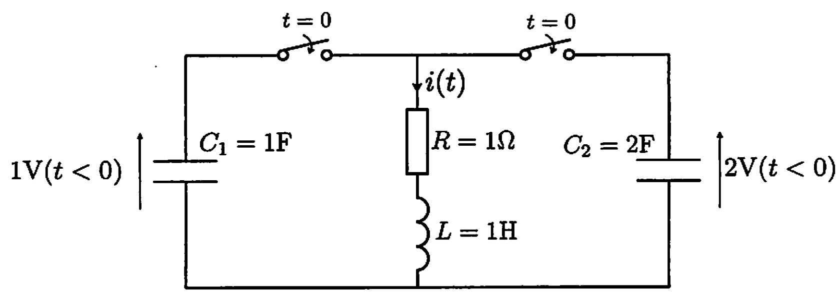
電子光科学 − II

次の [II-1] から [II-7] までの７問についてそれぞれ別の答案用紙に答えよ．なお，各問題に２枚以上の答案用紙を用いる場合は，「[II-1]（２枚目）」などのように明記せよ．

[II-1]

図のように，抵抗 R およびキャパシタ C_1，キャパシタ C_2，インダクタ L，２つのスイッチからなる回路において，時刻 $t<0$ では，C_1 は 1V，C_2 は 2V に充電されており，電流は $i(t)=0$ $(t<0)$ であった．$t=0$ において２つのスイッチを同時に閉じた．このとき，$i(t)$ $(t>0)$ を求めよ．

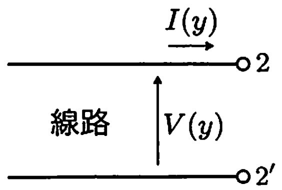
（配点 20 点）



[II-2]

単位長当たりの往復導線インダクタンスが L, 単位長当たりの導線間キャパシタンスが C の無損失線路がある. 角周波数 ω の正弦波について, 図１の線路上の受端 (端子対 $2-2'$) からの距離 y における電圧と電流の複素数表示をそれぞれ $V(y)$, $I(y)$ とすると, それらは次の連立微分方程式を満たす. 以下の問に答えよ.

(配点 20 点)



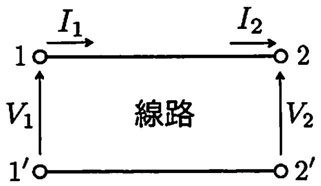
$$\frac{dV(y)}{dy} = j\omega L I(y) \cdots\cdots ①$$

$$\frac{dI(y)}{dy} = j\omega C V(y) \cdots\cdots ②$$

図１

(1) $V(y)$, $I(y)$ の一般式を求めよ.

(2) 図２のように長さ l の線路の送端を $1-1'$ とし, 端子対 $1-1'$ の端子電圧と端子電流を V_1, I_1, 端子対 $2-2'$ の端子電圧と端子電流を V_2, I_2 として, 次式を満たす４端子定数 A_l, B_l, C_l, D_l を, それぞれ L, C, ω, l で表せ.



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_l & B_l \\ C_l & D_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \cdots\cdots ③$$

図２

[II - 3]

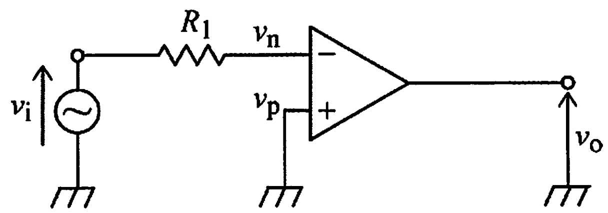
図に示す演算増幅器と抵抗からなる回路を考える．v_i，v_o，v_n，v_p はそれぞれ，入力信号，出力信号, 演算増幅器への反転入力および非反転入力の電圧である．ただし, 演算増幅器の増幅率を A, 入力インピーダンスを Z_i，出力インピーダンスを Z_o とする．なお，演算増幅器の電源回路の表記は省略する．以下の問に答えよ．

（配点 20 点）

(1) v_i と v_o の関係を求めよ．

(2) 図に抵抗 R_2 を 1 つ加えた負帰還増幅回路を描け．

(3) 問(2)の回路における v_i と v_o の関係を求めよ．ただし，$Z_\mathrm{i}\to\infty$，$Z_\mathrm{o}\to 0$ とせよ．



平成３０年度大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程（一般）入学試験

[II - 4]

NAND回路の作製を考える．ダイオードのON状態時の順方向電圧を0.7 Vとする．また，npnトランジスタのON状態時のベース－エミッタ間電圧とコレクターエミッタ間抵抗を，それぞれ0.7 V，0 Ωとする．なお，論理回路のローレベル（L）信号とハイレベル（H）信号は，論理演算の0と1の値にそれぞれ対応させるものとする．この時，以下の問に答えよ．　（配点 15点）

(1) 図1に示すように，２入力，１出力のダイオードと抵抗を使ったディジタル回路を考える．P_1，P_2は入力端子，Q_1は出力端子である．入力端子には，H信号として5 V，又はL信号として0 Vを印加する．出力信号が1V以下の時はL信号，4 V以上の時はH信号として出力信号を判断する時，この回路はどのような論理演算を行っていると考えられるか答えよ．また，P_1とP_2端子にそれぞれH信号とL信号を入力した時の出力電圧[V]を求めよ．

