

光ファイバー増幅器とレーザー発振

植田研究室 M1 井上 雅行

内容

- 希土類添加ファイバーアンプとレーザー発振の違い
- ファイバーカップラーの原理
- エリビウム添加ファイバーを用いた増幅器を作る
- 共振器を作りレーザー発振する

希土類添加ファイバーアンプとレーザー発振の違い

今日、通信などの分野で多く使われているファイバーは、コアとクラッドがあり、光の全反射を利用して光を端面から端面へと伝送している。損失などを考えなければ図1のように波長 A、強度 10 の光を片側から入射したらもう片方から波長 A、強度 10 の光が出射される。これは当たり前のことである。

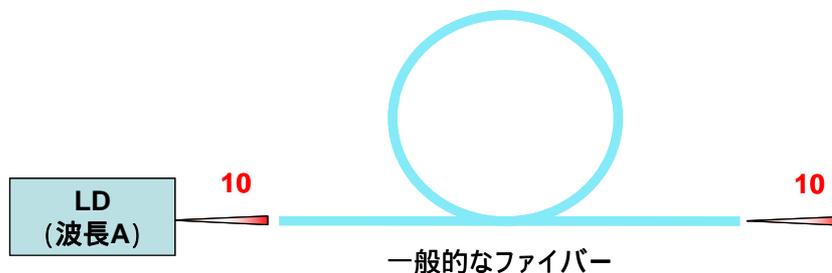


図 1

しかしこれが増幅器になると図2のような構成になる

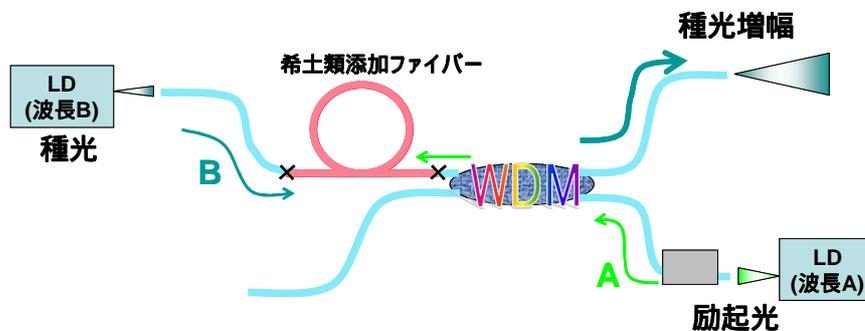


図 2

・増幅器（アンプ）って何？

図 2 のように『励起光である波長 A の LD を用いて希土類添加ファイバーを励起してやることにより、種光である波長 B の光が増幅されて出てくる』という原理である。

今回行う増幅器の実験系は図 3 の様に希土類添加ファイバーとして Er（エリビウム）添加ファイバーを、励起光としては波長 1480nm の LD（Laser diode）、種光としては波長 1557nm の LD を用いる。

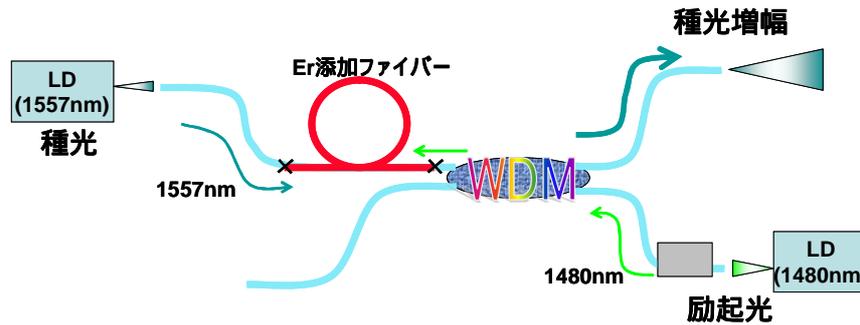


図 3

では、なぜこのような波長を励起光や種光として用いるのかについてエネルギー準位図を用いて説明をする。

Er 添加ファイバーに添加された Er は Er^{3+} となり図 4 の様な 3 準位系のエネルギー準位を持ち、始めほとんどの Er^{3+} は E_1 の基底準位にいる。

