半導体デバイス工学

問題 1

一辺の長さが L の立方体の中に完全に閉じ込められた自由電子気体の状態密度を求める．立方体中のポテンシャルエネルギーを $V_0(=0)$，電子の質量を m，プランク定数を h，ディラック定数 (h を 2π で割ったもの) を $\hbar$ とし，以下の問に答えなさい．解答は，結果だけでなく導出の過程も記す事．

1) 電子のエネルギー固有値を答えなさい．

2) エネルギー E 以下の状態の数を $N(E)$ と定義する．

$$N\left(\frac{3\pi^2\hbar^2}{mL^2}\right)$$

を答えなさい．

3) エネルギー E の波動関数の波長に対して L が十分に長い場合の $N(E)$ を求め，求めた $N(E)$ を用いて，単位体積当たりの状態密度が

$$g(E) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}\sqrt{E}$$

と表されることを示しなさい．

問題 2

禁制帯幅が 1 eV 程度の真性半導体のフェルミエネルギー E_F を求める．この半導体の伝導帯，価電子帯には，それぞれ 1 つのバンドしかなく，これらに有効質量近似を適用できるものとする．伝導帯下端のエネルギーを E_c，価電子帯上端のエネルギーを E_v，電子の有効質量を m_e，正孔の有効質量を m_h，温度を T，ボルツマン定数を k，プランク定数を h，ディラック定数 (h を 2π で割ったもの) を $\hbar$ とし，以下の問に答えなさい．問 2)，問 3) の解答は，結果だけでなく導出の過程も記す事．必要であれば，次の積分公式を用いて良い．

$$\int_0^\infty \mathrm{e}^{-ax}\sqrt{x}dx = \frac{1}{2a}\sqrt{\frac{\pi}{a}} \quad (\text{ただし } a > 0)$$

1) 電子のエネルギーを E とし，フェルミ・ディラック分布関数 $f(E)$ を答えなさい．また，その概形をグラフで示しなさい．

2) 伝導帯の電子の状態密度は

$$g(E) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}\sqrt{E - E_c}$$

と表される．室温付近で熱平衡状態にある半導体の伝導帯の電子密度を答えなさい．ただし，フェルミ・ディラック分布関数はボルツマン分布関数に近似できるものとして良い．

3) 室温付近におけるフェルミエネルギー E_F を求めなさい．