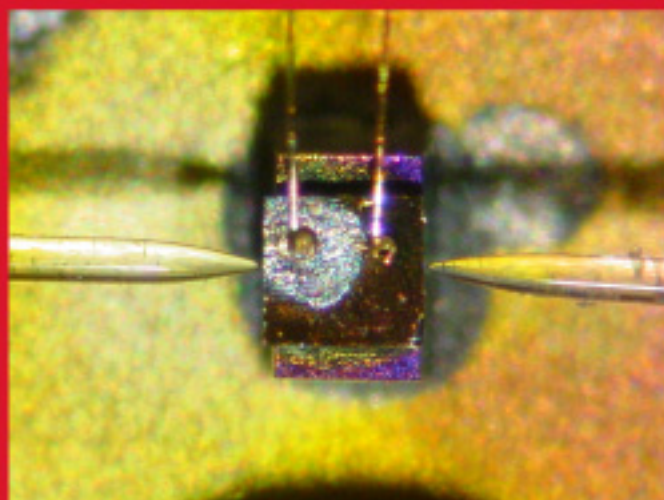


U.H.P. Fischer-Hirchert (Hrsg.)



V. ITG Workshop

Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

28. März 2007

Fraunhofer IZM, Berlin

Hörsaal A, Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin, Germany

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2007

978-3-86727-197-4

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2007

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2007

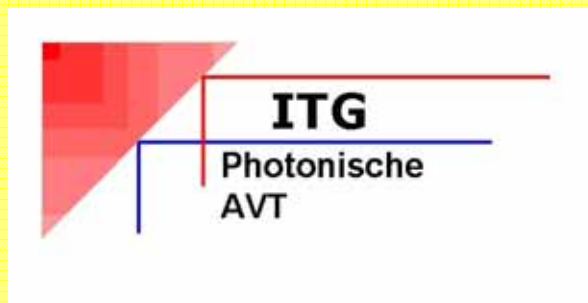
Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-197-4

ITG INFORMATIONSTECHNISCHE
GESELLSCHAFT IM VDE

V. ITG Workshop

Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik



28. März 2007

Fraunhofer IZM, Berlin
Hörsaal A, Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin, Germany

VDE

V. ITG Workshop "Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik"

Die Informationstechnische Gesellschaft im VDE vertreten durch die ITG-Fachgruppe 5.3.2 „Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik“ und das Fraunhofer IZM/Hochschule Harz werden am **28 März 2007 (Mi. 9:00 bis 19:00)** einen Workshop ausrichten, zu dem alle Interessenten herzlich eingeladen sind.

Themen:

- Einzel- und Multifaserkopplung
- Buttfaserkopplung, Fasertaperkopplung
- Mikrooptik
- Klebetechnik, Laserschweißtechnik
- Spot-size Konverter für InP- und Silica-Komponenten
- optische Steckverbinder für Multifaserkopplungen
- hybride elektro-optische Leiterplatte
- Flip-Chip-Technik für optische Justage
- Automatisierung
- Messtechniken für opt. Felder
- Gehäusetechnik

Hintergrund

Die optische Nachrichtentechnik ist die Basis moderner Kommunikationssysteme, welche zu einem der wichtigsten infrastrukturellen Grundpfeiler der modernen Gesellschaft geworden sind. Schlüsselkomponenten sind neben der Übertragungsfaser die optischen und optoelektronischen Komponenten, d.h. die photonischen Komponenten. Der Aufbau dieser Komponenten und die Ankopplung an die Faser stellt wegen der erforderlichen Justagegenauigkeit im Sub-Mikrometerbereich höchste Anforderungen an die photonische Aufbau- und Verbindungstechnik (PAVT). Die Techniken der klassischen elektrischen Aufbau- und Verbindungstechnik (EAVT), wie Bonden, Kleben, Löten oder Dickschicht- bzw. Dünnschichttechnik, werden ebenso zum Aufbau eines optoelektronischen Bauteils (OEIC) eingesetzt, wie Techniken aus der Mikrosystemtechnik. Dazu gehören das Ätzen von Siliziumsubstraten oder Maskentechniken und die Benutzung feinmechanischer Stallelemente mit Nanometerauflösung. Der systemtechnische Einsatzbereich der OEICs bestimmt maßgeblich den Aufbau der Modulgehäuse zur Aufnahme der OEICs. Für den Masseneinsatz, z. B. im Teilnehmerbereich oder im Auto, müssen die Module sehr preiswert sein. Sie können aber auch sehr teuer und aufwändig werden, wenn spezielle Funktionen für Weitverkehrsstrecken benötigt werden.

Die Erhöhung der Integrationsdichte in kommenden Systemkomponenten durch monolithische und hybride Integrationstechniken ist ein wichtiger Aspekt, der bei der Entwicklung neuer Techniken für die Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik zu berücksichtigen ist.

Themen und Zielstellung

Im Kontext der rasanten Entwicklung photonischer Technologien sind die Aktivitäten der Fachgruppe „Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik“ auf die Anwendungsbereiche Telekommunikation, Datacom und Automotive ausgerichtet.

Ziel der Fachgruppe ist es, eine nationale Plattform zur Diskussion oben genannter Themen zu bilden und darüber hinaus den Know-How-Aufbau und den Wissenstransfer durch Austausch und Auswertung von Erfahrungen und Informationen aktiv zu begleiten. Dazu gehören die Durchführung und Förderung nationaler und internationaler Diskussionsforen, Durchführung und Förderung nationaler und internationaler Tagungen, Erarbeitung von Richtlinien und Empfehlungen und auch die Initiierung von und Mitarbeit bei nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Bereich photonischer Aufbau- und Verbindungstechniken.

lokaler Ausrichter:

Fraunhofer IZM

Organisationsbüro:

Fraunhofer IZM-Berlin
Dr. Schröder
Gustav-Meyer-Allee 25,
13355 Berlin
Email: henning.schroeder@izm.fraunhofer.de

Organisation:



Harz University of Applied Sciences
Wernigerode
Prof. Dr. Ulrich H. P. Fischer-Hirchert
Friedrichstraße 57-59
38855 Wernigerode
E-mail: ufischerhirchert@hs-harz.de
Web <http://ufischerhirchert.hs-harz.de>

Mitglieder der Fachgruppe:

Carl Van Buggenhout
Melexis N.V., Belgium

Prof. Dr. U. Fischer-Hirchert,
Hochschule Harz, Wernigerode

Dipl.-Ing. M. Franke,
Siemens AG, Berlin

Dipl.-Ing. Lutz Melchior
Infineon Technologies AG, Berlin

Dr. J. Mohr
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Institut für Mikrostrukturtechnik, Karlsruhe

Dr. H. Schröder,
FhG-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrotechnik
(IZM), Berlin

Dr. Klaus Schulz,
MergeOptics GmbH, Berlin

Dipl.-Ing. Torsten Vahrenkamp,
Ficontec GmbH, Bremen

Dipl.-Ing. G. Walf,
FhG-Institut für Nachrichtentechnik,
Heinrich-Hertz-Institut, Berlin

Richard Pitwon
XyrATEX Ltd, United Kingdom

**Tagungsprogramm des V. ITG Workshops
„Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik“
Berlin**

Mittwoch, 28. März 2007

8:00 – 11:00 Registrierung

10:00 Uhr Begrüßung Prof. Fischer-Hirchert/ Dr. Schröder / Prof Reichl

Session 1: "Mikrooptische Komponenten und Systeme"

Chairman: U. Fischer-Hirchert

10:10 Neue Baugruppentechologie auf Basis von Dünnglaslaminaten (invited)
W. Scheel, H Schröder, Fraunhofer IZM, Berlin

10:40 "glassPack" – Funktionalisierungs-, Strukturierungs- und Fügetechnologien für
Dünnglasfolien
N. Arndt-Staufenbiel, L. Brusberg,; H.Schröder, Fraunhofer IZM Berlin

11:00 Kaffeepause (Foyer)

11:30 Optoelectronics system integration by soldering on ceramic PCB
E. Beckert, H. Banse, R. Eberhardt, A. Tünnermann, Fraunhofer AOF Jena, F. Buchmann, Askion GmbH, Gera

12:00 Wie sieht das Packaging von ROSA/TOSA der nächsten Modulgeneration
>10G aus
K. Schulz, MergeOptics Berlin,

Session 2: "Optisches Motherboard"

Chairman: L. Melchior

12:25 NoE ePIXnet / Platform for Photonic Packaging Technology
L. Zimmermann, TU-Berlin,

12:50 Novel VCSEL-Based Transceiver Chips for Bidirectional Optical Interconnects
Using Butt-Coupled Multimode Fibers
R. Michalzik; M. Stach; F. Rinaldi; and S. Lorch, Universität Ulm

13:15 Mittagessen

14:15 A Silicon Optical Bench for Optical Feeding an LTCC based Wireless
Transceiver
R. Gindera, L. Pergola; R. Vahldieck; and D. Jäger, Uni Duisburg

14:40 Assembly and Test of Optical Chips on Wafer Scale
J. Kropp, EZCONN GmbH, Berlin

15:05 Kaffeepause (Foyer)

- 15:45 Reliability of Wave Guide Integrated Photo-detectors in High Temperature Operation
M. Kroh, G. Unterbörsch, M. Harnisch, G. Tsianos, M. Junge, A. Umbach U²T Berlin

Session 3: "Polymeroptische Systeme"

Chairman: H. Schröder

- 16:10 Integrated injection moulded devices for polymeric fiber systems
J.-U. Just, M. Haupt, U. Fischer-Hirchert, Hochschule Harz, HarzOptics GmbH Wernigerode
- 16:45 Hybrid Integration Technology on Polymer Platform
N. Keil, H. H. Yao, C. Zawadzki, W. Schlaak, M. Möhrle, N. Grote, R. Schmidt Heinrich-Hertz-Institut (FHG), ELBAU Elektronik Bauelemente GmbH Berlin,
- 17:10 Konzeption, Umsetzung und Qualifizierung der automatisierten Montage elektrooptischer Bauelemente
M. Rösch, D. Craiovan, Uni-Erlangen

17:45 Abschlussworte und Ende des Workshops

17:45 18:30 get together

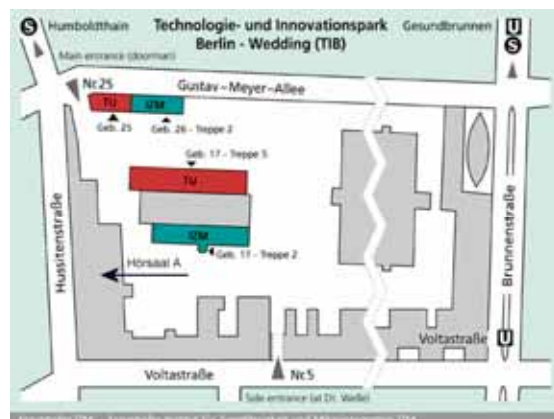
Einladung am Vortag:

Dienstag 27. März 2007 ab 19:00 "come together" im Brauhaus Mitte:

Am Abend vorher findet ein organisiertes Come-together um 19 Uhr im Brauhaus Mitte statt, zu der alle Teilnehmer herzlich eingeladen sind. Bitte melden Sie sich bei Herrn Fischer-Hirchert per Email dazu bis spätestens 26. März an.
(<http://www.brauhaus-mitte.de>)

Die Tagung findet statt:

Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Hörsaal A (Pfeil im Lageplan)
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin, +49 (0)30 / 46403-270
(Sekretariat, Frau Liske)



Per Auto: Stadtring (A 100) Richtung Wedding, Stadtring geht in die Seestraße über, rechts abbiegen in die Müllerstraße, diese geht in die Chausseestraße über, dann links in die Liesenstraße abbiegen, diese geht erst in die Scheringstraße, dann die Gustav-Meyer-Allee. Per Bahn: U-Bahn Linie 8 (Richtung Wittenau) bis Voltastraße. Oder S-Bahn-Linie 1 bis Humboldthain. Von dort sind es jeweils nur ca. 10 Minuten Fußweg zum Institut.

Hotelinformationen finden Sie im Internet unter: www.berlin-info.de

Hochschule Harz – Hochschule für angewandte Wissenschaften (FH)

Regional, International und Qualitätsorientiert

Zurzeit werden an der Hochschule Harz (FH) über 3.300 Studierende in insgesamt 20 innovativen Studiengängen ausgebildet. An ihren beiden Standorten, in der „Bunten Stadt am Harz“ Wernigerode (*Fachbereiche Automatisierung und Informatik sowie Wirtschaftswissenschaften*) und der Domstadt Halberstadt (*Fachbereich Verwaltungswissenschaften*), verfügt die Hochschule Harz mit einer hochmodernen sowie multimedialen Ausstattung über beste Voraussetzungen für erfolgreiches, zügiges Studieren.

Gegründet wurde die noch junge Hochschule vor rund 15 Jahren, im Oktober 1991, zunächst mit den Studienangeboten *BWL, Tourismus* und *Wirtschaftsinformatik* am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften in Wernigerode. Mittlerweile werden sechs Bachelor-Studiengänge im Bereich der Wirtschaftswissenschaften angeboten und die Studierendenzahl ist hier von anfänglich 77 Erstsemestlern auf heute rund 1.700 Studierende angewachsen. Zum Wintersemester 2007/2008 wird mit den beiden neuen Studiengängen *Business Consulting* und *Tourism and Destination Development* ein profilorientiertes Master-Programm eröffnet, das konsequent an den Anforderungen des Marktes ausgerichtet ist.

Nur ein Jahr nach der Hochschulgründung, im Herbst 1992, konnte der Lehrbetrieb am Fachbereich Automatisierung und Informatik, damals unter dem Namen Elektrotechnik/Informatik, aufgenommen werden. Mit Beginn des Wintersemesters 1992/1993 waren erstmals 28 Jungakademiker in den Studiengängen *Elektrotechnik* und *Informatik* immatrikuliert. Seitdem hat sich auch dieser Fachbereich rasant entwickelt. Heute studieren in den insgesamt acht ingenieurtechnischen bzw. informatikorientierten Studiengängen rund 800 junge Menschen. Komplettiert wurde das Studienangebot durch den neu eingerichteten und bereits akkreditierten Master-Studiengang *Informatik/Mobile Systeme*.

Der jüngste Fachbereich und gleichzeitig zweiter Standort der Hochschule Harz ist der Fachbereich Verwaltungswissenschaften in Halberstadt. Mit den beiden Studiengängen *Öffentliche Verwaltung* und *Verwaltungsökonomie/Öffentliches Dienstleistungsmanagement* startete zum Wintersemester 1998/1999 die neue Hochschulausbildung für den öffentlichen Sektor; inzwischen bundesweit als „Halberstädter Modell“ bekannt. Erweitert wurde das Ausbildungsangebot durch den Studiengang *Europäisches Verwaltungsmanagement* sowie den Bachelor-Studiengang *Public Management (E-Government)*, der aus einer zunehmend vernetzten Entwicklung von Informationstechnik und Verwaltungsmanagement hervorgegangen ist.

Die Hochschule Harz mit ihren drei Fachbereichen steht für eine praxisnahe, qualitativ hochwertige und internationale Ausbildung ihrer Studierenden. Eine intensive Vermittlung von Sprachkenntnissen – auch durch „Native Speaker“ –, insbesondere in den internationalen Studiengängen mit Dual-Degree-Abschluss, ist ein Markenzeichen des Studiums im Harz.

Neues Servicecenter am Standort Wernigerode

Auf dem Gelände der ehemaligen „Papierfabrik“ in Wernigerode ist für rund 16 Mio. Euro ein Servicecenter entstanden, in dem den Studierenden neben einem AudiMax und der Bibliothek auch ein High-Tech-Medien- und Sprachenzentrum zur Verfügung stehen. Hochmoderne Lehrräume und Labore für den Fachbereich Automatisierung und Informatik sowie gut ausgestattete Arbeitsplätze für Forschung und Wissenschaft bieten beste

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

Möglichkeiten, Absolventinnen und Absolventen professionell für den Berufseinstieg zu qualifizieren.

Domizil im Herzen von Halberstadt

Eine entscheidende Verbesserung der Lehr- und Lernbedingungen am Hochschulstandort Halberstadt konnte mit dem Umzug des Fachbereichs Verwaltungswissenschaften in das Zentrum der Domstadt erreicht werden. Mit diesem Erweiterungsbau ist im Herzen Halberstadts in einmaliger Symbiose aus alter und neuer Architektur des 16. bis 19. Jahrhunderts ein Gebäudedreiklang entstanden, der das hohe Niveau der Ausbildungsqualität unter optimalen Lernbedingungen dauerhaft sichert und symbolisch die enge Einbindung der Hochschule Harz in der Region widerspiegelt.

Ein Studium an der Hochschule Harz bietet:

→ Individuelle Betreuung der Studierenden durch kleine Seminargruppen, sehr gute technische Ausstattung in den Hörsälen und Laboren, ein multimediales Sprachenzentrum, intensive Sprachausbildung in allen Studiengängen, internationale Studienangebote inklusive Auslandssemester und Doppelabschluss, derzeit 64 Partnerschaften zu Hochschulen in 23 Ländern weltweit

Facettenreicher Service rund um das Studienangebot:

→ Campusweiter Internetzugang mittels Wireless-LAN-Technologie, Bündelung aller Serviceeinrichtungen direkt auf dem Campus (Mensa, Cafeteria, Wohnheime), eine attraktive Auswahl an Sportmöglichkeiten in eigener Trendsporthalle sowie Fitnessraum, ein breit gefächertes kulturelles Angebot, eine Vielzahl studentischer Initiativen sowie einen attraktiven Campus auf dem es viel zu entdecken gilt: vom Beach-Volleyballfeld auf der Festwiese über Grillplätze bis hin zur eigenen Haltestelle der Harzer Schmalspurbahnen

Hochschule Harz - Fachbereich Automatisierung / Informatik

Optische Nachrichtentechnik

[Kurzbeschreibung]

Die Hochschule Harz wurde 1991 in Wernigerode am Fuße des Brockens gegründet. Zurzeit studieren ca. 3300 junge Menschen aus der gesamten Bundesrepublik sowie ausländische Studenten an der Hochschule. Etwa 500 Studierende sind am Fachbereich Automatisierung und Informatik in sieben Studiengängen und einem Master-Studiengang eingetragen. Der Schwerpunkt optische Nachrichtentechnik und optische Aufbau- und Verbindungstechnik ist im Bereich Kommunikationstechnik integriert.

[Geräteausstattung]

Das Nachrichtentechniklabor ist mit modernsten Geräten ausgestattet, wie z.B.:

- opt. Dispersionsanalysator
- opt. Spektrumanalyser
- opt. Reflektometer (OTDR)
- opt. Fehlerratenmessplatz (10 GBit/s)
- opt. Wellenlängenmessgeräte
- opt. Breitbandoszilloskop (20GHz)
- Linienbreitenmessplatz
- hochstabile Wellenlängenreferenz @1547nm
- 6-Achsen Nanopositioniersystem Physik Instrumente
- div. Faserspleißgeräte Fujikura/Ericsson/Siemens

[F/E-Bereich]

- Charakterisierung optischer Bauteile
- WDM-Testbett
- opt. Frequenznormale
- opt. Aufbau und Verbindungstechnik

[Dienstleistungen]

- Faser-Chip-Koppeltechniken
- Konzeption von optischen Übertragungsstrecken, spez. POF
- Charakterisierung von Laserdioden und LEDs
- Optische Feldmessung

[Kontakt]

Hochschule Harz
FB Automatisierung und Informatik
Friedrichstr. 57-59
38855 Wernigerode

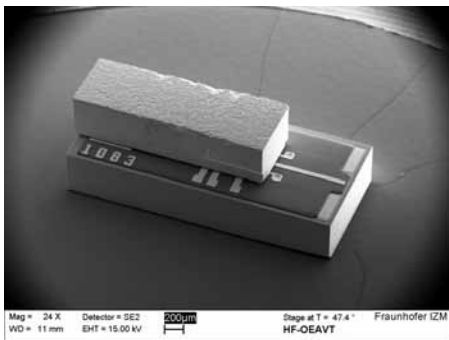
Prof. Dr. U. Fischer-Hirchert
Tel.: 03943 / 659 340
Fax: 03943 / 659 399
E-Mail: ufischerhirchert@hs-harz.de
Web: <http://ufischerhirchert.hs-harz.de/>



Fraunhofer Institut Zuverlässigkeit und Mikrointegration

Goal

As light will overcome the bottleneck of electrical wiring for high frequencies it becomes more and more a future medium for information transmission. Photonic packaging includes single packages, modules or subsystems comprising of at least one optoelectronic device or micro-optical element or optical interconnects. Thus the Photonics Packaging Program of IZM focuses on packaging technologies for optoelectronic and photonic integration on board, package and device level. These enabling technologies are driven today by the increasing demand of bandwidth in data- and telecommunication. Furthermore lightening and projection techniques require new concepts.



100 Gb/s photodiode flip chip assembled on thinfilm multilayer substrate

Optoelectronic or photonic modules - like receiver, transmitter, modulator, amplifier, switches or splitter - include light sources (edge emitting laser, VCSEL's or LED's), detectors, but also passive elements as lenses, fibers, filters, polarizer. These modules are rather complex compared to IC modules

and therefore manual assembly and alignment operation dominates today. Standard packaging methods and processes capable for automation have to be developed to reduce packaging cost drastically.

Market and Technology Trends

As packaging currently contributes up to 90% to the total component cost, there is a great interest in the industry in identifying possible cost reductions while at the time maintaining or improving reliability and ensuring volume production demands can be met. Whereas the drivers for the long haul market are bandwidth and reliability, for the Metro market furthermore it is size, flexibility and cost becomes a key. Following the technology forecast the packaging costs have to be reduced dramatically by methods and processes which has the capability of automation. To achieve high bandwidth, low loss, crosstalk, and EMV sensitivity on board level hybrid Electrical Optical Circuit Boards (EOCB) with planar polymer waveguides are under development. Here new polymer materials are in focus and glass waveguides which promise very low losses.

Strategic Photonic Packaging at IZM

The Program focuses on:

- Optoelectronic Packaging
 - wafer and single chip bumping
 - thermode bonding with high accuracy
 - Thermal and thermo-mechanical simulation
 - Submount assembly



- fluxless flip chip assembly with self-alignment using AuSn or SnAg



- Ultra-high brightness -LEDs
 - package development
 - LED mounting (AuSn),
 - converter application (foils)
 - transparent encapsulation

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

Ultra-HB-white LED and laser fused fiber optical collimator

- Fiber Packaging
 - Fiber lensing
 - laser fusing of fibers on micro-optical components (collimators)
 - Photonic bandgap fiber packaging
- Module Packaging
 - Fiber/array to chip coupling
 - Active and passive alignment
 - Adhesive fixing
- Optical Backplane & EOCB
 - hot embossing and UV-direct writing for polymer waveguides
 - ion exchanged glass waveguides
 - 90° beam deflection for module coupling
- Image Sensors
 - Pixel detectors for IR, X-ray and high energy beam experiments
 - Wafer level OPTO-CSP for CCD and CMOS cameras
- Micro Devices
 - Micro Spectrometer
 - Laser Projection Devices
- Materials
 - New optical Polymers

Ziel

Das Licht ist geeignet, den Engpass in der elektrischen Signalführung bei steigenden Frequenzen zu überwinden. Das Photonik Packaging Programm des Fraunhofer IZM fokussiert daher auf Aufbau- und Verbindungstechniken für die optische und optoelektronische Integration. Die Entwicklung der Schlüsseltechnologien wird angetrieben durch die Nachfrage nach zusätzlicher Bandbreite in der Daten- und Telekommunikation. Des Weiteren werden neue Konzepte für die Beleuchtungs- und Projektionstechnik benötigt.

In optoelektronischen / photonischen Modulen - z.B. Sender und Empfänger, Modulatoren, Verstärker, Schalter oder Weichen - sind Lichtquellen (Kantenemitter, VCSEL oder LED's), Detektoren aber auch passive Elemente wie Linsen, optische Fasern, Filter und Polarisatoren integriert.



Gespeißte strukturierte Faser und gelinste Faser mit geformtem GRIN-stub

Solche komplexen Module werden heute noch vorwiegend manuell aufgebaut und justiert. Es besteht die Herausforderung, für die Aufbau- und Verbindungstechnik standardisierte Methoden und Verfahren zu entwickeln, die für eine Automatisierung geeignet sind und die Fertigungskosten hier drastisch zu senken.

Markt- und Technologietrends

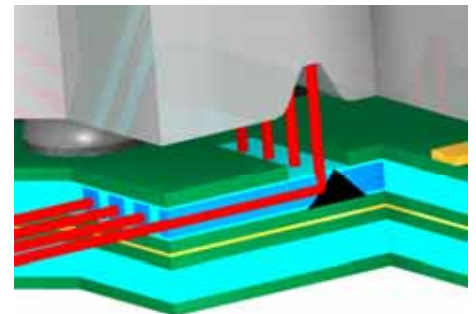
Da derzeit die Aufbau- und Verbindungstechnik bis zu 90% der Gesamtkosten beisteuern, ist das Interesse in der Industrie groß, mögliche Kostenreduktionen zu identifizieren und gleichzeitig die Zuverlässigkeit und Fähigkeit zur Massenproduktion zu verbessern. Während die treibenden Kräfte im Weitverkehrsmarkt die Zuverlässigkeit und die Bandbreite sind, wird der Metro-Markt eher durch Miniaturisierung, Flexibilität und Kosten bestimmt.

Folgt man den Technologievorhersagen, müssen die Kosten für die Aufbau- und Verbindungstechnik erheblich reduziert werden durch Methoden und Prozesse, die eine Automatisierung ermöglichen. Um hohen Bandbreiten, geringe Verluste und Übersprechen und die elektromagnetische Verträglichkeit

auf der Substratebene zu erreichen, werden elektro-optische Schaltungsträger (EOCB) mit planaren Wellenleitern entwickelt. Als Wellenleiter kommen neue Polymere als auch verlustarme Gläser in betracht.

Photonische AVT am IZM

- Optoelektronische AVT
 - Wafer und Single-Chip Bumping
 - positionsgenaueres Thermoden-Bonden
 - Thermische und thermomechanische Simulation
 - Submount Montage
 - flussmittelfreies Flip-Chip Lötten mit Selbstzentrierung (AuSn, SnAg)
- Ultra-High Brightness -LEDs
 - Gehäuse-Entwicklung
 - LED Montage (AuSn)
 - Konverter Applikation (Folien)
 - Transparente Verkapselung
- Modul-Packaging
 - Faser/Array zu Chip Kopplung
 - Aktives und passives Alignment
 - Faserfixierung (Kleben)
- Optische Backplane & EOCB
 - Heißprägen und UV-Direktschreiben von Polymerwellenleitern
 - Ionenaustausch in Dünnglas
 - 90° Strahlumlenkung für Modul



Schematischer Aufbau einer hybriden elektrisch-optischen Leiterplatte mit 90° Strahleinkopplung

- Fasermontage
 - Faser-Linsen

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

- Laserschmelzen von Fasern an mikrooptische Komponenten
- Fasern mit photonischer Bandlücke

- Bildsensoren
 - Pixeldetektoren für Infrarot, Röntgen und Hochenergie-Strahlen-Experimente
 - Wafer-Level OPTO-CSP für CCD and CMOS Kameras

- Mikro-Devices
 - Mikro-Spektrometer
 - Laser-Projektions-Bausteine

- Materialien
 - Neue optische Polymere

verantwortlich:

Dr. Henning Schröder

Dr. Hermann Oppermann

oppermann@izm.fraunhofer.de

schroeder@izm.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

Neue Baugruppentechologie auf Basis von Dünnglaslaminaten (invited)	14
W. Scheel, H Schröder, Fraunhofer IZM, Berlin	
“glassPack” – Funktionalisierungs-, Strukturierungs- und Füge-technologien für Dünnglasfolien	18
N. Arndt-Staufenbiel, L. Brusberg,; H.Schröder, Fraunhofer IZM Berlin	
Optoelectronics system integration by soldering on ceramic PCB	22
E. Beckert, H. Banse, R. Eberhardt, A. Tünnermann, Fraunhofer AOF Jena, F. Buchmann, Askion GmbH, Gera	
Wie sieht das Packaging von ROSA/TOSA der nächsten Modulgeneration >10G aus	25
K. Schulz, MergeOptics Berlin	
NoE ePIXnet / Platform for Photonic Packaging Technology	29
L. Zimmermann, TU-Berlin	
Novel VCSEL-Based Transceiver Chips for Bidirectional Optical Interconnects Using Butt-Coupled Multimode Fibers	33
R. Michalzik; M. Stach; F. Rinaldi; and S. Lorch, Universität Ulm	
A Silicon Optical Bench for Optical Feeding an LTCC based Wireless Transceiver	38
R. Gindera, L. Pergola; R. Vahldieck; and D. Jäger, Uni Duisburg	
Assembly and Test of Optical Chips on Wafer Scale	42
J. Kropp, EZCONN GmbH, Berlin	
Reliability of Wave Guide Integrated Photo-detectors in High Temperature Operation	45
M. Kroh, G. Unterbörsch, M. Harnisch, G. Tsianos, M. Junge, A. Umbach U2T Berlin	
Integrated injection moulded devices for polymeric fiber systems	47
J.-U. Just, M. Haupt, U. Fischer-Hirchert, Hochschule Harz, HarzOptics GmbH Wernigerode	
Hybrid Integration Technology on Polymer Platform	51
N. Keil, H. H. Yao, C. Zawadzki, W. Schlaak, M. Möhrle, N. Grote, R. Schmidt Heinrich-Hertz-Institut (FHG), ELBAU Elektronik Bauelemente GmbH Berlin	
Konzeption, Umsetzung und Qualifizierung der automatisierten Montage elektrooptischer Bauelemente	55
M. Rösch, D. Craiovan, Uni-Erlangen	

Neue Baugruppentechologie auf Basis von Dünnglaslaminaten

Scheel, W.; Schröder, H.

