

令和6年度4月入学

令和5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5年8月22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4枚からなる。解答用紙は専用の解答用紙を含め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枚とも提出した場合は採点の対象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰ること。
- 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 | A (1/3) | 試験科目 | 材料物理化学 |
|------|---------|------|--------|

設問1 図1はチタン-ニッケル二元系平衡状態図を示している。図中、 (αTi) 、 (βTi) および (Ni) はそれぞれ固溶体を表している。以下の問(1)~問(9)に答えなさい。なお、平衡状態図中の各温度では十分に拡散が生じ、相変態は平衡状態図のとおりに進捗すると考える。また、圧力は一定とする。

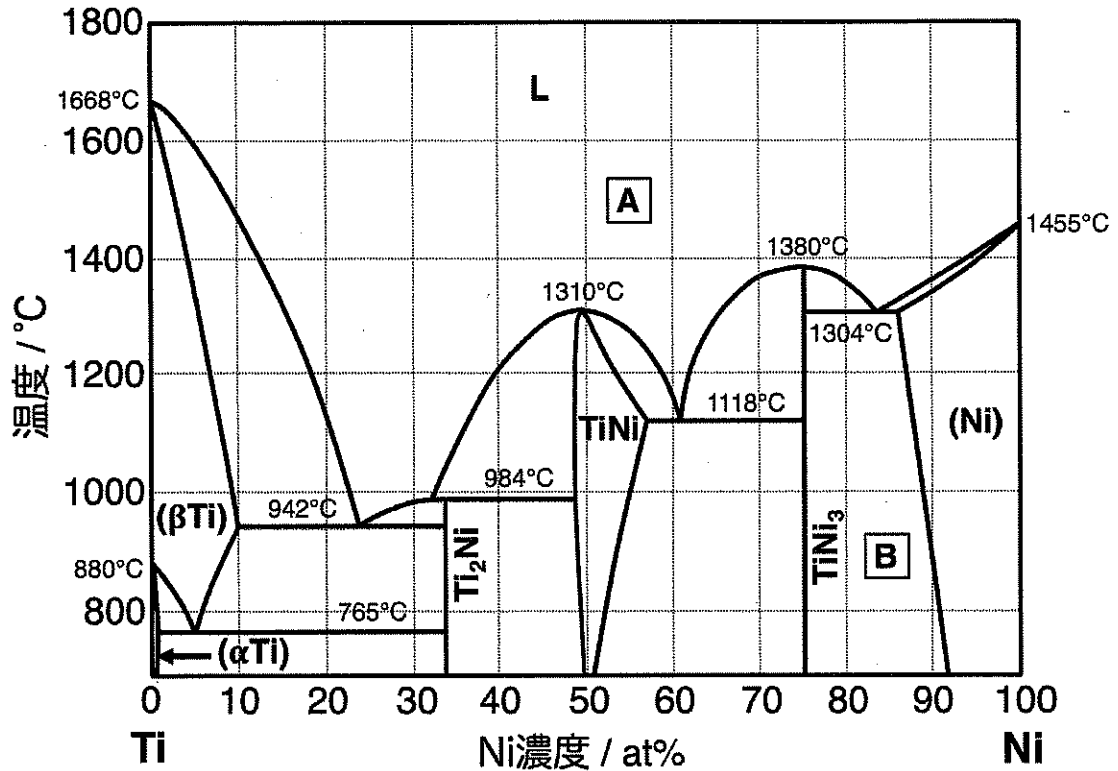


図1 チタン-ニッケル二元系平衡状態図

問(1) 1800°Cの純チタンをゆっくり冷却したとき、1668°Cおよび880°Cで生じる相変態名を答えなさい。

問(2) 状態図中に示されたAおよびBの領域の自由度を答えなさい。

問(3) この状態図中に存在する不変系反応の数を答えなさい。ただし、純金属は考慮しない。

問(4) 問(3)で解答した不変系反応について、反応温度、反応名および反応式をすべて答えなさい。

令和6年度4月入学 令和5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 |
|------|-----------|------|--------|

(前頁より続き)

問(5) 1600°Cの Ti-20at%Ni 合金をゆっくりと冷却したとき, 942°C直下で生じる相の組成 (mass%基準) をすべて答えなさい. なお, チタンの原子量は 47.9, ニッケルの原子量は 58.7 としなさい.

