

2008
Elementary
Teaching
Laboratory

Program4
~ 固体レーザー ~

担当者 植田研究室 黒川 裕章

目的

身の回りには、スイッチを入れるだけで、
レーザー発振する装置があるが、
実際その中身はどうなっているか知ろう
そして自分で作ってレーザー発振させよう！

注意事項

- レーザーを直視しない
- 必ず保護メガネを着用する
- 感電・火傷に注意

内容

1.イントロダクション

a.レーザーの基礎 (15分程度)

2.実験

a.レーザー発振 (50分程度)

共振器について説明をし、実際に共振器を組んでもらう

b.ビームモードを確認 (10分程度)

あおりを微調整しモードを見る

c.Output Power の変化 (15分程度)

ハイパワーレーザーを体験

余裕があれば

d.パルス発振させる

パルス発振の説明をし、パルス発振を行う

e.可視光を発生させる

非線形結晶の説明をし、緑色光を出す

§ 1.1 レーザーとは

“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”の頭文字を取って“LASER”と書きます。直訳すると、「放射の誘導放出による光の増幅」という意味になります。

レーザー光の特徴は自然光と違い、指向性・単色性・コヒーレント性・高輝度性などを有していることである。

§ 1.2 自然放出と誘導放出

上準位の電子が、蛍光寿命後に下準位に落ちてくるが、一般的に落ちてくる時のエネルギー差の分だけ、熱または光($\Delta E = h\nu$)となって放出される。ここでの光の放出のことを自然放出という(Fig.1)。

誘導放出とは、一見自然放出と類似しているが、大きな違いは、その物質の発振波長の光を外部から入射すると、その入射光に比例する分の出力光を放出する。この光の放出を誘導放出という(Fig.2)。

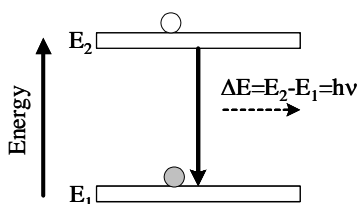


Fig.1 自然放出

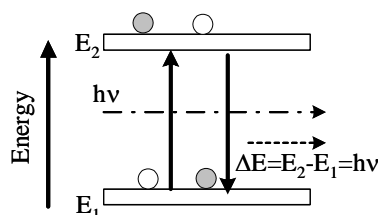


Fig.2 吸収と誘導放出

§ 1.3 反転分布

普通電子は熱平衡状態にあるが、レーザー発振するためには、上準位にある電子数が、下準位にある電子数より多くなければならない。この状態を反転分布状態という(Fig.3)。本プログラムで利用する、Nd:YAGレーザーは4準位レーザーであるのでこれを例として考える。(Fig.4)。

まず、基底状態(E_0)から準位 4(E_3)まで励起する。準位 4 に励起された電子は直ぐに準位 3(E_2)に非放射過程を経て落ちる。これによって準位 3 と準位 2(E_1)間で反転分布状態に成り立つ。

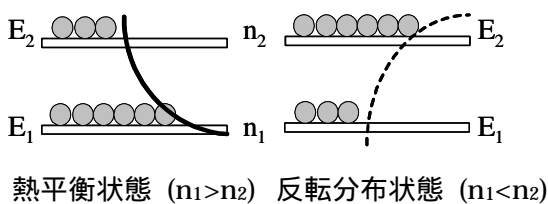


Fig.3 反転分布

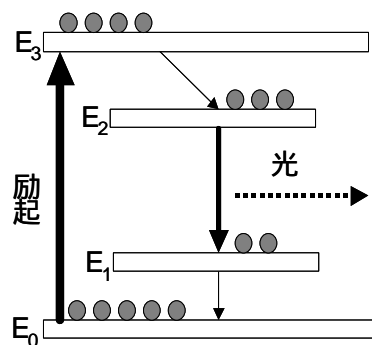


Fig.4 4 準位レーザー

§ 1.4 レーザー発振

Fig.5 に光共振器の基本構成の例を示す. 2 枚のミラーの間に利得媒質を置き, 光を閉じ込め増幅を行っている. また, この光共振器は Fig.6 に示すようなフィードバック発振器と考えることができ, 増幅器の利得がフィードバックの損失と等しくなった時, 定常状態になりレーザー発振を起こす.

