

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
物質系専攻
平成 16（2004）年度専門科目試験問題

平成 15（2003）年 8 月 27 日（水）

試験時間
13：30～16：30（180 分）

受験番号	
------	--

注意事項

- (1) 指示があるまではこの冊子を開いてはいけません。
- (2) 本冊子の総ページは 30 ページです。落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所などがあった場合は申し出て下さい。
- (3) この問題冊子の中にある第 1 問から第 15 問までの中から 4 問を選択し、解答して下さい。各 1 問につき解答用紙 1 枚を使って下さい。必要ならば裏面を使用しても構いません。その場合、裏面に続くことを明記して下さい。
- (4) 解答には必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用して下さい。
- (5) 解答は日本語または英語で記入して下さい。
- (6) 配布された解答用紙（4 枚）に、必ず受験番号と解答する問題の番号を記入して下さい。
- (7) この問題冊子に必ず受験番号を記入して下さい。問題冊子は試験終了後に回収します。
- (8) 試験開始後は、たとえ棄権する場合でも退室することはできません。

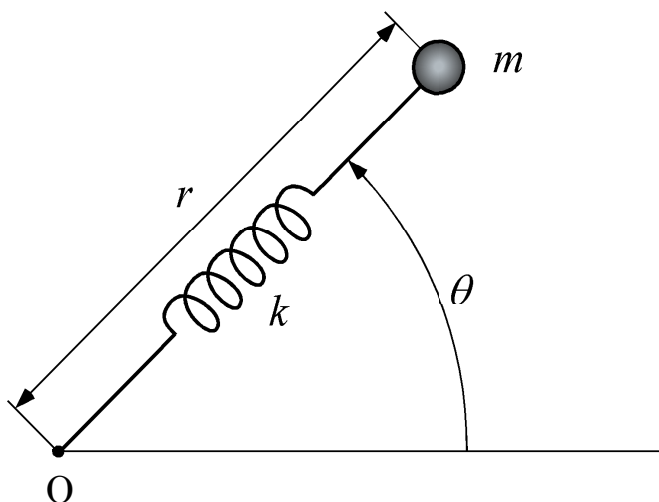
第1問

摩擦のない平面上で、図に示すように自然長 ℓ 、ばね定数 k のばねの片方の端を原点 O に固定し、もう片方の端には大きさの無視できる質量 m のおもりを取り付ける。ばねは原点のまわりで自由に回転できる。また、ばねは軽く、つねに原点とおもりを結ぶ直線上にあるものとする。おもりの位置を図中の r と θ を用いて表すと、この系のラグランジュ関数 L は

$$L = \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) - \frac{k}{2}(r - \ell)^2$$

で与えられる。以下の問いに答えよ。

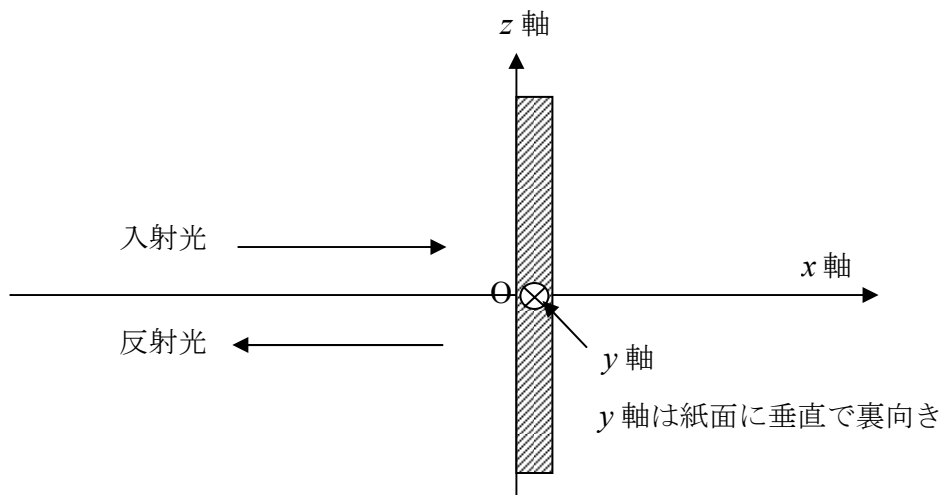
- (1) 上記のラグランジュ関数から、 r と θ に関するおもりの運動方程式を導け。
- (2) おもりが一定の角速度、 $\dot{\theta} = \Omega$ で円運動する場合、その半径 r_0 を求めよ。
- (3) この状態で運動しているときに、動径方向に微小な撃力により力積 I_0 を加えると、 r も $\dot{\theta}$ も時間的に変化するようになる。(1)で求めた2つの運動方程式から θ を消去して、 r の満たす方程式を求めよ。なお、必要ならば r_0 と Ω を用いてよい。
- (4) 与えられた力積が微小であるから、 r の変化も微小であると考えてよい。そこで、 $r = r_0 + u$ とし、 u の一次までの近似を用いて運動方程式を求め、その運動の特徴を説明せよ。
- (5) 力積を加えた時刻を $t = 0$ とし、初期条件を満たすように、 u を時間の関数として表せ。



第2問

図に示すように、真空中で波数 k ($=\frac{2\pi}{\lambda}$ 、 λ : 波長)、角周波数 ω の光の平面波が鏡に入射し、その光が鏡で反射されるときにの現象に関して、下記の設問に答えよ。

