

光ファイバ増幅器

(1995年～現在)

Key-words : 光通信,
光ファイバ, 光増幅器

注1 Cable Tele-Visionの略で、テレビ放送を同軸ケーブル等の電線で作った網状のネットワークで配信する有線放送サービス。当初は地上波テレビ放送の電波が届きにくい地域でもテレビの視聴を可能にするという目的で開発されたが、近年では多チャンネルや電話サービス、高速なインターネット接続サービスも行っている。

注2 Fiber To The Homeの略。光ファイバによる家庭向け的高速通信サービス。一般家庭にまで光ファイバーを引きこむことで、電話、インターネット、テレビなどのサービスを統合して提供することができる。

注3 Wavelength Division Multiplexingの略。波長を僅かにずらした光信号を重ねて多重化することで、1本の光ファイバで同時に何重もの情報を伝送することでき、比較的容易に伝送容量を増大できる。

光ファイバ通信は伝送ファイバ中を光信号が進むことで行われるが、伝送ファイバ自体の損失や分岐による損失を受けて信号強度が弱くなってしまうため、損失を補償するために光の増幅を行う必要がある。光増幅には希土類イオンをコアに添加した光ファイバを増幅媒体とした光ファイバ増幅器が用いられる。光ファイバ増幅器は非常に単純な原理で入射された光を高効率で増幅でき、しかも増幅媒体自体が光ファイバであるため伝送路の光ファイバとの整合性もよいといった特徴を持っている。特にエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)は、増幅可能な光の波長帯域がちょうど伝送ファイバの低損失波長帯域と一致していることから、現在の大容量光通信において非常に重要な役割を担っている。

1. 適用分野の背景

インターネットの世界的な普及を契機とした情報通信分野の爆発的な成長に伴い、光通信システムの大容量化、高速化の要求は基幹伝送系(長距離通信)、分配伝送系(CATV^{注1}、FTTH^{注2})などともに高まる一方である。この要求を満たすような大容量で高速な伝送システムを構築するためにはWDM通信が必要不可欠と

なっている。WDM通信^{注3}における光増幅では異なる波長の信号光を一括して増幅する必要があり、様々な方式の光増幅器の中でもそのような増幅に最も適しているのが光ファイバ増幅器(図1)である。特に光ファイバの伝送損失が最も少ない波長帯域(1.55 μm 付近)で光を増幅できるエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)は図2に示すとおり基幹伝送系、分配伝送系



図1 エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)

写真はEDFAと光分配器が一体化されて分配伝送系に使用されているもの。入力される信号光を増幅した後、複数の信号に分配して出力する。

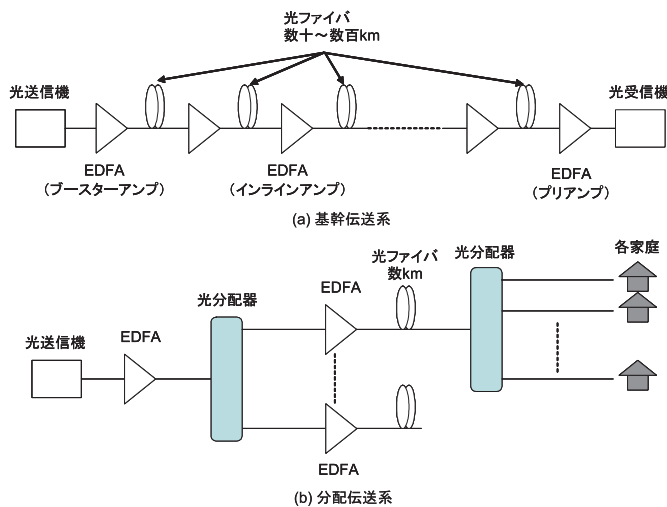


図2 光ファイバ増幅器の適用例

(a) 基幹伝送系では伝送路光ファイバで減衰した信号を増幅するために数十～数百kmの間隔で設置される。
(b) 分配伝送系では各家庭までの伝送損失や、分配による損失を補償するために設置される。分配数が多いほど損失が大きいためより高出力な増幅器が必要となる。

のどちらにも使用されており非常に重要な役割を果たしている。つまり、今日のWDM通信による高速大容量光通信システムは光ファイバ増幅器、特にEDFAがあってはじめて可能となっている。

