



# Optisches Packaging für die Medizintechnik

Dr.-Ing. habil. Markus Detert; Volker Stach M.Sc.;  
Dipl.-Ing. David Wagner M.Sc. und Prof. Dr. rer. nat. Bertram Schmidt

**Abstract** - Diese Arbeit stellt die Herausforderungen der Aufbau- und Verbindungstechnik in der Mikrosystemtechnik im medizinischen Anwendungsbereich dar. Im Fokus steht die Integration von optischen, elektrischen und mechanischen Komponenten innerhalb einer Baugruppe. Gegenwärtig müssen medizinische Geräte einerseits die Aufgaben der Diagnose erfüllen und andererseits eine therapeutische Wirkung erzielen. Die Innovation liegt in neuen theranostischen Geräten, die in einer Funktionseinheit sowohl Diagnose- als auch Therapieanforderungen gewährleisten. Beispielweise unterstützen optische Komponenten in einer Baugruppe die frühzeitige Detektion der Veränderungen von Gewebe innerhalb von Hohlorganen und können mittels Laserablation diese Veränderung entfernen. Dabei muss der permanente Austausch von Daten und elektrischer Energie garantiert werden. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen an das optische Packaging in der Mikrosystemtechnik.

**Index Terms** - Packaging, medizinische Mikrosysteme, optische Komponenten, Theranostik, intelligente Katheter, MRT-Marker

## 1. EINFÜHRUNG

Die Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik im Bereich der medizinischen Mikrosysteme definieren sich über die Minimierung von Strukturbreiten und den steigenden Grad an Funktionalisierung. Treiber dieser Entwicklung sind die minimalinvasiven Methoden für Interventionen. Medizinische Systeme, die neben den Aufgaben der Diagnostik auch die Therapie beinhalten, werden heute unter dem Begriff „Theranostik“ zusammengefasst. Optische Komponenten übernehmen dabei zur Übertragung von Daten und Energie eine Schlüsselrolle. Ebenso können durch die Verwendung verschiedener Wellenlängen gezielte therapeutische Effekte sowie die Früherkennungsstrategien zur Differenzierung von Gewebeveränderungen vorangetrieben werden.



Abb. 1: Primäre Einflussfaktoren der Aufbau- und Verbindungstechnik im Bereich der medizinischen Mikrosysteme.

Die Aufbau- und Verbindungstechnik leistet in diesem Bereich einen entscheidenden Beitrag. Im Bereich der Medizintechnik und der Realisierung medizinischer Mikrosysteme bestimmen die vier primären Faktoren: Biokompatibilität, Formfaktor, Kosten und Zuverlässigkeit die Wahl der eingesetzten Verbindungstechnologien (Abb. 1).

## 2. STAND DER TECHNIK

### 2.1 Diagnose

Für die objektive Diagnose von Krankheitsbildern stehen in der Medizintechnik unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Optische Komponenten für die Beleuchtung innerhalb des menschlichen Körpers bestehen aus LEDs, OLEDs, optischen Fasern und optoelektronischen Sensoren sowie Weißlicht- oder Infrarotbildgebungskomponenten. Die Detektion des reflektierten, gebrochenen und gestreuten Lichts erfolgt mit Hilfe von verschiedenen miniaturisierten Kamera- und Detektionsmodulen. Bildgebende Verfahren ohne separate Lichtquelle sind beispielsweise die Sonographie, Magnetresonanztomographie, die Computertomographie und die optische Tomografie.

### 2.2 Therapie

Wird im Rahmen einer gezielten Diagnose entartetes Gewebe detektiert, können durch geeignete Methoden wie der Lasertechnik, mit höchster Präzision Tumore verödet oder schneidend entfernt werden. Dabei wird das Laserlicht über optische Fasern innerhalb eines Katheters zum Zielpunkt übertragen. Des Weiteren können durch die Verwendung von Lichtquellen auf Basis der LED- oder OLED-Technik ebenso Wundheilungs-, Metabolisierungs- oder optogenetische Prozesse zielgerichtet unterstützt werden.

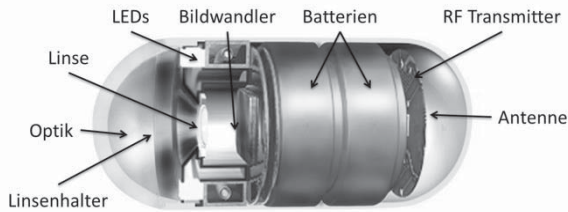


Abb. 2: Miniaturisiertes medizinisches Mikrosystem am Beispiel der Pillcam, Bildquelle: Optiprint.

Ein neuer Ansatz gegenüber der konventionellen Gastroskopie mittels Glasfaseroptik bietet ein miniaturisiertes Mikrosystem in Form einer autarken Pillenkamera (Abb. 2). Für die Untersuchung wird diese geschluckt und generiert bei der Durchfahrt des Magen- und Darmtrakts entsprechende Bildsequenzen. Mit Hilfe eines Empfangs- und Speichergerätes werden diese aufgezeichnet und können anschließend für weitere Diagnosezwecke ausgewertet werden.

### 3. ANWENDUNGSFELDER

Medizinische Mikrosysteme enthalten je nach Anwendungsgebiet eine Vielzahl von Komponenten und Schnittstellen. Abb. 3 gibt einen Überblick über die charakteristischen Komponenten und Schnittstellen medizinischer Mikrosysteme. Ein Anwendungsgebiet von medizinisch relevanten Mikrosystemen stellen Marker an Katheterspitzen dar. Dieser Marker ermöglicht die Verfolgung und Ortung des Katheters innerhalb des menschlichen Körpers im Rahmen einer Intervention.

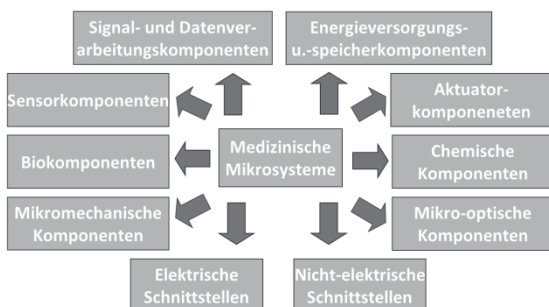


Abb. 3: Komponenten und Schnittstellen von medizinischen Mikrosystemen.

