

光ファイバー増幅器の実用化技術

大 越 春 喜

Er ドープ光ファイバー増幅器 (EDFA) は、ここ数年目覚ましい技術的進歩をとげ、今では光通信システムにおける重要な構成要素となっている。

EDFA は、(1)Er ドープ光ファイバー、(2)励起レーザー、(3)光アイソレーター、光合分器等の光モジュールで構成される。こうした構成要素からなる EDFA に対して、(1)小型化、(2)利得波長特性の平坦化、(3)高出力化と高信頼化を中心とした技術開発が進められてきた。ここでは、これらの技術開発内容について報告する。

1. 小型化

各種の伝送装置や測定装置に内蔵される EDFA の小型化は、最も基本的な要求特性のひとつである。小型化を実現するためには、(1)各光部品を小さくする、あるいは複合化する、(2)Er ドープファイバーを小径のコイルにする、等が必要である。

(1)では、個々の光部品の小型化のみでなく、光アイソレーター、信号光と励起光を合波する光合分波器、モニター用光分岐器およびフォトダイオードを一体化した複合モジュールの開発が進められてきた¹⁾。複合モジュール化することにより、融着接続数が減少し大幅な小型化が図られるとともに、トータル光の挿入損失が小さくなり、EDFA の雑音指数も向上する。

(2)では、カーボンコートファイバーの技術が採用されている。カーボンコートはファイバーの表面に数十 nm の緻密なカーボン膜をコートすることにより水分の侵入を防ぎ、光ファイバーの経時劣化による破断を防ぐことができる。これにより通常 60 mm 以上の径で巻く必要のある光ファイバーを、直径約 30 mm 前後にコイル化できる。

図 1 は複合モジュールを用いた EDFA の構成例を示し、図 2 は小型 EDFA (サイズ: 100×150×8.5 mm) の外観である。

また、最近では励起レーザー素子も一体化した複合モジュールの開発が進められている。こうすることにより、小型化がさらに図られるとともに、出力ファイバーに対する励起光の総合結合効率が約 0.5 dB 向上する。図 3 は、励起レーザー素子一体型複合モジュールの構成である。

2. 利得波長特性の平坦化

波長多重伝送の実用化により、EDFA の利得波長特性の平坦化は最も注目されている技術である。利得平坦化の技術としては、(1)Al コドープによる Er ドープファイバー自体の利得平坦化、(2)光フィルターによる利得等価、(3)利得スペクトラムの異なる Er ドープファイバーを多段に接続したハイブリット型 EDFA、(4)フッ化物ファイバーベース Er ドープファイバーアンプ等が提案されている。

このうち Al コドープによる利得平坦化は最も基本的な技術である。Al を約 3 wt % コドープすることにより

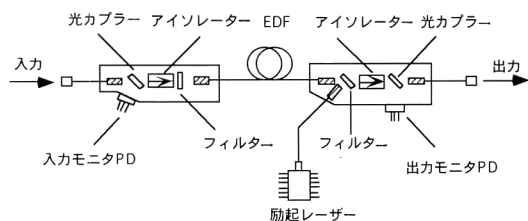


図1 複合モジュールを用いた EDFA の構成。

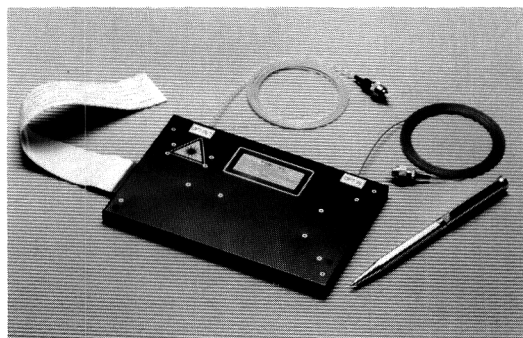


図2 小型 EDFA。

Optical amplifier Technologies (1996年7月10日受理)
Haruki OGOSHI 古河電気工業(株) (〒290 市原市八幡海岸通6)

