受験番号	M							

広島大学大学院先進理工系科学研究科
量子物質科学プログラム
博士課程前期入学試験問題

専 門 科 目（電子工学分野）

2020 年 8 月 27 日　13:30〜16:30

注意事項

（１）以下の用紙が配付されている．

問題用紙（表紙を含む）	５枚
解答用紙（表紙を含む）	５枚
下書用紙	１枚

（２）問題は全部で４問あり，Ⅰ〜Ⅳの問題番号および出題科目名を$\boxed{\quad}$で示してある．

（３）Ⅰ〜Ⅳの中から３問を選び解答せよ．

（４）解答は問題ごとに指定の用紙を用いること．紙面が不足した場合は裏面を用いてよい．

（５）問題用紙の表紙，解答用紙の全ページおよび下書用紙のすべてに受験番号を記入せよ．

（６）試験終了後，解答用紙を提出すること．問題用紙及び下書用紙は持ち帰ること．

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム　入学試験問題　【電子工学分野】

2020.8.27

試験科目	専門科目

I　電磁気学

1. 図 1 のように，$x<0$の領域が導体で満たされており，導体表面Aから距離aの位置に点電荷qがある．表面Aは無限平面（yz面）になっており，点電荷qはx軸上にあるものとする．また，$x>0$の領域は誘電率ε_0の真空になっている．表面Aに誘起される電荷について以下の問いに答えよ．

(1) 鏡像法では，x軸上の$x=-a'$（<0）の位置に鏡像電荷q'を仮定する．電荷qと鏡像電荷q'が作る真空領域中の点$\mathrm{P}(x,y,z)$の電位$\Phi(x,y,z)$をa'とq'，及び，問題文で与えられている記号を用いて表わせ．
(2) 表面Aの電位$\Phi(0,y,z)$を考えることによりa'とq'を決定せよ．
(3) 点電荷qが作る電気力線を図示せよ．ただし，$q>0$とする．
(4) 表面Aに誘起される表面電荷密度$\sigma(y,z)$を求めよ．
(5) 表面A上の全電荷が鏡像電荷と一致することを示せ．

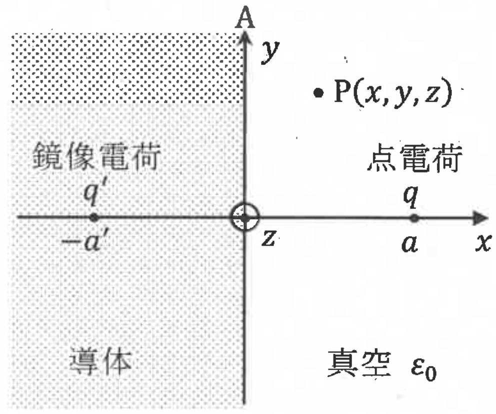

図 1

2. 透磁率μ_0の真空中において，y軸に平行な無限長の直線状導線 2 本が図 2 のように置かれている．この導線とxy面（原点を通る平面）との距離は$\frac{l}{2}$である．図 2 において，$+y$方向は紙面の表側から裏側へ向かう方向である．

(1) アンペールの法則の積分形を示せ．ただし，必要な物理量と記号は適切に定義せよ．その際，時間変化は考えなくてよい．
(2) 導線 1 にのみ，大きさIの電流を$+y$方向へ流す．任意の点(x,y,z)に生成される磁束密度の大きさをアンペールの法則から導け．
(3) 大きさIの電流を各導線に互いに逆方向に流す．導線 1 の電流は$+y$方向とし，導線 2 の電流は$-y$方向とする．点$\mathrm{P}\left(\frac{l}{2},0,0\right)$における磁束密度の大きさと方向を示せ．

