

大学院情報理工学研究科
博士前期課程一般入試 入学試験問題
(2024年8月16日実施)

【基盤理工学専攻】

専門科目

※注意事項

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子はこの注意事項を含めて24枚、解答用紙は4枚である。
3. 試験開始の合図の後、全ての解答用紙に受験番号を記入すること。
4. 選択科目記入シートに受験番号を記入すること。
5. 試験時間は180分である。
6. 科目は、選択群Ⅰの5科目（1「電気・電子回路」、2「光波動工学」、3「量子力学／統計力学」、4「無機・有機化学」、5「分子生物学／生物化学」）と選択群Ⅱの6科目（6「基礎数学」、7「力学」、8「電磁気学」、9「光・電子デバイス基礎」、10「物理化学」、11「細胞・神経生物学」）、合計11科目で構成されている。
●全11科目のうちから4科目を選択して解答すること。ただし、選択群Ⅰから1科目以上を含めること。
7. 選択科目記入シートには、選択した4科目に○印を記入すること。
8. 選択科目記入シートは、試験終了後に必ず提出すること。
9. 解答用紙の問題の番号欄には、解答した問題の番号を記入すること。
(採点は記入された番号についてのみ行う。誤記入、記入もれに注意すること。)
10. 解答は、問題ごとに別々の解答用紙（各問題ごとに1枚）を使用すること。
必要なら裏面を使用してもよいが、その場合は表面下に「裏面へ続く」と記入すること。
11. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ること。
13. 解答は英語でもよい。

問題は次のページからです。

このページは問題冊子の枚数には
含みません。

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

1

電気・電子回路

全ての問題について解答中に π , $\log$, $\ln$, $\exp$, 根号等の記号を使ってもかまわない。

- (1) 理想的オペアンプで構成された図 1 の回路に角周波数 ω の複素交流電圧 $\dot{V}_{in}$ を加えた場合について以下の問に答えよ。(記号の上の $\cdot$ は複素数を表す)
- (a) $R=0$ の時, オペアンプの非反転入力・出力端子間の複素インピーダンス $\dot{Z}_f$ 等を用いて複素出力電圧 $\dot{V}_{out}$ を表せ。
- (b) この時の $\dot{Z}_f$ を R_1, R_2, C, ω を使って表せ。
- (c) 入力電圧に対して出力電圧の位相が $\pi/4$ 遅れる時の角周波数 ω_q を求めよ。
- (d) $\omega \ll \omega_q$ と $\omega \gg \omega_q$ の場合, 入力電圧に対する出力電圧の利得 $G = \left| \frac{\dot{V}_{out}}{\dot{V}_{in}} \right|$ と位相はそれぞれいくらか, またこの回路はどのような用途に使われるかを答えよ。
- (e) $R=R_1$ とした場合, $\omega \gg \omega_q$ の時の入力電圧に対する出力電圧の利得と位相をそれぞれ答えよ。
- (2) 図 2 の回路で抵抗 $R(4\Omega)$ を流れる電流 I を求めたい。そのため抵抗 R を外した時の A-B 間の等価回路を求める。
- (a) 定電圧源と抵抗を直列に繋いだ等価回路(ア)の場合の V_e と R_1 を求めよ。
- (b) 定電流源と抵抗を並列に繋いだ等価回路(イ)の場合の I_e と R_2 を求めよ。
- (c) 上の結果から R をつないだ時に R に流れる電流 I を求めよ。
- (d) 定電流源を 2A に変えた図 2 の回路を重ね合わせの理で解く。定電圧源を切った場合 R に流れる電流 I_1 と定電流源を切った場合 R に流れる電流 I_2 をそれぞれ求めて, I を求めよ。

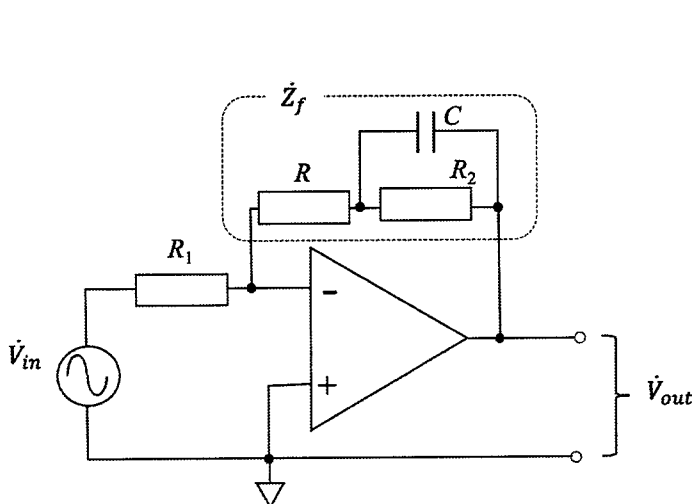


図 1

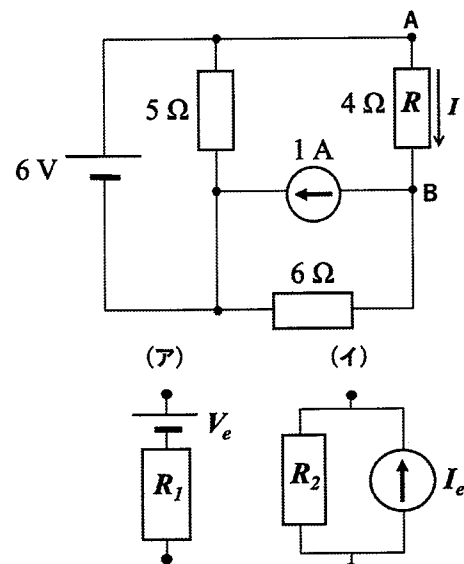


図 2

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

1

電気・電子回路

(前ページから続く)

- (3) 容量 C のコンデンサ C_1, C_2 , 抵抗値 R の抵抗, インダクタンス L のコイル, 起電力 E の定電圧源とスイッチで構成された図3の回路がある。時刻 t に C_1, C_2 に溜められている電荷を $Q_1(t), Q_2(t)$, 抵抗 R を矢印の方向に流れる電流を $I(t)$ とする。以下の問に答えよ。
- (a) $t < 0$ の時にスイッチは a に入れられ定常状態になっている。 $t = 0$ でスイッチを b に切り替えた時の電荷 $Q_1(t)$ の微分方程式を書け。
- (b) $t > 0$ における $Q_1(t)$ と $I(t)$ を求めよ。
- (c) スwitchを b に入れて時間が充分経過して定常状態になった後にスイッチを c に切り替えた。この時の時刻を改めて $T = 0$ とした時の $T > 0$ における $Q_1(T)$ を求めよ。なお $T < 0$ の時に $Q_2(T) = 0$ とする。
- (d) 再びスイッチを b に入れて充分時間が経過して定常状態になった後スイッチを d に切り替えた。この時の $Q_1(T)$ の微分方程式を求めよ。また R が充分小さい時 ($R \ll \sqrt{L/C}$) に $Q_1(T)$ はどのような運動になるか答えよ。
- (e) (d) の運動の振動角周波数 ω はいくらか。

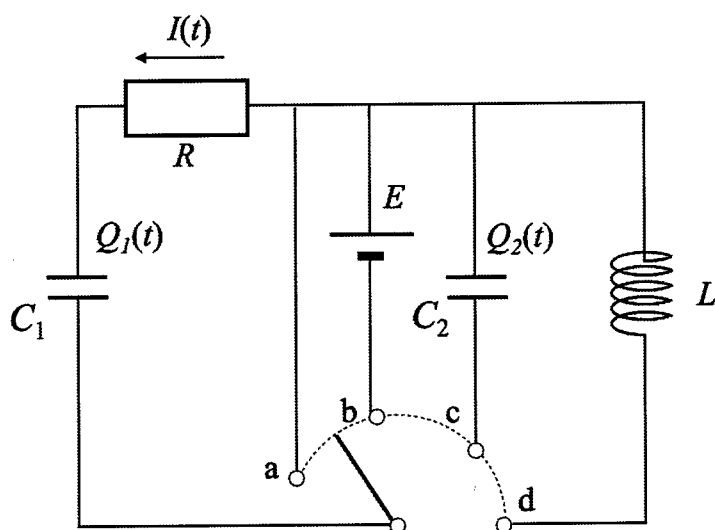


図 3

理想的オペアンプ: ideal operational amplifier, 角周波数: angular frequency, 複素: complex, 交流電圧: alternative voltage, 非反転入力端子: non-inverting input, 出力端子: output, 出力電圧: output voltage, 入力電圧: input voltage, 位相: phase, 利得: gain, 用途: application, 抵抗: resistance, 等価回路: equivalent circuit, 定電圧源: constant voltage source, 定電流源: constant current source, 重ね合わせの理: principle of superposition, 容量: capacitance, 起電力: voltage, 電荷: charge, 定常状態: steady state, 微分方程式: differential equation,

