

平成21年度 5E実験実習

実験テーマ

・レーザ光学実験

・ホール素子

・光デバイス実験

・レーザ光学実験

1週目

- ・半導体レーザによる回折・干渉効果の観測
- ・実験室: 1F電気機械実験室

2週目

- ・半導体レーザによる干渉効果の観測
- ・半導体レーザによる屈折効果の測定
- ・実験室: 1F電気機械実験室

・ホール素子

1週目

- ・実験手順に従ってホール測定を行い
ホール効果の原理を確認する
- ・実験室: 1F電気計測実験室

2週目

- ・市販されているホール素子を使って
磁気センサ回路を作り、その動作を考察する
- ・実験室: 1F電気計測実験室

・光デバイス実験

1週目

- ・太陽電池の特性測定
- ・実験室: 1F電気機械実験室

2週目

- ・LEDの特性測定
- ・実験室: 1F電気機械実験室

平成21年度 5E 実験実習

レーザー光学実験

目的

光波動は回折および干渉の2つの重要な性質を持つ。可干渉性の高いレーザー光を用いてスリット等を通過した光強度パターンを観測し、回折および干渉現象を理解する。また、レーザー光を使った光の屈折現象もあわせて理解する。

実験1 単スリットの実験

実験2 複スリットの実験

実験3 CD-ROM、DVD-ROMによる実験

実験4 プリズムの実験

レーザー(LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

レーザー光の特徴

- 指向性：広がらずに進む性質 → 空間的(spatial)コヒーレンスに関係
- 単色性：スペクトル幅が狭い性質 → 時間的(temporal)コヒーレンスに関係

コヒーレンス(可干渉性): coherence

時間的に位相が揃った波 — 正弦波(線スペクトル)

空間的に位相が揃った波 — ガウシアンビーム(基本モード)

「レーザー光による光の回折・干渉・屈折の実験」

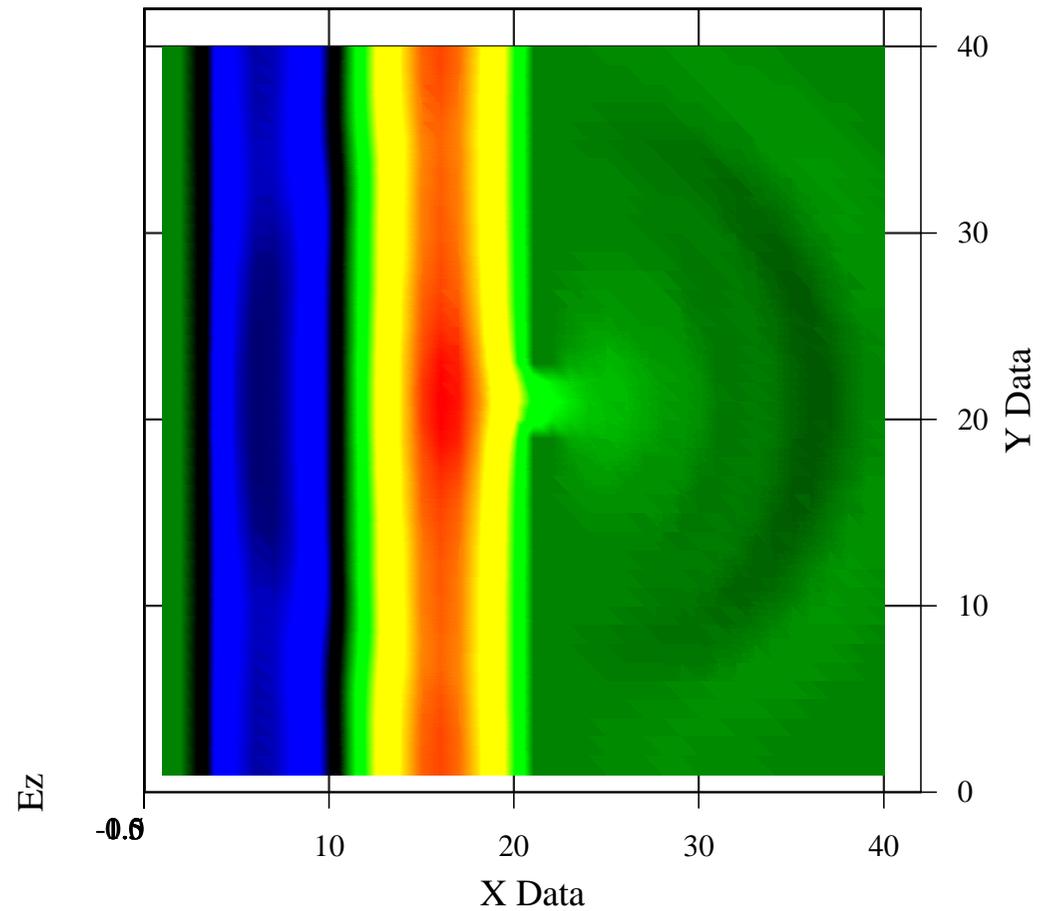
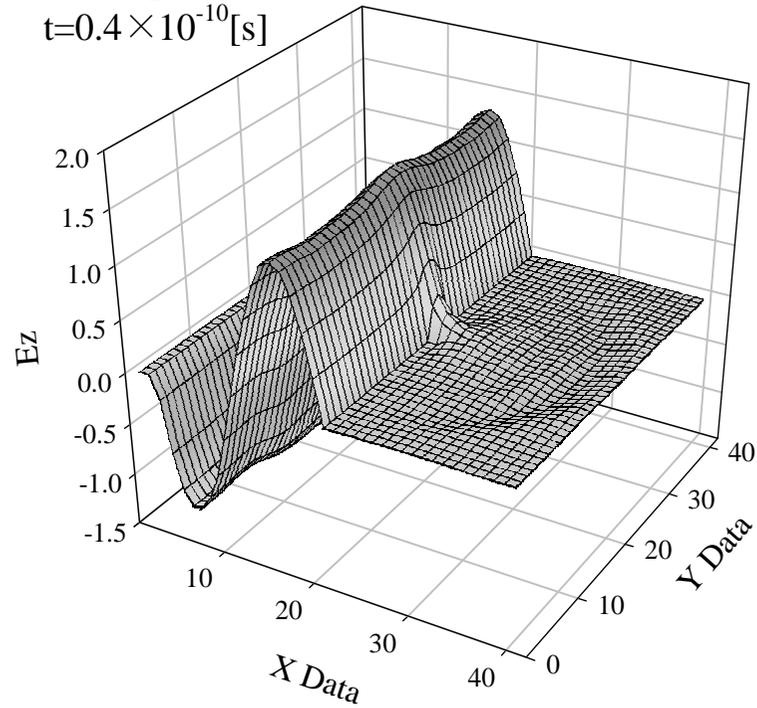
回折: diffraction

「光が障害物などの影の部分へ折れて回り込んで進んでいく」現象

FDTD(TEwave)

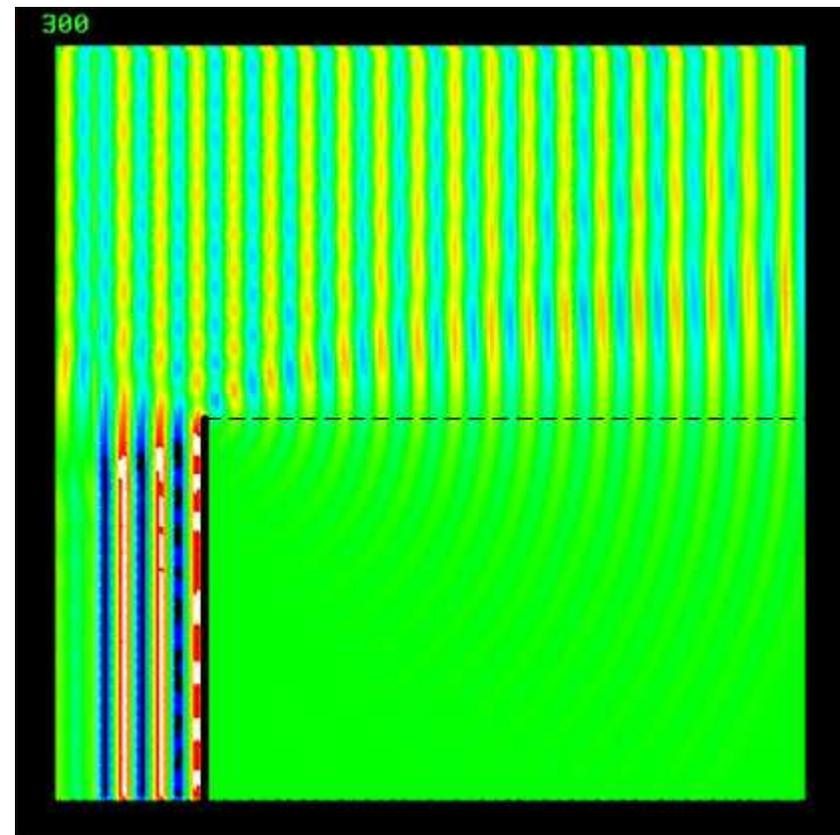
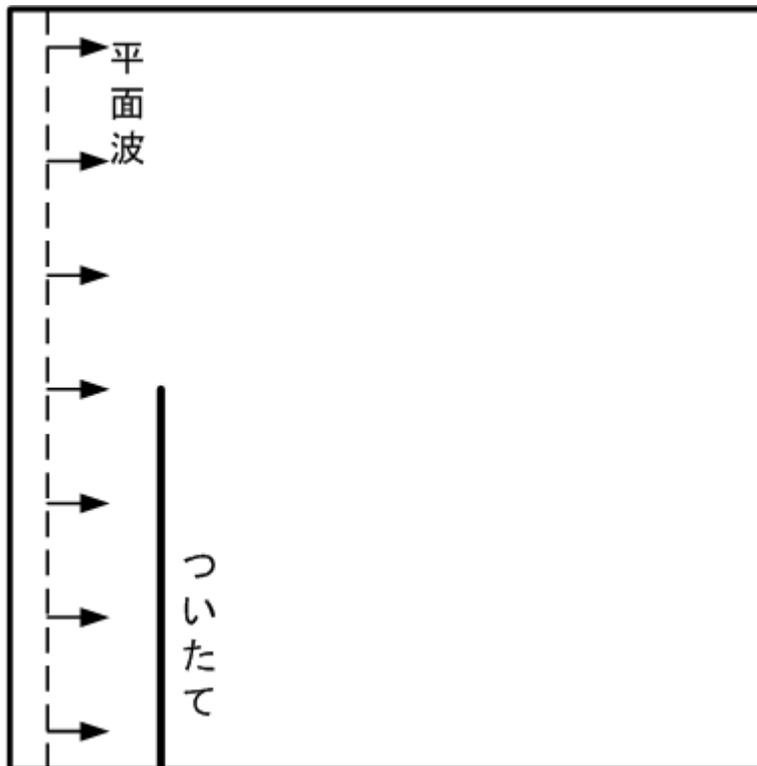
slit:1.2[mm]

$t=0.4 \times 10^{-10}$ [s]



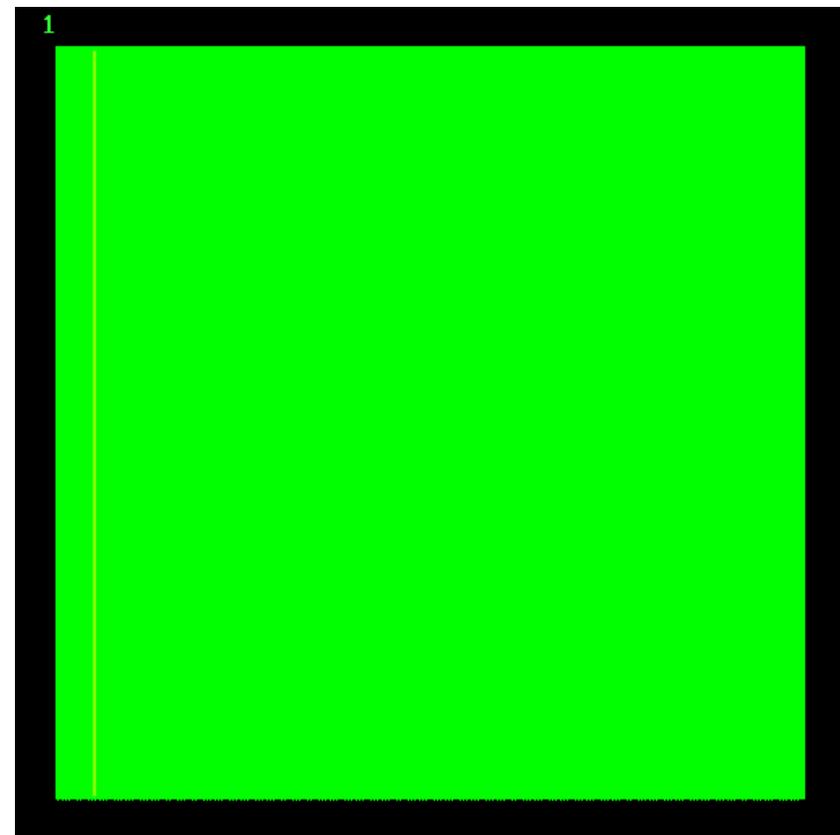
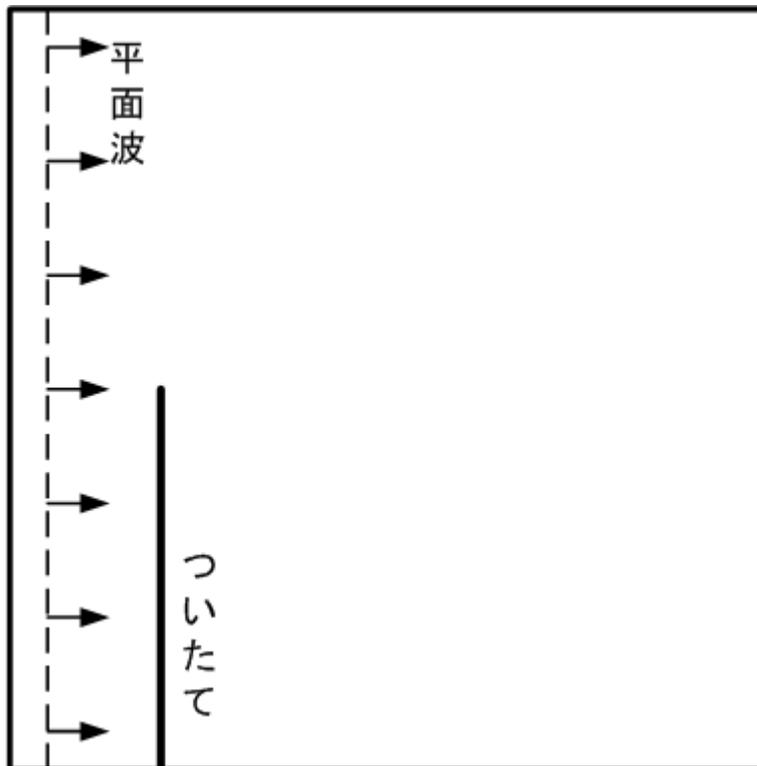
回折現象

