

固体電子工学

平成18年前期 期末試験問題

平成18年7月31日

注意

1. 本・ノートを参照しても良い。
2. 電卓を使用しても良い。
3. 試験問題を解くにあたって必要であれば次を用いよ。

| | | | |
|---------|-----------------|------------------------|-------------------|
| 電子の質量 | m | 9.11×10^{-31} | kg |
| プランク定数 | \hbar | 1.05×10^{-34} | Js |
| ボルツマン定数 | k_B | 1.38×10^{-23} | JK ⁻¹ |
| 素電荷 | q | 1.60×10^{-19} | C |
| 真空の誘電率 | ε_0 | 8.85×10^{-12} | C/Vm |
| アボガドロ数 | N_A | 6.022×10^{23} | mol ⁻¹ |

1

- (1) 図1は fcc 構造の慣用単位胞を示したものである。基本単位胞の体積を 格子定数 a で表わせ。
- (2) 価電子数 z を持つ原子が fcc 構造をとる結晶を考える。フェルミ波数 k_F およびフェルミ準位 μ を計算せよ。ただし、温度は絶対0度とし、相互作用を無視した自由電子で考えよ。
- (3) 価電子数 $z \geq 1$ のとき、 $k < k_F$ のフェルミ球は第1ブリルアンゾーンの境界にタッチすることを示せ。

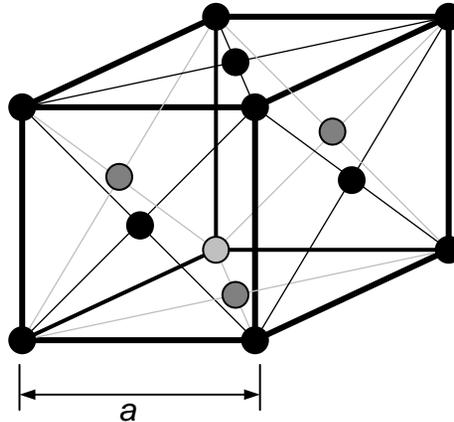


図1. fcc 構造

2

真性半導体において、電子・ホール密度を

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - \mu}{k_B T}\right) \quad p = N_V \exp\left(\frac{E_V - \mu}{k_B T}\right)$$

と書いたとき、 N_C , N_V を伝導帯、価電子帯の実効状態密度と呼ぶ。

- (1) N_C , N_V を電子・ホールの有効質量 m_e^* , m_h^* で表わせ。
- (2) 真性キャリア密度 n_{ie} および真性フェルミ準位 μ_i を実効状態密度 N_C , N_V で表わせ。
- (3) Ge, Si および GaAs の室温 (300K) における伝導帯、価電子帯の実効状態密度および真性キャリア密度を求めよ。ただし、

| | Ge | Si | GaAs |
|------------|------|------|------|
| m_e^*/m | 0.22 | 0.33 | 0.07 |
| m_h^*/m | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| E_g (eV) | 0.67 | 1.1 | 1.43 |

3

光が物質で吸収されるとき、光の強度は

$$\frac{dI(x)}{dx} = -\alpha I(x)$$

で表わされる。ここに x は光の進行方向の座標、 α は光吸収係数である。図3は、シリコンの光吸収係数を光の波長に対してプロットしたものである。この図に関連して次の問に答えよ。

- (1) この図の横軸は波長 λ である。光子エネルギー E と波長 λ の関係式を記せ。
- (2) ある値(光学吸収端)より低い波長を持った光子に対し吸収が増加している。このことを半導体のエネルギー・バンドの考えに基づいて説明せよ。
- (3) 入射した光の1/2を吸収するには物質の厚さはどのくらい必要か。青色と赤色の光について答えよ。ただし、青色、赤色の波長はそれぞれ450nm, 650nm である。

