

令和 5 年度 4 月入学

令和 4 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 4 年 8 月 23 日 (火) 9:00~12:00

試験科目 : A 材料物理化学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 問ある。設問 1 ~ 3 から 2 問を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択した解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 問とも選択した場合は採点の対象としない。また、草案紙は持ち帰ること。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用してよい。

下書用紙

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

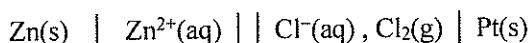
科目記号	A (1 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問1 化学電池について以下の問(1)～問(4)に答えなさい。

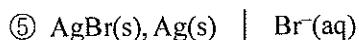
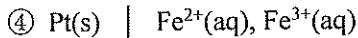
なお、ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ 、気体定数 $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

標準電極電位 (298 K) は次を用いなさい。 $E_0(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}) = -0.44 \text{ V}$, $E_0(\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}) = +0.34 \text{ V}$.

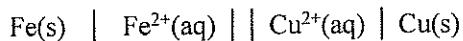
問(1) 化学電池の構成を示す方法として電池式(電池図ともいう)がある。次の電池式に示される構成を持つ電池について、左側の電極と右側の電極で起こる電池の半反応式をそれぞれ書きなさい。



問(2) 上に示す電池式の電極部分に着目し、 $\text{Zn(s)} \mid \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ や $\text{Cl}^{-}(\text{aq}), \text{Cl}_2(\text{g}) \mid \text{Pt(s)}$ と書くことがある。これを電極系に着目した半電池式という。半電池を形成する相の界面を“|”で示す。以下に示す①～⑤の半電池の反応式を書きなさい。また、①～③は電気化学でよく使う電極の半電池式である。その電極名を日本語で答えなさい。



問(3) いま、以下の電池式の電池を作った。このとき、活量 $a[\text{Fe}^{2+}]$, $a[\text{Cu}^{2+}]$ を 1 とする。298 Kにおいてこの電池から得られる電圧を求めなさい。また、温度を 298 K 一定に保ったまま、左右の電極間の電圧を大きくするにはどのようにするとよいか。以下の①～④から選びなさい。また、その根拠を数式を用いて説明しなさい。



① Fe 電極側を水で薄める

② Cu 電極側を水で薄める

③ Fe 電極側の Fe^{2+} イオン濃度を上げる

④ Cu 電極側の Cu^{2+} イオン濃度を上げる

問(4) 問(3)の電池から電流を取り出し続けたところ、最終的に電流が流れなくなった。電流が流れなくなった時点での $a[\text{Fe}^{2+}]$ と $a[\text{Cu}^{2+}]$ との関係について答えなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (2 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問2 塩基性アンモニア水($\text{NH}_3\text{(aq)}$)は、有望な水素貯蔵材料の候補である。そこで電解によってアンモニア水から水素ガスと窒素ガスを取り出す方法について、以下の問(1)～問(3)に答えなさい。なお数値は有効数字2桁で答え、必要ならば以下の数値を用いなさい。

温度: $T = 298 \text{ K}$, 気体定数: $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, フラデー一定数: $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$, 標準化学ポテンシャル: $\mu_0(\text{NH}_3\text{(aq)}) = -26.5 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{H}_2\text{O}) = -237 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{OH}^-) = -157 \text{ kJ mol}^{-1}$.

問(1) カソードで水が反応するとき、次の(A)～(B)に答えなさい。

(A) 反応式を電子 e^- を用いた半反応式で答えなさい。

(B) 発生するガス圧力が 6 気圧となるよう電解をしたとき、標準状態(1 気圧)と比べてカソード電位は何 mV 変化するか求めなさい。

問(2) アノードでアンモニア水が反応するとき、次の(A)～(C)に答えなさい。

(A) 反応式を電子 e^- を用いた半反応式で答えなさい。

(B) (A)で答えた反応の他に、酸素ガスが発生する副反応が考えられる。この反応式を電子 e^- を用いた半反応式で答えなさい。

(C) (B)で答えた副反応を抑えるためには、どのような工夫が必要か 30 文字程度で説明しなさい。

問(3) この電解に必要な電圧を考えるとき、次の(A)～(B)に答えなさい。

(A) 各ガス分圧が 1 気圧となるよう開放容器で電解を行うとき、その理論分解電圧 V_0 を求めなさい。

(B) 全圧が 1 気圧となるよう密閉容器で電解を行うとき、その理論分解電圧 V_1 を求めなさい。ただし、容器内は発生したガスのみで充填され、アンモニア水の活量($a[\text{NH}_3\text{(aq)}]$)は 1.0 とする。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (3 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問3 相平衡の熱力学に関する以下の問(1)～問(3)に答えなさい。

