



光接続における実装の現状

中 島 啓 幾

(株)富士通研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 10-1

(1990年11月8日受理)

Packaging Technology in Optical Interconnection

Hirochika NAKAJIMA

Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi, 243-01

1. はじめに

光通信技術は1970年代の黎明期, 1980年代の発展期を経て1990年代の普及期に入ったといえよう。すなわち, DFB-LD とシングルモードファイバに代表される Gb/s・長距離伝送の基本テクノロジーがほぼ完成し, 一昔前までは夢とされた光直接増幅さえも現実大きく近づいたのが1989年であった。これに対して, 2000年に向けてわれわれがなさねばならないことは光通信のダウンサイジングともいうべき機器間光接続や加入者系光伝送などをいかに経済的に実現していくかにある。このためには, 光技術の大きな課題でもある「実装」について本格的な取組みが必要になってきている。本稿では広義の「光接続」と「実装」について現状をまとめるとともに21世紀をめざす際の方向と目標について論じる。

2. 光デバイスにおける光接続・実装の現状

2.1 幹線系光通信デバイス

幹線系光通信では損失なく光を単一モードファイバに導き, 高速かつ長距離に伝送することが求められる。最も大きな損失は半導体レーザー (LD) とファイバの結合部で発生する。これは両者のフィールド分布が一致しないことのみならず, 光学系にきわめて厳しい位置精度が要求されるためである。図1に代表的な結合光学系を列挙する。分布帰還型レーザー (DFB-LD) では反射戻り光を除去する目的でアイソレータ部を結合光学系の中に挿入する。このため, 共焦点光学系が採用される例が多い¹⁾。しかし, 従来はレンズの収差が無視できず, 結合損失が大きかった。最近, 図2に示されるような先球

GRIN レンズ²⁾や非球面ガラスレンズ³⁾の採用により結合損失は1dBにまで低減されてきている。

伝送路中に挿入されるいわゆる光受動回路にとって, 挿入損失の低減はもとより偏光依存性の除去が必須条件となる。図3はこれまでの要求を満たしたインライン型光アイソレータ⁴⁾である。光アイソレータには前述の光源部に付加して反射戻り光の低減をはかるタイプに加え, 伝送路中に挿入されるインラインタイプがあり, 最近ファイバ増幅器の発振を防ぐ目的で急速に普及しつつある。ここに示した構成はレンズによる平行ビームとファイバとの結合特性をたくみに利用している。順方向光はファラデー回転子と複屈折テーパー板によりわずかにシフトした平行な偏光ビームに分離するが, 損失にはほとんど影響しない。一方, 逆方向の戻り光は両偏光が互いに光路に対して逆向きの屈折を受けるため, ファイバに集光されず, 大きな損失が容易に得られる。挿入損失は順方向が1dB, 逆方向が約40dBで非相反部を二段化すると順方向損失を増加することなく60dBの逆方向損失が得られる。反射戻り光を低減する目的で使用している光学部品は無反射コーティングされ, 光路と一定角度をなして配置されている。このインライン型光アイソレータを用いた光増幅モジュールについては本巻第5号の解説⁵⁾を参照されたい。

偏光依存性のない受動デバイスのもう一つの例として磁気光学スイッチ⁶⁾を図4に示す。この場合は薄板YIGによる45°ファラデー回転子中を平行に分離した偏光ビームが透過するよう, 収束ビーム系を用いている。このために必要となるロッドレンズはファイバと一体化されて位置合わせが容易になるよう工夫されている。また,