半無限金属板への平面波入射

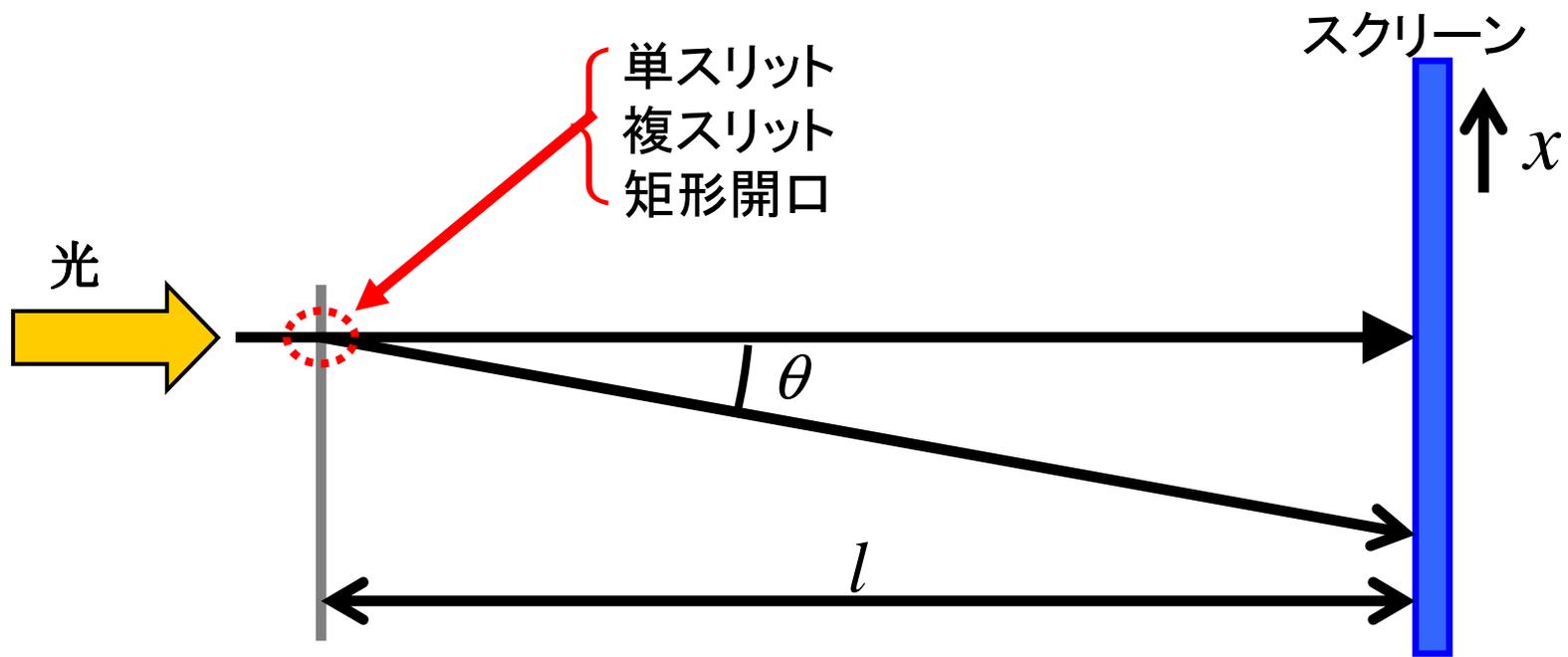


回折: diffraction

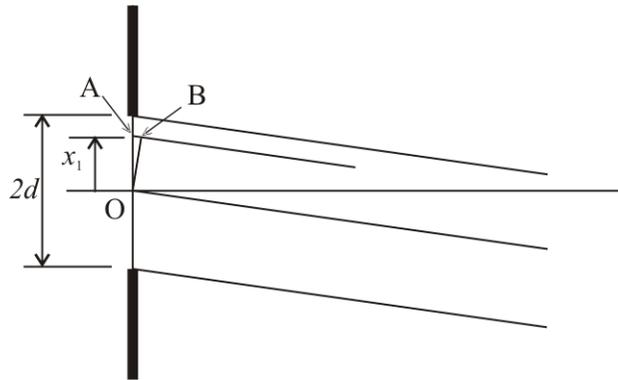
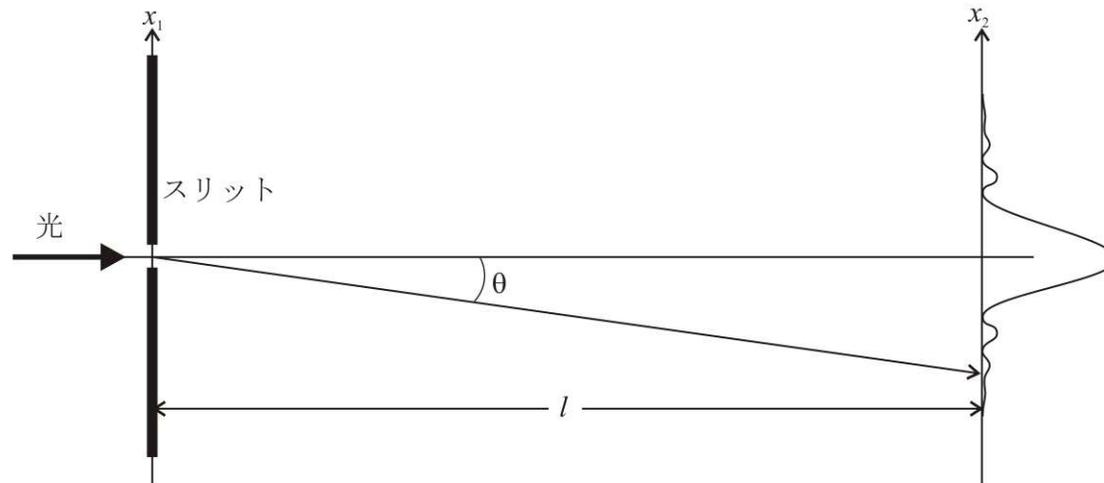
「光が障害物などの影の部分へ折れて回り込んで進んでいく」現象



レーザー光学実験



単スリット

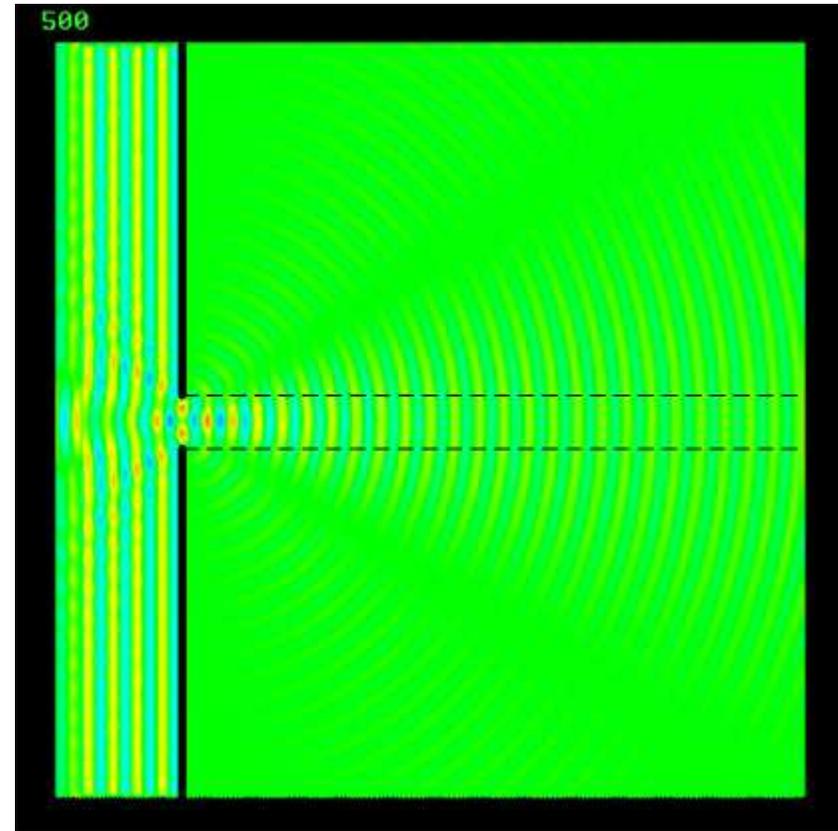
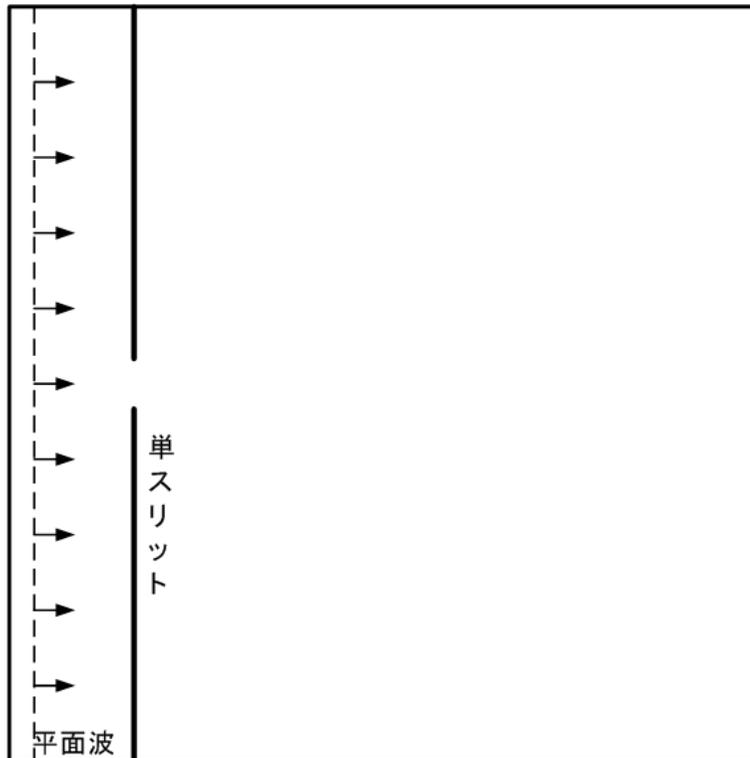


