

名古屋工業大学
2023年度(令和5年度)
編入学者・転入学者選抜学力検査
専門試験科目問題冊子

物理工学科

試験日時 2022年6月24日(金)

10:00～12:00

注意事項

- 4題中2題を選択し解答してください。
- 解答は各問題番号に対応する解答用紙に解答してください。
- 解答用紙はホチキス止めを外して、選択した2題を提出してください。
- 試験終了後、問題用紙と計算用紙は持ち帰ってください。
- 乱丁・落丁あるいは不鮮明な場合には申し出てください。

問題 1 設問 I ~ III のすべてについて解答すること。

I 純金属の典型的な結晶構造の内、面心立方格子 (fcc)、体心立方格子 (bcc) に対して、次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

(1) 下の表は fcc と bcc の構造の特徴について表にまとめたものである。表中の (a) ~ (h) を記せ。なお、原子は剛体球として、結晶構造の格子定数を a 、円周率を π とせよ。

	単位格子に含まれる原子数	配位数	最近接原子間の距離	単位格子中の原子の充填率
fcc	(a)	(b)	(c)	(d)
bcc	(e)	(f)	(g)	(h)

(2) 下記の一般的によく使用される金属から、fcc, bcc に属する金属を選んで記せ。

α -Fe, γ -Fe, Cu, Al, Zn, Ni

II 理想溶液と見なせる A-B 二元系の溶体について、次の (1) ~ (3) の問いについて答えよ。

(1) 溶体の混合のギブズエネルギーとは何か説明せよ。

(2) 全物質量を 1 [mol] とした時、A のモル分率が x_A であった時の混合のギブズエネルギーを記せ。なお、気体定数を R 、絶対温度を T とする。

(3) $R=8.31 [\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}]$, $T=500 [\text{K}]$, $x_A=0.50$ の時の混合のギブズエネルギーの値を有効数字 2 桁で求めよ。なお、 $\ln 2=0.69$, $\ln 3=1.1$ とする。

Ⅲ 同じ半電池の組み合わせで、図 a および b に模式的に示される 2 種類の構成で電池を作製した。次の (1)～(4) の問いについて答えよ。なお、化学記号の後に示されている (aq.) は水溶液の意味である。

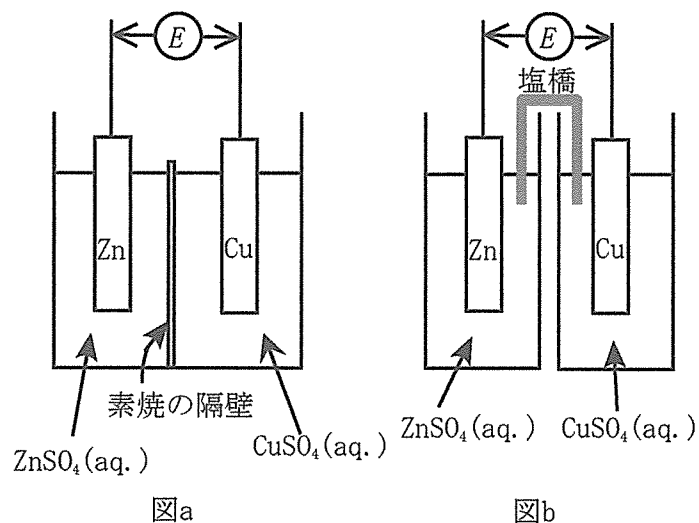
(1) これらの電池の全電池反応は同じである。これらの電池のアノード反応，カソード反応を記せ。

(2) 図 a の素焼の隔壁および図 b の塩橋の役割の違いについて説明せよ。なお，説明に際しては以下の単語をすべて用いること。

液溶 液間電位

(3) $\text{ZnSO}_4(\text{aq.})$ の Zn イオン濃度を C_{Zn} ， $\text{CuSO}_4(\text{aq.})$ の Cu イオン濃度を C_{Cu} とし，これらの電池の標準電池電位を E^0 とした時の電池電位 E を求める式，およびその名称を記せ。なお，ファラデー定数を F とする。