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

2

光波動工学

(1) 真空中を z 軸の正の向きに進む波長 λ の単色平面波の偏光について考える。図1のように、二枚の偏光子A,Bを、光の進行方向に対して垂直に、点線で示した透過軸（偏光子を透過する偏光方向を表す軸）が x 方向に対してそれぞれ $+45^\circ$ および -45° をなすように配置する。また、光は偏光子A、偏光子Bの順に通過するものとする。これについて以下の問に答えよ。

- (a) 偏光子Aの透過光強度が最大となる入射光の偏光を表す単位ベクトル（規格化されたジョーンズベクトル、以下ではこれをジョーンズベクトルと呼ぶ）を書け。
- (b) 偏光子Aに入射する光の電場ベクトルが $\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_0 \\ 0 \end{pmatrix}$ であるとき、偏光子Bから出射する光の電場ベクトルを書け。

図1の偏光子AとBの間に、図2(i)のような液晶素子（厚さ L ）と1/4波長板を光の進行方向に対して垂直に挿入し、図2(ii)のように偏光子A、液晶素子、1/4波長板、偏光子Bの順に光が通過するように配置する。液晶素子は遅軸が x 軸と平行であり、印加電圧の大きさに応じて遅軸方向の屈折率 n_s のみが変化する。ただし、波長 λ の光について、初期状態では速軸成分に対する遅軸成分の位相遅れはないものとする。また、1/4波長板の遅軸は x 方向に対して $+45^\circ$ をなす。

- (c) 光の遅軸成分の位相が速軸成分に対して η 遅れるように電圧を印加した液晶素子と、遅軸が x 方向に対して $+45^\circ$ をなす1/4波長板の作用は、それぞれ 2×2 行列 $\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\eta}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\eta}{2}} \end{pmatrix}$, $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{pmatrix}$ (i は虚数単位)で表される。偏光子Aを透過する光のジョーンズベクトルに対してこれらの行列を作用させることで、偏光子Bに入射する光のジョーンズベクトル $\mathbf{J}_B$ を求め、これを $\cos \frac{\eta}{2}$ と $\sin \frac{\eta}{2}$ を用いて表せ。また、 xy 平面内の二次元ベクトルを z 軸の回りに角度 θ 回転させる操作が $\begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$ で表されることを用いて、 $\mathbf{J}_B$ がどのような偏光を表すかを簡潔に説明せよ。
- (d) 液晶素子の遅軸の屈折率が初期状態から δn_s 増加することによって、液晶素子を透過した光の偏光の遅軸成分に与えられる位相遅れ η を求めよ。
- (e) 偏光子Bの透過光強度が最大となるときの、液晶素子の遅軸の屈折率変化 δn_s の大きさの最小値を求めよ。

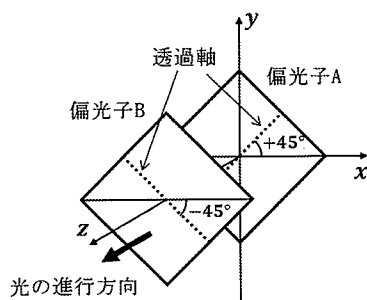


図 1

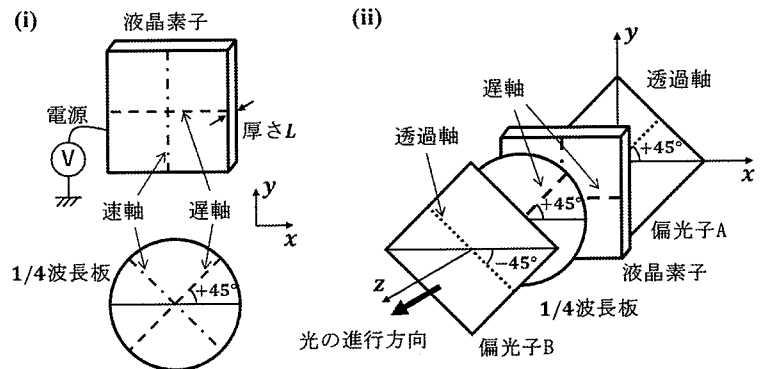


図 2

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

2

光波動工学

【前ページから続く】

- (2) 図3のように屈折率の異なる透明な媒質の境界面に入射する平面波について考える。 $z < 0$ の領域の屈折率は n_0 、 $z > 0$ の領域の屈折率は n_1 であり、 $n_0 < n_1$ であるとする。また、入射光の波数ベクトルは xz 平面内にあるものとし、入射角、反射角、屈折角をそれぞれ θ 、 θ' 、 ϕ とする。

- (a) $\overline{OA}$ 、 $\overline{BA'}$ は等位相面を表す。このことを用いてスネルの法則を示せ。同様に、 $\overline{OA}$ 、 $\overline{CA'}$ が等位相面であることから反射の法則を導け。

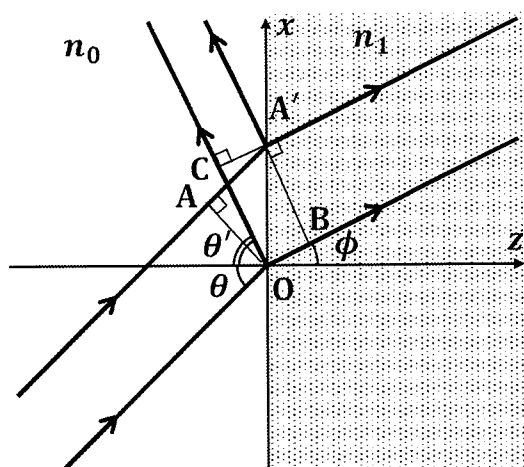


図3

平面波が $z < 0$ の領域から $z > 0$ の領域に向けて、境界面に対して垂直($\theta = 0$)に入射する場合を考える。このとき境界面での振幅反射率 r および振幅透過率 t はそれぞれ $r = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}$, $t = \frac{2n_1}{n_0 + n_1}$ で与えられる。平面波の真空中での波長を λ 、空気の屈折率を1として、以下の間に答えよ。

- (b) 空気から屈折率1.5の媒質へ平面波が垂直に入射する際のパワー反射率を求めよ。

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

2

光波動工学

【前ページから続く】

図4のように、空気とガラスの間に屈折率 n_{AR} ($1 < n_{AR} < n_{gl}$)、厚さ d の透明な誘電体薄膜を挿入すると、多重反射による干渉の結果、特定の条件下では反射光が消失する。この条件について考える。ただし、 r_1, r_2 はそれぞれ、境界面①、②において z 軸の正の向きに入射する光の振幅反射率、 t_1, t_2 は同じく振幅透過率であり、 r'_1, t'_1 はそれぞれ、境界面①において z 軸の負の向きに入射する光の振幅反射率および振幅透過率である。

