

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）

2026 年 8 月 27 日 9:00～12:00

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 4 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□で示してある．

（３）Ⅰ～Ⅳ全てを解答せよ．

（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）解答用紙及び下書用紙に受験番号を記入せよ．

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

I 電磁気学

1. 図 1 のように半径がそれぞれ a および $3a$ である薄い導体球殻 A と B が同心となるように置かれている。A の内側, A と B の間, B の外側はいずれも真空である。A と B の共通中心からの距離を r とする。B はスイッチ S を閉じると抵抗 R を介して接地される。A, B, 接続導線, および閉じたスイッチ S の電気抵抗は無視でき, R のみが有限の抵抗値をもつものとする。また, S, R および接続導線の形状や配置が球対称な電場分布に与える影響は無視できるものとする。真空の誘電率は ϵ_0 とする。電位は無限遠を基準, すなわち電位 $\phi(\infty) = 0$ とする。

最初に S は開いた状態で, A に正電荷 Q ($Q > 0$) が与えられている状態を考える。ここで, B に存在する電荷の総和は 0 であるものとする。

- (1) $0 < r < a$ における電場の大きさ $E_1(r)$ をガウスの法則を用いて求めよ。
- (2) $a < r < 3a$ における電場の大きさ $E_2(r)$ をガウスの法則を用いて求めよ。
- (3) $r > 3a$ における電場の大きさ $E_3(r)$ をガウスの法則を用いて求めよ。
- (4) A の電位 $\phi_{open}(a)$ を求めよ。
- (5) 図 1 の電場全体に蓄えられている静電エネルギー U_{open} を求めよ。

次に S を閉じ, 十分に時間が経った状態を考える。

- (6) $a < r < 3a$ における電場の大きさ $E_6(r)$ をガウスの法則を用いて求めよ。
- (7) A の電位 $\phi_{close}(a)$ を求めよ。
- (8) 図 1 の電場全体に蓄えられている静電エネルギー U_{close} を求めよ。

また, S を閉じる前後の静電エネルギーの変化分である

$\Delta U = U_{open} - U_{close}$ は, どのような過程を経て, どのような

エネルギーに変換されたと考えられるか, 100 文字以内で説明せよ。

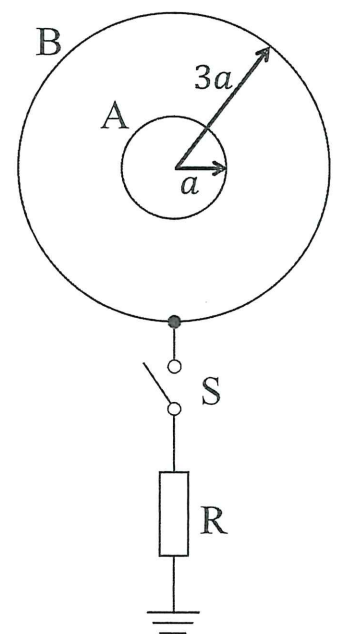


図 1

2. ある 2 次元空間において, 電位が $V(x, y) = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}y^2 - x + y + 1$ で与えられている。
- (1) 電位 $V(x, y)$ の最小値ならびにその時の座標 (x, y) を求めよ。
 - (2) 解答用紙の座標平面上に点 $(1, -3)$ および点 $(4, -1)$ をそれぞれ通る電位 $V(x, y)$ の等電位線を図示せよ。また, 各等電位線に対応する電位の値を求め, 図中に明記せよ。
 - (3) 電位 $V(x, y)$ の勾配 $\nabla V(x, y)$ を求めよ。
 - (4) 電場ベクトル $E(x, y)$ を求めよ。
 - (5) 点 $(1, -3)$ および点 $(4, -1)$ における電場ベクトル $E(x, y)$ を求め, その向きと大きさが分かるように解答用紙の座標平面上に矢印で図示せよ。ただし, 矢印の長さは解答用紙中の凡例の矢印を基準にすること。
 - (6) 電場ベクトル $E(x, y)$ の発散 $\nabla \cdot E$ を求めよ。

【試験時間中の補足説明：受験者へ板書及び口頭による周知を行った】

(2 ページ I 電磁気学)

I 電磁気学 2. においては, 電荷が分布する, ある 2 次元空間における静電場として考えること。

【試験時間中の問題訂正：下線部分のとおり訂正し,

受験者へ板書及び口頭による周知を行った】

2 ページ I 電磁気学, 1., 3 行目

(誤) B はスイッチ S を閉じると抵抗 R を介して接地される。

(正) B はスイッチ S を閉じると抵抗器 R を介して接地される。

2026.8.27

Ⅱ	回路工学
---	------

1. 図 1 に示す回路における過渡現象を微分方程式を用いて解析する. 直流電源の電圧を V , 時刻 t における電流を $i(t)$ とする. 抵抗値 R を持つ抵抗器, インダクタンス L を持つインダクタ, 容量 C を持つコンデンサそれぞれの両端の電圧を $v_R(t)$, $v_L(t)$, $v_C(t)$, コンデンサに蓄えられる電荷を $q(t)$ とする. スイッチ S を入れる直前および直後の時刻をそれぞれ $t = 0^-$ および $t = 0^+$ とし, $t = 0^-$ において $i(0^-) = 0$, $q(0^-) = 0$ とする. $R^2 < \frac{4L}{C}$ とする. ただし $\alpha = \frac{R}{2L}$,

