

フォトニクスI (偏光と干渉) ノート

1 はじめに

- 光応用機器: デジカメ, Blu-ray, レーザープリンタ, 半導体露光装置など
- 特に偏光応用: 偏光サングラス, 液晶ディスプレイ, 3D ディスプレイなど
- 特に干渉応用: メガネの反射防止コーティング, 光コヒーレンストモグラフィ, 重力波検出器など

光は身近なものから最先端研究までを支えている

2 基礎知識

光 (可視光) とは

波長が 380 nm から 780 nm の電磁波.

電磁波の分類 (おおよその目安)

電波	マイクロ波	テラヘルツ波	赤外線	可視光	紫外線	X線
周波数	3 GHz	300 GHz	30 THz	384 THz	789 THz	300 PHz
周期	0.3 ns	3 ps	30 fs	2.60 fs	1.27 fs	3 as
波長	10 cm	1 mm	10 μ m	780 nm	380 nm	1 nm

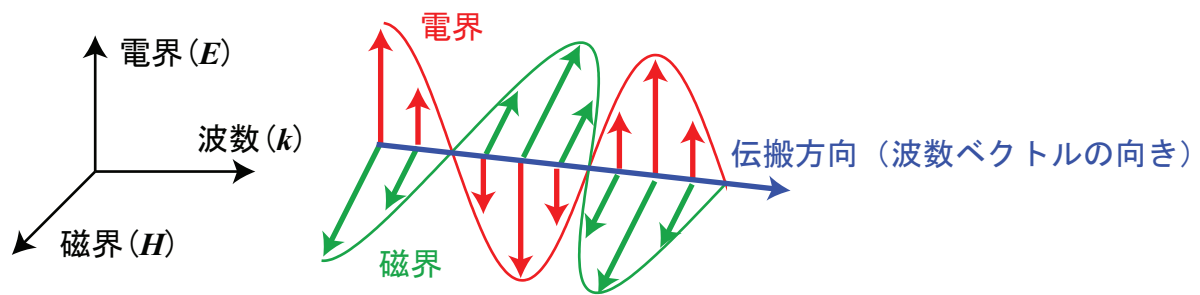
電磁波とは

- 電場と磁場が組み合わさって伝搬する波.
- マクスウェル方程式によって記述される

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \text{rot } \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (1)$$

平面波 $\exp[-i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})]$ を仮定すると

$$i\mathbf{k} \times \mathbf{E} = i\omega \mathbf{B}, \quad i\mathbf{k} \times \mathbf{H} = -i\omega \mathbf{D} \quad (2)$$



真空中においては $B = \mu_0 H$, $D = \varepsilon_0 E$ なので

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E} = \omega \mu_0 \mathbf{H}, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\omega \varepsilon_0 \mathbf{E} \quad (3)$$

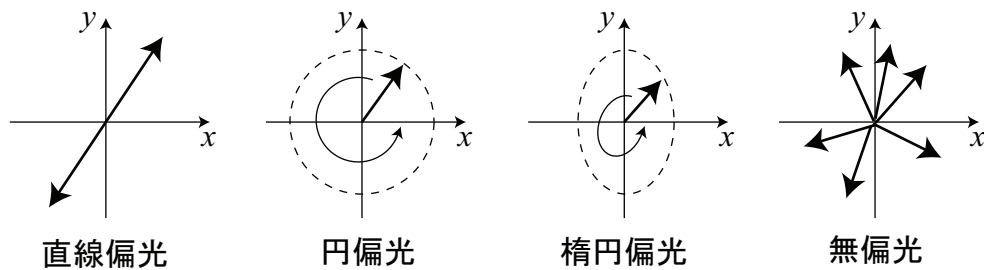
また, 上式から $k^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0$ となる.

$k = 2\pi/\lambda$, $\omega = 2\pi f$ より, 真空中の光速 $c_0 = \lambda/T = f\lambda = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} = 299792458 \text{ m/s}$ が得られる.

偏光

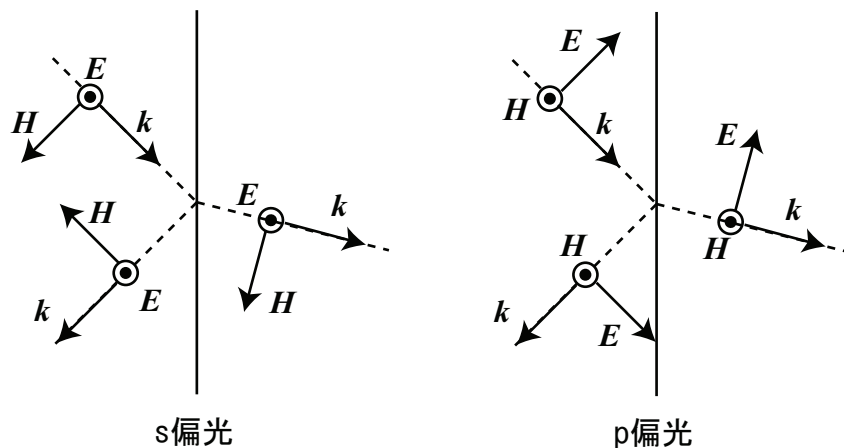
ある場所における光の電場ベクトルが, 時間の経過によって描く軌跡を表現するもの.