問(6) 1600°Cの Ti-40at%Ni 合金をゆっくりと冷却したとき, 984°Cで生じる金属組織の変化の様子を描きなさい. 解答にあたっては, 相変態の前後の組織のみではなく, 変化の途中の過程を詳細に描きなさい.

問(7) 1600°Cの Ti-70at%Ni 合金をゆっくりと冷却して 800°Cとしたとき, 冷却過程において予想される冷却曲線 (熱分析曲線) の概略図を解答用紙に描きなさい. 概略図中には, 冷却速度が変わる際のおおよその温度を示しなさい.

問(8) 1500°Cにおける液相および(β Ti)相の組成-自由エネルギー線図の概略を描きなさい. 共通接線が引ける場合には, その接点の組成を記述しなさい.

問(9) TiNi は形状記憶合金として知られている. 金属材料の形状記憶のメカニズムについて, 100 字程度で説明しなさい. 説明にあたっては, 次の用語を用いなさい. [回復温度, 無拡散変態, 変形]

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

設問2 図1に示す電位-pH線図から、金属Mを使った電池について考える。以下の問(1)~問(4)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。

ファラデー定数: $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$,

気体定数: $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, 温度: $T = 298 \text{ K}$,

標準化学ポテンシャル: $\mu_0(\text{H}_2\text{O}) = -237 \text{ kJ mol}^{-1}$,

$\mu_0(\text{OH}^-) = -157 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{M}^{2+}) = -58.2 \text{ kJ mol}^{-1}$,

$\mu_0(\text{M}(\text{OH})_2) = -454.3 \text{ kJ mol}^{-1}$.

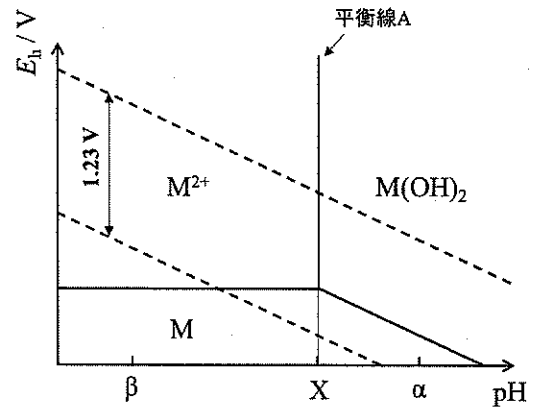


図1

問(1) 図中の2本の破線が意味するところを説明しなさい。

問(2) 平衡線Aの平衡反応を示し、その対応するpHの値(X)を求めなさい。ただし、 M^{2+} の活量は1とする。

問(3) 塩基性溶液($\text{pH} = \alpha$)を電解質に用いた電池について、以下の(A)~(C)に答えなさい。

(A) アノードおよびカソードでの反応を、 e^- を用いた半反応式で示しなさい。

(B) アノード(E_a)およびカソード(E_c)での平衡電位を求め、この電池の平衡電圧(E)を求めなさい。

なお $\text{pH} = 12.0$ とし、酸素分圧: $P_{\text{O}_2} = 1.00 \text{ atm}$ とする。

(C) 放電時における電圧は、(B)で求めた平衡電圧より小さい。その理由を説明しなさい。

問(4) 酸性溶液($\text{pH} = \beta$)を電解質に用いた電池について、以下の(A)~(B)に答えなさい。

(A) アノードおよびカソードでの反応を、 e^- を用いた半反応式で示しなさい。

(B) この電池を実用化させる場合、問題となる点は何かを考え説明しなさい。

令和6年度4月入学 令和5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 |
|------|-----------|------|--------|