Die Verfolgung von medizinischen Werkzeugen bei der Durchführung von Interventionen in der Magnetresonanztomographie (MRT) ist eine Herausforderung. Aufgrund des oftmals unzureichenden Kontrastes von Werkzeugmaterialien (z.B. Kathetermaterial) zum umliegenden Weichteilgewebe des Untersuchungsgebietes kann das Werkzeug nicht zuverlässig und punktgenau navigiert

werden. Hierfür muss ein geeignetes Trackingverfahren entwickelt werden.

## 4. KONSTRUKTIV-TECHNOLOGISCHE REALISIERUNG

### 4.1 Tracking von Werkzeugen

Das Tracking von medizinischen Werkzeugen innerhalb des menschlichen Körpers während einer Intervention ist eine der vordringlichsten Aufgaben in den medizinischen Untersuchungsmethoden der Magnetresonanztomographie (MRT).

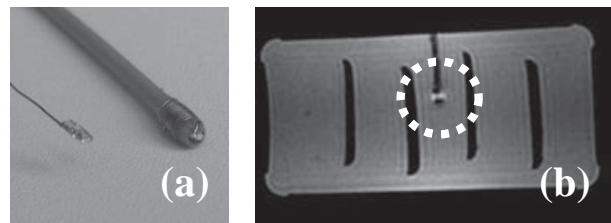


Abb. 4: Katheter(a) mit gewickelter Kupferspule als Marker(b) für minimalinvasive Interventionen.

Einen Lösungsansatz bieten resonante Schwingkreise (LC-Strukturen), die auf dem Werkzeug platziert werden. Die resonanten Strukturen (MR-Marker) sind auf die Larmorfrequenz ( $\omega$ ) des MRT abgestimmt und werden durch das Magnetfeld ( $\mathbf{!}$ ) sowie durch das konstante gyromagnetische Verhältnis ( $\mathbf{!}$ ) bestimmt.

$$\omega = \gamma \cdot B_0 \quad (1)$$

Stimmt die Schwingkreisfrequenz des Werkzeugs (Abb. 4a) mit der Larmorfrequenz des MRT überein wird das Werkzeug in der Bildgebung kontrastreicher dargestellt (Abb. 4b).

Die zur Verfügung stehenden Technologien für die konstruktiv-technologische Realisierung von MR-Markern sind in Abb. 5 aufgezeigt.

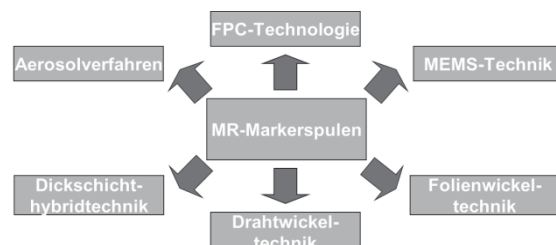


Abb. 5: Technologieauswahl für die Herstellung von MR-Markerspulen.

Die Herstellung eines Schwingkreises kann beispielsweise auf Basis der FPC-Technologien (flexiblen Schaltungsträger) erfolgen. Dabei werden Strukturen in kupferkaschierte Polyimidfolien in Subtraktivtechnologie realisiert, die anschließend noch entsprechend weiter funktionalisiert werden können.

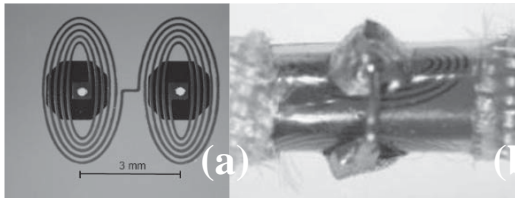


Abb. 6: Sattelspulen in Subtraktivtechnologie (a), Detailansicht (b).

In Abb. 6 sind in Subtraktivtechnologie hergestellte Sattelspulen als Funktionsdemonstrator für die Markerrealisierung gezeigt.

Neben dem Anwendungsgebiet des Trackings von medizinischen Werkzeugen müssen weitere Funktionalitäten implementiert werden. Der Wechsel von Kathetern während der Intervention ist auf Grund des hohen Risikos und der auftretenden Belastung für den Patienten und auch für den behandelnden Arzt nicht zielführend. Das Risiko einer Verletzung innerhalb eines Hohlorgans oder eine fehlerhafte Bedienung durch den Arzt können durch diese Herangehensweise unnötig erhöht werden. Aus diesem Grund müssen die unterschiedlichen aktorischen Werkzeuge, wie Schneid-, Verödungs- und Bearbeitungselemente zusammen mit den anderen Funktionselemente (Sensoren, Energiespeicher, etc.) in einem multifunktionalen Diagnostik- und Therapieinstrument zusammengeführt werden. Durch diese Funktions- und Systemintegration können der zeitliche Umfang der Intervention verringert und die Risiken für den Patienten maßgeblich minimiert werden.

Miniaturisierte Komponenten erfordern innovative Fügewerkzeuge in den Herstellungsprozessen, so dass eine präzise Positionierung und Justierung von mechanischen, elektrischen und optischen Komponenten gewährleistet werden kann. Die verwendeten Fügepartner und -materialien müssen hinsichtlich ihrer biokompatiblen Eigenschaften so ausgelegt werden, dass keine Gefährdung des Patienten innerhalb des Einsatzzeitraums ausgeht. Durch gezielte Auswahl und Kombination geeigneter Materialien können unter dem Blickwinkel von Passivierung und Verkapslung im Bereich Formfaktor Kosten reduziert werden.

Die mechanische und elektrische Ansteuerung des Katheters (Werkzeugs) muss auf Grund der Patientensicherheit zu jedem Zeitpunkt der Intervention vollständig sichergestellt werden.