観測面での光強度分布

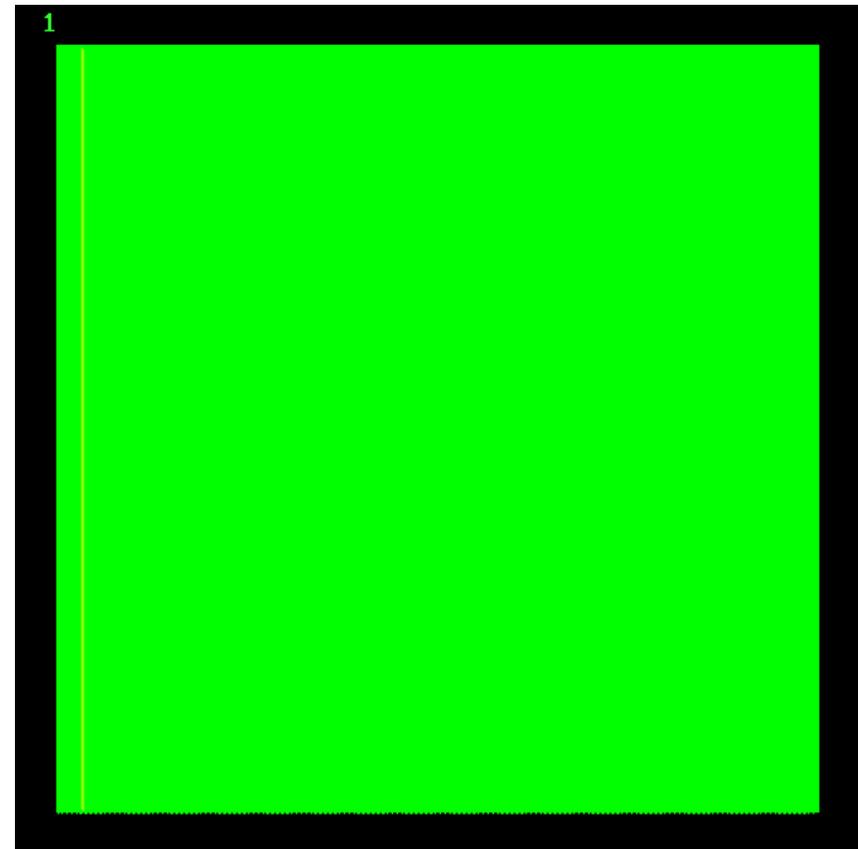
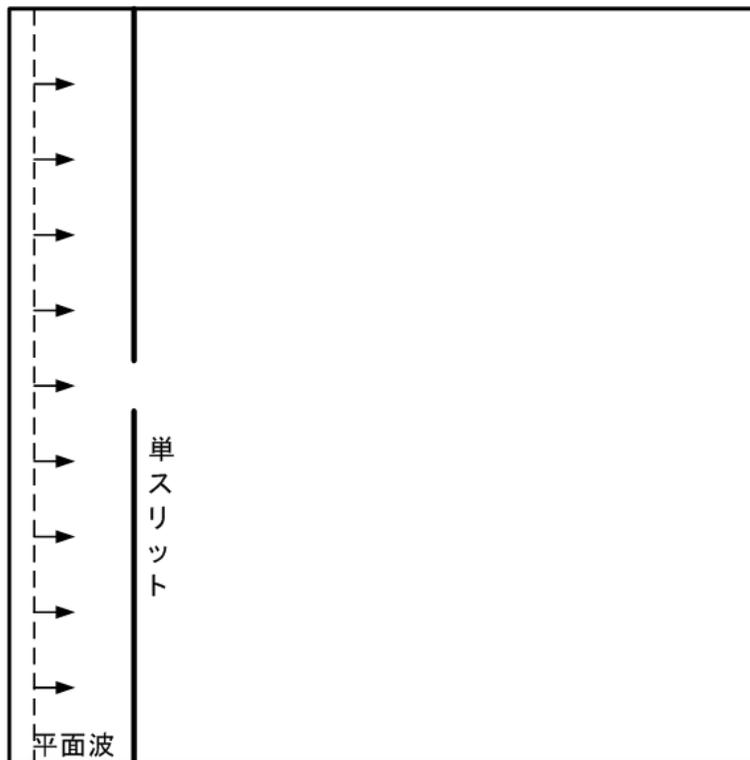
$$I(x_2) \propto \text{sinc}^2(kd\theta)$$

$$= \text{sinc}^2(X)$$

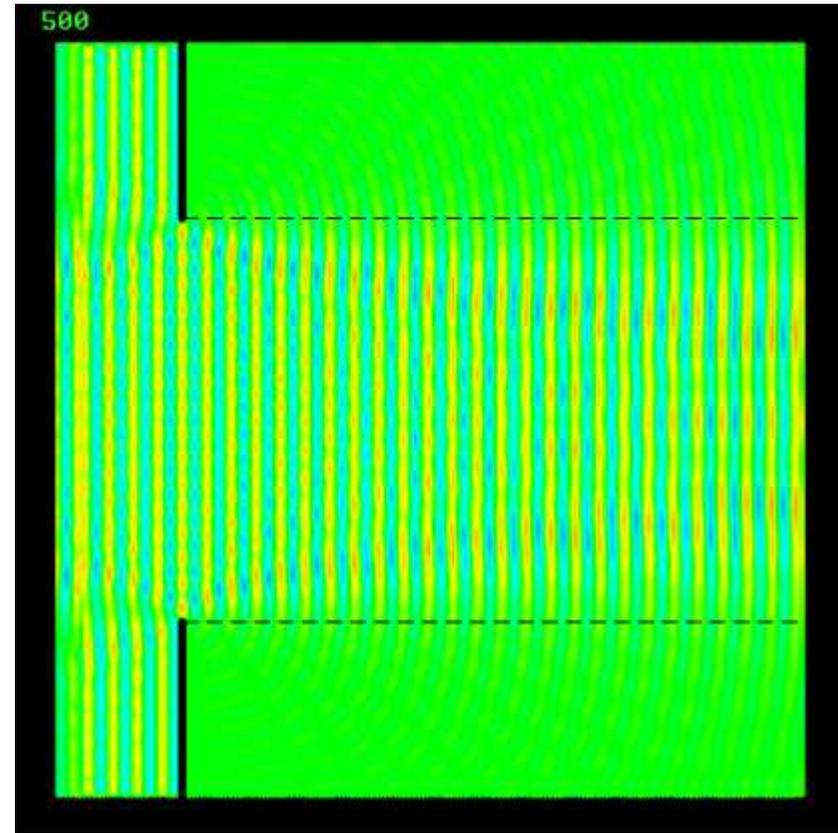
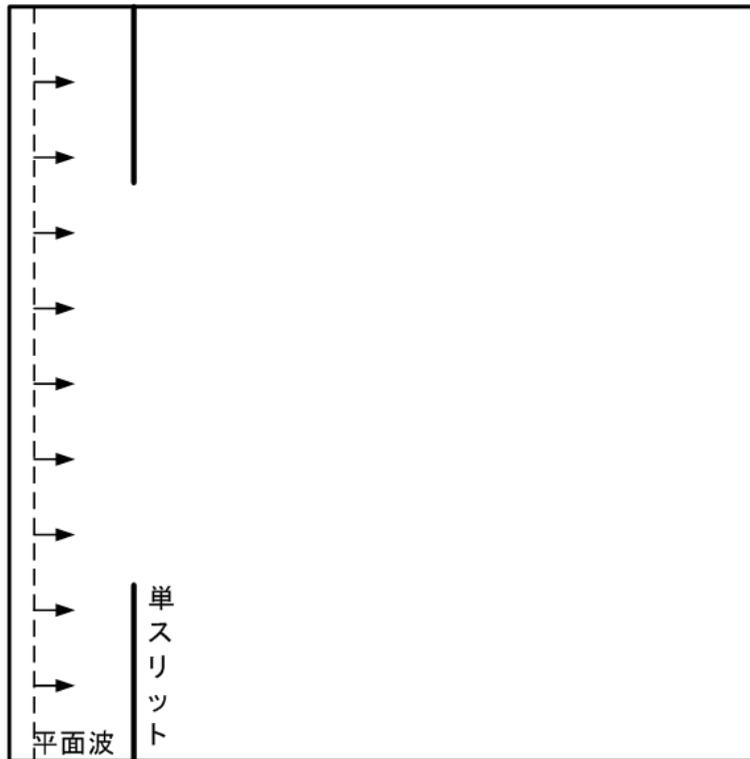
単スリットの場合(スリット幅が狭いとき)



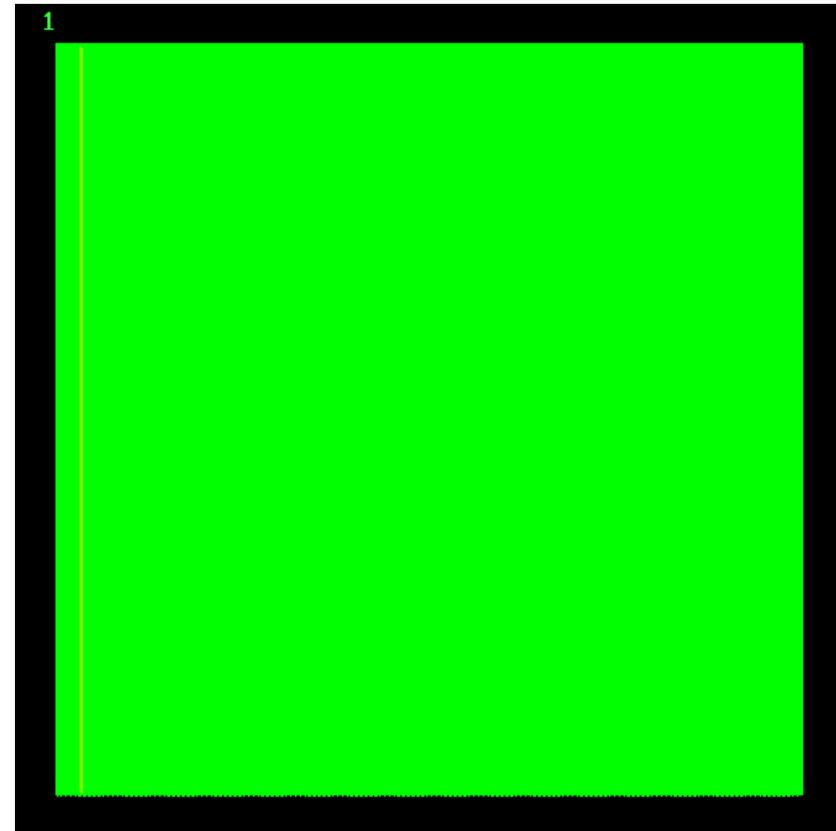
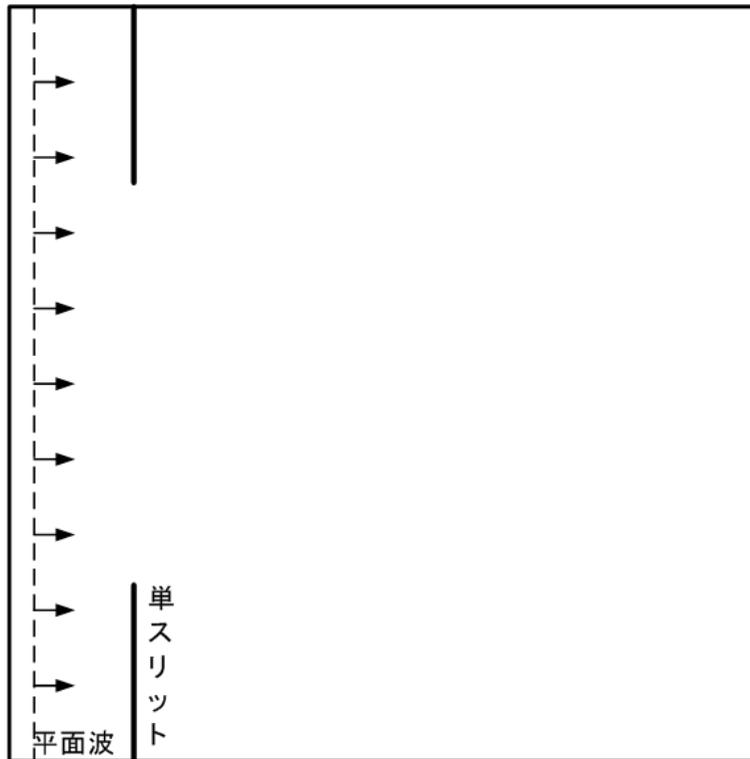
単スリットの場合(スリット幅が狭いとき)



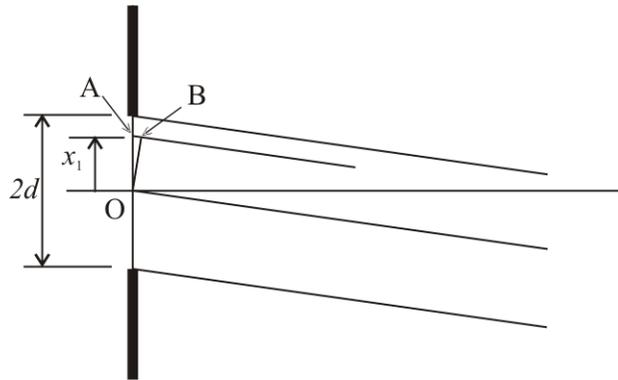
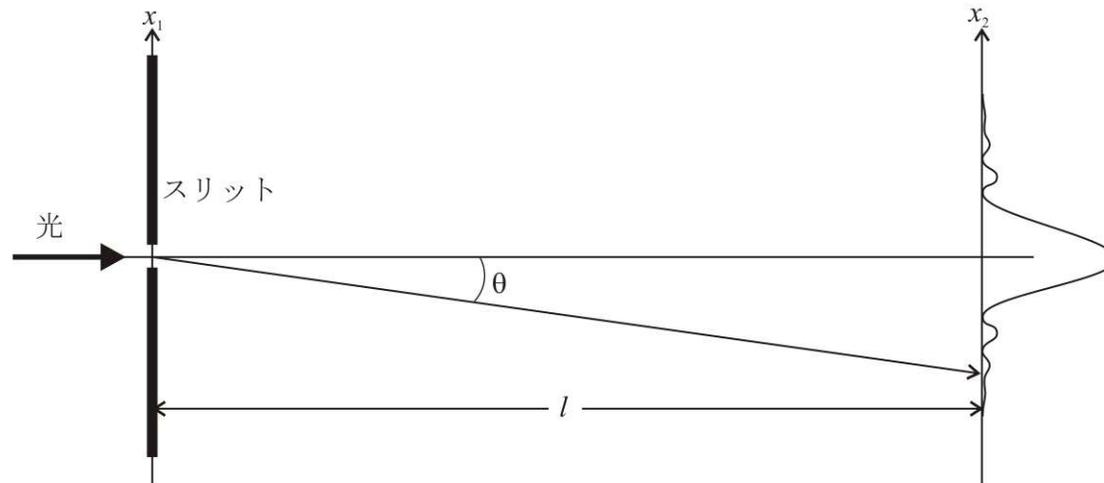
単スリットの場合(スリット幅が広いとき)



単スリットの場合(スリット幅が広いとき)