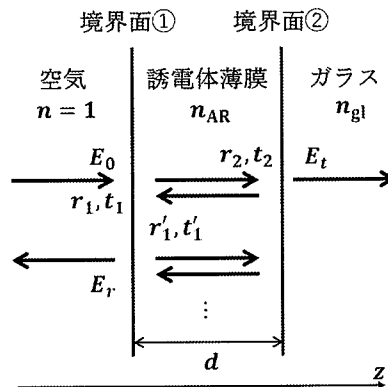


図4

- (c) 誘電体薄膜中を一往復する際の光の位相変化を 2δ として、境界面①における反射光の電場振幅 E_r と入射光の電場振幅 E_0 との関係を求めることにより、境界面①でのパワー反射率が

$$R = \left| \frac{r_1 + r_2 e^{2i\delta}}{1 + r_1 r_2 e^{2i\delta}} \right|^2$$

と表せることを示せ。ただし、 $r'_1 = -r_1$ 、 $r_1^2 + t_1 t'_1 = 1$ であることと、 $0 < a < 1$ の場合に無限等比級数の和が $\sum_{m=0}^{\infty} a^m = \frac{1}{1-a}$ となることを必要に応じて用いてよい。

- (d) $R = 0$ となるためには $r_1 = r_2$ となる必要がある。この条件を満たす n_{AR} を求めよ。また、このときの膜厚 d の最小値を求めよ。

真空: vacuum, 軸: axis, 波長: wavelength, 単色平面波: monochromatic plane wave, 偏光: polarization, 偏光子: polarizer, 透過軸: transmission axis, 透過光: transmitted light, 入射光: incident light, 単位ベクトル: unit vector, ジョーンズベクトル: Jones vector, 液晶: liquid crystal, 波長板: wave plate, 遅軸: slow axis, 印加電圧: applied voltage, 屈折率: refractive index, 速軸: fast axis, 位相遅れ: phase retardation, 透明: transparent, 媒質: medium, 境界面: boundary surface, 波数: wave number, 入射角: angle of incidence, 反射角: reflection angle, 屈折角: refraction angle, 波動方程式: wave equation, 誘電率: permittivity, 透磁率: permeability, 等位相面: equiphase surface, スネルの法則: Snell's law, 反射の法則: law of reflection, 振幅反射率: amplitude reflectance, 振幅透過率: amplitude transmittance, パワー反射率: power reflectance, 誘電体薄膜: dielectric thin film, 多重反射: multiple reflections, 干渉: interference, 膜厚: film thickness

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

3

量子力学／統計力学

座標原点に関する角運動量 $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$ の固有関数, 固有値について考える。但し, 位置座標 $\mathbf{r}$, 運動量 $\mathbf{p}$ は, 次の正準交換関係を満たす。

$$[r_j, p_k] = i\hbar\delta_{jk}, [p_j, p_k] = 0, [r_j, r_k] = 0 \quad (j, k = x, y, z)$$

以下では, 角運動量の j 成分 ($j = x, y, z$) を L_j , その二乗和を $\mathbf{L}^2 = L_x^2 + L_y^2 + L_z^2$, $L_{\pm} = L_x \pm iL_y$ とする。この時, $L_-^\dagger = L_+$ である。

- (1) 一般の演算子 A, B, C, D について以下の公式

$$[AB, CD] = A[B, C]D + [A, C]BD + CA[B, D] + C[A, D]B$$

が成立することに注意して, 交換関係 $[L_x, L_y]$ を L_z の線形結合で表せ。

- (2) 交換関係 $[L_z, L_{\pm}]$ を $L_{\pm}$ の線形結合で表せ。

- (3) L_-L_+, L_+L_- を $\mathbf{L}^2, L_z$ を用いて表せ。

- (4) 一般の演算子 A, C, D について以下の公式

$$[A, CD] = [A, C]D + C[A, D]$$

が成立することに注意して, $[L_z, L_x^2], [L_z, L_y^2]$ を L_x, L_y で表せ。

- (5) L_z と $\mathbf{L}^2$ が可換であることを示せ。

以下では $\mathbf{L}^2$ と L_z の同時固有関数 $u_{\lambda, \mu}$ を考える:

$$\mathbf{L}^2 u_{\lambda, \mu} = \lambda u_{\lambda, \mu}, \quad L_z u_{\lambda, \mu} = \mu u_{\lambda, \mu}$$

- (6) 以下の等式が成立することを示せ。

$$L_z L_{\pm} u_{\lambda, \mu} = (\mu \pm \hbar) L_{\pm} u_{\lambda, \mu}$$

- (7) 以下の関係式を示せ。

$$\|L_{\pm} u_{\lambda, \mu}\|^2 = \{\lambda - \mu(\mu \pm \hbar)\} \|u_{\lambda, \mu}\|^2 \quad (\text{複号同順})$$

但し, 一般の波動関数 $\psi(\mathbf{r})$ に対して $\|\psi\|^2 = \langle \psi | \psi \rangle$ で定義される。

- (8) 前問の関係式は μ には最大値, 最小値 $\mu_{\max}, \mu_{\min}$ が存在して

$$\lambda = \mu_{\max}(\mu_{\max} + \hbar)$$

$$\lambda = \mu_{\min}(\mu_{\min} - \hbar)$$

を満たす事を意味する。この事と問 (6) の式から $\mu_{\max}, \mu_{\min}$ の取りうる値を定めよ。

【次ページに続く】

大学院情報理工学研究科 博士前期課程：一般入試（2024 年 8 月 16 日実施）

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

3

量子力学／統計力学

【前ページから続く】

座標原点: coordinate origin, 角運動量: angular momentum, 固有関数: eigenfunction, 固有値: eigenvalue, 位置座標: location coordinate, 運動量: momentum, 正準交換関係: canonical commutation relation, 二乗和: sum of squares, 演算子: operator, 線形結合: linear combination, 可換: commutative, 同時固有関数: simultaneous eigenfunction, 複号同順: compound same order, 最大値: maximum value, 最小値: minimum value

問 題

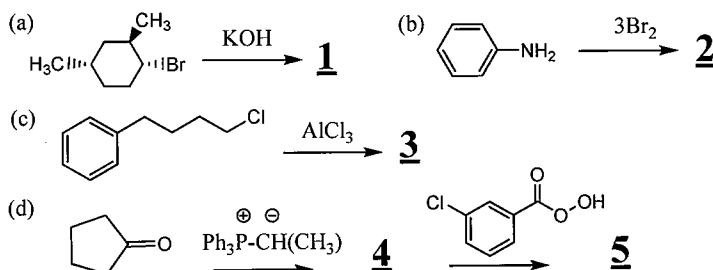
基盤理工学専攻

科目の番号

4

無機・有機化学

- (1) 無機金属錯体の電子配置や磁気的性質について、以下の問に答えよ。ただし Fe の原子番号は 26 である。
- (a) 8 面体錯体および 4 面体錯体のそれぞれにおいて、d 電子が何個から何個の範囲のときに高スピン錯体型と低スピン錯体型の両方が観測されうるか。
- (b) $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ および $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ の結晶場分裂エネルギー (Δ_0) は、それぞれ 33000 cm^{-1} および 10400 cm^{-1} である。また、スピン対の形成に必要なエネルギー (B) は 17600 cm^{-1} である。それぞれの錯イオンは、どのような基底スピン状態になっているかを、エネルギー準位図を描いて示せ。その際、電子配置は上向きまたは下向きの矢印 ($\uparrow$ または $\downarrow$) を用いて明記せよ。また、どのような根拠でそのようなエネルギー準位図としたかを、文章でも簡潔に説明せよ。
- (2) 原子価殻電子対反発 (valence-shell electron-pair repulsion; VSEPR) 則に関する以下の問に答えよ。なお、VSEPR 則とは局在化結合理論の一つであり、中心原子の周りの価電子は対を形成し、その電子対間の反発を最小にするように原子が配置されることで立体構造を形成するとの考え方である。
- (a) VSEPR 則の考え方にに基づき、次のア)～エ) に述べる分子の立体構造を、孤立電子対も含めてアンモニア (NH_3) の例にならって示せ。ただし I の原子番号は 53 である。
- 例: NH_3  ア) H_2S , イ) ICl_5 , ウ) BF_3 , エ) SF_4
- (b) VSEPR 則の考え方は非常に単純化されているため、構造予測において限界がある場合や適用できない場合も多い。どのような問題や限界が生じるか、分子構造または化合物名の具体例を挙げて説明せよ。
- (3) (a)～(e) に示した反応における優先生成物の化学構造式 (1～8) を、それぞれ 1 つ書け。その際、特定の立体構造が発生する場合に関しては立体化学を明記するとともに、反応機構を巻矢印または文章を用いて説明せよ。



