

北海道大学大学院情報科学学院
情報科学専攻
情報エレクトロニクスコース入学試験
令和7年8月25日 10:00～12:00

専門科目 1

受験上の注意

- ・机の上に置いてよいものは、受験票、鉛筆(黒)、シャープペンシル(黒)、消しゴム、鉛筆削り、眼鏡、時計のみである。
- ・時計は計時機能のみのもを使用し、アラームの使用を禁ずる。
- ・電卓、電子手帳、辞書の使用を禁ずる。
- ・携帯電話等の情報通信機器類は、必ずアラームの設定を解除した上で電源を切っておくこと。
- ・問題冊子は、本表紙を含め7枚ある(2枚目は白紙)。問題は、[1](応用数学)、[2](半導体デバイス工学)、[3](電磁気学)、[4](電気回路)、[5](電子回路)、について各1ページである。問題冊子は回収しない。
- ・答案用紙の枚数は3枚である。[1]～[5]の計5問の中から3問選択し、1枚につき1問を解答すること。
- ・答案用紙の裏面を使用してもよいが、その場合、「裏面記載あり」と答案用紙おもて面の右下に記載すること。
- ・選択した問題の番号、受験番号の誤記、記入もれがないか、各答案用紙を十分に確かめること。これらを別紙の選択問題チェック票にも記入し、提出すること。
- ・草案紙の枚数は3枚である。草案用紙は回収しない。

専門科目 1

[1] 応用数学

1. 行列 $A = \begin{bmatrix} 2 & 3 & -3 \\ -1 & 2 & 1 \\ -1 & 3 & 0 \end{bmatrix}$ と行列 $P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ について、以下の問いに答えよ。計

算過程を明示すること。

- (1) A の固有値と固有ベクトルの組をすべて求めよ。
- (2) P の逆行列 P^{-1} を求めよ。
- (3) $B = P^{-1}AP$ とする。 B の固有値と固有ベクトルの組をすべて求めよ。

2. 微分方程式 $x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + 2x \frac{dy}{dx} - 6y = 10x^2$ に $x = \exp(t)$ なる変数変換を行うことにより微分方程式の一般解を求めよ。ただし、 $x > 0$ とする。計算過程を明示すること。

専門科目 1

[2] 半導体デバイス工学

数値はすべて有効数字 3 桁で求めよ。必要に応じ以下の記号ならびに数値を使え。

q : 電荷素量, 1.60×10^{-19} C

k_B : ボルツマン定数, 1.38×10^{-23} J/K

h : プランク定数, 6.63×10^{-34} J·s

c : 真空中の光速, 3.00×10^8 m/s

- バンドギャップ 1.55 eV の直接遷移型半導体 pn 接合 (階段接合) に関する以下の問いに答えよ。ただし、接合面の両側で不純物密度が一様に分布し、完全空乏近似が成り立つものとする。
 - 熱平衡状態の pn 接合のエネルギーバンド図を模式的に示せ。n 型, p 型, 空乏層の範囲を、それぞれ両矢印を使って明示し、n 型半導体領域の電子を●, p 型半導体領域の正孔を○として図中に示せ。また、バンドギャップ E_G , 伝導帯下端エネルギー E_C , 価電子帯上端エネルギー E_V , フェルミ準位 E_F , 内蔵電位 qV_{bi} も図に明示すること。
 - 設問(1)の pn 接合の空乏層に、バンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光を照射したところ、p 型半導体と n 型半導体に接続した外部回路に電流が流れた。このときのエネルギーバンド図を描き、どのようにキャリアが動くのか図中に矢印で示せ。電子は●, 正孔は○で表すこと。
 - 設問(1)の pn 接合に順方向電流を流したところバンド端発光した。この時の発光波長を求めよ。ただし、室温の熱エネルギーの影響は無視できるものとする。
- n 型 Si ウエハ上に作製された Si の p チャネル MISFET (金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタ) に関する以下の問いに答えよ。ソースおよび基板は接地されている。ゲート電圧を V_g , ドレイン電圧を V_d , ゲート長を L , ゲート幅を W , 正孔移動度を μ , 単位面積あたりのゲート容量を C_g , しきい値電圧を V_{th} とする。
 - チャネルの極性に注意し、蓄積状態と反転状態における MIS 構造のエネルギーバンド図をそれぞれ模式的に示せ。また、電子を●, 正孔を○とせよ。金属 (M) 層, 絶縁体 (I) 層, 半導体 (S) 層を明記すること。フェルミ準位 E_F , 伝導帯下端エネルギー E_C , 価電子帯上端エネルギー E_V も明記せよ。
 - 飽和領域におけるドレイン電流 I_d を、本問題文で定義されている記号を用いて式で表せ。
 - 設問(2)における相互コンダクタンス g_m を、本問題文で定義されている記号を用いて式で表せ。
 - ゲート長 L やゲート幅 W を制御する以外に相互コンダクタンス g_m を向上する方法について簡潔に説明せよ。