(4) これらの電池の標準電池電位 E^0 を求める方法を説明せよ。



問題2 設問I～IVすべてについて解答すること。

I 図1はBi-Sb系、図2はSn-Bi系の二元系平衡状態図である。次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

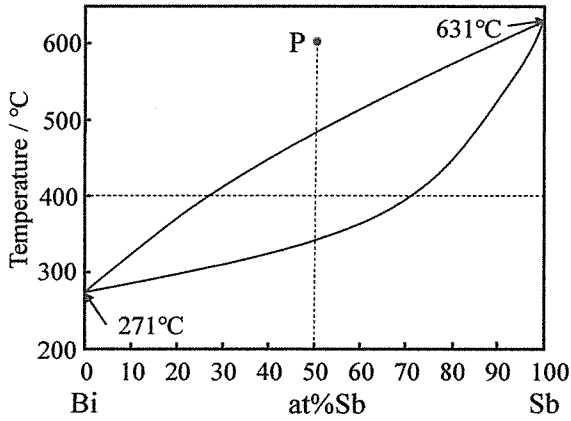


図1 Bi - Sb系状態図

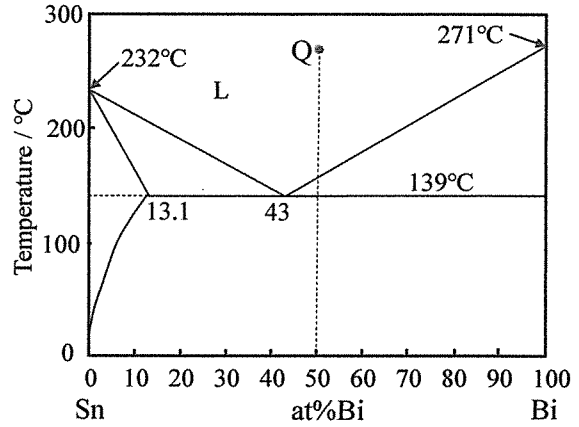


図2 Sn - Bi系状態図

(1) 図1と図2の状態図の型を答えよ。

(2) 図1において、P点の50at%Bi-50at%Sbの熔融金属を400 [°C]にした時の固相と液相の組成と割合を求めよ。導出過程を示し、有効数字は2桁とする。

(3) 図2において、Q点の50at%Sn-50at%Biの熔融金属を139 [°C]に冷却した時の凝固組織が図3のようであった。図中の①～③の組織の組成を図2の状態図を参考に推定せよ。