【次ページに続く】

問 題

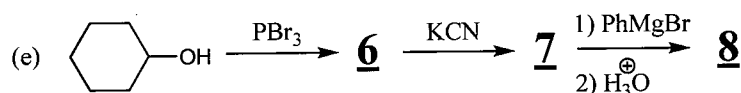
基盤理工学専攻

科目の番号

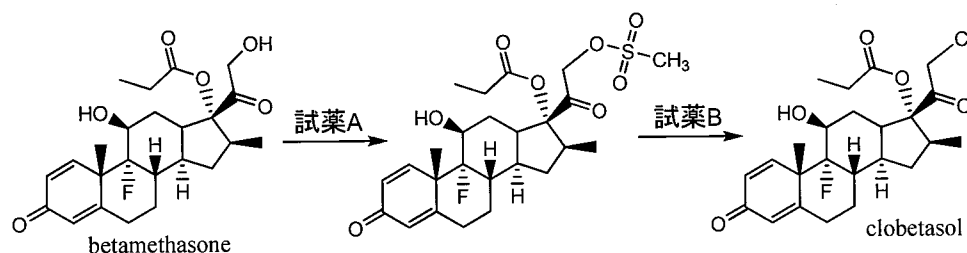
4

無機・有機化学

【前ページから続く】



- (4) 皮膚炎やケロイドなどの皮膚疾患の治療に用いられる clobetasol は、同じく抗炎症薬として知られている betamethasone を出発物質として 2 段階で化学合成される。以下の間に答えよ。なお、反応に関与しない部分構造は全て R と略して表記してもよい。



- (a) 二つの薬剤に共通した骨格として、3 つの 6 員環と 1 つの 5 員環がつながった構造がある。この構造は、抗炎症作用をはじめ様々な生理活性を持つことが知られている。この分子骨格を総称して何と呼ぶか。
- (b) 各反応で用いる試薬 A および B を示し、それぞれの反応式を、巻矢印を使って記せ。
- (c) 試薬 B を用いた 2 段階目の反応は、十分に脱水した pyridine または *N,N*-dimethylformamide のような極性非プロトン性溶媒を用いて行う。なぜこれらの溶媒を用いて反応を行う必要があるかを、図や文章を用いて説明せよ。
- (d) 本外用薬の日本における格付けは 5 段階中 5 (strongest) である。理由の一つとして、clobetasol は潜在的に、タンパク質に含まれる 20 種類の天然型アミノ酸の中で、特定のアミノ酸と共有結合を形成し、タンパク質を強く不可逆的に阻害しうる可能性を持つことが考えられる。反応しうるアミノ酸とは何かを明記したのち、そのアミノ酸と clobetasol との反応式を、巻矢印を使って記せ。

錯体：complex，電子配置：electron configuration，原子番号：atomic number，高スピン：high spin，低スピン：low spin，結晶場分裂：crystal-field splitting，錯イオン：complex ion，基底：ground，局在化結合理論：localized bond theory，価電子：valence electron，優先生成物：main product，立体化学：stereochemistry，試薬：reagent，極性非プロトン性溶媒：polar aprotic solvent，共有結合：covalent bond

問 題

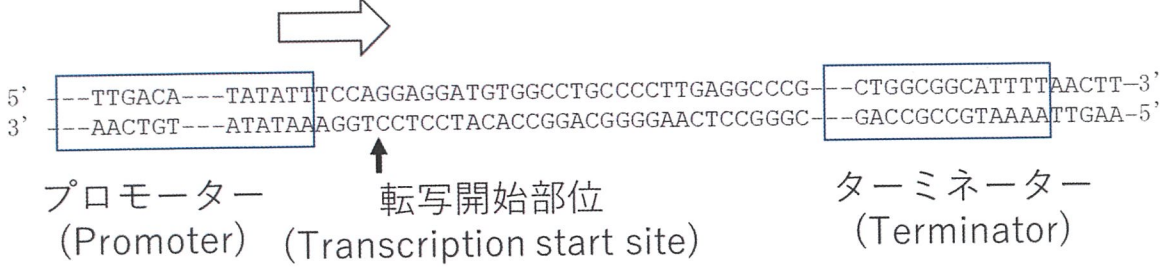
基盤理工学専攻

科目の番号

5

分子生物学／生物化学

(1) 以下の図は大腸菌のゲノム DNA の一部を示している。プロモーター領域に RNA ポリメラーゼが結合して mRNA 合成が始まるが、黒の矢印は転写開始部位、白の矢印は RNA ポリメラーゼが mRNA を合成しながら進む向きを示している。この図をもとに以下の設問に答えよ。



- (a) プロモーター領域が RNA ポリメラーゼの進む向きを決定する機構を 2～3 行で述べよ。
- (b) 合成される mRNA の 3' 末端の 4 塩基を記載せよ。
- (c) 合成された mRNA から翻訳されるタンパク質のアミノ酸配列を下記のコドン表を参考に記載せよ。

1 文字目	2 文字目				3 文字目
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	終止	終止	A
	Leu	Ser	終止	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met(開始)	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

5

分子生物学／生物化学

【前ページから続く】

- (d) タンパク質に含まれるアミノ酸のうち、酸性アミノ酸を全て答えよ。また、なぜ酸性を示すのかその理由を1行程度で述べよ。
- (e) 大腸菌の mRNA についての以下の文章の正誤を判別し、誤っている部分を修正せよ。
- ① 大腸菌の mRNA はスプライシングを受けない。
 - ② 大腸菌の mRNA はウラシルを含んでいない。
 - ③ 大腸菌の mRNA は複数のタンパク質をコードしていることがある。
 - ④ 大腸菌の mRNA にリボソームは結合しない。
 - ⑤ 大腸菌の mRNA に含まれる糖はデオキシリボースである。
- (2) DNA 複製について以下の設問に答えよ。
- (a) 複製フォークにおいて、新たな DNA 合成が行われる様子を図示せよ。その際、DNA ポリメラーゼが 5' → 3' の向きにしか DNA を合成できないことに留意し、岡崎フラグメントを明示して、リーディング鎖とラギング鎖の違いや DNA の極性が分かるようにすること。タンパク質は示す必要はない。
- (b) DNA 複製の際の誤りは、誤ったヌクレオチドを除去して正しいヌクレオチドに置き換えることで、速やかに修正される。この修正のためには 5' → 3' の向きにしか DNA を伸長できない DNA ポリメラーゼの性質がかかわっている。もし 3' → 5' 向きに DNA を伸長すると複製ミスを修正できない理由を 4～5 行程度で述べよ。
- (c) 真核生物のゲノム DNA の複製には両末端の特殊な配列が必要となる。この配列の名前を答えよ。さらにこの配列が末端部分の複製に果たす役割を 2～3 行程度で述べよ。
- (d) 大腸菌のゲノム DNA の複製には(c)の配列を必要としない。その理由を1行で述べよ。
- (e) 真核生物のゲノム DNA は末端の構造以外にも大腸菌のゲノム DNA とは異なっている点がある。異なっている点をイントロンという語句を用いて1～2行で述べよ。

大腸菌: E. coli, ゲノム: genome, プロモーター: promoter, ポリメラーゼ: polymerase, 転写開始部位: transcription start site, タンパク質: protein, アミノ酸: amino acid, コドン: codon, スプライシング: splicing, ウラシル: uracil, リボソーム: ribosome, デオキシリボース: deoxyribose, 複製フォーク: replication fork, 岡崎フラグメント: Okazaki fragment, リーディング鎖: leading strand, ラギング鎖: lagging strand, 極性: polarity, ヌクレオチド: nucleotide, 真核生物: eukaryote, イントロン: intron