偏光の例



s 偏光, p 偏光

- 直線偏光の一種.



- s 偏光 (senkrecht): 電場ベクトルの振動方向と入射面 (波数ベクトルの存在する面) が垂直
- p 偏光 (parallel): 電場ベクトルと入射面が平行

3 誘電体表面での光の反射

目標

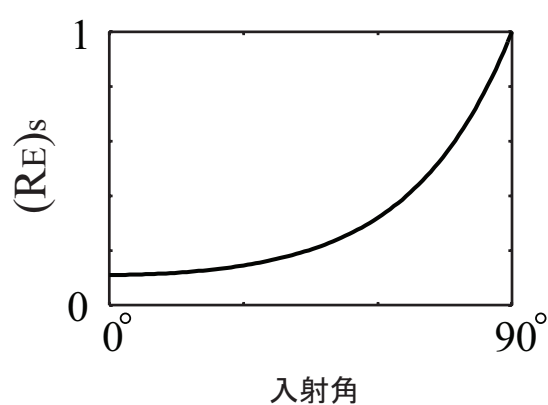
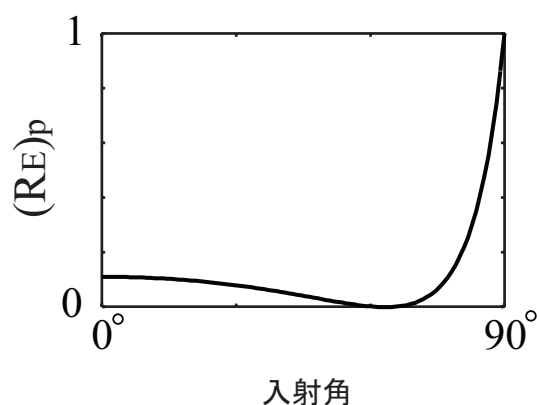
光の反射率の偏光依存性を測定することによって、偏光の概念を理解する。

光の反射率

誘電体表面での光の反射率は偏光に依存する。(導出はフォトニクス工学 I を参照)

$$(R_E)_p = \frac{\tan^2(\varphi - \chi)}{\tan^2(\varphi + \chi)} \quad \text{p 偏光の場合} \quad (4)$$

$$(R_E)_s = \frac{\sin^2(\varphi - \chi)}{\sin^2(\varphi + \chi)} \quad \text{s 偏光の場合} \quad (5)$$



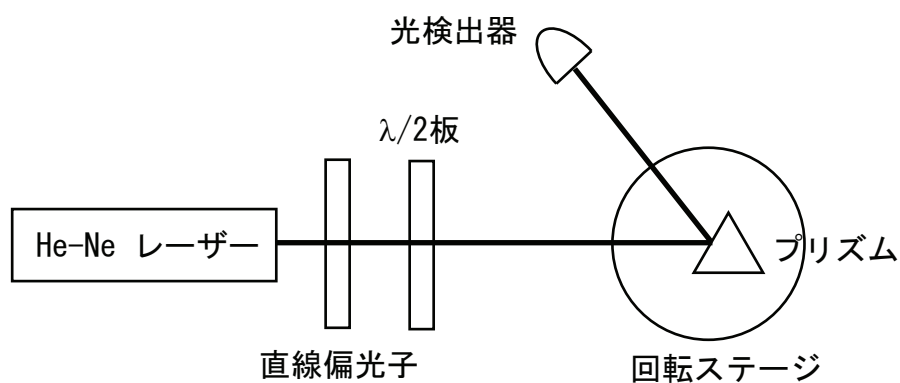
ブリュースター角

- $(R_E)_s$ は 0 になることはない.
- $\varphi + \chi = \pi/2$ のとき, $\tan(\varphi + \chi) \rightarrow \infty$ になるため, $(R_E)_p = 0$ になる. この時の入射角 φ をブリュースター角と呼ぶ.

実験

誘電体に s 偏光, p 偏光を入射した際の反射率を測定する.

⇒ 偏光に依存する光学現象の観測



He-Ne レーザー: 波長 633 nm の光を発生

直線偏光子: 透過光の偏光を直線偏光にする

$\lambda/2$ 板: 直線偏光の偏光方向を回転させる

プリズム: 2 種類の材質

光検出器 (フォトダイオード): 光のパワーに比例した電流を出力

演習 1

テキストの式 (3.1), (3.2) から, 反射率が 0 になりうるのは p 偏光のみであることを示せ. また, 空気中からある物質に光が入射するとしたとき, その物質の屈折率とブリュースター角の関係式を導出せよ.