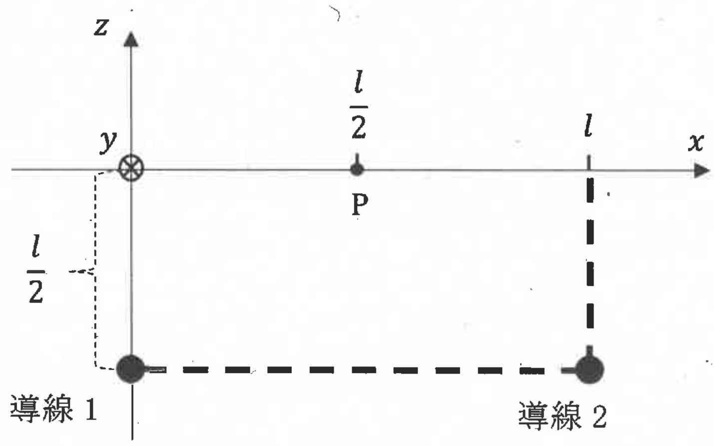

図 2

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム　入学試験問題　【電子工学分野】

2020.8.27

試験科目	専門科目

II	回路工学

1. 図 1 に示すように，抵抗R，容量C，インダクタLで構成された回路がある．以下の問いに答えよ．

(1) 端子$1-1'$ 間のインピーダンスを求めよ．

(2) 端子$1-1'$ に絶対値$|E|$，角周波数ωの交流電圧源を接続した．電流I_RとI_Lの実効値と位相を求めよ．

(3) I_RがRの大きさに依存しないωの条件を示し，その時のI_Rを求めよ．またEを基準としたI_Rおよび電圧V_Rをフェーザ表示せよ．

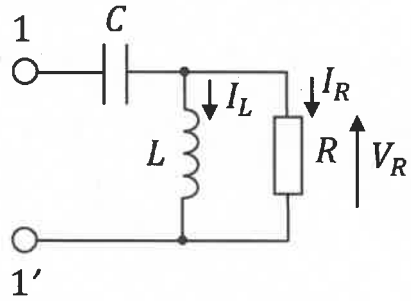

図1

2. 以下の問いに答えよ．

(1) 図 2 の組み合わせ回路の真理値表を求めよ．

(2) (1)で求めた真理値表の論理式を最小積和形で示せ．また，この論理回路の機能を説明せよ．

(3) 論理式$Y=\overline{(A\cdot B)+(\overline{A+B})}$ にド・モルガンの定理を適用し，(2)で求めた式に変形せよ．

(4) 論理式$Y=\overline{(A\cdot B)+(\overline{A+B})}$ のゲート回路図を NAND ゲート，NOR ゲート，インバータを用いて示せ．なお，3 種類の各ゲートはそれぞれ 3 つ以上使用してはいけない．

(5) 図 3 にインバータ（$Y=\bar{A}$）の CMOS 回路図を示す．2 入力 NAND ゲート（$Y=\overline{A\cdot B}$）および 2 入力 NOR ゲート（$Y=\overline{A+B}$）の CMOS 回路図を示せ．

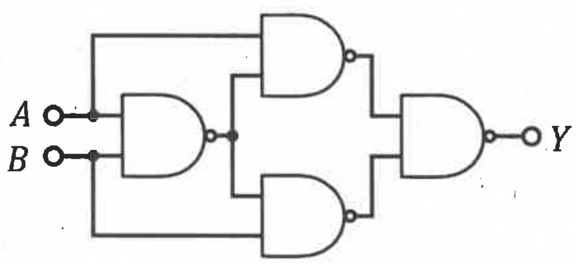

図 2

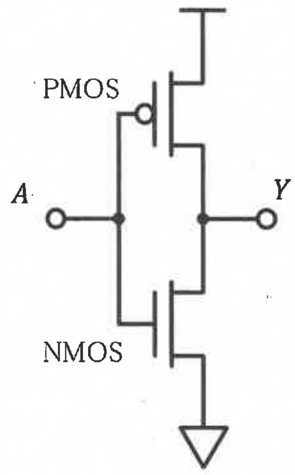

図 3

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム　入学試験問題　【電子工学分野】

2020.8.27

試験科目	専門科目

Ⅲ	半導体工学

1. アクセプタ密度N_Aの P 型半導体とドナー密度N_Dの N 型半導体を用いた熱平衡状態の階段型 PN 接合について考える．空乏層内における電子や正孔の存在は無視できるものとし，空間電荷密度ρの分布を図 1 のように矩形で近似する．接合界面の位置を$x=0$とし，内蔵電位をψ_bi，半導体の誘電率をε_s，電気素量をqとする．空乏層内の電界$E(x)$，電位$\psi(x)$，およびエネルギーバンド図に関する以下の問いに答えよ．

