

## 第2章 太陽電池

### 1. 目的

実験を通して2年次までの講義（電子デバイス基礎、固体電子工学Ⅰ・Ⅱ、半導体工学）で習ったことを体験するために、太陽電池の測定を行う。さらに、太陽電池を身近に感じるために、色素増感太陽電池の作製と測定を行う。

また、開発・研究の楽しさを理解するために、色素増感太陽電池に用いる色素を各自が持参し、変換効率の向上を試みる。

### 2. 概要

#### 2-1 エネルギー資源可採年数

図 2.1 には、1997 年にまとめられた、各種化石燃料を今後何年間利用できるかを示す[1]。この図から、現在最も利用されている石油・天然ガスは、あと半世紀で使い尽くしてしまうことがわかる。

#### 2-2 太陽エネルギー

太陽は核融合により膨大なエネルギーを発生している。この太陽エネルギーは、宇宙空間を通して、地球に降り注いでいる。図 2.2 には、太陽から放射される表面輻射エネルギー、地球に降り注ぐエネルギー等が示されている[1]。

大気圏外の人工衛星が受け取れる太陽光エネルギーは約  $1.4 \text{ kW/m}^2$  ( $140 \text{ mW/cm}^2$ ) であり、春分・秋分の赤道直下での南中時に地上表面で受け取れるエネルギーは約  $1.0 \text{ kW/m}^2$  ( $100 \text{ mW/cm}^2$ ) である。

図 2.3 に大気圏外 (AM-0) と地上表面 (AM-1) の太陽エネルギースペクトルを示す[1]。大気圏中のオゾン ( $\text{O}_3$ ) により紫外線・可視光線、酸素 ( $\text{O}_2$ ) と水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) により赤外線が吸収される。図からわかるように、約  $0.4 \mu\text{m}$  から約

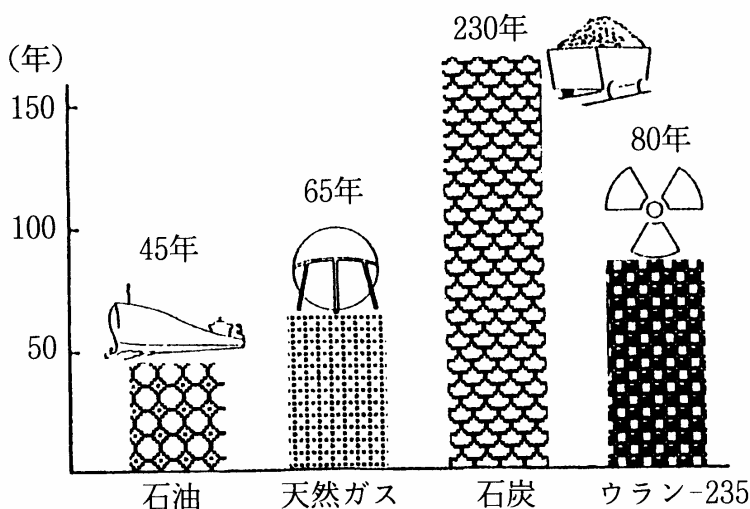


図 2.1 エネルギー資源可採年数 [1]

#### 問題 1

1. 一般家庭では1日に約  $3 \text{ kWh}$  を消費する。1日、3時間  $1.0 \text{ kW/m}^2$  の太陽光が照射されていると考えた場合、 $3 \text{ kWh}$  を得るためには、何  $\text{m}^2$  必要か。
2. 太陽電池が光エネルギーを  $10\%$  しか電気に変換できないときは、何  $\text{m}^2$  必要か。
3. 自宅の南面の屋根の面積を調べて、何  $\text{kWh}$  の電力が得られるかを計算せよ。

AM-0、AM-1 の AM は air mass の略である。AM-1 は春分・秋分の南中時の赤道直下での太陽光エネルギースペクトルを意味する。

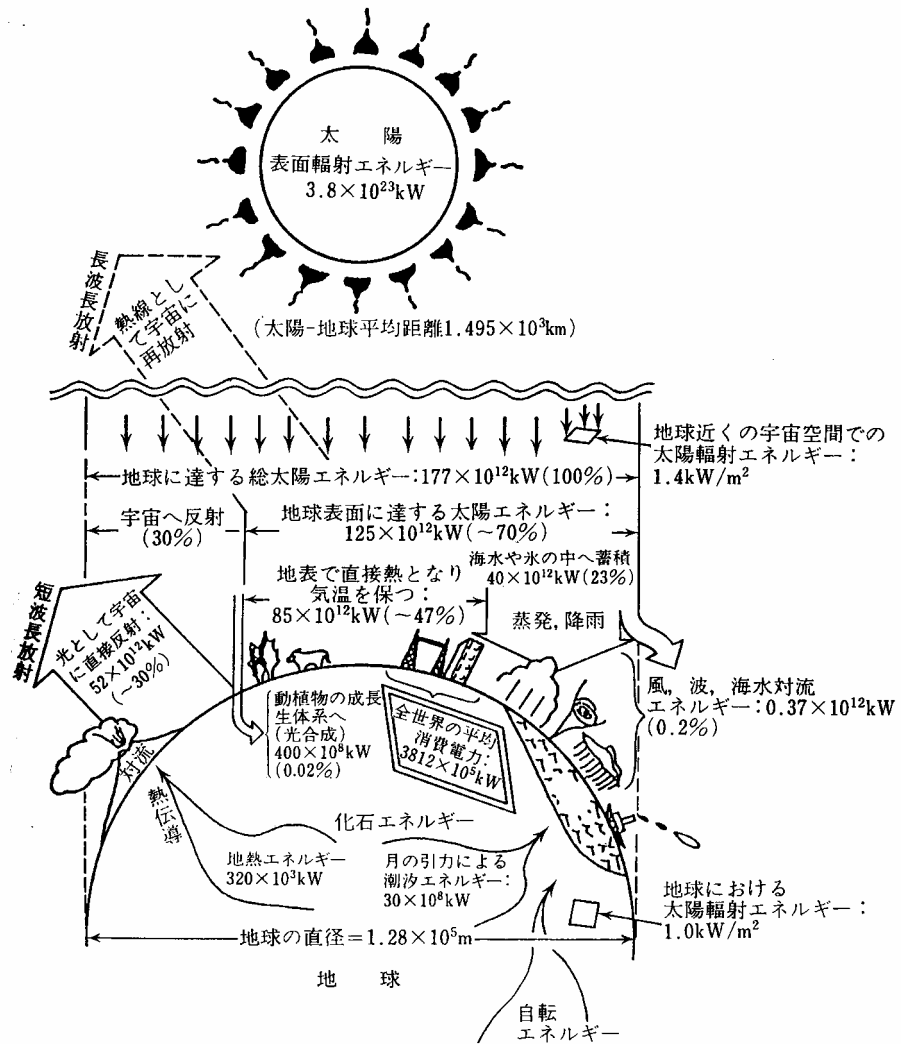


図 2.2 太陽エネルギー [1]