2. 光ファイバ増幅器の基本構成

図3は光ファイバ増幅器の基本的な構成を示したものである。増幅媒体にはコアに希土類イオンが添加された光ファイバを用い、希土類イオンを励起するための励起光源、励起光と信号光を合波し希土類添加光ファイバに入射するためのWDMカプラ、レーザ発振を防止するためのアイソレータ、光ファイバ増幅器の出力を制御するための出力モニタカプラ、光検出器から構成される。希土添加光ファイバのコアに添加される希土類イオンは光通信システムで使用される信号波長の帯域に応じて適宜選択される。実際には図4に示すとおり伝送ファイバの低損失な波長域が使用されており、波長域に応じてEr(エルビウム)、Pr(プラセオジウム)、Tm(ツリウム)を添加したファイバを使用して増幅器を構成する。さらに、WDM通信では各波長における信号強度が同じであることが望まれるため希土類添加光ファイバの利得の波長依存性を平坦化するための利得等化器も使用される。

3. 光ファイバ増幅器の原理

EDFAを例にとり光ファイバ増幅の原理を説明する。

図5は Er^{3+} イオンのエネルギー準位を示したものである。 Er^{3+} イオンは $0.98\mu\text{m}$ および $1.48\mu\text{m}$ 付近に吸収帯域を持っており、これらの波長の励起光がエルビウム添加光ファイバ(EDF)に入射すると Er^{3+} イオンは励

起光を吸収し、電子状態は基底状態から励起状態へと変化する。励起状態にある Er^{3+} イオンはある時間経過すると励起状態と基底状態のエネルギー差に相当する波長(エルビウムでは $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$)の光を放出して基底状態へと戻る。このとき励起光の強度が十分に強ければ、基底状態よりも励起状態にある Er^{3+} イオンの数を多い反転分布状態を形成することができ、その状態で信号光が入射されると励起状態にある Er^{3+} イオンは誘導放出^{注4)}を起こし、信号光強度が増幅される。

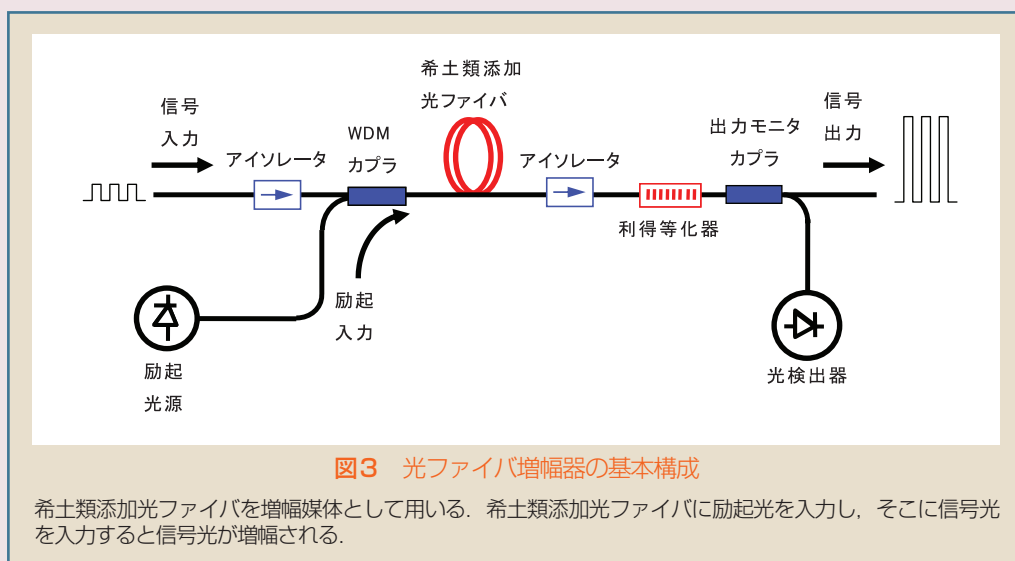
4. 光ファイバ増幅器の特徴

上述のように希土類添加光ファイバ増幅器は励起光を投入するだけの非常に簡単な原理で信号光を増幅でき、その利得は20dB(100倍)から構成によっては40dB以上(1万倍)にすることが可能である。また、信号光を電気に変換せずに光のまま増幅できるため、従来の光⇄電気変換を必要とした増幅に比べて装置構成が非常に簡単で、励起光に対する増幅効率も80%以上と非常に高効率な増幅が可能である。さらに、増幅媒体自体が光ファイバであり、その周辺部品も光ファイバを用いた部品で構成されているため、既存の伝送路に使用されている光ファイバとも容易にかつ低損失で接続でき、整合性がよい。

