Hierbei standen Doppel-Crossbar-, Dilated Benes- und Baum-Strukturen im Vordergrund, da diese verglichen mit dem gewöhnlichen Crossbar oder n-stufigen planaren Anordnungen deutlich bessere Dämpfungs- und Crosstalk-Eigenschaften haben.

Coherent Optical Broadband Island (COBI)

Projektleiter: Dipl.-Ing. J. Saniter — Auftraggeber: Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.1.91-28.2.95 — Abteilung: NA/OV

Ziel

Optische Frequenzmultiplexsysteme mit geringem Kanalabstand sind wegen ihrer sehr großen Übertragungskapazität, ihrer Flexibilität hinsichtlich der zu vermittelnden Dienste und Bandbreiten sowie wegen ihrer einfachen Erweiterbarkeit sehr attraktiv für Anwendungen im Local Area Network (LAN)-Bereich. Dadurch, daß die Teilnehmer nur durch ein passives optisches Netz miteinander verbunden sind, steht die gesamte Bandbreite der Einmoden-Glasfaser von ca. 50 000 GHz für die Übertragung zur Verfügung.

In dem Vorhaben sollte das Potential der optischen Frequenzmultiplextechnik (OFDM = Optical Frequency Division Multiplex) mit einem Kanalabstand von ca. 10 GHz für den Einsatz in einem lokalen Breitband-Kommunikationsnetz untersucht und demonstriert werden. Die Teilnehmer sind über ein passives optisches Netzwerk miteinander verbunden Jeder Teilnehmer sendet auf einer festen, ihm zugewiesenen optischen Frequenz. Der gerufene Teilnehmer stimmt seinen frequenzselektiven, durchstimmbaren Empfänger auf die optische Frequenz des rufenden Teilnehmers ab. Arbeitsschwerpunkte in den ersten drei Jahren des Vorhabens waren theoretische Untersuchungen über Systemkonzepte und Netzstrukturen für passive optische Netze sowie die Entwicklung von optischen Sendern und Überlagerungsempfängern für den bidirektionalen Anschluß der Teilnehmer an das optische Kommunikationsnetz. Ferner wurde zur relativen und absoluten Frequenzstabilisierung der Laser in den optischen Sende- und Empfangseinheiten eine Überwachungs- und Regeleinheit konzipiert und aufgebaut. Für Systemtests der entwickelten Baugruppen sollte ein Experimentalsystem erstellt werden.

Ziel des letzten Projektabschnittes war die theoretische und experimentelle Untersuchung der Erweiterung lokaler Inselnetze zu größeren optischen Kommunikationsnetzen. Das Vorhaben wurde in Absprache und im engen Kontakt mit dem Forschungs- und Technologiezentrum (FZ) der Deutschen Telekom AG durchgeführt.

Ergebnisse

Das Vorhaben wurde Ende Februar 1995 erfolgreich abgeschlossen. Nachdem zu Beginn des Projektes verschiedene Strukturen für passive optische Breitbandnetze untersucht worden sind, wurde ein neuartiges "Bypassed Star Coupler"-Netz für 72 Teilnehmer exemplarisch auf-

gebaut und in seinen wesentlichen Eigenschaften charakterisiert. Die Struktur des Übertragungsnetzes wurde so gewählt, daß die angeschlossenen Teilnehmer sämtliche in dem Netz übertragenen Informationen empfangen können, außer den von ihnen selbst gesendeten. Es wurden vier Teilnehmerstationen mit jeweils einem rechnergesteuerten optischen Sender und Empfänger fertiggestellt. Die Vermittlung für die Kommunikation der Teilnehmerstationen untereinander erfolgt über ein Overlay-Netz. Zur absoluten und relativen Stabilisierung und Überwachung der Frequenzen der optischen Sender wurde eine Stabilisierungseinheit aufgebaut, mit der der Kanalabstand auf 9 GHz mit einer absoluten Genauigkeit von ca. +/- 250 MHz geregelt wird.

Für die Kopplung unterschiedlicher optischer LANs gibt es zwei Möglichkeiten, die beide in dem Vorhaben untersucht wurden /9, 12/:

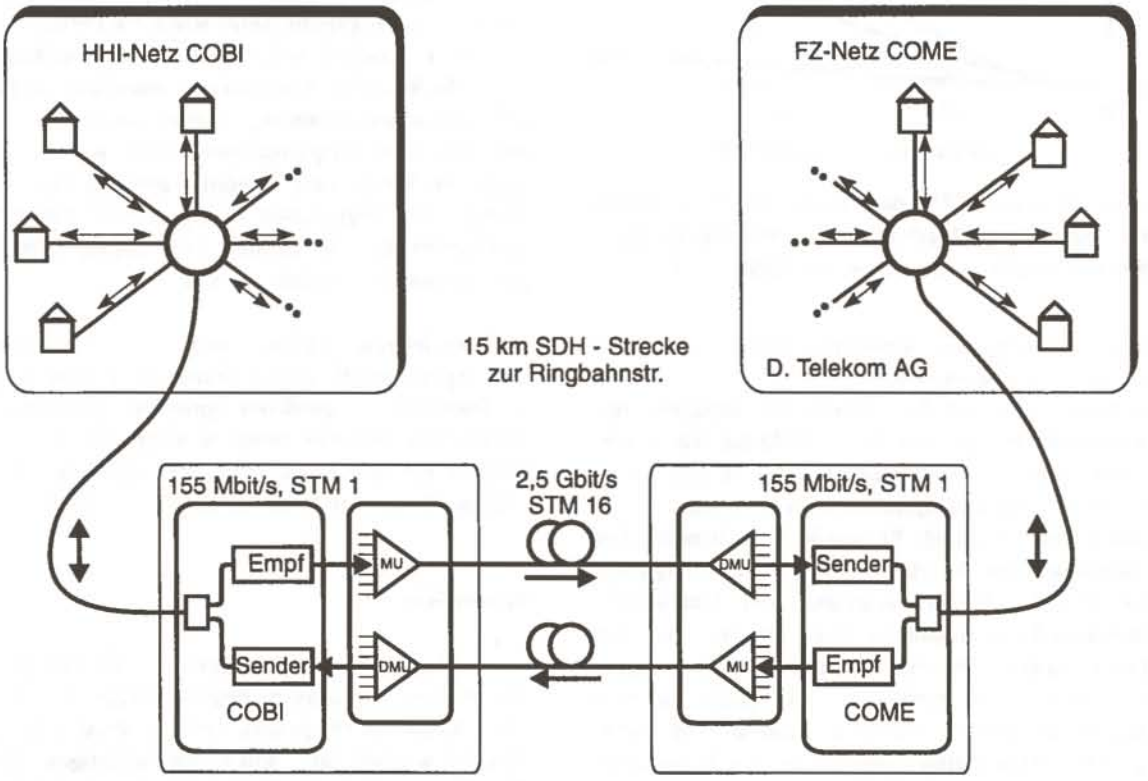
- die opto/elektronische Netzkopplung und
- die rein optische Netzkopplung.

Das COBI-Netz des HHIs wurde im März 1994 mit einem OFDM-Netz im FZ der Deutschen Telekom AG über einen opto/elektronischen Gateway gekoppelt. Je Richtung wurde hierfür ein abstimmbarer optischer Empfänger, ein optischer Sender und eine 15 km lange Glasfaserverbindung eingesetzt. Als nächster Schritt wurde diese Netzkopplung durch die Einführung einer kommerziellen 2,5 Gbit/s-SDH-Strecke erweitert, die das Potential für 16 Duplexverbindungen bei 155 Mbit/s bietet (s. **Bild**). Durch dieses Experiment konnte gezeigt werden, daß sehr leistungsfähige zukünftige OFDM-Netze mit kommerziell eingeführten und genormten Systemen kombiniert werden können. Diese Art der Netzkopplung wurde zusammen mit dem FZ der Telekom AG anläßlich der internationalen Tagung ISS '95 im April 1995 einem Fachpublikum durch Schaltung von Video-Konferenzverbindungen demonstriert.

Bei der opto/elektronischen Netzkopplung ist eine Umsetzung der optischen Frequenzen und Modulationsverfahren - angepaßt auf das jeweilige Netz - leicht möglich. Das ist insbesondere bei der Kopplung heterogener Netze vorteilhaft. Als weiterer Vorteil ist die Signalregeneration zu sehen. Nachteilig dagegen ist, daß das Gesamtsystem nicht mehr transparent ist.

Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen der rein optischen Netzkopplung von zwei OFDM-Netzen mit jeweils vier Teilnehmerstationen über ein zentrales optisches Verbindungsnetz wurde ebenfalls während der Projektlaufzeit durchgeführt /10/. Bei der rein optischen Netzkopplung muß durch Wahl geeigneter Strukturen sowohl der Teilnehmernetze als auch des zentralen Verbindungsnetzes sichergestellt werden, daß eine Mehrwegeübertragung oder Schleifenbildung ausgeschlossen ist. Hierfür wurden grundlegende Vorschläge erarbeitet und experimentell verifiziert. Bei der Übertragung zwischen den Netzen wurde keine Penalty gegenüber Übertragungen innerhalb der Netze festgestellt.

Die Arbeiten zur transparenten optischen Netzkopplung wurden in enger Zusammenarbeit mit dem BMBF-Vorhaben "OFDM-LAN mit optischer Filtertechnik" durchgeführt.



Opto/elektronische Netzkopplung über eine kommerzielle SDH-Strecke, demonstriert zur ISS '95

OFDM-LAN mit optischer Filtertechnik mit den Teilvorhaben: Optisch-transparente Zusammenschaltung von OFDM-Inselnetzen

Projektleiter: Dipl.-Ing. J. Saniter

OFDM-LAN/MAN

Projektleiter: Dipl.-Ing. F.-J. Westphal
Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98
Abteilung: NA/OV

Ziel

Aufbauend auf dem Photonik I Projekt "OFDM-Vermittlungssystem mit 3D-Raumstufen" und dem von der Telekom geförderten Projekt "Coherent Optical Broadband Island (COBI)", sollen in dem Vorhaben sowohl neuartige breitbandige optische Frequenzmultiplexsysteme mit geringem Kanalabstand (OFDM-Systeme) als auch generelle Aspekte der Erweiterbarkeit und Kopplung von OFDM-Netzen unterschiedlicher Topologie systemtheoretisch und experimentell untersucht werden. Ziel der Arbeiten ist es, die Vorteile von OFDM-Systemen im Customer- und Access-Bereich durch die Realisierung eines sehr flexiblen Demonstrators aufzuzeigen, mit dem auch die Untersuchung neuer Systemkomponenten möglich ist.

Die zu untersuchenden OFDM-Systemkonzepte basieren auf dem Einsatz von optischen Filtertechniken, die eine verlustfreie Zusammenführung und Trennung der Kanäle erlauben. Diese Eigenschaften sollen in neuen Netztopologien für z.B. "Frequency-Self-Routing" Strukturen experimentell untersucht werden, bei denen auch eine Mehrfachnutzung gleicher optischer Frequenzen (Frequency re-use) möglich ist. Die benötigten Filter sollen im Rahmen einer Kooperation von der Universität Dortmund (Prof. Voges) und der Firma "IOT-Entwicklungsgesellschaft für integrierte Optik-Technologie mbH" (IOT) hergestellt werden. Weiterführende Arbeiten zu den Filtern sollen in dem HHI-Projekt "Integrierte Wellenleiterkomponenten auf SiO_2/Si-Basis für OFDM-Systeme" durchgeführt werden.

Neue, universelle Netzstrukturen sollen sowohl für die direkte als auch für die hierarchische transparente optische Kopplung von OFDM-Inselnetzen konzipiert werden. Hierbei soll die Netzkopplung rein passiv erfolgen. In einem Demonstrator soll die transparente optische Kopplung von unterschiedlichen OFDM-Inselnetzen untersucht werden.

Bei allen zu untersuchenden Netzen, die für den Accessbereich konzipiert werden, soll auf den Einsatz von optischen Schaltern und Frequenzumsetzern verzichtet werden.

Ein weiterer wesentlicher Arbeitspunkt ist der experimentelle und theoretische Vergleich von Überlagerungsempfängern mit frequenzselektiven Direktempfängern, bei denen abstimmbare Filter zur Kanalselektion verwendet werden. Von besonderer Bedeutung hierbei ist die systemorientierte Untersuchung des monolitisch integrierten Überlagerungsempfängers, der in dem HHI-Vorhaben: "Integrationstechnologie: Frequenz-selektive abstimmbare Empfänger-OEICs auf Indiumphosphid-Basis für OFDM-Systeme" entwickelt wurde.

Schwerpunktmäßig sind dem Teilprojekt "Optisch transparente Zusammenschaltung von OFDM-Inselnetzen" die Kopplung von Netzwerken zu größeren Netzstrukturen und dem Teilprojekt "OFDM-LAN/MAN" die Untersuchung optischer Filter- und Empfängertechniken für OFDM-Netzwerke zuzuordnen.

Ergebnisse

Die Arbeiten konzentrierten sich 1995 auf die folgenden Schwerpunkte:

- Opto/elektronische Netzkopplung
- Optisch transparente Kopplung von transmissiven Netzwerken
- Vergleich von Direkt- und Heterodyn-Empfangskonzepten
- Abstimmbare Sendemodule
- Konzeptionelle Arbeiten zum Einsatz der OFDM-Technik in einem Feldversuch
- Untersuchung des Potentials der CDMA-Technik für den Einsatz im Access-Bereich

Teilprojekt Optisch transparente Zusammenschaltung von OFDM-Inselnetzen:

Opto/elektronische Netzkopplung:
Aufbauend auf den Arbeiten des COBI-Projektes (Projektende: Februar 1995) wurden die Untersuchungen und Experimente zur opto/elektronische Netzkopplung eines OFDM-LAN im HHI mit einem OFDM-Netz im FZ-Berlin der Deutschen Telekom AG weitergeführt. Insbesondere konnte durch den Einsatz einer 2,5 Gbit/s SDH-Strecke gezeigt werden, daß die OFDM-Technology mit heute kommerziell erhältlichen SDH-Komponenten kombinierbar ist. Gemeinsam mit der Deutschen Telekom AG wurde ein Signalisierkonzept zur Steuerung der Verbindungsvorgänge entwickelt und implementiert. Mit dem System wurden anläßlich der ISS '95 Videokonferenzschaltungen demonstriert /9, 12/.

Optisch transparente Kopplung von transmissiven Netzwerken:
Transmissive Netzwerktopologien haben gegenüber reflektiven Strukturen, insbesondere bei dem vorgesehenen Einsatz von frequenzselektiven Bauelementen und in

Hinblick auf die optisch transparente Netzkopplung, erhebliche Vorteile. An Störstellen oder Bauelementen reflektiertes Licht gelangt nicht direkt zu den Empfängern, sondern kann allenfalls über eine zweite Reflexionsstelle wesentlich abgeschwächt die Empfänger erreichen. Die Forderung nach Mehrwegefreiheit bei der Netzkopplung konnte durch im Projekt entwickelte Netzwerktopologien erreicht werden /10/. Die rein optische Kopplung von zwei transmissiven lokalen Netzen über ein passives zentrales Sternnetzwerk wurde in einem Systemexperiment mit vermittelten Videoverbindungen und Fehlerratenmessungen erstmals demonstriert /11/.

Dabei wurden zwei OFDM-Netze mit jeweils vier angeschlossenen Teilnehmerstationen transparent miteinander gekoppelt (s. **Bild**). Neben Heterodynempfängern wurde in einer Teilnehmerstation ein Direkt-Emfänger mit abstimmbarem Fabry-Perot-Filter eingesetzt. Die Bitfehlerratenmessungen zeigten kein Penalty für Verbindungen zwischen den Netzen im Vergleich zu Verbindungen innerhalb der Netze.

Teilprojekt OFDM-LAN/MAN

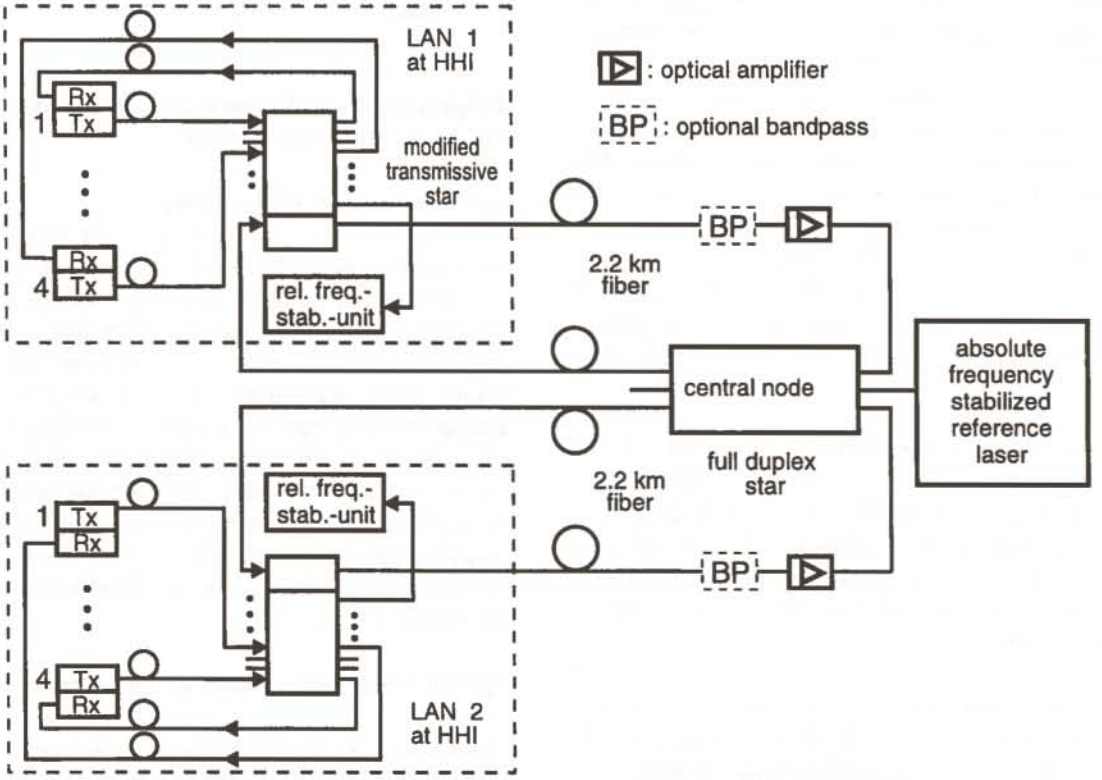
Untersuchung und Einsatz von Direkt- und Heterodyn-Empfängern:
Für OFDM-Kommunikationssysteme ist die Wahl des geeigneten Empfangskonzeptes von entscheidender Bedeutung. Es wurden daher in dem Vorhaben beide Empfangskonzepte weiterverfolgt.

Ein monolithisch integrierter Polarisations-Diversity-Überlagerungsempfänger-OEIC im redesignten Gehäuse wurde charakterisiert. Es wurde gezeigt, daß durch die überarbeitete Aufbautechnik der Frequenzgang des Empfängers wesentlich verbessert werden konnte.

Der Direktempfänger wurde mit einer AFC erweitert und durch die Entwicklung und Implementierung von Protokollsoftware zur vollständigen Teilnehmerstation aufgebaut. Dadurch erhielt der Direktempfänger Systemfähigkeit und konnte in dem Demonstrator eingesetzt werden.

Abstimmbare Sendemodule:
Wegen des limitierten Abstimmbereiches der Empfänger ist in Kommunikationssystemen die zur Verfügung stehende optische Bandbreite nach wie vor eine begrenzte Ressource. Der zusätzliche Einsatz von abstimmbaren Sendelasern hat hier mehrere Vorteile:

- Bei der transparenten Netzkopplung ist eine Mehrfachnutzung der Frequenzen (frequency re-use) notwendig, weil sonst die insgesamt benötigte Bandbreite den Abstimmbereich heute verfügbarer Empfänger überschreiten würde. Für diese frequency re-use Konzepte sind abstimmbare Sendemodule notwendig. Erste Laborexperimente mit einem abstimmbaren Sendelaser wurden durchgeführt.



Rein optische Kopplung von zwei transmissiven OFDM-Netzen

- Durch eine geeignete Stellung der Frequenz von Sendelasern und Lokallasern im optischen Spektrum zueinander konnte ein neuartiges Kanalbelegungsschema entwickelt werden, das die Anzahl der verfügbaren Kanäle verdoppelt. Dieses Schema läßt sich auch mit dem Lasersharing der Sendediode mit dem Lokaloszillator in einer Teilnehmerstation verbinden. Hierzu wurden Experimente durchgeführt, mit denen eine fehlerfreie Übertragung bei halbiertem Kanalabstand gezeigt werden konnte.
- Dadurch, daß nur aktive Teilnehmern freie Sendekanäle dynamisch zugewiesen bekommen, können bedeutend mehr Teilnehmer an ein Kommunikationssystem angeschlossen werden, als OFDM-Kanäle zur Verfügung stehen.

Weiterführende Arbeiten beider Teilprojekte:

Mit der konzeptionellen Gestaltung eines Feldversuches, bei dem ein breitbandiges OFDM-Overlaynetzwerkes für ein vorhandenes ATM-Netz demonstriert werden soll, wurde begonnen. Das ATM-Netz soll für Signalisier- und Managementaufgaben genutzt werden.

Für Anwendungen im Accessbereich wird verschiedentlich der Einsatz der optischen CDMA-Technik (Code Division Multiple Access) vorgeschlagen. Als Vorteil wird genannt, daß eine große Zahl von Teilnehmern asynchron miteinander korrespondieren können. Es wurden intensive Voruntersuchungen begonnen, um das Potential der CDMA-Technik mit Codierung sowohl im Zeit- als auch im Frequenz- Bereich für Anwendungen im Accessbereich abzuschätzen und mit konkurrierenden Systemkonzepten (WDMA bzw. TDMA) zu vergleichen. Nach dem bisherigen Stand der Untersuchungen sind keine prinzipiellen Vorteile der CDMA-Technik gegenüber WDMA/TDMA-Techniken zu erkennen. Die Funktionsfähigkeit und Verfügbarkeit aufwandsarmer CDMA -Sender und -Empfänger muß erst noch demonstriert werden.

Coherent Optical Systems Implemented for Business Traffic Routing and Access (COBRA)

Projektleiter: Dr. C. v. Helmolt	Förderer: EU (50%), BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.92-31.12.95	Abteilung: **NA/OV**, IT, MT, ST

Ziel

Wesentliches Ziel des RACE-Vorhabens COBRA war es, die kurz- und mittelfristige Implementation kohärent optischer Vielkanal Systeme in Nebenstellenanlagen (Business Customer Premises Network, BCPN), in Verbindungsleitungen dieser BCPNs sowie in Transitnetzwerken für flexible und rekonfigurierbare Verbindungen zu zeigen.

Zu diesem Zweck wurden folgende Demonstratoren aufgebaut:
- Videokonferenzsystem (140 Mbit/s bei der PTT in Portugal)
- Multimedia Kommunikationssystem (155 Mbit/s) bei der PTT in Holland
- HDTV Vermittlungssystem (2,5 Gbit/s) im Fernsehstudio der BBC in England als Overlay zu einem WDM-System
- Ein Netz rekonfigurierbarer Knoten (Reconfigurable Nodes, RENOs als Crossconnects) für flexible Verbindungen im Transitnetzwerk (2,5 Gbit/s) bei Philips in Holland.

Das COBRA Konsortium bestand aus den Firmen Philips (NL, Coordinator), GPT (UK), Siemens (D), den Instituten IMEC (B) and HHI (D) sowie den Anwendern BBC (UK), CET (P) und KPN Research (NL). Der personelle Gesamtaufwand betrug ca. 120 Mannjahre.

Die drei industriellen Partner lieferten die kohärenten Sender und Empfänger, die Anwender die nötige Infrastruktur. Für die 140 Mbit/s und 155 Mbit/s-Demonstratoren wurden die Einrichtungen vom Vorläuferprojekt (RACE 1010) - teilweise in modifizierter Form - eingesetzt. Die 2,5 Gbit/s Sender und Empfänger für den BBC- und RENO-Demonstrator wurden neu entwickelt. Weitere Projektziele waren die Weiterentwicklung von Lasern mit hoher Modulationsgrenzfrequenz, die Entwicklung und die Aufbautechnik integriert optoelektronischer Komponenten, die Anfertigung von Systemstudien zum Einsatz der CMC-Technik sowie die Untersuchungen anwenderspezifischer Fragen.

Das HHI hatte u.a. die Entwicklung der Frequenzstabilisierungseinheiten für den RENO- und den BBC-Demonstrator übernommen. Weitere HHI-Aktivitäten beinhalteten die Untersuchung verbesserter Laser-Frequenzstabilisierungsverfahren, das Erstellen von Systemstudien sowie die Realisierung der Basisversion eines integrierten Überlagerungsempfängers.

Ergebnisse

Für den Einsatz von Lasern in kohärent optischen Systemen ist die meßtechnische Erfassung bestimmter Parameter wie Linienbreite, FM- und AM-Frequenzgang, etc. eine grundlegende Voraussetzung. Hierfür waren bisher separate Meßplätze nötig mit z.T. recht zeitaufwendigen Meßverfahren. Zur Messung der oben genannten Parameter sowie des Linienbreitenvergrößerungsfaktors α konnte ein neuartiges Meßverfahren /15/ entwickelt werden, das auf einem einzigen kommerziell erhältlichen Meßplatz (HF-Spektrumanalysator mit optoelektronischem Wandler, Mitlaufgenerator sowie faseroptischem Mach-Zehnder Interferometer) beruht und vom Rechner steuerbar ist. Mit dem genannten System lassen sich AM-Indices $m > 0{,}01\%$ und FM-Hübe von ca. 10 MHz bis 20 GHz bestimmen. Neben der Theorie sind in /15/ zahlreiche Meßergebnisse beschrieben.

Der BBC Demonstrator wurde abgesehen von seinem Standort im BBC-Forschungszentrum im März in Turin (RAI) sowie im September in Oslo (NRK) der Öffentlichkeit vorgestellt. Der vom HHI entwickelte und im Jahre 1994 bereitgestellte "Wavelength manager" hat als Meßbereich das gesamte EDFA-Band und ist somit fähig, mehrere hundert Sender zu regeln /14/. Er enthält eine interne Kr-Frequenzreferenz bei $\lambda = 1547{,}8$ nm sowie ein Spektrometer mit 40 nm Meßbereich und 1,5 GHz Auflösung.

Bei dem RENO Demonstrator verfügt jeder Sendelaser über einen zugeordneten Frequenzdiskriminator in Form eines stabilisierten Glasresonators /13/. Ein modulierter Sendelaser konnte mit einer Genauigkeit von <1 pm relativ zum Referenzelement stabilisiert werden. Das Frequenzstabilisierungskonzept wurde auf seine Anwendbarkeit für allgemeine OFDM Netze hin untersucht /13/. Innerhalb des EDFA-Bandes können mit diesem Verfahren mehr als 100 Kanäle mit Bitraten ≤2,5 Gbit/s stabilisiert werden. Das Konzept ist auch für gegenwärtig diskutierte OFDM Systeme mit Kanalabständen im 100 GHz-Bereich anwendbar /13/.

Ein alternativ untersuchtes Frequenzstabilisierungskonzept basiert auf einem optischen Frequenzzähler /198/. Das Verfahren beruht auf der Erzeugung eines absolut stabilisierten optischen Signals, einstellbarer Frequenz sowie Messung der Zwischenfrequenz bei Überlagerung mit dem Signal unbekannter Frequenz. Hiermit kann eine Genauigkeit der Frequenzmessung erreicht werden, die durch die absolute Genauigkeit der optischen Frequenzreferenz gegeben ist.

Ergänzend zu den experimentellen Arbeiten wurden Systemstudien in der vom HHI geleiteten Arbeitsgruppe 'Systeme' durchgeführt. Die Ergebnisse sind in dem vierten 'COBRA Bericht' /173/ zusammengefaßt mit dem Schwerpunkt Anwendungen der COBRA Demonstratoren und globale Trends in der Telekommunikation.

Komponenten und Subsysteme für die optische Zeitmultiplextechnik

Projektleiter: Dr. H.G. Weber — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: OS

Ziel

Für die optische Zeitmultiplextechnik (OTDM) werden Komponenten und Subsysteme realisiert und untersucht, die geeignet sind, optische Datensignale von 1 bis 10 Gbit/s rein optisch auf 40 bis 160 Gbit/s zu multiplexen (MUX) und anschließend wieder rein optisch zu demultiplexen (DEMUX). Das Vorhaben schließt folgende Teilziele ein: Generierung, Modulation und Detektion von optischen Pulsen, Multiplexen, Demultiplexen und Synchronisation von optischen Datensignalen, sowie Frequenzumsetzung von Datensignalen und Kompensation von Dispersion und Nichtlinearität auf der Faser mittels Vier-Wellenmischung. Das Ziel des Vorhabens sind Komponenten und Subsysteme für den Wellenlängenbereich um 1,55 µm, die auf Halbleiter-Heterostrukturen aufbauen (insbesondere Halbleiterlaser-Verstärker) und eine Alternative zu den faseroptischen MUX/DEMUX-Verfahren bilden.

Ergebnisse

Der Halbleiterlaser-Verstärker ist im Projekt die zentrale Komponente für die Realisierung der Subsysteme für die optische Zeitmultiplextechnik. Hinsichtlich dieser Komponente besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Projekt "Halbleiterverstärkerkomponenten für OTDM-Anwendungen" (s.S. 49).

Das wichtigste Ergebnis der Projektarbeiten waren die Experimente zum Demultiplexen eines 40 Gbit/s-Datensignals mit einem integriert optischen Demultiplexer auf der Basis eines Mach-Zehnder-Interferometers mit Halbleiterlaser-Verstärkern, der im assoziierten Optischen-Verstärker-Projekt realisiert worden war /35/. Die Experimente zum Demultiplexen wurden im vorliegenden Projekt durchgeführt. Sie werden im Detail im Optischen-Verstärker-Projekt beschrieben. Weitere Experimente zeigten, daß diese Komponente auch die Funktionen eines "add and drop" Multiplexers erfüllt /36/.

Ein anderes wichtiges Ergebnis der Projektarbeiten war die Realisierung einer rein optischen Taktrückgewinnung für den Demultiplexer. Es konnte gezeigt werden, daß ein 40 Gbit/s optisches Datensignal, das in den im Projekt aufgebauten modengekoppelten Laser eingekoppelt wurde, den modengekoppelten Laser in seiner Grundfrequenz, z.B. 10 GHz synchronisieren konnte. Die optischen Pulse des modengekoppelten Lasers konnten dann direkt als Kontrollsignal für den rein optischen Demulti-

plexer eingesetzt werden /37/. In eingehenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die Taktrückgewinnung für das eingekoppelte 40 Gbit/s Datensignal unempfindlich gegenüber der Polarisation und gegenüber der Wellenlänge (in einem Wellenlängenbereich von 100 nm) ist und einen Dynamikbereich bis zu 20 dB zuläßt.

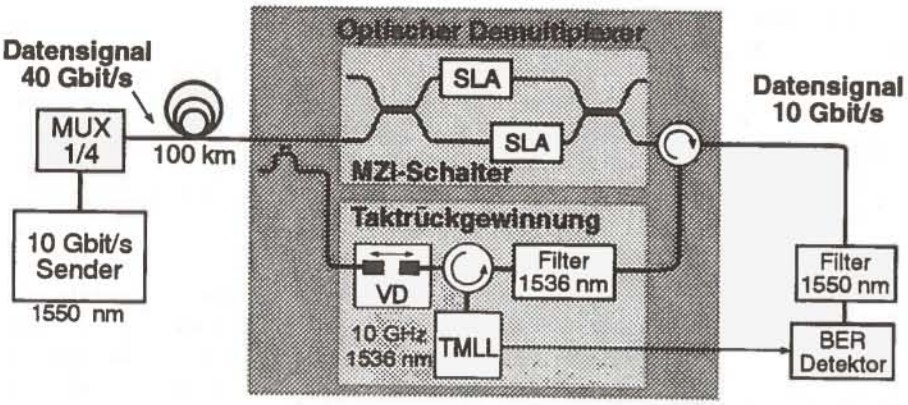


Bild 1: 40 Gbit/s auf 10 Gbit/s Demultiplexer-Experiment mit dem integriert-optischen Mach-Zehnder Schalter (MZI-switch) und der rein optischen Taktrückgewinnung (clock-recovery)

Bild 1 zeigt den experimentellen Aufbau für dieses Experiment. Der Demultiplexer besteht aus dem oben erwähnten integriert optischen Mach-Zehnder Interferometer (MZI-switch) mit einem Halbleiterlaser-Verstärker (SLA) in jedem Interferometerarm und aus der Taktrückgewinnung (clock-recovery). Die Taktrückgewinnung besteht aus einem modengekoppelten Halbleiterlaser (TMLL), einer variablen optischen Verzögerung (VD), einem optischen Zirkulator und einem optischen Filter. Der modengekoppelte Laser wurde im letzten Jahresbericht ausgiebig beschrieben. In dem Experiment wurde ein 10 Gbit/s Datensignal generiert. Mit einem 1:4 Faser-Verzögerungs-Multiplexer (MUX) wurde ein 40 Gbit/s Datensignal gebildet. Dieses Datensignal wurde über eine Faserstrecke von 100 km Länge geschickt. Am Eingang des Demultiplexers wurde das ankommende optische Datensignal mittels eines 3 dB-Kopplers sowohl in den MZI-Schalter (MZI-switch) als auch in die Taktrückgewinnungseinheit (clock-recovery) eingekoppelt. Der MZI-Schalter funktioniert wie folgt: Die Taktrückgewinnung generiert einen optischen Impuls (Kontrollpuls), der über den Zirkulator in den MZI-Schalter gegenläufig zu den Datenpulsen eingekoppelt wird. Da die beiden Halbleiterlaser-Verstärker räumlich versetzt ($\Delta t = 3$ ps) in den Interferometerzweigen angeordnet sind, sättigt der Kontrollpuls die beiden Halbleiterlaser-Verstärker zu verschiedenen Zeiten mit einer relativen Verzögerung $\Delta t = 3$ ps. Über diese Verzögerungszeit Δt wird eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Interferometerzweigen erzeugt, die zu einem Umschalten der Datensignale von den oberen zu den unteren Interferometerausgängen führt. Wenn die Kontrollpulse mit dem eingehenden Datensignal synchronisiert sind, kann ein einzelnes Bit aus dem 40 Gbit/s Datensignal herausgeschaltet werden. Die Synchronisation der Kontrollpulse in der Taktrückgewinnung erfolgt rein optisch. Das Datensignal wurde in den sättigbaren Absorber des modengekoppelten Lasers eingekoppelt und verursachte eine synchrone Oszillation des modengekoppelten Lasers auf seiner Grundfrequenz von 10 GHz. Die Ausgangspulse des modengekoppelten Lasers konnten dann direkt als Kontrollpulse eingesetzt werden. Die optische Oszillation des modengekoppelten Lasers mit 10 GHz führte auch zu einer Modulation des Injektionsstroms. Dieses elektrische Signal konnte direkt für die Synchronisation des Fehlerratenmeßplatzes verwandt werden.

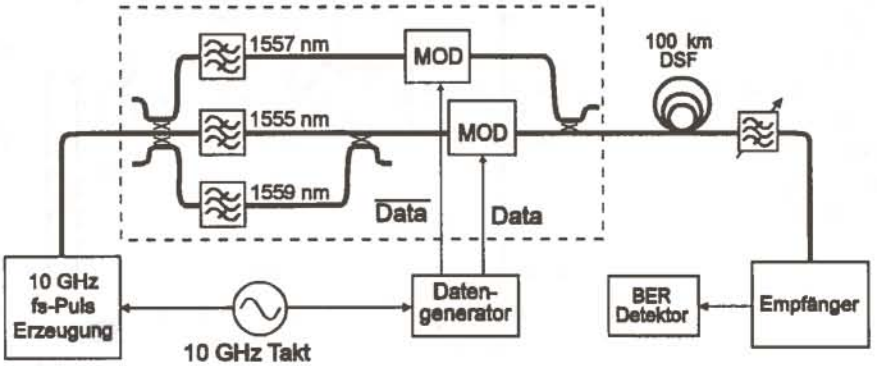


Bild 2: 3 x 10 Gbit/s, 100 km Übertragungsexperiment Erzeugung der 3 WDM-Kanäle mittels der Methode des 'spectral slicing'

Der modengekoppelte Laser wurde auch hinsichtlich seines Einsatzes als Pulsquelle weiter verbessert /26, 31/. Diese Pulsquelle ist jetzt durchstimmbar in der Pulsfolgefrequenz zwischen 1 und 14 GHz, in der Pulsbreite zwischen 200 fs und 20 ps und in der Wellenlänge zwischen 1430 und 1560 nm. Die kurzen optischen Pulse dieses modengekoppelten Lasers ermöglichten eine interessante Anwendung für die Wellenlängen-Multiplextechnik. Optische Pulse mit einer Pulsbreite von 650 fs und einer entsprechenden spektralen Breite von 3,9 nm wurden durch drei parallel geschaltete Filter in drei separate Pulse mit den zentralen Wellenlängen λ = 1555 nm, 1557 nm und 1559 nm spektral zerlegt (spectral slicing). Die so geschaffenen Pulse konnten als optische Quellen für drei unabhängige WDM-Kanäle eingesetzt werden. Das Verfahren wurde in einem 3 x 10 Gbit/s, 100 km Übertragungsexperiment (s. **Bild 2**) erfolgreich demonstriert /24/.

Im Berichtszeitraum wurden auch Untersuchungen zur Vierwellenmischung im Halbleiterlaser-Verstärker basierend auf der Femtosekunden-Verstärkungsdynamik (Intrabandeffekte) durchgeführt, um die Anwendungen der Vierwellenmischung für die Verarbeitung von hochratigen optischen Datensignalen zu prüfen /22, 25, 27, 29, 30, 32, 201/. Beispiele für diese Anwendungen im Projekt sind Demultiplexer, Frequenzumsetzer und ein auf der optischen Phasenkonjugation beruhender Pulsverzerrungskompensator. Vergleichende Untersuchungen ergaben, daß hinsichtlich der Anwendungen als Demultiplexer Anordnungen von Interferometern mit Halbleiterlaser-Verstärkern, etwa in der Form des SLALOM (semiconductor laser amplifier in a loop mirror /23/) oder in der Art des oben erwähnten Mach-Zehnder Interferometers vorteilhafter sind als Demultiplexer basierend auf Vierwellenmischung /33/, weil sie polarisationsunabhängig sind und ein besseres Kontrastverhältnis besitzen.

Die Zusammenarbeit mit der Firma Siemens führte dazu, daß Mitte des Jahres ein Frequenzumsetzer von uns an die Firma Siemens ausgehändigt wurde. Zusammenarbeit gab es auch mit der Technischen Universität Berlin /27, 28/ und mit AT&T (USA) /34/.

Funktionselemente für den optisch transparenten Trägerfrequenzkanal

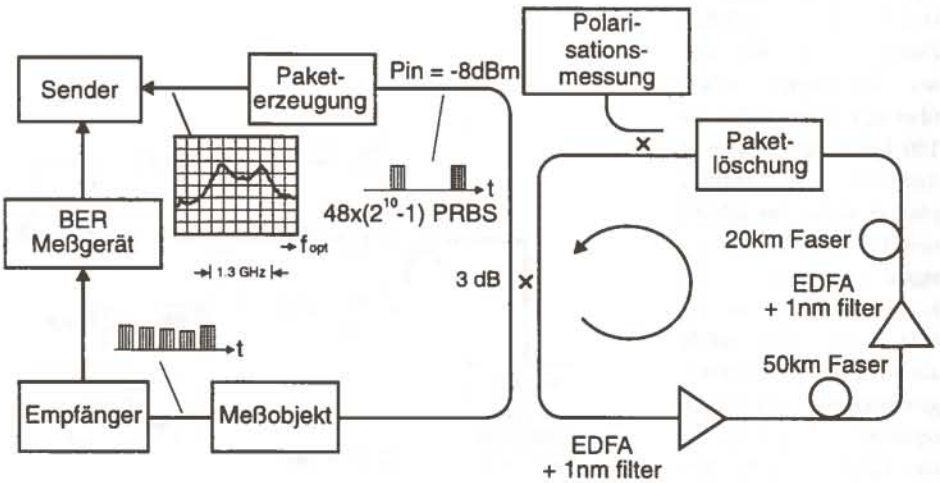
Projektleiter: Prof. Dr. B. Strebel	Auftraggeber: Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.1.92-28.2.95	Abteilung: **NA**, MT, ST

Ziel

In diesem Projekt war der optisch transparente Trägerfrequenzkanal in einem OFDM-Netz mit Crossconnects, Faserstrecken und Faserverstärker zu untersuchen. Es sollten Funktionselemente für Crossconnects zur Durchschaltung der Trägerfrequenzsignale bezüglich Raum und Frequenz entwickelt und an einem Crossconnect Demonstrator erprobt werden. Hierzu gehören Schalter und Filter in Fasertechnologie, optische Frequenzumsetzer auf Halbleiterlaserbasis und thermooptische Schaltmatrizen in Polymertechnologie. In einem Netzmodell war die optische Transparenzlänge der Signalpfade im Netz darzustellen und mit Schleifenmessungen zu verifizieren.

Ergebnisse

Die optischen Transparenzlängen der Signalpfade im Netz wurden in einem Transparenzlängendiagramm dargestellt. Das Diagramm wurde für verschiedene Übertragungsraten, Rauschzahlen, Nebensprechen, Kanalfilter, Dispersionen, Selbstphasenmodulation und Vierwellenmischung berechnet. Es ergibt sich, daß bereits heute mit den derzeit verfügbaren Komponenten ein hochratiges Corenetz mit transparenten Pfaden über wenige kleine Crossconnects mit etwa tausend Kilometer Transparenzlänge aufgebaut werden könnte.



Schleifenmessung mit 140 Mbit/s CMI FSK Signalen

Ein optisch transparenter 4 x 4 Laborcrossconnect wurde mit Halbleiterlasern und Faserkomponenten aufgebaut. Seine Kanaleigenschaften decken sich weitgehend mit den Ergebnissen des Rechenmodells. Der Kanal ist innerhalb seiner Bandbreite von 6 GHz modulations- und bitratentransparent. Es wurden 140 Mbit/s CMI FSK Daten über Crossconnectpfade mit ein oder zwei Frequenzumsetzern übertragen sowie die blockierungsfreie Durchschaltung von vier Fernsehkanälen demonstriert. Neben elektrisch gesteuerten Raumschaltern wurden auch optisch gesteuerte Raumschalter auf der Basis bistabiler DFB-Laser erprobt.

Zur experimentellen Bestimmung der optischen Transparenzlängen in einem Netz wurden verschiedene Schleifenexperimente mit 140 Mbit/s CMI FSK Signalen durchgeführt. Für Standardfaserstrecken ergaben sich Transparenzlängen von 1500 km. Durch das Einsetzen von Crossconnectpfaden in die Faserschleife reduzierte sich die Transparenzlänge je nach Aufbau des Pfades um bis zu 400 km pro Pfad /16, 17/.

Für die Frequenzstufen im Crossconnect /19/ wurden Frequenzumsetzer nach dem Prinzip injektionsgelockter DFB- und Fabry-Perot-Laser entwickelt. Beim Fabry-Perot-Laser konnte eine Umsetzung von ASK-modulierten Trägern bis zu Übertragungsraten von 600 Mbit/s über mehrere hundert GHz nachgewiesen werden /241/. Weiterhin wurde das Durchlaßverhalten integrierter optischer Kanalfilter mit verschiedenen Gitterkonfigurationen berechnet. Es konnte gezeigt werden, daß vergleichbar mit Filtern der Hochfrequenztechnik auch optische mehrpoligen Filter mit steilen Flanken und flacher Durchlaßcharakteristik möglich sind. Derartige Filter lassen sich in großer Zahl kaskadieren. Erste Versuchsstrukturen auf Polymerbasis wurden hergestellt und vermessen.

Für die Raumstufe des Crossconnects wurden mechanisch bistabile Faserschalter /193/ und integrierte polymere thermooptische Schaltertypen entwickelt, die sich für die Anwendung in langsam schaltenden Crossconnects mit wenigen Schaltstufen eignen. Letztere wurden zu 4 x 4 Schaltmatrizen integriert und in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe für elektrische und optische Aufbautechnik bis zu einem von einem Mikrocontroller gesteuerten Gerät mit Fasersteckern aufgebaut. Das Gerät wurde auf der CeBIT '95 mit der Durchschaltung optischer Trägerwellen vorgeführt /19/. (Siehe auch S. 58 Thermo-optische Polymerschalter /66, 67, 68, 69, 70/.)

Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen
Teilprojekt:
Transparenzbegrenzung in optischen Netzen

Projektleiter: Prof. Dr. B. Strebel	Auftraggeber: Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.6.95-30.4.96	Abteilung: **NA**, MT, ST

Ziel

Ziel dieses Teilprojekts ist es, aufbauend auf dem Projekt "Funktionselemente für den optisch transparenten Trägerfrequenzkanal" (s.S. 36) Modelle für den Einfluß von Störungen in photonischen Netzen zu erarbeiten und experimentell zu bestätigen. Für die Fernebene eines Nachrichtennetzes werden die Transparenzlängen von Kanälen in Abhängigkeit von der Faserlänge und der Anzahl der Crossconnects mit Übertragungsraten bis zu 10 Gbit/s untersucht. Die Transparenzlängen sollen durch Transparenzfelder beschrieben werden, die zum einen theoretisch berechnet und zum anderen durch Ringversuche für verschiedene Betriebsparameter und Crossconnectpfade experimentell ermittelt werden sollen. Die Ergebnisse sollen mit anderen weltweit entwickelten Konzepten für transparente OFDM Netze verglichen werden.

Ergebnisse

Die im o.g. Projekt (s.S. 36) bei 140 Mbit/s CMI/FSK Signalen erprobte Ringmeßschaltung zur Bestimmung der optischen Transparenzlängen wird zur Zeit auf höherratige ASK Signale bis zu 10 Gbit/s umgestellt und auf einen Doppelring erweitert. Die Versuchsanlage verwendet dispersionsverschobene Fasern und optische Verstärker zur Bestimmung von Transparenzlängen von einkanaligen Übertragungsstrecken mit Crossconnects. Durch Umschaltung der Pfade im Ring über eine programmierte Steuerung durchlaufen Datenpakete immer neue Kombinationen aus Faserstrecken und Crossconnectpfaden unter gleichzeitiger Messung der Fehlerrate. Damit wird es möglich sein, beliebige Pfade innerhalb von Fernnetzen nachzubilden.

Die Meßschaltung besteht aus einem Sendelaser mit externem Modulator, der vom Sender eines 10 Gbit/s Fehlerratenmeßplatzes mit ASK-PRBS-Signalen im NRZ-Format angesteuert wird /226/. Diese Signale werden zu Paketen gebündelt, die über einen Faserrichtkoppler in einen Doppelring eingespeist werden, in dem sie über Faserstrecken, optische Verstärker mit niedriger Rauschzahl und Crossconnectpfade umlaufen. Die Ringsteuerung gestattet eine beliebige Überbrückung der Crossconnectpfade, damit eine Bestimmung der Transparenzlängen in Abhängigkeit von der Zahl der durchlaufenen Crossconnectpfade möglich wird. Bei jedem Umlauf wird das

Datenpaket zur Messung der Signalqualität ausgekoppelt. Es wird der Polarisationszustand und die Fehlerrate als Funktion der Zahl der Ringumläufe bestimmt. Sender und Empfänger mit Bitfehlerratenmessung, die Ringsteuerung und die Faserstrecke sind bereits aufgebaut und werden zur Zeit zur Meßschaltung zusammengebaut. Anschließend soll in die Ringstrecke ein Crossconnectpfad mit optischem Regenerator aus dem Teilprojekt "Signalregeneration in optischen Netzen" (s.S. 38) eingefügt werden.

Transparenzdiagramme, in denen die Transparenzlängen von Übertragungsstrecken in Abhängigkeit von der Anzahl der durchlaufenen Crossconnects dargestellt sind, wurden theoretisch bestimmt und sollen nun mit den Messungen verglichen werden.

Die experimentellen Arbeiten zu Crossconnects für Datenraten bis zu 10 Gbit/s beziehen sich auf den Bau, die Ausmessung und Übertragungsmessungen an optischen Einzelkomponenten, aus denen Pfade der Crossconnects aufgebaut werden sollen. Hierzu gehören dielektrische Interferenzfilter, polymere integrierte Bragg-Gitter Filter /213/ sowie Frequenzumsetzer auf der Basis von Kreuzverstärkungs- und Kreuzphasenmodulation in Halbleiterverstärkern. Polymere Raumschalter mit wesentlich erhöhter Extinktion und digitale polymere Einzelschalter vgl. S. 58 /71/.

Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen
Teilprojekt:
Signalregeneration in optischen Netzen

Projektleiter: Dr. E. Patzak	Auftraggeber: Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.6.95-30.4.96	Abteilung: IT, **OS**

Ziel

In derzeitigen optischen Kommunikationssystemen wird Licht nur für die Übertragung der Signale genutzt und alle Aufgaben der Signalverarbeitung werden elektronisch gelöst. Es sind deshalb vielfache Wandlungen vom optischen in den elektronischen Bereich und umgekehrt erforderlich. In zukünftigen Netzen mit immer höheren Datenraten sollen diese mehrfachen optoelektronischen Wandlungen vermieden werden. Für die Signalverarbeitung, wie z.B. die Signalregeneration müssen deshalb rein optisch arbeitende Funktionselemente entwickelt werden. In optischen Netzen treten im Vergleich zur einfachen Punkt-zu-Punkt-Übertragung eine Vielzahl zusätzlicher Störungen, wie z.B. Übersprechen von anderen Kanälen und Bandbreitenbegrenzungen durch Kanalfilter auf. Wegen dieser Störungen ist die Transparenzfeldlänge begrenzt und in großen optischen Netzen wird eine Regeneration der Signale unumgänglich sein.

Für diesen Zweck wurden im Projekt "Optischer Halbleiterverstärker und Untersuchungen zur optischen Signalregeneration" Halbleiterverstärker und Laser-Funktionselemente entwickelt und zur Signalregeneration eingesetzt.

Ziel des Projektes "Signalregeneration in optischen Netzen" ist es, zu klären, inwieweit die im genannten Vorgängerprojekt "Optische Halbleiterverstärker und Untersuchungen zur optischen Signalregeneration" entwickelten Subsysteme für die rein optische Regeneration in einem optischen Netz sinnvoll einsetzbar sind. Es sollen Aussagen über die Systemtauglichkeit "optischer Lösungen" für die Regeneration in optischen Netzen gefunden werden. Die Arbeiten haben sich auf die beiden wesentlichen Funktionen, den optischen Entscheider und die optische Taktrückgewinnung konzentriert. Bis zum Ablauf des Projekts soll die Kombination beider Funktionen zu einem vollständigen Regenerator erfolgen.

Ergebnisse

Die Darstellung umfaßt auch Ergebnisse, die im Projekt "Optische Halbleiterverstärker und Untersuchungen zur optischen Signalregeneration" (Ende der Laufzeit: 28.2.1995) in den letzten beiden Monaten erzielt wurden.

Injektionsgelocktes Schalten / Entscheider
Der Entscheider beruht auf dem injektionsgelockten Schalten von Zweisektionslasern. In einen Zweisektionslaser werden das optische Datensignal und das rückgewonnene Taktsignal eingestrahlt. Ein Datenpuls schaltet den Laser von einem Zustand niedriger Verstärkung in einen Zustand hoher Verstärkung für den folgenden Taktpuls. Takt und Daten haben verschiedene Wellenlänge, so daß das Ausgangssignal bei der Datenwellenlänge weggefiltert werden kann. Liegt kein Datenpuls an, so verbleibt der Laser im Zustand niedriger Verstärkung und der Taktpuls wird nicht verstärkt. Das Schalten kann auch invertierend sein. Im invertierenden Schaltmodus wird der Laser durch einen Datenpuls in den niedrig verstärkenden Zustand geschaltet d.h. der Taktpuls wird durchgeschaltet, wenn kein Datenpuls anliegt. Verwendet man anstelle des Taktsignals ein Gleichlichtsignal, erfolgt nur eine Amplitudenregeneration und eine Frequenzkonversion, aber keine zeitliche Regeneration.

Diese anschauliche Vorstellung von dem Schalteffekt wurde mit einem wesentlich verbesserten theoretischen Modell erhärtet. In dem Modell wird der Laser durch einen Satz von Differentialgleichungen für die beiden beteiligten Lasermoden (mit den eingestrahlten Lichtsignalen als Inhomogenitäten) und für die Ladungsträgerdichten beschrieben. Dabei werden soweit wie möglich experimentell ermittelte Parameter verwendet. Alle experimentell beobachteten Schaltfunktionen, wie invertierender und nicht invertierender Frequenzumsetzer und getakteter Entscheider, können im Modell beschrieben werden. Als Beispiel zeigt **Bild 1** die starke Reduzierung von Flankenjitter durch den getakteten Entscheider. Das Eingangssignal ist hier ein 10 Gbit/s, RZ, PRBS-Signal. Die Pulspositionen weisen einen Jitter von 50% der Bitperiode auf. Am Ausgang ist dieser Jitter auf 10% reduziert.

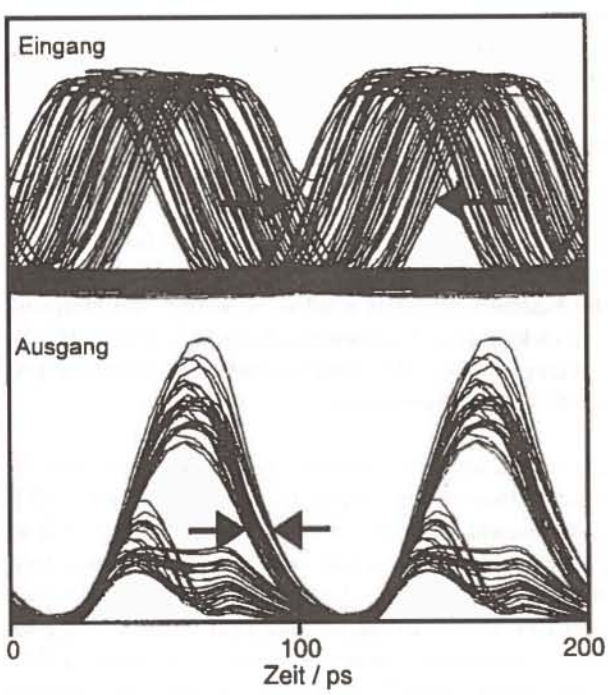


Bild 1: Modellergebnis: Retiming eines 10 Gbit/s RZ PRBS Signals. 50%-Jitter des Eingangssignals (oben) reduziert auf 10% am Ausgang (unten)

Die experimentellen Arbeiten zum Entscheiderelement wurden im letzten Jahr hauptsächlich mit Gleichlichtpumpsignalen durchgeführt, da in der Zwischenzeit Weiterentwicklungen an den selbstpulsierenden Lasern zur Taktregeneration erfolgten.

Die Arbeitsgeschwindigkeit des Entscheiderelements konnte auf 16 Gbit/s gesteigert werden. Hierzu wurden Laser verschiedener Längen, mit Bulkschichten und mit verspannten und unverspannten QW-Schichten als aktive Zone verwendet. Bisher konnten Bulk-Laser bei 16 Gbit/s mit dem höchsten Extinktionsverhältnis betrieben werden, aber es ist noch kein klares Bild darüber vorhanden, welche Kombination von Bauelementparametern zur maximalen Arbeitsgeschwindigkeit bei hohem Extinktionsverhältnis führen.

Für den optischen Entscheider werden Eingangssignale mit fester Polarisation benötigt. Die Wellenlängen des Eingangsdatenlichtsignals und des Pumplichts müssen auf jeweils eine der Fabry-Perot-Moden des Lasers abgestimmt sein. Für Eingangsdatensignale mit beliebiger Polarisation und Wellenlänge ist eine Eingangsstufe erforderlich, die das Dateneingangsignal auf ein Signal umsetzt, das diese Anforderungen erfüllt. Als Komponente kann ein polarisationunabhängiger optischer Verstärker eingesetzt werden.

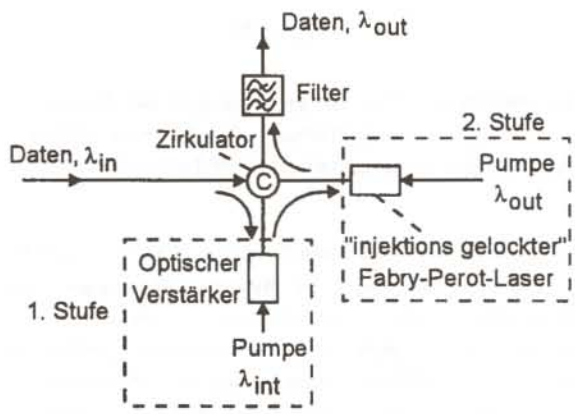


Bild 2: Aufbau eines zweistufigen optischen Frequenzumsetzers und Amplituden-Regenerators

Bild 2 zeigt die Realisierung eines solchen zweistufigen Regenerators bzw. regenerativen Frequenzumsetzers /38/, die zum Patent angemeldet wurde /204/. In den optischen Verstärker wird das Datensignal und ein Pumpsignal eingestrahlt. Die Daten werden über Verstärkungskreuzmodulation auf das Pumplicht mit der Wellenlänge λ_{int} umgesetzt. Das Ausgangssignal bildet nun das Eingangssignal für das Entscheiderelement.

Das Ausgangssignal des optischen Verstärkers ist weitgehend unabhängig von der Eingangspolarisation und -wellenlänge, ist aber invertiert und das Extinktionsverhältnis ist unter Umständen reduziert. Das Entscheiderelement hingegen liefert ein Ausgangssignal mit höherem Extinktionsverhältnis und ermöglicht die Regeneration. So werden die Vorteile beider Umsetzverfahren genutzt und gleichzeitig die mit ihnen verbundenen Probleme gelöst. Das Geschwindigkeitspotential liegt für beide Stufen bei 20 Gbit/s, so daß dies auch die maximale Bitrate für die Kombination sein dürfte. Die Verwendung des Zirkulators vermeidet Koppelverluste und erreicht gleichzeitig die Isolation von Eingangs- und Ausgangssignalen.

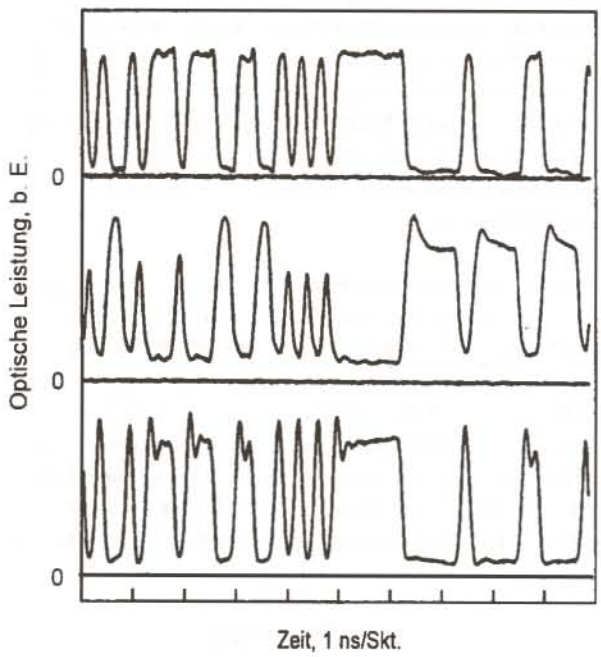


Bild 3: Bitmuster bei 5 Gbit/s des Eingangssignals bei 1560 nm (oben), des Signals hinter dem optischen Verstärker bei 1533 nm (Mitte), des Signals hinter dem Konverter bei 1545 nm (unten)

Bild 3 zeigt Pulsfolgen eines 5 Gbit/s NRZ Datensignals. Die oberste Spur zeigt das Eingangsdatensignal. Die mittlere Spur ist das Ausgangssignal des optischen Verstärkers. Dieses ist gegenüber dem Eingangssignal invertiert und weist außerdem Schwankungen in der Höhe der Pulse auf, die auf Geschwindigkeitsgrenzen des optischen Verstärkers zurückzuführen sind. Die untere Spur zeigt das Ausgangssignal des gesamten Konverters: Die Inversion des Signals ist aufgehoben. Auch die im internen Signal aufgetretenen Pegelschwankungen sind nicht mehr sichtbar.

Zur Demonstration der Amplitudenregeneration wurde der Eingangssignalpegel mit 100 MHz sinusförmig mit 50% des Gesamtpegels moduliert. Augendiagramme von Eingangs- und Ausgangssignal sind in **Bild 4** dargestellt. Übertragungsexperimente /39/ über mehr als 123 km zeigten den geringen "Chirp" des Ausgangssignals.

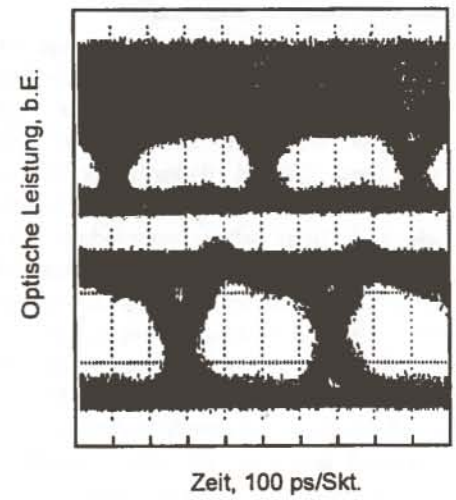


Bild 4: Amplitudenregeneration; Augendiagramme eines Eingangssignals bei 1560 nm mit Pegelschwankungen von 50% des Gesamtpegels (oben) und des regenerierten Ausgangssignals bei 1545 nm (unten) bei einer Bitrate von 2,5 Gbit/s.

Selbstpulsierende DFB Laser / Taktrückgewinnung

Für die Taktrückgewinnung wurden im Projekt spezielle selbstpulsierende Laser entwickelt. Dies sind Bauelemente, die Lichtpulse emittieren, obwohl sie mit Gleichstrom betrieben werden. Bei Einstrahlung optischer Datensignale in den Laser kann die Selbstpulsation auf den Datenstrom einrasten. Die vom selbstpulsierenden Laser emittierte Pulsfolge ist dann synchronisiert zum Datenstrom, und damit ist eine Taktrückgewinnung erreicht.

Besonders hochfrequente Selbstpulsationen können in Mehrsektions-DFB-Lasern bei ganz bestimmten Stromkombinationen in den Sektionen erreicht werden. Dieser Effekt war im Rahmen des Projektes entdeckt und seine Eignung zur Taktrückgewinnung durch Experimente bei 18 Gbit/s demonstriert worden.

Inzwischen konnte durch weiterentwickelte Laser mit Quantum-Well-Struktur und mit besonders hohem Kopplungskoeffizienten der DFB-Gitter der Frequenzbereich der Pulsation erweitert werden. So konnte die Frequenz rein elektrisch und kontinuierlich von 12 bis 64 GHz abgestimmt werden /39/. Als Maximalfrequenz wurden bisher 80 GHz nachgewiesen.

Ein entscheidender Fortschritt wurde bezüglich der reproduzierbaren Herstellung der selbstpulsierenden DFB Laser erreicht. Als Ursache des unterschiedlichen Selbstpulsationsverhaltens selbst von Lasern aus demselben Barren wurde die Phasenlage der Facettenreflexion relativ zum DFB Gitter identifiziert. Zur Einstellung dieses kritischen Parameters wurde als (zum Patent angemeldete /196/) technologische Weiterentwicklung eine Phasensektion zwischen DFB Sektion und Facette integriert. **Bild 5** zeigt einen solchen 3-Sektions Laser. In diesem Bauelement kann die Phasenlage der Facettenreflektion

durch Strominjektion in die Phasensektion elektrisch variiert werden. Man kann dadurch bei einer für die Selbstpulsation erforderlichen Stromkombination in den beiden DFB Sektionen die geeignete Phasenbedingung elektrisch einstellen.

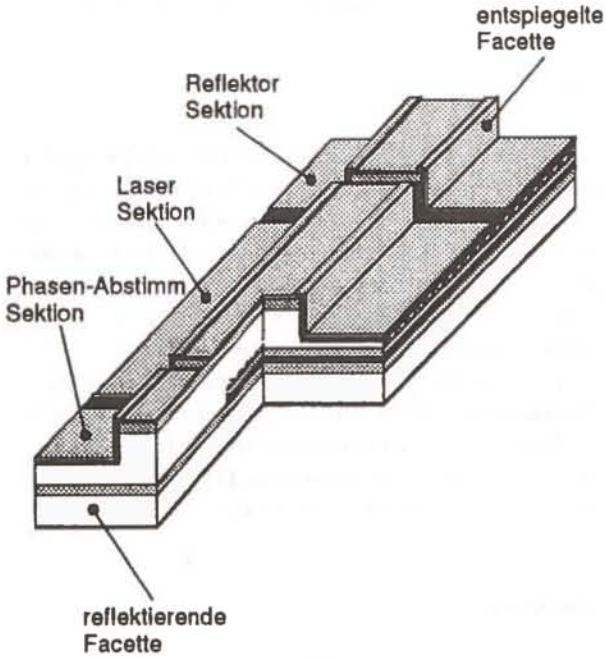


Bild 5: Schema des Drei-Sektions DFB Lasers mit Phasensteuersektion

Ergebnisse hierzu sind in **Bild 6** dargestellt, das RF Spektren bei festen Strömen von 140 mA und 8 mA in den beiden DFB Sektionen zeigt. Durch Einstellen des Phasenstromes auf 24,5 mA oder 25 mA wird eine Selbstpulsation bei 10 GHz ein- oder ausgeschaltet /40, 41/. Dies funktioniert für alle Laser aus demselben Barren. Selbstpulsierende DFB Laser können nun reproduzierbar hergestellt werden.

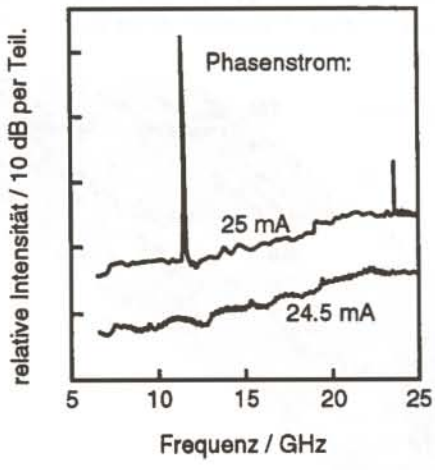


Bild 6: Ein- und Ausschalten der Selbstpulsation (10 GHz) mit dem Phasenstrom. Ströme in den DFB Sektionen: 140 mA / 8 mA

Die neuen Bauelemente wurden für eingehende Untersuchungen zur Selbstpulsations-Charakteristik genutzt. Dabei konnte "dispersives Selbst-Güte-Schalten" als entscheidender Mechanismus für diese DFB typischen Selbstpulsationen verifiziert werden. Nach Klärung des Funktionsmechanismus und Gewährleistung einer reproduzierbaren Herstellung der selbstpulsierenden DFB Laser sind nun Experimente zur Taktregeneration, Modellrechnungen zu dem neuen Effekt und Weiterentwicklungen der Bauelemente in Arbeit.

Alternativ wurde auch untersucht, ob DBR-Laser selbstpulsieren. Bei diesen Lasern sind Verstärkung und Rückkopplung räumlich getrennt, und man kann deshalb erwarten, daß eine modellmäßige Beschreibung einfacher ist. Es wurden Selbstpulsationen bei DBR-Lasern festgestellt, allerdings derzeit noch unter 10 GHz. Eine theoretische Behandlung ist in Angriff genommen worden. Eine Optimierung in Bezug auf eine höhere Stabilität der Selbstpulsation könnte hier einfacher sein als bei den DFB-Lasern.

Pan-European Photonic Transport Overlay Network (PHOTON)

Projektleiter: Dr. C. v. Helmolt — Förderer: EU (50%), BMBF, Land Berlin

Laufzeit: 1.10.95-30.9.98 — Abteilung: NA/OV

Ziel

Im ACTS Projekt PHOTON (Pan-European Photonic Transport Overlay Network) soll die Anwendung der WDM-Technik im Core Network mit optischen Crossconnects und mit Datenraten bis 10 Gbit/s pro WDM-Kanal untersucht werden. Dazu wird ein grenzübergreifender Demonstrator, bestehend aus WDM-Übertragungsstrekken, WDM-Crossconnect, Schnittstellen zu bestehenden SDH-Infrastrukturen, sowie Mitteln zur Wellenlängenstabilisierung und WDM-Kanalüberwachung aufgebaut. Weiterhin sollen mit Systemstudien WDM-Netz bezogene Themen untersucht werden wie Architektur, Einführung und Evolution, Frequenzschema, Überwachung der Faserverstärker im Netz sowie Simulation von WDM-Netzen.

Das PHOTON Konsortium besteht aus folgenden Partnern: Siemens (A, Coordinator), BBC (UK), CET (P), DTAG (D), HHI (D), IMEC (B), APTT (A), PKI (D), PRL (NL), Siemens (D), TRL (AUS), TUW (A). Der personelle Gesamtaufwand beträgt 81 Mannjahre.

Das HHI ist mit dem Erstellen der Wellenlängenreferenz sowie mit Systemstudien an dem Vorhaben beteiligt und stellt die Kontaktperson zum ACTS HORIZON Projekt.

Ergebnisse

Das Projekt begann wie geplant Anfang Oktober 1995 mit einem Start-Treffen. Erste Absprachen hinsichtlich der absoluten Referenz, des Kanalschemas sowie der Frequenzstabilisierung für den Demonstrator haben stattgefunden.