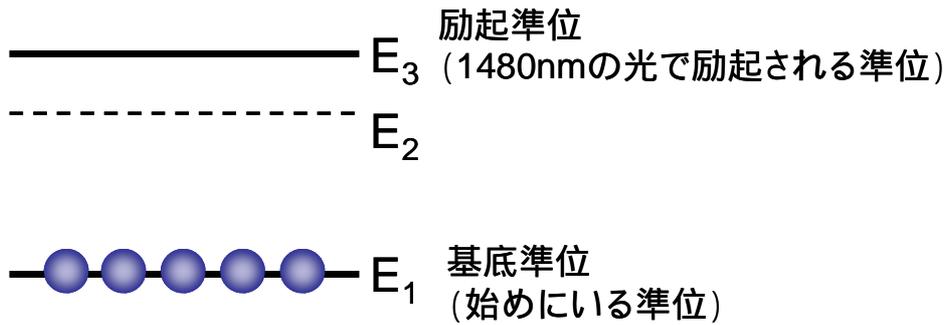


図 4

そこで、図 5 の様に 1480nm の光を吸収すると、基底準位にいた Er^{3+} が 1480nm の光を吸収して励起準位に遷移する。

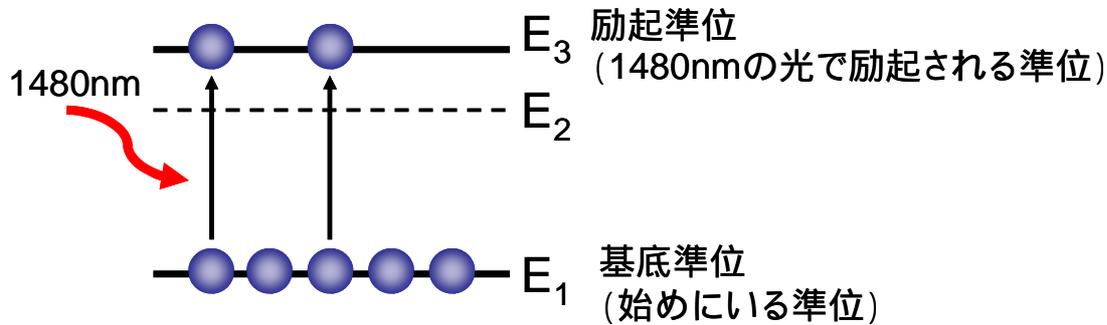


図 5

E₃に励起された Er³⁺は E₂に落ち、やがて E₁に落ちてしまう。この E₂から E₁に落ちる際に図 6 の様に 1557nm の光を自然放出する。ただし、自然放出光の位相はバラバラで、このままでは増幅器やレーザーとしての利用はできない。