問(1) 热力学温度 T における化学ポテンシャル μ と活量 a の関係式を答えなさい。式が定数を含む場合、適宜定義して記述すること。

問(2) ある金属元素 A および B からなる二元系合金を考える。図 1 は、A-B 二元系平衡状態図と、温度 $T = 650\text{ K}$ における合金中の A の活量 a_A と B の濃度 c_B (mol%) の関係を示すグラフを並べて示している。図中の実線(ア)および破線(イ)のうちどちらが $a_A - c_B$ 関係として妥当かを答え、化学ポテンシャルと活量の関係式を用いてその根拠を説明しなさい。

問(3) ある元素 E および F から成る固体化合物 EF(s)と、溶媒に溶けている E および F との平衡を考える。次の(A)～(C)に答えなさい。ただし、温度 $T = 1000\text{ K}$ とし、以下の反応式(1)の生成物 1 mol 当たりの標準自由エネルギー変化 ΔG° は $-5.00 \times 10^4\text{ J mol}^{-1}$ となるものとする。また、式(1)において E(l), F(l) はいずれも液体である。



(A) 溶媒中の E と F が EF(s) と平衡する系において、E の活量が 0.450 のときの F の活量を有効数字 2 術で答えなさい。このとき、EF(s) は純物質と見なせるものとする。

(B) (A) の条件で系内の雰囲気ガス中の E の分圧を有効数字 2 術で答えなさい。ただし、1000 K における純粋な E(l) の蒸気圧 p_{E}° は $3.00 \times 10^{-4}\text{ atm}$ である。雰囲気ガスは理想気体と見なせるものとする。

(C) 溶媒中の E, F と EF(s) の活量がそれぞれ 0.015, 0.100 および 0.900 のとき、式(1)の EF(s) 生成反応が進行するかどうか、根拠とともに答えなさい。

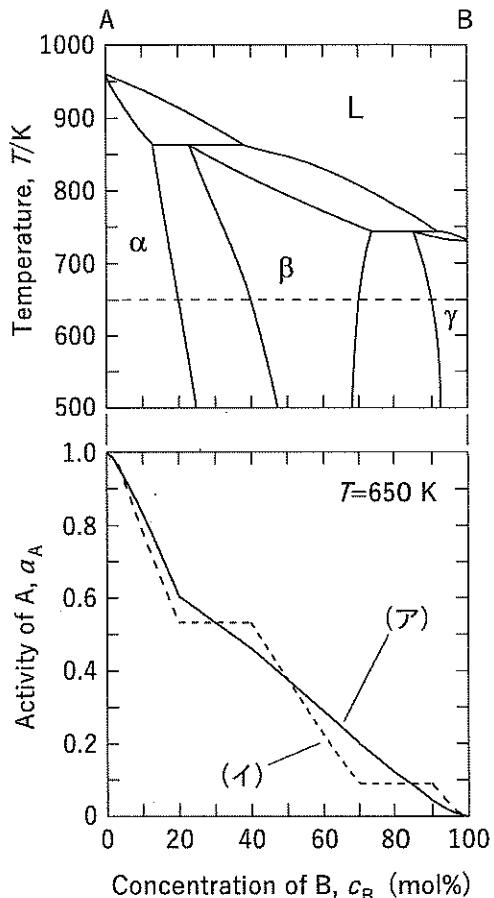


図 1 A-B 二元系平衡状態図と活量の濃度依存性

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A(/)	受験番号	
		評点	

令和 5 年度 4 月入学

令和 4 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 4 年 8 月 23 日 (火) 9:00~12:00

試験科目 : B 材料物性学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 間ある。設問 1 ~ 3 から 2 間を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択した解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 間とも選択した場合は採点の対象としない。また、草案紙は持ち帰ること。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用してよい。

下書用紙

科目記号	B (1 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問1 格子振動に関する以下の問(1)～問(4)に答えなさい。

問(1) 単純な1次元格子振動について考える。構成する原子は全て同じ質量 m であり、同じばね定数 b でつながっている。図1のように j 番目の原子の x 方向の変位を u_j として、 j 番目の原子について運動方程式を立てなさい。ただし、時間を t とする。