Integrationstechnologie: Frequenzselektive abstimmbare Empfänger-OEICs auf Indiumphosphid-Basis für OFDM-Systeme

Projektleiter: Dr. H. Heidrich — Förderer: BMBF, Land Berlin

Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: **IT**, OS, MT, ST

Ziel

Hauptziele des Vorhabens sind die Entwicklung und Bereitstellung einer technologischen "Toolbox" zur Integration aller photonischen und elektro-optischen Grundelemente (Laser, Wellenleiter-Netzwerk, Photodetektoren) und die Demonstration des Potentials des Integrationsprozesses. Nach der erstmaligen Demonstration eines polarisationsunabhängigen Heterodynempfänger-OEIC /47, 48, 49, 53, 54, 57/ galt es, für eine mögliche Fertigung die Chipfläche der OEICs und die Anzahl der epitaktischen Wachstumsschritte zu reduzieren. Der nächste Schritt wird die Erweiterung des Prozesses zur Entwicklung eines bidirektionalen WDM-Transceivers sein.

Ergebnisse

Die wirtschaftliche Herstellung von optischen Tuner ICs erfordert, die geometrischen Abmessungen der Strukturen deutlich zu verkleinern, um den "Sharing"-Faktor bei der Herstellung zu vergrößern und die Prozeßkosten so auf eine Vielzahl von Chips zu verteilen. Für diese Zielsetzung konnte eine kompakte, polarisationsselektive "balanced" Detektorstufe (s. **Bild 1**) unter Anwendung vertikaler, polarisationsselektiver Richtkopplerstrukturen realisiert werden. Gleichzeitig wurde die Bandbreite der Photodioden verbessert. Der polarisationsselektive Detektorteil für die TM- und TE-Anteile besitzt eine Länge von nur 0,3 mm. Die Photodetektoren haben eine Länge von 30 µm und eine Breite von 10 µm. Für die "polarisation-diversity balanced" Detektorstufe wurden

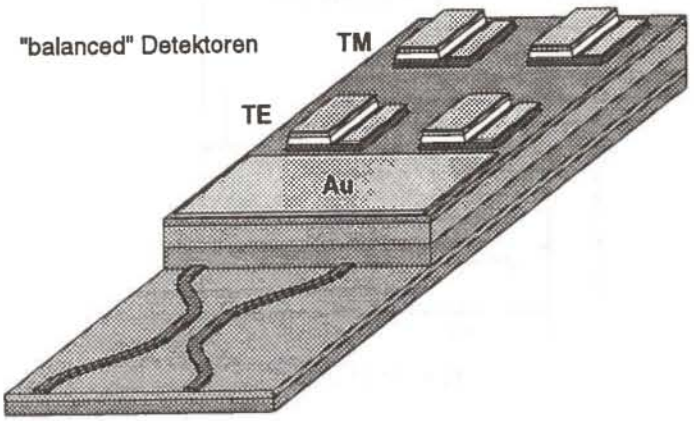


Bild 1: Aufbau einer kompakten, polarisationsselektiven 'balanced' Detektorstufe unter Anwendung vertikaler, polarisationsselektiver Richtkopplerstrukturen

Nebensprechwerte von 13-15 dB für TE und 10-13 dB für TM gemessen. Die "balanced" Photodetektoren haben eine 3 dB-Bandbreite von 14 GHz (vormals in einem polarisationsunempfindlichen Heterodynempfänger 4 GHz) /58, 59/. Diese kompakte Integrationseinheit ist für die zweite Überlagerungsempfänger-OEIC-Generation wie auch für den Einsatz in anderen kompakten OEIC-Architekturen verfügbar.

Ein weiterer entscheidender Aspekt zur wirtschaftlichen Herstellung von komplexen OEICs mit integriertem Laser, Wellenleiter-Netzwerk und Detektorstufe ist die Reduzierung des Prozeßaufwands. Gegenüber dem Prozeßaufwand des ersten Integrationsprozesses mit sechs bis sieben Epitaxien zur Herstellung eines Überlagerungsempfänger-OEIC konnte der Aufwand drastisch reduziert werden. Der neue Prozeß erfordert, je nach der Zusammenstellung der Subelemente des OEIC, nur noch 3 bis 4 Epitaxieschritte. Mit diesem Prozeß konnte die Integration eines DFB-Lasers (Schwellströme: 16-25 mA), eines stoßgekoppelten Wellenleiternetzwerks (3 dB-Koppler) und eines schnellen "balanced"-Photodetektorpaars (3 dB-Bandbreite: 9 GHz) zu einem Überlagerungsempfänger-OEIC demonstriert werden /50, 51/). Dieser Prozeß ist universell für weitere OEIC-Architekturen einsetzbar.

Die Vorarbeiten zur Realisierung einer nächsten Generation von kompakten und noch leistungsfähigeren Überlagerungsempfänger-OEICs wurden damit abgeschlossen. Den neuen Schwerpunkt des Projektes bildet die Entwicklung eines bidirektionalen WDM-Transceiver-OEIC, der eine Schlüsselkomponente für WDM-Netze darstellt /56, 46/. Bei diesem Chip ist besonderes Augenmerk auf die Minimierung des optischen und elektrischen Übersprechens zu legen. Um vergleichbare Qualitätsmerkmale zu erreichen, wie sie für hybride Lösungen für den Betrieb im Nahbereich (<15 km) spezifiziert sind, wird eine neuartige Transceiver-Architektur zur Anwendung kommen (s. **Bild 2**). Der Chip enthält einen 1,5 µm-Einmodenlaser, einen Wellenlängen-Duplexer, der aus einem 3 dB Koppler mit Stoppbandfiltern/Reflexionsgittern für die Laser-Wellenlänge besteht, und einem Photodetektor für die Wellenlänge von 1,3 µm. Durch die räumliche Trennung des Lasers vom Photodetektor wird das elektrische Übersprechen minimiert. Durch geeignete Wahl des Materials des Photodetektors wird die Extinktion des Lasersignals in der Photodiode unter -30 dB gehalten. Erste Testbauelemente sind hergestellt worden. Die neue Zielsetzung schließt die Integration eines polarisationsunabhängigen Wellenleitertransformators zur sicheren, justagetoleranten Glasfaserankopplung ein. Erstmals ist es gelungen, einen polarisationsunabhängigen optischen Feldtransformator unter Verwendung von optischen Leitschichten herzustellen, die sich unter dem integrierten Chipwellenleiter befinden. Für die Herstellung ist keine zusätzliche Epitaxie "zum Vergraben" der Wellenleiter erforderlich. Die ersten noch nicht optimal dimensionierten Proben weisen polarisationsunabhängige Faser/Chip-Kopplungsdämpfungswerte von 2 dB auf. Die lateralen und horizontalen Justagetoleranzen bezogen auf eine Zusatzdämpfung von 1 dB betragen über 2 µm. Mit der Verfügbarkeit dieser Basiskomponente ist ein entscheidender Schritt in Richtung einer ökonomischen Aufbautechnik gelungen.

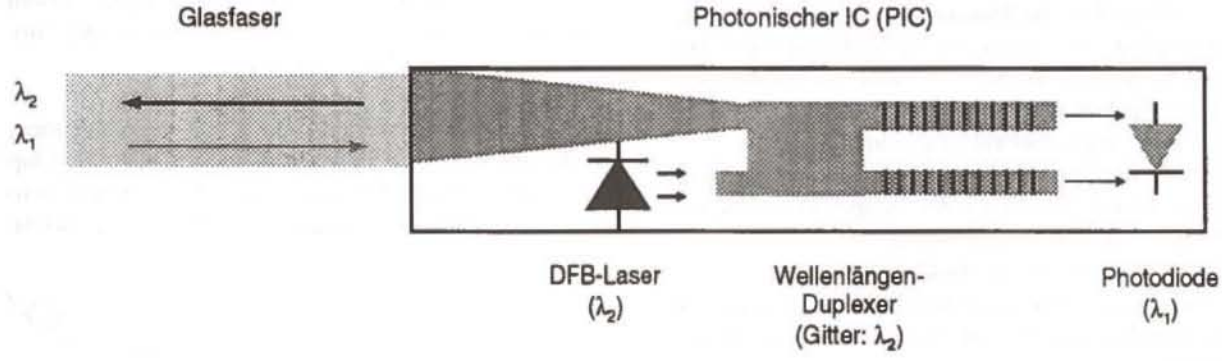


Bild 2: Architektur eines bidirektionalen 1,5 µm/1,3 µm-WDM-Transceiver-OEIC

OEIC Modules for the Access Network (OMAN)

Projektleiter: Dr. H. Heidrich	Förderer: EU (50%), BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.10.94-31.12.95	Abteilung: IT, OS, MT, ST, NA/OV

Ziel

Die Ziele des RACE II-Projektes OMAN sind die Etablierung eines universellen Integrationsprozesses zur Herstellung von unterschiedlichen OEICs auf Indiumphosphid-Basis und die Entwicklung einer robusten, kostengünstigen Technologie zur "Verpackung" dieser Komponenten in zukünftigen europäischen "Foundries". Weiterhin gilt es, die Voraussetzungen zu schaffen, um erste OEICs im IBCN einsetzen zu können.

Das Konsortium des von der EG innerhalb des RACE-Programms geförderten Projektes setzt sich zusammen aus den Partnern GEC-Marconi Materials Technology (Prime Contractor, UK), GPT Ltd. (UK), Siemens AG (D), Philips Optoelectronics Center (NL), Telefonica I+D (SP), University of Athens (GR), and Lisbon Technical University (P). Das HHI trat dem Konsortium im Oktober 1994 bei und hat die Aufgaben übernommen, einen "Dense"-WDM (DWDM)-Laser-OEIC zu realisieren. Mögliche Anwendungen dieser Komponente in zukünftigen optischen Kommunikationsnetzen sind der Einsatz als weit abstimmbare Laserquelle und die Erzeugung eines höchstfrequenten Mikrowellenträgers mit optischen Mitteln innerhalb eines Mobilkommunikationssystems (z.B. eines Verkehrskontrollsystems). Des weiteren kann die Komponente für analytische Zwecke genutzt werden, z.B. für höchstfrequente Messungen an optoelektronischen Bauelementen. Speziell für die Applikation als Mikrowellengenerator ergeben sich deutliche Vorteile der monolithischen Lösung gegenüber einer hybriden Lösung:

- Der Aufwand für die Temperaturkontrolle kann deutlich reduziert werden, da der Temperaturunterschied der Laser auf dem Chip gering ist.
- Es wird nur ein optischer Isolator benötigt.
- Es wird keine Polarisationsanpassung erforderlich, da die Überlagerung bei gleicher Polarisation auf dem Chip erfolgt.

Ergebnisse

Der DWDM-Laser-OEIC konnte innerhalb eines Jahres hergestellt, "verpackt" und analysiert werden. **Bild 1** zeigt den Aufbau des Chips. Er enthält zwei abstimmbare DBR-Laser, einen 3 dB-Koppler und eine Photodiode zur Überwachung des Lasers.

Die Herstellung des Chips basiert auf einem universellen Integrationsprozeß, der die Herstellung unterschiedlicher OEICs mit integrierten Lasern, Wellenleiternetzwerken und Photodioden in einer Prozeßfolge gestattet (u.a. eines polarisationsunabhängigen Heterodynempfängers, vgl. S. 42) Die flexible Einsatzmöglichkeit des Prozesses wird durch die Ausbildung einer Laser-Wellenleiter-Stoßkopplung mittels flächenselektiver MOVPE erreicht.

Die abstimmbaren Laser sind als 4-Sektions-DBR-Laser ausgelegt. Jeder Laser enthält eine 400 µm lange Verstärker-Sektion, eine 110 µm lange Phasen-Sektion und zwei Bragg-Sektionen mit einer Länge von 300 µm bzw. 150 µm. Der Laserwellenleiter besteht aus einem vergrabenen Streifenwellenleiter aus n-dotiertem GaInAsP (λ_g=1,3 µm) mit einer Breite von 2 µm und Stromblockierungsschichten aus p- und n-dotiertem InP oder Fe-dotiertem InP seitlich zum Streifen. Der Netzwerkwellenleiter besteht aus einer semi-isolierenden GaInAsP:Fe-Schicht (λ_g=1,05 µm) mit einer InP:Fe Rippe.

Die integrierten 4-Sektions-DBR-Laser emittieren im Wellenlängenfenster von 1,5 µm und zeichnen sich durch fast identische Abstimmcharakteristika aus (Abstimmbereich: 5 nm). Die Emissionsfrequenzen der beiden integrierten Laser differieren im nicht-abgestimmten Modus nur um 2 GHz. Zur Erzeugung eines optischen Mikrowellensignals wird die Wellenlänge eines Lasers zum zweiten Laser verstimmt. Die Frequenzdifferenz der Laser definiert die Mikrowellenfrequenz. Dieses Signal konnte im Bereich von einigen 10 GHz stabil erzeugt werden. Dabei wurde der Vorteil der monolithischen Integration eindrucksvoll demonstriert. Die Temperaturempfindlichkeit der Zwischenfrequenz betrug nur 10 MHz/K (s. **Bild 2**) /55/. Bei Verwendung von einzeln aufgebauten Lasern wäre jeweils eine Temperaturstabilisierung in der Größenordnung von 0,01 K notwendig.

Der Chip wurde in einem 2 Zoll x 2 Zoll-Modul integriert, das bis zu Datenraten von 6 GBit/s ausgelegt ist. Der Chip ist innerhalb des Moduls auf einem Peltier-Element montiert, um die Emissionswellenlängen der Laser für WDM-

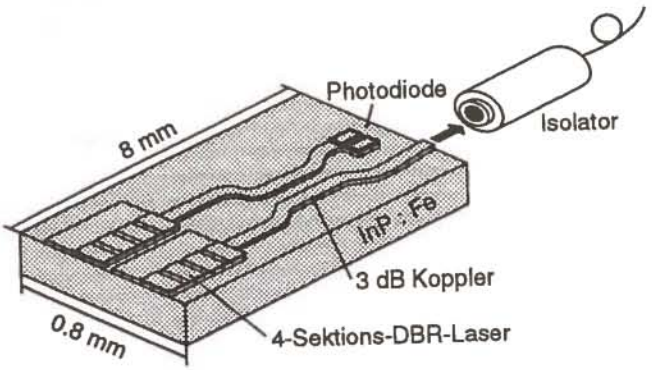


Bild 1: DWDM-Laser-OEIC

Applikationen genau einstellen und stabilisieren zu können. Die Ausgangsfaser des Moduls enthält einen hybrid integrierten optischen Isolator. Der Modulaufbau zeigt zuverlässige und stabile Eigenschaften im Temperaturbereich von 15°C bis 35°C.

Der Aufbau wurde in einem experimentellen zellularen optischen Mikrowellensystem erfolgreich eingesetzt und getestet. In diesem Systemaufbau diente der Baustein zur optischen Erzeugung der Trägerwelle im 12- bzw. 60 Giga-Hertz-Bereich (s. S. 76) /44/.

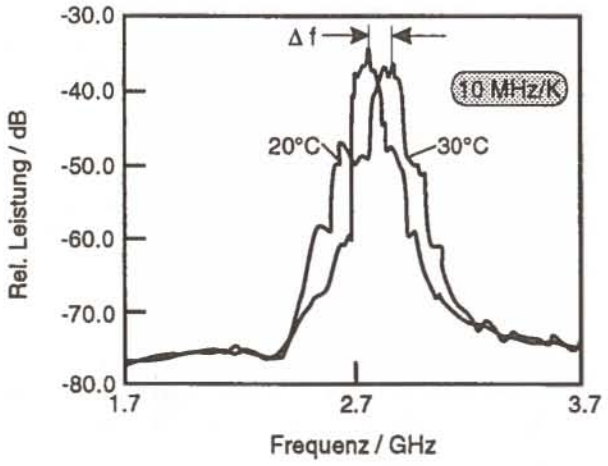


Bild 2: Darstellung der geringen Temperaturempfindlichkeit der optischen Trägerwelle, die durch Überlagerung der Lasersignale der auf dem Chip integrierten Laser erzeugt wurde.

Broadband Lightwave Sources and Systems (BLISS)

Projektleiter:	Förderer: EU (50%), BMBF,
Dr. N. Agrawal/Dr. H. Heidrich	Land Berlin
Laufzeit: 1.9.95-31.8.98	Abteilung: **OS, IT**, MT, ST

Ziel

Ziel des ACTS-Projekts BLISS ist die Realisierung von integriert-optischen Modulen im Netzzugangs- und Transportbereich. Diese Aufgabe beinhaltet die Entwicklung einer Indiumphosphid-Prozeß- und Bauelementtechnologie mit guten Qualitätseigenschaften und hoher Ausbeute. Die Arbeitspakete beinhalten den Entwurf, die Herstellung und die Anwendung photonisch integrierter Schaltkreise im Labor und in Feldversuchen. Zu den Komponenten zählen u.a. sehr schnell modulierbare und abstimmbare Laser, optische Verstärker, nicht-lineare optische Interferometer mit Verstärkersektionen für das Transportnetz wie auch bidirektionale WDM-Transceiver und WDM-Demultiplexer für das "Access"-Netz. Die Partner innerhalb des Konsortiums sind IMEC (Prime Contractor (B), Philips Optoelectronics Center (NL), Siemens AG (D), GEC-Marconi Materials Technology Ltd. (UK), Industrial Microelectronics Center (S), Telefonica I+D (SP), France Telecom-CNET (F), University College Dublin (IRL), Delft University of Technology (NL), Technical University of Eindhoven (NL), Telenor Research (N), University of Athens (GR) und Lisbon Technical University (P).

Das HHI wird einen nichtlinearen optischen Interferometer-Chip und einen bidirektionalen 1,5 µm/1,3 µm WDM-Transceiver-Chip für den Systemeinsatz realisieren. Die Arbeiten des HHI basieren auf den Erfahrungen des Instituts in der Entwicklung photonischer ICs, die aktive und passive optische Wellenleiterkomponenten integrieren.

Der nichtlineare optische Interferometer-Chip soll als schneller Demultiplexer und als Add/Drop-Multiplexer im OTDM-System des Projektes zur Anwendung kommen. Es werden Mach-Zehnder-, Michelson- und SLALOM-Interferometeranordnungen mit integrierten optischen Verstärkersektionen, in denen die Nichtlinearität ausgenutzt wird, in Hinblick auf die optimale Güte und Funktionsfähigkeit entwickelt, hergestellt und untersucht. Sehr schnelle optische Signalverarbeitung soll unter Ausnutzung von Nichtlinearitäten im optischen Verstärker erreicht werden. Die endgültige Bauelementstruktur soll schließlich für eine Datenrate von 40 GBit/s als rein optischer Demultiplexer und Add/Drop-Multiplexer zum Einsatz kommen.

Die Herstellung des bidirektionalen 1,5 µm/1,3 µm WDM-Transceiver-Chip baut auf dem Integrationsprozeß auf,

der bereits zur Herstellung eines polarisationsunempfindlichen Heterodynempfänger-Chips (vgl. S. 42) und eines DWDM-Laser-Chips zum Einsatz kam. Der Prozeß wird um die technologischen "Werkzeuge" erweitert. Das Ziel ist die Realisierung eines kompakten Transceiver-Chips mit vergleichbaren optischen und elektrischen Übersprechdaten, die eine hybride Lösung für den Einsatz im Nahbereich (<15 km) erfüllt.

User Friendly Optical Sources (UFOS)

Projektleiter: G. Sztefka	Förderer: HHI, sponsoring partner RACE II
Laufzeit: 1.1.94-31.12.95	Abteilung: OS

Ziel

Das UFOS Projekt war Teil des RACE-Programms. Es wirkten insgesamt 8 Partner in diesem Projekt mit. Im einzelnen waren das die Firmen und Institute Siemens (D), Philips (NL), GMMT (UK), IMC (S), GPL (UK), INTEC (B), Telefonica (E) und HHI (D). GPL (Dr. J. Buus) war für das Projektmanagement verantwortlich.

Das Ziel aller Projektpartner war es, optische Quellen (Laser) zu entwickeln, die den IBCN Anforderungen genügen, um so die Bandbreite eines optischen Netzwerks effizient zu nutzen. Zusätzlich wurde ein Demonstrator in Form einer ATM line card mit optischem Interface entwickelt und aufgebaut. Dabei sind die im Projekt entwikkelten Sender- und Empfängerlaser zum Einsatz gekommen. Die Datenrate betrug 622 Mbit/s pro Kanal. Zu unterschiedlichen Arbeitspunkten trug das HHI mit theoretischen Untersuchungen bei.

Ergebnisse

Die Bidirektionale Eigenmoden Propagation (BEP) ist eine kürzlich entwickelte Simulationstechnik (s.a. Jahresberichte 1991 bis 1994 und /172/) und braucht im Gegensatz zur "Beam Propagation Method" keine Näherung, um Mehrfachreflexionen und große Brechzahlsprünge zu handhaben. Vorwärts- und Rückwärts-Propagation durch longitudinal invariante Wellenleiter wird durch eine Matrixmultiplikation berechnet, unabhängig von der physikalischen Länge. Beliebige Wellenleiterstrukturen teilt man in Sektionen von stückweise konstanten

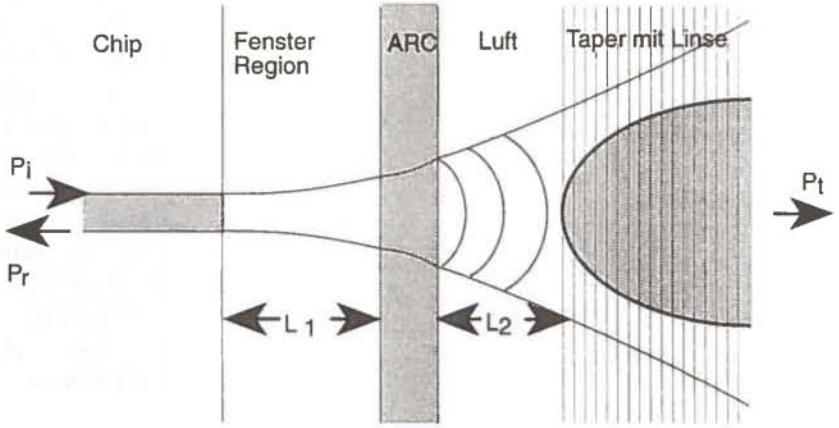


Bild 1: Beliebige Wellenleiterstrukturen werden in stückweise konstante Scheiben geteilt

Wellenleiterstrukturen (**Bild 1**). Diese Methode wurde für Berechnung der TM-Polarisation erweitert. Das optische Feld in jeder Sektion ist durch eine gewichtete Summe zweier Sätze orthogonaler Eigenmoden bestimmt, je ein Satz für die TE- und für die TM-Polarisation. An der Grenzfläche benachbarter Sektionen wird die neue modale Amplitudenverteilung im wesentlichen durch Umentwicklungsintegrale bestimmt, wobei von der Orthogonalität der Eigenmoden Gebrauch gemacht wird. Für die TM-Polarisation wird je eine für die elektrische und für die magnetische Feldstärke benötigt. Die Umentwicklung und die Propagation durch eine Sektion kann mit einem Matrixformalismus beschrieben werden. Die Produkte aller Matrizen liefert die System-Matrix.

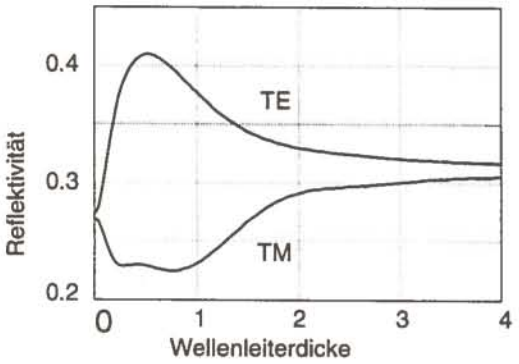


Bild 2: Reflexion der Grundmode an einer gespaltenen Facette

Diese Matrix verknüpft die Amplituden der ersten Sektion mit denen der letzten. Das Verhältnis der Leistungen von vorwärts und rückwärts propagierenden Moden, normiert auf die eingestrahlte Leistung, ergibt die Reflexion bzw. die Transmission der aktuellen Wellenleiterstruktur /218/. **Bild 2** zeigt die Reflexion der Grundmode an einer gespaltenen Facette eines optischen Verstärkerchips. Anders als die einfache Fresnel-Reflexions-Formel berücksichtigt die BEP auch die Struktur des Wellenleiters und die exakte Behandlung der Randbedingungen an der Facette. Die Reflexion des TE und des TM polarisierten Lichtes als Funktion der aktiven Schichtdicke zeigt deutlich die Unterschiede. Für Halbleiter-Laser-Verstärker mit üblichen Schichtdicken von etwa 400 nm ist der Unterschied besonders groß. Ebenso wurde die Entspiegelungsschicht (Anti Reflection-Coating) berechnet (**Bild 3**). Dort ist der Einfluß der Schichtdicke einer einfachen Entspiegelungsschicht für beide Polarisationen gezeigt. Für die gezeigte einfache Entspiegelungsschicht ist die Schichtdicke für minimale Reflexion für beide Polarisationen unterschied-

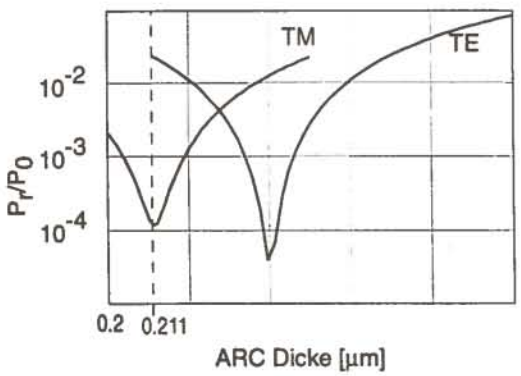


Bild 3: Der Einfluß der Schichtdicke einer einfachen Entspiegelungsschicht auf die Reflexion

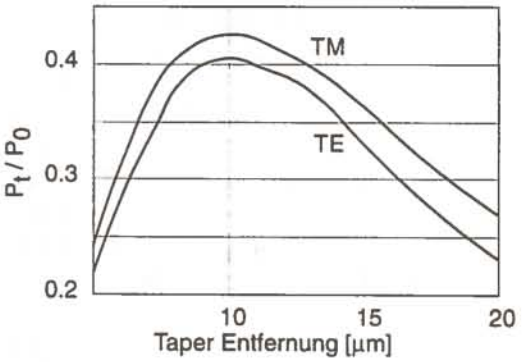


Bild 4: Berechnete Koppeleffizienz eines Tapers mit angeschmolzener Linse

lich, und wegen des Einflusses der Wellenleiterstruktur wird die Reflexion nie die sehr kleinen Werte erreichen können, wie im einfachen Ebene-Wellen-Modell. Die berechnete Koppeleffizienz zu einem Taper mit angeschmolzener Linse ist in **Bild 4** gezeigt. Die Maxima in der Transmission zeigen deutlich den fokussierenden Effekt der angeschmolzenen Linse. **Bild 5** zeigt die Reflexion in die Grundmode als Funktion der Fenster-Sektion (window region). Mit zunehmend längeren Fenster-Sektionen divergiert die ungeführte Mode. Der reflektierte vergrößerte Fleckdurchmesser koppelt schlechter an den kleineren Fleckdurchmesser des Wellenleiters. Diese Rechnungen sind für das Design von Laser- und Verstärkerbauelemente notwendig.

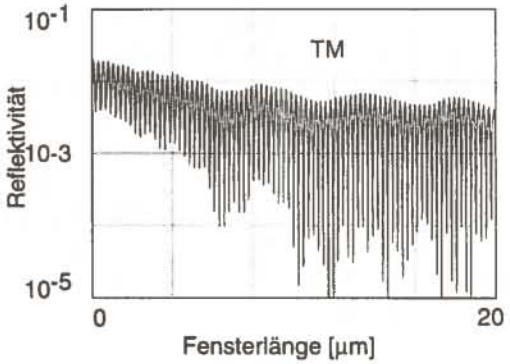


Bild 5: Wirkung einer Fenster-Sektion

Metropolitan Optical Networks (METON)

Projektleiter: D. Trommer	Förderer: EU (50%), BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.9.95-31.8.98	Abteilung: **ST**, IT, MT

Ziel

Im Rahmen des Projektes METON soll die Vision eines optischen Netzwerkes mit Wellenlängen-Multiplex-Betrieb näher an eine tatsächliche Realisierung herangebracht werden. Zu diesem Zweck sollen Fortschritte auf den Gebieten Systemarchitektur, Technologie photonischer Komponenten und ebenso im Bereich des Betriebs optischer Netze erreicht werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten soll im Bereich des sogenannten "metropolitan network" liegen, und das Hauptaugenmerk soll sich auf die Übertragung optischer Signale richten.

Die technologie-orientierten Arbeiten sollen den Aufbau eines optischen Netzwerkes in einer Großstadtregion unterstützen. Dabei reichen die technologischen Arbeiten von der Entwicklung sehr fortschrittlicher Bauelemente wie z.B. multifunktionaler Komponenten oder monolithischer Opto-Elektronischer ICs (OEIC) auf InP-Basis auf der einen Seite bis zu Niedrigpreis-Technologien wie z.B. Silica-on-Silicon oder Faser-Gittern.

Bauelemente der verschiedenen Arten sollen in einen Demonstrator eingebaut und unter realistischen Betriebsbedingungen charakterisiert und bewertet werden.

Partner im Konsortium sind: Ericsson Telecom (S, prime contractor), Thomson Broadband System (F), Telia AB (S), France Telecom CNET (F), Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A. (I), Ericsson Telecomunicazione S.p.A. (I), Deutsche Telekom AG (D), Royal Institute of Technology (S), Technical University of Denmark (DK), Heinrich-Hertz-Institut (D) und National Microelectronics Centre (IRL).

Aufgabe des HHI ist es, fortschrittliche OEICs auf InP-Basis zu entwickeln. Dies beinhaltet einerseits die Integration eines pin-Wellenleiter-High Electron Mobility Transistor (HEMT) front end und andererseits die Herstellung eines Opto-Elektronischen Drop Multiplexers (OEDM). Die letztgenannte Komponente wird ein durchstimmbares, polarisationsunabhängiges Filter enthalten, das monolithisch mit der pin/HEMT Detektorstufe integriert werden soll. Als Arbeitsgeschwindigkeit der Bauelemente ist 10 Gb/s vorgesehen.

Ergebnisse

Das Gesamtkonzept für die Komponente wurde erstellt, und es wurden Modellrechnungen als Basis für das detaillierte Filterdesign durchgeführt. Außerdem wurden Teile des Schaltungslayout für den HEMT-Transimpedanzverstärker realisiert.

Halbleiterverstärkerkomponenten für OTDM-Anwendungen

Projektleiter: Dr. N. Agrawal — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: **OS**, IT, MT, ST

Ziel

Halbleiterlaserverstärker (HLV) ermöglichen eine rein optische Datenverarbeitung. Hierdurch werden HLV zu wichtigen Funktionselementen für die OTDM-Anwendung. Da unsere Labortechnik auf die Wellenlänge 1.55 µm ausgelegt ist, konzentrieren wir uns vorwiegend auf HLV dieser Arbeitswellenlänge. Unser Ziel ist es, HLV-Bauelemente für die Anwendung als Demultiplexer, Dispersionskompensator und Frequenzkonverter zu entwikkeln. Im Hinblick auf dieses Ziel untersuchen wir neuartige Materialien und Komponenten. Darüber hinaus werden gezielt spezielle photonisch integrierte Schaltungen für OTDM-Systeme entwickelt.

Ergebnisse

Die Arbeit an diskreten HLV-Bauelementen mit einem Bulkmaterial oder verspannten MQWs als aktive Schicht wurde fortgesetzt. Um eine möglichst große Flexibilität beim Design von integrierten Bauelementen, die auf HLV basieren, zu gewährleisten, wurden Halbleiterlaser mit vergrabener Wellenleiterstruktur jeweils unter Verwendung von semiisolierenden InP und pn-Blockierungsschichten hergestellt. Während des vergangenen Jahres haben wir Bulk-HLV hoher Qualität hergestellt, die einen nahezu quadratischen Querschnitt der aktiven Zone aufweisen (Fernfeldwinkel: $\Theta_x = \Theta_y \cong 40°$) und eine Schwelle von 30 mA haben. Intensive Anstrengungen werden auf Antireflexionsdoppelschichten, Window-Facetten und schiefe Facetten verwendet, um die Facettenreflektivitäten auf Werte um 10^{-4} herabzusetzen. Im Gegensatz zu Bulkverstärkern versprechen MQW-Verstärker auf Grund ihrer höheren Ladungsträgerdichte eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit im Systemeinsatz. Polarisationsunabhängigkeit läßt sich mit MQWs nur durch geeignete verspannte Schichtsysteme erreichen. Innerhalb dieses Projektes werden hierfür $In_{1-x}Ga_xAs/In_{1-y}Ga_yAs$-verspannte Schichtstrukturen sowie spannungskompensierte Schichtstrukturen epitaktisch (MOVPE) entwickelt.

Es ist zu erwarten, daß optisch gesteuerte Schalter eine wichtige Rolle in zukünftigen Kommunikationsnetzwerken hoher Kapazität spielen werden, sowohl in der Zeitmultiplextechnik (TDM) als auch in der Wellenlängenmultiplextechnik (WDM). Eine auf Kreuzphasenmodulation beruhende Interferometeranordnung, die aus zwei Halbleiterlaserverstärkern besteht, erscheint als optisch gesteuerter Schalter sehr attraktiv. In dieser Konfiguration ermöglicht mittels der Nichtlinearität der HLV die differentielle Phasenverschiebung, die zum optischen Schalten erforderlich ist. Das erste derartige Funktionselement war ein Sagnac Interferometer mit einem HLV in einem Faserring (SLALOM). Dieses wurde bereits als Demultiplexer in optischen TDM-Experimenten mit hohen Datenraten verwendet. Bisher wurden derartige Interferometer mit diskreten HLV aufgebaut. Andere interferometrische Anordnungen wie z.B. das Mach-Zehnder Interferometer (MZI) mit zwei HLV erlauben eine flexiblere Handhabung, leiden aber unter Instabilitäten, wenn sie nicht monolithisch integriert werden. In diesem Projekt wurde nun zum erstenmal ein monolithisch integriertes MZI bestehend aus zwei HLV hergestellt, das als rein optischer Demultiplexer in TDM-Experimenten zum Einsatz kommt /35, 37/. Wie in **Bild 1** zu sehen, besteht das 2x2 InGaAsP/InP SLA-MZI aus zwei 3 dB-Kopplern und zwei integrierten HLV. Die HLV wurden mittels der EMBH-Technik (=etched mesa buried heterostructure) unter Verwendung von semiisolierendem InP als Blockierungsschichten hergestellt. Als Integrationsschema für den Laser-Wellenleiterübergang wurde die Stoßkopplung verwendet.

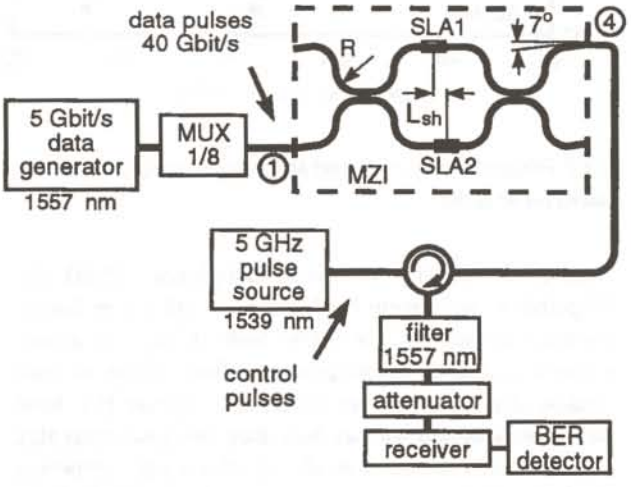


Bild 1: Experimenteller Aufbau für das Demultiplex-Experiment

In Zusammenarbeit mit dem Projekt "Komponenten und Subsysteme für Optische Zeitmultiplextechnik" (s.S. 34) wurde mit einem monolithisch integrierten HLV-MZI fehlerfreies Demultiplexen von 10, 20 und 40 Gbit/s auf 5 Gbit/s demonstriert (s. **Bild 1** und **2**). Ein durchstimmbarer modengelockter Laser (TMLL), ein externer Modulator und ein durchstimmbarer auf optische Verzögerung basierender optischer Multiplexer wurden benutzt, um 10, 20 und 40 Gbit/s Datensignale zu erzeugen. Die Datenpulse ($E \approx 40$ fJ, -1 dBm @ 40 Gbit/s) und die Kontrollpulse ($E \approx 1.3$ pJ, 8 dBm) wurden jeweils an den Eingängen 1 und 4 in das MZI eingekoppelt. Durch die Wahl geeigneter HLV-Injektionsströme wurde das MZI so abgeglichen, daß in Abwesenheit der Kontrollpulse keine Datenpulse zum Eingang 4 geschaltet wurden. Da die HLV im MZI longi-

tudinal gegeneinander versetzt sind, sättigt ein Kontrollpuls die HLV zu verschiedenen Zeiten (Δt=3ps). Diese Zeitdifferenz bestimmt das Schaltfenster, in welchem die Datenpulse zum Eingang 4 geschaltet werden. **Bild 2** zeigt die BER des demultiplexten Datensignals in Abhängigkeit von der Empfangsleistung. Das Inset in **Bild 2** zeigt das Augendiagramm für das 40 Gbit/s-Experiment. Eine klare Öffnung des Auges läßt auf die Abwesenheit von Inter-Channel-Crosstalk schließen. Der Kontrast zwischen dem An- und Auszustand des MZI beträgt 21 dB im statischen Betrieb und mehr als 15 dB im dynamischen Betrieb.

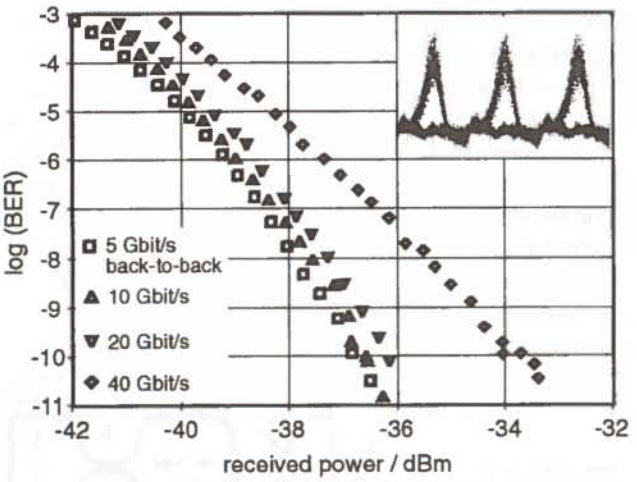


Bild 2: Fehlerratenmessungen und Augendiagramm für Demultiplexen bei 40 Gbit/s

Generell bietet ein Add/Drop-Multiplexer (ADM) die Möglichkeit, aus einem hochbitratigen optischen Datenübertragungsnetz an geeigneter Stelle Kanäle herauszuschalten und/oder einzufügen. Auf diese Weise ist eine flexible Mehrfachknotenarchitektur realisierbar. Für diese Anwendung haben wir ein dem oben beschriebenen MZI vergleichbares Bauelement als 20 Gbit/s rein optischen ADM in OTDM-Systemen demonstriert /36/. Die HLV-Injektionsströme werden so gewählt, daß das MZI in Abwesenheit der Kontrollpulse im Bar-Zustand ist (s. **Bild 3**). Die ursprünglichen OTDM-Kanäle und der Add-Kanal werden jeweils in die Eingänge 1 und 2 eingespeist. Die Kontrollpulse (hier nicht dargestellt) werden auf den Eingang 3 gegeben. Aufgrund der asymmetrischen Anordnung der HLV im MZI entsteht ein Schaltfenster, innerhalb dessen die Datenpulse vom Bar- zum Crosszustand geschaltet werden. **Bild 4** zeigt die mit einer Streakkamera aufgenommenen Meßkurven: a) Eingangsdaten am Eingang 1, b) Ausgangssignal am Eingang 3, nachdem der Kanal C herausgeschaltet wurde, c) eingefügter Kanal X am Eingang 2, d) das gleiche Datensignal wie in b) aber mit dem eingefügten Kanal X. Der Kanal C (jedes vierte Bit) kann mit einer Auslöschung von etwa 10 dB aus dem Originaldatenstrom herausgeschaltet werden. Es zeigt sich, daß eine leichte Intensitätsmodulation der Datenpulse nach dem Passieren des Kontrollpulses auftritt. Dies ist bedingt durch die lange Erholzeit der HLV (≅200 ps). Durch geeignete Verbesserung des gegenwärtigen MZI-Designs sollte es möglich sein, gute Polarisationsunabhängigkeit, einen besseren Kontrast, geringere Faser-Chip Koppelverluste und höhere Datenraten zu erreichen.

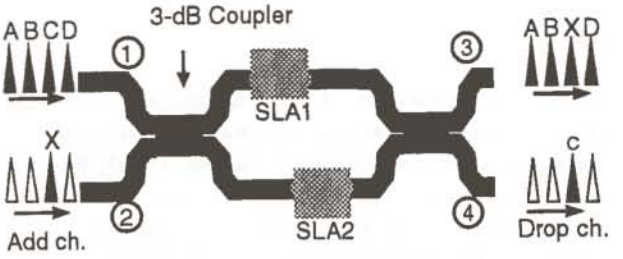


Bild 3: Monolithisch integriertes asymmetrisches Mach-Zehnder Interferometer als Add/Drop Multiplexer

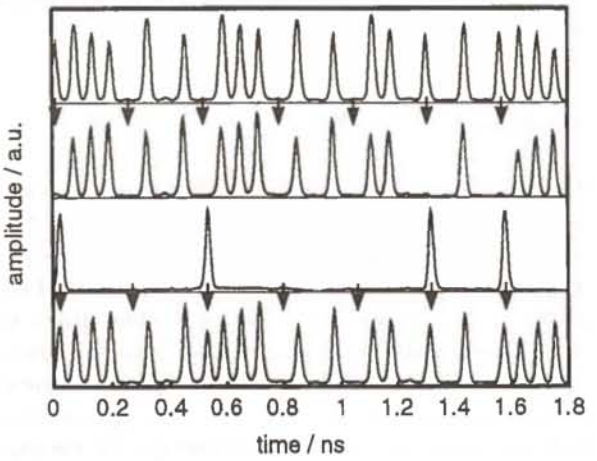


Bild 4: Ergebnisse des Add/Drop Experiments:
a) 20 Gbit/s Datensignal
b) Ausgangssignal (Eingang 3) nach Herausschalten von Kanal C
c) Eingefügter Kanal X (Eingang 2)
d) Ausgangssignal wie b), aber mit eingefügtem Kanal X

Höchstfrequente Empfänger-OEICs auf InP-Basis

Projektleiter: Dr. H.-G. Bach — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: **ST**, IT, MT

Ziel

In optischen Nachrichtensystemen mit schneller TDM-Technik sowie in Mikrowellen-optischen Verteilsystemen werden hochratige Empfänger-OEICs für den Wellenlängenbereich 1,3 bis 1,55 µm benötigt. Bei der hier im Projekt zusammen mit dem FuE-Unterauftragnehmer Universität-GH-Duisburg, FG HLT, durchgeführten Entwicklung von Empfänger-OEICs auf InP-Basis wird eine Empfangsdatenrate von ≥ 40 Gbit/s angestrebt. Das angewandte Wanderwellenkonzept soll eine stetige Weiterentwicklung des OEICs auch für höhere Frequenzen ermöglichen. Im Empfänger werden ein optischer Eingangswellenleiter, eine pin-Photodiode und High Electron Mobility Transistoren (HEMTs) miteinander monolithisch integriert. Auf dem Chip ist eine Wanderwellenverstärkerstufe inklusive der passiven Schaltungselemente vorgesehen. Die im Modul aufgebauten Empfänger-OEICs sollen in Systemexperimenten zusammen mit der Siemens AG, München, getestet werden.

Ergebnisse

Das Layout von Wellenleiter-integrierten Photodioden wurde zwecks Bandbreitesteigerung von 20 auf 50 GHz optimiert. Es wurden Photodioden mit Abmessungen bis herab zu 3×10 µm² mittels MOVPE-Wachstum von semiisolierenden GaInAsP-Wellenleitern auf InP:Fe-Substraten hergestellt. Dabei wurde ein doppelter n^+-Kontakt zur Senkung des Kontaktwiderstandes vorgesehen. Photodioden mit 6×10 µm² aktiver Fläche wiesen nun 3dB-Grenzfrequenzen um 45 GHz auf /59, 60, 242/, s. **Bild 1**. Für die kommende Integration wurde ein neuer Maskensatz für die höchstfrequenten Photodioden mit monolithisch integrierter Bias-Zuführung und Abblockung fertiggestellt. Durch die Hinzunahme der passiven Komponenten werden die hohen, bisher "on-wafer" erzielten Bandbreiten auch in der Modultechnik und in der Schaltungsintegration nutzbar werden. Das für den Detektor verfolgte technologische Konzept ist mit dem parallel bearbeiteten HEMT-Prozeß kompatibel.

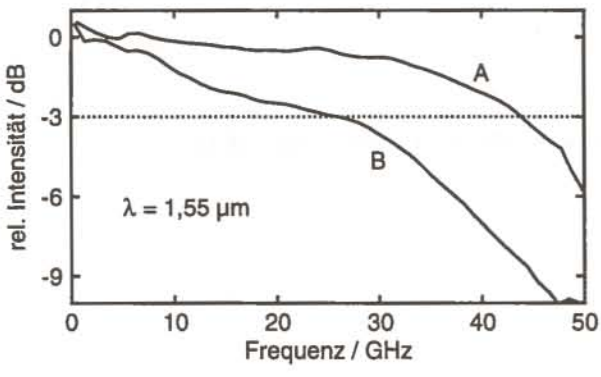


Bild 1: Frequenzgang von Wellenleiter-integrierten Photodioden mit den Abmessungen 6 µm Breite, 10 µm Länge (A) und 10 µm Breite, 50 µm Länge (B)

Erste Modulaufbauten von Wellenleiter-integrierten Photodioden zusammen mit neu entwickelten Koplanarleitungs-Verbindungsträgern auf der Basis von Thermoset-Microwave-Material (TMM) /225/ wiesen Bandbreiten im 35 GHz-Bereich auf /227/.

Für die zukünftige Steigerung der Verstärkerbandbreite von 20 auf 40 Gbit/s wurde die Herstellung von Gates mit Fingerbreiten von < 0,3 µm durch Elektronenstrahl-Lithographie in den HEMT-Prozeß integriert. **Bild 2** zeigt ein Mushroom-Gate, welches als Lift-Off-Profil mit einem Drei-Lagen-Resist erreicht wurde.

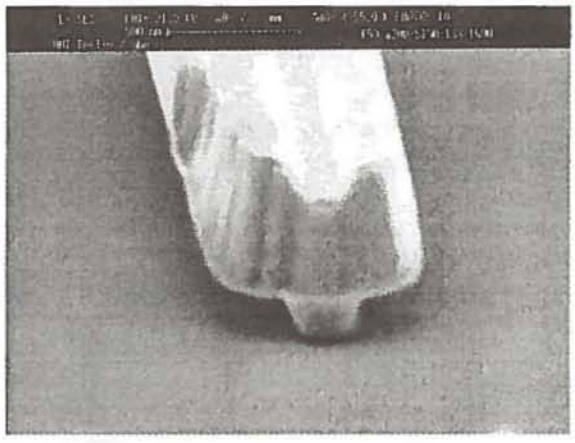


Bild 2: Mushroom-Gate eines HEMT, geschrieben mit der Elektronenstrahl-Lithographie, Fußbreite ca. 175 nm

Für die Schaltungsintegration des Empfänger-OEICs in MMIC-Technik werden auch passive Komponenten wie NiCr-Widerstände, SiN_x-MIM-Kondensatoren, koplanare Leitungen und Luftbrückenverbindungen eingesetzt. Hierzu wurde unter Integration der zuvor erarbeiteten Bauelemente-Einzelprozesse ein alle passive Komponenten umfassender Maskensatz hergestellt und erfolgreich in Bauelemente umgesetzt. Ein Au-Galvanik-Prozeß zur Verstärkung von Leiterbahnen der Koplanarleitungen wurde installiert und in Betrieb genommen.

Für die im Projekt verfolgte Wellenleiter-Photodioden-HEMT-Integration wird das HEMT-Schichtenpaket mittels MBE auf die zuvor mit MOVPE gewachsene Wellenleiter-Photodioden-Schichtenfolge gewachsen. Zuvor wird in den späteren HEMT-Arealen das Photodiodenschichtenpaket selektiv entfernt. Die Abfolge der beiden Epitaxien wurde mehrfach durchlaufen und schrittweise der Einfluß der Wellenleiterschichten und des zwischenzeitlichen

Ätzprozesses auf die HEMT-Qualität untersucht. Zur Gewährleistung einer hohen Qualität der zweiten Epitaxie wurde ein Reinigungsprozeß von MOVPE-Wafern mit UV-Licht erzeugtem Ozon für die MBE-HEMT-Überwachsung weiter optimiert /105/. Weiterhin wurde ein Ätzprozeß zur Strukturierung von Mesas mit schrägen Flanken bis 800 nm Höhe erarbeitet; damit wurde eine einwandfreie Kontaktierung und Verbindung der Elemente bis herunter zu Strukturbreiten von 0,7 µm erreicht. HEMTs, die auf strukturierten Substraten gewachsen wurden, bei denen die Photodiodenschichten in den späteren HEMT-Arealen selektiv entfernt wurden, zeigten Schwellspannungen von - 0,8 V, vergleichbar zu dem Wert von HEMTs auf planaren InP:Fe-Substraten. In Übereinstimmung damit wird auch in der Integration des HEMTs mit der Photodiode das Maximum der externen Steilheit von bis zu 400 mS/mm für den Wanderwellenverstärkereinsatz bei einer Gate-Spannung um 0 V erreicht. Es wurde gezeigt, daß ein zusätzliches niederfrequentes 1/f-Rauschen infolge der Fe-dotierten Wellenleiterschichten im Vergleich zu HEMTs auf planaren InP:Fe-Substraten den Rauschpegel nur um ca. 30 % anhebt /239, 224/.

Das Schaltungsdesign des Wanderwellenverstärkers wurde am FG HLT Duisburg für die Bitrate von 20 Gbit/s, als erstem Teilziel im Projekt, auf der Basis des am HHI extrahierten Kleinsignalersatzschaltbildes der Wellenleiter-integrierten Photodiode optimiert, s. **Bild 3**. Demnach wird bei der Bitrate von 20 Gbit/s eine Empfangsempfindlichkeit von -17,4 dBm bei idealer Signalkonversion durch die Photodiode erwartet. Für das letztendliche Projektziel, den Einsatz des Empfänger-OEICs bei 40 Gbit/s, ist unter der Voraussetzung der Realisierung des Wanderwellenverstärkers mit Cascoden-Stufen eine Empfangsempfindlichkeit von -16,5 dBm bei 1,55 µm Wellenlänge, bezogen auf den Pegel im Wellenleiter, absehbar.

Der Photodioden-Prozeß am HHI und die HEMT-Prozesse beider Projektpartner wurden zusammengeführt. Es wurde ein gemeinsamer Maskensatz eines monolithisch integrierten Empfänger-OEICs, bestehend aus einer Wellenleiter-integrierten Photodiode und einem auf HEMTs basierenden Wanderwellenverstärker, entwickelt und am HHI geschrieben. Die Prototypenprozessierung des Empfänger-OEICs wurde zum Jahresende gestartet.

Mit dem Industriepartner (Siemens AG, München) wurden Details der Einfügung des Empfänger-Moduls in das geplante 20/40 Gbit/s-TDM-Übertragungssystem abgesprochen. Eine Empfängermodul-Übergabe ist im ersten Halbjahr 1996 geplant.

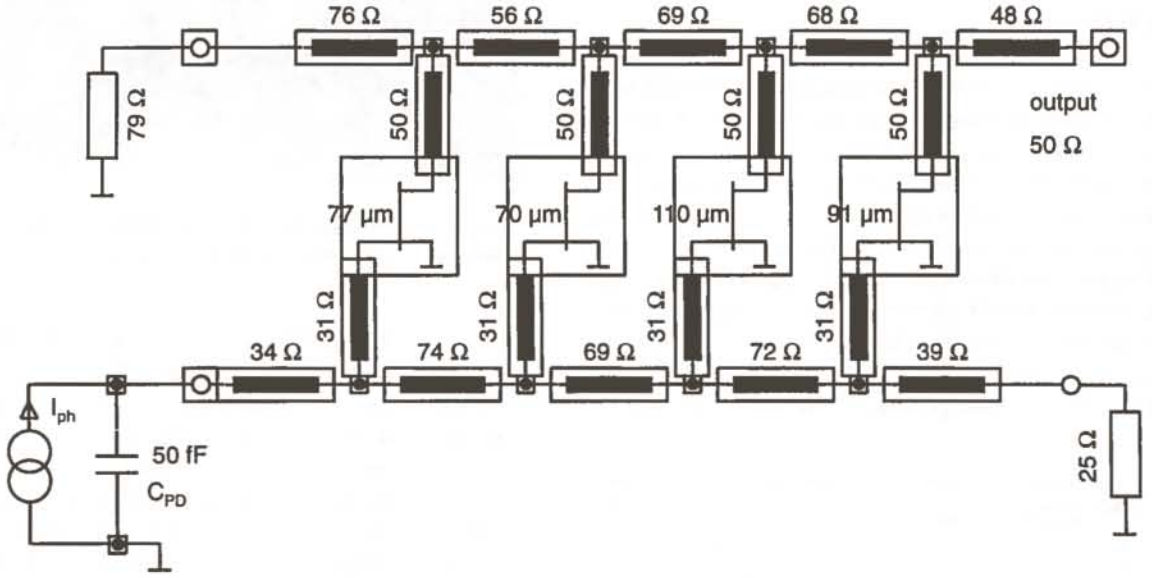


Bild 3: Schaltung des Wanderwellenverstärkers, integriert mit der Photodiode; Entwicklungsziel 20 Gbit/s

MSM-Photodetektoren mit Submikrometer-Geometrie

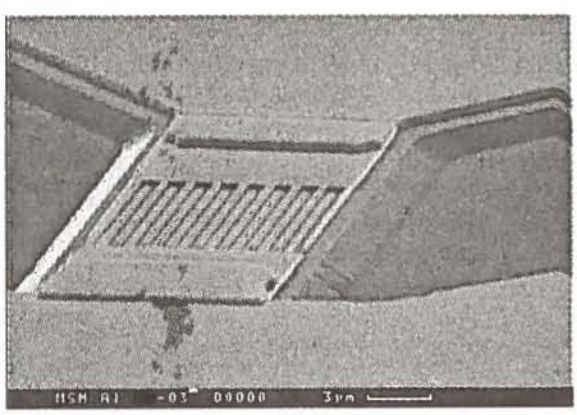
Leiter: Dipl.-Phys. A. Umbach Finanzierung: HHI
Abteilung: ST

Ziel

Metall-Halbleiter-Metall-(MSM-) Strukturen mit interdigitaler Elektrodenanordnung sind aufgrund ihrer geringen flächenbezogenen Kapazität gut für den Einsatz als sehr schnelle Photodetektoren geeignet. Um eine möglichst hohe Bandbreite zu erzielen, müssen die Ladungsträger-Transitzeiten durch Verkleinerung der Elektrodenabstände bis in den Submikrometer-Bereich verringert werden. In Zusammenarbeit mit der TU Berlin werden solche Detektoren auf InGaAs/InP unter Einsatz der Elektronenstrahllithographie hergestellt.

Ergebnisse

Es konnten Strukturen mit Lacköffnungen bis herab zu 300 nm Breite in einem Abstand von ebenfalls 300 nm realisiert werden. Dabei wurde ein für einen Lift-Off-Prozeß geeignetes unterschnittenes Lackprofil erzeugt. Dies ermöglichte die Herstellung von sub-µm MSM-Photodetektoren auf InGaAs-Absorptionsschichten mit Dicken von 300 und 700 nm durch Aufdampfen von Pt/Ti/Pt/Au Schottky-Kontakten und anschließender Mesa-Ätzung zur Isolation. Das **Bild** zeigt einen Detektor mit 300 nm Fingerbreite und Abstand.



REM-Aufnahme eines MSM-Photodetektors mit 300 nm Elektrodenabstand

Die Detektoren weisen aufgrund einer dünnen InP-Deckschicht extrem niedrige Dunkelströme (< 50 nA bei - 8 V) auf und besitzen eine relativ hohe externe Quantenausbeute von 32 % (für 300 nm InGaAs-Dicke), gemessen bei einer Wellenlänge von 1,3 µm. Die Hochfrequenzeigenschaften der Detektoren wurden durch Pulsmessungen bestimmt. Der Frequenzgang der Detektoren zeigt eine 3 dB Bandbreite von 40 GHz bei 1,3 µm Wellenlänge /61/.

Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen Teilprojekt: Integrierter photonischer Sender mit schnellem Wanderwellenmodulator

Projektleiter: Dr. D. Hoffmann Auftraggeber:
Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.6.95-30.4.96 Abteilung: **OS**, ST, MT, IT

Ziel

Ziel des Projekts ist es, ein kompaktes Sendemodul für Multigigabit-Übertragungssysteme herzustellen, das eine niedrige Schaltspannung und einen möglichst geringen Wellenlängenchirp aufweist. In dem Modul sollen ein Laser und ein externer Modulator mit Wanderwellenelektrode monolithisch integriert werden. Dabei sollen Absorptionsmodulatoren mit Mach-Zehnder (MZ)-Modulatoren bzw. -Schaltern verglichen werden. Das in diesen Komponenten verwendete MZ-Interferometer im Gegentaktbetrieb ist chirpfrei. Die Stabilität des Lasers hingegen hängt vom Schaltzustand des Modulators ab, wenn sich mit dem Schaltvorgang auch die Rückreflexionen auf den Laser verändern. Dies wird als Laserchirp bezeichnet. Wird jedoch, wie vorgesehen, ein MZ-Schalter eingesetzt, so bleibt nach dem heutigen Kenntnisstand die Rückreflexion auf den Laser konstant und damit die Laserfrequenz stabil.

Ergebnisse

Aufbauend auf den Erfahrungen aus den Projekten "WELCOME" (RACE 2006) und "Optischer Halbleiterverstärker und Untersuchungen zur optischen Signalregeneration" (Telekom) wurde ein Integrationskonzept entwikkelt, in dem ein Drei-Sektions-DFB-RW-Laser mit einem Absorptionsmodulator mit Wanderwellenelektroden kombiniert wird. Das Integrationskonzept sieht vor, die Wellenleiterschichten des Modulators durch selektive Epitaxie herzustellen. Dadurch ist eine getrennte Opti-

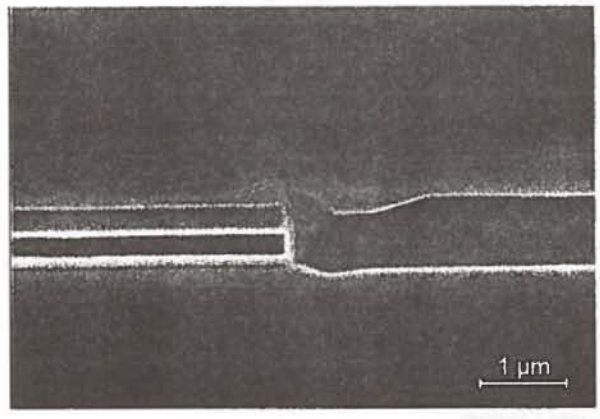


Bild 1: Rasterelektronenstrahlmikroskopische Aufnahme der Stoßstelle Laser- und Modulator-Wellenleiter

mierung von Laser und Modulator möglich. **Bild 1** zeigt die REM-Aufnahme einer solchermaßen hergestellten Stoßstelle von Laser- und Modulator-Wellenleiter. Da die Mitte beider Kernschichten nahezu auf gleicher Höhe liegt, kann man einen geringen Koppelverlust vom Wellenleiter des Lasers in den des Modulators erwarten.

Die notwendige elektrische Isolation zwischen dem Laser und dem Modulator läßt sich erzielen, indem ihre p-Kontakte durch selektive Diffusion hergestellt werden. Die Diffusion erfolgt als Zwei-Stufen-Prozeß, da unterschiedliche Diffusionsprofile benötigt werden, wobei der erste Schritt viel länger dauert als der zweite. Durch den ersten wird im Bereich des Lasers ein tiefliegender pn-Übergang nahe der aktiven Schicht erzeugt. Vor dem zweiten Schritt werden zusätzlich die Kontaktfenster für den Modulator geöffnet. Die zweite Diffusion treibt den pn-Übergang des Lasers nur unwesentlich tiefer, aber erzeugt im Modulatorbereich einen flachliegenden pn-Übergang, der die benötigte geringe Kapazität besitzt. Die Kontrolle der Diffusionprofile mit einem Ätzprofiler ergab, daß für Diffusionzeiten von 4 Minuten für die tiefe und 20 Sekunden für die flache Diffusion die pn-Übergänge in der richtigen Tiefe zu liegen kommen. Mit diesem zweistufigen Diffusionprozeß wurden auch broad-area-Laser hergestellt. Ihre Charakterisierung ergab Schwellstromdichten, die mit denen von herkömmlichen RW-Lasern vergleichbar sind.

In einer weiteren Parallelaktivität, die die Optimierung der Modulatoren zum Ziel hat, wurde eine neue Art nebensprecharmer Schalter entwickelt /65/. Diese Schalter basieren auf einer geschickten Kombination von Elektrorefraktion und Elektroabsorption. Ein hoher Anteil von Elektroabsorption erhöht einerseits die Asymmetrie in Kopplerstrukturen und dämpft darüber hinaus den unerwünschten übergekoppelten Anteil der optischen Welle. Dadurch kommt es zu einer digitalen Schaltcharakteristik. Es konnte erstmals gezeigt werden, daß es mit nur einem Schalter möglich ist, Nebensprechwerte <-45 dB zu erreichen (**Bild 2**) anstatt, wie sonst üblich, mit einer Kaskadierung. Solche Schalter sind damit hervorragend für große Schaltknoten geeignet.

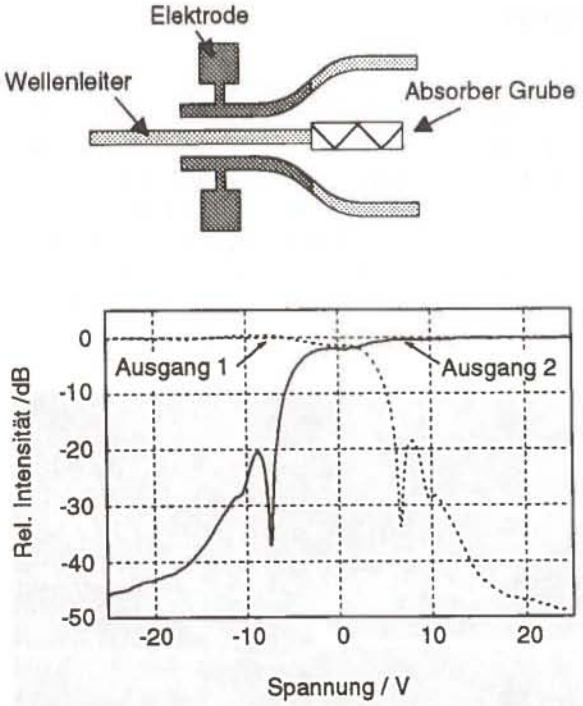


Bild 2: Struktur und Schaltcharakteristik des neuen nebensprecharmen Schalters

Quantum Well Components for High Speed Transmission Systems (WELCOME)

Projektleiter: Dr. D. Hoffmann	Finanzierung: EU (50%), BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.12.95	Abteilung: **OS**, ST, MT, IT

Ziel

Das von der EU geförderte Projekt RACE 2006 hatte zum Ziel, die Palette der Bauelemente im RACE Programm durch fortschrittliche, verpackte, im System getestete, auf Quantenfilmen basierende Komponenten zu ergänzen. Der Schwerpunkt lag auf Lasern, integrierten oder potentiell integrierbaren, externen Modulatoren und optischen Pikosekunden-Pulsquellen für Multigigabit-Übertragungs- und Verteilsysteme. Das Konsortium von RACE 2006 bestand aus folgenden Partnern: Alcatel SEL (D), Technische Universität Tampere (SF), CNET (F), Universität Stuttgart (D), Universität Marburg (D), Universität Bath (GB), Thomson CSF (F), Universität Lausanne (CH), BNR Europe (GB), Deutsche Telekom AG (D) und dem HHI als sponsoring partner. Am HHI wurde untersucht, wie ein Modulator realisiert werden kann, der zum Demultiplexen eines 40 Gbit/s-Signals geeignet ist.

Ergebnisse

Zum Aufbau eines Demultiplexers für 40 Gbit/s-Signale benötigt man die Kombination von Wanderwellenansteuerung und Quantenfilmschichten, um die gewünschte hohe Grenzfrequenz bei minimaler Schaltspannung zu erreichen. Die im letzten Jahresbericht vorgestellte Konfiguration mit jeweils symmetrisch zu den beiden Wellenleitern angeordneten Wanderwellenelektroden, bei der die mittlere Elektrode im Bereich der Phasenschieber-Sektion nur so breit ist wie die Wellenleiter-Rippe (3 µm), weist einen relativ hohen Serienwiderstand (R_S = 8,9 Ω/mm) auf, was zu nennenswerten Mikrowellenverlusten führt /64/. Deshalb wurde nun ein neues Elektrodendesign in Form einer kapazitiv belasteten, koplanaren Wanderwellenleitung untersucht. **Bild 1** zeigt den schematischen Aufbau. Das gesamte Mach-Zehnder-Interferometer wird nun von der Wanderwellenleitung umrahmt. Die Leiterbahnen können jetzt aufgrund des neuen Designs 100 µm breit gemacht werden und weisen damit einen deutlich niedrigeren Serienwiderstand auf. Innerhalb der Phasenschieber-Sektion wird die Wanderwellenleitung mit einer periodischen Sequenz (Periodenlänge Λ) von einzelnen Phasenmodulator-Elementen beaufschlagt. Diese zusätzlichen Elektroden der Länge L_E vermitteln die elektro-optische Wechselwirkung, wobei die Unterbrechungen auf der Wellenleiterelektrode die Mikrowellenströme auf die seitlichen Leiterbahnen geringen Widerstandes zwingt. Außerdem bewirken sie eine Belastung mit der zusätzlichen Kapazität C_E, so daß die Mikrowelle auf der Wanderwellenleitung retardiert wird. Mit Hilfe der Designfreiheitsgrade Λ und L_E bzw. C_E wird erreicht, das Mikrowellen-Design und das optische Design weitgehendst zu entkoppeln. Nun kann einerseits die charakteristische Impedanz durchgängig auf 50 Ω getrimmt werden, andererseits lassen sich die Brechungsindizes für Mikrowelle und optische Welle angleichen, so daß RF-Phasengeschwindigkeit und optische Gruppengeschwindigkeit übereinstimmen. Die Untersuchung von Teststrukturen mit diesem neuen Elektrodendesign ergab, daß damit Grenzfrequenzen > 45 GHz und insbesondere geringere Verluste erzielbar sind (**Bild 2**).

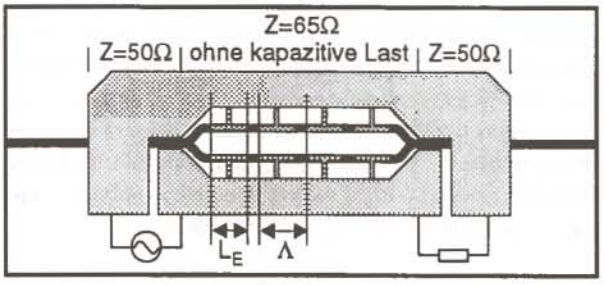


Bild 1: Aufsicht auf eine kapazitiv belastete, koplanare Wanderwellenleitung, wie sie in hochbitratigen Demultiplexern eingesetzt werden soll

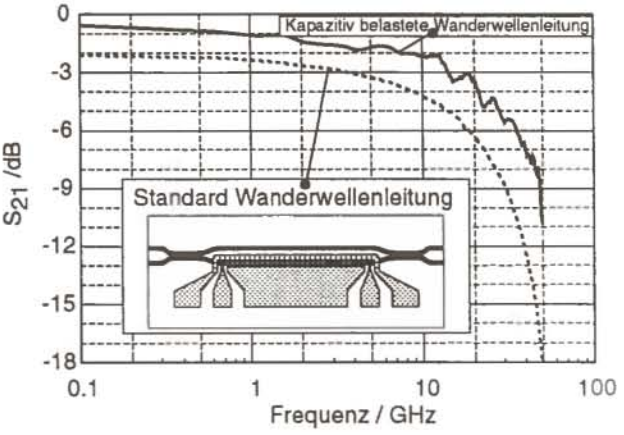


Bild 2: Vergleich des Übertragungsverhaltens der 'Standard-Elektrode' mit der kapazitiv belasteten Lauffeldleitung

Parallel zum neuen Elektrodendesign wurden MQW-Wellenleiterschichten untersucht, deren Einsatz die noch hohe Schaltspannung reduziert, ohne daß längere Elektroden in Kauf genommen werden müssen. Die nunmehr verwendete 17-fache Sequenz von InGaAsP-Quantenbrunnen (12 nm dick, λ_g = 1,48 µm) und InP-Barrieren (6 nm dick) zeigt einen erhöhten Überlapp der Lichtwelle mit der MQW-Schichtenfolge. Zusätzlich wurde das MOVPE-Wachstum der MQW-Schichten weiter verbessert, so daß ihre Hintergrunddotierung auf unter $4 \cdot 10^{15}$ cm^{-3} gesenkt und die Verschleppung von As in die Barrieren-

schicht bzw. von P in die Quantenbrunnenschicht reduziert werden konnte. Mit dieser neuen MQW-Schichtenfolge wurden Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) aufgebaut. Die Schaltcharakteristik eines 4 mm langen MZI ist in **Bild 3** dargestellt. Der Vergleich mit den bisher vorliegenden Ergebnissen für Bauelemente, bei denen keine MQW-Schichten zum Einsatz kamen, zeigt, daß hier weniger als die Hälfte der zuvor benötigten Schaltspannung ausreicht. Der Teilbeitrag des HHI wurde damit erfolgreich abgeschlossen.

