

平成 28 年度 編入学者・転入学者選抜学力検査 [問題]

— 専 門 試 験 —

(環境材料工学科)

注意事項

- 試験時間は 120 分です。
- 4 題中 3 題選択し解答すること。
- 解答用紙はホチキス止めを外して選択した 3 題を提出する。
- 出題するすべての解答用紙について、志望学科・志望プログラム（セラミックス系または材料機能系のいずれか）と受験番号を記入すること。氏名は記入してはならない。
- 乱丁・落丁、あるいは不鮮明な場合は申し出ること。

問題 1 以下の設問すべてについて解答すること。

二成分系相平衡状態図に着目する。通常、例えば化合物 A と B の二成分系において、その相平衡状態図(相図)をみれば、何 $^{\circ}\text{C}$ でどのような固相(析出結晶相)や液相がどれだけの割合で、しかもその液相においてはその A, B 各成分の割合まで読み解くことができる。その読み解き方が分かれば、逆にある必要な情報が与えられた場合、二成分系相平衡状態図の概略図まで描くことができる。その一例を考えてみる。

今考えている二成分系相平衡状態図において、次の情報(1)~(6)が与えられている。

- (1) 融点が 1400°C の A (左端成分), および融点が 1300°C の B (右端成分) からなる。
- (2) この二成分 A, B の共融点は 1000°C に存在し, その場合の化学組成は A:40%, B:60% である。(以後百分率表記は, 重量%を示す。)
- (3) この A, B の二成分間には化合物 C が存在し, その化学組成は A:20%, B:80%である。
- (4) この化合物 C は分解溶解することが分かっており, その温度は 1150°C である。
- (5) A, B からなる組成物を高温から冷却する場合を考える。融液の一相から B が析出し始める組成範囲において, さらに徐冷すると, 1150°C で B は融液と反応して化合物 C を析出し始める。この反応を起こす限界は A:28%までであることが分かっている。
- (6) B は固溶体を形成しないが, A は融点付近まで純粋に存在することはなく, B を最大 20% まで固溶することが分かっている。ただし, A の 500°C における固溶量はほぼ 0 となる。

問 1-1 (1)~(6)から A-B 二成分系相平衡状態図の概略図を, 解答欄の指定された位置に描け。

(境界線の曲率は任意, 各領域の平衡相を含め, 記入できることはすべて記入せよ。)

問 1-2 (4)の「分解溶解する」とは, 化学式で示すとどのように表わされるか示せ。

問 1-3 (5)の反応を何と呼ぶか。

問 1-4 (6)において, 化合物 A の固溶体を形成している相の状態を, 詳しく説明せよ。

問 1-5 自己で作図した相平衡状態図において, A:70%, B:30%の組成物を高温から冷却した場合, 1100°C における析出平衡相において, 読み解ける情報を全て記述せよ。

問題 2 以下の設問すべてについて解答すること。

コンプトンは X 線と物質との散乱実験において、散乱 X 線の波長の中には入射 X 線と同じ波長だけではなく、より波長の長い X 線が含まれていることを発見した。この現象はコンプトン散乱と呼ばれている。そこで、X 線と電子の弾性衝突(図参照)を仮定することにより、この現象を理論的に説明する。

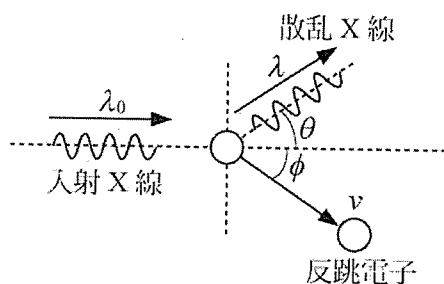


図 X 線と電子のコンプトン散乱の概念図

問 2-1 次の文の空欄①～⑤に適切な式を記入せよ。

X 線は高エネルギーの電磁波なので電子も相対論的に取り扱う必要がある。電子の質量を m 、速度を v 、光の速度を c とした時の電子のエネルギー E_e および相対論的運動量 p_e は以下の式で表される。

$$E_e = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad p_e = \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

また、電子を相対論的に取り扱う際には静止している電子のエネルギーは mc^2 となる。

入射 X 線の波長を λ_0 、散乱 X 線の波長を λ 、プランク定数を h としたとき、X 線と電子の衝突前後のエネルギー保存則は

$$(\text{①}) + mc^2 = (\text{②}) + \frac{mc^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

となる。また、X 線と電子の衝突前後の運動量保存則を入射方向および垂直方向に分けるとそれぞれ

$$(\text{③}) = (\text{④}) + \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \cos \phi$$

$$0 = (\text{⑤}) - \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \sin \phi$$

となる。

問 2-2 上記のエネルギー保存則，運動量保存則を用いて，散乱前後の X 線の波長のずれ $\lambda - \lambda_0$ と X 線の散乱角 θ との以下の関係を証明せよ。