単スリット

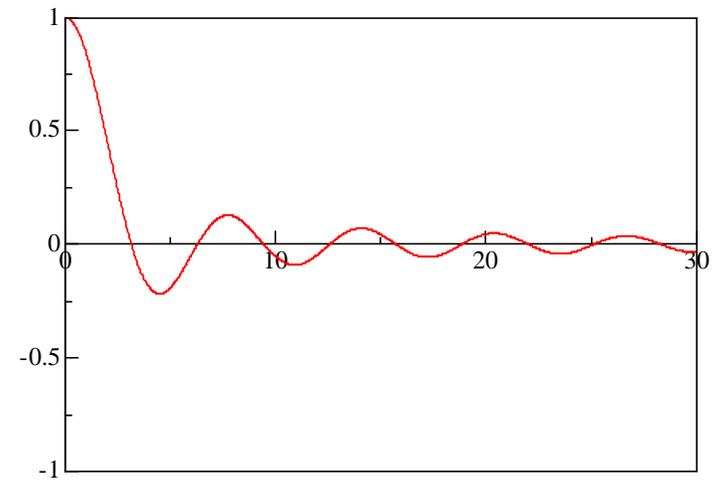


観測面での光強度分布

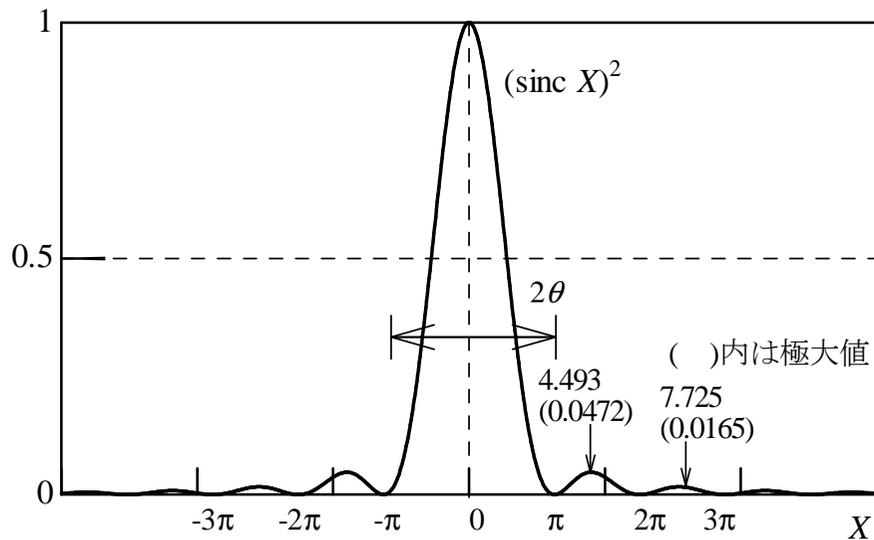
$$I(x_2) \propto \text{sinc}^2(kd\theta)$$

$$= \text{sinc}^2(X)$$

$$I(x_2) \propto \text{sinc}^2(kd\theta) \\ = \text{sinc}^2(X)$$



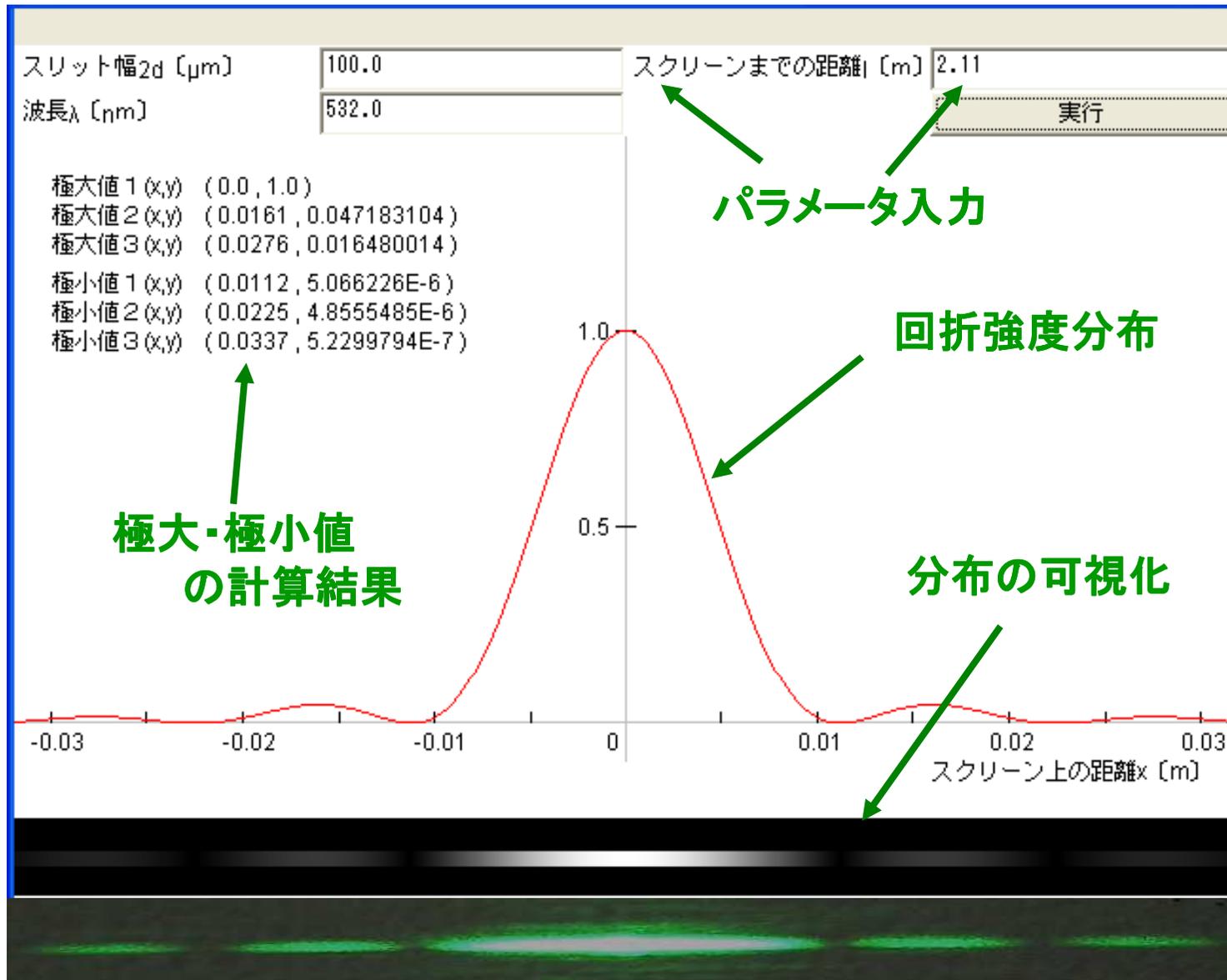
sinc(x)関数



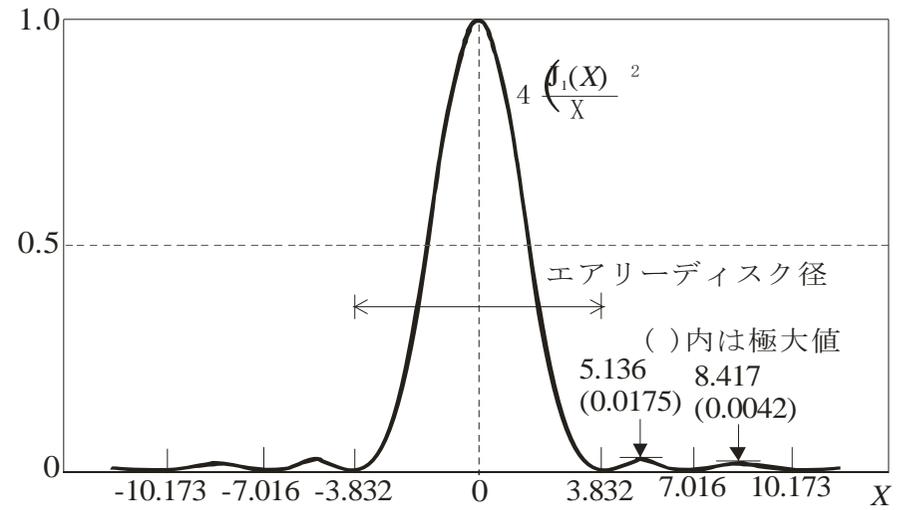
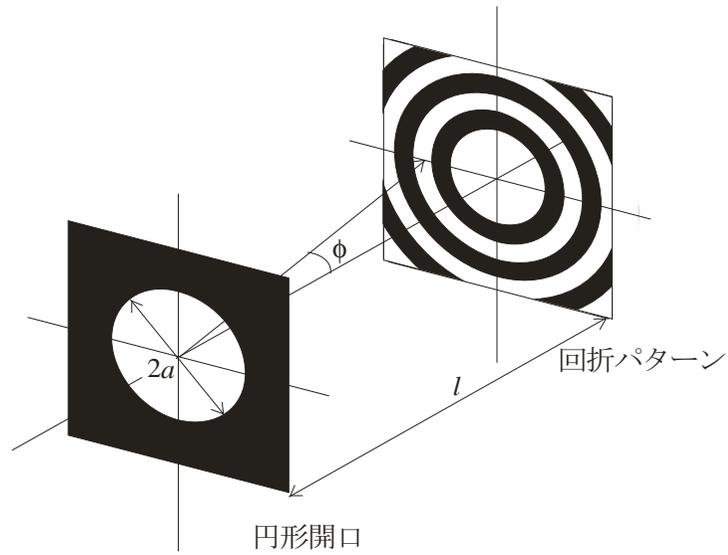
回折による広がり角

$$2\theta \cong \frac{\lambda}{D}$$

単スリットによる回折強度分布の計算



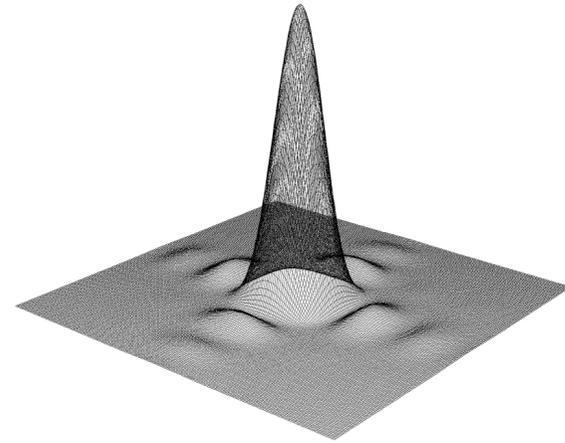
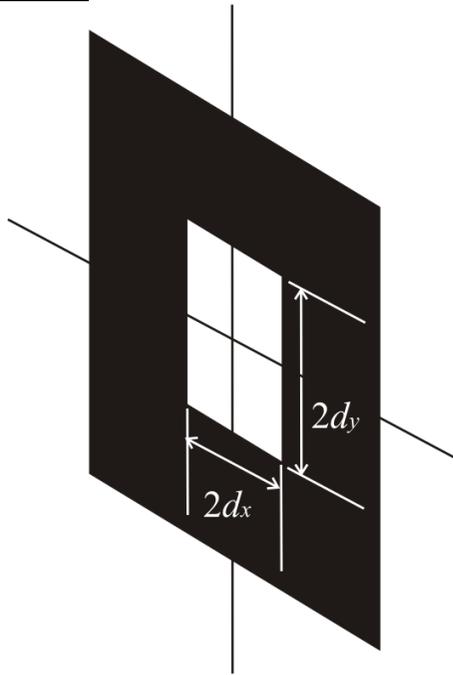
円形開口



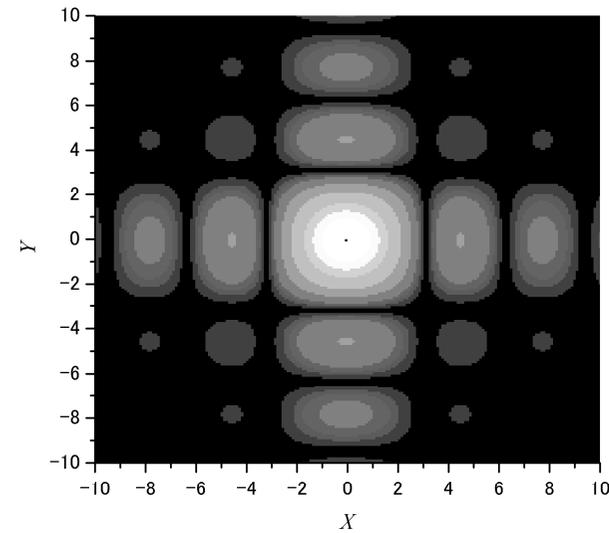
回折による広がり角

$$\theta = 1.22\lambda/D$$

矩形開口



$$I(x, y) \propto \text{sinc}^2(X) \cdot \text{sinc}^2(Y)$$



矩形開口による回折現象の計算

卒研のための仮想ホームページ - Microsoft Internet Explorer

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 進む 検索 お気に入り メディア

アドレス(D) 移動 Google G 設定

矩形開口による干渉現象の観測

開口の大きさが $2d_x$, $2d_y$ で与えられる矩形開口に光が入射した場合は、単スリットの場合を単純に拡張することで得られる。

$$I(x_2) = \left(\frac{\sin X}{X}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sin Y}{Y}\right)^2 \quad \dots(1)$$

図1に開口寸法が、 $2d_x=2d_y=2d$ とした場合のスクリーン上の光強度パターンを示す。

上部にあるテキストフィールドに
 開口寸法 $2d_x=2d_y$ [mm]
 スクリーンまでの距離 x [m]
 入射する光の波長 λ [μm]
 を入力し、実行ボタンをクリックする。