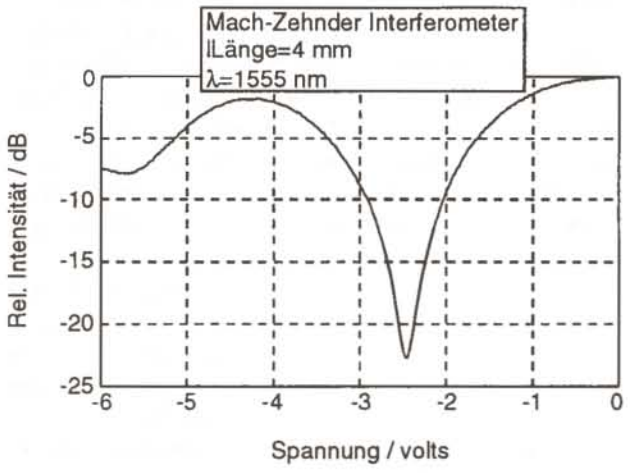


Bild 3: Gemessene Schaltcharakteristik eines 4 mm langen Mach-Zehnder Interferometers mit optimierten Multiquantenfilm-Schichten

Photonic Technologies for Ultra High Speed Information Highways (HIGHWAY)

Projektleiter: Dr. D. Hoffmann	Förderer: EU (50%), BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.9.95-31.8.98	Abteilung: **OS**, ST, MT, IT

Ziel

Das Highway Projekt ist Teil des europäischen Förderprogramms ACTS. Das Konsortium AC 067 setzt sich aus folgenden Partnern zusammen: Alcatel SEL AG (D), Alcatel Alsthom Recherche (F), France Telecom CNET (F), Heinrich-Hertz-Institut (D), University of Bath (UK), Technical University of Denmark (DK), Deutsche Telekom AG (D), Eidgenössische Technische Hochschule (CH), British Telecommunications plc (UK).

Das Highway Projekt fördert vielversprechende ultra schnelle photonische Systeme und fortschrittliche Komponenten-Technologien, die das enorme Übertragungspotential in optischen Übertragungsnetzen besser nutzen und genügend Informationsbandbreite zur Verfügung stellen sollen, um so den stetig steigenden Bedarf für neue Breitbanddienste in zukünftigen transeuropäischen Telekommunikationsnetzwerken (Information Highways, Bandwidth on Demand) zu decken.

Das Ziel der Projektpartner ist es, ein hochratiges 40 Gbit/s Einkanal-Übertragungssystem aufzubauen, das den Anspruch nach einer besseren Ausnutzung der Übertragungskapazität in optischen Punkt-zu-Punkt Verbindungen erfüllt. Dabei sollen fortschrittliche photonische Komponenten und Subsysteme entwickelt und im Einsatz demonstriert werden. Die optische Zeitmultiplextechnik (OTDM) wird hier als attraktives Verfahren eingestuft, um die Übertragungskapazität von Einkanalübertragungssystemen für Datenraten auf bis zu 40 Gbit/s und höher zu steigern; Werte, die heute mit konventionellen elektronischen Multiplextechniken und direkt modulierten Signalquellen nicht erreichbar sind. Der Aufbau und die Untersuchung einer Demonstrationsstrecke nach diesem Verfahren erlaubt bereits zu einem frühen Zeitpunkt wichtige Erkenntnisse über die meisten systemrelevanten Aspekte und die damit verbundenen Begrenzungen in Fernübertagungsstrecken mit 40 Gbit/s RZ-Signalen. Ein weiteres Ziel des Projekts ist es, durch die Entwicklung und den Einsatz von ultra schnellen optischen Komponenten und Subsystemen die Synergie zwischen Photonik und Elektronik zu fördern und so die effizienteste Kombination für zukünftige Systemgenerationen zu finden.

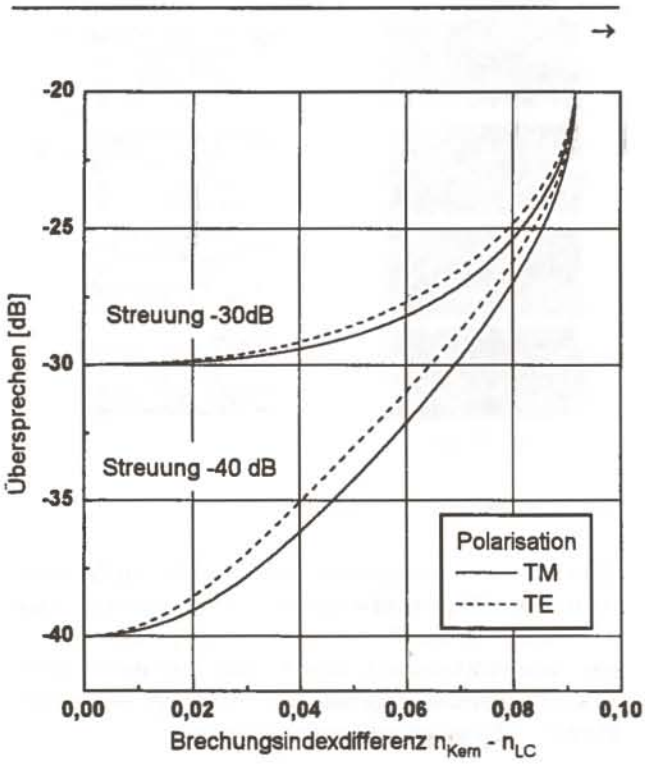
Das HHI konzentriert sich im Rahmen dieses Projektes auf die Entwicklung fortschrittlicher Komponenten für die Taktrückgewinnung und das optische Demultiplexen bei 40 Gbit/s:

Taktrückgewinnung: Dazu werden DFB Laser hergestellt mit integrierter Phasensektion und mit Gittern, die für hohe Selbstpulsationsfrequenzen optimiert werden. Die Selbstpulsations- und Einrasteigenschaften werden untersucht. Die Bauelemente werden selektiert und als Modul verpackt, um sie den anschließenden Systemtests zu unterziehen.

Signal-Demultiplexer: Dazu wird ein elektro-optischer Mach-Zehnder Schalter in Quantenfilmstrukturen hergestellt, dessen physikalisches Funktionsprinzip auf dem Quantum-confined Stark Effekt basiert. Besonderes Gewicht wird bei der Realisierung der Demultiplexer-Module auf die Optimierung des Design der Wellenleiter und der Wanderwellenelektroden in Hinblick auf eine geringe Polarisationabhängigkeit, niedrige Schaltspannung und hohe Grenzfrequenz gelegt. Außerdem soll ein Modentransformator zur Reduzierung der Koppelverluste auf dem Chip integriert werden.

Ergebnisse

Das Projekt ist gerade begonnen worden, die Komponentenspezifikationen werden zur Zeit festgelegt.



Berechnetes Übersprechen des flüssigkristallgesteuerten TIR-Schalters in Abhängigkeit von der Fehlanpassung der Brechungsindexe von Wellenleiterkern und Flüssigkristallmaterial und Streuverlusten von -30 dB bzw. -40 dB

SiO_2/Si-Wellenleiterschalter mit LC-Schichten

Projektleiter: Dipl.-Ing. E. Schulze Förderer: HHI
Laufzeit: 1.4.94-31.3.96 Abteilung: NA

Ziel

Integrierte optische Raumschalter sind für optische Netze von großer Bedeutung. Im Projekt sollen derartige Schalter auf der Basis von SiO_2/Si-Wellenleitern und flüssigkristallgesteuerten Totalreflexionsknoten im Hinblick auf ihr Schaltverhalten, wie Dämpfung, Übersprechen und Polarisationsabhängigkeit untersucht werden. Im ersten Projektabschnitt soll das Prinzip experimentell demonstriert und die sich hierbei ergebenden Probleme aufgezeigt werden /199/.

Ergebnisse

Die bisherigen theoretischen Arbeiten zu den Wellenleiterschaltern haben gezeigt, daß Schalter mit guten Eigenschaften hinsichtlich Dämpfung (< 1dB), Übersprechen (< -40 dB), Polarisationsabhängigkeit (< 1%) und Schaltzeiten (< 10 ms) zu erwarten sind, wenn die technologischen Probleme erfolgreich gelöst sind. Die Schalter sind durch eine geringe Leistungsaufnahme (µW), kleine Größe (Realisierbarkeit größerer Matrizen), kleine Matrixdämpfung (z.B. < 2 dB für 4x4-Matrix) und digitales Schaltverhalten gekennzeichnet. Probleme ihrer Realisierung sind die lithographischen Strukturierungsprozesse zur Erzielung guter Totalreflexionsschaltflächen im Wellenleiterknoten, der Einsatz geeigneter Flüssigkristallmaterialien und die Orientierung ihrer Moleküle. Schalterstruktur, Flüssigkristallmaterialien und deren Orientierung haben hierbei wesentlichen Einfluß auf das Schaltverhalten und die Polarisationsunabhängigkeit. Zur experimentellen Klärung der technologischen Probleme wurde mit der Schalterrealisierung begonnen. Maskendesigns und Masken zur lithographischen Strukturierung von Si-Wafern mit $SiO_2/Si_xO_yN_z$-Dünnschichten wurden erstellt und die Wellenleiterstrukturierung durchgeführt. Die Wafer wurden von der Firma Robert Bosch GmbH, Zentralstelle Forschung, Gerlingen-Schillerhöhe, zur Verfügung gestellt und teils im Heinrich-Hertz-Institut und teils bei Bosch zu Wellenleitern strukturiert. Die Realisierung der elektrisch steuerbaren Wellenleiterschaltknoten mit eingebetteten Mikro-Flüssigkristallzellen erfolgt derzeit im Projekt.

Höchstbitratige Übertragung in optischen Netzen
Teilprojekt: Thermo-optische Polymerschalter

Leiter: Dipl.-Ing. N. Keil — Auftraggeber: Dt. Telekom AG
Laufzeit: 1.6.95-30.4.96 — Abteilung: MT, NA/OV

Ziel

Wichtige Funktionselemente optisch transparenter Netzknoten sind Raumschalter, die hochratige Datensignale von einer beliebigen Eingangsfaser zielgerecht auf die gewählte Ausgangsfaser leiten können. An sie werden hohe Anforderungen gestellt: Polarisationsunabhängigkeit, geringes optisches Nebensprechen, niedrige Einfügedämpfung, geringe Rauschzahl, niedrige elektrische Ansteuerleistung, Ansprechzeit ≤ 10 ms, kompakte Architektur, geringe Herstellungskosten. Bis heute sind, außer Faserschaltern, noch keine Raumschalter verfügbar, die den Aufbau größerer Koppelanordnungen mit befriedigenden Eigenschaften erlauben.

Die Technologie der thermo-optischen Schalter auf Polymerbasis bietet gegenüber anorganischen und halbleitenden Materialien Funktions- und Kostenvorteile. Das im HHI verwendete Polymer PMMA (Polymethylmethacrylat) weist einen an die Glasfaser angepaßten optischen Brechungsindex auf ($n = 1{,}49$), zeigt praktisch keine Doppelbrechung und eine akzeptable Materialdämpfung von 0,3 dB/cm im Wellenlängenbereich um $\lambda = 1300$ nm bzw. 0,8 dB/cm bei $\lambda = 1550$ nm. Ziel ist es, auf PMMA-Basis polarisationsunabhängige Schalter herzustellen, die eine geringe Einfügedämpfung und ein sehr geringes Nebensprechen aufweisen. Wegen der günstigen thermischen Eigenschaften von PMMA benötigen diese Schalter Ansteuerleistungen in einem Bereich von nur 5 mW (Mach-Zehnder-Interferometer-Schalter) bis 30 mW (Richtkoppler-Schalter), bei Schaltzeiten von weniger als einer Millisekunde. Geringe Herstellungskosten werden ermöglicht, weil hier relativ einfache Verfahren angewendet werden, die aus der Mikroelektronik gut bekannt sind.

Ergebnisse

Am HHI wurde die weltweit erste mikroprozessorgesteuerte (4x4)-Raumstufe auf Polymerbasis entwickelt /66, 67/. Das Basiselement der Schaltmatrix ist ein optischer (2x2)-Richtkoppler, der mit einer Heizelektrode belegt ist. Die Aufheizung eines der zwei eng benachbarten Wellenleiter im Koppelbereich verringert dessen Brechungsindex und bewirkt den Wechsel des Lichtes von dem einen in den anderen Wellenleiter /68/. Die (4x4)-Schaltmatrix beinhaltet auf einer Fläche von 40 x 2 mm² acht dieser Basisschalter (**Bild 1**). Mit ihr lassen sich optische Signale von jedem der vier Eingänge gleichzeitig auf jeden beliebigen der vier Ausgänge schalten.

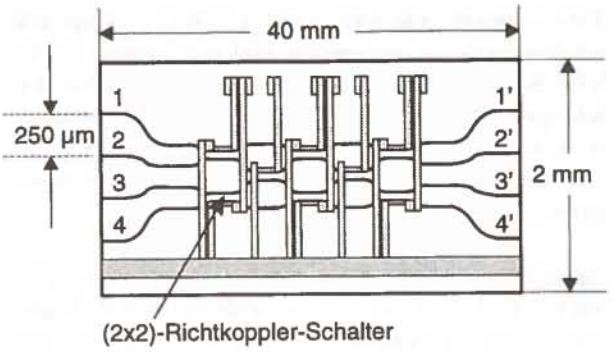


Bild 1: (4x4)-Schaltmatrix (rekonfigurierbar): Chip-Layout

Bild 2 zeigt die Nahfeldbilder von vier Schaltzuständen und die dazugehörenden Schalterstellungen. Das Kanalnebensprechen liegt zwischen -21,5 dB und -32,5 dB, die elektrische Ansteuerleistung bei 30 mW pro Schaltelement. Die Polarisationsabhängigkeit beträgt weniger als 0,5 dB, die Schaltzeit liegt unter einer Millisekunde. Die Einfügedämpfung (Faser-Chip-Faser) beträgt weniger als 9 dB, etwa 4 dB entfallen dabei auf die Faser/Chip-Kopplung.

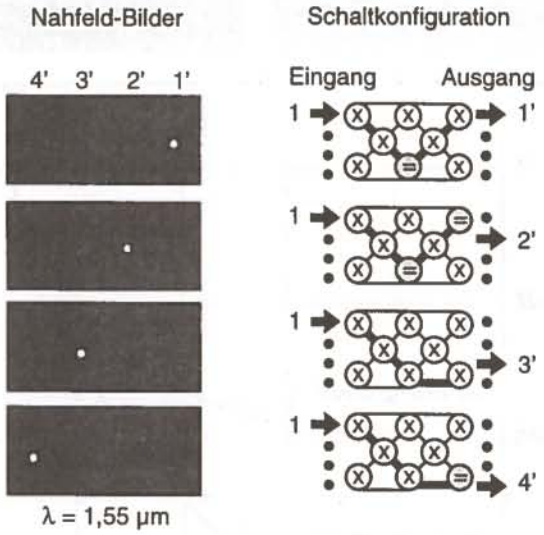


Bild 2: Nahfeldbilder und Schaltkonfigurationen

Zum Aufbau des kompletten Moduls wurden an die Stirnflächen des Chips beidseitig Faserarrays angesetzt. (**Bild 3**). Für die Stromzufuhr zu den Heizelektroden wurde eine Bond-Klebetechnik angewendet. Der Polymerchip ist in ein Gehäuse eingebaut und wird durch ein Peltier-Element auf konstanter Temperatur gehalten.

Die Ansteuerung erfolgt über insgesamt acht Heizelektroden, deren stromabhängige Temperatur für den Schaltzustand maßgebend ist. Hierfür sind acht unabhängig justierbare Stromquellen in die Steuerung der Matrix eingebaut. Dem Aufbau der gewünschten Verbindung zwischen Eingang und Ausgang dient eine Logikeinheit: ein

Mikroprozessor bringt über acht DA-Wandler mit 13 Bit Auflösung die Stromquellen in den erforderlichen Zustand. Die Bedienung erfolgt menuegeführt über ein alphanumerisches Display und eine Tastatur /69, 70/.

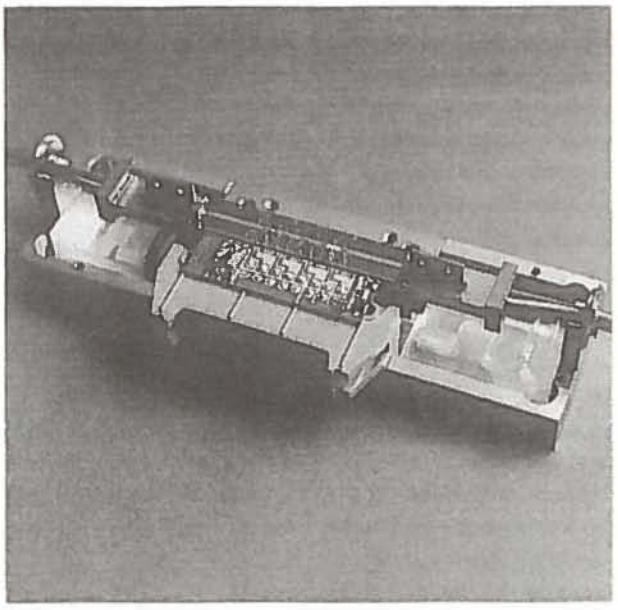


Bild 3: (4X4)-Matrix-Modul

Die mikroprozessorgesteuerte Raumstufe hat auf der CeBIT '95 in Hannover ihre Leistungsfähigkeit bereits unter Beweis gestellt: bei mehr als 500.000 Schaltvorgängen funktionierte sie fehlerfrei /71/.

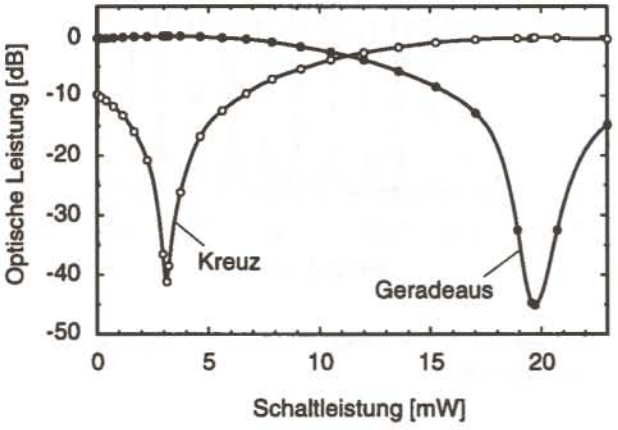


Bild 4: Transfercharakteristik eines (2x2)-Richtkoppler-Schalters mit modifizierter Elektrodenkonfiguration

In Telekom-Anwendungen werden für (4x4)-Raumkoppelfelder deutlich mehr als 30 dB Nebensprechdämpfung gefordert. Momentan wird am HHI daran gearbeitet, die Eigenschaften der Polymer-Schalter bezüglich Nebensprechen, Arbeitspunktstabilität, Einfügedämpfung und Schaltleistung durch veränderte Schalter- und Wellenleiter-Konzepte weiter zu verbessern. **Bild 4** zeigt die Transfercharakteristik eines (2x2)-Richtkoppler-Schalters, bei dem durch eine modifizierte Elektrodenkonfiguration in beiden Schaltzuständen polarisationsunabhängige Nebensprechdämpfungen von mehr als 40 dB erreicht werden konnten. Mit einem 7 mm langen Richtkoppler-Schalter wurde ein Bestwert von 45 dB Nebensprechdämpfung erreicht. Die elektrischen Ansteuerleistungen betragen 3 mW im Kreuz- bzw. 20 mW im Geradeaus-Zustand /215/.

Die kurze Baulänge und die hervorragenden Crosstalk-Eigenschaften, machen diesen Schaltertyp zu einem exzellenten Basisbaustein für größere Raumkoppelfelder.

Integrierte Wellenleiterkomponenten auf SiO_2/Si-Basis für OFDM-Systeme

Projektleiter: Dr. B. Kuhlow — Finanzierung: HHI
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: NA/OV

Ziel

Schlüsselbauelemente für optische Frequenzmultiplex-Systeme (OFDM) sind optische Filter, sowie optische Frequenzmultiplexer und -demultiplexer. Diese sollten möglichst verlustarm und polarisationsunabhängig sein. Ziel des Projektes ist es, Filterkomponenten unter Verwendung von integrierten Wellenleiterstrukturen auf SiO_2-Basis zu entwickeln. Das Materialsystem SiO_2/Si ermöglicht die Herstellung polarisationsunabhängiger Komponenten mit sehr geringer Dämpfung im gesamten optischen Übertragungsbereich von 1,3 - 1,6 µm. Ein wesentlicher Vorteil dieser Komponenten besteht in ihrer hohen Zuverlässigkeit und Güte bei relativ geringem Technologieaufwand verbunden mit moderaten Herstellungskosten.

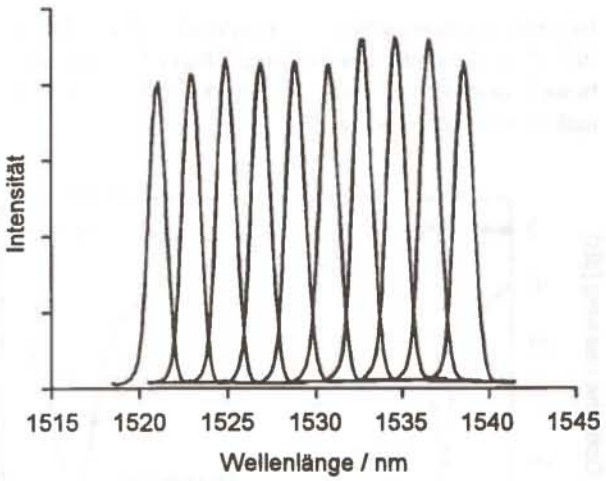
Ergebnisse

Die Wellenleiterstrukturen werden in SiO_2-Wellenleiterschichten geeigneter Dicke und Dotierung, die auf Si-Wafern über einer Bufferschicht abgeschieden werden, realisiert. Hierbei werden PIRI-Substrate verwendet, die mit Flammenhydrolyse hergestellt werden. Diese bestehen aus einer 20 µm dicken SiO_2-Bufferschicht und einer 6 µm dicken Ge-dotierten SiO_2-Wellenleiterschicht.

Die Herstellung der Wellenleiterkomponenten erfolgt ausgehend von computergenerierten und elektronenstrahlgeschriebenen Masken durch Übertragung der Strukturen mittels optischer Lithographie, anschließendes reaktives Ionenätzen (RIE) und dem Aufbringen einer SiO_2-Deckschicht über den herausgeätzten Wellenleiterstrukturen. Die Strukturierung der SiO_2-Wellenleiterschichten bis zu 6 µm Tiefe durch anisotropes Ätzen liefert glatte Oberflächen bei guter Flankensteilheit, wie sie zur Realisierung dämpfungsarmer Wellenleiter erforderlich sind. Als Ätzmaske wird derzeit eine ca. 3 µm dicke Photolackschicht verwendet. Ätzmasken aus amorphem Silizium sind in der Erprobung. Die Herstellung der bis zu 10 µm dicken Deckschichten mit guter Kantenüberdekkung wird derzeit vom FHG Freiburg mittels PECVD durchgeführt. Parallel dazu wird am HHI eine Ionenstrahl-Sputterdepositionstechnik (IBSD) eingesetzt, die ebenfalls die Herstellung sehr dämpfungsarmer Schichten gestattet.

Ausgehend von Berechnungen zum Modenquerschnitt, zu den Verlusten gekrümmter Wellenleiter und zur 2D-Freiraumausbreitung in Wellenleiterschichten wurde ein erstes Filter in Form eines Phased-Array-Gitters für 1,5 µm Wellenlänge mit 16 Ausgängen und 2 nm Kanalabstand designed, prozessiert und vermessen. Die in dem Entwurf zugrundegelegten Bauelementparameter wurden durch die Messungen bestätigt. Das hierin verwendete Wellenleitergitter, maßgeblich für die Frequenzauflösung des Bauteils, besteht aus 120 Streifenwellenleitern mit jeweils 35 Wellenlängen Gangunterschied zwischen den benachbarten Wellenleitern entsprechend einem geblazten Gitter für die 35. Ordnung. Das **Bild** zeigt die gemessene spektrale Verteilung in 10 Ausgangskanälen eines Phased-Array-Filters mit jeweils 2 nm Kanalabstand. Außerdem wurden Koppelelemente auf der Basis von Multimode-Interferenzfiltern (MMI) designed und hergestellt.

Während eines 6-monatigen Gastwissenschaftleraufenthaltes eines HHI-Mitarbeiters bei NTT in Japan wurde ein von NTT in Silica-Technik hergestelltes, elektrisch ansteuerbares, optisches Filter berechnet und optisch vermessen. Das Filter basiert auf einem transversalen Filter und weist mehr als 64 integrierte, elektrisch durchstimmbare Koppler und Phasenschieber auf. Die gemessene Halbwertsbreite konnte im Bereich von 44-84 GHz und die Zentralfrequenz über einen Bereich von über 100 GHz fast kontinuierlich verändert werden.



Gemessenen Filtercharakteristik eines Phased-Array-Filters für 10 Ausgangskanäle

Polungsoptimierung sowie elektrische und optische Grundlagenuntersuchungen für NLO-Polymer-Wellenleiterbauelemente

Projektleiter: Förderer: BMBF, Land Berlin
Dr. S. Bauer (bis 30.6.95)
Dr. S. Bauer-Gogonea (seit 15.8.95)
Laufzeit: 1.5.94-30.4.97 Abteilung: MT

Ziel

Nichtlinear optische Polymere sind interessant für eine Vielzahl von optischen Wellenleiterbauelementen, wie elektro-optische Modulatoren, optisch-optische Schalter oder Frequenzumsetzer. Zur Realisierung dieser Bauelementkonzepte müssen thermisch stabile Polymere entwickelt und bezüglich ihrer Nichtlinearitäten charakterisiert werden. Das Projekt wird im Rahmen des BMBF-Schwerpunktprogramms Materialforschung (MATFO) in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern Siemens-Forschungslabor, Erlangen, BASF-Farbenlabor, Ludwigshafen, IOT Entwicklungsgesellschaft für integrierte Optik-Technologie, Waghäusel-Kirrlach und Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung, Teltow durchgeführt. In Kooperation mit den Verbundpartnern soll am HHI für quervernetzende Polymere die Polungsdynamik und die thermische Stabilität der Dipolorientierung untersucht und gegebenenfalls theoretisch modelliert werden, wofür geeignete Meßverfahren zu entwickeln sind. Darüber hinaus werden die bisher entwickelten Verfahren zur Herstellung periodisch gepolter Strukturen für Quasiphasenanpassung, die die Basis für optisch-optische Bauelemente sind, weiterentwickelt und eingesetzt.

Ergebnisse

Die Polungsdynamik in quervernetzenden nichtlinear optischen Polymeren wird durch dielektrische Messungen und in-situ Messungen des elektro-optischen Koeffizienten während des simultan ablaufenden Polungs- und Vernetzungs-vorgangs untersucht /78/. Dielektrische Messungen zeigen auf einfache Weise, in welchem Temperaturbereich die Dipole in der Polymermatrix orientierbar sind und erlauben somit eine Optimierung der Polungszeiten und Polungstemperaturen. In-situ elektro-optische Messungen während des Polungsprozesses eignen sich besonders gut zur Prozeßkontrolle, da sie eine unmittelbare Bestimmung der erzielten Nichtlinearitäten erlauben /78/.

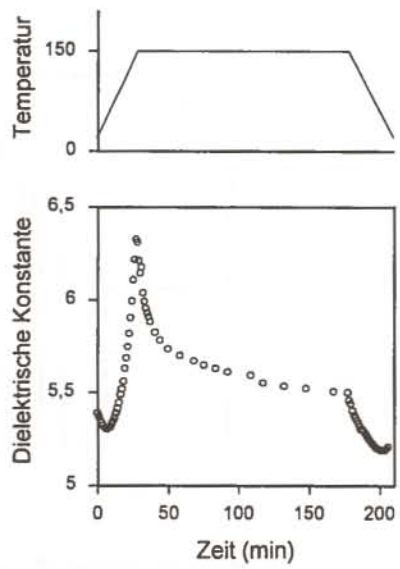


Bild 1: Dielektrische Funktion eines vernetzenden Polymers während des Heiz-, Vernetzung- und Kühlzyklus

Bild 1 (oben) zeigt die Temperaturrampe, mit dem die Vernetzungsreaktion eines typischen vernetzenden nichtlinear optischen Polymers untersucht wird, während **Bild 1** (unten) die zugehörige dielektrische Funktion aufzeigt. Während des Heizens der Probe wächst die dielektrische Konstante und zeigt somit die zunehmende Beweglichkeit der Dipole an. Während des isothermen Vernetzungsprozesses nimmt die Beweglichkeit der Dipole und damit auch die dielektrische Konstante ab. Beim Abkühlen der Probe werden die Dipole schließlich vollständig eingefroren. Ähnliche Ergebnisse findet man durch in-situ elektro-optische Messungen während der Polung /78/. Hier wird zusätzlich zum Polungsfeld ein geringes Wechselfeld angelegt um unmittelbar den elektro-optischen Koeffizienten ellipsometrisch zu messen. Im Anschluß an die Polung wird die thermische Stabilität der Dipolorientierung durch pyroelektrische /76/ und elektro-optische thermische Analyse bestimmt /81/.

Zur Herstellung stufenförmiger Dipolorientierungsprofile in der Dickenrichtung des Polymerfilms, wie sie für phasenangepaßte Frequenzverdopplung gebraucht werden, wurden mehrere Polungsverfahren erprobt. Durch Ladungsinjektion kann in Polymeren eine inhomogene Orientierung der Dipole erzielt werden /80/. Definierte Strukturen können durch zweistufige Polungsverfahren realisiert werden, wobei der zerstörungsfreie Nachweis der Orientierungsprofile durch pyroelektrische Tiefenmikroskopie /82, 83/ erfolgt. Für die zweistufigen Polungsverfahren ist die lichtinduzierte Polung von besonderem Interesse, da sie bei Raumtemperatur durchgeführt werden kann. Die thermische Stabilität der Dipolorientierung ist jedoch nach der lichtinduzierten Polung in der Regel geringer als nach thermischer Polung, konnte aber durch Voralterung unter angelegtem elektrischen Feld wesentlich gesteigert werden /77/. Beide Verfahren sind interessant zur Herstellung von Demultiplexern, bei denen die Frequenzverdopplung mit gegenläufigen Wellen ausgenutzt wird.

Periodische Strukturen werden für quasi-phasenangepaßte Frequenzumsetzung benötigt, wie **Bild 2** schematisch veranschaulicht. Für eine effiziente Frequenzumsetzung ist es erforderlich, eine alternierende Dipolorientierung zu erzeugen, wobei die Periode der Struktur durch die "Beat"-Länge der wechselwirkenden Wellenlängen vorgegeben ist. Zur Erzeugung und zum zerstörungsfreien Nachweis solcher Strukturen werden am HHI verschiedene Verfahren entwickelt und erprobt.

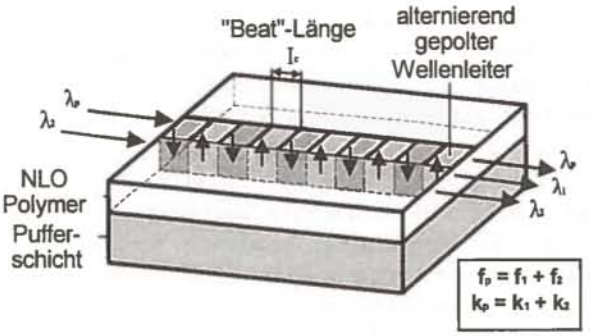


Bild 2: Schematische Darstellung eines periodisch gepolten Polymerwellenleiters für quasi-phasenangepaßte Frequenzumsetzung

Zur Messung der elektro-optischen Aktivität in periodisch gepolten Polymeren wurde ein Phase-Shift-Interferometer entwickelt /79, 84/, das sich auch zur Untersuchung der Oberflächendeformation nach der Polung eignet /86/. **Bild 3** zeigt das Phase-Shift Interferometer, das auf dem Prinzip eines Zweistrahlinterferometers beruht /79, 84/. Bei der periodischen Polung von nichtlinear optischen Polymeren mit lithographisch strukturierten Elektroden treten starke Oberflächendeformationen auf, wenn die Elektroden auf der Schichtoberseite aufgebracht werden. Diese Deformationen lassen sich durch ein geeignetes Elektrodendesign minimieren. Im Rahmen einer Kooperation mit dem CREOL-Institut (USA) und AKZO (NL) wurden erste Frequenzverdopplungsexperimente bei 1.55 µm durchgeführt, wobei am HHI eine systematische Untersuchung der Verformung des Polymers nach strukturierter Polung durchgeführt wurde /86/. Bei weiterer Optimierung der Polungsstruktur sind damit optisch-optische Bauelemente nach dem Prinzip kaskadierter Nichtlinearitäten zweiter Ordnung möglich /86/.

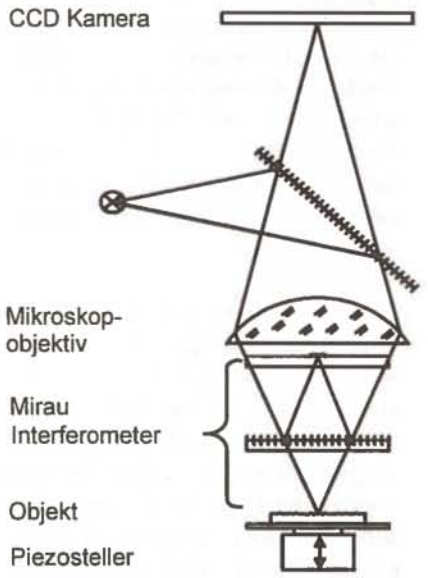


Bild 3: Schematische Darstellung eines Phase-Shift-Interferometers

Numerische Simulation photonischer Komponenten

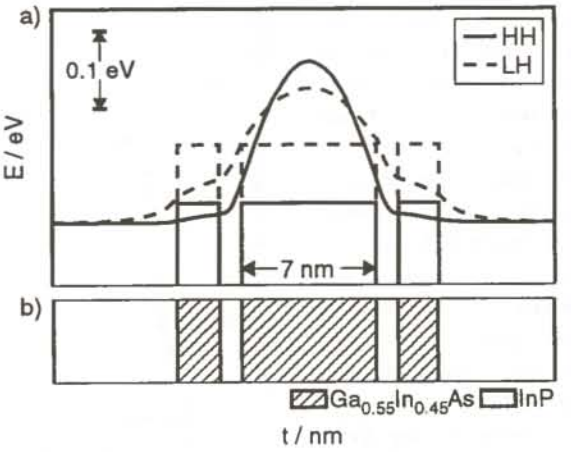
Leiter: Dr. C.M. Weinert — Finanzierung: HHI
Abteilung: OS

Ziel

Aufgabe der Arbeitsgruppe Simulation und Modellierung ist es, ausgehend von den physikalischen Grundgleichungen photonische Komponenten zu entwickeln, rechnerisch zu beschreiben und zu optimieren. Die Arbeiten sind überwiegend projektbezogen und die Ergebnisse werden im Rahmen der einzelnen Projekte dargestellt. Die darüber hinaus entwickelten numerischen Rechenprogramme für allgemeine Problemstellungen sowie die Ergebnisse zu grundlegenden Bauelementeentwicklungen werden im folgenden beschrieben.

Ergebnisse

Der Quantum Confined Stark Effect (QCSE) in Quantenbrunnenstrukturen kann durch Verspannung der Quantenbrunnen polarisationsunabhängig gemacht werden. Zum Design solcher verspannter Strukturen wurde ein neues Rechenprogramm entwickelt, das ausgehend vom Zug- und Verspannungstensor die Deformationspotentiale berechnet und dann die Elektronen- und Lochzustände in verspannten Quantenbrunnen ermittelt. Mit diesem Rechenprogramm wurde das Design einer Quantenstruktur im InGaAs/InP Materialsystem durchgeführt, bei der die leichten und schweren Löcher wegen der dünnen Tunnelbarrieren einen unterschiedlich breiten Quantenbrunnen sehen (**Bild**). Verbindet man diesen Effekt mit einer Zugverspannung, so kann ein polarisationsunab-



a) Berechnete Quantentöpfe, Energiezustände und Wellenfunktionen für die schweren Löcher (HH) und leichten Löcher (LH) in einem verspannten Quantentopf mit zusätzlichen Tunnelbarrieren. b) Schichtstruktur.

hängiger QCSE erzielt werden. Die Ergebnisse sollen für das Design polarisationsunabhängiger schneller optischer Schalter eingesetzt werden /63, 64/.

Umfassende Untersuchungen zur optimalen Ankopplung von Halbleiterlaserverstärkern an vergrabene Rechteckwellenleiter wurden mit Hilfe der zweidimensionalen Finite Differenzen Methode durchgeführt. Verstärker und Wellenleiter wurden so dimensioniert, daß bei möglichst einfachen Fabrikationsschritten gute Verstärkereigenschaften, maximale Wellenleiter-Verstärker-Kopplung und kleine Krümmungsradien möglich sind. Diese Ergebnisse sowie die Erfahrung bei der Optimierung von Mehrmodeninterferenz-Kopplern, gingen ein in das Design eines integriert optischen Demultiplexers für 40 Gbit/s Signale /35/.

Um die numerische Simulation der optischen Signalausbreitung auf Glasfasern zu simulieren, wurde ein numerisches Rechenprogramm zur Lösung der nichtlinearen Schrödingergleichung am VAX-Rechner implementiert. Dieses Rechenprogramm ist von der Arbeitsgruppe Prof. Petermann, TU Berlin, entwickelt worden und wurde dem HHI zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, das Programm zur begleitenden Simulation von Systemexperimenten einzusetzen. Erste Berechnungen zu hochbitratigen Übertragungsexperimenten, die im Rahmen des OTDM Projekts durchgeführt wurden, zeigen gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

Laser mit digitaler Abstimmcharakteristik bezüglich der Wellenlänge sind für die optische Nachrichtentechnik von großer Bedeutung. Mit Hilfe der bidirektionalen Eigenmoden Propagations Methode wurden Übergitterstrukturen von DBR-Lasern unter diesem Gesichtspunkt untersucht und neuartige Gitterstrukturen auf ihre Eignung hin geprüft /93/. Zu dieser Thematik gehören auch erste Untersuchungen zu Ringlasern. Die theoretische Beschreibung von gekrümmten Wellenleitern steht hier im Vordergrund und soll zukünftig intensiviert werden.

Ein neues Bauelementeprinzip zur Reduzierung des Nebensprechens von Digitalen Optischen Schaltern (DOS) wurde entwickelt und theoretisch untersucht. In der Mitte eines DOS in X-Kopplerstruktur wird ein elektro-optischer Modenconverter integriert und zur Modenanpassung benutzt. Das Nebensprechen in diesem verbesserten DOS kann dabei von -20 dB auf -40 dB verbessert werden, ohne daß sich die Bauelementelänge drastisch erhöht /91, 92, 197/. Diese Architektur hat den Vorteil, daß sie insbesondere für stark geführte Wellenleiter geeignet ist, die kurze Bauelementelängen erlauben. In einer Zusammenarbeit mit der Firma Alcatel, France, wurde das Design eines so verbesserten DOS in Y-Struktur entwikkelt, der von Alcatel in InP-Technologie bis zum Jahresende realisiert werden soll.

Auf internationalen Tagungen und Workshops wurde über grundlegende Eigenschaften von Wellenleiterbauelementen /62, 88/ und über die Weiterentwicklung theoretischer Methoden berichtet /89, 90, 87/. Die Mitarbeit bei Cost 240, Arbeitsgruppe 2 (Techniques for Modelling and Measuring Advanced Photonic Telecommunication Components) zum Problem des Wellenleitertapers führte zu einer sehr intensiven Zusammenarbeit mit anderen europäischen Gruppen, die in einer gemeinsamen Publikation mündet.

Elektrische Meßtechnik

Leiter: Dr. H.-G. Bach — Finanzierung: HHI
Abteilung: IT

Ziel

Die Elektrische Meßtechnik wird projektübergreifend zur Unterstützung der technologischen Abteilungen in der Photonik betrieben. Schwerpunkte bestehen in der Dotierungsanalytik, der C(V)- und Admittanzmeßtechnik an Halbleiterstrukturen, der Höchstfrequenz- und der Rauschmeßtechnik sowie in der Parameterextraktion an Bauelementen und Leitungsstrukturen mittels Netzwerkanalysemethoden.

Ergebnisse

Für die Weiterentwicklung der Modultechnik für den Einsatz im Frequenzbereich um 40 GHz müssen, analog zur optischen Wellenausbreitung, die Ausbreitungen mehrerer Moden auf elektrischen Leitungssystemen betrachtet werden. Die daraus resultierende Beschränkung der Bandbreite der Verbindungsleitung und die für unterschiedliche Moden variierenden Reflexionsbedingungen an Übergängen zwischen verschiedenen Leitungsabschnitten erfordern eine Designoptimierung aller Übergänge nach Impedanz- und Wellenfeld-Anpassungsgesichtspunkten. Für die Chip-zu-K-Stecker-Verbindung in Modulen wurden eine Reihe von Verbindungsträgern auf der Basis verschiedener Substrate wie Al_2O_3, Silizium und Thermoset Microwave Material (TMM) dimensioniert, hergestellt und charakterisiert /225/. Auf TMM-Substraten mit einer DK von 3,27 wurden für 50 Ω-Koplanarleitungen Bandbreiten unter reiner Koplanarmodenanregung bei der on-wafer-Meßtechnik oberhalb der Meßgrenze von 50 GHz ermittelt, s. **Bild 1**.

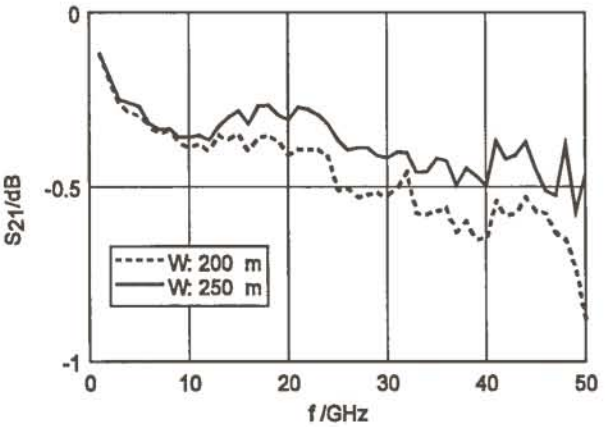


Bild 1: Bandbreite und Dämpfungsverhalten von 50 Ω- Koplanarleitungen der Länge 5mm auf TMM-Substrat für zwei verschiedene Innenleiterbreiten W

Für die Anbindung der OEICs an die Koplanar-Verbindungsleitung zum K-Stecker des Moduls wurde für Bonddrahtverbindungen untersucht, daß zur Erzielung von 50 GHz-Bandbreiten Bondabstände kleiner 150 µm eingehalten werden müssen. Für die Anbindung von K-Steckern an Koplanarleitungen wurden Koplanarleitungen auf TMM-Substratbasis mit verschiedenen Masseverbindungskonfigurationen mit K-Steckern verbunden und bzgl. ihrer Übertragungsbandbreite und Reflexionen untersucht. Aufgrund der Wellenfeld-Fehlanpassung beim Übergang vom Koaxialleiter zur Koplanarleitung sind einfache Übergänge dieser Art nur bis ca. 20 GHz einsetzbar. Bei höheren Frequenzen macht sich die Multimodeanregung insbesondere des Mikrostrip-Leitungsmodes bemerkbar. Modifizierte Koplanarleitungen mit zusätzlich seitlich geerdeten Masseflächen zeigten schon deutlich besseres Bandbreiteverhalten bis 35 GHz, wenn eine Fotodiode als elektrisch kurze Signalquelle im Modul angebunden wird /227/.

Zur Charakterisierung des breitbandigen Rauschens von HEMTs in Empfängerschaltkreisen, bei denen Bandbreiten von 32 kHz bis 40 GHz gefordert werden, wurden zwei Rauschmeßplätze aufgebaut und betrieben. Ein Meßplatz ermittelt das niederfrequente Rauschen im 1/f-Bereich (100 Hz bis 4 MHz) /239/. Eine durchgeführte Entwicklungsarbeit an der Modellbildung und am Schaltungssimulator erlaubt, allein aus dem HF-Kleinsignalersatzschaltbild und der Messung der Rauschzahl der HEMTs im 50 Ω-Rauschmeßsystem (30 MHz bis 15 GHz) auf die minimale Rauschzahl zu schließen, s. **Bild 2**, /239/.

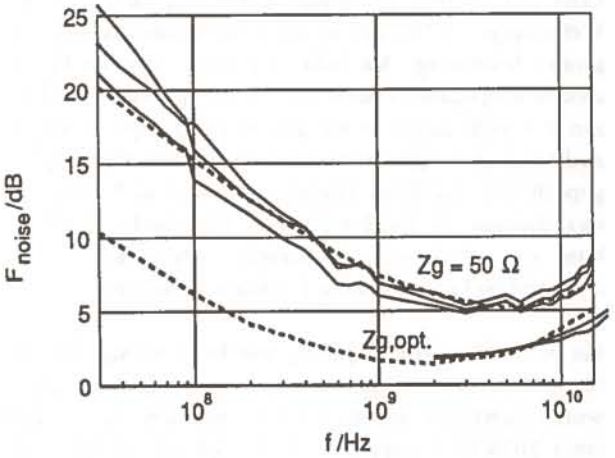


Bild 2: Rauschzahl unpassivierter InP-HEMTs (1*100 µm); obere Kurven: Messungen an drei HEMTs und PSPICE-Simulation (gestrichelt) im 50 Ω-System, untere Kurven: Messungen an einem Tunersystem (FG HLT Duisburg) und Vergleich mit der PSPICE-Simulation (gestrichelt) mit optimiertem Generatorwiderstand

Es wurde eine gute Übereinstimmung des prädiktiven Kleinsignalmodells mit den Messungen sowohl für die 50 Ω-Umgebung wie für den optimalen Generatorwiderstand erzielt. Die Modellierungsergebnisse werden bei der Vorhersage zu erzielender Empfangsempfindlichkeiten (s.S. 51, "Höchstfrequente Empfänger-OEICs auf InP-Basis") verwendet.

Fortgeschrittene Lithographieverfahren

Leiter: Dr. H. Engel

Finanzierung: HHI
Abteilung: ST

Ziel

Die laterale und nunmehr verstärkt eingesetzte vertikale Strukturierung von Lacken auf Substratoberflächen erfordert wegen der zunehmenden Anforderungen bezüglich minimaler Strukturdimensionen und der von herkömmlichen Profilen abweichenden Formen neuartige Belichtungsstrategien und die Entwicklung komplexer Prozesse.

Ergebnisse

Extrem geringe Strukturbreiten von unter 30 nm, wie sie für die Untersuchung von Quanteneffekten, die Herstellung neuartiger Gitter ('synthetische Gitter' mit $\Lambda \approx 120$ nm) oder die Strukturierung von Gittern 1. Ordnung auf dem Materialsystem GaAs ($\Lambda \approx 150$ nm) notwendig sind, können mit der Elektronenstrahl-Lithographieanlage erreicht werden. Nach einem Lift-Off-Prozeß mit 70 nm dickem Lack (PMMA500k) wurden mittlere Strukturbreiten von 27 nm (minimal 24 nm) als Goldlinien realisiert. Das **Bild 1** zeigt ein solches Testmuster.

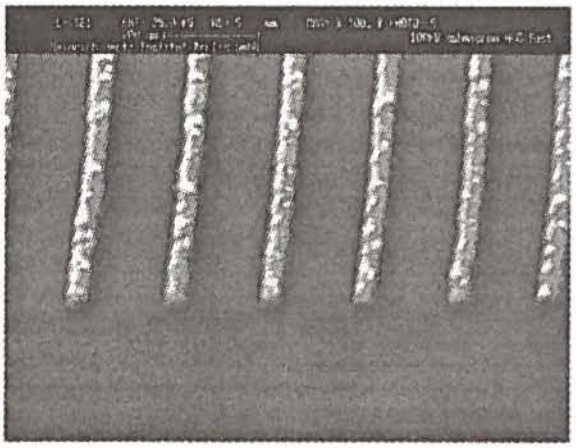


Bild 1: REM-Aufnahme extrem schmaler Goldstege (< 30 nm)

Gitterstrukturen vergleichbarer Periodizität können nun auch in negativ arbeitenden Lacken (AZPN) erzeugt werden. Das erleichtert die Durchführung nachfolgender Trockenätzprozesse, da einerseits der Negativlack eine höhere Ätzresistenz bei der Strukturierung von Dielektrika- und Metallschichten aufweist und andererseits ohne zusätzlichen Belichtungsaufwand freie Referenzflächen auf der Substratoberfläche, benötigt für eine in situ Kontrolle der Ätzung, entstehen.

Die horizontale und vertikale Positionierung von Gittern zu Wellenleitern konnte durch die Entwicklung eines Prozesses, bei dem die Definition der Wellenleiterrippe und der Gittersektion in einem einzigen Belichtungsschritt erfolgt, sehr stark vereinfacht und in der Präzision erheblich gesteigert werden. Zudem werden durch dieses Verfahren günstigerweise Schritte bei der nachfolgenden Prozessierung eingespart. **Bild 2** zeigt den Übergangsbereich von Wellenleiter zu Gittersektion.

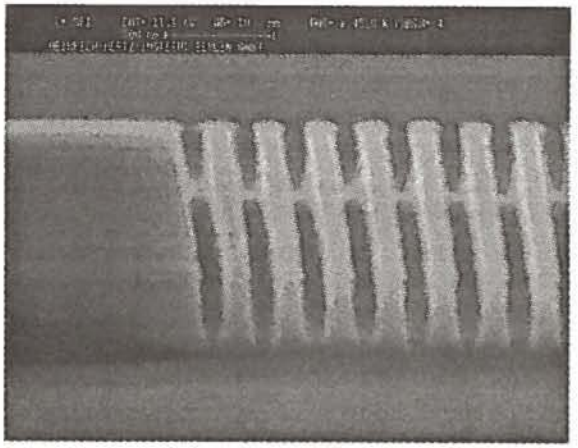


Bild 2: REM-Aufnahme des Übergangsbereichs von simultan generiertem Wellenleiter und Gitter nach Strukturübertragung in InGaAsP/InP

Bei der innovativen vertikalen Strukturierung von Lacken für holographische und diffraktive optische Elemente oder Taper treten neben den aus der konventionell betriebenen, lateral strukturierenden Lithographie bekannten Problemen wie Kantenqualität und Linienbreiten-Toleranz zusätzliche Forderungen auf, die Uniformität des vertikalen Profilverlaufs und die Rauhigkeit der strukturierten Resistoberfläche betreffend. Zur Veranschaulichung der geometrischen Verhältnisse in einem Wellenleitertaper müßte über die Ausdehnung von Berlin (ca. 40 km) eine gleichmäßig verlaufende Rampe einen Höhenunterschied von lediglich 40 m aufweisen. Um diesem Anspruch zu genügen, ist das Verfahren der sog. "Superpositionierungs-Technik" entstanden. Dabei wird die Regelung der vertikalen Lackabtragsempfindlichkeit äußerst feingestuft über eine variabel einstellbare Belichtungsdosis erreicht. Die Hinzunahme der Mehrfachbelichtung innerhalb einer Belichtungssequenz erweitert die Genauigkeit der Profilgestaltung bis in den Nanometer-Bereich bei gleichzeitiger Reduktion der Oberflächenrauhigkeit bis hin zu wenigen Nanometern.

Um die Nachteile der direktschreibenden Elektronenstahl-Lithographie, d.i. insbesondere die zeitintensive Belichtung für jeden einzelnen Wafer, bei der Herstellung von Wellenleiter-Tapern zu überwinden, wurde der Gesamtprozeß der bereits im vorhergehenden Jahresbericht beschriebenen semitransparenten Maskenlithographie hinsichtlich der Kontur und Rauhigkeit der Oberfläche im Rampenbereich optimiert /96/. Symmetrische Wellenleiter-Taper, die mit der semitransparenten Maskenlithogra-

phie und der direktschreibenden Elektronenstrahl-Lithographie hergestellt wurden, zeigen die gleichen Resultate bezüglich Justiertoleranz und optischer Koppelverluste. Durch eine Variation der Länge des getaperten Bereichs, in dem die Transformation des optischen Feldes geschieht, konnte für den symmetrischen Wellenleitertaper eine für geringe Koppelverluste einzuhaltende Mindestlänge von ca. 300 - 350 µm bestimmt werden (s. **Bild 3**).

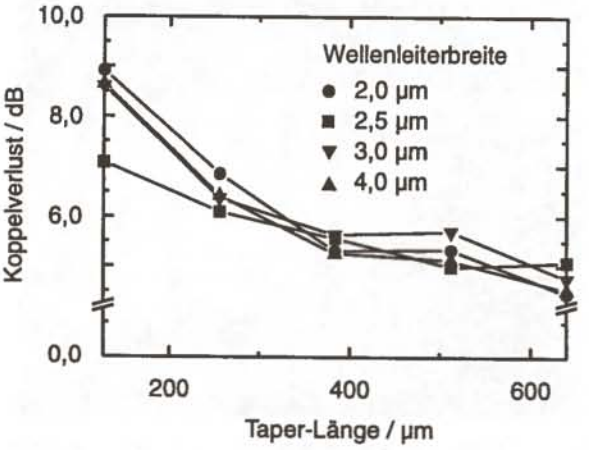


Bild 3: Optische Verluste der Faser-Chip-Kopplung (zwei Koppelstellen) als Funktion der Taper-Länge für unterschiedliche Wellenleiterbreiten

Trockenätztechnik

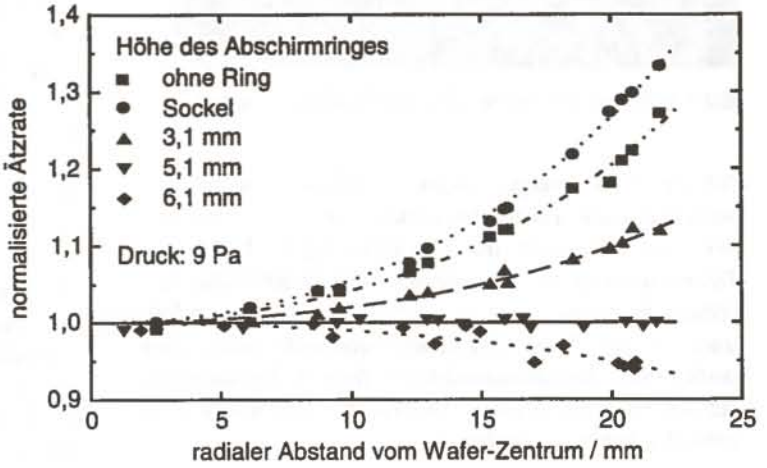
Leiter: Dipl.-Phys. K. Janiak — Finanzierung: HHI
Abteilung: ST

Ziel

Die in zunehmenden Maße erforderliche Prozessierung von komplexen photonischen Bauelementen und OEICs in 2"Wafer-Technologie stellt hohe Anforderungen an die Uniformität, Reproduzierbarkeit und Schädigungsarmut bei der Strukturierung durch reaktives Ionenätzen (RIE). Ziel der Arbeiten war es, die Uniformität des Ätzangriffes durch geeignete Maßnahmen zu verbessern, die zeitlichen Ätzschwankungen durch in situ Kontrolle zu ermitteln und anhand von Dämpfungsmessungen an optischen Wellenleitern die Schädigung von Ätzflanken zu untersuchen.

Ergebnisse

Bei der Ätzung mit CH_4/H_2-RIE von 2"-InP-Wafern mit geringem Maskierungsgrad zeigt sich, wie schon im letzten Jahresbericht beschrieben, eine deutliche Nichtuniformität mit ansteigender Ätzrate zum Waferrand hin. Die laterale Variation der Ätzrate kann hierbei bis zu 40 % betragen. Durch Verringerung des Prozeßdruckes auf 0,6 Pa konnte die Uniformität auf 2 % verbessert werden. Da der niedrige Prozeßdruck jedoch eine starke Einschränkung (z.B. niedrige Ätzrate) des Ätzprozesses darstellt, wurde eine Möglichkeit gesucht, bei hohem Druck mit guter Uniformität zu ätzen. Durch Verwendung eines Abschirmringes aus Aluminium, der um den Wafer gelegt wird, konnte die Uniformität bis hin zu Werten, die unterhalb der Meßgenauigkeit liegen, verbessert werden. Die Verbesserung der Uniformität hängt hierbei kritisch von der Ringhöhe ab (s. **Bild**). Die optimale Ringhöhe ist



Einfluß der Höhe des Abschirmringes auf die laterale Ätzuniformität

jedoch keine Funktion des Prozeßdruckes. Zwei Mechanismen, die möglicherweise auch in kombinierter Form wirken, bieten sich zur Erklärung dieses Effektes an: der Ring unterbricht die Diffusion der vom umgebenden Probenteller lateral einfallenden Ätzspezies, oder es findet eine Abschattung des Waferrandes gegenüber dem Plasma statt. Das ist deutlich erkennbar bei hohen Ringen, in diesem Fall wird die Ätzrate im Randbereich geringer als im Zentrum der Probe. Bei hohen Drücken und großen Ringhöhen geht dieses so weit, daß im Randgebiet keine Ätzung mehr stattfindet, sondern sich eine Polymerschicht ablagert. Weitere Untersuchungen an 3"-InP-Wafern sollen den Einfluß der Probengröße auf die optimale Ringhöhe zeigen.

Mit Hilfe der beiden in situ Verfahren der Ellipsometrie und der Massenspektrometrie konnte die zeitliche Änderung der Ätzrate innerhalb eines Prozesses sowie innerhalb der Reaktorhistorie (Gesamtprozeßdauer, Prozeßart und Gasart) ermittelt werden. Die Ätzratenabhängigkeit von der Materialzusammensetzung im InGaAsP-System konnte quantitativ bestimmt werden. Anhand der gewonnen Daten ist die genaue Festlegung des Endpunktes des Ätzvorganges auch in solchen Fällen möglich, in denen eine in situ Kontrolle nicht anwendbar ist.

Bei der Verwendung schmaler Wellenleiterstrukturen mit Rippenhöhen um 1 µm vergrößert sich der Einfluß der Flankenbeschaffenheit auf die Dämpfung des Wellenleiters. Durch Verwendung einer sehr dünnen (30 nm) SiN_x-Schicht als Maske anstelle einer 1500 nm dicken Photolackschicht konnten die optischen Verluste von 3 µm breiten InGaAsP/InP-Wellenleitern halbiert werden. Bei dicken Masken lagert sich offenbar das beim CH_4/H_2-RIE-Prozeß entstehende Polymer auch an den Flanken der Maske an und verstärkt dort schon vorhandene Kantenrauhigkeiten, die dann in den Halbleiter übertragen werden.

Dielektrische Schichten für integrierte Kondensatoren auf InP

Leiter: Dipl.-Phys. M. Arps — Finanzierung: HHI
Abteilung: ST

Ziel

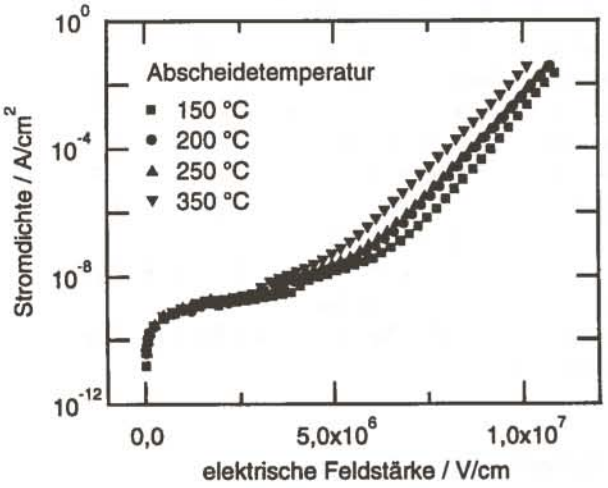
Als Dielektrikum für integrierte Kondensatorstrukturen wird ein Isolator mit hohem elektrischen Widerstand und hoher Dielektrizitätskonstante bei guter Homogenität über große Flächen benötigt. Ein für diesen Zweck gut geeignetes Material ist das Siliziumnitrid Si_3N_4. Da in der InP-Technologie Prozeßtemperaturen von 350 °C ohne besondere Maßnahmen nicht überschritten werden dürfen, um eine Degradation der zu beschichtenden Halbleiteroberflächen zu vermeiden, bietet sich als Herstellungstechnologie die plasmaunterstützte Gasphasenabscheidung (PECVD) an. Durch Variation der Abscheideparameter und Auswahl geeigneter Verdünnungsgase sind die Schichteigenschaften für die gewünschte Anwendung zu optimieren.

Ergebnisse

An der im HHI zur Verfügung stehenden "Downstream"-PECVD-Anlage ist ein Standardprozeß etabliert, der die Gase N_2, NH_3 und SiH_4 verwendet, das letztere in einer Konzentration von 2 % in Helium verdünnt. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Prozeßtemperatur und des hohen Wasserstoffanteils der Reaktanden SiH_4 und NH_3 entsteht jedoch hierbei kein stöchiometrisches Si_3N_4, sondern SiN_xH_y (im weiteren kurz SiN_x genannt) mit Wasserstoffgehalten im Bereich von 15 bis 30 At.-%. Diese Schichten sind für Maskierungszwecke, beispielsweise als Ätz- oder Epitaxiemasken, gut verwendbar, zeigen jedoch nur mäßige elektrische Eigenschaften. Insbesondere ist eine starke Abnahme der Spannungsfestigkeit mit wachsender Strukturgröße festzustellen, was auf eine hohe Fehlstellendichte hinweist. Bereits bei Kondensatorflächen von mehr als 10^{-4} cm^2 tritt eine merkliche Einbuße der Durchbruchfeldstärke auf, die bei größeren Flächen zur völligen Unbrauchbarkeit des Bauelements führt. Ferner nimmt der Widerstand mit sinkender Abscheidetemperatur drastisch ab.

Für einen verbesserten Herstellungsprozeß wurde der als Verdünnungsgas benutzte Stickstoff durch Helium ersetzt, so daß nunmehr das Gasgemisch $He/NH_3/SiH_4$ zum Einsatz kommt. Nach erfolgter Parameteroptimierung können im Temperaturbereich von 100 bis 350 °C SiN_x-Schichten mit nahezu gleichbleibender Strom-Spannungs-Charakteristik und geringer Fehlstellendichte abgeschieden werden. Kondensatorflächen bis zu 10^{-3} cm^2 lassen sich mit Durchbruchfeldstärken von über 10^7 V/cm reali-

sieren. Das **Bild** zeigt typische Strom-Spannungs-Kennlinien (in normierter Form) von MIS-Kondensatoren auf InP. Die SiN_x-Abscheidetemperaturen lagen zwischen 150 und 350 °C, wobei sich sogar eine leichte Abnahme des Stromflusses mit sinkender Abscheidetemperatur erkennen läßt. Die Kennlinien zeigen, wie für Siliziumnitrid typisch, zwei Bereiche: ohmsches Verhalten mit einem spezifischen Widerstand von etwa 10^{15} Ωcm für Feldstärken unterhalb $4 \cdot 10^6$ V/cm und Poole-Frenkel-Emission für hohe Felder von größer als etwa $6 \cdot 10^6$ V/cm.



Strom-Spannungs-Charakteristiken für MIS-Kondensatoren auf InP mit optimiertem SiN_x-Dielektrikum (Durchmesser: 200 µm, Fläche: $3{,}14 \cdot 10^{-4}$ cm², Schichtdicke ca. 80 nm)

Diese Schichten kommen in doppelter Funktion als Dielektrika für integrierte Abblockkondensatoren sowie zur Passivierung von HEMTs in optoelektronischen Verstärkerschaltungen zum Einsatz.

Epitaxie- und III-V-Materialuntersuchungen

Leiter: Dr. N. Grote — Finanzierung: HHI
Abteilung: MT

Ziel

Aufgabe der Epitaxie am HHI ist die Bereitstellung und gezielte Optimierung von InP-basierenden Schichtstrukturen für die Bauelementeentwicklung. Darüber hinaus werden in begrenztem Umfang Arbeiten durchgeführt, die der Klärung übergeordneter Materialfragen sowie der anwendungsbezogenen Weiterentwicklung der Epitaxietechnologie dienen.

Im Rahmen der Optimierung von InGaAsP/InP MQW-Strukturen für QCSE-Modulatorbauelemente wurden weitere grundlegende Untersuchungen zur thermischen Stabilität von InGaAsP/InP-basierenden QW-Schichten durchgeführt, wobei bislang nicht bekannte Effekte beobachtet wurden. Die bereits im Vorjahr begonnenen Arbeiten zum Einsatz von reaktivem Wasserstoff zur in-situ-Präparation von Halbleiteroberflächen in der MBE wurden auf das InGaAsP Materialsystem erweitert und zum Abschluß gebracht. Für praktisch alle bauelementerelevanten Schichtsysteme stehen nunmehr geeignete Prozeßparameter zur Verfügung. Eine neue Thematik war der Ersatz des bislang in der MOVPE gebräuchlichen Trägergases Wasserstoff durch Stickstoff (N_2), der durch die Verfügbarkeit geeigneter Nachreinigungssysteme ermöglicht worden ist. Neben den offensichtlichen sicherheitstechnischen Vorteilen verspricht der N_2-Prozeß weitere Verbesserungen in der Schichtqualität und eine Senkung der Betriebskosten. Aufbauend auf Untersuchungen am Forschungszentrum Jülich konzentrierten sich die Arbeiten auf das quaternäre Materialsystem InGaAsP, letztlich mit dem Ziel, den N_2-Prozeß für die Bauelementeherstellung zu qualifizieren und routinemäßig einzusetzen.

Ergebnisse

Die Modulationseffizienz in InGaAsP/InP-basierenden MQW-Wellenleitermodulatoren und -schaltern, in denen der Quantum confined Stark-Effekt (QCSE) ausgenutzt wird, wird durch thermische Interdiffusionsvorgänge während des epitaktischen Wachstums beeinflußt, die zu einer Verschiebung der Energieniveaus in den einzelnen QW-Schichten führen /101/. Bei der Untersuchung dieser Einflüsse wurden Effekte beobachtet, die offenbar mit dem verwendeten Substratmaterial korreliert sind. Insbesondere wurde beim Wachstum auf InP:Fe-Substraten eine nicht erwartete, deutliche "Rotverschiebung" der QW-Emission beobachtet, die bei InP:Sn-Substraten mit vergleichbar hohen EPD-Werten nicht auftritt. Einen drastischen Einfluß zeigte die Dotierung einer InP-Puf-

ferschicht auf InP:S-Substraten. In Abhängigkeit von der Dotierungskonzentration (Si) variiert das vertikale Profil der QW-Emissionswellenlänge zwischen "Blau-" und "Rotverschiebung" (**Bild 1**). Die Ursachen sind bisher im wesentlichen ungeklärt.

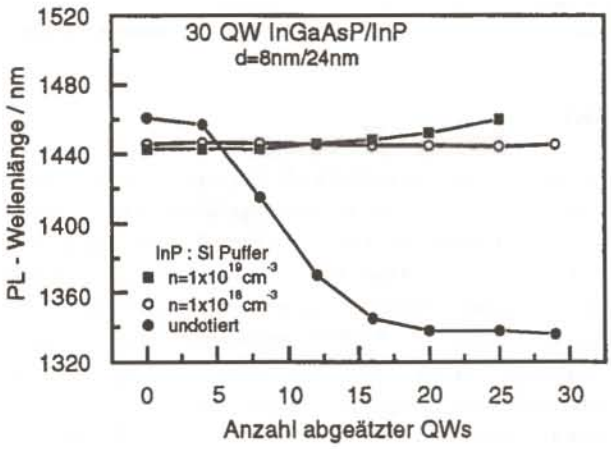


Bild 1: Einfluß der Pufferschichtdotierung auf die Gleichförmigkeit von InGaAsP-basierenden MQW-Strukturen (Substrat: InP:S) für optische Schalteranwendungen

Es zeigte sich, daß neben diesen substratbedingten Einflüssen auch die Art der Prozeßführung bei der Epitaxie deutliche Auswirkungen auf das QCSE-Verhalten hat. **Bild 2** veranschaulicht die erzielten Verbesserungen, speziell im interessanten Bereich kleiner Feldstärken, die durch eine Optimierung des Gasschaltschemas beim QW-Wachstum erreicht wurden /102/.

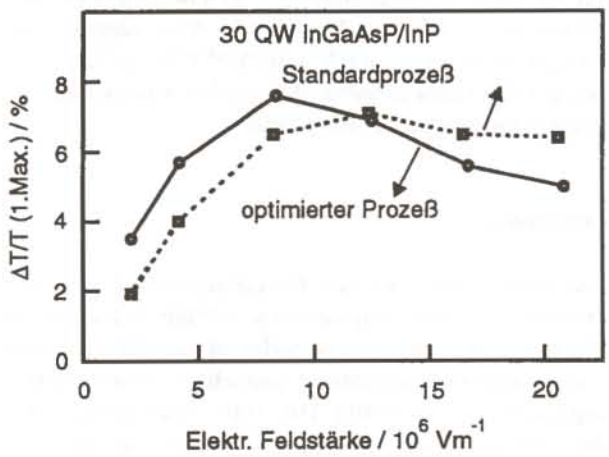


Bild 2: Einfluß der MOVPE-Prozeßführung auf das QCSE-Effizienz (differentielle Transmissionsmessungen) von MQW-Schichten

Hinsichtlich der in-situ-Oberflächenreinigung mittels Wasserstoffradikalen (H^*) in der MBE wurden hauptsächlich geeignete Prozeßparameter für phosphorhaltige Materialien (InP, InGaAsP) ermittelt /103, 104, 221/. Deren geringere Oberflächenstabilität erfordert im Vergleich zu InGaAlAs-Schichten niedrigere thermische Belastungen während des H^*-Prozesses. Für InP, der empfindlichsten Materialzusammensetzung innerhalb des InGaAsP-Systems, reicht eine Behandlung bei 300°C und einer Zeitdauer von 6 min (Leistung 250 W) bereits aus, um das natürliche Oxid vollständig zu entfernen. Dies konnte nicht nur mittels Augerelektronen-Spektroskopie nachgewiesen werden, sondern wird auch im dargestellten RHEED-Bild (**Bild 3**) anhand der deutlich sichtbaren (2x4)-Rekonstruktion veranschaulicht. SIMS-Messungen zeigen, daß ähnlich wie bei den untersuchten InGaAlAs-Schichten zusätzlich zur Oxidentfernung auch eine wirksame Reduzierung der Kohlenstoffkonzentration an der Oberfläche erfolgt, trotz der in diesem Fall geringeren Intensität der H^*-Behandlung. Damit erweist sich der H^*-Prozeß insgesamt gegenüber der konventionellen thermischen Oberflächenreinigung überlegen.