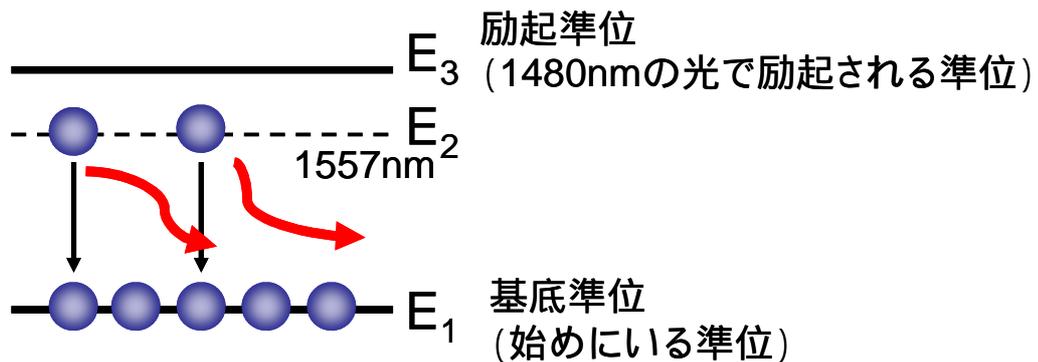


図 6

そこで、図 7 のように、種光(1557nm)の光を励起された状態に入れると、E₂にいた Er³⁺が 1557nm の光により誘導放出して E₁に遷移する。その際、位相も種光とそろっていて結果的に出てくる光は入った光が増幅されたものになる。