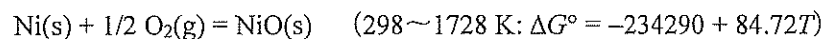
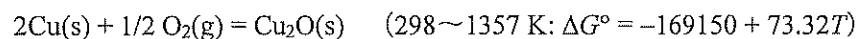
設問3 下記の文章を読み, Ar 製造の熱力学に関する以下の問(1)~問(2)に答えなさい。なお数値は有効数字3桁で答え, Ar ガスは理想気体と仮定する。必要ならば以下の数値を用いなさい。

気体定数 $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, Ar の原子量: 39.948, 標準大気圧: 101325 Pa.

Ar の製造は, 空気分離プロセスによって行われる。空気中に含まれる N_2 , O_2 , Ar 等の気体を液化して分離することで, 高純度の Ar を得ることができる。生成された Ar 中に含まれる残留酸素を除去する方法の一つは, Cu, Ni 等の金属と酸素の酸化反応による酸素の除去である。Ar 貯蔵用容器として気体充填用容器(ガスボンベ)と液体充填用極低温容器が使用されている。よく使われている充填容量 7000 L のガスボンベは標準大気圧, 35°C 状態で 7000 L のガスを圧縮し充填するものである。

問(1) 充填容量 7000 L のガスボンベ本体の質量は 53.0 kg である。ガスが満充填されたとき, ボンベの圧力計は 14.7 MPa を示している。これは大気圧を基準として, 大気圧より 14.7 MPa 高いことを示している。Ar ガス満充填時のボンベの質量を求めなさい。また, ガスの容量が残り 20.0% のとき, ボンベの圧力計の数値を求めなさい。

問(2) 加熱された銅メッシュおよびニッケルメッシュを用いて Ar ガスを精製する場合, 反応式と標準自由エネルギー変化 $\Delta G^\circ (\text{J mol}^{-1})$ が以下で与えられる。式中の T は熱力学温度である。



上記のデータをもとにして, 以下の(A)~(D)に答えなさい。

(A) Cu_2O と NiO のエリンガム図を描きなさい。酸素分圧 P_{O_2} の目盛り ($P_{\text{O}_2} = 1, 10^{-3}, 10^{-10}, 10^{-15}, 10^{-20}$ atm) も描きなさい。

(B) Ar ガスを精製する場合, 500°C に加熱された銅メッシュとニッケルメッシュのうち, どちらが酸素分圧をより低くできるかをエリンガム図を用いて説明しなさい。

(C) 銅メッシュを用いて加熱温度を 600°C にしたとき反応が平衡になった。Ar ガス中の酸素分圧を求めなさい。

(D) (C) の加熱温度を 400°C に下げた場合と 900°C に上げた場合, Ar ガス中の酸素分圧はどのように変化するかを答えなさい。

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

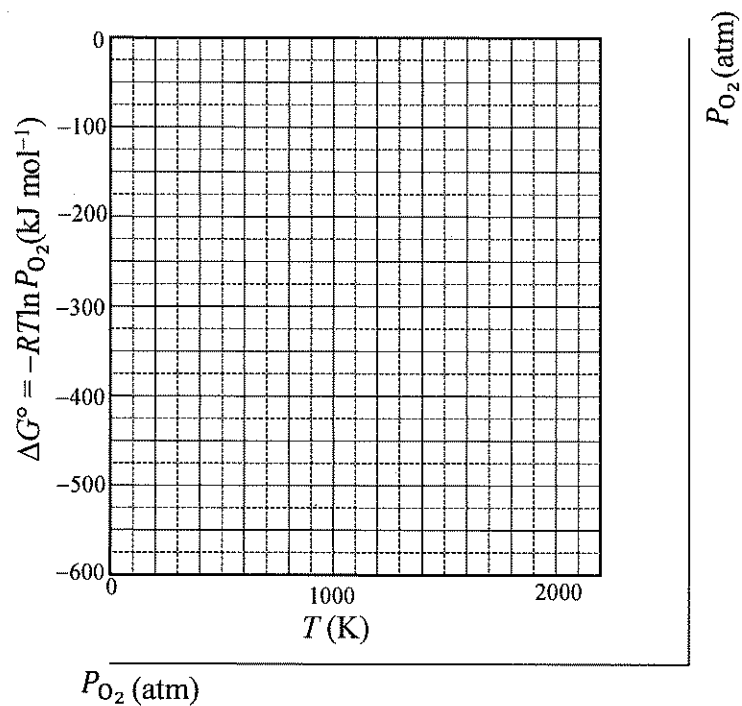
| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | A (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | A (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|-----------|------|--|
| 科目記号 | A (3 / 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |