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}}{2L}, \text{ 虚数単位を } j \text{ として用いてよい.}$$

- (1) スイッチを入れたあと, この回路における電圧 V と電荷 $q(t)$ が満たす微分方程式を R, L, C, t を用いて記せ.
- (2) 電荷の特解 (定常解) $q_s(t)$ を導出せよ.
- (3) 電荷の同次解 (過渡解) $q_T(t)$ を導出せよ.
- (4) 初期条件を満たす完全解 (一般解) $q(t)$ を導出せよ.

2. 図 2 に示す交流回路を解析する. インダクタンス L を持つインダクタ, 抵抗値 R_1, R_2 を持つ抵抗器それぞれの両端の電圧をフェーザ表記で V_L, V_{R1}, V_{R2} , 回路の入力である交流電源の電圧と出力である電流をフェーザ表記でそれぞれ V, I とする. 交流電源の電圧の角周波数を ω とする. 虚数単位を j として用いてよい.

- (1) この回路の入力インピーダンスを R_1, R_2, L, ω を用いて示せ.
- (2) アドミタンス $Y(j\omega) = I/V$ を極形式で求める. 以下の式中の A, B を示せ.

$$Y(j\omega) = \frac{I}{V} = \frac{\sqrt{1+A^2}e^{j(\phi_A-\phi_B)}}{R_1\sqrt{1+B^2}}, \quad \phi_A = \tan^{-1} A, \quad \phi_B = \tan^{-1} B$$

- (3) (i) $\omega \rightarrow 0$, (ii) $\omega \rightarrow \infty$ の 2 条件におけるアドミタンスの大きさ $|Y(j\omega)|$ をそれぞれ求めよ.
- (4) 回路素子のインピーダンスの周波数依存性によって, アドミタンスの大きさ $|Y(j\omega)|$ が (3) で求めたように振る舞う理由を簡潔に説明せよ.

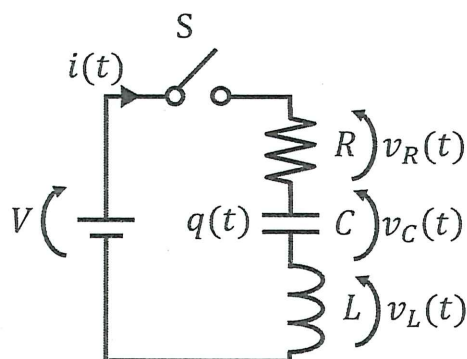


図 1

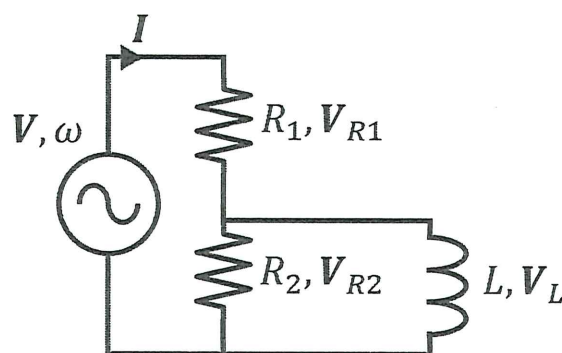


図 2

【試験時間中の補足説明：受験者へ板書及び口頭による周知を行った】
(2 ページ I 電磁気学, 3 ページ II 回路工学)
2 ページ I 電磁気学, 3 ページ II 回路工学で用いられている図中の
と はどちらも抵抗器です.

2026.8.27

Ⅲ	半導体工学
---	-------

1. 図1 (A)~(C)は異なる半導体のエネルギーバンド図を示し、 E_g はバンドギャップである。これについて以下の問いに答えよ。

- (1) 図1 (A)~(C)の半導体はそれぞれ Si, Ge, GaAs のどれに対応するか、答えよ。
- (2) 横軸の L, Γ , X はそれぞれ以下のどの波数 (k_x, k_y, k_z) に対応するか、答えよ。

$$\frac{2\pi}{a} \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right), \quad \frac{2\pi}{a} (1, 0, 0), \quad \frac{2\pi}{a} (0, 0, 0)$$