(2) 図2に示す回路と図1の回路を使って，入力端子P_1，P_2，出力端子Q_2のダイオードトランジスタロジック（DTL）NAND回路を構成したい．そこで，図1のQ_1端子と図2のP_3端子の間に，ダイオードのみで構成される回路Xを挿入して両端子を接続し，DTL NAND回路を作製した．P_1，P_2端子に同じ入力電圧を印加してこのNAND回路を使用すると，このNAND回路は，入力におけるL信号とH信号のしきい値電圧が1.4 VであるNOT回路として動作した．このことから，挿入回路Xの回路図を描け．ただし，Q_1，P_3端子をその回路図中に記載すること．

次に，２入力，１出力のNAND回路をCMOSで構成することを考える．

(3) CMOS NAND回路の回路図を描け．ただし，電源電圧 5 V，グランド (GND)，２入力A，B，１出力Cを回路図中に記載し，MOSFETの回路記号は図3に記載のものを用いよ．

(4) 問(2)と問(3)のDTL NAND回路とCMOS NAND回路を比較した場合，静的な消費電流はどちらが大きいと予想されるか．出力に何もつながず，出力がL信号の時を考え，理由とともに答えよ．

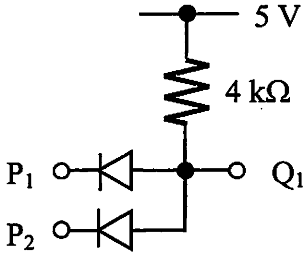


図 1

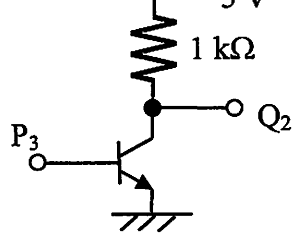


図 2

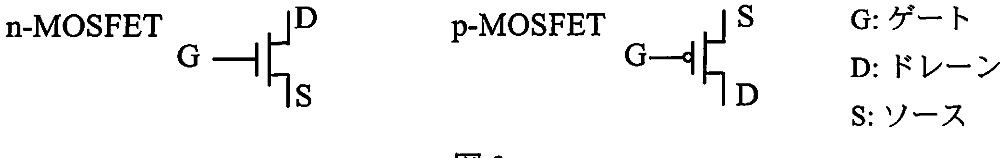


図 3

[II-5]

下図のように，$x > 0$ で高さ $V_o\ (> 0)$，$x < 0$ で高さ 0 のポテンシャルの壁が存在する場において，質量 m の電子の一次元の運動を考える．ポテンシャルを $V(x)$ とすると，ハミルトニアンは $-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2} + V(x)$ ($\hbar = h/2\pi$，h はプランク定数）で表される．電子のエネルギーを $E\ (> V_o)$ として，以下の問に答えよ．

（配点 25 点）

(1) $x < 0$ および $x > 0$ のときの，波動関数 $\phi_1(x)$ および $\phi_2(x)$ が満たす，時間に依存しない一次元のシュレディンガー方程式は，それぞれ

$$-\frac{d^2}{dx^2}\phi_1(x) = k_1^2\phi_1(x) \qquad x < 0 \qquad ①$$

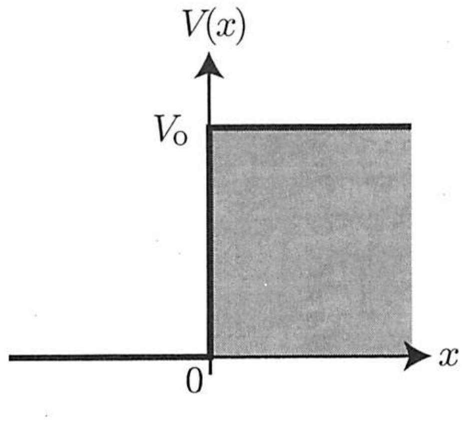
$$-\frac{d^2}{dx^2}\phi_2(x) = k_2^2\phi_2(x) \qquad x > 0 \qquad ②$$

と表せる．k_1^2 および k_2^2 を $\hbar$，m，E，V_o のうち必要なものを用いて示せ．

(2) 電子が，左から右に入射し，$x = 0$ で反射および透過する場合，$x < 0$ の領域での波動関数は $\phi_1(x) = A\exp(ik_1x) + B\exp(-ik_1x)$ と表せる（$k_1 > 0$，A，B は定数，i は虚数単位）．また，$x > 0$ の領域においては，右側へ進む電子だけを考えれば良い．

a) このとき，反射率 $R = |B/A|^2$ を $\hbar$，m，E，V_o のうち，必要なものを用いて求めよ．

b) 問 a) の結果は，$E > V_o$ で反射率が 0 となる古典的粒子の描像と，どのような違いがあるか，R の E に対する依存性の観点から述べよ．



[II-6]

