

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)

2021 年 8 月 26 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 (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 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) 解答用紙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.

試験科目	専門科目
------	------

I	電磁気学
---	------

問1. 面積 S の平行導体板間に、図1のように領域Iに誘電率 ϵ_1 、厚さ d_1 、領域IIに誘電率 ϵ_2 、厚さ d_2 の誘電体が層状に満たされている。この導体板に $\pm Q$ の電荷を与えたとする。以下の問いに答えよ。なお、電極端部の効果は無視できるものとする。

- (1) 領域Iでの電界の大きさ E_1 を、 Q を用いて表せ。導出方法も書くこと。
- (2) 領域IIでの電界の大きさ E_2 を、 Q を用いて表せ。導出方法も書くこと。
- (3) 領域Iと領域IIの境界において、電束密度が連続であることをガウスの定理を用いて示せ。
- (4) 平行導体板間の電位差を導出せよ。
- (5) この平行導体板の電気容量を導出せよ。

問2. 磁束密度 B の一様な磁場中で、図2に示すように内径 a 、外径 b の導体中空円板が磁場と平行な中心軸(中心点 O)のまわりに角速度 ω で回転している。点 x と点 y では、抵抗 R を接続した導線が中空円板と接触しており、中空円板と導線間の接触抵抗は無視できるとする。このとき点 x と点 y の間に生じる起電力を求めたい。以下の問いに答えよ。

- (1) 図3で示す中心点 O から距離 r の微小線分 Δr (長さ Δr)が単位時間あたりに横切る磁束の大きさを導出せよ。
- (2) (1)の結果を用いて、微小線分 Δr の両端に発生する電位差(起電力)の大きさ ΔV を導出せよ。
- (3) 点 x と点 y の間に発生する電位差(起電力)の大きさを導出せよ。
- (4) 抵抗 R に流れる電流の大きさを導出せよ。