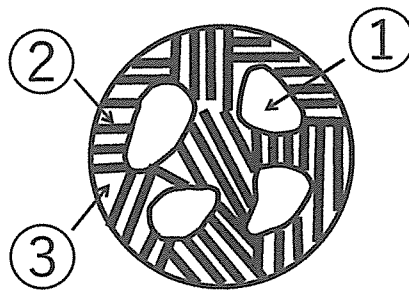


図3 凝固組織

II 軟鋼の引張試験について、次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

(1) 図4は軟鋼の応力-ひずみ曲線である。図中のA点～D点の名称を答えよ。

(2) 塑性変形は記号のA点～D点のどの点から開始するか答えよ。

(3) C点から応力が一旦下がり、その後しばらく一定となる理由を説明せよ。

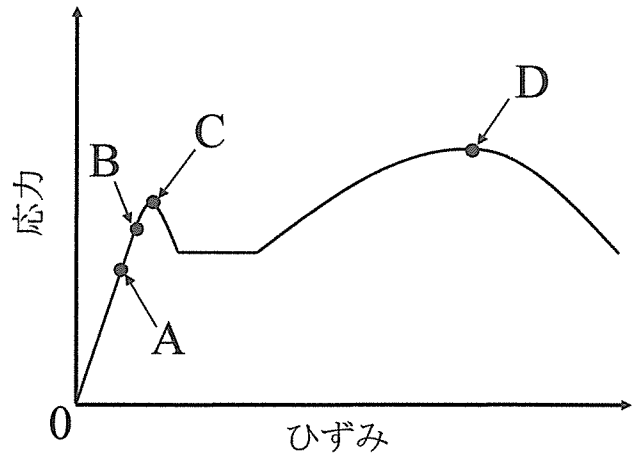


図4 応力-ひずみ曲線

III 半導体について、次の文章中の①～⑫の空欄に入る語句を答えよ。

シリコンの価電子数は (①) 個であり、結晶構造は隣接する (①) 個のシリコン原子と (②) 結合をつくって、(③) 構造となっている。高純度のシリコン結晶は不純物の偏析を利用した (④) 法で製造される。不純物を含まない半導体は (⑤) 半導体と呼ばれる。シリコン中にはリン (P) やヒ素 (As) などの価電子数が (⑥) 個の不純物をドーピングすると、不純物は (⑦) を供給する (⑧) として働き、(⑨) 型半導体となる。この場合、その (⑦) が電流のキャリアとなる。一方、ホウ素 (B) のような価電子数が (⑩) 個の不純物をドーピングすると、(⑪) 型半導体となり、(⑫) が電流のキャリアとなる。

IV 塩化ナトリウム (NaCl) の格子定数は 5.63×10^{-8} [cm] である。単位格子の質量と体積を求め、NaCl 結晶の密度を求めよ。導出過程を示し、有効数字は3桁とする。ただし、Naの原子量は23.0、Clの原子量は35.5である。

問題3 設問 I～IIIすべてについて解答すること。

I 次の(1)～(3)の問いについてすべて答えよ。

位置 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ にある質量 m の質点に働く力 \mathbf{F} が

$$\mathbf{F} = -k \frac{\mathbf{r}}{r^3}$$

と表されるとき、この質点の運動を考える。ここで $r = |\mathbf{r}|$ は原点から質点までの距離であり、 k はある正の定数である。

- (1) \mathbf{F} は保存力であり、この保存力のポテンシャルを $U(r)$ と表す。 \mathbf{F} に逆らって質点を $x = \infty$ から $x = r$ まで x 軸上を移動させるのに必要な仕事として、 $U(r)$ を求めよ。
- (2) 質点の運動において、 $E = \frac{1}{2} m \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + U(r)$ は時刻によらない保存量であることを示せ。
- (3) 質点の運動において、原点周りの角運動量は時刻によらない保存量であることを示せ。

II 次の(1)～(3)の問いについてすべて答えよ。

床からの高さが h の点から質量 m の小球を静かに落とす。小球は自由落下して床に衝突し、床の上ではね返った (図1)。小球と床とのはね返り係数を e ($0 < e < 1$)、重力加速度を g とする。

- (1) 床との最初の衝突ではね返ったあと、小球が到達する最高地点の高さ h_1 を求めよ。
- (2) 高さ h の点で小球を落としてから、床との衝突を経て高さ h_1 に到達するまでに要した時間を求めよ。
- (3) 小球は、落下→床との衝突→はね返り→上昇、を繰り返した後、やがて床の上に静止した。高さ h の点で小球を落としてから、床の上に静止するまでに要した時間を求めよ。

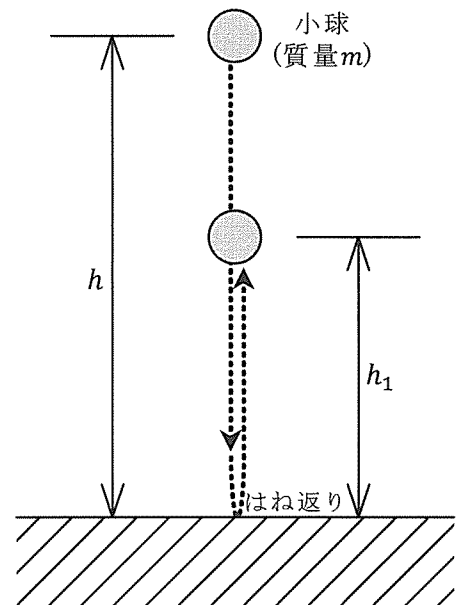


図 1

Ⅲ 次の(1)～(5)の問いについてすべて答えよ。

図2に示すように、半径 a の円板の中心 G から h の距離にある点 O に円板に垂直な軸をつけ、この軸のまわりに円板を振動させる。円板は均質でその質量を M とし、中心 G を通り円板に垂直な軸に関する慣性モーメントを I_G とする。また重力加速度を g 、円周率を π とする。