- (1) 光が下図のように x 軸の正方向に進行して鏡に入射するとき、光の電場ベクトル $\mathbf{E}_i(x, y, z, t)$ を式で記述せよ。ただし、電場の振幅は E_i とし、電場の方向は xy 面内にあるものとする。
- (2) 上記の光の磁束密度ベクトル $\mathbf{B}_i(x, y, z, t)$ を求め、式で示せ。
(ヒント : $\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ を用いよ。)
- (3) 上記の光が $x=0$ に置かれた鏡 (yz 面内にある) で反射されるとき、反射光の電場ベクトル $\mathbf{E}_r(x, y, z, t)$ の式を求めよ。ただし、鏡は完全導体であり、鏡の中では電場はゼロであるとする。
- (4) 上記の反射光の磁束密度ベクトル $\mathbf{B}_r(x, y, z, t)$ を求め、式で示せ。
- (5) 入射光と反射光の電場が重ね合わされて生じる電場を式で表せ。
- (6) 入射光と反射光の磁束密度が重ね合わされて生じる磁束密度を式で表せ。
- (7) (5) と (6) で求めた電場と磁束密度の空間的な変化をそれぞれ図示せよ。

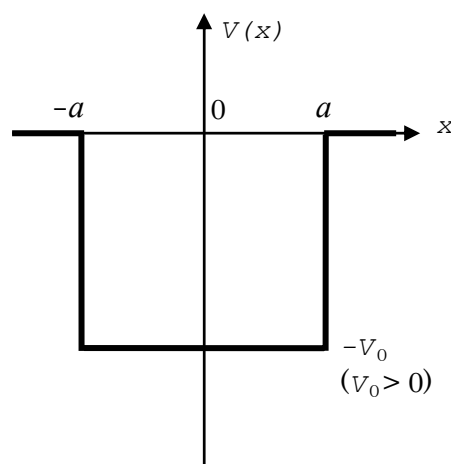


第3問

図のような1次元井戸型ポテンシャル

$$V(x) = \begin{cases} 0 & : x < -a, \ x > a \\ -V_0 & : -a \leq x \leq a \end{cases}$$

(ただし、 $V_0 > 0$) に束縛された電子(質量 m) を考える。1 個の電子に対する固有状態の波動関数 $\varphi(x)$ は、位置座標の反転に関して対称 ($\varphi(-x) = \varphi(x)$) であるか反対称 ($\varphi(-x) = -\varphi(x)$) であるかのどちらかである。対称な波動関数を $\varphi_s(x)$ 、反対称な波動関数を $\varphi_A(x)$ として、以下の問いに答えよ。



- (1) 束縛状態のエネルギー固有値 E を求めるシュレディンガー方程式

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right] \varphi(x) = E \varphi(x) \quad (E < 0)$$

より、 $x < -a$, $-a \leq x \leq a$, $x > a$ の各領域において、 $\varphi_s(x)$ および $\varphi_A(x)$ がどのような関数に比例するか書き表せ。

- (2) $x = -a$ および $x = a$ における境界条件を考えて、対称な固有状態のエネルギー E_s 、および反対称な固有状態のエネルギー E_A を求める方程式を導け。
- (3) 基底状態の波動関数 $\varphi_0(x)$ の概形を図示せよ。(図のみ示せばよい。)
- (4) 井戸の深さ V_0 が十分大きい場合には、束縛状態が 2 つ以上存在する。このとき基底状態の次に低いエネルギーを持つ第 1 励起状態の波動関数 $\varphi_1(x)$ の概形を図示せよ。(図のみ示せばよい。)
- (5) 束縛状態が 2 つ以上存在する 1 次元井戸型ポテンシャルに 2 個の電子が閉じ込められた系を考える。ただし 2 個の電子の間のクーロン相互作用は無視する。1 電子に対する基底状態の波動関数を $\varphi_0(x)$ 、第 1 励起状態の波動関数を $\varphi_1(x)$ 、上向きスピンの波動関数を $\alpha(\xi)$ 、下向きスピンの波動関数を $\beta(\xi)$ とし、2 個の電子の位置座標をそれぞれ x_1, x_2 、スピン座標をそれぞれ ξ_1, ξ_2 とする。
- (a) 2 電子系の基底状態における全スピン (2 個の電子のスピン和) の期待値を求めよ。
- (b) 2 電子系の第 1 励起状態はいくつあるか。
- (c) 2 電子系の全ての第 1 励起状態の波動関数をスピンに依存する部分も含めて書き表せ。

第4問

スピンを持つ粒子が格子状に並んでおり、それぞれのスピンは上向きまたは下向きの2つの状態をとるとする。隣接したスピン間にのみ相互作用が働き、その大きさはスピンの同じ向きのとき $-J$ で、逆向きのとき J とする ($J > 0$)。

- (1) 全粒子数を N 、上向きスピンおよび下向きスピンを持つ粒子数をそれぞれ N_+ 、 N_- としたとき、この N_+ 、 N_- を与える可能な配列の数 W を求めよ。次にエントロピー S を

$$m = \frac{N_+ - N_-}{N} \quad \text{の関数として表わせ。ボルツマン定数を } k \text{ とする。} (\ln N! \approx N(\ln N - 1)) \text{ を用いよ}$$