1.3  $\mu\text{m}$  の可視光線と赤外線エネルギーが大きいので、これらの光エネルギーを効率良く電気エネルギーに変換する必要がある。

## 2 3 半導体太陽電池の原理

### 2 - 3 - 1 半導体の禁制帯幅 ( $E_g$ ) と光吸収

図 2.4 には、電子が多数存在する価電子帯の頂上 ( $E_v$ ) と電子がほとんど存在しない伝導帯 (または導電帯) の底 ( $E_c$ ) との間の電子が存在できない禁制帯の幅 (バンドギャップ;  $E_g = E_c - E_v$ ) と光エネルギー ( $h\nu$ ) との大小関係による半導体の光吸収を示す。光エネルギーが半導体の禁制帯幅より小さい場合、光は半導体で吸収されない。一方、光エネルギーの方が大きい場合、光は半導体に吸収され、電子と正孔との対が生成される。したがって、半導体に吸収される太陽光の最低のエネルギーは、半導体の禁制帯幅によって決定される。

下付の添え字は、英語から来ている。たとえば、 $E_v$  の  $v$  は価電子帯 (valence band)、 $E_c$  の  $c$  は伝導帯 (conduction band)、 $E_g$  の  $g$  は禁制帯幅 (band gap) の略である。

#### 問題 2

約  $0.4 \mu\text{m}$  から約  $1.4 \mu\text{m}$  までの太陽光を利用するが、これらの波長を光エネルギー [eV] に変換せよ。

ただし、波長 [ $\mu\text{m}$ ] とエネルギー  $E$  [eV] との関係は、

$$\lambda = \frac{1.24}{E}$$

である。

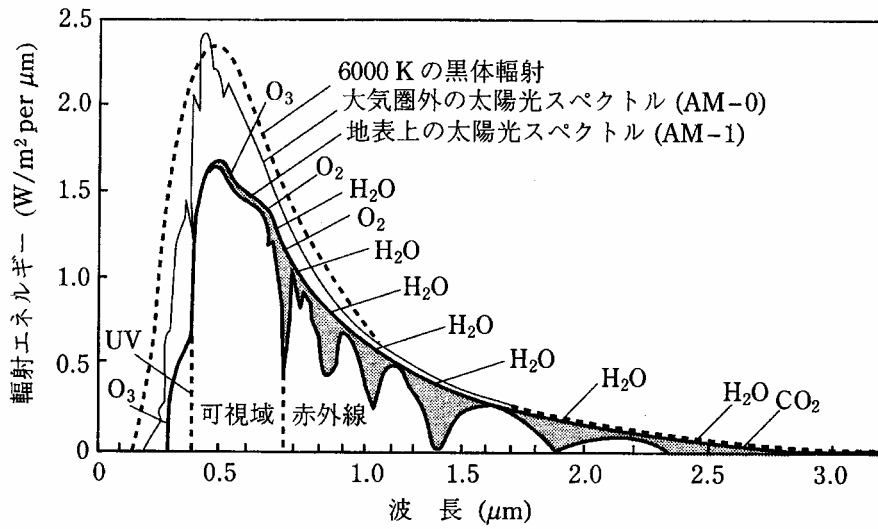


図 2.3 太陽光スペクトル [1]

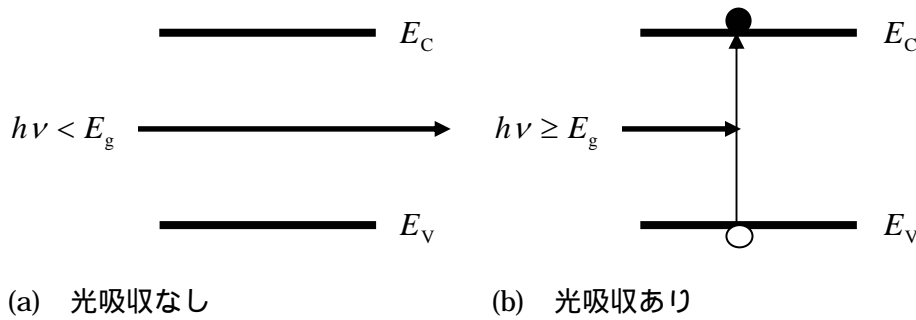


図 2.4 禁制帯幅 ( $E_g = E_C - E_V$ ) と光エネルギー ( $h\nu$ ) との関係による半導体の光吸収

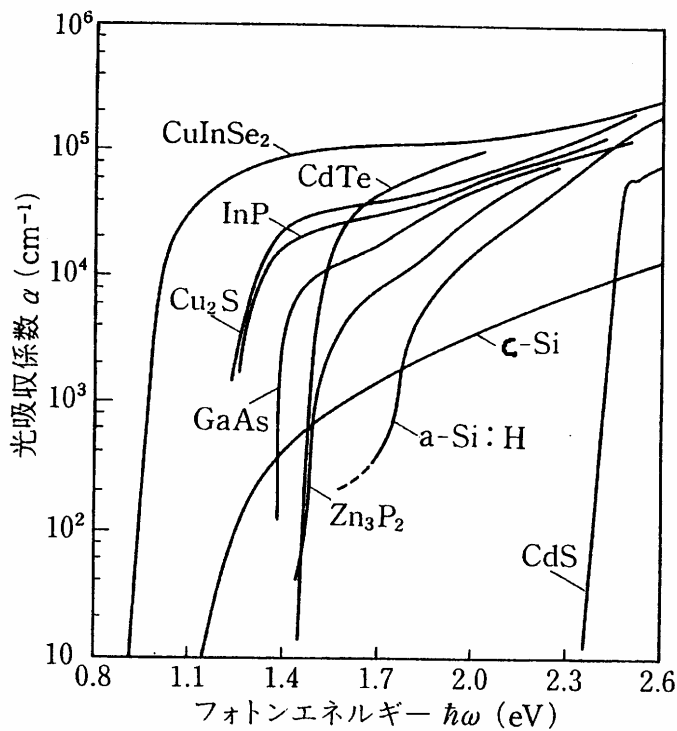


図 2.5 光吸収係数 [1]

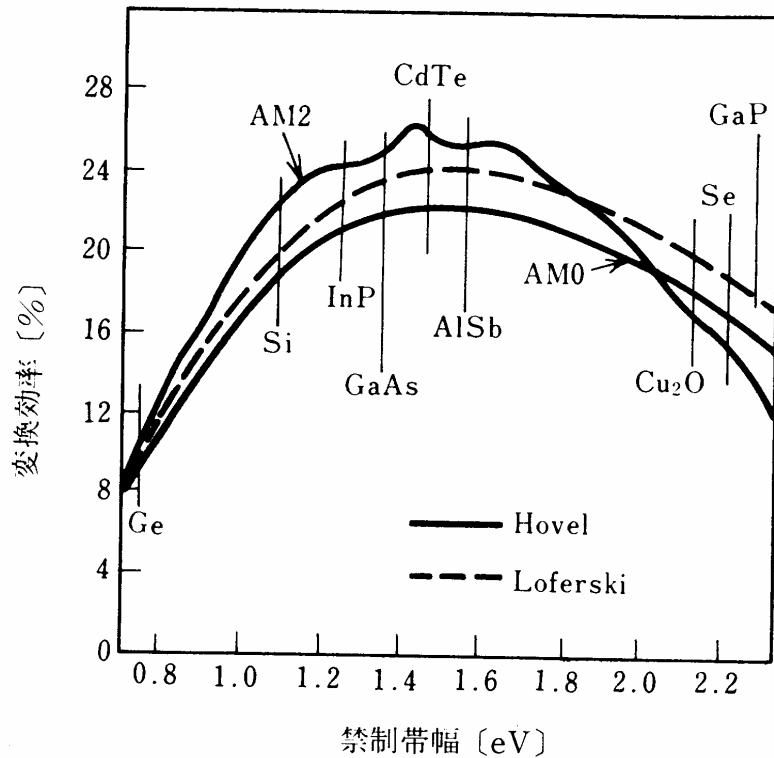


図 2.6 禁制帯幅と変換効率との関係 [2]

