

2026 年度 大学院(修士課程)入学試験問題

(先端理工学研究科 電子情報通信コース)

2025 年 9 月 13 日(土)

(科目名:専門科目)

受験番号		氏 名	
------	--	-----	--

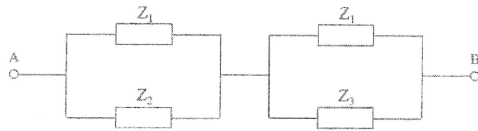
問題群 I、II、IIIにはそれぞれ3問または4問の問題がありますが、各問題群から必ず1問ずつを選択し、合計3問、解答しなさい。別紙の解答用紙は3枚配布されますが、用紙は1問について1枚ずつ使用し、必ず問題記号（I A など）を記入しなさい（解答が白紙であっても、すべての用紙に受験番号、氏名、問題記号を記入すること）。

問題群 I（電子分野）

※以下の4問から必ず1問を選択し、解答しなさい。

I A（電気回路）

図のような直並列回路がある。以下の問いに答えなさい。

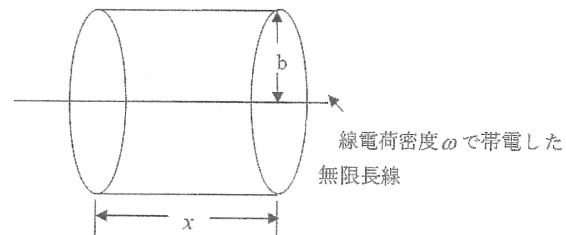


- (1) 端子 AB 間の合成インピーダンス Z を求めなさい。
- (2) 端子 AB 間の合成インピーダンス $Z=Z_1$ とするためには、 Z_1, Z_2, Z_3 との間にはどのような関係があるかを示しなさい。
- (3) Z_1 は抵抗 R , Z_2 は誘導リアクタンス X_L , Z_3 は容量リアクタンス X_C であるとする。この時の共振条件を求めなさい。

I B (電磁気学)

次の問に答えなさい。

線電荷密度 ρ で一様に帯電した無限に長い線から距離 b 離れた点での電場を求める。



- (1) 図のような円筒で囲まれた閉曲面を考える。この円筒閉曲面を切り開いて、平面に展開した時に最も簡単となる展開図を示しなさい。次に、この円筒閉曲面において電場が垂直となる面の面積だけを、 x と b を用いて求めなさい。
- (2) 図の円筒閉曲面内にある電荷量を求めなさい。
- (3) ガウスの法則を用いて帯電した直線から距離 b だけ離れた点での電場の大きさを求めなさい。なお、真空誘電率を ϵ_0 としなさい。

I C (電子物性・材料)

n 型半導体に関する以下の問いに答えなさい。なお、ボルツマン定数、半導体の温度をそれぞれ k_B 、 T (絶対温度) の記号で表すものとする。

- (1) n 型半導体の定義を簡潔に記述しなさい。
- (2) 高純度なシリコンを n 型半導体に変えるため、一般に不純物として加えるドナー元素を、元素記号で 1 つ答えなさい。

- (3) 価電子帯および伝導帯の有効状態密度をそれぞれ N_v 、 N_c ($N_v \approx N_c$ で不純物濃度に依存しない定数とみなせる) とする。価電子帯の上端エネルギーは E_v 、伝導帯の下端エネルギーは E_c とする。また、不純物濃度 N_d でドナー元素をドーピングした時、その不純物により形成されたエネルギー準位を E_d とする。この時、半導体結晶全体で電気的中性が保たれる条件から、フェルミ準位 E_F が満たすべき関係が求まり、

$$N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{k_B T}\right) + N_d \frac{1}{1 + 2 \exp\left(\frac{E_F - E_d}{k_B T}\right)} = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right) \quad (I)$$

となる。(I) 式から真性半導体のフェルミ準位 E_F は $N_d = 0$ より、以下の式で表される。

$$E_F = \frac{E_v + E_c}{2} + \frac{1}{2} k_B T \ln\left(\frac{N_v}{N_c}\right) \quad (II)$$