Zusammenfassung

Der Bedarf an Bandbreite zur störungsfreien Übertragung großer Datenmengen innerhalb von Rechner- und Telekommunikationssystemen steigt weiterhin an. Für die damit verbundene Forderung nach hochbitratigen Kurzstreckenverbindungen stellen optische Übertragungsstrecken eine sinnvolle Alternative zu hochfrequenten elektrischen Verbindungen dar. Beispielhaft werden Ergebnisse zur Herstellung von Leiterplatten mit innenliegenden optischen Wellenleitern auf Polymerbasis und in Dünnglasfolien vorgestellt. Als weiterer Schwerpunkt wird ein Konzept für den Übergang zu vollständig auf Basis von Dünnglas hergestellten Baugruppenträgern diskutiert.

Index Terms — EOCB, PCB, optical interconnect, thin glass foil

EINLEITUNG

Neue Aufbautechniken für elektronische, opto-elektronische und optisch multifunktionale Packages und Substrate sind ein Schlüssel zu innovativen Produkten. In diesem Sinne wird die optische Funktionalisierung von Leiterplatten durch planar integrierte Polymer- und Glaswellenleiter entwickelt und wird im vorliegenden Beitrag mit Hinweis auf einige spezielle Verfahren vorgestellt. Ein funktionaler und wirtschaftlicher Vorteil kann sich ergeben, wenn bereits eingeführte Technologien mit neu verfügbaren Materialien und Komponenten in neuen Konzepten zusammengeführt werden. Dem weiter hinten vorgestellten Dünnglaskonzept liegt eine solche Idee zugrunde. Kern des Konzeptes ist die Realisierung von dreidimensionalen optischen und optisch-elektrischen Packages (BGA, CSP) für die Sensorik und optische Datenübertragung mit Hilfe von in der Displaytechnik genutztem Dünnglas auf der Level-1-Ebene, d.h. im Bereich der Chipverarbeitung oberhalb der Baugruppe. Eine solche Technologie könnte die Grundlage für Produkte deutlich verbesserter Performance und Zuverlässigkeit im Bereich der Opto-Packages sein (Opto System in Package). Allerdings sind selbst die Grundlagenuntersuchungen auf diesem Gebiet der Systemintegration noch im Anfangsstadium. Aus der Sicht der klassischen Baugruppentechologie führt diese Integration von Technologien der Aufbau- und Verbindungstechnik zu einer Auflösung der Grenze zwischen Level-1- und Level-2-Ebene. In Bild 1 ist eine Roadmap angegeben, in der dieser Übergang

als 6. Generation der Baugruppentechologie, als Multi-Funktionales-Board (MFB) gekennzeichnet ist. Das vorgeschlagene Konzept weist technologisch einen sehr aussichtsreichen Weg in diese Richtung.

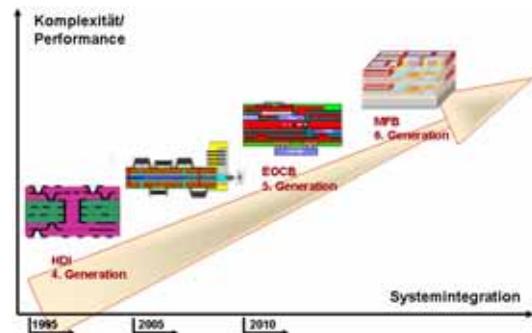


Bild 1: Entwicklung der Baugruppentechologie über die High-Density-Interconnect (HDI) und Electrical-Optical-Circuit-board-Technologie hin zur 6. Generation, dem Multi-Funktionalen Board (MFB)

ELEKTRO-OPTISCHE LEITERPLATTEN

Die Möglichkeit optischer Signalübertragung für hohe Datenraten im Intrasystembereich unter Nutzung planarer und in die Leiterplatte integrierter Wellenleiter wird seit Jahren international voran getrieben. Insbesondere die Möglichkeit, durch parallel-optische Übertragung die Bandbreite der Systeme auch mit vorhandenen Bauelementen bereits stark zu erhöhen, treibt diese Entwicklung (siehe Bild 2).

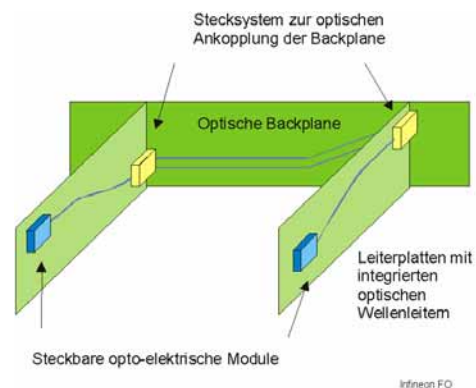


Bild 2: Systemkonfiguration Tochterkarte – Backplane – Tochterkarte mit integriert optischen Wellenleitern (Projekt NeGIT)

Die Anwendungen hierfür sind Server, Supercomputer und Telekom-Verteiler. In

Deutschland wird seit etwa 8 Jahren intensiv an der Integration planarer optischer Wellenleiter in Schaltungsträger gearbeitet. Ziel ist es dabei, die prognostizierte Grenze für die elektrische Signalübertragung von etwa 10 Gbit/s x m [1] durch den Übergang zu optischen Backplanes und hybrid elektro-optischen Schaltungsträgern (Electrical Optical Circuit Board) zu überwinden [2,3,4].

Markt

Für den Zeitpunkt der Einführung elektro-optischer Leiterplatten in den Markt sind Kosten-vorteile entscheidend, die sich aus dem Vergleich der Kosten für diese neuartige Technologie (Komponenten und Aufbau- und Verbindungstechnik) und den konservativen Möglichkeiten zur Steigerung der Übertragungsbandbreite auf dem Wege elektrischer Signalübertragung ergeben. Störsicherheit, Verlustleistung, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Platzbedarf sind dabei – neben der übertragbaren Bandbreite - entscheidende Faktoren. Der Übergang in den Markt wird entsprechend der iNEMI Technology Roadmap - Optoelectronic in den Jahren 2007...2009 erwartet [5].

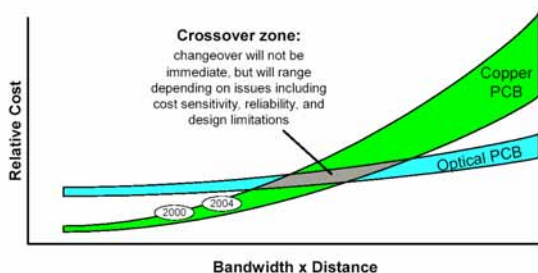


Bild 3: Der Übergang von der elektrischen zur optischen Datenübertragung auf Leiterplatten ist von den Kosten im Verhältnis zum geforderten Bandbreite-Länge-Produkt abhängig. Dieser Übergang wird 2007...2009 erwartet [5]

Aufbaukonzepte

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann zwischen mehreren Aufbautechnologien elektro-optischer Leiterplatten unterschieden werden [6]:

- Overlaytechnologie
- Inlaytechnologie

Die verschiedenen Lösungsansätze werden nachfolgend kurz charakterisiert.

Overlaytechnologie:

Bei der Overlaytechnologie werden die optischen Wellenleiter durch Heißprägen, Photolithographie oder UV-Direktschreiben in beziehungsweise auf einer Polymerfolie realisiert, die erst nach der Bestückung der elektronischen Baugruppe aufgebracht wird. Die Polymerwellenleiter sind dadurch nur der Betriebstemperatur der Baugruppe ausgesetzt. Als Materialien werden häufig Acrylate mit einer mittleren Dämpfung der Wellenleiter von 0.02...0,1 dB/cm bei Lichtwellenlänge 850 nm

eingesetzt. Die Art der Herstellung der Wellenleiter gestattet auch die Erzeugung passiver optischer Strukturen wie zum Beispiel Verzweigern. Allerdings bedingt die Overlay-Technologie einen zusätzlichen Prozessschritt nach der Bestückung, wodurch die Produktionskosten steigen. Des Weiteren sind die Wellenleiter der Umgebung ausgesetzt, wodurch es zu Zuverlässigkeitsproblemen kommen kann.

Inlay-Technologie:

Bei der Inlay-Technologie wird die die Wellenleiter enthaltende Lage aus Kunststoff bzw. Glas vorzugsweise in die Mitte der Leiterplatte einlaminiert. Das bedeutet allerdings, dass die Wellenleitende Schicht der Temperaturbelastung des Laminierens und der Montage (Löten, Klebstoffhärtung usw.) standhalten muss. Bild 4 veranschaulicht das Inlaykonzept.

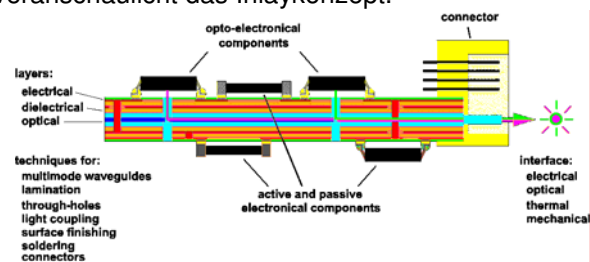


Bild 4: EOCB mit optischer Lage als Inlay.

Polymer-Wellenleiter

Die durch Photolithographie oder Heißprägen hergestellten und einlaminierten optischen Wellenleiterstrukturen können durch Stirnflächenkopplung mit den optoelektronischen Komponenten (Transmitter, Receiver) verbunden werden. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, dass Probleme durch hohe Koppeldämpfung, Übersprechen und das Montieren zusätzlicher Koppellelemente reduziert werden können. Eine weitere Variante besteht in der Integration von Umlenkelementen, die eine Oberflächenmontage der elektro-optischen Module erlauben.

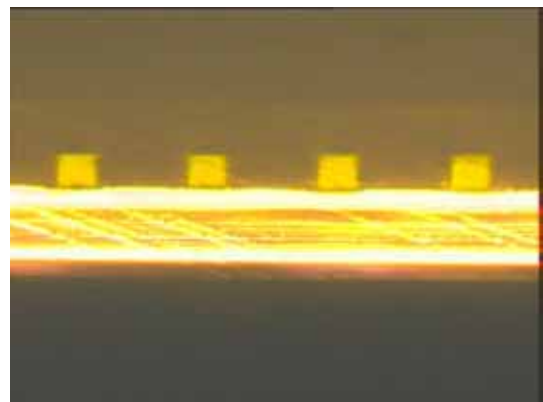


Bild 5: Optische Lage mit 4 Multimode-Wellenleitern in einem FR4-Multilayer-Aufbau (Mikroskopaufnahme im Durchlicht).

Glas-Wellenleiter

Eine weitere Variante des Inlaykonzeptes zur Herstellung eines hybriden elektrisch-optischen Baugruppenträgers beruht auf der Integration von Glaslagen in Form von planaren Folien.

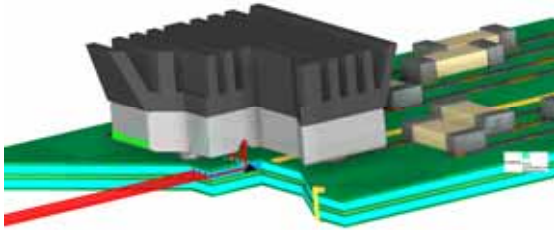


Bild 6: Dünnglas-Konzept für elektro-optischen Leitplatten mit planar integrierten Wellenleitern (Projekt Futureboard)

Materialbedingt ist beim Einsatz von Polymeren die optische Dämpfung um mehrere Größenordnungen höher als bei Glas, so dass vor allem für zu realisierende optische Verbindungen im Backplanebereich das Leistungsbudget häufig noch nicht ausreicht. Unabhängig von Weiterentwicklungen auf dem Gebiet polymeroptischer Verbindungstechnik verspricht die Verwendung von Dünnglas als Material für die Wellenleiter eine Erhöhung der Dimensionsstabilität der Baugruppenträger selbst, wodurch die Montage von Nacktchips direkt auf die Leiterplatte ermöglicht werden kann. Dies ist ein weiterer, wesentlicher Vorteil des vorgestellten Konzeptes, welches sich gegenwärtig in der Entwicklungsphase befindet. Diesem Versprechen steht ein hohes Risiko gegenüber, da bisher keine Erfahrungen mit dem Einsatz von Glasfolien und den notwendigen Strukturierungstechnologien für Multimode-Wellenleiter und ihrer Integration in Baugruppenträger vorliegen.

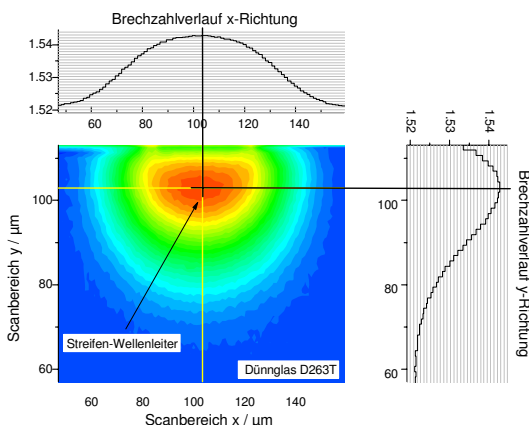


Bild 7: Zweidimensionales Profil über einen MM-Gradientenindex-Wellenleiter in Dünnglas, hergestellt durch Silber-Ionenaustausch

Die bisher erzielten Ergebnisse sind sehr vielversprechend. Bild 7 zeigt das RNF-gemessene Brechzahlprofil eines durch Silberionenaustausch hergestellten MM-Wellenleiters in Dünnglas.

„GLASSPACK“-KONZEPT

Ziel dieses, aus dem Konzept der Integration von optisch funktionalisiertem Dünnglas in Baugruppenträger entwickelten, Konzeptes ist die Entwicklung kompletter dreidimensionaler optischer und optisch-elektrischer Packages mit Baugruppenkompatibilität für die Sensorik und optische Datenübertragung auf Basis von in der Displaytechnik genutztem Dünnglas. Mit Hilfe von Technologien aus der Mikrosystemtechnik, der optischen sowie elektronischen Aufbau- und Verbindungstechnik sowie der integrierten Optik können verfügbare Dünnglasfolien vorgefertigt (strukturiert und funktionalisiert) werden und in einem polymerfreien Verbindungsprozess zu 3D-Modulen und Mikrosystemen aufgebaut werden. Bei dem vorgeschlagenen Konzept handelt es sich um einen grundlegend neuartigen Ansatz, der auf polymerhaltige Basismaterialien konsequent verzichtet und nicht auf eine Weiterentwicklung der Leiterplatte als solcher zielt – Ziel sind stattdessen multifunktionale elektro-optische oder optische Baugruppen aus gestapeltem Glas, die gegebenenfalls auf Leiterplatten montiert werden können, jedoch nicht müssen. In Bild 8 ist dies an einem Ausführungsbeispiel schematisch dargestellt. Charme und Herausforderung des sogenannten „glassPACK“-Konzeptes sind die Verbindung von etablierten Technologien und neu zur Verfügung stehenden Materialien mit neuartigen Aufbaukonzepten. Im Ergebnis sind neue Funktionalitäten und daraus resultierende Produkte in verschiedenen Anwendungsfeldern möglich, die sich durch höhere Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit auszeichnen.

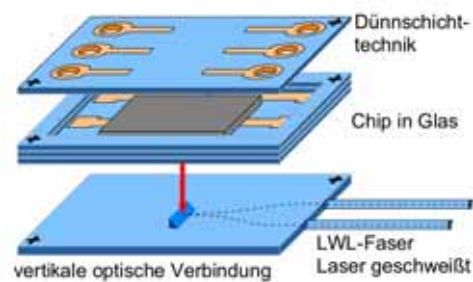


Bild 8: glassPack-Konzept für Sensoren und High-Speed-Module

Die Realisierung dieses Konzeptes bringt erhebliche technologische und wirtschaftliche Vorteile und durch die Verwendung des ökologisch unbedenklichen Glases geringere Umweltbelastungen bei Entsorgung oder Recycling. Die Vorteile im Einzelnen sind:

- Durch die Verwendung von Dünnglas liegen optisch transparente Trägermaterialien vor, die sowohl „optische Fenster“ als auch integrierte optische Wellenleiter ermöglichen
- Die thermischen und thermomechanischen Eigenschaften derartiger Packages sind

materialbedingt deutlich besser als solche, die Polymere enthalten (Glasübergangstemperatur ≈ 560 °C, geringer CTE ≈ 7 ppm, gute Steifigkeit)

- Die Hochfrequenzeigenschaften sind durch einen geringen dielektrischen Verlustfaktor $\tan \delta \approx 6 \cdot 10^{-3}$ und einer Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r \approx 7$ sehr gut
- Einzelne Glaslagen sind mikromechanisch vorstrukturierbar, so dass Rahmen und Funktionsstrukturen wie Biegebalken und Spiegelflächen erzeugbar sind (MOEMS Module, Opto System in Package)
- Das polymerfreie Fügen der Lagen führt zu optisch transparenten und sehr zuverlässigen Modulen mit hoher Medienresistenz
- Umweltschädliche Flammschutzmittel wie in der Verkapselungstechnologie auf Polymerbasis kommen nicht vor

ZUSAMMENFASSUNG

Funktionalität, Komplexität und Gebrauchsfähigkeit elektronischer Geräte und Systeme werden hauptsächlich durch den technologischen Fortschritt bei der Integration elektronischer Schaltkreisstrukturen auf dem Chipniveau bestimmt. Daraus ist auch ableitbar, dass grundsätzlich neue bzw. modifizierte bisherige Lösungswege für die elektronische Baugruppenfertigung zu gehen sind.

Abgeleitet aus den Erfordernissen der Übertragung künftiger Datenraten wird für zukünftige Baugruppen für die Kommunikationstechnologie und die Sensorik neben dem EOCB-Baugruppenträger ein elektro-optischer Verdrahtungsträger auf der Basis von Dünnglas vorgeschlagen.

LITERATUR

- [1] Berger, Chr.; Beyerle, R.; Bona, G.-L.; Dangel, R.; Dellmann, L.; Dill, P.; Horst, F.; Kossel, A.; Menolfi, Chr.; Morf, T.; Offrein, B.; Schmatz, M.L.; Toifl, T.; Weiss, J., Optical links for printed circuit boards; 16th Annual Meeting of IEEE/LEOS 2003-11-24; 26.-30. October 2003, Tucson, Arizona, USA
- [2] Krabe, D.; Ebling, F.; Arndt-Staufenbiel, N.; Lang, G.; Scheel, W.; Proc. 50th ECTC, May 21-24, 2000, Las Vegas, CA, USA
- [3] Scheel, W., Baugruppentechologie der Elektronik. Verlag Technik Berlin, Eugen G. Leutze Verlag Saulgau, 1999.
- [4] H. Schröder, J. Bauer, F. Ebling, W. Scheel, M. Franke, J. Kostelnik, H. Park, R. Mödinger, K. Pfeiffer, E. Griese, A. Demir, M. Reuber, „Elektro-Optische Leiterplatten: Wellenleitertechnologie und optische Schnittstellen“, GMM/DVS-Tagung Elektronische Baugruppen. Aufbau- und Fertigungstechnik, 4. / 5. Februar 2004, Fellbach, Deutschland
- [5] iNEMI Technology Roadmap Dec 2004, Component/Subsystem Technologies, Optoelectronics – Level 2, , S. 4

“glassPack” – Funktionalisierungs-, Strukturierungs- und Füge-technologien für Dünnglasfolien

Arndt-Staufenbiel, N.; Brusberg, L.; Schröder, H.

Abstract — Baugruppen aus Glas sollen zukünftige Bandbreitenanforderungen auf Board- und Modulebene nachkommen sowie integrierte Sensorikaufgaben zuverlässig übernehmen. Dabei sind geeignete Technologien für die Funktionalisierung, Strukturierung und das Fügen von Glas notwendig. Bereits etablierte Verfahren aus der Mikrosystemtechnik sowie grundsätzliche neue Ansätze sind dabei zu untersuchen. Ein Technologie-Baukasten wird vorgestellt, welcher alle Grundlagen der Herstellung von Wellenleitern sowie Aufbau- und Verbindungstechniken für neuartige Baugruppen auf Basis von Dünngläsern beinhaltet.

Index Terms — D263T, Diffusionsbonden, glassPack, Ionen-Austausch, Laserfusion, Wasserglas

1. EINLEITUNG

In den letzten Jahren sind zunehmend Ansätze für eine Integration von optischen Funktionen in bewerte Leiterplattensysteme auf FR4-Basis zu beobachten [1,2]. Diese elektrisch-optischen Leiterplatten (electrical optical circuit board - EOCB) sollen den zunehmenden Bandbreitenbedarf in Baugruppen zukünftig lösen. Dabei werden geprägte Wellenleiter in Polymerlagen oder optisch funktionalisierte Dünngläser in FR4-Substrate einlaminiert [3]. Dieser Ansatz setzt auf bewährte Laminationsverfahren und ist von der Leiterplattenindustrie mit bestehender Ausrüstung prinzipiell umsetzbar. Daher ist eine Markteinführung bald zu erwarten. Darüber hinaus könnten in Zukunft Baugruppen ganz auf Basis von Dünnglas mit komplex integrierten optischen und elektrischen Schaltungen möglich sein. Das “glassPack“-Konzept ist ein Weg dahin und kann sowohl hohe Datenraten auf Boardebene als auch die Integration von neuartigen sensorischen Anwendungen in das Modul ermöglichen. Dafür sind bewährte und neue Technologien zu kombinieren. In der vorliegenden Arbeit werden grundlegende Forschungsarbeiten zur Entwicklung solcher angepasster Technologien für dieses „neue“ Material beschrieben.

2. “GLASSPACK“-KONZEPT

2.1 Definition

Das “glassPack“-Konzept basiert auf der Strukturierung und elektrischen sowie optischen Funktionalisierung von Dünnglasfolien, welche durch Füge-technologien zu einer hoch funktionellen Einheit aus verschiedenen Schichten mit integrierten Bauelementen laminiert werden. Damit kann eine elektrische, optische und/oder fluidische Systemintegration erfolgen. Eine Anbindung zur optischen Außenwelt wird über ein direktes Fügen von optischen Glasfasern an integrierte Wellenleiter im Dünnglas umgesetzt. In Bild 1 ist ein schematischer Aufbau eines solchen Packages veranschaulicht.

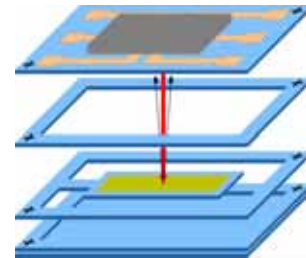


Bild 1: Darstellung einer möglichen Umsetzung des „glassPack“-Konzeptes, welches aus einer Lamination von strukturierten Dünngläsern besteht, die über Justierkreuze zueinander positioniert sind. Der oberste Layer besteht aus einer elektrisch funktionalisierten Dünnglasfolie bestückt mit einem Laser, welcher Licht vertikal emittiert.

2.2 Dünnglasfolien

Bekannt aus der Displaytechnologie werden Schott D263T [4] Dünnglasfolien verwendet. D263T ist ein Borosilikatglas, welches ab einer Stärke von 30 µm lieferbar ist. Die optischen Eigenschaften (Brechzahl, Dämpfung, Transmission) sind ähnlich denen von LWL-Glasfasern, wie sie in der Telekommunikation bei Wellenlängen um 1310 nm und 1550 nm verwendet werden. Weiterhin besitzt es annähernd denselben thermischen Ausdehnungskoeffizienten ($CTE \approx 7$ ppm) wie Silizium. Bei thermischen Wechselbeanspruchungen haben Realisierungen von Chip-on-Glass kaum auftretende mechanische

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

Spannungen zur Folge. Die Glasübergangstemperatur von D263T liegt bei 557°C womit es im Vergleich zu Packages auf Polymerbasis ein breiteres Anwendungsfeld erschließt. Aufgrund seines dielektrischen Verlustfaktors von $\tan \delta \approx 6 \cdot 10^{-3}$ und einer Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r \approx 7$ ist es genauso wie Al_2O_3 -Keramiksubstrate ($\epsilon_r \approx 6$) [5] bestens für Hochfrequenzanwendungen geeignet. Die chemische Stabilität und Neutralität von D263T macht es für Sensorikaufgaben mit integrierten fluidischen Kanälen, wie es bei Lab-on-Chip-Anwendungen der Fall ist, interessant.

2.3 Technologie-Baukasten

Die Realisierung des "glassPack"-Konzeptes verlangt die grundlegenden Untersuchungen auf den Gebieten der Funktionalisierung, Strukturierung und Lamination von Dünngläsern, sowie das Fügen zu optischen Fasern. Ziel ist es, geeignete Technologien und Aufbau- und Verbindungstechniken zu beherrschen, welche anwendungsorientiert zu einer angepassten Realisierung führen. Zukünftige Anwendungen sollen im Bereich der Sensorik und optischen Datenübertragung liegen. Im Folgenden werden Technologien zur Realisierung des Baukastens grundlegend erläutert und aktuelle Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

3. ELEKTRISCHE FUNKTIONALISIERUNG

Elektrische Schaltkreise auf optisch funktionalisierten Dünngläsern geben die Möglichkeit optische und elektrische Anwendungen in einem Modul oder Board zu vereinen. Dabei müssen dünne Metallschichten durch Aufdampfen, Plasmaabscheidung oder Sputtern aufgebracht und anschließend strukturiert werden. Prinzipiell haften leicht oxidierende Metalle besser auf Glas als Edelmetalle [5]. Daher ist Aluminium als Haftvermittler bestens geeignet und kann über einer Diffusionsbarriere aus Nickel mit Gold oder Silber galvanisch verstärkt werden. Auf den Kontaktflächen können die SMDs bestückt und mittels Drahtbonden oder Lötens kontaktiert werden. Dieses Beispiel ist je nach Anwendung durch andere Metallisierungs- und Bestückungstechnologien der Halbleiter- oder Leiterplattenindustrie ersetzbar.

4. OPTISCHE FUNKTIONALISIERUNG

Um Dünngläser optisch zu funktionalisieren, wird im "glassPack"-Konzept der Ionenaustausch zwischen dem Dünnglas und einer Salzschnmelze zur Herstellung von optischen Wellenleitern favorisiert. Dabei werden kleinere Alkaliionen aus dem Glas gegen größere Alkaliionen aus der Salzschnmelze getauscht, wodurch eine

Brechzahlerrhöhung im Glas erzeugt wird [6]. Prozessbeeinflussende Faktoren sind die Temperatur und Dauer des Prozesses sowie die Konzentration der Dotanten im Glas und in der Schmelze. Weiterhin kann ein Erhöhen der Ionen-Beweglichkeit durch ein angelegtes elektrisches Feld oder einen thermischen Gradienten erfolgen. Erfolgreiche Untersuchungen wurden mit dem Austausch von Silberionen aus einer Salzschnmelze von 350°C gegen Natriumionen aus dem Dünnglas erzielt. Strukturierte Diffusionsmasken aus Aluminium mit Öffnungen von 30 µm definieren beidseitig die resultierenden Wellenleiterdimensionen von ca. 53 µm x 110 µm, welche in Bild 2 dargestellt sind.



Bild 2: Beidseitig optisch funktionalisiertes Dünnglas mit Wellenleiterdimensionen von ca. 53 µm x 110 µm hergestellt durch Silberionen-Austausch mit einer Salzschnmelze.

