

## 1. はじめに

光増幅技術は、光を光のまま増幅することが可能な方式であり、従来の再生中継方式の様に光→電気→光の変換をする事無く、光ファイバの伝送損失を補償する事ができる画期的な技術です。光増幅技術としては、これまで数々の方式が検討されておりますが、特に希土類元素Er：エルビウムを

ドーブ（添加）した光ファイバを利用するエルビウムドーブ光ファイバ増幅器（EDFA：Erbium Doped optical Fiber Amplifier）は、1980年代末ころから模索され、開発された、非常に新しい技術ですが、すでに実用化段階に至っております。光ファイバ増幅器はその原理構成が単純で、伝送路として使用されている光ファイバとの整合性が良いという特徴があり、また、

広帯域、低雑音、線形性が高い特長があり、これにより信号変調方式やビットレートの違いに対して柔軟に対応できます。光ファイバ増幅器はこれからの大容量通信には非常に重要で必要不可欠な技術となってきており、今後も普及していくと考えられます。ここではこの光ファイバ増幅器についてその原理と特徴、また適用方法について説明いたします。

### 基礎講座

# 光ファイバ増幅器 その原理と適用について

## 2. EDFAの構成

希土類元素の一つであるエルビウム（Er：Erbium：元素番号68）を石英光ファイバの製造工程においてコア（中心部の光が通過する部分）にドーブ（添加）させて作成するエルビウムドーブ光ファイバを用いると、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で光増幅が可能になります。

図-1はこのエルビウムドーブ光ファイバ増幅器の基本的な構成例で、エルビウムドーブ光ファイバの他に、光合波器、光アイソレータ、励起用の半導体レーザーで構成されます。

光合波器は異なる波長の光を合波する事ができる素子で、信号光である $1.55\mu\text{m}$ 帯の光に対して、 $0.98\mu\text{m}$ もしくは $1.48\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザーによる励起光源からの光を合波し、エルビウムドーブ光ファイバに導入すると、

添加されているエルビウムイオンがこの光を吸収して電子状態をより高いエネルギーを持った状態にまで引き上げる事が出来ます。ここでこの励起光の強度を更に強くしていくと、エネルギーの高い電

子の方がエネルギーの低い電子の数よりも多い状態を人工的に作る事が出来ます。この状態は一般には自然界に存在しえない状態で、反転分布と呼ばれ、レーザーが発振するときは必ず発生する物

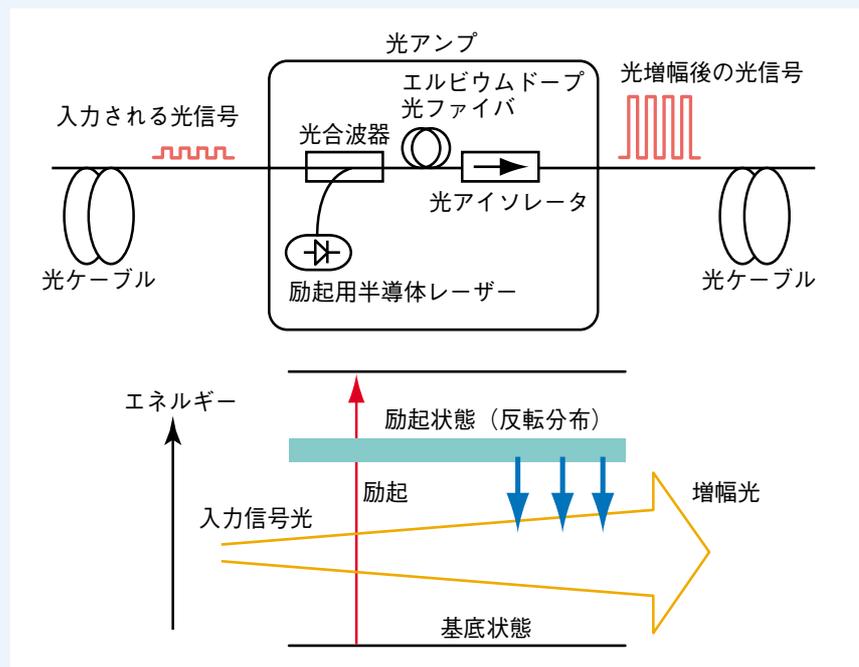


図-1 光ファイバ増幅器の構成例と原理説明図

理現象として知られています。このとき励起されたエルビウムイオンと等しいエネルギー（波長）を持った信号光（エルビウムの場合、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯）が信号光として入射されると、信号光は励起状態（反転分布している）にあるエルビウムイオンから次々となだれ現象的にエネルギーを受け取って（誘導放出と言います）、元の信号光を20dB（百倍）から構成によっては50dB（十万倍）以上にまで増幅します。これが光ファイバ増幅の原理です。