一方、 N_d が十分に大きく、室温の場合には、(I) 式の左辺第一項は無視でき、左辺第二項は N_d (分数部分は 1) として良いので、フェルミ準位 E_F は次の近似式で表される。

$$E_F \approx E_c - k_B T \ln\left(\frac{N_c}{N_d}\right) \quad (III)$$

これらの式をもとに、以下を考えなさい。

- (a) 高純度シリコンの状態から、不純物濃度 N_d を増加させていったときに、室温において、フェルミ準位 E_F がどのように変化するかを定性的に説明しなさい。
- (b) 均質かつ適度な濃度でドーピングされた時、室温での n 型半導体の一般的なエネルギーバンド図を描きなさい。この時、価電子帯(上端: E_v)、伝導帯(下端: E_c)、禁制帯、フェルミ準位: E_F がどこなのか、縦軸が何を意味するかも明示しなさい。
- (c) 結晶としての形態を保つ範囲で、温度 T を非常に高くした場合には、 N_v および N_c に比べて N_d は小さく、(I) 式の左辺第二項を無視して良い。この時、多数キャリア濃度と少数キャリア濃度はほぼ一致することになる。フェルミ準位 E_F がどうなるのかに着目して、その理由を説明しなさい。
- (d) 不純物濃度 N_d を過剰 ($N_d > N_c$) にすると、室温での物性は金属的な性質を示す。この時のエネルギーバンド図を示し、 N_d が過剰な場合に金属的になる理由も説明しなさい。

半導体に光を照射すると、光子は、半導体の結合手を構成する電子を結合から外し、自由に動ける (ア) 電子を生成する。また、その飛び出た孔として (イ) を生成する。この様子をエネルギーバンド図で示すと図(a)のようになる。光子のエネルギーが電子を (ウ) 帯から (ア) 帯へ励起するのに必要なエネルギー(エネルギーギャップ: E_G)以上の値を持てば、(ア) 帯に (ア) 電子が、(ウ) 帯に (イ) ができる。したがって、図(a)のように電池を接続すると、電子は (エ) 極に、(イ) は (オ) 極に向かって動き、それにより電流が流れる。このように、光を照射すると半導体中にキャリアができる現象を、光導電効果と呼ぶ。光導電効果を生じるには、光子エネルギー($h\nu$)と半導体の E_G との間で、次の関係を満たす必要がある。

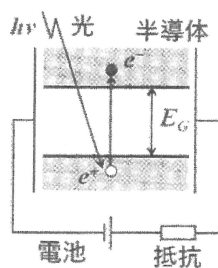
$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} \geq E_G$$

この式を変形して、波長 λ を左辺に移した表現にすると次式を得る。

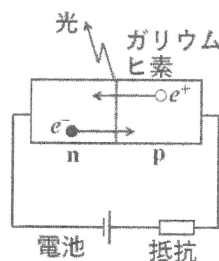
$$\lambda \leq \frac{hc}{E_G} = \frac{(A)}{E_G [\text{eV}]} \quad [\mu\text{m}]$$

ここで、 h はプランク定数、 c は光速である。

次に、n 型半導体ガリウムヒ素と p 型半導体ガリウムヒ素の pn 接合を構成し、図(b)に示すような (カ) 方向バイアスを加える。接合部で電子と (イ) の密度が高まり、電子と (イ) の再結合が生じる確率が高まる。この時、電子はエネルギー準位の高い (ア) 帯から低い (ウ) 帯へ遷移し、そのエネルギー差を光として放出する。この原理に基づく発光素子は (キ) または英語の頭文字を取り (ク) と呼ばれる。



図(a)



図(b)

- (1) 空欄(ア)～(ク)に入る言葉を記述しなさい。
- (2) 空欄(A)に入る数値を求めなさい。ただし、波長の単位は μm 、エネルギーの単位は eV とし、 $h = 6.626 \times 10^{-34} [\text{J}\cdot\text{s}]$ 、 $c = 2.998 \times 10^8 [\text{m/s}]$ 、 $1[\text{eV}] = 1.602 \times 10^{-19} [\text{J}]$ を用いなさい。数値は四捨五入し小数点以下2桁まで求めなさい。
- (3) ガリウムヒ素のエネルギーギャップは $1.43 [\text{eV}]$ である。素子から発光する光の波長は何 μm であるか答えなさい。また、その波長帯は何と呼ばれるか答えなさい。
- (4) 図(b)の状態の pn 接合のエネルギーバンド図を定性的に描きなさい。

問題群Ⅱ（情報分野）

※以下の3問から必ず1問を選択し、解答しなさい。

Ⅱ A（情報理論）

確率変数 x と x' は、ともに $\bigcirc$ と $\times$ の2値をとるものとし、

$x = \bigcirc$ のとき、 $x' = \bigcirc$ となる確率が $\frac{7}{8}$ 、 $x' = \times$ となる確率が $\frac{1}{8}$ 、

$x = \times$ のとき、 $x' = \bigcirc$ となる確率が $\frac{1}{4}$ 、 $x' = \times$ となる確率が $\frac{3}{4}$