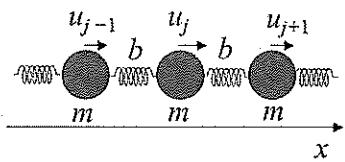


図1

問(2) 図2のような1次元格子振動について考える。構成する原子は全て同じ質量 M であるが、異なるばね定数 b_1, b_2 で交互につながっている(1周期の長さは a)。図2のように、各原子の x 方向の変位をそれぞれ $v_{n-1}, u_n, v_n, u_{n+1}$ とした場合、原子 A_1 と原子 A_2 それぞれについて運動方程式を立てなさい。ただし、時間を t とする。

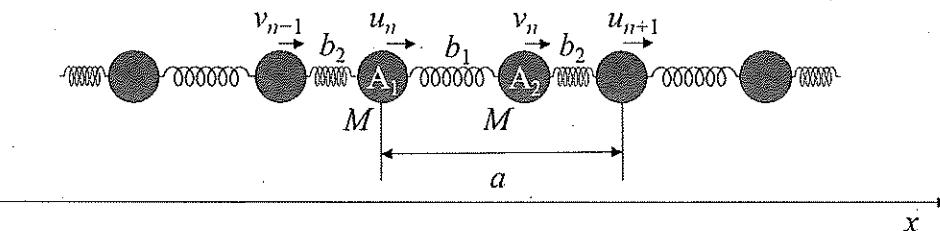


図2

問(3) 角振動数を ω 、波数を q とするとき、問(2)の1次元格子振動の分散関係をあらわす式を求め、 $q=0$ と $q=\pi/a$ における ω を求めなさい。なお、問(2)で立てた運動方程式の解は、 $u_n = Ce^{i(\omega t - qna)}$ 、 $v_n = De^{i(\omega t - qna)}$ と仮定することができる。ただし、 $b_1 < b_2$ であり、 C, D は定数とする。

問(4) 問(3)で求めた分散関係について音響的振動および光学的振動の観点から説明しなさい。必要に応じて図を用いてもよい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (2 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問2 n型半導体における熱平衡状態の拡散電流に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

ただし、ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ 、電気素量 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、絶対温度を T 、伝導電子の移動度を μ 、拡散係数を D_n とする。また、キャリア(電子)密度を n とする。

問(1) アインシュタインの関係式

$$\mu = \frac{e}{kT} D_n$$

を x 方向の一様電界 E の下におけるドリフト流($= \mu n E$)と拡散流($= -D_n dn/dx$)が等しいとして導出しなさい。

このとき n は、

$$n = N_C \exp\left(-\frac{\varepsilon_c - eV - \varepsilon_F}{kT}\right)$$

で与えられるとする。ここで、 V は静電ポテンシャル、 ε_c 、 ε_F はそれぞれ伝導帯、フェルミ準位のエネルギー、 N_C は有効状態密度である。

問(2) 伝導電子の移動度 $\mu = 1.0 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の n型半導体における 300 K での D_n を求めなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (3 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問3 FCC 格子中における完全転位の運動に関する以下の問(1)～問(6)に答えなさい。なお、ミラー指数は最小の整数の組み合わせで表現すること。

問(1) 図 1 を用いて転位を考える。すべり面が $x-z$ 平面、バーガースベクトルが x 軸と平行である場合、 x 軸、 y 軸、 z 軸と平行な方位を、ミラー指数で答えなさい。

問(2) 解答用紙の Fig. 1 (a), Fig. 1 (b) それぞれに「刃状転位線」と「らせん転位線」を記入しなさい。

問(3) 問(2)で解答用紙の Fig. 1 (a), Fig. 1 (b) に描いた転位は外力負荷によって $x-z$ 平面上を運動する。それが運動可能な方位をミラー指数で答えるとともに、Fig. 1 (a), Fig. 1 (b) 中に矢印でそれぞれ記入しなさい。