令和6年度4月入学

令和5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5年8月22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枚とも提出した場合は採点の対象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰ること。
- 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もよい。

下書用紙

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問1 幅 L の一次元無限高井戸型ポテンシャル中に電子が1つ存在する。以下の問(1)~問(5)に答えなさい。なお、必要な文字や記号は定義してから用いること。

問(1) 定常状態における電子の波動関数とエネルギー固有値を答えなさい。

問(2) 得られた電子の波動関数の直交性を示しなさい。

問(3) 得られた固有状態について、量子数が1だけ異なる固有状態間、および2だけ異なる固有状態間のエネルギー差を答えなさい。

問(4) エネルギーの低い順に3つの固有状態について、エネルギー準位図を模式的に描きなさい。これらの3つの固有状態間のエネルギー差も図中に記入しなさい。

問(5) ポテンシャルの幅 L が変化した場合、エネルギー固有値がどのように変化するか簡潔に答えなさい。

令和6年度4月入学 令和5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 X線回折に関する以下の問(1)~問(4)に答えなさい。なお、 (hkl) 面の結晶構造因子 F_{hkl} は以下の通りである。ただし、原子 j の原子散乱因子を f_j 、原子座標を (u_j, v_j, w_j) とする。

$$F_{hkl} = \sum_j f_j \exp \{2\pi i(hu_j + kv_j + lw_j)\}$$

問(1) ブラッグの条件式を示しなさい。なお、必要な文字や記号は定義してから用いること。

問(2) 面心立方格子における (hkl) 面の結晶構造因子を示しなさい。

問(3) 体心立方格子の消滅則を示しなさい。

問(4) 酸化マグネシウム MgO の (111) 面と (200) 面からの理想的な粉末 X 線回折線の相対強度比を導出しなさい。ただし、結晶構造因子以外の因子は無視できるものとする。また、 MgO の結晶構造は NaCl 型であり、 Mg および O の原子散乱因子はそれぞれの原子番号で近似するものとする。

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

設問3 材料の誘電的性質と光学的性質に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。必要な記号は定義してから用いること。

問(1) ある金属を電解液に浸漬して、一定の電流で陽極酸化すると酸化物皮膜が形成した。その際に、陽極酸化電位を測定したところ図1のような変化が測定された。条件を変えて陽極酸化した後に中性の電解液中で周波数を変えて交流特性（インピーダンスと位相差）を測定して図2のような結果を得た。以下の(A)～(C)に答えなさい。ただし、電流は全て酸化物皮膜の形成に使用されたものとする。