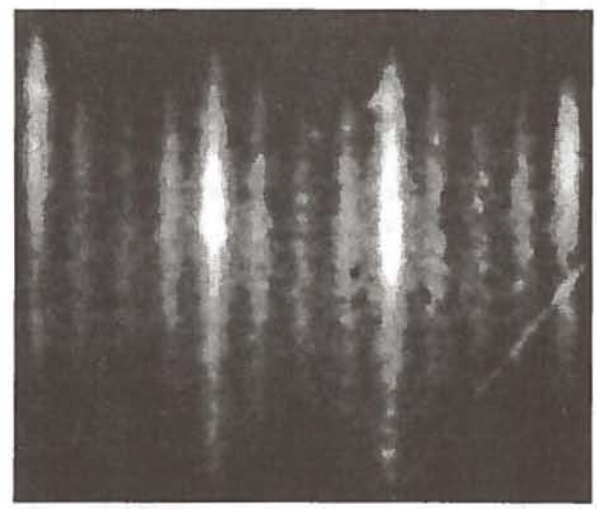


Bild 3: RHEED-Beugungsbild der rekonstruierten InP Oberfläche nach H^*-Behandlung bei 300°C ([1-10]-Richtung)

Die Epitaxieversuche zur Verwendung von N_2 als Trägergas in der MOVPE erstreckten sich auf den gesamten Zusammensetzungsbereich des InGaAsP-Materialsystems. Dank der ausgezeichneten Reinigungswirkung der verwendeten Filterzelle wurden ohne zusätzlichen Optimierungsaufwand elektrische und optische Schichteigenschaften erzielt, die mit denen in H_2 gewachsener Schichten vollauf vergleichbar sind. Auch die Dotierung mit Zink (p-Dotierung) und Eisen (semi-isolierend) zeigt keine signifikanten Einflüsse des Trägergases. Deutliche Unterschiede bestehen dagegen bei den Wachstumsraten: Bei ansonsten gleichen Bedingungen reduzieren sich die Werte beim N_2-Prozeß - bedingt durch die langsamere Diffusion der Reaktanden in der Gasphase - um etwa 50% gegenüber der Deposition in der H_2-Atmosphäre. Ausgehend von einem bisher üblichen H_2-Trägergasfluß von 7 l/min kann diese Reduzierung jedoch weitgehend durch erniedrigte N_2-Flüsse kompensiert werden (**Bild 4**), ohne dabei die laterale Uniformität der Schichten negativ zu beeinflussen. Generell führt der N_2-Prozeß zu einer merklichen Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Schichten sowohl hinsichtlich der Dicke (**Bild 5**) als auch der Zu-

sammensetzung, so daß eine bessere und damit kostensenkende Ausnutzung eines Wafers möglich wird.

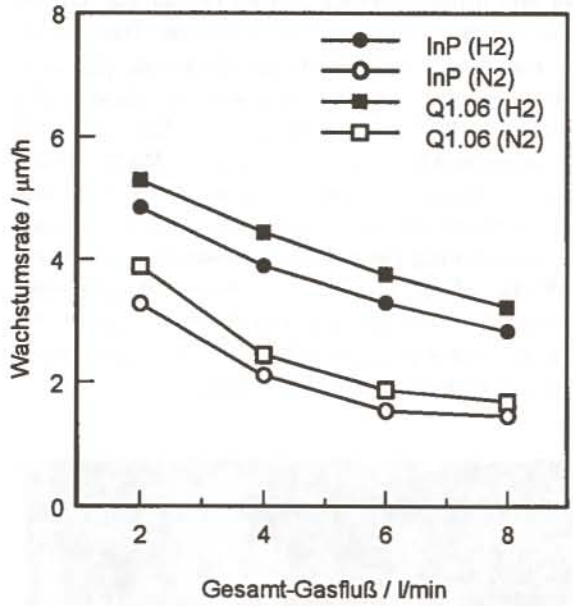


Bild 4: Vergleich der Wachstumsraten von InP und InGaAsP (λg=1,06 mm) unter H_2 und N_2

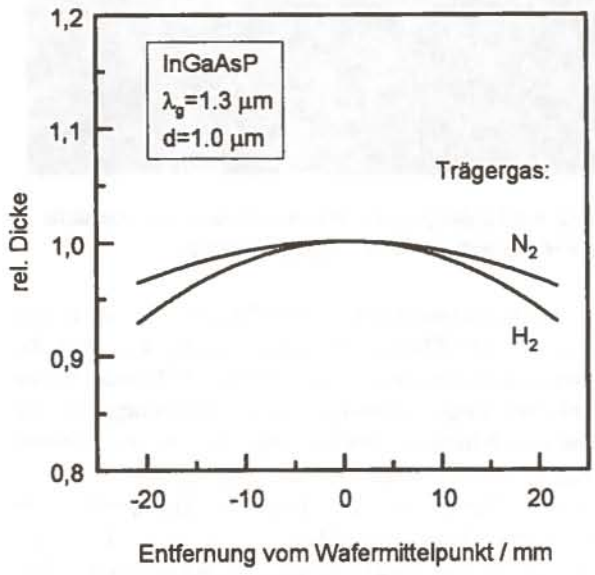


Bild 5: Schichtdickenhomogenität von InGaAsP-Schichten, gewachsen unter H_2 und N_2

Metallorganische Molekularstrahlepitaxie (MOMBE)

Projektleiter:	Finanzierung:
Dr. H. Künzel	BMBF, Land Berlin, Industrie
Dr. A. Paraskevopoulos	
Laufzeit: 1.1.95-31.3.98	Abteilung: MT

Ziel

Molekularstrahlepitaxie(MBE)-Verfahren weisen als vorteilhafte Eigenschaften u.a. niedrige Wachstumstemperaturen, sehr geringen Materialverbrauch und höhere Arbeitssicherheit auf. Hervorragende Schichtgleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit lassen sich erreichen. Die spezielle Form der MOMBE, bei der neben gasförmigen Gruppe V-Ausgangsstoffen metallorganische (MO) Verbindungen als Gruppe III-Quellen verwendet werden, bietet darüber hinaus vorteilhafte Eigenschaften für flächenselektives Wachstum, da das Wachstumsverhalten kaum von geometrischen Strukturparametern beeinflußt wird.

Die im HHI durchgeführten Arbeiten auf dem Gebiet der MOMBE sind primär auf flächenselektive Epitaxieanwendungen ausgerichtet, die insbesondere für die monolithische Integration von Bedeutung sind. Die MOMBE-Aktivitäten wurden im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes "Drei-Fünf-Elektronik (DFE)", das mit Ende des Jahres 1995 ausgelaufen ist, im Vorhaben "Selektive MOMBE für planare elektronische Bauelemente auf InP-Basis" durchgeführt und im Photonik-II-Förderschwerpunkt "Selektive MOMBE für Anwendungen zur Integration in der Photonik" (ab 01.01.1995) in Kooperation mit der Firma Siemens, dem Walter-Schottky-Institut und der Universität Ulm fortgesetzt.

Ergebnisse

Ein Schwerpunkt der im Berichtsjahr durchgeführten Arbeiten lag beim sogenannten selektiv einfüllenden Wachstum, bei dem eine möglichst planare Abscheidung von Schichten in tiefgeätzten Bereichen auf dem Wafer angestrebt wird /108, 109, 110, 111/. Anwendung findet diese Technik bei der lateralen Integration optischer Komponenten, für die Herstellung vergrabener Schichten und möglicherweise von lateralen pn-Bauelementen.

Das Wachstum erfolgte in Gruben, die mit reaktivem Ionenätzen (CH_4/H_2) erzeugt wurden. Für InP reicht bereits eine Temperatur von 460°C aus, um einwandfreies selektives Wachstum zu erreichen. Es läßt sich eine nahezu perfekt planare Schichtabscheidung erreichen, wobei nur in einem engen Randbereich von 2 µm morphologische Wachstumsstörungen sichtbar werden. Es zeigte sich, daß diese Störungen abhängig von der Kristallrich-

tung und der Fehlorientierung des Substrats unterschiedlich ausgeprägt sind. Dieses Verhalten läßt sich mit den Diffusionseigenschaften der Atome auf der wachsenden Oberfläche erklären. **Bild 1** zeigt die Aufsicht auf eine eingefüllte InP-Schicht, aufgenommen im Interferenz-Kontrastmikroskop. Die Dickenänderungen an den Rändern liegen unter 5 %.

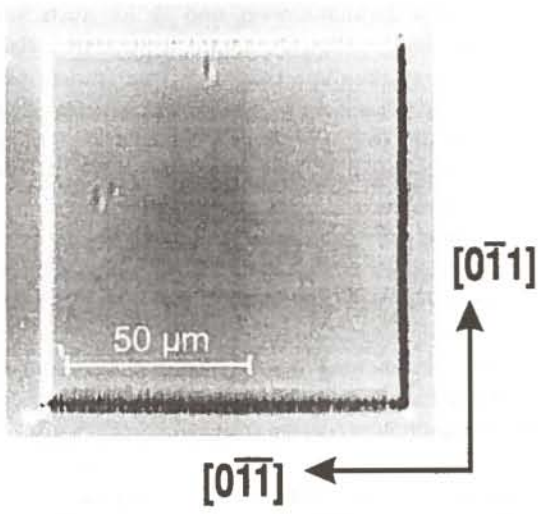


Bild 1: Interferenzkontrastaufnahme einer InP-Schicht, die selektiv in einer 1 µm tiefen Ätzgrube gewachsen wurde (T_g = 465°C)

Im Falle des ternären Materials InGaAs waren für eine ausreichende Selektivität deutlich höhere Wachstumstemperaturen von etwa 530°C erforderlich. Im Vergleich zu InP ergibt sich, daß für optimale Wachstumsbedingungen gegenläufige Einflüsse der Wachstumsrate und des V/III-Verhältnisses bestehen.

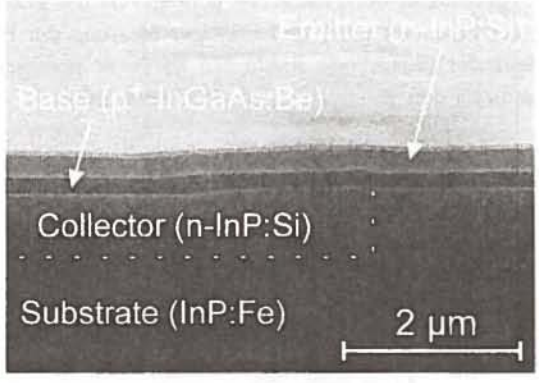


Bild 2: Schichtstruktur eines HBTs mit selektiv gewachsenem InP-Kollektor

Als erste Demonstratoranwendung für die selektiv einfüllende Epitaxie diente eine HBT-Struktur, deren Kollektor durch einfüllendes Wachstum hergestellt wird, wodurch parasitäre Kapazitäten außerhalb des aktiven Transistorbereichs vermieden werden. Als kritisch erwies sich das in einem zweiten MOMBE Epitaxieschritt durchgeführte ganzflächige Überwachsen des Kollektorbereichs mit der InGaAs/InP Basis/Emitterschichtfolge, da bereits kleine Facettenbildungen an den Rändern zu stärkeren Wachstumsstörungen in den aufgewachsenen Schichten und, als Folge, zu schlechten Transistorkennlinien führten. Durch Optimierung der Wachstumsbedingungen gelang es jedoch, orientierungsabhängig homogene Schichtdeposition zu erreichen (**Bild 2**). Ergebnisse von Bauelementen auf der Basis solcher optimierten Schichten stehen noch aus.

Im Hinblick auf die Integration optischer Bauelemente wurden InGaAsP-Schichten (λ_g = 1.05 µm) hergestellt, die die Basis für optische Wellenleiter bilden. Die ausgezeichnete Materialqualität dieser bei 465°C gewachsenen Schichten verdeutlichen nicht nur die Photolumineszenzeigenschaften (**Bild 3**) und Halbwertsbreiten von DCXRD-Kurven (19 arcsec, d = 1.5 µm), sondern auch in Rippenwellenleiter gemessene minimale optische Dämpfungen von 0.1 dBcm^{-1} /113/. Die Materialwellenlänge variiert über einen gesamten 2"-Wafer nur um ± 1 nm. Erste Untersuchungen zur Fe-Dotierung solcher Schichten (Fe-Feststoffquelle) wurden durchgeführt. Versuche zum selektiven Wachstum ergaben ein ähnliches Verhalten wie für InP, allerdings muß die Depositionstemperatur um mindestens 5 K höher gewählt werden.

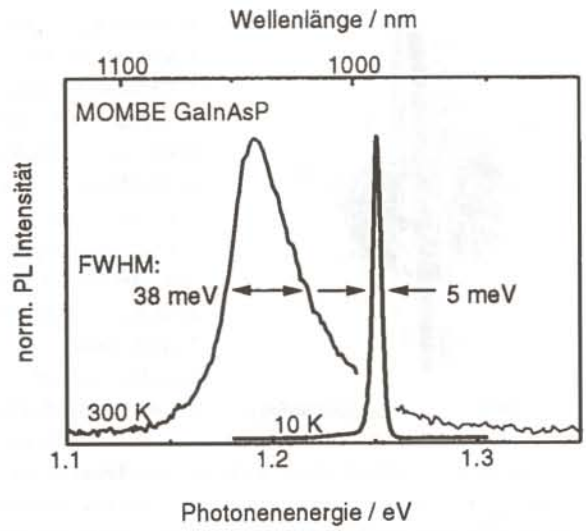


Bild 3: Photolumineszenzeigenschaften einer MOMBE InGaAsP-Schicht

Mit den erreichten Ergebnissen sind wichtige Voraussetzungen für die im weiteren geplante laterale Laser/Wellenleiter-Integration geschaffen.

Arbeitsgruppe Optische und Elektrische Aufbau- und Verbindungstechnik

Leiter Optische AVT: Dr. U. Fischer — Finanzierung: HHI
Leiter Elektrische AVT: R. Ziegler — Abteilung: NA/OV

Ziel

Der kostengünstige Aufbau von optischen und optoelektronischen Komponenten und insbesondere deren Kopplung mit Lichtwellenleitern stellen zur Zeit noch ein großes Problem dar. Der augenblickliche Stand der Technik ist dadurch gekennzeichnet, daß bis zu 70 % der Kosten eines optoelektronischen Moduls auf die Gehäusung einschließlich der Chip-Faserkopplung entfallen. Eine erhebliche Reduktion dieser Kosten ist eine wesentliche Voraussetzung für den breiten Einsatz der optischen Nachrichtentechnik auch im Teilnehmerbereich.

Im Mittelpunkt der Arbeiten steht hierbei die Chip-Faserkopplung. Schwerpunktmäßig werden Arbeiten und Untersuchungen zur Lasermikroschweißtechnik, zur selbstjustierenden Flip-Chip-Technik durchgeführt. Für die Mikrostrukturierung von Silizium und PMMA wurden Untersuchungen in Zusammenarbeit mit mehreren Instituten und Industriepartnern durchgeführt.

Bild 1: Auf Si-V-Nut verschweißte Faser

Der Aufbau von breitbandigen und hochfrequenten Schaltungen insbesondere auf der Basis der Dickfilmtechnologie wird von der elektrischen AVT geleistet. Hierbei kommen u.a. die Multilayertechnik, Durchkontaktierungsverfahren, die Lasermaterialbearbeitung, sowie verschiedene Drahtbondtechniken zum Einsatz. Eine Hand in Hand gehende Zusammenarbeit beider Arbeitsgruppen gewährleistet einen reibungslosen Service für die Projekte im Hause.

Ergebnisse

Auf der Basis eines gepulsten 50W Nd:YAG-Lasers ist ein Mikroschweißplatz realisiert worden, mit dem eine Faser vor dem optischen Bauelement automatisch justiert werden kann. Die Verbindung der Werkstücke mittels einer 3-Punkt-Schweißung ist z.Zt. noch in der Entwicklungsphase. Ein erstes Ergebnis der Schweißversuche ist in **Bild 1** dargestellt. Es konnte eine Glasfaser ohne zusätzliche Materialbeigabe direkt in eine gefräste V-Nut auf einem kristallinen Siliziumwafer festgeschweißt werden. Hierbei umschließt das geschmolzene Silizium die Faser in einer Art Ring und fixiert diese dabei, ohne die Faser zu deformieren.

Entscheidende Fortschritte sind in der Flip-Chip-(FC) Bondtechnologie gelungen. Hierbei konnten am HHI erstmals selbstjustierende, flußmittelfreie Bondungen durch Einleitung von molekularem Wasserstoff in den evakuierten Bonderrezipienten erreicht werden. Bei diesem neuartigen flußmittelfreien und daher auch vollkommen rückstandsfreien Lötvorgang konnte hohe laterale Justagegenauigkeit von besser als 1µm erreicht werden. Zu diesem Zweck mußte der im Hause entwickelte FC-Bonder umkonstruiert werden, damit das für den Bondprozeß benötigte Vakuumsystem mitsamt aller Zuleitungen in den Bonder integriert werden konnte. Neben Merkmalen wie einer sehr hohen Heizrate (20°C/s) sowie einer ausgezeichneten Stabilität des Vakuums während der Heizphase (120s, 250°C) verfügt der FC-Bonder weiterhin über eine in-situ Kontrollmöglichkeit des Bondvorgangs. Eine Bestimmung der Auswirkung des Bonddesigns auf die Justagegenauigkeit sowie auf die sich einstellenden Bondhöhen (design rules) stehen noch aus.

Die elektrische AVT hat Siliziumwafer analog zur Al_2O_3 - Keramik mittels Dickschichtprozeß beschichtet. Es konnten auf einer Isolationsschicht Strukturen bis zu 80µm Leiterbahnbreite herab zuverlässig hergestellt werden.

Für das Projekt "Optische Mikrowellenerzeugung für die Mobilkommunikation" (s.S. 76) ist ein Modul entwickelt worden (**Bild 2**), welches eine schnelle Photodiode (65 GHz) mit nachgeschaltetem Wanderwellenverstärker (55-65 GHz) trägt. Das Licht der Faser mit einem Kern von Ø9 µm wird dabei mit Hilfe einer Selfoclinse auf die Photodiode mit einem aktiven Bereich von Ø12 µm abgebildet. Um Reflektionen zu vermeiden, ist der Trägerblock um 5° gegenüber der Faserachse geneigt. Da die Plazierung der Faser nur unter gleichzeitiger Messung der HF-Effizienz der Photodiode stattfinden kann, ist genügend Freiraum für den Waferprober vorgesehen worden.

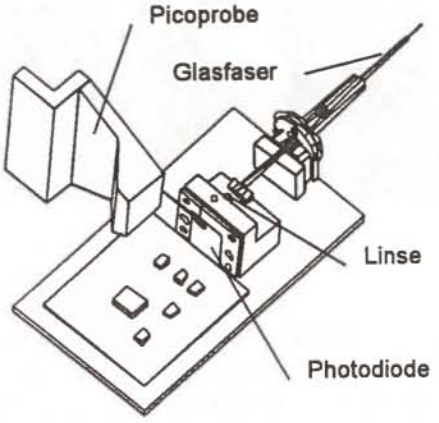


Bild 2: Empfängermodul für den Frequenzbereich bis 65 GHz

Optische Schaltelemente mittels resonanter Gitterstrukturen

Projektleiter: Prof. A.A. Friesem (Weizmann-Institut, Israel), Dr. H.G.Weber (HHI)
Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.93-31.12.95
Abteilung: **OS**, ST

Ziel

Das Ziel des Vorhabens war die Untersuchung und Entwicklung einer neuartigen Komponente für die optische Signalverarbeitung und optische Nachrichtentechnik. Der physikalische Mechanismus, auf dem die Funktion dieser Komponente beruht, ist ein Resonanzeffekt in einer Gitter-Wellenleiterstruktur (resonante Gitterstruktur). Die resonante Gitterstruktur besteht in ihrer einfachsten Form aus einem linearen Gitter (Oberflächengitter), das über einem Schichtwellenleiter liegt. Eine geringfügige Änderung der Brechzahl im Schichtwellenleiter führt zu einer Änderung der Kopplung zwischen Gitter und Wellenleiter und somit zu einem Umschalten von Reflexion auf Transmission für eine auf die resonante Gitterstruktur eingestrahlte Lichtwelle. Durch Änderung der Brechzahl entweder elektro-optisch mit wenigen Volt/cm oder rein optisch kann somit eine Modulation des transmittierten bzw. reflektierten Lichtes von der resonanten Gitterstruktur erreicht werden oder die Komponente kann als steuerbares aktives optisches Filter eingesetzt werden.

Ergebnisse

Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die resonante Gitter-Wellenleiter-Struktur sehr gut für Lichtmodulation und durchstimmbare aktive schmalbandige Filter eingesetzt werden kann, auch in einem Wellenlängenbereich, der für die optische Nachrichtentechnik von Interesse ist /94, 95/.

Grundlagenuntersuchungen zur Farbelektrolumineszenz

Projektleiter: Dr. R.H. Mauch
Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.3.92-30.6.95
Abteilung: IT

Ziel

Ein Konzept zur Bereitstellung vollfarbiger Flachdisplays auf der Basis der Hochfeld-Elektrolumineszenz (EL) stützt sich auf das "Farbe aus Weiß"-Prinzip, wobei die Erzeugung der Farbpixel durch eine weiß emittierende Leuchtschicht und strukturierte Farbfilter erfolgt. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, ob unter Verwendung von Erdalkalisulfiden dotiert mit Seltenen-Erden, insbesondere SrS:Ce, ausreichende Helligkeiten vor allem im blau-grünen Spektralbereich erreichbar sind, so daß die für Displays geforderten Spezifikationen hinsichtlich Leuchtdichte, Farbreinheit und Effizienz erfüllt werden können. Dazu sind grundlegende Materialuntersuchungen in Wechselwirkung mit der Optimierung der Dünnschichtpräparation durchzuführen. An Elektrolumineszenzstrukturen sollen elektrische und optische Charakterisierungen vorgenommen werden, die einerseits Fragen zum Mechanismus beantworten und andererseits zur Bestimmung von physikalischen Grenzwerten dienen.

Ergebnisse

Vorrangiges Ziel dieses Projekts war die Bereitstellung einer Technologie zur Herstellung von Erdalkalisulfid-Dünnschichten mit dem Schwerpunkt SrS:Ce, um diese Materialklasse für die Applikation in der Dünnschichtelektrolumineszenz zu qualifizieren. Die Technologie-Entscheidung fiel auf das reaktive Verdampfen der Einzelkomponenten Sr, S und $CeCl_3$ in einer UHV-Anlage. Mit dieser Kombination konnten beachtliche Resultate von Leuchtdichte und Effizienz erzielt werden, jedoch waren die realisierten Eckdaten noch nicht ausreichend, um die geforderten Werte für eine Anwendung zu erreichen.

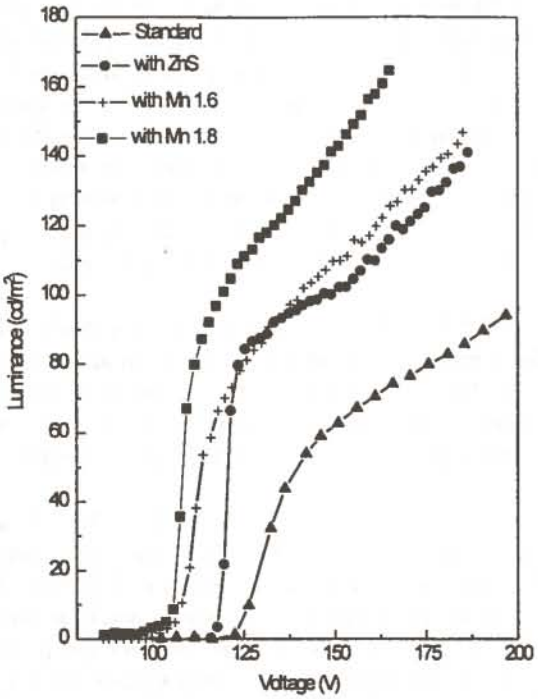
Die Kotdotierung mit ZnS zur Kompensation von Sr-Fehlstellen wurde als Variante zur weiteren Optimierung untersucht. Die röntegenographische Analyse erbrachte keinerlei Indizien, daß eine ZnS-Fremdphase auftritt. Eine deutlich verbesserte Materialqualität konnte erzielt werden.

Als 2. Ansatz wurde anstatt ZnS Mn koverdampft und ebenso in einer umfangreichen Präparationsserie untersucht. Auch hier konnte eine signifikante Erhöhung der Leuchtdichte im Vergleich zum Standard-SrS:Ce erzielt werden, was den Schluß nahelegt, daß der Einbau von Kationen im Valenzzustand 2+ in einer Konzentration von ca. 0.7 at.% für die Verbesserung verantwortlich ist. Die im Projekt untersuchten Materialkombinationen, insbe-

sondere deren Elektrolumineszenzeigenschaften, sind im **Bild** dargestellt. Mit 1.8 lm/W bei 1 µC/cm² transferierter Ladung konnte mit dem System SrS:Ce,Mn der höchste Wirkungsgrad realisiert werden. Im internationalen Vergleich bedeutet dies eine Verdoppelung.

Im grundlagenorientierten Teil stand die schrittweise Evaluierung des maximal erreichbaren Wirkungsgrades der Erdalkalissulfid-Elektrolumineszenz im Vordergrund. Um ein Maß für die erreichbaren Lumineszenzeigenschaften zu erhalten, wurden intensive Studien zur Photolumineszenz (PL) von SrS:Ce Pulvern durchgeführt. Diese konnten als Referenz eingesetzt werden, da an den Dünnschichten ebenfalls eine PL-Charakterisierung vorgenommen wurde. Ziel der Untersuchungen war es, ein Maß für die Perfektion der Dünnschichten zu erhalten. Es zeigte sich, daß die Dünnschichten wesentlich defektbehafteter sind als die Pulver. Führt man einen Formalismus ein, der sich an eine theoretische Beschreibung der Kathodolumineszenz anlehnt, kann eine sogenannte Transfereffizienz bestimmt werden, die den Energieeintrag in die Ce-Zentren beschreibt. Diese ist im Falle der Dünnschichten signifikant verringert. Dies läßt sich in einem Fit quantitativ beschreiben /121/. Verursacht wird die geringere Transfereffizienz durch eine um ein vielfaches höhere Lumineszenzkillerkonzentration im Dünnschichtfalle.

Vergleicht man die Photolumineszenzausbeute der besten Dünnschichten mit denen von Pulvern, so sind die letzteren etwa eine Größenordnung effizienter. Dieses Ergebnis ist äußerst erstaunlich, zeigt es doch das große Potential der Erdalkalisulfid-Elektrolumineszenz auf, denn mit den offensichtlich noch unperfekten Dünnschichten konnte bereits eine EL-Effizienz von 1.8 lm/W erreicht werden.



Leuchtdichte-Spannungs-Verhalten von verschiedenen SrS:Ce,X-EL-Elementen (X = -, Zn, Mn)

Vollfarb-Elektrolumineszenz auf der Basis von II^a-VI^a-Verbindungen

Projektleiter: Dr. R.H. Mauch — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.7.95-30.6.98 — Abteilung: IT

Ziel

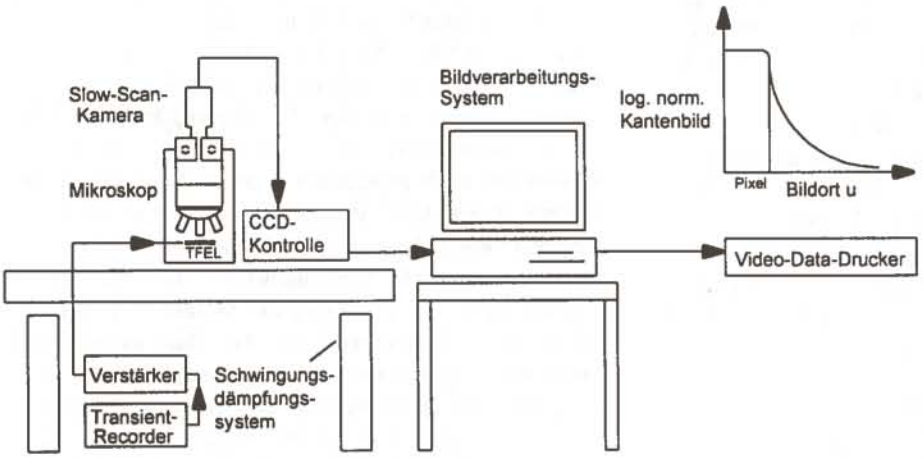
Nach dem "Farbe aus Weiß"-Konzept sollen auf der Basis von SrS:Ce als blau-grün emittierende Leuchtschicht sowie einem geeigneten Rotemitter die Grundlagen für die Realisierung von Kleindisplays geschaffen werden. Vorgeschaltet ist in einer ersten Phase die weitere Optimierung von SrS:Ce, wobei die Verschiebung der Emission zu kürzeren Wellenlängen im Vordergrund steht. Dies ist erforderlich, um die Farbreinheit im Blauen zu gewährleisten. Desweiteren soll durch die Entwicklung eines Meßverfahrens zur Bestimmung der Lichtauskopplung aus einem optischen Mehrschichtsystem diese quantitativ erfaßt werden, um in einem abschließenden Schritt ein physikalisches Gesamtmodell der Erdalkalisulfid-Elektrolumineszenz mit der Ermittlung der physikalischen Grenzdaten zu erstellen.

Ergebnisse

Neben der technologischen Optimierung des SrS:Ce stand die Entwicklung eines Meßkonzeptes für die Bestimmung der optischen Auskopplungscharakteristik der Dünnschichtelektrolumineszenz-Elemente (TFEL) im Vordergrund. Es wurde entschieden, ein Konzept aus der Systemtheorie auf die TFEL-Elemente anzuwenden. Der Einfluß der lateralen Lichtführung im gestörten Schichtwellenleiter sowie von Mehrfachreflexionen und Streuprozessen äußert sich in einer charakteristischen Impulsantwort des Schichtsystems, deren Fourier-Transformierte eine optische Übertragungsfunktion ist. Die Schwierigkeiten bei der Beschreibung von TFEL-Elementen durch optische Übertragungsfunktionen liegen unter anderem in der Annäherung des im allgemeinen optisch nichtlinearen Quellsystems in ein lineares Modell. Bislang zeigten diese Strukturen auf der Basis von SrS:Ce deutlich kleinere Abklinglängen, als dies vom konventionellen ZnS:Mn-System her bekannt ist (im Bereich von einigen Mikrometern). Zur Untersuchung ihres auch vom Herstellungsprozeß abhängigen Abklingverhaltens wird das im **Bild** gezeigte Konzept verfolgt, wonach ein speziell kontaktiertes TFEL-Element im Bild eines Mikroobjektives mit einem übersprech-optimierten Meß-CCD-Kamerasystem abgetastet wird. Die Kamera verfügt über einen linearen Dynamikbereich über mehrere Größenordnungen, womit auch die Erfassung der geringen Streuintensitäten in größerem lateralen Abstand vom leuchtenden Element gewährleistet ist. Ein prinzipieller Verlauf des Intensitätsabklingens außerhalb des angesteuerten Pixels ist ebenso

im **Bild** dargestellt. Um die geforderte Lichtstromkonstanz zu gewährleisten, wurde eine spezielle Ansteuerung entwickelt. Die hohen Meßanforderungen setzen eine extreme Schwingungsunterdrückung voraus, welche durch eine dafür optimierte Lagerung des optischen Tisches gewährleistet wird.

In technologischer Hinsicht wurde vor allem eine laterale Homogenisierung der Schichtpräparation vorgenommen. Es wird erwartet, daß Aussagen über weitere apparative Verbesserungen getroffen werden können. Desweiteren wurden die Kodotierexperimente mit Mn und ZnS fortgesetzt, um reproduzierbare Prozesse zur Verfügung zu stellen. Experimente mit CeF_3 anstatt $CeCl_3$ als Ce-Dotierquelle ergaben keine Hinweise auf eine Blauverschiebung des Emissionsspektrums. Leuchtdichte und Effizienz der $CeCl_3$ dotierten Proben lagen etwa 20% höher als die mit CeF_3 dotierten. Erste Hinweise auf eine schlechtere Kristallqualität im letzteren Falle liegen vor.



Meßsystem zur Bestimmung des optischen Auskopplungsverhaltens von TFEL-Elementen

New Phosphors for Large Area Colour Displays (NEPLACD)

Projektleiter: Dr. R.H. Mauch — Förderer: EU
Laufzeit: 1.9.93-31.8.96 — Abteilung: IT

Ziel

Im Rahmen des "Focused Fundamental Research" Brite/-EuRam-Projektes zur Dünnschichtelektrolumineszenz sollen gemeinsam mit der Université de Bordeaux, der Université Pierre et Marie Curie, Paris, der Helsinki University of Technology und der Universität Stuttgart neue Phosphore für großflächige Displays untersucht werden. Als Industrieendorser beteiligen sich Philips, Thomson und Planar International.

In dem Projekt steht der Vergleich der Lumineszenzeigenschaften von Pulvern und Dünnschichten im Vordergrund, wobei die Dünnschichten mit verschiedenen Präparationsverfahren hergestellt werden. Die zu untersuchenden Materialien SrS und $SrGa_2S_4$ sind als Wirtsgitter effizienter Kathodolumineszenzphosphore bekannt. Durch Dotierung mit verschiedenen Seltenen Erden und entsprechenden Kodotierungen soll deren Einfluß vor allem auf die Lumineszenzausbeute untersucht werden.

Das HHI beschäftigt sich in dem Projekt mit der Charakterisierung von Pulvern und Dünnschichten mittels Röntgendiffraktometrie und Photolumineszenzuntersuchungen.

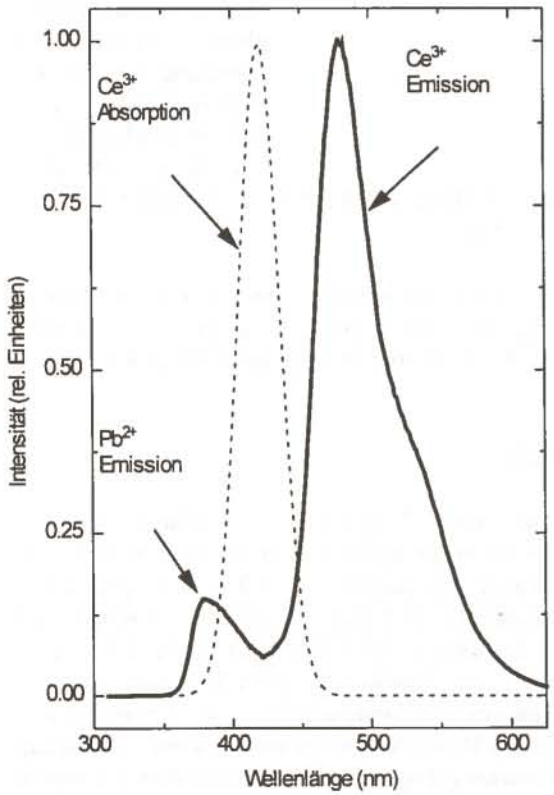
Ergebnisse

Der Einbau von Ce^{3+} in SrS mit der Oxidationszahl 3 verletzt die Ladungsneutralität und ist nur möglich wenn weitere ladungskompensierende Störstellen mit eingebaut werden. Systematische Untersuchungen zu Kodotierungen mit Alkalimetallen an SrS-Pulvern erbrachten, daß die Konzentration von eingebautem Ce^{3+} erhöht und respektive die Lumineszenzausbeute um den Faktor 3 gegenüber unkodotiertem Material verbessert werden kann. Die Ladungskompensation gelingt mit den Alkalimetallen am besten, deren Ionenradien nahe dem des Sr^{2+} liegen. Unter dieser

Bedingung verläuft der Einbau der Kodotanten ohne Störung des Wirtskristalls. Die Untersuchungen zeichneten Kalium und Natrium als die geeigneten Elemente aus.

In einer weiteren Ebene des Projekts wird nach Kodotanten gesucht, welche als Sensitizer für den strahlenden Übergang des Ce^{3+} wirken. Sensitizer sind Störstellen im Halbleiter, welche in der Lage sind, die Anregungsenergie aufzunehmen und zum Lumineszenzzentrum zu übertragen. Der Wirkungsgrad der Lumineszenz kann so erhöht werden. Eine grundsätzliche Bedingung für diese Lumineszenzstimulation ist, daß der Sensitizer im Bereich der angebotenen Energie absorbiert und bei solchen Energien emittiert, welche in das Absorptionsband des Lumineszenzzentrums fallen. Weiterhin ist der störungsarme und lokal zum Lumineszenzzentrum nahe Einbau des Sensitizers essentiell.

Gadolinium und Blei wurden als erstes in ihrer Wirkung als Sensitizer studiert. Während Gadolinium keine gute Energieanpassung zur Absorptionsbande des Ce^{3+} zeigte, wurden für Pb^{2+} die gewünschten Effekte gefunden: Mit Hilfe von Photolumineszenzspektren wird sichtbar, daß die Ce^{3+} Absorption in Deckung zur Emission von Pb^{2+} liegt (**Bild**). Die Lumineszenz von Pb^{2+} hat ihr Maximum bei 360 nm und besitzt eine asymmetrische Form durch aufgeprägte Verluste, gegeben durch die kräftige Absorption von Ce^{3+}. Es konnte ferner gezeigt werden, daß bei einer optischen Anregung unterhalb der Bandkantenenergie von SrS, also im Absorptionsmaximum von Pb^{2+}, die Ce^{3+} Lumineszenz erzeugt werden kann.



Photolumineszenzspektrum von SrS:Ce,Pb und Absorptionsbande von Ce^{3+}

Optische Mikrowellenerzeugung für die Mobilkommunikation

Projektleiter: Dr. G. Großkopf — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.94-31.3.98 — Abteilung: NA/OV

Ziel

Ziel des Vorhabens ist die Anwendung der optischen Frequenzmultiplextechnik zur kostengünstigen Erzeugung und Verteilung von Mikrowellensignalen für zellulare Breitband-Funknetze im Frequenzbereich um 60 GHz. Dieser Frequenzbereich ist von besonderem Interesse, weil sich infolge der Sauerstoffabsorption bei der Freiraumausbreitung kleine, abgegrenzte Zellen bilden lassen, die sich gegenseitig nicht beeinflussen. Hierdurch ist es möglich, die gleichen Mikrowellenfrequenzen in nicht weit voneinander entfernt liegenden Zellen zu verwenden. Im Vergleich zu Systemen mit großen Zellen ist somit eine größere Anzahl von Teilnehmern erreichbar. Trotz der hohen atmosphärischen Dämpfung können bei kleinen Funkzellen infolge der sehr viel kürzeren Übertragungsdistanzen die Sendeleistungen gesenkt werden, so daß hierdurch Probleme mit der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) gemindert werden. Ein solches System mit vielen kleinen Funkzellen ist nur denkbar, wenn es in einer äußerst kostengünstigen Technik realisiert werden kann. in. Hier bietet die Kombination der optischen Nachrichtentechnik mit der Mikrowellentechnik einen vielversprechenden Lösungsansatz. Für die Erzeugung der Mikrowellensignale wird das optische Heterodynprinzip angewendet. Hierbei werden optische Signale mit einem Frequenzabstand Δf, der der gewünschten Mikrowellenfrequenz im Funkkanal entspricht, von der Kontrollstation zur Basisstation übertragen, dort in einem Optik/Mikrowellenkonverter überlagert und in den Mikrowellenbereich umgesetzt (s. **Bild**). Die Vorteile dieses Verfahrens sind einfache Basisstationen ohne Mikrowellenoszillatoren und - modulatoren, die flexible Zuweisung der Kommunikationskanäle zu den Mikrowellenträgern durch Abstimmen der Halbleiterlaser und eine verlustarme Verteilung der Mikrowellensignale.

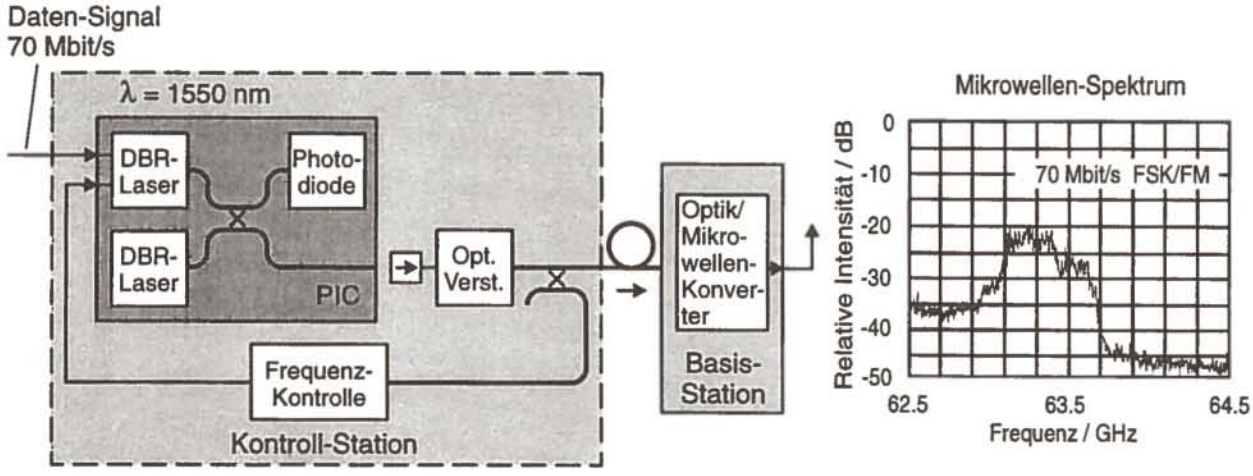
Das Projekt wird im Rahmen von Photonik II in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) in Freiburg und den Firmen SEL-Alcatel und der Robert Bosch GmbH durchgeführt.

Ergebnisse

In mehreren Experimenten wurden Mikrowellensignale im 12 GHz- und 60 GHz-Bereich durch Überlagern der Wellen einzelner DFB-Laser bzw. zweier monolithisch integrierter DBR-Laser erzeugt /42, 43, 44, 45/. Für die Datenübertragung wurden bisher zwei verschiedene Mo-

dulationsverfahren untersucht, ein Doppelmodulationsverfahren FSK/FM (**F**requency **S**hift **K**eying / **F**requenz**m**odulation) bei 70 Mbit/s und ein FSK-Verfahren bei 140 Mbit/s. Bei Übertragungsexperimenten über eine Funkstrecke mit einer Trägerfrequenz im 12 GHz-Band wurden Fehlerraten unter 10^{-10} gemessen. Darüber hinaus wurden auch erste Mehrkanalexperimente durchgeführt. Es wurde ein optisches Frequenzmultiplexsignal mit zwei Laserdioden erzeugt, die mit unterschiedlichen 140 Mbit/s Datensignalen moduliert wurden. Dieses optische Zweikanal-Frequenzmultiplexsignal wurde durch Überlagerung mit dem optischen Signal des Referenzsignals mit Hilfe des Optik/Mikrowellenkonverters in den Mikrowellenbereich umgesetzt. In den Untersuchungen wurde der Frequenzabstand der Kanäle zueinander variiert, um den Einfluß des Übersprechens zu untersuchen. Bei einem Frequenzhub des FSK-Signals von 600 MHz und einer Fehlerrate von 10^{-9} wurde ein minimaler Kanalabstand von 1,5 GHz ermittelt.

Bei der Herstellung der optischen Sender und Optik/-Mikrowellenkonverter wird zukünftig die monolithische Integration eine wesentliche Rolle spielen. So wurde der am Heinrich-Hertz-Institut entwickelte Zwei-Laser-Sendemodul mit integriertem Wellenleiterkoppler erstmalig für die optische Erzeugung und Übertragung von Mikrowellensignalen eingesetzt (s. **Bild**: PIC, Photonic Integrated Circuit). Es wurde dabei gezeigt, daß sich damit der Aufwand in der Kontrollstation eines Mobilfunksystems erheblich reduzieren läßt. Im Vergleich zur hybriden Lösung mit getrennten Lasern und Faserkoppler bietet die monolithische Integration eine Reihe von Vorteilen. So ist z. B. der Aufwand bei der Temperaturregelung wegen der gleichmäßigen Umgebungstemperatur geringer. Außerdem werden keine Elemente für eine Polarisationskontrolle benötigt, da die Polarisationsebenen beider Wellen durch die Wellenleitergeometrie auf dem Chip von vornherein parallel ausgerichtet sind. Das Einkoppeln in die optische Faser geschieht über nur eine Chip-Faser-Schnittstelle. Die Abbildung zeigt das Sendespektrum eines 70 Mbit/s Signals, das mit Hilfe des OEICs erzeugt wurde und nach dem Umsetzen in den Mikrowellenbereich im 60 GHz-Band von der Basisstation zum Mobilempfänger abgestrahlt wurde.



Mobilfunk-Übertragungsexperiment mit monolithisch integriertem Sendemodul (OEIC)

Projekte Elektronische Bildtechnik für Multimedia

Hinweis:
Am Kopf jeder Beschreibung ist die ausführende Abteilung durch Abkürzung gekennzeichnet. Die Bedeutung der Abteilungsabkürzungen ist im Organigramm auf Seite 12 erklärt.

High Definition Advanced Multi Level Encoding Techniques (HAMLET)

Projektleiter:	Förderer: EU (45%)
Dr. J. De Lameillieure	
Laufzeit: 1.1.94-31.3.96	Abteilung: BS

Ziel

Aufgabe des Projekts ist die Untersuchung von Möglichkeiten einer digitalen Verteilung von TV und HDTV über verschiedene Medien, insbesondere über terrestrische und Satellitenkanäle. Das Projekt gliedert sich in vier technische Aufgabenbereiche:

1. Entwicklung eines multilevel-HDTV-Codecs, der mit dem "Spatially scalable Profile @ High-14 Level" und dem "SNR scalable Profile @ Main Level" von MPEG-2 konform ist. Dieser Hardware-Prototyp, der verschiedene Dienste (HDTV und TV) in unterschiedlichen Qualitätsstufen anbieten wird, wird auch für gemeinsame Feldversuche und Vorführungen mit anderen Forschungsprogrammen wie dTTb, $^{H}DTV_{T}$, ADTT eingesetzt werden. Die Hardware könnte darüber hinaus der Startpunkt für zukünftige ACTS-Projekte sein.

2. Verbesserung der Bildqualität bei Anwendung von Kompressionsverfahren in den unterschiedlichen Profiles des MPEG-2-Standards, insbesondere im "Main Profile @ Main Level", im "SNR scalable Profile @ Main Level" und im "Spatially scalable Profile @ High-14 Level".

3. Untersuchung der kompatiblen Einführung von TV und HDTV und der Vorteile der progressiven Codierung gegenüber der Zeilensprungcodierung.

4. Erarbeitung von wesentlichen Fortschritten in der Bildcodierung mit hoher visueller Qualität durch den Einsatz von neuen Konzepten und Funktionalitäten wie inhaltsabhängige Manipulation und Verarbeitung.

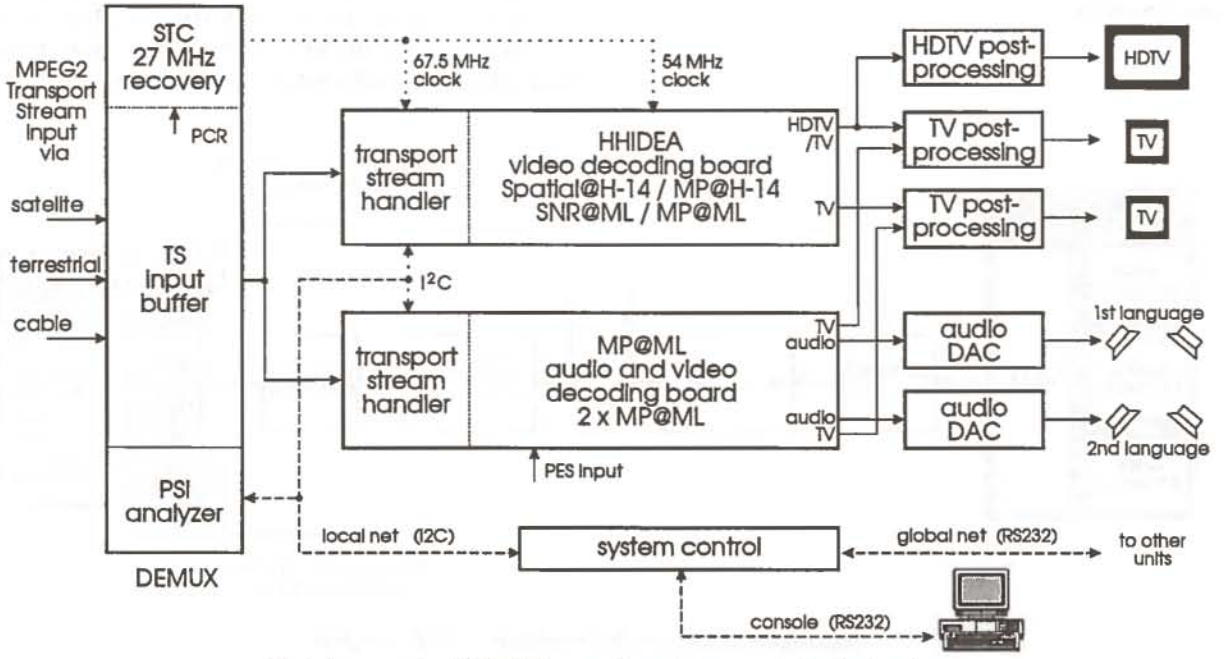
Ergebnisse

Das zweite Jahr wurde folgenden Arbeiten gewidmet:

Entwicklung eines Demonstrators: Es wurden Konzepte zur Integration des Systems mit einem vierfachen TV-Chipsatz im Sender und mit einem HDTV-Chipsatz im Empfänger erarbeitet. Bei der Hardwareentwicklung des Empfängers, für die das HHI verantwortlich ist, wurden die Arbeiten nahezu abgeschlossen /133/ (s. **Bild**). Ein letzter Test des HDTV-Decoder Boards mit den im Projekt "Schlüsselkomponenten für elektronische Bildtechniken" entwickelten VLSI-Bausteinen (MOFA, BISTRO) steht noch aus.

MPEG2-Optimierung: Es wurden verschiedene Vorschläge erarbeitet, um unter Verwendung der MPEG-Syntax den Senderalgorithmus zu verbessern. Die Entwicklung eines Software- und eines Hardware-Referenzmodells zur Optimierung der Bildqualität bei komprimierter Datenübertragung wurde abgeschlossen /130, 174/. Außerdem war das HHI an der Generierung von codierten Sequenzen für das EU1187-Projekt "Advanced Digital Television Technology - ADTT" beteiligt /175/.

Neue Konzepte der Bildcodierung: Es wurden zwei Software-Referenz-Modelle für die intelligente Datenkompression und für objekt-basierte Funktionalitäten entwikkelt und optimiert. Das HHI war hauptsächlich an der zweiten Softwareplattform beteiligt.



Blockdiagramm des MPEG-2-Transportdemultiplexers und -Quellendecoders

Codec für die hierarchische digitale Fernsehübertragung

Projektleiter: Dr. P. Stammnitz — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.7.92-31.12.95 — Abteilung: BS

Ziel

Weltweit wird eine Digitalisierung sämtlicher Videodienste angestrebt. Dies geschieht einerseits in Hinblick auf die Einführung digitaler Netze wie ISDN und B-ISDN sowie digitaler Speichermedien (CD-ROM, digitaler VCR) und andererseits aus Gründen der Integrationsmöglichkeit auf Silizium und damit der kostengünstigen Herstellung.

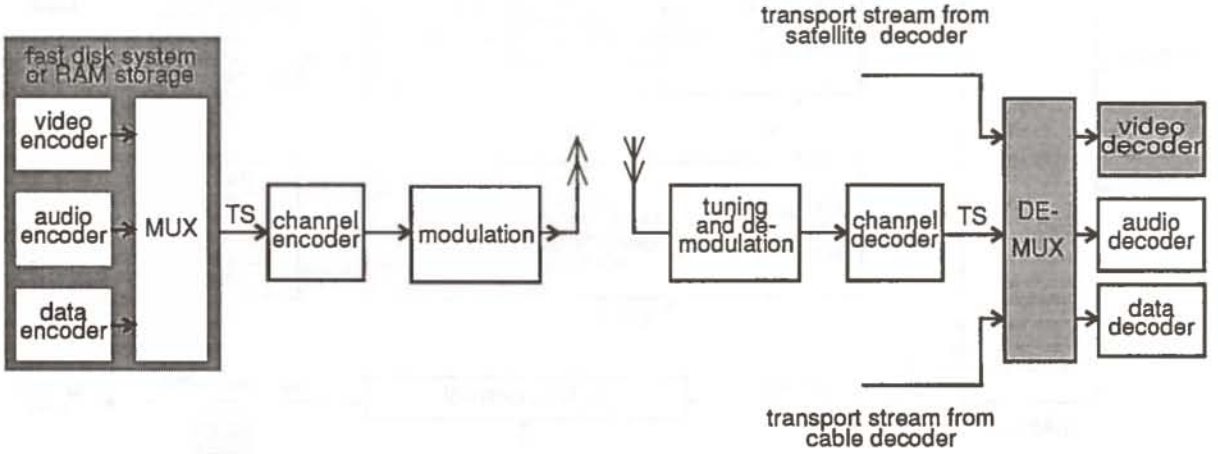
Diese Entwicklung hat auch vor der TV- und HDTV-Übertragung über terrestrische, Kabel- und Satellitenkanäle nicht halt gemacht und wird vor allen Dingen durch die Entwicklungen in den USA stimuliert.

In diesem Projekt sollen ein Quellen-Decoder und ein Demultiplexer aufgebaut werden, die Teil einer Gesamtübertragungskette für digitales TV/HDTV sind, welche im Rahmen des nationalen Forschungsschwerpunkts "Hierarchische Digitale Fernsehübertragung - $^{H}DTV_{T}$" (s. **Bild**) entwickelt und aufgebaut werden. Aufgrund der internationalen Standardisierung kommt hierfür nur eine Hybridcodierung mit Bewegungskompensation entsprechend MPEG2 in Betracht. Weiterhin soll der Codec die Möglichkeit bieten, aus dem Datenstrom des HDTV-Signals ein TV-Signal abzuleiten (Kompatibilität). Nach seiner Fertigstellung soll der Decoder zusammen mit den anderen Komponenten (Multiplexer, Kanalcodec, Modulationsstufe, HF-Stufe) in Feldversuchen getestet und optimiert werden.

Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde an folgenden Komponenten bzw. Themen gearbeitet: MPEG2-Demultiplexer, 4xTV MPEG2-Videodecoder zur Demonstration auf der IFA '95, Analogteile des Videodecoders für 4xTV und 1xHDTV (Postprocessing), Texteinblendung für die IFA '95-Demonstration, prozessorgesteuerte Systemkontrolle für die IFA '95-Demonstration und Durchführung von Hardwaretests.

Der MPEG2-Demultiplexer muß den MPEG-Transportstrom in die einzelnen Elementardatenströme (Video, Audio, Daten) zerlegen und eine Umsetzung des 8 MHz Demodulatortakts auf die Taktraten der einzelnen Decoder durchführen. Diese Aufgaben werden von zwei Platinen, dem TS-Inputbuffer (TS = Transportstrom) und dem PSI-Analyzer (PSI = Program Specific Information) übernommen. Mit Hilfe käuflicher TV-MPEG2-Decoderbausteine (MP@ML) wurde ein 4-fach Decoder zur gleichzeitigen Darstellung Decodierung von vier TV-Signalen entwickelt. Der Aufbau erfolgte auf zwei identischen Platinen, bestehend aus je zwei Videodecodern. Die Schaltungen auf den Decoder-Platinen wurden zusätzlich zur 4xTV Decodierung so ausgelegt, daß eine Decodierung von 2 TV-Signalen im hierarchischen Simulcast-Betrieb möglich ist. Dies bedeutet, daß bei Ausfall eines Datenstroms auf den zweiten Datenstrom umgeschaltet wird, so daß es nur zu einer kurzzeitigen Unterbrechung des Bildes kommt (< 0.5 Sekunden). Auf den Platinen zur Signalnachbearbeitung der TV-bzw. HDTV-Signale wurde speziell für die IFA-Demonstration zusätzlich die Möglichkeit einer Texteinblendung vorgesehen. Außerdem wurde die prozessorgesteuerte Systemkontrolle auf den gesamten $^{H}DTV_{T}$-Demonstrator erweitert. Transportstromdemultiplexer, Videodecoder, Signalnachbearbeitung für TV und HDTV und Prozessorsteuerung arbeiten einwandfrei mit der gesamten $^{H}DTV_{T}$-Übertragungskette zusammen. Auf der IFA '95 wurde damit die Decodierung hierarchischer digitaler terrestrischer Signale als auch nichthierarchischer digitaler Satellitensignale demonstriert.



Gesamtübertragungskette für den digitalen TV/HDTV-Rundfunk

Schlüsselkomponenten für elektronische Bildtechniken

Projektleiter: Dipl.-Ing. M. Talmi Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.92-31.12.95 Abteilung: BS

Ziel

Ziel des Vorhabens ist es einerseits, Möglichkeiten zur Hochintegration neuer volldigitaler HDTV-Systeme unter Zugrundelegung zukünftiger Submicron-Technologien aufzuzeigen und andererseits Realisierungsentwürfe auszuarbeiten, die zu einer Prototypentwicklung von integrierten Teilsystemen für die Bildkompression zur digitalen HDTV-Übertragung führen. Diese Teilsysteme umfassen Komponenten zur Bewegungsschätzung und Bewegungskompensation sowie zur Bildcodierung/-decodierung für die Aufzeichnung und Übertragung.

Die im Vorhaben zu entwickelnden Chips bzw. Teilsysteme sollen in Codecs und in Studiogeräten eingesetzt werden, die am HHI für den Forschungsschwerpunkt "Hierarchische Digitale Fernsehübertragung - $^{H}DTV_{T}$" und im Rahmen von RACE- und ACTS-Projekten (Cinenet, HAMLET) entwickelt werden.

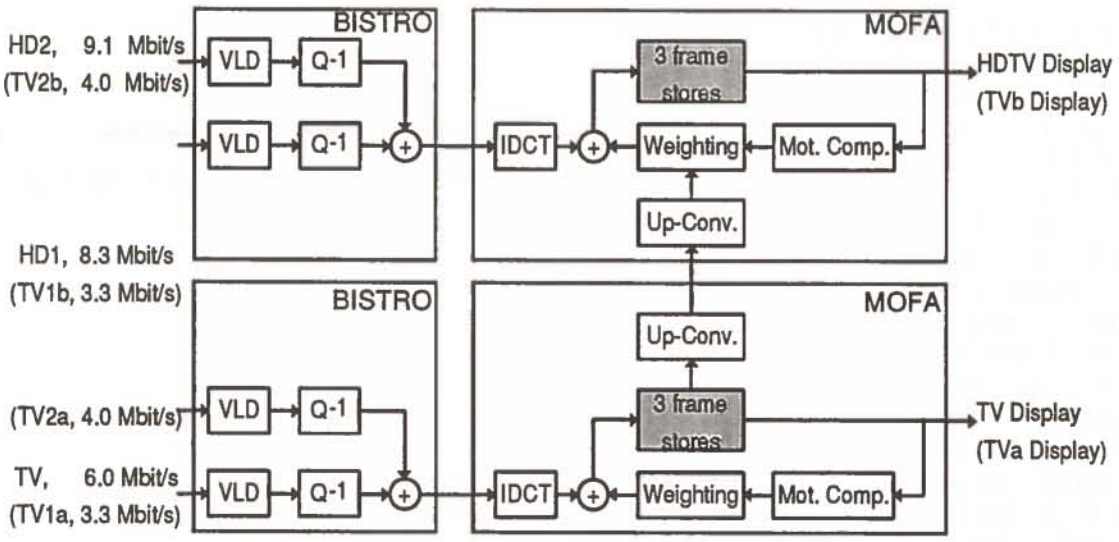
Ergebnisse

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten auf das Chipdesign der Schlüsselkomponenten für die Realisierung des Videodecoders für den $^{H}DTV_{T}$ Demonstrator unter Verwendung der CMOS-Technologien der Firma European Silicon Structures (ES2).

Das untenstehende **Bild** zeigt ein funktionales Blockschaltbild des $^{H}DTV_{T}$ Videodecoders. Der größte Unterschied zu den industriellen Realisierungen für TV (MPEG-2, MP@ML) besteht in der hierarchischen Decodierung und den großen Geschwindigkeitsanforderungen für HDTV. Die Hybriddecodierschleife ist zweimal vorhanden: Einmal für den TV-Layer und ein weiteres mal für den HDTV-Layer. Die decodierte TV-Information kann durch das Hochkonversions-Filter (Up-Converter) in das HDTV-Bildformat konvertiert und in der Prädiktionsschleife des HDTV-Layers als gewichtetes Schätzbild zur Pädiktion verwendet werden. Die Bildausgabe kann gleichzeitig sowohl für TV als auch für HDTV erfolgen /134/.

Im Hinblick auf die Chipintegration zur Realisierung des $^{H}DTV_{T}$-Decoders wurde die Entwicklung von zwei VLSI-Chips durchgeführt. Der erste Baustein (BISTRO) umfaßt die Funktionen zur Bitstromdecodierung (Unpacker, VLD), die Inverse Quantisierung, sowie Steuerfunktionen für die nachgeschaltete Bildwiedergewinnung auf MOFA. Der zweite Chip (MOFA) führt die Kompensation und die Bildwiedergewinnung sowie die Inverse Diskrete Cosinus Transformation (IDCT) durch. Die wichtigsten Funktionsblöcke des Chips sind die Interpolation, die Bewegungskompensation, die Hochkonversionsfilterung, und ein Controller für Steuerung und Datenadressierung. Die beiden Chips wurden in der 0.7 µm Semi-Custom CMOS-Technologie der Firma ES2 gefertigt.

Für die Realisierung des Audiodecoders wurde eine Hardware/Software-Lösung implementiert. Ein Signalprozessor von Texas Instruments (TMS320C40) wurde als "transport-stream handler" und 2 MAS3500C von ITT für die Decodierung des Audio-Bitstroms eingesetzt. Der Decoder ist in der Lage, den im MPEG-2, Layer-2 festgelegten 5-Kanal Surround Sound zu decodieren und wiederzugeben /137/.



Blockschaltbild des hierarchischen HDTV-Decoders mit den Chips BISTRO und MOFA

VLBV für Multimediadienste in Mobilfunk- und Datennetzen

Projektleiter: Dr. T. Sikora | Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.7.94-30.6.97 | Abteilung: BS

Ziel

Weltweit hat sich die Thematik der Videocodierung und Videoübertragung für kommunikative Multimedia-Anwendungen zu einem wichtigen Forschungsschwerpunkt entwickelt. Aufgrund der Dringlichkeit des Themas ist insbesondere die Entwicklung von Bilddaten-Codieralgorithmen Gegenstand von europa- und weltweiten Standardisierungsbemühungen (ITU-T, MPEG-4, COST211ter). In dem Forschungsvorhaben werden Möglichkeiten der Videocodierung für Multimediaanwendungen in Mobilfunk- und Datennetzen untersucht. Aufgrund der extremen Schmalbandigkeit der Übertragungsmedien (< 64 Kbits/s) müssen Codieralgorithmen entworfen werden, die eine sehr hohe Bilddatenkompression bei guter Bildqualität ermöglichen (Very Low Bitrate Video, *VLBV*). Zusätzlich muß für die Übertragung in mobilen Übertragungskanälen eine robuste Übertragung der Videodaten gewährleistet werden. Dabei werden die Möglichkeiten des VLBV hauptsächlich mit Methoden der objekt- und modellbasierten Codierung untersucht mit dem Ziel der Verbesserung herkömmlicher Hybridverfahren. Untersuchung von Verfahren zur Farbinformations-Codierung an Objektkanten, verbesserte Bewegungskompensation unter Berücksichtigung von 2-D und 3-D Modellparametern, und die Untersuchung und Berücksichtigung der Kanaleigenschaften bei der Entwicklung von Codieralgorithmen ist Schwerpunkt des Projektes.

Ergebnisse

Ein wichtiger Teil der Arbeiten des Jahres 1995 bezog sich auf die Definition und Software-Implementierung eines objektbasierten Video-Codierverfahrens für VLBV-Anwendungen. Die zu bestimmten Bildobjektinhalten zugehörige Konturinformation wird zum Empfänger übertragen und die Grauwerte der Bildpixel innerhalb der Segmentkonturen werden transformationscodiert. Hierzu wurden im Projekt konturadaptive Algorithmen entwickelt, die im Vergleich zu Orthogonalisierungs-Verfahren ähnlich gute Codierergebnisse bei stark reduziertem Rechenaufwand erzielen und nahezu die Effizienz optimaler Transformationen ermöglichen /144, 145, 146/. Eine Erweiterung des Verfahrens hinsichtlich einer Qualitäts-Skalierbarkeit ermöglicht die hierarchische Übertragung von Bildinhalten mit unterschiedlichen Qualitätsstufen. So können für die Übertragung in mobilen Netzen wichtige Bildinformation besser gegen Übertragungsfehler geschützt werden. Das Codierverfahren wurde als offizieller Vorschlag des HHI für die ISO/MPEG-4 Standardisierung eingereicht /184/.

Ein weiterer zentraler Schwerpunkt der Projektarbeiten befaßte sich mit der Optimierung des entwickelten Codieralgorithmus hinsichtlich angepaßter Bewegungsschätzverfahren. **Bild 1** zeigt die Anpassung eines 3-D Kopfmodelles bei der Codierung eines typischen Videotelefonbildes. Mit nur wenigen Modellparametern kann die Bewegung des Kopfes von einem Bild zum nächsten prädiziert werden (**Bild 2**).

Bild 1: Videotelefonbild und angepaßtes 3-D Wire-Grid Modell

Bild 2: Modellprädizierte Kopfbewegung mit Textur aus Bild 1

Intelligente Codierverfahren für Bildkommunikation und Multimedia

Projektleiter: Dipl.-Ing. P. Kauff Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.95-31.12.96 Abteilung: BS

Ziel

Obwohl konventionelle Videocodierverfahren, die in den letzten Jahren für Verteil-, Multimedia- und Kommunikationsdienste entwickelt wurden (MPEG-1/2, H.261, etc.), hinsichtlich Kompressionseffizienz und Funktionalität bereits einen sehr hohen Entwicklungsstandard erreicht haben, ergeben sich vor dem Hintergrund der sich rasch vollziehenden Digitalisierung und Verflechtung von Kommunikationsnetzen und -diensten (Datenautobahn, Multimedia-Benutzerplattform) neue Anforderungen an die Videocodierung. Neben einer weiteren Steigerung der Kompressionseffizienz handelt es sich hierbei insbesondere um die Einführung neuartiger, inhaltsbezogener Funktionalitäten, wie die objektbasierte Skalierbarkeit oder das objektorientierte Editieren von Bitströmen. Einen vielversprechenden Ansatz zur Lösung dieses Anforderungsprofils bieten sogenannte "intelligente" Verfahren, die konventionelle Codiertechniken mit Methoden der inhaltsbezogenen und objektorientierten Segmentierung, Analyse und Synthese von Videosequenzen verbinden und deshalb auch als hybride (signal/objekt-basierte) Analyse-Synthese-Verfahren bezeichnet werden. In diesem Zusammenhang sollen bekannte Analyse-Synthese-Techniken neu- und weiterentwickelt werden sowie möglichst effizient in bestehende Codecstrukturen (d.h. MPEG-2) eingebunden werden.

Ergebnisse

Aufbauend auf Resultaten eines Vorgängerprojekts /181/, konzentrierten sich die Arbeiten im wesentlichen auf die Entwicklung eines szenenadaptiven Verfahrens zur hybriden Analyse-Synthese-Codierung, das die verschiedenen Szenenobjekte separat codiert und zum Zweck der inhaltsbezogenen Funktionalitäten in getrennten Bitstromebenen überträgt (s. **Bild**). Dieses Verfahren baut auf einer MPEG-2-Syntax auf und sieht eine konsequente Erweiterung der herkömmlichen MPEG-Struktur mit objektbasierten Codiertechniken vor. In diesem Zusammenhang wurden im zugrunde liegenden Berichtszeitraum folgende Arbeiten durchgeführt:

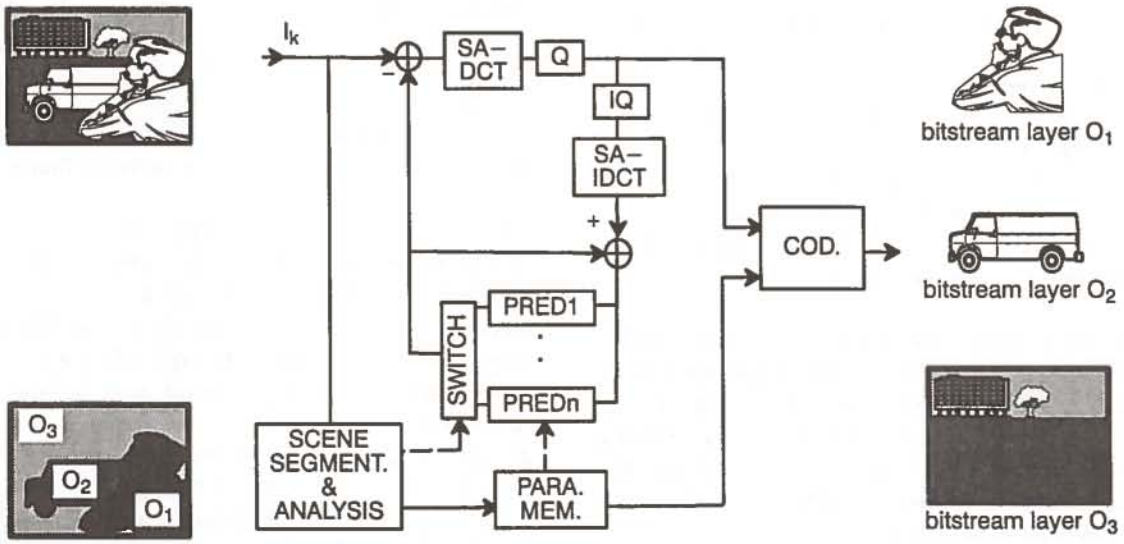
- Weiterentwicklung von Verfahren zur eingangsseitigen Szenensegmentierung und -analyse /153/.
- Entwicklung eines Algorithmus zur effizienten Übertragung von Objektkonturen /234/.
- Implementierung einer Toolbox zur Einbindung objektbasierter Codiertechniken in geeignete, segmentgestützte Kompressionsverfahren /183/.