- (2) 任意の粒子について、そのスピンが上向き、下向きである確率はそれぞれ $\frac{N_+}{N}$ 、 $\frac{N_-}{N}$ である。このとき全系の相互作用のエネルギーが

$$E = -\frac{1}{2} z N J m^2$$

であることを示せ。ただし z は一つの粒子に隣接する粒子数であるとする。

- (3) $m \ll 1$ として、ヘルムホルツの自由エネルギー F を m の関数としてその4次の項まで求めよ。 ($\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$ を用いる)

- (4) $F(m)$ の2次の項が0となる温度 T_0 を求め、 T_0 近傍での $F(m)$ の概形を $T > T_0$ と $T < T_0$ に分けて図示せよ。

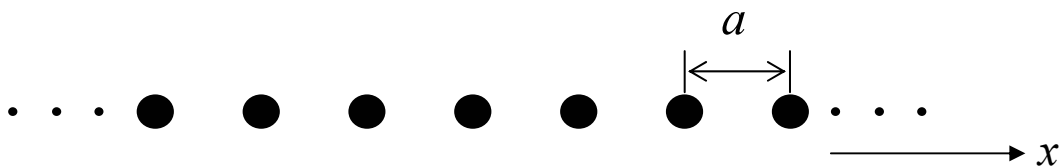
- (5) T_0 の近傍における $m(T)$ の表式を求め、その概形を図示せよ。また T_0 で起こる物理現象について述べよ。

第5問

図のように、質量 m の原子が x 方向に間隔 a で無限に並んだ一次元鎖を考える。原子は x 方向にのみ変位することができるものとし、 s 番目の原子の変位を u_s とする。 $s+p$ 番目の原子が s 番目の原子におよぼす力 $F_{s+p,s}$ は両者の変位の差に比例し、以下のように表すことができる。

$$F_{s+p,s} = C_p (u_{s+p} - u_s)$$

ここで、 p は 0 を除く整数である。また、 $C_p (>0)$ は、 $|p|$ 個だけ離れた原子間の力の定数であり、 p の値に応じて変化する。 s 番目の原子が受ける力は、 $F_{s+p,s}$ をすべての p について足し合わせたものとなる。この一次元鎖の原子の運動について、以下の問いに答えよ。



- (1) s 番目の原子について、運動方程式を書き下せ。
- (2) この一次元鎖の原子の振動の分散関係（角振動数 ω と波数 k の関係）の表式を求めよ。
- (3) 波数 $k = \pm \frac{\pi}{a}$ において、 $\frac{d\omega}{dk}$ が 0 となることを示せ。また、このことの物理的な意味を簡単に述べよ。
- (4) となりあう原子間の力の定数が C に等しく、そのほかの力の定数が 0 であるとき、分散関係の表式を m 、 C 、および $\cos ka$ を用いて表せ。
- (5) 力の定数が $C_p = C \times 2^{(1-|p|)}$ のように減衰するとき、分散関係の表式を、 m 、 C 、および $\cos ka$ を用いて表せ。必要ならば、 n を正の整数としたときの以下の関係式を用いよ。

$$\sum_{p=1}^n x^p = x \frac{1-x^{n+1}}{1-x}$$

- (6) (4) と (5) のそれぞれの場合について、分散関係の概略を同一グラフ上に比較して図示せよ。

第6問

気体に関する以下の設問に答えよ。ただし P : 圧力、 V : 体積、 T : 温度、 n : 気体のモル数、 U : 内部エネルギー、 R : 気体定数、 C_P : 定圧熱容量、 C_V : 定積熱容量である。

- (1) 理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ は、実在の気体では成立しない。実在気体の振る舞いを表現する状態方程式としてファン・デル・ワールスの式

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

がよく使われる。 a 、 b は定数である。新たに加わった項 $\frac{n^2 a}{V^2}$ および nb の意味を述べよ。

- (2) (1)の ファン・デル・ワールスの式において $a = 0$ の場合を考える。

(a) $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$ となることを導け。 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ の意味を記したうえで、 $a = 0$ の条

件がこの結果とどのように結びつくのか説明せよ。

- (b) 定圧熱容量と定積熱容量の差が nR となることを示せ。

- (c) 断熱非可逆膨張によって、系の状態が (P_1, V_1, T_1) から (P_2, V_2, T_2) まで変化するときのエントロピー変化 ΔS を求めよ。結果は $n, P_1, P_2, T_1, T_2, C_P$ を用いて表せ。ただし、 C_P は温度に依存しないとしてよい。

第7問

環状共役 π 電子系について以下の設問に答えよ。

- (1) 図1は環状共役 π 電子系について、LCAOに基づくヒュッケル近似を用いて求めたエネルギー準位図である。図中の数字は各準位のエネルギーを $\alpha + c\beta$ としたときの c の値を与える。