Im Bereich des optischen Packagings sind die hochgenaue Positionierung und Justierung von optischen Komponenten zueinander von hoher Priorität. Die Einkopplung und Auskopplung der optischen Energie muss jederzeit stabil gewährleistet werden.

#### 4.2 Intelligente Katheter

Die Steigerung von Funktionalität und Integrationsdichte erfordern eine effiziente Implementierung von mechanischen, elektrischen und optischen theranostischen Funktionskomponenten.

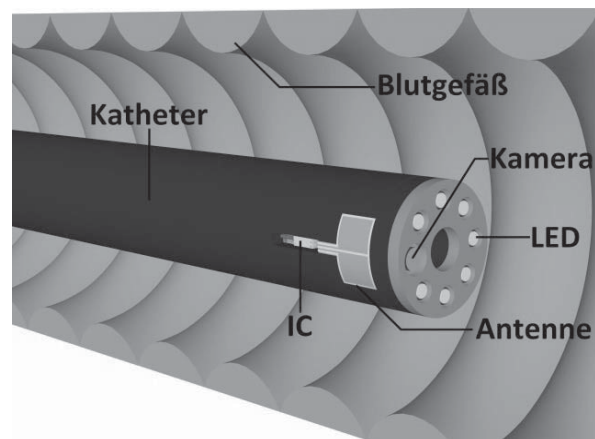


Abb. 7: Konzeption eines intelligenten Katheters mit integrierten optischen Komponenten.

Abb. 7 verdeutlicht eine Auswahl an Realisierungsmöglichkeiten für einen multifunktionalen Katheter. Der Katheter umfasst je nach Anforderungsgebiet elektrische Komponenten wie Markerspulen und Leuchtdioden, mechanische Komponenten wie Greif- und Schneidwerkzeuge sowie optischen Komponenten in Form von Kameras und Faseroptiken.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Kommende Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte werden auf die Miniarisierung von Funktionselementen, die Steigerung der Funktionsdichte und die Senkung des Interventionsrisikos abzielen.

Zukünftig werden optische Komponenten in der Lage sein, eine Energie- und Datenübertragung zu gewähr-

leisten, um Diagnose und Therapie direkt am entsprechenden Gewebereich durchzuführen.

## 6. AUSBLICK

Hochintegrierte mikrotechnologische Komponenten für die medizinische Untersuchung in Form von Diagnostik und anschließender Therapie werden in neuer Form benötigt. Damit entstehen neue Interventionswerkzeuge mit hochspezialisierten theranostischen Funktionskomponenten. Die Anforderungen in der Medizin werden so stetiger Wegbegleiter für die innovativen Entwicklungsprozesse medizinischer Mikrosysteme in den nächsten Jahrzehnten sein.

## 7. Quellen

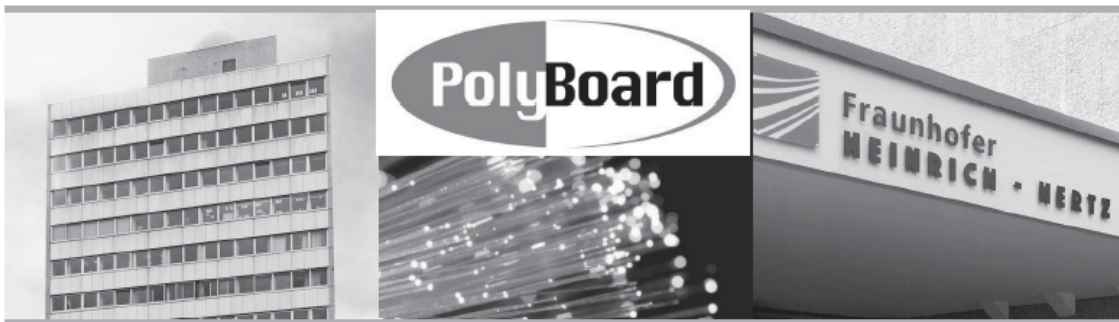
- [1] Markus Detert, Marc-Peter Schmidt, David Wagner, Andreas Brose, Bertram Schmidt: Realisierung eines Funktions- und Technologiedemonstrators für die Ultraschalluntersuchung von Hohlorganen.  
Fachzeitschrift für Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik  
Produktion von Leiterplatten und Systemen: PLUS; Forschung & Technologie, (5):1068--1074, 2013
- [2] Axel Boese, Markus Detert, Mandy Kaiser, Georg Rose und Bertram Schmidt: Intelligente Katheter für bildgeführte minimal-invasive Interventionen.  
Deutsche Zeitschrift für klinische Forschung : DZKF ; das Magazin für medizinische Forschung, Innovation und Praxis, 17(2):37--41, 2013
- [3] Markus Detert: Systemintegration in der Elektronik durch die Nutzung flexibler Verdrahtungsträger.  
Band 16 aus System Integration in Electronic Packaging. Herausgeber: Detert M, Templin, 2013, ISBN: 9783934142459
- [4] Markus Detert, Mandy Kaiser, Axel Boese, Bertram Schmidt und Georg Rose: Intelligente Werkzeuge für minimal-invasive Operationen.  
Produktion von Leiterplatten und Systemen: PLUS; Organ des Fachverbandes Elektronik-Design; Organ des Verbandes der Leiterplattenindustrie, (12), 2012
- [5] Mandy Kaiser, Markus Detert, Bertram Schmidt und Georg Rose:  
TECHNOLOGIEMATRIX - Fertigung von Miniatur- Resonanzmarkern zur Instrumentenvisualisierung unter MR- Bildgebung.  
MedTech Pharma 2012 : 4. - 5.7.2012, Nürnberg, 2012
- [6] Sebastian Höll, Sören Majcherek, Markus Detert, Sören Hirsch und Bertram Schmidt: In-situ measurement device for condition monitoring.  
Micromaterials and nanomaterials : a publication series of the Micro Materials Center Berlin at the Fraunhofer Institute IZM, 13 (2011):160—163, 2011
- [7] Sebastian Höll, Sören Majcherek, Sören Hirsch, Markus Detert und Bertram Schmidt: Toolbox for detection of mechanical and thermo-mechanical stress in electronic components.  
ISSE 2011 : 34th International Spring Seminar on Electronics Technology "New trends in micro/nanotechnology" ; May 11 - 15,

