

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 53 (1975)

Heft: 8

Artikel: Optische Nachrichtenübertragung = Transmission d'informations par voie optique

Autor: Deutsch, Christian

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875609>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Optische Nachrichtenübertragung

Transmission d'informations par voie optique

Christian DEUTSCH, Bern

621.391.63:621.373.826:621.372.853:621.315.612.6—494

Zusammenfassung. Es wird ein Überblick gegeben über den heutigen Stand der Technik der optischen Nachrichtenübertragung. Das Halbleiterlaser-Glasfasersystem, die Komponenten sowie die damit heute möglichen Systeme werden eingehend beschrieben. Verschiedene Anwendungsbereiche in Systemen herkömmlicher Art sowie neuartige Systeme werden diskutiert. Es besteht heute kein Zweifel mehr, dass die optische Übertragung in der Nachrichtentechnik der Zukunft eine grosse Rolle spielen wird. Möglicherweise wird der grösste Einfluss in neuen Kommunikationsmöglichkeiten liegen.

Résumé. L'auteur donne un aperçu général de l'état actuel de la technique de transmission d'informations par voie optique. Il poursuit par une description détaillée du système à fibres optiques associées au laser semi-conducteur, des composants et des systèmes réalisables aujourd'hui. Différents domaines d'application pour des ensembles en technologie classique ou nouvelle sont discutés. Il est actuellement certain que la transmission par voie optique jouera un rôle important dans les télécommunications de demain. Elle exercera probablement une influence prépondérante dans la mise en œuvre de nouveaux moyens de communication.

Trasmissione di messaggi con mezzi ottici

Riassunto. In una breve panoramica si riassume il presente sviluppo della tecnica riguardante la trasmissione di messaggi con mezzi ottici. Si esaminano attentamente il sistema laser a fibre ottiche, i componenti e i possibili sistemi attuali. Si discutono quindi diversi campi d'applicazione nei sistemi tradizionali come pure in quelli futuri. Non v'è ormai più dubbio che la trasmissione con mezzi ottici si rivelerà di preponderante importanza nella futura tecnica delle trasmissioni. Il maggior impulso risulterà probabilmente dall'apertura di nuove possibilità di comunicazioni.

1 Einführung

Der ständig zunehmende Bedarf an Übertragungskapazität erfordert immer höhere Trägerfrequenzen. Seit der Erfindung des Lasers steht mit dem Licht bei einer Frequenz von 10^{14} Hz ein äusserst hochfrequenter Träger zur Verfügung. Voraussetzung zu seiner Verwendung ist, dass es durch eine geeignete Modulation gelingt, die mögliche Bandbreite auch auszunützen. Betrachtet man die Anstrengungen, die zur Verwirklichung optischer Systeme in der ganzen Welt unternommen werden, in den USA vor allem bei den *Bell Laboratorien*, in England bei *STL* und den *Britischen PTT*, in Deutschland bei *Siemens* und *AEG-Telefunken* sowie in Japan, so erkennt man, welche ausserordentliche Bedeutung diesem Übertragungsverfahren für die Zukunft beigemessen wird. Man kann heute mit Sicherheit sagen, dass die optische Nachrichtenübertragung zur Anwendung kommen wird, die Frage ist nur noch wann und wie.

Grundsätzlich sind zwei Übertragungsarten möglich: durch die Atmosphäre oder durch Lichtleiter. Ausgedehnte Untersuchungen in Deutschland, den USA und Japan haben gezeigt, dass eine atmosphärische Übertragung für ein öffentliches Netz nur über sehr kurze Distanzen (einige 100 m) genügend Sicherheit bietet und deshalb nur für besondere, beschränkte Anwendungen in Frage kommen dürfte, zum Beispiel Verbindung von Computern in Städten oder Überquerung eines engen Tales. Wesentlich besser ist die Führung des Strahls in einem Lichtleiter.

Nachdem anfänglich mit Linsen- und Spiegelleitern experimentiert wurde, führten wesentliche Fortschritte bei der Herstellung von Glasfasern mit niedriger Dämpfung in den letzten Jahren dazu, die Anstrengungen nahezu überall ausschliesslich auf Glasfasersysteme auszurichten. Gleichzeitig wurde mit dem Halbleiterlaser eine nahezu ideale Lichtquelle entwickelt, die allerdings heute noch eine zu geringe Lebensdauer aufweist. Die Fortschritte, die dabei erzielt werden, lassen aber annehmen, dass bis in wenigen Jahren so-

1 Introduction

La capacité de transmission devant être sans cesse augmentée, il est nécessaire de recourir à des fréquences porteuses toujours plus élevées. Depuis l'invention du laser, qui consiste à transmettre de la lumière, on dispose d'une porteuse de fréquence extrêmement élevée, soit 10^{14} Hz. Toutefois, seule une modulation appropriée permet de tirer entièrement parti de la largeur de bande offerte. Si l'on considère les efforts entrepris dans le monde entier pour réaliser des systèmes optiques, en particulier aux Etats-Unis par les laboratoires *Bell*, en Angleterre par *STL* et les *PTT britanniques*, en Allemagne par *Siemens* et *AEG-Telefunken* ainsi qu'au Japon, on se rend compte de l'importance extraordinaire accordée à ce mode de transmission pour l'avenir. A l'heure actuelle, on peut affirmer sans hésiter que la transmission d'informations par voie optique sera utilisée, la seule inconnue étant de savoir quand et comment.

En pratique, deux modes d'exploitation sont possibles: la transmission à travers l'atmosphère ou par guide optique. Des essais très poussés en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon ont montré que seul un réseau public pour courtes distances (quelque 100 m) pouvait être établi, avec une marge de sécurité suffisante, selon le principe de la propagation dans l'atmosphère. De ce fait, son emploi serait limité à des applications spéciales, telles que liaisons entre ordinateurs d'une même ville ou circuits point à point franchissant une vallée étroite. Il se révéla dès lors nettement préférable d'injecter le faisceau dans un guide optique. Au début, les expériences portèrent sur des guides à lentilles et à miroirs, technique qui fut vite supplantée par les systèmes à fibres optiques, vu les progrès rapides réalisés ces dernières années dans la fabrication de fibres de verres présentant de faibles valeurs d'affaiblissement. Parallèlement, la mise au point de lasers à semi-conducteurs offrait une source lumineuse quasi idéale, dont l'inconvénient est toutefois aujourd'hui encore une durée de vie trop brève. Néanmoins, les progrès réalisés

wohl Halbleiterlaser wie Glasfasern einen Stand erreichen werden, der einen praktischen Einsatz ermöglicht. Im folgenden werden wir uns deshalb nur auf dieses System beschränken.