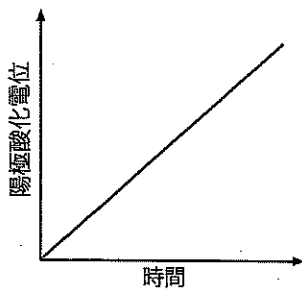


図1 陽極酸化電位と時間の関係

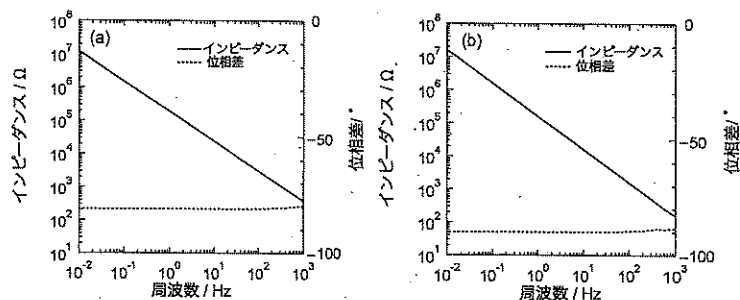


図2 交流特性

- (A) 図1から、酸化物皮膜の厚さは時間に対してどのように変化したかを答えなさい。
- (B) 図1をもとにしてこの金属を陽極酸化して電気容量の異なるキャパシタを作製する方法を答えなさい。なお、金属の表面積は同一とする。
- (C) 図2の(a)と(b)、どちらの特性を示す酸化物皮膜がキャパシタの誘電体として適しているかを判断理由とともに答えなさい。

問(2) 材料の色や光の透過性は、結晶構造や組成、純度で様々に変化する。以下の(A)～(B)に答えなさい。

- (A) 透明な酸化物に不純物が含まれると色を生じることがある。その理由を電子のエネルギーバンド構造を用いて説明しなさい。必要に応じて図を用いてもよい。
- (B) ガラス板に強度一定の緑色レーザー光を直角に照射した。その際に、透過する光の強度とガラス板の厚さとの関係式を求めなさい。求めた関係式から、ガラスのみで光を完全に遮断できるかを論じなさい。なお、ガラス板は光学的に平滑で、内部での多重反射は考えない。

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | B (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | B (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | B (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学
令和5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5年8月22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、下書用紙1枚、問題用紙4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枚とも提出した場合は採点の対象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰ること。
- 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下さい。

下書用紙

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

設問1 比熱が C_p , 密度が ρ , 熱拡散率が α , 温度が T_0 , x 方向長さが $2L$ で, y 方向と z 方向には無限に広がっている板がある. この板を時刻 $t = 0$ で温度 $T_L (< T_0)$ の均一な液体に浸漬させて板の両面($x = \pm L$)から冷却した. 熱の流れは x 方向のみ, 液体温度は常に一定と仮定して以下の問(1)~問(5)に答えなさい. ただし, 板と液体との間の熱伝達率を h とする.

問(1) ニュートンの冷却の法則を記しなさい. 用いた記号は SI 単位系の単位を示して定義しなさい.

問(2) 板内部の温度は位置に依存せずに均一であり, かつ熱伝達率 h は時間に依存せずに一定であると仮定する. このとき, 板に対する熱収支式を示すとともに板の温度の時間変化を表す式を求めなさい.

問(3) 板を速く冷却するための方策をその理由とともに述べなさい.

問(4) 板内部の温度は均一ではない. 内部の温度分布が均一とみなせる状態になりやすい板はどのような板か, 理由とともに述べなさい.

問(5) 板を液体に浸漬しておく, 板内部の温度が均一とみなせる状態に近づく. そうなる前に, 均一温度 $T_f (> T_0)$ の炉に板を移し替えて, わずかな時間 $t (\ll L^2/\alpha)$ 保持した. 板内部の温度が分布を持つものとして, このときの板の片側領域($0 \leq x \leq L$)の温度分布がどのようなようになるのかを温度と温度勾配の観点から定性的に記述しなさい. また, その温度分布を炉に入れる直前の温度分布と併せて, 横軸を位置, 縦軸を温度とする図に示しなさい.