5. 将来展望

光ファイバ通信システムの大容量化、高速化は今後も進展し続けるが、そのためにはより多くのWDM信号を利用することができるように光ファイバ増幅器の増幅帯域の広帯域化は重要な課題である。広帯域化の技術としては、ホストガラスの材質を変える、増幅帯

注4 励起状態にある電子に基底準位と励起準位のエネルギー差にほぼ相当する光を外部から入射すると、電子はエネルギーを光として放出して強制的に低エネルギー準位に遷移させられる。この現象を誘導放出という。



域の異なる複数の増幅器を縦列または並列に接続して用いる、伝送ファイバの非線形性を用いたファイバラマン増幅器などが検討されており、これらのアンプを利用した光ファイバ通信システムの実現が期待される。

[連絡先] 北林 和大
 (株)フジクラ 光電子技術研究所
 〒285-0812 佐倉市六崎 1440

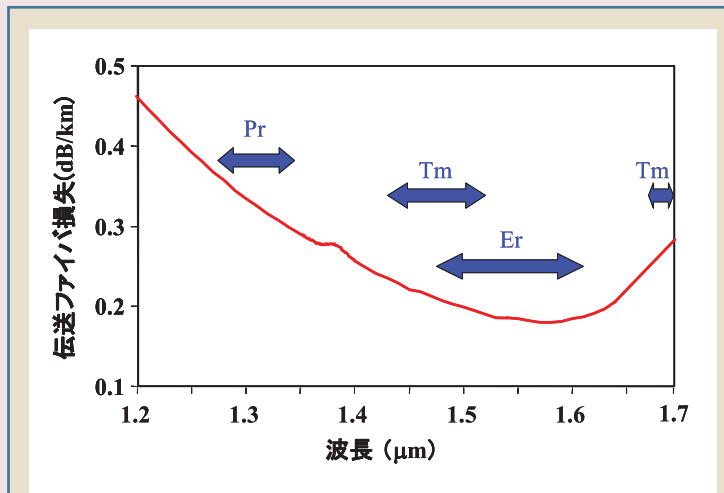


図4 伝送ファイバ損失の波長依存性と光ファイバ増幅器の増幅帯域

使用する波長域に応じてコアに添加する希土類は適宜選択される。1.5～1.6 μmではEr（エルビウム）、1.3 μmではPr（プラセオジウム）、1.45～1.5 μmおよび1.67 μmではTm（ツリウム）が使用される。

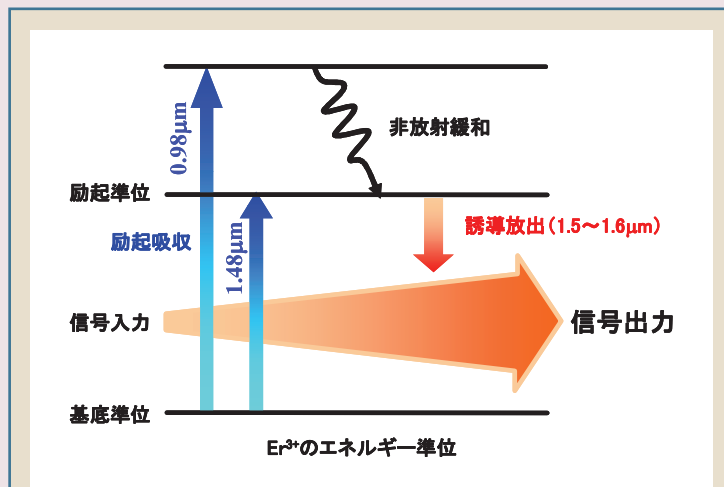


図5 Er^{3+} イオンのエネルギー準位図

Er^{3+} イオンが励起光を吸収し反転分布が形成されているところへ信号光が入射されると、誘導放出によって信号光が増幅される。