平成２８年度入学者選抜試験問題
山形大学大学院理工学研究科博士前期課程
（平成２７年８月実施）

【電気電子工学専攻】

専門科目２

（電子物性と量子物理）

注意事項

１．試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

２．この問題冊子の本文は，1ページから２ページまでです。

３．試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの乱丁・落丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせて下さい。

４．監督者の指示に従って，解答用紙の受験番号欄に受験番号を正しく記入して下さい。

５．解答用紙のおもて面には、既に受験科目名と問題番号が記入されています。解答は解答用紙のおもて面の所定の位置に記入してください。

６．必要に応じて計算過程も記入して下さい。

７．解答用紙は白紙も含めてすべて提出して下さい。

８．試験終了後，問題冊子及び草案用紙は持ち帰って下さい。

専門科目２：電子物性と量子物理

解答は導出過程も示すこと。数値を求める問題では有効数字３桁で解答し，単位も明記せよ。必要に応じて次の物理定数を用いること。なお，π は 3.141592 とする。

真空中の光速度	$c = 2.998\times10^{8}$ m s^{-1}	ボルツマン定数	$k_B = 1.381\times10^{-23}$ J K^{-1}
アボガドロ数	$N_A = 6.022\times10^{23}$ mol^{-1}	真空の透磁率	$\mu_0 = 1.257\times10^{-6}$ H m^{-1}
プランク定数	$h = 6.626\times10^{-34}$ J s	電子の静止質量	$m_0 = 9.109\times10^{-31}$ kg
真空の誘電率	$\varepsilon_0 = 8.854\times10^{-12}$ F m^{-1}	電子の電荷	$-e = -1.602\times10^{-19}$ C

１．以下の問いに答えよ。

(1) 波長が 1.20 μm の光子(フォトン) 1 個のエネルギーを eV と J の単位で求めよ。

(2) 静止状態から 10.0 kV で加速された電子のドブロイ波の運動量と波長を求めよ。電子の質量は静止時の質量と等しいと仮定してよい。

(3) アルミニウム 1.00 kg の温度を 10.0 ℃から 15.0 ℃に上げるのに必要なエネルギーを求めよ。アルミニウムの比熱は 0.900 J/gK とする。

(4) 直径 1.00 mm で長さ 10.0 m の導体の抵抗が 2.00 Ω であった。この導体の導電率を求めよ。この導体のキャリア密度が，8.00×10^{22}/cm^3 であるときに，キャリア移動度を求めよ。

２．鉄やリチウムなどの結晶の単位格子（単位胞）は図１で示される。以下の問いに答えよ。

(1) この結晶構造名を答えよ。

(2) この単位格子に含まれる原子数を答えよ。

(3) この結晶構造の原子の充填率を求めよ。

(4) この結晶の格子定数が a_0 であるときに，(211)面の面間隔 d_1 を求めよ。

(5) X線回折において，(211)面から得られる回折角を θ_1 とするときに，θ_1 と面間隔 d_1 の関係を求めよ。このときX線の波長は λ とする。

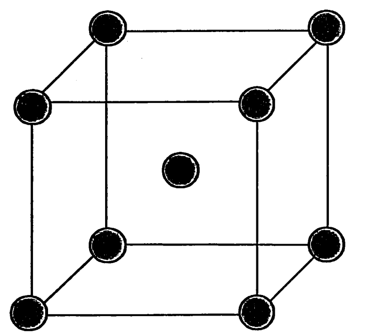

図１ 鉄やリチウムなどの単位格子

3．半導体中の自由電子密度を n，ホール密度を p としたときに，n，p はそれぞれ

$$n = N_c \cdot \exp\left(\frac{E_f - E_c}{k_B T}\right), \qquad p = N_v \cdot \exp\left(\frac{E_v - E_f}{k_B T}\right)$$

で表される。この式において，N_c，N_vはそれぞれ伝導帯と価電子帯の有効状態密度，E_fはフェルミエネルギー，E_c，E_vはそれぞれ伝導帯の底と価電子帯上端のエネルギー，k_Bはボルツマン定数，Tは絶対温度である。以下の問いに答えよ。

(1) バンドギャップをE_gとしたときに，真性キャリア密度 n_i を求めよ。

(2) この半導体にアクセプタとなる原子を濃度 N_a でドープした。アクセプタ原子がすべてイオン化したときの，この半導体の自由電子密度 n を真性キャリア密度 n_i とドーピング濃度 N_a で表せ。

4．図２に示すような一次元の階段ポテンシャル($V(x) = 0$ (領域 I: $x < 0$), $V(x) = V_0$ (領域 II: $x \geqq 0$))がある。ここで質量 m の電子が領域Ｉから，領域IIに，運動エネルギーE_0 ($E_0 > V_0$) で移動する。

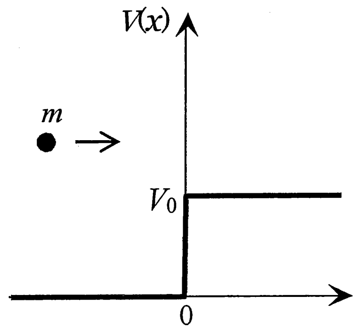

図２　一次元階段ポテンシャル

(1) 領域Ｉと領域IIでの電子のシュレーディンガー方程式をそれぞれ書け。電子の波動関数はϕ，ディラック定数を$\hbar\left(=\frac{h}{2\pi}\right)$とする。

(2) 領域Ｉでの電子の波数k_1と領域IIでの電子の波数k_2を求めよ。

(3) 領域Ｉにおける電子の波動関数をϕ_1，領域IIにおける電子の波動関数をϕ_2とするときに，波動方程式の一般解は次のように与えられる。

$$\phi_1 = Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x} \qquad (領域 I)$$

$$\phi_2 = Ce^{ik_2x} + De^{-ik_2x} \qquad (領域 II)$$

与えられた条件から，領域IIにおいて反射は起こらないので，$D=0$ である。A, B と C の関係式を二つ示せ。