Diese Toolbox umfaßt neben einer Konturcodierung und diversen modellbasierten Prädiktionsalgorithmen auch ein Softwaretool zur SA-DCT (Shape Adaptive Discrete Cosine Transform), mit der beliebig geformte Szenenobjekte unabhängig vom restlichen Bildinhalt codiert werden können /182/.

Sowohl das im Projekt entwickelte Codierkonzept als auch Teile der Toolbox wurde sowohl bei MPEG-4 als auch bei COST211ter als Vorschlag zur objektbasierten Codierung eingereicht /182, 183/.

Darüber hinaus wurden Bestandteile der Toolbox in den Vorschlag zur segmentbasierten Codierung integriert, mit dem das HHI an den MPEG-4-Konvergenztests zur inhaltsbezogenen Skalierbarkeit im November 1995 teilgenommen hat /184/.

Des weiteren konnte mit Hilfe der bisherigen Systemimplementierung sowohl die Machbarkeit inhaltsbezogener Funktionalitäten als auch eine über MPEG-2 hinausgehende Steigerung der Kompressionseffizienz demonstriert werden /152/.



Blockdiagramm zur objektbasierten Codierung

Soap-Opera Coding (Codierung von Videosequenzen mit begrenztem Bildhintergrund)

Projektleiter: Dr. A. Graffunder — Auftraggeber: Dt. Telekom AG

Laufzeit: 1.5.95-30.4.96 — Abteilung: BS

Ziel

Konventionelle Videocodierverfahren, die z.Z. für die Kompression von Fernsehsignalen eingesetzt werden (z.B. MPEG-2), wurden hinsichtlich eines möglichst universellen Anwendungsprofils und für die Übertragung beliebig komplexen Bildmaterials entwickelt (Generic Coding). Im Gegensatz dazu beinhalten übliche Fernsehsendungen oft einen extrem einfach Szenenaufbau. Häufig setzt sich vor allem der Bildhintergrund aus nur wenigen, immer wiederkehrenden, meist kulissenhaften Bühnen- und Szenenbildern zusammen, die selbst in Folgesendungen nicht variiert werden. Dies trifft insbesondere für Sendungen wie "Soap-Operas" oder "Game-Shows" zu, die in letzter Zeit national wie international hohe Zuwachsraten aufweisen und für die es in Zukunft vermutlich sogar ganze Spartenkanäle geben wird. Vor diesem Hintergrund soll im Projekt ein Codierkonzept entwickelt werden, das die besonderen Szeneneigenschaften solch speziellen Videomaterials dazu nutzt, um es mit sehr geringen Datenraten übertragen zu können. Potentielle Einsatzgebiete sind dabei vor allem Videoverteildienste, die einen bestimmten Kundenkreis ansprechen (Video-On-Demand, Home-Shopping, etc.) sowie Dienste, die sowohl aus Kostengründen als auch aus Gründen des möglichst einfachen Zugriffs Videodaten über schmalbandige Kanäle (z.B. Telefon-, Daten- oder zukünftige UMTS-Mobilfunknetze) übertragen werden.

Ergebnisse

Ausgehend von einem Szenenmodell mit begrenzter Hintergrundinformation wurde in der Definitionsphase ein Codierkonzept entwickelt, das Videosequenzen in zwei unterschiedlich zu verarbeitende Bildbereiche zerlegt (s. **Bild 1**):

- einen kulissenhaften, nahezu starren Bildhintergrund, der nur globale Kamerabewegung aufweist
- diverse, zeitlich verformbare Vordergrundobjekte mit komplexer Eigenbewegung (z.B. Personen).

Da zur Übertragung der beliebig geformten Vordergrundobjekte auf ein Verfahren zurückgegriffen werden soll, das z.Z. in einem parallel laufenden Projekt zur objektbasierten Codierung entwickelt wird, konzentrierten sich die Arbeiten auf die Codierung des Hintergrundbereiches und auf die Szenensegmentierung zur Trennung von Vorder- und Hintergrund.

Bild 1: Vorder- und Hintergrundsegment der Testsequenz STEFAN

Bild 2: Hintergrundspeicher zur Testsequenz STEFAN

Für die Segmentierung wurde ein rückgekoppeltes System zur Objektverfolgung entwickelt. Dabei werden die Objektkonturen durch Polygonzüge repräsentiert und über aktive Konturmodelle (Snakes) an die Kanteninformation der aktuelle Farbwerte angepaßt. Die zeitliche Rückkopplung zur Vorhersage von Bewegung und Verformung erfolgt dagegen durch eine Kalman-Filter-Struktur, mit der die zurückliegende Objektbewegung analysiert und anschließend eine Vorhersage über die Lage und die Form der Objekte im nächsten Bild getroffen wird.

Für die Übertragung des Hintergrundsegmentes wurde eine Verfahren entwickelt, das die bezüglich des Bildhintergrundes getroffenen Modellannahmen optimal ausnutzt. Zu diesem Zweck wird ein übergroßer Bildspeicher eingesetzt, der die gesamte Hintergrundszene enthält und dessen Inhalt nur einmal während einer Initialisierungsphase zum Empfänger übertragen werden muß (s. **Bild 2**). Der aktuelle Bildhintergrund kann dann am Empfänger mit Hilfe von nur wenigen Bewegungsparametern, die der Sender für jedes Bild gesondert und gemeinsam mit dem Vordergrunddaten überträgt, rekonstruiert werden.

Dieses Verfahren geht im einfachsten Fall von einer Offline-Anwendung aus, bei der das zu übertragende Bildmaterial auf der Sendeseite bereits vollständig analysiert wurde. Allerdings sind bei sukzessiver Übertragung neu hinzu kommender Hintergrundbereiche auch Online-Anwendungen denkbar. Erste Simulationsergebnisse haben gezeigt, daß modellkonforme Videoszenen mit Hilfe dieser Technik bei hinreichend guter Bildqualität auf weniger als 500 kbit/s komprimiert werden können. Im Vergleich dazu ist die Qualität einer konventionellen MPEG-2-Codierung bei gleichen Bedingungen nicht mehr akzeptabel /152/.

Signalaufbereitung für VLTV-Systeme

Projektleiter: Dr. M. Ernst	Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.94-31.12.96	Abteilung: BS

Ziel

Langfristiges Ziel der Arbeiten am HHI im Bereich elektronischer Bildtechniken ist ein sogenannter VisionLike TeleVision (VLTV)-Fernsehstandard bei dem die Verwendung von 3D-Bildtechniken eine entscheidende Rolle spielen wird. In diesem Vorhaben sollen Verfahren der Signalaufbereitung für VLTV untersucht, weiter- und neuentwickelt werden, um einen Beitrag zur Machbarkeit eines solchen Systems zu leisten. Diese Verfahren basieren soweit wie erforderlich auf einer bewegungs- und/-oder disparitätskontrollierten Signalverarbeitung.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich schwerpunktmäßig folgende Gesamtziele:

- Verbesserte Bewegungs- und Disparitätsschätzung unter Berücksichtigung von Verdeckungsproblemen
- VLTV-gerechte Studionachverarbeitung, Effektbearbeitung und Qualitätssicherung (z.B. Korrektur des Tiefensignals bei Chromakey-Anwendungen, Begrenzung der Tiefeninformation bei Bildschnitt und -überblendung)
- Neue Verfahren der vollelektronischen VLTV-Produktion (z.B. für eine erweiterte elektronische Trickfilmgenerierung mit Berechnung von Zwischenphasen und -perspektiven)

Ergebnisse

Die Arbeiten im Berichtszeitraum konzentrierten sich auf die Anpassung der entworfenen Verfahren zur kombinierten Bewegungs- und Disparitätsschätzung und zur perspektivischen Zwischenbildinterpolation an Extremsituationen, die z.B. bei der Verarbeitung von 3D-Video-Konferenzszenen auftreten (s. **Bild**). Desweiteren wurden Konzepte zur Berücksichtigung einer dritten Kamera entworfen.

Testsequenz SAXOPHON-PLAYER (links) mit Grauwertdarstellung der geschätzten Disparitäten.

Ein weiterer Schwerpunkt bestand in der weiteren Optimierung verschiedener Ansätze zur Kantenerkennung und Objektsegmentierung. Diese Techniken sind einerseits eine Schlüsseltechnologie für das zu entwickelnde Verfahren zur Synthese stereoskopischer Ansichten bei monoskopischen Vorlagen, andererseits läßt sich mit diesen Techniken eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des 3D-Chromakey-Verfahrens sowie des Verfahrens zur kombinierten Bewegungs- und Disparitätsschätzung erreichen /154/.

Im einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:
Ein bereits entworfenes Verfahren zur kombinierten Bewegungs- und Disparitätsschätzung wurde weiter optimiert. Die Schätzgüte in "kritischen" Bildbereichen konnte insbesondere durch die Berücksichtigung von zusätzlichen Merkmalen (Kanten, Objektecken, Textur, Objektmasken) sowie durch eine verbesserte Konsistenzprüfung der Bewegungs- und Disparitätsvektoren weiter erhöht werden. Bei Extremsituationen, die z.B. bei der Verarbeitung von 3D-Video-Konferenzszenen vorkommen (Objektabstand zur Kamera kleiner als 1 m, Kamera-Baseline größer als 50 cm), treten allerdings noch relevante Störungen auf. Da absehbar ist, daß eine vollständig störungsfreie perspektivische Zwischenbildberechnung für derartige Extremsituationen nur schwer möglich ist, wurden Konzepte zur optionalen Berücksichtigung einer dritten Kamera entworfen.

Ein Konzept zur perspektivischen Zwischenbildinterpolation für Anwendungen der universellen (perspektivisch/-zeitlichen) 3D-Zeitlupengenerierung wurde implementiert. Es ließ sich eine weitgehend störungsfreie Verarbeitung unter verbesserter Berücksichtigung derjenigen teilverdeckten Bildbereiche erreichen, die durch unterschiedliche Bewegungen an Objektkanten entstehen.

Die Arbeiten zur Kantenerkennung und Objektsegmentierung konzentrieren sich auf den Entwurf eines Verfahrens zur kombinierten Auswertung der Farb-, Helligkeits- und Bewegungsinformation. Das Verfahren beinhaltet verschiedene LOG-Operatoren (Laplacian of Gauss) und eine hierarchische Vorgehensweise (scale-space).

Ein erstes Verfahren zur 3D-Trickfilmgenerierung wurde fertiggestellt. Unter Verwendung von verschiedenen Modulen (Bewegungsvektorschätzung, zeitliche Zwischenbildinterpolation, interaktiv unterstützte Segmentierung und Chromakey) läßt sich damit ein 3D-Trickfilm mit kontinuierlichem Bewegungsablauf elektronisch produzieren.

Die Arbeiten zur Synthese stereoskopischer Ansichten bei monoskopischen Vorlagen konzentrieren sich auf die Optimierung eines Ansatzes, bei dem die Synthese der stereoskopischen Ansicht nur durch einen Zugriff auf Bilder unterschiedlicher Zeitpunkte erfolgt.

Verfahren zur blickgesteuerten Interaktion mit autostereoskopischen Multimedia-Displays / Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems and Applications (PANORAMA)

Projektleiter: Dr. S. Pastoor — Förderer: BMBF, Land Berlin, EU
Laufzeit: 1.1.95-31.12.98 — Abteilung: AT

Ziel

Stereoskopische Techniken bieten sich an, um die Benutzeroberfläche zukünftiger interaktiver Medienverbundsysteme attraktiver und effizienter zu machen. Vorstellbar sind die Ausnutzung der Tiefendimension zur klaren, sinnfälligen Strukturierung der im Display abgebildeten Objekte (Programmfenster, Bedienelemente etc.) sowie neuartige, intuitive Formen der Interaktion (Anpassung der Bildinhalte in Abhängigkeit von Kopfposition und Blickpunkt des Nutzers; Steuerung von Terminalfunktionen durch Augenbewegungen). Voraussetzung dafür ist die Gewährleistung einer möglichst uneingeschränkten und zugleich komfortablen und augenverträglichen 3D-Wiedergabe. Zu diesem Zweck sollen Phänomene des natürlichen Sehens mit Hilfe von Bildverarbeitungsverfahren nachgebildet werden. Die einzelnen Komponenten und Verfahren sollen unter einem adäquaten Nutzungskonzept (Schnittstellenmetapher "Elektronischer Kommunikationsraum") zusammengeführt und in Form eines Laborsystems praktisch realisiert und erprobt werden.

Daraus ergeben sich folgende Arbeitsschwerpunkte:
- Nutzungskonzept für ein Multimedia-Display mit interaktiver Visualisierung
- Laborsystem zur praktischen Erprobung und Evaluation des Nutzungskonzepts (s. **Bild**)
- Synthetische Schärfentiefe und Eliminierung störender Fenstereffekte zur Erweiterung des beeinträchtigungsfrei nutzbaren stereoskopischen Tiefenbereichs
- Videogestützte Messung der Augenpunkte und der binokularen Blickrichtung für blickgesteuerte Interaktionen
- Bildanalyse und Synthese zur Bereitstellung perspektivisch korrekter Ansichten für die Nachbildung natürlicher Wahrnehmungsphänomene (Schärfentiefe, Bewegungsparallaxe, Blickkontakt bei der Videokommunikation)

Das Vorhaben ist in die europäischen Projekte RACE II 2045 'Digital Stereoscopic Imaging and Applications, DISTIMA', ACTS 'Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems and Applications, PANORAMA' sowie COST 230 'Stereoscopic Television' eingebunden (Workpackage-Leader für die anthropotechnischen Aufgaben).

Ergebnisse

Zur Präzisierung der Schnittstellen-Metapher "Elektronischer Kommunikationsraum" wurden Feldinterviews mit professionellen Nutzern marktgängiger Multimedia-Anwendungen (Desktop-Videokommunikation, Datenbanken) sowie ein PC-basierter Demonstrator mit Blickinteraktion für einen projektiven Konzepttest vorbereitet.

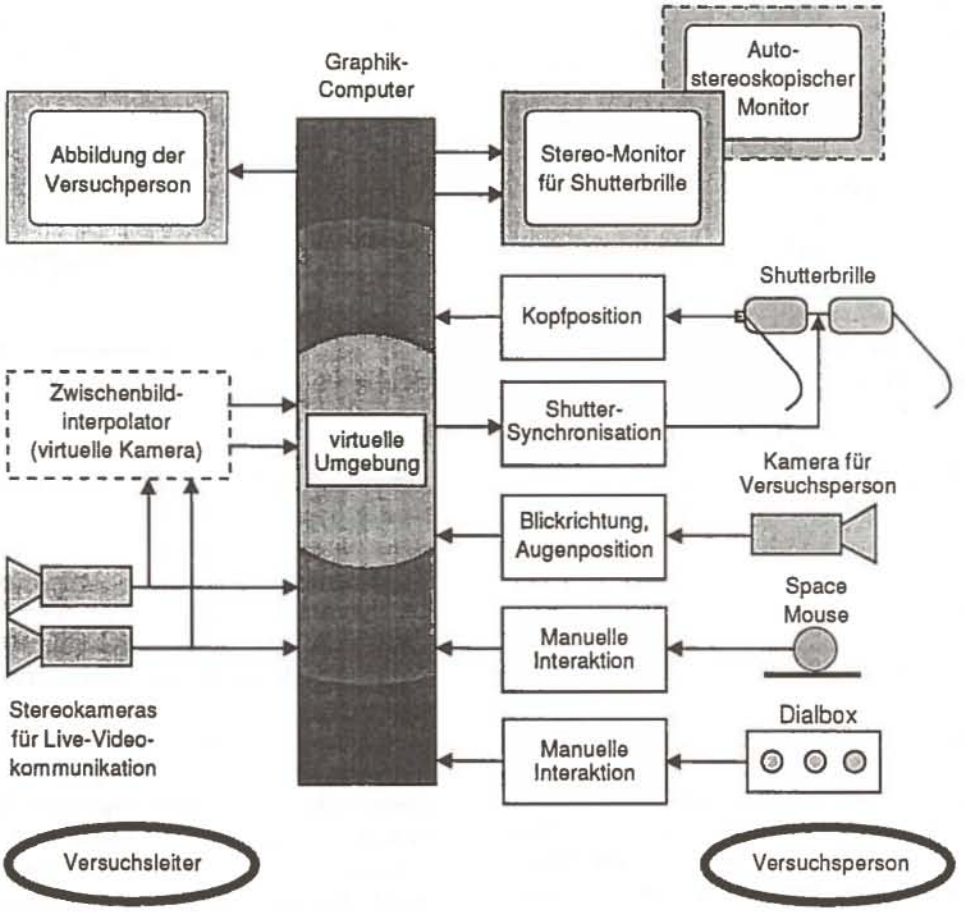
Der Kern des Laborsystems, ein SGI-Rechner der Onyx-Serie, wurde durch Aufrüstung mit zwei Graphik-Pipelines und zwei Videoeingängen stereotauglich gemacht. An dem installierten Virtual-Reality-Softwarepaket waren Änderungen der ursprünglich auf mitbewegte Displays (Helmet Mounted Displays) ausgelegten Modellgeometrie erforderlich, um auch bei ortsfestem Display eine Visualisierung mit dreidimensionaler Bewegungsparallaxe zu erreichen. Über eine Kommerzialisierung dieser Funktionserweiterung finden zur Zeit Lizenzverhandlungen statt.

Zur Nachbildung eines natürlichen Schärfentiefeverlaufs wurden tiefenselektive Filteralgorithmen entwickelt und auf eine computergenerierte Testsequenz mit unendlicher Schärfentiefe und überkritischer Stereotiefe angewandt. In Vorbereitung der geplanten Nutzeruntersuchungen wurde ein hochauflösendes Spiegel-Stereoskop (2 x 1280 x 1024 pel) aufgebaut.

Für die blickgesteuerte Interaktion entstand ein Verfahren zur videogestützten Messung der Blickrichtung. Derzeit leistet das Verfahren auf einer Workstation eine Meßrate von ca. 3 Hz und eine Meßgenauigkeit von besser als 0,5 Grad. Zur weiteren Beschleunigung für die Echtzeitanwendung soll der Algorithmus in Kooperation mit einem kommerziellen Partner auf einen Signalprozessor portiert werden.

Basierend auf einem neuartigen Kohärenzalgorithmus zur 3D-Bildanalyse gelang es, die Analysedaten als Polygonmodelle zu visualisieren. Damit ist eine wichtige Voraussetzung erfüllt, um Objekte aus realen Szenen in einem "elektronischen Kommunikationsraum" frei plazieren, bewegen und in der Größe verändern zu können. Zu weiterem Gebrauch können die Modelldaten in Datenbanken vorgehalten werden.

Als Beitrag für RACE II DISTIMA wurden trinokulare Testsequenzen aufgenommen, die sich für einen qualitativen Vergleich von Stereoanalysealgorithmen eignen. Damit wurden in Nutzeruntersuchungen die von den DISTIMA-Projektpartnern entwickelten Algorithmen evaluiert. In Vorbereitung des ACTS-Projekts PANORAMA wurden Arbeitspakete zur Kopf- und Augenpositionsvermessung und zu Anwendungen von 3D-Telepräsenztechniken definiert.



Blockschaltbild des Laborsystems

Zweikanaliges Linsenrasterverfahren für Bildwiedergabe mit Trackingsystem

Projektleiter: R. Börner — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.4.93-31.3.96 — Abteilung: AT

Ziel

Die bisher im HHI entwickelten autostereoskopischen 3D-Multiview-Displays verwenden für jede Ansicht einen separaten Projektor (Vielkanalsysteme). Bei seitlicher oder frontaler Betrachterbewegung liefern sie innerhalb großer Bereiche perspektivisch richtige Raumbilder (Bewegungsparallaxe). Beim Übergang zwischen benachbarten Ansichten treten jedoch sprungförmige Bildänderungen auf; entsprechend zerfällt das Bild bei frontalen Bewegungen in unterschiedliche Bildstreifen. Eine kontinuierliche Bewegungsparallaxe mit homogenem Bildaufbau ließe sich für die Betrachtung aus einem größeren Betrachtungsvolumen nur mit einer sehr großen Zahl gleichzeitig projizierter Bilder erreichen. Der Aufwand an Projektoren und die erforderliche hohe Trennschärfe des Linsenrasterschirms stehen einer solchen Lösung entgegen.

Als Alternative entwickelt das HHI jetzt ein zweikanaliges, autostereoskopisches Linsenrastersystem, bei dem ein Projektorpaar hinter dem Linsenraster-Bildschirm bewegt werden kann. Damit ist eine selektive Ausleuchtung jedes Auges auch bei wechselnden Betrachterpositionen möglich. Die Einstellung der Projektorposition erfolgt spiegelbildlich zur Kopfposition ("Headtracking"). Die Bildsignalquelle muß die veränderten Ansichten entsprechend den seitlichen, frontalen und vertikalen Bewegung des Betrachters liefern, damit eine perfekte Bewegungsparallaxe vermittelt wird und der Eindruck eines stabilen Raumes entsteht.

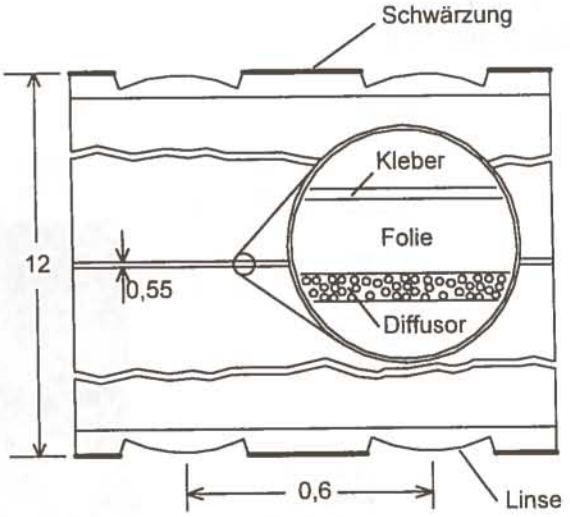
Das Projektziel ist die Entwicklung eines autostereoskopischen 3D-Rückprojektionssystems mit Doppellinsenraster-Bildschirm und Projektortracking für einen Betrachter, jedoch möglichst erweiterbar auf mehrere Personen nebeneinander. Damit soll ein wichtiger Beitrag zum Gesamtthema VLTV (VisionLike TeleVision) geleistet werden.

Ergebnisse

Die Arbeiten im Projekt konzentrieren sich auf zwei Themenschwerpunkte:

- Doppellinsenraster-Rückprojektionsschirm
- Projektoren mit Headtracking.

Das optische Design der Linsenstrukturen für Proben des Rückprojektionsschirms und seiner inneren Diffusorschicht wurde abgeschlossen. Nach den mit Philips/-Eindhoven erarbeiteten Entwicklungs- und Fertigungskonzepten sind daraufhin Testmuster des Bildschirmes hergestellt worden. Da aus Gründen einer optischen Korrektur die Bildschirmdicke zum Rand abnimmt, hatten drei der Proben unterschiedliche Dicke. Weiterhin waren bei einigen Proben die Linsen durch schwarze Streifen einseitig bzw. beidseitig abgeblendet, um die Kanaltrennung der gerasterten Bilder im Diffusor und die Selektivität der Linsenstrahlen am Ort der Betrachtung zu erhöhen. Der Vorteil der Dickenkorrektur ist meßtechnisch kaum nachweisbar, während einseitiges Abblenden, mit gleichem Erfolg auf der Projektor- wie auf der Betrachterseite, die Kanaltrennung deutlich erhöht. Diese Werte werden noch einmal erheblich verbessert, wenn beidseitig abgeblendet wird, so daß diese Lösung für das erste bestellte Muster eines Gesamtbildschirmes gewählt wurde. Es kann nach den Messungen und der Projektion von kritischen Stereo-Diapositiven generell festgestellt werden, daß Design und Ausführung bisher weitgehend unsere Anforderungen an Auflösung, Streuwinkel und Transparenz erfüllen. Daraufhin wurden die Rechnungen zum Gesamtbildschirm vorläufig abgeschlossen (s. **Bild**), und der Auftrag zur Fertigung Ende Juni wiederum an Philips/Eindhoven vergeben. Die Untersuchungen zur Impulsantwort der Streuschicht bildeten den Inhalt einer Diplomarbeit /236/.



Aufbau des Doppellinsenrasters mit Schwärzungsstreifen und internem Diffusor

Das Trackingsystem, bestehend aus einem magnetischen Meßsystem zur Detektion der Kopfposition des Beobachters und aus einem Kreuztisch, der das Projektorpaar spiegelbildlich der Kopfposition nachführt, ist nun mit beiden Achsen in Betrieb genommen worden. Die Folgeregelung des Kreuztisches arbeitet bis Maximalgeschwindigkeiten von 1 m/s zuverlässig. Dieser Wert wurde aus einem realistischen Kopfbewegungsprofil ermittelt. Beim Einsatz des Stereo- Diaprojektors auf dem bewegten Kreuztisch zeigte die nachgeführte, vom Betrachtungsabstand abhängige Bildschärfenachführung keine Mängel, so daß die Anlage bei angeliefertem Bildschirm eingesetzt

werden kann. Als problematisch muß der Einsatz wesentlich schwererer Videoprojektoren angesehen werden, für deren Tracking weitere Arbeiten an der Steuerung erforderlich sind.

Im Jahr 1994 wurde in kooperativer Arbeit mit dem HHI bei der Firma Carl Zeiss/Oberkochen der Bau eines autostereoskopischen Video-Operationsmikroskopes nach dem Linsenrasterverfahren begonnen. Bei dem im Oktober 1995 fertiggestellten flachen Einpersonenmonitor wird die Linsenrasterplatte per Kopfdetektion getrackt, um innerhalb eines ausreichend großen Beobachtungsraums Bildstörungen zu vermeiden (HHI-Patent). Das Gerät arbeitet zufriedenstellend. Allerdings ist ein höher auflösender und kontrastreicherer LCD-Flachbildschirm als der Gegenwärtige wünschenswert. Im September 1995 sind Verhandlungen mit einem überseeischen LCD-Hersteller aufgenommen worden, die zu einer Zusammenarbeit bei der Entwicklung von geeigneten Flachbildschirmen mit Linsenrastern führen sollen.

Telepräsenz am Arbeitsplatz

Projektleiter: Dr. L. Mühlbach — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.8.94-30.6.98 — Abteilung: AT

Ziel

Bildkommunikation am Arbeitsplatz ist ein Mittel, um Telekooperation effektiver und attraktiver zu gestalten und den physischen Transport von Menschen und Material zu reduzieren. Das gilt um so mehr, je höher die "Telepräsenz" ist, d.h. je mehr entfernte Kommunikationspartner die Kommunikation als unmittelbar und natürlich erleben und interagieren können, als wären sie physisch präsent. Kommunikationsexperimente im Rahmen des HHI-Projekts "Videokonferenzen mit HDTV- und 3DTV-Techniken" haben gezeigt, daß die Wiedergabe der räumlichen Eigenschaften einer Szene zu den wichtigsten Techniken zur Erhöhung der Telepräsenz gehört /162, 163, 165, 166, 167/. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollen Konzepte für den Einsatz von 3D-Techniken /164/ unter den besonderen Bedingungen der Bildkommunikation am Arbeitsplatz entwickelt und in Form eines Demonstrators realisiert werden.

Folgende Themen werden bearbeitet:
- Abbildung der Bewegungsparallaxe in einer Form, die zu einem möglichst natürlichen Bildeindruck führt
- Verfahren zur Annäherung der Akkommodationsentfernung an die Konvergenzentfernung bei der Nahbetrachtung stereoskopischer Displays
- Individueller Blickkontakt bei Mehrpunktkonferenzen
- Mischung von 3D-Bildern (z.B. für Multimedia-Anwendungen) in Form einer wahrnehmungsmäßig konfliktfreien stereoskopischen Darstellung
- Benutzerfreundliche Verfahren zum 3D-Fernzeigen /168/
- Informelle Kommunikation bei Arbeitsplatzkonferenzen
- Autostereoskopisches (d.h. brillenloses) Arbeitsplatz-Display

Ergebnisse

Im Zusammenhang mit den Arbeiten zur Bewegungsparallaxe wurden verschiedene Faktoren identifiziert, die erklären könnten, warum im Rahmen der bisher durchgeführten Untersuchungen von den Versuchspersonen ein Übersetzungsfaktor ("Gain") < 1 bevorzugt wurde /169/. Es handelt sich dabei u.a. um die Differenz von Akkommodations- und Konvergenzentfernung und um das Fehlen selektiver Tiefenschärfe. Ein Experiment, bei dem der Einfluß dieser Faktoren empirisch überprüft werden soll, befindet sich in Vorbereitung.

Für die Anpassung der Akkommodationsentfernung an die Konvergenzentfernung mit Hilfe optischer Techniken wurde ein Experimental-Hohlspiegel fertiggestellt, mit dem erste Erfahrungen hinsichtlich maximal erreichbarer Vergrößerungen bei subjektiv akzeptablen Betrachtungsbedingungen gesammelt werden konnten. Erste Vorversuche deuten darauf hin, daß eine 2,5-fache Vergrößerung nicht überschritten werden sollte.

Für die Untersuchung des Blickkontakts bei Mehrpunktkonferenzen wird z.Zt. ein Wahrnehmungsexperiment durchgeführt, das klären soll, bei welchen Endgeräte-Varianten die bei Arbeitsplatzkonferenzen auftretenden Blickfehlwinkel wahrnehmbar sind. Nur die Varianten, bei denen die Blickfehlwinkel im Wahrnehmungsexperiment erkennbar sind und als störend angenommen werden können, werden in einem später durchzuführenden Kommunikationsexperiment eingesetzt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, daß die bei den verschiedenen Varianten auftretenden Abweichungen von einer individuellen Blickzuwendung deutlich erkannt werden. Deshalb wird im Kommunikationsexperiment wahrscheinlich - neben einer Anordnung mit Kamera über dem Monitor und einer Anordnung mit einer Kamera mittig hinter dem Monitor - ein "View-per-person"-Aufbau getestet, der eine individuelle Blickzuwendung zuläßt.

Die Mischung von 3D-Bildern kann gemäß unterschiedlicher Darstellungskonzepte erfolgen:

Bei "Fenster-Darstellungen" werden die Einzelbilder in unterschiedlich angeordneten und evtl. auch unterschiedlich großen "Fenstern" dargestellt. Bei ersten Vorversuchen stellte sich heraus, daß Bilder mit größerem Tiefenvolumen im oberen und Bilder mit geringerem Tiefenvolumen im unteren Bildschirmbereich dargestellt werden sollten. Außerdem läßt sich der Bildeindruck durch die Verwendung von Rahmen um die Fenster verbessern.

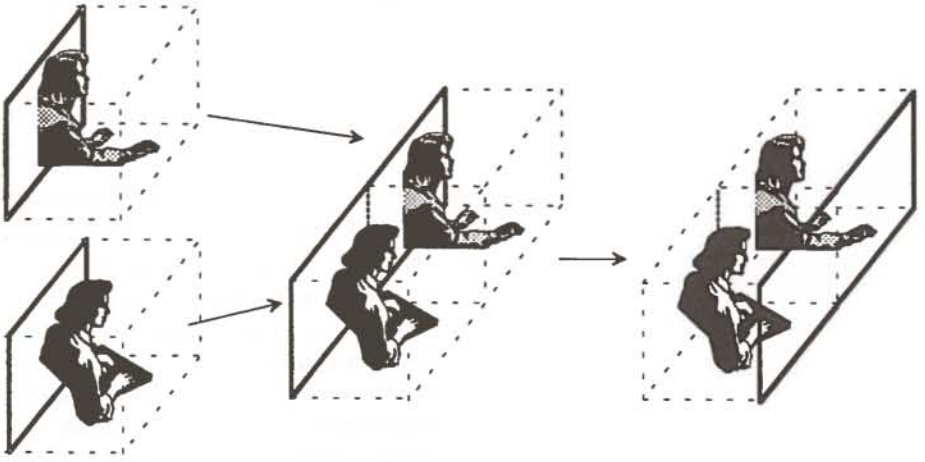
Bei "nahtlosen" Darstellungen wird versucht, die Bilder so zu mischen, daß der Eindruck entsteht, die dargestellten Personen und Objekte würden sich an einem Ort befinden. Hierzu wurde ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, an verschiedenen Orten (stereoskopisch) aufgenommene Konferenzteilnehmer so darzustellen, als würden sie sich in einem "virtuellen Konferenzraum" befinden. Dazu werden die Parallaxen der zu mischenden Einzelbilder so verändert, daß die gesamte Szene vor der Bildwand erscheinen würde und die Parallaxe des gesamten Mischbildes wird so verschoben, daß es hinter der Bildwand erscheint (s. **Bild**).

Es wird an einem Konzept für ein 3D-Fernzeigen gearbeitet, bei dem eine normale Computermaus als Eingabegerät verwendet werden kann. Tests sind in Vorbereitung.

Für die "informelle Kommunikation" wurde eine Arbeitsdefinition entwickelt. Z. Zt. werden Befragungen zur informellen Kommunikation in Präsenzsituationen mit dem Ziel durchgeführt, die Anforderungen zu identifizieren, denen informelle Kommunikation in Arbeitsplatzkonferenzen genügen muß.

Bei den Arbeiten zum autostereoskopischen Display stellte sich heraus, daß das ursprünglich geplante Display, das auf einer Kombination von CRT und Linsenrasterschirm basierte, aufgegeben werden muß, da die ins Auge gefaßten Hersteller dieser speziellen CRT-Typen (Röhre mit einer Faserplatte als Target) inzwischen diese Produktion eingestellt haben. Z. Zt. wird an einem neuen Konzept für ein autostereoskopisches Display gearbeitet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bildkommunikation wurden und werden in die internationale Standardisierungsdiskussion eingebracht /161/.



"Nahtlose" Mischung zweier stereoskopischer Bilder (dicke Linie = Bildschirmebene)

Fernseh-Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten

Projektleiter: Dr. J. Faber — Förderer: BMBF, Land Berlin
Laufzeit: 1.1.993-31.12.95 — Abteilung: AT

Ziel

Die Detailauflösung in gegenwärtigen Fernsehsystemen (TV, HDTV) ist bei ruhenden Szenen an das hohe Auflösungsvermögen des Auges angepaßt. Bewegte Objekte werden dagegen systembedingt unscharf auf dem Bildschirm wiedergegeben. Bei ruhendem Auge ist diese Unschärfe nicht wahrnehmbar. Folgt dagegen das Auge der Bewegung (Tracking), so tritt die Unschärfe störend in Erscheinung. Ein Bildsystem, das die bei Tracking wahrnehmbare Information nicht begrenzt, muß deshalb auch bewegte Objekte mit hoher örtlicher Auflösung wiedergeben. Das gilt jedoch nur in dem Maß, in dem ein exaktes Tracking tatsächlich möglich ist. Gelingt dies trotz der Absicht des Zuschauers nicht, so entsteht ein Trackfehler in Form einer Relativbewegung zwischen dem Netzhautbild und den Rezeptoren der Netzhaut ("residuale Schlupfgeschwindigkeit"). Die Folge ist eine Verwischung der örtlichen Erregungsverteilung, was aufgrund der zeitlichen Trägheit der Rezeptoren zu einer Verringerung der örtlichen Auflösung führt.

In diesem Vorhaben war das Auflösungsvermögen des visuellen Systems in Abhängigkeit von kinematischen Parametern der verfolgten Testobjekte zu untersuchen. Dabei wurde in zwei Schritten vorgegangen: Zunächst wurde die residuale Schlupfgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Geschwindigkeits-Zeitverläufen bewegter Objekte ermittelt. Dann wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem für jedes in der Bildfolge dargestellte Objekt angegeben werden kann, welche momentane visuelle örtliche Auflösung sich bei ungenauer Blickverfolgung ergibt und wie stark dementsprechend die Bildreproduktion von der Bildvorlage abweichen darf, ohne daß die Abweichungen wahrnehmbar sind.

Die Ergebnisse dienen als Grundlage für den Entwurf von Übertragungs- und Speicherverfahren, die eine hohe Bildqualität ermöglichen und zugleich irrelevante Signalanteile unterdrücken.

Ergebnisse

Für die Bestimmung des visuellen Auflösungsvermögens bei der Blickverfolgung von bewegten Objekten wurde eine Apparatur aufgebaut, die eine Darstellung rasch bewegter Testobjekte ermöglicht, die alias- und flimmerfrei ist sowie Bewegungsrucken und Mehrfachkonturen vermeidet. Zur Messung des Blickfolgeverhaltens wurde eine PC-gestützte Einrichtung aufgebaut. Diese umfaßt ein Gerät zur Messung der Stellung der Augen relativ zum Kopf ("Eyetracker"), ein Gerät zur Messung der Kopflage im Raum sowie einen Bildsequenzspeicher zur Darstellung der Testszenen. Da die Geräte unterschiedliche Taktraten aufwiesen, mußten sie synchronisiert und Meßwerte geeignet interpoliert werden. Zur Berechnung der Koordinaten des Fixationspunktes wurde ein Verfahren zur Kalibrierung des Eyetrackers entwickelt, da dessen Werte von den Betrachtern und anderen Betrachtungsumständen abhängig sind. Die Meßeinrichtung erlaubt die Beibehaltung natürlichen Blickverhaltens. Die zeitliche Auflösung reichte aus, selbst schnelle Augenbewegungen (Sakkaden) aufzulösen.

Die Projektergebnisse sollen auf beliebige, bewegte Szenen anwendbar sein. Dazu war es erforderlich, die residuale Schlupfgeschwindigkeit bei Objektbewegungen in der

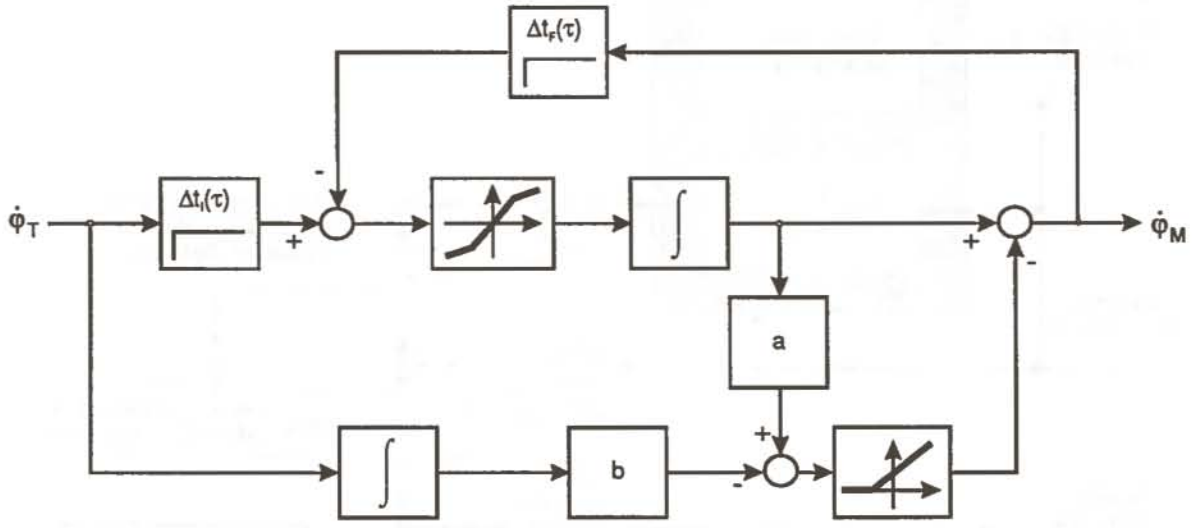


Bild 1: Modell für eindimensionales Blickverhalten. Aus der Objektgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_T$ wird die Blickpunktsgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_M$ berechnet, woraus sich die residuale Schlupfgeschwindigkeit ermitteln läßt (vollständige Erläuterung des Modells sowie Erklärungen zu Bild 2 u. 3 s. /186/)

Bildschirmebene vorherzusagen. Es wurde ein Modell erstellt, welches die realen Verhältnisse hinreichend genau wiedergibt. Als Beispiel zeigt **Bild 1** das Modell des eindimensionalen Trackverhaltens. Die Modellparameter wurden mit einem modifizierten Monte-Carlo-Verfahren eingestellt.

Zur Klärung, welche momentane visuelle örtliche Auflösung sich für jedes in der Bildfolge dargestellte Objekt bei ungenauer Blickverfolgung ergibt, wird die Gewichtsfunktion des visuellen Systems für örtlich-zeitliche Leuchtdichteverteilungen benötigt. Zur Bestimmung wurde eine Filterstruktur aus plausiblen Annahmen aufgestellt. Diese Struktur wurde an neu erhobene Meßwerte des Betrags der Übertragungsfunktion des visuellen Systems angepaßt (s. **Bild 2**). Die Messung erfolgte unter Einsatz der Signal-Entdeckungstheorie /170/, mit der sich eine kritische Überprüfung der bisher angewendeten Methoden durchführen ließ.

Die Projektergebnisse lassen sich zur Irrelevanzreduktion anwenden, indem die Quantisierung der Amplituden von Ortsfrequenzspektren der Bildvorlage inhaltsabhängig gesteuert wird. Auf dieser Grundlage wurde ein Anwendungskonzept zur Datenkompression von I-frames des MPEG 2-Verfahrens entwickelt (**Bild 3**).

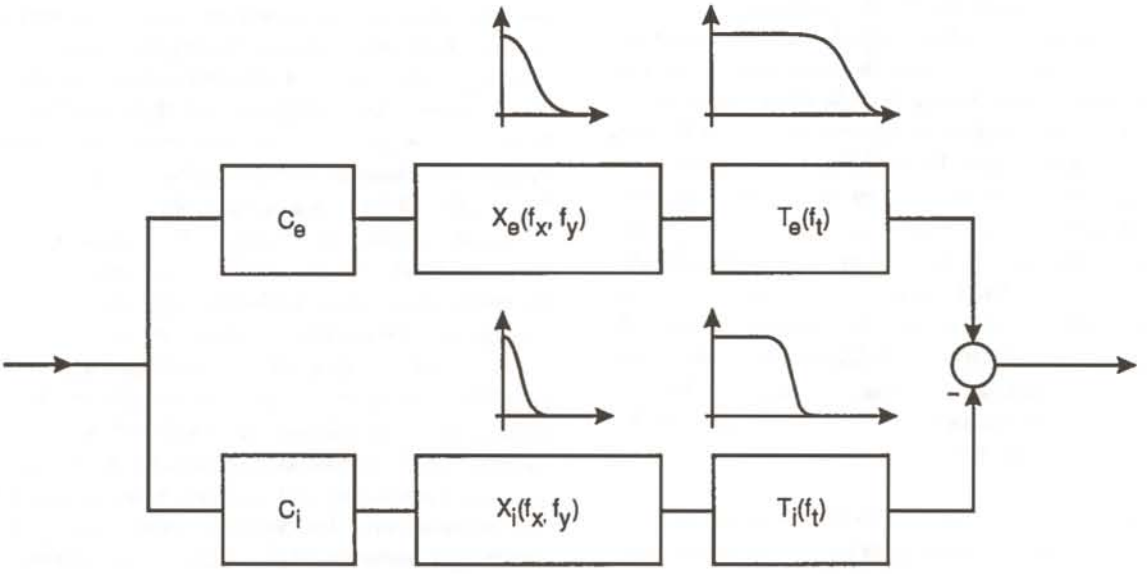


Bild 2: Strukturmodell der visuellen Übertragung als Differenz zweier separierbarer Orts-Zeit-Filter (erregender und hemmender Zweig bei der neuronalen Verarbeitung).

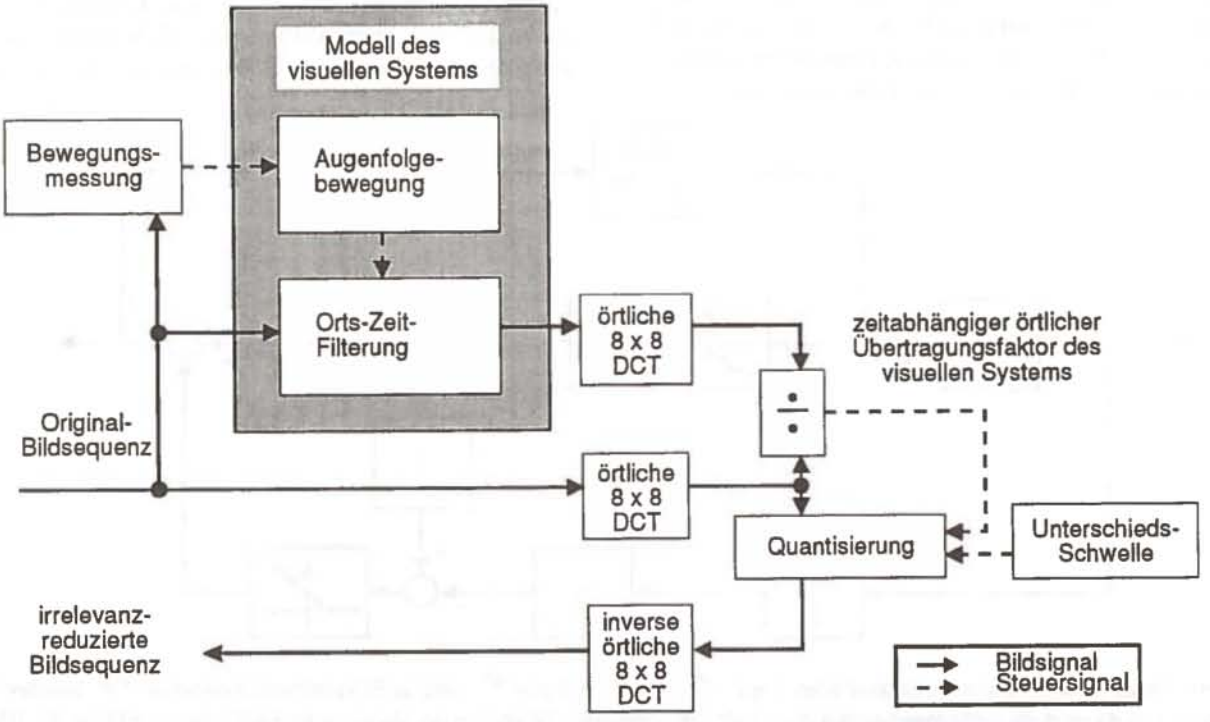


Bild 3: Anwendung der Modelle der Augenfolgebewegung und der örtlich-zeitlichen Filterung im Verfahren MPEG

Ergebnis - Übersicht

Veröffentlichungen*

/1/ C. Baack, E.-J. Bachus, K.-D. Langer, G. Walf, **Photonik für die Telekommunikation**, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 10, S. 20-25, Heft 11, S. 32-37, 1995.
Kurzfassung: Die moderne Industriegesellschaft benötigt leistungsfähige Kommunikationssysteme. Mit der schnellen digitalen Signalverarbeitung, mit komfortablen Multimedia Terminals und leistungsfähigen Photonik-Netzen zum Informationstransport werden die technischen Voraussetzungen dafür geschaffen. Photonik-Netze werden Mobilnetze verbinden und Satellitennetze unterstützen, sie eignen sich wegen ihrer Kapazität und Flexibilität zur Integration aller anderen Kommunikationsnetze. Der Übersichtsartikel behandelt photonische Multiplexverfahren, Netzelemente, Beispiele für Anwendungen sowie geeignete Technologien und skizziert den Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf diesem Gebiet.

/2/ C. Baack, E.-J. Bachus, K.-D. Langer, G. Walf, **Der Weg zum Photonik-Netz**, Handbuch der Telekommunikation (F. Arnold, Hrsg.), Kap. 3.5.1.0, 1995.
Kurzfassung: Die Vision von einer umfassenden Informationsgesellschaft beinhaltet die Möglichkeit, weltweit an jedem Ort und jederzeit multimedial kommunizieren zu können. Mit Hilfe globaler Netze, deren Basis photonische Festnetze und satellitengestützte Mobilkommunikationsnetze sind, kann dies Realität werden. Grundlagen, Prinzipien und Tendenzen photonischer Netze werden erläutert, wobei Netzaspekte und neue Schlüsselkomponenten im Vordergrund stehen. Neben einer kurzen Charakterisierung geeigneter Materialien werden die Chancen der photonischen Integrationstechnik aufgezeigt.

/3/ J. Giglmayr, **Optimal assignment of wavelengths to the paths of a network**, in Proc. of Novel Optical Systems Design and Optimisation Conference (San Diego, USA), July 1995, SPIE vol. 2537, S. 227-238.
Kurzfassung: The assignment of wavelengths to the paths of wavelength division multiplexing (WDM)/optical frequency division multiplexing (OFDM) networks, called wavelength allocation, is analysed and the applicability of mathematical methods (optimisation) is discussed.

/4/ J. Giglmayr, **WDM/OFDM-networks: Transformations, embeddings and dualisms**, in Proc. of OE/ LASE '96, Laser and Integrated Optoelectronics (San Jose, USA), January 1996, SPIE vol. 2692.
Kurzfassung: The aim of the paper is to present models of WDM/OFDM-networks which allow to study routing algorithms and the allocation of wavelengths and the later inclusion of traffic and reliability issues. Real WDM/-OFDM-networks are nonsymmetric and hierarchically organised (core network, access network, subscriber-premises) and thus mathematically not tractable except by simulations. However, by advanced methods (graph theory, discrete optimisation) they can be studied numerically and their systematic design can be supported.

/5/ J. Giglmayr, **Massively parallel Kautz and de Bruijn topologies for the free-space optical interconnection of data arrays**, in Proc. of OE/ LASE '96, Laser and Integrated Optoelectronics (San Jose, USA), January 1996, SPIE vol. 2692.
Kurzfassung: Kautz and de Bruijn networks are applied to model the free-space optical interconnection of data arrays. For this purpose the sum and product of these networks is mapped into the 3-D physical space. the properties of the sum and product networks are analysed and arising problems are discussed. The hardware requirement for the generation of permutations is investigated. The de Bruijn networks are found to be the best whereby the product is equivalent to shuffle networks. However, Kautz and de Bruijn networks have further interesting properties which are briefly discussed.

/6/ J. Giglmayr, **Kautz topologies for all-optical self-routing networks**, in Proc. SPIE-Tagung, Photonic East (Philadelphia, USA), October 1995, SPIE vol. 2614.
Kurzfassung: Kautz directed graphs (digraphs) arise from larger de Bruijn digraphs by the deletion of nodes or from smaller de Bruijn. digraphs by additional nodes, respectively. Thus all-optical self-routing networks with Kautz topologies have different properties compared with de Bruijn. Kautz digraphs may be extended by their sum and product graphs and contain planar (crossover-free) embeddings.

/7/ J. Giglmayr, **Self-routing in 2-D shuffle networks,** IEICE Transaction on Communications (Japan), Vol. E79-B, No. 2, Febr. 1996, 9 pages.
Kurzfassung: Throughout the paper, the proper operating of the self-routing principle in 2-D shuffle multistage interconnection networks (MINs) is analysed. (The notation 1-D MIN and 2-D MIN is applied for a MIN which interconnects 1-D and 2-D data, respectively.) Two different methods for self-routing in 2-D shuffle MINs are presented: (1) The application of self-routing in 1-D MINs by a switch-pattern preserving transformation of 1-D shuffle stages into 2-D shuffle stages (and vice versa) and (2) the general concept of self-routing in 2-D shuffle MINs based on self-routing with regard to each coordinate which is the original contribution of the paper. Several examples are provided which make the various problems transparent.

/8/ J. Giglmayr, **Massively parallel optical systems with nearest-neighbour interconnections**, in Proc. of Novel Optical Systems Design and Optimisation Conference (San Diego, USA), July 1995, SPIE vol. 2537, S. 208-218.

* erschienene Veröffentlichungen oder zur Veröffentlichung angenommene Manuskripte

Kurzfassung: Two basic architectures are deduced from 1-D multistage architectures with nearest-neighbour (NN) interconnection of switches and extended into 2-D architectures by a mathematical transformation. These two architectures are the Spanke-Benses (SB) network and the NN multistage interconnection network of switches (NN - MIN). The properties and applications of the two 2-D architectures are described.

/9/ J. Saniter, Th. Hermes, U. Hilbk, F.-J. Westphal, **Passive optisch transparente OFDM-LANs und deren Kopplung zu größeren Netzstrukturen**, Tagungsband, ITG-Workshop Optische Teilnehmerzugangsnetze (Dresden, Germany), März 1995.
Kurzfassung: Die optische Frequenzmultiplextechnik (OFDM-Technik) bietet die Möglichkeit, sehr flexible, breitbandige Kommunikationssysteme mit transparenten optischen Kanälen aufzubauen. In dem Vortrag wird ein im HHI aufgebautes experimentelles OFDM-Kommunikationssystem vorgestellt. Anschließend wird die opto/-elektronischen und die rein optischen Kopplung unterschiedlicher OFDM-Netze diskutiert. Erzielte Ergebnisse werden angegeben.

/10/ U. Hilbk, Th. Hermes, P. Meissner[1], J. Saniter, F. Schmidt, F.-J. Westphal, **All-optical interconnection of DWDM-LANs using modified transmissive star couplers**, in Proc. of International Workshop On Optical Access Networks (Nuremberg, Germany), September 1995.
Kurzfassung: Two transmissive star coupler based dense experimental WDM-LANs are all-optically interconnected via a central node. The realised transparent interconnection is expandable. Each LAN is equipped with four fully engineered, microprocessor controlled and absolute frequency stabilised subscriber stations. For channel selection and detection two different kinds of tunable receivers are employed: heterodyne and direct detection receivers.

/11/ F.-J. Westphal, Th. Hermes, U. Hilbk, P. Meißner[1], F. Schmidt, **Transmissive star coupler based experimental dense WDM-LANs interconnected via a central node**, in Proc. of IEEE/LEOS Summer Topical Meeting on Technologies for a Global Information Infrastructure (Keystone, USA), August 1995.
Kurzfassung: Two experimental transmissive star couplers based dense WDM-LANs each equipped with four fully engineered, microprocessor controlled and absolute frequency stabilised subscriber stations (including heterodyne- and direct-detection receivers), are all-optical interconnected via a central node.

/12/ J. Saniter, Th. Hermes, U. Hilbk, P. Meissner[1], F.-J. Westphal, **Interconnection of All-Optical HD-WDM-LANs**, in Proc. of ECOC-Workshop Optical Networking - Building the Road Map (Brussels, Belgium), September 1995, S2.3 p.11.
Kurzfassung: Transparent WDM networks will become important in the near future. High density (HD-WDM) networks with channel spacing between 5-10 GHz allow the simultaneous transmission of app. 100 channels with data rates of more than one Gb/s each. The interconnection of high capacity optical LANs is a key issue for future optical networking. System experiments for the interconnection of different HD-WDM networks will be reported. First the experimental opto-electronic interconnection between two independent optical using standard SDH equipment will be discussed. One LAN is installed at the HHI, the other at the Research Center of the Telekom. Next the focus will be on the topological and operational requirements for the all optical interconnection of optical LANs. An all-optical transparent interconnection of two experimental transmissive star coupler baser HD-WDM-LANs is reported.

/13/ U. Krüger, K. Krüger, C. v. Helmolt, E. Pawlowski, **Optical frequency stabilisation scheme for an OFDM network based on widely spaced optical crossconnects**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, We.L.3.4.
Kurzfassung: A frequency control scheme is introduced where within each transmitter frequency is referenced to a silica based optical frequency discriminator, which in addition is locked to an absolute reference frequency. The described set-up is employed in an OFDM based optical crossconnect-demonstrator (RACE 2065, COBRA). An absolute stability of ±1 GHz was achieved.

/14/ U. Krüger, K. Krüger, C.R. Batchellor[2], C. v. Helmolt, U. Nagengast, **Wavelength manager covering the EDFA-band and capable of controlling hundreds of transmitters**, J. Optical Communications, zur Veröffentlichung angenomen.
Kurzfassung: A wavelength manger has been developed for the BBC demonstrator of the RACE project R2065. In this project a multichannel coherent-detection transmission system has been implemented as an overlay to an existing WDM-system. The wavelength manager has an observation range of more than 40 nm and a resolution of better than 1.5 GHz. The absolute frequency accuracy was measured to be better than ±2.5 GHz between 1525 nm and 1565 nm.

/15/ U. Krüger, K. Krüger, **Simultaneous measurement of the linewidth, linewidth enhancement factor α, and FM and AM response of a semiconductor laser**, J. Lightw. Technol., vol. 13, No. 4, S. 592 -597, 1995.
Kurzfassung: Using a commercially available computer controlled spectrum analyser with tracking generator, optical input section, and optical delay line it is possible to measure the linewidth, linewidth enhancement factor α, and FM and AM response of a semiconductor laser in

1 Technische Hochschule Darmstadt, FRG

2 Ericsson Public Systems Division, Burgess Hill, U.K.

one process. The determination of the linewidth yields also information about the frequency noise density and the determination of α delivers information about the nonlinear gain. Assuming an optical input power of 0 dBm a laser linewidth <50 MHz and a modulation response of the laser without cut-off, AM indices m > 0.01% and FM deviations of about >10 MHz up to 20 GHz can be detected.

/16/ B. Strebel, C. Caspar, H.-M. Foisel, **Crossconnects in transparenten optischen Netzen**, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 9, S. 36-40, 1995.
Kurzfassung: Optisch transparente Netze werden ein wesentlicher Bestandteil künftiger Kommunikationsnetze sein, deren Leistungsfähigkeit durch den Einsatz der optischen Frequenzmultiplextechnik und von optischen Crossconnects maßgeblich bestimmt ist. Ein bedeutendes Merkmal dieses Netzes stellt die Transparenzlänge des optischen Signalpfades dar. Die Transparenzlänge ist durch die Eigenschaften der Übertragungsstrecke und der Crossconnects bestimmt.

/17/ B. Strebel, C. Caspar, H.-M. Foisel, G. Teich, **Cascadability measurements of optical cross connects in OFDM systems**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, Vol. 2, poster paper We.P.45, S. 785-788.
Kurzfassung: OFDM cross connect paths are combined with a fibre loop for a 140 Mb/s CMI FSK transmission. The fibre transparency length is measured in dependence of the number of cross connects for the first time.

/18/ B. Strebel, C. Caspar, H.-M. Foisel, G. Teich, **OFDM cross connects in transparent optical networks**, 40. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (Ilmenau, Germany), Tagungsband, September 1995.
Kurzfassung: The core region of a future communication network utilises the huge bandwidth of the optical fibre by high bit rate frequency division multiplexed channels. Within the nodes optical transparent cross connects switch the single data channels in the space and frequency domain. An exemplary transparent optical laboratory cross connect has been set up for 140 Mb/s modulated optical carriers. A significant parameter of each optical network is the optical transparency length, which can be demonstrated in a transparency range diagram. A set up is reported for the measurement of the limits in the transparency range diagram of a 140 Mb/s CMI FSK modulated carrier.

/19/ B. Strebel, **OFDM-crossconnects in transparenten optischen Netzen**, Broschüre des HHI zum Forschungsmarkt Berlin CeBIT '95, 8. bis 15. März 1995.
Kurzfassung: Der Aufbau eines optisch transparenten Netzes und die Funktion der Crossconnects für die Durchschaltung optischer Kanäle wird beschrieben. Weiterhin werden als optische Komponenten eines Crossconnects Faserschalter, Faserfilter, Polarisationssteller, Frequenzumsetzer und Komponenten auf Polymerbasis beschrieben.

/20/ B. Kuhlow, G. Teich, G. Walf, **OFDM cross connect with an embedded free-space switch**, in Proc. of OSA Spring Topical Meeting (Salt Lake City, USA), March 1995, Technical Digest Series vol. 12 "Photonics in Switching", PWD 3-1, S. 24-26.
Kurzfassung: This paper describes the implementation of a dense OFDM crossconnect consisting of a frequency conversion stage with tunable frequency selective receivers and a 3D free-space switching fabric.

/21/ E. Patzak, **Photonic signal processing in fiber optic links**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, Tutorial We.B.T.4.
Kurzfassung: In fiber optic digital communication links and networks signal processing tasks occur, such as for instance multiplexing and demultiplexing of data streams, timing extraction, signal regeneration and wavelength conversion. These operations are usually performed electronically. It is expected to get simpler solutions and to overcome speed limitations of the electronic solutions, if the optoelectronic conversion is avoided and all-optical signal processing is applied. The aim of the tutorial is to give an overview, on introductory level, over a selection of all-optical solutions for signal processing operations and the corresponding functional elements, which are based on semiconductor lasers and nonlinear optical fibers. The physics of the components and their operation will be described and the potential and the limitations discussed.

/22/ R. Schnabel, R. Ludwig, W. Pieper, S. Diez, H.G. Weber, **Ultrafast optical signal processing using semiconductor laser amplifiers**, Discussion Meeting on Non-linear optics for information processing and communication (London, England), March 1995, invited paper.
Kurzfassung: Optical fibres exhibit a bandwidth of about 50 THz which enables data transmission in excess of 100 Gbit/s. This potential for ultrafast optical signal transmission stimulates the research on appropriate functional devices for optical switching and optical signal processing in general. A promising device is the semiconductor laser amplifier (SLA). It enables optical signal processing in the femtosecond range when it is operated under conditions where intraband dynamics with subpicosecond time constants are dominating. A suitable experimental technique for operating the SLA under these conditions is four-wave mixing. Based on this technique, various applications for optical signal processing have been investigated such as optical switches, demultiplexers, wavelength converters, and phase conjugators. In this article we describe these experiments and discuss the advantages and disadvantages of optical signal processing using semiconductor laser amplifiers.

/23/ M. Eiselt, W. Pieper, H.G. Weber, **SLALOM: Semiconductor laser amplifier in an loop mirror**, IEEE J. Lightw. Technol., vol. 13, no. 10, S. 2099-2112, 1995.

Kurzfassung: The processing of optical signals in the optical domain is an important issue resulting from the desire to take advantage of the full bandwidth of the optical fiber. In this paper, we present detailed investigations on a device, which utilises a semiconductor laser amplifier in a loop mirror configuration (SLALOM). Different modes of operation are reported like non-linear single pulse switching and two-pulse switching at different operation speeds (1 Gbit/s up to 100 Gbit/s). Furthermore, a number of applications of the SLALOM in photonic systems, like pulse shaping, decoding, retiming and time-division demultiplexing, are presented. In addition, the SLALOM can be used for an estimate of the linewidth enhancement factor α and the carrier lifetime τ_e in an SLA.

/24/ R. Ludwig, W. Pieper, R. Langenhorst, H.G. Weber, **3 x 10 Gbit/s, 100 km data transmission based on sliced spectrum signal generation using a single tunable modelocked semiconductor laser pulse source**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, Th.A.1.3.
Kurzfassung: The broadband spectrum of 650 fs pulses of a mode locked semiconductor laser was sliced spectrally by three optical filters to define three 10 Gbit/s WDM channels. Error free transmission over 100 km of dispersion shifted fiber was achieved.

/25/ R. Ludwig, W. Pieper, R. Schnabel, H.G. Weber, **Ultrafast wavelength conversion and switching by four-wave-mixing in semiconductor laser amplifiers**, in Ultrafast Electronics and Optoelectronics, vol. 13, 1995, OSA Techn. Dig. Series (Optical Society of America), invited paper, S. 39-41.
Kurzfassung: In this paper we report on applications of the SLA, in which the operation speed is determined by intraband dynamic (spectral hole burning, dynamic carrier heating) with characteristic times in the femtosecond range. The following experiments are considered. Wavelength- or frequency-conversion of optical data signals, operation as demultiplexer or all-optical AND-gate, and finally operation as optical-phase conjugator for compensating deterministic pulse distortions caused by linear fiber dispersion and nonlinear self-phase modulation on the fiber. All experiments reported here have in common, that they use four-wave mixing (FWM) based on the ultrafast gain dynamics in SLA which promises data rates in excess of 100 Gbit/s.

/26/ A. Ehrhardt, R. Ludwig, **A hybrid mode locked semiconductor laser as tunable source for 17 ps to 200 fs pulses, repetition rates from 2 to 7 GHz and a wavelength range over 100 nm**, Conference on Nonlinear Guided Waves and their Applications (Dana Point, USA), February 1995, invited paper, NSaC3.
Kurzfassung: A very stable and compact hybrid mode locked external cavity laser generates optical pulses which are tunable in wavelength, repetition rate and pulse width.

/27/ I. Koltchanov[3], S. Kindt[3], K. Petermann[3], S. Diez, R. Ludwig, R. Schnabel, H.G. Weber, R. Schimpe[4], G. Kristen[4], **Saturation and gain dispersion effects on four wave mixing in semiconductor laser amplifiers**, Topical Meeting on Optical Amplifiers and Their Applications (Davos, Switzerland), paper SaC3, 1995.
Kurzfassung: FWM-experiments in a wide range of input powers (30 dB) and detunings (5 THz) are explained by a new analytical theory including the gain difference of the participating waves and the non-proportionality of the nonlinear susceptibility and the gain(s).

/28/ P. Pogany[5], Y. Ding[5], H.J. Eichler[5], R. Ludwig, H.G. Weber, **Kohärente Strahlkombination mittels photorefraktiver Wellenmischung**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (Innsbruck, Austria), 1995, paper Q10 C 6.
Kurzfassung: Bei photorefraktiver Zweiwellenmischung wird Energie eines Strahls in den anderen übertragen, während die jeweiligen Phasen erhalten bleiben. Diese Eigenschaft soll ausgenutzt werden, um Oszillator-Verstärker-Systeme bei 1,33 µm mit parallelen Diodenlaserverstärkern zu realisieren. Dabei wird InP:Fe verwendet, das im Infraroten photorefraktiv ist. Ein theoretisches Modell zur Optimierung der Strahlkombination wurde aufgestellt. Es werden sowohl theoretische als auch experimentelle Ergebnisse präsentiert.

/29/ S. Diez, R. Ludwig, R. Schnabel, H.G. Weber, R. Schimpe[4], **Vierwellenmischung im Halbleiter-Verstärker; Frequenzumsetzung und Phasenkonjugation mit Femtosekunden-Zeitkonstanten**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (Innsbruck, Austria), 1995, Paper Q3 D 4.
Kurzfassung: Halbleiterlaser-Verstärker sind optoelektronische Bauelemente, die neben einer hohen Signalverstärkung auch ausgeprägte nichtlineare optische Eigenschaften aufweisen können. Effiziente Vierwellenmischung läßt sich schon mit geringen Eingangsleistungen (etwa 1 mW) nach kurzen Interaktionslängen (etwa 400 µm) beobachten. Berichtet wird über experimentelle Ergebnisse zur Vierwellenmischung im Halbleiterlaser-Verstärker basierend auf der Femtosekunden-Intrabanddynamik. Motivation zu den Experimenten ist die Anwendung dieses Effektes für die optische Frequenzumsetzung und Phasenkonjugation in der optischen Nachrichtentechnik.

/30/ R. Ludwig, R. Schnabel, H.G. Weber, J. Wiesenfeld[6], **Four-wave-mixing and asymmetric nonlinear gain in a semiconductor laser amplifier**, CLEO '95, Conference on Lasers and Electro-Optics, (Baltimore, USA), 1995, paper CThF1.

---

3 TU Berlin, Institut für Hochfrequenztechnik, FRG
4 Siemens AG, München, FRG
5 TU Berlin, Optisches Institut, FRG
6 AT&T Bell Laboratories, Holmdel, USA

Kurzfassung: Experiments on four-wave mixing (FWM) and asymmetric nonlinear gain show evidence of intraband dynamics in the semiconductor laser amplifier. The effect of FWM and asymmetric nonlinear gain on ASE is shown for the first time.

/31/ R. Ludwig, A. Ehrhardt, **Turn-key-ready wavelength-, repetition rate- and pulsewidth-tunable femtosecond hybrid modelocked semiconductor laser**, Electron. Lett., vol. 31, no. 14, S. 1165-1166, 1995.
Kurzfassung: A hybrid modelocked external cavity semiconductor laser with an N+-ion bombarded facet generates optical pulses tunable in the wavelength range 1440 - 1560 nm, at a fundamental mode repetition rate of 2 - 8 GHz and a pulse width of 17 ps-180 fs.

/32/ M. Eiselt, **Optimum pump pulse selection for demultiplexer application of four-wave mixing in semiconductor laser amplifiers**, Photon. Techn. Lett., vol. 7, no. 11, November 1995.
Kurzfassung: We report on an analysis of four-wave mixing in semiconductor laser amplifiers used for demultiplexing time-division multiplexed data streams at ultrahigh bit rates. The analysis is focused on the optimum control pulse energy and width with respect to the switching efficiency, channel crosstalk and jitter tolerance. We use a simple model of the time resolved gain saturation and four-wave mixing. It turns out, that an optimum pulse energy exists with respect to the switching efficiency. The requirements on the pulse width are opposing for the channel crosstalk and the jitter tolerance. Results for an optimum system design are presented.

