

# 松浦研究室 ゼミ

提出期限：6月1日

**課題** 2種類のドナーと2種類のアクセプタが存在する半導体のフェルミ準位の温度依存性  $E_F(T)$ 、電子密度の温度依存性  $n(T)$ 、正孔密度の温度依存性  $p(T)$  を計算し、ファイルに保存できるプログラムを作成すること。

つぎに、ファイルからデータを読み込んで、 $E_F(T)-1000/T$ 、 $n(T)-1000/T$  および  $p(T)-1000/T$  のグラフを描けるプログラムを作成すること。

使用するプログラム作成ソフトは、Borland C++ Builder を用いて、Windows アプリケーションを作成すること。

ただし、10 K から 700 K まで 0.1 K 間隔で計算すること。

半導体として Si を考え、条件 1 から確実に計算できるようにすること。

$$\begin{aligned} \text{条件 1 } \Delta E_{D1} &= 39 \text{ meV (Sb)} \\ N_{D1} &= 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{条件 2 } \Delta E_{D1} &= 39 \text{ meV (Sb)} \\ N_{D1} &= 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \\ \Delta E_{A1} &= 45 \text{ meV (B)} \\ N_{A1} &= 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{条件 3 } \Delta E_{D1} &= 39 \text{ meV (Sb)} \\ N_{D1} &= 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \\ \Delta E_{A1} &= 45 \text{ meV (B)} \\ N_{A1} &= 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{条件 4 } \Delta E_{D1} &= 39 \text{ meV (Sb)} \\ N_{D1} &= 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \\ \Delta E_{D2} &= 100 \text{ meV} \\ N_{D2} &= 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \\ \Delta E_{A1} &= 45 \text{ meV (B)} \\ N_{A1} &= 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \\ \Delta E_{A2} &= 100 \text{ meV} \\ N_{A2} &= 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \end{aligned}$$

## 用いる関係式

イオン化したドナー密度

$$N_{\text{Di}}^+(T) = N_{\text{Di}} \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \exp\left(\frac{E_{\text{Di}} - E_{\text{F}}}{kT}\right)} \right] \quad (1)$$

イオン化したアクセプタ密度

$$N_{\text{Ai}}^-(T) = N_{\text{Ai}} \frac{1}{1 + 4 \exp\left(\frac{E_{\text{Ai}} - E_{\text{F}}}{kT}\right)} \quad (2)$$

電子密度

$$n(T) = N_{\text{C}}(T) \exp\left(-\frac{E_{\text{C}} - E_{\text{F}}}{kT}\right) \quad (3)$$

$$\text{ただし、 } N_{\text{C}}(T) = 2 \left( \frac{2\pi m_{\text{n}} kT}{h^2} \right)^{3/2} M_{\text{C}} \quad (4)$$

正孔密度

$$p(T) = N_{\text{V}}(T) \exp\left(-\frac{E_{\text{F}} - E_{\text{V}}}{kT}\right) \quad (5)$$

$$\text{ただし、 } N_{\text{V}}(T) = 2 \left( \frac{2\pi m_{\text{p}} kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (6)$$

バンドギャップ

$$E_{\text{g}}(T) = E_{\text{C}} - E_{\text{V}} = E_{\text{g}}(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (7)$$

その他

$$\Delta E_{\text{Di}} = E_{\text{C}} - E_{\text{Di}}$$

$$\Delta E_{\text{Ai}} = E_{\text{Ai}} - E_{\text{V}}$$

Si の場合

$$m_{\text{n}} = 0.33m_0, \quad M_{\text{C}} = 6$$

$$m_{\text{p}} = 0.55m_0$$

$$E_{\text{g}}(0) = 1.170 \text{ eV}$$

$$\alpha = 4.73 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$$

$$\beta = 636 \text{ K}$$

## ヒント

電荷中性条件を用いる。

各温度で、 $E_F$  を変化させながら正の電荷と負の電荷が等しくなる  $E_F$  を求める。

得られた  $E_F$  を用いて、(3)式から  $n(T)$  を、(5)式から  $p(T)$  を求める。

ただし、滑らかなデータを得るためには、 $E_F$  の精度は  $1 \mu\text{eV}$  程度にすること。