であるとする。これを、行列 M により、

$$M = \begin{pmatrix} \frac{7}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{4} & \frac{3}{4} \end{pmatrix}$$

と書くことにする。次の問に答えなさい。

- (1) x が $\bigcirc$ となる確率が $\frac{1}{5}$ 、 $\times$ となる確率が $\frac{4}{5}$ であるとする。 x' が $\bigcirc$ となる確率を求めなさい。
- (2) x が $\bigcirc$ となる確率が p ($0 < p < 1$) であるとき、 x' が $\bigcirc$ となる確率も p であったとする。 p の値を求めなさい。
- (3) 行列 M の固有値とそれぞれの固有ベクトルを求めなさい。また、行列 P で $P^{-1}MP$ を対角行列とするものを求めなさい。

II B (プログラミング)

(1) ソート済みの数列データとして [15, 25, 36, 44, 53, 66, 79, 86, 93] が与えられている場合に、二分探索 (バイナリサーチ) で 86 を探す場合の手順を説明しなさい。(図を用いても良い)

(2) 下記の Python プログラムコードは二分探索の関数を表現している。①、②、③に適切なコードを挿入し、二分探索の関数として機能するように記述しなさい。ただし、関数 `binary_search()` の引数である `data` にはソート済みの数列リストが渡され、`target` には探索する値が渡される。また、戻り値として、探索する値(`target`)が数列リスト(`data`)の何番目に格納されていたかを返す。例えば、[15, 25, 36, 44, 53, 66, 79, 86, 93] のリストから 86 を探す場合は、`data` には [15, 25, 36, 44, 53, 66, 79, 86, 93] が渡され、`target` には 86 が渡され、戻り値は 7 となる。

```
def binary_search(data, target):
    left = 0
    right = len(data) - 1
    while left <= right:
        ①
        if data[middle] == target:
            return middle
        elif data[middle] < target:
            ②
        else:
            ③
    return -1
```

II C (デジタル論理)

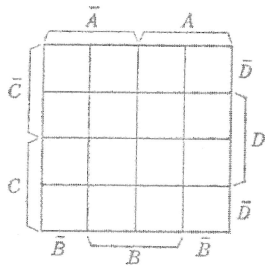
4変数の論理式から論理回路を構成したい。以下では、4つの入力を A, B, C, D 、出力を Y で表すとして、各問に答えなさい。

- (1) 出力 Y が下記の論理式で表されるとき、この回路の真理値表を書きなさい。真理値表の形式は下記を参考にする。

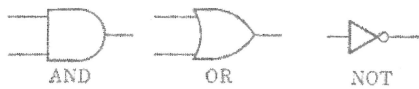
$$Y = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}BCD + \bar{A}B\bar{C}D \\ + \bar{A}BCD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}B\bar{C}D$$

A	B	C	D	Y	A	B	C	D	Y
0	0	0	0		1	0	0	0	
0					1				
0					1				
0					1				
0					1				
0					1				
0					1				
0					1				
0	1	1	1		1	1	1	1	

- (2) この回路のカルノー図を描き、もし簡略化できる場合は簡略化（グループ化）したうえで、その論理式を示しなさい。なお、4変数のカルノー図については、下図を参考にする。



- (3) 以上の結果の回路を構成し、図を具体的に描きなさい。ただし、使用できるのは、NOT ゲート、OR ゲート、AND ゲートとする。ここでは、3入力以上のゲートの記号を用いてもよいとする。なお、ゲート記号は下記を用いること。



問題群Ⅲ（通信分野）

※以下の3問から必ず1問を選択し、解答しなさい。

ⅢA（符号理論）

下記のブロック符号 C について、以下の問いに答えなさい。

$$C = \{(0000), (0011), (0101), (0110), (1001), (1010), (1100), (1111)\}$$

- (1) 以下に示す符号語間のハミング距離を求めなさい。
 - (a) 符号語(1100)と符号語(0110)間のハミング距離
 - (b) 符号語(0101)と符号語(1010)間のハミング距離
- (2) ブロック符号 C の非零の符号語のハミング重みの最小値（最小重み）を求めなさい。
- (3) ブロック符号 C の最小距離 $d_{\min}$ と最小重みの関係を説明しなさい。
- (4) ブロック符号 C の検査行列 H は $H = [1111]$ で与えられる。受信側で(0111)が受信された時のシンδροーム S を求めなさい。
- (5) (4)の結果から、この受信語に1ビットの誤り（単一誤り）があるかどうかを判定しなさい。

III B (高周波回路)