- 2011, High Tatras, Slovakia ; [abstracts proceedings], Seite 16--17, Herausgeber: Techn. Univ, Košice, 2011, ISBN: 978-80-5530646-9
- [8] Markus Detert: Flexible Leiterplatte als integratives Element für den Aufbau hybrider Funktionssystemen.  
Produktion von Leiterplatten und Systemen, (6):1312—1316, 2009
- [9] Markus Detert: Flexible Substrate in der Systemintegration.  
Forschung in Bewegung, :262, 2009
- [10] Markus Detert: Qualitätsmanagement in Dienstleistungs-, Forschungs- und Lehrangeboten. Forschung in Bewegung, :245—246, 2009
- [11] Markus Detert, Michael Zeise und Klaus-Jürgen Wolter: Replacement of vias with polymer thick film pastes (PTF) for use on flexible substrates.  
Circuit world, 35(1):30--33, 2009
- [12] Markus Detert: Via Replace with polymer thick film pastes (PTF) on flexible substrates.  
The IMAPS Nordic Annual Conference 2009, :101—106, 2009
- [13] Mandy Kaiser, Axel Boese, Andreas Brose, Martin Deckert, Georg Rose, Bertram Schmidt, Uta Wonneberger, Frank Fischbach, Jens Ricke und Markus Detert: Technology roadmap for integration of resonant markers in MRI compatible instruments.  
Biomedizinische Technik, 57
- [14] Markus Detert, Stefan Friesecke, Martin Deckert, Georg Rose, Bertram Schmidt und Mandy Kaiser: Using the hot embossing technology for the realization of microtechnical structures in medical imaging.  
Biomedizinische Technik, 57



## Photonik aus Berlin – Ergebnisse aus dem Projekt PolyBoard

Norbert Grote, Projektkoordinator  
Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, Berlin



Fraunhofer Heinrich Hertz Institute, Einsteinufer 37, 10587 Berlin

[www.hhi.fraunhofer.de](http://www.hhi.fraunhofer.de)

## Inhalt



- **Projekt PolyBoard**
- **Integrationskonzept**
- **Integrationsprozesse**
- **Anwendungen/Demonstratoren**



## FuE-Projekt PolyBoard



**PolyBoard: Polymer basierte Technologieplattform für hybrid-integrierte optische Komponenten**

**BMBF-Programm – Innovative regionale Wachstumskerne**

**Modul: Wachstumskerne Potenzial**

**Zielgruppe:** KMUs; regional („50 km Umkreis“); nur NBL +Berlin

**Projektträger:** PT Jülich (PTJ)

**Laufzeit:** 1.12.2011-30.11.2013

**Partner:**

ELBAU GmbH

FOC GmbH

Fraunhofer HHI

Optricon GmbH

SENTECH Instruments GmbH

U2t Photonics AG

LaserZentrum Hannover (UA)

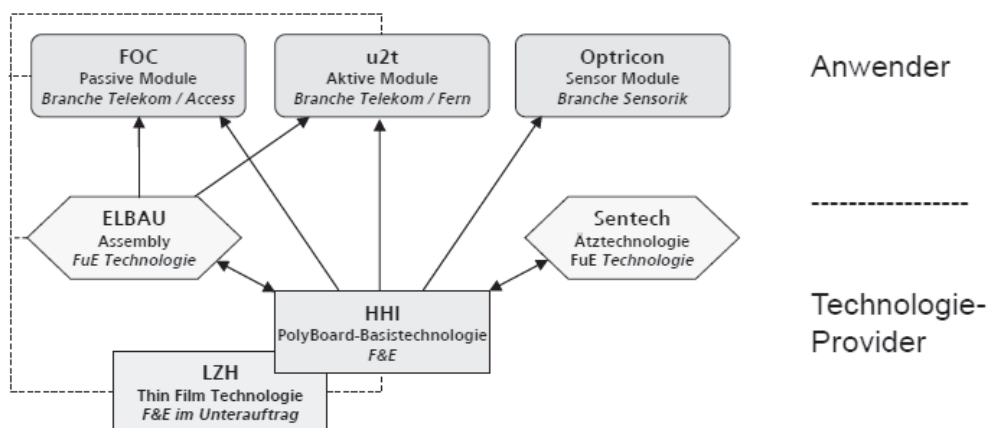


norbert.grote@hhi.fraunhofer.de

ITG 5.2.1 Workshop,  
Dresden, 11. Juli 2013

3

## Projektstruktur



norbert.grote@hhi.fraunhofer.de

ITG 5.2.1 Workshop,  
Dresden, 11. Juli 2013

4



## HHI's Polymer Integrationsplattform

**Thin Film Elements**

spectral filtering, PBS, etc.

**PD/PD array coupling**

via integrated 45° mirror

**U grooves**

passive fiber/chip coupling

**PolyBoard**

Si substrate  
 commercial polymers\* (used in qualified devices)  
 waveguide loss ~ 0.6 dB/cm @1550nm  
 Index contrast  $\Delta n = 0.005 - 0.03$   
 spin-on deposition/RIE

