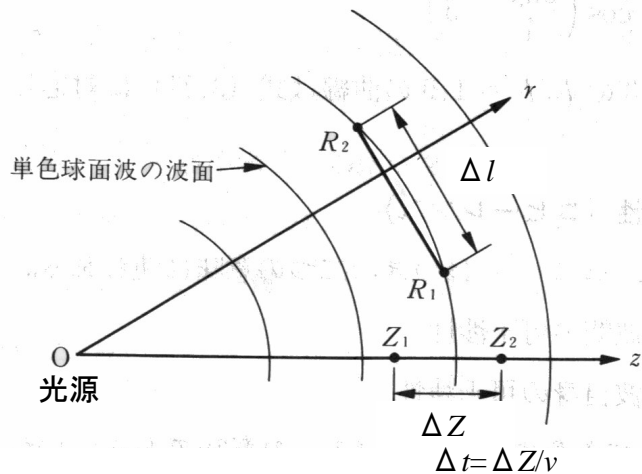


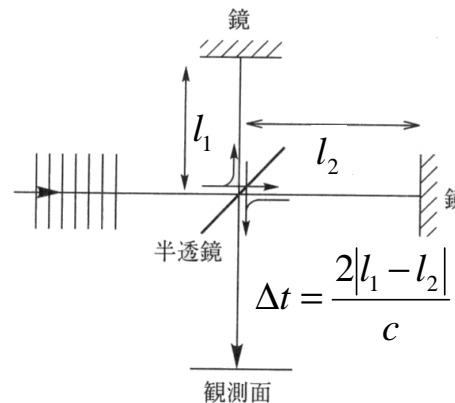
光の干渉

時間的コヒーレンスと空間的コヒーレンス



- $\Delta t$  の時間内の光は干渉できる。
- $\Delta l$  の距離以内の光は干渉できる。

時間的コヒーレンス



マイケルソン干渉計

$\Delta t$  が大きくなると干渉しなくなる。

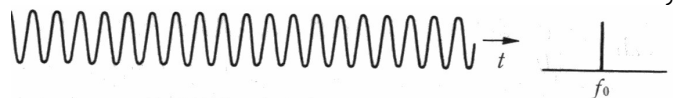
干渉できるための条件

$$\Delta\omega \cdot \Delta t \leq 2\pi$$

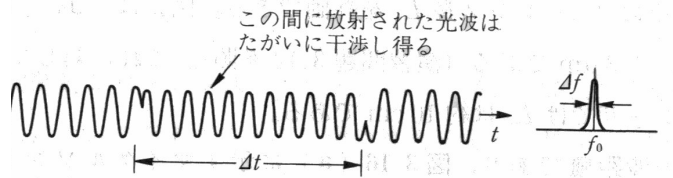
$$\Delta f \Delta t \leq 1$$

コヒーレント長

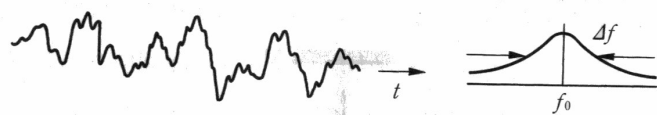
$$L_C = c\Delta t$$



(a) 理想的なコヒーレント光波 (正弦波)



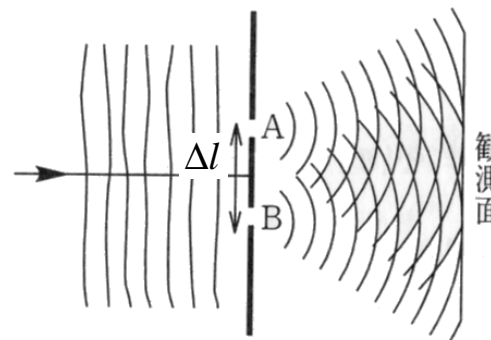
(b) 実際のレーザー光の一例



(c) 自然光の一例

$\Delta f$ : 小  $\rightarrow$   $\Delta t$ : 大 (干渉性が高い)