Die Verteilung des Brechungsindex im Dünnglas wird mittels Strahlungsfeldverfahren (refractive near field - RNF) ermittelt. Die gemessene Numerische Apertur (NA) der Wellenleiter beträgt 0,266, wodurch eine Ankopplung an Standardgradientenindex-Lichtwellenleiter ermöglicht wird. Die bei einer Wellenlänge von 850 nm gemessene Wellenleiterdämpfung beträgt bei einer solchen Ankopplung 0,15 dB/cm. In Bild 3 ist die gemessene Brechzahlverteilung im Dünnglas für einen Ausschnitt (Querschnitt) mit vier Wellenleitern gezeigt. Ziel zukünftiger Arbeit wird es sein, die erzeugten Wellenleiter weg von der Oberfläche und tiefer ins Dünnglas hinein diffundieren zu lassen. Des Weiteren wird angestrebt, die Prozesstechnik so weit zu beherrschen, dass die anwendungsspezifisch geforderten Brechzahlprofile hergestellt werden können.

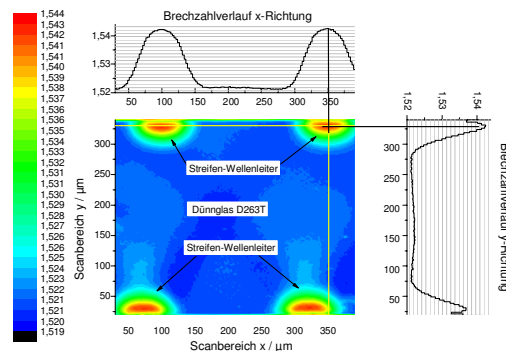


Bild 3: Brechzahlverlauf von zwei Wellenleitern auf der Oberseite bzw. der Unterseite der Dünnglasfolie hergestellt durch einen Ionen-Austausch in einer Salzschnmelze (Querschnitt). Die Brechzahl im Kern der Faser beträgt 1,544 und nimmt in Richtung Dünnglas hin ab.

5. STRUKTURIERUNG VON DÜNNGLÄSERN

Die Strukturierung umfasst die geometrische Veränderung von Dünngläsern beim Zuschneiden von Distanzrahmen für 3D-Aufbauten, das Herstellen von Vias sowie das Vereinzeln von Baugruppen. Die verwendeten Technologien basieren auf optischen sowie mechanischen Trenn- und Bohrverfahren.

Bekannt aus der Halbleitertechnik können Draht- oder Scheibensägen zum Vereinzeln von Baugruppen benutzt werden. Die Sägeblätter sind mit Diamantstaub belegt und durchschleifen das Dünnglas langsam. Eine weitere Technologie für das Vereinzeln von Baugruppen aber auch für das Strukturieren von Rahmen ist das Ritzen mit einem Diamantgriffel welches zu einer V-Struktur im Glas und einem verlaufenden Tiefenriß führt. Nach dem Anritzen wird das Dünnglas gekrümmt und die einwirkenden mechanischen Spannungen brechen das Glas an den selektierten Stellen [7]. Neben den rein mechanischen Verfahren gibt es die Möglichkeit Dünnglas auch optisch durch einen CO₂-Laser zu strukturieren. Dabei muss das Glas die Energie des Lasers aufnehmen und in Wärme umsetzen. Durchgeführte Versuche zeigten, dass mittels eines CO₂-Lasers die Strukturierung von Gräben möglich ist. Bislang konnte das Glas aber nicht vollkommen durchtrennt werden, da thermisch induzierte mechanische Spannungen bei der Bearbeitung noch nicht beseitigt werden konnten. In Bild 4 ist ein strukturierter Graben zu sehen.



Bild 4: Lichtmikroskopische Aufnahmen eines laserstrukturierter Grabens (links) und eine Struktur, die mittels CNC-Fräse in die Glasoberfläche eingearbeitet wurde (rechts). In beiden Fällen wurde D263T-Dünnglas als Substrat verwendet.

Zur Erzeugung von Kavitäten im Dünnglas kann das Fräsen mittels CNC-Fräse verwendet werden. Dabei wird mittels Hartmetallbohrer die Oberfläche des Glases bearbeitet, so dass wie in Bild 4 dargestellt, Strukturen im Glas herstellbar sind.

Entscheidend für die elektrische und thermische Durchkontaktierung im Multi-Layer-Aufbau ist die Herstellung von Vias. Neben dem mechanischen Bohren werden im Technologie-Baukasten Vias mittels Laser erzeugt. Dabei wird die Laserenergie auf einen Punkt fokussiert und das Glas erfolgreich durchschmolzen.

6. POLYMERFREIE LAMINATION

Die Lamination von Dünngläsern ermöglicht die 3D-Realisierung von optisch-elektrischen Packages mittels Lamination von Dünngläsern. Im

Technologie-Baukasten wird dabei auf direkte Lamination von Dünngläsern und Lamination mit einer strukturierbaren Zwischenschicht unterschieden.

Zur direkten Lamination von Dünngläsern werden zwei Technologien entwickelt. Zum einen das Fügen mittels Wasserglas als verbindendes Medium, da es über hervorragende Eigenschaften für einen stoffschlüssigen Verbund zwischen Gläsern verfügt. Voraussetzung ist ein hydrophiler Zustand der Glasoberflächen, da diese mit ausreichend OH-Gruppen bedeckt sein muss, um die Alkalisilikate im Wasserglas ausreichend mit der Oberfläche reagieren zu lassen. Nachdem sich ausreichend Wasserglas zwischen beiden Dünngläsern befindet, die Gläser zueinander justiert und verpresst sind, wird das Wasserglas mit Temperaturen oberhalb von 120°C thermisch behandelt. Dabei bildet sich ein amorphes SiO₂-Netzwerk, wie in Bild 5 dargestellt, Verbindungen zwischen beiden D263T-Dünngläsern. Das jetzt überflüssige, mit dem Wasserglas kommende Wasser, in Bild 5 blau dargestellt, gelangt über die Stirflächen nach außen bzw. wird chemisch gebunden oder diffundiert ins Innere des Glases [8]. Versuche bei 150°C mit Proben der Größe 3 cm x 3 cm zeigen sehr gute Bindungsqualität, kaum Blasen und ein transparentes Interface. Bei Versuchen mit größeren Proben treten jedoch Blasen zwischen den Dünngläsern auf, da nicht das gesamte Wasser aus dem Interface über die Stirflächen weg diffundieren kann und die Wasseraufnahme des Glases selbst beschränkt ist. In weiteren Untersuchungen soll das Wasserglas als Dünnschicht aufgetragen werden um den Wasseranteil im Interface zu verringern.

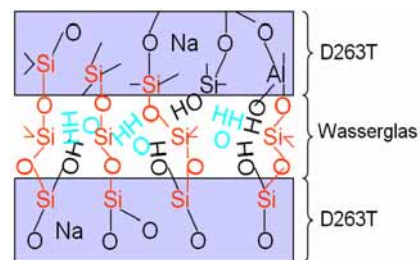


Bild 5: Schematische Darstellung der atomaren Struktur während einer thermischen Behandlung von Wasserglas zwischen zwei Dünngläsern vom Typ D263T. Rot sind die Siloxan-Gruppen dargestellt, welche für den Halt zwischen den Gläsern sorgen. Blau sind die die Wassermoleküle hervorgehoben, welche nach Prozessende vollständig aus der Zwischenschicht diffundiert sind.

Eine weitere Technologie für einen direkten und transparenten Verbund zwischen zwei Dünngläsern ist das Diffusionsbonds. Voraussetzung sind hydrophile Glasoberflächen mit einer sehr geringen Oberflächenrauigkeit von kleiner 20 nm. Diese Anforderung kann durch eine Politur erzielt werden. Nach Justage werden die planaren Gläser für

mehrere Stunden bei Temperaturen knapp unter der Glasatemperatur aufeinander gepresst. Am Interface entstehen neue chemische Verbindungen [5]. Mittels Diffusionsbonden wurden erfolgreiche Laminationsversuche durchgeführt. Die hohe Prozessatemperatur kann bei bereits funktionalisierten Dünngläsern zu einer Veränderung der optischen sowie elektrischen Eigenschaften führen.

Eine dritte Technologie zur Lamination von Dünngläsern mit strukturierten Zwischenschichten basiert auf einem Einsatz von polymerfreien Siloxanklebstoffen und einem Lithografieprozess mittels Dickfilm-Photoresist. Diese Technologie ist alternativ neben Distanzrahmen eine Möglichkeit um integrierte Bauelemente, Laser oder Photodioden im Inneren eines "glassPack" zu platzieren. Des Weiteren können Mikrostrukturen (z.B. Leiterbahnen, SMDs) ausgeglichen werden und fluidische Kanäle entstehen. Die Technologie zur Herstellung strukturierter Zwischenschichten umfasst das Aufbringen einer Maske auf die Dünnglasfolie. Durch Rakeln wird die Paste in die Öffnungen des entwickelten Photoresist gestrichen. Nachdem die Paste ausgehärtet ist, kann das Photoresist entfernt werden. Die entstandene Struktur wird in die Paste gedippt, die zweite Dünnglasfolie wird aufgelegt und positioniert. Ein thermisches Ausheilen der gesamten Struktur verbindet die Gläser endgültig und festigt die strukturierte Zwischenschicht. In Bild 6 ist der Querschnitt einer Teststruktur zu sehen, welche als Realisierung von fluidischen Kanälen zwischen Dünngläsern favorisiert wird. Die Untersuchungen am IZM konzentrieren sich hier insbesondere auf der Auswahl geeigneter Kleber und deren Bewertung auf Einsatzgebiet und Prozessierbarkeit.



Bild 6: Querschnitt an den Stirnflächen zweier Dünngläser, welche mit einer strukturierten Schicht aus polymerfreien Siloxanklebstoff gefügt wurden. In der Mitte ist Schwarz gefärbt der Kleber zu sehen, links und rechts befinden sich die fluidischen Kanäle.

7. FÜGEN VON LWL-FASERN DURCH LASERFUSION

Im "glassPack"-Konzept kommt eine zuverlässige und kostengünstige Kopplung der LWL-Faser an ein Package aus laminierten Dünngläsern mittels CO₂-Laserfusion zum Einsatz. Die Glasfaser wird zur Stirnfläche des Wellenleiters im Dünnglas justiert und anschließend wird der fokussierte Laserstrahl auf die Fügestelle gerichtet. Die einfallende Energie bringt beide Gläser in einen schmelzflüssigen Zustand wodurch die Gläser in einander fließen und ein stoffschlüssiger Verbund entsteht.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Der hier vorgestellte Baukasten enthält alle Technologien welche notwendig sind um Dünngläser optisch und elektrisch zu funktionalisieren, zu strukturieren und anschließend zu laminieren. Das Fügen von LWL ermöglicht die Verbindung zur optischen Außenwelt und macht das "glassPack"-Konzept zu einem vollkommen zukunftsorientierten System für Anwendungen in optischen Netzen, für den Aufbau von Supercomputern und neuartigen sensorischen Komponenten. Der aufgezeigte Stand der Untersuchungen zeigt das hohe Potential des "glassPack"-Konzeptes. Zukünftige Arbeit wird sich mit einer Verbesserung der vorgestellten Technologien befassen sowie mit dem Aufbau eines Demonstrators.

DANKSAGUNG

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekts "Light in Thin Glass Modules (LiTGM)" erzielt, für dessen Förderung die Autoren der Investitionsbank Berlin (IBB) danken.

LITERATUR

- [1] Schröder, H., "EOCB – Leiterplatten im Zeitalter optischer Datenübertragung", Plus 3, 07/01, pp.1104-1109, 2001
- [2] Schröder, H., Bauer, J., "Technologien und Packaging für optische Wellenleiter in elektrisch-optischen Leiterplatten", Proc. Optics in Computing, Ilmenau, Germany, 2005
- [3] Schröder, H., Arndt-Staufenbiel, N., "Planar Glass Waveguides for High Performance Electrical-Optical-Circuit-Boards (EOCB) – The Glass Layer Concept", Proc. 52th ECTC 2003, May, 27th.-30th., New Orleans, USA, 2003
- [4] Schott, "Datashheet D263T", 2007 <http://www.schott.com/fpd/english/products/fpd/d263t.html>
- [5] Ehrfeld, W., "Handbuch Mikrotechnik", Fachbuchverlag Leipzig, 2001
- [6] Najafi, S. I., "Introduction to glass integrated optics," Artech House Boston, London, 1992
- [7] Beneking, H., "Halbleiter-Technologie", B. G. Teubner, Stuttgart, 1991
- [8] Satoh, A., "Water Glass Bonding", Sensors and Actuators, J. Micromech. Microeng., pp. 160-168, 1999

Norbert Arndt-Staufenbiel (Dipl.-Ing(FH)'00) wurde 1973 in Leipzig geboren. Er studierte Mikrosystemtechnik an der FHTW in Berlin, wo er seinen Abschluss im Jahre 2000 erhielt. Seitdem ist er am Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration in der Arbeitsgruppe optische Aufbau- und Verbindungstechnik tätig.

Lars Brusberg (Dipl.-Ing(FH)'03) wurde 1979 in Dresden geboren. Er studierte von 1999 bis 2003 Nachrichtentechnik an der Telekom FH Leipzig. Im Anschluss begann er das Studium zum Master of Science in Electrical Engineering an der TU Berlin. Sein Studienschwerpunkt ist die Mikrosystemtechnik sowie die optische Nachrichtentechnik. Im Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration ist er als Werkstudent seit April 2004 tätig.

Henning Schröder (Dr.'00-Ing'94) wurde 1967 in Wernigerode geboren. Er studierte Physik an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg von 1988 bis 1994. An der TU Berlin promovierte er im Jahre 2000 am Microsensor and Actuator Technology Center (MAT). Seit 2000 arbeitet Henning Schröder im Fraunhofer IZM in Berlin und ist Gruppenleiter der optischen Aufbau- und Verbindungstechnik. Henning Schröder ist Mitglied der DPG, der DGaO, der EOS und der ITG Fachgruppe Photonische AVT.

Optoelectronics system integration by soldering on ceramic PCB

Beckert, E.*; Mohaupt, M.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. and Buchmann, F.

Soldering is a promising joining technology to overcome the limitations of standard adhesive bonding in optics. This paper introduces a flexible and fast technology to apply and reflow different solder materials and volumes by a bumping device, enabling for an automatic and electronics compatible production of miniaturized optical systems. Accuracy during the joining process, an important issue in optics assembly, was determined to be in the submicron range when using an optimized bumping regime.

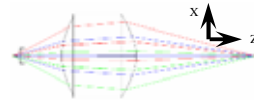
micro-assembly, optoelectrical system integration, laserbeam soldering, solder bumping

1. INTRODUCTION

Hybrid optoelectronics system integration is a key technology for designing complex, miniaturized optical assemblies that are used in applications such as laser-illumination modules for life science devices. Only by applying multifunctional system platforms and easy, precise assembly technologies these systems become cost efficient and longterm stable. A demonstrator system is described in the following.

For laserscanning microscopy a miniaturized singlemode fibercoupled laser source with integrated electronics had to be developed. The most challenging issue was to prepare the assembly for a near ultraviolet working wavelength (UV). Experiments showed that adhesive bonding, the standard joining method in microoptics assembly, led to significant performance degradation over time since the permanently applied UV-radiation caused the adhesive bonds to fail. An alternative, working at a wavelength of 405 nm, had to be developed. For demonstration a simple design (tab. 1) had been chosen, keeping the number of components low.

The system contains of a laserdiode and an asphere that directly collimates and refocuses the divergent beam of the laserdiode into a singlemode fiber.



$\Delta X / \mu\text{m}$	$\Delta Y / \mu\text{m}$	$\Delta Z / \mu\text{m}$	Coupling Efficiency	Loss / dB
0	0	0	55.5%	-2.56
0.5	0	0	53.7%	-2.70
0	0.5	0	50.1%	-3.00
0	0	15	49.6%	-3.04
0.5	0.5	15	43.7%	-3.59

Tab. 1: Setup & tolerancing of singlemode coupling unit

The system performance achievable with this simple setup is approx. 55 %, dropping down if the asphere is misaligned. It is evident that the demands for the stability of the asphere's position are high since the packaging and joining technologies have to maintain this position during assembly, over a larger range of operating temperatures and over a long time. Chapter 2 discusses an approach using a stable ceramic Printed Circuit Board (PCB) platform and soldering as a joining technology to fulfill the requirements.

2. SYSTEM PLATFORM LAYOUT AND ASSEMBLY TECHNOLOGIES

The platform [1] for the assembly of the singlemode coupling unit is a multilayer ceramic PCB made of Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC). This platform has dimensions of 50 x 25 x 2 mm³ (fig. 1) and forms through a stacking, laminating and sintering procedure a monolithic carrier with integrated multilayer wirings and mounting pads for hybrid electronic components. Mechanical structuring of the individual layers in the ceramics green state enables for the integration of semi-3D mechanical structures, which can be used for mounting of the optical components [2]. They provide mechanical stops so components can easily be "dropped in" for passive alignment with an accuracy of 100 μm and better.

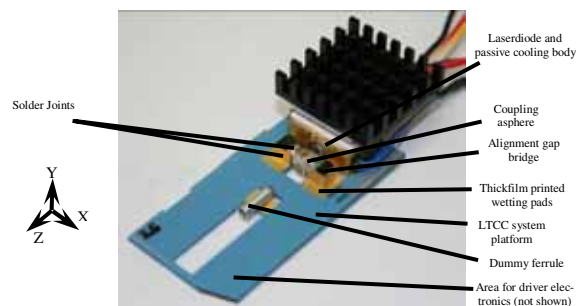


Fig. 1: Optomechanical layout of the singlemode coupling unit

*Manuscript received March 9, 2007. The corresponding author is with the Precision Engineering Department, Fraunhofer IOF, Jena, Germany (e-mail: erik.beckert@iof.fraunhofer.de).

For mounting the asphere active alignment is required, so the embedded mounting structures provide only cavity free space for position scanning of the optical component.

The assembly of the singlemode coupling unit is divided into pre-assembly with passive alignment and finally active alignment, followed by precise soldering of the focusing asphere. With the help of bridging elements the large necessary alignment gap is reduced to a minimum, thus the joining of the asphere by placing solder bumps [3] creates only a small misalignment. The solder bumping device (fig. 2), provided by the company PacTech GmbH, reflows and bumps small solder spheres, thus combining solder application and reflow in one device and enabling flexible, cost efficient production.

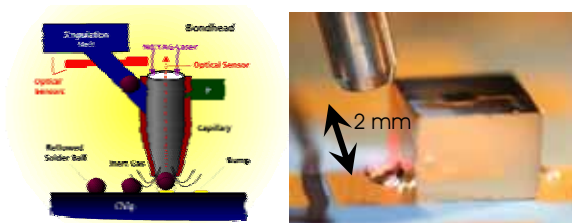


Fig. 2: Solder bumping [3] principle (left) and test on a horizontal/ vertical chamfer (right)

3. MISALIGNMENT DURING SOLDERING

With the asphere misalignment being the critical process parameter during the assembly of the singlemode coupling unit it was necessary to investigate the asphere position changing during the soldering process. For detecting the submicron movements a beam steering system was chosen (fig 3). It contains of a grin-lens (instead of the fiber) that recollimates the focused beam of the asphere into the far field. The spot was detected with a beam profiler, translating 1 μm asphere movement into approx. 210 μm spot movement.

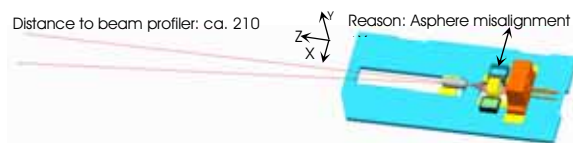


Fig. 3: Measurement setup for the soldering process accuracy

Misalignment due to soldering arises from downcooling of the solder after reflow. Mainly dependent on the gap that is bridged by the solder at the joint interfaces the misalignment is in second order also dependent on the overall applied solder volume and the wetting geometry and can be optimized by the chosen process step algorithm. Fig. 5 shows the result of unsymmetrical bumping, setting a bump (solderpoint 1) on one side first and proceeding to the other side of the asphere, (solder point 2), setting two bumps there (fig. 4).



Fig. 4: Solder bumping of the coupling asphere

The first two bumps (1 and 2) produce a rather large misalignment of <1000 nm, but with the second solder bump 2 it is possible to fine tune the misalignment. In the present configuration a misalignment of <200 nm was reached, significantly restricting the loss in fibercoupling efficiency.

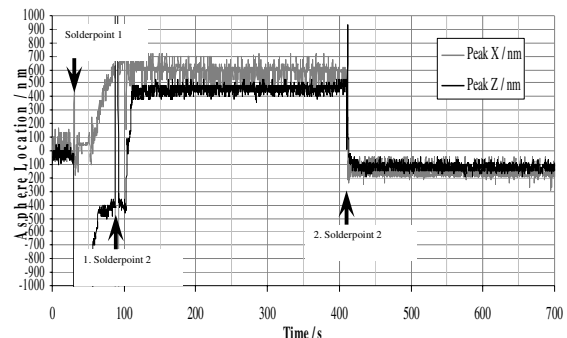


Fig. 4: Misalignment during the bumping process

The solder material was AgSnCu, spheres of 760 μm and 400 μm were used with reflow energies of max. 0.5 J and reflow process times of 10 ms, so even brittle micro-optical parts were not damaged during the local thermal shock caused by the solder reflow. The local N_2 -environment allows for fluxless processing, an important requirement to prevent optical surfaces from being contaminated. Including the time for solder downcooling the bumping process is still a very fast technology and provides not only stable joints, but also functions like thermal and electrical conductivity

4. CONCLUSION

Using smart ceramic system platforms such as LTCC printed circuit boards, embedded mounts for easy assembly of discrete optical components and flexible joining methods such as solder bumping enables cost-efficient and volume scalable production of complex, miniaturized micro-optical systems. Misalignment of critical components during soldering can be reduced to $\ll 1$ μm by properly adapting and optimizing the joining process.

REFERENCES

- [1] R. Eberhardt, E. Beckert, Ch. Damm, P. Schreiber, "Packaging Of Opto-Mechatronic Systems On Miniaturized Ceramic Platforms", In: Proceedings 10th International Microoptics Conference MOC'04, C-5.
- [2] Patent WO2005039259, "Ceramic Substrates Having Integrated Mechanical Structures for Direct Capture of Optical Components".

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

- [3] Th. Teutsch, E. Zakel and G. Azdasht, "Pulsed-laser Heating for Flip Chip Assembly", Advanced Packaging, pp. 40-43, Pennwell Corp., May/June 2006.

Wie sieht das Packaging von ROSA/TOSA der nächsten Modulgeneration > 10 G aus

Schulz, Klaus

Abstrakt—Die Spezifikationen von optischen Schnittstellen für einen Datendurchsatz > 10 Gbit/s bis 100 Gbit/s werden weltweit in zahlreichen Standardisierungsgremien diskutiert. Der Markt verlangt steckbare Module in den bisher eingeführten Formfaktoren mit elektrisch paralleler oder serieller Schnittstelle wie auch mit einer optischen parallelen ($n \times \lambda$) oder seriellen Schnittstelle. Die bisherigen Lösungen im TO-Gehäuse sind an ihren HF-Grenzen. Für die Entwicklung zukünftiger Modulgenerationen für Datenraten > 10 Gbit/s bis 100 Gbit/s werden neue Aufbaulösungen für die optischen Komponenten ROSA/TOSA benötigt, die trotz ihrer höheren Funktionalität/Komplexität in die Module passen. Die Forderung nach ungekühltem und direkt moduliertem Betrieb des Senders und einer hohen Empfindlichkeit der Empfänger fordert die Forschungsinstitute und führt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Lösungen der Opto-Halbleiter. MergeOptics hat eine Plattform auf Basis einer Multilayer Keramik entwickelt, die für zukünftige ROSA-/TOSA-Lösungen geeignet ist. Mit diesem flexiblen Designkonzept kann auf die unterschiedlichen Entwicklungen bei den Opto-Halbleitern und deren Ansteuerung realisiert werden.

Index Terms—HTCC-Multilayer, Packaging, ROSA, TOSA

1. Einleitung

Der Datenverkehr in den Zugangnetzen wächst wesentlich durch die Dienste IPTV und Internet.

Bild 1 zeigt die Auswertung von ERICSSON für einen Teil des Marktes.

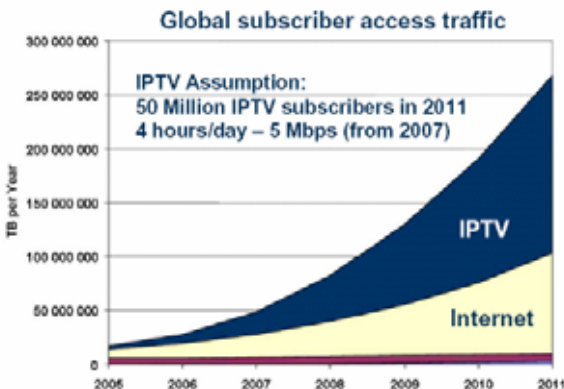


Bild 1: Wachstum im Access-Netz (ERICSSON)

Die Engpässe in den optischen Netzen sind die Netzknoten vom Backbone ins Metro Core und vom Metro Core ins Metro Access. In den Knoten findet

heute die massive Aufrüstung mit 10 Gbit/s Schnittstellen statt. Dieses reicht nicht, da bereits Access-Schnittstellen für 10 Gbit/s spezifiziert werden. Der Markt verlangt ab 2008/2010 Schnittstellen bis 100 Gbit/s. Die

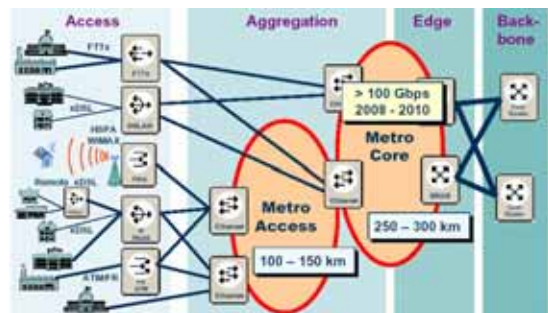


Bild 2: Broadband Networks – Reference Architecture (ERICSSON)

Knoten sind in Bild 2 dargestellt. Weltweit wird in vielen Gremien über die nächste Generation der Schnittstellen diskutiert. In der (HSSG) High Speed Study Group des IEEE 802.3, der OIDA, EPIC, 7th FP der EU und im BMBF.

2. Stand der Technik

Die bisher eingeführten 10 Gbit/s Schnittstellen begannen mit dem 300 Pin Modul, einem auf dem Motherboard steckbaren Modul mit 16 parallelen elektrischen Ein- und Ausgängen, optisch wurde über zwei Faser-Pigtails in einen optischen Adapter gekoppelt. Zum Wechsel eines ausgefallenen Moduls muss das Mother-board gezogen werden.

In der weiteren Entwicklung wurde die elektrische XAUI-Schnittstelle (**10** Gigabit **A**ttachment **U**nit **I**nterface) mit $4 \times 3,125$ Gbit/s im IEEE spezifiziert, um mit niedrigen Datenraten (3,125 Gbit/s) auf dem Motherboard zu arbeiten. Für das Moduldesign, den Formfaktor, haben sich 3 MSA (**M**ulti **S**ource **A**greement) etabliert **XENPAK**, **XPAK** und **X2**. Alle Module sind steckbar und haben eine 70 Pin elektrische Schnittstelle und eine optische SC-Duplex Schnittstelle. Auf der Senderseite kommen wahlweise VCSEL 850 nm, FP-Laser 1310 nm, DFB-Laser 1310 nm und 1550 nm und EML 1310 nm und 1550 nm zum Einsatz. Zwischendurch

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

wurde der IEEE 802.3ae Standard um die Variante LX4 erweitert, einer Lösung bei der die 10 Gbit/s Datendurchsatz durch das optische Multiplexen von 4 Wellenlängen im Bereich 1300 nm mit einem Abstand von 25 nm bei 3,125 Gbit/s erreicht werden.

Mit Beherrschung der technischen Probleme mit 10 Gbit/s auf der FR4 wurden steckbare serielle Module mit einem deutlich kleineren Formfaktor gefordert. In 2 MSA, dem **XFP** und **SFP+**, werden diese Module spezifiziert.

Alle Module sind steckbar ohne das Motherboard ziehen zu müssen.

Die optischen Komponenten ROSA/TOSA wurden auf Basis der TO-Gehäuse entwickelt und sind mit 10 Gbit/s an ihre Grenzen gestoßen.

In Japan haben die namhaften Hersteller von optischen Komponenten ein MSA für 10 Gbit/s-Komponenten spezifiziert **XMD-MSA**. Dieser Industriestandard spezifiziert ROSA/TOSA wahlweise mit SC-Port oder LC-Port. Als Empfänger sind PIN PD und APD berücksichtigt, als Sender FP-Laser, DFB-Laser mit und ohne Kühlung. Die Koppelereinheiten können unter Berücksichtigung der optischen Referenzebene direkt in die Module eingelegt und werden über den Flexleiter (FPC) an das Modulboard angeschlossen.