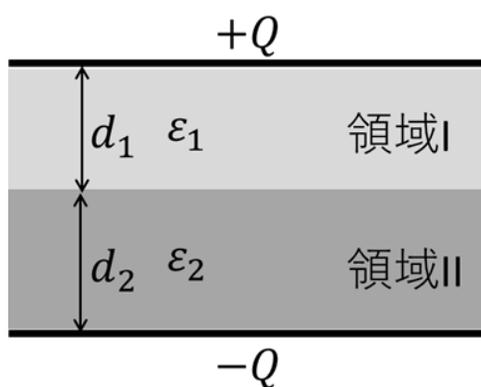


図1

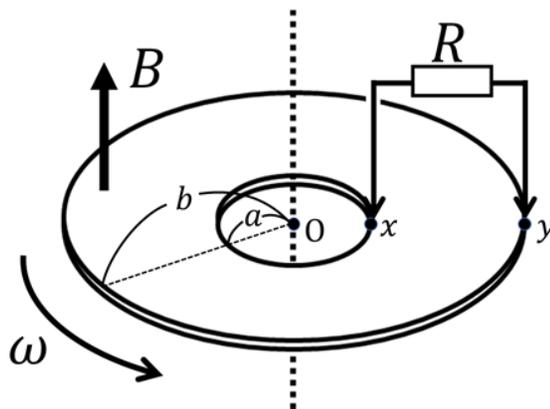


図2

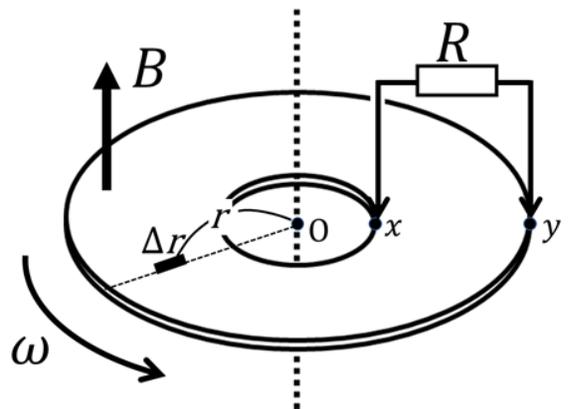
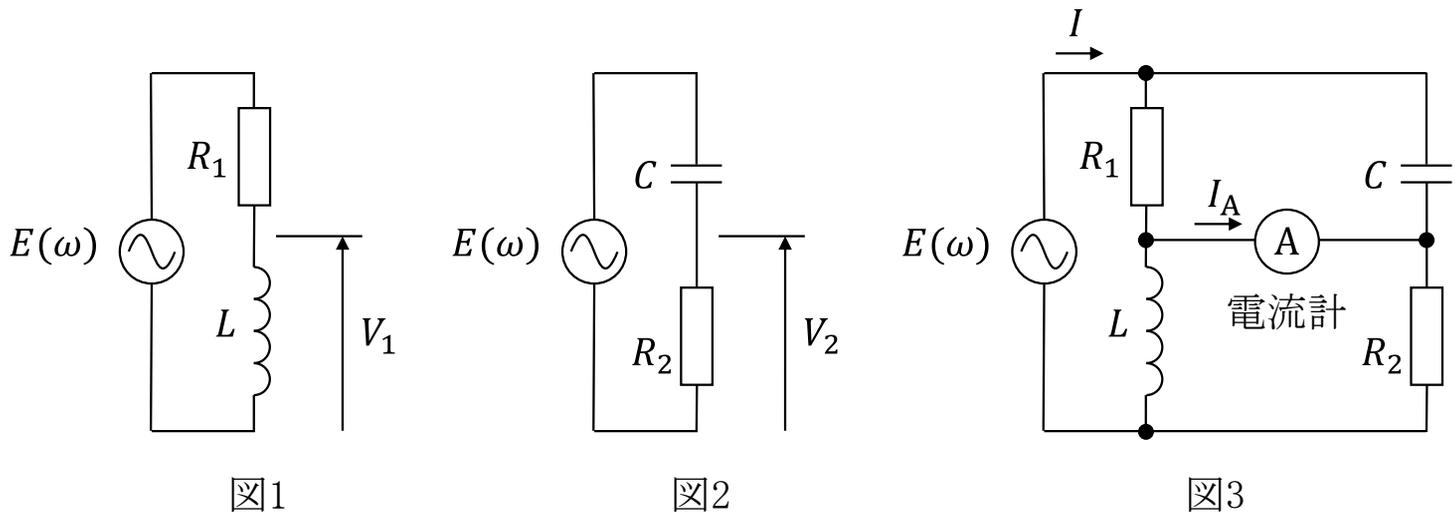


図3

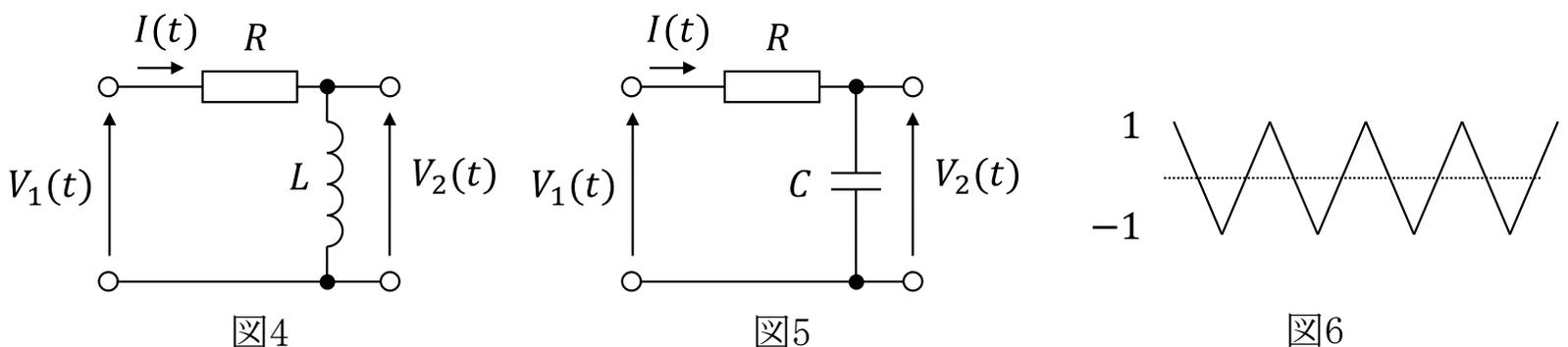
試験科目	専門科目
------	------

Ⅱ	回路工学
---	------

- 問1. 角周波数 ω の正弦波を発生する交流電圧源 $E(\omega)$ を用いた回路について次の問いに答えよ。
- (1) 図1に示すインダクタ L と抵抗器 R_1 が直列に接続された回路において L にかかる電圧 V_1 を求めよ。
 - (2) 図2に示すキャパシタ C と抵抗器 R_2 が直列に接続された回路において R_2 にかかる電圧 V_2 を求めよ。
 - (3) 図3において、 ω によらず電流計を流れる電流 I_A が0となる条件を求めよ。
 - (4) (3)で求めた条件が満たされ、かつ $R_1 = R_2$ のとき、交流電圧源 $E(\omega)$ から流れる電流 I を求めよ。



