

固体電子工学

平成17年前期 試験問題

平成17年7月25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	e	1.60×10^{-19}	C
真空の誘電率	ε_0	8.85×10^{-12}	C/Vm

$$\int_0^{\infty} e^{-ax} \sqrt{x} dx = \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$$

1

(1) シリコン Si は原子番号14の原子である。シリコンの原子軌道を記せ。

(例: ボロン B の原子軌道は $1s^2 2s^2 2p^1$)

(2) シリコンが結晶を作ると、図1のようなダイヤモンド構造となる。このシリコン結晶における電子の軌道について説明せよ。

(3) 図1に示した長さからシリコン結晶の原子密度を計算せよ。

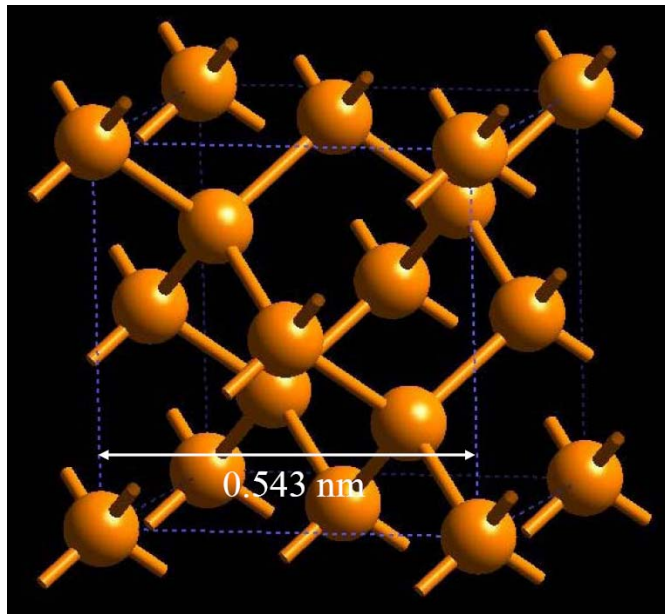


図1

図2 は面心立方格子 fcc , 図3は体心立方格子 bcc 構造を示したものである。

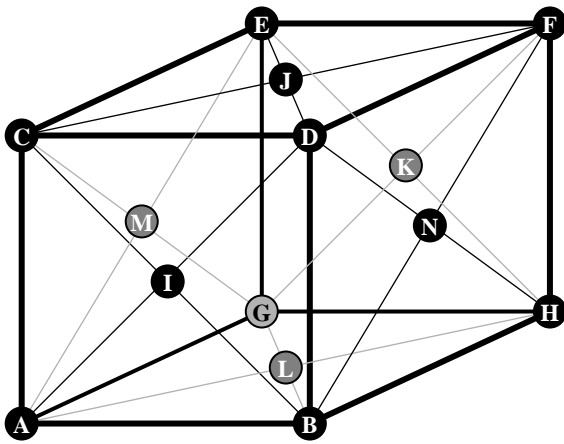


図2 fcc 構造

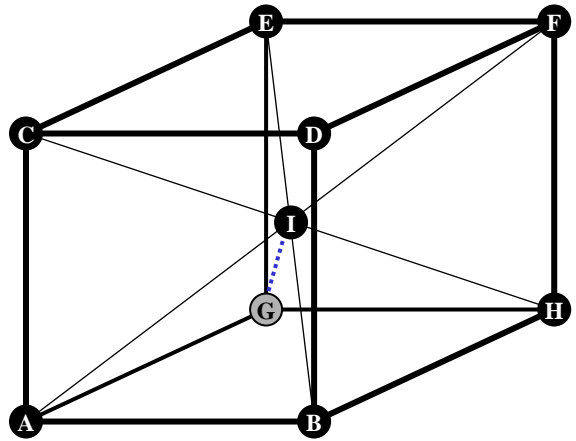


図3 bcc 構造

- (1) 次の面のミラー指数を記せ。
 1. fcc 構造 A, L, H, F, J, C を含む面
 2. bcc 構造 A, B, I を含む面
- (2) fcc 原子 A~N 及び bcc 原子 A~I を (1 1 1) 面に投影した図を描け。
- (3) [1 1 1] 軸に対し、fcc および bcc 格子はどのような対称性を持っているか。

fcc および bcc 構造における単位胞の格子ベクトルはそれぞれ次で与えられる。

$$\text{fcc} \quad \vec{a}_1 = a \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \quad \vec{a}_2 = a \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2} \right) \quad \vec{a}_3 = a \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0 \right)$$

$$\text{bcc} \quad \vec{a}_1 = a \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \quad \vec{a}_2 = a \left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \quad \vec{a}_3 = a \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right)$$

- (1) 原子の位置ベクトルを $n_1 \vec{a}_1 + n_2 \vec{a}_2 + n_3 \vec{a}_3$ としたときの (n_1, n_2, n_3) を図2の fcc 原子 A~N 及び図3の bcc 原子 A~I それぞれに対し求めよ。
- (2) fcc の逆格子が bcc 格子に、bcc 格子の逆格子が fcc 格子になることを示せ。

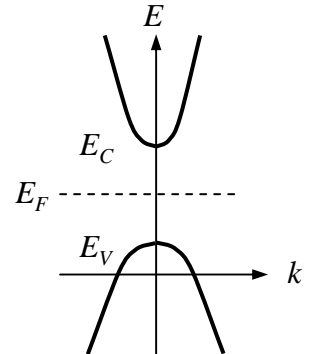
(1) 電子のエネルギー E が波数 (k_x, k_y, k_z) の絶対値 $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ のみに依っているとき電子の状態密度が次で与えられることを示せ。

$$D(E) = \frac{k^2}{\pi^2} \left| \frac{dk}{dE} \right|$$

(2) 電子のエネルギーが次のように与えられるとき、電子の状態密度 $D(E)$ を求めよ。

$$E < E_V \text{ のとき} \quad E(k) = E_V - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h}$$

$$E > E_C \text{ のとき} \quad E(k) = E_C + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$$



(3) 電子のフェルミ・エネルギー（化学ポテンシャル） E_F が E_C と E_V の間にあるとする。絶対0度では、 $E < E_V$ のすべての状態を電子が占め、 $E > E_C$ の状態に電子は存在しない。有限温度では、 $E < E_V$ の状態の電子の一部が $E > E_C$ の状態に移る。 $E < E_V$ の状態の電子の減少数は単位体積あたり次で与えられる。

$$p = \int_{-\infty}^{E_V} [1 - f(E)] D(E) dE$$

ここに $f(E)$ はフェルミ分布関数である。

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/k_B T} + 1}$$

同様に $E > E_C$ の状態の電子数は単位体積あたり次で与えられる。

$$n = \int_{E_C}^{\infty} f(E) D(E) dE$$

$E_C - E_F \ll k_B T$, $E_F - E_V \ll k_B T$ として、 n, p を求めよ。

(4) n と p の積がフェルミ・エネルギーに依らないことを示し、室温 ($T = 300\text{K}$) での \sqrt{np} の値を計算せよ。ただし、シリコンの場合を考え次の値を用いる。

$$m_e = 0.33 m , \quad m_h = 0.55 m , \quad E_C - E_V = 1.12 \text{ eV}$$