ここで、 α および β の名称とその意味を簡単に説明せよ。

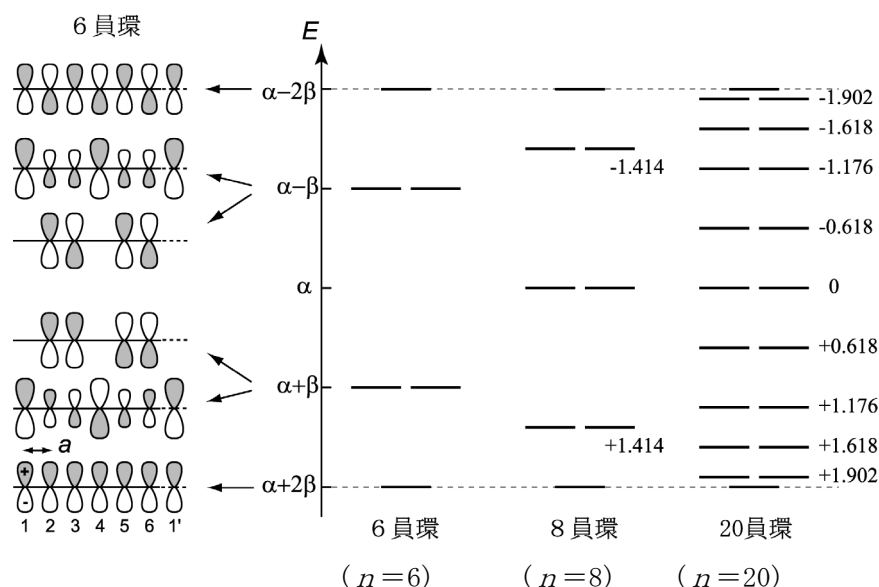


図1

- (2) 一般に環状共役系化合物は、炭素原子数 n のある値のときに安定となり、その性質を芳香族性と呼ぶ。図1を参考にして安定化の起源について述べよ。
- (3) 6員環（ベンゼン）について、各エネルギー準位に対応する非局在分子軌道を図1に模式的に示した。ただし隣り合う炭素原子間距離を a とする。この6つの分子軌道は、それぞれある波長 λ の波からなっているとみなすことができる。そこで波数 $k = 2\pi / \lambda$ を定義すると、エネルギー E と k の間にある関係が導かれる。同様の関係を n が大きい場合に拡張して考察し、 n が大きい極限において期待される E と k の関係を模式的に図示せよ。

(次ページに続く)

- (4) 環状共役電子系は n が非常に大きい極限において 1 次元結晶とみなすことができる。よって (3) で得られた E と k の関係は、1 次元電子系におけるエネルギーバンドの分散関係を表すと考えられる。(3) で得られた図において、電子が占める最高エネルギー準位を示せ。また、そのエネルギーおよび波数はいくらか。
- (5) 1 種類の原子を x 軸上に a の間隔で並べて作った 1 次元結晶を考える。図 2 のような s 、 p_z 、 p_x 、 d_{xz} 軌道（同じ主量子数をもつ）を原子軌道として LCAO による非局在波動関数を作ったとき、それぞれの非局在波動関数について、どのような形の分散関係が期待されるかを模式的に示せ。ただし、どの場合でも α はゼロとする。

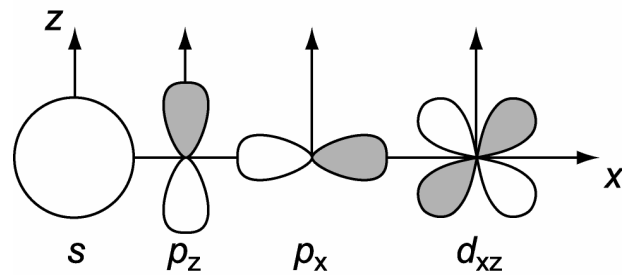


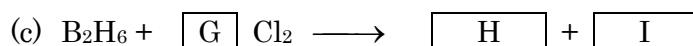
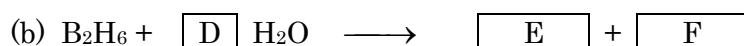
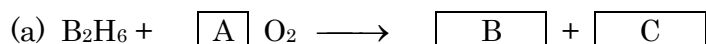
図 2

第8問

ホウ素化合物および炭素化合物に関する以下の設問に答えよ。

(1) 三ハロゲン化ホウ素のルイス酸性度は BF_3 よりも BBr_3 が高い。この理由を説明せよ。

(2) ジボラン (B_2H_6) についての次の反応式を完成せよ。



(3) ジボラン (B_2H_6) とエタン (C_2H_6) は同じ種類の構造をとらない。これらの分子構造について、以下の設問に答えよ。

(a) それぞれの分子構造を、構成元素の立体配置が分かるように示せ。

(b) 分子を構成する BH 結合および CH 結合が原子軌道からどのように生成されるか述べよ。これを元に、これら分子の構造が異なる理由について説明せよ。

(4) ホウ酸イオン $[\text{BO}_3]^{3-}$ の構造を示し、その構造をとる理由を説明せよ。

(5) ホウ素の二原子分子 (B_2) の電子基底状態は常磁性を示すが、炭素の二原子分子 (C_2) のそれは非磁性である。このことを参考にして、 B_2 および C_2 の電子配置に関する以下の設問に答えよ。

(a) 二重縮退した分子軌道を二つの電子が占有するとき、その電子基底状態は常磁性を示す。この理由を説明せよ。

(b) B_2 および C_2 について、 $2s$ および $2p$ 軌道から生成される全ての分子軌道のエネルギー準位および基底状態での電子配置を、下図の(イ)の例にならって示せ。