**LD/LD array coupling**

butt joint, incl. taper

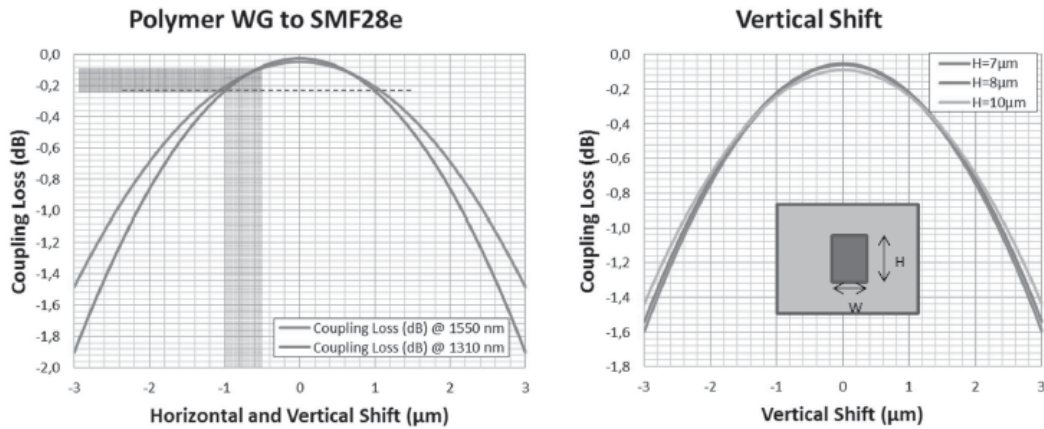
\* ChemOptics

## Passive Faser-Kopplung (SMF)

**Faser/Wellenleiter- Justierung**  
 horizontal: selbst-justiert durch Litho-Maske  
 vertikal: Genauigkeit des Ätzprozesses



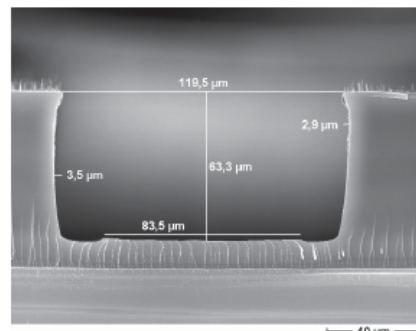
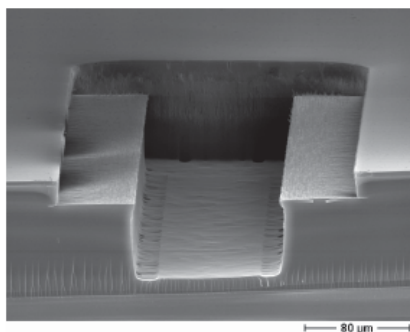
## Simulation Faser-Wellenleiter-Kopplung



Loss: < 0.10dB ( $\pm 0.5\mu\text{m}$  shift)

Loss: < 0.25dB ( $\pm 1.0\mu\text{m}$  shift)

## U-Grubenätzprozess



- previously used etch process (HHI):  $\text{O}_2$ -RIE  $\rightarrow$  etch rate  $\sim 250$  nm/min with process interruptions
- PolyBoard: develop etch process to provide substantially higher etch rate
- etch rate 850 nm/min with SI 500 ICP = 75 min for U-groove (10x faster than with current RIE)
- smooth etch bottom, nearly vertical walls
- Back-side cooling: sealed and cooled glass wafer as carrier
- in-situ etch depth control with laser interferometer

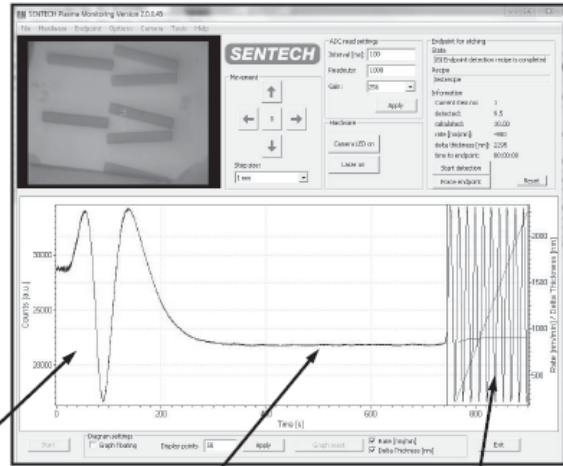
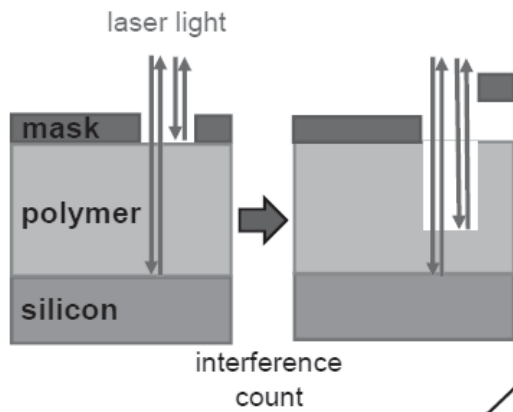
SENTECH



# In-situ Ätztiefenkontrolle



## Laser interferometry



tempering

polymer reached thermal equilibrium

etching



norbert.grote@hhi.fraunhofer.de

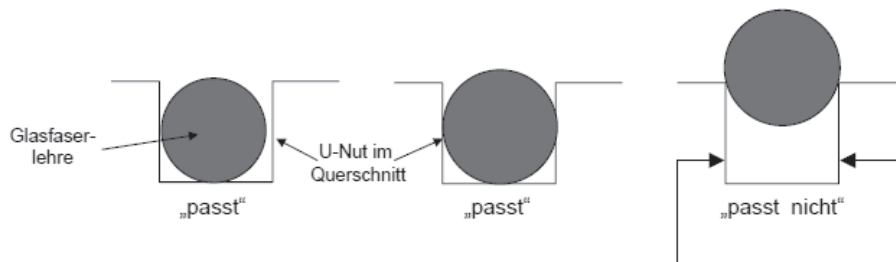
ITG 5.2.1 Workshop, Dresden  
11. Juli 2013