ここに a は格子定数である。

- (3) 図1 (B)の半導体の価電子帯は Γ で縮退している。有効質量が小さいのは(a), (b)どちらのバンドか、理由を付して答えよ。

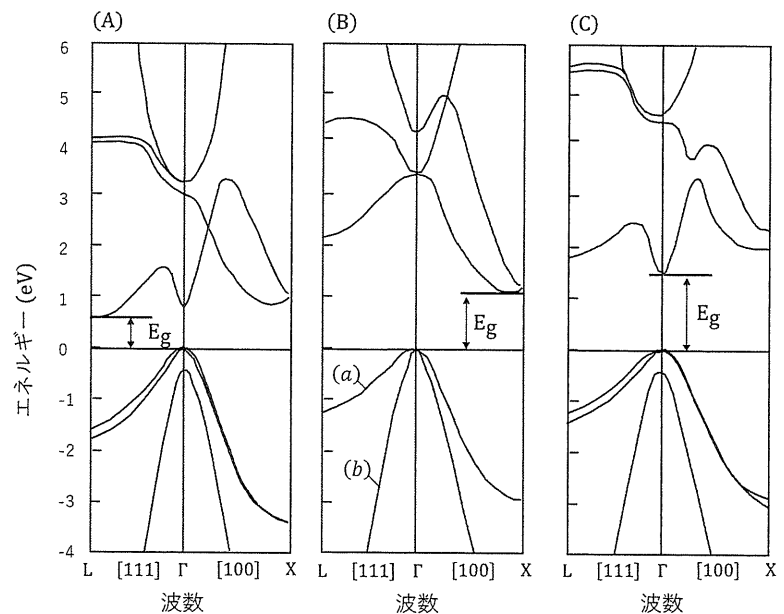


図 1

- (4) 図1 (A)~(C)の半導体のうち、光デバイスとして利用するのに適しているのはどれか。理由を付して答えよ。
2. 非縮退n型半導体における低水準注入の場合、過剰少数キャリアに対する連続の式は(i)で与えられる。

$$\frac{\partial p_n}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} + G_p - U_p \quad (i)$$

ここで p_n はn型半導体中の正孔密度、 D_p は正孔の拡散係数、 G_p は正孔の生成速度、 U_p は正孔の再結合速度（いずれも単位時間、単位体積当り）である。以下の問いに答えよ。

- (1) 正孔の再結合速度 U_p は以下に示す(ii)式で与えられる。 p_n , p_{n0} , τ_p をそれぞれ(ii)式のA~Cに当てはめよ。但し、 p_{n0} は熱平衡状態におけるn型半導体中の正孔密度、 τ_p は少数キャリアの寿命である。

$$U_p = \frac{A - B}{C} \quad (ii)$$

- (2) この半導体に一定強度の光を連続照射し、電子-正孔対が試料内で一様に生成される場合を考える（すなわち光の侵入長が試料の厚さに比べて十分長い）。この条件を(i)式に当てはめ、定常状態における p_n を (1) の結果を用いて求めよ。
- (3) (2) で連続照射した光をある時刻において停止した場合、 p_n の時間変化 $p_n(t)$ を導出せよ。光照射を停止した時刻を $t = 0$ とする。

IV	量子力学
----	------

1. 位置 x に依存するポテンシャル $V(x)$ のもとで一次元運動する質量 m の粒子を考える. こ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. ただし, $V(x)$ は実数関数とする.

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

- (1) 確率密度 $\rho = |\psi(x, t)|^2$ に対して次式が成立することを示せ.

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial J(x, t)}{\partial x} = 0$$

ただし,

$$J(x, t) = \frac{\hbar}{2mi} \left[\psi^*(x, t) \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} - \psi(x, t) \frac{\partial \psi^*(x, t)}{\partial x} \right]$$

であり, $\psi^*(x, t)$ は $\psi(x, t)$ の複素共役である.

- (2) $J(x_0, t_0)$ は時刻 t_0 に位置 x_0 を通過する確率の流れを表す. このことを区間 $[a, b]$ に粒子が存在する確率の時間変化を表す

$$\frac{d}{dt} \int_a^b \rho(x, t) dx$$

を用いて説明せよ.

2. ポテンシャル

$$V(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ U & (x > 0) \end{cases}$$

に左側 ($x < 0$) からエネルギー E の粒子が入射する定常的な一次元散乱問題を考える. ただし, $E > U > 0$ である.

- (1) 波動関数は,

$$\psi(x) = \begin{cases} \exp(ikx) + A \exp(-ikx) & (x < 0) \\ B \exp(ik'x) & (x > 0) \end{cases}$$

と表せる. これが時間に依存しないシュレーディンガー方程式の解であることを用いて, k, k' を求めよ.

- (2) $x = 0$ における境界条件を考えることにより, 係数 A , 係数 B を k, k' を用いて表せ.

- (3) 反射率 R , 透過率 T を k, k' を用いて表せ.

- (4) $x < 0, x > 0$ の各領域における確率の流れ $J(x < 0), J(x > 0)$ を $\hbar, m, k, T$ を用いて表せ. また, $J(x < 0)$ と $J(x > 0)$ との間に成り立つ関係式を記せ.

- (5) (3) の透過率 T は $|B|^2$ と一致しない. その理由を確率の流れを用いて説明せよ.