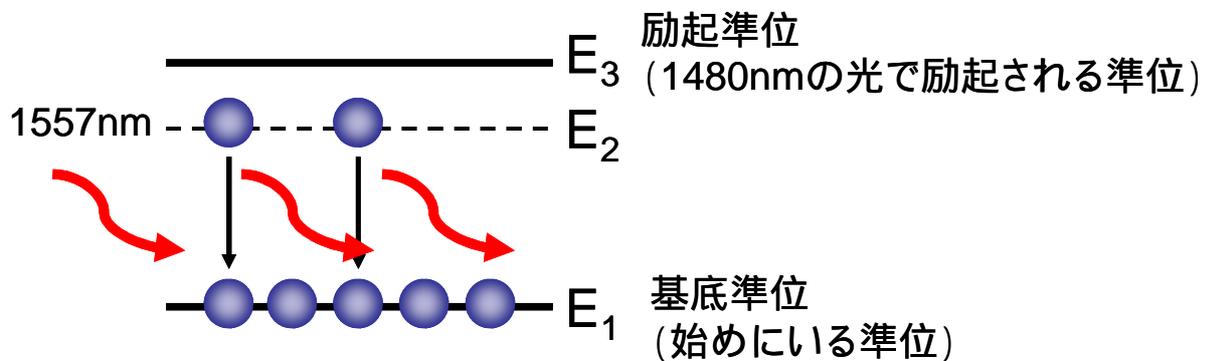


図 7

このような原理で種光は増幅され、増幅器が成り立っている。

・共振器（レーザー発振）って何？

先ほどの増幅器の実験系を応用することにより、図8のような共振器を組む

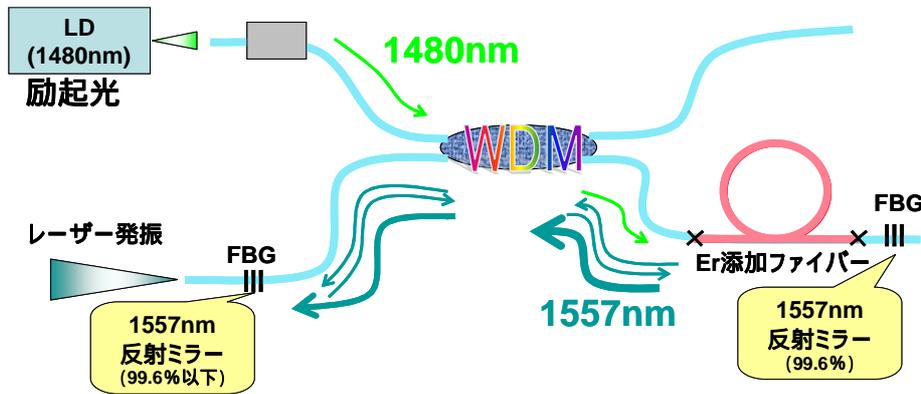


図 8

増幅器を組む際に用いていた種光（1557nm）の光源は今回使用せず、励起光（1480nm）だけを光源として用いる。また、共振器を組む際に不可欠な FBG（Fiber Bragg Grating：ミラーのファイババージョンの様なもの）を用いる。今回用いる FBG は波長 1557nm の光のみを反射するもので図 8 の様に片側は 99.6%の反射率（HR：High Reflection）、発振側はそれ以下の反射率（OC：Output Coupler）のものを用いる。原理としては、『基底準位にいた Er^{3+} が励起光（1480nm）の光を吸収して励起される。そのとき 1557nm の光が自然放出され、それが FBG により反射される。それが再び Er 添加ファイバーを通ると、誘導放出が始まり、やがて 1557nm の光は共振し、励起と誘導放出が安定（利得飽和）して位相のそろった一定強度の 1557nm の光を出し続けるレーザー発振が起こる。』というものである。

・まとめ

- ・増幅器とは 励起光により種光を増幅する。その際、励起光の強度を上げていき、上準位が **吸収飽和**してしまえばそれ以上は増幅できない。
- ・レーザー発振とは 種光を使わずに、励起光と FBG を使って共振器を作る。一度レーザー発振を始めてしまえば**利得飽和**しているので増幅器と違い励起光を上げればその分発振強度も増す。

ファイバーカップラーの原理

・動作と構造

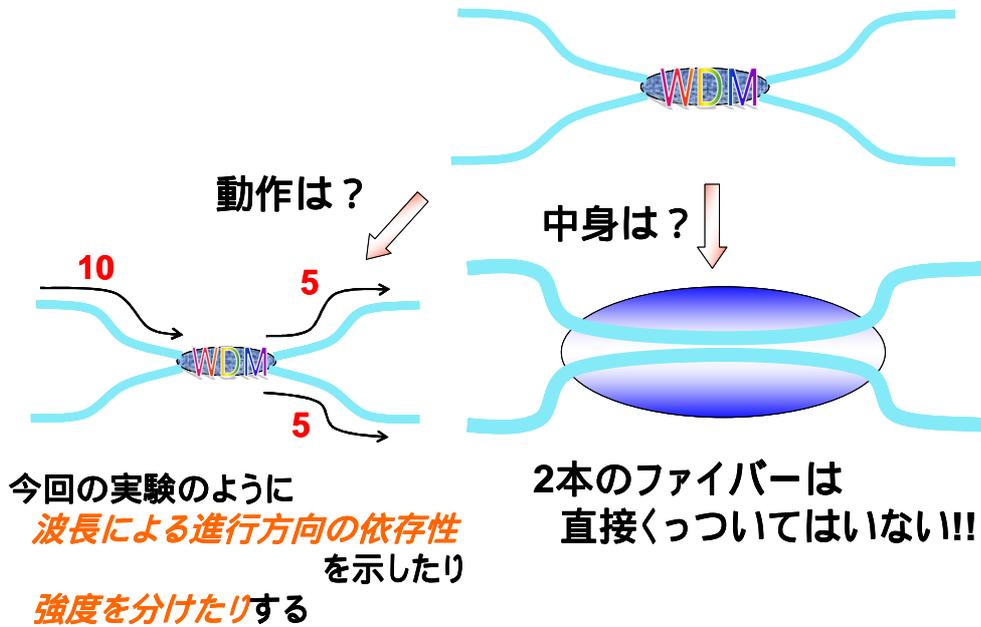


図 9

今回の実験で用いる素子の 1 つにファイバーカップラー (WDM : Wavelength Division Multiplexing) というものがある。動作としては図 9 の様に、波長による進行方向の依存性を示したり、強度を分けたりするものである。しかし、その構造は 2 本のファイバーが近接しているだけで隙間があり、実際にはくっついていない。ではなぜこのような構造でこのような動作をするのだろうか。

・動作と構造

始めにも書いたようにファイバーは全反射をすることにより光を伝送する。つまり、ファイバー中の光は全て全反射条件を満たしているということになる。そこでファイバーカップラーの原理を理解するため図 10 の様なプリズムの全反射を考えてみる。