- 問2. 時間 t とともに変化する電圧 $V_1(t)$ が入力として与えられる回路について次の問いに答えよ。
- (1) 図4に示す LR 直列回路において、回路に流れる電流を $I(t)$ とする。 $V_1(t)$ と $I(t)$ の関係を示せ。
 - (2) 時定数 $\tau = L/R$ が十分に小さければ図4に示す回路は微分回路となる。このときの $V_2(t)$ を求めよ。
 - (3) 図5に示す CR 直列回路において、回路に流れる電流を $I(t)$ とする。 $V_1(t)$ と $I(t)$ の関係を示せ。
 - (4) 時定数 $\tau = CR$ が十分に大きければ図5に示す回路は積分回路となる。このときの $V_2(t)$ を求めよ。
 - (5) $V_1(t)$ が図6に示すような -1 と 1 の間を周期的に上昇と下降を繰り返す電圧とする。(2)および(4)で求めた条件を満たしているときの図4および図5の回路における $V_2(t)$ の概形をそれぞれ記せ。ただし電圧値は求めなくてよい。



試験科目	専門科目
------	------

Ⅲ	半導体工学
---	-------

問1. 図 1(a)に示す金属とドナー密度 N_D の非縮退n型半導体からなる理想的な接合 (図 1(b)) について考える。電気素量を e 、金属および半導体の仕事関数をそれぞれ $e\phi_m$ と $e\phi_s$ 、n型半導体の電子親和力を $e\chi$ 、伝導帯下端と価電子帯上端のエネルギーをそれぞれ E_c と E_v 、フェルミ準位を E_f とする。印加電圧は全て空乏層にかかるものとする。

- (1) 図 1(b)の $e\phi_{bi}$ を、問題文中で与えられた記号のうち、適切なものを使用して表せ。
- (2) 図 1(b)の接合にバイアス電圧 V_a を印加した時のエネルギーバンド概略図を、順方向 ($V_a > 0$)と逆方向 ($V_a < 0$) の場合それぞれについて描け。図中に V_a の符号と空乏層幅 W を示すこと。また、この時、この接合に流れる電流の電圧依存性のグラフの概形を描け。この特性を何と呼ぶか答えよ。
- (3) 図 1(b)の接合に順方向および逆方向電圧 V_a を印加した時の空乏層幅 W を求めたい。そのために空乏層におけるポアソン方程式 $\frac{d^2V(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_s}$ を考える。ここで、 $V(x)$ は静電ポテンシャル、 ϵ_s はn型半導体の誘電率である。また、空乏近似を適用し、電荷密度 $\rho(x)$ は $\rho(x) = eN_D$ として均一に分布しているとみなす。金属と半導体界面の位置を $x = 0$ とし、 $V(0) = 0$ とする。空乏層端 $x = W$ における境界条件となる $V(W)$ を、問題文中で与えられた記号のうち適切なものを使用して表せ。
- (4) 空乏層端においては、 $\left. \frac{dV(x)}{dx} \right|_{x=W} = 0$ が成り立つ。(3)の結果を用い、 W を含む形で $V(x)$ を表せ。
- (5) (4)で求めた $V(x)$ をもとに、空乏層幅 W を求めよ。

問2. 図 2 は、ドナー密度 N_D の非縮退n型半導体の伝導帯の電子密度 n の温度依存性を示したものである。図 2 の T は絶対温度である。また、電気素量を e とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 電子密度 n が図 2 の温度変化を示す理由を、低温域、中温域、高温域全てに触れて説明せよ。
- (2) 半導体の導電率 σ と電子の移動度 μ の関係式を与えられた記号のうち適切なものを用いて表せ。
- (3) 図 2 の中温域では、温度上昇に伴って導電率 σ がどのように変化するか、理由とともに述べよ。

