

石英ロッドレンズを用いた小型光部品

光電子技術研究所 百津仁博^{*1}・小田研二^{*1}・野口善清^{*1}・西脇賢治^{*1}
浅野健一郎^{*1}・細谷英行^{*2}

Miniaturization of Micro-Optic Devices Using Silica Rod Lens

N . Momotsu , K . Oda , Y . Noguchi , K . Nishiwaki , K . Asano & H . Hosoya

マイクロレンズを用いたビーム伝播型光部品では、光機能素子を変更するだけで様々な光部品を構成できるという利点がある反面、小型化・低価格化が困難であると言われてきた。この種の光部品の大きさを制限しているのは、マイクロレンズであることから、われわれは石英系ファイバの製造方法であるPCVD (Plasma Chemical Vapor Deposition) 法を用いることで、従来品との体積比約1/60で石英ロッドレンズを作製することに成功した。また、レンズと光ファイバの直接融着技術を開発することにより、ビーム伝播型光部品の大幅な小型化・低価格化のみでなく、光学特性・信頼性においても優れた特性を有していることを確認した。

Many kinds of micro-optic devices incorporating micro-lens can be fabricated by changing only the optical functional element. However, the devices are difficult to miniaturize and to reduce costs. As the size of micro-optic devices is limited by the size of micro-lens, therefore we utilized the PCVD (Plasma Chemical Vapor Deposition) technology to significantly reduce the volume of silica rod lens by 1/60. Furthermore, we have developed a technology to splice optical fiber directly to the lens, resulting in micro-optic devices that are not only miniaturization and low-cost but also exhibit good optical performance and high reliability.

1. ま え が き

インターネットに代表されるデータトラフィックの急増にともない、1990年代後半から光通信システムに波長多重伝送技術を導入することによる伝送容量の拡大化が推し進められてきた。現在では、基幹系のみならず、メトロポリタンネットワークやアクセスネットワークにも波長多重伝送技術が展開されつつある。本報では、これら波長多重伝送システムを構成する光合分波技術・広帯域光増幅技術を支えるキーコンポーネントである、マイクロレンズを用いたビーム伝播型光部品に関する最新の開発成果について報告する。

2. ビーム伝播型光部品の適用例と要求事項

波長を分離・多重化を行う光合分波器と光増幅を行うエルビウム添加光ファイバ増幅器 (Erbium-doped Fiber Amplifier, 以下EDFA) の一般的な構成例を図1, 2に示す。図中の印で示されている部品がビーム伝播型光部品またはファイバ型光部品で構成されている。

今後の光伝送システムを構築する上では、様々なネッ

トワークへの適用を考慮して、設置スペースの制限による装置の小型化、低価格化、高信頼性化が求められている。従って、これらの装置に使用される光部品にも、高密度実装に適した小型化・複合化と、低価格化が強く要求されている。また、波長多重数の増加にともない、伝送路を流れる光の総エネルギーが高くなるため、ハイパ