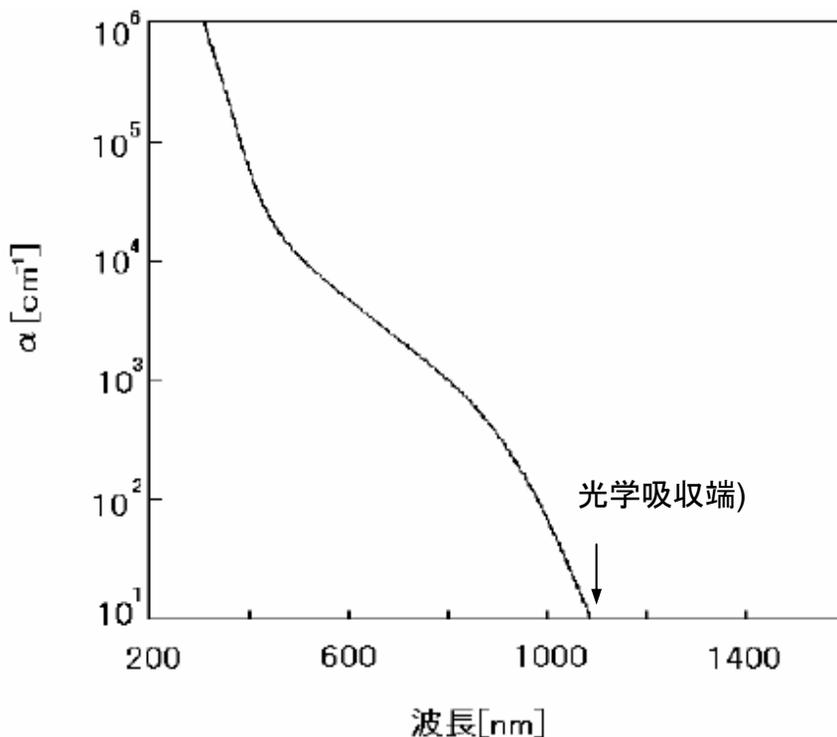


図3

磁場中の固体にマイクロ波を照射しその吸収をみるサイクロトン共鳴の実験により、電子の等エネルギー面における磁場に垂直な方向の極大・極小の軌道を観測することができる。図4(a)のように等エネルギー面が楕円体の形状をした電子が磁場 B のもとで運動しているとする。

(1) 運動方程式
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -q\vec{v} \times \vec{B}$$

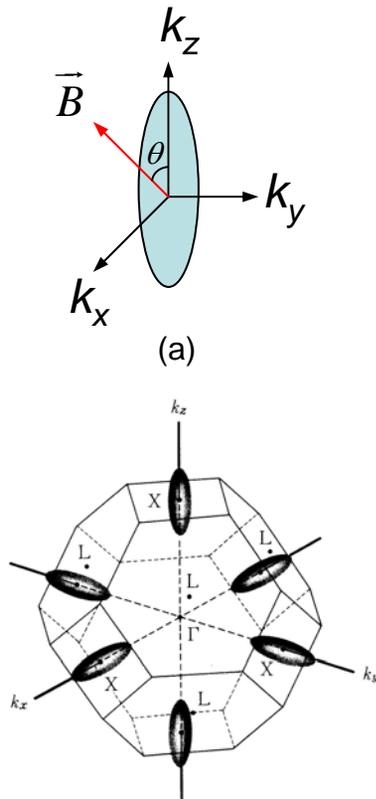
において、

$$\vec{v} = \left(\frac{p_x}{m_l}, \frac{p_y}{m_l}, \frac{p_z}{m_l} \right) \quad \vec{B} = (B \sin \theta, 0, B \cos \theta)$$

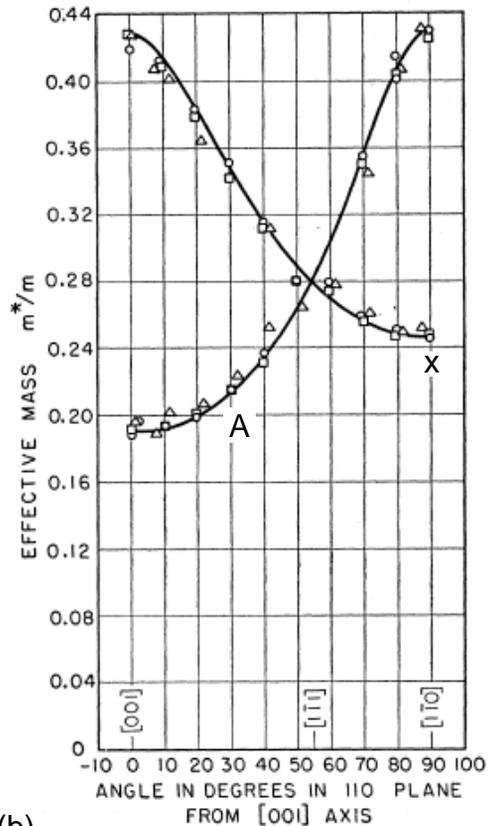
とおき、更に、運動量 \vec{p} の時間変化が $e^{i\omega_c t}$ であるとして、サイクロトン角振動数 ω_c を求めよ。また、 $\omega_c = qB/m^*$ からサイクロトン質量 m^* を求めよ。

(2) 図4(b) にSiにおけるサイクロトン共鳴の実験結果を示す。この図のカーブAから m_p, m_l を求めよ。

(3) Si の電子の等エネルギー面は図4(c)のように6つの楕円体からなっている。図4(b)中の点xに対応する電子の軌道について述べよ。



(c) Si の伝導電子の k 空間における等エネルギー面。第1ブリルアンゾーンの $\langle 111 \rangle$ 方向の端、6個の X 点を中心とする回転楕円体となる。



(b) Effective mass of electrons in silicon at 4°K for magnetic field directions in a (110) plane