

光アンプ用ビスマス系ガラスファイバ

旭硝子株式会社 中央研究所

落合 克弘

Bi₂O₃-based Glass Fiber for Optical Amplifier

Katsuhiko Ochiai

Asahi Glass Co., Ltd. Research Center

1. はじめに

1970 年は光通信にとって記念すべき年であった。コーニング社の 20 dB/Km の低損失ファイバの試作成功、ベル研究所の半導体レーザ室温連続発振の成功は、それまでの銅線を使った電気通信から高速大容量の光通信時代の到来を予感させるものであった。日本での商用サービスは 1985 年に旭川から鹿児島に至る日本縦貫幹線が完成し、伝送速度 400 Mbit/s で公衆通信サービスが開始された。

1990 年代、実用化されたばかりの光アンプにより光通信はめざましい成長を遂げた。パソコンとインターネット (IP) の普及は飛躍的に IP トラフィックを増加させた。(2000 年の公衆通信トラフィックにおいてインターネットが電話を上回った) この急激な需要の立ち上がりに対応するために、1 本の光ファイバに複数の信号光を伝送する波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) が必須の物となった。1 信号光で 40 Gbit/s, 1 本の光ファイバでは 1 Tbit/s 以上の伝送速度が実用化されつつある。

2006 年には IP トラフィックは 2001 年の 22 倍になる、という予想もあり WDM の光ネットワークは都市間の幹線系に留まらず都市内のメトロ系へとすさまじい勢いで拡大している。

2. 光アンプ

通信用光ファイバは 1450~1650 nm の波長域の伝送損失が 0.3 dB/Km 以下と小さいため、この波長域での WDM 化が進んでおり、先んじて実用化された C バンドと呼ばれる 1530~1565 nm に加えて L バンドと呼ばれる 1565~1625 nm の実用化も進んでいる。光ファイバ中の光信号は 100 Km 程度伝送されると 20 dB (1/100) 減衰する。これを、元の強さに増幅するための光アンプはエルビウムイオン (Er³⁺) をドープした光ファイバ (EDF: Erbium Doped Fiber) と励起用の半導体レーザから構成されている。励起レーザ光と減衰した信号光を同時に EDF に入れ、励起光のエネルギーによる Er³⁺ の誘導増幅作用により信号光は増幅される。現在、この EDF のホストガラスはほとんどが石英系ガラスである。

WDM の進展に伴い、EDF には増幅できる波長範囲の広帯域化、コンパクト化、低コスト化と要求が高まってきているが、石英系ガラス

の EDF では同時にこれらの要求を満たすのは困難であった。

最近、従来の石英系ガラスを凌駕する特性を持ったテルライト (TeO_2) 系ガラスの EDF が提案されている¹⁾。一方我々は、ビスマス (Bi_2O_3) 系ガラスの EDF (Bi_2O_3 -based EDF: Bi-EDF) を製作し^{2),3)}、光通信では一般的な融着接続で石英系ファイバと接続し⁴⁾、わずか 40 cm の長さでも広帯域な増幅特性を有することを示した。本稿ではこの Bi-EDF について紹介する。

3. Bi_2O_3 系ガラスの Er^{3+} の蛍光特性

図 1 に波長 970 nm の半導体レーザーを励起光として測定した、バルクガラスの蛍光スペクトルを示す。1540 nm のピーク値の高い順に Bi_2O_3 系ガラス、 TeO_2 系ガラス、石英 (SiO_2) 系ガラスで、 Er^{3+} 1 ppm あたりの蛍光強度を規格化して比較している。これより、 Bi_2O_3 系ガラスは Er 1 ppm あたりの蛍光強度がもっとも高くかつ石英系ガラスよりもブロードな蛍光特性を示していることがわかる。

図 2 に同様に測定した Er^{3+} 濃度と蛍光強度の関係を示した。高い順に Bi_2O_3 系ガラス、 TeO_2 系ガラス、石英系ガラスで、 Er^{3+} 濃度を高くしていくと濃度消光が起こり蛍光強度は濃度に比例しなくなる。石英系ガラスでは 220 ppm を越えると、濃度消光が起こりにくい TeO_2 系ガラスも 15,000 ppm を越えると起きている。しかし、 Bi_2O_3 系ガラスは 26,000 ppm を越えても濃度消光は顕著になっていない。この理由は、 Bi_2O_3 系ガラス中では Er^{3+} がクラスタリングしにくい構造になっていると推測している。さらに、高屈折率、低塩基性のため、 Er^{3+} はブロードで強い蛍光特性を示すと考えられる。このように Bi_2O_3 系ガラスをホストガラスとして Er^{3+} を高濃度化して、短尺で広帯域な光アンプ用ファイバを製作できる。

