

# 光学

古澤明教員・岡本博教員

2008/02/14

1. ガウシアンビームのビームパラメーター  $q(z)$  は,

$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - i \frac{\lambda}{\pi n \omega^2(z)}$$

と書ける．このとき,  $z$ ,  $R(z)$ ,  $\omega(z)$  の物理的意味を述べよ．

2. 焦点距離  $f$  を持つ肉薄凸レンズの ABCD 行列を示せ．

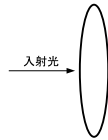


図 1 肉薄凸レンズ

3. 図 2 のように光共振器を作製することを考える．光共振器が安定になるための条件を, 光共振器の全長  $l$  とレンズの焦点距離  $f$  を用いて表せ．

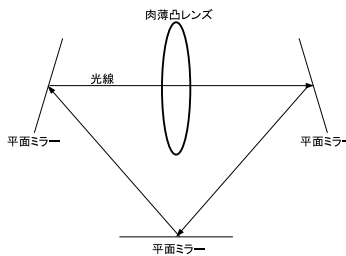


図 2 肉薄凸レンズと平面ミラーで構成した光共振器

4. 図 2 の光共振器が安定である場合, TEM<sub>00</sub> モードのビームウエスト位置とビームウエストサイズを光共振器の全長  $l$ , レンズの焦点距離  $f$  および波長  $\lambda$  を用いて表せ．ただし, 光共振器は空気中にあるとし, 空気の屈折率  $n$  を 1 とする．また, 必要であれば, 光共振器の 1 周回時における self-consistent の条件:

$$q = \frac{Aq + B}{Cq + D}$$

を用いてもよい．

5. 平行光を光凸レンズ（片面が平面，もう片面が凸面のレンズ）で集光する場合，できるだけ球面収差を小さくするためには，レンズを光線に対してどのように配置すればよいか述べよ．
6. 図3のような輪帯開口へ垂直に平行光が入射したとする．その場合の無限遠における電場分布を求めよ．なお，必要であれば，ベッセル関数の公式：

$$\int_0^u u' J_0(u') du' = u J_1(u)$$

を用いよ．

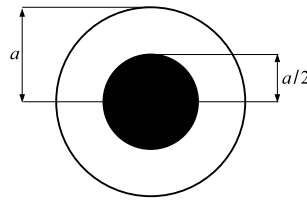


図3 輪帯開口

7. 反射率 0.999 のミラー 2 枚で光共振器を構成したとする．ミラーでのロスを無視すると，この光共振器に入射した光を 100% 透過させる共振器長  $L$  があることを示せ．ただし，入射光の波長を  $\lambda$  とする．

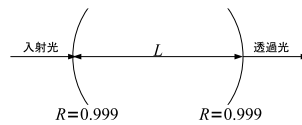


図4 光共振器への入射光と透過光

8. 図5の様に，反射率 0.999 と反射率 1 の 2 枚のミラーで光共振器を構成したとする．光共振器内に光を吸収する物質を入れると，反射率 0.999 のミラー側から入射した光が全く反射されない場合がある．このときの物質によるロスの値を求めよ．ただし，ミラーでのロス，物質端面での反射・散乱は無視する．

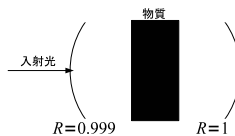


図5 光共振器中に物質を挿入

9. 可視光を，図の様に空気中から透明なガラスに入射させる．入射面は境界面に垂直であり，入射角を  $\alpha$  とする．このとき，図にある様に入射角と反射角は等しくなる．空気の屈折率を 1，ガラスの屈折率を  $n$  とし，空気およびガラスの透磁率は，真空中の透磁率  $\mu_0$  と等しいものとする．以下の問に答えよ．

- (a) 図の様に屈折角を  $\beta$  とするとき,  $\alpha$  と  $\beta$  の間に成り立つ関係を示せ.  
 (b) 入射光の電場が, 入射面に垂直 ( $s$  偏光) であるときの電場の振幅反射率  $r_s$  と平行 ( $p$  偏光) であるときの電場の振幅反射率  $r_p$  が, それぞれ以下の様になることを示せ.

$$r_s = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad r_p = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)}$$

ただし, 入射光の電場  $E_i$  と反射光の電場  $E_r$  は, 下図のベクトルの向きを正にとるものとする.\*<sup>1</sup>

- (c) 入射光の電場と入射面のなす角度が  $\theta_0$  ( $0^\circ < \theta_0 < 90^\circ$ ) である直線偏光を入射角  $\alpha_0$  で入射したところ, 反射光は入射面に垂直な偏光を持つ直線偏光となった.  $\alpha_0$  を求めよ. 同じ条件で,  $\theta_0 = 45^\circ$  のときのエネルギー反射率  $R$  を  $n$  を用いて表せ.