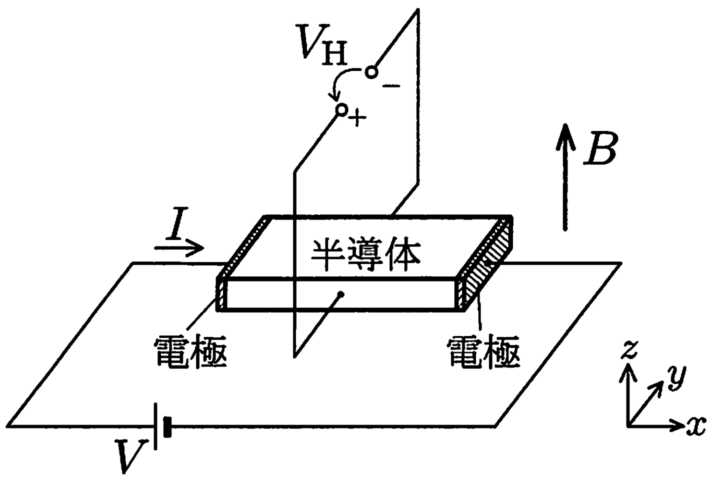
下図は，１種類の不純物が一様にドープされた直方体形状の半導体のホール測定の様子を模式的に表したものである．$I\ (>0)$ は半導体中を $+x$ 方向に流れる電流，V は I を流すために印加した直流電圧である．磁束密度が $B\ (>0)$ の z 軸方向の一様な磁場を印加したところ，図に示す極性のホール電圧 $V_{\mathrm{H}}\ (>0)$ が観測され，定常状態となった．電気素量を q として，以下の問に答えよ．

(配点 30 点)

(1) この半導体は n 形か p 形かを，理由とともに述べよ．

(2) この半導体の x，y，z 方向の大きさを，それぞれ，L_x，L_y，L_z とし，自由キャリア密度を求めよ．ただし，自由キャリアの速度分布は無視できるとし，散乱因子を１とする．また，L_x は十分に大きく電流は x 軸に平行に流れているとする．

(3) この半導体の自由キャリアの移動度を求めよ．ただし，導線の抵抗，電極の抵抗，および，半導体と電極との接触抵抗は無視できるとする．



[II-7]

下図に示すような 2 つの原子によって散乱される平面波の散乱振幅を考える．入射波および散乱波の波数ベクトルを，それぞれ，$\boldsymbol{k}$ および $\boldsymbol{k}'$ とし，それぞれの絶対値が

$$|\boldsymbol{k}| = |\boldsymbol{k}'| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

であるとする．ただし，λ は入射波および散乱波の波長である．また，原点にある原子０と原子１の位置を結ぶベクトルを $\boldsymbol{r}$ とし，原子間距離に比べて観測点までの距離が十分に長いとする．散乱ベクトル $\boldsymbol{K}$ が，$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{k}' - \boldsymbol{k}$ で与えられるとして，以下の問に答えよ．

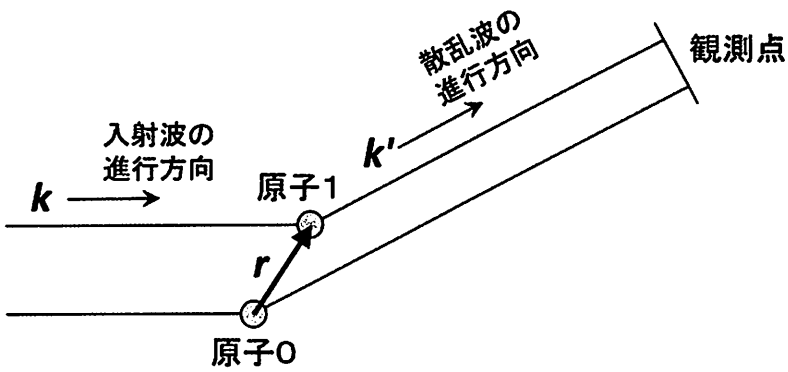
(1) 原子１で散乱される波の経路長と原子０で散乱される波の経路長には差が生じる．前者から後者を減じた値を経路差と定義して，経路差を，λ, $\boldsymbol{K}$, $\boldsymbol{r}$ のうち，必要なものを用いて表せ．

(2) 問(1)の結果をもとに，原子１からの散乱波と原子０からの散乱波の位相差を，λ, $\boldsymbol{K}$, $\boldsymbol{r}$ のうち，必要なものを用いて表せ．

(3) 原子０の原子散乱因子を f_0，原子１のそれを f_1 として，合成波の散乱振幅を，f_0, f_1, λ, $\boldsymbol{K}$, $\boldsymbol{r}$ のうち，必要なものを用いて表せ．

次に，結晶の単位格子によって散乱される平面波の散乱振幅を考える．

(4) 単位格子内には N 個の原子が存在しているとする．2 つの原子による散乱の考え方に基づいて，単位格子からの合成波の散乱振幅を求めよ．ただし，単位格子内の原点にある原子の原子散乱因子を f_0，原点の原子から見て n 番目の原子の位置ベクトルを $\boldsymbol{r}_n$，原子散乱因子を f_n とする．



（配点 20 点）