2 Das Halbleiterlaser-Glasfasersystem

21 Glasfasern

Es bestehen mehrere Typen von Fasern, die sich in ihren Übertragungseigenschaften wesentlich unterscheiden [1]. Die *Multimodefaser* (Fig. 1) weist einen Kern von 50...100 μm Durchmesser auf, der von einem Mantel mit niedrigem Brechungsindex umgeben ist. Das Licht kann sich entsprechend der geometrischen Optik bis zu einem Winkel, der der Totalreflexion am Mantel entspricht, unter einem beliebigen Winkel fortpflanzen und wird am Mantel jeweils reflektiert. Dies führt zu beträchtlichen Pulsverbreiterungen infolge unterschiedlicher Strahlenlaufzeiten, so dass diese Fasern nur bis zu Bitraten von etwa 10 Mbit/s brauchbar sind.

Durch geeignete Beeinflussung des Brechungsindexprofils mit thermischer Faserbehandlung, durch Begrenzung des Einstrahlwinkels oder durch Detektoren, die eine winkelabhängige Verzögerung des Signals bewirken, kann dieser Wert noch bis zu etwa einer Grössenordnung erhöht werden. Vorteile dieser Faser sind verhältnismässig einfache Herstellung – und damit niedriger Preis – sowie der relativ grosse Kerndurchmesser, der mit den Massen von Halbleiterlasern einigermaßen kompatibel ist und eine einfache, wirkungsvolle Ankopplung erlaubt.

Die *Monomodefaser* (Fig. 2) hat lediglich einen Kerndurchmesser von etwa 1...3 μm , das heisst von der Grössenordnung der Wellenlänge des Lichtes (0,9 μm). Der Mantel weist einen Durchmesser von 50...100 μm auf, um eine gewisse mechanische Festigkeit zu gewährleisten. In einer solchen Faser kann sich nur noch ein Mode fortpflanzen, falls der Durchmesser des Faserkerns folgender Bedingung genügt

$$d < \frac{2.405 \lambda_0}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$$

wobei λ_0 die Wellenlänge des Lichtes im Vakuum ist.

Laufzeitverzerrungen treten keine mehr auf, beziehungsweise sind nur noch durch die Dispersion des Glases gegeben. Damit sind Übertragungsraten von 1...2 Gbit/s möglich. Die Ankopplung ist in diesem Fall jedoch wesentlich schwieriger und bisher noch nicht befriedigend gelöst, auch wenn Ansätze zu Lösungen vorhanden sind.

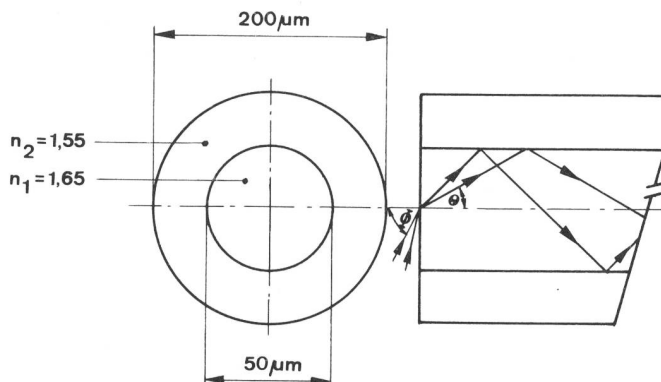


Fig. 1
Multimodefaser – Fibre multimode

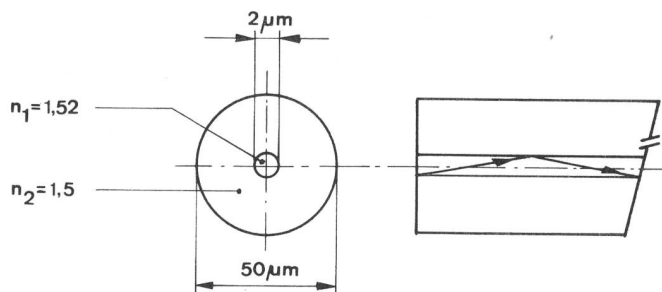


Fig. 2.
Monomodefaser – Fibre monomode

tant au niveau des lasers à semi-conducteurs qu'à celui des fibres optiques font espérer que leur emploi pratique pourra être envisagé d'ici peu d'années. C'est pourquoi nous nous bornerons à analyser ces systèmes dans les lignes qui suivent.

2 Système à fibre optique associée au laser à semi-conducteur

21 Fibres optiques

On distingue plusieurs types de fibres ayant des propriétés de transmission très différentes [1]. La *fibre multimode* (fig. 1) comprend un cœur de 50...100 μm de diamètre entouré d'une gaine à faible indice de réfraction. Se reflétant sur la gaine, la lumière se propage dans la fibre sous un angle quelconque, selon l'optique géométrique, angle qui peut correspondre au maximum à la réflexion totale contre la gaine. Cet effet conduit à un élargissement considérable des impulsions, dû aux temps de propagation différents des rayons, si bien que l'emploi de ces fibres est limité à des débits binaires de 10 Mbit/s environ.

Un traitement thermique approprié de la fibre permettant de modifier le profil d'indice de réfraction, une limitation de l'angle d'injection ou l'emploi de détecteurs temporisant la propagation du signal en fonction de l'angle, permettent d'augmenter cette valeur d'un ordre de grandeur environ. Ce type de fibre présente divers avantages: il est relativement simple à fabriquer, d'un coût modique et son diamètre intérieur (le cœur) est assez grand pour le rendre compatible avec les dimensions propres aux lasers semi-conducteurs auxquels il peut être couplé de manière simple et efficace. Le diamètre du cœur de la *fibre monomode* (fig. 2) n'est que de 1...3 μm , soit de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière (0,9 μm). En vue d'assurer une certaine résistance mécanique, la gaine a un diamètre de 50...100 μm . Dans une telle fibre, la lumière ne peut se propager que dans un seul mode, en tant que le diamètre du cœur répond à la condition suivante,

$$d < \frac{2.405 \lambda_0}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$$

λ_0 étant la longueur d'onde de la lumière dans le vide.

Il ne se produit plus de distorsions de temps de propagation ou, s'il s'en produit, elles sont seules imputables à la dispersion du verre. Ainsi, des débits de transmission de 1...2 Gbit/s sont possibles. Toutefois, le couplage est nettement plus difficile à réaliser dans ce cas et n'a pas encore été résolu jusqu'ici de manière satisfaisante, bien qu'on entrevoie des solutions possibles.