2d_x=2d_y [mm] 1.0 | x [m] 5.0
 λ [μm] 0.633 | 実行

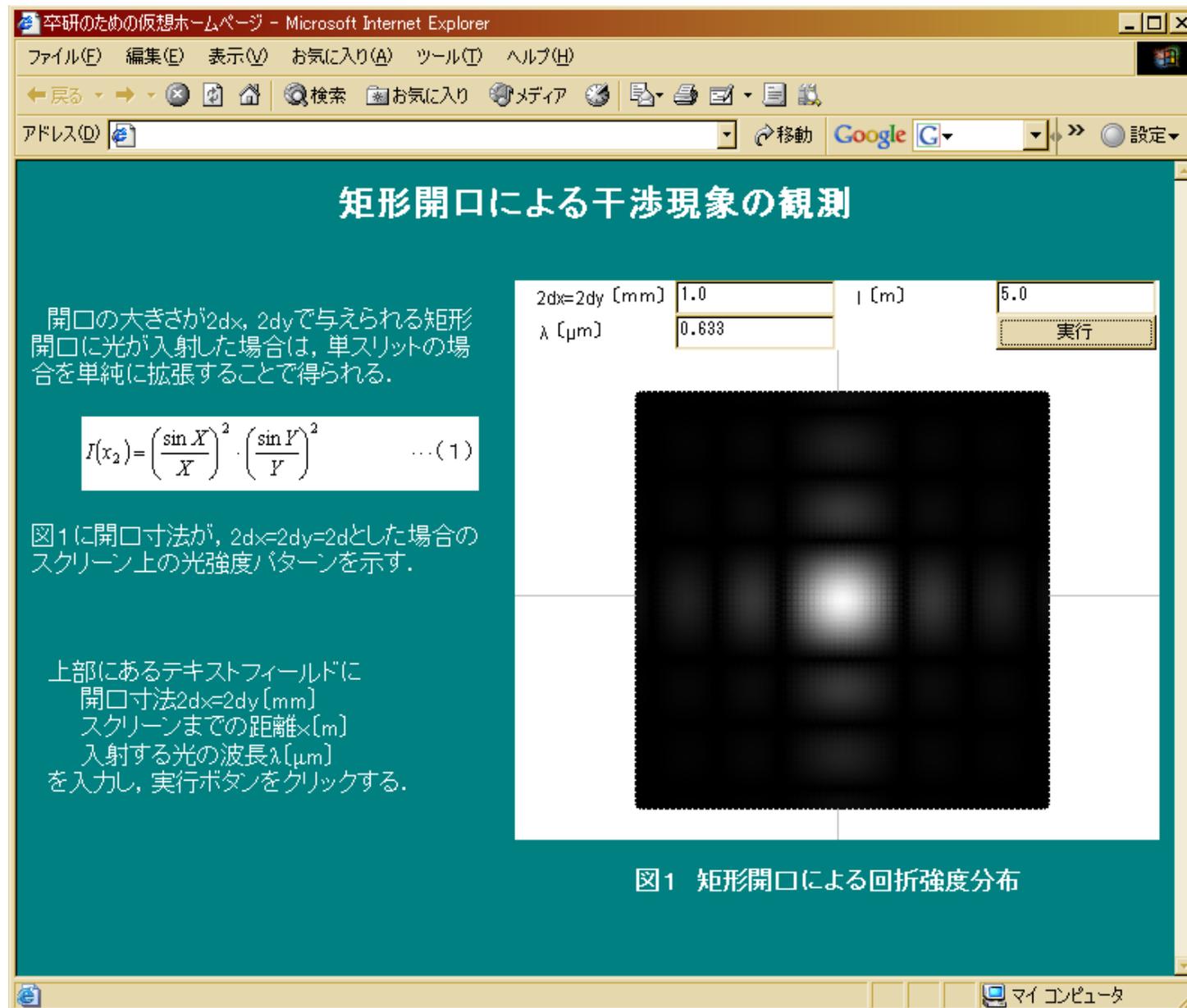
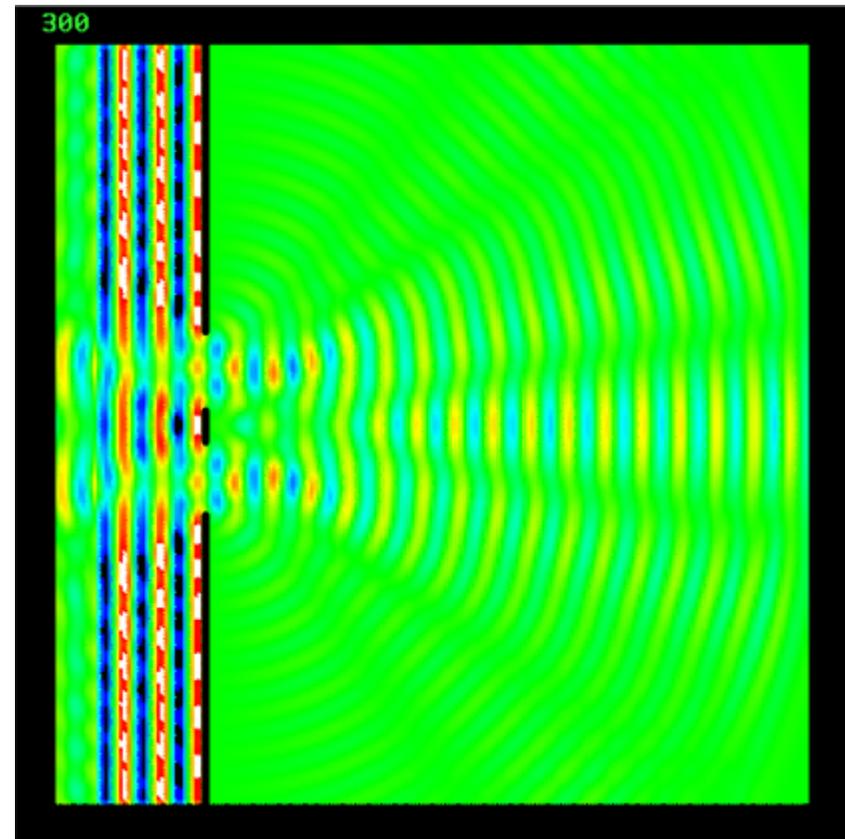
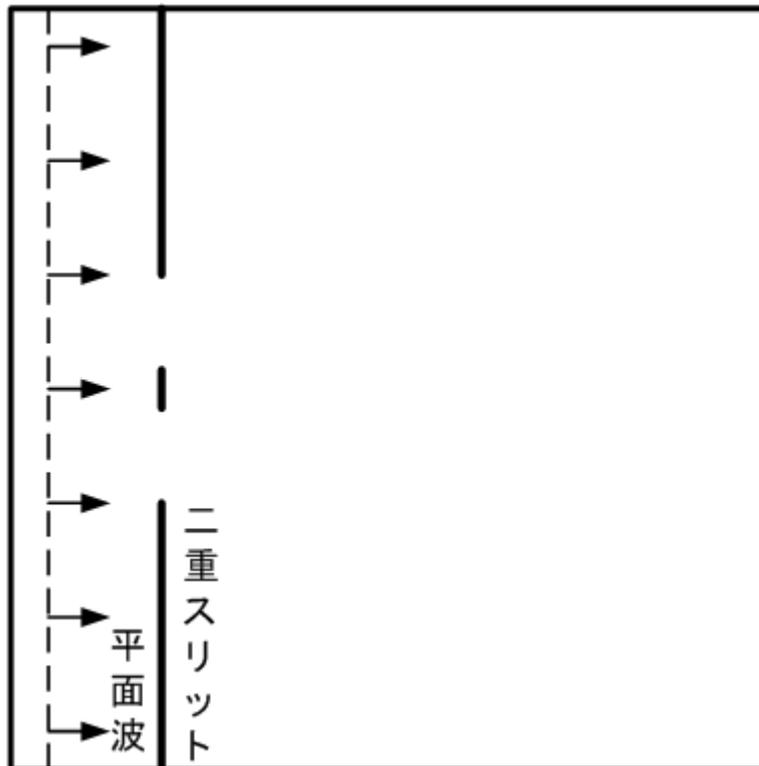


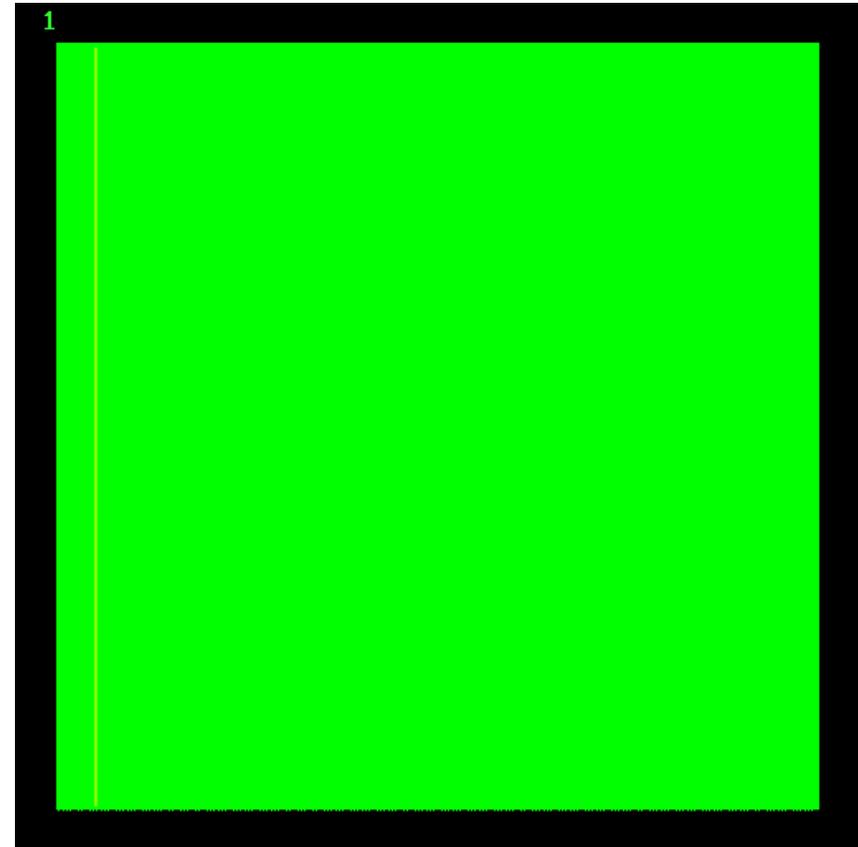
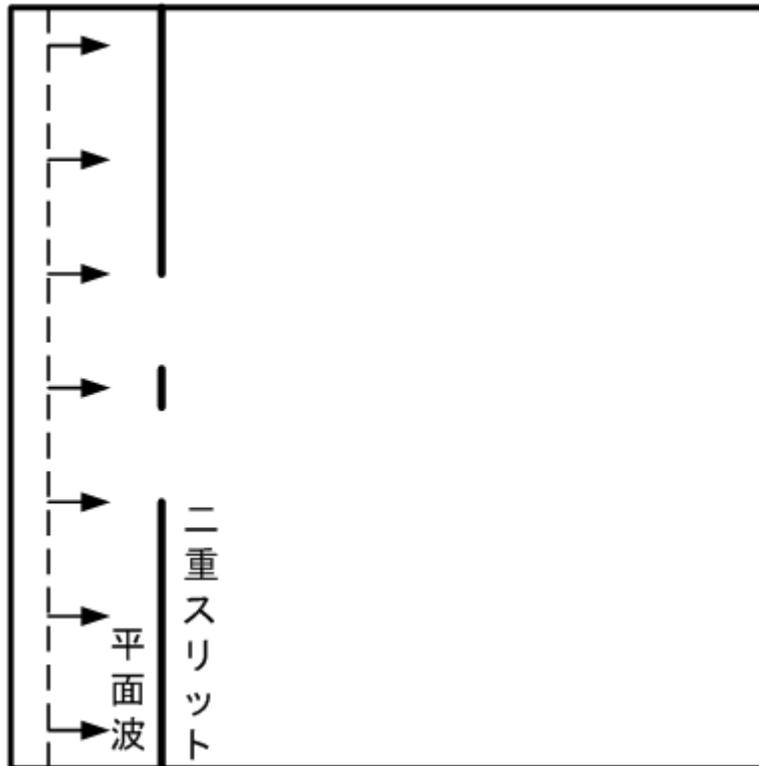
図1 矩形開口による回折強度分布