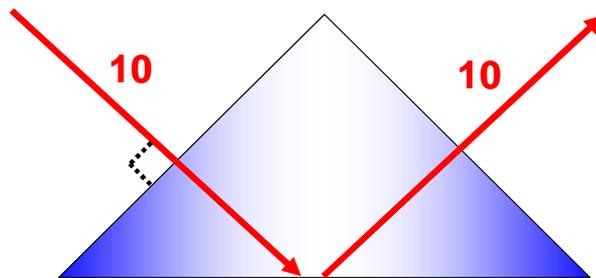


図 10

綺麗に平らの面が出ているプリズムに対して図 10 の様に面に対して垂直以上の角度で光が入ると全反射条件を満たし強度 10 入射した光は下から出ることなく強度 10 反射して出て行く。しかし実際には、指数関数的に減衰する非常に弱い光（エバネッセント波）は染み出している。そこで、図 11 の様にもう 1 つのプリズムを波長程度にまで近づけるとどうなるだろうか。

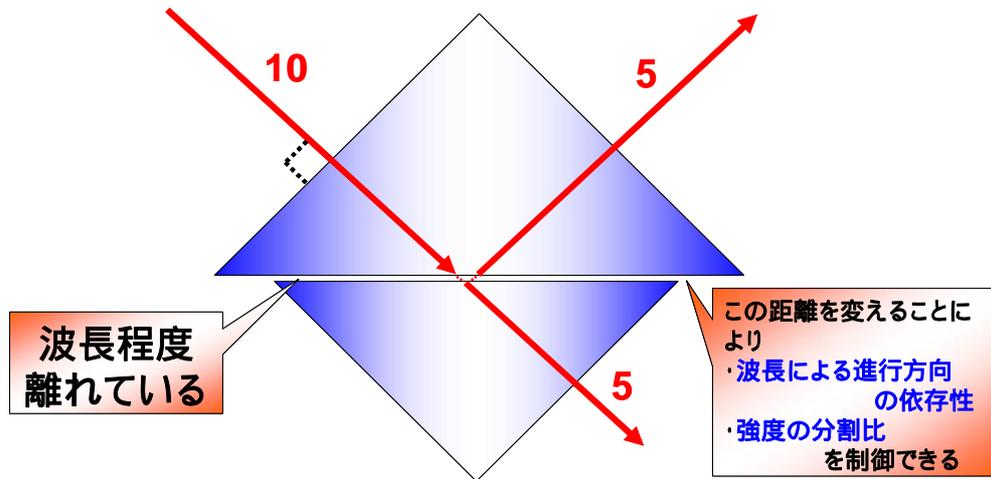


図 11

先ほどは染み出していた程度のエバネッセント波がプリズムを近づけることにより結合し、実際の光となって出てくる。波長程度まで誘電体が近づけばこの現象は起き、近づける距離を変えることによって、波長による進行方向の依存性や強度の分割比をも制御することができる。この現象は光のトンネル効果のようなものであり電子のそれと類似している。つまり、全反射しているとはいえポテンシャル障壁の高さは有限な値なので染み出しはあり、この状態に誘電体を近づけることにより光を一つ目のプリズムに閉じ込めているポテンシャルの障壁の高さを低くすることに対応するのだという。