専門科目 1

[3] 電磁気学

電界、磁界に関する以下の問いについて、解答にいたる理由が分かるように答えよ。特に断らない限り、真空中の誘電率を ϵ_0 、透磁率を μ_0 とせよ。

1. 空間中に広がる一様に帯電した平板が作る電界について、次の問いに答えよ。

(1) まず、 xy 平面に無限に広い平板があり、面電荷密度 $\sigma (> 0)$ で一様に帯電させた。このとき、平板の片側にある点における電界 \vec{E} の向きと大きさを答えよ。

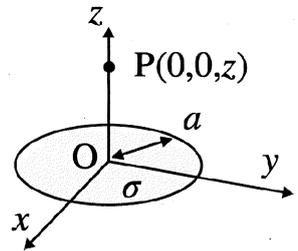


図1

(2) 次に、面電荷密度 σ をそのままに、図1のように原点Oを中心として半径 a の円板領域を取り出した。この円板による電位 V を、 z 軸上の点 $P(0,0,z)$ にて求めよ。ただし $V(\infty) = 0$ とする。

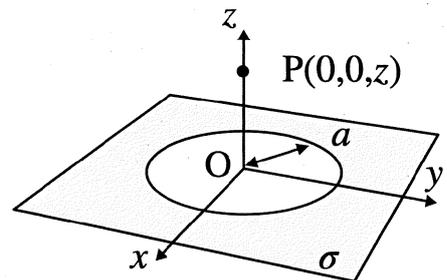


図2

(3) 問(2)の円板がつくる電界 \vec{E} を点 $P(0,0,z)$ において求めよ。

(4) さらに、図2のように、 xy 平面上の無限平面から半径 a の円板上の部分を切り取った穴あき平板を考え、面電荷密度 σ で一様に帯電させた。点 $P(0,0,z)$ における電界 \vec{E} の大きさを求めよ。必要であれば、問(3)で得た電界を用いてもよい。

(5) 穴あき平板の z 軸に沿った電界 \vec{E} の z に対する挙動を $|z| \ll a$ (穴の中心付近) と $|z| \gg a$ (遠方) でそれぞれ述べよ。

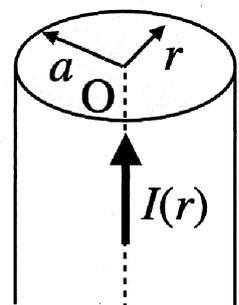


図3

2. 図3のような半径 a の無限長の円柱導体があり、電流密度分布 $I(r) = I_0(r/a)$ ($r \leq a$)となるような電流が流れている。ここで I_0 は定数とし、 $r > a$ の領域に電流は存在しない。円柱導体に流れる電流が作る磁界について、次の問いに答えよ。

(1) 導体中を流れる全電流 I を I_0 と a を用いて表せ。

(2) 電流が作る磁束密度の大きさ B を導体中心軸Oから無限遠までの距離 r の関数として表せ。また、磁束密度の向きを説明せよ。図示してもよい。

(3) $B(r)$ を縦軸、 r を横軸にしてグラフの概形を描け。

3. 「導体」と「誘電体」の性質を比較し、両者が外部電場中に置かれたときの電荷分布、電場、電位の違いについて説明せよ。

専門科目 1

[4] 電気回路

図1は、角周波数 ω および起電力 $E(t) = E_0 \exp(j\omega t)$ (E_0 は複素電圧, j は虚数単位, t は時間, 向きは図中の矢印の向き) の正弦波交流電圧源, 抵抗値 R の抵抗器, インダクタンス L のインダクタからなる回路である. この回路を流れる電流を $I(t) = I_0 \exp(j\omega t)$ (I_0 は複素電流, 向きは図中の矢印の向き) とする. このとき, 以下の設問に答えよ.

1. 端子 a と端子 b の間の複素インピーダンス Z_{ab} を, R, L, ω を用いて表せ.
2. $E(t)$ に対する $I(t)$ の位相差を表す角を, R, L, ω を用いて表せ.
さらに, $I(t)$ の位相は $E(t)$ の位相に対し進んでいるか遅れているかを答えよ.
3. キャパシタンス C_p のキャパシタの両端を端子 a と端子 b につなぎ抵抗器 (抵抗値 R) とインダクタ (インダクタンス L) に並列接続したとき, $I(t)$ が $E(t)$ と同相となるような C_p を, R, L, ω のうち必要なものを用いて表せ.
4. キャパシタンス C_s のキャパシタを図1の回路の端子 a と電圧源の間に直列に挿入したとき, $I(t)$ が $E(t)$ と同相となるような C_s を, R, L, ω のうち必要なものを用いて表せ.
5. キャパシタンス C_s のキャパシタを図1の回路の端子 a と電圧源の間に直列に挿入し $I(t)$ が $E(t)$ と同相となるようにしたときの $I(t)$ の振幅 (実数) を, E_0, R, L, ω のうち必要なものを用いて表せ.