Une autre sorte de fibre, la fibre à gradient (fig. 3) présente un indice de réfraction variant continuellement en fonction

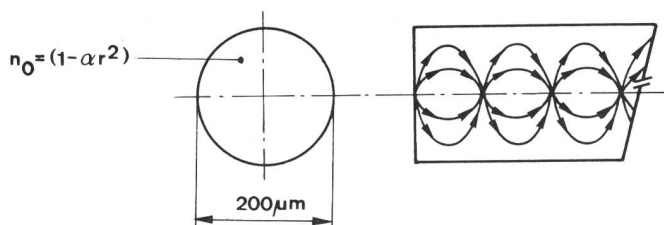


Fig. 3
Gradientenfaser – Fibré à gradient

Eine weitere Fasersorte, die *Gradientenfaser* (Fig. 3), weist einen sich kontinuierlich ändernden Brechungsindex über den Faserquerschnitt auf, wobei im günstigsten Fall dessen Abhängigkeit quadratisch mit dem Radius ist. Damit bewegen sich die Lichtstrahlen wellenförmig um die Achse. Die Laufzeitunterschiede werden sehr gering, weil der längere Weg der äusseren Strahlen durch die grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Gebieten mit kleinerem Brechungsindex ausgeglichen wird. Solche Fasern eignen sich deshalb für Übertragungen bis etwa 1 Gbit/s. Die *Selfocfaser* von *Nippon Sheet Glass* ist nach diesem Prinzip hergestellt. Diese Faser ist käuflich, weist eine Dämpfung von 30 dB/km auf und wird mit einem Plastikmantel geliefert. Der Preis ist allerdings noch sehr hoch.

Bei den Multimode- und Monomodefasern wurden vor allem von *Corning-Glass* in den USA sehr niedrige Dämpfungswerte erreicht. Dämpfungen von 2 dB/km in einer Monomodefaser aus Quarz wurden gemeldet. Wenn man die ausserordentlich raschen Fortschritte in den letzten Jahren betrachtet, besteht kein Zweifel, dass brauchbare Fasern in kurzer Zeit zur Verfügung stehen werden. Die Dämpfungswerte der meisten Hersteller von Glas- und Quarz-Multimodefasern liegen heute um 30...50 dB/km [2]. Diese Fasern sind jedoch noch kaum erhältlich.

Hauptproblem bei der Fabrikation sind die Herstellung hochreinen Glases und die Vermeidung von Lufteinschlüssen sowie anderen Inhomogenitäten an der Grenzfläche Kern—Mantel beim Ziehen der Fasern.

Quarzfaser sind in der Herstellung aufwendiger und teurer, mechanisch weniger widerstandsfähig; sie ergeben aber bis heute niedrigere Dämpfungen als Glasfasern, die meistens aus Bor-Silikatgläsern hergestellt werden.

Voraussichtlich werden sowohl die Monomodefaser wie die Multimodefaser zur Verwendung kommen, jede in speziellen Anwendungsgebieten.

22 Halbleiterlaser

Der Halbleiterlaser ist aus verschiedenen Gründen für eine Glasfaserübertragung besonders geeignet:

- Seine Grösse entspricht etwa dem Durchmesser der Multimodefasern, was die direkte Ankopplung ohne Optik ermöglicht
- Die Modulation des Anregungsstromes kann bis zu Gigahertzfrequenzen direkt geschehen
- Der Wirkungsgrad ist hoch und der Leistungsbedarf gering
- Die Integration von Pulsgeneratoren, Laser und Faseranschluss ist möglich
- Der Preis des Lasers ist niedrig.

Der einzige Nachteil besteht heute noch in der beschränkten Lebensdauer der Laser, die mit hoher Pulsfolge oder kontinuierlich betrieben werden. Fortschritte erfolgen jedoch ausserordentlich rasch. Nach neuesten Berichten sind bei Bell und NEC¹ Lebensdauern von 10000 Stunden erreicht

¹ NEC = Nippon Electric Company

de la distance à l'axe, dans le cas le plus favorable, proportionnellement au carré du rayon. De ce fait, les rayons lumineux adoptent une forme de propagation ondulatoire autour de l'axe. Les différences de temps de propagation deviennent très faibles, le chemin plus long parcouru par les rayons périphériques étant compensé par la plus haute vitesse de propagation dans les régions à indice de réfraction plus faible. Aussi, de telles fibres sont appropriées pour des vitesses allant jusqu'à près de 1 Gbit/s. La fibre *Selfoc* de la *Nippon Sheet Glass* est réalisée selon ce principe. Livrable dans le commerce, elle présente une atténuation de 30 dB/km et possède une enveloppe en matière plastique. Toutefois, son prix est encore très élevé.

Dans le domaine des fibres monomodes et multimodes, c'est surtout *Corning Glass* aux Etats-Unis qui a réussi à atteindre des valeurs d'affaiblissement très faibles. Il a été question d'une fibre monomode en quartz dont l'affaiblissement n'est que de 2 dB/km. Si l'on considère les progrès très rapides réalisés ces dernières années, il ne fait aucun doute que des fibres adéquates seront disponibles dans un proche avenir. Les valeurs d'affaiblissement publiées par la plupart des fabricants de fibres de verre ou de quartz, qu'elles soient multimodes ou monomodes, se situent actuellement entre 30 et 50 dB/km [2]. Pour l'instant, ces fibres ne peuvent pratiquement pas encore être obtenues.

Le problème majeur rencontré dans la fabrication des fibres est d'obtenir un verre d'un haut degré de pureté et d'éliminer les bulles d'air ainsi que d'autres impuretés qui peuvent venir se loger à l'interface cœur-gaine lors de l'étrépage.

La fabrication des fibres de quartz est plus complexe et plus coûteuse, leur résistance mécanique est moins bonne, mais les valeurs d'affaiblissement atteintes sont meilleures que pour des fibres de verre, qui sont en général étréées à partir de verres au bore et au silicate.

Il est probable que tant les fibres monomodes que les fibres multimodes seront utilisées, chacune d'elles dans des domaines d'application spécifiques.

22 Lasers à semi-conducteur

Le laser à semi-conducteur se prête particulièrement bien à la transmission par fibres optiques pour diverses raisons:

- Sa grandeur correspond à peu près au diamètre des fibres multimodes, ce qui permet un couplage direct, sans dispositif optique.
- Le courant d'excitation peut être modulé directement jusqu'à des fréquences de l'ordre du Gigahertz.
- Le rendement est élevé à faible consommation d'énergie.
- Il est possible d'intégrer dans le même ensemble le laser, le générateur d'impulsions et le dispositif de couplage à la fibre optique.
- Le prix de revient d'un tel laser est modique.

A l'heure actuelle, le seul inconvénient des lasers à semi-conducteur exploités en régime continu et à haute fréquence de répétition des impulsions est leur faible durée de vie. Les progrès dans ce domaine sont toutefois extrêmement rapides. Selon de récents rapports des établissements Bell et NEC¹, des durées de vie de 10000 heures ont été réalisées et aucune limite fondamentale n'a été déterminée jusqu'ici.

Les lasers semi-conducteurs sont des diodes spéciales, généralement en arsénide de gallium (AsGa), qui émettent des rayons laser lorsque le courant direct qui les parcourt atteint une densité de seuil déterminée. Pour les premières

¹ NEC = Nippon Electric Company

worden, und es wurde bisher keine grundsätzliche Grenze festgestellt.

