

2026 年度（令和 8 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

私費外国人留学生

専門試験問題

（物理工学系 材料機能プログラム）

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 5 ページまであります。解答用紙は、2 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題番号 5, 6 の問題を全て解答してください。1 題につき解答用紙 1 枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。

問題番号	出題科目
5	金属材料学 Metallic materials science
6	量子物性・材料化学 Quantum physical properties・ Materials chemistry

4. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 2 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
5. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
6. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
7. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。
8. コンパス及び定規等は、使用できません。
9. 時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は、使用しないでください。
10. スマートフォン、携帯電話、ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し、それらの機器のアラームを解除してから、電源を切り、かばん等に入れてください。
11. 試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は、手をあげてください。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。

問題5 金属材料学

設問すべてについて解答すること。なお、解答にて自然対数および根号(ルート)はそのまま記載して良い。

I 図1は金属試料の引張試験で得られた荷重-伸び曲線である。試料の初期長さが20 mm および初期断面積が50 mm²である。次の(1)～(4)の問いについて答えよ。

- (1) 降伏応力および引張最大応力を推定しなさい。
- (2) 最大荷重時の真応力および真ひずみを求めなさい。
- (3) 面心立方構造を有する純Cu単結晶に対して引張試験を行った。引張方向が $[\bar{4}19]$ で、かつその時の主すべり系が $(\bar{1}\bar{1}1)[011]$ である場合におけるシュミット因子の値を求めなさい。
- (4) 前問(3)の引張試験で得られた降伏応力が6 MPaであるとき、純Cu単結晶の臨界分解せん断応力を求めなさい。

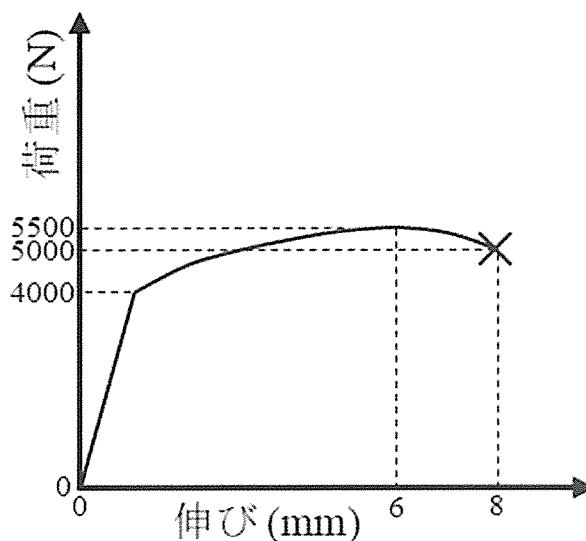


図1 金属試料の引張試験で得られた荷重-伸び曲線。

II 純鉄に関する、次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

- (1) 低温域(500℃程度)で安定な鉄の八面体位置および四面体位置における隙間半径を、鉄の原子半径 r を用いて導出しなさい。ただし、 r は温度に依存しない一定値とする。
- (2) 高温域(1000℃程度)で安定な鉄の八面体位置および四面体位置における隙間半径を、鉄の原子半径 r を用いて導出しなさい。ただし、 r は温度に依存しない一定値とする。
- (3) 低温域で安定な鉄および高温域で安定な鉄のどちらが多く炭素を固溶できるか答えなさい。

Ⅲ 図 2 は Al-Si 系平衡状態図の模式図である。図中の L, α -Al および Si は、それぞれ液相, α -Al 相および Si 相を示す。次の (1) ~ (3) の問いについて答えよ。

- (1) Al-8 mass%Si 合金を 750 °C から室温までゆっくりと冷却したときに得られる平衡組織の模式図を描きなさい。
- (2) 共晶点組成の Al-Si 合金を 750 °C からゆっくりと冷却して、共晶温度である 577 °C を少し下回る温度で保持したとき、この合金中での α -Al 相と Si 相の質量比を求めなさい。
- (3) ジュラルミンの強度を向上させる手法について、「溶体化処理」および「時効処理」という単語を用いて説明しなさい。