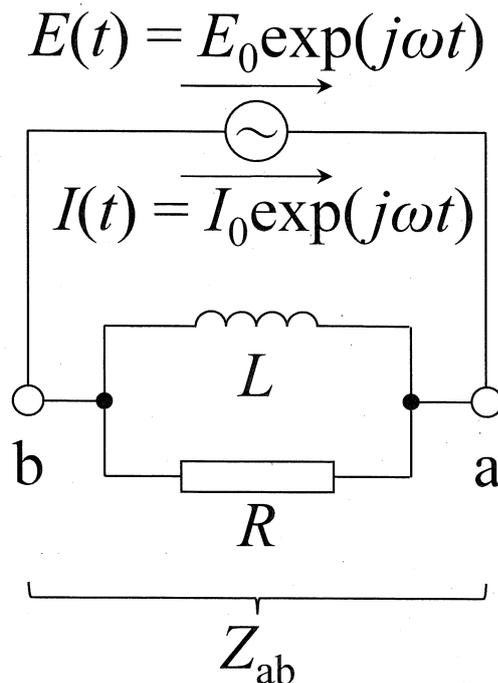


図1

専門科目1

[5] 電子回路

- 図1(a)は負荷容量 C_L を考慮した n チャネルエンハンスメントモード FET によるソース接地増幅回路であり，図1(b)はその FET の小信号等価回路である．この回路に関し以下の問いに答えよ．

 - R_1, R_2 からなるバイアス回路，および C_1 の役割についてそれぞれ簡潔に説明せよ．
 - 図1(a)の FET を図1(b)の小信号等価回路に置き替えることによって，ソース接地増幅回路の小信号等価回路を示せ．ここでは C_1, C_2 ，および C_L は無視してよい．
 - 以下，小信号入力 v_{in} に対し， C_1, C_2 が短絡として無視できる程度の角周波数 ω の正弦波交流を考える．このときのソース接地増幅回路の電圧利得 $G(\omega)$ を， ω のほか R_1, R_2, R_L, C_L, g_m のうち必要な記号を用いて表せ．
 - $G(\omega)$ の遮断角周波数 ω_c を，設問(3)の問題文中に示した記号で必要なものを用いて表せ．そして，電圧利得の絶対値 $|G(\omega)|$ は ω の変化とともにどのように変化するか説明せよ．

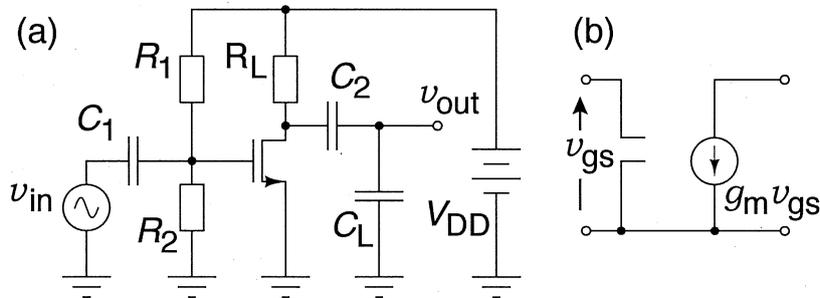


図1 (a)ソース接地増幅回路，(b) FET の小信号等価回路

- 図2は演算増幅器を用いて構成した回路である．この回路に関し以下の問いに答えよ．

 - 演算増幅器の電圧利得を A_0 とすると， $V_o = A_0(V_+ - V_-)$ となる．このとき回路全体の電圧利得 A (入力電圧 V_i に対する出力電圧 V_o の比) を R_1, R_2, A_0 を用いて表せ．ただし，演算増幅器の入力インピーダンスは無限大で反転入力・非反転入力ともに電流は流れこまないものとし，また出力インピーダンスは0とする．
 - $A_0 = \infty$ のとき，演算増幅器は理想的であるとみなせる．このときの A を， R_1, R_2 を用いて表せ．
 - 図2において，抵抗 $R_1 = \infty, R_2 = 0$ とする．この回路は何と呼ばれるか答えよ．また，その回路の特徴について簡潔に説明せよ．
 - 設問(3)のときの A を， A_0 を用いて表せ．

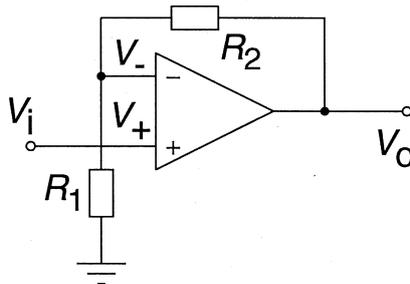


図2 演算増幅器による回路