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

6

基礎数学

(1) 行列 $A = \begin{bmatrix} 3 & -5 & 2 \\ 7 & -12 & 3 \\ 1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$ に対して、以下の問に答えよ。

- (a) a_i を A の第 i 列とする ($i = 1, 2, 3$)。 a_3 を a_1, a_2 の 1次結合 で表せ。
 (b) 行列式 $|A|$ の値を求めよ。
 (c) A の 固有値 をすべて求めよ。

(2) 二つのパラメータをもって定義されたベクトル

$$\mathbf{r}(\mu, \nu) = \mu \cos \nu \mathbf{i} + \mu \sin \nu \mathbf{j} + (4 - \mu^2) \mathbf{k} \quad (0 \leq \mu \leq 2, 0 \leq \nu \leq 2\pi)$$

で与えられる曲面 S がある。 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ は、それぞれ x, y, z 方向の 単位直交ベクトル である。曲面 S と xy 平面との交線を 曲線 C とする。ただし、 z の正の側から見て反時計回りを曲線 C の向きとする。

- (a) S がどのような曲面であるか特徴がわかるように図示せよ。その図中に C がどのような曲線か描け。
 (b) 曲面 S と $z = 0$ の平面で囲まれた体積 $\iiint_V dV$ を求めよ。
 (c) ベクトル $\mathbf{A}(x, y, z) = (x^2 + y - 4)\mathbf{i} + 3xy^2\mathbf{j} + (2xz + z^2)\mathbf{k}$ について、 $\nabla \times \mathbf{A}$ を計算せよ。また、

$$\iint_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot \mathbf{n} dS$$

を計算せよ。 $\mathbf{n}$ は曲面 S の 単位法線ベクトル (外向き) である。

(d) 曲線 C に沿ってベクトル $\mathbf{A}$ の 線積分 $\int_C \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}$ を計算せよ。 ストークスの定理 を利用してもよい。

(3) 周期 2π の 周期関数 $f(x) = x(\pi - x)$ ($-\pi \leq x \leq \pi$) は

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

と展開できる。以下の問に答えよ。

- (a) フーリエ係数 a_n ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) を求めよ。
 (b) フーリエ係数 b_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) を求めよ。

行列: matrix, 1次結合: linear combination, 行列式: determinant, 固有値: eigenvalue, 曲面: curved surface, 単位直交ベクトル: orthogonal unit vector, 曲線: curve, 単位法線ベクトル: unit normal vector, 線積分: line integral, ストークスの定理: Stokes' theorem, 周期関数: periodic function, フーリエ係数: Fourier coefficient.

問 題

基盤理工学専攻

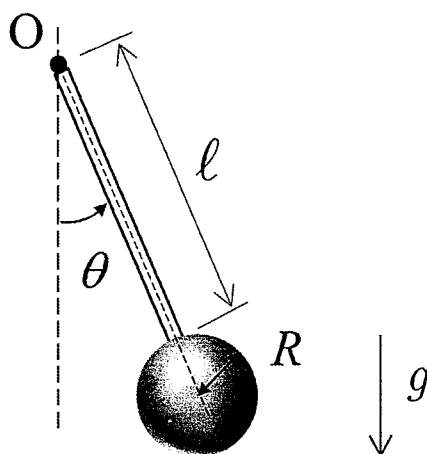
科目の番号

7

力学

半径 R 質量 M の密度が一樣な球と長さ ℓ の軽い棒からなる図のような実体振り子を考える。振り子は、支点 O にある紙面に垂直な回転軸のまわりを摩擦なく自由に回転できるものとする。図のように O を通る鉛直軸からの回転角を θ 、重力加速度を g として、以下の問に答えよ。ただし、回転軸方向については、紙面から手前に向かう向きを正の向きとする。

- (1) 重力が振り子におよぼす力のモーメントの大きさ N を θ の関数として求めよ。ただし、符号も含めて答えよ。
- (2) $\theta = 0$ を基準とした振り子の位置エネルギー U を θ の関数として求め、それを $0 \leq \theta \leq 4\pi$ の範囲で図示せよ。
- (3) 半径 R 質量 M の一樣な球の重心を通る軸まわりの慣性モーメント I_0 が、
$$I_0 = \frac{2}{5}MR^2$$
 となることを示せ。
- (4) 支点 O の回転軸に関する実体振り子の慣性モーメント I を求めよ。
- (5) 支点 O の回転軸まわりの実体振り子の回転運動の方程式を記せ。
- (6) θ が小さい場合の微小振動の周期 T を求めよ。また、微小振動の際に、振り子が最下点を通過するときにもつ回転軸方向の角運動量の大きさ L_0 を求めよ。ただし、振れの最大角を θ_1 とする。
- (7) 振り子が最下点で静止しているときに、球に回転面内水平方向の初速 v_0 を与えて、振り子に支点 O のまわりで連続した回転運動を起こさせる。回転運動を起こすための v_0 の条件を求めよ。



【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

7

力学

【前ページから続く】

半径：radius, 質量：mass, 密度：density, 実体振り子：physical pendulum, 支点：pivot point, 回転軸：rotation axis, 摩擦：friction, 鉛直軸：the direction of gravity, 回転角：rotation angle, 重力加速度：gravitational acceleration, 紙面から手前に向かう向き：the direction out of the page, 力のモーメント：moment of force, 位置エネルギー：potential energy, 慣性モーメント：moment of inertia, 回転運動：rotation motion, 微小振動：micro oscillation, 周期：period, 角運動量：angular momentum, 水平方向：horizontal direction, 初速：initial speed

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

8

電磁気学

- (1) 図1のように真空中の位置 $(0,0,d)$ に点電荷 $+q$ ，位置 $(0,0,-d)$ に点電荷 $-q$ がある ($q > 0$)。原点 O から十分離れた点 P の位置ベクトルを $\vec{r} = (x,y,z)$ とする。ここで $|\vec{r}| \gg d$ が成り立つとき，真空の誘電率を ϵ_0 として以下の問に答えよ。
- (a) この系における電気双極子モーメント $\vec{p}$ を求めよ。
- (b) 前問の電気双極子モーメントの大きさ $|\vec{p}|$ を用いて点 P における電位を表せ。ただし $\frac{d}{|\vec{r}|}$ の1次近似式を用い，無限遠方の電位を0とする。

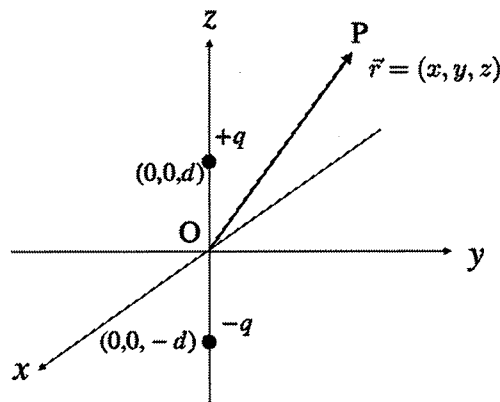


図1

- (2) 図2のように一様な電荷密度 ρ で電荷が分布した誘電体球殻(外半径 b ，内半径 a ，中心から距離 a までは真空)が真空中に置かれている。誘電体の誘電率を ϵ ，真空の誘電率を ϵ_0 として以下の問に答えよ。
- (a) 誘電体球殻の中心から距離 r における電場の大きさ $E(r)$ を $r < a$ ， $a < r < b$ ， $b < r$ の各領域で求めよ。
- (b) 中心から距離 $r = a$ における電位を求めよ。ただし無限遠方の電位を0とする。

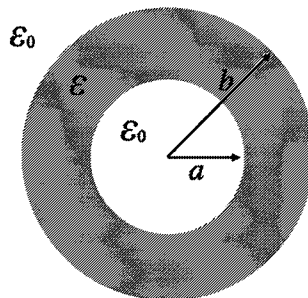


図2

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

8

電磁気学

【前ページから続く】

- (3) 真空中に配置された円形コイルに関して、真空の透磁率を μ_0 として以下の間に答えよ。ここで、コイルの導線の太さはコイルの半径よりも十分に細く、コイルの端の効果は無視できるものとする。