マイ コンピュータ

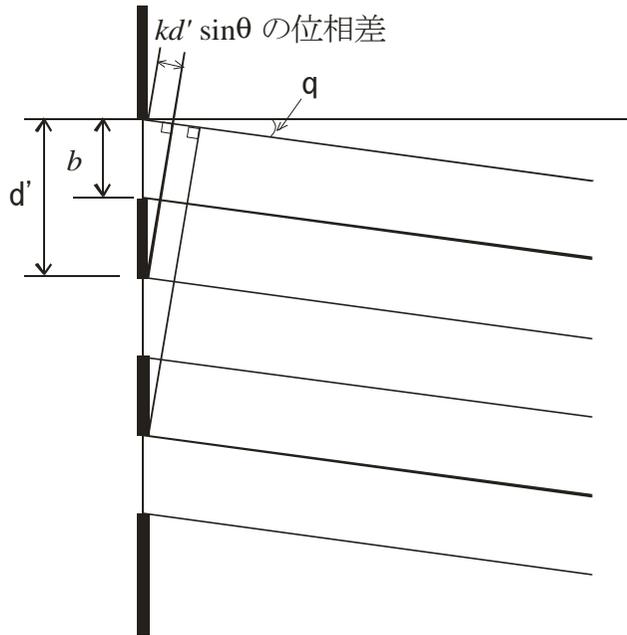
二重スリットの場合の回折パターン



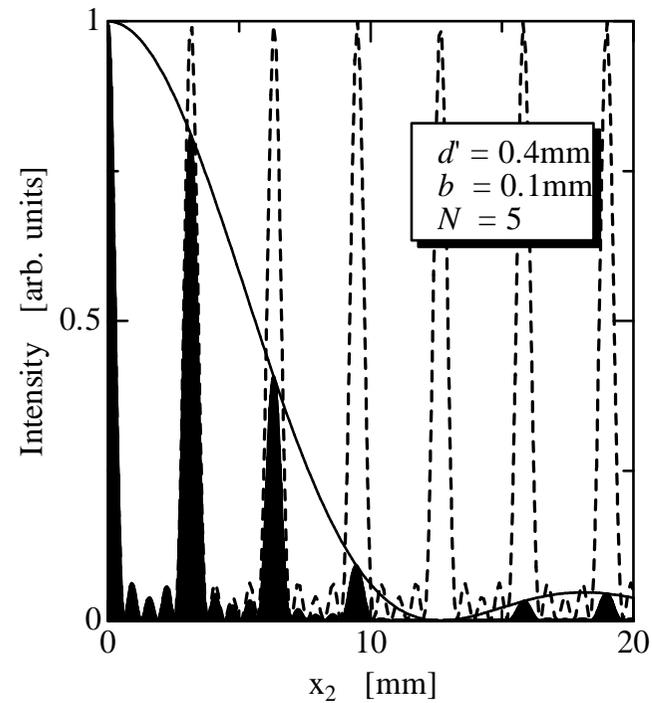
二重スリットの場合の回折パターン



複スリット



$$I \propto \frac{\sin^2(bX)}{(bX)^2} \cdot \frac{\sin^2(Nd'X)}{\sin^2(d'X)}$$



複スリットによる回折強度
 実線(単スリットの回折の効果)
 破線(複スリットの干渉の効果)
 面(観測されるパターン)

複スリットによる干渉パターンの計算

卒研のための仮想ホームページ - Microsoft Internet Explorer

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 検索 お気に入り メディア

アドレス(D) 移動 Google G 設定

複スリットによる干渉現象の観測

幅**b**の**N**個のスリットが等間隔**d'**で並んでいる場合を考える。この場合も単スリットと同様に考えることができ、複スリットを通過する波は個々のスリットの通過する波の合成波として与えられる。その光強度**I**は

$$I \propto \frac{\sin^2(bX)}{(bX)^2} \frac{\sin^2(Nd'X)}{\sin^2(d'X)} \dots (1)$$

の形となる。ここで、

$$X = \left(\frac{k}{2}\right) \sin \theta \dots (2)$$

である。ここで $k=2\pi/\lambda$ は電磁波の波数である。
 また、スクリーン上での強度分布の極大値を与える位置 (θ) は $\sin(d'X)=0$ より、

$$x = \frac{m\lambda l}{d'} \quad (m \text{ は整数}) \dots (3)$$

で得られる。一方、強度分布の包絡線(1スリットによる回折)が零になる位置は

$$x = \frac{m'\lambda l}{b} \quad (m' \text{ は整数}) \dots (4)$$

で与えられるので、 d' / b が整数比 m/m' に等しい場合、 m 番目の回折像が消失する。このような部分を欠線という。

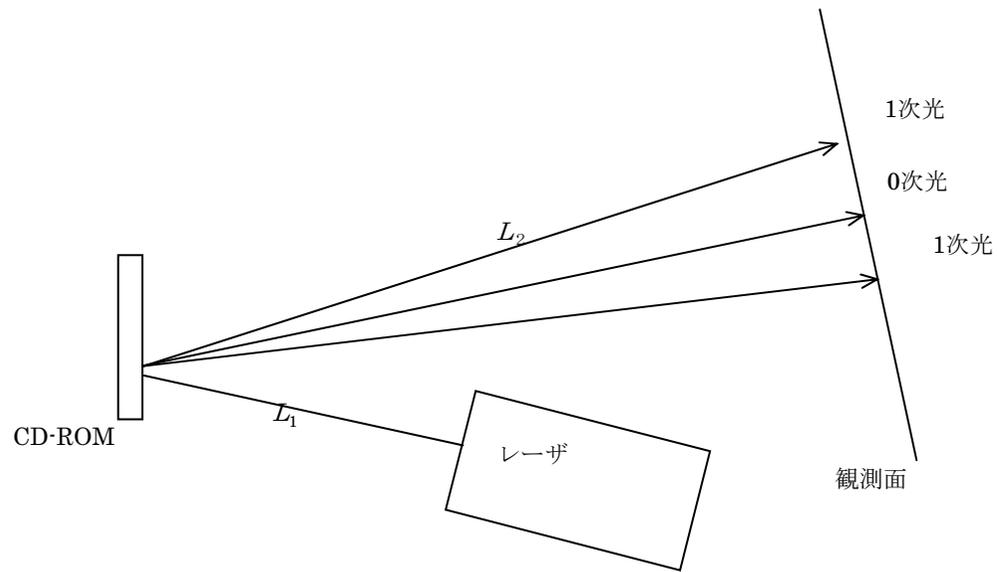
b [μm]	100.0
λ [nm]	650.0
N [個]	5

l [m]	2.0
d' [μm]	200.0
実行	

図1 複スリットによる回折強度分布

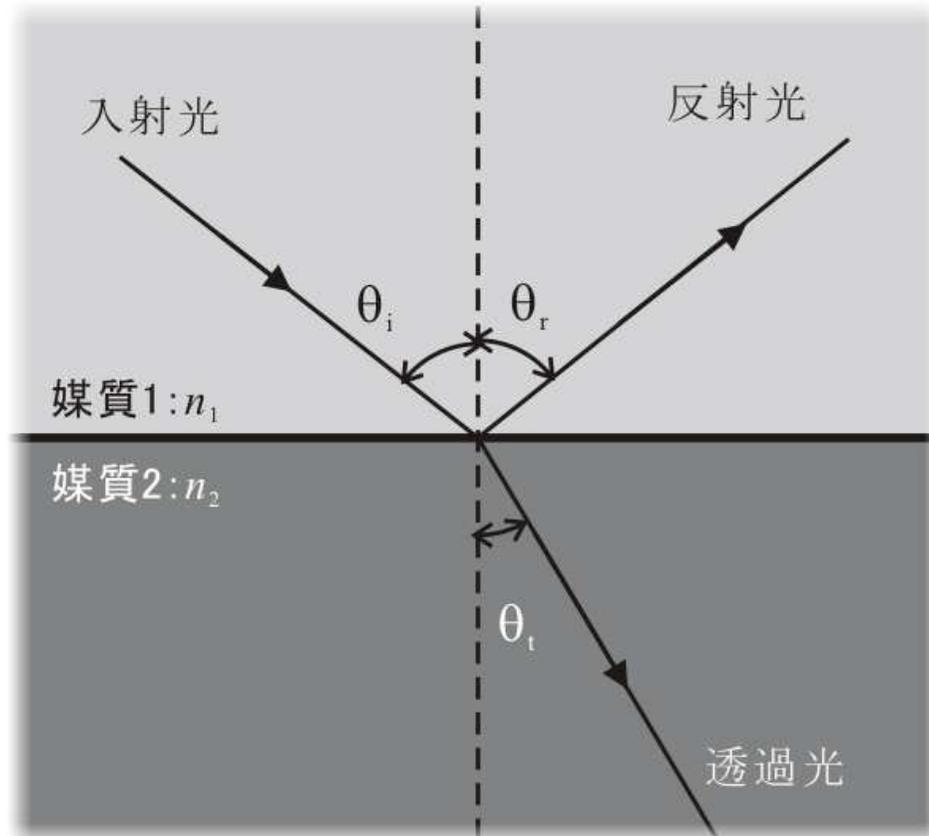
マイコンピュータ

CD-ROMのピットの周期測定



$$d \cdot \sin \theta = m\lambda$$

スネルの法則



反射の法則

$$\theta_i = \theta_r$$

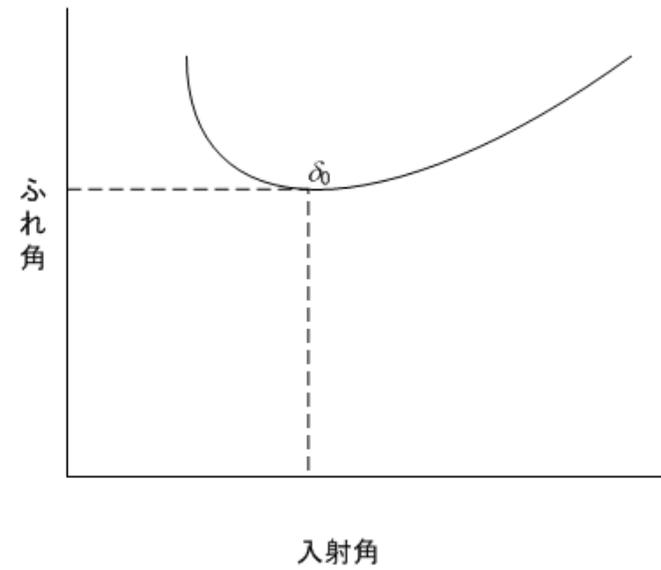
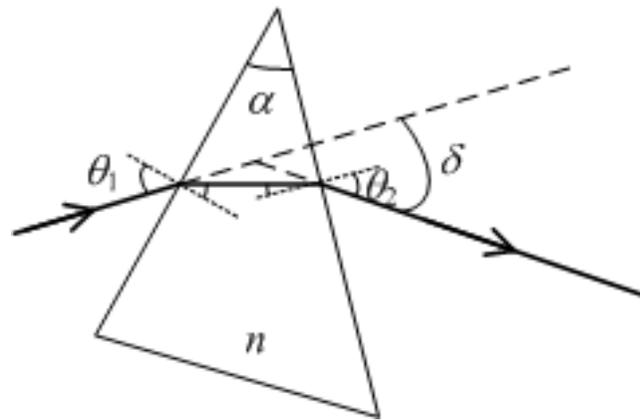
スネルの法則

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/v_2}{c/v_1}$$

媒質1が真空の場合

$$n_2 = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c}{v_2}$$

プリズムによる光の屈折



平成21年度 5E 実験実習

ホ ー ル 素 子

目的

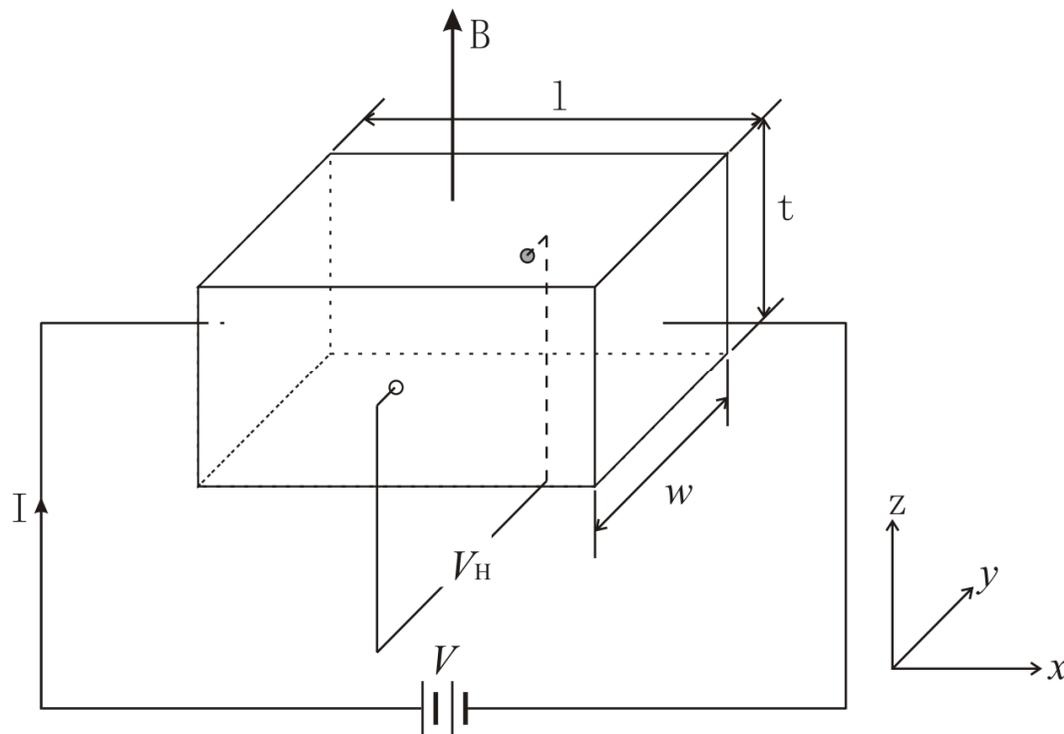
固体の電流磁気効果の一つであるホール効果 (Hall effect) について実験を行い、磁界および電流印加時のキャリアの挙動について知識を得る。