空間的コヒーレンス



二重スリットによる干渉

$\Delta l$  が大きくなると干渉しない。

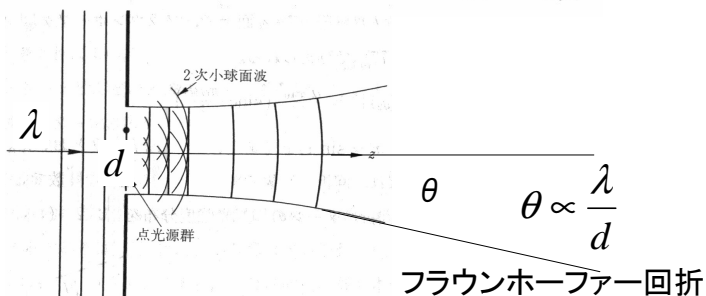
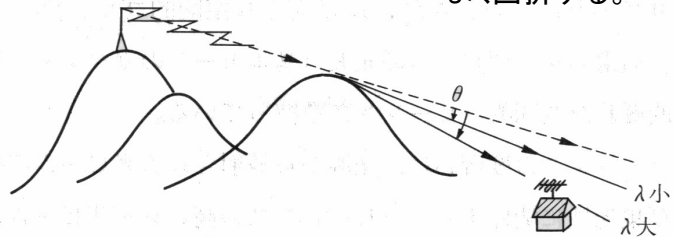
2点の位相差の揺らぎの変動幅が  $2\pi$  程度になると干渉しない。

点光源のほうが干渉しやすい。

光の回折

放送アンテナ  
(ラジオ, テレビ)

波長が長い(周波数が高い)ほうがよく回折する。



基本ガウシアンビーム

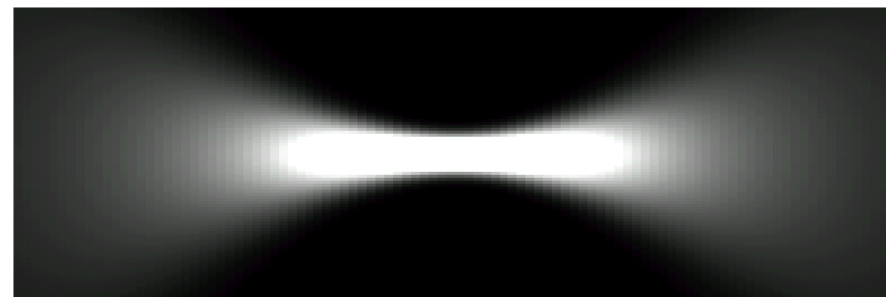
$$E_x = E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left\{-\frac{r^2}{w^2(z)}\right\} \exp\left[i\left\{\omega t - kz \tan^{-1}\left(\frac{z}{z_0}\right) - \frac{kr^2}{2R(z)}\right\}\right]$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$k = \frac{n\omega}{c} = \frac{2\pi n}{\lambda}, \quad z_0 = \frac{kw_0^2}{2}$$

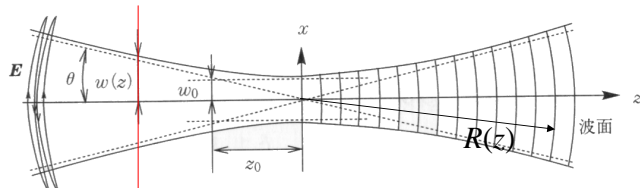
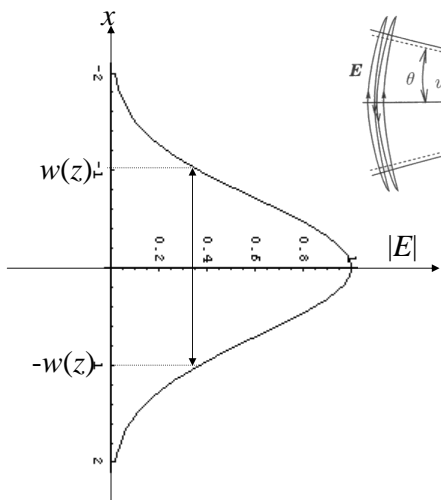
$$w(z) = w_0 \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right)$$

Maxwell方程式の良い近似解



ビームの大きさ:  $w(z)$

最少のビーム径:  $w_0$  ビームウェスト



- 十分遠方では、 $z=0$ からの球面波曲率半径:  $R(z)$
- $z_0$ まではほぼ平行とみなせる。
- $z \gg z_0$ で、ビームは $z$ に比例して広がる。

$$\theta \approx \frac{w_0}{z_0} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \rightarrow w_0 \propto \frac{\lambda}{\theta}$$

ビームを絞るための条件は?