- (1) 点 O を通る軸に関する慣性モーメント I を、 I_G, M, h を用いて表せ。
- (2) 図中の鉛直軸と点 O と点 G を通る線とのなす角を回転角 θ とする。点 O のまわりの回転の運動方程式を書け。
- (3) $I_G = \frac{1}{2}Ma^2$ となることを示せ。
- (4) θ が十分小さい微小振動であるとき、振動の周期 T を求めよ。
- (5) 微小振動の周期 T が最小となる h を求めよ。

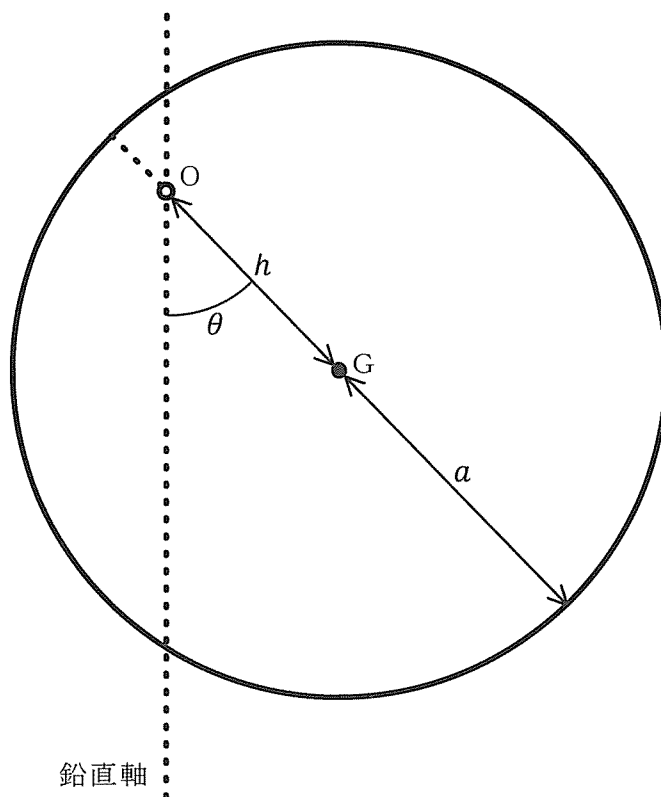
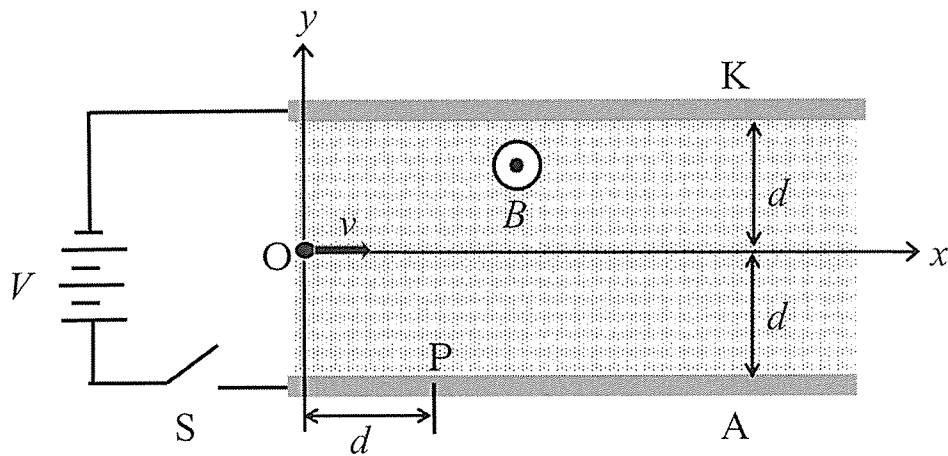