実験1 ホール測定

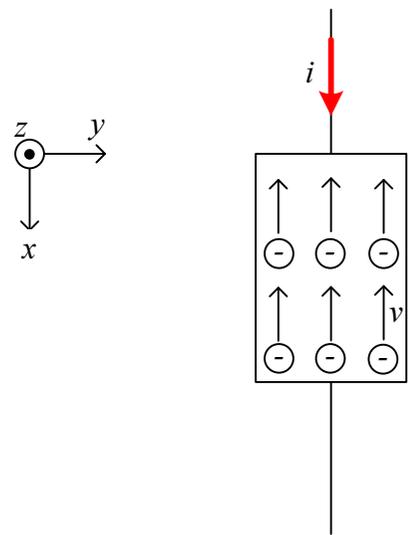
実験2 ホール素子を使った回路作製

ホール効果

金属や半導体に**電流**が流れているとき、電流に直交して**磁界**を掛けると、電流、磁界に直角となる方向に**起電力**が生じる現象

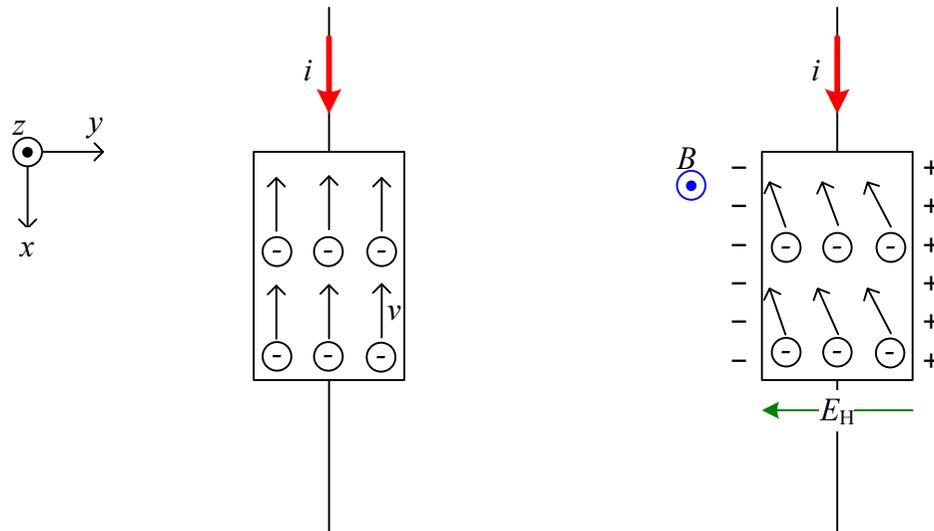


キャリアとして電子のみ考える(金属モデル)

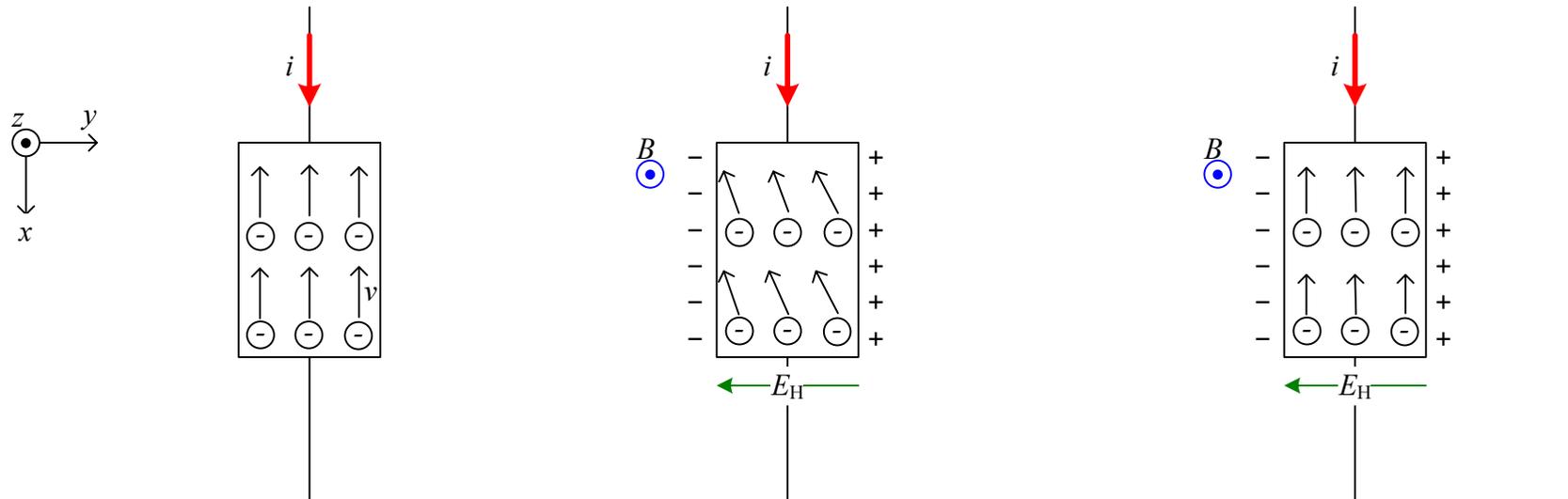


キャリアとして電子のみ考える(金属モデル)

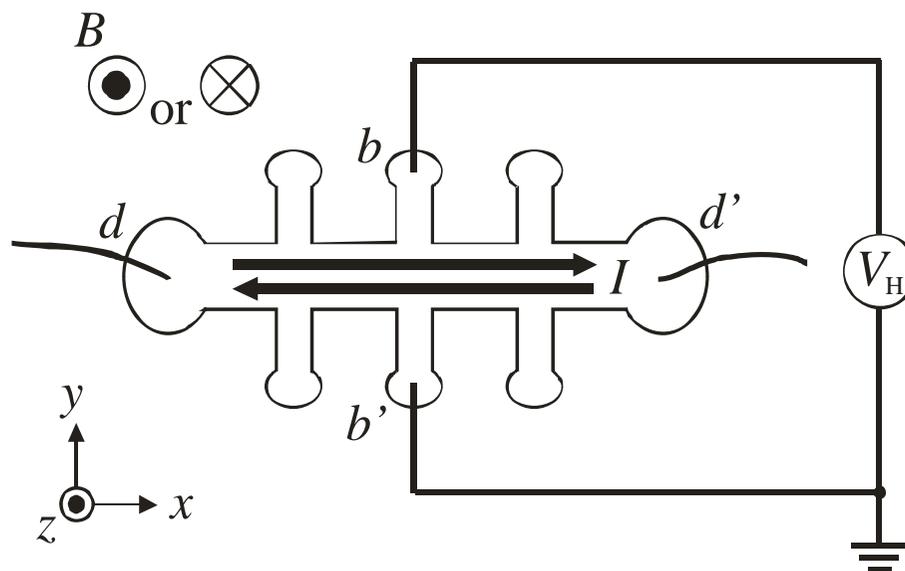
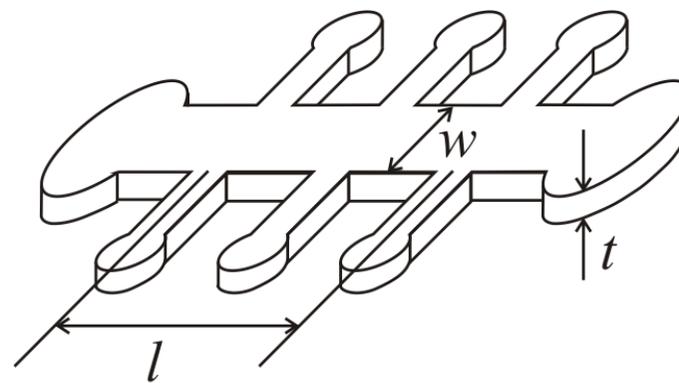
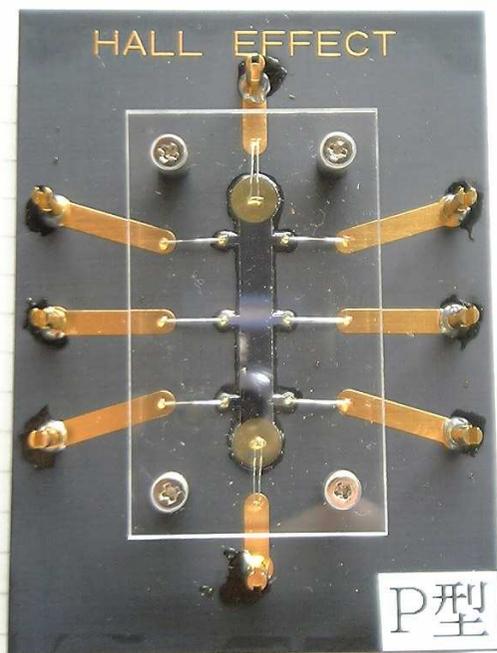
磁場 B を印加



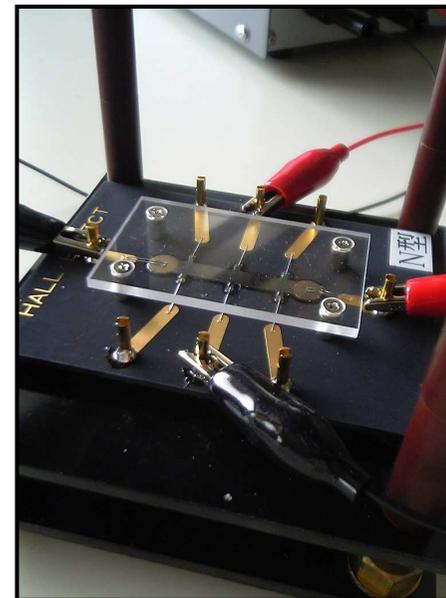
キャリアとして電子のみ考える(金属モデル)



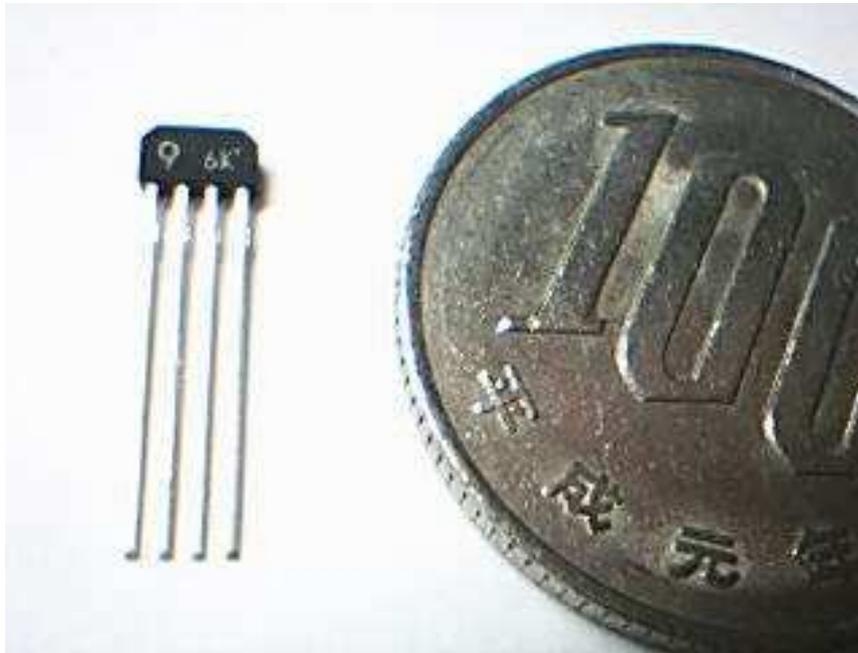
測定試料(ムカデ形)