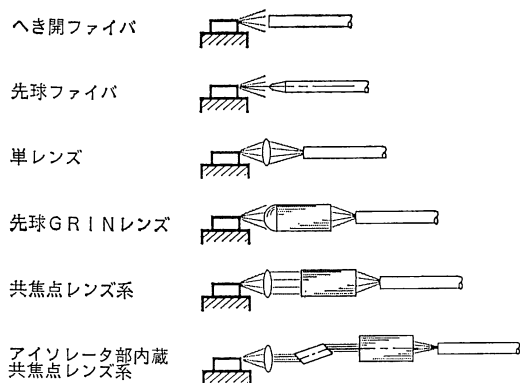


図 1 LD-ファイバ結合光学系

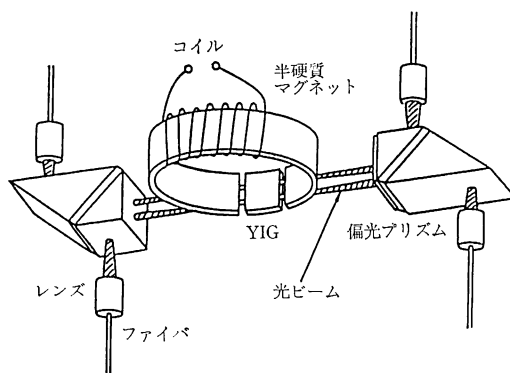
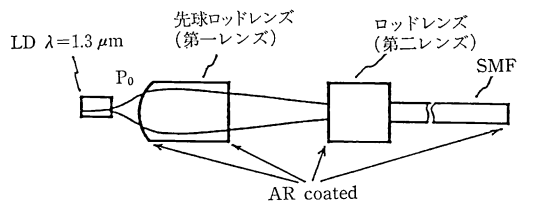
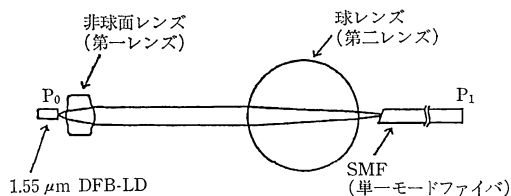


図 4 2×2磁気光学スイッチ⁶⁾



(a) 先球ロッドレンズ



(b) 非球面ガラスレンズ

図 2 低損失結合光学系^{2,3)}

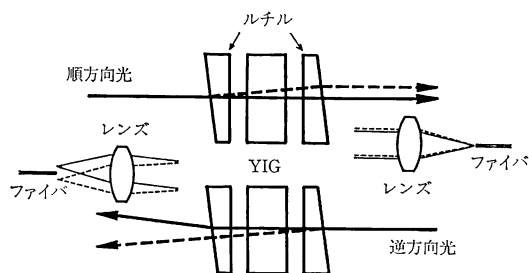


図 3 偏光無依存インラインアイソレータ⁴⁾

2×2切替機能を実現するため、特殊な偏光分離合成プリズムが開発された。挿入損失は 1dB、クロストークは 25dB で 100mA-100μs のパルスにより切り替えられ、自己保持される。非機械的に単一モードファイバを切り替えることのできる実用化された最初の光スイッチである。システムに冗長度を持たせたり、ファイバ網

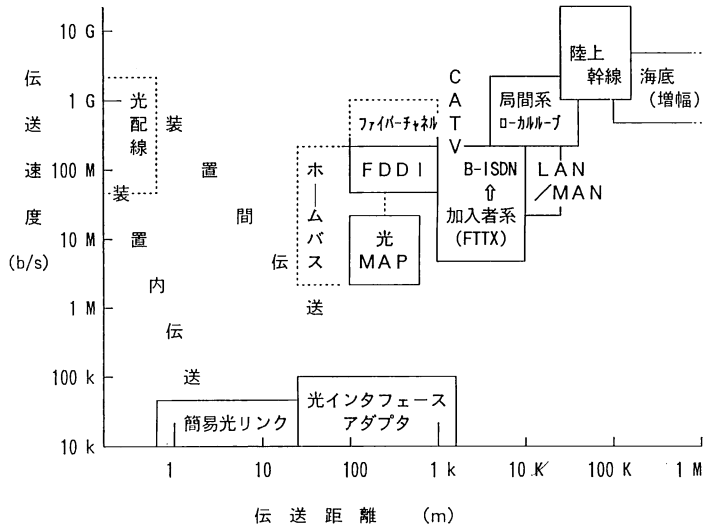
を構成していく上で接続点にスイッチを配置する動きは今後活発化するであろう。

2.2 光通信の適用領域の拡大

前節では磁気光学効果を利用したユニークなデバイスを紹介してきたが、これらは幹線系光通信に使われた例であり、かならずしも読者の眼にとまるところで使われているものではない。光通信の適用領域は図5に示すように距離および速度からみても、また、適用対象からみても広範な可能性を秘めている。今後、幹線系光通信はますます大容量化・長距離化の方向へ進み情報化社会のパイプを格段に太くするために役立つはずである。これに対して、量産化技術や使い易さが前提となる非幹線系光通信の普及は光技術をより身近かものにするための大きな課題である。この両者のバランスのとれた進展こそが90年代の光産業の発展の鍵をにぎっているといっても過言ではない。そのような観点からすでに実用化の域に達している非幹線系光通信における接続実装技術の例を次節に示す。