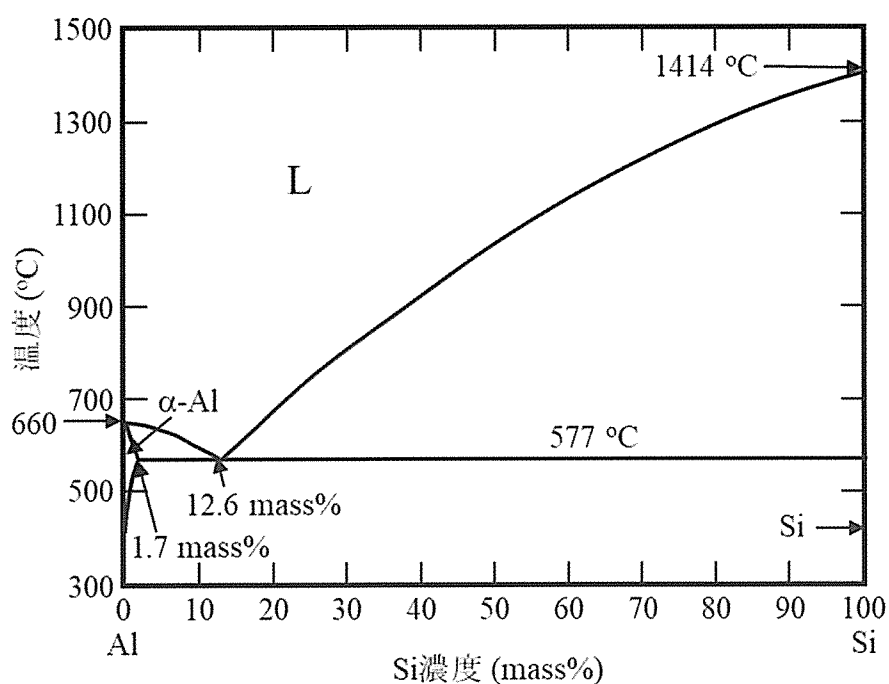


図 2 Al-Si 系平衡状態図の模式図。

問題6 量子物性・材料化学

設問すべてについて解答すること。

I 温度は T/K , ガス定数は $R/JK^{-1}mol^{-1} = 8.31$ とする。また, 解答に際して以下の数値を適宜用いても良い。

$$\ln 2 = 0.690, \ln 3 = 1.10, \ln 5 = 1.61, e = 2.72, e^{1/2} = 1.65, e^{1/3} = 1.40$$

※ e は自然対数の底(ネイピア数)である

蒸気圧を無視できるある元素 A, B からなる $A-B$ 二元系の完全混合溶液がある。以下の問いに答えよ。ただし, A のモル分率を x_A とする。

- (1) 代表的な溶液モデルとして理想溶液と正則溶液がある。理想溶液に対して正則溶液の違いを説明せよ。
- (2) $A-B$ 二元系が理想溶液であったとき, 混合のギブズエネルギー $\Delta_{\text{mix}}G^{\text{ideal}}$ を示せ。
- (3) $A-B$ 二元系が正則溶液であったときは成分 A の活量係数 γ_A は以下の式で表される。
式の名称を記せ。

$$\ln \gamma_A = \frac{\Omega}{RT}(1 - x_A)^2$$

ただし, $\Omega/Jmol^{-1}$ は定数

- (4) $A-B$ 二元系が正則溶液であったとき, 混合のギブズエネルギー $\Delta_{\text{mix}}G^{\text{reg}}$ を Ω を使って示せ。
- (5) $A-B$ 二元系の正則溶液において各成分の純粋状態のモルギブズエネルギーが等しいとする。
様々な濃度の溶液を高温から冷却したら $x_A = 0.500$, $T/K = 600$ において, この溶液が2つの液相に相分解する上部臨界溶解温度が現れることがわかった。この溶液の Ω を有効数字3桁で求めよ。
- (6) この溶液が $T/K = 600$ のとき, $x_A = 0.500$ の成分 A の活量 a_A を有効数字3桁で求めよ。

