

問題10 量子物性

I

出題意図： 光電効果に関する基礎知識を問いました。

解答例：

- (1) ① 振幅, ② 振動数, ③ 臨界振動数, ④ アインシュタイン, ⑤ 光子,
⑥ 仕事関数
- (2) A $E - W$, B eV_0 , C E/h , D h/e

II

出題意図： 調和振動子に対するシュレーディンガー方程式の解法を問いました。

解答例：

(1)

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} m \omega^2 x^2\right) \psi(x) = E \psi(x)$$

(2)

$$A = -z^2$$

$$B = -\frac{2E}{\hbar\omega}$$

(3)

$$\frac{d^2 u(z)}{dz^2} - 2z \frac{du(z)}{dz} + \left(\frac{2E}{\hbar\omega} - 1\right) u(z) = 0$$

(4)

$$a_{n+2} = \frac{2n - \frac{2E}{\hbar\omega} + 1}{(n+2)(n+1)} a_n \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

(5)

$$E = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

(6)

$$\psi_0(x) = C_0 \exp\left(-\frac{m\omega}{2\hbar} x^2\right)$$

(7)

$$C_0 = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4}$$

(8) ψ_1 は以下の関数型になる。

$$\psi_1(x) = C_1 x \exp\left(-\frac{m\omega}{2\hbar} x^2\right)$$

問題10 量子物性

ψ_0 は偶関数、 ψ_1 は奇関数なので、これらの積 $\psi_0\psi_1$ は奇関数となり、全空間での積分は0となる。つまり、 $\int_{-\infty}^{\infty} \psi_0(x)\psi_1(x)dx = 0$ となり、 $\psi_0(x)$ と $\psi_1(x)$ は直交する。

Ⅲ

出題意図： 調和振動子の応用としてアインシュタイン模型による固体の比熱について問いました。

解答例：

(1)

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

(2)

$$Z_1 = \frac{e^{-\beta \hbar \omega / 2}}{1 - e^{-\beta \hbar \omega}}$$

(3)

$$U_1 = \frac{\hbar \omega}{2} + \frac{\hbar \omega}{e^{\beta \hbar \omega} - 1}$$

(4)

$$U = 3N \left(\frac{\hbar \omega}{2} + \frac{\hbar \omega}{e^{\beta \hbar \omega} - 1} \right)$$

(5)

$$C_V = 3Nk_B \left(\frac{\hbar \omega}{k_B T} \right)^2 \frac{e^{\hbar \omega / k_B T}}{(e^{\hbar \omega / k_B T} - 1)^2}$$

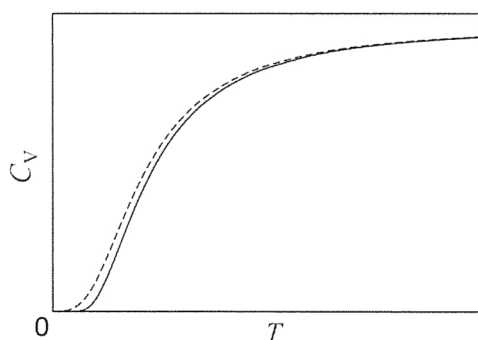
(6)

$$C_V \rightarrow 3Nk_B$$

(7)

$$C_V \propto T^{-2} e^{-\hbar \omega / k_B T} \rightarrow 0$$

(8)



アインシュタイン模型による定積比熱は低温域では実験結果よりも過小評価される。

問題11 材料物理化学

I

【出題意図】

熔融金属からの脱ガスについて、脱ガス速度式、物質移動モデルおよび実用化されている脱ガス装置についての理解度を問いました。

(1) (メタル側) 物質移動係数

(2) 0

(3)

$$-\frac{dC_H}{dt} = k_m \frac{S}{V} C_H$$

$$-\frac{dC_H}{C_H} = k_m \frac{S}{V} dt$$

$$-\ln C_H = k_m \frac{S}{V} t + I$$

$$t = 0 \text{ で } C_H = C_{H_0} \text{ より } I = -\ln C_{H_0}$$

$$\ln \frac{C_{H_0}}{C_H} = k_m \frac{S}{V} t$$

(4)

$$\ln \frac{10}{1} = k_m \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} \times 500$$

$$k_m = 0.046 \text{ (m/s)}$$

(5)

$$\delta = \frac{D}{k_m} = \frac{1.4 \times 10^{-7}}{0.046} = 3.0 \times 10^{-6} \text{ (m)}$$

(6) 境膜説

(7) RH 真空脱ガス装置が実用化されている。転炉やアーク炉から取鍋に出鋼した溶鋼を、二本の浸漬管をもった脱ガス槽内に吸上げ、一方の管から不活性ガスを吹き込むことにより、他方の管から溶鋼を取鍋内に戻して精錬する環流式の真空精錬装置である。