(1) P 型領域内の空乏層端を$x=-x_\mathrm{p}$とする．ポアソン方程式を解いて P 側空乏層領域$\left(-x_\mathrm{p} \leq x \leq 0\right)$における電位分布$\psi(x)$を求めよ．ただし，$E\left(-x_\mathrm{p}\right)=0$，$\psi\left(-x_\mathrm{p}\right)=0$とする．

(2) N 型領域内の空乏層端を$x=x_\mathrm{n}$とする．N 側空乏層領域$(0 \leq x \leq x_\mathrm{n})$における電位分布$\psi(x)$を求めよ．ただし，$E(x_\mathrm{n})=0$，$\psi(x_\mathrm{n})=\psi_\mathrm{bi}$とする．

(3) $x=0$における境界条件を示し，x_pおよびx_nをψ_biの関数として求めよ．

(4) $N_\mathrm{A} \approx N_\mathrm{D}$の場合における電界分布$E(x)$，電位分布$\psi(x)$，およびエネルギーバンド図の概形を図示せよ．エネルギーバンド図の中に伝導帯下端のエネルギーE_C，価電子帯上端のエネルギーE_V，空乏層端位置x_n，$-x_\mathrm{p}$，およびψ_biをそれぞれ明示すること．また，フェルミ準位$E_\mathrm{F}(x)$の位置も示すこと．ただし，$E_\mathrm{F}(0)$はバンドギャップの中央とする．

(5) $N_\mathrm{A} \ll N_\mathrm{D}$の場合における全空乏層幅$W=x_\mathrm{p}+x_\mathrm{n}$の近似式を示し，空間電荷分布とエネルギーバンド図を描け．

(6) 図 2 のように P 型半導体と N 型半導体の間に厚さがW_iの真性半導体が存在する場合を考える．$N_\mathrm{A} \approx N_\mathrm{D}$として，真性半導体が無い場合と比較する形で，電界分布$E(x)$を図示せよ．ただし，$x=0$ は真性半導体の中央とする．