図1に示す回路は、高周波回路で使用されるウィルキンソン電力分配器である。ウィルキンソン電力分配器は、信号波長 λ の4分の1の長さ $\lambda/4$ となる2つの伝送線路と1つの抵抗で構成されることから、プリント基板を用いて設計することが多い。正規化インピーダンスを Z_0 とする場合、2つの伝送線路の特性インピーダンスは $Z_c = \sqrt{2}Z_0$ であり、抵抗は $R = 2Z_0$ となる。ここで、伝送線路を用いるウィルキンソン電力分配器を、集中定数素子のみを用いる回路で構成することを考える。以下の問いについて、それぞれ解答しなさい。ただし、全ての問において、周波数は10 GHzとし、正規化インピーダンス Z_0 は 50Ω とする。

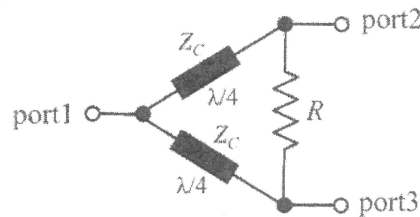


図1 伝送線路を用いるウィルキンソン電力分配器の回路図

(1) 図1に示す伝送線路の特性インピーダンス Z_c を計算しなさい。また、抵抗 R の値も計算しなさい。

(2) 図2は、長さ $\lambda/4$ の伝送線路を、集中定数素子のみを用いる回路に変換した等価回路図である。図1のウィルキンソン電力分配器に用いる特性インピーダンスが Z_c 、長さ $\lambda/4$ の伝送線路の等価回路として、適切な L_1 、 C_1 および C_2 の値を計算しなさい。

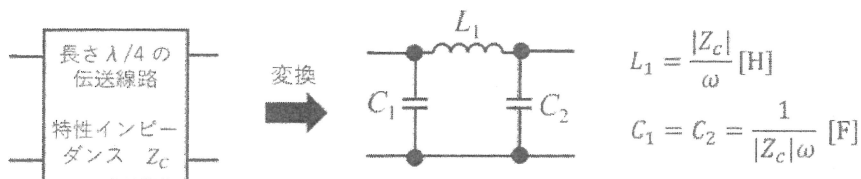


図2 長さ $\lambda/4$ の伝送線路の等価回路

(3) (1) および (2) の結果を活用して、図1に示す伝送線路を用いるウィルキンソン電力分配器を、集中定数素子のみを用いる回路に変換した回路図を描きなさい。また、集中定数素子の素子値をすべて計算し、その数値も記載しなさい。

Ⅲ C (伝送線路)

図 1 に示すように、損失のない同軸線路の終端 B にインピーダンス Z_L の負荷が接続され、始端には内部抵抗 Z_g 、電圧 V_A の高周波信号源が接続されている。図 2 はこの同軸線路の断面図であり、同軸線路の外部導体と中心導体の間には絶縁性の媒質がある。同軸線路に沿って伝搬する高周波電磁波の伝播モードは TEM モード (Transverse Electric and Magnetic mode) で、この同軸線路の特性インピーダンスは $50\ \Omega$ とする。

この同軸線路について、以下の問いに答えなさい。ただし、光速度は $3.0 \times 10^8\ \text{m/s}$ とし、同軸線路以外の接続線路の長さは無視できるものとする。

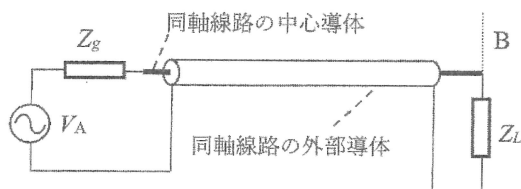


図 1

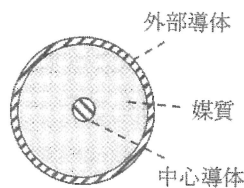


図 2

- (1) 解答用紙に図 2 の断面図を描き、図中に伝播する電磁波の電気力線を描きなさい。
- (2) 解答用紙に図 2 の断面図を再度描き、図中に伝播する電磁波の磁力線を描きなさい。
- (3) 媒質を真空とする場合、同軸線路に沿って伝搬する電磁波の速度を答えなさい。
- (4) 媒質を比誘電率 2.25 の絶縁物質とする場合、同軸線路に沿って伝搬する電磁波の速度を求めなさい。
- (5) 同軸線路の終端 B に接続された負荷が短絡された状態 ($Z_L=0$) の時、終端 B での反射係数 Γ_L を求めなさい。
- (6) 同軸線路の終端 B に接続された負荷のインピーダンス Z_L が $100\ \Omega$ の純抵抗である時、終端 B での反射係数 Γ_L を求めなさい。また、その時の線路上の電圧定在波比を求めなさい。