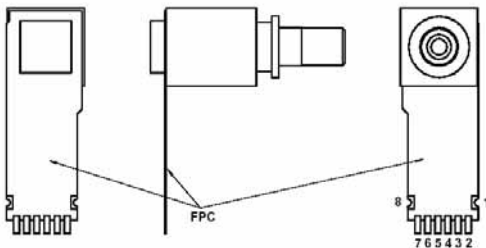


Bild 3: Prinzipielle Gestaltung von ROSA/TOSA

Im Bild 4 und 5 ist ein entsprechendes Gehäuse von EGIDE dargestellt. In Abhängigkeit der weiteren Beschaltung kann die Kontaktierung auf 25 Ohm oder 25 Ohm angepasst werden.

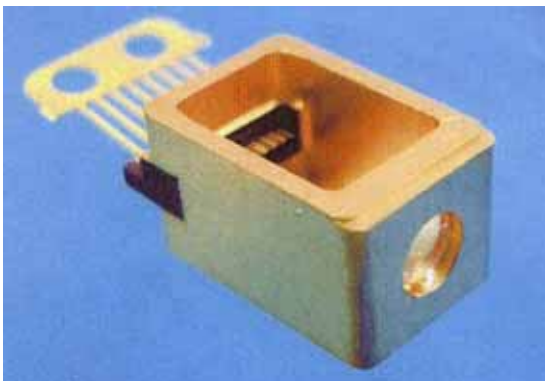


Bild 4: Gehäuse von EGIDE

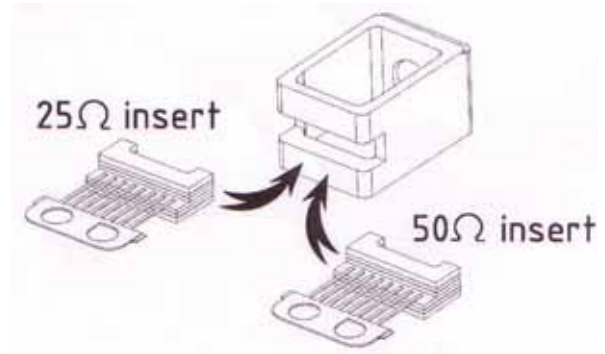


Bild 5: Elektrischer Anschluss analog XMD-MSA

In den XMD ROSA/TOSA sind keine IC integriert. Die Verstärkung der Empfängersignale erfolgt außerhalb über den Transimpedanz-Verstärker und ebenso wird der Sender über den außerhalb liegenden Lasertreiber gesteuert.

3. Marktforderung

Der Markt fordert die Modulentwicklung auf Basis der bisher etablierten Formfaktoren zu betreiben. Die Größe ist wesentlich für den Platzbedarf und die mögliche Packungsdichte im Switch oder Router. Die elektrische Schnittstelle ist bereits bis 25 Gbit/s getestet und ein erstes MSA für 40 Gbit/s **X40** soll im März 2007 verabschiedet werden. Hierbei wird auf die 10 Gbit/s Technologie zurückgegriffen, indem 4 Wellenlängen à 10 Gbit/s optisch multiplext werden. Bereits dieser Ansatz ist mit den Komponenten des XMD-MSA nicht realisierbar. Für das Modul wurde im ersten Schritt XENPAK als Formfaktor gewählt. Bei geeigneter Weiterentwicklung der Opto-Halbleiter ist eine Lösung im X2 Formfaktor denkbar.

Tabelle 1: Mögliche Modullösungen

Daten Gbit/s	40	40	40	100	100
Opt. seriell		X	X		X
Elektr. seriell			X		X
Opt. parallel	4 x λ			4 x 25	
Elektr. parallel	4 x 10	4 x 10		4 x 25	
Formfaktor	XENPAK	XENPAK	?	XENPAK	?
	X2	X2	?	?	?
Elektr. Pins	70	70	?	70	?
Opt. Port	SC	SC	SC	SC	SC
MSA	X		?	?	?

Dies bedeutet, dass alle weiteren Varianten wesentlich von der Entwicklung der Opto-Halbleiter abhängen. Forderungen nach kostengünstigen Lösungen (direkt modulierbar, ungekühlt, geringe Leistungsaufnahme) für 20 G, 25 G, 40 G, 50 G oder 100G sind heute noch nicht realisierbar. In Tabelle 1 sind die möglichen Modulvarianten von 40

Gbit/s bis 100 Gbit/s aufgezeigt. Die Grün hinterlegten Varianten sind im Aufbau ähnlich und an den Lösungen wird in vielen Forschungsinstituten gearbeitet. Die seriellen Lösungen hängen extrem von der Elektronik und den Opto-Halbleitern ab.

Auf dem Wege zu 100 Gbit/s sind von einigen Instituten auf der ECOC 2006 Erfolg versprechende Ergebnisse für ungekühlte, direkt modulierte VCSEL und FP-Laser bis 25 Gbit/s gezeigt worden. EML und Mehr-Sektionslaser erreichen diese Geschwindigkeiten bereits, doch ist die Ansteuerung komplizierter, da mehrere Versorgungsspannungen eingespeist werden müssen. Dies lässt auch eine Lösung mit den bisher beschriebenen Aufbauten wie TO-Gehäuse oder XMD-MSA nicht mehr zu.

Aus Marktsicht gilt es intensiv an Lösungen zu arbeiten, die frühzeitig die Spezifikation unterstützen und beeinflussen. Gespiegelt am Zeitplan der HSSG des IEEE (Bild 6) muß dies in der Zeit von 2007 bis Mitte 2008 erfolgen, um mit dem Standard auch die Machbarkeit abgesichert zu haben.

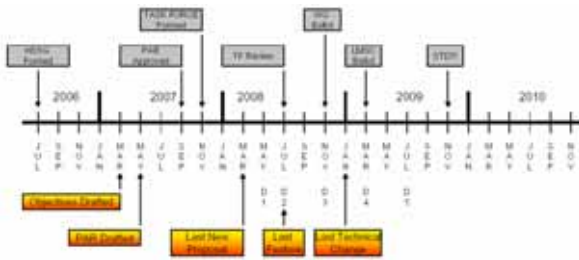


Bild 6: Zeitplan der HSSG für 100 G

4. OptoPack

OptoPack™ ist eingetragenes Markenzeichen der Firma MergeOptics für ein ROSA-/TOSA-Aufbau im Multilayer-Gehäuse. Die Entwicklung dieses Submoduls begann mit der Lösung für 10 Gbit/s im PCB-Multilayer Gehäuse Bild 7.

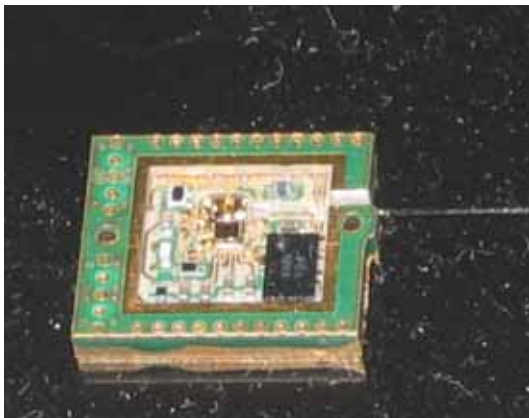


Bild 7: PCB-Multilayer Gehäuse

In den Abmessungen (2 x 10 x 11)mm wurden die aktiven optischen Komponenten PIN PD oder LD auf einer Silizium Mikrobench aufgebaut und mit einem Faserpigtail gekoppelt. Dieser mikro-mechanische Aufbau wird in das Multilayer-Gehäuse geklebt und mit den anderen elektrischen Komponenten verbunden. Elektrisch stellt die Lösung eine CML-Schnittstelle dar. In der TOSA ist der Lasertreiber integriert und das programmierbare Potentiometer zum Abgleich des Steuerkreises des Lasers. Die optische Schnittstelle ist die Faser mit einem Keramikstift, wahlweise als LC oder SC. Der Keramikstift ist als Fiberstub ein Teil des optischen Ports. Die ROSA enthält den Vorverstärker und ein Filternetzwerk für die Spannungsversorgung. Die Funktionalität der OptoPacks ist deutlich höher als bei den XMD-MSA ROSA/TOSA.

Die Forderung nach ungekühltem und direkt moduliertem Betrieb des Senders führte zu dieser Lösung, um die elektrischen Verbindungen so kurz wie möglich zu halten. Ziel war es mit einer Spannungsversorgung von 3,3 V auszukommen. Jede unnötige Leitungslänge benötigt Strom und führt zu höherer Verlustleistung, die in Form von Wärme abgeführt werden muss.

Die OptoPack in PCB-Ausführung hatten den Nachteil, dass die Feuchtigkeit aus dem Leiterplatten-Herstellungsprozess trotz längerem Ausheiz- und Evakuierungsprozess nicht vollständig entfernt werden konnte. Die Bedingung von 5000 ppm Feuchtigkeit am Ende der Lebensdauer (80.000 h) im Submodul konnte nicht erfüllt werden. Die Kontaktierung der OptoPacks auf die Modulleiterplatte sollte durch BGA-Lötung erfolgen. Auch dieser Prozess erwies sich als zu sensibel.

Die Analyse von Kosten, Machbarkeit und Potenzial für höhere Datenraten führte zur Lösung mit der Multilayer-Keramik HTCC. Die elektrischen Eigenschaften waren besser anpassbar, der Herstellungsprozess hinterlässt keine Restfeuchte und die Kosten sind deutlich niedriger, da die Herstellung sich aus Urform- und Umformprozessen zusammensetzt und in größeren Stückzahlen im Batchprozess möglich ist. Es ist keine mechanische Nacharbeit zur Herstellung der Kavitäten wie beim PCB erforderlich. Das thermische Management, die Integration einer EMI-Schirmung, die Dichtheit und die Weiterverarbeitung mit BGA-Lötung konnten gelöst werden.

Das Gehäuse besteht aus 7 Lagen. Die innere nimmt die Schaltung auf. Die Bauelemente werden bleifrei aufgelötet, ein nachgeschalteter Waschprozess hat keinen Einfluss auf die Restfeuchte im Submodul. Die Silizium Mikrobench wird eingeklebt und mit der Schaltung durch Au-

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

Drahtbonden verbunden. Das Gehäuse wird mit einem COVAR-Deckel hermetisch geschlossen. Der Deckel wird auf einen in der Kavität des Gehäuses gelöteten COVAR-Ring aufgelötet. Dieser COVAR-Ring ist über eine Kette von Durchkontaktierungen mit der Masse des Submoduls verbunden und seitlich nach oben geführt. Im Bild 8 ist umlaufend eine Kontaktreihe zu erkennen, die für die Spannungsversorgung, die Monitorfunktionen und überwiegend die Verbindungen zur Modul-masse dient. Die differentiellen Signale werden über die Kontakte links oben geleitet, diese sind zur Schirmung mit zusätzlichen Durchkontaktierungen umgeben, die dann mit der Modul-masse verbunden sind. Mit dieser Lösung ergibt sich ein geschlossener Faradayscher Käfig der die EMI-Schirmung sicherstellt.

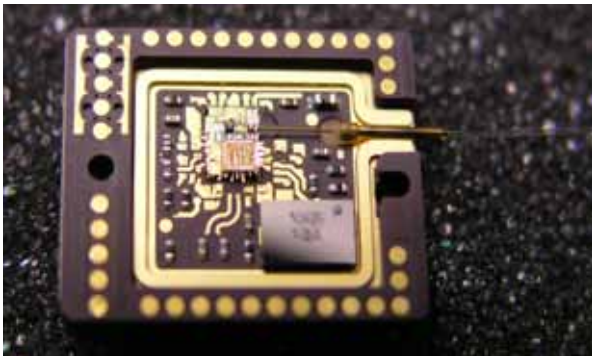


Bild 8: Innenansicht der HTCC-TOSA 20G/25G

Das Gehäuse wurde bis 25 Gbit/s simuliert und zeigte ausgezeichnete Ergebnisse, sodass mit dieser Art der Lösung noch höhere Datenraten beherrschbar werden. Erste Aufbauten mit Laserdioden aus dem Forschungsbereich wurden realisiert und durchlaufen jetzt ein umfangreiches Testprogramm. Die Verfügbarkeit geeigneter Diodenchips für einen kostengünstigen Aufbau ist noch nicht gegeben.

5. Zusammenfassung

Für die nächste Modulgeneration > 10 Gbit/s (40 Gbit/s bis 100 Gbit/s) in bekannte Modul-Formfaktoren sind neue Lösungen für den Aufbau von Submodulen, der ROSA und der TOSA, zu entwickeln. Die Forderung nach ungekühltem und direkt moduliertem Betrieb des Senders und einer hohen Empfindlichkeit der Empfänger fordert die Forschungsinstitute und führt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Lösungen der Opto-Halbleiter.

MergeOptics hat mit den OptoPacks eine Plattform auf Basis einer Multilayer Keramik entwickelt, die auch für zukünftige ROSA-/TOSA-Lösungen geeignet ist. Das Designkonzept ist flexibel und kann auf die unterschiedlichen Entwicklungen bei

den Opto-Halbleitern und deren Ansteuerung angepasst werden.

Das stufenweise Lötten mit bleifreiem Lot, mit eutektischem AuSn-Lot und der BGA-Lötung des Submoduls auf die Modulleiterplatte wurden erprobt und der Qualifikation nach Telcordia 468 unterzogen.

Klaus Schulz ist jetzt Berater der Firma MergeOptics. Er studierte Maschinenbau und Energie- und Verfahrenstechnik und promovierte an der TU-Berlin. Seine Karriere begann er im 1978 im Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung mit der Entwicklung experimenteller Einrichtungen. Ein Teil seiner Aufgaben war die Qualifikation optischer Komponenten für die Datenübertragung. 1985 wechselte er zur Siemens AG, war an dem Aufbau des Werkes für optische Komponente beteiligt und übernahm die Leitung der Entwicklung bis 1998. Bis 2001 leitete er die Gruppe Application, Innovation, Standards bei Infineon, Fiber Optics. Ende 2001 wechselte er zur MergeOptics in der Funktion des CTO bis Januar 2007.

European Network of Excellence on Photonic Integration – ePIXnet The Example of the Photonic Packaging Platform

Zimmermann, L.; Vanholme, L.; Baets, R. and Smit, M.

Abstract—*The European Network of Excellence ePIXnet with the theme of research integration in photonics is introduced. After an overview of the history and the objectives of ePIXnet, the Photonic Packaging Platform, which is part of the network, is presented with particular attention to its role in future photonics research in Europe.*

Index Terms — *Photonic Packaging, FP6*

1. INTRODUCTION

THE integration of complex or high performance photonic functions will become the key enabler for a cost-effective and ubiquitous deployment of photonics in a wide range of applications, including ICT, sensors and biomedical applications. The technologies needed for photonic integrated components and circuits are characterised by high investment and exploitation cost however. This calls for more integration of research at an international level, whereby a large number of distributed research actors can contribute to top-level research by relying on complementary skills of other research actors. This is actually not unlike the on-going consolidation in the photonics industry in which the industrial actors are evolving from vertically integrated companies to focused core-business-oriented companies in a horizontally layered industry model.

On September 1, 2004 the European Commission launched, as part of the 6th framework program, a Network of Excellence (NoE) with a focus on photonic integrated components and circuits. This network, called ePIXnet, consists of 50 partners, both full and affiliate, with a good mix of universities (22), research institutes (11) and companies (17). The network has a contract for 4 years.

The mission of ePIXnet is three-fold. The first, and main-objective is to stimulate the restructuring of the photonic integration research community from a model of independent or collaborative research towards a model of integrated research. It is the

ambition of the network to have a strong and durable impact - beyond the duration of the contract - on the quality and quantity of research in integrated photonics through the creation of a horizontally layered research capacity model. The second is to stimulate training activities as well as integration of educational programs. The third objective is to stimulate new opportunities for photonic integration in a wide range of application domains.

While the mission of the network relates more to structuring of the research community than to the research as such, this structuring can only become real in the actual research and its progress is, at least in part, monitored by means of the research achievements. These research activities cover interdependent themes, from basic enabling technologies to advanced applications. The scope of the network is focussed on those activities in which photonic integration technologies play a key role in advancing component and system performance.

2. HISTORY

2.4 Phase 1 of ePIXnet: 2004-2006

During the first phase of ePIXnet the research activities were structured by means of two types of activities. The first type is the Facility Access Activity (FAA). In this type of activity a particular technology or infrastructure of high complexity and cost is used by a set of partners to execute joint research. The second type is the Joint Research Activity (JRA). In this type of activity a set of partners has a range of complementary skills and infrastructure to progress research in a particular field.

Both FAA and JRA activities, as defined for the first two years of the network operation, are listed hereafter:

- FAA1 : Access to monolithic integration of InP-active and passive devices

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

- FAA2 : From 2- to 2.5-dimensional microphotonic based on heterogeneous integration technology and 2-dimensional photonic crystal membranes
- FAA3 : Nanophotonic circuits in SOI based on CMOS-compatible process technology
- FAA4 : Single-Photon emitters characterisation facility
- FAA5 : Access to characterisation facilities for ultrafast photonic switches

- JRA1 Lithography limits for nanophotonic devices
- JRA2 Photonic crystals: loss analysis, tuning and technology
- JRA3 Quantum dot arrays with engineered linear and nonlinear optical properties
- JRA4 High speed transmission based on chirpless quantum dot laser source
- JRA5 Multi-GHz semiconductor light sources
- JRA6 Picosecond pulse sources for ultra-high bit-rate communication
- JRA7 External Cavity Lasers Built by hybrid integration in micro-machined packages
- JRA8 Exploration of device concepts for all-optical switching at high speeds
- JRA9 Photonic switches and modulators based on surface acoustic waves

All of these activities originated from a bottom-up definition process and were selected on the basis of peer review (within the network). They mostly built upon existing activities and projects from which they got the required funding to actually do the research. The network provided additional funding to strengthen the degree of collaboration, networking and interdependence and to build trust in the research community.

2.5 Phase 2 of ePIXnet: Moving towards Technology Platforms (2006-2008)

During the course of the first phase of ePIXnet it was recognised that the original approach was an important step towards durable research integration, but that to improve its effectiveness and durability a restructuring building upon the approach developed in phase 1 was needed. Therefore a more ambitious plan was set up for the second phase of the program, which would be to create Integration Technology Platforms for photonic integration and to organize the joint research activities in connection to those platforms.

The Integration Platforms were defined along a vision outlined hereafter:

An Integration Platform is a facilitator for

advanced research and innovation in a particular sub-field of photonic integration in which the use of complex and highly specialized infrastructure and of the associated know-how is of key importance. The platform essentially allows for joint research through (cost-sharing) access to unique and expensive facilities and for knowledge transfer between all research actors involved.

The platform consists of the partners that are owner of the advanced infrastructure and know-how. It includes the owners of the equipment, but also partners that play a key role for the functioning of the platform, e.g. owners of advanced design or characterization facilities that are crucial for the platform. In the case that the platform concerns advanced characterization facilities it may, for example, also include one or more expert groups on structures to be characterized. The platform is led by a permanent staff member (possibly with help of a post-doctoral researcher) belonging to one of the ePIXnet partners.

A platform should cover access to all the specialized facilities that are relevant for research activities in the sub-field. It should be able to support a range of research activities, but it should be sufficiently coherent, i.e. a variety of activities should be able to make use of the same infrastructure and the same (or at least very similar) processes. These platforms embody the durable integration that is a major target of ePIXnet, with the research activities being focused on project-like activities making use of the integrated platform infrastructure. It should be feasible to embed these activities in the regular national and European funding structures.

A mid- to long-term goal beyond the common use of expensive technological research facilities will also be to promote and advance the (industrial) foundry concept, similar to the current situation in Silicon micro-electronics. Therefore the coordinator will establish a relationship with potential owners of such foundries with the aim to identify all the issues that arise when moving towards a foundry scenario. Compatibility and standardisation of processes will be very important in this context. The expectation is that a foundry model could indeed work if on one hand there is a critical mass of users and if on the other hand the foundry does not have to deal with individual (research) users. The platform could play a key role as an interface between this user group and the foundry.

As a response to the call for Integration Technology Platforms by the ePIXnet Steering Committee, the ePIXnet secretariat received 21 proposals for platforms. The Steering Committee has used the following criteria to select platforms

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

with a high potential for research integration:

- Platforms should be strategically relevant for the field of photonic integration
- They should be based on very expensive infrastructure (and associated non-trivial know-how), which should be rather unique.
- The platform offers relatively stable and mature processes.
- The functionality of the platform should be precisely defined.
- The platform functionality should have an economic viability (during and after ePIXnet).
- The key partners (and the coordinating partner in particular) should be credible on the basis of past performance and should be recognized leaders with respect to the functionality of the platform.
- The access to the platform should be manageable.
- Each platform should cover a sufficiently complete set of facilities and should have a strong group of users around it, not necessarily restricted to ePIXnet members.
- The number of platforms should be relatively small.

The steering committee has decided to launch 3 photonic integration technology platforms and 3 supporting platforms.

Photonic integration technology platforms:

- InP photonic integrated devices
- Silicon photonics platform (CMOS-compatible)
- Nanostructuring technologies for photonic integration

Supporting platforms:

- Packaging platform
- High speed characterisation platform
- Modelling platform

After the platforms were defined new joint research activities followed as listed below:

- JRA PhC infil: Infiltration and optical properties of photonic crystals.
- JRA Sensors: Compact integrated optical sensors for visible and IR applications
- JRA SAW: Photonic Switches and Modulators based on Surface Acoustic Waves
- JRA Short Pulses: Short pulse dynamics and applications of integrated semiconductor devices
- JRA QD-Arrays: Quantum dot arrays with engineered linear and nonlinear optical properties for selective optical signal processing
- JRA iPQD: Indium Phosphide Quantum dot Devices

- JRA Signal Processing: Integrated devices for optical signal processing
- JRA SOI pasive : Passive nano- and micro-photonic SOI circuits
- JRA SOI modulator: Route to develop high performance compact silicon modulators
- JRA FIB: Focused Ion Beam etching for Photonics
- JRA NIL: Joint Research on Nanoimprint Lithography for Photonic Applications
- JRA SOI non linear: Nonlinear integrated SOI nanophotonic devices
- JRA Hybrid: Hybrid integration

Both the 6 platforms and the new JRA's started on September 1 2006.

3. THE EXAMPLE OF THE PHOTONIC PACKAGING PLATFORM

The Photonic Packaging Platform is a supporting technology platform of the NoE ePIXnet.

Within the frame of ePIXnet, highly advanced photonic components and circuits are developed and tested on a laboratory scale. In order to promote further photonic integration and future commercialization of these photonic devices, reliable and cost effective advanced photonic packaging technologies are required. These technologies should be offered as a service to the research community, with some degree of flexibility to adapt for the needs of a scientific set of users. The photonic packaging platform has, thus, two major objectives. The 1st is, to address the fundamental packaging need of the photonics research community, i.e. to offer packaging solutions and technology. The 2nd is, to promote a closer interaction between research and industry in the field of optoelectronic packaging in Europe.

3.1 Packaging Service

Fiber pig-tailing is the core-technology offered by the packaging platform. Advanced electronic and optical packaging technologies (e.g. fiber-array coupling, RF-packaging, flip-chip integration etc.) are also be available from the platform. The technologies are offered to partners in ePIXnet, and possibly later to partners outside of the network. The platform features easy access to the available technologies that can be requested as service work.

To reduce costs and to simplify access to the platform technologies, the platform will offer standardized packaging flows (packaging solutions). Such solutions will correspond to certain types of applications or specifications (e.g. open system, uncooled butterfly, cooled butterfly, RF, amplifier,

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

fiber array). According to these standardized flows, mechanical preforms (e.g. ceramic carriers, metal-can housings etc.) can be fabricated in larger quantities. Design rules required by these standards (die size, spot size, power consumption) will be made available to ePIXnet, and any other user of the platform. Access to the technologies & standards is handled via the coordinator and a web-interface (<http://claudia.intec.ugent.be/epixnet/index.php?id=291>).

3.2 Bringing Closer Photonics Research & Optoelectronic Packaging Industry

A closer interaction of advanced photonic research and the European optoelectronic packaging industry will be fostered by the platform. The importance of this interaction becomes clear when one looks at the role of packaging in the commercialization of photonic products. Packaging very often (e.g. in the case of sensors) is the determining factor in the feasibility, manufacturability and price of a product.

The platform will actively pursue the information exchange between the ePIXnet community and industry. Latest trends will be published in form of a newsletter. Presence of the platform at workshops, conferences and fairs is sought.

Ultimately, the platform should be the seed for a European institution similar to Europractice MEMS, in the field of optoelectronic packaging. We intend to involve an increasing set of industrial partners in the platform, by providing them with the opportunity to offer their services to new customers in photonics research, by familiarizing industry with latest developments in photonics, by active networking, and by means of a common (standardized) interface to small volume clients.

The platform works differently from Europractice in the active definition of standards and through the active role it takes in the involvement with research institutions through ePIXnet.

The platform cooperates closely with the JRA Hybrid. A close link with optoelectronic packaging R&D is sought via the frame of projects (European & national), where the platform offers a contribution via its partners in terms of technological involvement as well a management support. This partnership should assure quick availability of the latest developments to SMEs, research institutes & universities at a European level.

3.3 Platform partners

The platform consists of 4 core-partners: Heinrich-Hertz-Institute (HHI), Berlin, University of Twente, Fraunhofer-Institute IZM, and TU Berlin. Two partners contribute with their fiber pig-tailing technology (HHI, UTWENTE), the two other partners provide flip-chip and electronic packaging technologies (IZM, TUB). For both groups, there is a major technology partner plus a partner offering redundancy and specialization in a task, which is of specific importance to the platform.

4. CONCLUSION

While original expectations for ePIXnet were very diverse, it is becoming clear that the network is on a solid track to achieve what it is meant for : durable integration of research in the field of photonic integrated components. The creation of technology platforms is seen as a very important tool to achieve this goal. By the end of the network contract these platforms should have gained a large degree of momentum and visibility.

ACKNOWLEDGMENT

Thank you to the local contacts of the core partners of the Packaging Platform, whose support to the project was & is invaluable - H. Oppermann (IZM), T. Rosin (HHI), A. Driessen (UTwente).

REFERENCES

- [1] ePIXnet website: <http://www.epixnet.org>
- [2] Packaging Platform: <http://claudia.intec.ugent.be/epixnet/index.php?id=291>
- [3] Platform contact:: Lars.Zimmermann@tu-berlin.de

L. Zimmermann is coordinator of the ePIXnet Photonics Packaging Technology Platform & the Joint Research Activity Hybrid.

L. Vanholme is responsible for the day-to-day management of the ePIXnet office.

R. Baets is the coordinator of the NoE ePIXnet.

M. Smit is the deputy coordinator of the NoE ePIXnet.



Novel VCSEL-Based Transceiver Chips for Bidirectional Optical Interconnects Using Butt-Coupled Multimode Fibers

Michalzik, Rainer; Stach, Martin; Rinaldi, Fernando; and Lorch, Steffen

Abstract—*The monolithic integration of 850 nm wavelength vertical-cavity surface-emitting laser diodes (VCSELs) and GaAs-based metal-semiconductor-metal (MSM) photodiodes is introduced as an approach to bidirectional optical data transmission in the Gbit/s range of data rates. Polymer-clad silica fibers and graded-index fibers with core diameters of 200 and 100 μm , respectively, serve as the transmission medium, covering link lengths relevant for in-car up to in-house communications and beyond. The paper presents the transceiver chip layout, fiber coupling experiments, and selected data transmission results.*

Index Terms—*Bidirectional optical data transmission, graded-index optical fiber, monolithic integration, MSM photodiode, PCS fiber, transceiver, VCSEL*

1. INTRODUCTION

PRESENTLY, bidirectional optical data transmission is hardly used in very short reach optical networks. An exception is the so-called byteflight data bus protocol [1] which is employed for airbag control by the German car manufacturer BMW. The physical layer consists of a plastic optical fiber (POF) with about 1 mm core diameter and chip-on-chip-type transceivers with a red light-emitting diode (LED) placed on a large-area silicon photodiode. The data rate is 10 Mbit/s and the operation mode is half-duplex. In general, bidirectional (as opposed to unidirectional) optical data transmission saves space, weight, and cost, which are critical requirements in many applications. However, for the cost argument to be valid, the optical coupling unit and the mounting must be as simple as possible. For instance, the use of two different carrier wavelengths and dichroic filters (as in commercially available 1.31/1.55 μm single-mode fiber-based devices) is awkward and requires two

sets of transceiver modules. In fact the above byteflight approach is a perfect example meeting the cost target. On the other hand, simply due to their small bandwidth, POFs are often not a suitable choice. Our work derived its motivation from a roadmap by DaimlerChrysler, presented in [2]. It suggests the use of 850 nm wavelength VCSELs in combination with 200 μm core diameter polymer-clad silica (PCS) fibers. The underlying scenario is the transport of data rates of several 100 Mbit/s in the communications networks of future automobile generations. Similarly as byteflight, present optical networks in cars are based on red LEDs and 1 mm diameter POFs and usually run at 22.5 Mbit/s data rate according to the media-oriented systems transport (MOST) standard [3], which is not bidirectional. However, the slow speed of LEDs and the limited ambient temperature range of POFs, which prohibits installation close to the engine, render the given system not future-proof.

