

2. Referenzen

Referenzen der Veröffentlichungen, die in dieser Arbeit dargestellt werden:

1. U. H. P. Fischer (Member IEEE), S. Zech, K. Peters

"Transmitter modules with reusable fiber-chip coupling method for optical communications systems"
Lecture for 2nd Online Symposium for Electr. Engineers OSEE at IEEE, Sequence no. B-38, April 2001 (2001)

2. U. H. P. Fischer (Member IEEE), Th. Windel

"Optical Characterisation of Single Mode Components by new Medianfield-Methode"
9th European Conference on Networks & Optical Communications (NOC 2004), Eindhoven (Netherlands), Paper 24, (2004)

3. U. H. P. Fischer (Member IEEE), O. Krips, E. Müller, A. Jacob

"Laser micro welding for fiber-chip coupling modules with tapered SMF-fiber ends for optical communication systems", Optical Engineering Vol 41, No 12, pp 3221-3229 (2002)

4. U. H. P. Fischer, Th. Eckhardt, G. Jacumeit, A. Kilk, G. G. Mekonnen, D. Pech, K. Peters, R. Ziegler

"A New Fiber-Chip Coupling Concept for Reusable Multipurpose Packaging for up to 45GHz Bandwidth" , 25th European Conference on Optical Communications (ECOC 99), Nice (France), Vol 1, pp 336- 337, (1999)

5. Th. Eckhardt , U. H. P. Fischer (member IEEE), R. Ziegler

"Fiber-Chip-Coupling Modules with up to 50 GHz Modulation Bandwidth and Reusable Fiber-Chip-Coupling Mechanism", MICRO.tec 2000, Paper B1.1.4, No 56, Hannover, Germany (2000)

6. H. Ehlers, M. Schlak and U. H. P. Fischer

"Packaging of Integrated Mach-Zehnder Interferometers for Optical Communication Systems", Journal of Optical Communications, Vol 23, online 32 (www.joc-online.de), (2002)
und
Conference on Optical Fiber Communications (OFC 2001), Anaheim (USA), Paper WDD66-1, (2001)

7. H. Ehlers, M. Biletzke, B. Kuhlow, G. Przyrembel and U. H. P. Fischer

"Optoelectronic Packaging of Arrayed-Waveguide Grating Modules and their Environmental Stability Tests", Optical Fiber Technology, No 6, pp. 344-356 (2000)

8. U. H. P. Fischer (member IEEE), J. Honecker, A. Umbach, D. Trommer, Th. Eckhardt

"High-speed Photo Diode Modules with up to 45 GHz Modulation Bandwidth for Optical Communication Systems", Conference on Optical Fiber Communications (OFC 2002), Paper ThGG 105, Anaheim (USA) (2002)

9. U. H. P. Fischer (member IEEE), J. Honecker, A. Umbach, D. Trommer, Th. Eckhardt

"Receiver Modules for 40 Gb/s Lightwave Systems", Journal of Optical Communications Vol 26, pp215-219, (2005)

3. Abstract

Für Lichtwellenleitersysteme ist eine Entwicklung sowohl hinsichtlich der Datenrate in Richtung 40-160 Gbit/s im Telekomkernnetz, als auch ein Einzug in den täglichen Gebrauch des Konsumenten im PC-Bereich und im Automobil abzusehen. Den Vorteilen der Lichtwellenleiter in Bezug auf Übertragungsbandbreite stehen Nachteile im Bereich des Handling der Fasern als auch in der Faser-Chip-Kopplung entgegen. Letztere sollen in dieser Arbeit analysiert und entsprechende Möglichkeiten der Optimierung aufgezeigt werden. So wird zu Beginn eine Übersicht der treibenden Systemanwendungen der optischen Nachrichtentechnik eröffnet und darauf die Breite der photonischen Aufbau- und Verbindungstechnik mit den heutzutage möglichen Justage- und Fixiertechniken vorgestellt. Eine tiefere Analyse der optischen Verbindungstechnik mit entsprechender Theorie der Wellenleiterkopplung und deren Verlustmechanismen schließt den einführenden Arbeitsteil ab. In den anschließend dargestellten Veröffentlichungen wird ein Überblick einerseits über die Modultechnologie von wesentlichen photonischen Komponenten aus dem Bereich der hochratigen Glasfasernetze dargestellt und andererseits die Analyse der Faser-Chip-Kopplung in diesen unterschiedlichen Anwendungen vorgestellt. Den Abschluss bildet ein Kapitel mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick über die weitere Entwicklung der Technologie der photonischen Aufbau- und Verbindungstechnik.

4. Einführung

Die optische Nachrichtentechnik und damit auch die optische Aufbau- und Verbindungstechnik haben in relativ kurzer Zeit (ca. 20 Jahre) eine große Bedeutung für die allgemeine Nachrichtentechnik erlangt. Zum kommerziellen Einsatz sind diese Systeme erst seit Mitte der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts gekommen.