図2

問題 4 設問すべてについて解答すること。

図に示すように、点 O を原点とし、紙面内に x 軸と y 軸をとり、 x 軸に平行に距離 $2d$ [m] だけ隔てて平行平板電極 A と K がある。電極間内には、紙面に垂直で裏から表に向かう向きに磁束密度 B [T] の一様な磁界がある。また、スイッチ S を閉じ、電極 A と電極 K の間に電圧 V [V] ($V > 0$) が加わった場合、電極間内の電界は一様であるとする。磁界または電界が存在する真空中での質量 m [kg]、電荷 q [C] ($q > 0$) の正イオンの原点 O を含む x - y 平面上での運動について以下の問いに答えよ。なお、重力の影響はないとして、円周率は π とする。



まず、スイッチ S を開いた状態にする。時刻 $t=0$ で原点 O から速さ v [m/s] で x 軸の正の方向に飛び出した質量 m [kg]、電荷 q [C] ($q > 0$) の正イオンが、時刻 $t=t_1$ [s] のとき電極 A 上の点 P ($d, -d$) の位置に達した。

(1) 次の文章の空欄 (ア) ~ (エ) に式または語句を入れて文章を完成させよ。

$t=0$ で原点 O を飛び出したとき、正イオンは y 軸の負の向きに大きさ (ア) [N] の力を受け (イ) 運動を始め、 $t=\frac{2}{3}t_1$ [s] のとき座標 ((ウ), (エ)) を通り、やがて点 P に達した。

(2) 長さ d [m] を q, m, B, v を用いて表せ。

(3) 時刻 t_1 [s] を q, m, B を用いて表せ。

(4) 点 P に到達するまでに正イオンに対し磁界がした仕事 W [J] を求めよ。

次に、スイッチ S を閉じ、一様な電界を電極間内に加えた。以下の問いに答えよ。

(5) 電極間内の電界の大きさ [V/m] を求めよ。

(6) 原点 O から x 軸の正の方向に飛び出す正イオンの速さを調節したところ、速さ v_s [m/s] で原点 O から飛び出した正イオンは x 軸上を直進運動した。この時の速さ v_s を求めよ。

次に、スイッチ S を閉じた状態で、あらためて $t=0$ で原点 O に初速度を与えずに、質量 m 、電荷 q の正イオンを静かにおくと、正イオンは電極に達することなく原点 O を含む x - y 平面上で運動をした。時刻 t での x, y 方向の速度成分をそれぞれ $v_x(t) (=dx(t)/dt)$, $v_y(t) (=dy(t)/dt)$ とおき、速度成分はそれぞれの軸の正の向きを正にとる。以下の問いに答えよ。

(7) x, y 方向の各成分に対応した正イオンの運動方程式をそれぞれ示せ。なお、それぞれの左辺を $m \frac{dv_x(t)}{dt}$, $m \frac{dv_y(t)}{dt}$ とせよ。

(8) C_1, C_2 を定数として、上問(7)の運動方程式（微分方程式）の解を

$$v_x(t) = C_1(1 - \cos(\omega t)), \quad v_y(t) = C_2 \sin(\omega t) \quad \text{とおく。}$$

これを微分方程式に代入し、係数を比較して、 ω , C_1 および C_2 を求めよ。

問(8)で導いた $v_x(t)$, $v_y(t)$ を用いて、時刻 t での正イオンの位置 $(x(t), y(t))$ が求められる。その結果、正イオンは x 方向に進みながら周期運動をすることがわかる。

(9) $t=T$ [s] の時、原点 O を飛び出してから、はじめて正イオンが x 軸上に到達した。時刻 T および 時刻 T での正イオンの x 方向の位置 $x(T)$ [m] を V, m, B, q, d のうち必要なものを用いて表せ。

(10) この正イオンが電極に達しないために電圧 V [V] は $V < V_C$ を満たさなければならない。電圧 V_C [V] を m, B, q, d を用いて表せ。