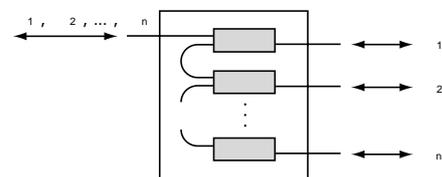


図1 光合分波器の構成例
Example of multi/demultiplexer

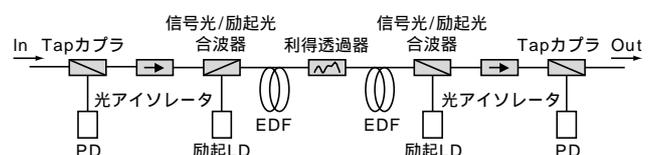


図2 EDFAの構成例
Example of EDFA

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループ長

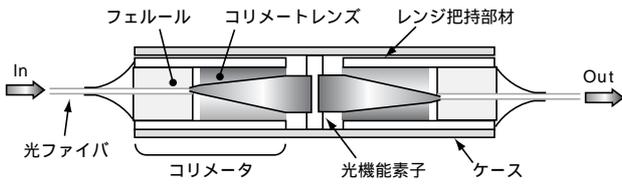


図3 ビーム伝播型光部品の基本構造
General structure of micro-optic device

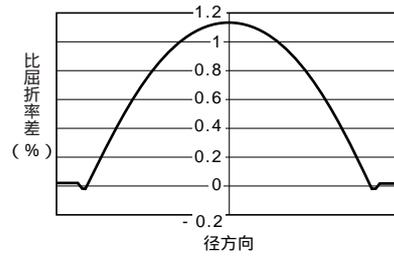


図6 レンズ母材の屈折率分布
Index profile of the lens preform

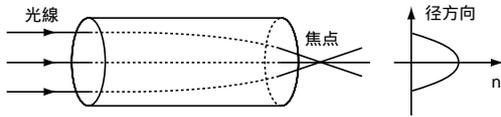


図4 ロッドレンズ
Rod lens

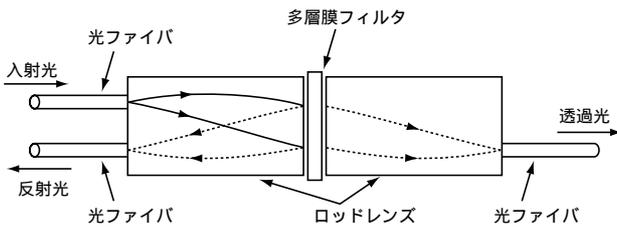


図5 ロッドレンズを用いた光合分波器
Multi/demultiplexer using rod lens

ワース光が光部品に入射されても損傷しない耐ハイパワー光特性が要求されている。

3. ビーム伝播型光部品の構造

現在市場で使用されている代表的なビーム伝播型光部品の構造¹⁻³⁾は、図3に示すようにコリメートレンズの間に光機能素子が配置されている構成となっている。光機能素子の代表例としては誘電体多層膜フィルタ素子や光アイソレータ素子等が挙げられる。またこのタイプの光部品は、光機能素子を複数個直列に配置することで容易に複合部品を実現できる利点がある。

使用されるレンズは、コリメートレンズとよばれ、光ファイバから出射される拡散光を平行光に変換して空間を伝播させたり、逆に平行光を集光したりする機能を有している。コリメートレンズには、主に球レンズ、非球面レンズ、屈折率分布型レンズ等⁴⁾が使用されている。ビーム伝播型部品に最も多く使用されているコリメートレンズである屈折率分布型レンズは、レンズの光軸中心から外側に向かって屈折率(n)が放物線状に低くなっているロッドレンズであり、光が屈折率の高い方へ曲げられる特性を利用してレンズ作用を持たせている。屈折率分布型レンズ(以下ロッドレンズ)を用いて光が集束する様子を図4に示す。ロッドレンズは、光入射面が平面になっているため、光部品に組み上げる時、扱いやすく簡単に組み立てられる特徴がある。ロッドレンズを用いた光合分波部品の例を図5に示す。

4. 小型化

図3に示されるように、ビーム伝播型光部品の大きさ

を制限しているのは、コリメートレンズの大きさである。市販されているロッドレンズの多くは、外径1.8mm・長さ約5mmであり、光部品の小型化には、このレンズの小型化が必須である。しかし、単純にレンズ径を小さくすると、コリメートレンズから出射されるビーム径も小さくなり、回折の効果を受けて平行ビームのまま伝播する距離が短くなり十分な光学特性を得られないことから、レンズ径(ビーム径)の最適化が必要となる。ここで、ビーム径をw、波長をλとすると、平行ビームの伝播距離zは次式で表される。

$$z = w^2 / \lambda$$

一方、ビーム伝播型光部品で使用される光機能素子の長さは2~3mmであり、ビーム径は150μm⁵⁾で十分となる。

レンズの作製方法としては、光ファイバ製作技術を応用し、PCVD法⁶⁾を用いて石英ガラスに屈折率分布を形成させたレンズ母材を作製し、線引きにより最適ビーム径になるレンズ径まで細径化させている。作製したレンズ母材の屈折率分布を図6に示す。また、ビーム径150μmのときレンズ径は0.4mm、レンズ長は約1.7mmであり、従来品との体積比で約1/60の小型化を実現している。