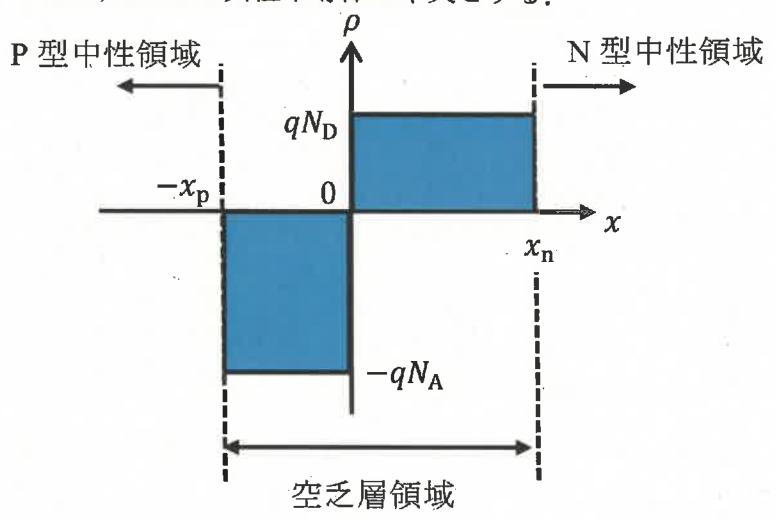

図 1

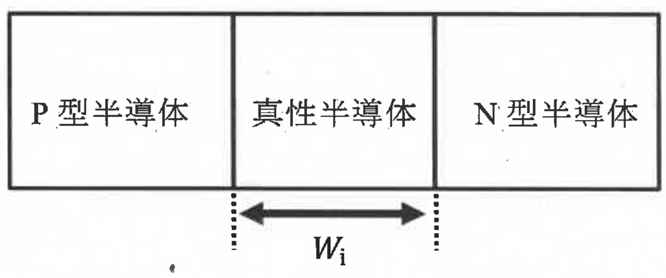

図 2

2. aを格子定数とする図 3 に示すような立方格子に関する以下の問いに答えよ．

(1) $(a,0,0)$を通り，yz面に平行な面のミラー指数を答えよ．

(2) (1)の面と等価な面のミラー指数をすべて答えよ．

(3) $(a,0,0)$，$(0,2a,0)$，および$(0,0,2a)$を通る平面のミラー指数を答えよ．

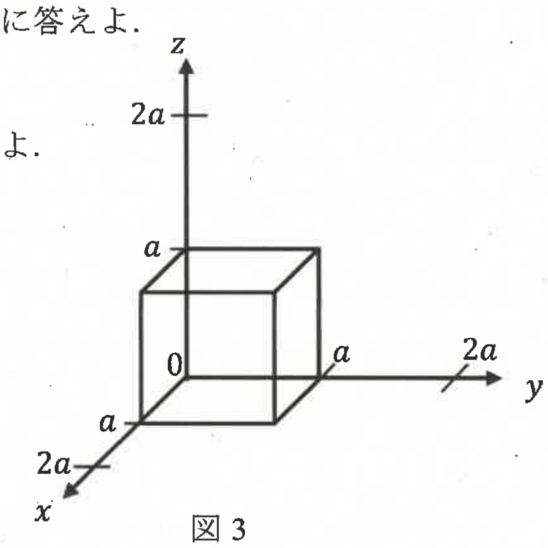

図 3

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム　入学試験問題　【電子工学分野】

2020.8.27

試験科目	専門科目

Ⅳ	量子力学

1. 一次元ポテンシャル $V(x)$ の中にある質量が m の粒子の運動を記述する時間に依存するシュレーディンガー方程式は次式で与えられる．

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}+V(x)\right]\psi(x,t)=\mathrm{i}\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} \qquad \text{(i)}$$

(1) 状態 $\psi(x,t)$ の時間変化が角振動数 ω で記述されるならば，$\psi(x,t)=\phi(x)\exp(-\mathrm{i}\omega t)$ と書くことができる．このとき (i) から $\phi(x)$ に対する時間 t を含まない微分方程式を導出せよ．また，この微分方程式が通常，何と呼ばれているか答えよ．

ここから先，ポテンシャル $V(x)$ が以下の式で与えられるものとする．

$$V(x)=\begin{cases}0 & \text{for} \quad 0<x<L \\ +\infty & \text{for} \quad x<0, L<x\end{cases}$$

(2) (1) で導出した微分方程式の解のうち，最小の角振動数 ω_1 に対応するものを $\phi_1(x)$ とする．規格化条件を満たす $\phi_1(x)$ を導出せよ．また，ω_1 を m，L，$\hbar$ を使って表せ．

(3) $\psi_1(x,t)\equiv\phi_1(x)\exp(-\mathrm{i}\omega_1 t)$ とする．$\psi_1(x,t)$ で記述される状態の位置の期待値 $\langle x\rangle_1(t)$ を求めよ．

(4) (1) で導出した微分方程式の解のうち，二番目に小さい角振動数 ω_2 に対応するものを $\phi_2(x)$ とする．規格化条件を満たす $\phi_2(x)$ と ω_2 を求めよ．

(5) $\psi_2(x,t)\equiv\phi_2(x)\exp(-\mathrm{i}\omega_2 t)$ とする．$\psi_2(x,t)$ で記述される状態の位置の期待値 $\langle x\rangle_2(t)$ を求めよ．

(6) $\psi_{12}(x)\equiv\frac{1}{\sqrt{2}}[\psi_1(x,t)+\psi_2(x,t)]$ とする．$\psi_{12}(x,t)$ で記述される状態の位置の期待値 $\langle x\rangle_{12}(t)$ を求めよ．最終的な結果は定積分を含む形の式で構わないが，$\phi_1(x)$，ω_1，$\phi_2(x)$，ω_2 は使わずに，(2) と (4) の結果を利用して書くこと．