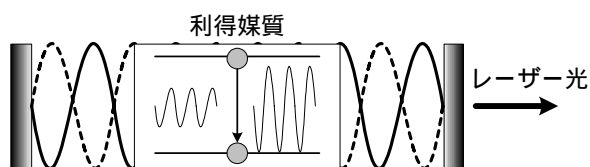


Fig.5 光共振器の構造

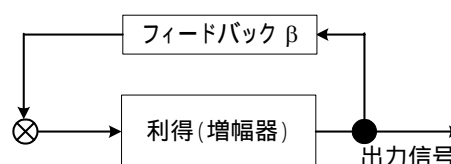


Fig.6 フィードバック回路

§ 1.5 ファブリー・ペロー共振器

2枚の反射鏡を向かい合わせ, 光をこの空間に閉じ込めるものをファブリー・ペロー共振器という. 光が片方の鏡から出発して, 他方の鏡で反射され, 元と同様な波面となって再生されれば, これが繰り返され, 共振が成り立つ. その周波数は, 1往復した時の位相変化が 2π の整数倍であれば, 元の波面と実質的に同じ位相であり強めあうことになる. 光の波長 λ , 共振器長 L とすると, その条件は

$$2\pi \frac{2L}{\lambda} = 2\pi q$$

ここで, q は整数である. このとき

$$\frac{\lambda}{2} q = L$$

すなわち半波長の q 倍が共振器長と一致しており, 定在波が立っている状態である (Fig.7). 周波数 ν については, 光速を c とすると

$$\nu = \frac{c}{2L} q$$

周波数を横軸にとると Fig.8 のように多数の共振周波数が並び, q に応じ縦モードが決まる. その周波数間隔は $c/2L$ になっており縦モード間隔という.

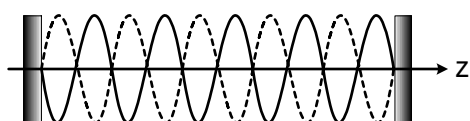


Fig.7 共振器の定在波の分布

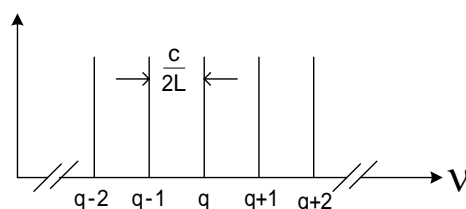


Fig.8 縦モード

§ 1.6 球面鏡共振器

共振器の構成の代表例は次のようなものである。左右の凹面鏡の曲率半径を r_1, r_2 , 共振器長を L とし, 凹面鏡の焦点距離 f_i が $r_i/2 (i=1,2)$ であることに注意すると

共焦点系 : $r_1+r_2=2L (f_1+f_2=L)$

共心系 : $r_1+r_2=L (f_1+f_2=L/2)$

球面系 : のうち, 特に $r_1=r_2=L$ 最もよく利用される一般的な共振器
 のうち, 特に $r_1=r_2=L/2$ 一般的な共振器

半球面系 : 凹面鏡と, その曲率中心を面上にもつ平面鏡とを組み合わせたものがある (Fig.9) .