We have introduced novel transceiver (Tx/Rx) chips featuring a monolithic integration of a top-emitting 850 nm VCSEL and a large-area MSM photodiode (PD) [4, 5]. The chip size matches the PCS fiber core diameter and butt-coupling avoids the use of external optics. The combination of monolithic integration, large-area non-resonant detection (allowing uncooled operation over a large temperature range), and fiber butt-coupling is a special feature of the present approach. In this paper we briefly describe chip layout, fiber coupling properties, and Gbit/s speed data transmission experiments in half-duplex mode.

Since the overfilled launch bandwidth-length product of the (step-index type) PCS fiber of 3 GHz·m allows Gbit/s data rate connectivity only over distances of several meters, recently we have fabricated a miniaturized chip generation [6]. The dimensions are adapted to a 100 μm core diameter graded-index glass multimode fiber (GI MMF) with a bandwidth-length product of 100 GHz·m. Data rates of 1 Gbit/s can conveniently be sent over distances of 100 m, which is attractive for home and industrial networks. We also report on first full-duplex experiments with this chip generation.

Manuscript received Feb. 9, 2007. This work was supported in part by the German Research Foundation (DFG).

The authors are with the Institute of Optoelectronics, Ulm University, 89069 Ulm, Germany, <http://www.uni-ulm.de/opto> (e-mail: rainer.michalzik@uni-ulm.de).

2. TRANSCEIVER CHIP LAYOUT

Figure 1 shows the layout of one of the semiconductor chips. The layers for the receiving MSM PD are grown on top of the VCSEL layers by molecular beam epitaxy on a n-doped GaAs substrate. Layer structure and processing are described in [4]. After processing, part of the circularly shaped PD area is occupied by the VCSEL. As schematically illustrated, fiber butt-coupling is envisioned. In present generation chips we chose to place the VCSEL close to the edge of the fiber core rather than in the PD center. The active PD area is thus somewhat larger, however, care has to be taken in order not to impair the VCSEL-to-fiber coupling efficiency and the alignment tolerances.

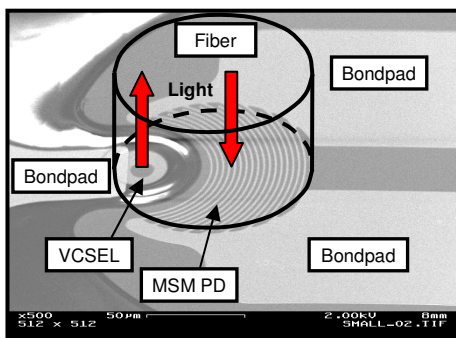


Fig. 1: Scanning electron micrograph of a 110 μm diameter Tx/Rx chip and the schematic placement of a butt-coupled GI MMF.

Both MSM PD contacts as well as the VCSEL p-type contact are arranged on the top surface, whereas the laser n-contact is located at the bottom of the n-type GaAs substrate. The huge size mismatch between the VCSEL active area and the detection area of the PD effectively provides optical isolation, i.e., only a small fraction of the optical power guided in the fiber acts as parasitic optical feedback signal for the VCSEL. In addition, even a small wavelength difference between both lasers (in the sub-nm range) prevents the light to enter the other laser cavity. When reflections within the system are kept small enough, even full-duplex operation with nominally identical emission wavelengths seems possible. The motivation for the choice of components can be summarized as follows:

VCSEL: It is a high-speed device, shows very favorable vertical emission, low threshold current, low power consumption, and its output beam efficiently couples into optical fibers. Due to their technological maturity we chose top-emitting 850 nm wavelength devices with an oxide aperture for current and mode confinement. The laser active diameter is in the 10 μm range, thus supporting multiple transverse mode emission.

MSM PD: The planar contact arrangement is well suited for integration and due to their smaller

capacitance, high-speed devices with larger diameters are possible compared to pin-type PDs. Moreover, in spite of the shadowing by the contacts, sufficiently high responsivities can be attained.

Optical fibers: As stated in the introduction, for applications in automotive networks, the PCS fiber has much lower attenuation and a higher maximum operating temperature range versus currently used POFs. The GI MMF is a good candidate for in-house and industrial networks. The selected type with 100 μm core diameter has a relatively large bandwidth but nevertheless still gives sufficiently high coupling tolerances. Important fiber data are summarized in Table 1.

Monolithic integration: It provides maximum compactness and should lead to easy-to-handle and potentially low-cost modules. Since the integration complexity is rather moderate, chip production with high yield can be expected.

Table 1: Selected data of the optical fibers suited for butt-coupling to the Tx/Rx chips.

	PCS fiber	GI MMF
Core diameter	200 μm	100 μm
Cladding diameter	230 μm	140 μm
Index profile	step-index	graded-index
Numerical aperture	0.37	0.29
Attenuation at 850 nm	6 dB/km	4 dB/km
Bandwidth-length product	3 GHz·m	100 GHz·m

3. FIBER COUPLING EXPERIMENTS

Sufficiently high coupling tolerances between Tx/Rx chip and optical fiber are essential for a low-cost assembly of complete transceiver modules. Since the design of the chips targets quasi fiber butt-coupling, in this section we investigate the lateral and longitudinal alignment tolerances without any external optics involved. Four different cases have to be distinguished, namely VCSEL-to-fiber longitudinal, VCSEL-to-fiber lateral, fiber-to-PD longitudinal, and fiber-to-PD lateral. Owing to the radial offset between PD and VCSEL (see Fig. 1), in the lateral alignment case furthermore we have to expect different tolerances for displacement parallel (denoted as x-direction, see also Fig. 3, top) and orthogonal (y-direction) to the axis connecting the centers of VCSEL and PD.

In [5], corresponding experiments are reported for chips containing 250 μm diameter MSM PDs in combination with a PCS fiber. The eccentricity between PD and VCSEL as chosen in the mask design is 75 μm in this case. The maximum VCSEL-to-fiber coupling efficiency is as high as 89 % if the fiber is centered with respect to the PD. This value even includes the approximately 4 % Fresnel reflection losses at each of the fiber ends and is retained up to a longitudinal distance of $\Delta z \approx 75 \mu\text{m}$. The 3 dB decay is found at $\Delta z \approx 600 \mu\text{m}$. For lateral

VCSEL-to-fiber displacement in y - and x -direction (done at constant $\Delta z \approx 50 \mu\text{m}$), the 3 dB coupling tolerances are $\pm 60 \mu\text{m}$ and -24 vs. $+172 \mu\text{m}$, respectively. The relatively small tolerance in negative x -direction could be increased by decreasing the eccentricity in the mask layout of the chip. For fiber-to-PD coupling, the longitudinal alignment tolerance amounts to about $1100 \mu\text{m}$ for circular PDs, which is larger than the VCSEL-to-fiber case. This is expected to be true also for lateral fiber-to-PD displacement. Thus as a general result, light coupling into the fiber imposes more stringent requirements on the alignment accuracy than light detection.

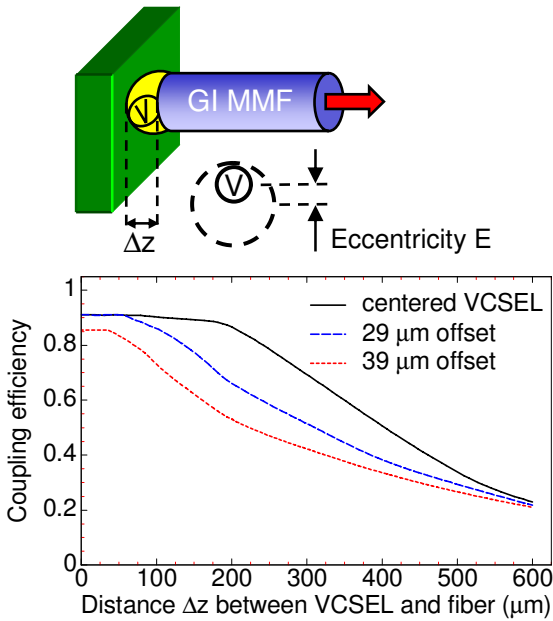


Fig. 2: Schematic of the set-up for measurements of the longitudinal alignment tolerances between VCSEL and fiber (top) and VCSEL-to-fiber coupling results for longitudinal displacement of $110 \mu\text{m}$ diameter chip and GI MMF (bottom). Two chip versions with different eccentricities E as well as the case of a centered VCSEL are considered.

The same statement as before also holds for $110 \mu\text{m}$ diameter chips facing the $100 \mu\text{m}$ core diameter GI MMF. For these Tx/Rx chips, two versions with eccentricities E of 29 and $39 \mu\text{m}$ have been implemented. Results for the important VCSEL-to-fiber coupling case are reported in [6]. The set-up for longitudinal displacement is schematically illustrated in Fig. 2 (top), where the centers of fiber and PD coincide. As seen from the bottom diagram, for the $E = 29 \mu\text{m}$ version the distance between centered chip and fiber may be increased to $340 \mu\text{m}$ for a decay of the coupling efficiency by 3 dB. A smaller tolerance of $290 \mu\text{m}$ is obtained for the larger eccentricity of $39 \mu\text{m}$, as to be expected. Maximum coupling efficiencies – again including Fresnel losses – are about 90 % and 85 % for $E = 29 \mu\text{m}$ and $39 \mu\text{m}$, respectively. Longitudinal displacements $\Delta z < 50 \mu\text{m}$ ($E = 29 \mu\text{m}$) and $30 \mu\text{m}$

($E = 39 \mu\text{m}$) do not yield noticeable coupling penalties. The case of the VCSEL being centered in front of the fiber is not of much interest for practical applications although it is also included in the diagram.

Investigations into the lateral coupling tolerances according to Fig. 3 have been performed at a distance $\Delta z \approx 25 \mu\text{m}$ between VCSEL and fiber. The 3 dB decay of the coupling efficiency occurs at $\pm 38 \mu\text{m}$ displacement for $E = 29 \mu\text{m}$ and at $\pm 31 \mu\text{m}$ for $E = 39 \mu\text{m}$. Here, the VCSEL is moved in y -direction, i.e. orthogonal to the PD-VCSEL axis. For displacement in x -direction, one finds tolerances of -20 and $+78 \mu\text{m}$ for $E = 29 \mu\text{m}$ and -10 and $+88 \mu\text{m}$ for $E = 39 \mu\text{m}$. The chips with smaller eccentricity show more favorable alignment tolerances but have a somewhat smaller detection area.

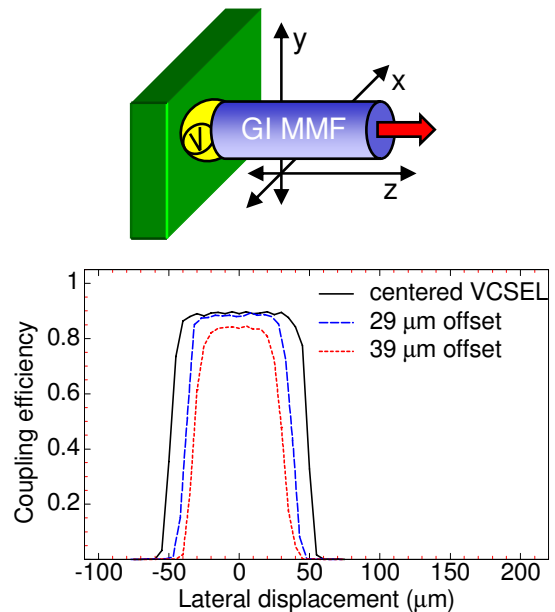


Fig. 3: Illustration of the coordinates used to determine lateral VCSEL-to-fiber coupling properties (top) and coupling efficiency results for displacement in y -direction (bottom, from [6]). The same cases as in Fig. 2 are considered.

All coupling tolerances reported before will slightly vary if a VCSEL with a different far-field divergence angle and transverse electric field profile is used.

4. DATA TRANSMISSION

In this section we investigate digital data transmission in half-duplex mode both using the PCS fiber and the GI MMF butt-coupled to the corresponding two generations of transceiver chips. First observations while employing the $110 \mu\text{m}$ diameter chips for full-duplex operation are also reported. For bidirectional transmission, the fibers are centered in front of the Tx/Rx chips at a distance of less than $50 \mu\text{m}$. In half-duplex mode both VCSELs are biased above threshold but only one of them is modulated. A bias is also applied to both MSM PDs. A bit pattern generator supplies a non-

return-to-zero pseudorandom bit sequence as the modulation signal.

4.1 Half-Duplex over PCS Fiber

For the PCS fiber experiments, the Tx/Rx chips at each fiber end consist of a 250 μm diameter MSM PD with 1 μm contact finger width and 2 μm spacing and an oxide-confined VCSEL with 9 μm active diameter. The 1 Gbit/s eye diagram in Fig. 4 (left) indicates a fiber bit rate–distance product of at least 5 Gbit/s m with an excellent eye opening, thus allowing multiple 100 Mbit/s data rate transport over distances which are sufficient for in-car communications. According to Table 1, for meter-long distances the fiber transmission loss can be entirely neglected in the power budget of the link.

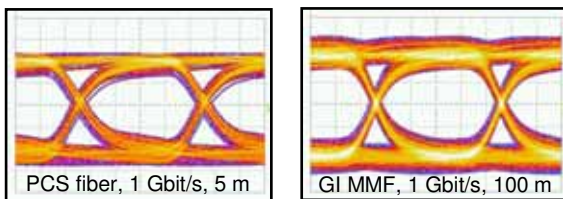


Fig. 4: 1 Gbit/s eye diagrams for half-duplex data transmission over 5 m PCS fiber (left) and 100 m GI MMF (right).

4.2 Half-Duplex over GI MMF

Data transmission experiments over the 100 μm core diameter GI MMF have been performed with the miniaturized Tx/Rx chips integrating a 110 μm MSM PD with 1.5 μm finger width and 2.5 μm spacing and a 7 μm diameter VCSEL. For maximized coupling efficiency, the 29 μm offset chip versions are employed (see Figs. 2 and 3). Figure 4 (right) displays the optical eye diagram for 1 Gbit/s transmission over 100 m fiber. As with the PCS fiber, the large eye opening indicates error-free transmission. Operation in the opposite direction yields very similar results. The transport of even somewhat higher bit rates should be possible over the same distance, in accordance with the bandwidth–length product of 100 GHz·m from Table 1. Alternatively, the present chip set enables stable transmission of, e.g., 2.5 Gbit/s signals over lengths of at least 40 m, which is very attractive not only for in-house or industrial networks but even for computer interconnection in data centers.

4.3 Full-Duplex over GI MMF

First experiments on full-duplex data transmission (i.e. both VCSELs are modulated simultaneously) using the same experimental configuration have also been made at 1 Gbit/s data rate over a GI MMF length of 100 m. When the second laser is switched on, the transmission is still error-free but a reduction of the eye opening is observed. Both, the on- and off-levels are broadened. It turns out that a PD receives a signal even if *only* the VCSEL on the *same* Tx/Rx chip is modulated, in other words there is crosstalk within the chips. The major part consists

of far-end optical crosstalk due to reflection at the opposite chip. The strongest contribution is expected from the metal surfaces, namely the VCSEL and MSM PD contacts. Moreover, the present chips were not anti-reflection coated. As a remedy, tilting of the Tx/Rx chips markedly reduced this feedback contribution but also decreased the fiber coupling efficiency. The open eye diagrams obtained have allowed error-free transmission, however, this approach which works in the laboratory environment would complicate module mounting. The deposition of an absorbing layer on the non-detecting parts of the surface is an option which we did not implement so far. The contribution of electrical crosstalk that is also visible in the eye diagrams could be cancelled to a large degree by proper signal processing.

5. CONCLUSION

In this paper, novel monolithically integrated 850 nm wavelength transceiver chips have been presented for bidirectional optical data transmission. The chip components, namely an oxide-confined, top-emitting VCSEL and a MSM photodiode, enable multiple Gbit/s operation. The maximum operating speed is limited by the photodiode (e.g., 110 μm diameter PDs have bandwidths close to 2.5 GHz, whereas the VCSEL modulation bandwidths exceed 5 GHz) and the maximum interconnect length is limited by modal dispersion of the fiber, as quantified by the bandwidth–length product. Fiber butt-coupling avoiding any external optics is expected to simplify manufacture. Two combinations of fiber and size-matched transceiver chips have been explored.

Using 250 μm diameter chips and a 200 μm core diameter PCS fiber with step-index profile, 1 Gbit/s have been transmitted over 5 m length with excellent signal quality. Automotive networks are the main application target. With the more recent generation of 110 μm diameter chips adapted to a 100 μm core diameter graded-index multimode fiber, in-building networks are even accessible. This is demonstrated by 1 Gbit/s transport over 100 m distance. Both results refer to unidirectional transmission in half-duplex (often called ping-pong) mode. The alignment tolerances were determined to be sufficiently large to allow low-cost assembly of transceiver modules. For higher tolerance, chips with reduced eccentricity between VCSEL and photodiode are advantageous.

Initial experiments on full-duplex operation have been made. They show encouraging results even at a high data rate of 1 Gbit/s.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank R. Blood, M. Chandran, P. Gerlach, I. Kardosh, H. Roscher, and G. Stareev for their support with measurements and

chip processing.

REFERENCES

- [1] byteflight high speed data bus protocol for automotive applications, see URL <http://www.byteflight.com/>.
- [2] Kibler, T., Poferl, S., Böck, G., Huber, H.-P., Zeeb, E., "Optical data buses for automotive applications," *J. Lightw. Technol.*, 2004, pp. 2184–2199.
- [3] MOST Cooperation, Specification Rev. 2.4, May 2005, see URL <http://www.mostcooperation.com/>.
- [4] Stach, M., Rinaldi, F., Chandran, M., Lorch, S., Michalzik, R., "Monolithically integrated GaAs-based transceiver chips for bidirectional optical data transmission," *Electron. Lett.*, 2006, pp. 716–718.
- [5] Stach, M., Rinaldi, F., Chandran, M., Lorch, S., Michalzik, R., "Bidirectional optical interconnection at Gb/s data rates with monolithically integrated VCSEL–MSM transceiver chips," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, pp. 2386–2388.
- [6] Stach, M., Rinaldi, F., Gadallah, A., Lorch, S., Kardosh, I., Gerlach, P., Michalzik, R., "1 Gbit/s bidirectional data transmission over 100 m graded-index glass optical fiber with monolithically integrated transceiver chips," in Proc. *32nd Europ. Conf. on Opt. Commun., ECOC 2006*, vol. 3, pp. 493–494.

A Silicon Optical Bench for Optical Feeding an LTCC based Wireless Transceiver

Gindera, Ralf; Pergola, Luca; Vahldieck, Rüdiger; and Jäger, Dieter

Abstract—*In this paper we describe the design and realization of a silicon optical bench, which is used to optically feed a wireless transceiver based on low temperature cofired ceramics. The silicon based submount allows for coupling the low temperature cofired ceramics module with integrated antenna to a standard single mode fiber. The silicon optical bench comprises a V-groove for aligning the optical fiber, coplanar electrical circuitry and a laser- and photodiode that are bonded onto the silicon submount. Because of the desired operation frequency band from 5GHz to 6GHz, the realized wireless-transceiver is applicable in radio over fiber applications involving several standards, like IEEE802.11a or HIPERLAN2.*

Index Terms—*Integrated optoelectronics, LTCC, Optically fed Antennas, Radio over Fiber (RoF), Silicon Optical Bench (SiOB), Transceiver, Wireless LAN.*

1. INTRODUCTION

HIGHLY integrated devices are of key importance for gaining high performance, power saving, miniaturized and first and foremost cost effective solutions in several fields of technology. Especially in optical information and communication techniques, the demand for compact devices is still growing. Particularly in radio over fiber (RoF) systems the need for compact integration of central and base stations is undisputed. Therefore the use of high precision packaging and interconnect technologies and of new materials is necessary.

RoF will play an important role in future wireless distribution systems and will be used in several indoor and outdoor wireless networks. In RoF broadband wireless access networks, the signals are distributed at micro- and millimeter wave frequencies from one single central station via optical fibers to several distributed base stations [1]-

[3]. For the exploitation of the benefits of this distributed antenna system the use of light weight and compact transceivers is necessary. The use of low temperature cofired ceramic (LTCC) technology can help to comply with these requirements. Because LTCC enables three-dimensional integration, interconnection and packaging of active and passive devices on a single chip, this material is particularly interesting for packaging of high frequency components. The use of multi mode optical fibers (MMF) in conjunction with an LTCC module was already demonstrated in [4] and [5]. However the processing tolerances of an LTCC module do not meet the requirements for sub-micrometer passive coupling of single mode fibers (SMF) to e.g. lasers or photodetectors. On the other hand the use of transmission bandwidth of several GHz is envisaged in RoF networks, requiring for the use of these small scale fibers.

In order to enable the coupling of standard SMF to an LTCC based wireless transceiver, merging the advantages of LTCC chips and transmission via a standard SMF, we designed and realized a silicon optical bench (SiOB), containing a laser- and photodiode and a V-groove for aligning the optical fiber [6]-[7]. By using this silicon submount, high precision alignment of the SMF to the laser- and photodiode can be achieved. By embedding the SiOB into the LTCC chip and connecting it to the high frequency circuitry of the LTCC module, a compact and highly integrated wireless transceiver for RoF applications can be realized.

2. SILICON OPTICAL BENCH

A hybrid integrated silicon optical bench (SiOB) containing a laser- and a photodiode was realized for optically coupling the wireless transceiver chip to a standard single mode fiber (SMF). This SiOB is used as an interface between the electrical high frequency circuitry placed on the low temperature cofired ceramic (LTCC) module and the optical domain (i.e. laser- and photodiode).

The SiOB consists of a 8x2mm submount made out of (100) oriented silicon substrate including a layer structure of 10nm silicon dioxide, 80nm silicon nitride and 2nm top thermal silicon dioxide (Fig. 1). Because the fiber to the PD should lead through to the same direction, as the fiber to the edge emitting laserdiode (LD), a lateral fiber alignment to the

Manuscript received February 10, 2007.

R. Gindera and D. Jäger are with the Department of Optoelectronics, Universität Duisburg-Essen, Lotharstr. 55, 47057 Duisburg, Germany (e-mail: dieter.jaeger@uni-due.de).

L. Pergola and R. Vahldieck are with the Laboratory for Microwaves and Electromagnetic Fields, Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich, Gloriastrasse 35, CH-8092 Zurich, Switzerland.

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

vertically illuminated PD has to be realized. Therefore a V-groove was etched into the silicon submount using an anisotropic wet chemical etching process. After removing the top thermal silicon dioxide layer by using a 5% solution of hydrofluoric (HF) acid, the

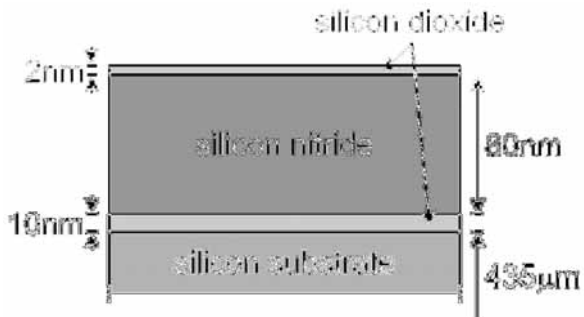


Fig. 1: Layer structure of the used silicon submount

silicon nitride layer and the subjacent silicon dioxide layer were etched. For structuring the silicon nitride layer an 85% solution of phosphoric acid and for structuring the silicon dioxide layer a 5% solution of HF were used. While the silicon dioxide layer acts as a buffer layer for lattice matching the silicon nitride to the silicon substrate, the silicon nitride layer acts as an etch mask. Because no photolithographic resist is persistent against a 30% solution of alkali-hydroxide (KOH) etchant, used for realizing the V-groove into the silicon substrate, the silicon nitride layer has to be used as a mask. The V-groove is used for fixing and aligning a standard SMF to the photodiode (PD). Therefore as shown in Fig. 2, the front mirror of the V-groove is used to enable planar integration of the PD.

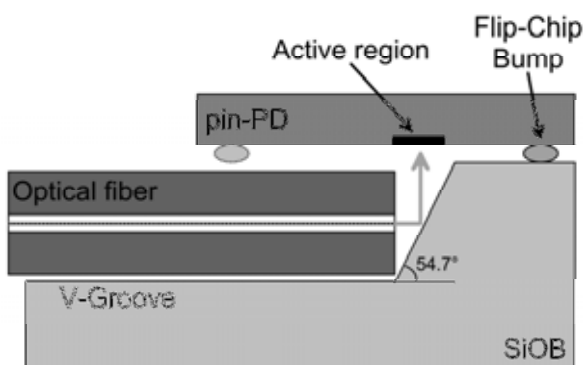


Fig. 2: Scheme for lateral coupling of the vertically illuminated photodetector

After etching the V-groove, a high frequency electrical circuitry was realized by thermally depositing a Ti/Au alloy onto the silicon substrate. The coplanar ground-signal-ground transmission lines act as an interface between the LD and PD placed on the SiOB and the high frequency electrical circuitry placed on the LTCC module.

For mounting the high speed PD flip-chip technology was used. After depositing gold bumps onto the electrical circuitry of the silicon submount, the PD was fixed via thermo-compression using a flip-chip bonder. The used LD, exhibiting a backside metallization, was fixed onto the silicon submount by using a highly thermal and electrical conductive thermally curing epoxy adhesive. The top (p-) contact was connected to the silicon submount by using wire bonding technology. As shown in Fig. 3 the used laser die contains two separate laserdiodes, whereas just one is used in this setup.

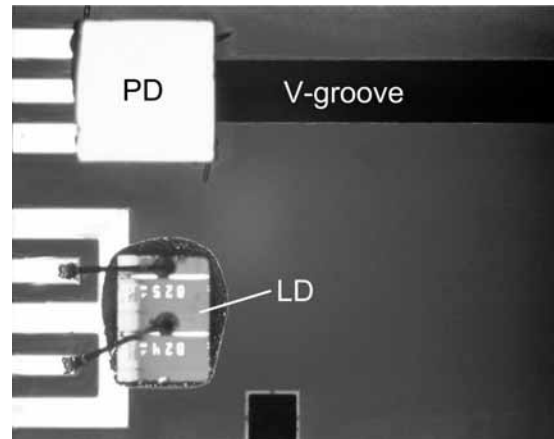


Fig. 3: Setup of the realized silicon optical bench (without fibers)

After active coupling of the standard SMF to the PD, using the V-groove for aligning the fiber and deflecting the light beam at the front facet of the V-groove, the fiber was fixed to the silicon submount by using a non-shrinking UV curing adhesive. The same adhesive, exhibiting a refractive index matched to the core of the standard SMF for low loss coupling, was used to fix the fiber, which was actively butt-coupled to the LD.

The used directly modulated buried heterostructure distributed feedback (BH-DFB) LD is designed for 10Gbit/s applications in metropolitan area networks. The unpackaged LD emits light at a wavelength of 1550nm exhibiting a maximum optical output power of 10dBm. As shown in Fig. 4, the fully packaged and fiber coupled LD exhibits a maximum optical output power of -4dBm at 45mA with a measured laser responsivity of 2.25mW/A.

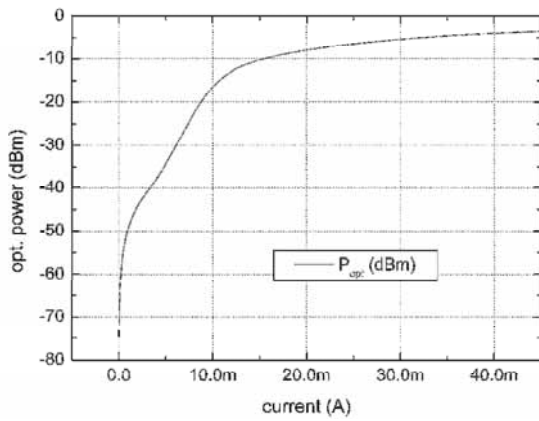


Fig. 4: Measured optical output power of the fully packaged and fiber coupled laser diode

The high-speed pin-PD based on InGaAsP/InP shows a 3dB cut-off bandwidth of 10GHz. As shown in Fig 5, the fully packaged and fiber coupled PD exhibits a photodiode responsivity of 81mA/W.