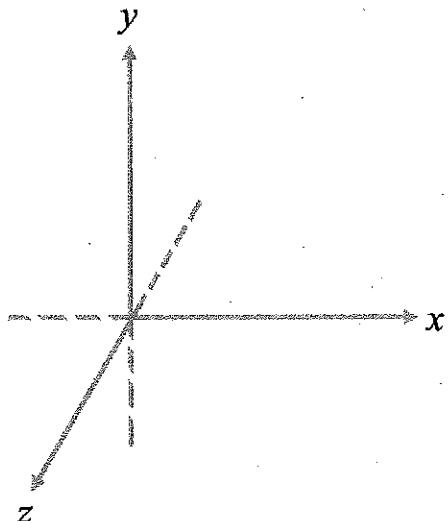


図 1

問(4) 上述の転位が $x-z$ 平面上を運動すると、 $y \geq 0$ の領域と $y < 0$ の領域の二つのブロックが相対運動したことになる。「刃状転位」と「らせん転位」それに関し、相対運動の方向を理由とともにミラー指数で答えなさい。

問(5) 問(2)で解答用紙の Fig. 1 (b) に描いた「らせん転位」が交差すべりできるすべり面を、Fig. 1 (b) に模式的に書き入れなさい。

問(6) らせん転位が二回交差すべりすることで、転位の増殖源が形成される。解答用紙に Fig. 2 として、この増殖源を模式的に書きなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (3 / 3)	受験番号	
評点			

問(1) x 軸 []

y 軸 []

z 軸 []

問(2), 問(3), 問(5)

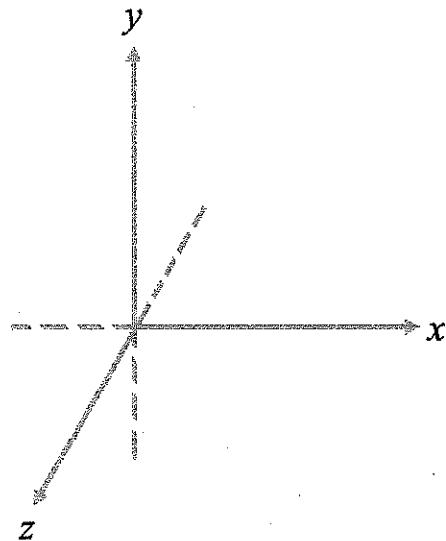


Fig. 1 (a)

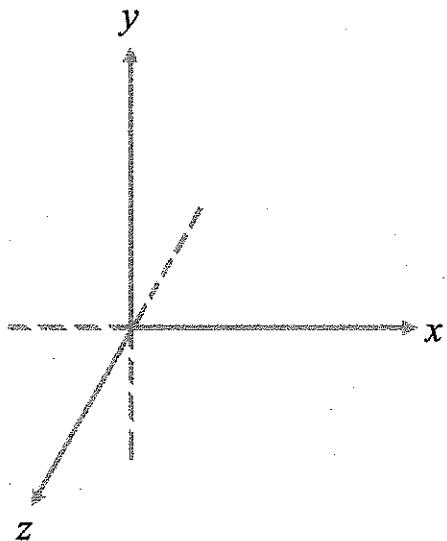


Fig. 1 (b)

令和 5 年度 4 月入学

令和 4 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 4 年 8 月 23 日 (火) 13:00~16:00

試験科目 : C 材料プロセス工学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書き用紙 1 枚、問題用紙 5 枚からなる。解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 間ある。設問 1 ~ 3 から 2 間を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択した解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 間とも選択した場合は採点の対象としない。また、草案紙は持ち帰ること。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用してよい。

下書用紙

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (1 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問1 長さ L で断面積 S , 断面の周囲長 b の冷却フィンがある。一定温度 $T = T_0$ であるフィンの根元を $x = 0$ として、先端に向かって x 軸を定義する。フィンの熱伝導率は λ 、フィン周囲の空気温度は T_{air} 、フィンと空気との間の熱伝達係数は h であり、いずれも一定とする。また、輻射伝熱はゼロ、温度分布は定常、フィン内の温度分布は x のみの関数、と仮定する。このとき、以下の問(1)～問(6)に答えなさい。

問(1) フィンの位置 x において、フィン内を単位時間あたりに通過する熱エネルギー q_{in} を表す式を示しなさい。

問(2) フィンの位置 x と位置 $x + \Delta x$ との間の表面から空气中へ放熱される単位時間あたりの熱エネルギー q_e を式で示しなさい。

問(3) フィンの位置 x と位置 $x + \Delta x$ との間の熱収支式を求めなさい。

問(4) フィンの長さが無限大であり、その先端では温度勾配がないものとする。このとき、フィン内部の温度分布を表す式を求めなさい。

問(5) このフィンを通して、空气中へ放熱される単位時間あたりの熱エネルギーを求めなさい。

問(6) このフィンの冷却効率を向上させる方法を理由とともに述べなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (2 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問2 アルミニウムに関する下記の文章を読み、以下の問(1)～問(9)に答えなさい。

