

電 気 電 子 情 報 工 学 実 験 I , II

実 験 題 目 フォトニクス I (偏光と干渉)

担当教員名 玉山 泰

遠隔講義実施日 令和 2 年 6 月 1 1 日

提出者 学籍番号 20315784

氏 名 佐藤凌雅

学生実験レポートチェックリスト

チェック項目	チェック欄
レポート提出期限を再確認しましたか。	○
ファイルの形式は PDF、サイズは 10 MB 未満となっていますか。	○
ファイル名は「学籍番号（半角）.pdf」となっていますか。 例）12345678.pdf	○
レポートには、当該テーマ担当教員から指示された必要事項が記載されていますか。	○
図と表にはそれぞれ通し番号が付されていますか。また、キャプションが英語で書かれていますか。	○
参考にした書籍、文献、WEB サイト等は参考文献リストにまとめられていますか。出典のない引用は不正行為にあたります。	○
「実験レポートの書き方」を熟読し、その主旨や注意事項に添って書かれていますか。	○

- * レポートの提出期限は必ず守ってください。締め切り後の提出は受理されない場合があります。
- * チェックリストは各自の確認のために使うものです。自分の作成したレポートに対して真摯な態度で記入してください。
- * チェック項目が満足されていない場合にはレポートが受理されませんので注意してください。

1 目的 Purpose

誘電体表面での光の反射に関する実験を通して、p偏光とs偏光の反射率特製の違いを調査する。

ダブルスリットを使用した光の干渉実験を通して、干渉縞の出来方などから光の波動性を理解する。

いずれの実験についても理論値と実測値との違いを比較、検討を行い、考察の過程で偏光と干渉について理解を深める。また、光学素子の扱いや光学実験手法についても学ぶ。さらに、グループ作業を通じて、限られた時間での効率的な作業方法などについても検討する。

2 理論的背景 Theory

2.1 誘電体表面での光の反射

誘電体表面での光波の反射（フレネル反射）は、入射光の偏光に依存する。入射波、屈折波、反射波の電場ベクトルが入射面に対して平行である場合をp偏光、垂直である場合をs偏光と呼ぶ。この時、Fig.1に示すようにそれぞれの媒質の屈折率を n_1 、 n_2 とすると、入射角を ϕ と屈折角を χ の間にはスネルの法則（Eqn.(1)）が成立する。

$$\frac{\sin \phi}{\sin \chi} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

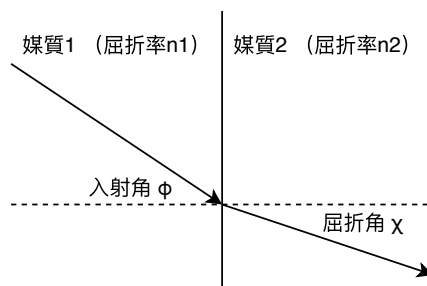


Fig.1 refraction

また、p偏光、s偏光の反射率はEqn.(2)およびEqn.(3)で与えられる。

$$(R_E)_p = \frac{\tan^2(\phi - \chi)}{\tan^2(\phi + \chi)} \quad (2)$$

$$(R_E)_s = \frac{\sin^2(\phi - \chi)}{\sin^2(\phi + \chi)} \quad (3)$$

反射率について、p偏光の時には $\phi + \chi = \pi/2$ の時に $\tan(\phi + \chi) \rightarrow \infty$ となり、分母が発散するため、 $R_E = 0$ となる χ が存在する。一方で、s偏光では分母が発散することはない。数式上、 $\phi - \chi = 0$ の時に分子が0となるため、反射率が0になるように見えるが、スネルの法則より、入射角と反射角が同じになるのは $\phi = \pi/2$ の時のみである。この時、Eqn.(3)は0/0の不定形となる。き

ちんと極限計算を行うと、 $\phi = \pi/2$ の時、反射率は1となるのでs偏光では反射率が0となることはない。

前述のように、反射率が0となるのはp偏光の時のみである。p偏光の反射率が0となる時の入射角をブリュースター角と呼び、 ϕ_B で表す。先ほど示したように $R_E = 0$ となるのは $\phi_B + \chi = \pi/2$ 、すなわち $\chi = \pi/2 - \phi_B$ の時であった。これをスネルの法則 (Eqn.(1)) に代入して整理する。

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \phi_B}{\sin \chi} = \frac{\sin \phi_B}{\sin(\pi/2 - \phi_B)} = \frac{\sin \phi_B}{\cos \phi_B} = \tan \phi_B \quad (4)$$