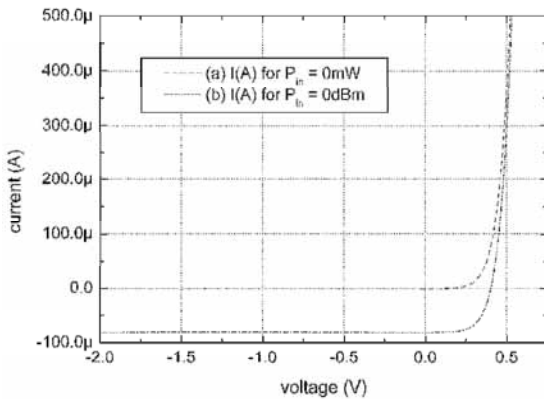


Fig. 5: Measured current voltage characteristic of the fully packaged and fiber coupled photodiode

3. LTCC BASED WIRELESS TRANSCEIVER

As shown in Fig. 6, the wireless transceiver made out of a ten layer low temperature cofired ceramics (LTCC) module, integrates a slot antenna, a 5GHz to 6GHz bandpass filter and a switch, for separating the transmit and receive path in time duplex operation. Furthermore a low noise amplifier (LNA) and a laser matching network in the receive path, as well as an LNA and a transimpedance amplifier (TIA) in the transmit path are integrated in the LTCC module. Additional DC control lines and a bias tee for biasing the LD and PD are integrated.

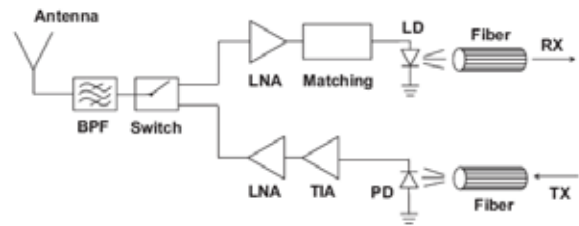


Fig. 6: Setup of the wireless transceiver with integrated optical interface

The realized silicon optical bench (SiOB) is placed on the bottom ground plane of the LTCC module. The electrical circuitry of the SiOB is connected to the high frequency circuitry of the LTCC module by means of wire bonding. The LTCC module is connected to a RT/Duroid motherboard by means of a ball grid array (BGA). Fig. 7 shows a detailed view of the mother board with a portion of the LTCC including the SiOB.

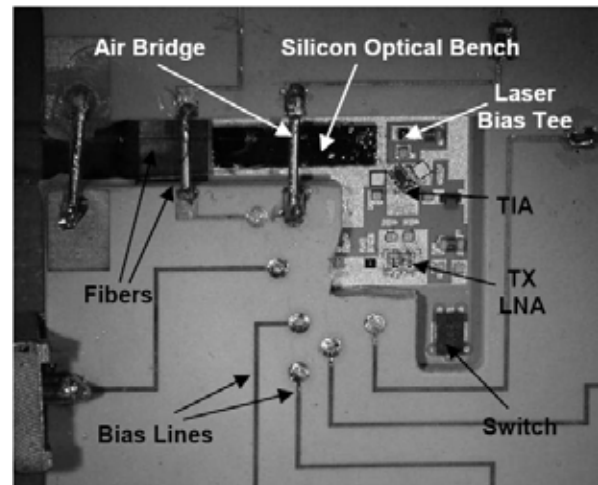


Fig. 7: Detailed view of the wireless transceiver including the LTCC module with integrated SiOB

Measurements carried out to test the performance of the wireless transceiver are showing a maximum measured power level of -48.9dBm in the 5GHz to 6GHz range for the transmitter path. This value agrees well with the expected power level of -47.7dBm, considering the photodiode responsivity, the gain of the TIA and LNA, losses introduced by the bandpass filter and switch and the antenna gain. Measuring the performance of the receiver path shows a maximum value of -20dBm of laser modulated optical power, when receiving a signal with a power level of -30dBm with the slot antenna. Taking into account the slot antenna gain, the receiver LNA gain, losses introduced by the switch, filter and laser matching network and the laser responsivity, a value of -19.5dBm for the modulated optical power generated by the laser would be expected. This value agrees well with the measured power level.

4. CONCLUSION

We presented the design and realization of a silicon optical bench, which was used for optically feeding a wireless transceiver based on a low temperature cofired ceramics module. The silicon optical bench consists of a silicon submount with integrated V-groove for fiber alignment, a coplanar electrical circuitry and a laser- and photodiode bonded onto the submount. It was shown that the used scheme for horizontally coupling the vertically illuminated photodiode, using the front mirror of the V-groove, exhibits low losses and is a promising approach for this purpose.

The realized wireless transceiver operating in the 5GHz to 6GHz range for various radio over fiber solutions like WLAN oriented applications (e.g. IEEE 802.11a or HIPERLAN2) was coupled to standard single mode fibers, using the silicon optical bench. It was shown, that the measured performance of the transceiver agrees well with the theoretically expected.

REFERENCES

- [1] P. Hartmann, X. Qian, R. V. Pentry, and I. H. White, "Broadband multimode fibre (MMF) based IEEE 802.11a/b/g WLAN distribution system", *2004 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics*, Oct. 2004, pp. 173-176.
- [2] A. Stöhr, K. Kitayama, and D. Jäger, "Full-duplex fiber-optic RF subcarrier transmission using a dual-function modulator/photodetector", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, no. 7, pp. 1338-1341, 1999.
- [3] D. Wake, "Recent trends in radio over fibre for wireless access", presented at the *29th European Conference on Optical Communication, IST OPTIMIST Workshop "The roadmap towards Optimised Access Network Solution"*, Sep. 21-25, 2003, Rimini, Italy.
- [4] Jussi A. Hiltunen, Kari Kautio, Jukka-Tapani Mäkinen, and Pentti Karioja, "Passive Multimode Fiber-to-edge-Emitting Laser Alignment Based on a Multilayer LTCC Substrate", *2002 Electronic Components and Technology Conference*, pp. 815-820.
- [5] Mikko Karppinen, Kari Kautio, Mikko Heikkinen, Jonna Häkkinen, and Pentti Karioja, "Passively Aligned Fiber-Optic Transmitter Integrated into LTCC Module", *2001 Electronic Components and Technology Conference*, pp. 20-25.
- [6] Luca Pergola, Ralf Gindera, Dieter Jäger, and Rüdiger Vahldieck, "An LTCC-based Wireless Transceiver with Integrated Optical Interface", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 2006*, pp 6-9, June 2006, San Francisco, USA.
- [7] Luca Pergola, Ralf Gindera, Dieter Jäger, and Rüdiger Vahldieck, "An LTCC-based Wireless Transceiver for Radio over Fiber Applications", accepted for publication in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*.

Ralf Gindera was born in Oberhausen, Germany in 1976. He received the Dipl.-Ing. degree in electrical engineering from Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Germany, in 2003. His thesis focused on the development of an optical 1.3 μ m DFB-GRIN-SCH Laser with monolithic integrated 40Gb/s-Electroabsorption Modulator. Currently he is working as a research associate with the Department of Optoelectronics at Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Germany. His main research interest include optoelectronic devices and communication systems as well as microwave photonic devices and their applications in micro- and millimeter-wave transmission systems.

Luca Pergola was born in Cagliari, Italy, in 1974. He received the Master Degree in electronic engineering from the University of Cagliari, Cagliari, Italy, in 2000, and is currently working toward the Ph.D. degree at the Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich, Switzerland. In January 2001, he joined the Electromagnetic Field Theory Group, IFH. His current research fields are RF frontends, antenna arrays and RoF systems realized by using Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) technology.

Rüdiger Vahldieck received the Dipl.-Ing. and Dr. Ing. degrees in electrical engineering from the university of Bremen, Germany, in 1980 and 1983, respectively. From 1984 to 1986 he was a Postdoctoral Fellow at the University of Ottawa, Canada. In 1986 he joined the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Victoria, British Columbia, Canada, where he became a Full Professor in 1991. During fall and spring of 1992-'93 he was a visiting scientist at the "Ferdinand-Braun-Institut für Hochfrequenztechnik" in Berlin, Germany. In 1997 he was appointed Professor for electromagnetic field theory at the Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, Switzerland, and became head of the Laboratory for Electromagnetic Fields and Microwave Electronics (IFH) in 2003. His research interests include computational electromagnetics in the general area of EMC and in particular for computer-aided design of microwave, millimeter wave and opto-electronic integrated circuits. Since 1981 he has published more than 300 technical papers in books, journals and conferences. Prof. Vahldieck is a Fellow of the IEEE. He is a member of the editorial board of the IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. From 2000 until 2003 he served as Associate Editor for the IEEE Microwave and Wireless Components Letters and from July 2003 until 2005 as the Editor-in-Chief.

Dieter Jäger received the Diplomphysiker, Dr. rer. nat, and Habilitation degrees in physics, all from the University of Münster, Germany, in 1969, 1974 and 1980, respectively. From 1974 to 1990 he was head of a research group at the Institute for Applied Physics, University of Münster, where he became an Associate Professor of Physics in 1985. In 1989/90 he was Visiting Professor at the University of Duisburg. Since 1990 he has been with the Faculty of Electrical Engineering of the University of Duisburg where he is head of the Department of Optoelectronics. He has been Dean of the faculty from 1998 to 2001. He has published more than 300 papers in books, journals and conference proceedings. Prof. Jäger is Honorary Professor of Brasov University/Romania and Consultant Professor of Huazhong University of Science and Technology, China. He is Fellow of the IEEE and Chair of the German IEEE LEOS Chapter as well as member of the IEEE Microwave Photonics Steering Committee. He is consultant of the IEE Photonics Network, member of the Photonics Competence Center and founder of the OpTech-Net, a German Network of Excellence on optical technologies.

Assembly and Test of Optical Chips on Wafer Scale

Kropp, Joerg-Reinhardt

Abstract—*The trend of rising performance in combination with the reduction of size is still valid in the opto-electronic technology. That implies not only higher integration of functions into the chip but also a miniaturization of the hybrid assembly. It is presented a micro-assembly production line which uses a wafer as basis for the assembly process with μm accuracy. This technology is well suited for volume production since several thousand micro-systems are processed and tested on one wafer.*

Index Terms—*Automated Chip Alignment, Low cost assembly, Manufacturing of Optical Components, On-Wafer Testing, Optical Micro-Modules, Wafer scale assembly*

1. INTRODUCTION

Optical interconnects for FTTx and other short reach connections need to be of very low cost in order to be competitive to the electronic interconnection technology. Therefore it is necessary to apply a design which is easy to manufacture and to establish simple and reliable assembling processes in the production.

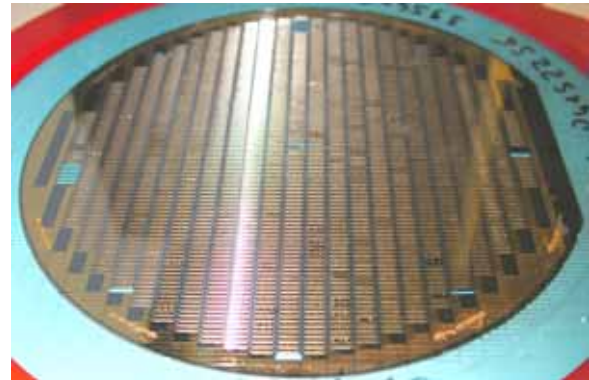
One solution to achieve that goal is to avoid the individual handling of tiny, sensitive components as laser chips and micro optical elements in the assembly process. EZconn is using an automated wafer scale assembly line for the micro assembly of opto-electronic components which was developed and optimized during several years.

2. Basic Design Concept

In most cases the bare dies of lasers or photo-diodes are mounted on a submount. Therefore a Si-wafer is used as a submount wafer which contains several thousand submounts. Each submount on this wafer is the basis of a micro-module. The complete submount wafers can be processed and handled with special designed assembly equipment.

Based on that concept several thousand units are manufactured on one 6"-wafer with automated production and test equipment. The assembled micro-modules have a size of around 1mm^2 and contain all relevant opto-electronic elements for the transmitter optical subassembly (TOSA) or receiver optical subassembly (ROSA) functions. The small size of the micro-modules allows the assembly into all relevant packages like TO-cans. The coupling optic is integrated in the micro-module, therefore the

assembled TOSA and ROSA components can be designed with further reduced size.

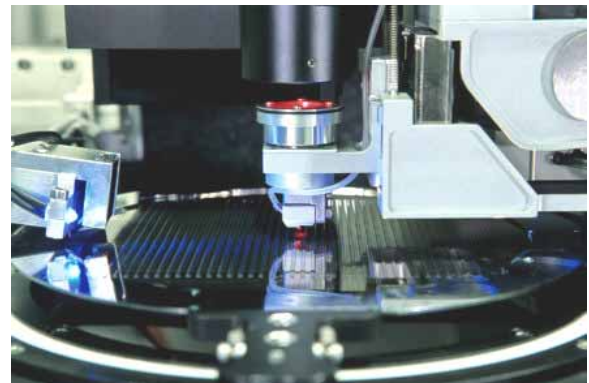


Wafer as basis for the chip assembly

The manufactured opto-electronic subassemblies (OSA's) contain subcomponents like an edge emitting laser, a monitor diode and a mirror which are assembled together with a micro-lens on the submount to create the micro-module. The submount wafer (e.g. silicon, glass or ceramics) defines the rugged baseplate for the manufacturing process.

3. Assembly Process

For the assembly each component is soldered individually on the submount wafer using AuSn20 solder. The sequential local heating of the submount wafer is provided with laser radiation which is focused on the position of the device. Only one device is heated at a time. Therefore all other devices on the submount wafer are not influenced by the assembly process of the



Assembly of lasers on the submount wafer.

V. ITG Workshop - Photonische Aufbau- und Verbindungstechnik

individual device. Accurate alignment in the range of μm is achieved using optical pattern recognition of the chip and the submount.

Si-chips with integrated micro-lenses are used to provide the optical coupling to the fiber. For the assembly of these chip-lenses the individual laser on the submount wafer is activated. As next step the alignment of the micro-lens is applied in front of the laser. When the desired optical performance is reached by the alignment, the lens-chip is fixed in that position with AuSn20 soldering on the submount. The chip handling, the alignment, the soldering as well as the measurement of the reached performance of each device is integrated in a fully automated assembly station.



Alignment of Si-lens chips

After the separation of the individual micro-modules out of the bulk wafer by a sawing process, the micro-modules are ready on the blue tape to be mounted by a pick-and-place process into the final package.

4. On-Wafer Characterization and Burn-In

All Test and Burn-In procedures are applied on wafer level in order to reach a most cost effective



Wafer level test with probe card

production. Several thousand devices are handled and processed in parallel.

We achieve the Burn-In of all lasers on the submount with a special wiring structure on the submount wafer. All devices in one column are connected to each other on the submount wafer. For the Burn-In one power supply is used for all lasers in one column. All lasers are running in constant current mode. For the Burn-In temperatures up to 95°C can be applied over several days.

The wafer test is provided with automated wafer level test equipment. It is possible to measure electrical as well as optical characteristics of the individual submounts within a temperature range of 20°C up to 95°C . All data are recorded for each submount individually.

For the control of the assembly of the chips there is available equipment for high precision mechanical measurements with sub μm resolution. Optical methods are applied for that purpose because it is not necessary to touch the sensitive components.



Mechanical measurement with optical method

5. Control of the manufacturing Process

The supervision of the production process and the quality is achieved by the introduction of an electronic wafer mapping. The wafer mapping file for each submount wafer contains the information of the manufacturing steps as well as device parameters for each individual device on the wafer. Each process is reading from and writing to the mapping file. This method provides a powerful tool for the monitoring of the parameters and yield of the processes as well as for the quality of vendor parts and the assembled micro-systems.

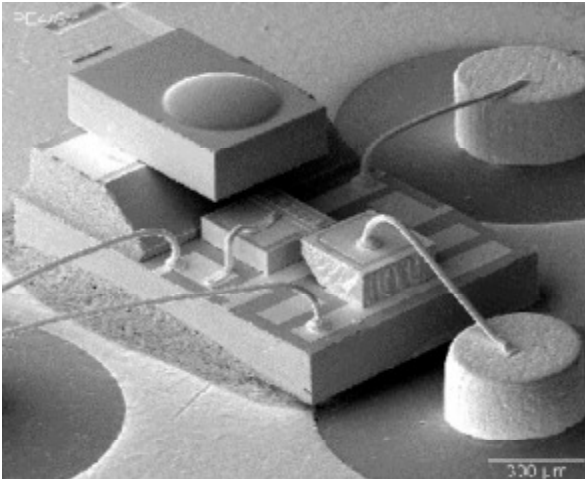
6. Conclusion

The presented assembly technology provides a low cost and high yield manufacturing method for high volume production of optical micro-devices. It is not necessary to handle the individual optical chips manually because the assembly equipment is taking the devices from blue tape. A detailed control of the manufacturing process and the device quality is possible with the information which is compiled in the wafer mapping file.

The most cost effective packaging of optical components can be achieved by combining the wafer scale assembly of optical components with the standard TO based housing.

Since the micro optics is integrated in the micro-module, it is not necessary to apply any further optics like a lens cap or other lenses outside of the TO-can to achieve an efficient coupling to the fiber. Therefore low cost optical subassemblies (OSAs) for optical components, transceivers and transponders can be offered.

He is author of numerous technical papers and inventor of more than 30 granted patent families.



Micromodule assembled on TO-header

Various micro-assemblies may be manufactured in high volume with this unique wafer-based production line. EZconn is also offering this production technology as a foundry service to all manufactures of electro-mechanical and optical micro-systems like sensors or any micro-hybrids.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank all the process and assembly specialists as well as the equipment developers who were very busy to establish that unique production line!

Dr. Joerg-R. Kropp gained in more than 20 years large experience in the field of fiber optic technology with Siemens AG and Infineon Technologies. He was responsible for various innovative research and development projects for optical measurement equipment, opto-electronic modules as well as the packaging technology in various positions. For many years he was involved in the international standards development and contributed to the optical Gb-Ethernet and 10Gb-Ethernet standard.

Reliability of Wave Guide Integrated Photodetectors in High Temperatur Operation

M. Kroh, G. Unterbörsch, M. Harnisch, G. Tsianos, M. Junge, A. Umbach

Abstract — Accelerated aging tests are the state of art method to proof the longterm performance of optoelectronic devices such as photodetector modules. A combination of temperature and optical load is used to investigate the long term behavior of photodetector modules.

Index Terms — Accelerated aging, reliability investigation, optoelectronic devices

1. INTRODUCTION

The investigation of the longterm behaviour of optoelectronic devices such as waveguide integrated photodetectors is required to guarantee the lifetime according to the Telecordia GR 468 standard [1] and was already part of previous investigations [2]. Accelerated aging is a common method to determine the device reliability with a limited effort of time. Reliability tests under temperature or optical input power are well established and part of the standard qualification procedures. Here we investigate a longterm stress test with a combination of a high temperature and a high optical input power.

2. EXPERIMENTAL SET-UP

The experimental set-up is shown in Fig. 1. It comprises of a control and aquisition unit, a laser system and the temperatur chamber. The output power of a cw- laser is amplified by a high power EDFA and distributed into the fiber branches to supply the DUTs which are placed in a temperature chamber at 85°C.

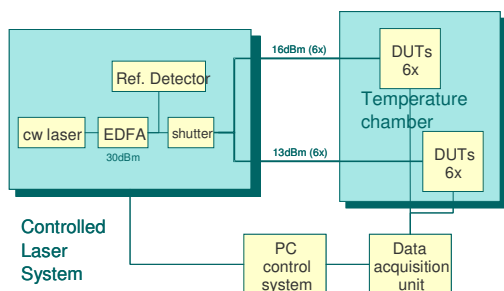


Fig. 1: Set-up of the proposed reliability test with elevated temperature and high optical power.

In order to protect the DUTs against optical power deviations during the ramp up and ramp down of the

EDFA an optical shutter separates the laser system and the temperature chamber. A reference detector (monitor diode) inside the Laser system verifies stable operation of the laser system before the test is started.

Optical power variations during the test are monitored and can be eliminated from the measured photodetector response.

3. MEASUREMENT

The photodetector current is evaluated in a shunt resistor configuration as shown in Fig. 2. For an active aging test a voltage of 2.8 V (DC) is applied.

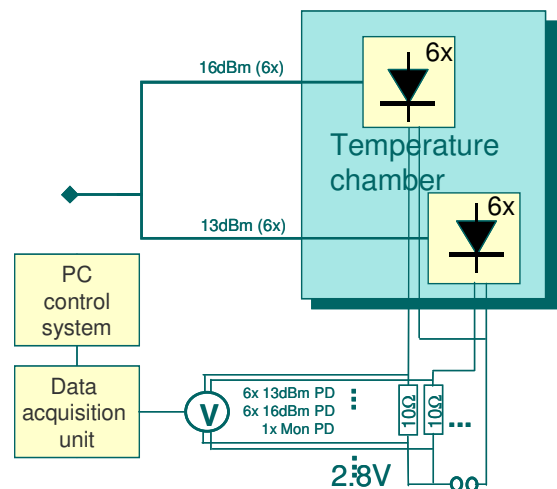


Fig. 2: Measurement of the photodetector response.

The optical input power is set to 13 (16) dBm. The responsivity of the photodetector is typically 0.6 A/W and the generated photo currents range between 10 and 25 mA. In order to keep the measured voltage over the shunt resistor as low as 0.1 V the shunt resistance is 10 Ohm only. Therefore the resistance of connecting wires has to be considered too. The measurement of the dark current, typically in the order of 10 nA, is not possible in this configuration. This evaluation has to be performed separately.

The measured voltage is shown in Fig. 3 for the first 500 hours of operation. No degradation or significant change of the photo current is recognized. The parameters dark current, responsivity, pulse width, polarization dependent loss and optical return loss were investigated

separately before and after the test and did not show any failures after a test duration of 500 hours.

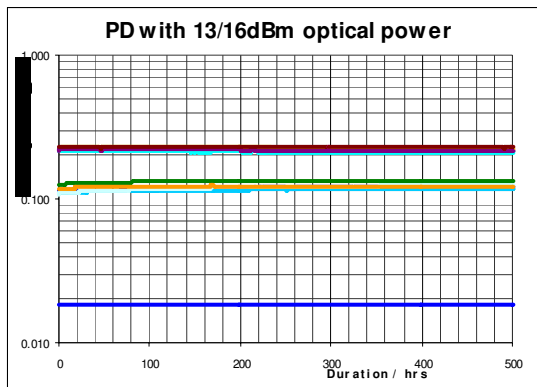


Fig.3: Measurement of the voltage over shunt resistors for the reference detector, 6 devices illuminated with 13 dBm and 6 devices illuminated with 16 dBm optical cw power.

4. CONCLUSION

A reliability test which combines temperature conditions of 85°C and an optical load of 13 (16) dBm is used to investigate the longterm reliability of waveguide integrated photodetectors. For the first 500 hours of operation no significant degradation of the characteristic device parameters was observed.

REFERENCES

- Telcordia Technologies Generic Requirements, GR-468-CORE, Issue 2, September 2004.
- Tornow, S., Trommer, D., Umbach, A., Schumann, D., „Longterm Reliability of High Performance Waveguide Integrated Photodetectors for 40 GHz applications and beyond“, OFC, Atlanta, Georgia, USA, vol.2, pp.758- 760, 2003

Integrated injection molded devices for polymeric fiber systems

U. H. P. Fischer (member IEEE), J.-U. Just, M. Haupt

Index Terms — *WDM, polymer optical fibers, WDM-de/multiplexers, optical communication systems, injection molding technology*

1. INTRODUCTION

As the demand for high-speed digital communication such as data, video, and the broadband internet increases, the required throughput of the modules in communications systems will also increase¹. Fast transmitter and receiver modules are basic elements of such systems, which should be able to transmit terabits/s of information via fiber. Such technologies in turn rely strongly on advanced opto-electronic technologies, and the progress made in optical multiplexing current transmission systems. Time Division Multiplex^{2,3,4} (TDM) and Wavelength Division Multiplex^{5,6,7} (WDM) have shown to be the

most powerful transmission extension techniques for long-haul during the last decade.

Over the last years, transmission via polymer optical fibers (POF) has developed into the standard transmission technique in the automotive industry^{8,9} and in local indoor networks¹⁰, as it can be seen in fig. 1. There are many reasonable applications for using POF. The forthcoming public network connection over XDSL has a broad band access up to 100 Mbit/s. The services which can be provided for indoor communication are divided in three parts:

- "A/V Server Network" (communication between e.g. television, hifi-receiver and DVD-player),
- "control server network" (messaging between e.g. refrigerator and stove)
- "data server network" (data exchange between e.g. notebook and printer).

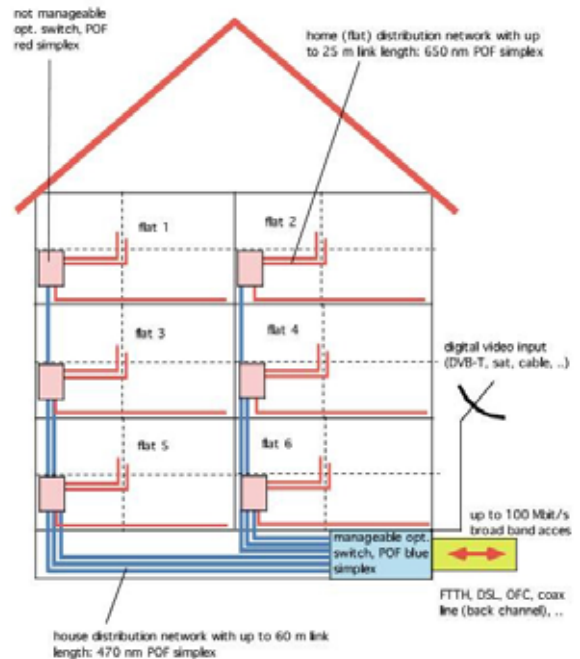


Fig. 1: Local Telecom Infrastructure¹¹

1 T. Naito, "One Terabit /s Transmission over 10.000km using C-Band and L-Band", Networks and Optical Communications I,IOS Press, pp 2-9, (2000)
 2 A. Umbach, D. Trommer, A. Siefke, and G. Unterborsch, "50GHz Operation of Waveguide Integrated Photodiode at 1.55µm", Proc. of the 21st ECOC, Brussels, Belgium, 17.-21. Sept. 1995, p. 1075 ff., (1995)
 3 A. Umbach, D. Trommer., and G. Unterborsch, "High-speed, high power 1.55µm Photodetectors ", Optical and Quantum Electronics, No 33, pp 1101-1112 (2001)
 4 A. Umbach, D. Trommer, D. Steingrüber, R. Seeger, A. Ebert and G. Unterborsch, "Ultrafast, high power 1.55µm side illuminated photo detector with integrated spot size converter", Proc. ECOC 2000,FG2-1,p 117-119, (2000)
 5 U. Krüger, K. Krüger, R. Batchelor, U. H. P. Fischer, C. v. Helmolt, and U. Nagengast, "Wavelength manager covering the EDFA band and capable of controlling hundreds of transmitters",Proc. ECOC, Vol. 1, pp 483-486 (1994)
 6 A. H. Gnauck, A. R. Chraplyvy, R. W. Tkach, J. L. Zyskind, J. W. Sulhoff, A.J. Lucero, Y. Sun, R. Mo Jopson, F. Forghieri, R. M. Deroshier, C. Wolf and A. R. McCormick, One terabit/s transmission experiment, in Proc. OFC'96, PD 20, San Jose, CA, 1996
 7 C. R. Batchellor, B. T. Debney, A. M. Thorley, T. J. B. Swanenburg, G. Heydt, F. Auracher, and P.

Lagasse: 'A coherent multichannel demonstrator', Electr. & Comm. Engineer. J. , 235-242 (1992)
 8 [MOST] <http://www.mostnet.de>
 9 N. Weber, "Low cost optical transmission solutions for short distances", <http://www.iis.fraunhofer.de/ec/oc/index.html>
 10 <http://www.pofac.de/pofhaus/d/index.php>
 11 H. Kragl, "A product family for simplex POF home networks",

The combination of WDM and POF will broaden the horizon of low cost optical customer premises networks.