アルミニウムの工業的な製錬は、バイヤー法とホール・エルー法によって行われている。バイヤー法では初めに、水酸化アルミニウムを生成するために、(a)鉱石である (あ) を高温の (い) 融液に溶解して冷却する。次に、この(b)水酸化アルミニウムを加熱・脱水することにより、(う)を得る。ホール・エルー法では、(c)融解した氷晶石を主成分とする溶融塩に (う) を溶解したのち、二つの (え) 電極を浸漬して電気分解すると、カソードにアルミニウムを得ることができる。(d)アルミニウムの製錬は多大な電力を必要とすることから、アルミニウムはしばしば「電気の缶詰」とよばれている。製錬工程を経て得られたアルミニウムインゴットは再溶解されて、目的とする組成に成分を調整したのち、ビレットや(e)スラブとする。これらを熱処理および加工することによって(f)様々な機械的特性をもつアルミニウム素材が製造され、(g)各種工業製品に用いられる。

問(1) 上の文章中の (あ) に入る適切な鉱石名、(い)～(う) に入る適切な化合物名、(え) に入る適切な元素名を答えなさい。

問(2) 下線部(a)の処理によってアルミニウム原子を含むアニオンが融液中に生成するが、このアニオンのイオン式およびイオン名を答えなさい。

問(3) 下線部(b)の化学反応式を表しなさい。

問(4) 下線部(c)について、氷晶石を用いる理由として最も適切なものを、以下の選択肢の中から一つ選び、記号で答えなさい。

- (か) 過電圧を大幅に低減し、(う) の理論分解電圧以下の製錬を行うため。
- (き) 微量の水分を取り除き、水の電気分解が生じることを防ぐため。
- (く) 溶融塩に対する (う) の溶解度が大きく、電気分解の温度も低くできるため。
- (け) 生成したアルミニウムが電解炉のセラミックスと反応することを防ぐため。

問(5) 下線部(d)について、ホール・エルー法における 1 日 (24 h)あたりのアルミニウムの理論生産量 W_{Al} (kg) は、式(1)で与えられる。

$$W_{Al} = a \times I \quad (1)$$

ここで、 I は電解電流 (kA), a は比例定数である。アルミニウムの原子量を 27.0, ファラデー定数を $9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ としたとき、 a の値を有効数字 3 衔で答えなさい。

(次頁に続く)

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (2 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

(前頁より続き)

問(6) ホール・エル一法では、生成したアルミニウムの一部が溶融塩中において再酸化されるため、電流効率を100%にすることは困難である。電解電流を280 kAとしてアルミニウムの製錬を1日(24 h)行ったところ、2140 kg のアルミニウムが得られた。この際の電流効率を有効数字3桁で答えなさい。

問(7) 下線部(e)について、スラブの説明として最も適切なものを、以下の選択肢の中から一つ選び、記号で答えなさい。

- (さ) 溶融金属を凝固し、細かく破碎して粉末状にしたものとスラブとよぶ。
- (し) 溶融金属上に浮かび上がってきた鉱物成分由来の残渣をスラブとよぶ。
- (す) 溶融金属を鋳型に流し込み、主に直方体状に鋳造したものをスラブとよぶ。
- (せ) 溶融金属がトーピードカーに保持された状態のものをスラブとよぶ。

問(8) 下線部(f)について、アルミニウムの重要な機械的特性の一つとしてビッカース硬さ(HV)があり、式(2)を用いて計算できる。

$$HV = 0.1891 F / d^2 \quad (2)$$

ここで、 F の単位は N, d の単位は mm である。ビッカース硬さを測定するための具体的な方法について2~3行で説明しなさい。説明にあたっては、 F および d を定義し、説明文に用いなさい。

問(9) 下線部(g)について、アルミニウム材料の説明として不適切なものを、以下の選択肢の中から全て選び、記号で答えなさい。

- (た) アルミニウムの熱伝導率は鉄の約十分の一であるため、断熱材として利用されている。
- (ち) アルミニウムの密度はマグネシウムの約半分であるため、航空機や新幹線など輸送機械の構造材料として用いられる。
- (つ) アルミニウムは圧延によって薄い箔に加工しやすく、アルミホイルとして利用されている。
- (て) アルミニウムはリサイクルしやすい金属材料であり、クロール法による再製錬が行われる。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (3 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問3 流動に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) ハーゲン・ポアズイユ流れに関する下記の文章を読み、以下の(A)～(B)に答えなさい。