ホール効果測定装置



実際のホール素子を使って極性判定回路を作製し、
その動作を考察する



東芝 GaAsホール素子
THS119

回路1

トランジスタを使用した回路

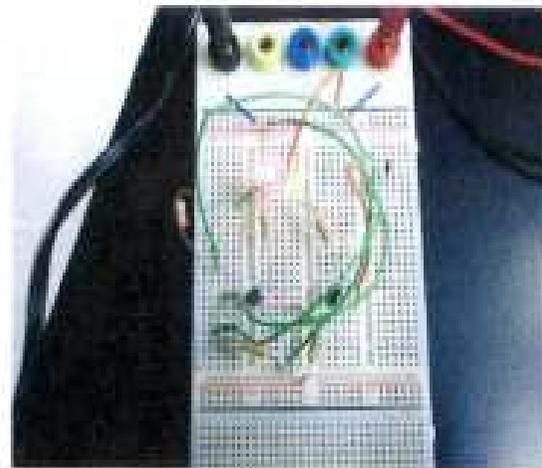


図7 磁石がない状態

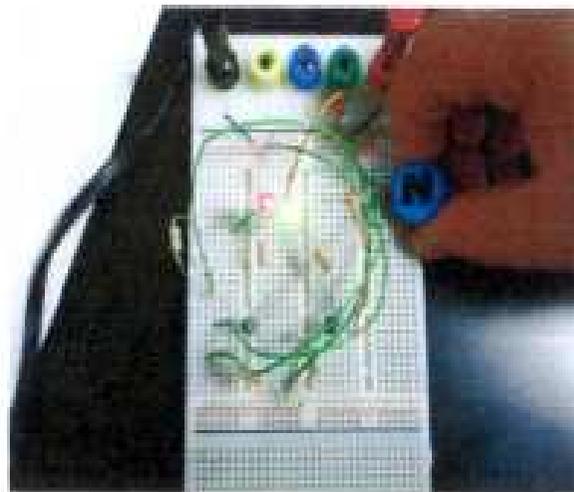


図8 N極を近づけた場合

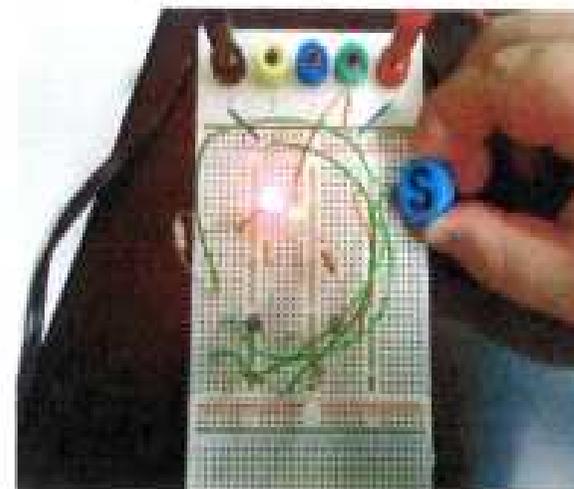


図9 S極を近づけた場合

回路2

オペアンプを使用した回路

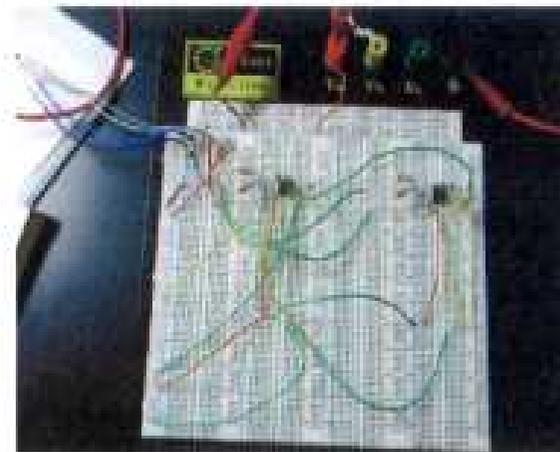


図 10 磁石がない場合

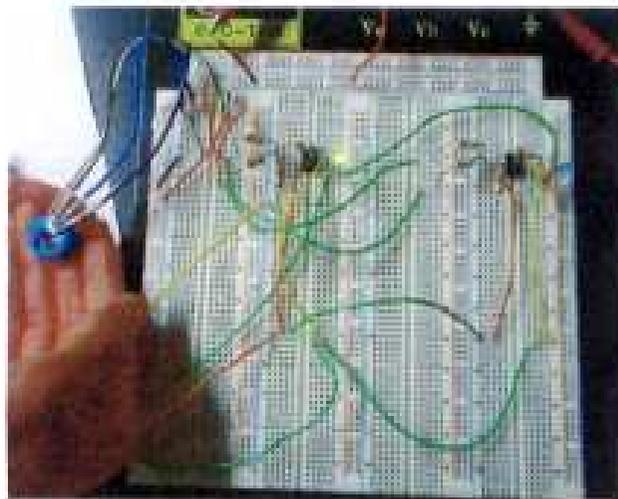


図 11 N極の場合

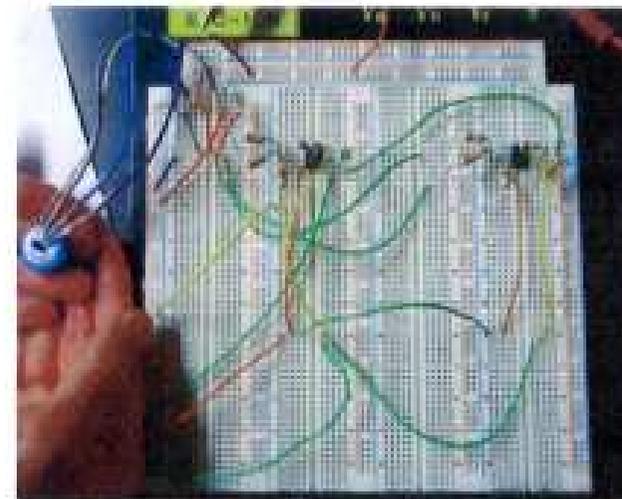


図 12 S極の場合

平成21年度 5E 実験実習

光デバイス実験

目的

半導体の光電効果を利用した各種光電素子の諸特性の測定を行い、半導体の光物性を理解し、且つ光電素子の使い方について学ぶ。

実験1 太陽電池の特性測定

実験2 LEDの特性測定

・半導体の光電効果

光電効果とは

- ・半導体に光を照射した時、光のエネルギーにより、
電子が励起されて半導体の電気的な性質が変化する現象
- ・半導体に電气的エネルギーを加えることで、
電子と正孔を励起・再結合させて光を放出する現象

光エネルギー → 電気エネルギー

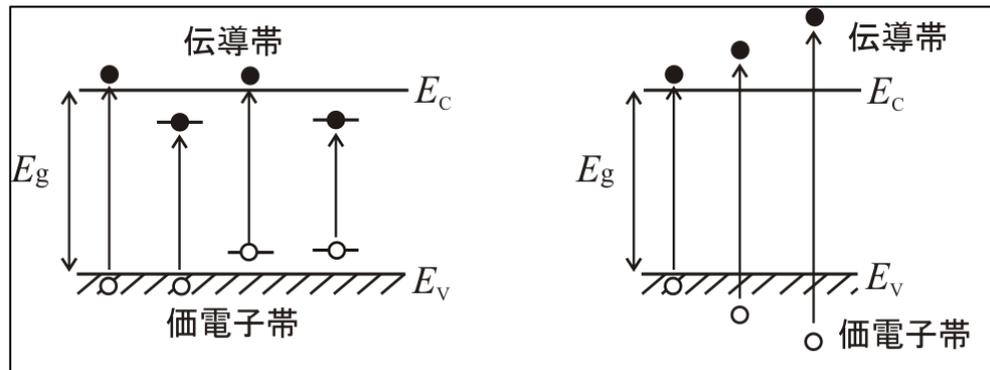
- ・光電子放出効果(外部光電効果)
- ・光導電効果(内部光電効果)
- ・光起電力効果

電気エネルギー → 光エネルギー

- ・電界発光

半導体の光吸収

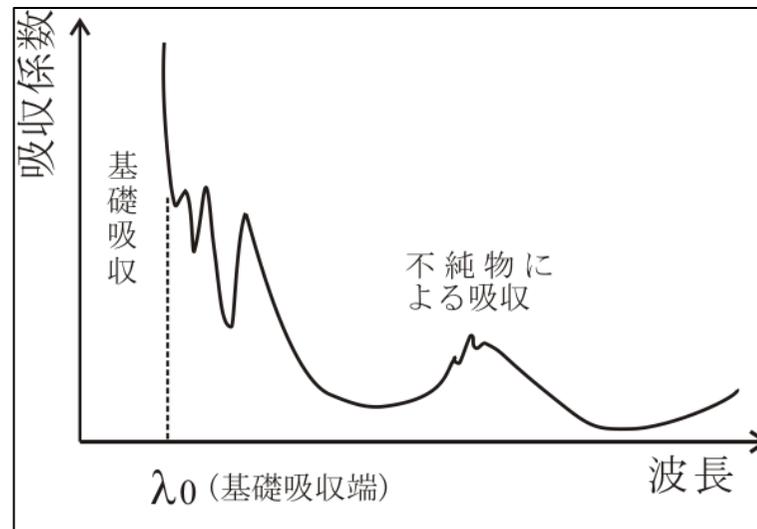
半導体にエネルギー $h\nu$ の光が入射した時、準位間のエネルギー差に等しい光エネルギーを吸収し半導体中の電子が高いエネルギー状態に遷移(励起)する。



光吸収過程

基礎吸収

- ・端間吸収(基礎吸収)
- ・帯、局在準位間吸収
- ・局在準位間吸収



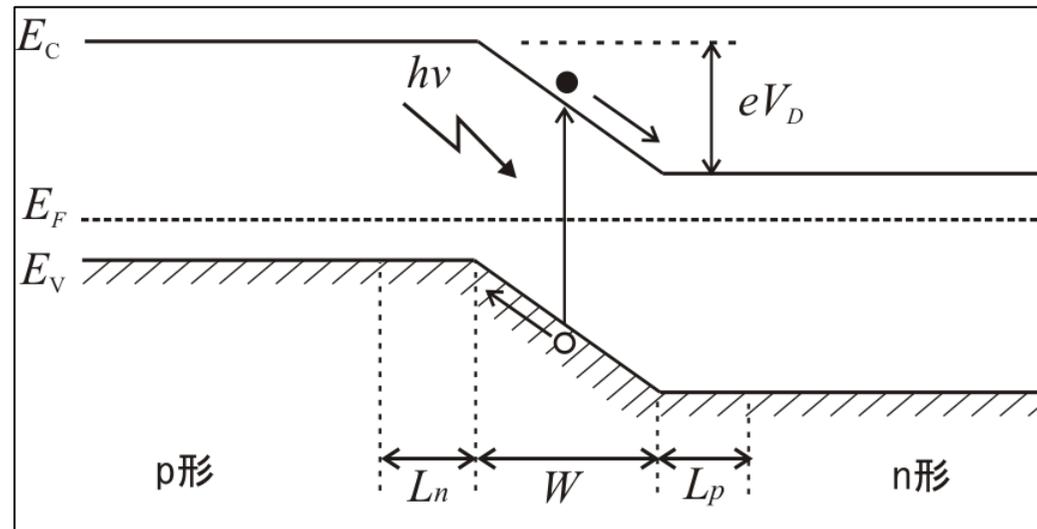
半導体の吸収スペクトル

基礎吸収端の波長 λ_0 (基礎吸収される光の最長の波長)はバンドギャップの大きさ E_g で決まる。

$$\lambda_0 \cong \frac{1239.8}{E_g [\text{eV}]} \quad [\text{nm}]$$

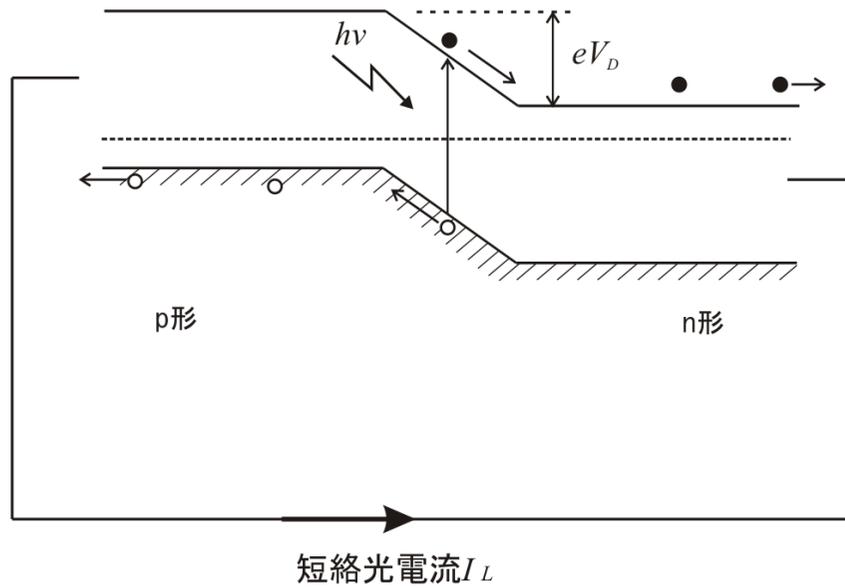
PN接合への光入射

半導体のバンドギャップより大きなエネルギーの光がPN接合に入射したとすると、そのエネルギーを受けて電子が高いエネルギー準位(伝導帯)に励起して**電子・正孔が生成**される。



生成された電子・正孔は拡散電位 V_D の電界によって、**電子はn領域へ、正孔はp領域へ**ドリフトする。

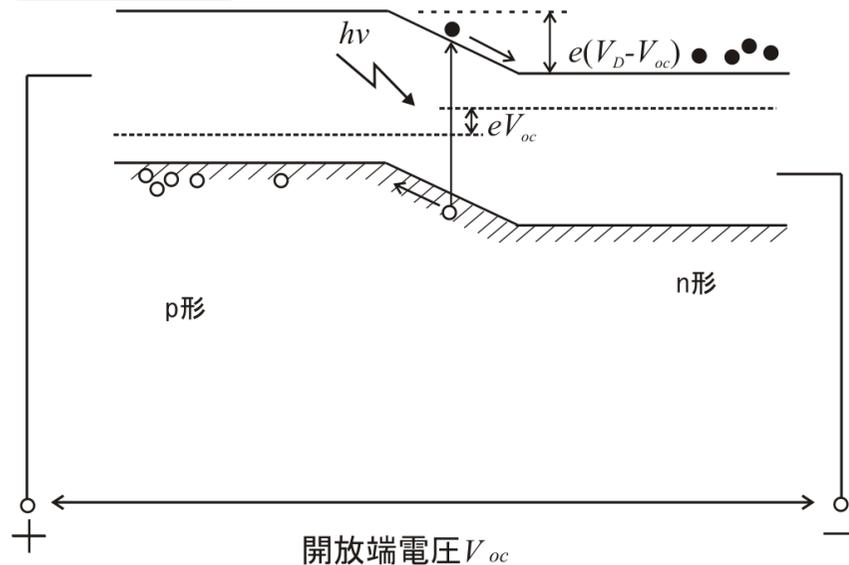
短絡状態



外部回路を短絡すると、p側へ移動した正孔とn側へ移動した電子がそれぞれ短絡した回路を通るので短絡電流が流れる。

$$I = -I_L$$

開放状態



生成された電子・正孔はそれぞれの領域に蓄積するため、それらの電荷によって両端に開放端電圧が発生する。

光照射なし $I = I_S \left\{ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right\}$

光照射あり $I = I_S \left\{ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right\} - I_L$