2.3 非幹線系光通信デバイス

図6は高速光LANの国際標準となったFDDI (fiber distributed data interface) ケーブルの送受信器接続用コネクタである⁷⁾。伝送速度が 100 Mb/s 程度で距離も最長 2km であるため、多モードファイバと LED の組合せで伝送される。1本のケーブルの中に入り 2本のファイバが入っており、コネクタは2心である。接続損失は 1dB 以下で 500回の着脱を保証している。従来の電気コネクタと同じ感覚で取り扱えるような形態を取っている。ワークステーション等の端末側には E/O, O/E および信号処理用 LSI が装備され LAN 網のノードとなる。各ノードが故障した場合でも全体のシステムがストップしないためにはこの2心コネクタにスイッチを付



B-ISDN: Broad-band ISDN
 FDDI: Fiber Distributed Data Interface
 FTTX: Fiber to the (Home, Pedestal, ...)
 LAN: Local Area Network
 MAN: Metropolitan Area Network
 MAP: Manufacturing Automation Protocol

図 5 90年代光通信の適用領域

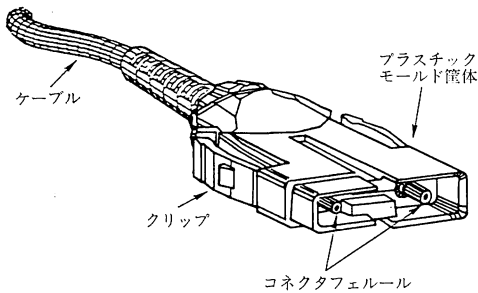


図 6 FDDI 送受信器接続用コネクタ⁷⁾

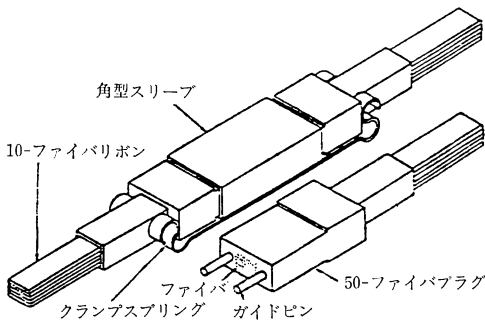


図 7 単一モード 50 心光コネクタ⁸⁾

とともにコネクタに代表される実装技術も重要な要素となる。

本格的普及が待たれている加入者系光通信では最終的に各家庭まで光ファイバを敷くための要素技術の一部がすでに出来上がっている。図 7 はテープファイバリボン同士の接続用として開発された単一モード多心コネクタ⁸⁾である。精密プラスチック成形による多心フェールにより、平均接続損失は 10 心で 0.4 dB, 50 心では 1.2 dB が得られている。接続部に屈折率整合剤を必要とするなど課題も残されているが、加入者系ファイバに関する基本技術はすでに確立されているといえよう。問題は低価格で提供できる光送受信器の実装技術である。この場合に重要となる、前述の FDDI コネクタのように着脱可能な加入者系志向の多心プラグインコネクタに関する報告⁹⁾も最近行われている。

3. 光接続・実装技術の将来展望

前章ではファイバ中を伝送してきた光をいったん空間に出して処理するバルク型光デバイスとファイバ同士の接続について述べたが、今後実用化が期待されている新しい形態として導波路型光デバイスがある。光ファイバと同様の原理で屈折率の高い部分に導波光を閉じ込めて光の回路を伝播させながら光信号を処理しようというものである。高速性や多機能集積などの性能面のみならず量産性にも優れるため、光集積回路のトップバッターと

加することが望ましい。残念ながら多モード用光スイッチとしては機械式のものしか実用化されていないのが現状である。今後、より高速化の方向に進むにあたって光素子・ファイバの選択と LSI の開発が大きな鍵を握る

して大きな期待があった¹⁰⁾。しかし、従来の point to point 伝送では出番がなかなかなかったことおよび伝送路ファイバとの接続に課題があったため、実用に供せられなかった。

ところが、ギガビット伝送の中継距離が光増幅の出現で飛躍的に増大し、伝送距離がファイバの分散により制限されるようになって一躍脚光を浴びる導波路デバイスが出現した。図8に示すマッシュェンダ型外部変調器がそれである¹¹⁾。このデバイスはニオブ酸リチウム結晶 (LiNbO₃; 以下 LN) 基板上に金属 Ti を熱拡散して導波路を形成するタイプで、すでに約10年前に18 GHz の高速変調が達成されている¹²⁾。導波光をいったん分岐し電気光学(ポッケルス)効果によって位相をずらして干渉を起こし、強度変調とするこのマッシュェンダ型は他の変調方法に比べて最も波長チャージングが少ない¹³⁾。このため分散に耐えて歪みの少ないパルスを送送できることから、近年、長距離伝送実験には不可欠なものとなってきている¹⁴⁾。