令和6年度4月入学 令和5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 流動および移動現象のアナロジー(相似性)に関する以下の問(1)~問(2)に答えなさい。

問(1) 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、空気の動粘性係数 ν は、水の動粘性係数の15.0倍であるとする。

(A) レイノルズ数 Re の物理的意味を述べなさい。

(B) 翼長 12.0 m の小型飛行機が 18.0 m s^{-1} で飛行するとき、翼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水の流速が 1.40 m s^{-1} であった場合、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) 内直径 $D=40.0 \text{ mm}$ の水平管内部を水が体積流量 $Q=4.80 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で流れている。この管内流にハーゲン・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。

問(2) 移動現象のアナロジーに関する以下の(A)~(D)に答えなさい。ただし、 t, x 等の時間、位置に関する物理量以外に必要な物理量はSI単位系の単位を付して定義すること。また、動粘性係数 ν 等の輸送係数と密度 $\rho [\text{kg m}^{-3}]$ は、他の物理量によらず一定であるとする。

(A) 流束(フラックス)とは何か、簡単に説明しなさい。

(B) フィックの第1法則(一次元でよい)を示し、符号の物理的意味を答えなさい。

(C) ニュートンの粘性法則を ν を用いて表しなさい。また、(B)より両者にアナロジーが成立することを示しなさい。

(D) (B)よりフィックの第2法則を導出しなさい。必要ならば図を用いてもよい。

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

設問3 水素貯蔵材料に関する以下の文章を読み、以下の問(1)～問(4)に答えなさい。

多くの金属は水素ガスと反応し金属水素化物を生成する。中でも、チタンやマグネシウム等は容易に水素と反応する。これらの金属と、鉄やニッケル等の水素と比較的反応しにくい金属を合金化した材料は、金属水素化物の生成とその分解を可逆的に起こすことのできる水素吸蔵合金として研究開発が進められてきた。図1は、ある温度における金属-水素系の典型的な圧力-組成等温線図を模式的に示したものである。縦軸は平衡水素圧、横軸は金属中の水素濃度を示している。等温下で水素圧力を上げていくと、金属中に水素が溶解して固溶体相を形成し、水素濃度は曲線 AB に沿って増大する。B 点に達すると、固溶体が水素と反応して金属水素化物相が生成し、全ての固溶体が金属水素化物相になると C 点に達する。この金属水素化物生成領域では、定圧で反応が進行する。

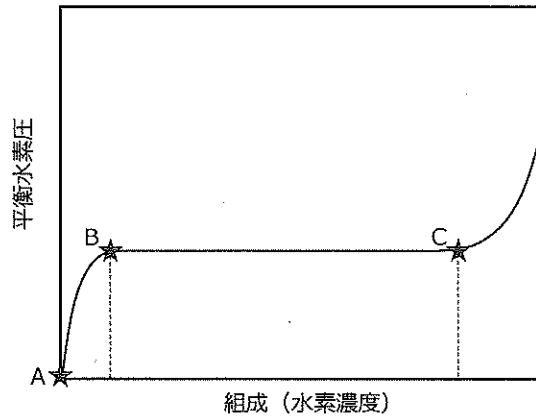


図1 ある温度における金属-水素系の典型的な圧力-組成等温線図

問(1) 金属水素化物生成領域(図1中 B→C)において定圧で反応が進行する理由を Gibbs の相律に基づいて説明しなさい。

問(2) ある金属 M の一水素化物 MH の生成反応が以下の式(1)で示されるとき、平衡定数 K と平衡水素圧 P_{H_2} の関係を示しなさい。なお、水素を理想気体、M および MH を純粋な固体状態と仮定する。



(次頁に続く)

| | | | |
|------|-----------|------|----------|
| 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(3) 式(1)における平衡水素圧 P_{H_2} を標準エンタルピー変化 ΔH° と標準エントロピー変化 ΔS° の関係式として示しなさい。導出にあたり、気体定数を R 、温度を T 、標準自由エネルギー変化を ΔG° として使用しなさい。

問(4) 下記の式(2)に示す金属水素化物 MgH_2 の生成反応に関して、以下の(A)~(D)に答えなさい。なお、気体定数 $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ とし、 ΔH° 、 ΔS° の温度依存性は無視できるものとする。



