

最近の技術から

スポットサイズ変換光ファイバ

白石 和男・川上彰二郎

東北大学電気通信研究所 〒980 仙台市青葉区平 2-1-1

1. ま え が き

光通信や光センシングなどでは光ファイバ線路の途中に種々の機能素子を挿入する場合がある。挿入する素子に導波作用がある場合は問題ないが、導波路を形成するのが難しい材料についてはファイバ間での回折損失を抑える工夫が必要になってくる。従来的一般的方法是図1(a)に示すような一組のレンズを用いた形式である。しかし、この方法には次のような問題がある。(1) 光軸の正確なアライメントが要求される。(2) デバイス全体の寸法が大きくなる。(3) 空間を通すためすべての構成素子に無反射処理が必要になる。(4) 収差の小さなレンズが必要。これらの問題を解決するひとつの方法として図1.(b)に示すようなファイバ埋込型が提案された^{1,2)}。これは単一モード光ファイバ (SMF) を伝搬する基本モードの界分布を拡大し、ファイバ間での回折を抑えることのできるファイバ (後に述べる TEC ファイバ) を応用したものである。図2に示すように基本モードのスポットサイズを拡大すると回折損失が急激に減少する性質を利用している。一例として、素子の挿入に伴う回折損失を 0.1 dB に抑える場合を仮定する。通常のファイバはスポットサイズ (半径) が $5\mu\text{m}$ 前後であるから素子厚は $50\mu\text{m}$ 以下にしなければならない。したがって (基板の大半を除去した) 多層膜波長フィルタなどの特殊な例を除けば、ほとんどの光素子はレンズなしでファイバに挿入することが不可能であった。しかし、仮にスポットサイズを3倍に拡大すれば許容厚は $400\mu\text{m}$ 近くになり、種々の光機能素子が挿入できるようになることがわかる。ここではこのスポットサイズを変換するファイバの特徴と応用例を紹介する。

2. 熱拡散によるコア拡大ファイバ

スポットサイズを広げる方法としては図3に示す3種の方法がある。Down-taper はファイバのコア径を細くし、正規化周波数を小さくして基本モードの界分布をクラディング中に広げる方法である³⁾。この効果は現在ファイバカップラの作製に利用されている。この方法は通常のファイバを使用できる利点があるが、界の閉じ込

め効果が極端に小さくなることにより機械的擾乱に弱い欠点がある。Up-taper はプリフォーム状ファイバの一部を線引したもので Presby らにより提案された⁴⁾。界の閉じ込めは強いが太い部分で正規化周波数が大きくなるため高次モードが発生しやすい問題がある。これらの方方法に対し、ファイバ中に存在する屈折率分布制御用ドーパント (たとえば GeO_2) を熱処理によって拡散させる方法^{2,5)} は以下の特長がある。(1) ドーパント量が不変なため正規化周波数が一定に保たれ、熱処理前後で

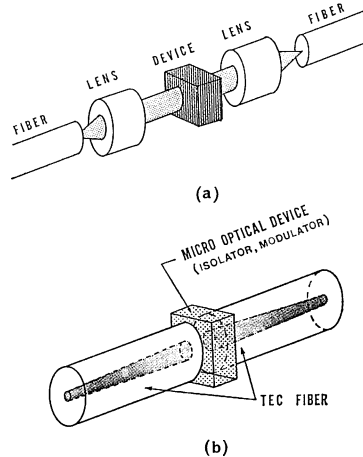


図1 インラインデバイス (a)従来型, (b)ファイバ埋込型

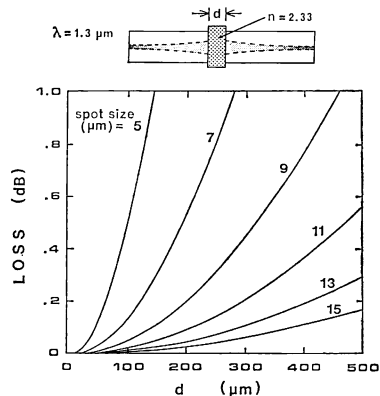


図2 ファイバ間隔に対する回折損失

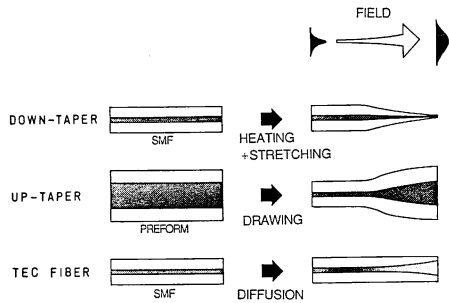


図3 スポットサイズ変換ファイバの3種の作製方法

単一モード条件を満たし、機械的擾乱にも比較的強い。(2) 市販の石英系 SMF が利用でき、また熱処理前後でファイバ径が変化しないためプラグ取付も可能。(3) 一度に多数のファイバを処理できる。この方法で作製されるスポットサイズ変換ファイバは TEC (thermally-diffused expanded core) ファイバとよばれている。