Heutzutage bestehen praktisch alle internationalen und nationalen Langstreckenverbindungen aus LWL-Systemen mit Bandbreiten zwischen 2,5 Gbit/s und 10 Gbit/s.

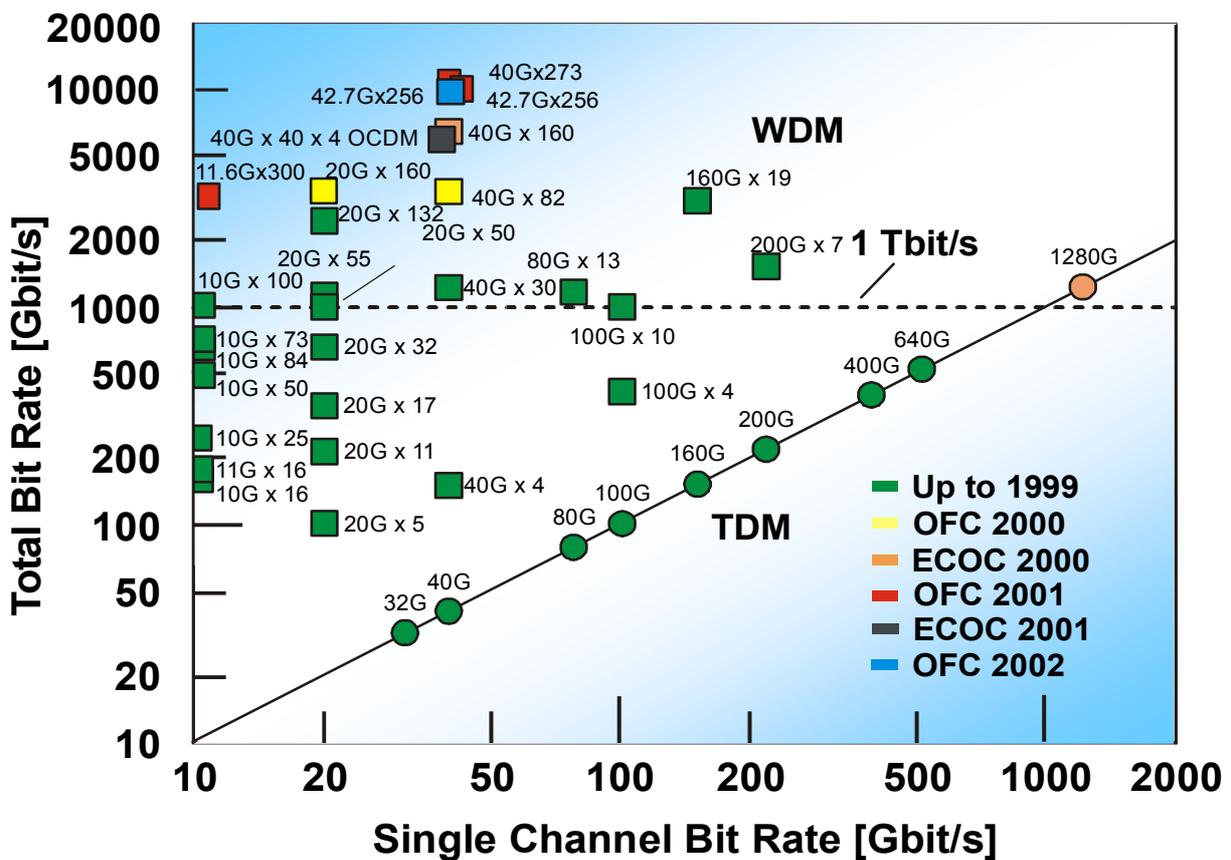


Abb. 4.1 Evolution der Übertragungsraten [EU-Roadmap04]

Zukünftige optische Kommunikationssysteme werden durch die Anwendung von hochbitratigen Übertragungskanälen in Kombination mit der Wellenlängenmultiplextechnik die hohe Bandbreite der optischen Fasern noch weit vollständiger, als z.Zt. möglich nutzen. Heutige Abschätzungen [EU-Roadmap04, LEOS99, Gnauck96] zeigen, wie in Abb. 4.1 dargestellt, dass es möglich sein wird mehrere zig Terabits