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

問 2-3 物質の原子番号が増加した際には，散乱体となる電子がクーロン力により原子核から大きな束縛を受け，その結果，この電子は原子核と一体となった散乱体とみなすことができる。原子番号が大きい物質における散乱 X 線の波長と原子番号が小さい物質における散乱 X 線の波長の大小関係はどのような違いが予想されるか，説明せよ。

問題 3 以下の設問すべてについて解答すること。

コンデンサは、基本的には 2 枚の導体板の間に誘電体を挟み込んだものである。これを直流電源につなぐと回路に電流が流れるが、その電流は比較的短時間の内に衰退する。これは電源の起電力と釣り合う電位差を作り出すためであるが、間に挟まれた誘電体は、導体板上の電荷に作る電場により (A) している。この電位差を V 、導体板の面積を $S(\text{m}^2)$ 、2 枚の導体板の間の距離を $d(\text{m})$ 、たまった電荷量を $\pm q(\text{C}$, クーロン), 誘電体による分極量を $\mp P(\text{C})$ とすると

$$q = (\quad \text{a 式} \quad)$$

で表すことができる。ただし、真空の誘電率を ϵ_0 とする。

このコンデンサを交流電源につなぐと (A) は反転を繰り返し、回路に電流が流れ続ける。交流の取り扱いには複素数を用いた表現が便利であり、コンデンサの誘電率: ϵ を

$$\epsilon = \epsilon_r - i\epsilon_i$$

と表すことができる。交流の周波数が高くなると上述の反転に遅れが生じ、電力の一部が熱として失われる。このときの損失の割合は (B) と呼ばれ $\tan\delta$ (タンジェント・デルタまたはタンデルタ) と表すことができ

$$\tan\delta = (\quad \text{b 式} \quad)$$

である。

問 3-1 空欄 A, B に適する語句をまた a, b 式を答えよ。ただし同じ記号には同じ語句が入る。

問 3-2 BaTiO_3 は極めて高い比誘電率をもつ材料として知られている。しかしながら、コンデンサとして用いる際には、 SrTiO_3 などのシフタ(shifter)と呼ばれる物質やデプレッサ(depressor)と呼ばれる物質を加えて使用されることが多い。その理由とこれらの物質の役割を説明せよ。

問 3-3 コンデンサ A(耐電圧 420 V, 静電容量 3 μF)を 2 個と、コンデンサ B (耐電圧 150 V, 静電容量 7 μF) を 2 個用意する。

- (1) これらを全て並列につないだ時の合成容量[F]および蓄えることのできる最大の電荷量[C]を求めよ。
- (2) これらを全て直列につないだ時の合成容量[F]求めよ。
- (3) 上記 (2) に 100 [V]の電圧を印加したときの 7 [μF]に印可される電圧は何ボルトか求めよ。
- (4) 上記 (2) の合成コンデンサの最大耐電圧[V]を求めよ。

問題4 以下の設問すべてについて解答すること。

問4-1 次の文の空欄①～⑩に適切な語句，値あるいは式を記入せよ。ただし，③，⑨はミラー指数で，④において平方根が必要な場合はそのまま用いよ。また，本文中の同じ番号には同じ語句が入るものとする。

平面上に同じ大きさの剛体球を最も密に詰める場合，図1(a)のようになる。この球の中心をAとする。次に，この球を敷き詰めた層の上に第2層目として剛体球を敷き詰める場合，やはり空間的に(三次元的に)密に

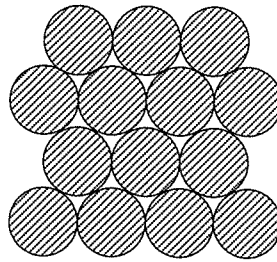


図1(a)

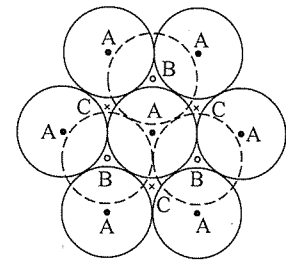


図1(b)

詰めるためには図1(b)におけるBで表される○の位置にそれぞれ球を敷き詰めるか，もしくはCで表される×の位置に敷き詰めるかのいずれかである。

第2層目をBの位置で敷き詰めた後，第3層目をAの位置で敷き詰め，これを繰り返し，ABABAB...と積み重ねていった時にできる結晶構造は(①)という。

第2層目をBの位置，第3層目をCの位置，というようにABCABC...と積み重ねていった時の結晶構造はブラベー格子では図2のように表現される。この結晶構造は(②)という。図2の結晶構造において「剛体球を最も密に詰めた平面」は(③)面に相当する。この結晶構造の格子定数を a とした場合，最近接原子間距離は(④)である。この最近接原子同士が剛体球として接している場合，この結晶構造中の剛体球の充填率は，有効数字3桁で表すと(⑤)%となる。ただし， $\sqrt{2}=1.41$ ， $\sqrt{3}=1.73$ ， $\pi=3.14$ とする。