Halbleiterlaser sind besondere Dioden, vorzugsweise aus Galliumarsenid (GaAs), die bei Stromdurchgang in Flussrichtung von einer bestimmten Schwellstromdichte an Laserstrahlung emittieren. Diese Schwellstromdichte lag bei den ersten durch Diffusion hergestellten Laserdioden bei etwa $100\,000\text{ A/cm}^2$. Inzwischen konnte sie unter 1000 A/cm^2 gesenkt werden, wobei entsprechende Treiberströme unter 1 A liegen.

Diese Verbesserung wurde durch die Verwendung sogenannter Doppel-Heterostrukturen ermöglicht (Fig. 4). Bei ihnen ist die aktive Zone aus GaAs, in der das Laserlicht entsteht, in zwei Schichten aus einer Gallium-Aluminium-Arsenid-Legierung eingeschlossen, die einen höheren Bandabstand und niedrigeren Brechungsindex als das reine GaAs besitzt. Dies wirkt sich zweifach vorteilhaft aus:

1. Die in die aktive Zone injizierten Ladungsträger können diese Zone wegen der angrenzenden Bandbarrieren nicht mehr verlassen, was zu hohen Ladungsträgerdichten und entsprechend hoher optischer Verstärkung führt.
 2. Der Brechungsindexsprung beiderseits der aktiven Zone bewirkt, dass das entstehende Licht in dieser Zone durch Totalreflexion geleitet wird, gerade so wie im Kern einer Glasfaser, was niedrige Lichtverluste zur Folge hat. Hergestellt werden diese Strukturen durch flüssige Epitaxie.
- Mit solchen Lasern konnte erstmals 1970 kontinuierlicher Betrieb bei Zimmertemperatur verwirklicht werden; allerdings betrug ihre Lebensdauer zu jener Zeit nur wenige Minuten.

In neuester Zeit wurden noch kompliziertere 5-Schicht-Laser, sogenannte LGR (localized gain region)-Laser hergestellt, die eine weitere Reduktion der Schwellstromdichte erlauben (Fig. 5). In diesen werden die rekombinierenden Ladungsträger in einer äusserst schmalen Zone konzentriert, während das Licht durch zwei weitere Schichten beidseits davon in einem optimal dimensionierten Wellenleiter begrenzt wird.

23 Detektoren

Als Licht-Detektoren kommen PIN-Photodioden und Avalanche-Photodioden in Frage. Silizium-Dioden weisen eine den GaAs-Lasern gut angepasste spektrale Empfindlichkeit auf.

PIN-Dioden haben den Vorteil, gegen Spannungsschwankungen und Temperaturänderungen wenig empfindlich zu sein; zudem sind sie billig und weisen geringes Rauschen auf. Avalanche-Dioden bringen eine grössere Konversions-

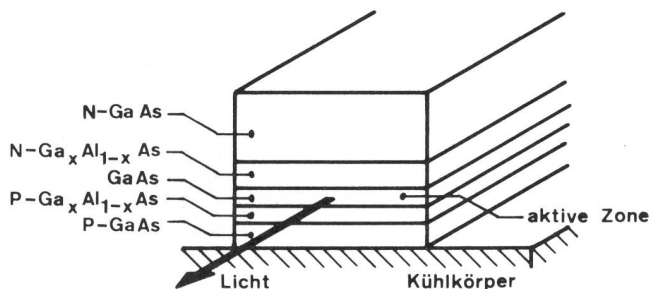


Fig. 4
Aufbau eines Doppelheterostruktur-Injektionslasers – Laser à injection présentant une hétérostructure double

Licht – Lumière
Kühlkörper – Radiateur
Aktive Zone – Zone active

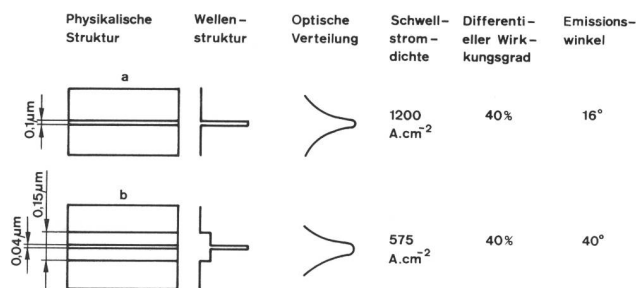


Fig. 5

Typen von Halbleiterlasern — Types de lasers semi-conducteurs

a Doppelheterostruktur – Hétérostructure double
b 5-Schicht-LGR-Laser – Laser LGR à 5 couches
Physikalische Struktur – Structure physique
Wellenleiterstruktur – Structure du guide d'ondes
Optische Verteilung – Répartition optique
Schwellstromdichte – Densité de courant de seuil
Differentieller Wirkungsgrad – Rendement différentiel
Emissionswinkel – Angle d'émission

diodes laser fabriquées par diffusion, cette densité de courant de seuil était de l'ordre de $100\,000\text{ A/cm}^2$. Entre-temps, elle a pu être ramenée à moins de 1000 A/cm^2 , le courant d'excitation correspondant étant situé au-dessous de 1 A .

Cette amélioration est due à l'utilisation d'hétérostructures doubles (fig. 4). Leur zone active est formée d'arsénide de gallium, où prend naissance la lumière laser, emprisonné entre deux couches d'un alliage d'arsénide de gallium et d'arsénide d'aluminium, qui présentent un écart interbande plus élevé et un indice de réfraction plus faible que l'arsénide de gallium pur. Cette particularité offre deux avantages:

1. Les porteurs de charge injectés dans la zone active ne peuvent plus la quitter en raison des barrières de bande avoisinantes. Ce phénomène se traduit par une haute densité des porteurs de charge, partant par une forte amplification optique.
2. Le saut brusque d'indice de réfraction de part et d'autre de la zone active provoque une réflexion totale de la lumière y prenant naissance, ce qui la guide comme le ferait le cœur d'une fibre optique; il en résulte des pertes de lumière faibles.

Ces structures sont obtenues par épitaxie liquide. Avec de tels lasers, une exploitation continue à température ambiante a été réalisée pour la première fois en 1970. A l'époque, leur durée de vie n'atteignait toutefois que quelques minutes.

Tout récemment, on a réussi à fabriquer des lasers encore plus complexes, à cinq couches, appelés lasers LGR (localized gain region) (fig. 5). Leur densité de courant de seuil a été encore réduite (fig. 5). Les porteurs de charge qui se recombinaient y sont concentrés dans une zone extrêmement étroite, tandis que la lumière est limitée par deux couches situées de part et d'autre de cette zone, dans un guide d'ondes aux dimensions optimales.