/33/ M. Eiselt, W. Pieper, R. Schnabel, R. Ludwig, H.G. Weber, **Optical time-domain demultiplexing using semiconductor laser amplifiers**, EFOC '95 (Conference on European Fibre Optic Communications and Networks) Brighton, England, 1995, paper 152.
Kurzfassung: In this paper, we review two methods for optical high-speed time-domain demultiplexing, both using ultra-fast effects in semiconductor laser amplifiers (SLA). The first reported method uses fast four-wave mixing based on nonlinear gain dynamics in the subpicosecond range to build an optical AND gate. The second demultiplexing method uses a setup with an SLA in a loop mirror configuration. Fast gain saturation of the SLA is obtained by a short optical pulse. The principles of both methods are explained and system experiments during the recent two years are reported.

/34/ M. Eiselt, **Spreadsheets in scientific applications**, Optical & Photonic News, vol. 6, no. 10, S. 45-46, 1995.
Kurzfassung: The application of spreadsheet programs for scientific data processing is proposed. As an example, calculations of the phase matching wavelength in optical fiber are sketched.

/35/ E. Jahn, N. Agrawal, M. Arbert, H.-J. Ehrke, D. Franke, R. Ludwig, W. Pieper, H.G. Weber, C.M. Weinert, **40 Gbit/s all-optical demultiplexing using a monolithically integrated Mach-Zehnder interferometer with semiconductor laser amplifiers**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), post deadline paper vol. 3, Th.L3.Y, S. 1071-1074, in: Electron. Lett., October 1995, vol. 31, no. 21, S. 1857-58, 1995.
Kurzfassung: We demonstrate all-optical error-free demultiplexing of 10, 20 and 40 Gbit/s to 5 Gbit/s data signals by using a monolithically integrated Mach-Zehnder interferometer with two semiconductor laser amplifiers.

/36/ E. Jahn, N. Agrawal, H.-J. Ehrke, R. Ludwig, W. Pieper, H.G. Weber, **Monolithically integrated Mach-Zehnder interferometer as a 20 Gbit/s all-optical add/drop multiplexer for OTDM systems**, post-deadline paper at Lasers and Electro-Optics Society Meeting, LEOS '95 (San Francisco, USA), November 1995, PDI.6.
Kurzfassung: We report, for the first time, 20 Gbit/s add/drop multiplexing experiment with a newly developed monolithically integrated nonlinear Mach-Zehnder interferometer with two SLAs.

/37/ R. Ludwig, W. Pieper, E. Jahn, N. Agrawal, A. Ehrhardt, L. Küller, H.G. Weber, **10 GHz all-optical clock recovery using a modelocked semiconductor laser in a 40 Gbit/s, 100 km transmission experiment**, OFC '96 (San Jose, USA), März 1996.
Kurzfassung: A 40 Gbit/s time-division multiplexed signal was demultiplexed to 10 Gbit/s using a single modelocked semiconductor laser operating as all-optical clock recovery. The pulses of the modelocked laser control directly a monolithically integrated all-optical demultiplexer.

/38/ K. Weich, J. Hörer, R. Eggemann, E. Patzak, R. Ludwig, M. Möhrle, R. Schimpe[7], **Two stage polarization insensitive regenerative wavelength converter**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, We.L.1.2.
Kurzfassung: A wavelength converter consisting of a semiconductor laser amplifier and an injection locked laser is investigated. The converter is insensitive to input polarization and wavelength. Input amplitude fluctuations are strongly reduced. The output signal is not inverted and nearly chirpfree.

/39/ B. Sartorius, M. Möhrle, U. Feiste, **12 to 64 GHz continuous frequency tuning in selfpulsating 1.55 µm multi quantum well DFB lasers**, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics 1, vol. 1, S. 535, 1995.
Kurzfassung: Two section 1.55 µm quantum well DFB lasers with a very high kappa of 300/cm show selfpulsation at a record frequency of 80 GHz. An extreme wide continuous electrical frequency tuning range from 12 GHz

7 Siemens AG, München, FRG

to 64 GHz is achieved. The present selfpulsation mechanism is assigned to a beating type oscillation. Locking of this effect to an optically injected modulated signal is verified.

/40/ B. Sartorius, M. Möhrle, S. Reichenbacher, W. Ebert, **Controllable self-pulsations in multi-section DFB lasers with an integrated phase tuning section**, IEEE Phot. Techn. Lett., vol. 7, no. 11, November 1995 (angenommen).
Kurzfassung: 1.55 µm InGaAsP/InP multi-section DFB lasers with an integrated phase tuning section have been fabricated. It is shown for the first time, that the self-pulsation can be electrically switched on and off by adjusting the phase current. Reproducible self-pulsation characteristics from device to device are achieved in this way.

/41/ M. Möhrle, B. Sartorius, R. Steingrüber, P. Wolfram, **Electrically switchable self-pulsations in integratable multisection DFB-lasers**, IEEE Phot. Techn. Lett., Januar 1996 (im Druck).
Kurzfassung: An integratable version of a self-pulsating AR-coated multisection DFB-laser with a phase tuning section integrated between two DFB sections is presented. It is shown, that the phase current can act as an electrical switch for turning ON and OFF the self-pulsations. In addition, the frequency stability can be improved by properly adjusting the phase current. The frequency of the self-pulsations is electrically tunable over more than one octave continuously.

/42/ H. Schubert, G. Großkopf, R.-P. Braun, D. Rohde, **Optische Mikrowellenerzeugung für picozellulare Kommunikationsnetze - Simulation und Übertragungsexperiment**, 40. Intern. Wissenschaftliches Kolloquium, September 1995, Technische Universität Ilmenau.
Kurzfassung: In der sich schnell entwickelnden Mobilkommunikation sollen zukünftig auch Breitbanddienste, z.B. Breitband-ISDN und Multimedia, zur Verfügung gestellt werden. Die Verbindung der optischen Nachrichtentechnik mit der Mikrowellentechnik bietet bei den dabei enstehenden Aufgaben einen vielversprechenden Lösungsansatz. Es wird ein Übetragungsexperiment beschrieben, bei dem der Mikrowellenträger auf optischem Wege erzeugt wird. Der Einfluß parasitärer Effekte auf die erreichbaren Bitfehlerraten wird anhand von Simulation untersucht.

/43/ R.-P. Braun, G. Großkopf, D. Rohde, G. Walf, **Optische Mikrowellentechnik für zukünftige zellulare Mobilfunknetze**, Zeitschrift für Telekommunikation und Informationstechnik, NE Science, no. 5.95, S. 63-67, 1995.
Kurzfassung: Zukünftige Mobilkommunikationssysteme müssen die Nutzung von Breitbanddiensten ermöglichen. Für den Funkkanal von Breitbandmobilfunk-Kommunikationssystemen wird international der 60 GHz-Bereich vorgeschlagen. Die Netze werden aus kleinen Funkzellen, den Picozellen, bestehen, die nur mit einer sehr kostengünstigen Technik aufgebaut werden können. Die Verbindung der optischen Nachrichtentechnik mit der Mikrowellentechnik bietet hierfür einen vielversprechenden Ansatz. Diese Kombination ermöglicht neben der verlustarmen glasfasergebundenen Übertragung von Signalen auch die einfache optische Erzeugung der Mikrowellensignale in aufwandsarmen Basisstationen. In dem Beitrag werden Verfahren zur optischen Mikrowellenerzeugung und Experimente dazu beschrieben.

/44/ R.P. Braun, R. Kaiser, D. Rohde, R. Stenzel, D. Trommer, H. Heidrich, G. Großkopf, **Optical microwave generation and transmission experiments using a monolithically integrated tunable optical signal source**, in: Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium) (post-deadline paper), September 1995, vol. 3, S. 1023-1026.
Kurzfassung: Radio-over-fiber systems are a new important area for photonic ICs. For the first time a tunable optical signal source is used for generating microwave frequencies up to 62.5 GHz. 70 Mbit/s data transmission via optical fiber and radio link is described.

/45/ R. P. Braun, G. Großkopf, D. Rohde, **Optische Millimeter-Wellenerzeugung und Übertragungsexperimente für die Mobilkommunikation**, Forum der HF-Technik Mikrowellen und Optronik, Microwaves and Optronics, MIOP '95, 30.5.-1. 6.95, Sindelfingen, Tagungsband, S. 554-558.
Kurzfassung: Die optische Erzeugung und Übertragung von Mikrowellen für zukünftige Breitband-Mobilfunknetze findet zunehmend Interesse. Am Heinrich-Hertz-Institut wurden dazu Experimente mit handelsüblichen DFB-Lasern durchgeführt. Die Emissionswellenlängen von Sende- und Referenzlaser lagen im Bereich 1550 nm und wiesen eine Frequenzdifferenz auf, die der gewünschten Trägerfrequenz im Mikrowellenbereich entsprach. Die optische Frequenz des Sendelasers wurde direkt über den Injektionsstrom mit einem Subträger moduliert, der in seiner Frequenz zwischen 70 und 140 MHz umgetastet wurde. Die optischen Wellen beider Laser wurden über eine Glasfaserstrecke zu einem Optik-Mikrowellenkonverter übertragen und hier durch Überlagern in den 12 GHz-Bereich umgesetzt. Im Experiment wurden 70 Mbit/s Datensignale im NRZ-Format übertragen. Die Wortlänge des quasistatistischen Datenstromes betrug 10^{23}-1. Es wurden Fehlerraten von weniger als 10^{-11} erzielt. In dem Vortrag sollen ferner die Einsatzmöglichkeiten der optischen Vielkanaltechnik zur Speisung der zellularen Mobilfunknetze diskutiert werden.

/46/ H. Heidrich, **Photonische ICs warten auf ihre Nutzung**, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 12, 1995, S. 30-35.
Kurzfassung: Hat die Indiumphosphid-Integrationstechnologie angesichts der Entwicklungen zur hybriden optischen Montage und der Erfolge auf dem Gebiet der Polymere und Silica-on-Silicon-Technologie eine Zukunft?

Nicht nur unsere Antwort, sondern die Antwort vieler Fachleute auf diesem Gebiet lautet: Ja, denn nur durch den Einsatz von photonischen ICs kann der notwendige, entscheidende Schub in der Kostensenkung für photonische Module und damit für photonische Systeme erreicht werden! Darüberhinaus bietet die Technologie ein breites Innovationspotential für Komponenten mit neuen Funktionalitäten.

/47/ D. Trommer, **Photonic integration on InP**, in Proc. ECIO '95 (Delft, The Netherlands) (invited paper), S. 93, 1995.
Kurzfassung: After a brief review of realised optoelectronic integrated circuits (OEICs), the fundamental technological problems of photonic integration on InP and their solutions are discussed. A versatile fabrication process is described and results on OEICs fabricated with this process are presented. Finally some prospects of future devices and technologies are given.

/48/ R. Kaiser, D. Trommer, H. Heidrich, F. Fidorra, M. Hamacher, **Heterodyne receiver PICs as first monolithically integrated tunable receivers for OFDM system applications**, Special Issue of Optical and Quantum Electronics entitled Optoelectronics Based on Indium Phosphide and Related Materials (angenommen).
Kurzfassung: The state of the art on the fabrication of heterodyne receiver photonic integrated circuits (PICs) is described and in particular the results and experiences of the first fabrication of polarization insensitive heterodyne receiver PICs are emphasized. The fabrication is based on a versatile integration concept with the potential to fabricate also other PIC architectures with different functionalities by only one single fabrication process.

/49/ R. Kaiser, **Fabrication technology of heterodyne receiver PICs: Status, challenges, and perspectives**, in Proc. 7th Intern. Conf. on InP and Related Materials (IPRM '95) (invited paper) (Sapporo, Japan), 1995, S. 353-356.
Kurzfassung: The results and experiences from the first fabrication of polarization diversity heterodyne receiver PICs are reviewed and further improvements towards a possible commercial production in future are outlined. The fabrication process is based on a generic integration concept, which allows the parallel fabrication of not only heterodyne receiver PICs but also different other PIC architectures on the same wafer.

/50/ M. Hamacher, D. Trommer, K. Li[8], H. Schroeter-Janßen, W. Rehbein, H. Heidrich, **High bandwidth heterodyne receiver OEIC, fabricated with a three stage MOVPE**, in Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, vol. 1, S. 215-218.
Kurzfassung: A very simple integration process requiring only 3 epitaxies for the fabrication of a heterodyne receiver including a fast DFB-laser (11 GHz), a 3 dB-coupler and high speed balanced receiver (9 GHz) is described.

/51/ M. Hamacher, D. Trommer, K. Li[8], H. Schroeter-Janßen, W. Rehbein, H. Heidrich: **Fabrication of a heterodyne receiver OEIC with optimized integration process using three MOVPE growth steps only**, IEEE Phot. Techn. Lett. (angenommen).
Kurzfassung: An optimized integration process is reported requiring only three epitaxial growth steps for the fabrication of an OEIC encompassing a single mode laser, a waveguide element and fast photodiodes. The process was applied to the fabrication of a heterodyne receiver including a semi-insulating buried heterostructure (SIBH)-DFB-laser with an output power of 14 mW and a side mode suppression ratio greater than 40 dB, a 3 dB coupler and high speed balanced photodiodes with a bandwidth of 9 GHz. The laser can also be used as a transmitter laser exhibiting a modulation bandwidth of 11 GHz.

/52/ M. Hamacher, D. Trommer, H. Heidrich, P. Albrecht, G. Jacumeit, W. Passenberg, H. Röhle, H. Schroeter-Janßen, R. Stenzel, G. Unterbörsch, **First heterodyne receiver frontend module including a polarization diversity receiver OEIC on InP**, IEEE Phot. Techn. Lett., vol. 7, No. 2, S. 179-181, 1995.
Kurzfassung: For the first time a packaged polarization diversity coherent receiver OEIC including detector units (photodetectors, JFET, load resistor) has been fabricated with the following data: waveguide loss 2 dB, 3 dB-balance within 0.4 dB, polarization extinction >30 dB (TM) and >17 dB (TE), 3 dB cut-off frequency of 0.9 GHz, common mode rejection ratio 30 dB.

/53/ F. Fidorra, H. Heidrich, R. Kaiser, D. Trommer, **Monolithic integrated heterodyne receivers**, in Proc. IEEE LEOS '95 Annual Meeting (San Francisco, USA) (invited paper), 1995.
Kurzfassung: The development of monolithically integrated heterodyne receivers worldwide is discussed briefly and the architecture, fabrication and performance of first polarization diversity heterodyne receiver PICs on InP are presented in detail. The fabrication of these PICs is based on a integration concept which basically enables the fabrication of also various other PIC architectures that are desirable for modern communication systems.

/54/ R. Kaiser, D. Trommer, H. Heidrich, F. Fidorra, M. Hamacher, **Heterodyne receiver PICs as first monolithically integrated tunable receivers for OFDM system applications**, Optical and Quantum Electronics (invited paper).
Kurzfassung: The state of the art on the fabrication of heterodyne receiver photonic integrated circuits (PICs) is described and in particular the results and experiences of the first fabrication of polarization insensitive heterodyne receiver PICs are emphasized. The fabrication is based on

8 Microelectronics Institute Shougang Electronics Company, Beijing, PR China

a versatile integration concept with the potential to fabricate also other PIC architectures with different functionalities by only one single fabrication process.

/55/ D. Trommer, R. Kaiser, R. Stenzel, H. Heidrich, **Multi-purpose dual tunable laser/combiner PIC based on InP**, in Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, vol. 1, S. 83-85.
Kurzfassung: A photonic integrated circuit including two DBR lasers, a 3 dB coupler and a photodiode is presented. Precise tuning and stable generation of an optical beat spectrum in the GHz range is demonstrated.

/56/ H. Heidrich, **Photonic integrated receivers/-transceivers for OFDM systems**, in Proc. Integrated Optics and Optical Fibre Communications (IOOC '95) (Hongkong, U.K.) (invited paper), 1995, vol. 2, S. 58-59.
Kurzfassung: Progress in InP-technology allows the realization of photonic integrated circuits including a single mode laser, a waveguide network, and broadband photodetectors without degradation of the device performances due to integration. Results and heterodyne receivers and transceiver devices are reported.

/57/ H. Heidrich, R. Kaiser, D. Trommer, **Optical tuner IC based on InP for fiber communication networks**, Feinwerktechnik/Mikrotechnik/Meßtechnik (F&M), 103, vol. 6, S. 312-316, 1995.
Kurzfassung: Für eine technisch zuverlässige und ökonomische Realisierung photonischer Netze ist die Verfügbarkeit monolithisch integrierter optoelektronischer Schaltkreise (OEICs) erforderlich. Bedingt durch die Absorptions- und Dispersionseigenschaften der Glasfaser kommt dem Halbleitermaterial Indiumphosphid (InP) und dem darauf beruhenden Verbindungshalbleiter GaInAsP (und AlGaInAs) zur Fertigung von OEICs eine besondere Bedeutung zu. Exemplarisch zur Demonstration des Entwicklungsstands wird ein Überlagerungsempfänger-OEIC vorgestellt, der den bisher höchsten Grad der Komplexität mit 7 unterschiedlichen Elementen und insgesamt 17 integrierten Komponenten besitzt. Die Herstellung des OEICs beruht auf einer flexibel einsetzbaren Technologie ("Toolbox"), die außerdem die Fertigung aanderer OEIC-Architekturen bestehend aus Lasern, Wellenleitern und Photodetektoren erlaubt.

/58/ D. Trommer, G. Unterbörsch, **Monolithically integrated polarisation insensitive high-speed balanced mixer receiver on InP**, Electron. Lett. 31, S. 362, 1995.
Kurzfassung: A monolithically integrated high-speed balanced mixer receiver on InP is presented for the operation at 1.55 µm wavelength. The detector provides a cut-off frequency of 14 GHz and a polarisation insensitive common mode rejection ratio of better than -20 dB.

/59/ G. Unterbörsch, D. Trommer, G. Jacumeit, G.G. Mekonnen, F. Reier, R. Stenzel, **Monolithic integrated high-speed balanced mixer detector on InP**, in Optical Fiber Communications Conf., Technical Digest Series (OSA), vol. 8, S. 156-57, 1995.
Kurzfassung: A high-speed balanced mixer front-end for optical communication systems was fabricated on semi-insulating InP. The PIC comprises of two optical waveguides, an optical 3 dB coupler and a pair of balanced pin-photodiodes. The packaged receiver operates at 1.55 µm and provides an electrical 3 dB cut-off frequency of 12 GHz with a nearly polarisation insensitive behaviour.

/60/ A. Umbach, D. Trommer, A. Siefke, G. Unterbörsch, **50 GHz Operation of waveguide integrated photodiode at 1.55 µm**, in Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, post-deadline paper, S. 1075.
Kurzfassung: Evanescently coupled waveguide integrated photodiodes with optimised metallisation scheme are presented. A 6 µm wide and 20 µm long photodiode exhibits a transit-time limited bandwidth of 44 GHz and an internal quantum efficiency of 90%.

/61/ A. Umbach, E. Dröge[9], H. Engel, E.H. Böttcher[9], G. Unterbörsch. R. Steingrüber, D. Bimberg[9], **Submicron InGaAs/InP MSM photodetectors for operation at 1.55 µm**, in Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, S. 677-680.
Kurzfassung: MSM phtodetectors with submicron (0.3 µm) feature size fabricated by electron beam lithography on 300 nm InGaAs absorption layer exhibit low dark current (<10 nA), a high quantum yield (23 %) and a frequency response up to 40 GHz at 1.55 µm.

/62/ L. Mörl, C.M. Weinert, F.W. Reier, L. Stoll[10], H.-P. Nolting, **Uncladded thickness tapers integrated with InGaAsP/InP rib waveguides for efficient fibre-chip butt coupling**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, Tu.P.22.
Kurzfassung: New spot-size transformers for uncladded InGaAsP/InP rib waveguides were fabricated by core thickness tapering, obviating epitaxial regrowth and deep grooves. Coupling loss for flat-end fibres is reduced by 7 dB at improved alignment tolerances.

/63/ N. Agrawal, C.M. Weinert, H.-J. Ehrke, G.G. Mekonnen, D. Franke, C. Bornholdt, R. Langenhorst, **Fast 2 x 2 Mach-Zehnder optical space switches using InGaAsP-InP multiquantum-well structures**, IEEE Photon. Techn. Lett., vol. 7, No. 6, S. 644-645, 1995.
Kurzfassung: We report fast 2 x 2 Mach-Zehnder optical space switches by using quantum confined Stark effect in InGaAsP-InP multiquantum-well structures that are ultra-compact, require low voltages, and employ a simple RFC drive with RC time-constant limited lumped electrodes. Cut-off frequencies in excess of 10 GHz are observed suitable for a variety of fast optical switching applications.

9 TU Berlin, FB Physik, FRG

10 Siemens AG, München, FRG

/64/ D. Hoffmann, F. Kappe, C. Bornholdt, A. Ehrhardt, G.G. Mekonnen, F.W. Reier, N. Agrawal, C.M. Weinert, **Photonic space switches for ultra-high-speed applications**, in Proc. of the XV International Switching Symposium ISS '95, World Telecommunications Congress (Berlin, Germany), April 1995, S. 133-136.
Kurzfassung: We report on the development of indium phosphide based fast 2 x 2 space switches. Mach-Zehnder devices with low switching voltage using multi-quantum well layers together with lumped electrodes displayed cut-off frequencies of 12 GHz. In devices with travelling wave electrodes and bulk layers speeds in excess of 35 GHz were achieved.

/65/ D. Hoffmann, C. Bornholdt, F. Kappe, L. Mörl, F.W. Reier, **Novel digital optical switch with crosstalk below -40 dB based on absorptive switching**, ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, Mo.L.3.3.
Kurzfassung: We report a novel space switch carried out in dilated Benes architecture. The switch makes use of absorption and refractive index change provided in MQW layers and shows an extinction ratio of 40 dB.

/66/ N. Keil, B. Strebel, H.H. Yao, **Polymer thermo-optic switching matrix for space-routing in transparent OFDM networks**, in Proc. Europ. Symposium on Advanced Networks and Services (Amsterdam, The Netherlands), March 1995, Conf. on Passive Fiber Optic Systems and Components, SPIE vol. 2449, S. 281-292.
Kurzfassung: In this paper the fabrication and characterization of polymeric thermo-optic (T/O) single switching elements and (4x4)-switching matrices are described. The first loop experiment with cascaded transparent OFDM crossconnects including a polymeric (4x4)-switching matrix is reported. In order to reduce insertion loss, power consumption and crosstalk, the optimisation strategy for the polymeric T/O switches is discussed.

/67/ N. Keil, H.H. Yao, C. Zawadzki, B. Strebel, G. Unterbörsch, **Polarization insensitive rearrangeable nonblocking (4x4)-switching module at λ = 1.55 µm realised by low-cost polymer waveguide technology**, in Proc. OFC (San Diego, USA), March 1995, post-deadline paper, PD17.
Kurzfassung: This paper describes the first microprocessor controlled polarization insensitive rearrangeable nonblocking (4x4)-switching module at λ = 1.55 µm with low crosstalk, containing eight integrated directional-coupler-type thermo-optic polymer waveguide space switches with an electrical power consumption of 30 mW/switch.

/68/ N. Keil, H.H. Yao, C. Zawadzki, B. Strebel, **Pigtailed thermo-optic (4x4)-space stage in polymer waveguide technology, operating at λ = 1.55 µm**, in Proc. ECOC '95 (Brussels, Belgium), September 1995, vol. 2, poster paper We.P.44, S. 781-784.
Kurzfassung: A pigtailed thermo-optic (TO) (4x4)-space designed for λ = 1.55 µm is reported, which is implemented in polymer waveguide technology. The space stage contains a rearrangeable nonblocking polymer waveguide (4x4)-switching module which is pigtailed with fibre arrays and packaged. The space-switch is microprocessor controlled and can be employed as the space stage of a transparent OFDM crossconnect.

/69/ N. Keil, H.H. Yao, C. Zawadzki, B. Strebel, **Rearrangeable nonblocking polymer waveguide (4x4)-switching-matrix and its application to future OFDM systems**, in Proc. EFOC&N '95 (Brighton, England), June 1995, vol. 2, S. 240-243.
Kurzfassung: A rearrangeable nonblocking polymer waveguide (4x4)-switching matrix operating at λ = 1.55 µm is described which features a power consumption of as low as 30 mW per single switch. The matrix consists of eight thermo-optic (TO) (2x2)-directional-coupler (DC)-type switches. A fibre-chip-fibre insertion loss of < 9 dB, polarization sensitivity of < 0.5 dB and response time of < 1 ms were measured. The crosstalk was measured to be between -21.5 dB and -32.5 dB for different switching configurations. The matrix is packed and pigtailed with fibre arrays to form a (4x4)-switching module. The module is fixed in a control unit to form a rack-mountable (4x4)-space stage. In this paper, the application and fabrication process of the space switches are described.

/70/ N. Keil, H.H. Yao, C. Zawadzki, B. Strebel, **Rearrangeable nonblocking polymer waveguide thermo-optic (4x4)-switching matrix with low power consumption at 1.55 µm**, Electron. Lett., vol. 31, no. 5, S. 403-404, 1995.
Kurzfassung: A rearrangeable nonblocking polymer waveguide thermo-optic (4x4)-directional-coupler-type switching matrix with low power consumption operating at 1.55 µm is demonstrated for the first time. The rearrangeable nonblocking (4x4)-matrix consists of eight (2x2)-switches. The power consumption of each switching element is 30 mW. A fiber-to-fiber insertion loss of less than 9 dB was measured and the polarization sensitivity is less than 0.5 dB. The crosstalk was found to be in the range of -17.5 dB to -32.5 dB for different switching configurations. The response time of the device is less than 1 ms.

/71/ N. Keil, **Optische Schalter aus Kunststoff - Schlüsselkomponenten in den Telekommunikations-Netzen der Zukunft**, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 12, S. 36-41, 1995.
Kurzfassung: Kunststoffe werden als Werkstoffe für integriert-optische Bauelemente immer interessanter. Die klassischen Halbleitermaterialien bekommen Konkurrenz. Am Heinrich-Hertz-Institut (HHI) werden die Eigenschaften eines zukünftigen optisch transparenten Kommunikationsnetzes untersucht. Wichtige Funktionselemente innerhalb eines optisch transparenten Netzknotens sind Raumschalter, die die hochratigen Datensignale zielgerecht auf die gewählten Ausgangsfasern leiten. Am HHI wurde, im Auftrag der Deutschen Telekom AG, das welt-

weit erste mikroprozessorgesteuerte (4x4)-Raumkoppelfeld in Polymertechnik entwickelt.

/72/ E. Schulze, W. v. Reden, **Diffractive liquid crystal spatial light modulators with optically integrated fine-pitch phase gratings**, Proc. Liquid Crystal Materials, Devices and Displays (San Jose, USA), 1995, SPIE, vol. 2408, S. 113.
Kurzfassung: We describe opto-electronic LC spatial light modulators which allow the generation of alterable diffraction gratings down to 1 µm period. Optically defined binary and blaze phase gratings are used in which the diffraction is altered by a parallel aligned nematic LC phase modulation layer. This enables the creation of arbitrary fine-pitch gratings. Different types of modulators have been investigated theoretically and experimentally. The theoretical results show that in the case of small grating structures the exact wave theory has to be applied to calculate the diffraction properties. Then the grating modulation becomes dependent on the light polarisation and the grating period. Modulators with gratings of 1 to 10 µm period have been fabricated. The modulator structure, the LC phase modulation layer, the problems of combining LCs with fine-pitch gratings, and the modulator properties are discussed. Good diffraction efficiencies and extinction ratios of the diffraction orders of the modulators have been obtained for monochromatic light as well as short switching times.

/73/ E. Schulze, **Synthesis of moving holographic stereograms with high-resolution diffractive spatial light modulators**, in Proc. of IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology (San Jose, USA), Februar 1995, SPIE vol. 2406, S. 124-133.
Kurzfassung: Displaying animated holographic 3D images by means of opto-electronic devices causes serious problems because of the huge amount of data in the hologram and the inadequate resolution of the display. One possible solution is to limit the reconstructed 3D image to discrete horizontal perspectives. In this paper a 3D display is proposed which permits the creation of holographic stereograms with novel high-resolution diffraction light modulators. The modulators perform the image generation and the direction-selective display of 2D perspective views simultaneously in the same way as holographic stereograms. The modulators are based on optically defined binary phase gratings with diffraction properties that are altered by an LC layer. Switchable gratings with periods down to 1 µm and with high diffraction efficiencies and extinction ratios have been demonstrated. Until now the hologram synthesis itself could not be accomplished because of the lack of a sufficiently large electronic addressing matrix, but the basic modulator principle underlying the synthesizer has been demonstrated experimentally. We explain the opto-electronic hologram synthesizer scheme, the diffraction light modulator construction and the diffraction properties achieved by the modulators we have fabricated.

/74/ M. Ferstl, A.-M. Frisch, **Static and dynamic Fresnel zone lenses for optical interconnections**, in Proc. of Workshop On Diffractive Optics (Prague, Czechoslovakia), August 1995.
Kurzfassung: Static and dynamic that means switchable Fresnel zone lenses for optical interconnections were fabricated by means of microstructuring techniques. On-axis and off-axis Fresnel zone lenses with different focal lengths and of different apertures designated for collimating or focusing, and deflecting purposes, respectively, were designed to operate at wavelengths of 1.52 µm and 633 nm. The highest diffraction efficiency of about 94 % was obtained for 16-level on-axis lenses. For the off-axis-lenses whose deflection angles vary from 8° to 36° the diffraction efficiencies reached values of about 70 %. The switching times of the dynamic lenses are in the range of several milli-seconds and the switching contrast was about 1:10.

/75/ M. Ferstl, **Fresnel zone lenses for an electro-optical 2x2-switch**, in Proc. of Symposium Optoelectronic, Microphotonic, and Laser Technologies (San Jose, USA), Februar 1995, SPIE vol. 2404, S. 277-285.
Kurzfassung: An optical two by two exchange bypass module formed by a combination of static and dynamic Fresnel zone lenses is proposed. Two types of elements were designed, to operate at wavelengths of 1.52 mm and 0.633 mm. The dynamic Fresnel zone lenses on the frontside of the substrate are off-axis lenses which are made switchable by filling them with a liquid crystal. The measured spot-sizes of the Fresnel zone lenses were close to the diffraction limited values and the diffraction efficiency of the eight-level lenses was higher than 80%. The switching times of the dynamic lenses were in the range of several milli-seconds and the switching contrast was about 1:10.

/76/ S. Bauer, **The pyroelectric response of polymers and its applications**, Trends on Polymer Science, vol. 3, S. 288-296, 1995.
Kurzfassung: The pyroelectric effect describes the electrical response of a material to a change in temperature. It is found in any polymer containing oriented dipoles. In this review, pyroelectrical experimental techniques are discussed and shown to be reliable, compact and easy-to-use. The pyroelectric responses on several typical amorphous, semicrystalline, and crystalline polymers; for the measurement of relaxation processes and phase transitions in ferroelectric polymers, and for the nondestructive probing of polarization distributions across the polymer-film thickness. In addition, the numerous possible applications of pyroelectric polymers are reviewed and illustrated with an infrared sensor for human-body detection and a hydrogen-gas sensor.

/77/ S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, W. Wirges, R. Gerhard-

Multhaupt, H.J. Wintle[11], **Physical aging after photo-induced or thermally assisted poling for enhancing the stability of polymeric dipole glasses**, Organic Thin Films for Photonic Applications (Portland, Oregon, USA), OSA Technical Digest Series, S. 133-136, September 1995.
Kurzfassung: Aging at elevated temperatures under an electric field is shown to improve the thermal stability of poled NLO-polymer electrets as determined with pyroelectric techniques.

/78/ S. Bauer, S. Bauer-Gogonea, S. Yulmaz, C. Dinger, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, F. Michelotti[12], E. Toussaere[12], R. Levenson[12], J. Liang[12], J. Zyss[12], **Pyroelectric, dielectric and electro-optical investigation of cross-linking in red acid magly**, ACS/OSA Symposium: Organic Thin Films for Photonic Applications (Portland, Oregon, USA), OSA Technical Digest Series, S. 129-132., September 1995.
Kurzfassung: The electrical and optical responses from the chromophores in cross-linking NLO polymers are sensitive to mobility restrictions and thus permit monitoring of the cross-linking process.

/79/ W. Brinker, S. Yulmaz, W. Wirges, S. Bauer, R. Gerhard-Multhaupt, **Phase-shift interference microscope for the investigation of dipole-orientation distributions**, Optics Letters, 20 (1), S. 816-818, 1995
Kurzfassung: A compact experimental setup for an electro-optical microscope with nearly diffraction-limited resolution is introduced. The microscope is based on phase-shift interferometry (a well-known tool for surface profilometry) which was modified for measuring electro-optic responses. Its feasibility is demonstrated with a two-dimensional map of the electro-optic activity of a periodically poled nonlinear optical side-chain polymer.

/80/ A. Donval[13], G. Berkovic[13], S. Yulmaz, S. Bauer-Gogonea, W. Brinker, W. Wirges, S. Bauer, R. Gerhard-Multhaupt, **Spatial and thermal analysis of optical nonlinearity created by asymmetric charge injection**, Opt. Communication, zur Veröffentlichung angenommen.
Kurzfassung: "In-plane" poling of polymer/dye films accompanied by charge injection can create strong optical nonlinearity perpendicular to the direction of the applied field. Pyroelectric analysis demonstrates that an anisotropic polarization distribution has been created in the polymer. Comparison with sandwich electrode poling experiments supports the hypothesis that the non-uniform polarization of in-plane poled films results from diffusion of injected charges into the polymer.

/81/ S. Bauer, W. Ren, S. Yulmaz, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, **Relaxation processes in poled nonlinear optical polymers**, Nonlinear Optics, vol. 9, S. 251-257, 1995.
Kurzfassung: The orientation and deorientation of polar chromophores in nonlinear optical polymers are often described in terms of a free-rotation model that allows for only two main relaxation times. In reality, however, glassy polymers are characterized by a broad distribution of relaxation times. Theoretical functions for the rise and the decay of dipole orientation in polymers as manifested in macroscopic observables are discussed. In addition, experimental results obtained with various techniques on a typical side-chain polymer are given and shown to be essentially identical.

/82/ S. Bauer, S. Bauer-Gogonea, S. Yulmaz, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, **Pyroelectrical investigation of nonlinear optical polymers with uniform or patterned dipole orientation**, in: Polymers for Second-Order Nonlinear Optics, ACS Symp. Series vol. 601, S. 304-316, 1995.
Kurzfassung: In the survey, poled nonlinear optical (NLO) polymers are discussed as polymer electrets with molecular dipoles. A range of old and new poling techniques are briefly introduced. The pyroelecticity of poled NLO polymers can be exploited for analyzing the relaxation of the oriented chromophore dipoles under isothermal or non-isothermal conditions and for probing the distribution of the dipole orientation in the plane and across the thickness of poled films. The available experimental techniques and some typical results are briefly described. Advantages of pyroelectrical measurement techniques are their compactness, versatility, and ease of use. In view of possible waveguide applications of NLO polymers, two-layer systems with inverted-chi(2) structures were prepared from one single NLO side-chain polymer by means of the combination of thermally assisted poling above the glass transition and photo-induced poling under reversed field below the glass transition as well as from two polymers with different glass-transition temperatures by thermally assisted poling at two different temperatures. The thermal stabilities of the resulting dipole-orientation patterns were studied by means of pyroelectric thermal analysis.

/83/ S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, **Preparation and pyroelectrical investigation of bimorph polymer layer**, Ann. Physik, vol. 4, S. 355-366, 1995.
Kurzfassung: Two different schemes for the preparation of bimorph structures within nonlinear optical polymer layers are reported. The first scheme consists of thermally assisted poling above the glass-transition temperature followed by photo-induced poling below the glass-transition temperature. The second step of this poling scheme is based on the photoisomerization of the dipole molecules. The second scheme comprises two thermally assisted poling steps in a double layer of two nonlinear optical

11 Queen's Univ. Ontario, Can
12 France Telecom CNET, F
13 Weizmann-Institute, Israel

polymers with different glass-transition temperatures. Pyroelectric thermal analysis is employed for analyzing the stability of the resulting bimorph structures, while pyroelectric depth profiling allows for a non-destructive qualitative analysis of their polarization distributions.

/84/ R. Gerhard-Multhaupt, S. Bauer, S. Bauer-Gogonea, W. Brinker, C. Dinger, W.D. Molzow, W. Wirges, S. Yılmaz, **Electro-optical investigation of the dipole orientation in poled polymers**, 1995 Annual Report, IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (New Jersey, USA), S. 49-52.
Kurzfassung: In order to exhibit low scattering losses and sufficiently large electro-optical or other nonlinear optical coefficients, polymers for active waveguide applications must be amorphous and contain molecular dipoles with large hyperpolaizabilities, respectively. Macroscopic effects are only possible if the dipoles have a poling-induced preferential orientation which is either uniform or suitably patterned within the optical guiding layer. Since the linear electro-optical or Pockels effect is one of the strongest and most useful effects in such poled polymers, it can also be employed for investigation the magnitude, the spatial distribution, and the stability of the dipole orientation. Novel and modified experimental techniques such a scanning electro-optical thermal analysis are described, and typical results of such measurements are presented. It is demonstrated that the Pockels effect leads to experimental tools that are of similar value for investigating polar dielectric materials as those based on the quadratic electro-optical or Kerr effect.

/85/ A.S. DeReggi[14], S. Bauer, **Adaptation of the thermal-pulse method to the measurement of the thermal diffusivity of dielectric films on conduction substrates**, 1995 Annual Report, IEEE Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (New Jersey, USA), S. 536-539.
Kurzfassung: A simple method of measuring the thermal diffusivity of dielectric films on thermally highly conducting substrates is proposed and demonstrated. It is an adaptation of the thermal pulse method of measuring charge and polarization profiles. The diffusivity is derived from the transient electrical response induced by a thermal pulse applied to a voltage biased sample. The response is proportional to both the bias voltage and thermal pulse energy so that the signal-to-noise ratio may be increased by increasing either or both variables to obtain the diffusivity with high accuracy. The technique is demonstrated on 2 polymide films a few micrometers thick spin-coated on silicon substrates, one a conventional polymide and the other a ridge rod variety with in-plane rod orientation. For the conventional polymide, the out-of-plane diffusivity obtained here is comparable to the in-plane diffusivity measured by using another technique. For the rigid rod type, strong anisotropy is found establishing that the thermal diffusivity is strongly affected by molecular orientation.

/86/ M. Jäger[15], G.I. Stegeman[15], W. Brinker, S. Yılmaz, S. Bauer, W.H.G. Horsthuis[16], G.R. Möhlmann[16], **The effect of poling induced polymer film deformation on second-harmonic generation in periodically poled polymer channel waveguides**, in Proc. ACS/OSA Symposium on Polymeric Thin Films for Photonic Applications (Portland, Oregon, USA), OSA Technical Digest Series, S. 396-399, September 1995.
Kurzfassung: Second harmonic generation has been demonstrated in periodically poled DANS channel waveguides with phase-matching over 2 µm. Electrode penetration on poling has also been observed.

/87/ H.-P. Nolting, M. Gravert, **Numerical methods for the design of passive optical components**, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), July 1995 (Seattle, USA), Proc. S. 107, (invited).
Kurzfassung: Optical waveguide components and optoelectronic integrated circuits (OEIC) are a prerequisite for future optic communication systems. An overview and a comparative description of today's waveguide theories, modelling and simulation tools will be given. The high standard has been proven and established by studies in the framework of COST 240 activities. Even with today's high speed of PCs and workstations, a unique program code to calculate the propagation of an arbitrary optical wave through a complex waveguide structure is not available. A simple approach will be described to calculate a relevant part of the important waveguide devices. Representative examples of device simulations and a comparison between different methods will be given.

/88/ C.M. Weinert, **Design rules for fiber-matched rectangular waveguides on InP**, in "Integrated Photonics Research", vol. 7 1995 OSA Techn. Dig. Series (Optical Society of America, Washington DC 1995) S. 263-265.
Kurzfassung: General design rules for thin rectangular waveguides, which are spot-size matched to a standard monomode fiber, are derived from 2D finite-difference calculations.

/89/ H.-P. Nolting, R. März[17], **Results of benchmark tests for different numerical BPM algorithms**, IEEE J. Lightw. Technol., vol. 13, no. 2, S. 216-224, 1995.
Kurzfassung: Some key results of a benchmark test, initiated in 1992 by the Working Group 2 of COST Project 240 at a modelling workshop in Teupitz, Germany, are presented. A great number of BPM algorithms, such as the FTBPM, various types of FD-BPMs, wide angle approximations and adaptive FE-BPM are compared. The quasi-

14 National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA

15 CREOL, Univ. Florida, USA

16 AKZO Nobel, NL

17 Siemens AG, München, FRG

analytic character of the benchmark tests gains a deeper insight into the absolute accuracy.

/90/ H.-P. Nolting, M. Gravert, **SYNGRAT, an electro-optically controlled tunable filter with a synthesized grating structure**, Optical & Quantum Electron., 1995, paper 1116.
Kurzfassung: A new design for a single stage filter, called synthesized grating structure (SYNGRAT), will be proposed and theoretically investigated. It will be shown, that the tuning range is no longer limited by the weak electro-optical effects Δn_{EO} and can be as high as 450 channels of 1nm channel separation. The electro-optically synthesized grating structure gives full control on the filter characteristics in terms of channel separation, side lobe suppression and coupling efficiency over a very large tuning range. Efficient side lobe suppression can be used to reduce the crosstalk. This concept gives new freedom of functionality and flexibility.

/91/ H.-P. Nolting, M. Gravert, **Theoretical investigation of electro-optical switches with very low crosstalk**, Proc. ECIO (Delft, The Netherlands), April 1995, paper TuA4, S. 213-216.
Kurzfassung: The crosstalk or switching contrast of the digital optical switch (DOS) is analysed and a new architecture to enhance the contrast from -20 dB to -40 dB is proposed. An electro-optical mode converter is used for compensation of the undesired mode. Some theoretical results on vertical DOS are discussed.

/92/ H.-P. Nolting, M. Gravert, **Architecture of crosstalk reduced digital optical switch (CRDOS)**, IEEE Photon. Technol. Lett. 1995, vol. 7, no. 11.
Kurzfassung: Coherent crosstalk of optical space matrices are a key problem of optical transparent networks. An analysis of the crosstalk sources of electro-optical digital switches (DOS) is given and a new crosstalk compensating technique based on the integration of a general mode converter as correcting device into a DOS is proposed and theoretically investigated. It can be shown, that a -20 dB crosstalk DOS device can be enhanced to -40 dB. This architecture leads to an increase of the device length by only a few percent. It opens up the possibility to realize short optical switches for larger matrices.

/93/ W. v. Reden, F. Fidorra, W. Rehbein, P. Albrecht, S. Malchow, **Berechnung von Übergitterstrukturen für durchstimmbare DBR-Laser**, Kleinheubacher Berichte, Oktober 1995.
Kurzfassung: Der Durchstimmbereich eines DBR-Lasers soll mit Hilfe des Modenkamms eines strukturierten Braggitters erweitert werden. Es werden die Reflexionswirkungsgrade verschiedener Übergitter (SSG) berechnet. Ein Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen eines chirped SSG wird vorgenommen. Neuartige "synthetische" Überstrukturen werden vorgeschlagen und ihre Simulationrechnungen vorgestellt.

/94/ A. Sharon[18], A.A. Friesem[18], G. Glasberg[18], D. Rosenblatt[18], H.G. Weber, H. Engel, R. Steingrüber, **Metal based grating/waveguide structures**, The Gordon Conference on Optical Information Processing and Holography (New-Hampshire, USA), Juni 1995.
Kurzfassung: An optical resonance phenomenon, based on photon-material interaction which occurs when a plane wave is incident normally on grating/waveguide structures that support guided electromagnetic modes, is presented.

/95/ A. Sharon[18], A.A. Friesem[18], G. Glasberg[18], D. Rosenblatt[18], H.G. Weber, H. Engel, R. Steingrüber, **Resonant structure for optical switching and tunable filters**, 2nd Intern. Conference of Photo-Excited Processes and Applications (Jerusalem, Israel), September 1995.
Kurzfassung: An optical resonance phenomenon, based on an interference effect that occurs when a plane wave is incident normally on grating/waveguide structures that support guided electromagnetic modes, is presented.

/96/ J. Wengelink, H. Engel, **Fabrication of waveguide tapers by semitransparent mask photolithography**, Proc. Micro and Nano Engineering '95 (Aix-en-Provence, France), September 1995, S. K10.
Kurzfassung: An improved fabrication process for semitransparent photomasks is described to result in reduced surface roughness in the photolithographic process. This has been achieved mainly by improvements in the arrangement of pinholes on the chromium mask as well as by an improved photolithographic process. Waveguide tapers with a symmetric layer structure were fabricated using this improved process. Such tapers exhibit insertion losses of 1.5 dB in fiber-chip coupling after correction for Fresnel reflections and alignment tolerances of 2.7 mm for 1 dB excess loss. These values are comparable to results obtained on waveguide tapers generated by direct write electron beam lithography.

/97/ J. Wengelink, H. Engel, W. Döldissen, **Semitransparent mask technique for relief-type surface topographies**, Microcircuit Engineering 27, 1995, S. 247-250.
Kurzfassung: Semitransparent mask photolithography can be used for the generation of relief type surface with only a single photolithographic exposure. An electron beam lithography processes for the fabrication of the photomasks employed in this technique is presented. The influence of electron beam exposure dose, beam size and deflection field size are discussed. Examples of tapered and lens-like relief structures fabricated by semitransparent mask lithography are given.

/98/ N. Grote, **III-V Materials for infra-red devices,** in: Materials for Optoelectronics (M. Quillec, ed.), Kluwer Academic Publ., Boston/Dordrecht/London, 1996, pp. 153-186.

18 Weizmann-Institute, Israel

Kurzfassung: III-V semiconductor materials for IR optoelectronics are surveyed, mainly concentrating on InGaAsP and InGaAlAs alloys which both can be lattice-matched to GaAs and InP to cover different wavelength regions. After an introductory outline of present application trends, the following topics are treated: fundamental crystal and band energy properties; aspects of epitaxial growth; doping and electrical properties; quantum well structures; optical refractive indices and electro-optic effects. Finally, heteroepitaxy on Si, and Sb-based materials for the 2...4 µm wavelength range are addressed.

/99/ H. Roehle, H. Schroeter-Janßen, P. Harde, D. Franke, **On the role of interface properties in the degradation of MOVPE-grown Fe profiles in InP**, 7th Workshop on Organometallic Vapor Phase Epitaxy (Fort Meyers, USA), April 1995, in: J. Electron. Materials, vol. 24, (1995), S. 1535-1537.
Kurzfassung: Fe doping profiles in InP layers grown by LP-MOVPE were investigated by SIMS. Different pre-treatments of the InP substrates proved to have substantially different effects on the Fe profiles which strongly indicate the relevance of underlying interfaces to dopant diffusion in subsequent layers, at least in the case of dopants occupying the group-III sublattice. We attribute the degradation of Fe profiles observed for some kinds of treatment to the emission of In interstitials from surfaces covered by oxides or other residues which are incompletely removed during the MOVPE preheat cycle. A favourable substrate preparation method for avoiding Fe profile degradation relies on etching by 5:1:1 H_2SO_4:H_2O_2:H_2O at room temperature.

/100/ H. Roehle, D. Franke, P. Harde, E. Jahn, H. Schroeter-Janßen, **Influence of pre-epitaxial surface preparation on SIMS profiles and insulation behaviour of Fe-doped InP**, 6th European Workshop on Metal-Organic Vapour Phase Epitaxy and Related Growth Techniques (EWMOVPE VI) (Gent, Belgium), June 1995, Workshop Booklet, paper A 2.
Kurzfassung: Incorporation of Fe in MOVPE-grown InP layers is shown to be strongly influenced by the kind of substrate surface treatment used prior to epitaxial growth. In interstitials are proposed to play a crucial role in the Fe redistribution during growth. An appropriate procedure allowing for nearly perfect Fe doping profiles has been elaborated.

/101/ N. Grote, F.W. Reier, M. Schlak, **Thermal stability issues of InP based quantum well layers**, Proc. Intern. Symposium on Nanostructures: Physics and Technology 95 (St. Petersburg, Russia), June 1995, S. 346-351.
Kurzfassung: The paper summarizes recent result on the thermal stability behaviour of InGaAsP- and InGaAlAs-based QW structures on InP. While the latter structures exhibit high thermal stability at least up to 700°C, InGaAsP-QWs behave far less stable apparently due to the presence of two group(V) elements. A high density of dislocations has, however, been shown to drastically enhance the stability because of removal of mobile point defects. The influence of different heat treatment parameters and the role of surfaces are being discussed. Finally, deliberate reduction of thermal stability by means of ion implantation (QW disordering) is addressed, and application to the formation of complex-coupled DFB gratings is demonstrated.

/102/ F.W. Reier, L. Mörl, **Influence of MOVPE growth parameters on the QCSE-behaviour of InGaAsP/InP MQW switching structures**, 6th European Workshop on Metal-Organic Vapour Phase Epitaxy and Related Growth Techniques (EWMOVPE VI) (Gent, Belgium), June 1995, Workshop Booklet, paper E 2.
Kurzfassung: Fast semiconductor electro-optical switches based on InP are important components for future high-bit-rate OTDM system, e.g. for demultiplexing. For device realisation one of the most promising physical effects for the modulation of light is the quantum confined Stark effect (QCSE). To take advantage of this effect a quantum well stack with a high number of QW-periods is required as the central part designed as waveguide in a p-i-n structure. The present study aims at the optimisation of QW's with a high number of periods to achieve high QCSE efficiency at low electric field strength. The major results are: The QCSE efficiency of multiperiod InGaAsP/InP QW structures is significantly affected by their structural quality. Group V carry-over has been minimized by an appropriate MO gas exchange procedure. Higher QCSE efficiency is achievable in InGaAlAs MQWs as compared with InGaAsP based MQWs but at the expense of higher bias voltage.

/103/ A. Hase, U. Griebenow[19], P. Harde, H. Künzel, **In-situ hydrogen radical cleaning of GaInAsP and AlGaInAs surfaces for MBE regrowth**, VIII European Workshop on Molecular Beam Epitaxy (EURO-MBE VIII) (Sierra Nevada, Spain), March 22-24, 1995, Abstracts Book S. 167-170.
Kurzfassung: For the fabrication of high quality III/V semiconductor optoelectronic devices low temperature native oxide removal and impurity reduction like carbon contamination by hydrogen radical, H^*, treatment prior to MBE regrowth is developed. This study focusses on the electrical quality of AlGaInAs, i.e. potential dopant compensation due to H^*, as well as in-situ monitoring of the H^* process by reflection anisotropy and auger electron spectroscopy. In addition, the potential of the H^* process for the treatment of phosphorus containing materials is investigated.

/104/ H. Künzel, R. Bochnia, J. Böttcher, P. Harde, A. Hase, U. Griebenow[19], **In-situ $Al_{0.24}Ga_{0.24}In_{0.52}As$ surface cleaning procedure using hydrogen radicals for molecular beam epitaxy regrowth**, J. Cryst. Growth 150, S. 18, 1995.

19 Technical University Berlin, FRG

Kurzfassung: In-situ hydrogen radical treatment in a processing chamber attached to a molecular beam epitaxy (MBE) system is successfully applied for the native oxide removal from AlGaInAs surfaces exposed to air prior to MBE regrowth. The influence of cleaning conditions is studied on regrown GaInAs layers and AlGaInAs/GaInAs single quantum well (SQW) structures. At optimum cleaning conditions no deterioration of the quality of the treated material appears. In addition, reduction of the interface carbon concentration is achievable.

/105/ W. Passenberg, W. Schlaak, **Sample preparation for MBE-regrowth onto MOVPE-grown InP and InGaAsP layers**, VIII European Workshop on Molecular Beam Epitaxy (EURO-MBE VIII) (Sierra Nevada, Spain), March 22-24, 1995, Abstracts Book S. 161-164.
Kurzfassung: MBE regrowth on MOVPE grown InP and InGaAsP layers was found to demand appropriate surface treatment for not sacrificing epitaxial growth performance. Wet chemical etching using a sulphuric acid based solution as well as surface oxidation using UV light/ozone irradiation were found to give very satisfactory results. Both methods prove to be destructive in that - particularly with the quaternary layer - a non-negligible amount of material is removed from the surface. The UV/ozone based process appears to be superior in this respect.

/106/ C. Kaden[20], H.P. Gauggel[20], V. Hofsäß[20], A. Hase, H. Schweizer[20], H. Künzel, **Gain coupled distributed feedback-lasers realised by masked implantation enhanced intermixing**, Appl. Phys. Lett., vol 65, S. 3170, 1994.
Kurzfassung: Long wavelength 1.3 µm gain coupled distributed feedback (GC-DFB) lasers were realised by masked implantation enhanced intermixing. On the basis of this fully planar technology GC-DFB lasers with first and second order gratings were fabricated in the InGaAs/-InGaAlAs system. The lasers show clear GC-DFB laser emission with a single mode yield of 69% and remain single mode up to several times laser threshold. The results are in good agreement with the theoretical description of our gain coupled lasers by optical matrix theory.

/107/ H. Künzel, J. Böttcher, A. Hase, V. Hofsäss[20], C. Kaden[20], H. Schweizer[20], **Molecular beam epitaxy growth of lattice-matched AlGaInAs/GaInAs multiple quantum well distributed feedback laser structures with gratings defined by implantation enhanced intermixing**, J. Cryst. Growth 150, S. 1323, 1995.
Kurzfassung: AlGaInAs/GaInAs multiple quantum wells (MQWs) are particularly suited for planar device integration using local refractive index modification by masked implantation enhanced intermixing (MIEI). Suitable molecular beam epitaxy (MBE) growth conditions are elaborated to implement 1.3 µm AlGaInAs/GaInAs MQW distributed feedback (DFB) lasers taking advantage of the capability of the MIEI process to define the gratings. High-quality MBE overgrowth on AlGaInAs necessary for device completion after $H^{\bullet}$ radical treatment is demonstrated.

/108/ H. Künzel, J. Böttcher, R. Gibis, P. Harde, A. Paraskevopoulos, S. Schelhase, **Selective infill MOMBE and MBE regrowth for InP-based embedded collector DHBTs**, VIII European Workshop on Molecular Beam Epitaxy (EURO-MBE VIII) (Sierra Nevada, Spain), March 22-24, 1995, Abstracts Book S. 19-22.
Kurzfassung: For advanced long-wavelength integrated optoelectronics the use of semi-insulating InP:Fe substrate material is a prerequisite for electrical isolation of the devices. In devices exhibiting a vertical design, ohmic current access to the bottom layer is essential and can be accomplished by use of buried contact layers. In HBT structures embedded contact layers help to reduce device height and parasitic elements, i.e. base/collector overlap. In this study, InP-based DHBT structures have been developed on the basis of selective infill growth (SIG) using MOMBE for the buried collector layers and MBE grown AlInAs/GaInAs layers to complete the DHBT layer sequence.

/109/ S. Schelhase, R. Gibis, H. Künzel, **Improvement of MOMBE selective infill growth of InP**, VIII European Workshop on Molecular Beam Epitaxy (EURO-MBE VIII) (Sierra Nevada, Spain), March 22-24, 1995, Abstracts Book S. 151-154.
Kurzfassung: The MOMBE growth technique offers the advantage, as compared to the MOVPE process, of less inferior growth perturbations at the growth boundary, lower growth temperatures and lower precursor consumption. The study focusses on the influence of growth parameters on the quality of MOMBE selective infill grown (SIG) InP. The main point of interest was the surface morphology of the selectively grown layer compared to the layer quality on unpatterned substrates, as well as the growth behaviour near the edge of the SiN_x mask windows. The patterned samples were inspected by interference contrast microscopy, and, cleaved along the [0-11] and [0-1-1] directions, with a scanning electron microscope (SEM).

/110/ S. Schelhase, J. Böttcher, R. Gibis, H. Künzel, A. Paraskevopoulos, **Selective infill MOMBE of InP:Si and large area (MO)MBE regrowth for DHBT applications**, 6th European Workshop on Metal-Organic Vapour Phase Epitaxy and Related Growth Techniques (EWMOVPE VI) (Gent, Belgium), June 26-28, 1995, Workshop Booklet, paper D 1.
Kurzfassung: The use of selective infill growth (SIG) for the realization of high speed optoelectronic devices leads due to the reduction of parasitic effects to an improved versatility of monolithic integration concepts. The employment of MOMBE for the selectively grown layers

20 Universität Stuttgart, FRG

offers the advantage of inferior growth perturbations, lower growth temperatures and less precursor consumption compared to the well established MOVPE growth technique. In this paper we report on MOMBE selective infill growth of n+/n–InP layers and the subsequent large area regrowth using MBE to realize DHBT devices with buried collectors.

/111/ S. Schelhase, J. Böttcher, R. Gibis, H. Künzel, A. Paraskevopoulos, **MOMBE selective infill growth of InP:Si and InGaAs:Si and large area (MO)MBE regrowth**, 5th Intern. Conf. on Chemical Beam Epitaxy and Related Growth Techniques (La Jolla, USA), August 14-16, 1995, zur Veröffentlichung angenommen in J. Cryst. Growth.

Kurzfassung: MOMBE selective infill growth of silicon doped InP and InGaAs was investigated by variation of the principal growth parameters, i.e. temperature, V/III-ratio and rate. Excellent surface morphology in conjunction with perfect selectivity and defect-free vertical interfaces between the grown layer and the etched substrate sidewall were achieved by an appropriate optimisation of the selective growth conditions for InP as well as, for the first time, InGaAs. In the case of SIG of InP, smooth growth boundaries were obtained in [0-11] direction, whereas in [0-1-1] minor growth perturbations occur, which are related to a strong orientation dependent diffusion behaviour of the growth species on the growth front. In the case of SIG of InGaAs, slight perturbations accompanied by facet formation at the edges of the selectively grown windows were observed. In the perspective of device application, homogeneous large area MOMBE InGaAs regrowth of the embedded structures was successfully achieved.

/112/ H. Künzel, P. Albrecht, R. Gibis, M. Hamacher, S. Schelhase, **MOMBE growth of high quality GaInAsP (λg = 1.05 mm) for waveguide applications**, 5th Intern. Conf. on Chemical Beam Epitaxy and Related Growth Techniques (La Jolla, USA), August 14-16, 1995, zur Veröffentlichung angenommen in J. Cryst.Growth, accepted.

Kurzfassung: The MOMBE growth of $Ga_{0.11}In_{0.89}As_{0.23}P_{0.77}$ material with a band gap equivalent emission wavelength of 1.05 µm carried out in the growth temperature range of 465-500°C provide material of high structural and optical quality as well as high lateral uniformity and reproducibility of the alloy composition. Low-temperature photoluminescence linewidth below 5 meV and x-ray diffraction linewidth approaching the theoretical limit have been obtained at the growth temperature of 465°C. Rib waveguides fabricated by dry etching techniques on MOMBE GaInAsP layers grown at this temperature exhibit optical propagation losses down to 0.1 dB/cm at λ = 1.55 mm.

/113/ H. Künzel, J. Böttcher, A. Hase, S. Strähle[21], E. Kohn[21], **Optimized molecular beam epitaxial growth temperature profile for high-performance AlInAs/GaInAs single quantum well high-electron mobility transistor structures**, J. Cryst. Growth 150, S. 1241, 1995.

Kurzfassung: In molecular beam epitaxy (MBE) grown AlInAs/GaInAs single quantum well high electron mobility transistor structures, the use of low growth temperature for layers below the channel to suppress Si movement is mandatory. An optimized growth temperature profile has been elaborated as a prerequisite to reach high carrier concentrations in combination with high mobilities. The impact of an optimum growth temperature profile on device performance is demonstrated in devices with a saturation current of up to 1000 mA/mm.

/114/ Strähle[21], B. Henle[21], L. Lee[21], H. Künzel, E. Kohn[21], **Microwave performance of InP-based HEMTs for low voltage application fabricated by optical lithography**, in Proc. 7th Intern. Conference on InP and Related Materials (Sapporo, Japan), 1995, IEEE Catalogue #95CH35720 Library of Congress#94-79424, S. 393.

Kurzfassung: Usually high power gain is achieved at the expense of reduced ft In this investigation a high f_{max}/f_t ratio of 2.6 is obtained in combination with a $f_t{*}L_g$ product of 39 GHz x mm equivalent to an effective velocity of 2.45*107 cm/s. Despite a relaxed gate length of approximately 0.5 µm these features were obtained at low drain of V_d = 1.5 V.

/115/ D.K. de Vries[22], H. Künzel, H. Häusler[22], A.D. Wieck[23], K.H. Ploog[24], **Lateral electron depletion in focused-ion-beam implanted pseudormorphic heterostructures with In_xGa_{1-x} As channels**, in Proc. MSS 7 Modulated Semiconductor Structures Conference (Madrid, Spain), Solid State Electronics, Juli 1995.

Kurzfassung: We investigate how pseudormorphic structures can be rendered insulating by focused ion beam implantation of Ga^+. Implantation in GaAs/(InGa)As/-(AlGa)As structures leads to effective depletion of the electron gas. The dependence of breakdown voltage on ion dose and implanted area width is investigated. In (InAl)As/(InGa)As/(InAl)As heterostructures the depletion at room temperature is in comparison far less efficient due to a parasitic current path.

/116/ G. Nachtwei[25], A. Linke[25], M. Thiede[25], H. Scherer[26], C. Breitlow[26], F.J. Ahlers[26], L. Bilek[26], H. Künzel, J. Böttcher, **Bistable switching between dissi-**

---

21 Universität Ulm, FRG

22 Max-Planck-Institut, Stuttgart, FRG

23 Ruhr-Universität Bochum, FRG

24 Paul-Drude-Institut, Berlin, FRG

25 Humboldt-Universität Berlin, FRG

26 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, FRG

pative and quantum hall conduction in InSb, InGaAs and GaAs, in Proc. 7th Intern. Conference on Narrow Gap Semiconductors (Santa Fe, USA), 1995.
Kurzfassung: We have investigated the non-linear current transport near the Quantum Hall Effect (QHE) breakdown a at variety of AIII-BV semiconductor interfaces (GaAs/-GaAlAs and InGaAs/InAlAs heterojunction, InSb grain boundaries). Although the material parameters as band gap and effective electron mass are rather different in the systems investigated, the switching from non-dissipative Q_H conduction to dissipative current transport has very striking similarities. In particular, a hysteresis of the longitudinal resistance R_{xx} dependence on the filling factor near the flanks of the Q_H plateaux was observed in a distinct current range. The sudden changes in R_{xx} were accompanied by sudden drops of the Hall resistance below quantized values in all systems. Time resolved measurements reveal the bistable character of the dissipative and non-dissipative states. We attribute this effect to hot electrons generated in current-carrying filaments. These filaments develop below a critical electron density of about $3x10^{15}$ m^{-2} due to impurity potential fluctuations and/or by geometrical patterning of narrow current channels.

/117/ J. Kuhmann, H. J. Hensel, H.-G. Bach, **Flip-chip-bonding investigations on the self-alignment of tin-lead bumps under vacuum conditions**, in Proc. 2nd European Conference on Electronic Packaging Technology & 8th Intern. Conference on Interconnection Technology in Electronics (EUPAC), (Essen, Germany), 1996 (angenommen).
Kurzfassung: Die selbstjustierende Flip-Chip-Bondtechnik ist eine sehr attraktive Methode für die Hybridintegration photonischer Komponenten, um in einem Arbeitsgang sowohl elektrische wie optische Wellenleiterverbindungen herzustellen. In diesem Beitrag wird erstmals ein selbstjustierender, auf Zinn-Blei Loten basierender Flip-Chip-Bondprozeß vorgestellt, der garantiert frei von Rückständen ist. Ein neu entwickelter Flip-Chip-Bonder dient als das zentrale Instrument für Untersuchungen des Reflow-Verhaltens und für den Bondprozeß. Wir erhielten ausgezeichnete Reflow-Ergebnisse im Vakuum (Bereich 10^{-1} to 10^{-4}Pa) für Lot-Bumps, die dann die perfekte Kontur von Halbkugeln aufwiesen. Das selbstjustierende Flip-Chip-Bonden wurde in Vakuum unter H_2-Injektion bei moderaten Temperaturen (250°C für 60/40 Gw.%, 350°C for 5/95 Gw.% SnPb) und Aufheizzeiten (2 min) durchgeführt. Die laterale Bondgenauigkeit lag mit 0,2µm restlichem Offset im Bereich der Meßgenauigkeit.

/118/ B. Adolphi[27], A. Preuß[27], W.J. Fischer[27], J. Kuhmann, **Surface layers on structured solder bumps and their influence on bond quality**, in Proc. Micro Materials '95 (Berlin, Germany), Nov. 1995 (angenommen).
Kurzfassung: The wetting behaviour of tin-based solders has been investigated. Sources of impurities result from wet-etching and lift-off structuring techniques and are identified through AES and XPS measurements. Another hindering aspect are oxide layers on solder surface which can also impede correct wetting. Investigations on wetting behaviour as a function of oxygen partial pressure are presented. Conditions become even more severe for self-aligned Flip-Chip (FC) bonding. Here experiments are shown which prove that reproducible self-aligned FC-bonds without the use of any fluxing agents are only possible (at moderate bonding temperatures and heating duration) by employing H2 injection under vacuum conditions. From this study it can be concluded that for completely fluxless bonding techniques care must be taken to employ suitable structuring and bonding techniques.

/119/ B. Hüttl, K.-O. Velthaus, G. Gers, R. Herrmann and R.H. Mauch, **SrS:Ce,Mn,Cl-A novel efficient EL phosphor**, in Proc. 7th Intern. Conference on II-VI Compounds and Devices (Edinburgh, England), 1995, zur Veröffentlichung angenommen in J. Cryst. Growth.
Kurzfassung: SrS:Ce,Cl based thin film electroluminescent devices codoped with Mn were investigated. The EL performance is remarkably improved compared to conventional SrS:Ce,Cl. A luminous efficiency exceeding 1.6 lm/W was achieved. The positive impact of Mn codoping on the crystalline quality of thin films was found to be responsible for the improvements. However, an energy transfer between Ce^{3+} - Mn^{2+}, which reduces the radiation efficiency of the Ce^{3+} emission was detected.

/120/ B. Hüttl, K.-O. Velthaus, U. Troppenz, R.H. Mauch, **Luminescence properties of SrS:Ce^{3+},Cl thin films**, in Proc. 1st Intern. Conference on the Science and Technology of Display Phosphors (San Diego, USA), 1995.
Kurzfassung: A SrS:Ce,Cl layer providing a high luminescent yield is the prerequisite for an efficient electroluminescent device, and for this purpose an optimum incorporation of the luminescent centres into the host regarding local environment and doping concentration is required. Basic luminescence properties of SrS:Ce,Cl thin films are presented. Emphasis is given to photoluminescence measurements which give the ability to compare thin films and powder data. A model is proposed which explains the differences by suggesting a higher concentration of luminescence killers in thin films. As a consequence of these findings, recent improvements by codoping with Mn and ZnS are discussed.

/121/ T.K. Plant[28], U. Troppenz, B. Hüttl, K.-O. Velthaus, R.-H. Mauch, **Electro-optic excitation/deexcitation effects in SrS:Ce ACTFEL devices from 15 K-300K**, in Proc. 1st Intern. Conference on the Science and Technology of Display Phosphors (San Diego, USA), 1995.
Kurzfassung: The time-resolved electroluminescence, EL spectrum, UV- and blue-excited photo-luminescence, and transferred charge of high-efficiency blue SrS:Ce AC-

27 Universität Dresden, FRG

28 Oregon State University, Corvallis, USA

driven thin-film electroluminescent (ACTFEL) devices are measured over the temperature range of 15K-300K. The purpose of this work is to determine the mechanisms of both optical and electrical excitation/de-excitation in these structures. We find that two thermally activated processes, a strong one around 100K and a weaker one around 200K, drastically reduce the Ce^{3+} luminescent efficiency and limit the overall EL performance. Even though the total transferred charge increases with temperature, these two thermal de-activation processes wipe out any luminescent gains due to increased transferred charge. The fact that a large trailing edge emission still exists at 15 K indicates that space charge in the form of ionized Ce^{3+} atoms caused by field-induced delocalization is still present.

/122/ R.H. Mauch, K.-O. Velthaus, B. Hüttl, U. Troppenz, R. Herrmann, **Improved SrS:Ce,Cl TFEL devices by ZnS coevaporation**, in Proc. SID-Symposium (Orlando, USA), 1995.
Kurzfassung: SrS:Ce,Cl-based thin film electroluminescent devices codoped with Mn and Zn (by coevaporation of ZnS) were investigated. In both cases, crystallinity, EL performance and long term reliability have been remarkably improved compared to standard SrS:Ce,Mn,Cl the up to now highest luminous efficiency has been obtained. L_{50} luminance levels higher than 120 cd/m^2 demonstrate the applicability of this type of phosphor material in EL displays.

/123/ R.H. Mauch, **Inorganic thin film electroluminescent devices and displays**, IEEE/LEOS Summer Topical Meeting (Keystone, USA), 1995.
Kurzfassung: Recent developments of inorganic high field electroluminescent devices and displays are summarized. Emphasis is given to the status of the developments of new phosphor materials as SrS:Ce and $(Ca,Sr)Ga_2S_4$:Ce for full colour applications.

