

模範解答

令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）
(一般入試・外国人留学生特別入試)

科目名	材料工学	(1/6)	受験番号
-----	------	-------	------

1. 結晶に関する以下の文章を読んで、下記の問い合わせに答えなさい。

結晶は原子またはイオンの積み重なりから成り立っている。そして結晶全体にわたって格子中の正規位置に、あるべき原子が本来の割合で存在する結晶を A とよぶ。しかし、我々が一般的に取り扱う結晶には、さまざまな欠陥が入り込んでいる。そして欠陥がゼロ次元、一次元、二次元に一定の構造を作ることから、これらの欠陥をそれぞれ B 、 C 、 D などと呼ぶ。

(1) 空欄 A ~ D に入る語句を答えなさい。

A: 完全結晶	B: 点欠陥	C: 線欠陥	D: 面欠陥
---------	--------	--------	--------

(2) B には内因性欠陥と外因性欠陥が存在し、この内で内因性欠陥には二つのタイプの欠陥がある。これら二つの欠陥の名称を解答した上で、それぞれの特徴を記載しなさい。

ショットキ一欠陥：陽イオンと陰イオンが共に空格子点となって存在するため、電気的中性の条件を満たす。光学的性質に大きく影響する。

フレンケル欠陥：正規の格子点の原子がその格子点を飛び出し、格子間位置に移動した構造を持つ。そのため比較的大きな隙間が存在する結晶構造でこの欠陥構造を探りやすい。

(3) 温度が上昇すると、原子やイオンは B を利用して構造中を移動出来るようになる。この時の原子やイオンの拡散には二つの機構がある。この機構の名称を解答し、その特徴を記載しなさい。

空孔機構：イオンが正規の格子点から空孔位置に移動する機構

格子間隙機構：格子間位置に存在するイオンもしくは原子が、隣り合った格子位置に移動する機構

(4) A のダイヤモンドが存在すると仮定する。ダイヤモンドの真密度を計算しなさい。炭素の原子量は 12.01 とし、格子定数は $a=3.56\text{ \AA}$ とする。

$$(3.56 \times 10^{-8})^3 = 45.12 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$12.01 \times 8 / (6.02 \times 10^{23}) = 15.96 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$15.96 \times 10^{-23} / (45.12 \times 10^{-24}) = 3.54 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）
(一般入試・外国人留学生特別入試)

科目名 | 材料工学

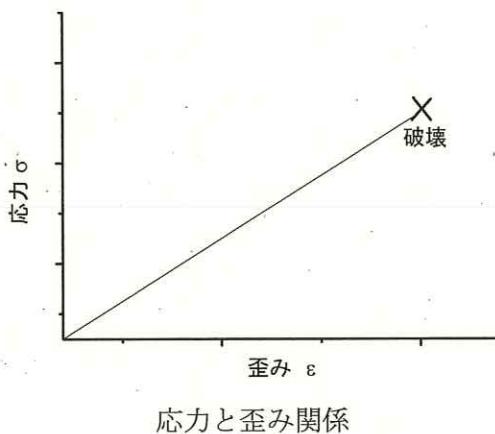
(2 / 6)

受験番号 |

2. セラミックスの機械的特性に関する以下の文章を読んで、下記の問い合わせに答えなさい。

右の図は、応力と歪みの関係を示している。一般的にこの関係は、変形量（歪み）と物体に加えた応力が比例する。この時、印加した応力を取り除くと、もとの大きさに戻る変形を **A** と呼ぶ、そして応力と歪みの比例係数を **B** という。

また破壊が生じる応力の事を、その材料の強度とよび、破壊の際には原子レベルでは **C** の切断が起こる。そして完全結晶の強度は、結晶を構成する **C** によって決まる **D** と等しい。この完全結晶の強度を **E** とよぶ。



(1) 空欄 A ~ E に入る語句を答えなさい。

A: 弹性変形	B: ヤング率	C: 原子間結合	D: 凝集力	E: 理論破壊強度
---------	---------	----------	--------	-----------

(2) 実際の材料は **E** の約 1%以下の強度しか示さない。この理由を説明しなさい。

セラミックスは微視的に見れば不均質であり、内部に様々な欠陥が存在する。例えばセラミックス表面に亀裂が存在する場合、亀裂先端に応力集中が起こるため、低い応力でも破壊が進行し脆性破壊が起こる。

(3) 直径 10.0 mm の円柱状のアルミナセラミックス(**B** : 390 GPa)に、長軸方向から圧縮側に 12,560 N の力を加えた。ポアソン比を 0.230、**A** と仮定した場合、直径が増加する長さを有効数字 3 衡で計算しなさい。(円周率は 3.14 として計算すること)

