

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。

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

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

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

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

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。