

最近の技術から

モードフィールド変換ファイバー

柳川 久治

古河電気工業(株)光技術研究所 〒290 市原市八幡海岸通 6

1. ま え が き

高機能性によりある程度のコストの許容された幹線通信用光デバイスとは異なり、光加入者系用光デバイスでは経済性が実用化の絶対条件となる。平面光導波路チップと入出力リードとしての光ファイバーとからなる光デバイスでは、単品ごとに実施する必要がある実装、なかなかチップ-ファイバー間接続がコストの主要因になると考えられる。ところで、これまでのチップ-ファイバー間接続は、相互に大きく異なるモードフィールドの形状・寸法を整合させるためにレンズ系を光導波路チップと光ファイバーの間に挿入し、それぞれの光軸が一致するようにこれらを微動調心し固定することにより行われてきた。しかしながらこの場合、レンズ系という追加の部品を必要とする上に組立作業が煩雑であり、材料費・加工費とも高くなりがちであった。これに対して、光導波路チップと光ファイバーをレンズ系なしに無調心で直接突き合わせる手法では大幅なコスト低減が期待できる。ここで必要とされるモードフィールド整合は光導波路チップ側で実現することも検討されているが¹⁾、本報告ではこれを光ファイバー側で実現するモードフィールド変換ファイバー (mode-field-converting fiber: MFC ファイバー)²⁾ について、最近の研究成果を紹介する。

2. MFC ファイバーおよびその製造方法

MFC ファイバーとは、①片端のモードフィールドが光デバイス導波路チップに、②他端のモードフィールドが伝送路用標準光ファイバーに整合し、③これらにモードフィールドを低損失で変換するテーパの形成さ

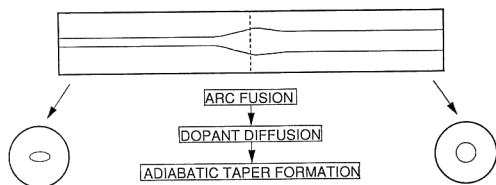


図1 モードフィールド変換ファイバー

れた、光ファイバーである。光導波路チップのモードフィールドが楕円であるときの MFC ファイバーの構成を図1に示す。MFC ファイバーは光デバイス導波路チップと低損失の突合せ接続が可能である。

MFC ファイバーは、光デバイスに整合した特殊ファイバーを部分的に加熱処理 (TECファイバー³⁾)、片端におけるモードフィールドが伝送路用標準ファイバーに一致するように作製することもできるが、製造性を考えた場合、①特殊な光ファイバーと、②標準ファイバーを融着接続し、③接続点を加熱し断熱テーパを形成することにより作製する方が望ましい²⁾。この場合、コア端の拡散は径方向だけでなく長手方向にも同時に進行するので、特に拡散プロセスを制御しなくとも自動的にコアが整合するようにテーパが形成され、歩留りが高い。また、寸法変換のみならず形状変換や寸法・形状の同時変換も、寸法の拡大のみならず縮小も、同様の理由で制御性よく行える。

3. 形状変換ファイバー

一般の半導体光導波路チップは楕円のモードフィールドをもつが、これに整合した楕円モードフィールドをもつ特殊光ファイバーは単なる楕円コアでは実現できない。実際、比較的大きな楕円率をもった楕円コアファイバーでも、そのモードフィールドがほぼ円状であることはよく知られている。これに対し、①楕円コアと、②低屈折率のクラッド1と、③クラッド1より高屈折率のクラッド2からなる特殊光ファイバーが提案されている²⁾。この光ファイバーでは、光は垂直方向では小さいコアで高い Δ を水平方向では大きいコアで低い Δ を感じる。したがってコアからの光のしみ出しの程度は同じであり、モードフィールドの楕円率はほぼコアの楕円率と等しくなる。このようにして試作された楕円モードフィールドファイバーの諸元は、コアの長径/短径比=2.7、 $\Delta_1=0.7\%$ 、 $\Delta_2=0.3\%$ であった。波長 $1.3\mu\text{m}$ における近視野像より求められたモードフィールドは、長径 $13.0\mu\text{m}$ 、