über eine Glasfaser zu übertragen. Gerade der WDM-Technik ist es zu verdanken, dass es heute möglich ist über 10 Terabit/s mit 280 Sendern a 40 Gbit/s zu übertragen. Die elektrische Zeitmultiplextechnik (ETDM) ist durch die Schwierigkeiten bei der technologischen Entwicklung von HF-Sendern und -Empfängern noch nicht so schnell vorangekommen wie die WDM-Technologie. Als Erweiterung der elektrischen Zeitmultiplextechnik, die bis dato nur bis 40Gbit/s realisiert werden konnte, etabliert sich gerade die optische Zeitmultiplextechnik (OTDM) [Ramaswami04]. Es ist vom Berliner Heinrich-Hertz-Institut [Ludwig03] gezeigt worden, dass eine optische Modulation mit 160Gbit/s über das Format DPSK schon über 400km mit nur drei optischen Verstärkerstufen praktisch fehlerfrei möglich ist. Um die Möglichkeiten des OTDM voll auszunutzen ist es notwendig optische Schaltelemente zu entwickeln, die entweder ganze Datenpakete oder sogar Einzelbits rein optisch verschalten zu können. Diese Funktion wird in Netzknoten verwendet werden, die dann die Aufgabe haben werden auf der optischen Ebene einkommende Datenpakete auf zugewiesene Ausgangsports zu verschalten. Allerdings wird erwartet, dass die optischen Netzknoten erst gegen 2010 zur technischen Reife gebracht werden können [OITDA96].

Der rasanten Entwicklung der optischen Übertragung ist es zuzuschreiben, dass heute die Weitverkehrsnetze auf Glasfaserbasis das Rückgrat praktisch aller Netzbetreiber bilden. Bei optischen Punkt-zu-Punkt-Übertragungstrecken handelt es sich aber nach wie vor um opto-elektronische Netze. Die Übertragung erfolgt optisch über die Glasfaser, wogegen die Vermittlung zwischen Netzen und Netzknoten elektrisch stattfindet. Obwohl intensiv an der Realisierung rein optischer Netze gearbeitet wird, verspricht gegenwärtig die sinnvolle Kombination der Stärken von optischer und elektronischer Technik die größeren Vorteile [Spät99].

Ein fundamentales Erfordernis bei der Nutzung von optoelektronischen Bauelementen auf Halbleiterbasis stellt die effiziente und zuverlässige Kopplung mit dem Übertragungsmedium dar, der sog. *Faser-Chip-Kopplung*. Im herkömmlichen Fall ist diese Kopplung wegen der unterschiedlichen Feldverteilungen in der Glasfaser und dem Wellenleiter des Bauelementes mit großen Verlusten verbunden. Deshalb wurde schon zu Beginn der Entwicklung der photonischen Modultechnik auch an Szenarien

zur Verbesserung der Koppeffizienz international gearbeitet [Saruwatari79, 81, Mickelsen97, Marcuse77].

Der Einbau von optoelektronischen Bauelementen (OEIC's) im Bereich der Sende- bzw. Empfänger-Module in das dafür vorgesehene Modulgehäuse mit den dazugehörigen Schnittstellen, welches in Fachkreisen als photonisches Packaging (photonische Aufbau- und Verbindungstechnik - PAVT) bezeichnet wird, nimmt hier eine Schlüsselstellung ein. Im unangepassten Fall ist es kaum möglich, mehr als 10% des Lichtes in die Faser einzukoppeln. Dieser geringe Wirkungsgrad kann nur durch die Anpassung der optischen Modenfelder von der Glasfaser zu der des Chips, wie mit Hilfe abbildender Mikrolinsen oder Fasern mit linsenförmigen Endflächen (Fasertaper), verbessert werden. Sind aber mehrere Fasern in sog. Arrays an ein Bauelement zu koppeln, wird es äußerst schwierig, diese Anpassungssysteme optimal auszurichten. Die Justiertoleranzen verringern sich auf wenige zehntel Mikrometer. Das Ergebnis sind immens steigende Kosten für die Kopplung und Gehäusung der OEIC's.

Aus diesem Grund besteht ein großes Interesse an optischen Koppelementen, die sowohl die Koppeffizienz, als auch die Justiertoleranzen erhöhen. Dieses Erfordernis wird einerseits auf der OEIC-Seite durch die integrierten Modenfeldtransformer (Wellenleitertaper) erfüllt, als auch auf der Faserseite durch Einzellinsen oder Linsensysteme. Allerdings zeigt sich, dass der komplexen Kopplung mit Linsenelementen die einfache Kopplung mit Hilfe der Wellenleitermodenfeldtransformer deutlich vorzuziehen ist [Fischer05].

Beim Wellenleitermodenfeldtransformer wird die Führung des Wellenleiters auf dem OEIC durch eine rampenförmige Querschnittsänderung derart umgewandelt, dass eine verbesserte Kopplung zwischen Glasfaser und OEIC möglich ist. Die Feldverteilung wird aufgeweitet und erhöhte Justiertoleranzen sind die Folge. Damit ist der Einsatz kostensenkender passiver Justiertechniken, wie z.B. Flip-Chip-Bonden oder Fixierung in V-Nuten möglich, um die Glasfaser optimal und dauerhaft vor dem OEIC zu positionieren [Fischer02].