内半径 a が一定で滑りのない円管内のハーゲン・ポアズイユ流れを考える。中心軸を x 軸にとった円柱座標系 (r, θ, x) で表したとき、中心軸方向の速度成分 v_x の動径 r 分布は、

$$v_x(r) = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dx} \right) (a^2 - r^2) \quad (1)$$

となる。ただし、 $\frac{dp}{dx}$ は圧力勾配、 η は流体の粘性係数を表し、 $\frac{dp}{dx}$ 、 η は一定とする。また、中心軸回りの旋回成分は無く、軸対称の近似が成り立つものとする。

式(1)の導出のため、中心軸上に半径 r 、長さ Δx の微小な円柱要素を考える。この円柱要素の上流側、下流側の断面には圧力による力が、側面にはせん断応力 τ が働き、これらの力はつり合う。よって、流れ方向を正とすると力のつり合いの式は

$$\pi r^2 p - \pi r^2 (\boxed{\text{(ア)}}) - (2\pi r \Delta x) \tau = 0 \quad (2)$$

となり、これより

$$\tau = \boxed{\text{(イ)}} \quad (3)$$

が得られる。ここでニュートンの粘性法則より τ は、

$$\tau = \boxed{\text{(ウ)}} \quad (4)$$

で与えられるから、式(3)は

$$\frac{dv_x}{dr} = \boxed{\text{(エ)}} \quad (5)$$

となり、圧力勾配一定より式(5)を積分すると、

$$v_x = C + \boxed{\text{(オ)}} \quad (6)$$

が得られる。ここで、 C は積分定数である。境界条件 $r=a$ のとき $v_x=0$ より、 C は

$$C = \boxed{\text{(カ)}} \quad (7)$$

で表され、式(1)が成り立つ。

(A) ハーゲン・ポアズイユ流れとはどのような流れか、簡単に述べなさい。

(B) $\boxed{\text{(ア)}} \sim \boxed{\text{(カ)}}$ に適切な式や数値をいれ、文章を完成させなさい。

(次頁に続く)

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (3 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

(前頁より続き)

問(2) レイノルズ数と相似則に関する以下の(A)～(C)に答えなさい。ただし、動粘性係数 ν は、空気： $15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、水： $1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ とする。

(A) レイノルズ数 Re の物理的意味を述べなさい。

(B) 翼長 10.0 m のグライダーが $V [\text{m s}^{-1}]$ で飛行するとき、翼の周りの空気流れを調べるために、翼長 1.00 m の相似模型を作製して回流水槽の中で実験を行った。模型の翼近傍の点での水の流速が 2.00 m s^{-1} であったとすると、実機の相似な点における空気の相対流速 v を求めなさい。

(C) 内部を水が体積流量 $Q = 6.30 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で流れている内直徑 $D = 50.0 \text{ mm}$ の水平管内流れを考える。ハーゲン・ポアズイユ流れが仮定できるとして、水の代わりに空気を流した場合、流動状態を力学的に相似にするために必要な空気の平均流速 \bar{v} および最大流速 v_{MAX} を求めなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C(/)	受験番号	
		評点	

令和 5 年度 4 月入学

令和 4 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 4 年 8 月 23 日 (火) 13:00~16:00

試験科目 : D 材料組織学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。
解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 間ある。設問 1 ~ 3 から 2 間を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択した解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 間とも選択した場合は採点の対象としない。また、草案紙は持ち帰ること。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用してよい。

下書用紙

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (1 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問1 金属の結晶粒成長と再結晶に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 結晶粒成長に関する下記の文章を読み、(A)～(C)に答えなさい。

多結晶組織における粒界の移動速度は、粒界の移動度と粒界エネルギー、そして (あ) に比例する。これを (あ) 駆動成長と呼び、このとき結晶粒径は下記の関係に従って変化する。

$$r(t)^n - r(0)^n = Mt$$

ここで、 $r(t)$ は時刻 t における結晶粒の平均粒径、指數 n は $n = \boxed{\text{(い)}}$ である。 M は温度に依存する係数であり、その値は温度の上昇とともに (う) する。組織全体で均一に結晶粒が成長するこの現象を (え) 粒成長と呼ぶ。合金においては、析出物のピン留め効果や (お) 効果によって粒成長が抑制される場合がある。また、一部の領域でこれらの成長抑制効果が弱まることで、少数の結晶粒のみが大きくなる (か) 粒成長が生じる場合がある。