図 2.5 には、各種半導体の光吸収係数 ( $\alpha$ ) を示す[1]。光吸収係数とは、式

$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (2.1)$$

で定義され、光 (フォトン) が半導体に吸収され、入射した光強度 ( $I_0$ ) がちょうど  $1/e$  倍 (つまり  $I_0/e$ ) になる距離の逆数を意味する。ただし、 $e \cong 2.718$  である。図中から、 $\text{CuInSe}_2$  は最も低い光エネルギーから吸収し、 $\text{CdS}$  は図の範囲内のエネルギーの光をほとんど吸収しないことがわかる。

問題 3

$h\nu = h\omega$  であることを示せ。

最も太陽電池に利用されている結晶シリコン (Si または c-Si) は、低エネルギーの光から吸収するが、光吸収係数が小さい。例えば、光吸収係数が  $10^3 \text{ cm}^{-1}$  の場合、光強度が  $1/100$  倍に減少するまで光を吸収するには、 $46 \mu\text{m}$  の Si 膜厚が必要である。

c-Si の c は結晶 (crystalline) の略である。

一方、太陽電池による光電変換の場合、吸収した光エネルギーから禁制帯幅を引いたエネルギー ( $h\nu - E_g$ ) は電気ではなく、熱になるため、光電変換に寄与しない。したがって、禁制帯幅が狭いほど光電変換効率がよくなるわけではない。

これらを考慮して計算した結果を、図 2.6 に示す[2]。この図からわかるように、禁制帯幅が約 1.4 eV 付近の半導体が太陽電池に適していると考えられる。禁制帯幅が約 1.1 eV の Si の変換効率 (理論値) は少し低いが、他の半導体と比べて、安価で、環境に優しいため、現在地上用太陽電池として主に使用されている。

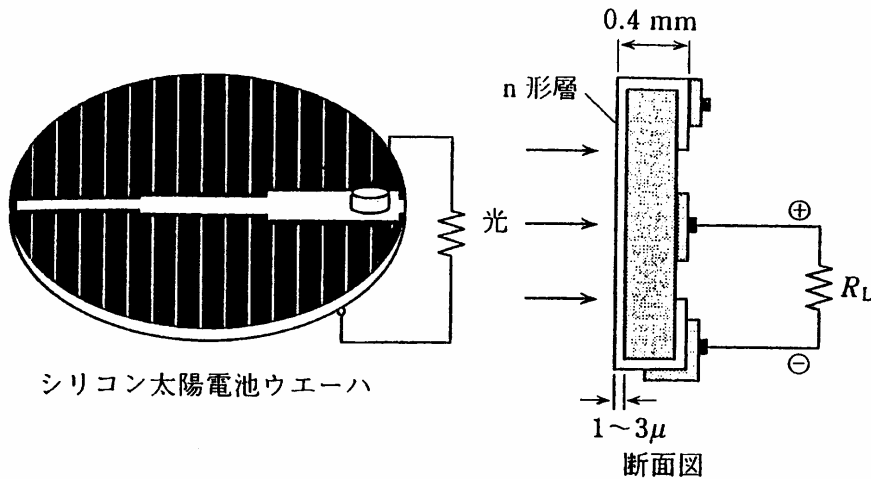


図 2.7 太陽電池 [1]

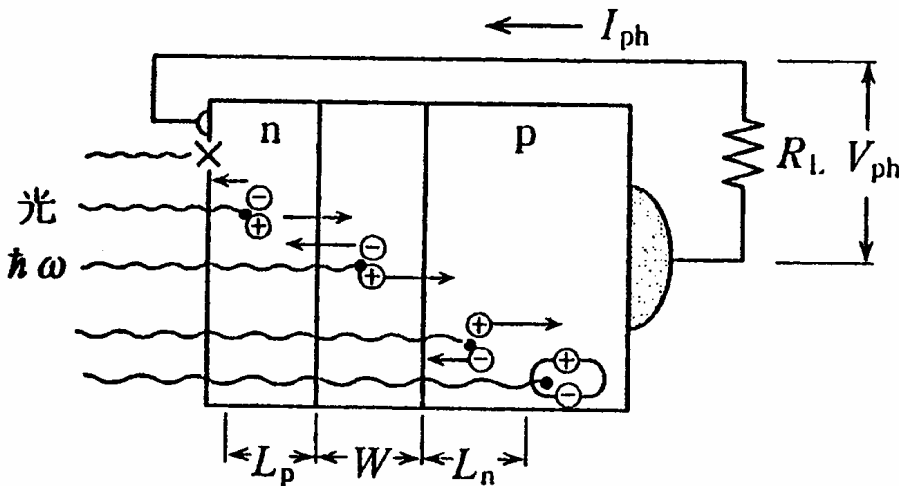


図 2.8 光照射時の太陽電池断面 [1]

### 2 - 3 - 2 動作原理

図 2.7 には、シリコン太陽電池の外見と断面を示す[1]。Si の厚さは約 0.4 mm であり、p 型 Si の表面に薄い n 層（厚さ 1 μm 以下）が形成されている。半導体中で、光を吸収し、電子・正孔対が発生する場所により、電気に変換できるかどうかが決まる原理を、図 2.8 の断面図と図 2.9 のエネルギーバンド図を用いて説明する。ここで、 $L_p$  は n 層での少数キャリアである正孔の拡散長、 $L_n$  は p 層での少数キャリアである電子の拡散長、 $W$  は pn 接合により形成された空乏層幅（電子も正孔も存在せずに、電界が存在する領域）である。拡散長は、簡単には光で生成された少数キャリアが多数キャリアと再結合して消滅せずに移

正確には、少数キャリア密度が拡散し、 $1/e$  倍まで減少する距離である。

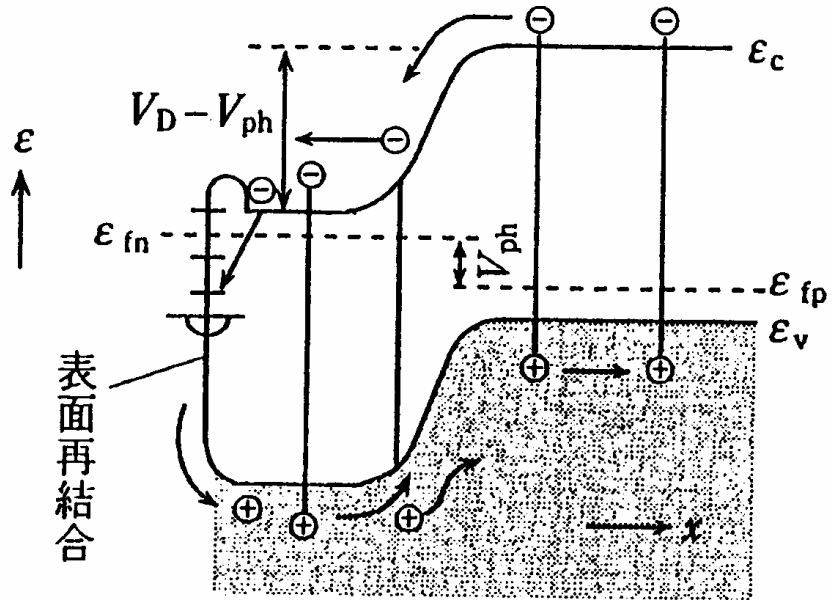


図 2.9 光照射時のエネルギーバンド図 [1]