- (A) MgH_2 の生成反応において 300 K および 600 K における平衡水素圧 P_{H_2} はそれぞれ $1.22 \times 10^{-6} \text{ atm}$ および 3.72 atm であった。 ΔH° と ΔS° を求めなさい。
- (B) MgH_2 の生成反応は発熱か吸熱か答えなさい。
- (C) $P_{\text{H}_2} = 1.00 \text{ atm}$ における平衡温度を求めなさい。
- (D) 以上のことから、 MgH_2 を水素貯蔵材料として利用可能かどうかについて、熱力学的観点における判断理由とともに2行程度で答えなさい。

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | C (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | C (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | C (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学
令和5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5年8月22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枚とも提出した場合は採点の対象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰ること。
- 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6年度4月入学 令和5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 |
|------|-----------|------|-------|

問1 金属中の一次元の原子拡散に関する以下の問(1)~問(4)に答えなさい。また、必要に応じて次の値を用いなさい。気体定数 $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$

問(1) 拡散係数 D は, $\exp(-Q/RT)$ に比例する。550°Cにおける拡散係数の3倍の拡散係数となる温度を求めなさい。なお, T は温度, R は気体定数, $Q = 20 \text{ kcal mol}^{-1}$ とする。

問(2) ある多結晶純金属の粒内(格子)自己拡散の活性化エネルギーは 46 kcal mol^{-1} である。温度を500°Cから900°Cに上昇させたとき, この金属の自己拡散係数は何倍になるか答えなさい。また, 同条件で粒界の拡散係数が84.4倍になったとき, この多結晶における粒界拡散の活性化エネルギーを求めなさい。

問(3) 十分に厚い高純度鉄の板を930°Cで浸炭するとき, 浸炭開始から1時間経過後の表面から1 mmの深さ位置のおおよその炭素濃度を求めなさい。ただし, この板の浸炭前の炭素濃度は0, 浸炭中の表面の炭素濃度 c_0 は常に1.0 mass%, 930°Cでの炭素の拡散係数 D は $5.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ とする。なお, 距離を x , 時間を t としたときの炭素濃度 $c(x,t)$ は, ガウスの誤差関数 $\text{erf}(y)$ を用いて以下の式で表され, 誤差関数の値は下表の通りとする。

$$c(x,t) = c_0 \left\{ 1 - \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\}$$

表 ガウスの誤差関数の値

| y | $\text{erf}(y)$ | y | $\text{erf}(y)$ | y | $\text{erf}(y)$ |
|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|
| 0.0 | 0.000 | 0.6 | 0.604 | 1.2 | 0.910 |
| 0.1 | 0.112 | 0.7 | 0.678 | 1.4 | 0.952 |
| 0.2 | 0.223 | 0.8 | 0.742 | 1.6 | 0.976 |
| 0.3 | 0.329 | 0.9 | 0.797 | 1.8 | 0.985 |
| 0.4 | 0.428 | 1.0 | 0.843 | 2.0 | 0.995 |
| 0.5 | 0.521 | 1.1 | 0.889 | 2.4 | 0.999 |

問(4) 十分に厚い高純度鉄の板を900°Cで浸炭するとき, 浸炭層の形成挙動について以下の語句を用いて簡潔に説明しなさい。ただし, この板の浸炭前の炭素濃度は0, 浸炭中の表面の炭素濃度は常に1.0 mass%とする。

α -Fe, γ -Fe, 炭素濃度, 飽和, 相変態

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

設問2 二元系合金の析出に関する下記の文章を読み、以下の問(1)～問(6)に答えなさい。

過飽和固溶体の α 相を $\alpha+\beta$ 二相共存温度で等温保持したときの β 相の析出を考える。析出は連続析出と(あ)析出に大別され、さらに連続析出は均一析出と(い)析出に分けられる。 α 相の粒界で(い)析出が生じると、粒界周囲で β 相が存在しない領域が形成することがある。この領域を(う)と呼ぶ。(あ)析出は α 相の(え)から起こり、 α 相と β 相の二相からなる領域の界面が粒内に移動することで析出が進行する。この二相からなる領域を(お)と呼ぶ。このとき、析出が進行しても母相の濃度は大きく変化しないため、(お)の成長速度は時間とともに(か)。これは(き)変態と同様の成長様式である。