9

# Charakterisierung U-Nutenbreite

Photonic Components

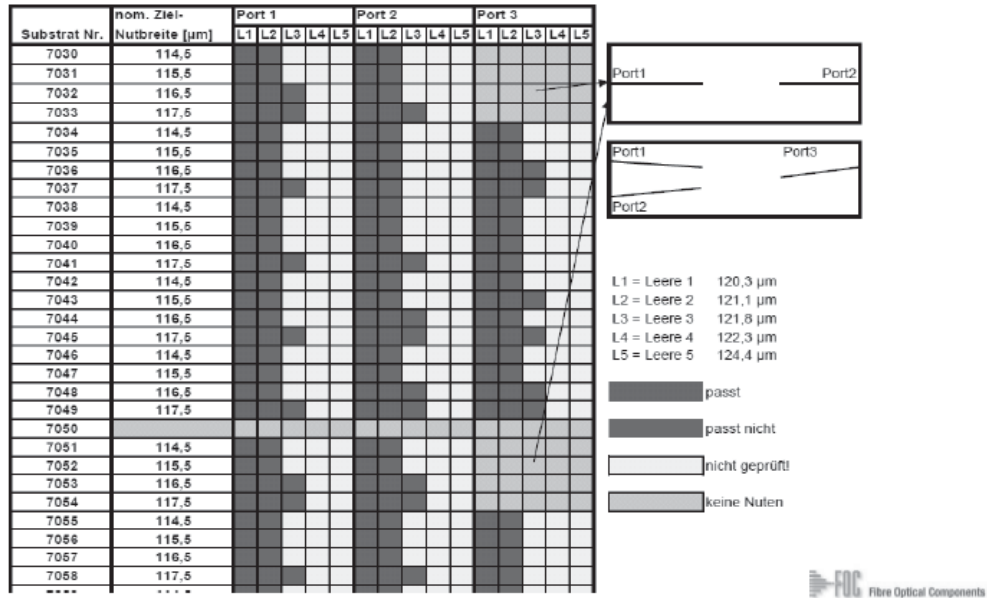
## Charakterisierung der U-Nut-Breite anhand von Glasfaser-Lehren



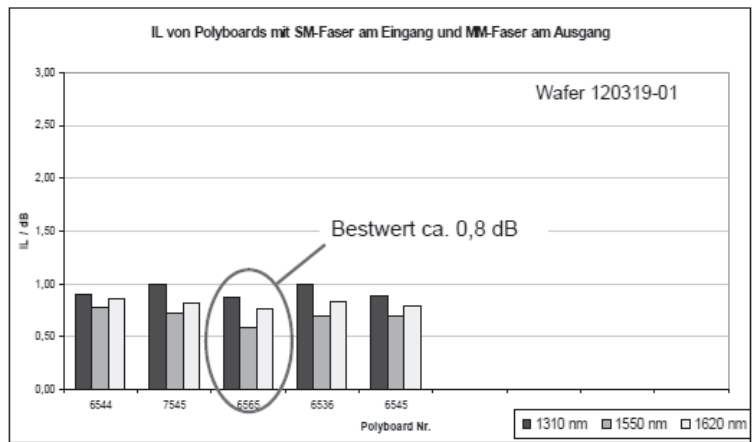
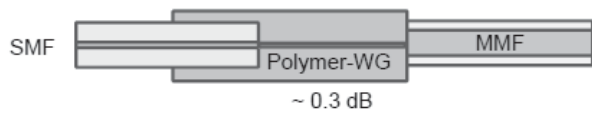
Verfügbare Lehrensatz:			
●	L1 = Lehre 1	120,3 $\mu\text{m}$	L2 - L1 = 0,8 $\mu\text{m}$
●	L2 = Lehre 2	121,1 $\mu\text{m}$	L3 - L2 = 0,7 $\mu\text{m}$
●	L3 = Lehre 3	121,8 $\mu\text{m}$	L4 - L3 = 0,5 $\mu\text{m}$
●	L4 = Lehre 4	122,3 $\mu\text{m}$	L5 - L4 = 1,7 $\mu\text{m}$
●	L5 = Lehre 5	124,4 $\mu\text{m}$	

Zielbreite:  $120,5 \pm 1,0 \mu\text{m}$

## Charakterisierung der „Passgenauigkeit „ Photonic Components



## Auswertung Einfügeverluste





## Integrated Thin Film Elements



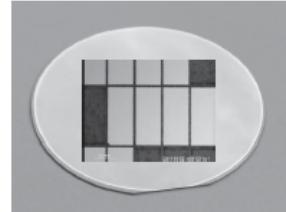
### Implementation of passive optical functions by integrated thin film elements

- wavelength filters (CWDM, band pass, ...)
- TE/TM polarisation rotator
- TE/TM splitter (PBS)
- (partial) reflectors
- ??

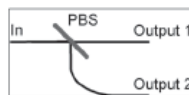
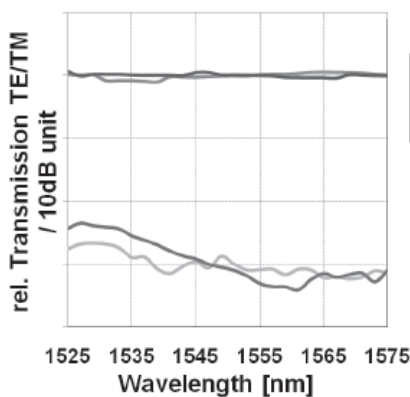
### Features

- compact ( $\sim 200 \times 300 \mu\text{m}^2$ , total thickness:  $\sim 15 - 25 \mu\text{m}$  !)
- high optical performance
- temperature independent

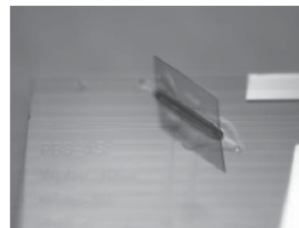
developed in collaboration with



## Beispiel: Polarisationsstrahlteiler



— OUT #1 TE  
— OUT #2 TM  
— OUT #1 TM  
— OUT #2 TE



Input Polarisation	Output 1 rel. loss	Output 2 rel. loss
TE	0 dB	>23 dB
TM	>26 dB	0 dB

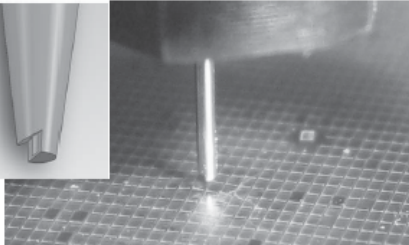
**PER > 20 dB over entire C-band**  
**Insertion loss:  $\sim 2-3$  dB**