動（拡散）できる距離である。

光は n 層の表面から照射される。この n 層には多数のドナーが含まれているため、 $L_p$  は短くなる。そのため、n 層は薄くし、光の吸収はほとんど p 層で行う。図 2.8 の空乏層端から  $L_n$  の範囲内で光により生成された電子・正孔対のうち、少数キャリアの電子は左方向に拡散し、空乏層に達することができる。この電子は、空乏層内の電界で n 層側に移動し、光電流となる。一方、 $L_n$  より離

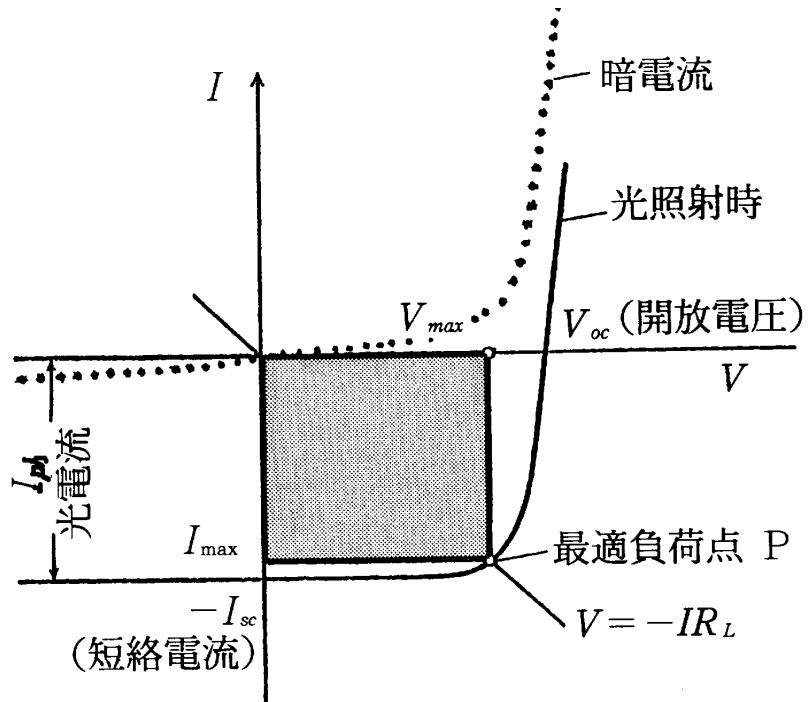


図 2.10 太陽電池特性 [1]

れたところで光により生成された電子・正孔対の電子は、空乏層に達するまでに多数キャリアの正孔と再結合し、熱になるため、光電流に寄与しない。

### 2 - 3 - 3 電流 - 電圧特性

pn 接合太陽電池の暗電流 ( $I_d$ ) の電圧 ( $V$ ) 依存性は、

$$I_d = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right\} \quad (2.2)$$

で表される。ただし、 $V$  は順方向電圧のとき正であり、逆方向電圧のとき負であり、 $I_0$  は飽和電流、 $q$  は電子の電荷、 $k$  は Boltzmann 定数、 $n$  はダイオード因子、 $T$  は測定温度である。この電流 - 電圧 ( $I-V$ ) 特性を図 2.10 の点線で示す。

光を照射すると、光電流 ( $I_{ph}$ ) が順方向電流と反対方向に流れるため、照射時の  $I-V$  特性は、

$$I = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right\} - I_{ph} \quad (2.3)$$

となり、図 2.10 の実線で示してある。 $V=0$  のときに流れる電流の絶対値を短絡電流 ( $I_{SC}$ ) と呼び、 $I=0$  のときの電圧を開放電圧 ( $V_{OC}$ ) と呼ぶ。

図 2.10 の実線上の  $|IV|$  が最大になる点で、最大電力を得ることができる。したがって、最大電力  $P_{max}$  は、図 2.10 の  $I_{max}$  と  $V_{max}$  を用いて表すと、

$$P_{max} = I_{max} V_{max} \quad (2.4)$$

となる。入射光エネルギーを  $P_{in}$  とすると、光を電気に変換する効率 (光電変換効率;  $\eta$ ) は

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.5)$$

で表される。また、フィルファクター ( $FF$ ) は

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{I_{max}V_{max}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (2.6)$$

と定義されるので、変換効率は

$$\eta = \frac{I_{sc}V_{oc}FF}{P_{in}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.7)$$

とも表される。

### 2 - 3 - 4 直列抵抗・並列抵抗の影響

図 2.11 に太陽電池の等価回路を示す[2]。図中の電流源は光電流、ダイオードは理想ダイオード、 $R_s$  は直列抵抗、 $R_{sh}$  は並列抵抗 (シャント抵抗) である。この等価回路から、 $I-V$  特性は

#### 問題 4

pn 接合の  $I-V$  特性である式(2.2)を導き出せ。ただし、ここでは理想的な場合を考え、 $n$  は 1 とする。

$I_d$  の  $d$  は暗電流 (dark current) であり、 $I_{ph}$  の  $ph$  は光電流 (photocurrent)、 $I_{sc}$  の  $sc$  は短絡電流 (short circuit current)、 $V_{oc}$  の  $oc$  は開放電圧 (open circuit voltage) である。

実験では、電流 - 電圧特性から、 $n$  値を見積もる。

太陽電池に関係のある以下の言葉を覚えよう!

1. 開放電圧
2. 短絡電流
3. フィルファクター
4. 変換効率

問題 5

- 式(2.8)を導き出せ。
- 式(2.8)から電流  $I$  を解析的に解くことはできない。そのため、C言語によるプログラミングより、図 2.11 に示す  $I-V$  特性になることを示せ。

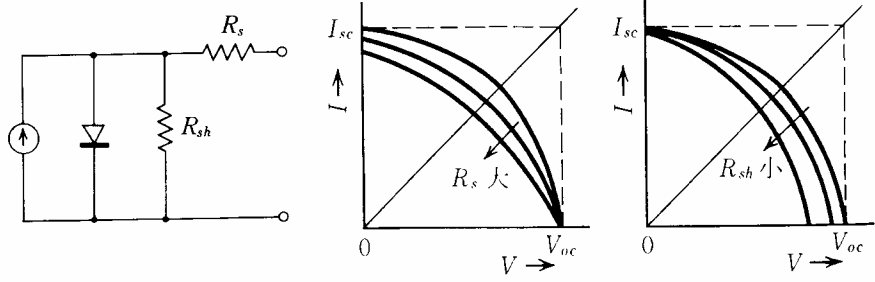


図 2.11 直列抵抗と並列抵抗とが変換効率に与える影響 [2]

$$I = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{q(V - R_s I)}{nkT}\right) - 1 \right\} + \frac{V - R_s I}{R_{sh}} - I_{ph} \quad (2.8)$$

となる。

式(2.8)を用いて直列抵抗と並列抵抗との太陽電池特性への影響を計算した結果が図 2.11 に示してある。直列抵抗が大きいくほど短絡電流が大きくなり、並列抵抗が小さいほど開放電圧が高くなるのがわかる。