回折格子

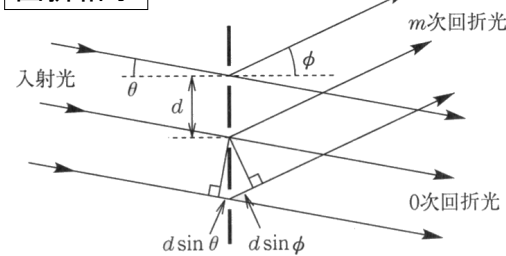


図 2・5 回折格子

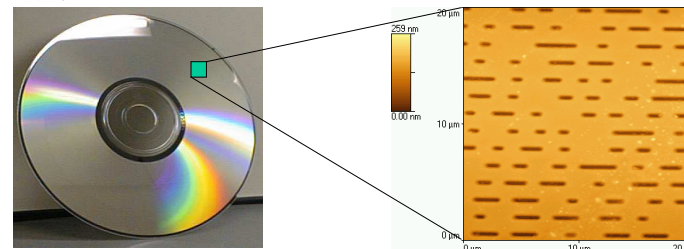
光が強め合う条件

$$d(\sin \theta + \sin \phi) = m\lambda$$

回折角  $\phi$  は波長  $\lambda$  に依存

光を波長で分解できる。(分光)

CDによる分光



光の反射、屈折

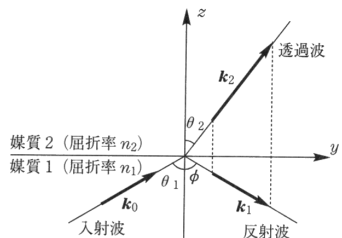


図 2・6 反射と屈折における k ベクトルの関係

入射波  
 $E_0 \exp\{i(\omega t - \mathbf{k}_0 \cdot \mathbf{r})\}$   
 反射波  
 $E_1 \exp\{i(\omega t - \mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r})\}$   
 屈折波  
 $E_2 \exp\{i(\omega t - \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r})\}$

電場は境界面 ( $z=0$ ) で接線方向が連続

$$E_{0t} \exp\{-ik_{0y}y\} + E_{1t} \exp\{-i(k_{1x}x + k_{1y}y)\} = E_{2t} \exp\{-i(k_{2x}x + k_{2y}y)\}$$

↓  $z=0$  面内の  $x, y$  に関係なく成立するために

$$k_{1x} = k_{2x} = 0, \quad k_{0y} = k_{1y} = k_{2y}$$

$$k_0 \sin \theta_1 = k_1 \sin \phi = k_2 \sin \theta_2$$

$$\theta_1 = \phi, \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{スネルの法則}$$

フレネルの公式

電場  $E$ 、磁場  $H$  の境界条件

$$E_{0t} + E_{1t} = E_{2t}, \quad H_{0t} + H_{1t} = H_{2t} \quad \left. \begin{array}{l} \text{振幅反射率 } r, \text{ 透過率 } t \\ \text{電場 } E, \text{ 磁場 } H \text{ と波数ベクトル } k \text{ の関係} \end{array} \right\} r = \left| \frac{E_1}{E_0} \right|, \quad t = \left| \frac{E_2}{E_0} \right|$$

電場  $E$ 、磁場  $H$  と波数ベクトル  $k$  の関係

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E}_0 = \omega \mathbf{B}_0, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{B}_0 = -\omega \mu \epsilon \mathbf{E}_0$$

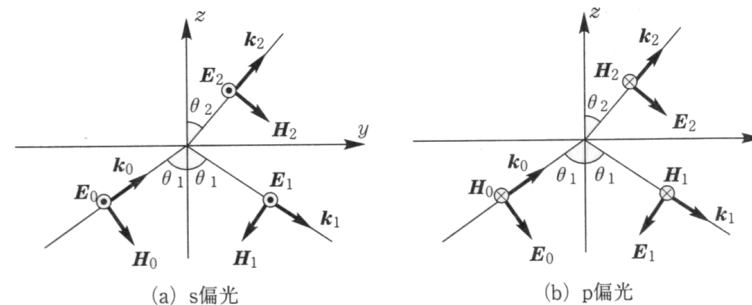


図 2・7 フレネルの公式における電磁界の座標

振幅反射率  $r$ 、透過率  $t$  フレネルの公式

$$r_s = \frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)}{\sin(\theta_2 + \theta_1)}, \quad t_s = \frac{2 \sin \theta_2 \cos \theta_1}{\sin(\theta_2 + \theta_1)}$$

$$r_p = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}, \quad t_p = \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