このマッシュェンダ変調器を例にとって、以下に導波路デバイスにおける接続実装技術の進展について述べる。まず光接続に関しては図9に示す導波路とファイバの接続方法で過剰損および温度変動を抑止し、信頼性を

確保している。このルビービーズ法¹⁵⁾を用いることによって挿入損失 2 dB の変調器が実現し、0~60°C の温度範囲で損失変動も 0.2 dB 以下が得られている。従来の Si-V 溝等を使う密着型¹⁶⁾では得られない低損失・温度安定な接続法である。一方、広帯域な変調特性を得るためには電気系の接続も重要な課題となり、マイクロ波の挙動を理解した実装方法が必要となる。この点を工夫すると動作電圧 5 V (波長 1.55 μm) に対して変調帯域を 20 GHz まで拡大できる¹⁷⁾。

導波路型デバイスとして今後の発展が期待されているものにマトリクススイッチがある。図10はLNを用いた8×8スイッチを低電圧(12 V)で構成するため、対称な2チップを接続して1クロスポイントあたりの方向性結合器長を長くした例¹⁸⁾を示している。マトリクススイッチでは限られた大きさのウェハ上に数多くのチャンネルを集積しようとするため相互作用長が短くなり電圧の増大を招く結果となる。チップ同士の直接接続はこの点で一つの解となりうる。

導波路型デバイス用光配線材料としては LN のほかにガラス系、ポリマ系そして半導体系があげられる。これら異種材料を光学的および電氣的に接続実装する手法はモノリシックではなくハイブリッドにならざるを得ない。図11はSi基板上に双方向光送受信器をハイブリッド実装¹⁹⁾した模式図を示す。もちろん、一方で化合物半導体基板上にモノリシックに集積化する手法は OEIC (光電子集積回路) 技術^{20,21)}を含んで発展していくであろう。OEIC の最近の動向としてフリップチップ接続²²⁾などの現実的な手法も取り入れられつつある。一方、コンピュータ内の高速リンクをめざした OEIC 型送受信器の研究も精力的に行われている^{23,24)}。従来の電気ケーブルとの互換を考慮した、より現実的な並列光伝送モジ

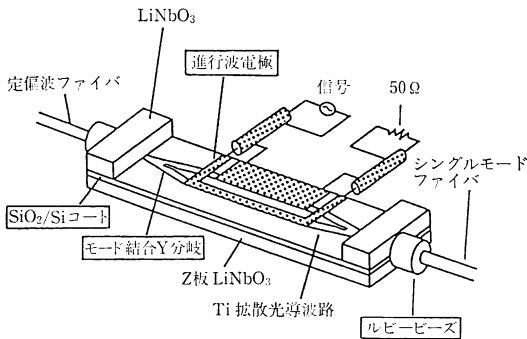


図8 低損失マッシュェンダ導波路型外部変調器¹¹⁾

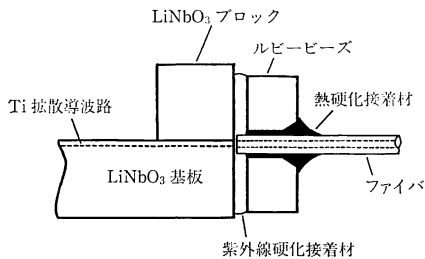


図9 ルビービーズによる導波路=ファイバの永久接続¹⁵⁾

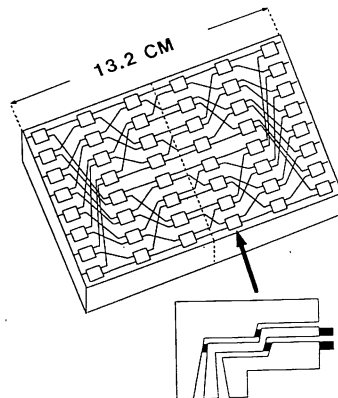
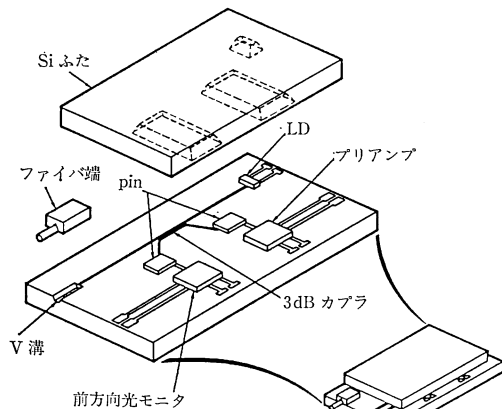
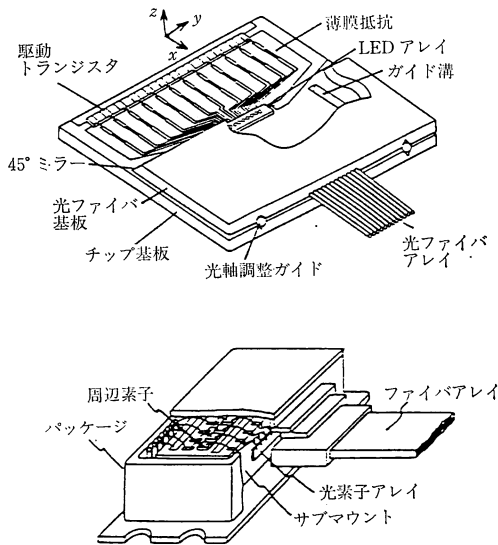


