

光学

古澤明教員・岡本博教員

2009/02/12

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. 曲率半径 r を持つ凹面ミラーの ABCD 行列を示せ．

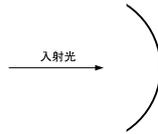


図1 凹面ミラー

3. この凹面ミラーに，ミラー直前でビームウエスト ω_0 を持つ単色（波長 λ ）のガウシアンビームが入射した場合，出力ビームのビームウエストサイズを r , ω_0 , λ を用いて表せ．
4. 曲率半径 r_1, r_2 を持つ2つの凹面ミラーを対向させて，光共振器を作製する．このとき，凹面ミラー間の距離を L として，この共振器が安定する条件を示せ．

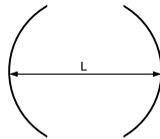


図2 光共振器

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．

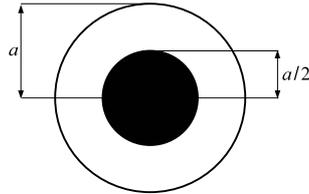


図3 輪帯開口

7. 反射率 0.9999 のミラー 2 枚で光共振器を構成したとする．ミラーでのロスを見捨てると，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 λ とする．

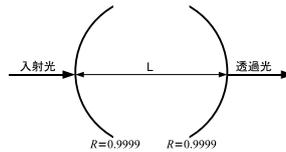


図4 光共振器への入射光と透過光

8. 図5の様に，反射率 0.9999 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 0.9999 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・散乱は見捨てる．

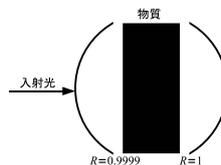


図5 光共振器中に物質を挿入

9. 誘電率が $\tilde{\epsilon}$ である物質中の単色平面波光 (角振動数 ω) の伝播を考える。物質の透磁率は、真空中の透磁率 μ_0 に等しい。光の電場 E 、および磁場 H は、以下で与えられるものとする。

$$E = E_0 \exp\{i(\tilde{k} \cdot r - \omega t)\}, H = H_0 \exp\{i(\tilde{k} \cdot r - \omega t)\}$$

ここで、 r は位置座標であり、 \tilde{k} は波数ベクトルである。Maxwell 方程式と物質方程式: $\epsilon_0 E + P = \tilde{\epsilon} E$ を使って、電場に関する以下の分散方程式を導け。

$$\left(\frac{c}{\omega}\right)^2 \left[(\tilde{k} \cdot \tilde{k}) E - (\tilde{k} \cdot E) \tilde{k} \right] = \frac{\tilde{\epsilon}}{\epsilon_0} E$$

10. 金属のドルーデモデルを考える。単位体積当たりの伝導電子の数を N 、電子の有効質量を m^* 、電子の電荷を $-e$ ($e > 0$)、電子の散乱確率を γ とする。また、高振動数側の誘電率は、真空誘電率 ϵ_0 と等しいものとする。光の角振動数を ω として、以下の問に答えよ。

- (a) 誘電率 $\tilde{\epsilon}$ の実部 ϵ_1 と ϵ_2 の表式を、プラズマ振動数 $\omega_p = (Ne^2/m^*\epsilon_0)^{1/2}$ 、 γ 、 ϵ_0 、 ω を用いて示せ。
 (b) 真空中からこの金属へ角振動数 ω の光が垂直に入射した場合のエネルギー反射率 R を考える。 R は、誘電率 $\tilde{\epsilon}$ と次式の関係にある。

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

$\omega \ll \gamma \ll \omega_p$ のとき、 R が以下の関係を満たすことを示せ。また、 A を ω_p と γ を用いて表せ。

$$R = 1 - A\omega^{1/2}$$

(c) $\gamma \ll \omega_p$ のときの R の ω 依存性の概略を図示せよ。また、図中に ω_p の位置を書き入れよ。

11. 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 α 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 μ_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 β とするとき、 α と β 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。

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

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。^{*1}

- (c) 入射光の電場と入射面のなす角度が θ_0 ($0^\circ < \theta_0 < 90^\circ$) である直線偏光を入射角 α_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。 α_0 を求めよ。同じ条件で、 $\theta_0 = 30^\circ$ のときのエネルギー反射率 R を n を用いて表せ。

12. 以下の 5 つの項目の中から 2 つを選び、わかりやすく説明せよ。図や式を用いてもよい。

- (a) 垂直反射率に関するクラマースクローニヒの関係
 (b) 楕円偏光解析
 (c) 屈折率楕円体
 (d) ポッケルス効果
 (e) 第二高調波発生と位相整合

^{*1} s 偏光の場合の電場は紙面下から上向きを正とする。

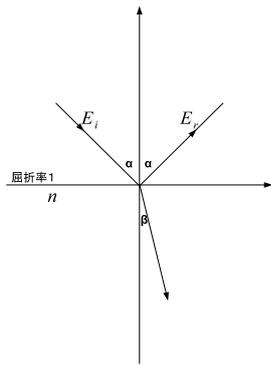


图 6 s 偏光入射

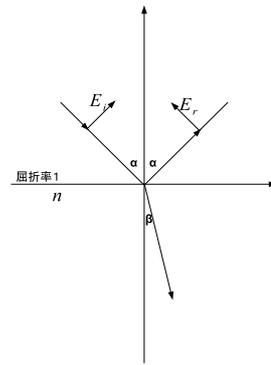


图 7 p 偏光入射