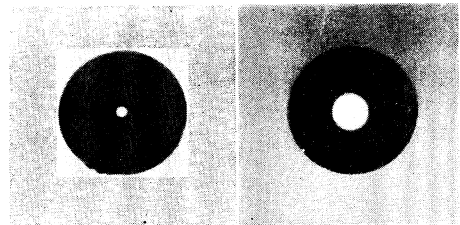
TEC ファイバの作製は、スポットサイズを拡大したい部分を通常 $1,200\sim 1,300^{\circ}\text{C}$ 、 $1\sim 30$ 時間保持する。時間は温度が高いほど短くてよく、短時間で拡散させることも可能である。電気炉を用いる場合には、ファイバが近赤外で透明なため、表面にカーボンをコートすると効率的に加熱できる。従来は GeO_2 などの石英ファイバ中のドーパントは安定で上記の温度では拡散しないと考えられてきた。しかし実験の結果、拡散係数はこれまで信じられてきた値よりはるかに大きいことがわかった⁵⁾。図4は波長 $1.3\mu\text{m}$ 用 SMF のスポットサイズを5から $16\mu\text{m}$ に拡大した例である。なお、ファイバに限らず、熱によるドーパントの拡散を利用した技術は薄膜導波路においても異種の光デバイス間の結合に応用できる⁶⁾。

3. TEC ファイバの応用

TEC ファイバを応用したファイバ埋込型デバイス例として光アイソレータが試作された⁷⁾。構造を図5に示す。構成素子はファラデー回転子にビスマス置換希土類鉄ガーネット(厚さ $190\mu\text{m}$)、偏光子に積層型偏光子 Lamipol⁸⁾(厚さ $30\mu\text{m}$ 、2枚)を用いた。TEC ファイバにはスポットサイズを 4.2 から $9.5\mu\text{m}$ に拡大した偏波保持ファイバ(Panda)を用いた。TEC ファイバ先端に Lamipol を貼り付け、市販のファイバコネクタを利用してファラデー回転子を挟み込み、セルフアラインで組立できた。挿入損失 0.9dB 、アイソレーション 44dB が得られた。

4. む す び

TEC ファイバはファイバ埋込デバイスのほか、先球



(a) 非熱処理端 (b) 熱処理端

図4 TEC ファイバの近視野像

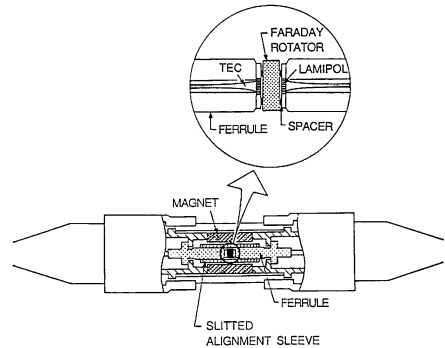


図5 ファイバ埋込型アイソレータ

加工することで LD と SMF との高効率結合、光ファイバカップラ、SMF 間の結合における軸ずれトレランスの拡大、等の応用が考えられる。さらに、計算機生成位相板⁹⁾は空間伝搬光の位相を制御し、多分岐・合波や波面整形による種々の光デバイス間の結合を可能にすることで知られているが、この回路に TEC ファイバを使用すればより高機能の位相板回路が実現できる。また TEC ファイバは斜め研磨により通常の SMF よりも大きな反射戻り光損失が得られる等、種々の特長があり今後の発展が期待できる。

最後に、実験でご助力下さった相沢芳三氏に感謝します。

文 献

- 1) K. Shigihara, *et al.*: J. Appl. Phys., **60** (1986) 4293-4296.
- 2) S. Kawakami, *et al.*: Tech. Dig., OEC '88, paper 3C2-3 (1988).
- 3) 古屋一仁, ほか: 電子通信学会総合全国大会 (1978) p. 894.
- 4) H. Presby, *et al.*: Appl. Opt., **27** (1988) 3121-3123.
- 5) K. Shiraiishi, *et al.*: J. Lightwave Technol., **8** (1990) 1151-1161.
- 6) K. Baba, *et al.*: J. Appl. Phys., **45** (1984) 815-817.
- 7) 白石和男, ほか: 電子情報通信学会春季全国大会, C-291 (1990).
- 8) S. Kawakami: Appl. Opt., **22** (1983) 2426-2428.
- 9) S. Kawakami, *et al.*: J. Lightwave Technol., **7** (1989) 1412-1418.

(1990年7月30日受理)