(c) (b)における分子軌道は $2s$ および $2p$ 軌道からどのように生成されるか、下図の(ロ)の例にならって波動関数の概略を示せ。

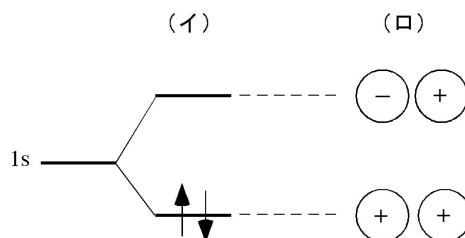


図 水素分子 (H_2) における分子軌道の(イ)エネルギー準位と基底状態での電子配置、および(ロ)波動関数の概略。

第9問

下記の分析手法から5つを選択し、その基本原理となる関係式を示せ。また、それらの手法の原理・特徴を関係式にも言及しながら簡潔に述べよ。

- (1) 原子吸光法
- (2) 核磁気共鳴法
- (3) X線光電子分光法
- (4) 電位差分析法（イオン選択性電極）
- (5) X線回折法
- (6) 中性子放射化分析法
- (7) オージェ電子分光法

第 10 問

(1) 以下の設問に答えよ。

- (a) 4-メチルビシクロ[3.2.2]ノナ-2,6,8-トリエンの構造式を書け。
- (b) $\text{HOOCCH}(\text{NH}_2)\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ (2-アミノ-3-ヒドロキシブタン酸) についてフィッシャーの投影式により可能な立体異性体を示せ。下図の例にならって、すべての立体異性体のキラル中心に、*R*配置か*S*配置かを記せ。それぞれの立体異性体について、エナンチオマーとジアステレオマーに相当するものを示せ。

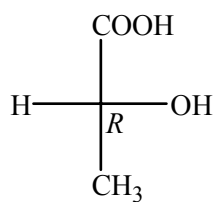
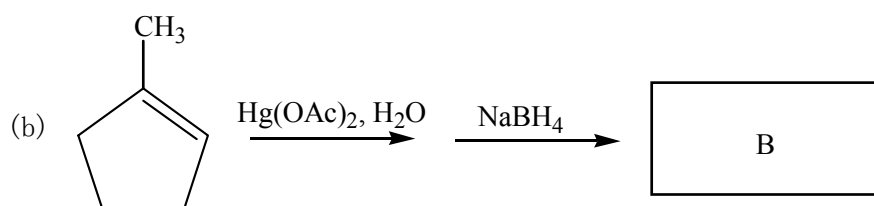
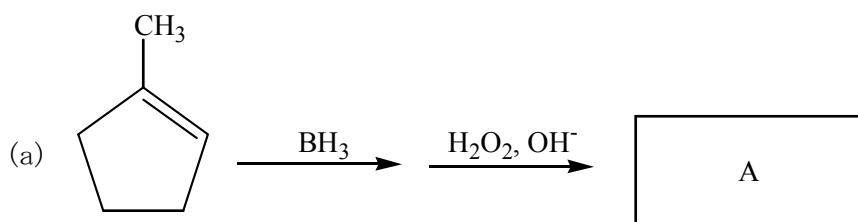


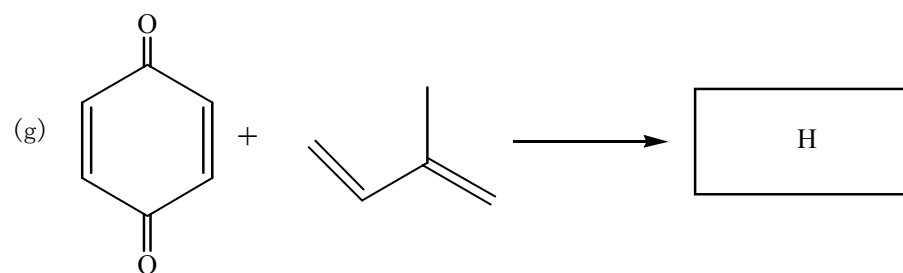
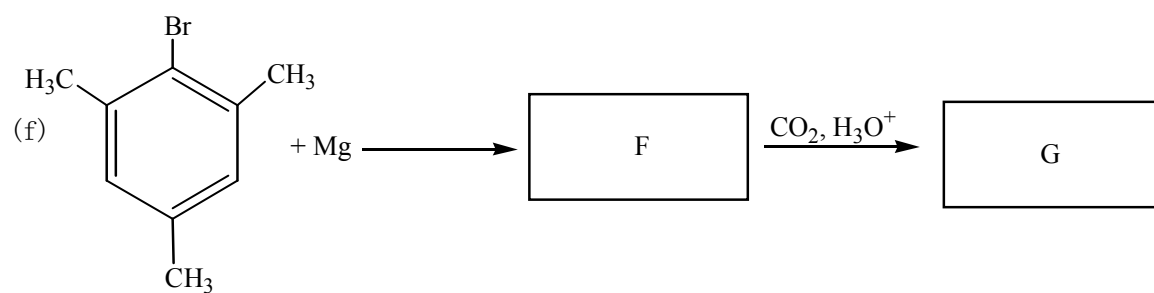
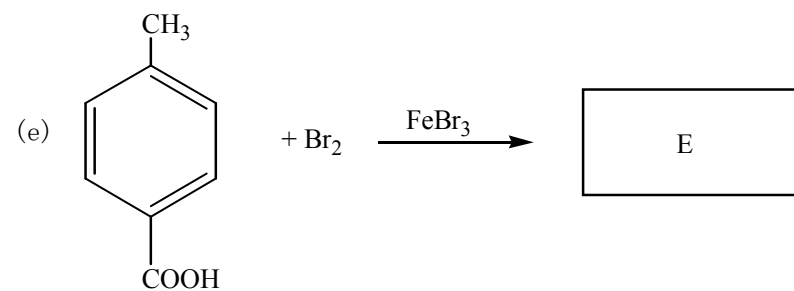
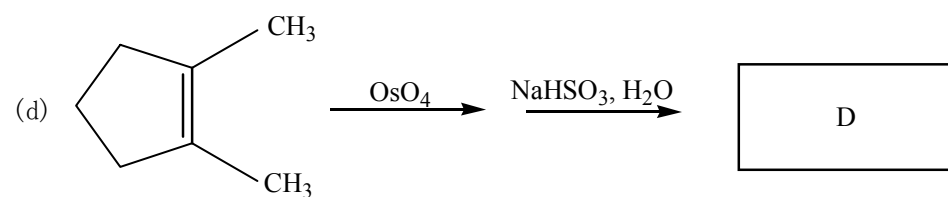
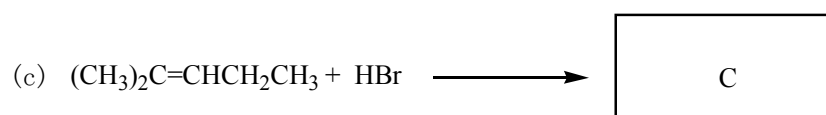
図 (*R*)-乳酸