垂直入射 ( $\theta \ll 1$ ) の場合

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

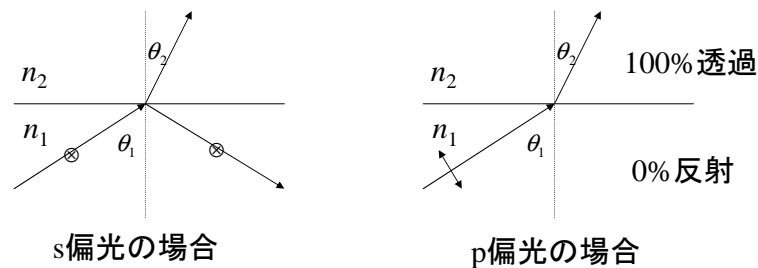
光強度の反射率  $R$ 、透過率  $T$

$$R_s = r_s^2, \quad R_p = r_p^2$$

$$R_s + T_s = 1, \quad R_p + T_p = 1$$

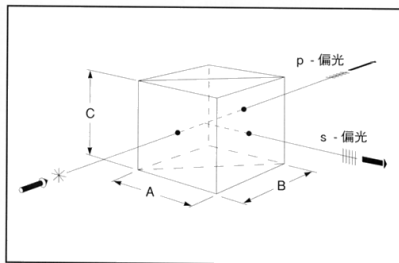
ブリュースター角

$$r_p = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)} \quad \theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{2} \quad \left[ \tan \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \right] \quad \text{のとき、} r_p = 0$$



利用例：偏光ビームスプリッター、ガスレーザー

偏光ビームスプリッター



03 PBB 広帯域偏光キューブ・ビームスプリッター

s偏光とp偏光の光を分離する。

ガスレーザーのチューブ

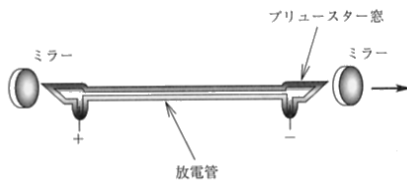
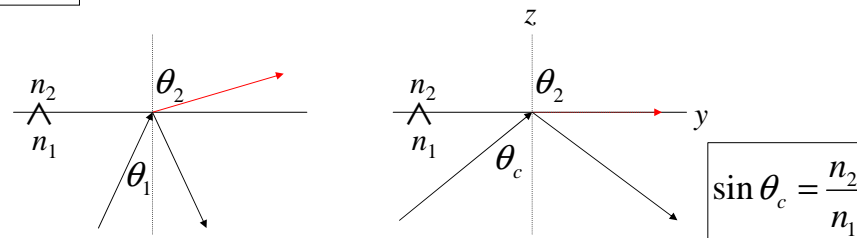


図 4・5 He-Neレーザーの構成例 (外部鏡形)

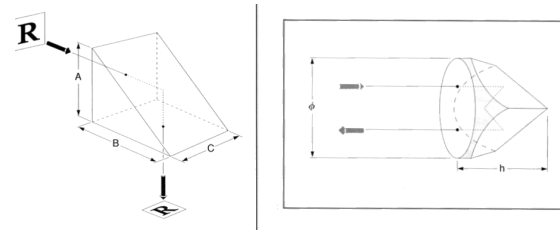
ガラス窓の反射を押さえる。

全反射



$\theta_1 > \theta_c$  のとき全反射する。

全反射利用例: プリズム、リトロフレクター 光ファイバー



エバネッセント波

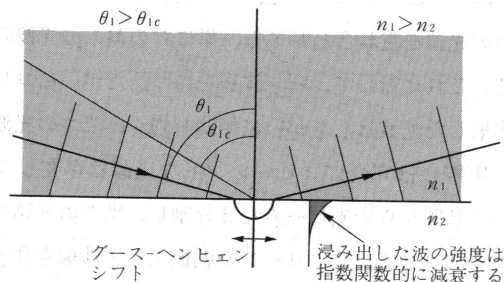
$\theta_1 > \theta_c$  のとき

$$k_{2y} = k_1 \sin \theta_1 > k_2$$

$$k_{2z}^2 = k_2^2 - k_{2y}^2 < 0 \longrightarrow k_{2z} = i\kappa = ik_2 \sqrt{\left(\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_c}\right)^2 - 1}$$

$$\mathbf{E}_2 \exp\{i(\omega t - \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r})\} = \mathbf{E}_2 \exp(-\kappa z) \exp\{i(\omega t - k_{2y} y)\}$$

エバネッセント波



浸み出した波の強度は指数関数的に減衰する

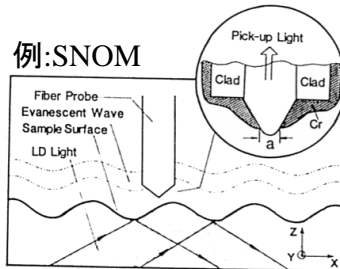


図 1 PSTM の基本原理図<sup>13)</sup>

課題

1. 身の回りで、光のコヒーレンスを利用したものを探してみよ。
2. ビームを小さく絞る為の条件を考えよ。
3. スネルの法則を導出せよ。
4. フレネルの公式を導出せよ。