5. 高信頼性化・耐光パワー特性向上

従来のビーム伝播型光部品においては、エポキシ系接着剤で光機能素子を固定しているため、耐湿度特性等の高信頼性化において障害となっていた。また、ハイパワー光に対する耐性に関しても光路部に存在する接着剤の劣化により制限が生じていた。そこで、本開発品では、従来固定に使用していたエポキシ系接着剤を、はんだ・低融点ガラス・融着接続に置き換え、高信頼性および耐ハイパワー光特性の向上を達成した。

5.1 レンズ-光ファイバ融着接続

ロッドレンズを石英ガラスで作製することにより、同一材料である光ファイバとの融着接続が容易となる。しかし、実際には光ファイバとロッドレンズでは熱容量に大きな差があり、一般的に光ファイバ同士の接続に使用されている放電融着方式では、十分な接続強度を得た状態で低損失に接続することが困難である。そこで、熱源としてCO₂レーザーを用いて、レーザー光の照射方向、時間、

エネルギー分布等の最適化を行うことにより低損失かつ高強度な融着接続を実現した。CO₂レーザにより融着接続された光ファイバとロッドレンズの写真を図7に示す。また、融着部の破断強度分布を図8に示す。平均破断強度は0.62 kgであり、通常の光ファイバ同士の融着強度と同程度⁷⁾の結果が得られている。挿入損失については、図9に示すように、ロッドレンズを対向させて測定した損失の平均値は0.19dBであり、小型ながら十分な特性が得られている。

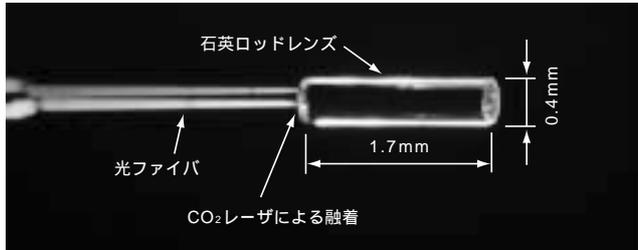


図7 光ファイバと石英ロッドレンズの融着
Splice between optical fiber and silica rod lens

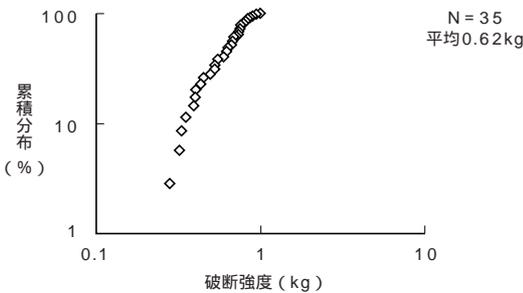


図8 融着部の累積破断確率
Cumulative failure probability of splice strength

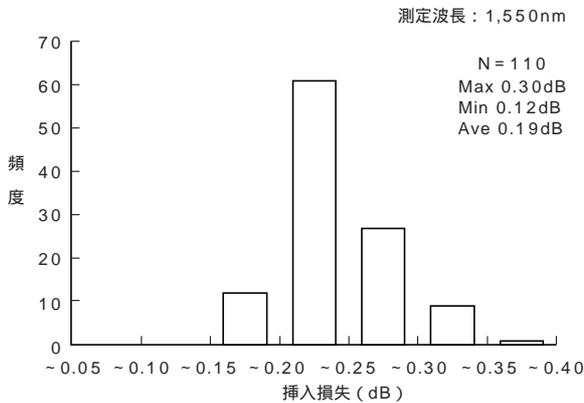


図9 小型コリメータの挿入損失ヒストグラム
Histogram of miniature collimators insertion loss

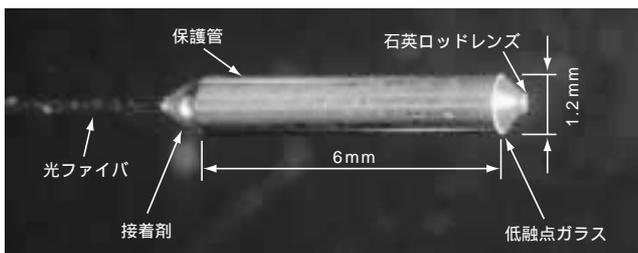


図10 小型コリメータの外観
External view of miniature collimator

5.2 はんだ・低融点ガラス固定

コリメータの外観を図10に示す。コリメータは、ロッドレンズや光ファイバを保護する目的で、保護管を被せた構造となっている。高信頼性を目的として、光部品に組み上げるとき、コリメータははんだで固定されるため、保護管とロッドレンズの固定にははんだより高い融点の低融点ガラスを用いている。また保護管表面には金メッキを施している。この構造で、はんだ固定時にかかる熱を想定した250 × 3分の耐熱試験で故障しないことを確認している。