- (c) $\text{S}_{\text{N}}1$ 反応、 $\text{S}_{\text{N}}2$ 反応、 $\text{E}1$ 反応、 $\text{E}2$ 反応について説明せよ。その中で、(イ)反応の次数、(ロ)第 1、2、3 級ハロゲン化アルキルに関する反応性、(ハ)溶媒効果について相互比較せよ。

(2) 下記の反応式中の A から H に、主な生成物の構造式を示せ。ただし、D、H はシス、トランス体の区別も構造式の中で記せ。



(次ページに続く)



第 11 問

化学熱力学に関する以下の設問に答えよ。

(1)

- (a) A-B 二元系合金の成分 A、B のモル数を n_A 、 n_B 、部分モルギブス自由エネルギーを μ_A 、 μ_B とする。合金のギブス自由エネルギー G はどのように表されるか。
- (b) 成分 A、B のモル分率を x_A 、 x_B とするとき、合金 1 モルあたりのギブス自由エネルギー g はどのように表されるか。
- (c) μ_A を g と x_A を用いて表せ。
- (d) A-B 二元系合金の g と x_A の関係は図 1 の曲線のように表される。 $x_A = x_{A1}$ の点における曲線の接線の、 $x_A = 0$ および $x_A = 1$ での値はどのように表されるか。さらに、この結果を (c) で得た表式に基づいて説明せよ。

(2)

- (a) 成分 A、B からなる A-B 二元系合金の α 相と β 相が化学平衡状態にある。このことは熱力学的にはどのようなことを意味するか説明せよ。
- (b) 図 2 は A-B 二元系合金の組成と温度の関係を示す状態図である。 α 相、 β 相、 γ 相、および L 相（液相）のギブス自由エネルギー g と組成 x_A の関係を、温度 T_1 、 T_2 、および T_3 についてそれぞれ図示し、平衡にある相の間の関係を説明せよ。

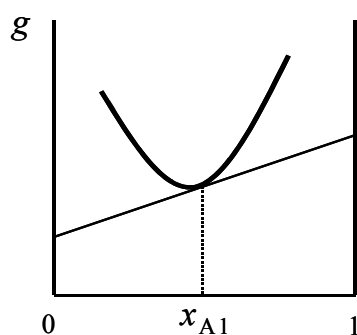


図 1

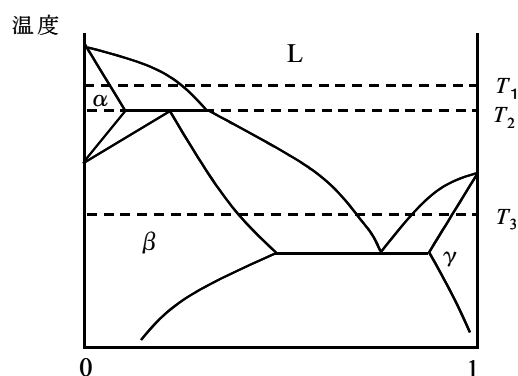


図 2

第 12 問

熱移動について、以下の設問に答えよ。

- (1) 伝導伝熱と並んで基本的な伝熱形態である熱移動現象を 2 つ挙げよ。
- (2) 熱移動現象の解析において、温度が重要なパラメーターになる。汎用的な温度計測法である熱電対法の測定原理について説明せよ。
- (3) 内部が中空の金属球に関する伝熱について考える。
 - (a) 外径 $2R_2$ 、内径 $2R_1$ (厚さ $R_2 - R_1$) の金属球において、金属球の内側壁面の温度を T_1 、外側壁面を T_2 ($T_2 > T_1$) に保っている場合、金属球外部への伝熱量 Q が式 [1] で表されることを証明せよ。ただし、金属球の熱伝導度を λ_1 とする。

$$Q = \frac{4\pi\lambda_1(T_1 - T_2)}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \quad [1]$$

- (b) 次に、(a) と同じ外径 $2R_2$ 、内径 $2R_1$ (厚さ $R_2 - R_1$) の金属球の外側壁面を囲むように、厚さ $(R_3 - R_2)$ の断熱材を取り付けた。金属球の内側壁面の温度を T_1 、断熱材外側の空気雰囲気温度を T_3 ($T_3 > T_1$) に保っている場合の金属球外部への伝熱量 Q を求めよ。ただし、金属球の熱伝導度を λ_1 、断熱材の熱伝導度を λ_2 、断熱材の表面から周囲の空気への伝熱係数は h であるとする。