図3のように x 軸を中心軸として点 O を中心とする半径 a の1巻きの円形コイルに電流 I を流した。

- (a) 点 O から距離 d だけ離れた x 軸上の点 P および点 O における磁束密度の大きさ B_P と B_O をそれぞれ求めよ。

図4のように x 軸を中心軸とする半径 b 、長さ l のソレノイドに電流 I を流した。ここでソレノイドの中心位置を点 O とし(図4)、単位長さあたりの巻数を n_1 とする。

- (b) 図4のようにコイルの両端と x 軸上の点 Q がなす角をそれぞれ θ_1 、 θ_2 とするとき、点 Q に生じる磁束密度の大きさ B_Q を求めよ。
 (c) コイルの長さ l が半径 b に対して十分大きいとき ($l \gg b$)、コイルの端となる x 軸上の点 R における磁束密度の大きさ B_R と点 O における磁束密度の大きさ B_O の比を求めよ。

前問のソレノイドの長さ l が無限に長いものとする。

- (d) ソレノイドの内外に生じる磁束密度の大きさをアンペールの法則を用いて求めよ。
 (e) 図4で示したソレノイドの内部に x 軸を中心軸として点 O を中心とする半径 a ($a < b$) の1巻きの円形コイルを配置する(図5)。ソレノイドに交流電流 I を流すことによりソレノイド内部に磁束密度 $B(t) = B_0 \cos \omega t$ が生じるとき、1巻きの円形コイルに生じる誘導起電力 $V(t)$ の最大値を求めよ。ここで t は時間、 ω は角周波数である。

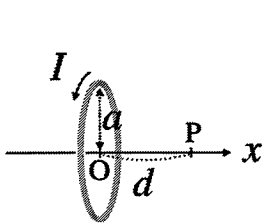


図3

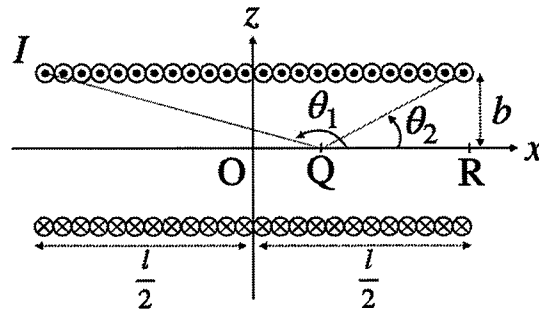


図4

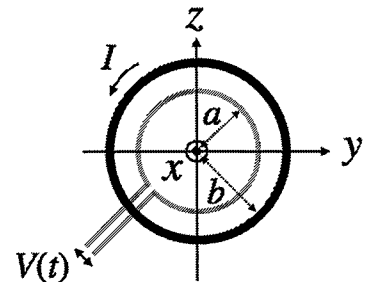


図5

真空: vacuum, 点電荷: point charge, 誘電率: dielectric constant, 電気双極子モーメント: electric dipole moment, 電位: electric potential, 1次近似式: first order approximation, 無限遠方: infinite distance, 電荷密度: charge density, 誘電体球殻: dielectric spherical shell, コイル: inductor, 透磁率: magnetic permeability, 導線: conductive wire, 磁束密度: magnetic flux density, ソレノイド: solenoid, 電流: electric current, アンペールの法則: Ampere's law, 誘導起電力: induced electromotive force, 角周波数: angular frequency

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

9

光・電子デバイス基礎

- (1) p 型半導体中のキャリアの振る舞いについて以下の問に答えよ。ここでアクセプタ密度を N_A 、真性キャリア密度を n_i 、素電荷を q 、ボルツマン定数を k 、絶対温度を T とする。
- (a) 熱平衡状態における p 型半導体のバンド図を描け。ただし、価電子帯の頂上、伝導帯の底、真性フェルミ準位およびフェルミ準位を、それぞれ E_v 、 E_c 、 E_i および E_f とする。
- (b) フェルミ電位を ϕ_f とすると $q\phi_f = E_i - E_f$ が成り立つ。熱平衡状態における正孔密度 p_0 および伝導電子密度 n_0 を、フェルミ電位 ϕ_f を用いて示せ。またアクセプタが全てイオン化していると仮定したとき、フェルミ電位 ϕ_f を求めよ。

半導体中を x 方向に流れる正孔電流密度 J_p および電子電流密度 J_n は、それぞれドリフト電流および拡散電流の和として次式で表される。

$$J_p = qp\mu_p E_x - qD_p \frac{dp}{dx}$$

$$J_n = qn\mu_n E_x + qD_n \frac{dn}{dx}$$

ここで p および n は正孔密度および伝導電子密度、 μ_p および μ_n は正孔および伝導電子の移動度、 E_x は x 方向の電界、 D_p および D_n は正孔および伝導電子の拡散係数である。

- (c) p 型半導体では多数キャリアである正孔電流 J_p が支配的となる。平衡状態においてアクセプタ密度 N_A が x 方向に変化するとそれに伴い真性フェルミ準位 E_i が変化する。この結果、 $E_x = \frac{1}{q} \frac{dE_i}{dx}$ の内部電界が発生する。以上のことから、移動度 μ_p と拡散係数 D_p の関係を導出せよ。

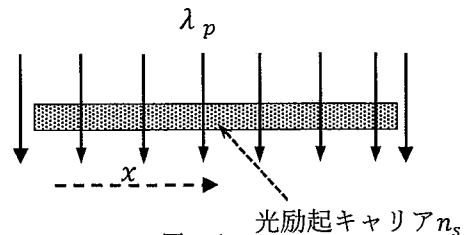
次にキャリア密度が均一な p 型半導体小片に光照射し、キャリアが生成されたときの伝導電子の振る舞いを考える。小片は光の侵入長に対して薄く、キャリアの生成割合 G は光の照射方向に対し均一であるとする。このとき、伝導電子に対する連続の方程式は次式で表すことができる。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \frac{\partial J_n}{\partial x} + G - R$$

ここで、 n は時間 t および照射面内方向 x に依存する伝導電子密度、 R は単位時間当たりの伝導電子の再結合による消滅割合である。光の照射量は熱平衡状態の伝導電子密度 n_0 に対し伝導電子密度を著しく増大させるが、多数キャリアの正孔密度 p_0 にはほとんど影響を与えない水準とする。

- (d) 禁制帯幅 E_g の直接遷移型半導体について、キャリア生成を可能にする照射光の波長 λ_p の条件を示せ。ただし、プランク定数を h 、光の速度を c とする。

- (e) p 型半導体小片全面に図 1 のように波長 λ_p の光を均一に照射した。伝導電子の寿命を τ_n として消滅割合 R を示し、定常状態における伝導電子密度 n_s を求めよ。



【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

9

光・電子デバイス基礎

【前ページから続く】

- (f) 前問の定常状態から時刻 $t = 0$ で光照射を切ったとき、時間 t に対する伝導電子密度 $n(t)$ の変化を求め、図示せよ。

- (g) 図 2 のように半導体小片上に遮蔽板を置き光照射したときを考える。照射領域で生成された伝導電子は拡散電流として遮蔽領域に流出する。このとき照射領域の伝導電子密度 n_s は一様で拡散の影響は無視できるものとし、遮蔽領域はキャリアの拡散長に対し十分な長さがあるとす

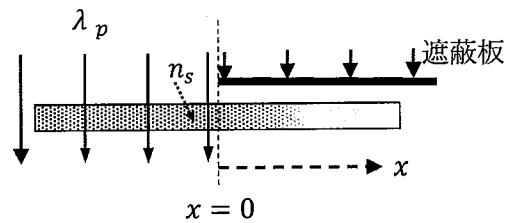


図 2

る。遮蔽板に沿った方向を x 方向、遮蔽板の左端を $x = 0$ とし、定常状態における遮蔽領域中の伝導電子分布 $n(x)$ を求め、図示せよ。また、このときの伝導電子の拡散長はいくらか。