光機能素子は低融点ガラスで固定し、小型コリメータは鉛フリーはんだで固定することにより、光が空間伝播する部位は気密封止構造となるため、湿気等の侵入はなく高信頼性が確保されている。また、光ファイバとロッドレンズの接続境界面は融着接続されており、他の光路中もハーメチックシールされたエポキシフリー構造になっているため、ハイパワー光特性にも優れている。

6. 低価格化

ロッドレンズを光ファイバ技術の応用により作製することで、低コストロッドレンズを実現している。また、レンズのビーム径を最適化することにより、小型コリメータの間に配置された光機能素子も小型化が可能となるため、材料費が削減できるだけでなく、一回の工程で生産できる数量も向上する。さらに、光ファイバとロッドレンズはダイレクトに融着接続されているため、フェール等々の部材削減のみならず、レンズ端面の無反射コーティングや研磨工程を必要とせず、大幅な低価格化を実現した。

7. 小型光部品構造

図11に開発した小型光部品の構造を示す。230gの垂直引っ張りに耐えるため、光ファイバの出口はホットメルト接着剤と熱収縮チューブで補強した。従来のビーム伝播型光部品の寸法は、5.0 × 45mm程度であったのに対して、今回の小型光部品は、補強なしの状態でも1.8 × 16mm、補強ありの状態でも2.2 × 24mmと大幅な小型化を実現した。従来との比較写真を図12に示す。