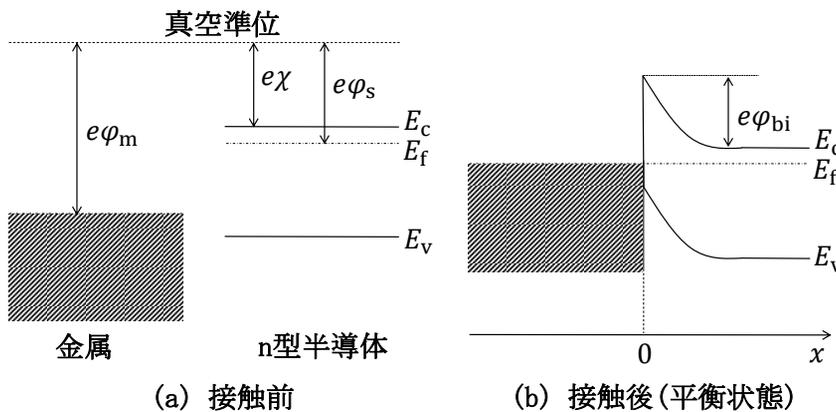


図 1

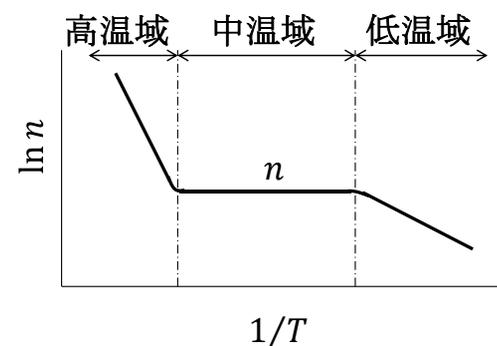


図 2

試験科目	専門科目
------	------

IV	量子力学
----	------

問1. 図1のように x 軸の0から a の間に高さ V のポテンシャル障壁が存在する。質量 m の電子がエネルギー E ($V > E > 0$)でこの障壁に左側から入射した場合について、下記の問いに答えよ。

ただし、 h をプランク定数、 $\hbar = h/2\pi$ とする。

- (1) $x < 0, a < x$ の領域について、Schrödinger 方程式を $\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = -k^2\varphi(x)$ と表したとき、 k を m 、 E 、 \hbar を用いて表せ。 $\varphi(x)$ は波動関数である。
- (2) $0 < x < a$ の領域について、Schrödinger 方程式を $\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = \rho^2\varphi(x)$ と表したとき、 ρ を m 、 E 、 \hbar 、 V を用いて表せ。 $\varphi(x)$ は波動関数である。
- (3) $x < 0$ 、 $0 < x < a$ 、 $a < x$ の一般解をそれぞれ、
 $\varphi_1(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$ ($x < 0$)、
 $\varphi_2(x) = Ce^{\rho x} + De^{-\rho x}$ ($0 < x < a$)、
 $\varphi_3(x) = Fe^{ikx}$ ($a < x$)
と記述したとき、 $x = 0$ と $x = a$ での境界条件を表せ。
- (4) F を用いて(3)の A 、 B 、 C 、 D を表せ。
- (5) 障壁の透過確率 T と反射確率 R を A 、 B 、 C 、 D 、 F のうち適切なものを選んで表せ。
- (6) 障壁の透過確率 T と反射確率 R を m 、 E 、 V 、 \hbar を用いて表せ。

必要であれば、 $\cosh t = \frac{e^t + e^{-t}}{2}$ 、 $\sinh t = \frac{e^t - e^{-t}}{2}$ 、 $\cosh^2 t - \sinh^2 t = 1$ を用いてもよい。