問(1) 文中の(あ)～(き)に入る適切な語句を答えなさい。

問(2) 図1は α 単相組織の模式図である。この組織から均一析出と(い)析出が同時に生じた場合の組織の模式図を描きなさい。

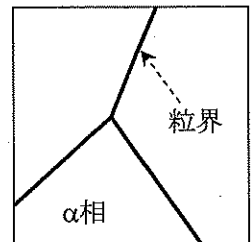


図1 α 単相組織

問(3) 図1の組織から(あ)析出が生じた場合の組織の模式図を描きなさい。

問(4) α/β 相間の界面エネルギーの γ プロットが図2のように与えられるとする。この γ プロットを解答用紙に写し、 β 相の平衡形状 (Wulff プロット) を γ プロット中に描きなさい。

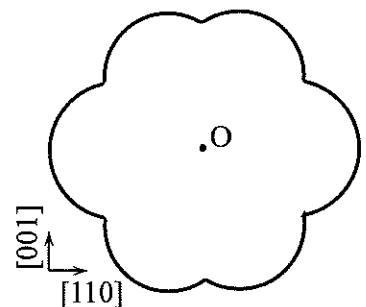


図2 γ プロット。Oは原点。

問(5) 析出物の形態は、 α/β 相間の界面エネルギーの他に弾性ひずみエネルギーにも依存する。析出物が大きくなると一般にどちらの寄与が支配的になるかを理由とともに答えなさい。

問(6) ジュラルミンの基本組成である Al-4 mass%Cu 合金の過飽和固溶体を時効処理すると、硬さが二段階で上昇することがある。この硬さの変化を析出挙動の観点から簡潔に説明しなさい。

令和6年度4月入学 令和5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 加工硬化(転位強化)に関する下記の文章を読み、以下の問(1)~問(5)に答えなさい。なお、必要な文字や記号は定義してから用いること。

面心立方構造を有する金属単結晶試料に室温(293 K)で引張試験を行った。その結果より、せん断応力-せん断ひずみ_(A)曲線を作成したところ、試料が降伏を示した後に三段階の変形領域_(B)が確認された。これらの変形領域のうち、二段階目の領域は同じ金属の多結晶試料でも確認することができる。一般に、多結晶試料に塑性加工_(C)を施すと、結晶内の転位密度が 。転位密度が と、塑性変形のとときに転位間の相互作用_(D)や切り合いが生じるため硬化する。この現象を加工硬化という。転位間の切り合いについて考える。あるすべり面上の転位が、異なるすべり面上にある転位、すなわち 転位と切り合うと、塑性変形中に活動する転位に段差(1 バーガースベクトル分のずれ)が生じる。この段差が元のすべり面上に ものをジョグといい、 ものをキンクという。これらの中で は転位のすべり運動を妨げるため、より強く加工硬化を引き起こす。

問(1) 文中の ~ に入る適切な語句を答えなさい。ただし、 と は共に正解の場合のみ配点する。

問(2) 下線部(A)に示す「せん断ひずみ」の定義を、図を用いて示しなさい。また単結晶試料の引張試験結果から得られる降伏応力から、臨界分解せん断応力を求めるためには、どのようなパラメータを用いた解析を行えばよいか、必要であれば図を用いて説明しなさい。

問(3) 下線部(B)の三段階の変形領域がわかるようにせん断応力-せん断ひずみ曲線の模式図を描き、各領域における変形の特徴を転位運動の観点から説明しなさい。

問(4) 下線部(C)の方法を2つ挙げなさい。

問(5) 下線部(D)に示す転位間の相互作用として、面心立方構造を有する結晶では、不動転位の形成がある。不動転位について知ることを述べなさい。

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | D (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | D (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |

令和6年度4月入学 令和5年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

| | | | |
|------|----------|------|--|
| 科目記号 | D (/ 3) | 受験番号 | |
| | | 評点 | |