- (2) 電極となる金属と n 型半導体のショットキー接合の平衡状態におけるバンド構造を図 3 に示す。ここで $q\phi_M$, $q\phi_s$ および $q\chi_s$ はそれぞれ金属の仕事関数、半導体の仕事関数および電子親和力である。このとき金属と半導体の間には伝導電子に対するエネルギー障壁 $q\phi_B$ が生じる。同時にエネルギーバンドが曲がり、内部電位 ϕ_d が発生する。 n 型半導体のドナーイオン密度を N_D^+ 、誘電率を ϵ として以下の問に答えよ。

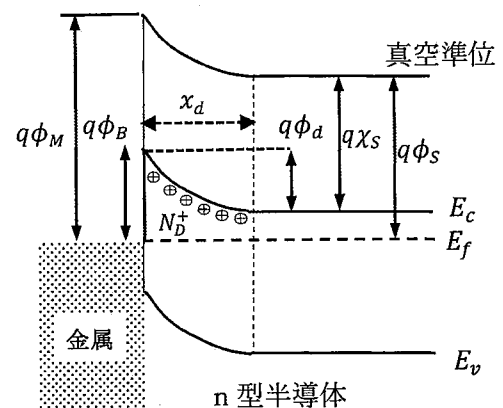


図 3

- (a) ショットキー障壁高さ ϕ_B はいくらか。
 (b) 内部電位 ϕ_d により空乏層が形成される。このときの空乏層厚 x_d を求めよ。
 (c) 空乏層により静電容量 C が形成される。電極に負バイアスを印加することで空乏層が広がり静電容量が変化する。印加電圧 V とすると電位は $\phi_d - V$ となり空乏層厚は変化する。このとき電極面積を S として $\frac{1}{C^2} - V$ プロットを示し、その特性から ϕ_d および N_D^+ の見積もり方を述べよ。
 (d) ショットキー接合においても pn 接合と同様に整流特性が得られる。このときキャリアの振る舞いについて pn 接合との違いを説明せよ。

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

9

光・電子デバイス基礎

【前ページから続く】

p 型半導体：p-type semiconductor, キャリア：carrier, 振る舞い：behavior, アクセプタ密度：acceptor concentration, 真性キャリア密度：intrinsic carrier concentration, 素電荷：elementary charge, ボルツマン定数：Boltzmann constant, 絶対温度：absolute temperature, 熱平衡状態：thermal equilibrium, 価電子帯の頂上：top of valence band, 伝導帯の底：bottom of conduction band, 真性フェルミ準位：intrinsic Fermi level, フェルミ電位：Fermi potential, 正孔：hole, 伝導電子：conduction electron, イオン化：ionization, 電流密度：current density, ドリフト電流：drift current, 拡散電流：diffusion current, 移動度：mobility, 電界：electric field, 拡散係数：diffusion coefficient, 内部：built-in, 小片：chip, 光照射：light irradiation, 侵入長：penetration depth, 生成割合：generation rate, 再結合：recombination, 消滅割合：annihilation rate, 水準：level, 禁制帯幅：forbidden energy gap, 直接遷移型：direct bandgap, プランク定数：Planck constant, 光の速度：light velocity, 寿命：lifetime, 定常状態：steady state, 遮蔽：shield, 領域：region, 拡散長：diffusion length, 分布：distribution, ショットキー接合：Schottky junction, 仕事関数：work function, 電子親和力：electron affinity, 障壁：barrier, 誘電率：permittivity, 空乏層：depletion layer, 静電容量：electrostatic capacitance, 電極面積：electrode area, pn 接合：pn-junction, 整流：rectification

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

10

物理化学

- (1) 図1に示すように分子1における2つのメチルベンゼン部分同士の2面角(θ)は分子2の θ よりも小さい。図2は2つのメチルベンゼン同士が結合して分子1や分子2を構成する時に、HOMO(the highest occupied molecular orbital)やLUMO(the lowest unoccupied molecular orbital)やそれらのエネルギーがどのように変化するのかを示したダイアグラムである。図2において準位内の矢印は電子を示し、矢印の上下の向きは電子のスピンの状態の違いを示している。このとき以下(a)から(d)の間に答えよ。

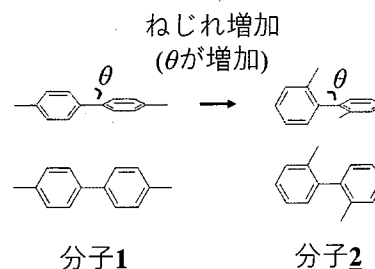


図1

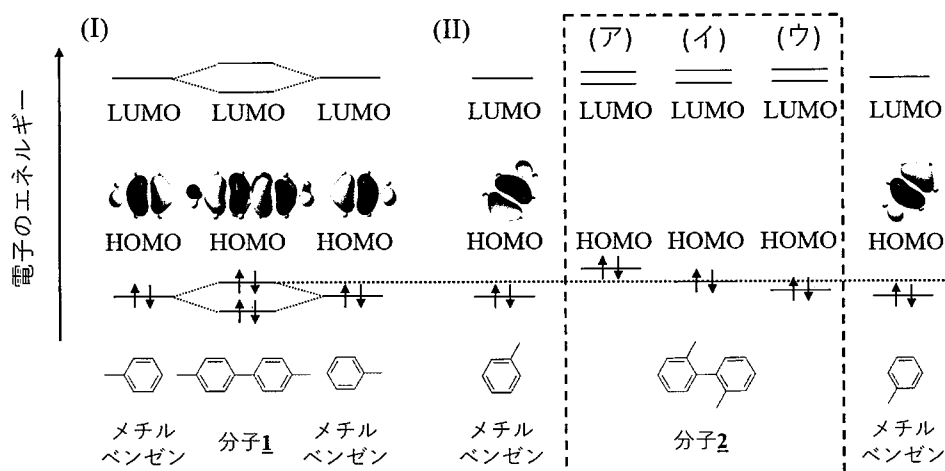


図2

- (a) 分子1のHOMOとLUMOの間のエネルギー E は4.87 eVであった。HOMOからLUMOの電子遷移に対応する光の吸収波長をnmの単位で有効数字3桁で示せ。ただし、プランク定数 $h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ および光速 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ を用いよ。
- (b) 図2(I)に示す通り、分子1では2つのメチルベンゼンのHOMO同士が重なり合うことで軌道のエネルギーが分裂し結合性軌道や反結合性軌道を形成する。2つの軌道の分裂エネルギー幅は隣接する2つのメチルベンゼンのHOMO同士の重なり合いが大きいほど大きくなる。また、隣接する2つの π 軌道の重なり合いは2つの π 軌道が平行に接する場合が最も大きくなり、捻じれるほど小さくなる。分子2のHOMO準位とLUMO準位を適切に表しているものを図2(II)の破線内の(ア)列から(ウ)列の中から一つ選択せよ。
- (c) 紫外可視波長域において分子1と分子2ではどちらが長波長側に吸収を示すか。図2および(b)の結果に基づき3行程度で説明せよ。
- (d) 分子1や2内に含まれるビフェニルの蛍光量子収率は一般的に低い。光吸収して励起一重項状態が形成された時に蛍光量子収率の向上を阻害する2つの過程を答えよ。

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

10

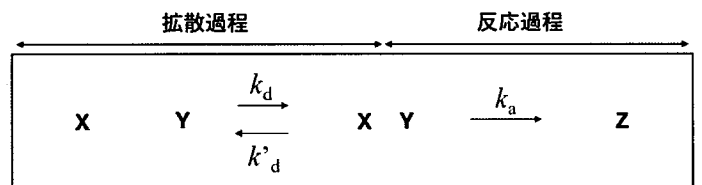
物理化学

【前ページから続く】

- (2) 図3のようにXとYの拡散過程を経て遭遇対XYを形成し、その後の反応過程を経てZが生成される際の速度 v が、絶対温度 T の条件で以下の式(i)および式(ii)で表されるとする。

$$v = \frac{k_a k_d}{k_a + k'_d} [X][Y] \quad \dots \dots (i)$$

$$k_a = 10^{11} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \dots \dots (ii)$$