/124/ R.H. Mauch, **Recent developments for full colour TFEL-displays**, in Proc. ITG-Conference Vacuum Electronics and Displays (Garmisch-Partenkirchen, Germany), 1995.
Kurzfassung: The development of full colour displays on the basis of electroluminescence is currently investigated according to two different concepts. The first one is the classical approach of structured phosphor layers where the three primary colours are achieved by three dedicated phosphor materials. A more recent idea is the so-called "colour by white" concept, where the active layer is a broad band white emitter. The different colours are substractively generated by respective colour filters. Both options give rise to realise high quality information display in midterm. Basis for both concepts are new light emitting materials such as $(Sr,Ca)Ga_2S_4$:Ce and SrS:Ce. In particular, blue-green emitting SrS:Ce-EL-samples fabricated with alternative precursors during reactive evaporation reached efficieny levels which exceed 1.6 lm/W by satisfying the stability requirements of applications. The introduction into a ZnS:Mn/SrS:Ce "colour by white" EL-structure resulted in following unfiltered and filtered luminance levels if the test matrix was driven at 60 Hz: L=340 cd/m², Lr=39 cd/m², Lg=90 cd/m² and Lb=18 cd/m².

/125/ U. Troppenz, T. Plant[28], B. Hüttl, K.-O. Velthaus, R.H. Mauch, **Electrical properties of SrS:Ce EL devices**, in Proc. 1st Intern. Conference on the Science and Technology of Display Phosphors (San Diego, USA), 1995.
Kurzfassung: Luminance, transferred charge, photo-induced transferred charge and efficiency are analyzed at SrS:Ce,Cl EL devices with different thickness of phosphor films. At a constant Ce doping concentration of 0.05at.%, the width of the phosphor layer is varied from 380nm to 890nm. It is found that the increase of luminance with higher phosphor thickness is mainly attributed to an increasing emission at the leading edge of the voltage pulse, whereas the trailing edge response is comparable in all samples. The decrease of the EL efficiency at higher peak voltage is due to a strong space charge formation in the phosphor layer. Highest EL efficiency is obtained at a phosphor thickness of around 700nm. The photo-induced charge (PQ) response due to the direct excitation (λexc = 430nm) of Ce^{3+} in high electrical fields is investigated as a function of peak voltage. As a result, the PQ response behaves like a sense parameter for the mean electrical field of the phosphor layer.

/126/ K.-O. Velthaus, B. Hüttl, U. Troppenz, R. Herrmann, R.H. Mauch, **Vollfarb Elektrolumineszenzdisplay nach dem "Farbe aus Weiß" Konzept**, Proc. Electronic Displays, Chemnitz (Germany), 1995.
Kurzfassung: Vollfarb-Elektrolumineszenz (EL)-Displays nach dem "Farbe aus Weiß" Konzept stellen eine vielversprechende Alternative für verschiedene zukünftige Display-Applikationen dar. ZnS:Mn/SrS:Ce Multilayer-Phosphore haben gezeigt, daß sie den Anforderungen gerecht werden, die das "Farbe aus Weiß"-Konzept stellt. Während aber ZnS:Mn mittlerweile einen industriellen Standardprozeß darstellt, muß die Leuchtdichte und Effizienz des SrS:Ce noch verbessert werden. Basierend auf neuen Schwefel-Precursoren konnte dieses Material in jüngster Zeit wesentlich verbessert werden. In konventionellen Standardstrukturen werden Wirkungsgrade von 1.6 lm/W erreicht Alterungsversuche zeigen sehr vielversprechende erste Ergebnisse. Bei Stabilitätsuntersuchungen ging die Leuchtdichte, gemessen bei 1 µC/cm^2 nach 2300h nur um 10% zurück. Wird die so hergestellte Schicht zur ZnS:Mn/SrS:Ce Multilayerstruktur erweitert, so erhält man ein gelbweißes Spektrum mit einer Leuchtdichte von 4200 cd/m^2 bei 1 kHz Anregungsfrequenz.

/127/ R. Schäfer, **Terrestrial transmission of DTVB signals - the European specification**, Proceedings of IBC '95, Amsterdam, 14-18 September 1995, Invited Paper.

Kurzfassung: Considering the developments of the collaborative R&D projects dTTb, HD-DIVINE and $^{H}DTV_{T}$ this paper describes the specification for a European, terrestrial DTVB system, which has been drafted under the umbrella of the European DVB project. This system has been designed to meet the User Requirements established by the Terrestrial Commercial Module (TCM) of DVB concerning flexibility, concerning suitability for fixed and portable reception and concerning SFN operation. An OFDM system with concatenated error correcting coding and an optional two level hierarchy for channel coding / modulation has been specified. This system is suitable for digital multi-programme transmission in existing UHF spectrum allocation while providing sufficient protection against co-channel and adjacent-channel interferences emanating from existing PAL/SECAM services. It shows a high degree of commonality with the DVB-systems for satellite and cable by using the same standards for audio and video coding as well as for transport multiplex according to the MEPG-2, an identical outer coding (RS) scheme and a similar inner coding scheme.

/128/ R. Schäfer, **Digital HD-technology for broadcasting and visual communications - a European view**, Proceedings of International Forum on High Quality Digital Video and Its Impact (IFDiV '95), Tokyo, Japan, March 16-17, 1995, Invited Paper.

Kurzfassung: High Definition TeleVision has been investigated in Europe since the early '80s and a full system for studio, contribution and satellite broadcasting has been developed within the EU95 project. However, no regular service has been started in Europe and actually HD-technology is only used for some niche applications. This paper summarizes the recent European developments in HD-technology and reflects some expectations concerning the development of HDTV and SHD in Europe.

/129/ R. Schäfer, K. Grüneberg, **Overview on emerging multimedia standards and corresponding synchronization aspects**, Proceedings of International Symposium on Synchronization, Essen, Germany, December 14-15, 1995, Invited Paper.

Kurzfassung: Multimedia is actually the driving force in information technology. Many standards with respects to image and sound compression and to transmission of digital audio visual data over existing (satellite, cable, terrestrial, PSTN, ISDN) or new (B-ISDN, UMTS) networks have recently been completed or are still in progress. A very important topic in all these standards is the synchronization aspect. Some synchronization mechanisms are described considering video compression standards such as H.320, MPEG 1 and MEPG2 and transmission standards such as DVB-S, DVB-C and DVB-T.

/130/ G. Keesman[29], A. Cotton[30], D. Kessler[31], J. De Lameillieure, J.-P. Henot[32], A. Nicoulin[33], D. Kalivas[34], **Study of the subjective performance of a range of MPEG-2 encoders**, Proceedings of International Broadcasting Convention, IEE Publ. No. 413, S. 232-237, Amsterdam, Sept. 1995.

Kurzfassung: This contribution will present results of subjective tests that have been organised in November '94 by the HAMLET subgroup WP2. These tests, carried out according to Rec. ITU-R 500-5, compare the performance of different types of MPEG-2 encoders:
1. the software encoder of the MPEG-2 technical documentation (reference), 2. an exact simulation of the hardware encoder that is being built in the same RACE project, 3. an optimized software encoder, and 4. an SNR scalable encoder.
The results reveal that the MPEG-2 standard leaves a lot of room for optimisation in the encoder. They also illustrate that optimizations carried out for the HAMLET hardware encoder lead to important improvements. Finally, they show the almost comparable quality of the MPEG-2 reference software encoder at 7 Mbit/s and the SNR scalable encoder at 3 + 4 Mbit/s for base + enhancement layer.

/131/ G. Keesman[29], A. Cotton[30], D. Kessler[31], J. De Lameillieure, J.-P. Henot[32], A. Nicoulin[33], D. Kalivas[34], **Study of the subjective performance of a range of MPEG-2 encoders**, IEEE Int. Conf. on Image Processing, Washington DC, 22-25 Oct. 1995.

Kurzfassung: This contribution will present results of subjective tests that have been organised in November '94 by the HAMLET subgroup WP2. These tests, carried out according to Rec. ITU-R 500-5, compare the performance of different types of MPEG-2 encoders :
1. the software encoder of the MPEG-2 technical documentation (reference), 2. an exact simulation of the hardware encoder that is being built in the same RACE project, 3. an optimized software encoder, and 4. an SNR scalable encoder.
The results reveal that the MPEG-2 standard leaves a lot of room for optimisation in the encoder. They also illustrate that optimizations carried out for the HAMLET hardware encoder lead to important improvements. Finally, they show the almost comparable quality of the MPEG-2 reference software encoder at 7 Mbit/s and the SNR scalable encoder at 3 + 4 Mbit/s for base + enhancement layer.

/132/ M. Kharatichvili, P. Kauff, **Concealment techniques for data-reduced HDTV recording**, Signal Processing - Image Communication, Volume 7, issue 2, S. 173-182, 11. Aug. 95.

Kurzfassung: Most of all data-reduced HD-VCRs use powerful error protection schemes in order to prevent error propagation. Under normal conditions these schemes are

29 Philips Res. Labs., Einhoven, NL

30 BBC Res. Dpt., Kingswood Warren, UK

31 Thomson Broadcast Systems, Cesson-Sévigné, F

32 CCETT, Cesson-Sévigné, F

33 EPFL, Lausanne, CH

34 Intracom, Peania Attika, GR

able to correct all errors from magnetic tape channel. However, under bad conditions some uncorrected errors may be left. Therefore, it must be possible to conceal erroneous DCT blocks in order to avoid visible degradations in this worst-case situation. In this context four different concealment techniques (spatial, temporal, motion-adaptive and motion-compensated concealment) are discussed and compared with respect to their efficiency. The results of subjective tests and the discussion of some system aspects show that the motion-adaptive approach is the most suitable one for the underlying application.

/133/ X. Ducloux[35], P. Duménil[35], U. Höfker, **Hardware implementation of a MPEG-2 Spatial@H-1440L HDTV codec in the HAMLET project**, Proceedings of International Workshop on HDTV and the Evolution of Television, Taipei, Taiwan, 15-17 November 1995.
Kurzfassung: This paper describes the hardware implementation of a multilevel HDTV codec compliant with the Spatial Scalable Profile and H1440 Level (Spatial@H-14) of the MPEG-2 Recommendation (H.262). This codec, developed in the framework of the HAMLET project, will accept 1440 x 1152 lines 4:2:2 interlaced signals as source input signals and will deliver different services (TV, HDTV) and quality levels (graceful degradation). Furthermore the modular hardware structure allows easy reconfigurations of the codec in different hierarchical modes.
Two different choices have been made for the hardware architecture on the encoder and the decoder side: parallel processing approach with SDTV VLSI components for the encoder, HDTV VLSI technologies for the decoder.

/134/ Th. Selinger, M. Block[36], R. Mudra, M. Talmi, W. Yan[37], W. Zhang[36], M. Zieger, **VLSI-Chipsatz für einen MPEG-2 HDTV-Decoder**, GME-Fachbericht 15, Mikroelektronik, Baden-Baden, 1995.
Kurzfassung: Im Rahmen des Förderschwerpunktes "Hierarchical Digital Television Transmission" ($^{H}DTV_{T}$) wird am Heinrich-Hertz-Institut ein Videodecoder gemäß dem Spatially Scalable Profile at High 1440 Level (Spatial@H-14L) des MPEG-2 Standards entwickelt. Sämtliche Funktionen der Videodecodierung werden auf zwei Chips integriert, so daß ein kompletter hierarchischer HDTV-Videodecoder auf einem Board realisiert werden kann. Dieser Beitrag stellt die Systemarchitektur des Videodecoders vor und erläutert im weiteren Funktion und Realisierungsaspekte der beiden Decoderchips. Der Fortschritt der VLSI-Technologie ist für die Markteinführung von HDTV von entscheidender Bedeutung, da der Integrationsgrad im wesentlichen die Kosten für die Endgeräte bestimmt. Ein Ausblick auf zukünftige single-chip Realisierungen für MPEG-2 HDTV-Decoder erfolgt am Ende des Beitrages.

/135/ S. Fazelpour[38], B. Bölike[39], H. Reichl[38], M. Talmi, **Design und Realisierung eines Multi-Chip-Moduls als Bewegungsschätzer für HDTV-Anwendungen**, SMT '95, Electronic Systems & Solutions, Hybrid '95, Nürnberg, Mai 1995.
Kurzfassung: Dieser Beitrag stellt ein Multi-Chip-Modul (MCM) basierend auf MCM-L mit 32 ungehäusten Chips vor. Das Substrat ist in Polymer-Laminat-Technologie hergestellt. Die Chips sind durch das Chip-and-wire-Verfahren auf dem Modul integriert. Insgesamt existieren 2500 Bondloops auf dem Modul. Dies hat eine Abmessung von 125 x 110 mm. Es wurde auch in konventionellem Aufbau mit gehäusten Chips auf zwei Leiterplatten realisiert. Die Fläche des Systems in der MCM-Technologie ist gegenüber dem konventionellen Aufbau um den Faktor 15 kleiner. Durch elektrische und thermische Simulationen wurde das Modul optimiert. Die Aspekte der elektrischen und der thermischen Simulation und des Aufbaus des Moduls werden hier erläutert.

/136/ Ch. Stoffers[38], B. Bölike[39], S. Fazelpour[38], H. Reichl[38], M. Talmi, **Systementwurf und Einsatzumgebung eines Multi-Chip-Moduls als Bewegungsschätzer für HDTV-Anwendungen**, SMT '95, Electronic Systems & Solutions, Hybrid '95, Nürnberg, Mai 1995.
Kurzfassung: Im Rahmen der Realisierung eines TV/-HDTV-Converters wurde das hierarchische Blockmatching Verfahren verwendet. Hierfür wurden zwei ASICs entwickelt. Der eine ist ein Controller (MEP, Motion Estimation Processor), der den gesamten notwendigen Datenfluß steuert, der andere ein Prozessorarray (PAME, Processor Array for Motion Estimation), in dem die DFDs berechnet werden. Um eine Echtzeitrealisierung zu ermöglichen, ist eine hohe Anzahl dieser Prozessoren notwendig. Aus dem sich daraus ergebenden Hardwareaufwand bietet sich der Aufbau als Multi-Chip-Modul (MCM) an. Die Eigenschaften und Vorteile des MCMs werden in diesem Beitrag erläutert. Zur weiteren Integration wurde ein Trägerboard entwickelt, welches wiederum in einem kompletten System mehrfach parallel arbeiten kann.

/137/ B. Stabernack[36], C. Heinelt, M. Talmi, W. Sinnhöfer[40], **A flexible MPEG-2 audio decoder and transport stream interface based on TMS320C40 and ITT MAS3500C**, ICSPAT, Boston, 1995.
Kurzfassung: This paper introduces a combined hardware and software solution for an MPEG-2 audio decoder using one TMS320C40 as transport-stream handler and two ITT MAS3500C's as audio elementary stream decoder. The Decoder is capable of processing bitstreams according to MPEG-2 Layer 2 surround sound. It has been developed in conjunction with a VLSI-based MPEG-2 video decoder for HDTV applications at the Heinrich-Hertz-Institut.

35 Thomson Broadcast Systems, Cesson-Sévigné, F
36 Technical University Berlin, FRG
37 MAZ Brandenburg, FRG
38 Fraunhofer Gesellschaft, Institut f. Zuverlässigkeit u. Mikrointegration (FhG-IZM), Berlin, FRG
39 Deutsche Telekom AG, Berlin, FRG
40 ITT-Intermetall, Freiburg, FRG

/138/ R. Horn[38], M. Talmi, **Design of a modular multi-DSP-system for hierarchical motion estimation in combination with customized processors**, ICSPAT, Boston, 1995.
Kurzfassung: This article describes the implementation of the subsystem "Local Block matching" which is part of the real-time format converter developed at the Heinrich-Hertz-Institut (HHI). It is the second step of the hierarchical motion estimator. The complexity of the algorithm combined with computational performance requirements led to a parallel structure based on dedicated chips as well as programmable DSP's. Due to the different factors modular design was chosen rather than an "all-on-one-Board" solution. Thus, the system contains a total of 17 PCB's with 6 different types. One aim of this article is to show possibilities and limits of DSP's for real-time image processing. A further aim is to point out the benefits of a modular system design.

/139/ M. Hahn, **Simulation komplexer Bildverarbeitungssysteme**, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 48, S. 24-30, VDE Verlag, Jan. 1995.
Kurzfassung: Die Realisierung komplexer Bildverarbeitungssysteme vom Algorithmus bis hin zum hochintegrierten elektronischen Gerät erfordert aus Kostengründen eine genaue vorhergehende Analyse des Systemverhaltens. Dies geschieht vorteilhaft durch rechnergestützte, hierarchische Simulation. Die Veröffentlichung beschreibt am Beispiel eines im HHI entwickelten Bildverarbeitungssystems zur bewegungskompensierenden Formatwandlung für hochaufgelöste Fernsehbilder das Vorgehen bei der hierarchischen Simulation.

/140/ M. Hahn, S. Wolf, M. Talmi, M. Karl[41], **Hardware implementation of a motion compensating format converter**, Journal of Electronic Imaging, Vol. 4, No. 3, S. 270-277, July 1995.
Kurzfassung: This paper describes the realization of a TV interlaced (TVI) to HDTV interlaced (HDI) real-time format converter for studio applications. The conversion is performed by motion-compensated 3-D interpolation. The estimation of motion is based on hierarchical block matching. Reliability checking of motion vectors is applied to achieve high picture quality. Furthermore, various picture-classification algorithms are used to improve the reliability of motion vectors. This format converter has been developed using dedicated VLSI chips, digital signal processors, and field programmable gate arrays (FPGA) for the reduction of hardware. The special VLSI chips have been developed using semicustom and fullcustom design techniques. Besides employment within the format converter they are suitable for various applications in video processing

/141/ H. Krahn, C. Stredicke[41], M. Talmi, **Erfahrungen mit FPGAs in der digitalen Bildsignalverarbeitung**, 2. GI/ITG-Workshop "Anwenderprogrammierbare Schaltungen", Karlsruhe, Juni 1995.
Kurzfassung: Es werden zwei am HHI entwickelte Platinen aus dem TV-HDTV-Konverter-Projekt in ihrer Funktion und ihrer Realisierung mit FPGAs kurz charakterisiert. Anhand eines Design-Flow wird der Top-Down-Entwurf, ausgehend von VHDL, über ein Schematic und eine Netzliste hin zu den Programmierdaten mit den dabei aufgetretenen Schwierigkeiten aufgezeigt. Die Verifikation komplexer Schaltungen mit großen Datenmengen verursacht einen erheblichen Aufwand. Die unterschiedlichen Testkonzepte beider Platinen werden vorgestellt und deren Realisierungsaufwand beschrieben.

/142/ St. Wolf, M. Talmi, Ch. Stoffers[38], M. Hahn, M. Braun[41], **Key components for format conversion**, Proc. European Workshop and Exhibition on Image Format Conversion and Transcoding, 1995.
Kurzfassung: High-quality format conversion is achieved by motion-compensating techniques, but this requires a very large amount of hardware. This paper describes a dedicated chip set for motion-estimation which has been designed at the HHI to reduce the amount of hardware. Furthermore, most of the components of a complete motion estimation system are implemented on a multichip module. Another special VLSI chip has been developed in HHI. It is applied for HDTV-memory controlling purposes.

/143/ St. Wolf, M. Talmi, M. Hahn, J. Eindorf, K. Böttcher, M. Braun[41], J. Dressler[41], C. Heinelt, R. Horn[38], M. Karl[41], K. Rümmler, Ch. Stredicke[41], **Motion compensated 4:2:2 to HDI format converter**, Proc. European Workshop and Exhibition on Image Format Conversion and Transcoding, 1995.
Kurzfassung: This paper describes the hardware realization of a TV interlaced (TVI) to HDTV interlaced (HDI) real-time format converter for studio applications. The conversion is performed by motion-compensated 3D-interpolation. The motion estimation is based on hierarchical block matching. Reliability checking of motion vectors is applied to achieve high picture quality. Furthermore, various picture-classification algorithms are utilized to improve the reliability of motion vectors. This format converter has been developed using field-programmable gate arrays, digital signal processors and dedicated VLSI chips for reduction of hardware effort.

/144/ T. Sikora, **Low-complexity shape-adaptive DCT for coding of arbitrarily-shaped image segments**, Signal Processing: Image Communication, Special Issue on 'Coding Techniques for Very Low Bitrate Video', Vol. 7, Nos. 4-6, November 1995.
Kurzfassung: In this paper a low complex algorithm to compute DCT-coefficients for arbitrarily shaped segments is presented. If no contour data is transmitted for a given video sequence the object or segment based coding method degenerates into a normal hybrid DPCM/DCT

41 Technical University Berlin, FRG

coding scheme. Results for INTRA coding of images show that the algorithm is efficient over a wide range of coding parameters, thus providing means for generic coding of segmented video between very high and very low bit rates.

/145/T. Sikora, S. Bauer, B. Makai, **Efficiency of shape-adaptive transforms for coding of arbitrarily shaped image segments**, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 5, No. 3, June 1995.
Kurzfassung: In this paper we introduce a formula to compute an optimum 2-D shape-adaptive Karhunen-Loeve transform (KLT) suitable for coding pels in arbitrarily-shaped image segments. The efficiency of the KLT on a 2-D AR(1) process is used to benchmark two other shape-adaptive transforms described in literature. It is shown that the optimum KLT significantly outperforms the well known shape-adaptive DCT method introduced by Gilge et al. for coding segments of arbitrary shape in intraframe coding mode. A statistical transform gain close to the Gilge-method can be achieved with a shape-adaptive DCT algorithm introduced by Sikora and Makai which is implemented with much lower complexity.

/146/ T. Sikora, B. Makai, **Shape-adaptive DCT for generic coding of video**, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 5, No. 1, February 1995.
Kurzfassung: In this paper, a low complexity shape-adaptive DCT algorithm suitable for coding pels in arbitrarily shaped image segments is introduced. In contrast to other techniques described in literature the proposed algorithm is based on predefined orthogonal sets of DCT basis functions and does not require more computations than a normal block DCT. It is shown that the shape-adaptive DCT algorithm can be easily incorporated into existing block-based JPEG, H.261 or MPEG coding schemes. Thus segment or object based coding of images and video can be provided with backward compatibility to existing coding standards. As an important feature, with the proposed technique additional content based functionalities currently discussed in the MPEG-4 standardization phase can be readily achieved.

/147/ T. Sikora, H. Li, **Optimal block-overlapping synthesis transforms for coding images and video at very low bit rates**, zur Veröffentlichung angenommen in IEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology (Special Issue on Wireless Visual Communications).
Kurzfassung: In this paper we address the problem of coding images and video at very low bitrates using conventional hybrid DPCM/DCT coding schemes with reduced blocking artefacts. To this end optimal block-overlapping synthesis filterbanks (block-overlapping inverse transform kernels) with minimum least-squares reconstruction error properties are derived which replace the conventional inverse DCT if only few DCT coefficient are transmitted to the receiver. Results show that the proposed inverse block-overlapping transforms can significantly outperform the conventional inverse DCT both in terms of objective and subjective quality measures.

/148/ T. Sikora, **Laplacian image pyramid coding using optimal Wiener interpolation filters**, zur Veröffentlichung angenommen in IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology.
Kurzfassung: A design approach is presented which allows the optimisation of coefficients for symmetric and separable FIR interpolation filters for coding in multiresolution coding schemes. The interpolation filters serve as optimal inverse filters in the Wiener sense and are designed to match the characteristics of the specific filters used for decimation as well as for the statistics of "typical" images to be reconstructed. Applied to the coding of test images in a 4 level progressive pyramid scheme the optimal interpolation filters generate substantially improved rate-distortion results compared to conventional filters.

/149/ T. Sikora, **The MPEG video coding standard**, zur Veröffentlichung angenommen in IEEE Signal Processing Magazine, Invited Paper.
Kurzfassung: The video compression techniques developed by MPEG cover many applications from interactive systems on CD-ROM to delivery of video information, including digital television services, over telecommunications networks. The MPEG-1 and MPEG-2 compression algorithms rely on two basic techniques: block-based motion compensation for the reduction of temporal redundancy and transform domain coding for the reduction of spatial redundancies. The purpose of this paper is to provide an overview of the basic coding algorithms employed by the MPEG-1 and MPEG-2 standards and to discuss the commonalties and differences between the two standards.

/150/ T. Sikora, **MPEG video compression for digital television and multimedia applications**, zur Veröffentlichung angenommen in Digital Consumer Handbook, McGraw Hill (invited contribution).
Kurzfassung: This contribution describes the MPEG2 video compression standard and some of its applications in digital television broadcasting and in multimedia.

/151/ R. Schäfer, T. Sikora, **Digital video coding standards and their role in video communications**, IEEE Proceedings, Vol. 38, No. 6, S. 907-924, June 1995, Invited Paper.
Kurzfassung: The efficient digital representation of image and video signals has been subject of considerable research over the past twenty years. With the growing availability of digital transmission links, progress in signal processing, VLSI technology and image compression research, visual communications has become more feasible than ever. Digital video coding technology has developed into a mature field and a diversity of products has been developed - targeted for a wide range of emerging appli-

cations, such as video on demand, digital TV/HDTV broadcasting, and multimedia image/video database services. With the increased commercial interest in video communications the need for international image and video coding standards arose. Standardisation of video coding algorithms holds the promise of large markets for video communication equipment. Interoperability of implementations from different vendors enables the consumer to access video from a wider range of services and VLSI implementations of coding algorithms conforming to international standards can be manufactured at considerably reduced costs. The purpose of this paper is to provide an overview of today's image and video coding standards and their role in video communications. The different coding algorithms developed for each standard are reviewed and the commonalties between the standards are discussed.

/152/ U. Gölz, S. Kruse, P. Kauff, B. Makai, S. Rauthenberg, T. Sikora, **Objektbasierte Codierung für Bildkommunikation und Multimedia**, Tagungsband des 6. Dortmunder Fernsehseminars, ITG-Fachbericht 136, Multimedia: Anwendungen, Technologie, Systeme, S. 203-208, Oktober 1995.
Kurzfassung: Die ISO/IEC-Expertengruppe MPEG hat kürzlich das Anforderungsprofil für die Videocodierung in zukünftigen Multimedia- und Kommunikationsdiensten definiert (MPEG-4). Neben einer weiteren Steigerung der Kompressionseffizienz wird hier insbesondere die Einführung neuartiger Funktionalitäten, wie die inhaltsbezogene Skalierbarkeit und der objektorientierte Bitstromzugriff, gefordert. In diesem Zusammenhang wird in der zugrunde liegenden Veröffentlichung ein objektbasiertes Codierverfahren vorgestellt, das rückwärtskompatibel zur herkömmlichen MPEG-2-Syntax ist, darüber hinaus die von MPEG-4 geforderten, inhaltsbezogene Funktionalitäten unterstützt und zusätzlich eine Steigerung der Kompressionseffizienz im Vergleich zu MPEG-2 zuläßt.

/153/ S. Kruse, **Scene segmentation from dense displacement vector fields using randomized hough transform**, COST211ter document SIM(95)11, Darmstadt, Januar 1995 (zur Veröffentlichung angenommen in Signal Processing: Image Communication).
Kurzfassung: It is widely accepted that object-based coding represents a promising approach to 2nd and 3rd generation coding as currently discussed within the framework of MPEG-4. This kind of video coding requires powerful segmentation algorithms decomposing the video scene into relevant object segments before starting a segmentation-based encoding process. In this context motion segmentation provides an excellent tool in order to achieve at least reliable pre-segmentation of video scenes. The algorithm presented in this paper utilizes RHT techniques (Randomized Hough Transform) in order to analyse dense displacement vector fields provided by conventional motion estimators. The analysis output is then post-processed by using a LMS-based merging step (Least Mean Square) which prevents over segmentation and a GMRF filtering technique (Gibbs-Markov Random Fields) which forces spatial and temporal consistency to final segmentation results.

/154/ E. Izquierdo, M. Ernst, **Motion/disparity analysis for 3D-video-conference applications**, Proceedings of International Workshop on Stereoscopic and Three Dimensional Imaging - IWS3DI '95, Santorini, Greece, 6.-8. September 1995.
Kurzfassung: This paper describes a method for combined motion and disparity estimation applied to 3DTV signal processing in order to compute temporally and perspectively intermediate pictures. The algorithm is an extension to a concept based on block matching already presented in /1/. This concept is suitable to detect occluding, appearing and disappearing areas caused by motion and disparity. The classification features can be used in order to switch between different interpolation and extrapolation modes for computing intermediate pictures or to adapt coding schemes. However, considerably improvements have been obtained with respect to the motion/disparity analysis in partly occluded image areas by introducing an additional object segmentation. A set of typical stereoscopic video conference sequences with large camera interaxial distances have been processed by computer simulation. Using the proposed concept with only two cameras a continuos motion parallaxes can be obtained by signal processing.

/155/ M. Ernst, B. Chupeau[42], C. Dufour[43], **High quality de-interlacing and format conversion algorithms developed within the RACE-project TRANSIT**, Proc. European Workshop and Exhibition on Image Conversion and Transcoding, March 1995.
Kurzfassung: One of the major goals of TRANSIT was to evaluate and to specify high quality de-interlacing and format conversion algorithms, which are suitable for a professional studio environment. Due to the interlaced scanning used in most of the current video standards the "high-quality demand" requires the use of motion compensated techniques. This paper describes the specified algorithms developed within the project with respect to motion estimation and motion compensated interpolation applied to de-interlacing and format conversion. Special attention is paid in order to find an optimal trade-off between quality and hardware complexity. The presented algorithms have been approved by subjective tests with non-expert viewers. Compared to "low-cost" de-interlacing and format conversion algorithms, the quality of the resulting images can be increased considerably.

/156/ C. Stredicke[44], H.D. Höhne, **Erkennung von periodischen Strukturen in Fernsehbildern mit**

42 Thomson Broadcast Systems, Cesson-Sévigné, F
43 Laboratoire d'Électronique de Philips, F
44 Technical University Berlin, FRG

FPGAs, Vortragsband der 6. ITG-Fachtagung: Mikroelektronik für die Informationstechnik, Berlin, März 1994.
Kurzfassung: Bei der Bewegungsschätzung kommt es in Bildbereichen mit periodischen Strukturen zu Fehlern. Falls diese Bereiche allerdings bekannt sind, kann man den Fehlereinfluß bei der Formatkonversion deutlich verringern. In der vorliegenden Arbeit werden ein Algorithmus und eine wenig aufwändige Hardware vorgestellt. Die Hardware besteht aus sechs FPGAs von XILINX und einer Reihe von Standardbausteinen und detektiert zuverlässig auch in kritischen TV-Bildsequenzen periodische Strukturen in Echtzeit.

/157/ S. Pastoor, **Human factors of 3D imaging: Results of recent research at Heinrich-Hertz-Institut Berlin**, Proc. of 2nd International Display Workshop, Vol 3, Asia Display & IDW '95 Conference, Hamamatsu, 16-19 October 1995, (invited paper).
Kurzfassung: A decade ago, a future 3D imaging system was conceived at Heinrich-Hertz-Institut (HHI). Basic features included autostereoscopic display with "look-around" capability and data compression based on disparity-compensated prediction and irrelevance reduction. The initial application target was television. Later on, the scope of research was extended to video communications and multimedia applications. This paper is focussing on recently completed human factors studies. Topics are: 3D-display specifications (minimum size, exploitable range of stereoscopic depth, cross talk, tradeoff between flipping and cross talk in multiview displays), data compression issues (spatio-temporal cut-off frequencies of depth perception, binocular masking, visual resolving power for half occluded regions in stereoscopic images), and 3D image analysis and generation (intermediate views for motion parallax, eye contact in video communication).

/158/ J. Liu, I.P. Beldie, M. Wöpking, **A computational approach to establish eye-contact in videocommunication**, Proc. of International Workshop on Stereoscopic and Three Dimensional Imaging, IWSDI '95, Santorini, 6-8 September 1995.
Kurzfassung: In videoconferencing the interlocutors usually can not experience eye contact. This paper describes an image analysis and synthesis method for constructing images of virtual cameras at intermediate positions between three real cameras. Special emphasis lies on the treatment of occlusions and on the smoothing of temporal disparity fields in image sequences. The method has been tested in simulated videoconferencing sessions where the establishment of true eye contact could be shown. A short description of the image processing approach and of a human factors experiment on the subjective effect of images of virtual cameras is given.

/159/ J. Liu, **Stereo image compression - the importance of spatial resolution in half occluded regions**, Proc. SPIE, Vol. 2411, San Jose, 6-8 February 1995.
Kurzfassung: This paper reports on the visibility of spatial details located in those regions of a stereo pair which are seen by one eye only. In normal viewing, these regions correspond to areas of a scene which are occluded by nearer objects for one eye or the other - so called half occluded regions (or monocular regions). We assumed that the resolving power of human vision in binocular regions would be higher than that in half occluded regions because of the effect of binocular summation. If it were true, high spatial frequency components in half occluded regions could be reduced without impairment of the subjective image quality. A comparison test of the visual resolving power for (spatially) low-pass filtered and non-filtered patterns in half occluded regions was carried out. The experiment showed, however, that any impairment visible in binocular regions was also visible in half occluded regions. Thus the assumption has been falsified and for the purpose of stereo image coding no irrelevant data elimination can be carried out in half occluded regions.

/160/ M. Wöpking, **Viewing comfort with stereoscopic pictures – an experimental study on the subjective effects of disparity magnitude and depth-of-focus**, Journal of the SID, 3 (3), pp.101-103, 1995.
Kurzfassung: A wide range of binocular disparity (0 to 140 minarc) and depth-of-focus (DOF) conditions (resolution of non-fixated motif: 1 to 23 cpd) were presented via stereoscopic slides to 12 non-expert subjects. Viewing comfort was evaluated by a standardized assessment procedure (CCIR Recommendation 500). Results confirm the traditional threshold of 70 minarc for disparities. Larger disparities lead to a marked drop in comfort ratings, unless critical parts of the image are heavily blurred. In this case, even disparities of 140 minarc are tolerated. Picture brightness was also varied (47 vs. 17 cd/m^2), but had no influence. High consistency of observed response patterns suggests a stable perceptual mechanism. To overcome depth limitations of stereoscopic displays, an adaptive depth-of-focus approach is suggested.

/161/ M. Böcker, **Symbols for point-to-point videotelephony functions**, Computer Standards & Interfaces 17, 1995, S. 359-362.
Kurzfassung: Videotelephony and videoconferencing functions are more and more frequently becoming part of CSCW (computer-supported co-operative work) and multimedia systems. Using standardised symbols for the controls of videocommunications functions potentially enhances the usability of such systems. The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) has published a European Telecommunications Standard which defines eight symbols for videotelephony functions, namely Telephone/videophone mode, Camera transmission on/off, Microphone transmission on/off, Selfview on/off, Still picture on/off, Document camera on/off, Handsfree on/off, and Loudspeaking on/off. These eight symbols are also recommended for use on graphical user interfaces.

/162/ M. Böcker, W. Blohm, E. Feddersen, K. Hopf, L. Mühlbach, A. Prussog, V. Tietje, D. Runde, **On the reproduction of motion parallax in videocommunications**, Proc. of the 15th International Symp. on Human Factors in Telecommunications (Melbourne, Australia), 1995, S. 243-250.
Kurzfassung: This paper addresses the question whether reproducing motion parallax increases the extent of telepresence in videocommunications. Motion parallax is defined as the change of the view due to the observer's movements. It was hypothesised that reproducing motion parallax (a) leads to more precise depth judgements by providing further depth cues, (b) allows interactive viewing, i.e. the observer can actively explore the visual scene by changing his/her position, and (c) compensates for stereoscopic "apparent movements". In a Human Factors study, two videoconferencing set-ups providing motion parallax (one stereoscopic and one monoscopic version) were compared with two set-ups (monoscopic and stereoscopic) without motion parallax. Each set-up was used and rated by 32 subjects. The results supported the hypotheses only in part. Even though there was some evidence for more "spatial presence" and for a greater explorability of the scene through motion parallax, the compensation of apparent movements could not be achieved.

/163/ M. Böcker, D. Runde, L. Mühlbach, **On the reproduction of motion parallax in videocommunications**, Proc. of the HFES 39th Annual Meeting (San Diego, USA), 1995, Vol. 1, S. 198-202.
Kurzfassung: The paper addresses the question whether reproducing motion parallax increases the extent of telepresence in videocommunications. Motion parallax is defined as the change of the view due to the observer's movements. It was hypothesized that reproducing motion parallax (a) leads to more precise depth judgements by providing further depth cues, (b) allows 'interactive viewing', i.e. the observer can actively explore the visual scene by changing his/her position, and (c) compensates for stereoscopic "apparent movements". In a Human Factors study, two videoconferencing set-ups providing motion parallax (one stereoscopic and one monoscopic version) were compared with two set-ups (monoscopic and stereoscopic) without motion parallax. Each set-up was used and rated by 32 subjects. The results supported the hypotheses only in part. Even though there was some evidence for more "spatial presence" and for a greater explorability of the scene through motion parallax, the compensation of apparent movements could not be achieved.

/164/ K. Hopf, D. Runde, E. Feddersen, **Gesichtspunkte beim Einsatz stereoskopischer Videotechniken**, Fernseh- und Kino-Technik, 49. Jahrgang, Nr. 4, 1995, S. 175-182.
Kurzfassung: Am Heinrich-Hertz-Institut wurden Bildsysteme entwickelt, die dem Betrachter durch die Verwendung von 3D-Techniken ein Höchstmaß an Telepräsenz, d.h. das Gefühl "vor Ort" zu sein, vermitteln können. Ein Ziel dieser Arbeiten war es, den Nutzen einer stereoskopischen Bilddarstellung bei Videokonferenzen zu ermitteln. Bei den Experimenten ergaben sich zahlreiche Hinweise, die auch für andere Anwendungen stereoskopischer Techniken bedeutsam sind.

/165/ L. Mühlbach, M. Böcker, A. Prussog, **Telepresence in videocommunications: A study on stereoscopy and individual eye contact**, Human Factors 37, No. 2, 1995, S. 290-305.
Kurzfassung: We conducted two experiments to investigate how stereoscopy and technologies that allow individual eye-contact affect the impression of telepresence in videoconferencing. Telepresence is defined as the degree to which participants of a tele-meeting get the impression of sharing space with the remote site. Results revealed, among other things, that stereoscopy increases telepresence and makes videoconferencing more attractive. In addition, we found that reduced eye-contact angles enhance the recognizability of individually addressed nonverbal signals. However, a set-up that eliminates horizontal and vertical eye-contact angles seems to be advantageous only in conferences with more than two persons per site.

/166/ L. Mühlbach, A. Prussog, M. Böcker, **HDTV-Videokonferenzen: Was bringen höhere Auflösung und 16:9-Bildformat dem Nutzer?** Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Heft 5, 1995, S. 30-39.
Kurzfassung: Im Rahmen von Nutzeruntersuchungen wurde überprüft, welche Vorteile HDTV-Techniken bei Videokonferenzen bieten. Es stellte sich u.a. heraus, daß die Personendarstellung weder von der höheren Auflösung noch vom 16:9-Bildformat nennenswert profitierte. Bei der Darstellung von Objekten wurden die Effektivität bei der Aufgabenbewältigung und die von den Versuchspersonen prognostizierte Akzeptanz durch die HDTV-Auflösung gegenüber einer TV-Auflösung signifikant erhöht. Sowohl unter HDTV- als auch unter TV-Bedingungen stellte sich die Darstellung der Konferenzteilnehmer in natürlicher Größe als empfehlenswert heraus.

/167/ D. Runde, M. Böcker, L. Mühlbach, **Stereoskopische Bildtechniken für Multimedia-Anwendungen am Beispiel 3D-Videokonferenzen**, ITG-Fachbericht 136, VDE-Verlag, 1995, S. 227-232.
Kurzfassung: Von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz von Multimedia-Anwendungen sind die Qualität der Informationsdarstellung und die Gestaltung des Endgeräts hinsichtlich der Benutzeroberfläche für die Bedienfunktionen. Die Stereoskopie kann die Nutzungsbereitschaft entscheidend fördern: Videokommunikation und Weiterbildung werden, ebenso wie Spiele, durch die räumliche Darstellung attraktiver und interessanter. Aber auch unter Leistungsgesichtspunkten verspricht der Einsatz der Stereoskopie Fortschritte: Komplizierte Objekte (z.B. im Rahmen von Schulungen; bei elektronischen Fachbüchern) können durch eine räumliche Darstellung

besser erkennbar gestaltet und dadurch Zusammenhänge leichter verständlich gemacht werden. Im folgenden sollen Bildwiedergabe- und Fernzeigetechniken näher betrachtet werden.

/168/ D. Runde, M. Böcker, A. Suwita, **Stereoscopic telepointing in videocommunications**, Proc. of the 15th International Symp. on Human Factors in Telecommunications (Melbourne, Australia), 1995, S. 235-242.
Kurzfassung: Stereoscopic telepointing to be employed inter alia in co-operative telework applications yields many benefits but also poses a number of problems addressed in a study with 96 subjects under four different conditions. For two conditions, 3D-input devices were designed implementing different input metaphors. The 'Light Beam Metaphor' is analogous to pointing to objects with a slide show pointer or laser pointer. The 'Reference Space Metaphor' provides the users with the possibility of pointing to details of an object in such a way as if a re-sized model of the object was present in front of them and within reach of their hands. The other two conditions were stereoscopic and monoscopic control conditions without pointers. The subjects' task was to identify differences between a remote and a local object within a limited time. The results show that the Light Beam Metaphor pointer was easier to handle and conformed to a larger degree to the users' expectations, whereas the Reference Space Metaphor pointer received better subjective ratings on efficiency and telepresence. However, no differences could be found concerning the objective efficiency (i.e. performance in the task). The analysis of the results of all four conditions established the benefits of 3D over 2D representations for object-oriented communicative situations in terms of appeal and the impression of depth.

/169/ D. Runde, S. Yano[45], **On the gain of stereoscopic motion parallax reproduction systems**, Technical Report of IEICE, HC94-92, 1995, S. 41-46.
Kurzfassung: This paper deals with the reproduction of stereoscopic motion parallax focusing on the ratio of camera movement to head movement ("gain of motion parallax control"). Within the framework of a Human Factors study the experimental task of test subjects was to adjust the gain of motion parallax to perceive a stable and natural stereoscopic image. Earlier experiments at HHI had shown some deviations from theory which says that, in order to perceive an undistorted stereoscopic space and in order to avoid apparent movements, the gain has to be 1. The influence of delay time, which may play a major role especially with satellite links, on the preferred gain was examined as well. No clear dependency of the adjusted gain on delay time could be found. However, the assessed stability of the displayed scene decreased with increasing delay times.

/170/ D. Ruschin, J. Faber, **Visual sensitivity function measurement based on signal detection theory**, Conference on Visual Perception, Tübingen, Germany 1995.
Kurzfassung: Visual sensitivity functions based on flicker and pattern thresholds, which are attributed to transient and sustained visual channels respectively, are similar in shape, but show a nonuniform difference across the spatio-temporal frequency domain. Therefore using only absolute threshold measurements an overall sensitivity function integrating the responses of the hypothetical channels can hardly be determined. As an alternative - employing a signal detection paradigm (SDP) - we gathered comparative judgements concerning the apparent contrasts of suprathreshold flickering gratings. The measurement data indicate an overall transfer function with a peak value at about 3 c/deg and 20 Hz and roughly the shape to be expected from the known shapes of the channel sensitivities. Although currently there are not enough data available to compare our SDP based differential sensitivity function with other results quantitatively, we conclude that our method is well suited if the use of suprathreshold stimuli and criterion-independent measurements are important.

/171/ K. Chantelau, **Motion segmentation by the human visual system in case of accelerations**, PCS '96, March 96, Melbourne, Australia, zur Veröffentlichung angenommen.
Kurzfassung: The visual system is able to perform motion segmentation in case of bandlimited image sequences. Retinal signal processing is applied to profit by this performance in view of content dependent image processing in technical systems. To model motion segmentation by the visual system we developed spectral representations where temporal filtering is performed along trajectories of motion. Bandlimited visual segments are represented by moving Gabor functions with similar values of their motion parameters, where velocity and acceleration have to be considered as well.

45 ATR Human Information Processing Res. Labs., Kyoto, J

Berichte

/172/ B. Borchert[46], J. Buus[47], B. Verbeek[48], R. Baets[49], B. Broberg[50], W. Warzanskyj[51], T. Reid[52], G. Sztefka, **Report on modelling support**, R2069, UFOS, July 1995.
Kurzfassung: Die "mode expansion propagation method" ist eine kürzlich entwickelte Simulationstechnik. Im Gegensatz zur "beam propagation method" mit ihrer paraxialen Näherung, ist bei der Bidirektionalen Eigenmoden Propagation (BEP) im Prinzip keine Näherung notwendig um Mehrfachreflexionen und große Brechzahlsprünge zu handhaben. Vorwärts- und Rückwärts-Propagation durch longitudinal invarianten Wellenleitern wird durch eine Matrixmultiplikation berechnet, unabhängig von der physikalischen länge. Beliebige Wellenleiterstrukturen teilt man in stückweise konstante Scheiben. Die Systemmatrix beschreibt das physikalische Verhalten der ganzen Struktur und wenn sie einmal bekannt ist, läßt sich die Reflexion und Transmission für jede anregende Feldverteilung mit nur zwei Matrixgleichungen berechnen (eine für TE und eine für TM). Mit der Implementierung der TM-Polarisation konnte die Facetten-Reflexion eines gespaltenen Verstärkerchips für beide Polarisationen berechnet werden. Weitere Untersuchungen an Entspiegelungsschichten (AR-coatings) und Fenster-Regionen (window region) zur Reduzierung der Reflektivität wurden durchgeführt.

/173/ E.-J. Bachus, T. Almeida[53], P. Demeester[49], G. Depovere[48], A. Ebberg[46], M. Ferreira[53], G.D. Khoe[54], O. Koning[55], J.R. Rawsthorne[52], N. Wauters[49], **Fourth R2065 Report on COBRA - Flexible Broadband Networks**, Application of the COBRA Demonstrators and Global Trends in Telecommunication, September 1995.
Kurzfassung: The 4th COBRA Report is the last one of a series of four non-confidential annual deliverables. This year's issue deals mainly with the four demonstrators of COBRA, their impact on networks and their application. Three of the demonstrators represent single-hop networks for local area application, which are considered to become important in future business customer networks. One of the trials, the so-called RENO demonstrator represents a multi-hop wide area network with the application of providing optical paths in crossconnected global core networks. These network issues are investigated in more detail. The effort of COBRA in developing high capacity networks are well in line with the current global trends in communication as shown in a separate chapter. The report concludes with some individual statements of the partners in a chapter on "What we have learned". Since this report is a September deliverable, all final results of the evaluation of the demonstrators could not yet be included.

/174/ J. De Lameillieure, **Statistical processing of the results of the subjective assessments on encoder optimisation**, technisches Dokument des RACE-Projekts "HAMLET", R2110/ZP2/I/HHI/13, Juli 1995.
Kurzfassung: This document describes the results of the statistical processing of the subjective tests that have been organised in November '94 by the HAMLET subgroup WP2. The tests have been organised according to the double stimulus test with a continuous quality scale (DSCQS) of ITU-R Recommendation 500. The statistical processing rejects inconsistent votes of individual test persons, it rejects occasionally all votes of a single test person if his votes are systematically deviating from the group. Finally a ranking of the algorithms under test is calculated based on the statistical significance of the measured quality differences.

/175/ J. De Lameillieure, M. Zhou, D. Zier, **Results of the ADTT simulations at the HHI,** Technisches Dokument des RACE-Projekts "HAMLET", R2110/ZP2/I/HHI/13, Juli 1995.
Kurzfassung: Within the framework of EUREKA ADTT, two main broadcast scenarii have to be compared in order to contribute to the work of DVB on the introduction of digital HDTV. These two possible systems, simulcast and embedded, have to be compared in psycho-visual experiments, based on software simulations. This text reports on the ADTT simulations of MPEG coding carried out at the Heinrich-Hertz-Institut Berlin.

/176/ W. Liebsch, J. De Lameillieure, **Scalable video transport stream for compliance tests**, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG-95/337, Dallas, November 1995.
Kurzfassung: In the MPEG-2 compliance Draft International Standard of March '95, a number of systems bitstreams have been foreseen to test compliance. This document describes the particular bitstream that is intended for testing the demultiplex of a transport stream with a base layer (MP@ML) and an SNR scalable enhancement layer.

/177/ T. Sikora, S. Rauthenberg, **SADCT software distribution,** European COST211^{ter} Video Simulation Research Group, Doc. No. SIM(95)33, Belgium, May 1995.
Kurzfassung: To achieve many of the new content based functionalities currently discussed in MPEG4, the coding of texture information in image segments of arbitrarily shape becomes increasingly important. HHI has already presented the shape-adaptive DCT algorithm (SA-DCT) and has now released an ANSI C-Code version of this algorithm as Freeware.

46 Siemens AG, München, FRG
47 GPL, U.K.
48 Philips Res. Labs., Einhoven, NL
49 IMEC, B
50 IMC, S
51 Telefonica, E
52 GMMT, UK
53 CET, P
54 TU Eindhoven, NL
55 KPN Research, NL

/178/ T. Sikora, S. Bauer, B. Makai, **Efficiency of shape-adaptive transforms for coding arbitrarily shaped image segments**, European COST211^{ter} Video Simulation Research Group, Doc. No. SIM(95)12, Germany, March 1995.
Kurzfassung: In this paper we introduce a formula to compute an optimum 2-D shape-adaptive Karhunen-Loeve Transform (KLT) suitable for coding pels in arbitrarily-shaped image segments. The efficiency of KLT on a 2-D AR(1) process is used to benchmark two other shape-adaptive transforms described in literature.

/179/ T. Sikora, S. Rauthenberg, **Distribution of C-code for low complexity shape-adaptive DCT algorithm**, ISO-MPEG (Moving Picture Experts Group), Doc. MPEG 95/51, Lausanne, March 1995.
Kurzfassung: To achieve many of the new content based functionalities currently discussed in MPEG4, the coding of texture information in image segments of arbitrarily shape becomes increasingly important. HHI has already presented the shape-adaptive DCT algorithm (SA-DCT) and has now released an ANSI C-Code version of this algorithm as Freeware.

/180/ A. Smolic, T. Sikora, **Steady-state Kalman-filtering for prediction and global motion parameter tracking of segments in video**, European COST211^{ter} Video Simulation Research Group, Doc. No. SIM(95), France, September 1995.
Kurzfassung: The implementation of a steady-state Kalman filter suitable for tracking the movement of rigid 2-D segments in video sequences is presented. First results indicate that the algorithm may very well be applied for diverse problems frequently encountered in the analysis and coding of segmented video.

/181/ P. Kauff, **HDTV-Codierung für die ATM-Übermittlung** (ab 1.1.1993: **Intelligente Codierverfahren für Bildkommunikation und Multimedia**), Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 01 TK 451 (ab 1.1.1993: 01 BK 901), HHI, April 1995.
Kurzfassung: In den letzten Jahren hat sich die Digitalisierung von Videodiensten und die Konzeption leistungsfähiger Bildkompressionsverfahren zum wichtigen Schwerpunkt weltweiter Forschungs- und Standardisierungsbemühungen entwickelt. Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt für diverse Anwendungsgebiete Verfahren zur HDTV-Codierungen untersucht. Während sich die ersten Projektaktivitäten hauptsächlich auf die ATM-Übertragung von HDTV-Signalen konzentrierten, rückte in den letzten zwei Jahren die Multimediaanwendung in den Vordergrund der Projektzielsetzung. In diesem Zusammenhang wurden während der Projektlaufzeit im einzelnen die folgenden Arbeiten auf Simulationsbasis durchgeführt: Entwurf von separierbaren und nicht-separierbaren Strukturen zur Teilbandzerlegung, Entwicklung von SBC- und VBR-Codecs für die ATM-Übertragung, Konzeption eines hybriden Ansatzes zur objektbasierten Analyse-Synthese-Codierung, Entwicklung eines Verfahrens zur objektbezogenen Szenensegmentierung, Implementierung von Algorithmen zur modellgestützten Bildanalyse und -synthese. Diese Arbeiten wurden teilweise in enger Kooperation mit den europäischen Forschungsprojekten EUREKA-95, EUREKA-625 (VADIS), COST206 und COST211ter sowie den ISO/IEC-Arbeitsgruppen MPEG-2 und MPEG-4 durchgeführt.

/182/ S. Rauthenberg, **SADCT programmer's guide**, attached to ISO/IEC JTC/SC2/WG11 MPEG 95/51, Lausanne, March 1995.
Kurzfassung: To achieve many of the new content based functionalities currently discussed in MPEG-4, the coding of texture information in image segments of arbitrary shape becomes increasingly important. In this context HHI has proposed a Shape-Adaptive Discrete-Cosine Transform (SA-DCT) as a basic tool of object-based and functional coding. In addition, HHI has also released a ANSI C-code version of SA-DCT as freeware software to be requested by e-mail. In this context the attached SA-DCT Programmer's Guide provides detailed information on the algorithm as well as on implementation and application aspects.

/183/ S. Rauthenberg, **Software toolbox for object based coding**, COST211ter document SIM(95)30, Louvain, May 1995.
Kurzfassung: The purpose of this contribution is to describe the interface of software tools suitable to implement an object-based coding system. The coding scheme proposed can be seen as an extension of current COST211ter SIMOC Testmodel towards coding of generic video sequences with potential MPEG/H.261/H.263 backward compatibility. The toolbox contains software modules to perform shape-adaptive transform (SA-DCT), to segment the prediction error and to predict a foreground segment as well as an efficient method to encode the background segment. HHI will make the source code and possibly precompiled libraries for a limited number of UNIX platforms available to interested COST and MPEG participants.

/184/ HHI Berlin/COST211ter, **Segmentation based coding scheme for object scalable and quality scalable coding of video**, Technical description of HHI/-COST211ter Proposal for MPEG-4 1995 Tests, October 1995.
Kurzfassung: This document presents the official HHI contribution to the MPEG-4 November test. Some components of this proposal have been developed in close cooperation with the European research project COST211ter. The proposal consists of a segmentation-based coding scheme addressing the test subjects "object scalability" and "quality scalability" for all sequence classes under inspection. It achieves the scalability features above along with good compression performance and supports several functionalities, such as generic cod-

ing of video, coding of arbitrarily shaped images, backward compatibility to conventional MPEG standards, contour coding related to flexible image segments and extendibility to object- or model-based coding.

/185/ S. Pastoor, **D-Techniken für Fernsehen und Bildkommunikation**, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 01BK101, HHI Berlin, 31. März 1995.
Kurzfassung: In diesem Projekt wurden Anforderungen an 3D-Displays in subjektiven Bewertungsexperimenten bestimmt (Mindest-Bildgröße, nutzbarer stereoskopischer Tiefenbereich, Zusammenhang zwischen Bildspringen und Übersprechen bei Multiview-Displays). Darüber hinaus wurden Grundlagen für eine erweiterte Datenkompression bei der Quellencodierung von 3D-Bildsignalen geschaffen. In diesem Zusammenhang wurden bestimmte Eigenschaften des Gesichtssinns (örtliche und zeitliche Grenzfrequenzen der binokularen Tiefenwahrnehmung, binokulare Maskierungseffekte, Auflösungsvermögen bei monokular sichtbaren Bildbereichen) untersucht und im Hinblick auf Anwendungen bei der Irrelevanzunterdrückung bewertet. Ein weiterer Projektteil befaßte sich mit der Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur 3D-Bildanalyse und -synthese. Mit diesen Verfahren wurden Zwischenansichten für 3D-Multiview-Displays berechnet (zur Wiedergabe von Bewegungsparallaxe). Eine weitere, in diesem Projekt erstmals erprobte Anwendung der entwickelten Verfahren ist die Herstellung eines individuellen Blickkontaktes zwischen den Teilnehmern einer Multipoint-Videokonferenz. Eine virtuelle Kamera wird dabei so auf dem Bildschirm positioniert, daß sie mit der Augenposition des dargestellten Konferenzteilnehmers übereinstimmt. Die Wirkungsamkeit dieser Methode im Vergleich zur konventionellen Technik mit einer oberhalb des Bildschirms angebrachten realen Kamera konnte mit off-line berechneten Bildsequenzen nachgewiesen werden.

/186/ J. Faber et al., **Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten**, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 01BK203/8, HHI, Berlin 1995.
Kurzfassung: Es wurde untersucht, in welcher Weise das örtliche Auflösungsvermögen des visuellen Systems von kinematischen Parametern von mit dem Blick verfolgten Objekten abhängt. Dabei wurde in zwei Schritten vorgegangen. Zunächst wurde ein Modell erstellt, welches Fehler bei der Blickverfolgung in Abhängigkeit von den Geschwindigkeits-Zeitverläufen bewegter Objekte hinreichend genau wiedergibt. Hierzu wurde eine Meßeinrichtung aufgebaut, welche die Beibehaltung natürlichen Blickverhaltens erlaubt und deren zeitliche Auflösung ausreicht, selbst schnelle Augenbewegungen (Sakkaden) aufzulösen.
Zur Klärung, welche momentane visuelle örtliche Auflösung sich für jedes in der Bildfolge dargestellte Objekt bei ungenauer Blickverfolgung ergibt, wurde die Gewichtsfunktion des visuellen Systems für örtlich-zeitliche Leuchtdichteverteilungen ermittelt. Hierzu wurde eine Filterstruktur aus plausiblen Annahmen aufgestellt. Diese Struktur wurde an neu erhobene Meßwerte des Betrags der Übertragungsfunktion des visuellen Systems angepaßt. Die Messung erfolgte unter Einsatz der Signal-Entdeckungstheorie, mit der sich eine kritische Überprüfung der mit bisherigen Methoden erhobenen Meßwerte durchführen ließ.
Die Projektergebnisse lassen sich zur Irrelevanzreduktion anwenden, indem die Quantisierung der Amplituden von Ortsfrequenzspektren der Bildvorlage inhaltsabhängig gesteuert wird. Auf dieser Grundlage wurde ein Anwendungskonzept zur Datenkompression von I-frames des MPEG 2-Verfahrens simuliert.

Patentanmeldungen

/187/ E. Pawlowski, **Maske zur 3D-Strukturierung und Verfahren zu ihrer Herstellung**. Amtl. Aktenzeichen DE 195 02 624.1, AT: 19.01.1995.
Kurzfassung: Eine Maske zur 3D-Strukturierung ist als dreidimensionale Amplituden- und/oder Phasenmaske ausgebildet. Auf einem Maskenträger ist mindestens eine dünne absorptive Schicht und/oder mindestens eine dünne transparente Schicht angeordnet, und mindestens die oberste Schicht ist dreidimensional strukturiert. Durch die Beeinflussung der Lichtamplitude und/oder Phase ist die dreidimensionale Maskenstruktur in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar.

/188/ E. Schulze, **Einrichtung zur Synthese räumlich wirkender Bilder**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 02 643, AT: 28.01.1995.
Kurzfassung: Die Bildspeichervorrichtung ist mit einem den Beleuchtungsstrahl ablenkenden Beugungsgitter versehen. Das Beugungsgitter weist jeweils Abschnitte eines Perspektivbildstreifens zugeordnete Gitterabschnitte mit derart eingerichteten Gitterkonstanten auf, daß die einem Perspektivbild zugeordneten Perspektivbildstreifen in einer den Aufnahmewinkeln der abgespeicherten Perspektivbilder entsprechenden Abfolge angeordneten Austrittspupillen in jeweils der gleichen Beugungsordnung gebeugt sind. Die Synthese der Bilder erfolgt damit unmittelbar aus Perspektivbildern ohne einen fotografischen Zwischenschritt.

/189/ H. Engel, R. Steingrüber, **Verfahren zur Herstellung von optischen Übergitterstrukturen mittels Elektronenstrahllithographie**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 06 880.7, AT: 17.02.1995.
Kurzfassung: Die Herstellung von Gittern mit sich in wiederholten Bereichen kontinuierlich verändernden Gitterperioden ist verbunden mit Linien- oder Punktabstandsänderungen im Sub-A-Bereich. Dieses wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß ein sich aus der Distanz und der Häufigkeit der Übergitterperioden zusammengesetztes Grundmuster, wiederholt mittels Elektronenstrahls in einen Lack eingeschrieben wird.

/190/ G. Przyrembel, **Optisch breitbandiger Spektrograph hoher Auflösung in planarer Mikrotechnik**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 06 814.9, AT: 27.02.1995.
Kurzfassung: Es wird ein Spektrograph hoher Auflösung (besser 0.1 nm) vorgestellt, welcher trotzdem einen breiten Wellenlängenbereich erfassen kann. Er arbeitet mit mindestens zwei effektiv als Gitter wirkenden phase-array Strukturen, welche in der Ordnung und damit Wellenlängenselektivität stark unterschiedlich ausgelegt sind. Die phase-array Strukturen lenken das Licht unter je einem von der Wellenlänge abhängigen Winkel auf ein und dieselbe Photodiodenzeile. Eine stapelförmige Anordnung der phased-Arrays wird ebenfalls vorgeschlagen. Eine Auswerteelektronik verarbeitet die von der Diodenzeile kommenden Signale und bringt die gemessenen Wellenlängen numerisch bzw. grafisch zur Anzeige.

/191/ R. Börner, **Autostereoskopischer 3D-Bildschirm für Rückprojektion mit Streifenrasterplatten-Tracking**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 08 064.5, AT: 27.02.1995.
Kurzfassung: Zur Nachführung bei Positionsänderung des Betrachters bleibt die Position des Stereoprojektors gegenüber der Mattscheibe erhalten, hingegen werden die projektor- und/oder die betrachterseitige Rasterplatte (Streifen- oder Linsenrasterplatte) frontal und/oder planparallel zur Mattscheibe verschoben und damit die strahlenoptischen Verhältnisse verändert.

/192/ R. Börner, **Autostereoskopisches Bildschirmgerät für 2 Personen mit Linsen- bzw. Streifenraster bei voller Teilbildauflösung und optionalem Tracking**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 07 857.8, AT: 27.02.1995.
Kurzfassung: Für das linke und das rechte Stereo-Teilbild ist jeweils eine von zwei rechtwinklig zueinander stehenden Bildschirm/Rasterplatten-Einheiten vorgesehen, zwischen denen unter 45° ein halbdurchlässiger Spiegel die Teilbilder den Augen eines - ersten - Betrachters reflektiv/transmissiv und ein zweiter, 100 % reflektierender Spiegel, im wesentlichen senkrecht zum halbdurchlässigen Spiegel stehend, diese Teilbilder den Augen eines zweiten Betrachters transmissiv/reflektiv zuführt.

/193/ H.-M. Foisel, N. Heimes, **Faserbiegevorrichtung zur Einstellung der optischen Einfügungsdämpfung**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 09 679.7, AT: 07.03.1995.
Kurzfassung: Die Faserbiegevorrichtung weist einen beliebigen Drehwinkel einstellenden und in den Endstellungen leistungslos haltenden Antrieb auf (Schrittmotor bzw. in einem Elektromagneten drehbar gelagerten stabförmigen Permanentmagneten), der eine definierte Krümmung einer primärbeschichteten Faser realisiert.

/194/ W. Ebert, P. Wolfram, **Vorrichtung zur Herstellung von Halbleitermaterialien**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 10 853.1, AT: 17.03.1995.
Kurzfassung: Eine Filtereinheit ist ganz dicht hinter dem Beschichtungsreaktor angeordnet und als Kühlfalle ausgebildet. So gelangen alle Zersetzungsprodukte in die Filtereinheit und lagern sich in dieser Kühlfalle ab. Hochtoxische Gase werden wegen der relativ geringen Kühltemperatur unbeeinflußt in eine Gaswaschanlage weitergeleitet. Die Verhinderung von Ablagerungen vor der Filtereinheit wird unterstützt durch eine Beheizung der Verbindung zwischen dem Beschichtungsreaktor und der Filtereinheit, die ein Diffusionsgefälle zwischen beiden bewirkt.

/195/ W. Ebert, P. Wolfram, **Vorrichtung zur Durch-**

führung von Manipulationen an einem Objekt unter Reinraumbedingungen. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 10 857.4, AT: 17.03.1995.
Kurzfassung: Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine zusätzliche Staubabsaugvorrichtung auf, bei der ein flexibler Schlauchabschnitt an den Saugstutzen des Kreislaufsystems angeschlossen ist. Aufgrund seiner düsenförmigen Verengung können durch den bewirkten Düseneffekt mit der gelenkten Abgasströmung auch gröbere Verunreinigungen aus dem gesamten Behälterinnenraum und zusätzlich Arbeitsräumen an einem zwischen dem Saugstutzen und dem Schlauchabschnitt angeordneten Filter einfach abgeschiedne werden.

/196/ B. Sartorius, M. Möhrle, U. Feiste, J. Hörer-Dragendorf, **Selbstpulsierender Mehrsektionslaser**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 13 198.3, AT: 31.03.1995.
Kurzfassung: In einem selbstpulsierenden Mehrsektionslaser, der zwei DFB-Sektionen aufweist, ist ein aus zwei Reflektoren und einem Distanzstück gebildeter Fabry-Perot-artiger Resonator in den Mehrsektionslaser integriert und mit mindestens einer DFB-Sektion optisch gekoppelt. Das Distanzstück weist eine ähnliche Schichtstruktur wie die benachbarten DFB-Sektionen auf, jedoch kein DFB-Gitter, und ist als elektrisch von den DFB-Sektionen getrennt betreibbare Steuersektion ausgebildet.

/197/ H.-P. Nolting, M. Gravert, **Digitaler optischer Schalter.** Amtl. Aktenzeichen: DE 195 13 319.6, AT: 03.04.1995.
Kurzfassung: In der zentralen Region eines aus asymmetrischen, adiabatisch gekoppelten Wellenleitern aufgebauten Schalters führt eine zusätzliche, elektro-optisch steuerbare Gitteranordnung zu einer Anpassung von Amplitude und Phase der Wellenleiter-Eigenmoden am Ausgang. Die "Kaskadierung" zweier unterschiedlicher physikalischer Effekte mit jeweils mindestens - 20 dB führt zum Gesamtergebnis des Nebensprechens von besser als - 40 dB.

/198/ C. von Helmolt, U. Krüger, **Optischer Frequenzgenerator**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 14 386.8, AT: 19.04.1995.
Kurzfassung: Ein optischer Frequenzgenerator weist einen optischen Kammgenerator auf, mit dem aufgrund optischer Nichtlinearitäten um eine Mittenfrequenz eine Vielzahl von Seitenbändern erzeugbar ist, deren Frequenzabstände durch die dem Kammgenerator eingespeiste Sendefrequenz eines Frequenzsenders gegeben sind. Die Mittenfrequenz ist über eine Überlagerungseinheit an eine Spektralkomponente einer Referenzlichtquelle einstellbar gekoppelt. Durch Verändern der Differenzfrequenz zwischen der Referenzlichtquelle und der Mittenfrequenz des Kammgenerators sowie durch Verändern der Sendefrequenz des Frequenzsenders ist der Frequenzkamm des Kammgenerators als Ganzes verschiebbar und/oder in seiner Spektralbreite veränderbar. In einer zweckmäßigen Verwendung dient der optische Frequenzgenerator dem Bestimmen von Frequenzkomponenten einer Prüflichtquelle mittels eines Überlagerungsempfängers.

/199/ E. Schulze, **Vorrichtung zum Richtungsschalten von Licht**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 14 782.0, AT: 21.04.1995.
Kurzfassung: Bei einer Vorrichtung zum Richtungsschalten von Licht ist ein Schaltelement vorgesehen, dessen Brechungsindex über elektrisch ansteuerbare Elektroden zwischen einem Transmissionsbrechungsindex und einem Ablenkbrechungsindex schaltbar ist. Bei einem Brechungsindexsprung zwischen dem Brechungsindex eines Eingangsarmes und einer Schaltfläche des Schaltelementes tritt Reflexion und bei Anpassung des Transmissionsbrechungsindex an den Brechungsindex von Eingangsarmen Transmission auf. Das Material des Schaltelementes sind Flüssigkristalle oder ist eine optisch isotrope Flüssigkeit.

/200/ E. Schulze, **Strahlablenkelement**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 14 783.9, AT: 21.04.1995.
Kurzfassung: Bei einem Strahlablenkelement sind zwei Reflektoren vorgesehen, die zueinander einen mit einem Stellelement veränderbaren Neigungswinkel aufweisen und unter einem Eintrittswinkel von einem Eintrittsstrahl beaufschlagt sind. Bei Mehrfachreflexion des Eintrittsstrahles zwischen den Reflektoren tritt eine mit der Anzahl der Mehrfachreflexionen multiplikativ zunehmende Veränderungen des Ablenkwinkels eines Austrittsstrahles gegenüber dem Eintrittsstrahl auf, so daß auch bei kleinen Neigungswinkeln beziehungsweise kleinen Änderungen des Neigungswinkels zwischen den Reflektoren große Ablenkwinkel beziehungsweise Änderungen des Ablenkwinkels erzielt sind. In einer Weiterbildung ist mit einer Ausrichtregeleinheit die Ausrichtung des Reflektors präzise einstellbar.

/201/ R. Schnabel, W. Pieper, **Photonischer Zeitzellenselektor**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 16 262.5, AT: 27.04.1995.
Kurzfassung: Polarisationsunabhängiges Abtasten von optischen Zeitmultiplexsignalen hoher Datenrate - 160 Gbit/s - wird mittels Vierwellenmischung in einem Halbleiterlaserverstärker erreicht.

/202/ R. Schmidt, W. Ebert, **Vorrichtung zur Rückgewinnung und/oder Reinigung von kontaminierten Schmierölen**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 22 596.1, AT: 19.06.1995.
Kurzfassung: Das beim Betrieb von vakuumtechnischen Prozessen als Schmiermittel in Vakuumpumpen eingesetzte Fomblinöl wird zur Kostenersparnis und zur Verringerung von Entsorgungsproblemen aus den Chemiefilterelementen herausgespreßt und in einem druckbeaufschlagbaren Mikrofiltrationsfilter gereinigt und somit wieder aufbereitet.

/203/ H. Heidrich, R. Kaiser, **Optoelektronische integrierte Schaltung**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 22.591.0,

Anmeldetag: 19.06.1995.
Kurzfassung: In WDM-Systemen als MUX, DEMUX, Add-Drop-Transceiver u. dgl. einzusetzende Komponenten sind derart aufgebaut, daß mittels wellenlängenselektiver Reflektoren optisches Übersprechen und mittels Anordnung von Lichtsignalquelle einerseits und Lichtsignaldetektor andererseits auf einander gegenüberliegenden Kopplerseiten elektrisches Übersprechen minimiert werden.