図10 8×8 LN マトリクススイッチ¹⁸⁾

図 11 ハイブリッド光集積回路¹⁹⁾図 12 12チャンネル並列光伝送受信器²⁵⁾

ュール^{25,26)}が LED アレイと多モードファイバの組合せで実現され、 ~ 200 Mb/s、12 心で 100 m \sim 1 km の伝送実験が行われている。図 12 に使いやすく小型にパッケージされた例を示す。今後、アレイ化や面型の光デバイスを必要とする応用はますます盛んになるが、クロストークを考慮した実装技術が重要な鍵を握っていることはいうまでもない。

4. ま と め

光通信の接続における実装技術について 80 年代に実

用化された技術、90 年代に伸びようとしている技術を断片的に紹介してきた。エレクトロニクスが工場で無人化されつつ成熟した製品群を社会に供給し続けていくのに対し、光の先端技術は未だ手造りの芸術品の域を脱していないのが残念ながら現状である。プリント板の上に電気も光も区別なく搭載されて²⁷⁾、お互いの特長を活かしながら高度情報化社会の両輪となる日が一日も早く到来することを念願する立場から、「光実装」により多くの研究者・技術者が結集されることを切望する。

文 献

- 1) T. Sugie and M. Saruwatari: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-4** (1986) 236.
- 2) 本望 宏, ほか: 1989 年電情通学会春季全国大会 C-454.
- 3) 尾中 寛, ほか: 1989 年電情通学会春季全国大会 C-541; 1989 年応物学会秋 28p-ZH-7.
- 4) M. Shirasaki, *et al.*: Appl. Opt., **21** (1982) 4296; ECOC '86-II, 11.
- 5) 堀口正治: 光学, **19** (1990) 276.
- 6) M. Shirasaki, *et al.*: Appl. Opt., **23** (1984) 3271.
- 7) D.B. Keck, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-7** (1989) 1623.
- 8) T. Satake, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-6** (1988) 269; 1988 年電情通学会半導体・材料部門全国大会 461.
- 9) 岩野真一, ほか: 1990 年電情通学会春季全国大会 C-342.
- 10) 微小光学研究グループ編: 光集積回路 (朝倉書店, 東京, 1987).
- 11) 清野 實, ほか: 電情通学会光・量エレ研究会 OQE 89-35.
- 12) M. Izutsu, *et al.*: Trans. IECE Jpn., **E-63** (1980) 817.
- 13) M. Koyama and K. Iga: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-6** (1988) 87.
- 14) 萩本和男: 光技術コンタクト, **28** (1990) 207.
- 15) N. Mekada, *et al.*: MOC '87, H4.
- 16) E. J. Murphy, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **6** (1985) 759.
- 17) M. Seino, *et al.*: ECOC '90 PD-3.
- 18) J. E. Watson, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-8** (1990) 794.
- 19) C. H. Henry, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-7** (1989) 1530.
- 20) O. Wada, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-7** (1989) 186.
- 21) T. Horimatsu and M. Sasaki: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-7** (1989) 1612.
- 22) 牧内正男, ほか: 電情通学会光・量エレ研究会 OQE 88-108.
- 23) J.D. Crow: IOOC '89, 21 D1-5.
- 24) J.F. Ewen, *et al.*: IOOC '89, 20 D4-3.
- 25) 伊藤正隆, ほか: 1990 年電情通学会春季全国大会 C-276, 277.
- 26) Y. Ohta, *et al.*: IEEE J. Lightwave Technol., **LT-5** (1987) 1118; OEC '90, 11 D1-4, 5.
- 27) 内田禎二: エレクトロニクス実装技術 **6**, No. 8 (1990) 9.