$[X] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$, $[Y] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$, $E_a = 16.6 \text{ kJ mol}^{-1}$
 $k_d = 1.0 \times 10^9 \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $k'_d = 1.0 \times 10^8 \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $R = 8.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

図 3

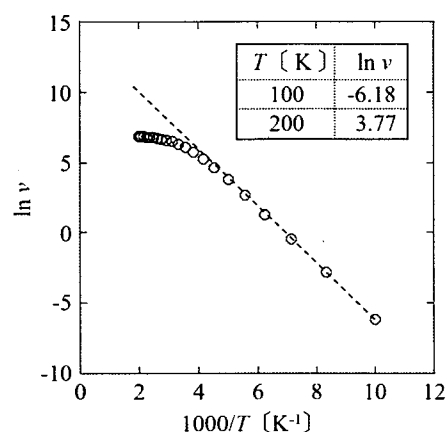


図 4

ここで、 $[X]$ と $[Y]$ はそれぞれXおよびYの濃度、 k_d は拡散によりXYが形成する速度定数、 k'_d はXYがXとYに分裂する速度定数、 k_a は反応によってXYからZが生成する速度定数 $[\text{L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}]$ 、 E_a はXYからZが生成する反応の活性化エネルギー、 R は気体定数である。温度を変化させて反応を行い v を計測したところ図4のようになった。図4の破線は100 Kと200 K間のデータにおける最小二乗法によって決定された直線である。この反応の $[X]$ 、 $[Y]$ 、 E_a 、 k_d 、 k'_d 、そして R が図3中に示される値である場合に以下の(a)から(d)の間に答えよ。ただし、 k_d と k'_d は温度によらず一定とし、必要に応じて $\exp(-20) = 2.1 \times 10^{-9}$ 、 $\exp(-5) = 6.7 \times 10^{-3}$ を用いよ。

- (a) 図4の破線の直線部分は式(ii)を反映している。図4内のデータを用いて E_a が16~17 kJ mol^{-1} となる過程を導出せよ。
- (b) 100 Kで反応を行った際の v の値 $[\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}]$ を式(ii)を使って有効数字2桁で答えよ。
- (c) 400 Kで反応を行った際の v の値 $[\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}]$ を式(ii)を使って有効数字2桁で答えよ。
- (d) 図4で低温側では温度増加とともに直線的に v が増加するのに対して、高温側では v の値が飽和していく理由を、(b)と(c)を踏まえて k_a と k'_d の値の観点から2~3行程度で説明せよ。

メチルベンゼン: methylbenzene, 2面角: dihedral angle, ダイアグラム: diagram, 準位: state, 電子: electron, スピン: spin, 電子遷移: electronic transition, 吸収波長: absorption wavelength, プランク定数: Planck constant, 光速: speed of light, 結合性軌道: bonding orbital, 反結合性軌道: antibonding orbital, π 軌道: π -orbital, 紫外可視波長: ultraviolet-visible wavelength, ビフェニル: biphenyl, 蛍光量子収率: fluorescence quantum yield, 励起一重項状態: excited singlet state, 拡散: diffusion, 遭遇対: encounter pair, 反応: reaction, 速度: rate, 絶対温度: absolute temperature, 濃度: concentration, 速度定数: rate constant, 活性化エネルギー: activation energy, 気体定数: gas constant, 最小二乗法: least squares method

問 題

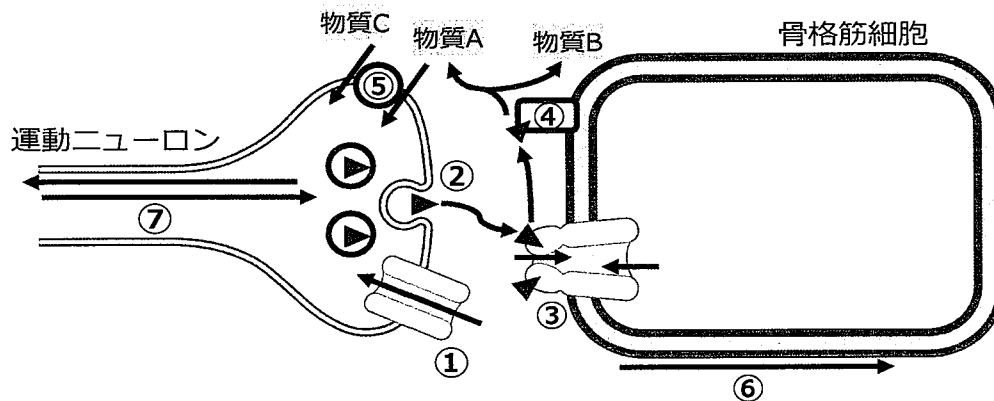
基盤理工学専攻

科目の番号

11

細胞・神経生物学

- (1) 哺乳類細胞の神経筋接合部におけるシナプス伝達について、一連の作用を模式的に示した。以下の問に答えよ。



- (a) 運動ニューロンの活動電位が到達するとシナプス前膜に存在する①のチャネルから、ある物質が流入する。このチャネル名を答えよ。また、このチャネルは開いた後に不活性化される場合がある。不活性化が起こる機構について2行程度で説明せよ。
- (b) ①の作用を受けて、②からは神経伝達物質が放出される。この物質名を挙げ、この物質が細胞内から放出される過程を2行程度で説明せよ。
- (c) ③は神経伝達物質が結合すると開口する。このとき骨格筋の細胞膜上で起こる変化を物質の移動に着目して2行程度で説明せよ。
- (d) 神経伝達物質は、④において2つの物質に分解される。この物質AとBを答えよ。
- (e) 物質Aは⑤の作用によって再び細胞内に取り込まれる。物質Cの名称を挙げ、⑤の輸送システムの特徴を2行程度で説明せよ。
- (f) ⑥は骨格筋細胞膜における活動電位の伝導を示している。運動ニューロンと骨格筋細胞の活動電位において異なる特徴を2行程度で説明せよ。
- (g) 四肢を支配する運動ニューロンの細胞体はどこに存在しているのか答えよ。⑦は細胞体と軸索末端との物質の運搬を示している。この運搬機構を2行程度で説明せよ。

【次ページに続く】

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

11

細胞・神経生物学

【前ページから続く】

(2) 一般的な哺乳類細胞の細胞小器官は以下の表のように要約される。以下の間に答えよ。

	名称	直径(μm)	細胞内個数	細胞内容積(%)	生理機能
A		8	1	6	
B		0.2~1	1500程度	16	
C	ゴルジ体	0.08~3	数個	1	
D	粗面小胞体	0.05~0.3	多数	10	
E	滑面小胞体	0.02~0.3	多数	6	

- (a) A ならびに B の名称を答えよ。
- (b) C, D, E の生理機能について、それぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (c) 細胞質内に存在するタンパク質を分解する 2 つのシステムの名称と機能について、それぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (d) 細胞は細胞膜に囲まれているが、膜の構造ならびに機能について、それぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (e) 骨格筋細胞は、他の細胞と異なる特徴がある。この特徴を 2 行程度で説明せよ。

哺乳類細胞：mammalian cell, 神経筋接合部：neuromuscular junction, シナプス伝達：synaptic transmission, 運動ニューロン：motor neuron, 活動電位：action potential, シナプス前膜：presynaptic membrane, 不活性化：inactivation, 神経伝達物質：neurotransmitter, 骨格筋：skeletal muscle, 細胞膜：cell membrane, 四肢：limb, 細胞体：cell body, 軸索末端：axon terminal, 細胞小器官：organelle, ゴルジ体：Golgi body, 粗面小胞体：rough endoplasmic reticulum, 滑面小胞体：smooth endoplasmic reticulum, 生理機能：physiological function, 細胞質：cytoplasm, タンパク質：protein