ここで、光アイソレータは→の方向にのみ光を通過させる事ができる光素子で、光増幅時の発振動作を防ぐために使用されます。エルビウムドープ光ファイバは増幅器の仕様や、エルビウムドープ光ファイバの濃度によって異なりますが、一般的には数十m程度で、長くても100m程度です。写真-1は光ファイバ増幅器の外観例です。



写真-1 光ファイバ増幅器外観

### 3. 光ファイバ増幅器の特徴

光ファイバ増幅器のエネルギーは励起光源である半導体レーザーから光により供給されます。光ファイバ増幅器はTHz（テラヘルツ）オーダーの帯域がありながら、励起用の半導体レーザーの駆動には特別な高周波の技術が必要ないため、従来の光-電気変換型の

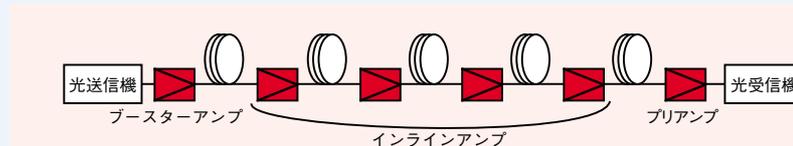


図-2 中継伝送系における設置例

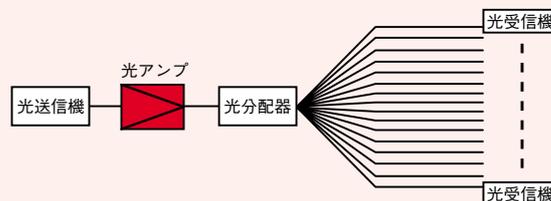


図-3 分配伝送系における設置例

装置に比較し簡単に電気回路を構成できます。また励起光に対する変換効率も最大80%以上と高く、中継装置全体としての電源規模を小さくすることが可能になる場合が多くなります。

また、光ファイバ増幅器はもともと光ファイバ部品で構成されているために、既存の光ファイバ伝送路との接続が容易で損失も小さく、整合性が高くなっております。

さらに、線形性が高いので入力信号を忠実に再現させる事ができるので、デジタル伝送のみならず、サブキャリア伝送の様なアナログ伝送にも適用する事が容易にできます。

## 4. 主な適用方法について

光ファイバ増幅器は先に述べた様に電気に換算すると非常に広い増幅帯域を持ち、THzにわたる増幅が可能です。現状実用化されているほとんどの光通信システムに適用可能と考えられ、実用化されています。

中継伝送系においては、光アンプを適用する場所によりブースター（ポスト）、インライン、プリアンプの3種類の使用形態が考えられます。もちろんシステムの形態に

よってはこの3つを全て使用する事も可能です。図-2は中継伝送系における利用形態です。

実際の運用では、これら利用形態により最適設計された光増幅器が、動作監視系や動作制御系と共に設計され適用されます。また、インラインアンプはリピーターとして既存の光-電気-光の変換を行う再生中継伝送装置（3R（Reshaping, Retiming, Regenerating）リピーター）との置き換えが可能です。インラインアンプを複数接続する場合には、アンプの出力や雑音を考慮してシステム設計を行います。また伝送される信号に依存しますが、数百kmの距離を再生中継せずに伝送をすることが可能です。

図-3のような分配伝送系では分岐損失の補償が主目的であり、特に光CATVで実用化され、低雑音で飽和出力（入力レベルが高い状態での最大出力）の高いブースターアンプが主に利用されます。信号形態は主に光アナログ信号であり、光アンプには更に高い線形性（低歪み）が求められます。