23 Détecteurs

En tant que détecteurs de lumière, ce sont les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche qui entrent en considération. La sensibilité spectrale des diodes au silicium est bien adaptée aux lasers à arsénide de gallium. L'avantage des diodes PIN réside dans leur insensibilité aux fluctuations de tension et aux variations de température, leur coût modique et leur faible bruit. Les diodes à avalanche ont un rendement de conversion plus élevé, mais la multiplication interne des porteurs de charge engendre un souffle supplémentaire.

ausbeute, die innere Ladungsträgermultiplikation aber erzeugt zusätzliches Rauschen. Sie benötigen eine von Diode zu Diode verschiedene, sehr genaue Vorspannung, die ausserdem temperaturabhängig ist. Zur Lösung des Problems wird oft eine zweite Diode (die mit der ersten identisch ist) im selben Gehäuse montiert und ihre Durchbruchspannung zur Regelung der Hauptdiode verwendet. Einen besonders hohen Wirkungsgrad weisen die Mesadioden mit Quereinstrahlung auf [3]. Bei diesen wird das Licht in die Sperrschicht vom Umfang der Diode her eingestrahlt. Solche Elemente wurden bei AEG-Telefunken entwickelt. Alle diese Detektoren sind bis zu Gigahertz-Frequenzen brauchbar.

24 Koppelprobleme

Zu unterscheiden sind die Kopplung Laser-Faser, Faser-Faser und Faser-Detektor. Die Faser-Faser-Kopplung stellt wohl eines der schwierigsten Probleme dar, das für eine praktische Anwendung und besonders für die Spleissung von Monomodefasern noch zu lösen ist.

Eine Multimodefaser kann mit einem Laser geeigneter Dimension durch einfaches Aneinanderfügen und Vergiessen oder mechanische Fixierung beider Teile verbunden werden. Hierbei ist zu beachten, dass der Kontakt der Laseraustrittsfläche mit einer Substanz, deren Brechungsindex grösser als eins ist, zu einer Erhöhung des Schwellstroms führt. Dies liesse sich allenfalls durch eine vorgängige Teilverspiegelung der Fläche kompensieren. Bei dieser einfachen Kopplung treten verhältnismässig grosse Verluste auf, weil der Strahlöffnungswinkel in der Richtung senkrecht zum p-n-Übergang des Lasers grösser ist als der Aufnahmewinkel der Faser. Ausserdem werden durch Ausnützung des ganzen Aufnahmewinkels praktisch alle möglichen Modes der Faser angeregt. Dies können weit über 1000 sein. Dadurch wird die Dispersion gross. Letzterer kann durch Verwendung ringförmiger Blenden abgeholfen werden, was jedoch die Koppelverluste weiter erhöht. Zur Verbesserung der Einkopplung sind Vorschläge gemacht worden: Die verschiedenen Ausbreitungswinkel des Lasers parallel und senkrecht zum p-n-Übergang können durch Verwendung einer Zylinderlinse am Fasereingang, hergestellt aus einem Stück halbiert Faser, ausgeglichen werden [4]. Eine andere Methode, den Faseraufnahmewinkel zu vergrössern, besteht darin, die Faser am Ende kugelförmig abzuschmelzen, was eine sphärische Linse ergibt. Dieses Verfahren ist besonders zur Ankopplung an LED vorteilhaft, jedoch praktisch relativ schwer reproduzierbar.

Wesentlich schwieriger ist eine wirkungsvolle Einkopplung in eine Monomodefaser. Infolge des geringen Kerndurchmessers von nur etwa $3\text{ }\mu\text{m}$ besteht ein Missverhältnis zwischen Laserbreite und Kerndurchmesser, wodurch eine direkte Ankopplung ungünstig wird. Laser mit Streifenkontakten können bis auf etwa $10\text{ }\mu\text{m}$ Breite reduziert werden, was einen Einkopplungswirkungsgrad von etwa 25% ermöglicht. Bessere Lösungen stehen erst im Anfangsstadium und verwenden teilweise die integrierte Optik [5].

Für die Praxis wird man voraussichtlich die Kopplung Laser-Faser in der Fabrik ausführen, wobei nur ein kurzes Faseranschlussstück verwendet wird. Dieses wird dann an die Übertragungsfaser angeschlossen. Auf der Empfängerseite kann dasselbe Verfahren angewandt werden, wobei die Kopplung Faser-Detektor keine wesentlichen Probleme bietet. NEC wird noch dieses Jahr einen Laser auf den Markt bringen, an dem eine Selfoc-Linse, das heisst ein kurzes Stück Selfoc-Faser, angekoppelt ist. Für die Verkopplung

Par ailleurs, chaque diode nécessite une tension de polarisation très précise, dépendante de la température. En vue de résoudre ce problème, on utilise souvent une deuxième diode identique à la première, montée dans le même boîtier, dont la tension de claquage sert à réguler la diode principale. Les diodes méso à injection transversale [3] ont un rendement particulièrement élevé. La lumière y est injectée sur la couche d'arrêt à partir de la périphérie. De telles diodes ont été développées par AEG-Telefunken. Tous ces détecteurs peuvent être utilisés jusqu'à des fréquences de l'ordre du Gigahertz.

24 Problèmes de couplage

Il convient de distinguer entre le couplage laser-fibre, fibre-fibre et fibre-détecteur. Le couplage fibre-fibre représente sans doute l'un des problèmes les plus ardues, non encore résolu en pratique, particulièrement en ce qui concerne l'épissure des fibres monomodes.

L'assemblage d'une fibre multimode et d'un laser approprié peut se faire par simple juxtaposition et surmoulage ou par fixation mécanique. A ce propos, il faut prendre en considération que le contact formé par la surface de sortie du laser et une substance ayant un indice de réfraction supérieur à 1 conduit à une augmentation du courant de seuil. Il serait, le cas échéant, possible de compenser cet accroissement par un étamage partiel préalable de la surface. Ce couplage simple entraîne cependant des pertes assez considérables, vu que l'angle d'ouverture en direction perpendiculaire à la jonction p-n du laser est plus grand que l'angle d'admission de la fibre. Par ailleurs, l'utilisation de l'angle d'admission intégral conduit à une excitation de la fibre selon tous les modes pouvant pratiquement entrer en considération. Comme il peut y en avoir plus de 1000, la dispersion devient élevée. On peut remédier à cet inconvénient en utilisant des diaphragmes circulaires, ce qui accroît néanmoins les pertes de couplage. Plusieurs propositions ont été faites, en vue d'améliorer les conditions d'injection. Les divers angles de propagation du laser, parallèles et perpendiculaires à la jonction p-n, peuvent être égalisés par l'emploi d'une lentille cylindrique à l'entrée de la fibre, lentille constituée par un fragment de fibre coupé en deux [4]. Une autre méthode d'agrandir l'angle d'admission de la fibre est d'en arrondir l'extrémité par fusion, ce qui produit une lentille sphérique. Cette méthode convient particulièrement au couplage des diodes photo-émissives (LED), mais elle est assez difficile à reproduire en pratique.

L'injection de lumière dans une fibre optique monomode représente un problème beaucoup plus difficile à résoudre. En raison du faible diamètre du cœur (environ $3\text{ }\mu\text{m}$), il y a une disproportion entre la largeur du faisceau laser et le diamètre du cœur de la fibre, si bien qu'un couplage direct se révèle défavorable. Dans les lasers avec contact à bande, la zone de contact peut être ramenée à une largeur d'environ $10\text{ }\mu\text{m}$, ce qui conduit à un rendement d'injection de quelque 25%. Des solutions meilleures ne sont encore qu'au stade du développement et reposent en partie sur l'utilisation de l'optique intégrée [5].