実験では、暗時の電流 電圧測定から、太陽電池の直列抵抗を求める。

$V_D$  の D は拡散電位 (diffusion potential)、 $N_A$  の A は (acceptor)、 $N_D$  の D は (donor) の略である

ドナーは電子を伝導帯に放出して、イオン化し、正電荷となる。一方、アクセプタは正孔を価電子帯に放出してイオン化し、負電荷となる。シリコンの場合、室温でドナーもアクセプタも完全にイオン化している。

### 2 - 3 - 5 容量 - 電圧特性

空乏層内での電界・電位について理解するために、pn 接合の容量 - 電圧特性を考える。さらに、ここでの考察は開放電圧が pn 接合の拡散電位 ( $V_D$ ) 以上にならないことを理解するために役立つ。

図 2.12 に印加電圧が 0 V のときの pn 接合 (階段接合) のエネルギーバンド図、不純物密度分布、空間電荷密度分布、電界分布、電位分布を示す[3]。p 層の負にイオン化したアクセプタ密度を  $N_A$ 、n 層の正にイオン化したドナー密度を  $N_D$ 、空乏層内の電位を  $\Phi(x)$  とする。空乏層内の  $\Phi(x)$  と電界  $E(x)$  は、ポアソン方程式

$$\frac{d^2\Phi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon} \quad (2.9)$$

から得られる[3]。ただし、 $\varepsilon$  は半導体の誘電率であり、ポアソン方程式は、n 層側の空乏層 ( $-x_n \leq x \leq 0$ ) では

$$\frac{d^2\Phi(x)}{dx^2} = -\frac{qN_D}{\varepsilon}, \quad (2.10)$$

p 層側の空乏層 ( $0 \leq x \leq x_p$ ) では

$$\frac{d^2\Phi(x)}{dx^2} = \frac{qN_A}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

と近似する。

式(2.9)より、空乏層幅 ( $d = x_p + x_n$ ) は

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon(N_A + N_D)}{qN_A N_D}} V_D \quad (2.12)$$



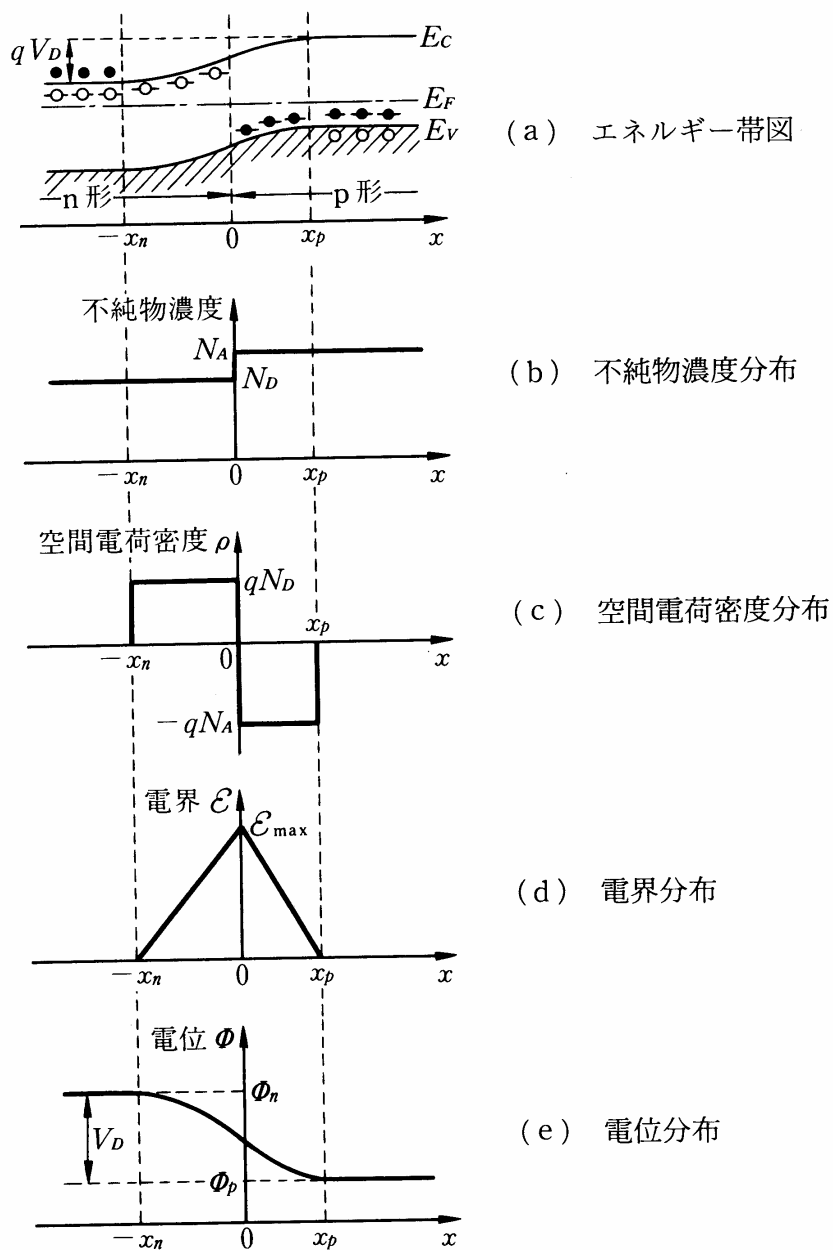


図 2.12 階段接合の場合の pn 接合 [3]

となる。順方向電圧 ( $V$ ) が印加されている場合、 $V_D$  を  $V_D - V$  と置き換えればよいので、

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon(N_A + N_D)}{qN_A N_D}}(V_D - V) \quad (2.13)$$

となる。したがって、単位面積あたりの空乏層容量 ( $C$ ) は

$$C = \sqrt{\frac{q\varepsilon N_A N_D}{2(V_D - V)(N_A + N_D)}} = \frac{\varepsilon}{d} \quad (2.14)$$

と求められる。

一方、傾斜接合の場合 (図 2.13)