/204/ K. Weich, E. Patzak, R. Eggemann, **Wellenlängen-Konverter**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 25 117.2, AT: 30.06.1995.
Kurzfassung: In einem Wellenlängen-Konverter zur polarisationsunabhängigen regenerativen Frequenzumsetzung wird die zugeführte Lichtwelle mit λ_{in} in einer ersten Stufe durch Kreuz-Verstärkungsmodulation auf eine Lichtwelle mit λ_{int} umgesetzt und einer zweiten Stufe zugeführt, in der λ_{int} die auszusendende Lichtwelle λ_{out} moduliert. Die erste Stufe, die aus einem Halbleiterverstärker und einer Laserlichtquelle besteht, ist mit der zweiten Stufe, bestehend aus einer weiteren Laserlichtquelle und einem Fabry-Perot-Resonator, durch mindestens einen optischen Zirkulator verbunden.

/205/ E. Izquierdo, M. Ernst, **Vorrichtung zur Berechnung der Epipolarlinien eines stereoskopischen Bildes**. Amtl Aktenzeichen: DE 195 33.516.3, AT: 30.08.1995.
Kurzfassung: Für die Bestimmung der Epipolarlinien stereoskopischer Bilder wird ausschließlich die Bildinformation verwendet. Das Verfahren besteht aus zwei hintereinander durchzuführenden Schritten: Für eine kleine Anzahl von Bildpunkten in einem Stereohalbbild werden die korrespondierenden Bildpunkte in dem anderen Stereohalbbild mit hinreichender Genauigkeit geschätzt. Diese Information wird benutzt, um diejenigen Konstanten zu bestimmen, mit denen die Gleichungen der Epipolarlinien eindeutig beschrieben werden können.

/206/ D. Hoffmann, **Optischer Schalter**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 34.523.1, AT: 07.09.1995.
Kurzfassung: Der digitale "2x2"-Schalter ist als Matrix aus vier 2x2-Kopplern aufgebaut. Es werden nur diejenigen Paare der Eingangs- und Ausgangs-Wellenleiter der aus vier 2x2-Kopplern gebildeten Matrix genutzt, die optimale Cross-/Bar-Zustände und somit ein Übersprechen von -40 dB gewährleisten.

/207/ C. van Dam[56], H. Heidrich, M. Hamacher, C. Weinert, **Integrated optical circuit comprising a polarization convertor**. Amtl. Aktenzeichen: EP 95 202.541.9, AT: 20.09.1995.
Kurzfassung: A first and a second device in an integrated optical circuit are connected by a polarization convertor. A curved section in the polarization convertor comprises succeeding curved or curved and straight subsections of a waveguide, integrated in the optical circuit. The conversion ratio is determined partly as well by the radius of curvature of the curved subsections as by the number of transitions between succeeding subsections.

/208/ G. Boerger, S. Pastoor, **Autostereoskopisches Bildwiedergabegerät mit natürlicher Kopplung von Akkommodationsentfernung, Konvergenzentfernung und adaptiver Schärfentiefe**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 37.499.1, AT: 25.09.1995.
Kurzfassung: Die motorisierte Fokuseinstellung des Stereoprojektors sorgt im Zusammenspiel mit einer Feldlinse dafür, daß der Betrachter ein Luftbild des Stereopaares in der Tiefe des momentanen Fixationspunktes wahrnimmt. Augenpunkte und binokulare Blickrichtung werden berührungsfrei gemessen und dienen zur Bestimmung des Fixationspunktes. Durch spezielle Stereobildanalyse- und Syntheseverfahren wird ein Stereopaar mit fixationspunktabhängigem Schärfenverlauf erzeugt.

/209/ K. Peters, **Einrichtung und Verfahren zum Koppeln eines faserförmigen Lichtleiters mit einem optischen Bauteil**. Amtl. Aktenzeichen: 195 36.185.7, AT: 28.09.1995.
Kurzfassung: Ein faserförmiger Lichtwellenleiter wird an ein aktives oder passives optisches Bauteil in einer Einrichtung gekoppelt, bei welcher der faserförmige und federnd biegbare, an einem Ende fest eingespannte Lichtwellenleiter Teil einer durch elastische Verformung schwenkbeweglichen Struktur ist, die sich durch justierbare Stützkörper in zwei unter verschiedenen Winkeln quer zur Längsachse des Lichtwellenleiters verlaufenden Richtungen auslenken läßt. Die Stützkörper bestehen aus zwei in Führungen geradgeführten Stiften und liegen mit ihren Stirnflächen am Lichtleiter unter Vorspannung an. Eingestellte Justage-Positionen sind fixierbar. Die Koppler haben einen kompakten Aufbau, z.B. Variante I: ca. 2,5 cm^3; 15 g/ ca. 5 cm^3; 30 g; Variante II: ca.- 16 mm^3: 80 mg.

/210/ K. Peters, **Justierbank**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 36.173.3, AT: 28.09.1995.
Kurzfassung: Die Justierbank ist das Werkzeug für die Einstellung von Kopplern für einen faserförmigen Lichtleiter mit einem optischen Bauteil gemäß Patentanmeldung 195 36 185.7. Zum Justieren eines einseitig eingespannten, federnd biegbaren faserförmigen Lichtwellenleiters gegenüber einem aktiven oder passiven optischen Bauteil in zur Koppel-Einrichtung in drei Raumrichtungen bezogen auf die Koppel-Einrichtung weist die Justierbank ein Gestell auf, das mit einem Aufspanntisch für die den Lichtwellenleiter justierbar halternde Koppel-Einrichtung versehen und an dem eine Klemmvorrichtung geführt ist, die den zu justierenden Lichtwellenleiter aufnimmt. Weiterhin sind an dem Gestell Längs-Stellmittel angeordnet, die in Längsrichtung des Lichtwellenleiters an der Klemmvorrichtung derart angreifen, daß der Lichtwellenleiter in Längsrichtung von der Klemmvorrichtung gegen eine Rei-

56 Delft University of Technology, NL

bungskraft der Koppel-Einrichtung verschiebbar ist. Schließlich sind an dem Gestell Quer-Stellmittel angebracht, die unter verschiedenen Winkeln quer zur Längsrichtung des Lichtwellenleiters an Justiergliedern der Koppel-Einrichtung angreifen.

/211/ J. F. Kuhmann, R. Burghardt, **Vorrichtung zur flußmittelfreien Kontaktierung von photonischen Komponenten auf einem Substrat**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 39 392.9, AT: 10.10.1995.
Kurzfassung: Die Bond-Vorrichtung mit geringer thermischer Belastung für die zu kontaktierenden Komponenten weist eine flache Vakuumkammer mit einer entfernbaren oberen Quarzglasplatte und einer unteren Quarzglasplatte auf. Die Erwärmung der photonischen Komponenten und des Substrats erfolgt direkt durch fokussierte und genau ausgerichtete Infrarot-Strahlungsheizungen. Die Vorjustage des Hybridmoduls ist über Justagevorrichtungen außerhalb der Vakuumkammer vornehmbar.

/212/ H. Roehle, **Gaseinlaßvorrichtung für eine Beschichtungsanlage.** Amtl. Aktenzeichen: DE 195 40 771.7, AT: 02.11.1995.
Kurzfassung: Eine Gaseinlaßvorrichtung für eine Beschichtungsanlage zur präzisen Einstellung des Gasflusses und von abrupten Flußänderungen umfaßt eine Vorkammer, die über eine von einem Speiseventil verschließbare Speisedrossel mit einer Versorgungsleitung verbunden ist. Über ein Regelventil und eine Regeldrossel ist Gas in die Vorkammer einspeisbar. Da das Regelventil und das Speiseventil die Vorkammer von außen verschließen, ergeben sich bei Schaltvorgängen nur geringe Druckschwankungen in der Vorkammer.

/213/ T. Fuhrmann, H. Engel, **Einem Wellenleiter in einer Polymerschicht überlagertes Gitterfilter und Verfahren zu seiner Herstellung**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 43 057.3, AT: 06.11.1995.
Kurzfassung: Das erfindungsgemäße Gitterfilter wird in einem Polymer als latentes Bild erzeugt, das durch die Überlagerung eines UV-belichtetem Wellenleiter und einem elektronenstrahlbelichteten Gitter entsteht. Die Elektronenstrahlbelichtung verändert den Brechungsindex in ausreichender Weise, eine Entwicklung des latenten Bildes ist nicht notwendig. Der Patterngenerator für die Elektronenstrahllithographie-Anlage gestattet die Herstellung von Gittern für nahezu beliebige Filtercharakteristiken.

/214/ J. Saniter, Th. Hermes, **Optisches Frequenzmultiplexsystem.**. Amtl. Aktenzenzeichen: DE 195 43 044.1, AT: 06.11.1995.
Kurzfassung: In Kanalbelegungsschemata optischer Frequenzmultiplexsysteme mit Heterodyneempfängern sind die Positionen der Kanäle vorgegeben. Sind die Frequenzabstände zwischen benachbarten Kanälen konstant (d=IF+fb mit IF=Zwischenfrequenz), wird die zur Verfügung stehende begrenzte Bandbreite nicht optimal ausgenutzt. Die Kanalzahl läßt sich maximal verdoppeln, wenn jeweils zwischen zwei benachbarten Kanälen abwechselnd unterschiedliche Kanalabstände d1 und d2 definiert werden, mit z.B. d1 = IF und d2 = fb.

/215/ H.H. Yao, N. Keil, C. Zawadzki, **Thermooptischer (2x2)-Schalter**. Amtl. Aktenzeichen: DE 195 49 245.5, AT: 19.12.1995.
Kurzfassung: Zur Verringerung des Leistungsverbrauchs und des Übersprechens bei der Vermittlung von breitbandigen optischen Signalen ohne vorherige Umwandlung in elektrische Signale sind in einem thermo-optischen Schalter zwei über ihre Wechselwirkungslänge dicht benachbart verlaufende Wellenleiter mindestens teilweise in ihrer Breite von mindestens einem Paar lamellenartig ausgebildeten, über einen gemeinsamen Steg verbundenen Elektrodenarmen der Heizelektrode bedeckt; die Elektrodenarme weisen eine ähnliche geometrische Form auf wie die darunterliegenden Wellenleiter und mindestens ein Elektrodenarm eines Elektrodenarmpaares ist elektrisch angesteuert.

/216/ H. Heidrich, R. Kaiser, **Sende- und Empfangseinheit für die Datenübertragung durch Lichtwellen in Lichtwellenleitern**. Amtl. Aktenzenzeichen: DE 195 48 547.5, AT: 23.12.1995.
Kurzfassung: Die neuartige Transceiver-Architektur eines photonischen IC für den Betrieb in einem optischen Wellenlängenfenster beruht auf der Anwendung einer zweifachen optischen Filterung zur Isolation der Empfängerphotodiode vom Licht des integrierten Sendelasers und gleichzeitiger maximaler räumlicher Trennung dieser Komponenten auf dem Chip, um ein minimales elektrischen Übersprechen zu erreichen. Die erste optische Filterstufe wird durch die Einbringung von Reflexionsgittern innerhalb eines Mach-Zehnder-Interferometers (MZI) ausgebildet, die auf die Wellenlänge des integrierten Sendelasers abgestimmt sind. Die zweite Filterstufe wird durch die Funktion des MZI am Ausgang gebildet, die das restliche noch die Gitterstufe passierende Licht auf den dem Eingangswellenleiter diagonal gegenüberliegenden Wellenleiter sammelt und so die Empfängerphotodiode, die den anderen MZI-Ausgangswellenleiter abschließt, gegenüber dem Licht des Sendelasers weit über 30 dB isoliert.

Dissertationen

/217/ S. Bauer-Gogonea, **Strukturierte Polung nichtlinear optischer Polymere und deren dielektrische und pyroelektrische Charakterisierung**, TU Berlin, FB 6, Werkstoffwissenschaften, Juli 1995.
Kurzfassung: In der Dissertation wurden zum einen verschiedene nichtlinear optische Polymersysteme bezüglich ihres Polungsverhaltens untersucht, und zum anderen deren dielektrische, pyroelektrische, lineare und nichtlineare optische Eigenschaften diskutiert. Insbesondere wurden Polungsverfahren entwickelt, wie sie für Bauelemente zur effizienten Verdopplung von Licht benötigt werden, da dies ein erster Schritt zur Realisierung optisch-optischer Bauelemente ist. Zu diesem Zweck werden stufenförmige Dipolorientierungsstrukturen (sogenannte "Bimorph"-Strukturen) benötigt, für deren Realisierung zwei neuartige Polungsverfahren vorgeschlagen, demonstriert und zerstörungsfrei nachgewiesen wurden.

/218/ G. Sztefka, **Methods for calculation and investigation of coupling of a laser waveguide to a network waveguide for opto-electronic integration** (in German), TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Juni 1995.
Ziel dieser Arbeit ist es, das geeignete Koppelkonzept für die Integration des Lasers in einem opto-elektrischen Chip für einen optischen Überlagerungsempfänger zu bestimmen und dieses zu optimieren. Dabei müssen die technologischen Grenzen berücksichtigt und technologische Alternativen untersucht werden. Die schrittweise Verbesserung der Technologie ermöglicht immer komplexere Koppelkonzepte, die jeweils für sich untersucht und optimiert werden. Die für die Untersuchungen notwendigen ein-, zwei- und dreidimensionalen Berechnungsmethoden werden systematisch entwickelt. Grundlage aller Methoden ist die Eigenmodenanalyse,die für nahezu beliebige Schichtpakete automatisch abläuft. Mit der Kontrolle auf Orthogonalität und Vollständigkeit der Eigenmoden wird die Anlayse sehr zuverlässig. An Materialdiskontinuitäten in Ausbreitungsrichtung werden die Maxwellschen Randbedingungen durch eine komplexe Orthogonalentwicklung der Eigenmoden erfüllt. Die auf diesen Eigenmoden basierenden Propagationsalgorithmen werden durch das eingeführte Matrizenkalkül universell einsetzbar; sie sind sehr effizient und durch die Kontrolle der Energieerhaltung (in Abwesenheit von dämpfenden und verstärkenden Material, d.h. bei rein reellen Brechzahlen) sehr zuverlässig. Darüber hinaus sind die Eigenmoden physikalisch interpretierbar, so das ihre Leistungsverteilung einen guten Einblick in die Funktion der Bauelemente gewährt. Der Einfluß auf die Kopplung des Lasers mit einem Rippenwellenleiter und einem vergrabenen Streifenwellenleiter wird untersucht. Die technologisch einfachere Variante mit Rippenwellenleitern hat unter optimalen Umständen nur 1.2 dB Gesamtkoppelverlust. Das Koppelkonzept mit vergrabenem Streifenwellenleiter ist technologisch anspruchsvoller als der Rippenwellenleiter, bietet aber aus theoretischer Sicht die beste laserinterne Koppeleffizienz (0.75 dB) und vor allem einen besseren Füllgrad der Intesität in der aktiven Schicht. Die technologisch realisierte keilförmige Kopplung zum Netzwerk-Wellenleiter zeigt nicht den erwarteten abrupten Übergang an der Stoßstelle. Der Einfluß dieses keilförmigen Übergangs auf die Bidirektionalen-Eigenmoden-Propagation basieren, untersucht. Die kleinsten gemessenen Koppelverluste liegen mit 2 dB sehr dicht am theoretischen Optimum und belegen damit die Richtigkeit der theoretischen Schlußfolgerungen.

/219/ M. Ernst, **Bewegungsvektorgestützte Verfahren zur Verbesserung der Bildqualität von Fernsehbildsignalen**, Universität Dortmund, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 16. Jan. 1995, ISBN 3-8265-0807-6, Shaker Verlag, 1995.
Kurzfassung: Die Arbeit umfaßt die Analyse konventioneller und bewegungsadaptiver Verfahren der Bildsignalverarbeitung sowie den Entwurf verbesserter Verfahren hinsichtlich der Anwendungsgebiete Formatumsetzung, Rauschreduktion und Zwischenbildinterpolation. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen ein neues Bewegungsschätzverfahren und die Systementwürfe für alle o. a. Anwendungsgebiete. Die Verarbeitung in den neuen Systemen erfolgt fehlertolerant, um den subjektiven Störeindruck bei nicht ausreichend genauer oder unzuverlässiger Bewegungsinformation zu minimieren. Der subjektiv erzielte Gewinn an Bildqualität wird unter Verwendung von Ergebnissen der Rechnersimulation gezeigt. Eine Abschätzung des erforderlichen Aufwandes bei einer Hardwarerealisierung für eine Echtzeitverarbeitung von TV und HDTV wird angegeben.

/220/ R. Skerjanc, **Über die Zwischenbildsynthese aus multiokularen Bildfolgen**, TU Berlin, FB 13 (Informatik), Dezember 1995.
Kurzfassung: Unter realistischen 3DTV- und Bildtelefonsituationen entstehen Bildvorlagen, welche konventionelle Stereobildanalysemethoden zum Zwecke der Resynthese von Bildern aus beliebigen Perspektivitätszentren scheitern lassen. Es wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der vom Ansatz her auf Bedingungen wie breite Kamerabasen, massive Verdeckungen sowie Auftreten von Tiefensprüngen bei beliebigen Szeneninhalten ausgerichtet sein sollte. Hierfür wurden in der pyhsikalischen Welt beobachtbare Eigenschaften natürlicher Körper zu einem Köhärenzprinzip abgeleitet, welches als alleiniges Minimierungskriterium zur Szenenrekonstruktion dient. Es berücksichtigt die lokale Glattheit von rekonstruierten 3D-Flächen (lokale Kohärenz), die Ähnlichkeit der Bewegungen benachbarter 3D-Merkmale (Kohärenz der Körperbewegung) und die Ähnlichkeit der einzelnen 4D-Rekonstruktionen aus Kameraunterguppen (Kohärenz der abgebildeten Bewegungen).

Diplomarbeiten

/221/ U. Griebenow, **Wasserstoff-Radikalen-Präparation von Al-Ga-In-As-P-Oberflächen für Mehrfach-Molekularstrahl-Epitaxie**, TU Berlin, FB4 (Physik), Juli 1995, Betreuer im HHI: H. Künzel.
Kurzfassung: In der Arbeit wurde die in-situ Oberflächenpräparation von AlGaInAs Schichten bzw. InP und GaAs Substraten mittels angeregter Wasserstoffatome (H-Radikale, H^*) zur Entfernung der natürlichen Oxidschicht und der Reduzierung der Kontamination, insbesondere durch Kohlenstoff(verbindungen), an Hand der Emissionseigenschaften aufgewachsener Quantentopfstrukturen, SQW, optimiert. In-situ Studien, wie Auger, AES, und Reflexionsanisotropie Spektroskopie, RAS, wurden zur on-line Analyse während des Prozesses eingesetzt. Für AlGaInAs wurde ein Restoxid nachgewiesen, dessen Ausmaß mit dem Al-Gehalt der Schichten stetig zunimmt. Die mittels AES nachgewiesene deutliche Reduzierung der Kohlenstoffkontamination korreliert mit SIMS Ergebnissen an der Grenzfläche zwischen behandelter Oberfläche und aufgewachsener Epischicht. Die Vermeidung von merklichem Materialabtrag und Störstellenkompensation durch die H-Radikale wurde nachgewiesen. Die Bauelementverträglichkeit des H^*-Prozesses wurde durch die Komplettierung einer wachstumsunterbrochenen AlGaInAs/-GaInAs Laserstruktur demonstriert.

/222/ A. Chew-Walter, **Einfluß der Barrierenhöhe aus die Emissionseigenschaften von AlGaInAs/InP-Quantum-Well-Strukturen**, TU Berlin, FB4 (Physik), Juni 1995, Betreuer im HHI: H. Künzel.
Kurzfassung: Die Emissionseigenschaften von $(Al_xGa_{1-x})_{0.48}In_{0.52}As/Ga_{0.47}In_{0.53}As$ Quantentopfstrukturen, QW, die mittels der Molekularstrahl Epitaxie gitterangepaßt auf InP Substraten abgeschieden wurden, wurden in Abhängigkeit des Al-Gehaltes, $x_{AlGaInAs}$, des $(Al_xGa_{1-x})_{0.48}In_{0.52}As$ Barrierenmaterials systematisch untersucht. Auf Basis von $(Al_xGa_{1-x})_{0.48}In_{0.52}As$ Barrierenmaterial mit Tieftemperatur Photolumineszenz Linienbreiten, FWHM, die kürzlich veröffentlichte Bestwerte erreichen, wurden qualitativ hochwertige QW Strukturen realisiert. Die Qualität der QW Strukturen ist direkt abhängig von der Zusammensetzung der Barriere. Im Gegensatz zu einer erwarteten Reduzierung der Linienbreite durch die höhere Lokalisierung der Träger im Falle zunehmender Barrierenhöhe ist die experimentell beobachtete Zunahme von FWHM in Übereinstimmung mit zunehmendem "alloy clustering" mit dem Al-Gehalt in den Barrierenschichten. Dieses Verhalten belegt eindeutig, daß die Linienbreite von $(Al_xGa_{1-x})_{0.48}In_{0.52}As/Ga_{0.47}In_{0.53}As$ QW Strukturen weder durch die Qualtität der Heterogrenzflächen noch durch die Zusammensetzungsverbreiterung des GaInAs Topfes bestimmt ist, sondern ausschließlich von der optischen Qualität des $(Al_xGa_{1-x})_{0.48}In_{0.52}As$ Barrierenmaterials begrenzt wird.

/223/ E. Grambow, **Dielektrische und pyroelektrische Messungen für Untersuchung der Lichtstabilität der nichtlinear optischen Polymere**, HU Berlin, August 1995, Betreuer am HHI: S. Bauer.
Kurzfassung: Aufgabe der Diplomarbeit war es, dielektrische Untersuchungen an verschiedenen Seitenkettenpolymeren durchzuführen zur Bestimmung der thermischen und Lichtstabilität der nichtlinear optischen Farbstoffdipole, da diese Prozesse die maximal mögliche Lebensdauer jeden nichtlinear optischen Polymers festlegen. Es wurde zunächst gezeigt, daß sich dielektrische Messungen oberhalb der Glastemperatur hervorragend zur Bestimmung der thermischen Stabilität der nichtlinear optischen Farbstoffdipole eignen. Zur Untersuchung der Lichtstabilität der Farbstoffdipole wurden Bleichexperimente mit Licht verschiedener Wellenlängen bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Es wurde gezeigt, daß der lichtinduzierte Farbstoffabbau mit dielektrischen Messungen bei allen Temperaturen verfolgt werden kann und daß eine Bestimmung der Bleichtiefe als Funktion der Bleichzeit möglich ist.

/224/ D. Bergmann, **HF-Rauschmessungen in InP-HEMTs:Korrelation mit Kleinsignal-Ersatzschaltbildparametern**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Oktober 1995. Betreuer im HHI: H.-G. Bach, G.G. Mekonnen, Betreuer an der TU Berlin, G. Böck.
Kurzfassung: In dieser Arbeit wurden Rauschmessungen an InP-HEMTs auf dem Wafer mit einem 50Ohm-Rauschmeßsystem im Frequenzbereich von 30MHz bis 15GHz durchgeführt. Hierfür wurden Transistoren unterschiedlicher Gate-Geometrie (Einfinger-, T- und PI-Gate) wie auch aus verschiedenen Technologien (HHI und FG HLT der Universität -GH- Duisburg) verwendet. Das Rauschen der HEMTs wurde mit Groß- und Kleinsignalmodellen in einem Schaltungssimulator (PSPICE) nachgebildet. Das in sich isotherme Großsignalmodell kann nur bei idealen Transistoren verwendet werden. Das nicht-isotherme Kleinsignal-Modell erlaubt auch die Modellierung von Zusatzrauschanteilen im Kanal. Beide Modelle erlauben die Nachbildung von 1/f-Rauschen, das unterhalb von 500MHz beobachtet wurde. Mit Hilfe des Schaltungssimulators wurde unter Entwicklung eines einfachen Generator-Impedanzmodells eine Vorhersage der minimalen Rauschzahl aus dem S-Parameter-verifizierten Kleinsignal-Ersatzschaltbild und der Messung der Rauschzahl in der 50Ohm-Meßumgebung erreicht. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung mit Messungen der minimalen Rauschzahl an einem Tuner-System (Universität - GH - Duisburg) erzielt.

/225/ B. Schauwecker, **Konzept und Realisierung zur Aufbau- und Verbindungstechnik eines höchstfrequenten optoelektronischen Empfängerschaltkreises (OEIC)**, TU Chemnitz-Zwickau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Opto- und Festkörperelektronik, Prof. Radehaus, August 1995. Betreuer im HHI: H.-G. Bach, G.G. Mekonnen.

Kurzfassung: Es werden die Theorie, das Design und die Herstellung wie Charakterisierung für Verbindungsträger mit höchstfrequenztauglichen Koplanarleitungen (CPW) behandelt. Die Herstellung der Leitungen erfolgte vorzugsweise auf TMM-Substraten mit Werten der DK von 3 bis 10. Es konnten Koplanarleitungen mit Bandbreiten oberhalb von 50 GHz mit Dämpfungen kleiner 0,6 dB/mm bei 50 GHz hergestellt werden (TMM3). Weiterhin wurden CPW-Leitungen auf hochohmigem Silizium mit Polyimid, SiN_x oder SiO_x als zusätzlichem Isolationsdielektrikum hergestellt, wobei Bandbreiten von 35 GHz erreicht wurden ($S_{21} < 1$dB). CPW-Leitungen auf TMM-Basis wurden für den Übergang zu K-Steckern auch getapert. Erste CPW-K-Stecker-Anbindungen an eine Fotodiode erlaubten im Modulaufbau Bandbreiten im 35 GHz-Bereich. Dazu wurden auch multiple Drahtbondverbindungen zwischen CPW-Leitungen für Verbindungsbandbreiten um 50 GHz spezifiziert.

/226/ P. Fiedler, **Hochratige ASK-Sender und Direktdetektionsempfänger**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Dezember 1995, Betreuer im HHI: H.-M. Foisel.
Kurzfassung: Aufgebaut wurde ein optisches Datenübertragungssystem für Transparenzfelduntersuchungen. Ein Sender erzeugt optische ASK Signale mit NRZ Daten bis zu 10 Gbit/s mit einer Ausgangsleistung von 8 dBm mit externem Modulator. Der Empfänger enthält eine PIN-Diode zur Direktdetektion mit optischem Vorverstärker. Bei 10 Gbit/s hat eine Empfindlichkeit von -34 dBm. Für diese Datenrate wurden Übertragungen über eine dispersionsverschobene Faser mit einer Länge von 75 km durchgeführt.

/227/ S. Esser, **Optoelektronische Aufbau- und Verbindungstechnik von GaInAs-Photodioden im Frequenzbereich bis 40 GHz**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), November 1995. Betreuer im HHI: G. Unterbörsch.
Kurzfassung: Für den Einsatz in optischen 40 Gbit/s-Kommunikationsnetzwerken wurden in dieser Arbeit im HHI hergestellte GaInAs-pin-Photodioden (45 GHz Grenzfrequenz) in ein mikrowellentaugliches Gehäuse eingebaut. Während bzgl. des Gehäusedesigns und der Glasfaserfixierung auf Standardverfahren zurückgegriffen werden konnte, wurde die elektrische Ausgangsseite neu entwickelt. Die Verbindung zwischen der Photodiode und einem Standard K-Steckverbinder wird über eine kurze CPW-Leitung (coplanar waveguide) auf der Basis von TMM-Substrat, realisiert. Vielfach-Drahtbondungen zwischen dem CPW-Ausgang der Photodiode und der CPW-Leitung gewährleisten Dämpfungen < 1 dB bis Frequenzen von bis zu 50 GHz. Für die Anbindung der K-Steckverbindung an die CPW-Leitung wurde das Standardkonzept wegen zu großer Reflektionen abgeändert und mehrere Alternativen durch Simulationsrechnungen und Testaufbauten erarbeitet und verifiziert, die das Frequenzverhalten des Aufbaus bis 40 GHz nicht mehr wesentlich beeinträchtigen. Erste Modulaufbauten der Photodioden weisen eine Bandbreite von 35 GHz auf.

/228/ Ch. Becker, **Realisierung eines Testkonzepts für einen MPEG-2 Videodecoder**, TU Berlin, Institut für Mikroelektronik, Oktober 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi, Th. Selinger.
Kurzfassung: Die Konzeption des HHI-Videodecoders nach dem MPEG-2-Standard sieht aufgrund seines enormen Funktionsumfangs einen DSP-basierten on-board Funktionaltest vor. Ein Problem stellt hierbei die Realisierung des Testkonzeptes dar, das sich sowohl am MPEG-2-Standard orientieren soll, als auch die HHI-Spezifikation berücksichtigen muß. Mit der Ausarbeitung eines umfassenden Testprogrammsatzes wird die Möglichkeit geschaffen, während des Betriebs im Decoder auftretende Fehler auf ihre Ursache hin analysieren und lokalisieren zu können. Dadurch kann der Decoder in der Testphase in Hinsicht auf seine Konformität mit dem MPEG-2-Standard untersucht werden.

/229/ M. Brehmer, **Entwicklung eines Mikrokontrollersystems zur Unterstützung der Tests von MOFA und BISTRO mit dem NEC78K064-KLT**, HU-Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Oktober 1995. Betreuer: M. Talmi, M. Karl.
Kurzfassung: Gegenstand dieser Arbeit ist ein Teil des Testkonzeptes zum MPEG2-Videodecoder. Für den Test der komplexen Schaltkreise MOFA und BISTRO existiert ein Testboard. MOFA und BISTRO benötigen Daten zur Initialisierung nach einem Reset und für Funktionen wie zum Beispiel Kanalumschaltung. Verschiedene Datenquellen (EPROM, I2C, RS232, FLASHRAMKARTE, DSP) und -senken (BISTRO, LCD, RS232, DSP) werden vom Mikrokontroller gesteuert. Ein DSP testet die Funktion des Videodekoders, Fehlermeldungen und Informationen zum Testmodus werden auf einem LC-Display angezeigt. Das System ermöglicht diesen Komponenten eine Kommunikation untereinander.

/230/ H. Krahn, **Entwicklung eines Schaltungskonzepts für die Filterung von Bewegungsvektoren in der Bildsignalverarbeitung**, TU Berlin, Institut für Technische Informatik, Prof. Dr.-Ing. H.-U. Post, April 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: Die Bewegungsvektorschätzung wird im TV/HDTV-Konverter durch ein zweistufiges, hierarchisches Blockmatching-Verfahren hardwaremäßig realisiert. Die in dieser Diplomarbeit entwickelte Platine extrahiert aus den Ergebnisdaten der ersten Blockmatching-Stufe die globalen Bewegungsvektoren, filtert diese und speist sie in die zweite Blockmatching-Stufe als Startwerte ein. In der Struktur von digitalen Filtern programmiert, werden aufgrund der Verarbeitungsgeschwindigkeit ausschließlich FPGA-Bausteine eingesetzt. Ein zusätzliches FPGA on-board dient zu Testzwecken. Gleichzeitig sollen mit dieser Arbeit die Möglichkeiten und Grenzen der FPGA-Technologie für den Einsatz in der Bildsignalverarbeitung gezeigt werden.

/231/ R. Mudra, **Verbesserte Version eines IDCT-Chips für HDTV-Anwendungen**, TU Berlin, Institut für Mikroelektronik, Prof. Dr. rer. nat. O. Manck, März 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: In der vorliegenden Arbeit wird der Entwurf für eine aufwandgünstige 2D-IDCT-Struktur im Semicustom-Design, sowie deren Umsetzung in 0,7 µm-Technologie im Vergleich zur Full-Custom-Design-Realisierung in 1,2 µm-Technologie vorgestellt. Der mathematische Hintergrund der IDCT wird erläutert und die Eingliederung in den Datenverarbeitungsprozeß im Videodecoder dargestellt. Hierbei wird schwerpunktmäßig auf die Zweierkomplementdarstellung, die Speicherung innerhalb der Funktionsblöcke sowie die grundsätzlichen Unterschiede zwischen Fullcustom- und Semicustom-Design eingegangen. Zusammenfassend findet eine abschließende Bewertung über die Umsetzung der Schaltung in eine Technologie mit Bezug auf den Gatecount und die Rechengenauigkeit der erstellten 2D-IDCT-Struktur statt.

/232/ C. Heinelt, **Entwicklung eines programmierbaren Bildspeicherboards für HDTV-Anwendungen**, TU Berlin, Institut für Mikroelektronik, Oktober 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: Es wurden verschiedene integrierte Schaltungen und Baugruppen für hochauflösendes Fernsehen (HDTV) entwickelt, für deren Test entsprechende Signale und Testmustersequenzen benötigt werden. Da die verfügbaren Geräte nicht den HDTV-Anforderungen genügen, soll ein Bildspeicherboard für den Test von HDTV-Baugruppen eingesetzt werden. Aufgabe dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Bildspeichers für HDTV-Anwendungen, der auf dem im HHI entwickelten Speichercontroller HCON72 beruht. Für die Schaltung mußten Simulationsmodelle für alle nicht verfügbaren Modelle der Schaltungskomponenten erstellt werden. Nach der funktionalen und der Timingsimulation ist das Boardlayout mit dem EDA-Tool "Board-Station 500" der Firma Mentor Graphics durchgeführt worden. Der Vergleich des getesteten Boards mit dem Referenzmodells des Speicherboards wurde durchgeführt.

/233/ A. Salah, **Untersuchung zur Effizienz einer gemischten Polygon/Spline-Approximation bei der Codierung von Objektkonturen**, TU Berlin, Institut für Fernmeldetechnik, April 1995. Betreuer im HHI: P. Kauff.
Kurzfassung: Ein wesentliches Merkmal der objekt-basierten Videocodierung besteht darin, neben den üblicherweise zu codierenden Bildparametern (Farbwerte, Bewegungsvektoren, etc.) auch die Kontur der im Bild befindlichen Objekte zu übertragen. Das SIMOC-Testmodell, das vom europäischen Forschungsprojekt COST211ter für die objektbasierte Videocodierung vorgeschlagen wurde, verwendet hierfür eine gemischte Polygon/Spline-Approximation der Objektkonturen. Ausgehend von diesem Algorithmus wurden in der zugrunde liegenden Diplomarbeit geeignete Strukturen zur Entropiecodierung der Konturparameter entwickelt. Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens wurde auf Simulationsebene untersucht und mit alternativen Verfahren zur Konturcodierung verglichen.

/234/ A. Z. Khorassani, **Bewegungsvektorgestützte Vor- und Nachverarbeitung für digitale Übertragungstechniken von Fernsehbildsequenzen**, TU Berlin, Fachbereich Elektrotechnik, Institut für Mikroelektronik, Prof. Dr. rer. nat. O. Manck, Sep. 1995. Betreuer im HHI: M. Ernst.
Kurzfassung: Die Verwendung bewegungsvektorgestützten Verfahren zur Zwischenbildinterpolation führen für eine empfängerseitige Nachverarbeitung zu einer relevanten Verbesserung der Bildqualität. Außerdem ermöglichen sie eine Verringerung der Datenrate durch eine stärkere zeitliche Unterabtastung auf der Senderseite, wobei die fehlenden Bilder auf der Empfängerseite bewegungskompensiert interpoliert werden können. Ein besonderes Problem der empfängerseitigen bewegungsvektorgestützten Nachverarbeitung beteht im resultierenden Aufwand, der bei einer Realisierung in Hardware entstehen würde, wenn auf der Empfängerseite eine vollständige Bewegungsvektorschätzung vorgenommen wird. Im Rahmen der Diplomarbeit wird die Möglichkeit einer Verwendung der von MPEG gelieferten Makroblockvektoren für die Nachverarbeitung der dekodierten Bilder untersucht.

/235/ M. Lochmann, **Konzept für dei Hardware-Implementierung eines Stereoanalyse- und Syntheseverfahrens**, TU Berlin, FB 6 (Technische Akustik), August 1995, Betreuer im HHI: J. Liu.
Kurzfassung: In dieser Arbeit wird ein Konzept für die Hardware-Implementierung des am Heinrich-Hertz-Institut entwickelten Algorithmus zur Berechnung von Zwischenbildern aus einer trinokularen Kameraanordnung entwickelt. Der Algorithmus besteht aus folgenden Komponenten: (1) Vorverarbeitung der Originalkamerabilder zur Merkmalsextraktion, (2) Schätzung der Disparitäten unter Verwendung von örtlichen und zeitlichen Informationen der drei Merkmalsbilder, (3) Interpolation der unvollständigen Disparitäten und (4) Rekonstruktion von perspektivischen Zwischenbildern aus den Disparitäten und den Originalbildern. Aus vorhandenen Algorithmen für diese vier Teilaufgaben wird eine HW-Architektur in Form einer Blockstruktur entwickelt. Darüber hinaus wird Punkt (2) im Detail untersucht. Der Disparitätsschätzer verwendet die Dynamische Programmierung. Dieser Algorithmus wird in Hinsicht auf Anzahl und Art der Operationen, Parallelisierbarkeit, Geschwindigkeitsanforderung und Speichergröße untersucht. Es werden Vorschläge zur HW-spezifischen Optimierung gemacht und anhand von C-Programmen verifiziert. Für die einzelnen HW-Komponenten des Disparitätsschätzers werden die Vorteile unterschiedlicher Technologien abgewogen. Im Mittelpunkt steht dabei die Verwendung von Gate Arrays, FPGAs und Signalprozessoren. Die Arbeit schließt mit einer Einschätzung des HW-Aufwandes (Anzahl der Chips, Prozessoren und Speichermodule) für eine mögliche Realisierung.

/236/ M. Bartels, **Charakterisierung der optischen Eigenschaften von Streuschichten für 3D-Projektionsschirme**, Fachhochschule Berlin Deutsche Bundespost Telekom, Januar 1995. Betreuer im HHI: H. Röder, T. Sinnig.
Kurzfassung: Wird auf eine Seite einer dünnen, streuenden Schicht ein Muster projiziert, dann erscheint auf der anderen Seite der Streuschicht ein verwaschenes Bild des Musters. Das Muster ist mit der Verwaschungsfunktion der Schicht gefaltet worden. Diese Verwaschungs- bzw. Übertragungsfunktion der Schicht war zu bestimmen und die optimale Dimensionierung der Streuparameter für einen speziellen Doppellinsenrasterbildschirm vorzunehmen.

Studienarbeiten

/237/ E. Grambow, **Analyse thermisch stimulierter Dipolrelaxationsprozesse unter Berücksichtigung der für Polymere typischen Relaxationszeitenverteilungen für Lebensdauerbestimmungen**, HU Berlin, Februar 1995, Betreuer im HHI: R. Gerhard-Multhaupt, S. Bauer.
Kurzfassung: In der Studienarbeit wurde das Relaxationsverhalten der Farbstoffdipole unterhalb der Glastemperatur in nichtlinear optischen Polymeren untersucht, da diese Relaxationsprozesse die Lebenszeit eines nichtlinear optischen Bauelementes entscheidend bestimmen. Analysiert wurden der isotherme und thermisch stimulierte Zerfall der Dipolorientierung unter Berücksichtigung der für Polymere typischen breiten Relaxationszeitenverteilungen. Es wurde festgestellt, daß eine vollständige Charakterisierung der Dipolrelaxationsprozesse unterhalb der Glastemperatur von nichtlinear optischen Polymeren nur durch die Kombination eines isothermen und eines thermisch stimulierten Zerfalls der Dipolorientierung möglich ist.

/238/ S. Reichenbacher, **Untersuchungen zur strominduzierten Wellenlängenverschiebung in InP-Halbleiterlasern**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Oktober 1995. Betreuer im HHI: B. Sartorius.
Kurzfassung: In der Studienarbeit wurden die elektronischen und die thermischen Beiträge zur Wellenlängenverschiebung von InP-Lasern durch Kombination und Analyse von Puls- und DC-Messungen selektiv ermittelt. Darüber hinaus wurde die strominduzierte Erwärmung der aktiven Schicht gegenüber der temperaturgeregelten Wärmesenke bestimmt. Es zeigte sich, daß durch einen Stromfluß von 100 mA bei 200 µm Bauelementlänge die aktive Schicht sich um mehr als 20 Grad erwärmt. Dies führt zu einer langwelligen Verschiebung der Emissionswellenlänge von ca. 2,5 nm. Die Ergebnisse wurden genutzt, um die Verstimmung der Braggwellenlänge von selbstpulsierenden 2-Sektions DFB Lasern zu analysieren. Weiterhin wurde der für die Dynamik der Selbstpulsation wichtige und für das Modelling benötigte alpha-Faktor der Laser ermittelt. Es zeigte sich, daß dieser Parameter mit Wellenlänge und Temperatur ansteigt von 5 (10°C, 1550 nm) bis auf 8 (40°C, 1570 nm).

/239/ V. Breuer, **Aufbau eines Niederfrequenz-Rauschmeßsystems und Rauschuntersuchungen an HEMTs optoelektronischer Empfänger**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), August 1995. Betreuer im HHI: H.-G. Bach.
Kurzfassung: Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde das niederfrequente Rauschen an InP-HEMTs von einigen Hz bis in den MHz-Bereich arbeitspunktabhängig untersucht. Dazu ist ein Niederfrequenz-Rauschmeßsystem aufgebaut worden, welches auf einem Spektrumanalysator und empfindlichen Vorverstärker basiert. Die zu untersuchen-

den Proben werden auf dem Wafer in einer geschirmten Meßkammer kontaktiert. Der Meßplatz ist von einem Tischrechner gesteuert. Die Programmiersprache ist HP-BASIC. Die minimal nachweisbare spektrale Rauschspannungsdichte des Meßplatzes ist für Quellimpedanzen im Bereich von 30 Ohm bis 3 kOhm dokumentiert. Dabei sind systembedingte Korrekturen des Vorverstärkers, der HEMT-Spannungsversorgungen und des Spektrumanalysators einbezogen. An einigen InP-basierten HEMTs mit verschiedenen Pufferschichtenfolgen wurden Niederfrequenz-Rauschmessungen durchgeführt und in bezug auf die Herstellungstechnologie diskutiert. Eine einfache Modellierung mit Hilfe des HEMT-Ersatzschaltbildes in PSPICE wurde zur quantitativen Deutung der Messungen unter Bestimmung von 1/f-Rauschparametern herangezogen.

/240/ Z. Zhu, **Optische Characterisierung von Phasenschieber-Sektionen in Mehrsektionslasern**, TU Berlin, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik, März 1995, Betreuer im HHI: J. Hörer-Dragendorf.
Kurzfassung: Phasenschiebersektionen werden in Mehrsektions-Halbleiterlasern eingesetzt, um die Phase des Laserlichts definiert einstellen zu können. Hierbei wird der Brechungsindex durch Ladungsträgerinjektion in eine passive Sektion über den Plasmaeffekt verändert. In dieser Arbeit wurde die Abhängigkeit der Brechungsindexänderung und der mit ihr verbundenen Absorption von der Stromdichte im Phasenschieber untersucht. Hierzu wurden optische Transmissionsmessungen an isolierten Phasenschiebersektionen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit Vorhersagen aus der Theorie des Plasmaeffektes verglichen und eine gute Übereinstimmung festgestellt.

/241/ P. Fiedler, **Frequenzumsetzung mit Fabry-Perot-Lasern**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Januar 1995, Betreuer im HHI: H.-M. Foisel.
Kurzfassung: Als aktives Bauelement verhält sich der Fabry-Perot-Laser stark nichtlinear. Dadurch sind hohe Umsetzungseffizienzen bei kleinen optischen Eingangsleistungen über einen Frequenzbereich von mehr als einem THz möglich. Der Dynamikbereich beträgt mindestens 20 dB bei Signalleistungen von -35 bis -15 dBm. Es wurden Übertragungsexperimente mit frequenz- und amplitudenmodulierten Trägern durchgeführt.

/242/ A. Siefke, **Optoelektronische Charakterisierung von 50 GHz-pin-Photodioden mit integriertem optischen Wellenleiter**, TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), November 1995. Betreuer im HHI: G. Unterbörsch.
Kurzfassung: Im HHI werden GaInAs-pin-Photodioden mit integriertem optischen Wellenleiter für den Einsatz in zukünftigen höchstbitratigen optischen Kommunikationsnetzwerken hergestellt. Zur Optimierung des Hochfrequenzverhaltens dieser Photodioden wurde ein auf Waferebene arbeitendes optoelektronisches Meßsystem für den Frequenzbereich bis 50 GHz erweitert. Basierend auf dem optischen Heterodynverfahren wird hierbei im Detektor ein elektrisches Zwischenfrequenzsignal erzeugt und mit einem Spektrum-Analysator untersucht. Software zur Steuerung des Meßsystems und Analyse der Meßdaten wurde unter der Bedienoberfläche IC-CAP entwickelt. Zur Analyse der RC-Zeitkonstanten wurde ein Hochfrequenzersatzschaltbild sowohl aus statischen Strom- und Kapazitätsmessungen als auch aus S-Parameter-Messungen gewonnen. Aus dem Vergleich dieser geometrieabhängigen Daten und Berechnungen der Dioden-internen Ladungsträgerlaufzeiteffekte mit optoelektronischen Messungen an Photodioden verschiedener Größe wurde ein konsistentes Modell zur hochfrequenzmäßigen Beschreibung der Photodiode gewonnen.

/243/ Ch. Becker, **Schaltungsentwicklung und Simulation für ein MPEG-2 HDTV-Decoderboard mit Testanbindung eines digitalen Signalprozessors**, TU Berlin, Institut für Mikroelektronik, August 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi, Th. Selinger.
Kurzfassung: Für einen On-Board-Test eines MPEG-2 HDTV-Decoders wird eine auf einem DSP basierende Testschaltung auf dem Decoderboard integriert. Dafür müssen die Schnittstellen der Decoder-ASICs für die Bereitstellung der Testdaten entworfen werden und ein entsprechendes Simulationsmodell des DSPs erstellt werden. Die hohe Komplexität sowohl der Decoderchips als auch des DSPs als Kernstück der Testschaltung erfordert zusätzlich eine detailgenaue Boardlevelsimulation vor der Fertigung des Decoderboards. Bestandteil der Arbeit ist auch die Erstellung eines Testkonzepts für die verschiedenen Testphasen des Decoders im Stand-Alone Betrieb und im Demonstratorbetrieb.

/244/ J. Dreßler, **Entwicklung eines 64 Mbit Speichermoduls**, HU-Berlin, FB Elektrotechnik, September 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: Ziel dieser Arbeit war es, einen schnellen Speicher mit einer Kapazität von 64 Mbit in Modulform zu entwickeln, zu simulieren, aufzubauen und zu testen. Vor dem Schaltungsentwurf wurde eine Marktanalyse durchgeführt. Es wurde ermittelt, wie der Stand der Halbleiterindustrie bezüglich Speicher ist und welche Speicherchips derzeit auf dem Markt verfügbar sind. Weiterhin werden dynamische und statische Speicher hinsichtlich ihrer Zugriffszeiten und verschiedene Speicher-Organisationen miteinander verglichen. Bei der Simulation wird basierend auf technischen Daten des Herstellers das Verhalten der Schaltung praxisnah auf dem Computer nachvollzogen, um im Voraus ein Funktionieren der Schaltung zu garantieren. Dazu wurde ein Timingmodell entwickelt, welches durch die Ergebnisse des praktischen Tests bestätigt wurde. Das Speichermodul findet in einer Hardwarelösung des MPEG-2-Videodecoders Anwendung.

/245/ R. Nettling, **Entwicklung einer Simulations- und Testumgebung einer Baugrupppe der Bildver-**

arbeitung, HU Berlin, FB Elektrotechnik, Oktober 1995. Betreuer im HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: Simulation und Test benötigen immer mehr Entwicklungszeit. Gerade bei komplexen Schaltungen muß eine eigene Test- und Entwicklungsumgebung geschaffen werden. Diese Arbeit realisert eine solche Umgebung für eine Baugruppe des TV/HDTV-Konverters im Projekt TRANSIT. Schwerpunkte sind die Auswahl einer effektiven Simulationsumgebung unter MENTOR GRAPHICS und der Aufbau einer Testumgebung mit Hilfe eines Analyzer Systems HP16500B von der Firma Hewlett Packard. Dieses muß an ein Netzwerk gekoppelt werden, damit ein vollständiger Test überhaupt möglich ist und eine gemeinsame Datenbasis für Test und Simulation geschaffen wird.

/246/ C. Heinelt, **Implementierung eines MPEG-2 Layer-2 Audiodecoders auf einem ITT MAS3500C**, TU Berlin, Institut für Mikroelektronik, August 1995. Betreuer am HHI: M. Talmi.
Kurzfassung: Die Aufgabe dieser Arbeit ist, einen MPEG-2 Layer-2 Audiodecoder auf einem digitalen Signalprozessor (DSP) der Fa. ITT, dem MAS3500C, zu entwickeln. Als Software-Entwicklungswerkzeuge für den DSP steht ein Simulator mit integriertem Assembler zur Verfügung. Implementiert wurde ein Fünfkanal-Surround-Sound Audiodecoder, der mit MPEG-Bitströmen funktional überprüft worden ist. Es wurden ebenfalls Abschätzungen vorgenommen, inwieweit der Standard in vertretbarem Aufwand erfüllt werden kann. Abschließend sind vergleichende Untersuchungen der auf dem Markt verfügbaren DSPs, bezüglich der Realisierung eines MPEG Audiodecoders durchgeführt worden.

Vorträge*

C. Baack: **Forschung in Berlin. Das Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH**. Elektrotechnischer Verein (ETV) e.V., Berlin-Brandenburg im HHI, Berlin, 12.1.95.

R. Schäfer: **Informationstechnologien, Multimedia, Bildverarbeitungssystem, Digitale Informationsstrukturen**. Vortrag im Rahmen des Wissenschaftlichen Kolloquiums der DARA, Bonn, 12.1.95.

C. Baack: **Future Trends in Optical Networks**. Workshop "Future Trends in Optical Networks", MESA Research Institute, University of Twente, Enschede, Netherlands, 17.1.95.

C. Baack: **Arbeiten zur Photonik am HHI**. ALCATEL SEL Forschungszentrum, Stuttgart, 30.1.1995.

N. Grote: **InP-based components for optical communication systems: Demands on epitaxy,** TU Eindhoven, Niederlande, 25.1.95.

N. Grote: **Entwicklung photonischer Bauelemente am Heinrich-Hertz-Institut,** Forschungszentrum Jülich, 26.1.95.

C. Baack: **Schlüsseltechnologien zukünftiger Photonischer Nachrichtennetze**. Universität Kaiserslautern, Theoretische Elektrotechnik und Optische Nachrichtentechnik, 2.2.95.

B. Strebel: **Crossconnects in transparenten optischen Netzen**. Kolloquium des Instituts für Kommunikations- und Meßtechnik der Technischen Universität Ilmenau, 22.2.95.

K.-D. Langer, **Photonische Techniken für zukünftige Kommunikationsnetze,** Vortrag beim Technologieforum "Informations- und Kommunikationstechnik", Innovationsmesse, Leipzig, 4.3.95.

D. Runde: **Telepresence in Videocommunications with Stereoscopy and Individual Perspectives** (eingeladen), Visit of the NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo, 8.3.95.

H.-G. Bach: **Empfänger-OEICs für Direkt- und Heterodyn-Übertragungssysteme: Charakterisierung und Eigenschaften**, Diskussionssitzung 'Meßverfahren der optischen Nachrichtentechnik' des FA 6.1 der ITG (Reisensburg), 8.-10.3.95.

---

* Vorträge, die in Proceedings abgedruckt wurden, sind unter *Veröffentlichungen* aufgeführt

C. M. Weinert: **Modelling and measuring photonic device activities at HHI Berlin**, COST 240 Meetings, (Dublin, Irland), 13.3.95.

A. Linke[57], G. Nachtwei[57], S. Heide, M. Thiede, H. Scherer[58], C. Breitlow, F. J. Ahlers, L. Bilek, H. Künzel J. Böttcher: **Bistability in the breakdown of the quantum hall effect in AIII-BV heterojunctions**, Intern. Symp. of Heterostructures in Science and Technology (Würzburg), 13.-17.3.95.

M. Schlak, D. Franke, H. Schroeter-Janßen, N. Grote: **On the thermal stability of InP-based quantum well layers**, Intern. Symp. of Heterostructures in Science and Technology, (Würzburg), 13.-17.3.95.

A Chew-Walter[59], A. Hase, H. Künzel, W. Richter[59], H. Schweizer[60]: **Analyse der Grenzflächenrekombination und der strahlenden Übergänge in MBE $Al_xGa_{1-x}InAs/Al_yGa_{1-y}InAs$ Hetero/QW Strukturen**, Frühjahrstagung der DPG, (Berlin), 20.-24.3.95.

A. Hase[60], V. Hofsäß[60], C. Kaden[60], J. Kovac[60], J. Kuhn[60], H. Künzel, H. Schweizer[60]: **Charakterisierung planarer Implantationstechnologien mittels verstärkungsgekoppelten MBE AlGaInAs/GaInAs DFB Laserstrukturen**, Frühjahrstagung der DPG, (Berlin), 20.-24.3.95.

K. Boedecker[61], R. Koenenkamp[61], A. Hase, H. Künzel, J. Böttcher: **Determination of band-offsets at the InGaAs/InAlAs interface using internal photoemission**, Frühjahrstagung der DPG, (Berlin), 20.-24.3.95.

U. Griebenow[59], J. Böttcher, A. Hase, H. Künzel, W. Richter[59], K. Stahrenberg[59], T. Zettler[59]: **Wechselwirkung von Wasserstoff-Radikalen mit III-V-Halbleiteroberflächen unter UHV Bedingungen**, Frühjahrstagung der DPG, (Berlin), 20.-24.3.95.

B. Saffian[57], W. Kraak[57], B. Oelze[57], H. Künzel, J. Böttcher H.-G. Bach: **Persistent photoconductivity and properties of the two-dimensional electron gas in modulation doped GaInAs/AlInAs heterostructures after illumination**, Frühjahrstagung der DPG, (Berlin), 20.-24.3.95.

S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, W. Ren[62], W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, J. Liang[63], J. Zyss[63], M. Ahlheim[64], M. Stähelin[64], B. Zysset[64]: **Thermische Orientierungsstabilität der nichtlinear optischen Dipole in Gast-Wirts-, Seitenketten- und vernetzbaren Polymeren**, (Poster), DPG Frühjahrstagung Chemische Physik, (Berlin), 20.-24.3.95.

S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt: **Erhöhung der Langzeitstabilität der Dipolorentierung in nichtlinear optischen Seitenkettenpolymeren durch Alterung unter Polungsfeld**, Frühjahrstagung Berlin des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, (Berlin), 20.-24.3.95.

B. Heiler[65], B. Ploss[65], S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, R. Gerhard-Multhaupt: **Charakterisierung nichtlinear optischer Polymere durch Messung dielektrischer Nichtlinearitäten** (Poster), Frühjahrstagung Berlin des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, (Berlin), 20.-24.3.95.

S. Bauer, S. Bauer-Gogonea, W. Wirges, R. Gerhard-Multhaupt, D.K. Das-Gupta[66]: **Dielektrische Untersuchungen des lichtinduzierten and des thermischen Farbstoff-Abbaus in einem nichtlinear optischen Seitenkettenpolymer**, DPG Frühjahrstagung Chemische Physik, (Berlin), 20.-24.3.95.

S. Bauer, A.S. DeReggi[67]: **Methode zur Messung des Temperaturleitwertes von dielektrischen Filmen auf Substraten** (Poster), Frühjahrstagung Berlin des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, (Berlin), 20.-24.3.95.

N. Keil: **Present status in polymer-technology at HHI: Thermo-optic polymer waveguide technology and applications devices & applications**, AKZO-Nobel (Arnheim, Niederlande), 27.3.95.

R. Kaiser, D. Trommer, F. Fidorra, H. Heidrich, H.-G. Bach, H. Engel, M. Hamacher, W. Passenberg, H. Röhle, G. Unterbörsch: **Monolithisch integrierter OFDM-Empfänger auf InP-Basis**, ITG-Diskussionssitzung Optischer Teilnehmer-Zugangsnetze (Dresden) 27.-28.3.95.

H.-G. Bach: **Empfänger-OEICs für Direkt- und Heterodyn-Übertragungssysteme: Charakterisierung und Eigenschaften**, ITG-Diskussionssitzung des FA 6.1: Meßverfahren der optischen Nachrichtentechnik, (Reisensburg), März 95.

J. Hörer-Dragendorf: **Theoretische Beschreibung**

57 Humboldt-Universität, Berlin, FRG
58 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, FRG
59 TU Berlin, FRG
60 Universität Stuttgart, FRG
61 Hahn-Meitner-Institut Berlin, FRG
62 Electronic Materials Res. Lab, Xi'an Jiatong University, Xi'an, China
63 France Telecom CNET, Bagneux, F
64 SANDOZ Optoelectronics, Huningue, F
65 Institut für Angewandte Physik, Universität Karlsruhe, FRG
66 School of Electronic Engineering Science, University of Wales, Bangor, UK
67 National Inst. of Standards & Technology, Gaithersburg, USA

schneller optischer Schalteffekte in injektionsgelockten Lasern. TU Berlin, Hochfrequenztechnisches Kolloquium, 21.4.95.

K. Janiak: **In-situ-Kontrolle beim Trockenätzen**, Workshop Trockenätzen für die III-V-Halbleitertechnik, (Freiburg), 27.4.95.

B. Strebel: **Functional elements for transparent optical networks**. Seminar of the Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Melbourne, Australia, 28.4.95.

H.-P. Nolting, M. Grawert: **Architecture of Crosstalk Reduced Digital Optical Switch (CRDOS)**. COST 239 Meeting, Lannion, France, 15.-17.5.1995.

H. Heidrich, R. Kaiser, D. Trommer, F. Fidorra: **Monolithisch integrierter Heterodyn-Empfänger, ITG-Diskussionssitzung** "Integrierte Optik" (Jena), 18.-19.5.95.

K. D. Weich: **Injektionsgelockter bistabiler Laser als schneller optischer Schalter**. TU Berlin, Hochfrequenztechnisches Kolloquium, 19.5. und 24.11.95.

S. Bauer: **Pyroelektrische Untersuchungen an gepolten nichtlinear optischen Polymeren**, Physikalisch chemisches Kolloquium der Universität München, (München), 14.6.95.

K. Chantelau: **A Basis for Image Sequences $\psi \in L^2(R^2 x[0,T])$**, Seminar des Kooperationsprojektes Wavelet-Bildkompression von Technische Universität/-Telekom Fachhochschule Berlin, 14.6.95.

N. Keil: **Polymer-Technologie am HHI: Thermo-optische (4x4)-Raumschaltmatrix,** Workshop Polymere für die Integrierte Optik, (Berlin), 20.6.95.

S. Bauer: **Physikalische Eigenschaften linear und nichtlinear optischer Polymere für optische Bauelemente**, Workshop Polymere für die Integrierte Optik, (Berlin), 20.6.95.

H. Künzel, J. Böttcher, R. Gibis, P. Harde, A. Paraskevopoulos, S. Schelhase: **Selective infill MOMBE of InP:S+/n--layers for buried collector DHBTs**, 37th Electronic Materials Conf., (Charlottesville, USA), 21.-23.6.95.

A. Hase, U. Griebenow, P. Harde, H. Künzel: **In-situ hydrogen radical surface processing of GaInAsP and AlGaInAs prior to MBE regrowth**, 37th Electronic Materials Conf., (Charlottesville, USA), 21.-23.6.95.

G. Sztefka: **Amplifier structures with Anti-Reflection-Coatings and window regions**. UFOS-Treffen, Berlin, 8.7.95.

S. Bauer-Gogonea: **Polung und Charakterisierung von nichtlinear optischen Polymeren** (eingeladen), Fraunhofer-Institut für angewandte Polymerforschung, (Freiburg), 25.7.95.

R. Schäfer: **Digitale Bildkompression - Von der Simulation bis zur Integration**. Vortrag im Rahmen des Wissenschaftlichen Kolloquiums des Lehrstuhls für Integrierte Schaltungen (LIS) der TU-München, München, 27.7.95.

L.H. Lee[68], S. Strähle[68], E. Mittermeier[68], H. Künzel E. Kohn[68]: **Microwave InP split-gate field effect transistor**, Cornell Conference (Cornell University, USA), 7.-9.8.95.

H. Künzel, S. Schelhase: **Present status of selective MOMBE of InP and GaInAs for HBT applications**, Hewlett Packard Research Laboratories, (Palo Alto, USA), 17.8.95.

S. Bauer-Gogonea: **Light-induced effects in nonlinear optical polymers**, Science and Applications of Novel Thin Film Systems, (Jouvence, Kanada), 27.8.95.

S. Lutgen[69], M. Woerner[69], T. Elsaesser[69], A. Hase, H. Künzel: **Intersubband relaxation and thermalization of electrons in GaInAs/AlInAs quantum ultrafast processes in semiconductors II**, (Santiago de Compostela), 2.-6.9.95.

H.-P. Nolting: **Interaction between Numerical Methods and the Design of Passive Optical Components**. Workshop on Modelling, Waveguide Theory and Simulation, Roosendaal, Netherland, (invited talk and session chair man) 15.-16.9.95.

C. Schramm, A. Umbach, W. Passenberg, W. Schlaak, G.G. Mekonnen, W. Ebert, H.-G. Bach: **GaInAs/AlInAs-HEMT grown on optical waveguide layers for broadband low-noise amplifiers**, 5th European Heterostructure Technology Workshop '95 (Cardiff, Wales, U.K.), 17.-19.9.95.

B. Duckstein: **Autostereoskopische (brillenlose) 3D-Bildwiedergabe mit Linsenrasterbildschirmen**, Seminar vom VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH: Neue Displaytechniken, TU Berlin, 20/21.9.95.

S. Bauer-Gogonea, S. Bauer: **Physical aging in nonlinear optical polymers**, Queens University Kingston, (Kingston, Kanada), 22.9.95.

C. Gerardi[70], C. Giannini[70], L. Tapfer[70], A. Hase, H.

68 Universität Ulm, FRG

69 Max-Born-Institut, Berlin Adlershof, FRG

70 CNRSM, Brindisi, I

Künzel: **SIMS and HRXRD analyses of AlGaInAs/-GaInAs superlattice structures grown by MBE**, 10th International Conference on Secondary Ion Mass Spectroscopy and Related Techniques SIMS X, (Münster), 1.-6.10.95.

H. Engel: **Exposure and characterization of super structure gratings for DBR lasers generated by direct write electron-beam lithography**, ELBUM 95 (Electron beam user meeting), Grenoble, Frankreich, 2.-3.10.95.

C. Baack: **Elements of Integration**. Laser Symposium, Philips Research, Eindhoven, Netherlands, 4.10.95.

A. Hase, H. Künzel: **In-situ Wasserstoffradikalen-Prozeß für Mehrfachepitaxie**, Nationaler MBE Workshop, Stuttgart, 9.-10.10.95.

S. Strähle[68], B. Henle[68], H. Künzel, H.L. Lee[68], E. Kohn[68]: **Low voltage characteristics of high speed InP-based FETs**, Workshop on Low-Power Microwave Electronics, (Ulm), 10.10.95.

M. Woerner[69], S. Lutgen[69], R. Kaindl[69], T. Elsaesser[69], A. Hase, H. Künzel: **Femtosecond spectroscopy of hot carriers in low-dimensional semiconductors**, Intern. Symposium on Ultrafast Processes in Spectroscopy (UPS '95), (Trieste, Italien)30.10.-11.11. 95.

C. Baack: **Informationstechnik: Schlüsseltechnik der Zukunft**. 1. Mitgliederversammlung Wissenschaftsgemeinschaft Blaue Liste (WBL), Frankfurt/M., 2.11.95.

G. Walf: **Zukunftsaspekte der optischen Nachrichtentechnik**, Vortrag beim OTTI-Seminar, bei der Rheinbahngesellschaft, Düsseldorf, 2.11.95.

T. Fuhrmann, H. Engel: **Polymere Gitterfilter für transparente optische Netze**. Workshop Fasergitter-Anwendungen im IPHT Jena, 8.11.95.

J. Hörer-Dragendorf: **Optimierung schneller Schalteffekte in injektionsgelockten Lasern durch Kleinsignalanalyse**. TU Berlin, Hochfrequenztechnisches Kolloquium, 24.11.95.

H.-G. Bach: **Empfänger-OEIC-Entwicklung für die Hochbitratenübertragung und für mikrowellenoptische Anwendungen**, Optoelectronical Colloquium at Universität Gesamthochschule Duisburg (Duisburg), 29.11.95.

C. Baack: **Bedeutung der Photonik für zukünftige Datenautobahnen**. VDE Elektrotechnischer Verein, Berlin, 30.11.95.

H. Roehle, H. Schroeter-Janßen: **LP-MOVPE-Wachstum von InP und InGaAsP unter Stickstoff als Trägergas**, 10. Treffen DGKK-Arbeitskreis "Epitaxie von III/V-Halbleitern", (Jülich), 7.-8.12.95.

D. Franke, H. Roehle: **Optimierter Prozeß für reproduzierbares MOVPE-Wachstum auf DFB-Gittern**, 10. Treffen DGKK-Arbeitskreis "Epitaxie von III/V-Halbleitern", (Jülich), 7.-8.12.95.

F.W. Reier, N. Grote: **Einfluß von Substratparametern auf Diffusionsvorgänge in InGaAsP/InP-MQW-Strukturen mit hoher Periodenzahl**, 10. Treffen DGKK-Arbeitskreis "Epitaxie von III/V-Halbleitern", (Jülich), 7.-8.12.95.

R. Evers: **Interaction in Research between Universities, Government-funded Research Organisations and Industry in Germany.** AEI Workshop on Interaction between University and Industry in Telecommunications, Rom, 11.12.95.

Vorlesungen

H.-G. Bach: **Meßverfahren für Halbleiterbauelemente.** TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Fachgebiet "Halbleitertechnik", SS 1995.

G. Boerger: **Elektrobiologie: Neurophysiologische Grundlagen.** TU Berlin, FB 21 (Umwelttechnik), SS 1995.

G. Boerger: **Elektrobiologie: Meßtechnik.** TU Berlin, FB 6 (Umwelttechnik), WS 1995/96.

B. Kuhlow: **Einführung in die optische Signalverarbeitung**. TU-Berlin FB 4 (Physik), WS 1995/96.

B. Kuhlow: **Optical Computing**. TU-Berlin FB 4 (Physik), SS 1995.

A. Paraskevopoulos: **Halbleitertechnologie für integrierte Optoelektronik**. TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), Fachgebiet "Hochfrequenztechnik", WS 1995/96.

P. Stammnitz: **Einführung in Kanalcodierungsverfahren.** TU Berlin, FB 12 (Elektrotechnik), WS 1994/95.

B. Strebel: **Optische Wellenleiter.** TU Berlin, FB 12, (Elektrotechnik), WS 1995/96.

H.G. Weber: **Grundlagen und Anwendungen der linearen und nichtlinearen Faseroptik.** TU Berlin, FB 4 (Physik), WS 95/96.

Workshops und Tagungen

Tag der offenen Tür - Präsentation von Forschungsergebnissen des HHI für Vertreter von KMUs, HHI Berlin, 8.2.1995.

Seminar **"Status of Flat Panel Display Research"** (SID Chapter Mid Europe), 20.3.1995.

European Workshop and Exhibition on Image Format Conversion and Transcoding: Abschlußpräsentation des RACE-TRANSIT Projekts, HHI Berlin, 22.-23.3.1995. Abteilung Bildsignalverarbeitung.

International Switching Symposium - ISS '95, Technical Visit Day, Präsentationen des HHI Berlin, 23.-28.4.1995.

COST 240/Working Group 3 Workshop: **InP-Integration Technology**, Juni 1995.

Photonik-Statusseminar, 11.-12.7.1995.

9th **ISC Symposium** des ISC Forum für Business Administration in Research Centres, Ausrichter: HHI, 30.9.-3.10.1995.

Marconi-Symposium, gemeinsam veranstaltet mit dem Italienischen Kulturinstitut Berlin, HHI, 26.10.1995.

Ausstellungsbeteiligungen

CeBIT '95: OFDM-Crossconnects in transparenten optischen Netzen, Präsentation der weltweit ersten mikroprozessorgesteuerten (4x4)-Raumstufe in Polymertechnologie. Beitrag des HHI zum Gemeinschaftsstand "Forschungsmarkt Berlin". Hannover, 8.-15.3.1995.

Internationale Funkausstellung 1995 (IFA '95): Präsentation des BMBF-Förderschwerpunkts **Hierarchische Digitale Fernsehübertragung - $^{H}DTV_{T}$**, Berlin, 26.8.-3.9.1995.

TIBB '95: Technologie & Innovation aus Brandenburg und Berlin, Beitrag zum HHI-Stand "Photonische Komponenten". Frankfurt/Oder, 15.-16.9.1995.

ECOC '95: HHI-Beiträge RACE II-Projekte **Coherent Optical Systems Implemented for Business Traffic Routing and Access (COBRA)** und **OEIC Modules for the Access Network (OMAN)** zum RACE-Stand. Brüssel, 17.-21.9.1995.

Seminar **Neue Displaytechniken**, VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, Potsdam, Präsentation eines autostereoskopischen Flachbildschirms, Abteilung Anthropotechnik, TU Berlin, 20.-21.9.1995.

Berufungen

Dr. Peter Meißner, Januar 1995, Ruf zum Professor am Institut für Hochfrequenztechnik der Technischen Hochschule Darmstadt (angenommen).

Dr. Harald Künzel, Juni 1995, Ruf zum Professor am Fachbereich Physik der Universität Hamburg (nicht angenommen).

Preisverleihungen

R.H. Mauch, K.-O. Velthaus, Auszeichnung für die beste HHI-Patentanmeldung (Elektrolumineszenzdisplay mit einem Blau/Grün-Strahler, Verfahren zu dessen Herstellung und Vorrichtungen zur Verfahrensdurchführung, PTC/DE 95/01344), prämiiert durch den Vorsitzenden des HHI-Aufsichtsrats, Herrn Prof. Dr. J. Hesse.