

## エルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA)

研究者：中 沢 正 隆 東北大学電気通信研究所 教授  
((元) NTT未来ねっと研究所 NTT R&D フェロー)

開発企業：古 河 潤之助 古河電気工業株式会社 代表取締役社長

(推薦者：中 村 慶 久 東北大学電気通信研究所 所長)



中 沢 正 隆 氏



古 河 潤之助 氏

### 1. 技術の背景

近年、情報化時代の到来とともに光通信技術は急速に発展してきた。1990年代初頭の光通信技術では光を直接増幅することができないために、光信号を電気信号に変えて増幅と波形整形を行い、再び電気信号を光信号に変換し光信号の中継を行っていた。また、電気増幅器の帯域は狭いため、伝送速度が一義的に決まってしまう、色々な伝送速度 (Bit rate) の信号に対応 (ビットレイトフリー) することが困難であり、光伝送システム全体が複雑でかつ高価なものとなっていた。このため、1985年頃より光信号を直接増幅するための研究が各国で開始された。

エルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier) の基礎的な研究は、新たな光通信を構築するキーデバイスとして開始された。それまで励起光源を用いた光増幅には光ファイバ中の誘導ラマン散乱による増幅、希土類イオンを添加した光ファイバ増幅などが研究されていた。しかし、大型レーザの励起光源や液体窒素でレーザロッドの冷却が必要なこと、また度々励起ランプの交換が必要なことなど、大型で煩雑であり、さらに利得も 1 dB程度と低く、とても産業化に結びつくものではなかった。そのため、小型かつ安価であり、光信号を直接増幅する光ファイバ増幅器の実用化が強く望まれていた。

## 2. 技術の概要

本技術は光通信の波長帯である波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号を、InGaAsP半導体レーザにより直接増幅するエルビウム添加光ファイバ増幅器に関するものである。

研究者は誘導ラマン散乱による光増幅用の $1.48\mu\text{m}$  InGaAsP半導体レーザが高出力かつ波長範囲の広い多モード発振であるためエルビウムイオンを効率的に励起できること、ビーム形状が円形であり効率的に光ファイバに励起エネルギーを注入できることに着目し、この小型励起レーザによるエルビウム添加ファイバ光増幅の実験を行った。その結果、最初の実験で12.5 dBの利得が得られ、さらに40 dB程度まで利得を向上させ高利得でかつ低雑音の小型エルビウム添加光ファイバ増幅器を世界で初めて実証した。その後、直ちにこの光増幅器を用いた伝送実験が行われ、光伝送システムとして優れた特性が得られることが確認された。

開発企業は研究者の研究成果をもとに①エルビウム添加ファイバの低損失化、②EDFAに必要な半導体レーザ励起光源、光カップラ、光アイソレータ、光フィルタなどの光部品の高性能化、③光増幅動作の高安定化のためのフィードバック制御回路等の電気系回路の最適化に取り組み、最適な光伝送システムの開発に成功した。

開発したエルビウム添加光ファイバ増幅器の原理、構成について以下に示す。

本光増幅器（EDFA）の原理は、希土類元素であるエルビウムイオン（原子番号68）が波長 $1.55\mu\text{m}$ において光を放出する遷移線を持つことに着目し、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号を直接増幅するものである。具体的には光ファイバのコアにエルビウムイオン添加し、そのイオンを外部から光励起することにより反転分布を形成させ、波長 $1.55\mu\text{m}$ の誘導放出効果を利用して光増幅を行っている。

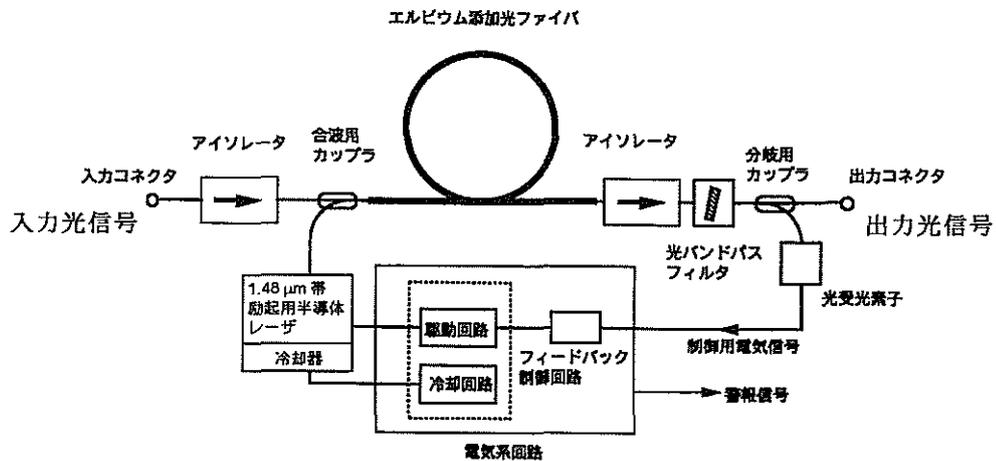


図1 エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）の構成

本光増幅器の構成を図1に示す。励起光源は $1.48\mu\text{m}$ 帯InGaAsP半導体レーザを用い、この励起光と信号光はカップラで合波している。励起の有効波長領域は $1.45\sim 1.50\mu\text{m}$ であり、

InGaAsP半導体レーザはこの波長領域において高出力で安定に動作する。また、光ファイバ型アイソレータを入・出力部に挿入することにより、高利得時における増幅器のレーザ発振を抑制している。さらに、光出力部には光バンドパスフィルタを挿入し、エルビウム元素に吸収されなかった残留励起光及び雑音の原因となる増幅された自然放出光を取り除いている。さらに、励起光パワーのフィードバック制御を導入し、光増幅動作の更なる高安定化を行っている。