問題 6

1. 式(2.13)を導き出せ。
2. 式(2.14)を導き出せ。
3. 式(2.15)を導き出せ。

問題 7

開放電圧が拡散電位より大きくなる理由を図 2.9 と図 2.12 を見ながら、考えよ。

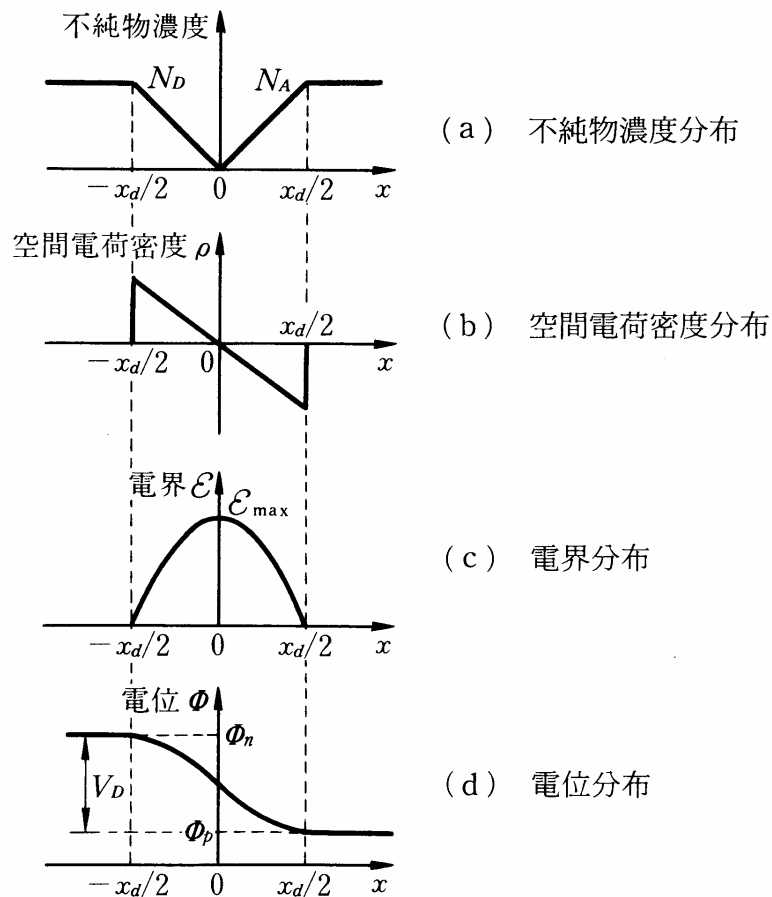


図 2.13 傾斜接合の場合の pn 接合 [3]

実験では、容量 - 電圧特性から、pn 接合が階段接合か傾斜接合かを判断し、拡散電位を見積もる。

$$C = \left\{ \frac{qa\varepsilon^2}{12(V_D - V)} \right\}^{1/3} = \frac{\varepsilon}{d} \quad (2.15)$$

と求められる。ただし、空乏層内 ( $-x_d \leq x \leq x_d$ ) では、

$$\rho(x) = -qax \quad (2.16)$$

と仮定する[3]。

## 2 - 4 色素増感太陽電池

### 2 - 4 - 1 グレッツェルセルの構造

図 2.14 にグレッツェルセルの構造模式図を示す[1]。図中央の左側は半導体光電極であり、ガラス板上に形成した酸化スズ ( $\text{SnO}_2$ ) の透明導電膜上に、粒径が約 20 nm の酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) 微粒子の多孔質膜を膜厚 10  $\mu\text{m}$  程度形成してある。さらに、この多孔質  $\text{TiO}_2$  に色素を吸着させてある。図 2.15 には、IPCE (入射光子が電子に変換される割合) の波長依存性を示す[1]。  $\text{TiO}_2$  自身は 400 nm 以下の紫外線しか電子に変換できず、可視光を透過させ、吸収できない。一方、色素 (例えば、ルテニウム錯体;  $\text{RuL}_2(\text{NCS})_2$ 、L は 4,4'-ジカルボキシ-2,2'-ビピリジン) は約 800 nm までの可視光を吸収し、電子に変換できる。したがって、色素が付着する  $\text{TiO}_2$  の表面積を大きくするために、  $\text{TiO}_2$  を多孔質にして

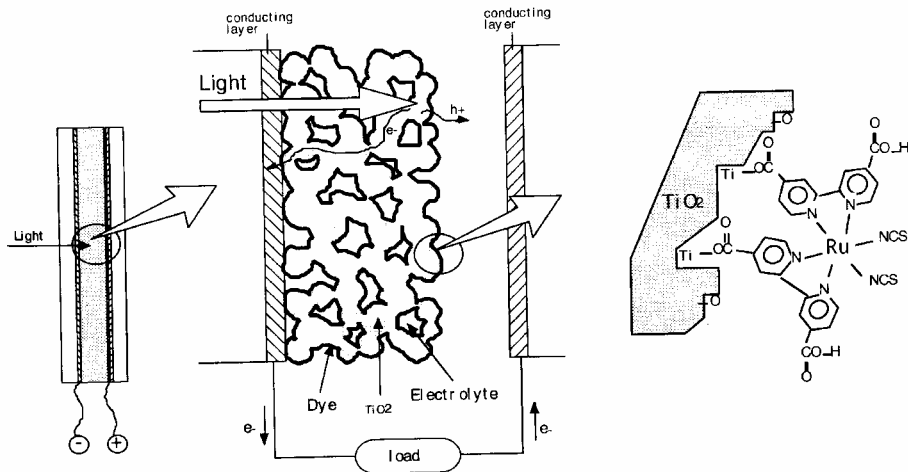


図 2.14 グレツェルセルの構造模式図 [1]

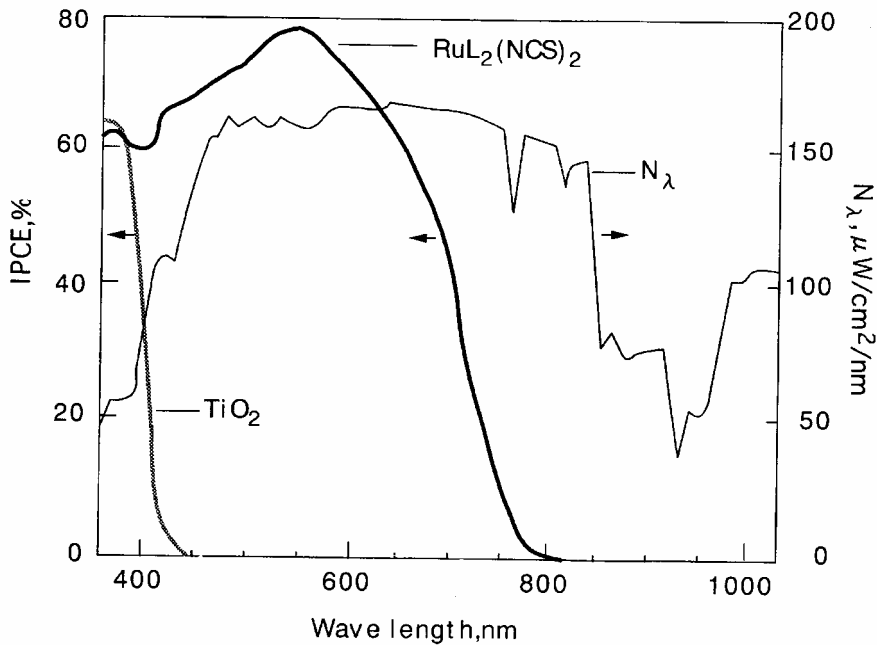


図 2.15 光電変換効率の増感特性 [1]

いる。

対向電極と半導体光電極との間には、電気を通す液体（電解液）が充填してある。

### 2 - 4 - 2 動作原理

図 2.16 に動作原理図を示す[1]。半導体光電極側から透過してきた太陽光は、色素に吸収され、電子は状態 (S+/S) から状態 (S+/S\*) に励起される。この励起された電子は、TiO<sub>2</sub> の伝導帯に注入され、負荷 (load) を通って、対向電極に行く。対向電極にきた電子は、電解液中のヨウ素イオンを介して、色素に戻る。