(A) 文中の (あ) ～ (か) に入る適切な語句や数値を答えなさい。

(B) 析出物の平均サイズが同一のとき、析出物の体積割合がピン留め効果に及ぼす影響を簡潔に答えなさい。さらに、析出物の体積割合が一定のとき、析出物の平均サイズがピン留め効果に及ぼす影響についても簡潔に答えなさい。

(C) (え) 粒成長において成立する粒径分布のスケーリング則とは何か、簡潔に説明しなさい。

問(2) 再結晶に関する下記の文章を読み、(A)～(D)に答えなさい。

冷間加工した金属をある温度に保持すると、1時間後には組織全体が再結晶組織になる。この温度を (き) と呼ぶ。再結晶粒の粒径は、加工度、保持温度によって変化し、加工度が (く) ほど小さくなり、保持温度が (け) ほど大きくなる。再結晶が生じるためには、ある値以上の加工度が必要であり、この値のことを (こ) と呼ぶ。(こ) は保持温度が高いほど (さ) くなる。また、塑性変形後の熱処理中に生じる再結晶を (し) 再結晶と呼ぶのに対して、塑性変形中に生じる再結晶を (す) 再結晶と呼ぶ。

(A) 文中の (き) ～ (す) に入る適切な語句を答えなさい。

(B) 再結晶粒の体積割合 X の時間変化を表す Johnson-Mehl-Avrami の式 (KJMA 式とも呼ぶ) を答えなさい。必要な記号は定義すること。

(C) 再結晶集合組織とは何か、簡潔に説明しなさい。

(D) (す) 再結晶が生じる場合の典型的な真応力—真ひずみ曲線を模式的に描きなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (2 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問2 合金の置換型拡散に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 図1に示すように、純金属AとBを接合し拡散対を作製した。拡散対の接合面にはAおよびBのどちらとも反応しない不活性マーカーを挿入した。ここで、図中の接合面と垂直な方向にx軸を取り、AからBに向かう方向を正として、x軸方向の拡散を考える。

この拡散対を拡散が生じる十分な温度で保持した場合について、以下の(A)～(H)に答えなさい。なお、AとBは全率固溶であり、A、Bおよび空孔の拡散流束を J_A 、 J_B および J_V とし、固溶体のモル体積および拡散対の体積を一定とする。また、AおよびBの原子濃度をそれぞれ C_A および C_B とし、 $C_0 = C_A + C_B = \text{const.}$ とすると、AおよびBのモル分率は $X_A = C_A/C_0$ 、 $X_B = C_B/C_0$ である。

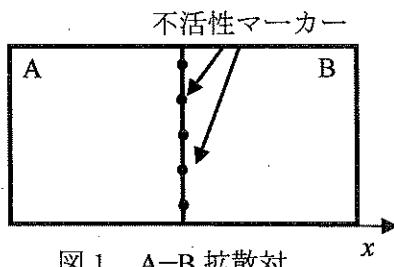


図1 A-B 拡散対

(A) J_A 、 J_B および J_V の関係式を求めなさい。

(B) マーカーを挿入した界面をマーカ一面と呼ぶ。固溶体中のAとBの固有拡散係数 D_A と D_B が、 $D_A > D_B$ である場合、マーカ一面は図1のどちらに動くかを理由とともに答えなさい。