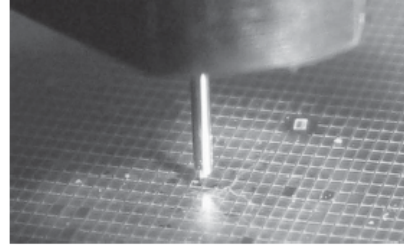
## Automatisierte TFE-Bestückung



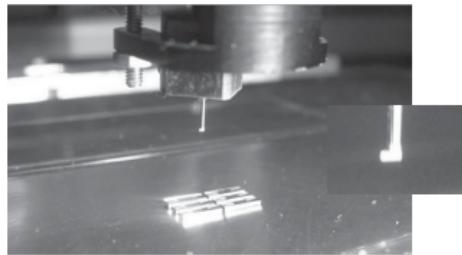
Konventioneller P&P-Prozess mit Spezialtool (Datacon PPS/APM/EVO)



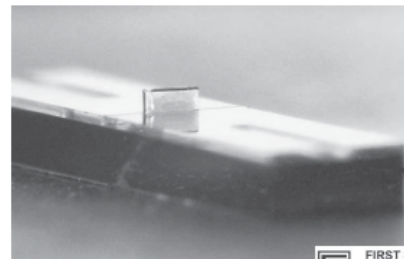
Aufnahme von „blue tape“: Ausstechnadel kippt TFE



P&P-Tool saugt TFE an



TFE am Tool



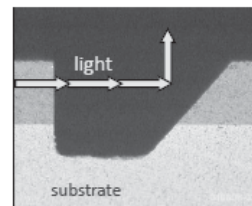
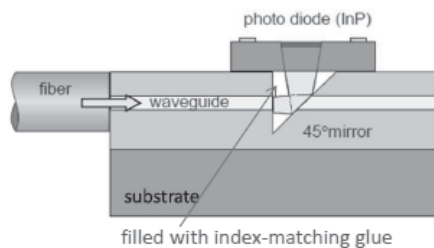
Eindrücken in TFE-Nut



## Oberflächen-montierte Photodioden

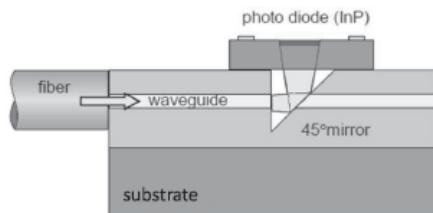


Waveguide-to-photodiode coupling via 45° turning mirror

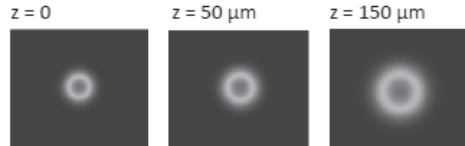


- Back-side illumination
- PD glued onto PLC
- Mirror formed by dicing saw using customized blade; Au-metallized
- Wire bonding from top side of PD
- Passive pick & place alignment process for  $\leq 10$  Gb/s PD (diam.  $> 30\text{-}35\ \mu\text{m}$ )

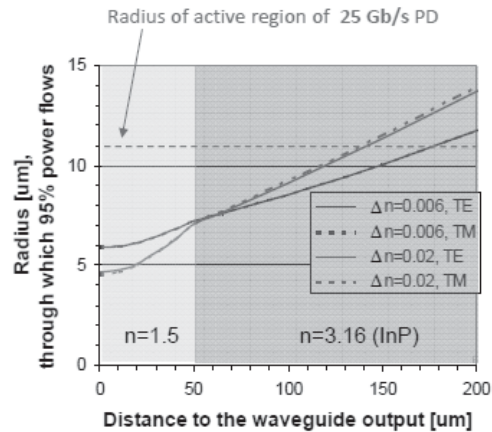
## Montage von 25 Gb/s-PD



Beam at different distances from waveguide\*:



\*) waveguide dimension 6x6  $\mu\text{m}$ ,  $\Delta n=0.006$

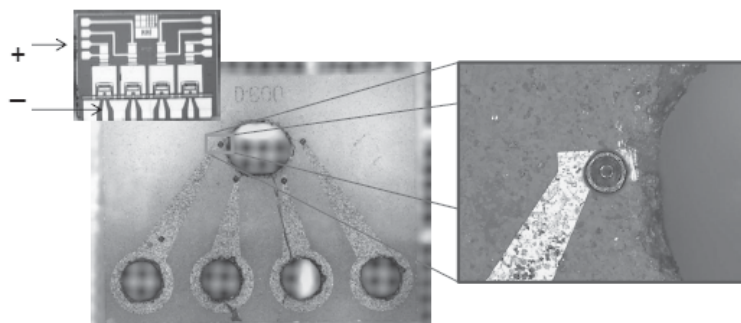


25 Gb/s PD: active pin PD area  $\approx 22\mu\text{m}$  diam.  
 → similar to beam size → active alignment

## Aktive PD-Montage



- P & P kombiniert mit Spannungsquelle
- Keramik-Kontaktplatte angepasst auf PD-Array
- elektrische Spannung nur an beiden äußeren PDs
- Beleuchtung durch Polymer-Wellenleiter (in Entwicklung bei ELBAU)

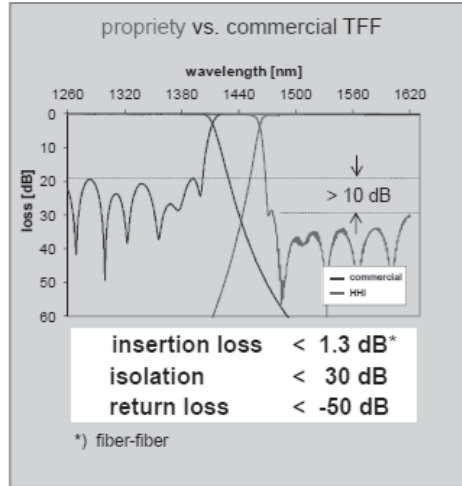
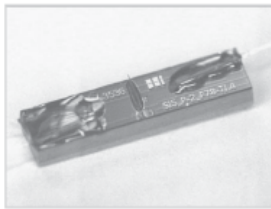
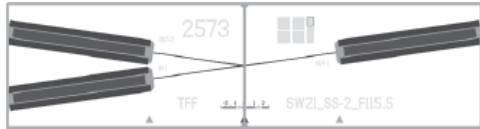


