

第 5 回 波動と光 演習問題 [解答]

[問 1] 静止している媒質 1 に対して、媒質 2 はその境界面に沿って一定の速さ v で運動している。いま、媒質 1 から媒質 2 へ進む平面波を考え、境界面での入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 との間に成り立つ屈折の法則を図 1 を参考にして導け。ただし、媒質 1 および媒質 2 の中の方向は同一平面にあるものとする。

[解答] (配点 40 点)

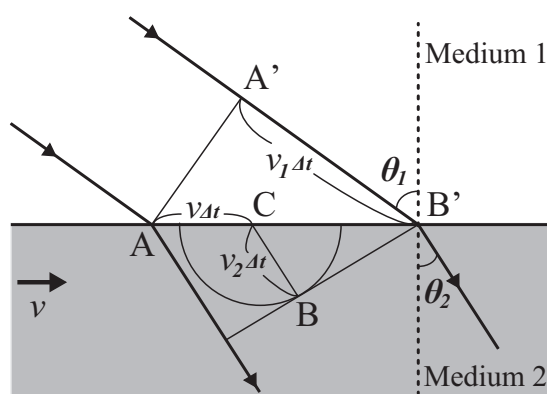


図 1: 媒質 1 から媒質 2 での光の屈折

入射波のある時刻における波面 AA' が、時間 Δt が経過すると、 BB' の位置に移ったとする。このとき A から出た素元波は、 A から $v\Delta t$ だけ B' に寄った点 C を中心とする半径 $v_2\Delta t$ の円上に到達している。したがって、屈折率の波面は、 B' からこの円に引いた接線となる。ここで、

$$A'B' = v_1\Delta t = AB' \sin \theta_1$$

$$CB = v_2\Delta t = CB' \sin \theta_2 = (AB' - v\Delta t) \sin \theta_2$$

となる。これより、入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 との間には、

$$\frac{v_1}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{\sin \theta_2} + v$$

の関係が成り立つことがわかる。

[問 2] 太陽電池では、入射する太陽光をできるだけ効率良く利用しなければならない。そこで、表面での反射を抑えるために、シリコン (Si) の表面は酸化シリコン (SiO) の薄膜で被覆されている。いま、550 nm の光の反射をなくすためには、薄膜の厚さを最低いくらにすればよいか。但し、酸化シリコンの屈折率を 1.45、シリコンの屈折率を 3.5 とする。

[解答] (配点 30 点)

反射を抑えるには膜の両面での反射光が互いに打ち消しあうようにすれば良い。この場合は膜のどちらの面での反射も、光の位相は π だけずれる。したがって、垂直に入射する光に対する反射光が弱くなる条件は、膜の屈折率を n 、膜厚を d 、光の波長を λ とすると、

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

となる。この条件を満たす膜厚が最小になるのは、 $m = 0$ のときであるから、求める膜厚は、

$$d = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550 \text{ nm}}{4 \times 1.45} = 94.8 \text{ nm}$$

となる。光学レンズの表面にも透過率を上げる目的でフッ化マグネシウムにより被覆されている。このような薄膜を反射防止膜という。反射光を完全に 0 にするには、上の条件を満たすだけでなく、膜の表面での反射光の強さと、屈折して裏面で反射して表面から出ていく光線の強さが等しくなければならない。そのためには、被覆される物質の屈折率 n' と、膜の屈折率 n との間には、 $n = \sqrt{n'}$ の関係が成り立てば良い。

[問 3] 2つのスリットに単色光を照射して、ヤングの干渉実験を行った。以下の問いに答えよ。

(1) 波長 $6.30 \times 10^{-7} \text{ m}$ の単色光を当て、スリットの後方に 3.0 m のところにスクリーンを置いたところ、スクリーン上に 3.7 mm の間隔で暗線が現れた。スリットの間隔はいくらか。

(2) 2つのスリットを 1.0 mm 離して置き、これに垂直に波長 $5.90 \times 10^{-7} \text{ m}$ の単色光を当てたとき、スリット後方の 1.0 m の位置に置かれたスクリーン上に現れる干渉縞の間隔はいくらか。

(3) 2つのスリットを 0.50 mm 離して置き、その後方 2.0 m のところにスクリーンを置いたとき、2.0 mm の間隔でスクリーン上に干渉縞が現れた。この実験に用いられた単色光の波長はいくらか。

[解答] (配点 各 10 点)

$$(1) \quad \frac{6.3 \times 10^{-7} \text{ m} \times 3 \text{ m}}{3.7 \times 10^{-3} \text{ m}} = 5.1 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$(2) \quad \frac{5.9 \times 10^{-7} \text{ m} \times 1 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}} = 5.9 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$(3) \quad \frac{0.5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 2 \times 10^{-3} \text{ m}}{2 \text{ m}} = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$$