エルビウム添加光ファイバ増幅器の基本特性を図2に示す。図2(a)は1.48 $\mu\text{m}$ 帯InGaAsP半導体レーザの励起光スペクトルとそれに対する波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯の蛍光スペクトル、破線はエルビウム添加光ファイバの吸収損失スペクトルを示す。図2(b)は最適化されたエルビウム添加光ファイバによる30 dB以上の高利得特性を示す。励起波長が1.46 $\mu\text{m}$ 付近でも1.55 $\mu\text{m}$ 帯において30 dBの高利得が得られており、広い励起波長領域においてこの励起方法が有効であることを示している。

このようにして実用化されたEDFAの外観図を図3に示す。

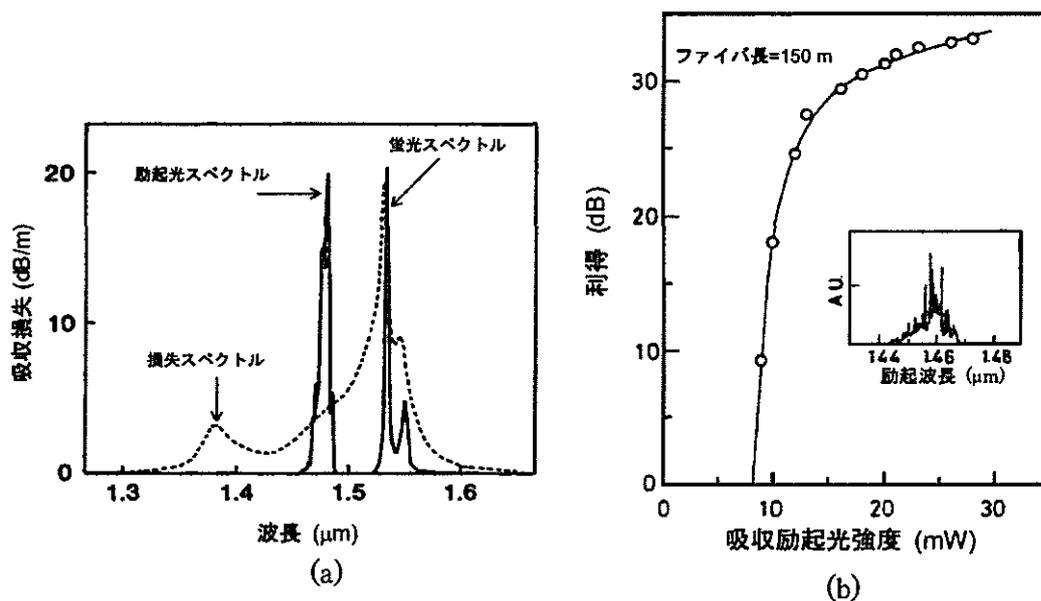


図2 EDFAの基本特性

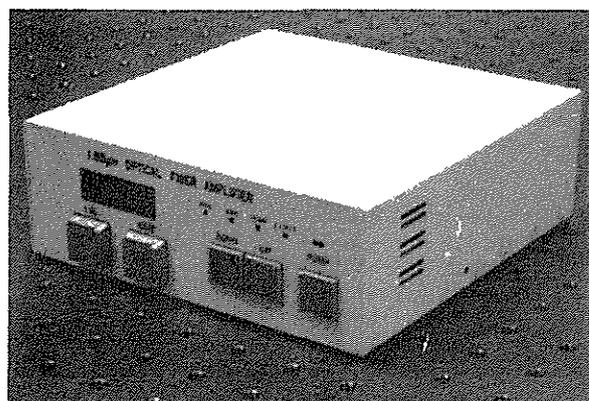


図3 実用化されたEDFAの外観図  
(幅 175mm × 高さ 62mm × 奥行 150mm)

### 3. 効果

本光増幅器（EDFA）はInGaAsP半導体レーザを励起光源として用いることにより小型で信頼性が高く、実用的な光増幅器を実現したものである。

本光増幅器の実用化によって光信号を直接増幅できるため、光中継器においては光-電気変換装置が不要となり、また、本光増幅器が低速から超高速まで動作するビットレイトフリー装置であることから、任意の伝送速度で且つ高信頼な長距離光通信システムが実用化された。これにより光通信技術は新しい世代に突入したと言われ、今なお急速な発展を続けている。

本光増幅器は弱まった光信号を容易に大きくすることが出来るため一台で数百の家庭に信号の配信が可能となり、FTTH（Fiber To The Home）や光信号処理のキー光部品として重要な役割を果たしている。さらに、21世紀の超高速フォトニックネットワークは一本の光ファイバに数百チャンネルの光信号を送る波長多重通信（WDM: Wavelength Division Multiplexing）技術が基本になると言われており、本光増幅器は異なった波長の信号を一括して増幅できることから、WDMや超高速通信への応用が期待されている。また、微弱な光信号を扱う光計測技術（光センサ、分光）、超短パルスを発生させるレーザ技術ならびに光スイッチ・ルーティングなどの高速光処理技術にも利用されるなど様々な分野への応用が広がりつつある。

以上のように、本光増幅器は光伝送技術のみならずファイバ光学を中心とした光計測ならびにオプトエレクトロニクス分野に大きな波及効果をもたらすなど21世紀の高度情報化社会を支える最も重要な光技術である。