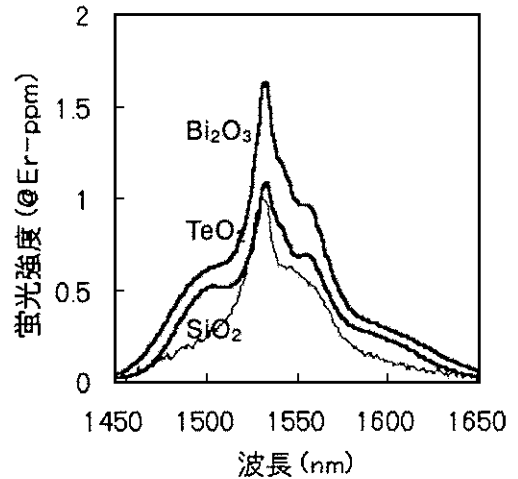


図 1 Er^{3+} 1 ppm あたりの蛍光強度と波長特性

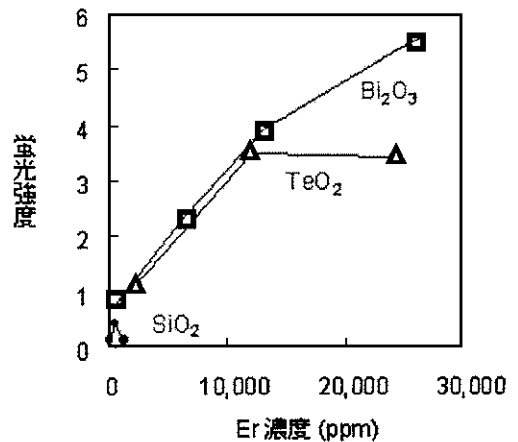


図 2 Er^{3+} 濃度と蛍光強度

4. Bi-EDF の融着

Bi_2O_3 系ガラスをホストガラスとして Er^{3+} 濃度が 6500 ppm のシングルモードの Bi-EDF (1550 nm の波長で、コア屈折率: 2.02, NA: 0.2) を作成した。波長 1310 nm におけるファイバの損失をカットバック法によって測定した結果は 0.5 dB/m であった。

公衆通信分野では石英系ファイバが伝送用、光部品用として一般的に使われており、ファイバ同士の接続では簡便・安価・低損失・高信頼

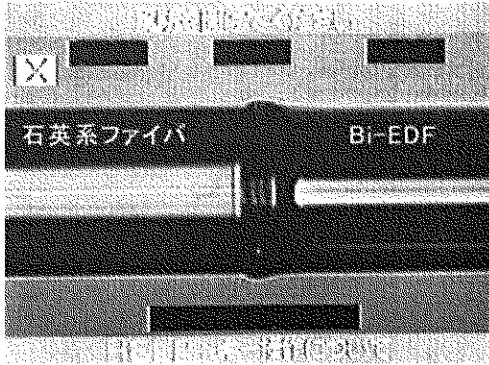


図3 融着器の画面と融着後のファイバ

の融着接続が一般的であり、石英系 EDF も光アンプ内の石英系ファイバと融着接続されている。今まで光アンプ用としていろいろな非石英系 EDF が提案されているが、石英系ファイバとの融点が大きく違うことから融着接続は難しかった。しかし、Bi-EDF は非石英系 EDF でありながら、市販されているファイバ融着器を使って石英系ファイバと簡便に融着する事に成功した。つまり、Bi-EDF は石英系 EDF と同じハンドリングで使用することができる。

Bi-EDF を低ロスで石英系ファイバに融着するためには、両方のファイバパラメータを合わせる事が重要であった。そこで、Bi-EDF とファイバパラメータ (NA, MFD) がほぼ同一の高 NA ファイバを融着し低ロスの融着を実現した。

図3は石英系ファイバと Bi-EDF を融着した時のファイバ融着器の画面である。図4に融着した Bi-EDF の挿入損失の波長特性を示す。信号光の波長では Er^{3+} の吸収があるため、1200 nm 付近の波長特性より 1550 nm の損失を推定したところ、0.75 dB であった。Bi-EDF の屈折率は 2.02 と石英系ファイバの屈折率 1.46 より大きいため、その融着面ではフレネル反射によるロスが 0.24 dB 有り、Bi-EDF のバックグラウンドロスを考慮すると、融着部一カ所のロスは 0.1 dB 以下と推定され、ほぼ石

