

光学

古澤明教員・岡本博教員

2007/02/01

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位置とウエストサイズを 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.

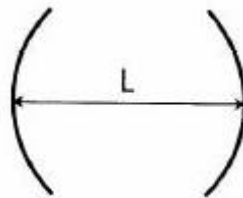


図2 光共振器

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.

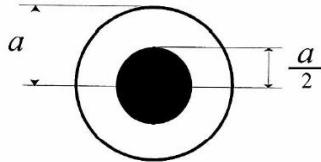


図3 輪帯開口

7. 反射率 0.99 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.

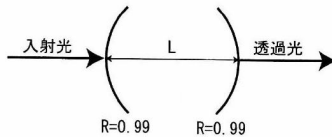


図4 光共振器への入射光と透過光

8. 反射率 0.99 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 0.99 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.

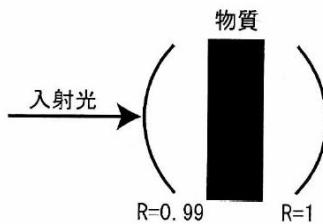


図5 光共振器中に物質を挿入

9. 図のように, 真空中から複素屈折率 $\tilde{n} = n + ik$ をもつ等方性媒質に垂直に入射した単色平面波光 (角振動数 ω) について考える. この単色平面波光の媒質中での電場は, 進行方向 z と時間 t の関数として以下で与えられるものとする.

$$E(z, t) = E_0 \exp\left\{i\omega\left(\frac{\tilde{n}}{c}z - t\right)\right\}$$

c は光速である. 真空誘電率を ϵ_0 , 媒質の透磁率が真空透磁率 μ_0 に等しいとして以下の問いに答えよ.

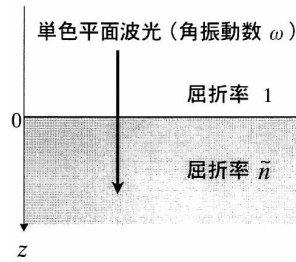


図 6

- (a) マックスウェル方程式を使って、この単色平面波の媒質中での磁場 $H(z, t)$ を、 $E(z, t), n, k$ を用いて表せ。
- (b) 前問の結果を使って、ポインティングベクトルの大きさ $S(z)$ のサイクル平均 (一周期についての時間平均) $\overline{S(z)}$ を、 E_0, n, k, ω を用いて表せ。
- (c) $\overline{S(z)}$ を z で微分することによって、 z 方向に単位距離進む間に単色平面波が失うエネルギーを求めよ。
10. 図のように、可視光 (単色平面波光) を、真空中 (左側) から透明なプリズムに入射させる。プリズムの各辺の長さは等しい (頂角は 60° であるものとする)。この単色平面波光に対するプリズムの屈折率 n は 1.2 より大きいことがわかっている。以下の問いに答えよ。

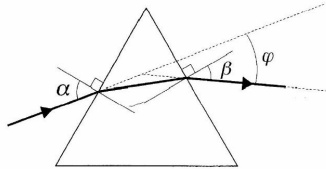


図 7

- (a) このプリズムへの入射光と、プリズムからの出射光がなす角 φ を、 α と n を用いて表せ。
- (b) プリズムから光が出射する角度 β が、入射角 α に等しくなったとする。このときの α を、 n を用いて表せ。
11. 金属のドルーデモデルを考える。単位体積あ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、以下の問いに答えよ。
- (a) 誘電率 $\tilde{\epsilon}$ の実部 ϵ_1 と虚部 ϵ_2 を、プラズマ振動数 $\omega_p = \left(\frac{Ne^2}{m^*\epsilon_0}\right)^{\frac{1}{2}}$, $\gamma, \epsilon_0, \omega$ を用いて表せ。
- (b) 真空中からこの金属へ角振動数 ω 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 を考える。 R は、誘電率 $\tilde{\epsilon}$ と次式の関係にある。

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

$\omega \ll \gamma \ll \omega_p$ 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.

12. 吸収係数が κ , 厚さが d である平行平板試料に, 強度 I_0 の単色平面波が垂直に入射された場合を考える. 図のように, 入射された光は吸収されながら多重反射を繰り返す. (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.) 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.

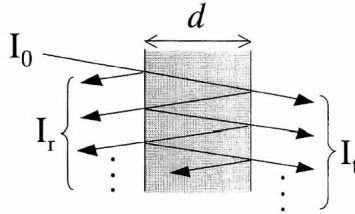


図 8

- (a) I_t/I_0 および I_r/I_0 を, R, κ, 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.
13. 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) 屈折率楕円体
 - (b) 常光線と異常光線
 - (c) ポッケルス効果