

入試問題研究 第173回 2005年 岡山大学 ④ 光(CD記録の仕組み)

コンパクトディスク(CD)の基本構造を図4に示す。裏側に、反射膜の一部が凸になった「ピット」の列がある。その列は一定の間隔 d で同心円状に並んでいると考えてよい。反射膜の上には透明な樹脂層がある。

(1) CDを読み取るときには、波長 7.8×10^{-7} [m]、直径 1.7×10^{-6} [m] の赤外線レーザー光を反射膜に垂直に照射し、反射光を光検知器で検出する。反射光は入射光に対して位相が ① [rad] だけずれる。光がピットにあたるとき、ピットで反射される光線 A とその横で反射される光線 B の間に光路差が生じる。一方、ピットに当たらない場合は、光路差は生じず光検出器の出力は最大になる。出力が最小になるのは、 N を自然数とすると光路差が波長の ② 倍の場合であり、この条件を満たすピットの高さの最小値は ③ [m] である。ただし、透明樹脂の屈折率は 1.5 とする。

(2) CD を格子間隔 d の反射型回折格子と考えて、ピット列の間隔 d を以下のようにして求めよう。図5に示すように、水平に置かれた CD に直径 1 [mm] の平行光線を鉛直に入射する。CD の中心 O と入射点 P を結ぶ直線上の点 S に十分長いスクリーンを鉛直に立てて、回折光の位置を肉眼で読み取る。ピット列の間隔 d を、光の波長 λ 、PS 間の距離 L 、点 S から最も高い位置の回折光までの距離 r を用いて表すと、 $d =$ ④ となる。ただし、空気の屈折率は 1 とし、透明樹脂の厚さは無視できるとする。 d は r および L に比べて十分小さいと考えてよい。

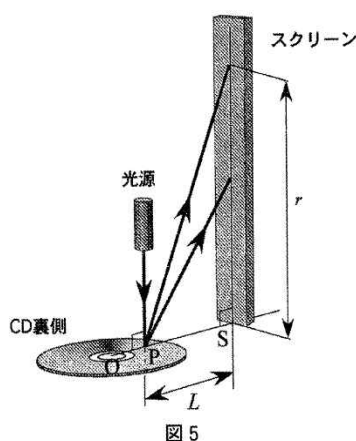
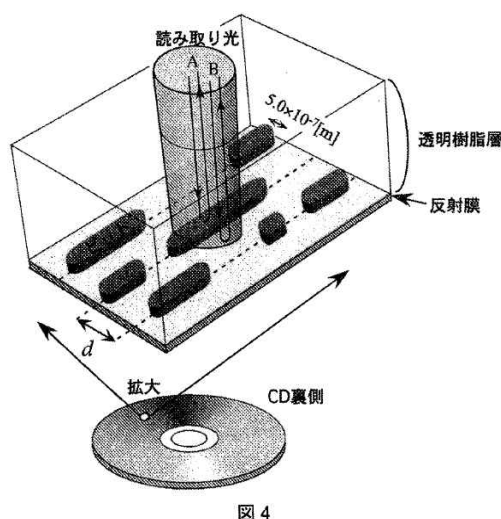
(a) 間隔 d を求める実験に最適な光源を下の中から選び、その名称を答えよ。

半導体レーザー: 波長 7.8×10^{-7} [m]

He-Ne レーザー: 波長 6.3×10^{-7} [m]

白熱電球: 白色の平行光線

(b) 水平に置かれた CD の裏面全面に白色の平行光線を鉛直に照射すると、どのような回折光が天井に映されるか 20 文字以内で答えよ。



入試問題研究 第173回 2005年 岡山大学 ④ 光(CD記録の仕組み) 解答・解説

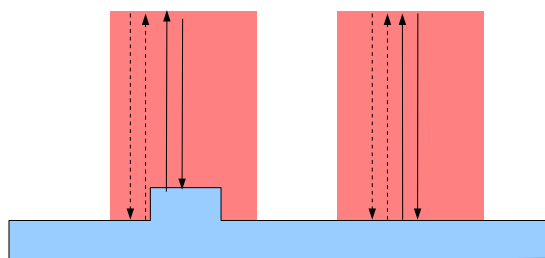
- (1) CD 記録読み取りには、波長 7.8×10^{-7} [m]、直径 1.7×10^{-6} [m] の赤外線レーザー光を使っている。CD の素材はポリカーボネートというプラスチックであり、反射層の膜はアルミニウム蒸着膜である。

反射層はアルミニウムだから導体(電気を通す)である。導体内は電界は常にゼロになるから、反射層は固定端になる。そのため反射光は入射光に対して位相が $\frac{\pi}{2}$ [rad] …① ずれることになる。

ピットに当たらない場合(右図)、反射光全部について、光路差は生じないため、反射光は強い。そのため光検出器(フォトダイオード、フォトトランジスタなど)の出力は最大になる。

ピットに当たった場合(左図)、ピット部分に当たった反射光と、ピット周辺部分に当たった反射光の間では光路差が生じる。 N を自然数とする

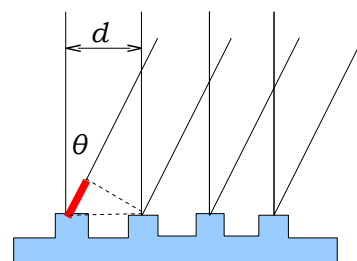
と光路差が波長の $N - \frac{1}{2}$ 倍…② のとき反射光全体では弱めあうことになる。すなわち、反射光が弱くなるので、光検出器(フォトダイオード、フォトトランジスタなど)の出力が弱くなる。



ピットの高さ p とすると、光路差は p の2倍に透明樹脂の屈折率 1.5 を乗じたものだから、 $1.5 \times p \times 2 = 7.8 \times 10^{-7} \times \left(N - \frac{1}{2}\right)$ が成立するとき、反射光が最小になる。よって、ピットの高さの最小値は $N=1$ のとき 1.3×10^{-7} [m]…③ である。

- (2) 回折格子により強めあう条件は、右図より距離の差は $d \sin \theta$ だから、 $d \sin \theta = m \lambda$ である。これを用いて、ピット列の間隔 d を、光の波長 λ 、PS 間の距離 L 、点 S から最も高い位置の回折光までの距離

r を用いて表すと、 $d \times \frac{L}{\sqrt{r^2 + L^2}} = m \lambda$ (m は整数) であるから、最も高い位置(r が最大)の回折光だから、 $m=1$ のときである。よって、 $d = \frac{\lambda \sqrt{r^2 + L^2}}{L}$ である。



- (a) 回折格子により肉眼で測定するのだから、「可視光線(紫から赤までの肉眼で見える光)」でなくてはならない。また、回折格子での干渉を正確に測定するのだから「単色光」でなければならない。よって、使うのは、He-Ne レーザー: 波長 6.3×10^{-7} [m] である。

- (b) 水平に置かれた CD の裏面全面に「白色の平行光線(いろいろな波長を含む)」を鉛直に照射する場合、天井の高さを H 、CD の真上を原点として天井で光が強めあう位置を x とすると、反射光が強めあうのは $d \times \frac{x}{\sqrt{x^2 + H^2}} = m \lambda$ を満たすときである。光が強めあう

位置を求めると、 $x = \frac{m \lambda H}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}$ である。

よって、「CD の真上が中心の紫から赤の同心円を形成」である。

※ ピット幅とレーザースポットの大きさの関係の最適値はどれくらいだろうか? 考えてみよう。