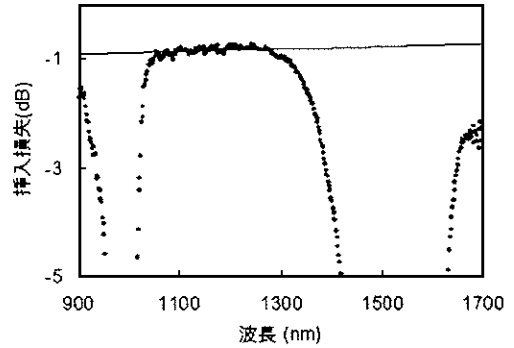


図4 Bi-EDF の融着損失の波長特性

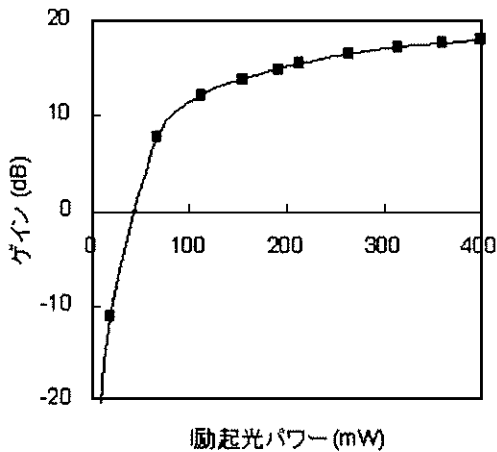
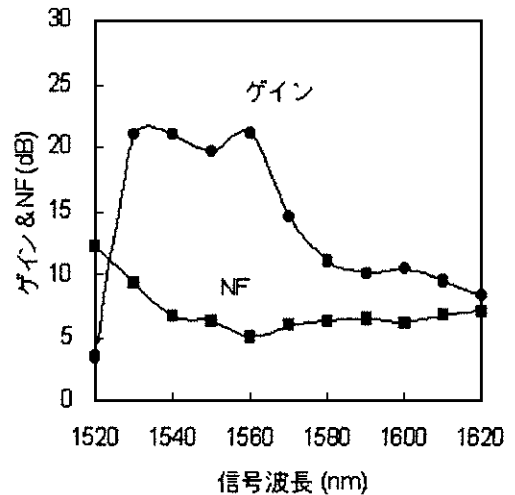
英系ファイバ同士の融着と同程度のロスで融着できている。

融着部の Bi-EDF と石英系ファイバの屈折率差によるフレネル反射は光アンプの動作を不安定にする原因になるので低減することが望ましい。そこで、フレネル反射がコア軸に平行に戻らないように融着面を傾けることによって戻り光を低減する開発を行い、良好な増幅特性を持ったサンプルを得た。

5. Bi-EDF の増幅特性

1480 nm の励起光源による増幅特性を図5, 6に示す。図5では横軸に励起光のパワー、縦軸をゲインとして、1560 nm, 0 dBm の信号光を入力した場合の特性である。わずか 40 cm の長さで 400 mW の励起光に対して 18 dB のゲインが得られている。一般に石英系 EDF では約 10 m の長さを必要とするので高濃度化による短尺性は際だっている。図6では横軸に信号光波長、縦軸をゲインと NF として、-10 dBm の信号光を 400 mW で励起した場合である。C バンドで約 20 dB のゲインと L バンドで約 10 dB のゲインが得られ、また全体に渡って良好な NF となっている。

Bi-EDF は光アンプ用の GR1312 信頼性試験において融着箇所を含んだ暴露状態の試験を行ったが問題はなかった。さらに、光部品用の

図5 Bi₂O₃系ファイバの増幅特性図6 Bi₂O₃系ファイバの増幅波長特性

厳しいGR1221信頼性試験において同様な状態で75°C95%RH2500時間の保管試験や、-40°C/75°C500回の温度サイクル試験、 Δ 100°C20回の熱衝撃試験を行い問題はなかった。他の非石英系EDFがハーメチックシールを必要とすることに比較して優れた特徴である。これは、Bi₂O₃系ガラスが他の非石英系EDFホストガラスに比較して、化学的に安定で、機械的に強いためである。

6. おわりに

Bi₂O₃系ガラスをホストにした場合のEr³⁺の発光特性およびファイバ化した場合の融着性や増幅特性、信頼性について述べた。

Er³⁺はBi₂O₃系ガラス中においてブロードで強い蛍光スペクトルを示した。これをファイバ化した時、石英系ファイバと融着する事が可能で、わずか40cmの長さでC+Lで10dB

以上、Cバンドでは20dB以上のゲインを有する短尺性、広帯域性を示した。また、光アンプ用の信頼性試験は融着部分を含んだ暴露状態で問題はなく、さらに厳しい光部品用の信頼性試験も引き続き行っており問題はない。

これらのことから、Bi-EDFは小型広帯域性を求めるメトロ用WDMシステムに最適のEDFとして必須のデバイスになることを期待したい。

参考文献

- 1) 森 淳, NEW GLASS, Vol. 14 No. 3, (1999) 36-40
- 2) 杉本直樹, OPTRONICS, No. 10, (2000)
- 3) Naoki SUGIMOTO et al., OAA2000, Quebec City, PDP3, (2000)
- 4) Yutaka KUROIWA et al., OFC2001, Anaheim, Tu15, (2001)