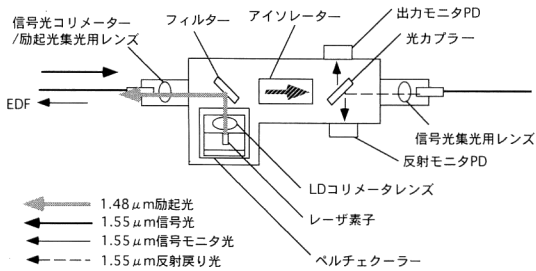


図3 レーザー素子一体型複合モジュール。

1540～1560 nm の範囲において利得偏差を 1 dB 以下に抑えられる²⁾。特に Al 濃度を上げるにつれて 1.54 μm 帯の利得の窪みが小さくなり、利得平坦な帯域を拡大することができる。また、利得波長特性は入力信号光強度、Er ドープファイバー長、および励起光強度に依存し、通常、入力信号光強度に合わせて最適な Er ドープファイバー長、励起光強度を決定する。こうした技術により 1544～1558 nm の間に 16 波を配置した場合で利得偏差 0.2 dB 以下が得られている。

3. 高出力化と高信頼化

EDFA の高出力化は (1) Er ドープファイバーの変換効率の向上、および (2) 励起レーザーの高出力化に依存する。また EDFA の高信頼化は使用するモジュールの高信頼化、なかでも 100 mW 以上の励起光パワーを連続発振する必要のある励起レーザーの高信頼化に帰属される。このうち Er ドープファイバーの高効率化は比較的初期の段階で量子効率 (= 励起波長/信号波長) に近い 80～90 % 台の変換効率³⁾ が得られており、EDFA の大出力化、高信頼化の達成は励起レーザーの高出力化、高信頼化の技術開発に他ならない。

出力、信頼性ともに実用化の段階にある 1480 nm 励起レーザーでは、高いレーザー素子出力と光ファイバーとの高結合効率を得るため、歪 MQW および GRIN-SCH 構造が用いられ⁴⁾、ファイバー出力 185 mW @ 1000

mA (結合効率約 89 %) を達成している。また、130 mW @ 500 mA 程度の出力が安定的に実現できている。レーザー素子の信頼性では MTTF (mean time to failure) で百万時間以上、random failure rate (confidence level=60%) で約 300 FIT (failure in time) が得られている。

こうした高出力励起レーザーを用いて出力 +24 dBm の EDFA が実用化されている⁵⁾。また、1480 nm 帯での Er ドープファイバーのブロードな吸収特性を利用して励起レーザーの波長多重 (1460+1485 nm) と偏波合成技術の組み合わせにより、+27.6 dBm という高出力の EDFA も開発されている。

このように EDFA は小型化、利得波長平坦化および高出力、高信頼化のいずれにおいても長足の進歩を遂げ、実用化の域に達している。今後もこうしたさまざまな技術開発によって、より高度な光通信ネットワークが実現されていくものと期待できる。

文 献

- 1) 早川弘一, 一野誠司, 大越春喜: “小型光アンプの開発”, 信学技報 OCS 93-21 (1993) 7-11.
- 2) T. Kashiwada, K. Nakazato, M. Ohnishi, H. Kanamori and M. Nishimura: “Spectral gain behavior of Er-doped fiber with extremely high aluminum concentration,” *Optical Amplifiers and Their Applications (OAA) '93*, MA 6-1 (1993) pp. 104-107.
- 3) T. Kashiwada, M. Shigematsu, T. Kougo, H. Kanamori and M. Nishimura: “Erbium-doped fiber amplifier pumped at 1.48 μm with extremely high efficiency,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 3 (1991) 721-723.
- 4) T. Namegaya, R. Katsumi, N. Iwai, S. Namiki, A. Kasukawa, Y. Hiratani and T. Kikuta: “1.48 μm High-power GaInAsP-InP graded-index separate-confinement-heterostructure multiple-quantum-well laser diodes,” *IEEE J. Quantum Electron.*, 29 (1993) 1924-1931.
- 5) 田代至男, 大島 勇, 藤崎 晃, 大越春喜: “高出力光ファイバアンプの開発”, 信学技報 OCS 95-86 (1995) 67-72.