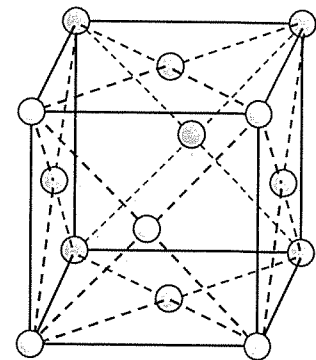


図2

Feに少量の炭素が含まれる合金は炭素鋼，または単に鋼とよばれる。炭素鋼でみられる相のうち図2の結晶構造の相は(⑥)といい，炭素鋼の組織制御を行う上で重要な相である。炭素の組成が0.8wt%の炭素鋼において，(⑥)が安定に存在する下限の温度は(⑦)℃である。また，炭素の組成が0.2wt%の炭素鋼において(⑥)が安定な温度から水冷すると相変態し，(⑧)という組織が得られる。(⑥)の相における(③)面は，(⑧)の(⑨)面と平行となる結晶方位関係を持つことが知られている。この方位関係を(⑩)という。

問 4-2 次の文の空欄(ア)~(コ)に適切な語句あるいは式を記入せよ。

図 3 のような単一の元素からなる単純立方格子中の原子の x 方向への流れについて考える。この結晶の x 方向に垂直な面を面 A_1 , 面 A_2 とする。面 A_1 と面 A_2 の面間隔 d は単純立方格子の格子定数と等しい。すなわち, d は単純立方格子の最近接原子間距離に相当する。各面上の原子の幾つかは放射性同位元素であるとし, 面 A_1 には N_1 個, 面 A_2 には N_2 個の放射性同位元素原子(以下 RI 原子とする)が存在し, x 方向に濃度勾配が存在するとする。

面 A_1 および面 A_2 の面積を共に A とすると, 面間隔が d であることから, 面 A_1 の極近傍, および面 A_2 の極近傍における単位体積あたりの RI 原子の個数はそれぞれ

$$C_1 = (\text{ア}), C_2 = (\text{イ})$$

と表記できる。

次に, 各原子が最近接の格子位置にジャンプする頻度について考える。原子のジャンプは図 3 に示したように, あらゆる方向に等しい確率で起こるとする。一つの原子が隣の最近接格子位置にジャンプする頻度を f とすると, 面 A_1 上の単位面積当たりの RI 原子のジャンプの頻度は fN_1/A である。このうち x の正方向, すなわち面 $A_1 \rightarrow$ 面 A_2 となるジャンプの頻度は (ウ) である。同様に面 $A_2 \rightarrow$ 面 A_1 方向の RI 原子のジャンプの頻度は (エ) である。従って, 面 A_1 と面 A_2 の間の中間に位置する断面 M の単位面積に対して, x の正方向に単位時間あたりに通過する正味の RI 原子の個数 J は

$$J = (\text{ウ}) - (\text{エ})$$

となる。この式の N_1, N_2 を(ア), (イ)より C_1, C_2 を用いて表記すると

$$J = (\text{オ})$$

となる。 x 方向の濃度勾配を微分で表すと $\partial C / \partial x$ と書けるので, 面 A_1 と面 A_2 の濃度差 $(C_2 - C_1)$ は $(\partial C / \partial x)d$ と表現することができる。これを用いると(オ)は

$$J = (\text{カ}) = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

と表記できる。この式は (キ) といい, 原子の拡散を表現する基本的な式である。またこの式における比例定数 D は (ク) といわれる。この比例定数は (ケ) や (コ) など, 様々な要因によって変化するが, 固体内の原子の拡散を考える時の最も重要な数値である。

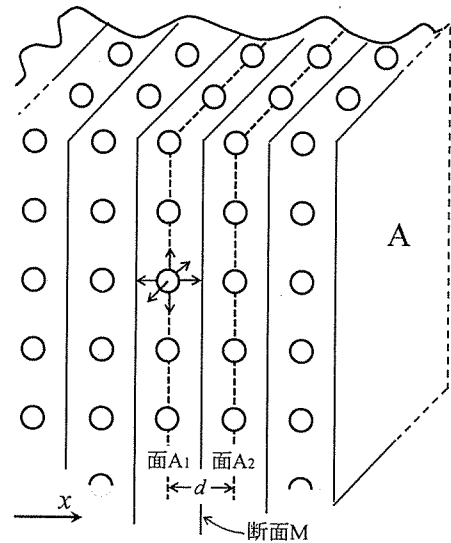


図 3