実験では、ハイビスカスの花びらの色素以外に、変換効率が良くなると思う色素を各自持参して、変換効率を測定する。

問題 8  
図 2.15 を見ながら、変換効率が良くなるのではないかと考えられる色素の色とその理由を述べよ。

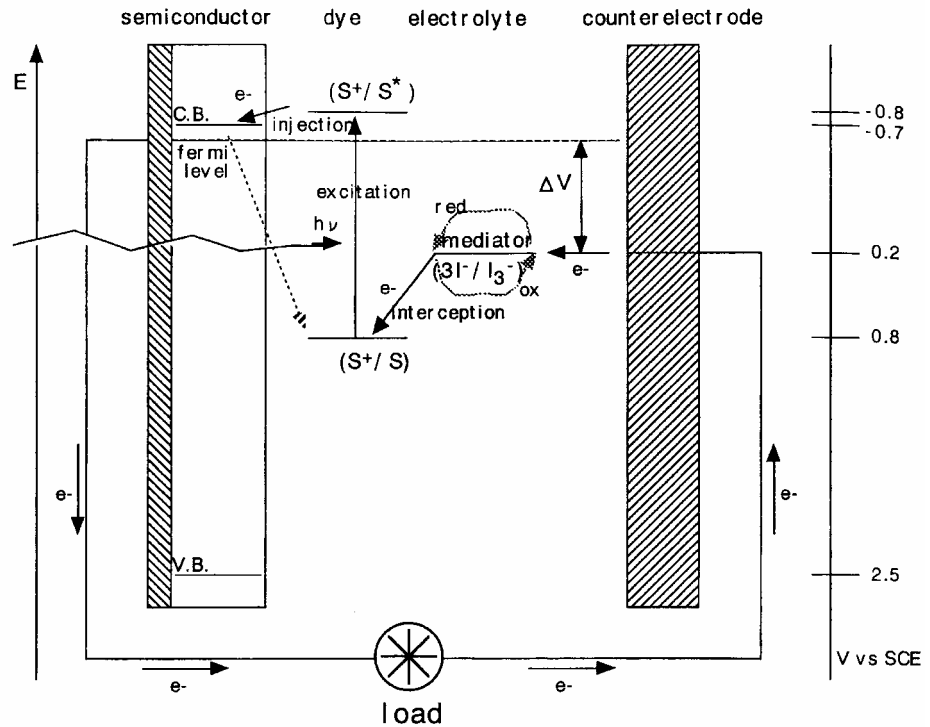


図 2.16 グルツェツセルの動作原理 [1]

### 3 . 実験

#### 3 - 1 半導体太陽電池

##### 3 - 1 - 1 X-Y レコーダによる暗時の電流 - 電圧測定 (太陽電池の直列抵抗・拡散電位の測定)

拡散電位より低い順方向電圧の場合、印加した電圧は最も高抵抗の空乏層にかかる。それ以上の順方向電圧では、空乏層は消滅し、半導体膜全体に電圧がかかる。つまり、pn 接合を含む半導体素子は単なる抵抗となる。したがって、測定した暗時の  $I-V$  特性から、直列抵抗と拡散電位が求められる。

以上のことを考慮して、測定電圧範囲を決め、図 2.17 の回路を用いて暗時の  $I-V$  測定を行うこと。

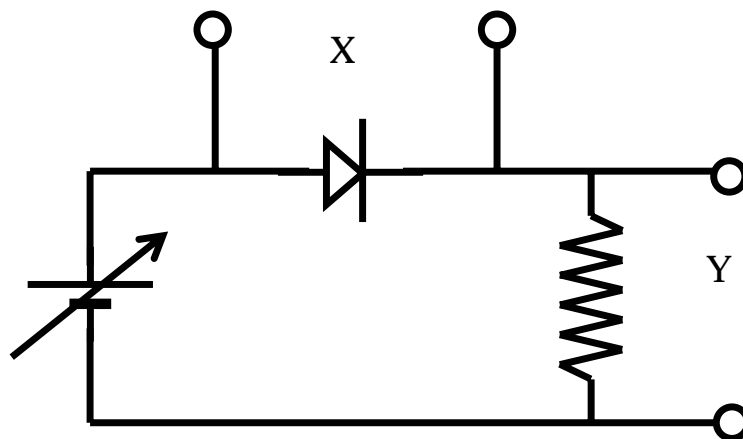


図 2.17 X-Y レコーダによる暗時の電流 - 電圧測定回路

pn 接合は、n 層の抵抗、空乏層の抵抗、p 層の抵抗の 3 種類の抵抗の直列接続と考えられる。n 層には電子が多数存在し、p 層には正孔が多数存在するので、これらの層の抵抗は低い。一方、空乏層には電子も正孔も存在しないため、高抵抗である。したがって、最も抵抗の高い空乏層に、印加電圧のほとんどがかかる。

太陽電池の表面側が n 層、裏面側が p 層である。このことから、どちらに正の電圧を印加すれば、順方向になるかを考えること。

### 3 - 1 - 2 X-Y レコーダによる光照射時の電流 - 電圧測定 (変換効率・開放電圧・短絡電流・フィルファクターの測定)

図 2.18 の回路を用いて測定すること。

### 3 - 1 - 3 電流計・電圧計による暗時の電流 - 電圧測定 ( $n$ 値の測定)

空乏層に印加電圧がすべてかかる順方向電圧範囲では、電流は式(2.2)に従う。以上のことを考慮して測定電圧範囲を決め、図 2.19 の回路を用いて暗時の  $I-V$  測定を行うこと。

さらに、 $n$  値を求めるのにふさわしいグラフを書くこと。

### 3 - 1 - 4 容量 - 電圧測定 (拡散電位・アクセプタ密度の測定)

階段接合 pn 型太陽電池の場合、 $n$  層のドナー密度は  $p$  層のアクセプタ密度より桁違いに大きい ( $N_D \gg N_A$ ) 式(2.14)は