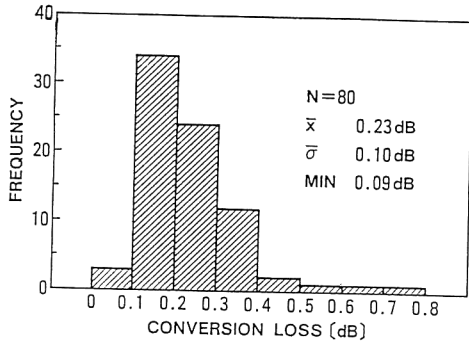


図2 楕円/円形状変換ファイバーの変換損失

短径 $6.2 \mu\text{m}$ とほぼ楕円率 2 の楕円であった。

この楕円モードフィールドファイバーと標準単一モードファイバー (モードフィールド直径 $9.5 \mu\text{m}$) とを融着接続装置により接続したのち、接続点を LPG と酸素ガスによるマイクロバーナーにより加熱することにより変換比 2 の MFC ファイバーが製作されている²⁾。80 本の MFC ファイバーの変換損失分布の評価結果を図 2 に示す。平均損失は 0.23 dB、標準偏差 0.10 dB であり、これは、楕円モードフィールドファイバーと標準単一モードファイバーとのモードフィールド不整合損失 0.7 dB に比べて、十分小さい値である。また、最小損失は 0.09 dB (変換効率 98% に相当) であり、これは実用に耐え得る値であるといえる。また、このときの偏波方向角による損失変化の最大偏移量は 0.40 dB 程度と系の再現性程度以下であることから、偏波依存性はないものと報告されている。

4. 寸法変換ファイバー

8 本の入出力導波路をもつ高 Δ 石英導波路との接続を適用対象として、大小の円状モードフィールド間での寸法変換を行う MFC ファイバーが報告されている。ここでは、 $\Delta=1.4\%$ の高 Δ ファイバーを集めたテープファイバーと標準単一モードファイバーを用いたテープファイバーにより 8 心アレイが試作されている^{2,4)}。このとき、マイクロバーナーの炎の大きさはテープファイバー幅と同程度であったので、テープ内の各ファイバー心線間で均一な加熱を行うため、マイクロバーナーをテープファイバーの幅方向に繰り返し走査している。このようにして得られた変換損失の測定結果を図 3 に示す。平均損失はわずかに 0.02 dB であり、初期のモードフィールド不整合損失 1.7 dB から大幅な損失低減が実現できた。この結果は、MFC ファイバーの使用により、3.4 dB

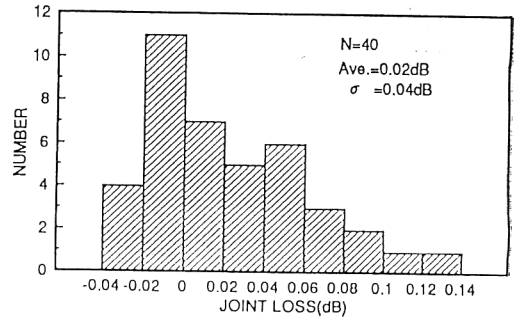


図3 円/円寸法変換 8 心ファイバーアレイの変換損失

($=1.7 \text{ dB} \times$ 入出力 2 箇所分) もの挿入損失低減が期待できることに相当する。

5. むすび

MFC ファイバーを用いた場合、光デバイスに整合した一般的には小さなモードフィールド同士の軸調心が必要となる。ところで、標準単一モードファイバーに整合した直径約 $10 \mu\text{m}$ のモードフィールド同士の突合せ接続では低損失の実装技術が既に確立されているが、これより小さな寸法のモードフィールド同士の接続では軸ずれ損失が大きくなる。一方、光導波路チップ側でモードフィールド変換を行うとそのための追加プロセスによって光デバイスの歩留りが低下するおそれがあるとともにほぼ完全に寸法整合をとろうとすると、例えば $15 \mu\text{m}$ 程度以上の導波路厚さが必要となり、通常の半導体成膜プロセスでは容易ではない。したがって、実際には光導波路チップ側、光ファイバー側の両方でこのような機能をもたせることも考えられる。

文 献

- 1) 柳川久治: “モードフィールド整合用導波路”, 光学, **19** (1990) 807-812.
- 2) 柳川久治, 小野卓宏, 及部 晃: “光デバイス結合用モードフィールド変換ファイバ”, 電子情報通信学会論文誌, **J77-C-1** (1994) 363-370.
- 3) K. Shiraishi, Y. Aizawa and S. Kawakami: “Beam expanding fiber using thermal diffusion of the dopant,” IEEE/OSA J. Lightwave Technol., **8** (1990) 1151-1161.
- 4) T. Ono, Y. Oyobe, T. Smizu and H. Yanagawa: “Very low loss mode-field converting fiber array,” Tech. Dig. 5th Optoelectronics Conf., Makuhari (1994) 15B4-4.

(1994 年 11 月 16 日受理)