II

【出題意図】

化学反応速度式の一般式、半減期およびそれらからの反応次数の求め方の理解度について問いました。

(1)

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A^n$$

問題11 材料物理化学

$$-\frac{dC_A}{C_A^n} = k dt$$

$$\frac{1}{n-1} C_A^{1-n} = kt + I$$

$$I = \frac{1}{n-1} C_{A_0}^{1-n}$$

$$\frac{1}{n-1} \left(\frac{1}{C_A^{n-1}} - \frac{1}{C_{A_0}^{n-1}} \right) = kt$$

(2)

$$\frac{1}{n-1} \left(\frac{1}{\left(\frac{C_{A_0}}{2} \right)^{n-1}} - \frac{1}{C_{A_0}^{n-1}} \right) = kt_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{2^{n-1} - 1}{(n-1)kC_{A_0}^{n-1}}$$

(3)

$$\frac{1}{n-1} \left(\frac{1}{\left(\frac{C_{A_0}}{4} \right)^{n-1}} - \frac{1}{C_{A_0}^{n-1}} \right) = kt_{1/4}$$

$$t_{1/4} = \frac{4^{n-1} - 1}{(n-1)kC_{A_0}^{n-1}}$$

(4)

$$\frac{(4^{n-1} - 1) - (2^{n-1} - 1)}{2^{n-1} - 1} = \frac{4^{n-1} - 2^{n-1}}{2^{n-1} - 1} = 2$$

$$4^{n-1} - 2^{n-1} = 2^n - 2$$

$$4^n - 4 \cdot 2^{n-1} - 4 \cdot 2^n + 8 = 0$$

$$(2^n)^2 - 6 \cdot 2^n + 8 = 0$$

$$(2^n - 2)(2^n - 4) = 0$$

$$2^n = 2, 4$$

$$n = 2 \quad (n \neq 1)$$

問題12 金属材料学

出題意図

- I 金属材料の変形挙動を理解するうえでは、結晶学や単結晶の変形メカニズムを理解することが重要です。本設問では、これらの基礎知識と計算力を問いました。
- II 金属構造材料を設計するうえで、平衡状態図を読む力は重要であります。さらに、近年、輸送機器などの軽量化が求められていることから、熱処理によるアルミニウム合金の強化機構を理解することも重要であります。本設問では、Al-Cu 合金を取り上げ、平衡状態図およびアルミニウム合金の強化機構に関する基礎知識を問いました。

問題12 金属材料学

I

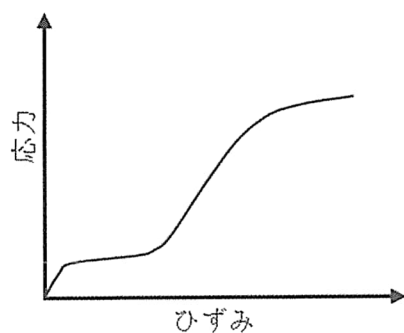
(1) A : $[\bar{1}11]$, B : $[011]$, C : $[\bar{1}10]$, D : $[1\bar{1}1]$

(2) $(111)[\bar{1}01]$

(3) 0.49

(4) $6.0 \text{ MPa} \times 0.49 = 2.9 \text{ MPa}$

(5)



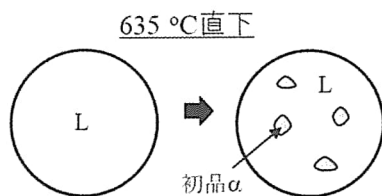
(6)

降伏直後は、主すべり系のみが活動し、塑性変形が進行する。その後、二重すべりあるいは多重すべりが生じるため、主すべり系のみが活動していた時に比べてより大きな加工硬化を示す。その後、転位密度も上限近くまで高くなるため、応力-ひずみ曲線が放物線を描くような変形挙動となる。

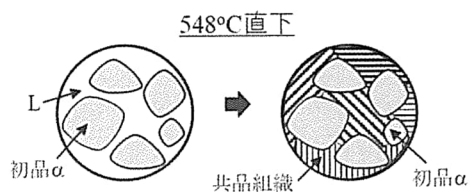
問題12 金属材料学

II

- (1) 【635℃直下】 液相から初晶 α が晶出する。



【548 °C直下】共晶組成を持つ液相と初晶 α の共存状態から、液相のみに共晶反応が発生し、共晶組織と初晶 α の共存状態となる。



- (2) α 相 : θ 相 = $(52.5-33.2) : (33.2-5.7) = 193 : 275$

- (3) ギブスの相律により自由度が0になるため。

- (4) 8.45 mass%

- (5) 溶体化処理 : Cu を Al 母相中に固溶させた後、急冷することで過飽和固溶体を作製する。
 時効処理 : 過飽和固溶体を低温度域で熱処理し、GP ゾーンおよび θ 相を形成させて強度を向上させること。

- (6)