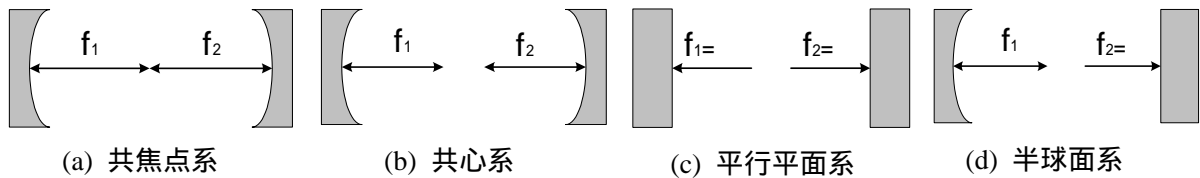


Fig.9 球面鏡からなる共振器の代表例 .

共振器長 : L 焦点距離 : f_1, f_2

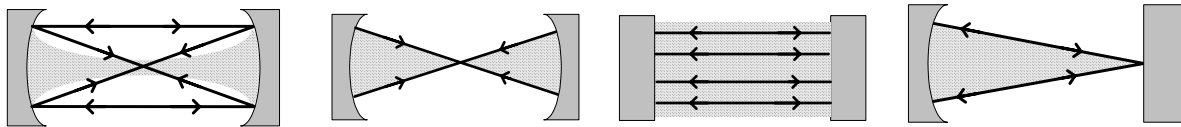


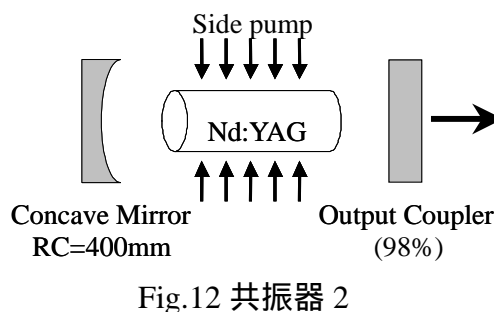
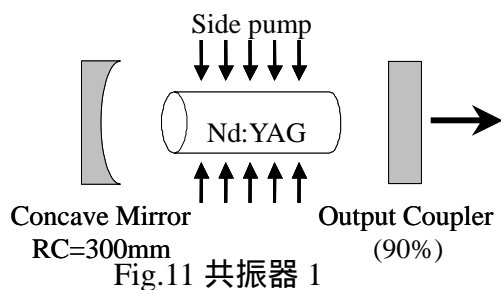
Fig.10 共振器中におけるビームの変化

§2 実験

実験にはNORTHROP GRUMMAN社の励起ユニットを用いる。レーザー媒質はNd³⁺:YAG(0.6% Nd-doped)で励起方法は側面励起であり、波長 808nmのLDを用いている。励起用のLDや結晶の冷却をするために 3 /min以上の冷却水を流す。

§2.1 レーザー発振

1つ目の共振器には、波長 1064nm の光に対して>99%反射で、曲率 300mm を有するミラーと波長 1064nm の光に対して反射率 90%の平面ミラーを用いる(Fig.11)。2つ目の共振器には、波長 1064nm の光に対して>99%反射で、曲率 400mm を有するミラーと波長 1064nm の光に対して反射率 98%の平面ミラーを用いる(Fig.12)。



- 冷却水のチラーとポンプのスイッチを入れ、水が流れていることを確認
- 励起ユニットの両端にミラーを置いて、ガイド光を頼りにミラーを調整する
- 保護メガネを着用しLDのメインスイッチを入れた後、LDの電流を13Aまでゆっくりと上げていき、レーザー発振しているか確認する。

§2.2 ビームモード

レーザー発振している状態で、ミラーのあおりを微徴することによって、ミラー面上の光電界振幅分布が変化する。CCDカメラで様々なビームモードを確認してみよう。

§2.3 Output Power

LDの電流を0Aから23Aまで変化させていき、どこでレーザー発振をし始めるか確認する。また発振後のパワーはどのように変化していくか確認してみよう。

<参考文献>

レーザー物理入門	霜田光一	岩波書店
入門レーザー	大津元一	裳華房
光エレクトロニクス	Amnon Yariv	丸善