En pratique, le couplage laser-fibre sera probablement effectué en fabrique et se présentera sous forme d'une courte pièce de connexion fibre-laser à laquelle sera reliée la fibre de transmission. Côté récepteur, le même procédé peut être utilisé, le couplage fibre-détecteur ne présentant alors pas de difficultés particulières. Cette année encore, les établissements NEC lanceront sur le marché un laser associé à

oder Spleissung von Glasfasern wurden schon viele Methoden versucht, wobei aber nahezu alle noch im Laboratoriumsstadium stecken. Das Ziel wäre ein Stecker, in den das Faserende auf eine einfache Art eingeführt werden könnte und dessen Präzision eine optische Justierung erübrigt.

Erste Voraussetzung für jede Spleissung sind saubere, glatte Faserenden. Polieren ist relativ aufwendig, kann aber leicht mechanisiert und mit einem einfachen Gerät ausgeführt werden. Bei Bell hat man mit einer Faserbrechapparat gute Resultate erzielt. Um zu einer sauberen Bruchfläche zu gelangen, wird die Faser unter Zug leicht gebogen und dann mit einer Diamantschneide gebrochen. Dies gibt Spaltflächen, die den polierten nahezu ebenbürtig sind.

Bei AEG-Telefunken wurde eine lösbare Steckverbindung entwickelt, deren Präzision auch für Monomodefaseren ausreicht. Die Faserenden werden in Glaskapillaren geführt oder in Schrauben mit einer Längsnut eingeklebt. Diese Halterungen sitzen in Bolzen mit exzentrischen Löchern, welche selbst seitlich leicht gegeneinander versetzt sind [6]. Durch gegenseitiges Verdrehen der Bolzen können die Faserenden zur Deckung gebracht werden. Die optimale Lage wird dabei durch Transmissionsmessungen festgestellt.

3 Systembetrachtungen

Tabelle I zeigt Systemparameter, die bei STL für verschiedene Fälle von optischen Übertragungen berechnet beziehungsweise gemessen wurden [1].

Die 35- und 120-Mbit/s-Systeme wurden mit Multimodefaseren angenommen, das 480-Mbit/s-System mit Monomodefaseren. Ein Vergleich der 8- und 16-dB/km-Parameter zeigt, dass der Verstärkerabstand nicht umgekehrt proportional zu den Verlusten ist, weil bei den geringeren Verlusten der Einstrahlwinkel begrenzt werden muss, um die Dispersion zu verringern. Dies bedeutet, dass, um dieselbe Empfangsleistung zu erhalten, ein kleinerer Totalverlust spezifiziert werden muss. Gleiche Überlegungen gelten bei 120 Mbit/s. In diesem Fall ist der erlaubte Totalverlust kleiner als bei 35 Mbit, weil das Empfangssignal aus Gründen der Stör- zu den Nutzpegelverhältnissen grösser sein muss.

Bezüglich der Lebensdauer des Lasers bedeutet das kleine Tastverhältnis bei den 35- und 120-Mbit/s-Systemen einen wesentlichen Vorteil. Bei 480 Mbit ist es infolge der Anstiegszeit des Lasers notwendig, ihn bis knapp unterhalb der Schwelle vorzuspannen und mit differentieller Modulation ein- und auszuschalten. Wenn der Degradationsprozess von der eigentlichen Lasertätigkeit verursacht wird und

eine Linse «Selfoc», c'est-à-dire couplé à un tronçon de fibre «Selfoc» très court. Plusieurs méthodes de couplage et d'épissure de fibres optiques ont déjà été essayées, mais la plupart d'entre elles sont encore au stade du laboratoire. L'idéal serait de disposer d'une fiche pouvant être fixée de manière simple à l'extrémité de la fibre tout en étant assez précise pour rendre un ajustage optique superflu.

Toute opération d'épissure sous-entend des extrémités de fibres propres et lisses. Bien que relativement complexe, le polissage peut être mécanisé et exécuté avec un dispositif simple. La maison Bell a obtenu de bons résultats avec un casse-fibre dont le principe est le suivant: Un tranchant de diamant produit une cassure nette et propre de la fibre, après que celle-ci a été légèrement pliée et soumise à une traction. Il en résulte des surfaces de clivage dont la qualité équivaut presque à celle des surfaces polies.

La maison AEG-Telefunken a développé un connecteur amovible dont la précision suffit aussi à assurer l'exploitation avec des fibres monomodes. Les extrémités des fibres sont introduites dans des tubes capillaires de verre ou collées dans des vis à rainure longitudinale. Ces fixations sont logées dans des boulons à taraudages excentrés et légèrement décalés l'un par rapport à l'autre [6]. En tournant les boulons en sens inverse, on peut amener les extrémités des fibres en regard l'une de l'autre, leur position optimale étant déterminée par des mesures de transmission.

3 Considérations relatives aux systèmes

Le tableau I contient les paramètres de systèmes calculés ou mesurés par STL pour différents cas de transmission optique [1]. Les valeurs des systèmes à 35 et 120 Mbit/s s'entendent pour des fibres multimodes et celles du système à 480 Mbit/s pour des fibres monomodes. En comparant les paramètres pour un affaiblissement de 8 et 16 dB/km, on s'aperçoit que la distance entre répéteurs n'est pas inversement proportionnelle aux pertes, car l'angle d'injection doit être limité pour les pertes plus faibles, en vue de diminuer la dispersion. Cela signifie qu'il y a lieu de spécifier une perte totale inférieure, si l'on veut maintenir la même puissance à la réception. Les mêmes considérations s'appliquent à 120 Mbit/s. A cette vitesse de modulation la perte totale admise est plus faible qu'à 35 Mbit/s, vu que le signal reçu doit être plus puissant, en raison du rapport signal/bruit.

A l'égard de la durée de vie du laser, le faible taux d'impulsions à 35 et 120 Mbit/s représente un avantage considérable. Vers 480 Mbit/s, il est nécessaire de polariser le laser juste au-dessous du seuil de consigne, à cause de son

Tabelle I. Typische Parameter optischer Systeme
Tableau I. Paramètres typiques de systèmes optiques

Bit-Rate des Systems Débit binaire du système Mbit/s	Faserdämpfung Atténuation de fibre dB/km	Verstärkerabstand Espacement des répéteurs km	Tastverhältnis Taux d'impulsions %	Empfangene Leistung Puissance à la réception μ W	Sendeleistung Puissance à l'émission mW	Totale Verluste Pertes totales dB	Einkopplungswinkel Angle d'injection $\varnothing^\circ$	Fortpflanzungswinkel Angle de propagation θ°	Dispersion Dispersion μ sec/km
35	8	6,2	4	0,01	0,9	50	3,4	2,3	4,0
	16	3,22				52	4,8	3,2	7,8
120	8	5,9	14	0,03	1,8	47	1,9	1,3	1,2
	16	3,1				49	2,7	1,8	2,4*
480	4	8,2	25	0,2	0,4	33	—	(HE ₁₁)	0,21
	8	4,1							0,42
	20	1,7							1,1

* (Maximum für 480 Mbit/s – Valeur maximum à 480 Mbit/s)

nicht einfach durch die Stromdichte im eingeschalteten Zustand, so sollte die Lebensdauer bei 25% Tastverhältnis besser sein als im kontinuierlichen Betrieb. Bei der Monomodefaser ist der Einkopplungswirkungsgrad kleiner als bei der Multimodefaser. In der Tabelle wurde ein Wert von 20% angenommen. Dies und die grössere notwendige Empfangsleistung bei der höheren Bitrate wirkt sich wieder auf den tolerierbaren Gesamtverlust und somit auf den Verstärkerabstand aus.