第 13 問

物質の電気伝導について、下記の設問に答えよ。

- (1) 一般に、結晶金属において自由電子近似が良い近似となる理由を簡潔に述べよ。
- (2) 図 1 はナトリウムの電気抵抗比 (R/R_{290K}) の温度依存性である。大まかに図 1 の 2 つの温度領域で考えられる。領域 I の低温で一定値になる抵抗、領域 II の抵抗の温度依存性、のそれぞれの起源について簡単に説明せよ。
- (3) 一般に、結晶半導体において自由電子近似が使える理由を簡潔に述べよ。
- (4) ドナー不純物を含んだシリコンの電気伝導率は、電子濃度 (n) に比例し、その温度依存性は、主に n の温度依存性を反映する。図 2 は、 n の温度依存性である。温度依存性は、大まかに図 2 のような 3 つの温度領域で考えられる。各領域の名称を答え、それぞれの温度依存性の起源について簡単に説明せよ。
- (5) チタン酸バリウム (BaTiO_3) の電気抵抗率は $10^{12} \Omega \text{ cm}$ 程度であるが、ある種の元素で置換を行うと $10 \sim 10^2 \Omega \text{ cm}$ 程度に減少し、 n 型の伝導性を示す。どの元素を何の元素で置換すると、抵抗率が減少するのか、理由と共に答えよ。
- (6) (5) のように元素置換した多結晶 BaTiO_3 の電気抵抗率 (ρ) の温度依存性は、大まかに図 3 のような 3 つの温度領域で考えられる。II の領域は、数十 $^{\circ}\text{C}$ という狭い温度範囲で抵抗率が急激に上昇する、正の抵抗率温度係数 (PTCR) という特異な特性を示す。PTCR は、どのような転移温度の高温側に現れるか、答えよ。PTCR 発現の起源について簡潔に述べよ。PTCR を利用したデバイスは何か、答えよ。

(次ページに続く)