4 ダブルスリットを通過した光の干渉

目標

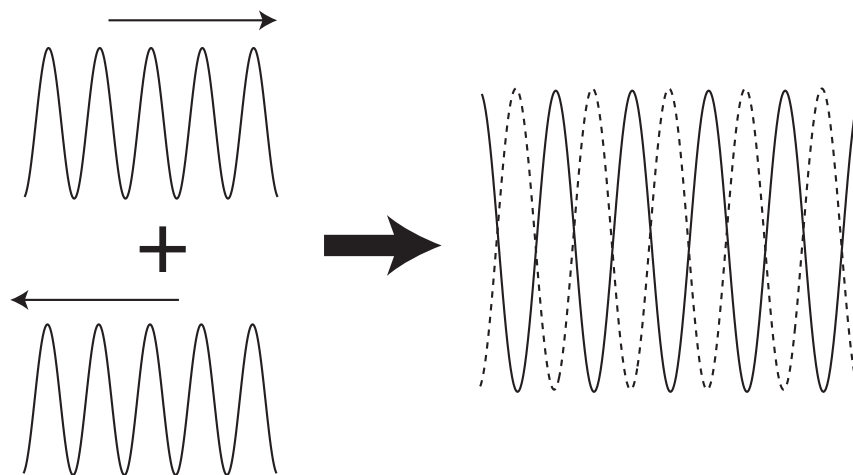
光波の位相や干渉の概念について理解する.

光の干渉

光は波の性質をもつので, 干渉 (波の重ね合わせ) が生じる

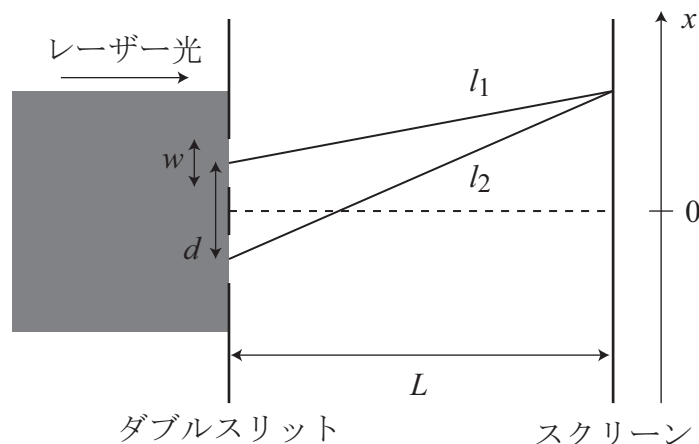
例) 進行方向が逆向きである 2 つの光の干渉

$$\cos(\omega t - kx) + \cos(\omega t + kx) = 2 \cos(\omega t) \cos(kx) \quad (6)$$



位相差が π の偶数倍である場所では光は強め合い, π の奇数倍である場所では光は打ち消し合う.

ダブルスリットを通過した光の干渉



- L が十分大きいとすると, 各スリットからスクリーン上の位置 x までの距離は

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

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

- l_1 と l_2 の差は

$$l_2 - l_1 = \frac{d}{L} x \quad (9)$$

- 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

$$\delta = k \frac{d}{L} x \quad (10)$$

- したがって

$$x = \frac{m \lambda L}{d} \quad (11)$$

において光は強め合い,

$$x = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda L}{d} \quad (12)$$

において光は打ち消し合う. つまり, スクリーン上に明暗の縞模様が現れる (干渉縞).

実験

- いくつかのダブルスリットに対してレーザー光 (He-Ne レーザー: 波長 633 nm) を照射し, フォトダイオードを用いて光強度分布を測定せよ.
- 干渉縞の写真撮影もしておくといよい.

演習 2

テキストの式 (3.6) を導出せよ (式 (7), (8) を求めることからスタート). (ヒント: 導出においては, $\sqrt{1+\alpha} \approx 1 + (1/2)\alpha$ ($|\alpha| \ll 1$ のとき) のような近似を用いるといよい. また光強度は電場の振幅の 2 乗に比例する. 例えば, (6) の場合は, 光強度は $\cos^2(kx)$ に比例する.)

5 レポートについて

- レポートの項目: 目的 (300 字程度), 理論的背景 (3 ページ以内), 実験方法 (2 ページ以内)
- 理論的背景には演習 1 と 2 の解答を含めること
- 実験方法はわかる範囲でできるだけ具体的に書くこと. 特に, 直接測定できるものは何で, 測定した値をどのように処理すれば求めるものが得られるのかがわかるように書くこと.