この様な原理でファイバーカップラーも成り立っており、この考え方（近接場とも言う）は現在でも多くの分野に活用されている。

エリビウム添加ファイバーを用いた増幅器を作る

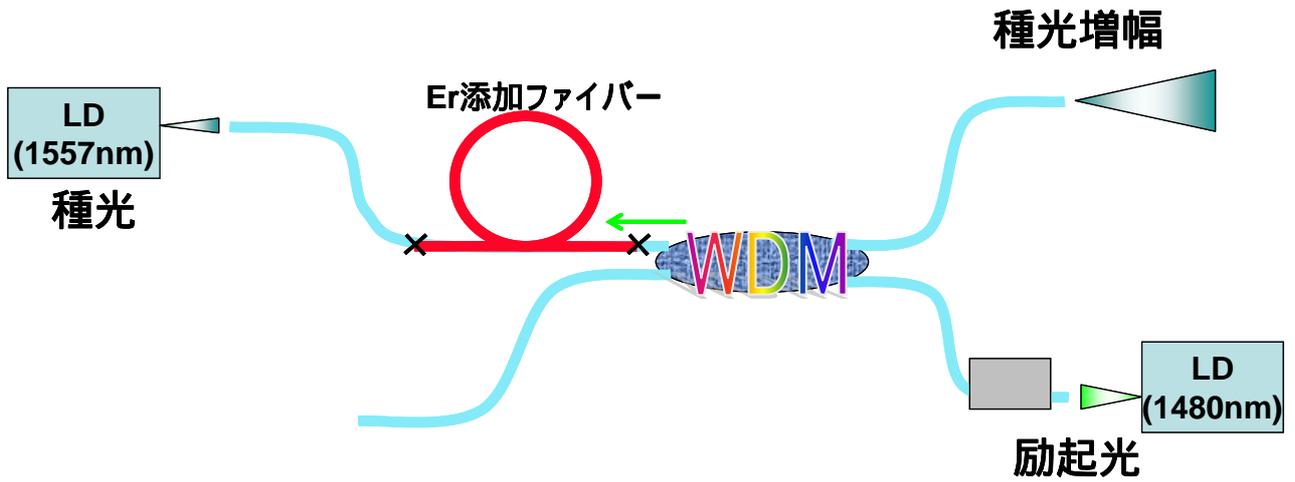


図 12

共振器を作りレーザー発振する

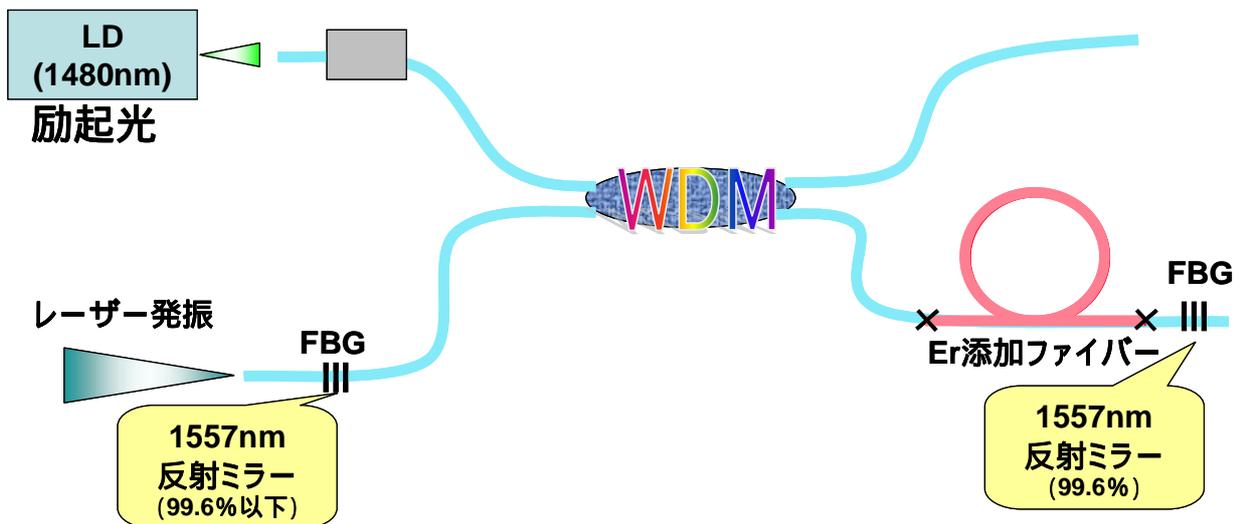


図 13