31 Anwendungsbereich

Die hauptsächlichsten möglichen Vorteile der optischen Nachrichtenübertragung durch Glasfasern sind:

- grosse Bandbreite
- geringe Materialkosten
- geringe Grösse

Der grösste Teil der Anforderungen kann jedoch auch mit Kupferkabeln erfüllt werden. Es ist deshalb notwendig, zu untersuchen, für welche Anwendungen Glasfasern niedrigere Kosten verursachen können, verglichen mit Kabeln inklusive Spleissung, Verstärkern, Endausrüstungen und Installationen.

311 Systeme hoher Kapazität über grosse Distanzen

Zunächst einige Vorbetrachtungen:

Bei einer Übertragungsrate von 1 Gbit/s und 64 kbit/s für eine Telefonverbindung können etwa 15000 Gespräche gleichzeitig über eine Glasfaser in einer Richtung geführt werden. Diese Verkehrsdichte entsteht bei einem Verkehrsfluss von 0,1 Erlang von 150000 Teilnehmern. Eine Glasfaser mit 1 Gbit/s ermöglicht die Übertragung von 1000 Gesprächen und etwa 60 Bildtelefongesprächen mit 1 MHz Bandbreite oder 41 Mbit/s. Dies würde der Verkehrsdichte einer Telefonzentrale mit 10000 Telefonabonnenten und 600 Bildtelefonabonnenten entsprechen. Nach dem heutigen Stand der Bildkompression könnte bei deren Anwendung die Zahl der 600 Bildtelefone auf mindestens 3000 erhöht werden. Kupfersysteme würden in diesem Fall 9,5-mm-Koaxialkabel mit Verstärkerabständen von 1...2 km verwenden mit einer Kapazität von 0,5...1,5 Gbit/s.

Ein Monomode-Glasfaserkabel wäre wesentlich billiger und mit Verlusten von 20 dB/km oder darunter der Verstärkerabstand gleich oder grösser als beim Koaxialkabel. Die Kosten des Gesamtsystems wären deshalb geringer. Schätzungen von AEG-Telefunken ergeben Kosten von etwa 2 DM/Kanal-Kilometer.

312 Systeme mittlerer Kapazität über mittlere Distanzen

Konventionelle Systeme verwenden 4,4-mm- oder 2,8-mm-Koaxialkabel mit Verstärkerabständen von typisch 2 km und Bitraten von 34...120 Mbit/s. Optische Kabel, Mono- oder Multimode, würden etwas billiger als koaxiale, aber die Dämpfung müsste kleiner als 15 dB/km und der Verstärkerabstand etwa 4 km sein.

313 Lokale oder Teilnehmersysteme

Hier sind die Distanzen normalerweise so kurz, dass der Preis der Endausrüstungen dominiert. Mehrkanalsysteme können aus wirtschaftlichen Gründen nur begrenzt eingesetzt werden, und es werden individuelle Kabelpaare benutzt. Eine Ausnahme stellt das Kabelfernsehen dar.

Wenn jedoch breitbandige Teilnehmerdienste, wie Bildtelefon, Faksimile- oder Datenübertragungsgeräte, eingeführt werden, so werden optische Fasern als Alternative zu Koaxialkabeln interessant, entweder als Breitbandsystem mit

temps de montée, et de l'enclencher et de le déclencher par modulation différentielle. Si le processus de dégradation est dû à l'activité laser en soi et non à la densité du courant à l'état enclenché, la durée de vie, dans l'hypothèse d'un taux d'impulsions de 25%, devrait être plus longue qu'en service continu. Les fibres monomodes se caractérisent par un rendement d'injection plus faible que celui des fibres multimodes. Dans le tableau, une valeur de 20% a été admise. Ce taux et la puissance de réception nécessairement plus élevée à de hauts débits binaires se répercutent à nouveau sur la perte totale admissible et, partant, sur la distance entre répéteurs.

31 Domaines d'application

Les avantages majeurs de la transmission d'informations par fibres optiques sont les suivants:

- Grande largeur de bande
- Matériel d'un coût peu élevé
- Dimensions réduites

Les câbles de cuivre pouvant néanmoins satisfaire à la plupart de ces exigences, il est nécessaire d'examiner pour quelles applications les fibres optiques se révèlent plus avantageuses, en incluant dans le calcul les épissures, les répéteurs, les équipements terminaux et les frais d'installation.

311 Systèmes à grande capacité pour communications à grande distance

Considérons pour commencer qu'à un débit de transmission de 1 Gbit/s, et à raison de 64 kbit/s par communication téléphonique, une fibre optique est capable de véhiculer 15000 conversations simultanées dans une direction. Un tel volume d'échanges est engendré par 150000 abonnés dont la densité de trafic est de 0,1 Erlang. Une fibre optique d'une capacité de 1 Gbit/s permet donc la transmission de 1000 conversations conventionnelles ou de 60 communications visiotéléphoniques, lesquelles nécessitent une largeur de bande de 1 MHz ou un débit de 41 Mbit/s. Cette valeur correspondrait à la densité de trafic d'un central d'abonné auquel seraient raccordés 10000 abonnés au téléphone et 600 abonnés au visiophone. Si l'on appliquait les techniques de compression d'images connues actuellement, il serait possible de porter le nombre de visiophones de 600 à 3000 au moins. En pareil cas, les systèmes à conducteurs de cuivre devraient consister en câbles coaxiaux de 9,5 mm de diamètre avec des distances entre amplificateurs de 1...2 km et une capacité de 0,5...1,5 Gbit/s.

Une fibre optique monomode serait sensiblement meilleur marché et, compte tenu d'un affaiblissement de 20 dB/km ou moins, l'écart entre répéteurs serait le même ou plus grand que celui d'un système à câble coaxial. De ce fait, le coût du système pris dans son ensemble serait plus faible; les évaluations de la maison AEG-Telefunken s'établissent à quelque 2 DM/canal-km.