(C) 移動するマーカ一面を基準とした場合、 J_A および J_B をFickの第一法則を用いて表しなさい。

(D) J_V を D_A 、 D_B 、 C_A および x を用いて表しなさい。

(E) マーカ一面の移動速度を v として、 v と J_V の関係を、 C_0 を用いて表しなさい。

(F) v を D_A 、 D_B 、 X_A および x を用いて表しなさい。

(G) 拡散対の端面を基準とした場合のAの拡散流束 J'_A を D_A 、 D_B 、 X_A 、 X_B および C_A を用いて答えなさい。

(H) (G)で求めた答えとFickの第一法則を比較して、相互拡散係数 \tilde{D} と D_A 、 D_B の関係を答えなさい。

問(2) 図1の拡散対を800 °C、酸化が生じない真空中で保持した結果、マーカ一面は時間の平方根に比例して移動していることが確認された。この拡散対と同じ条件で100日間保持した後のマーカーの移動距離は200 μmであり、マーカ一面でのAの濃度勾配は $\frac{\partial X_A}{\partial x} = -1000 \mu\text{m}^{-1}$ 、組成はA-25at% Bであった。A-25at% B固溶体中の相互拡散係数を $4.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ とするとき、A-25at% BにおけるAとBの固有拡散係数 D_A および D_B をそれぞれ求めなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (3 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問3 材料の破壊に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 下記の文章を読み、以下の(A)～(C)に答えなさい。

鋼の丸棒引張試験片を作製し、様々な温度で引張試験を実施したところ、ある温度(あ)よりも高い温度では、くびれが生じて延性破壊(い)したが、低い温度では、くびれることなく脆性破壊した。

(A) 下線部(あ)の温度の名称を答えなさい。

(B) 引張試験の結果、延性破壊した試験片と脆性破壊した試験片の応力-ひずみ曲線の模式図を示しなさい。ただし、延性破壊した試験片は、降伏点降下を示さず、塑性ひずみのうち、均一ひずみと不均一ひずみの比が4:1になった。

(C) 下線部(い)の破壊形態はカップアンドコーン型破壊であった。この破壊機構について説明しなさい。必要であれば、図を用いてもよい。

問(2) 下記の文章を読み、以下の(A)～(D)に答えなさい。

脆性材料の結晶(平衡格子面間距離 a_0)に対して図1に示すように引張応力 σ を負荷したとき、破線で示す格子面でへき開破壊が生じるために必要な応力(理想へき開強度) σ_c を求めるこころを考える。結晶のポテンシャルエネルギー U と格子面間距離 a が図2(a)の関係で表される場合、応力 σ と a の関係は、図2(b)の①の点線の関係になる。この関係を②の実線のように振幅 σ_c 、波長 λ の正弦関数で近似すると以下の式で示すことができる。

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_c \sin \left\{ \frac{2\pi(a - a_0)}{\lambda} \right\} & \left(a_0 \leq a \leq a_0 + \frac{\lambda}{2} \right) \\ 0 & \left(a > a_0 + \frac{\lambda}{2} \right) \end{cases}$$

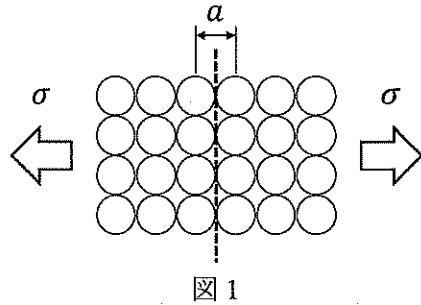


図1

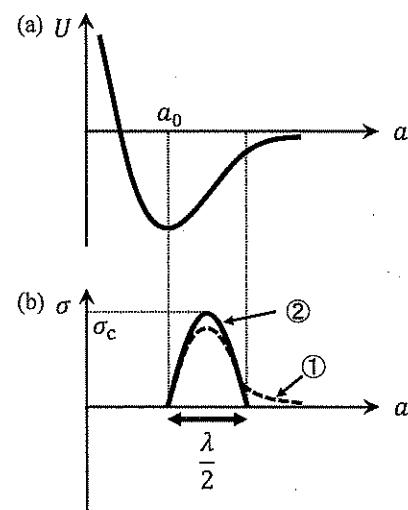


図2

(A) この結晶の弾性変形における応力 σ を a 、 a_0 および応力負荷方向のヤング率 E を用いて示しなさい。また、 σ_c を a_0 、 λ および E を用いて示しなさい。ただし、 $(a - a_0)/\lambda$ は十分に小さいと仮定する。

(B) この結晶を破壊させるエネルギーを、へき開面が形成するエネルギーとみなして、その表面エネルギー γ_s と λ の関係を導出しなさい。

(C) σ_c を a_0 、 γ_s および E を用いて示しなさい。

(D) ある脆性材料の物性値から σ_c を算出したところ、実際の破壊強度よりも数桁大きな値となった。考えられる理由を述べなさい。

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D(/)	受験番号	
		評点	

令和5年度4月入学 令和4年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D(/)	受験番号	
		評点	