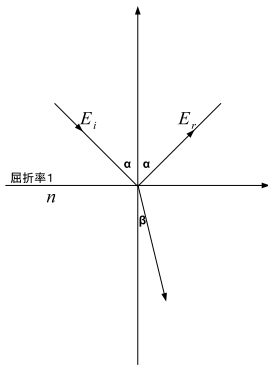


図 6  $s$  偏光入射

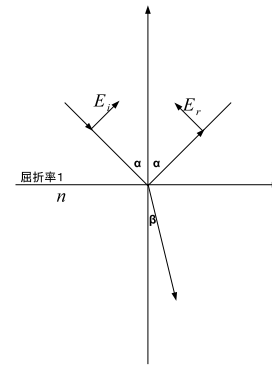


図 7  $p$  偏光入射

10. 以下の項目の中から一つを選び, わかりやすく説明せよ. 式や図を用いてもよい.  
 (a) 常光線と異常光線  
 (b) 楕円偏光解析  
 (c) 第二高調波発生と位相整合
11. 特定の位置のまわりに一定の復元力で束縛されている質量  $m$ , 電荷  $q (> 0)$  のイオンからなる等方的な物質を考える. 外部から入射した光に対するこの物質の応答は, 光の振動電場によるイオンの強制振動として扱うことができる. このとき, あるひとつのイオンの運動方程式が, 以下で与えられるものとする.

$$m\ddot{x} + m\Gamma\dot{x} + m\omega_0^2x = qE_0e^{-i\omega t}$$

ここで,  $x$  はイオンの座標,  $\Gamma$  は減衰力の係数,  $\omega_0$  は固有振動数である. また,  $E_0$  は光の電場の振幅であり,  $\omega$  は角振動数である. 同じイオンが単位体積中に  $N$  個あるとして, 以下の間に答えよ. ただし, 角振動数  $\omega$  が十分に大きいときの誘電率を  $\epsilon_\infty$  とし, 物質中の他の荷電粒子の応答は無視できるものとする.

- (a) 誘電率  $\tilde{\epsilon}$  の実部  $\epsilon_1$  と虚部  $\epsilon_2$  を求めよ.  
 (b) 横軸に角振動数  $\omega$  をとり,  $\epsilon_1$  と  $\epsilon_2$  の  $\omega$  依存性の概略を図示せよ.  
 (c) この物質の平坦な表面に, 真空中から角振動数  $\omega$  の単色平面波光が垂直に入射した場合のエネルギー反射率  $R$  の  $\omega$  依存性の概略を, (b) の  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  と横軸を合わせて図示せよ. なお, エネルギー

\*<sup>1</sup>  $s$  偏光の場合の電場は紙面下から上向きを正とする.

反射率  $R$  は、誘電率  $\epsilon$  と次式の関係にある．

$$R = \left| \frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0}\right)^{1/2} - 1}{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0}\right)^{1/2} + 1} \right|^2$$

12. 吸収係数が  $\kappa$ ，厚さが  $d$  である平行平板試料に，強度  $I_0$  の単色平面波光が垂直に入射された場合を考える．図の様に，入射された光は吸収されながら多重反射を繰り返す．\*2ここで，試料の右側に透過してくる光の強度の総和を  $I_t$ ，試料の左側に反射されてくる光の強度の総和を  $I_r$  とする．また，この単色平面波光に対する垂直入射のエネルギー反射率を  $R$  とする．（ $R$  は，11. 中の式で定義されるものである．）各経路の光の間の干渉効果は無視できるものとして，以下の問いに答えよ．

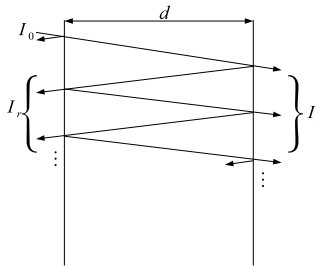


図 8

- (a)  $I_t/I_0$  および  $I_r/I_0$  を， $R$ ， $\kappa$ ， $d$  を用いて表せ．  
 (b)  $\exp(-\kappa d)$  が 0.5 のとき， $I_t/I_0$  と  $I_r/I_0$  が等しくなった．このときの  $R$  の値を求めよ．また， $I_t/I_0$  の値を求めよ．

\*2 図では，光の経路を見やすくするために斜入射で示してあるが，実際には，光は試料の面に垂直に入射している．