この時、媒質1を空気であるとする ($n_1 = 1$) と、ブリュースター角 ϕ_B はEqn.(5)で表される。

$$\phi_B = \tan^{-1}(n_2) \quad (5)$$

2.2 ダブルスリットを通過した光の干渉

Fig.4のように、レーザー光を二つのスリットに対して一様に照射すると、それぞれのスリットから出射した光の干渉により、スクリーン上には明線と暗線が交互に現れる。スリットの中心間距離を d 、ダブルスリットとスクリーンとの間の距離を L とする。この時、上側のスリットからスクリーン上の位置 x までの距離 l_1 は三平方の定理よりEqn.(6)となる。

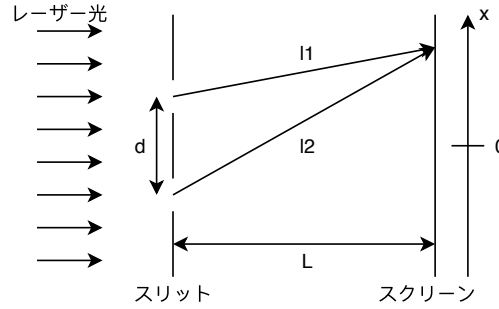


Fig.2 Diagram of the light interference experiment

$$l_1 = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} = L \sqrt{1 + \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2} \quad (6)$$

ここで、一般化二項定理により $\left|\frac{x - \frac{d}{2}}{L}\right| \ll 1$ の時に $\sqrt{1 + \alpha} \approx 1 + (1/2)\alpha$ と近似できることが知られている。 L は十分に大きいとすると l_1 はEqn.(7)と近似できる。

$$l_1 \approx L \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{d}{2}}{L} \right)^2 \right) = L + \frac{1}{2L} \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \quad (7)$$

同様にすると l_2 はEqn.(8)となる.

$$l_2 \approx L + \frac{1}{2L} \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 \quad (8)$$

l_1 と l_2 の差は

$$\begin{aligned} l_2 - l_1 &= L + \frac{1}{2L} \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 - \left(L + \frac{1}{2L} \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \right) \\ &= \frac{1}{2L} \left(\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 - \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \right) = \frac{1}{2L} (2dx) = \frac{d}{L} x \end{aligned} \quad (9)$$

距離に波数をかけると位相変化になるので, 各スリットから出射した光のスクリーン上の位置 x における位相差 δ は $\delta = kdx/L$ となる. したがって,

$$x = \frac{m\lambda L}{d} \quad (10)$$

の時に光は強めあい,

$$x = \frac{\left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda L}{d} \quad (11)$$

の時に光は打ち消しあう.

よって

$$\begin{aligned} \cos(\omega t) + \cos(\omega t - \delta) &= 2 \cos\left(\frac{2\omega t - \delta}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega t - \omega t + \delta}{2}\right) \\ &= 2 \cos\left(\frac{2\omega t - \delta}{2}\right) \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \end{aligned} \quad (12)$$

ωt を除いた箇所が光強度に寄与しており, また, 光強度は電界の振幅の二乗に比例するため,

$$\begin{aligned} I(x) &= I_0 \left| \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \right|^2 \\ &= I_0 \left| \cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda L} x\right) \right|^2 \\ &= I_0 \left| \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right) \right|^2 \end{aligned} \quad (13)$$

3 実験方法 Experiment

3.1 誘電体表面での光の反射

p偏光およびs偏光のレーザー光をプリズムで反射させ, 光検出器で検出を行う. レーザー光をp偏光またはs偏光へと変換するために, 直線偏光子と $\lambda/2$ 板を用いる. また, 入射角を容易に変化させ

られるよう、プリズムは回転ステージ上に取り付けられている。

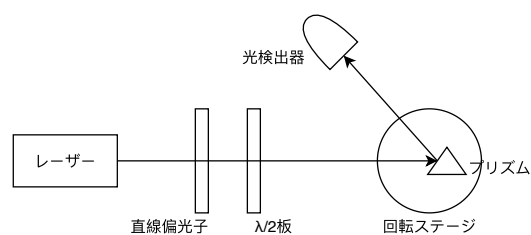


Fig.3 Diagram of the reflection experiment

3.2 ダブルスリットを通過した光の干渉

レーザー光をダブルスリットに対して一様に照射する。それぞれのスリットから出射した光の干渉により、スクリーン上には明線、暗線が交互に現れるので、光強度分布を観測する。

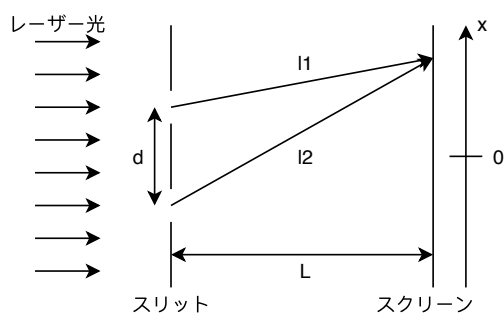


Fig.4 Diagram of the light interference experiment