2. WDM DEMUX

Upcoming optical communication systems will take intensive use of the high bandwidth of POF in the optical frequency domain to provide high speed data connection for the fiber-in-the-home network, which is usually Ethernet based. Wavelength division multiplex systems in the infrared communications window have demonstrated that this technique is well suited to expand the capacity of the fibre tremendously. The transpose of this WDM-scheme to the POF-window between 350nm to 850nm will provide an opportunity to expand the bandwidth length product of the standard POF fiber from 100Mbit/100m to several Gigabit/100m. The usage of a Coarse WDM scheme of 50nm/channel will provide up to 10 transmitting channels with low individual bitrates, but high amount of 1000Mbit/s overall.

In this paper we present a new concept for the use of WDM-technique in the visible range using polymer optical fibers (POF) as a transmission medium. The low modulation bandwidth of the standard step-index POF of 100MHz/100m can be overcome by the intensive usage of a relatively high number of transmission channels with low modulation rate using the same physical fiber. Low cost optical network elements like multiplexers (MUX) and demultiplexers (DEMUX) must be provided. A patented concept^{12,13,14} with first results for low cost MUX/DEMUX will be presented.

A principle sketch of the demuxer is shown in Fig. 2. In the first step, three wavelengths are transmitted over a standard POF. The demuxer has to separate the emitted light in its single monochromatic parts. Therefore, the divergent light beam must be focused on a detection layer to regain the modulated parts of the transported information. To separate the locations of the focus of each wavelength, a high dispersive prism is used.

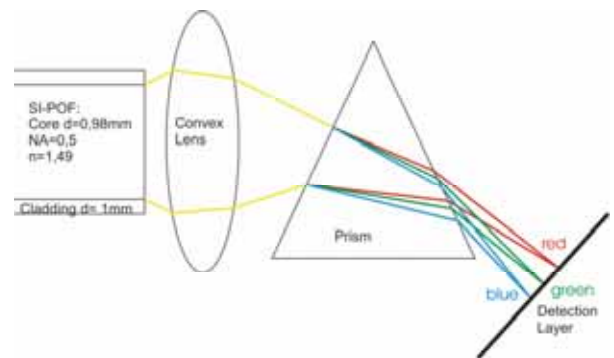


Fig. 2: DEMUX Proposal, principal sketch

The complete assembly is designed with the help of a computer-simulation-program. Though the program shows better results for a configuration with a concave mirror, see fig. 3. Therefore the mirror minimizes spherical and chromatic aberrations to collimate the light, because the prism shows the lowest aberrations and the best separation of the different wavelengths for collimated light. Thus, the refraction power is divided in the concave mirror and a plan-convex lens behind the prism to focus on the detection layer. The whole configuration is estimated to be smaller than 60cm².

The spot diagram is also shown in Fig. 3. It collects the transverse aberrations in the image plane resulting from tracing a rectangular grid of rays (emerging from a single object point) through the system. The circle shows a diameter of 10mm. Hence, the gap between the three single wavelengths is about 5mm. Thus cross-talk is absolutely negligible.

All parts of this system can be manufactured with the help of the injection molding technique and therefore it is a very economical way to create a demuxer. This technique can be used if the optical parts become mass products.

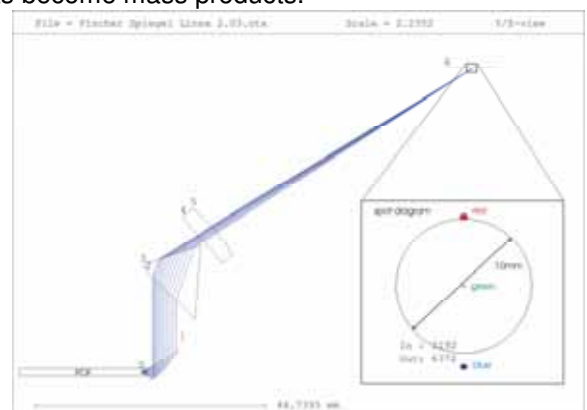


Fig. 3: 2D-Plot of computer designed demuxer

3. RESULTS

A first experimental setup, using common devices, is promising good results. The setup is shown in fig. 4.

http://www.pofac.de/itg/fg_5_4_1/de/fachgruppentreffen/treffen21.php

12 Multiplex-Sender für Polymerfaserübertragung und Verfahren zu dessen Herstellung, 10 2005 050 747.6 (Tx) 22.10.2005,

13 Demultiplex-Empfänger für Polymerfaserübertragung und Verfahren zu dessen Herstellung, 10 2005 050 739.5 (Rx), 22.10.2005

14 Multiplex-Transceiver für Polymerfaserübertragung und Verfahren zu dessen Herstellung, 10 2006 009 365.8 (TRx)

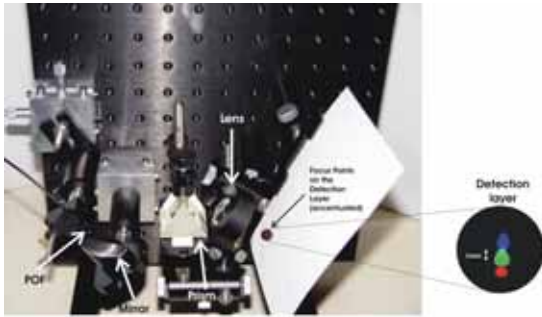


Fig. 4: Experimental setup of the DEMUX

On the detection layer you can see the spots of the tree transmitted colors. There is a distance of more than one millimeter between these spots, so it should be possible to place three photodiodes on this layer. So, three wavelengths can be separated with this very simple setup. By using an exact calculated as simulated mirror and a prism with a higher aberration, the results would be much better, the separation of eight or more wavelength would be achievable.

The first prototype produced by injection molding technology is a simple waveguide, shown in fig. 5. This device is manufactured for first tests of the attenuation of the used materials. The core consists of PC (polycarbonate, refractive index $n_{PC}=1.59$) and for the cladding PMMA (polymethylmethacrylate, $n_{PMMA}=1.49$) is used.

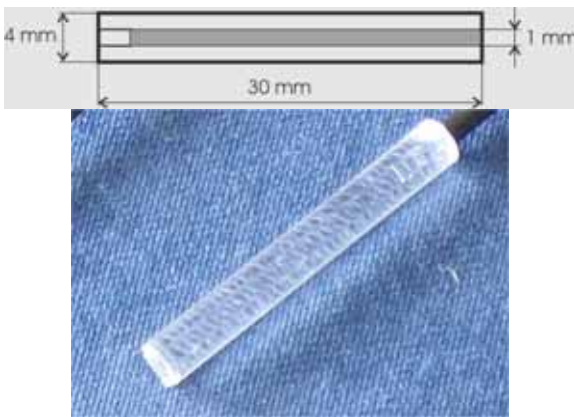


Fig. 5: Prototype of test waveguide

This prototype will be the basis for passive optical splitters/combiners. With this technology 1:4 - splitter/combiner are easy processable. The attenuation of this basic device is shown in tab. 1.

Attenuation [dB]		
@ 660nm (red)	@ 530nm (green)	@ 470nm (blue)
1,80	2,17	2,52

Tab. 1: attenuation of simple waveguide

In comparison with conventional splitters for POF applications these results are very auspicious. For the use of these devices as a 1:2 – splitter we estimate a loss of 5.3dB for 660nm. This is

comprised of 1,8dB (@660nm) for the material, 3dB for splitting 1:2 and app. 0.5dB for reflections. This results in a mean attenuation of 0,7 db/cm. Fig. 6 shows the attenuation of different couplers available on the market and of our new coupler, based on the PC-POF device. It can be noticed that most of the commercial products are showing an additional excess loss of more than 5 dB in comparison to the results of the PC-POF. The new device will be excellent for increasing existing POF-systems performance.

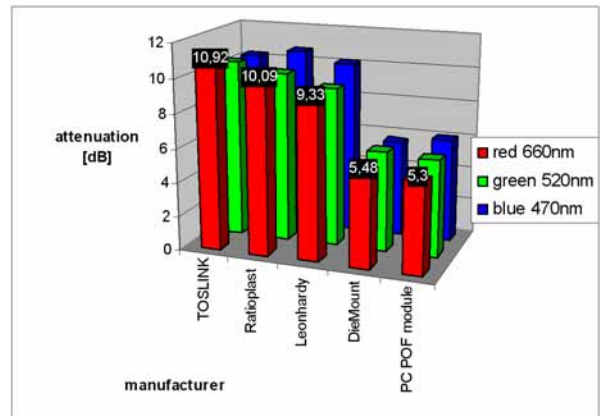


Fig. 6: comparison between different couplers

In fig. 7 a PC-POF module is shown with light coupled in. In this figure it is to be recognized, that light exits at various points because of scattering at trapped air. This results in an additional loss. To avoid this, the production process has to be improved.

Additionally, at present we are measuring the reflection between an incoming fiber and these waveguides for characterization, but we haven't any results until now.

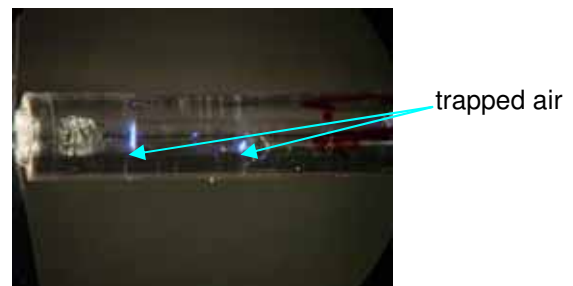


Fig. 7: PC POF module with light

Dr. Kragl of the company DieMount had an idea for the additional use of such molded devices. As a small pipe it can be used for coupling e.g. two fibers or, shown in fig. 8, for cascading 1:2 couplers to create a 1:4 or 1:N coupler easily. This could be a chance to establish a coupling method by using glue. One advantage of this method is the high lifetime, another one is, that the user can see both fiber ends and so he can adjust it correctly. If there is no optimal connection, he will see the emitted light. To optimize the connection a special index

matching gel can be used. In comparison to normal connectors, like TOSLINK (T-05) connectors, the attenuation is smaller around orders of magnitude.



Fig. 8: Cascaded couplers¹⁶

4. CONCLUSION

The WDM technique has the potential to expand the bandwidth-length product tremendously in the visible range.

10Gbit/s for in-house-networking is in the first discussion¹⁵. This high data throughput is only viable with WDM, as the data throughput for single-mode fiber is limited by 2Gbit/s. Hence, WDM over POF is "The Solution to Quality Ubiquitous and Video Home Networking"¹⁶.

For the WDM technique are components like a demuxer of central importance. Hence, our attenuation measurements show results which are really comparable to the best at the market available splitters. However with one main difference, the demonstrated splitters can be fabricated in low cost injection molding technology, which make these devices capable to open WDM for mass production.

ACKNOWLEDGMENT

We have to thank the Schiku & TNP GmbH Goslar for providing the molded devices, DieMount GmbH for technical and non-material support, the State of Saxony-Anhalt and especially the State Secretary of Education for the "OPTOREF" project.

¹⁵ ITG-FG 5.4.1 "Optische Polymerfasern",
http://www.pofac.de/itg/fg_5_4_1/de/fachgruppentreffen/treffen21.php

¹⁶ www.diemount.com

Hybrid Integration Technology on Polymer Platform

N. Keil¹, H. H. Yao¹, C. Zawadzki¹, W. Schlaak¹, M. Möhrle¹, N. Grote¹, R. Schmidt², M. Wolff²

1) Fraunhofer-Institute for Telecommunications, Heinrich-Hertz-Institut, Einsteinufer 37, D-10587 Berlin, Germany, keil@hhi.fraunhofer.de

2) ELBAU Elektronik Bauelemente GmbH Berlin, Darßer Bogen 19, D-13088 Berlin, Germany

Abstract: A hybrid integration technology on a polymer platform integrating polymer waveguides with optoelectronic devices such as laser diode and photo detector is described. Main issues include optical coupling from laser diode to waveguide, from waveguide to photodiode, and from fibre to waveguide as well as device assembly are discussed

1. INTRODUCTION

Integrating multiple optical functions into a single device is a key step for lowering the costs of optical systems. When multiple functions are integrated into a single device, the costs of labour, packaging, and testing can all be reduced and the device performance can be improved. Using hybrid integration, discrete elements made from a suitable material system by a suitable fabrication technique can be chosen enabling full functionality and high yield. Therefore, hybrid integration offers the benefits of low cost and high performance.

Polymer planar lightwave circuits (P2LC) technology is attractive because it offers the potential of fairly simple and low cost fabrication based on low-temperature processes and low cost packaging based on passive alignment [1-3]. The optical loss of optical polymers has been reduced to less than 0.1dB/cm recently [4]. Using all-polymer approach, the temperature and polarization behaviour of the devices can be controlled [5]. The optoelectronic devices such as laser diode (LD) and photo diode (PD) dies can be assembled on a polymer substrate by means of Pick & Place. Therefore, polymer PLC can provide a convenient integration platform using hybrid technologies combining passive optical waveguide devices and active chips to form different optical functional devices.

Main issues for implementing hybrid integration technology on a polymer platform include the optical coupling from LD to polymer waveguide, from polymer waveguide to PD and the coupling from polymer waveguide to optical fibres, as well as bonding and assembly technologies. In general, coupling between LD and polymer waveguide and from waveguide to PD can be accomplished by a vertical or butt-joint coupling scheme. The vertical coupling scheme via a 45° mirror will be discussed in details in the next section. For achieving an efficient coupling between LD and waveguide, polymer waveguides with a super-high refractive index contrast of $\Delta n = 0.020$ and a dimension of $2.5 \mu\text{m} \times$

$2.5 \mu\text{m}$ were chosen. This small waveguide dimension renders the waveguide to satisfy the strict single-mode conditions. For obtaining a low-loss coupling between the polymer motherboard and a single-mode fibre (SMF), a taper is introduced at the end of the polymer waveguide. In order to lower the cost, passive alignment of fibre-chip coupling is possible by means of U-grooves. In this paper the crucial technologies for implementing hybrid integrated components will be addressed.

2. COUPLING BETWEEN LD AND WAVEGUIDE

Fig. 1 shows the cross-section of the vertical coupling scheme. For conventional butt-joint coupling, accurate 3D alignment in both position and angular orientation is required, leading to a quite cumbersome process. The main advantage of the vertical coupling scheme is the easy adjustment of the laser diode because it avoids vertical alignment allowing semi-automatic assembly using pick and placer.

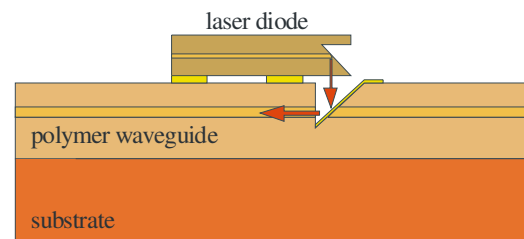


Fig. 1: Vertical coupling between LD and waveguide.

For an efficient coupling between the Gaussian beams of a LD and a polymer single-mode waveguide, the optical mode profiles of the LD and the polymer waveguide should be overlapped as much as possible [6]. As can be seen from Fig. 1, the laser beam has to travel a distance before entering the polymer waveguide. For effective coupling this distance should be as small as possible. In our design, it was chosen to be $\sim 15 \mu\text{m}$. Fig. 2 shows the calculated coupling loss vs. the distance between the LD and the waveguide when the gap space in the mirror is filled with polymer. The coupling loss depends strongly on the type of LD used. A typical ordinary LD has a far-field divergence angle (FWHM: full width at half maximum) of about 32° in the lateral and 39° in the longitudinal direction. A tapered LD has divergence angles of 15° in the lateral and 20° in the longitudinal directions, respectively. The coupling

loss of ordinary LDs is rather high. Thus, a low-loss transceiver must use LDs with narrow divergence angles. At a distance of below 15 μm , a waveguide with $\Delta n = 0.020$ offers higher coupling efficiency. If there is no polymer in the mirror gap, the coupling loss is about 1-2 dB higher. From above discussion, a tapered LD and a polymer waveguide with $\Delta n = 0.020$, $W = d = 2.5\mu\text{m}$ was chosen.

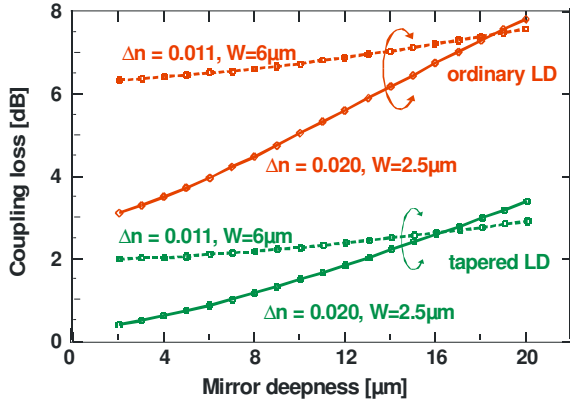


Fig. 2: Calculated coupling loss vs. distance for different types of LDs and polymer waveguides.

Fig. 3 shows the calculated coupling loss between a polymer waveguide with a high index contrast and dimensions of $2.5\mu\text{m} \times 2.5\mu\text{m}$ and LDs with different beam divergences if butt-joint coupling is adapted. It can be seen that a very low coupling loss can be obtained if LDs with small divergence angles are used and perfect alignment is achieved. However, the vertical alignment for butt-joint coupling is critical. The allowed lateral mismatch for 1 dB tolerance is about $1\mu\text{m}$. The coupling loss is increased rapidly with a larger lateral mismatch.

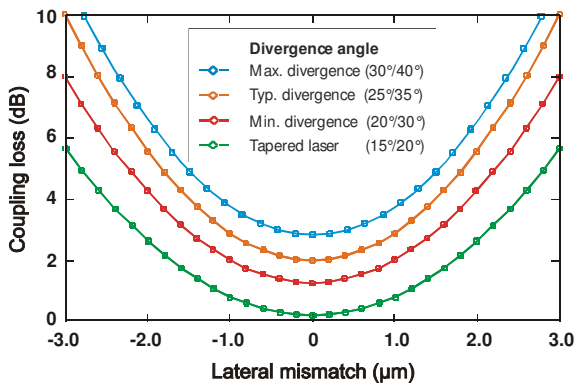


Fig. 3: Calculated coupling loss between different types of LDs and a polymer waveguide vs. lateral off-set.

From calculations, the coupling loss between a LD with far field angles of 27° in the lateral and 47° in the longitudinal direction to a conventional SMF is 9.7 dB. However, if this LD is coupled to a SMF via a polymer waveguide with a $\Delta n = 0.020$ and $W = d = 2.5\mu\text{m}$, the coupling loss amounts to about 3.5 dB only. This means, a section of polymer waveguide can be used as a spot-size converter.

These calculated values agree well with experimental results. Fig. 4 shows the photo of a LD with 27° divergence angle in the lateral and 47° divergence angle in the longitudinal direction coupled to a polymer waveguide with a $\Delta n = 0.020$ and $W = d = 2.5\mu\text{m}$. The measured coupling loss between LD and fibre was only 4.0 dB, which is close to the above theoretical value of 3.5 dB. For a LD with $20^\circ/40^\circ$ divergence angle the calculated loss value is 3.2 dB, and the measured one is 3.5 dB.



Fig. 4: A LD chip is butt coupled to a polymer waveguide.

3. COUPLING BETWEEN WAVEGUIDE AND PD

In many cases, photo detectors (PDs) act as end-points of the optical devices. For example in a FTTH transceiver, the downstream light at 1490 nm from the SMF is coupled to the PD via an optical demultiplexer. The coupling can be accomplished by vertical coupling scheme using a 45° mirror [7]. The spot-size of the above polymer waveguide is only $1.92\mu\text{m}$. The light beam will undergo free space divergence within the mirror gap. Fig. 5 shows the calculated radius of the light beam after propagating a distance. It can be seen that even after 100 μm propagation, the beam radius is still less than $25\mu\text{m}$ in the free space region at the mirror. If the mirror space is filled with polymer, the beam radius reduces to about $15\mu\text{m}$. In our design, the propagation distance is less than $20\mu\text{m}$, resulting in a beam diameter of about $10\mu\text{m}$, which is smaller than the active diameter of a PD used for 10 Gbit/s receptions.

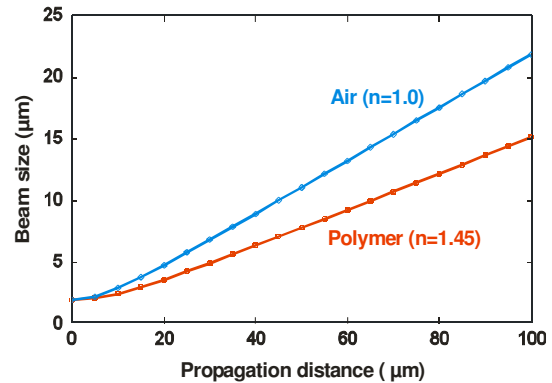


Fig. 5: Beam size of polymer waveguide after propagating a distance in the free space region at the mirror.

4. COUPLING BETWEEN WAVEGUIDE AND SMF

For polymer waveguides with a refractive index difference of $\Delta n = 0.020$ and a dimension of $2.5 \mu\text{m} \times 2.5 \mu\text{m}$, the fibre-to-chip coupling loss is about 1.6 dB at $1.49 \mu\text{m}$ and 2 dB at $1.31 \mu\text{m}$ wavelength, respectively. In order to further reduce this coupling loss, a laterally tapered waveguide can be incorporated. The coupling loss depends strongly on the taper width (see Fig. 6). The loss can be reduced to only 0.25 dB at $\lambda = 1.49 \mu\text{m}$ if the width of the taper is only $1 \mu\text{m}$. For $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$, the width of the waveguide taper should be reduced to $0.8 \mu\text{m}$ for obtaining a coupling loss of 0.25 dB [8].

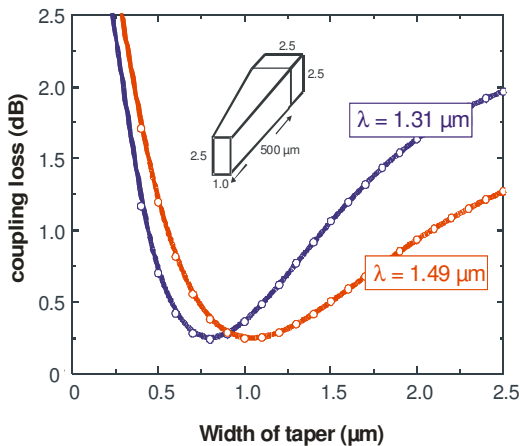


Fig. 6: Calculated coupling loss between SMF and polymer waveguide vs. width of taper.

By using an alignment-free coupling scheme (passive alignment), the cost of coupling optical SMF to polymer motherboard may be significantly reduced and high-volume production and assembling is possible. High-volume and low-cost are the main challenges in the production of transceiver for FTTH applications.

Fig. 7 shows conceptually how a U-groove may be formed in the same substrate as the polymer motherboard for aligning and fixing the fibre.

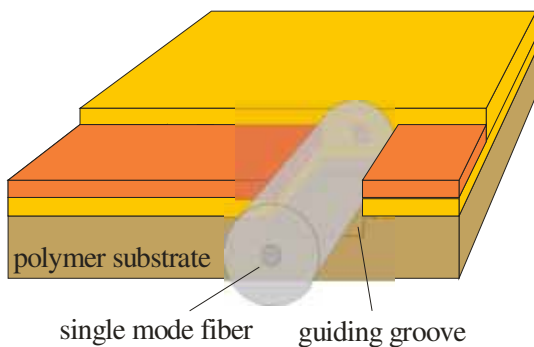


Fig. 7: Sketch of a single-mode fibre coupled to a polymer waveguide using a guiding groove structure.

For a transceiver, only one fibre is needed to be coupled to polymer motherboard. For chips with multi-port devices such as arrayed-waveguide

gratings (AWG), this passive alignment scheme can also be used. As we demonstrated earlier, all-polymer approach, in which both the waveguide and the substrate are made of polymer materials, is useful because the wavelength tuning behaviour of a polymer AWG can be adjusted by choosing a suitable combination of TO (thermo-optic) coefficient of the polymer waveguide and the CTE (coefficient of thermal expansion) of the polymer substrate. It is possible to realize negative, positive and even athermal tuning behaviour. An athermal AWG has been realized using this all-polymer approach at HH [5], which also helps to control the polarization behaviour of the AWG [5].

Another possibility for coupling a multi-port device to fibres is to use a fibre-array. When an all-polymer AWG is connected to a commercial silicon-based fibre-array, the mismatch between the CTE values of polymer and silicon may cause additional loss. Therefore, a fibre-array with polymer substrate was developed. Fig. 8 shows a photo of an all-polymer fibre-array with eight fibres. The fibres are inserted and guided in V-grooves that are fabricated by micro machining the polymer substrate, as shown in Fig. 9. This simple fabrication procedure allows for very low manufacturing costs. The core-to-core pitch is $250 \mu\text{m}$. The cover plate is also made of polymer. The end face of the fibre-array was polished to ensure low-insertion loss. The CTE of the fibre-array can be perfectly matched to the CTE of polymer waveguide devices if the same polymer substrate is used.

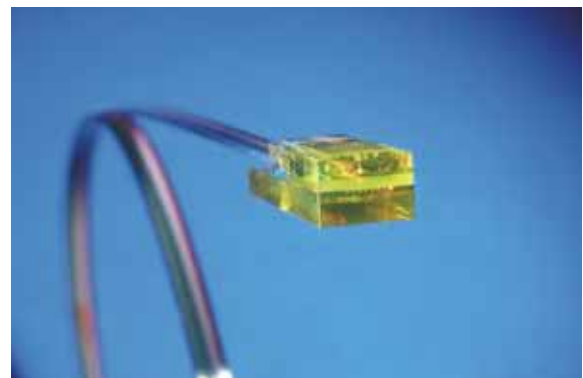


Fig. 8: All-polymer fibre-array.

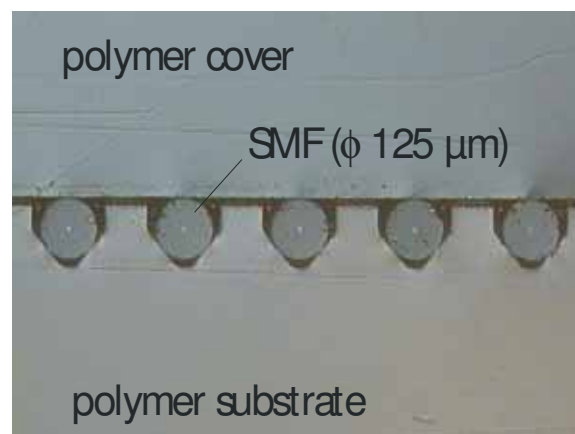


Fig. 9: End face of an all-polymer fibre-array.

5. BONDING

Fig. 10 shows a wire bond between a polymer chip and a sub mount using ultrasonic bonding. Pull tests show that the bonds meet the MIL standard.

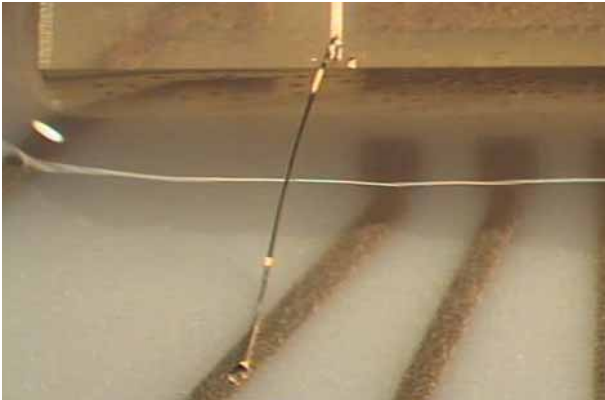


Fig. 10: Wire bond from polymer motherboard to PCB.

For assembling LD and PD bare dies on polymer motherboards, a Pick & Place machine is used. The machine seats the dies onto the designed position on the substrate with a very high accuracy. Fig. 11 shows a PD die bond on a polymer motherboard.

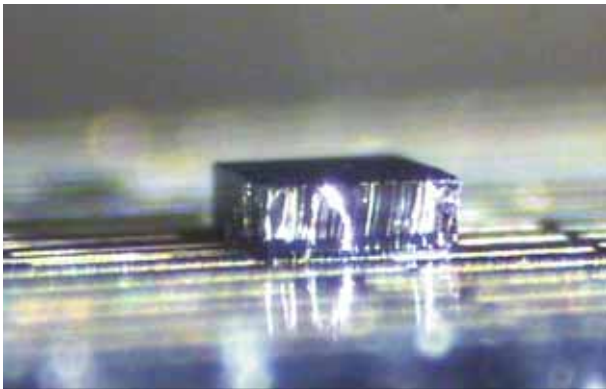


Fig. 11: Die bond of PD on polymer motherboard.

