平成２９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２８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ください。

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ください。

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ください。

７．解答用紙は白紙も含めてすべて提出してください。

８．試験終了後，問題冊子及び草案用紙は持ち帰ってください。

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 3.142 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 184.9 nm の光子(フォトン)１個のエネルギーを eV の単位で求めよ。この光をある金属に照射したときに，放出される光電子の最大エネルギーが 1.73 eV であったときに，その金属の仕事関数を求めよ。

(2) ゲルマニウム原子の原子量は 72.61 であるとして，ゲルマニウム原子１個の重さを求めよ。また，ゲルマニウムの比重が 5.323 g/cm^3 であるとして，1 cm^3 中のゲルマニウムの原子数を求めよ。

(3) 固体中の自由電子のエネルギー分布は，自由電子のエネルギーを E としたときに，フェルミ・ディラック分布関数$f_{FD}(E)$で表される。ここでフェルミエネルギーを E_f，ボルツマン定数を k_B，絶対温度を T とした関数$f_{FD}(E)$の式を書き，$T>0$ における$f_{FD}(E)$のグラフの概形を横軸をエネルギーE，縦軸を関数$f_{FD}(E)$として表せ。

(4) 面心立方格子の単位格子の概形を書け。この単位格子に含まれる原子数を答えよ。

２．図１に示される，長さ L，幅 W，厚み t の直方体の半導体試料の抵抗測定を行う。次の問題に答えよ。

(1) この試料に図のように電圧 V を印加したとき電流Iが均一に流れるとして，この試料の抵抗率 ρ と導電率 σ を求めよ。

(2) この試料のキャリア密度を n，１個のキャリアの電荷を q としたときの，キャリア移動度 μ と導電率 σ の関係を示せ。

(3) キャリア全てが均一のドリフト速度 v_d で移動すると仮定したときの v_d を求めよ。

(4) (1)のように電流 I を流しながら，試料の下から上方向に磁場を印加したところ，試料の手前の面と奥の面との間に電圧が生じた。奥に対して手前の電位が正であるとき，この試料のキャリアは電子かホールのどちらであるかをその理由とあわせて答えよ。

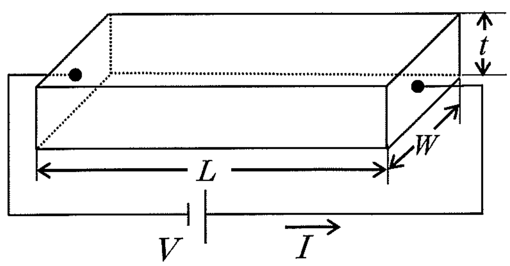

図１

3．図２に示すような幅 $2a$，ポテンシャル深さ V_0 の有限一次元ポテンシャルに束縛される電子($E < V_0$)の波動関数の境界条件に関する問題を考える。次の問題に答えよ。

(1) 時間を含まないシュレーディンガー方程式は，

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\phi(x)}{dx^2}+V(x)\,\phi(x)=E\,\phi(x)$$

で表される。このとき，$\phi(x)$は電子の波動関数，m は電子の質量，$\hbar\left(=\frac{h}{2\pi}\right)$はディラック定数である。領域Ⅰ($x<-a$)，領域Ⅱ($-a\leqq x\leqq a$)，領域Ⅲ($x>a$)での電子のシュレーディンガー方程式をそれぞれ書け。

(2) 領域Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの波動関数はそれぞれ次のように書くことができる。

$$\phi(x)=\begin{cases} Ae^{k_1x} & (\text{領域Ⅰ}) \\ B\sin(k_2x)+C\cos(k_2x) & (\text{領域Ⅱ}) \\ De^{-k_1x} & (\text{領域Ⅲ}) \end{cases}$$

ここで，A，B，C，D，k_1，k_2 は定数である。それぞれの領域の波動関数 $\phi(x)$ をシュレーディンガー方程式に代入し，領域ⅠとⅢにおける k_1 を E，V_0 を用いて表せ。また，領域Ⅱにおける k_2 を E を用いて表せ。

(3) $x=-a$ における波動関数が連続である条件と，滑らかである条件を示せ。

(4) $x=a$ における波動関数が連続である条件と，滑らかである条件を示せ。

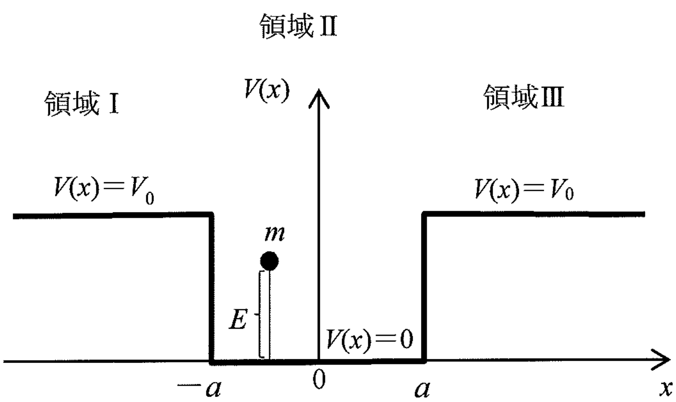

図２ 一次元井戸型ポテンシャル