II プランク定数には, h あるいは $\hbar = h/2\pi$ を必要に応じて用いよ。図1に示す一次元井戸型ポテンシャル中の粒子の束縛状態について, 次の(1)～(4)の問いに答えよ。粒子の質量を m とし, ポテンシャル $V(x)$ は以下のとおりとする。

$$V(x) = 0 \quad \left(-\frac{L}{2} < x < \frac{L}{2}\right)$$

$$V(x) = V_0 \quad \left(x \leq -\frac{L}{2}, \quad \frac{L}{2} \leq x\right)$$

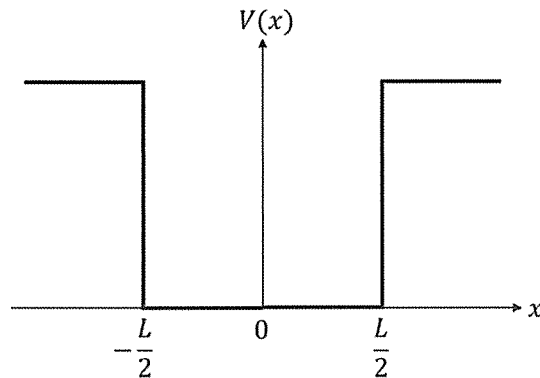


図1

- (1) この粒子のシュレディンガー方程式(時間を含まない)を記せ。波動関数を $\psi(x)$, エネルギー固有値を E とせよ。
- (2) $V_0 = \infty$ の場合に, シュレディンガー方程式を解いて粒子の波動関数とエネルギー固有値を求めよ。導出過程も示すこと。ただし, 波動関数は規格化せよ。以下の境界条件を使え。

$$\psi\left(\pm\frac{L}{2}\right) = 0$$

- (3) 図2を解答用紙に描き写して, (2)で求めた $V_0 = \infty$ の場合の波動関数の形状を, エネルギーが最も低いものから順に3番目まで, できるだけ正確に記入せよ。適宜, 特徴的な点の座標の値も図に記入せよ。1番目～3番目の波動関数を, それぞれ個別の図に示すこと。

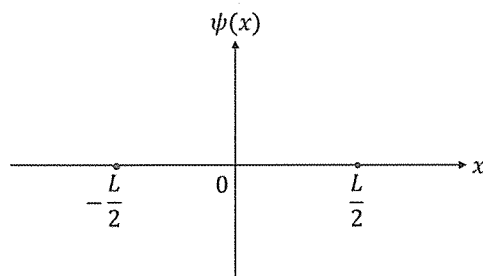


図2

- (4) (3)で示した $V_0 = \infty$ の場合の波動関数は, V_0 が有限な大きさの場合と比べて, どのような点が異なるか述べよ。

Ⅲ 次の文章を読んで空欄 (①) ～ (⑫) に入る数式, 語句を記せ。

数 10 kV の高い電圧(以下, 管電圧)を陰極(フィラメント)と金属陽極(ターゲット)の間にかけた際, 陰極から引き出された電子がターゲットに高速で衝突する場合に X 線が発生する。X 線とは空間の (①) と (②) が互いに直交しながら空間を伝搬する波の一種である。光の速度を c , プランク定数を h , 波長を λ とするとき, X 線の振動数は (③), エネルギーは (④), 運動量は (⑤) と記述することができる。ターゲットに用いた金属固有の波長をもつ強い強度の X 線を (⑥) と呼び, 主に粉末 X 線回折測定による結晶構造解析に用いられる。一方, 強度は (⑥) に比べ 1/100 程度ではあるが幅広い波長に強度をもつ X 線を (⑦) と呼び, 主にラウエ測定による単結晶試料の構造および方位解析に用いられる。

管電圧を上昇させた際には, (⑦) は全体的な X 線強度が増大するとともにその短い波長の限界(短波長端: λ_{min})は波長の短い側に移動する。この波長と管電圧の関係性を求めてみる。電子の電荷を e , 電極間の電圧を V とすると, ターゲットに衝突する際の電子の運動エネルギー K_E は (⑧) で与えられる。また, 電子の運動エネルギー K_E は衝突直前の電子の速度 v と電子の質量 m を使うと (⑨) で与えられる。ターゲットに衝突した電子がその運動エネルギーを全て失い X 線に変換される場合に, 最大のエネルギーの X 線が発生する。この時の X 線の波長を λ_{min} とすると λ_{min} と V との間には (⑩) の関係式が成り立つ。X 線の特徴として, (⑪) と (⑫) の 2 つの性質を持つことが知られており, これを光の二重性と呼ぶ。