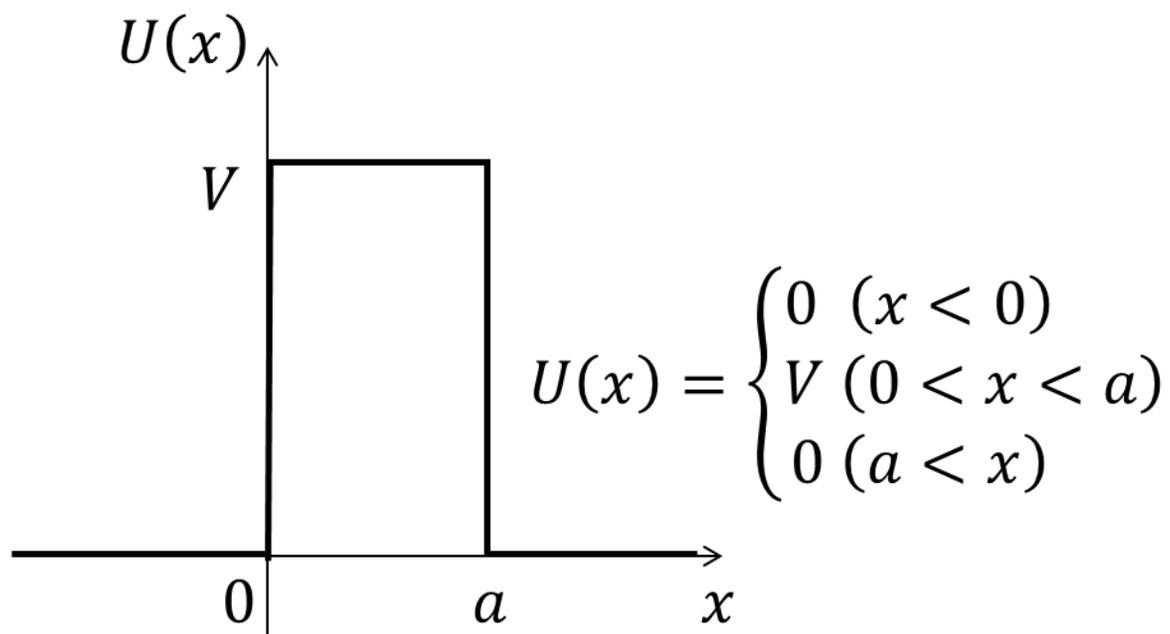


図1

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**解答用紙** 【電子工学分野】

2021.8.26

試験科目	専門科目
------	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

選択した問題番号（I～IV）を下の表に記せ.

--	--	--

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**解答用紙** 【電子工学分野】

2021.8.26

試験科目	専門科目
------	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

問題番号・出題科目名

I	電磁気学
---	------

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 **解答用紙** 【電子工学分野】

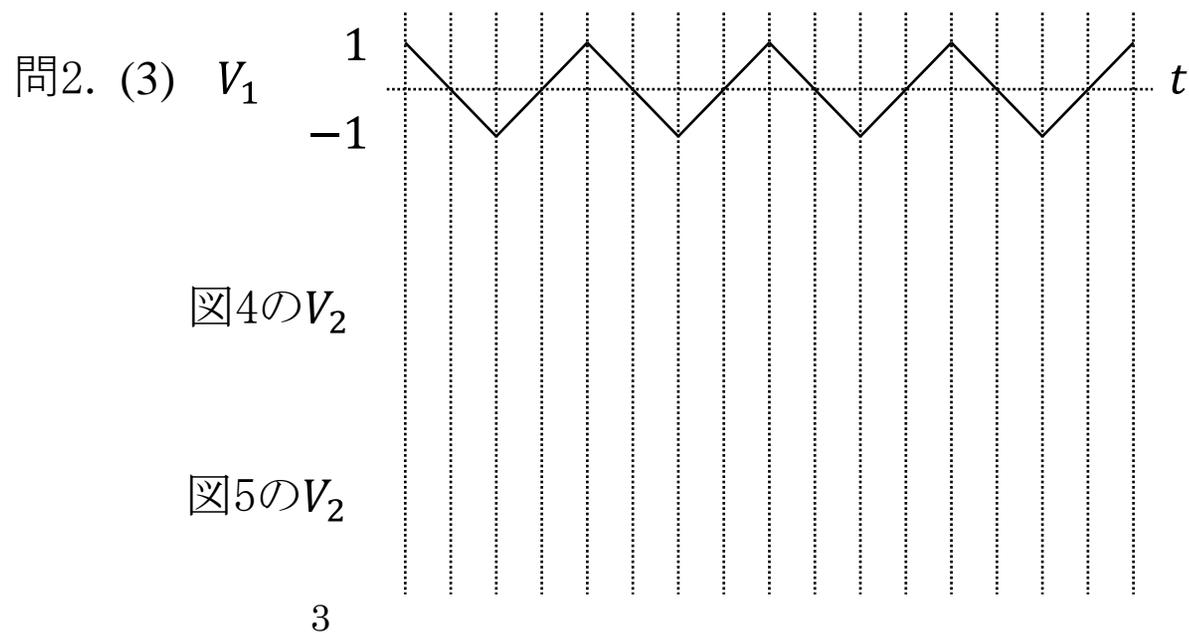
2021.8.26

試験科目	専門科目
------	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

問題番号・出題科目名

Ⅱ	回路工学
---	------



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**解答用紙** 【電子工学分野】

2021.8.26

試験科目	専門科目
------	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

問題番号・出題科目名

Ⅲ	半導体工学
---	-------

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 **解答用紙** 【電子工学分野】

2021.8.26

試験科目	専門科目
------	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

問題番号・出題科目名

IV	量子力学
----	------