Keramiksubmount als Bestücktool für 2-Kanal PDs mit Kontaktbumps, Ansauglöchern und Vias

Au-Kontaktbump (200x) zur PD-Kontaktierung

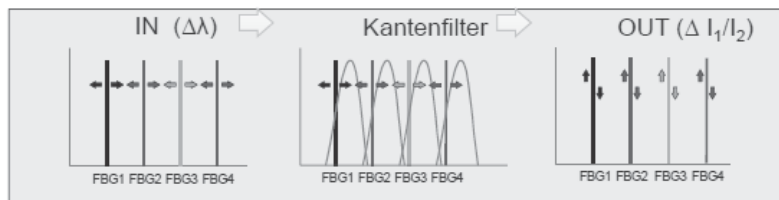


## Optischer (De)multiplexer 1.3/1.55 $\mu$ m

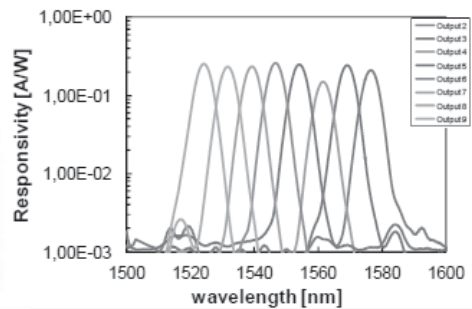
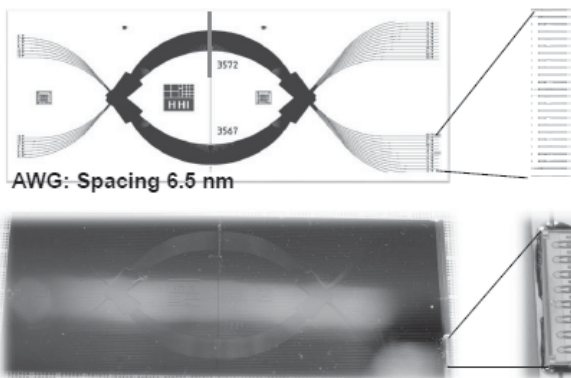


kompakt, modular, Filtercharakteristik temperaturunempfindlich,  
aber größte Herausforderung: Faser-Faser-Verlust <1dB !

## FBG-Auslese-Chip

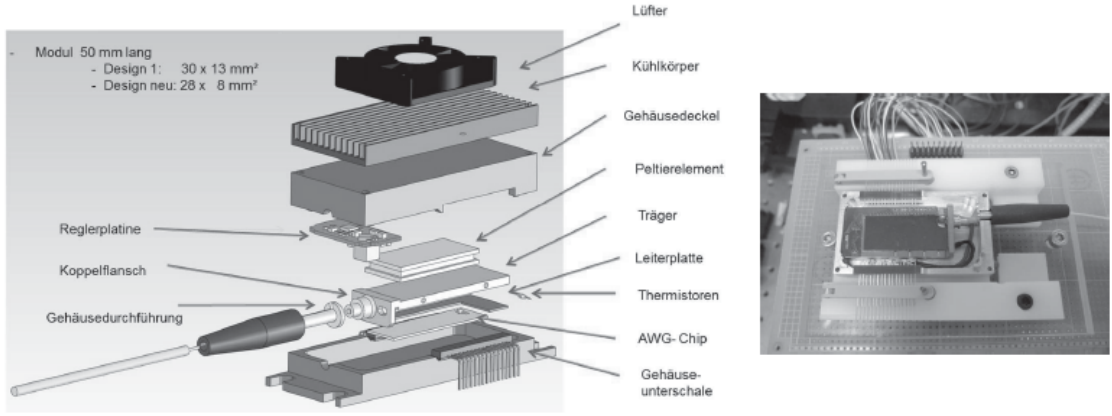


$\lambda/2$ -plate





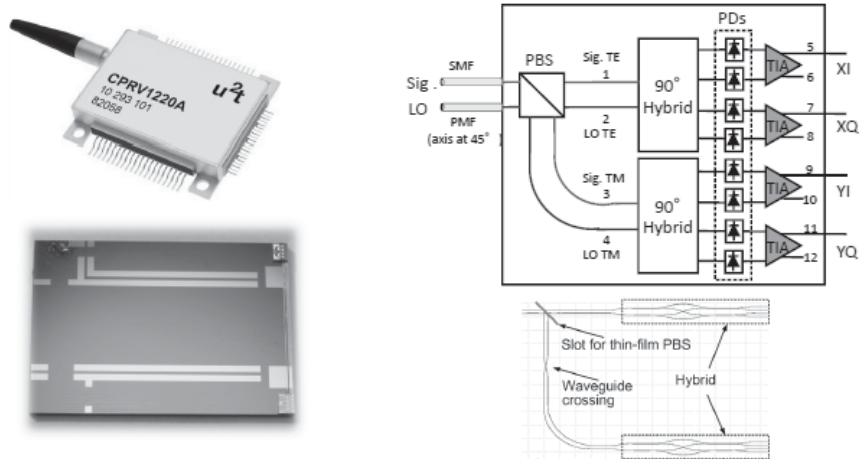
# Aufbau FBG-Modul **PolyBoard**



Temperaturstabilisierung des AWG-Chips: 0.1 K !



# Vollintegrierter 100 Gb/s DP-QPSK-Empfänger **PolyBoard**



First polymer-based coherent receiver with integrated PBS