312 Systèmes de capacité moyenne pour communication à distance moyenne

Dans les systèmes conventionnels, les câbles coaxiaux utilisés ont des diamètres de 4,4 mm ou de 2,8 mm, l'espacement typique entre stations d'amplification étant de 2 km et le débit binaire se situant entre 34 et 120 Mbit/s. Les câbles optiques monomodes ou multimodes seraient quelque peu meilleur marché que les câbles coaxiaux, mais leur affaiblissement devrait être inférieur à 15 dB/km et l'écart entre répéteurs de 4 km environ.

mehreren Diensten im Multiplexbetrieb oder für mittlere Bandbreiten mit Faserbündeln. Eine Hauptforderung, die auch in diesem Fall zu erfüllen ist, bevor solche Anlagen verwirklicht werden, sind geringe Kosten der Endausrüstungen. Auch für das Kabelfernsehen kann die Glasfaser wirtschaftlich werden.

314 Neuartige Systeme

Da die Bandbreite von untergeordneter Bedeutung ist, lassen sich mit Glasfasersystemen neuartige Strukturen aufbauen. Bei AEG-Telefunken sind digitale integrierte Nachrichtennetze ohne zentrale Vermittlung im Studium, bei denen jeder angeschlossene Abonnent Zugang zur gesamten Information hat [7]. Infolge der einfachen Verstärker und der verhältnismässig kurzen Verstärkerabstände sowie der flexiblen Verlegbarkeit ist der Zugriff zu Glasfaserkanälen sehr leicht. Daher drängt sich die Frage auf, ob damit nicht ein Vielfachzugriffssystem geschaffen werden könnte ähnlich den Systemen mit Nachrichtensatelliten.

Ein Beispiel stellt die Ringleitung dar. Hier hat der Teilnehmer die Möglichkeit, die Information, die er sendet, wieder zu empfangen. Damit können Fehler erkannt und gegebenenfalls korrigiert werden. Die empfangene eigene Information muss hierauf vernichtet werden, bevor man sie durch eine neue ersetzen kann. Ein Nachteil der Ringleitung besteht darin, dass das gesamte Subnetz ausfällt, wenn der Ring irgendwo unterbrochen wird. Dies kann teilweise durch Einfügen von Verteilungspunkten aufgehoben werden.

4 Ausblick

Wenn man die möglichen Anwendungen der optischen Kommunikation vorauszusagen versucht, besteht die natürliche Tendenz, Vergleiche mit herkömmlichen Systemen zu ziehen. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass das Anwendungsspektrum in der Zukunft unsere gegenwärtige Vorstellung weit übersteigen wird. Die optische Nachrichtenübertragung wird viele neue Anwendungsgebiete erschliessen, wobei aber wahrscheinlich ist, dass zuerst experimentelle Systeme in Betrieb genommen werden müssen, bevor schlüssige Prognosen gemacht werden können.

Man kann jedoch sicher annehmen, dass die Einführung optischer Kommunikationssysteme nicht als Ersatz des bisherigen Telefonnetzes zu betrachten ist, sondern bei grösseren Neuinstallationen zur Anwendung kommen wird.

Bibliographie

- [1] Sandbank C. P. The Challenge of Fibre-optical Communication Systems. The Radio and Electronic Engineer 43 (1973) II, p. 665.
- [2] Börner M. and Rosenberger D. Laser Communication Technology in Germany. IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-22 (1974) 9, p. 1305.
- [3] Krumpholz O. und Maslowski St. Avalanche-Messphotodioden mit Quereinstrahlung. Wiss. Ber. AEG-Telefunken 44 (1971) 2, p. 73.
- [4] Cohen L. G. and Schneider M. V. Microlenses for Coupling Junction Lasers to Optical Fibers. Applied Optics 13 (1974) 1, p. 89.
- [5] Boivin L. P. Thin-Film Laser to Fiber Coupler. Applied Optics 13 (1974) 2, p. 391.
- [6] Börner M. et al. Lösbare Steckverbindung für Ein-Mode-Glasfaser-Lichtwellenleiter. Arch. Elek. Uebertragung 26 (1972), p. 288.
- [7] Ohnsorge H. und Maslowski S. Lasernachrichtensysteme mit Glasfaserkanälen. Technische Rundschau vom 27.2.1973 (siehe auch Techn. Mitt. PTT 51 (1973) 1, S. 19...27).

313 Systèmes locaux ou systèmes d'abonné

En ce qui concerne les systèmes locaux ou les systèmes d'abonné, les distances sont généralement si courtes que le coût des équipements terminaux domine. Les systèmes multivoies ne sont ici pas de grande utilité et l'on a recours à des paires de conducteurs individuelles, seule la télévision par câble faisant exception.

Toutefois, si des services d'abonnés exigeant une large bande passante devaient être introduits, tels que le visio-phonie, les équipements de fac-similé ou de transmission de données, les fibres optiques pourraient devenir une variante intéressante par rapport aux câbles coaxiaux, que ce soit sous forme de systèmes à large bande prévus pour plusieurs services en multiplex ou à largeur de bande moyenne sur câbles multifibres. En pareil cas, une condition essentielle à remplir serait le faible coût de l'équipement terminal. La fibre optique pourrait se révéler économique pour la télévision par câble également.

314 Nouveaux systèmes

La largeur de bande ayant une importance de second ordre, les systèmes à fibres optiques permettent la constitution de nouvelles structures. La maison AEG-Telefunken étudie actuellement des réseaux d'information numériques intégrés, sans commutation centralisée, où chaque abonné raccordé pourrait accéder à l'ensemble des informations [7]. En raison de la simplicité des répéteurs, de la longueur relativement faible des sections d'amplification et de la pose pouvant facilement être adaptée aux conditions, l'accès aux voies par fibres optiques est très simple. On peut dès lors se demander s'il ne serait pas indiqué de créer un système à accès multiple, comme celui qu'utilisent les satellites de télécommunication.

A cet égard, la ligne de ceinture peut être prise comme exemple. L'abonné raccordé a la possibilité de recapter l'information qu'il émet, de reconnaître ainsi des fautes et de les corriger au besoin. Avant qu'une nouvelle information sorte en ligne, il faut que l'ancienne soit reconnue correcte et détruite. L'un des inconvénients de cette ligne réside dans le fait que le sous-réseau tout entier tombe en panne lorsque le circuit de ceinture est interrompu en un endroit quelconque. On peut remédier en partie à ce défaut, en insérant des points de répartition.

4 Perspectives

En supputant les applications possibles des moyens de communication par voie optique, on est naturellement tenté d'établir des comparaisons avec des systèmes classiques. Il est toutefois probable que l'éventail des possibilités futures dépasse largement tout ce que l'on peut concevoir aujourd'hui. La transmission d'informations par voie optique s'étendra à de nombreux domaines nouveaux, mais il faudra sans doute attendre les résultats d'exploitations expérimentales avant d'établir des pronostics concluants.

On peut toutefois admettre avec certitude que les moyens de communication par voie optique ne remplaceront pas le réseau téléphonique actuel, mais qu'on y recourra pour de nouvelles installations de grande envergure.