8. 試作結果

石英ロッドレンズを使用した小型の誘電体多層膜型利得等化器を作製しその光学特性・信頼性の評価を行った。

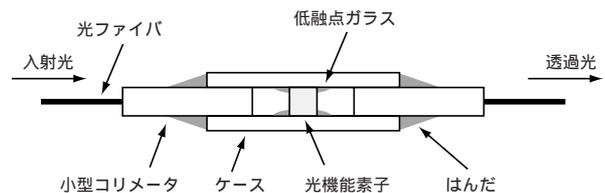


図11 開発した小型光部品の構造
Structure of miniature micro-optic device

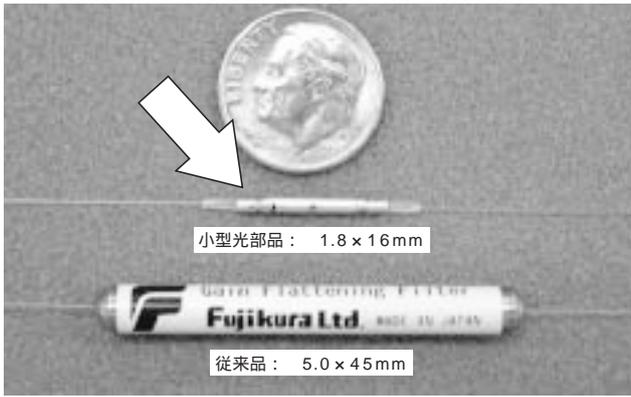


図12 小型光部品と従来品の比較

Comparison between miniature and conventional micro-optic devices

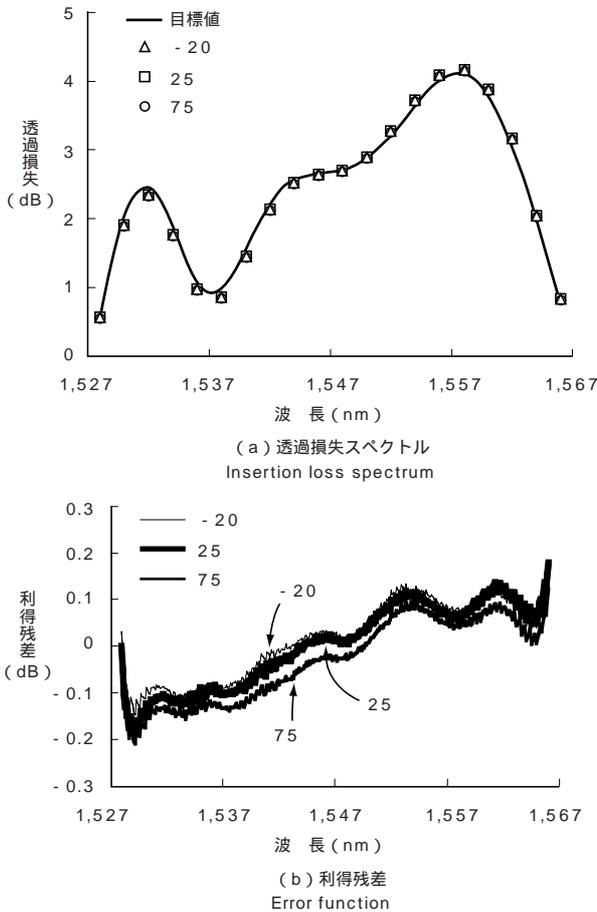


図13 小型GFFの透過損失スペクトル
Result of insertion loss spectrum of miniature GFF

8.1 光学特性

作製した小型利得等化器の透過損失スペクトルと利得残差（目標値と実測値の差）を図13（a）、（b）に示す。透過損失は0.57dB、-20～75における透過損失変動量は0.02dB、利得残差は0.31dB、温度による波長シフト量は0.67pm/°Cである。そのほか、反射減衰量は55dB以上、PDLは0.1dB以下であり、従来品と比較して、光学特性のみならず、温度安定度の高い優れた結果を得た。

8.2 信頼性

信頼性の確認には、Telcordia GR-1221 core および GR-

表1 信頼性試験の主な項目
Main test items of reliability test

試験項目	条件
ヒートサイクル	85 / -40 , 500回
高温高湿	85 , 85%RH, 2,000h
高温	85 , 2,000h
低温	-40 , 2,000h
振動	20G, 20/2,000Hz
衝撃	500G, 1ms
引張り	水平450gf / 垂直230gf
ハイパワー光特性	1W, 1h, 85

1209 core に準拠した方法で信頼性試験とハイパワー光特性についての試験を実施した。主な試験項目と条件を表1に示す。故障判定基準は、試験前後での変動量が、透過損失は±0.2dB以上、反射減衰量は±3dB以上、波長シフトは±0.1nm以上になった場合とした。結果は、すべての試験項目において故障判定基準以下の変動量であり、高い信頼性を有していることを確認した。

9. おまわり

光ファイバ技術を応用した石英ロッドレンズとCO₂レーザーによるレンズ-光ファイバ直接融着技術を開発することにより、ビーム伝播型光部品の大幅な小型化・低価格化に成功した。開発した小型光部品は、良好な光学特性を有するとともに、信頼性にも優れた結果を得ることができた。今後、複合部品化を含めて本技術の適用範囲を拡大していくことによって、光伝送システムのさらなる経済化に貢献できるものと期待される。

参考文献

- 1) 松浦ほか：偏波保持WDM部品の開発，信学技報，Vol.100, No.494, OPE 2000-116, 2000
- 2) K. Asano, et al. : High Extinction Ratio Polarization Maintaining Pump/Signal Multiplexer with Excellent Temperature Stability, OECC/IOOC 2001, pp.326-327, 2001
- 3) T. Matsuura, et al. : Polarization Maintaining Optical Device with Low Polarization Crosstalk and High Stability for Temperatures, Fujikura Technical Review, No.31, pp.65-68, 2002
- 4) 伊賀・三澤：マイクロレンズの進歩，電子通信学会誌，Vol. 68, No.12, pp.1297-1300, 1985
- 5) K. Asano, et al. : Miniaturization of Micro-Optic Devices Using Mini Quartz Rod Lens, CPT 2003, pp.129-130, 2003
- 6) J. Koenings, et al. : Deposition of SiO₂ with Low Impurity Content by Oxidation of SiCl₄ in a Nonisothermal Plasma, Chemical Vapor Deposition, Fifth International Conference, pp.270-280, 1975
- 7) 稲田：光ファイバ通信，pp267, 1989, 電気書院