問題 9

1 .十分低い順方向電圧では

$$I \cong I_0 \frac{qV}{nkT}$$

と表わせることを示せ。

2 .比較的高い順方向電圧では、

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$$

と表わせることを示せ。

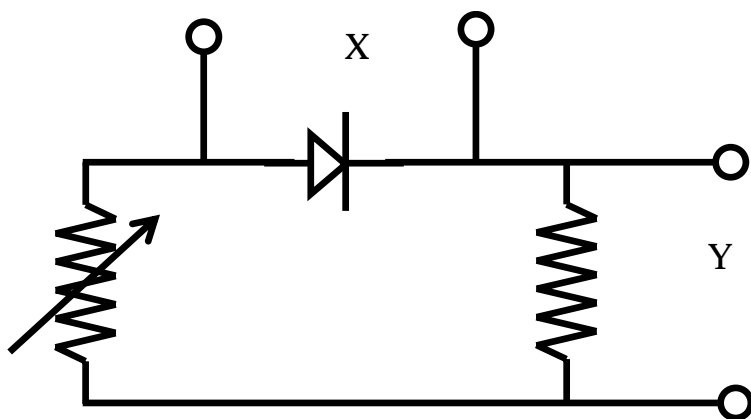


図 2.18 X-Y レコーダによる光照射時の電流 - 電圧測定回路

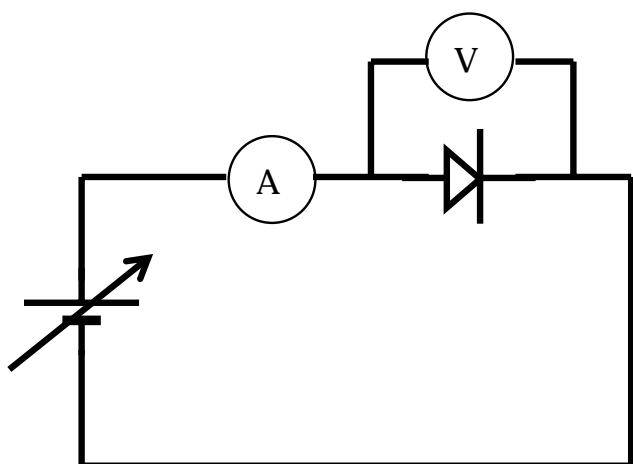


図 2.19 電流計・電圧計による暗時の電流 - 電圧測定回路

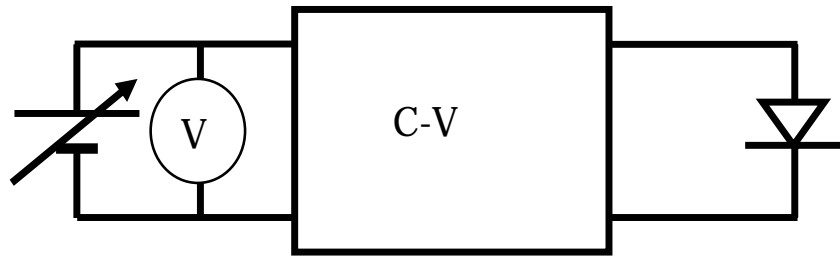


図 2.20 容量 - 電圧測定回路

問題 10

$N_D \gg N_A$  の場合、式(2.14)が式(2.17)になることを示せ。

$$C = \sqrt{\frac{q\epsilon N_A}{2(V_D - V)}} \quad (2.17)$$

と近似できる。

図 2.20 の回路を用いて、逆方向電圧を印加して、 $C-V$  測定を行う。

測定した pn 接合太陽電池が階段接合か傾斜接合か判断できるグラフを書くこと。また、階段接合の場合、アクセプタ密度を求めること。

### 3 - 2 色素増感太陽電池

#### 3 - 2 - 1 色素増感太陽電池の作製

[透明導電膜付ガラスの用意]

- 2 枚の透明導電膜付ガラスを用意する。
- テスターを用いて、表面に透明導電膜がついている面を調べ、その面上向に置く。

[半導体光電極（陰極）の作製]

- 二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) と液状のりを混ぜ合わせた  $\text{TiO}_2$  ペーストを用意する。
- 透明導電膜付ガラスの縁をメンディングテープで覆う。
- メンディングテープで覆っていない透明導電膜状に、 $\text{TiO}_2$  ペーストを塗る。(  $\text{TiO}_2$  ペーストを少し垂らし、スライドガラスでペーストを薄く伸ばす。うまく平らに伸ばせなかった場合は、濡れたティッシュでガラス表面を拭き取り、やり直すこと。)
- 乾燥するまで待ち、乾燥後メンディングテープをはがす。
- アルコールランプで、 $\text{TiO}_2$  ペーストを焼き付ける。( 焼き付け始めたときは  $\text{TiO}_2$  膜が茶色になるが、しばらくするとまた白色に戻る。このときが焼き付け終了である。もし白くならない場合は、火力の強いところに持っていくこと。)
- アルコールランプを消し、透明導電膜付ガラスが冷えるまで待つ。

[色素の抽出]

- ハイビスカスティーをシャーレに入れ、お湯を入れる。

[色素の吸着]

- 冷えた透明導電膜付ガラスを、色素が抽出されたシャーレに浸す。

- b. 色素が染み込んだら、ガラスを取り出し、表面を軽く水で洗い、ごみを取り除く。
- c. 乾燥させる。

[対向電極（陽極）の作製]

- a. もう一方のガラスの透明導電膜側に、表面が黒くなるまで黒鉛（鉛筆）でコーティングする。
- b. 塗り終わったガラスを軽く叩き、表面の黒鉛の小片を取り除く。

[太陽電池の組み立て]

- a. 半導体光電極と対向電極を内側にして重ね、クリップで固定する。（電気を取り出すためのワニ口クリップを付けるところを残すため、少しずつ重ねること。）
- b. 電解液を隙間から染み込ませる。

### 3 - 2 - 2 X-Y レコーダによる暗時の電流 - 電圧測定 （直列抵抗の測定）

図 2.17 の回路を用いて暗時の  $I-V$  測定を行うこと。

### 3 - 2 - 3 X-Y レコーダによる光照射時の電流 - 電圧測定 （変換効率・開放電圧・短絡電流・フィルファクターの測定）

図 2.18 の回路を用いて測定すること。

## 4 . 宿題

太陽電池に関する理解を深めるために、第 2 節の概要のところを書いてある問題を解いて、レポート用紙に記入して提出すること。（評価点に加点）

## 5 . 実験報告書（レポート）

前半の半導体太陽電池に関する実験報告書と後半の色素増感太陽電池に関する実験報告書を作成する。単位を取るためには、必ず両方の実験報告書を提出すること。ただし、この実験報告書は卒業研究論文を書くための練習であるため、以下の要領で書くこと。

### 5 - 1 各章の設定

おのおの実験報告書に対して、以下に示すように報告書をまとめること。

#### 第 1 章 はじめに

この研究の背景と目的を簡単にまとめること。

（研究者が第 1 章を読んで、本報告書の内容に関心を持つようにすることが重要。つまり、なぜこの研究をしたかがはっきりと述べる必要がある。）

#### 第 2 章 理論

太陽電池の動作原理の要点をまとめること。次に、実験結果を解析するために用いる理論等を書くこと。

### 第3章 実験方法

測定回路、測定方法、使用器具をまとめて書くこと。色素増感太陽電池の場合は、作製方法も書くこと。

(他の研究者が今回の実験結果を検証しようと試みたときに困らないように書く必要がある。)

### 第4章 実験結果

表と図を交えながら、文章で実験結果を述べること。

### 第5章 考察

実験結果を解析して求められた結果を書くこと。さらに、その結果から変換効率を良くするためには、どのようにすればよいと考えられるか等の各自の意見・推測をわかりやすく書くこと。(最も重要な章である。)

### 第6章 まとめ

第4章と第5章からわかったことのうち、重要と思われるところだけを簡単にまとめること。

(第1章「はじめに」を読んで興味を持った研究者は、第6章を次に読む。そして、中身を読むに値すると判断した場合だけ、第2章から第5章までを読む。したがって、この章には、重要な結果・結論だけを簡潔にまとめる必要がある。大変重要な章である。)

### 参考文献

第1章から第6章までで参考にした書籍や文献は、参考にした文章の後に番号を付け(例えば、[1])この参考文献のところにもまとめて書くこと。

## 5 - 2 注意点

1. グラフや表の書き方、それらの番号の付け方に気を付けること。
2. レポートは文章を書く練習であるため、書籍等を丸写しにするのではなく、自分なりの言葉で書くこと。

## 6 . まとめ

これまでに習った講義と実験とを結びつけ、より深く理解しようと試みてください。そして、自分から何か新しい問題を見つけ、解決していこうと思えるようになってください。

### 参考文献

- [1] 濱川圭弘編著:太陽光発電 最新の技術とシステム(シーエムシー、2000)。
- [2] 松波弘之:半導体工学(昭晃堂、1999)。
- [3] 小林敏志、金子双男、加藤景三:基礎半導体工学(コロナ社、2000)。(2年次までの授業の教科書も参考にすること。)