6. EXAMPLE OF IMPLEMENTED COMPONENT: OPTICAL TRANSCEIVER

Fig. 12 shows the chip layout and Fig. 13 a photo of a polymer optical motherboard of a PLC based optical diplexer transceiver.

A directional coupler (DC) is used as a wavelength multiplexer in this transceiver. The DC is designed to have a bar-state at the 1310 nm upstream channel, and a cross-state at the 1490 nm downstream channel. The DC has a very compact size with a length of the coupling region of only 1.4 mm. A LD, a PD and a monitor photodiode (MD) are hybrid integrated on the polymer motherboard. As we mentioned, the vertical coupling scheme is used between polymer waveguides to PD as well as LD to polymer waveguide via 45° mirrors. The chip size is only 3 mm x 7 mm.

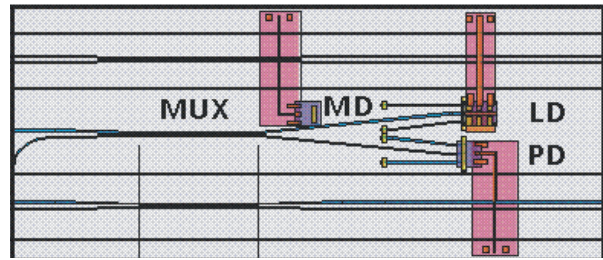


Fig. 12: Chip layout of a polymer PLC transceiver.

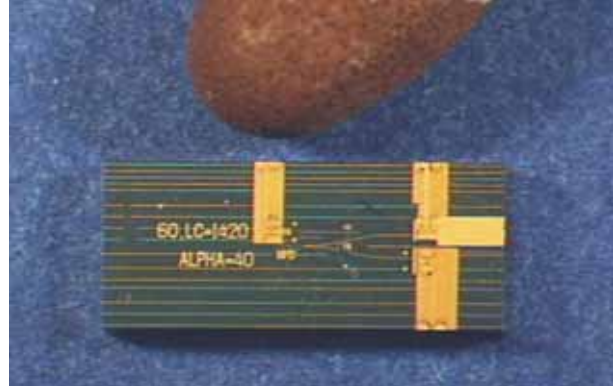


Fig. 13: Polymer motherboard of a PLC transceiver.

7. CONCLUSIONS

Polymer optical motherboards integrating polymer planar light wave circuits and optoelectronic devices such as laser diodes and photo detectors have been investigated. Good coupling efficiency between optical polymer waveguide and the optoelectronic devices were demonstrated. Simple alignment using a vertical coupling scheme or butt-joint coupling and passive alignment for fibre-chip coupling are possible. This technology may also be used for optical interconnection, optical transmitter, optical channel monitor in WDM networks, wavelength meter, optical mini-spectrometer, optical receiver including D(Q)PSK, and sensors in instruments for medicine, bio-technique, environment and other industrial branches.

ACKNOWLEDGMENTS

Part of this work was financed by Future Funds of the State of Berlin, Germany.

REFERENCES

- 1 S. Lehmacher et al, *Elec. Lett.*, no.12, p.1052, 2000.
- 2 A. Rogner et al, *OFC*, Paper FB1, p. 279, 1994.
- 3 J. T. Kim et al, *ECOC Paper Th1.4.2*, p. 806, 2004.
- 4 A. Yeniay et al, *J. Lightw. Tech.*, no.1, p. 154, 2004.
- 5 N. Keil et al, *ECOC Paper Tu3.5.3*, p. 252, 2003.
- 6 M. Saruwatari et al, *App. Optics*, no.11, p.1847, 1978.
- 7 J.-W. Park et al, *Phot. Techn. Lett.*, no. 4, p.807, 2005
- 8 T. Mizuno et al, *J. Lightw. Tech.*, no.3, p.833, 2004.

Konzeption, Umsetzung und Qualifizierung der automatisierten Montage elektrooptischer Bauelemente

Feldmann, Klaus; Rösch, Michael; Craiovan, Daniel

Abstract — *Getrieben durch die stetig steigenden Datenübertragungsraten in Informations- und Kommunikationssystemen ist der Übergang von der elektrischen zur optischen Datenübertragung auch auf Leiterplattenebene mittelfristig zu erwarten. Trotz der vielen Vorteile der optischen Signalübertragung im Vergleich zur elektrischen Datenübertragung hat sich diese Technologie auf Boardebene jedoch am Markt noch nicht durchsetzen können. Ein Hauptgrund hierfür ist in der bisherigen Inkompatibilität der elektrischen und optischen Aufbau- und Verbindungstechnik zu sehen. Aus diesem Grund wurde eine modifizierte Prozesskette zur automatisierten Verarbeitung elektrooptischer Bauelemente konzipiert und umgesetzt. Die abschließende Qualifizierung dieser Automatisierungslösung zeigt die Potenziale auf, die durch diese hybride Aufbau- und Verbindungstechnik erschlossen werden können.*

Keywords — *Elektrooptische Aufbau- und Verbindungstechnik, Automatisierung, Montage*

1. EINLEITUNG

DIE optische Signalübertragung gewinnt im Vergleich zur elektrischen Datenübertragung auch auf Baugruppenebene zunehmend an Bedeutung [1]. Gerade die Substitution hochfrequenter elektrischer Kurzstreckenverbindungen auf einer Leiterplatte durch optische Übertragungsstrecken wird als Schlüssel zur weiteren Leistungssteigerung von Informations- und Kommunikationssystemen angesehen [2]. Die zukünftige Entwicklung von der rein elektrischen zur elektrooptischen Baugruppe lässt sich auch anhand der zunehmenden

Das Forschungsprojekt AMOB (Automatisierte Montage elektrooptischer Bauelemente auf Substrate mit integrierten Lichtwellenleitern – Laufzeit: 01.05.2004 – 31.10.2006) wurde von der Bayerischen Forschungstiftung gefördert.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann ist Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Dipl.-Ing. Michael Rösch und Dipl.-Ing. Daniel Craiovan sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl FAPS (roesch@faps.uni-erlangen.de, craiovan@faps.uni-erlangen.de).

Forschungsaktivitäten im Bereich der elektrooptischen Leiterplatte (EOPCB) und möglicher Koppelkonzepte in den vergangenen Jahren aufzeigen. Neben der Verfügbarkeit geeigneter elektrooptischer Komponenten (Leiterplatte, Bauelemente) gilt das Vorhandensein einer wirtschaftlichen Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) als Voraussetzung für eine erfolgreiche Markteinführung. Eine wirtschaftliche AVT ist jedoch nur realisierbar, wenn die beiden bisher inkompatiblen Technologien der elektrischen und optischen AVT sinnvoll miteinander kombiniert werden können und die Gesamtlösung einen hohen Automatisierungsgrad und hohe Fertigungsstückzahlen aufweist. Dieser Artikel beschreibt die Konzeption und Umsetzung einer automatisierten Fertigungslösung zur Herstellung elektrooptischer Baugruppen und schließt mit einer Qualifizierung des Systems.

2. ELEKTROOPTISCHE AUFBAU- UND VERBINDUNGSTECHNIK (EOAVT)

Während die Standardprozesse der elektrischen AVT (Pastenauftrag, Bestücken, Löten) mit einem hohen Automatisierungsgrad bereits im Markt verfügbar sind, wird die optische AVT auf Leiterplattenebene größtenteils noch manuell durchgeführt. Der Grund hierfür liegt in den gestiegenen Anforderungen, welche die optische AVT mit sich bringt. Diese werden im Folgenden ebenso erläutert wie die eingesetzten elektrooptischen Komponenten. Das Ziel bei der Entwicklung einer hybriden EOAVT liegt in der Modifikation und Erweiterung bestehender Prozesse und Systeme, um neben der elektrischen auch die optische AVT in einem größtmöglichen Maß zu automatisieren.

2.6 Elektrooptische Komponenten

Die EOPCB als Basis einer elektrooptischen Flachbaugruppe verfügt, neben den verschiedenen Kupferlagen einer herkömmlichen Leiterplatte, über eine integrierte optische Lage. Dieser einlamierte Lichtwellenleiter ist über Koppelstellen von außen optisch zugänglich und ermöglicht das Ein- und Auskoppeln des Lichtsignals über Totalreflexion an den Spiegelflächen, die in einem 45°-Fräsprozess

an das Lichtwellenleiterende angebracht werden [3] [4]. Die Lage der Ein- und Auskoppelstellen in der EOPCB kann über hochpräzise Passmarken identifiziert werden. Der integrierte Lichtwellenleiter auf Polymerbasis weist eine minimale Signaldämpfung bei einer Lichtwellenlänge von 850 nm auf und hat Abmessungen von 70 x 70 µm. Diese Aufbautechnologie ermöglicht es, eine optische Datenübertragungsstrecke mit oberflächenmontierbaren Sender- und Empfängerbauelementen aufzubauen [5]. Der prinzipielle Aufbau einer elektrooptischen Datenübertragung auf Leiterplattenebene wird in Abbildung 1 dargestellt.

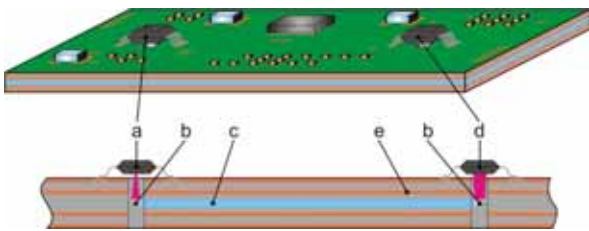


Abbildung 1: Prinzip der elektrooptischen Datenübertragung auf Leiterplattenebene mit Sender (a), optischen Koppelstellen (b), optische Lage (c), Empfänger (d) und elektrischen Lagen (e)

Oberflächenmontierbare elektrooptische Sender- und Empfängerbauelemente stellen ein wesentliches Merkmal der dargestellten Übertragungsstrecke dar. Die realisierten Bauelemente entsprechen der Outline Version SOT552-1 (TSSOP10) und besitzen auf der Unterseite ein optisches Fenster mit integrierter Kugellinse. Durch die zur Leiterplatte gerichtete Gehäuseöffnung kann Licht aus dem Bauelement ausgekoppelt (Sender) bzw. in das Bauelement eingekoppelt werden (Empfänger). In Abbildung 2 wird der Aufbau der Sender- und Empfängerbauelemente dargestellt.

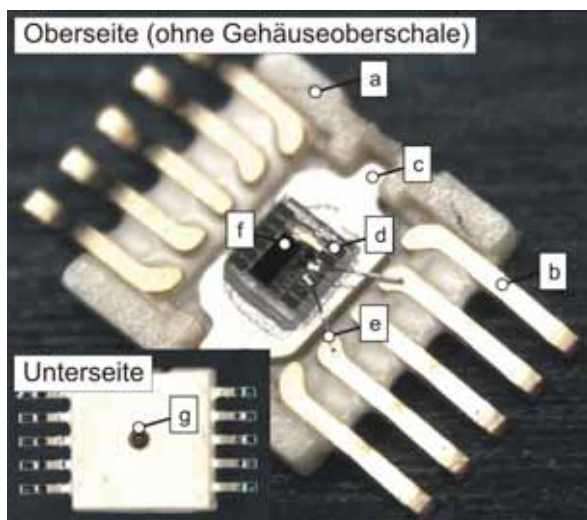


Abbildung 2: Aufbau der elektrooptischen Bauelemente mit Gehäuseunterschale (a), Leadframe (b), Trägerblech (c), Glassubmount (d), Bondverbindung (e), VCSEL/Fotodiode (f) und optischem Fenster (g)

Sender und Empfänger sind für eine Wellenlänge von 850 nm ausgelegt. Die funktionalen Halbleiter (VCSEL, Fotodiode) sind in Flip-Chip-Technik mit einer Montagegenauigkeit von $\pm 50 \mu\text{m}$ in das Package integriert.

2.7 Anforderungen an die EOAVT

Im Vergleich zur elektrischen AVT existieren bei der optischen AVT im Wesentlichen drei Herausforderungen, die bei der Konzeption einer automatisierten Fertigungslösung berücksichtigt werden müssen: höhere Positioniergenauigkeit bei der Bestückung der Senderbauelemente, Fixierung der optischen Kopplung und Schutz des optischen Strahlengangs. Die notwendige Positioniergenauigkeit bei der Bestückung elektrooptischer Bauelemente wird nicht mehr primär durch die elektrische Kontaktierung (Ausrichtung von Bauelementbeinchen zu elektrischem Layout auf der Leiterplattenoberseite) bestimmt, sondern vielmehr durch die optische Kopplung zwischen Bauelement und Lichtwellenleiter vorgegeben [6]. Die Kopplungsdämpfung hängt maßgeblich von der Positioniergenauigkeit der elektrooptischen Bauelemente zur Leiterplatte ab. Abbildung 3 stellt die Kopplungsdämpfung von Sender (links) und Empfänger (rechts) bezogen auf die maximal einkoppelbare Leistung in Abhängigkeit der Position dar.

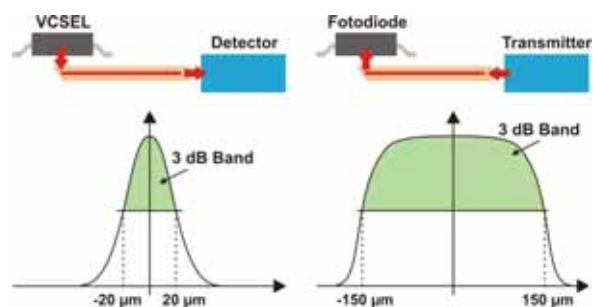


Abbildung 3: Analyse der Kopplungsdämpfung für Sender und Empfänger

Mit einer zulässigen Dämpfung von 3 dB pro Koppelstelle kann als Richtwert für die Bestückung eine Positioniergenauigkeit von $\pm 20 \mu\text{m}$ für Sender und $\pm 150 \mu\text{m}$ für Empfänger ermittelt werden. Während für Empfängerbauelemente die zu erzielende Positioniergenauigkeit als unkritisch zu bewerten ist, können die Anforderungen an eine Senderbestückung im herkömmlichen SMT-Bestückprozess nicht eingehalten werden. Der Grund hierfür liegt vor allem in der Montagetoleranz des VCSEL in Relation zum Gehäuse, welche mit $\pm 50 \mu\text{m}$ spezifiziert ist. Die Kenntnis der Laserlage des Senderbauelements ist somit für eine hinreichend genaue Positionierung unabdingbar. Eine weitere Herausforderung der optischen AVT liegt in der Fixierung der optischen Kopplung zwischen Sender und EOPCB beziehungsweise Empfänger und EOPCB. Unter dem in der

Elektronikproduktion bekannten Selbstzentriereffekt versteht man das Ausrichten der Anschlussflächen von Bauelement zu Leiterplatte beim Aufschmelzen des Lotes im Reflowprozess. Dieser Effekt ist in der elektrischen AVT wünschenswert, führt jedoch in der optischen AVT zu einer Dejustage der optischen Kopplung. Die Fixierung der optischen Kopplung hat somit zur Aufgabe, die Selbstzentrierung im Reflowprozess zu verhindern. Der Schutz des optischen Strahlengangs vor Umgebungseinflüssen stellt eine dritte wesentliche Herausforderung der optischen AVT dar. Die Zugänglichkeit der optischen Fenster in Bauelement und Leiterplatte macht es erforderlich, dass die Übertragungsstrecke von der Umgebung gekapselt wird. Auf diese Weise soll das Eindringen feinsten Partikel, welche die Datenübertragung stören können, in den Strahlengang verhindert werden.

3. VERGLEICH ALTERNATIVER BESTÜCKUNGSKONZEPTE

Die Bestückung elektronischer, oberflächenmontierbarer Bauelemente kann prinzipiell in folgende drei Teilschritte gegliedert werden: Bauelementaufnahme, optische Zentrierung und Bauelementbestückung. Wie bereits erwähnt, ist für eine hinreichend genaue Bestückung elektrooptischer Senderbauelemente die Kenntnis der Laserlage unabdingbar. Im Allgemeinen lassen sich drei alternative Bestückungskonzepte für elektrooptische Senderbauelemente unterscheiden [7]. Diese werden in Abbildung 4 dargestellt. Es handelt sich um die passive (a), teilaktive (b) und aktive (c) Justage.

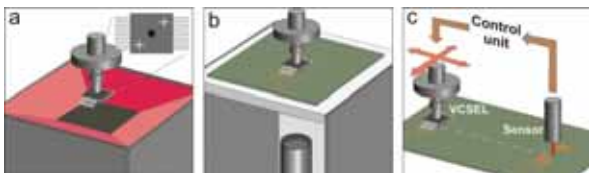


Abbildung 4: Alternative Bestückungskonzepte: Passive (a), teilaktive (b) und aktive (c) Justage

Die passive Justage kommt der Standardbestückung am nächsten. Für dieses Bestückungskonzept sind sowohl Senderbauelement als auch EOPCB mit hochpräzisen Passmarken ausgestattet. So können die Laserlage des Bauelements als auch die Lage des Lichtwellenleiterspiegels in der Leiterplatte identifiziert werden. Zusätzliche Modifikationen am Bestückungsautomaten sind nicht notwendig. Bei der teilaktiven Justage wird die Lage des Laserstrahls nicht über hochpräzise Marken, sondern über einen speziellen Feinmessplatz ermittelt. Dazu wird das Bauelement an dieser zusätzlichen Hardwarekomponente kontaktiert, in Betrieb genommen und hinsichtlich des Laserschwerpunkts charakterisiert. Basierend auf den ermittelten

Ergebnissen wird die optimale Bestückposition bestimmt. Bei der aktiven Justage wird das am Bestückkopf befindliche Senderbauelement über der Bestückposition in Betrieb genommen. Die übertragene Lichtleistung wird über einen Sensor an der Auskoppelstelle erfasst. Die Bestückung des Senders erfolgt am Ort der maximalen Lichtübertragung. Auf Grund ihrer Komplexität und Inkompatibilität zur Standardbestückung findet die aktive Justage keine weitere Berücksichtigung, da sie zu keiner wirtschaftlichen Fertigungslösung führen kann. Die passive Justage, welche einem Standardprozess am nächsten kommt, scheidet im Rahmen des Forschungsprojekts AMOB aus, da die zur Verfügung stehenden Bauelemente nicht über hochpräzise Passmarken verfügen.

4. KONZEPT DER ELEKTROOPTISCHEN AUFBAU- UND VERBINDUNGSTECHNIK

Die neuartigen Herausforderungen in der optischen AVT erfordern eine Anpassung der Standardprozesse der elektrischen AVT. Dies trifft vor allem auf den Standardbestückprozess zu. Neben der höheren Bestückgenauigkeit bei der Verarbeitung von Senderbauelementen stellen vor allem die Sicherstellung der Bestückposition sowie der Schutz des optischen Strahlengangs wesentliche Merkmale der optischen AVT dar [8]. Die wesentlichen Prozessschritte der modifizierten Prozesskette, wie sie im Forschungsprojekt AMOB konzipiert und umgesetzt wurde, zeigt Abbildung 5. Diese werden im Folgenden genauer erläutert.

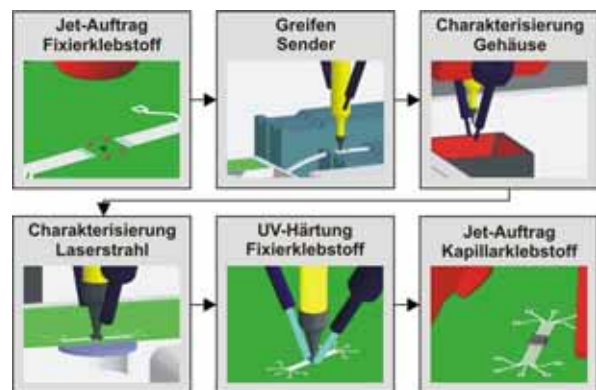


Abbildung 5: Modifizierte Prozesskette zur Bestückung elektrooptischer Senderbauelemente

In einem ersten Schritt werden über ein kontaktloses Jetverfahren vier Depots eines thixotropierten Klebstoffs auf der Leiterplatte aufgebracht. Die Position der Klebstoffpunkte ist derart gewählt, dass beim späteren Bestücken des Senders die Klebstoffdepots das Sendergehäuse in den Ecken benetzen. Die eingesetzte Klebstoffmodifikation beinhaltet sowohl thermische als auch ultraviolette Aktivatoren. Im Anschluss wird die Lage der lokalen Passmarken vermessen, wodurch die Position des Lichtwellenleiterspiegels im Maschinenkoordinatensystem ermittelt wird. Nach dem Greifen des Senderbauelementes durch

den Bestückkopf erfolgt die Charakterisierung des Sendergehäuses über der Bauelementkamera des Bestückautomaten. Die Laserlage des Senders wird anschließend über dem eigens entwickelten Feinmessplatz bestimmt. Hierfür wird das Senderbauelement am Feinmessplatz kurzzeitig in Betrieb genommen. Die optimale Bestückposition wird nun vom Bestückautomaten aus Spiegelposition und Laserlage errechnet. An der optimalen Bestückposition wird anschließend das Senderbauelement kraftgeregelt abgesenkt. Die vier vorhandenen Klebstoffpunkte, welche die Gehäuseecken des Senders beim Absetzen benetzt haben, werden anschließend durch einen UV-Impuls angehärtet. Erst nach Anhärtens des Klebstoffs wird das Bauelement von der Bestückpipette gelöst. Abschließend wird in einem ebenfalls kontaktlosen Verfahren ein Kapillarklebstoff an die Kante des bestückten Bauelements appliziert.

5. UMSETZUNG UND QUALIFIZIERUNG

Das im vorherigen Kapitel beschriebene Konzept der elektrooptischen Aufbau- und Verbindungstechnik wurde auf einem Standardbestückautomaten Siplace HF umgesetzt. Der Bestückautomat verfügt über zwei Arbeitsbereiche, sodass Klebstoffapplikation und Bestückung örtlich getrennt voneinander realisiert werden können [9]. Zusätzlich zu den beiden Jet-Systemen wurden eine UV-Einheit sowie der Feinmessplatz zur Laserstrahlcharakterisierung in den Bestückautomaten integriert. Des Weiteren verfügt die Maschine über einen luftgelagerten und hochpräzisen Bestückkopf.

Dem Feinmessplatz zur Laserstrahlcharakterisierung kommt in der modifizierten Prozesskette wesentliche Bedeutung zu. Der realisierte Aufbau wird in Abbildung 6 dargestellt.

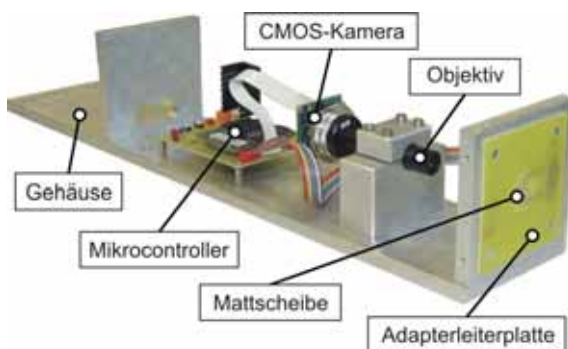


Abbildung 6: Aufbau des Feinmessplatzes

In Kombination mit dem eingesetzten Objektiv (6-fache Vergrößerung) kann mit Hilfe der verwendeten CMOS-Kamera (8 bit, s/w, Pixelgröße $6 \times 6 \mu\text{m}$) eine Auflösung von $1 \times 1 \mu\text{m}$ in der Betrachtungsebene erzielt werden. Diese wird durch eine Mattscheibe definiert, die in die Adapterleiterplatte eingelassen ist. Die realisierte

Abbildungsebene entspricht der Ebene des Lichtwellenleiters in der EOPCB. Über die Adapterleiterplatte kann das Senderbauelement in Betrieb genommen werden. Der integrierte Mikrocontroller übernimmt neben der Ansteuerung der Kamera und des Senderbauelementes auch die Auswertung des Projektionsbildes sowie die Kommunikation mit der Maschinensteuerung.

Die Qualifizierung der teilaktiven Justage erfolgte durch einen Vergleich der teilaktiven Justage mit dem passiven Bestückungskonzept. Diese Ergebnisse wurden in Relation zur maximal einkoppelbaren optischen Leistung gesetzt, welche durch eine manuelle Justage ermittelt wurde. In Abbildung 7 werden die Ergebnisse von fünf Einzelmessungen dargestellt.

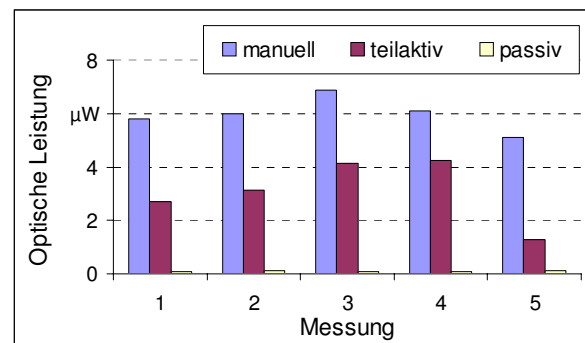


Abbildung 7: Qualifizierung der teilaktiven Justage anhand von fünf Einzelmessungen

Eine maximale Dämpfung von 3 dB, hervorgerufen durch die Positionierung, kann durch die passive Justage nicht gewährleistet werden. Mit Ausnahme der Einzelmessung 5 liegt die Dämpfung bei der teilaktiven Justage bei maximal 3 dB. Die mit Hilfe des Feinmessplatzes realisierte teilaktive Justage bietet somit die Möglichkeit einer automatisierten Bestückung elektrooptischer Senderbauelemente.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Zunehmende Datenübertragungsraten in elektronischen Geräten führen zu einem Engpass der internen Kommunikation auf Boardebene. Weitere Leistungssteigerungen werden nur durch die Substitution der elektrischen durch die optische Datenübertragung auf Leiterplattenebene möglich sein. Elektrooptische Sender und Empfänger sowie elektrooptische Leiterplatten sind zwar verfügbar, bedürfen aber weiterer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Die beschriebenen Modifikationen an einem Standardbestückautomaten zeigen auf, dass die bisher inkompatiblen Technologien der elektrischen und optischen AVT sowohl technologisch als auch wirtschaftlich sinnvoll miteinander kombiniert werden können. Diese Automatisierungslösung bietet die Möglichkeit, sowohl elektrische als auch elektrooptische Baugruppen in einer Maschine zu

bestücken. Auf diese Weise wird es möglich, eine wirtschaftliche Fertigung elektrooptischer Baugruppen in hohen Stückzahlen zu realisieren.

REFERENCES

- [1] Schröder, H., Kropp, J., Schrage, J., Bierhoff, T., Park, H., Franke, M., Offrein, B., „Elektro-Optische Baugruppenträger – Roadmaps, Koppelkonzepte und Stand der Technik“, Proceedings of SMT/HYBRID/PACKAGING 2005, Tutorial 20, 2005, pp. 2–15
- [2] Scheel, W., „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik in der elektronischen Baugruppenfertigung“, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin/Uckermark 2002
- [3] Schröder, H., Bauer, J., Ebling, F., Franke, M., Beier, A., Demmer, P., Süllau, W., Kostelnik, J., Mödinger, R., Pfeiffer, K., Ostrzinski, U., Griese, E., „Temperaturstabile Wellenleiter und optische Kopplung für elektro-optische Leiterplatten“, GMM-Fachbericht 50 „Elektronische Baugruppen“, VDE Verlag, DVS-Verlag, Berlin, Offenbach, 2006, pp. 83–97
- [4] Neyer, A., Demmer, P., „Herstellung der polymer-optischen Lage“, Industrielle Produktionstechnik für Baugruppen mit integrierten optischen Kurzstreckenverbindungen, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, 2005
- [5] Rho, B.S., Kang, S., Cho, H.S., Park, H.-H., Ha, S.-W., Rhee, B.-H., „PCB-compatible Optical Interconnection Using 45°-Ended Connection Rods and Via-Holed Waveguides“, Journal of Lightwave Technology, 2004, pp. 2128–2134
- [6] Luo, F., Cao, M., Zhou, X., Xu, J., Luo, Z., Yuan, J., „Optical interconnection technology on electro/optical PCB (EOPCB)“, Optoelectronic Devices and Integration, Proceedings of the SPIE, 2005, pp. 821–828
- [7] Feldmann, K., Zolleiß, B., „Automatisierte Montagekonzepte für elektrooptische Komponenten“, Workshop Forschungsprojekt AMOB, FAPS, 2005
- [8] Feldmann, K., Craiovan, D., „Konzept der elektrooptischen Aufbau- und Verbindungstechnik“, Abschlusspräsentation Forschungsprojekt AMOB, FAPS, 2006
- [9] Feldmann, K., Rösch, M., Craiovan, D., „Systemlösung für die präzise Bestückung elektrooptischer Bauelemente“, Fachseminar, FAPS-TT, 2005