Bei den Linsenlösungen besteht hingegen immer der Zwang engere Justiertoleranzen zur hohen Koppeffizienz in Kauf zu nehmen. Die Verengung des Modenfeldes durch

die Linsentransformation engt die Koppeltoleranzen in den lateralen Bereichen auf sub- μm -Bereiche ein und der Arbeitsabstand von der Faser zum Chip kann sich bis auf wenige μm stark verringern. Damit steigt die Kontaktmöglichkeit beider Teile bei der Kopplung und damit die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung der OEIC-Endfläche. Allerdings werden diese diskreten Faser-Chip-Koppeltechniken per Linsensystem z.Zt. international am weitesten angewandt und technologisch stetig verbessert. Außerdem stellen alle diese Techniken sehr arbeitsaufwändige Verfahren dar und sollten deshalb mittelfristig von selbstjustierenden Verfahren abgelöst werden.

Diese wichtigen Aspekte der Vereinfachung und Verbesserung der Faser-Chip-Kopplung im Hinblick auf die mögliche Verbesserung und Vereinfachung der Koppelverfahren sollen den Kern dieser Arbeit bilden und sowohl anhand der eigenen Veröffentlichungen als auch in einer Literaturübersicht zu diesem Thema übergreifend zusammengefasst werden.

Weiterhin ist es notwendig die hohen Übertragungsraten von der Datenquelle zum OEIC hin und am Ende der Übertragungstrecke retour zur Datensinke zu übertragen. Dazu gehört, dass innerhalb der aufgebauten Datenmodule die Bandbreite der zu übertragenden Daten vollständig erhalten bleiben muss. Hier sollen Wege für das Hochfrequenz (HF)-Packaging anhand der eigenen Arbeiten in den zusammengestellten eigenen Veröffentlichungen dargelegt werden.

In den Schlussfolgerungen soll die aus meiner Sicht notwendige Entwicklung der Packaging-Technologien der nächsten Generation vorgestellt werden.

5. Systemanwendungen der optischen Nachrichtentechnik

5.1 Optische Telekommunikationssysteme

Im Folgenden sollen die einzelnen Bauelemente eines optischen Kommunikationsnetzes zuerst in einer Übersicht dargestellt und dann die Einzelemente im Zusammenhang mit den Problemen der photonischen Aufbau- und Verbindungstechnik detailliert besprochen werden. In Abb. 5.1 sind in vereinfachter Form die wesentlichen Basiselemente einer optischen Verbindung dargestellt:

- a) Nachrichtenquelle
- b) Modulator/Coder
- c) Elektro-optischer Wandler (z. B. Laserdiode)
- d) Multiplexer
- e) Glasfaser
- f) Verstärker
- g) Koppler
- h) Schaltmatrix
- i) Regenerator
- j) Demultiplexer
- k) Opto-elektrischer Wandler (z.B. Photodiode)
- l) Demodulator/Decoder
- m) Nachrichtensenke

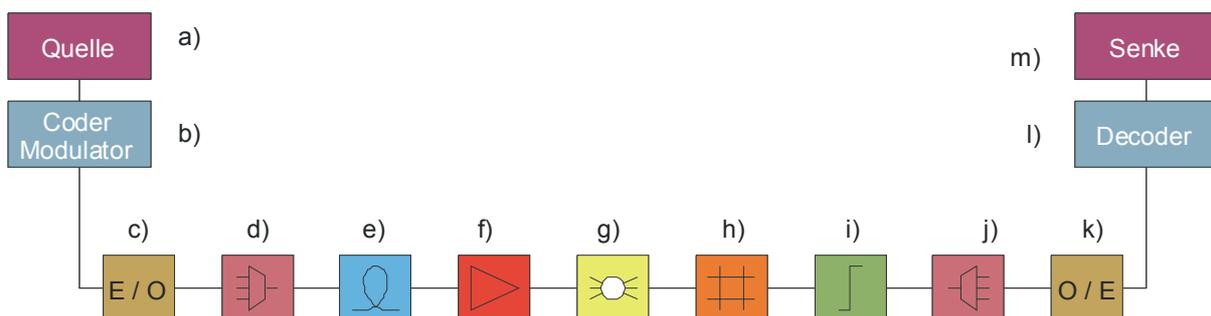


Abb. 5.1. Elemente einer optischen Übertragungsstrecke

Die beiden ersten und letzten Elemente sind als Grundelemente in jedem Nachrichtensystem enthalten und somit keine speziellen Elemente eines optischen Netzes. Alle diese Streckenelemente sind in ihrer Struktur z.T. sehr unterschiedlich von einander. So sind Sender- (c) und Empfänger-OEICs (k) zwar zumeist nur mit einer