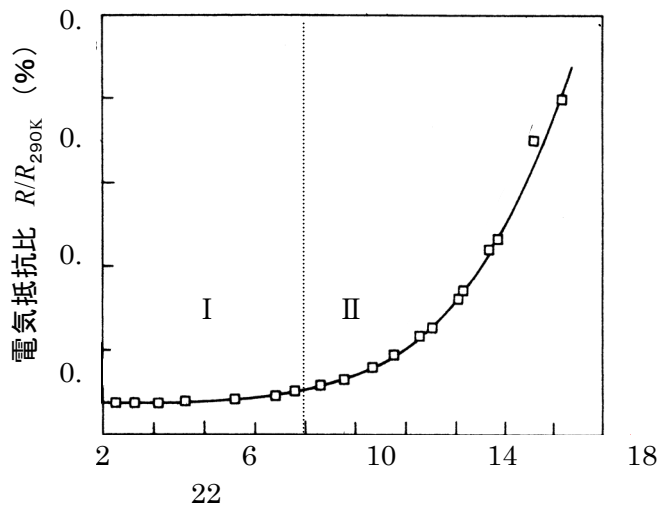


図1 290Kにおける値で割ったナトリウムの電気抵抗の温度変化。

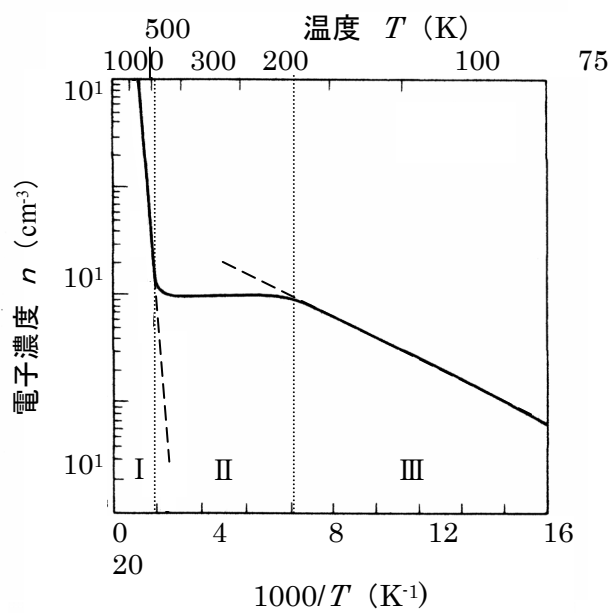


図2 ドナー不純物を 10^{15} cm^{-3} 含んだシリコンの電子濃度の温度依存性。

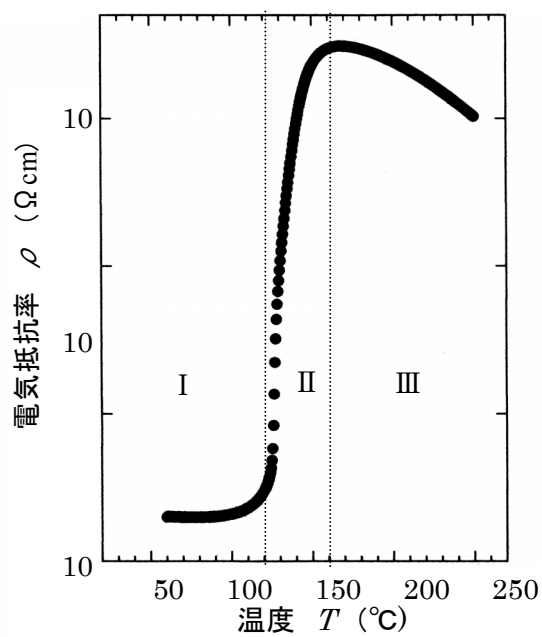


図3. BaTiO_3 にある種の元素を置換した焼結体の電気抵抗率の温度依存性。

第 14 問

室温における金属およびセラミック材料の塑性変形に関して、以下の設問に答えよ。

- (1) 結晶のすべり変形は、転位の運動と密接に関係している。代表的な転位である刃状転位、ならびに、らせん転位についてその構造やすべり変形との関係について簡潔に述べよ。
- (2) 結晶がすべり変形を起こすとき、そのすべり面とすべり方向の組み合わせをすべり系と呼ぶ。一般に、金属結晶のすべり系は最稠密面の最稠密方向となる。
 - (a) 面心立方格子の最稠密面の面指数は何か。また、この面上で面心立方格子結晶がすべり変形を起こすとき、そのすべり系を求めよ。
 - (b) (a)で求めたすべり系ですべり変形が生じるとき、すべり面上に特徴的な転位が形成されることがある。この転位の名称、および、この転位により形成される面欠陥の名称を記して、この様な面欠陥が形成される理由について簡潔に説明せよ。
 - (c) 図 1 に示すような円柱状の試料を用いて引張り変形を行う。円柱の断面積は A 、引張り力を F とする。
 - (i) 面 α に作用する応力を求めよ。
 - (ii) 面 β 上で方向 L に作用する分解せん断応力を求めよ。ただし、方向 L と引張り方向との角度は θ 、方向 M と引張り方向との角度は ϕ 、また、方向 M は面 β に垂直である。
 - (iii) 面心立方格子単結晶を、(a)で求めたすべり系の一つで優先させてすべらせた。このときの面 β 、方向 L 、角度 θ 、角度 ϕ を求め、理由を簡潔に述べよ。
 - (d) 図 2 は MgO の結晶構造を示している。
 - (i) MgO 結晶のすべり系は必ずしも最稠密面の最稠密方向とはならない。その理由を簡潔に述べよ。
 - (ii) MgO 結晶において、稠密度の高い面を最大稠密面から 3 つ挙げよ。
 - (iii) MgO 結晶のすべり変形におけるバーガースベクトルは $\langle 110 \rangle$ である。このとき、 MgO 結晶のすべり系を求め、その理由を簡潔に述べよ。
- (3) 金属材料ではすべり変形を抑制させて強度の向上を図る手法がいくつか考えられている。その手法の一つあげて簡潔に説明せよ。
- (4) セラミック材料では一般にこのような手法では強度を向上できない。その理由を簡潔に述べよ。
- (5) 構造用セラミック材料である強靱性ジルコニアは、ある方法を用いて強度を格段に向上させている。その手法について簡潔に説明せよ。

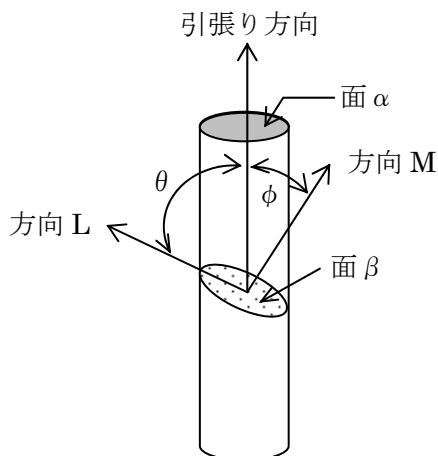


図 1

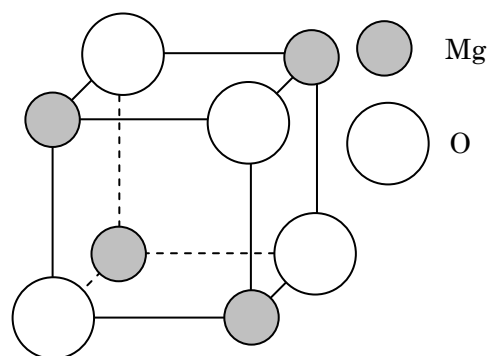


図 2

第 15 問

“材料・ナノテクノロジー”は、“IT”、“環境”、“バイオ”、と並んで、最も重要な科学技術課題の一つであるといわれている。

- (1) ナノテクノロジーについて説明せよ。
- (2) ナノ材料の例を一つ挙げ、その構造、機能、応用について説明せよ。
- (3) ナノテクノロジーを支えるナノ計測・解析手法の中で、以下に示す 3 種類の顕微鏡の中から一つを選び、その原理と特徴について説明せよ。
 - (a) 走査型電子顕微鏡 (SEM).
 - (b) 透過型電子顕微鏡 (TEM).
 - (c) 走査型トンネル顕微鏡 (STM).
- (4) ナノ材料作製法として、成膜プロセス技術は重要な基盤技術となっている。以下に示す 3 種類の成膜法の中から一つを選び、その原理と特徴について説明せよ。
 - (a) スパッタリング法.
 - (b) 分子線エピタキシャル法.
 - (c) ゼルゲル法.