半径 5 mm の円の面積は $78.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ のため、160 MPa

$$-160 \text{ [MPa]} = \epsilon_z \times 390 \times 10^3 \text{ [MPa]}$$

$$\epsilon_z = -0.410 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_x = -(-0.410 \times 10^{-3}) \times 0.230 = 0.943 \times 10^{-4}$$

$$\Delta d = 0.943 \times 10^{-4} \times 10 \text{ [mm]} = 0.943 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）
(一般入試・外国人留学生特別入試)

科 目 名	材 料 工 学	(3 / 6)	受 驗 番 号
-------	---------	---------	---------

3. 材料の熱的性質に関して、次の問い合わせに答えなさい。

- (1) 热膨張が生じる理由を原子論的な観点から説明しなさい。
- (2) 金属・セラミックス・高分子材料における熱膨張係数を大きい順に書きなさい。またその理由も答えなさい。

(1) 解答例：热膨張は原子間の平均距離の増加に起因している。固体のポテンシャルエネルギーと原子間距離の関係で、ポテンシャルエネルギーは谷の形状を示し、谷の底が平衡原子間距離に相当する。このポテンシャルエネルギー曲線は非対称な形状であるため、温度上昇により振動エネルギーが高くなった場合に、平均原子間距離が変化するため。

(2) 解答例：大きい順番に 高分子、金属、セラミックス

原子の結合エネルギーが高いほど、ポテンシャルエネルギーの谷が深く、かつ狭くなる。その結果、温度上昇に伴う原子間距離の増加が小さくなり、熱膨張係数の値も小さくなる。

令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）

（一般入試・外国人留学生特別入試）

科目名	材料工学
-----	------

(4 / 6)

受験番号

4. 物質に光を照射すると、一部は物質内部で吸収されるため、透過光の強度は低下する。また、入射光の強度を I_0 、透過光の強度を I_T としたとき、透過光の強度は、次式であらわされるように試料の厚さの増加とともに減少する。ここで、 α は吸収係数である。なお、試料の表面および裏面での反射は無視する。

$$I_T = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot d}$$

(1) ある材料を使った厚さ 5 cm の試料の透過率を測定したところ、90%であることがわかった。この試料の透過率 α を計算しなさい。

$$T = e^{-\alpha \cdot d}$$

$$\ln T = -\alpha \cdot d$$

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{5} = 0.021 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

(2) 問(1)同じ材料を使って、透過率が 50%となる試料を作りたい。このとき必要な試料の厚さを計算しなさい。

$$d = -\frac{\ln T}{\alpha} = -\frac{\ln(0.5)}{0.021} = 33 \text{ (cm)}$$

(3) 透過率 90%以上を得るために、試料の吸収係数と厚さがどのような範囲であれば良いか、下記の図中に示しなさい。なお、縦軸の目盛りに、適当な吸収係数の値を記入しなさい。

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{5} = 0.021 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

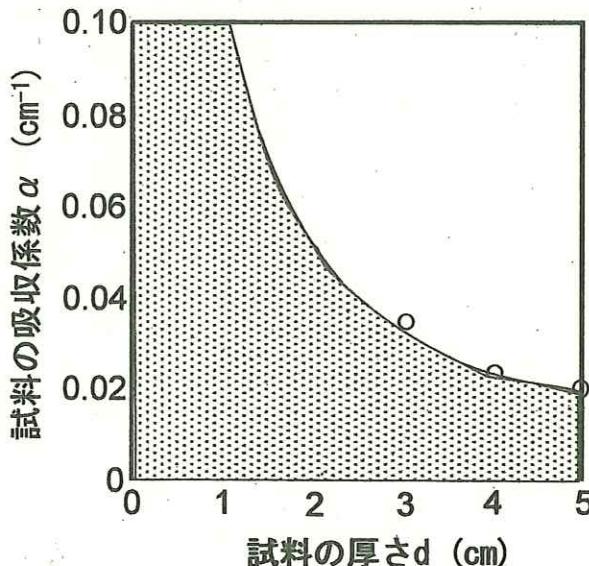
$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{4} = 0.026 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{3} = 0.035 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{2} = 0.053 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} = -\frac{\ln(0.9)}{1} = 0.105 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

図の斜線部分が該当する領域。



令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）

（一般入試・外国人留学生特別入試）

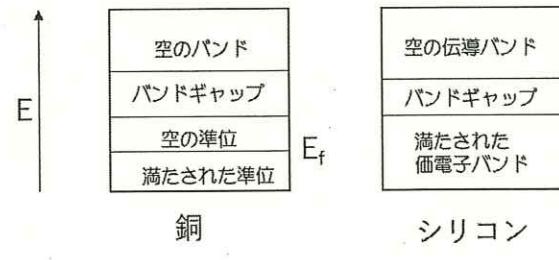
科目名	材料工学	(5/6)	受験番号
-----	------	-------	------

5. 純物質である銅とシリコンの絶対零度におけるバンド構造を図示し、その特徴を述べるとともに、電気伝導性について説明しなさい。

解答例

銅は、同一バンド内で満たされた準位の上に利用できる準位がある。そのため小さなエネルギーで E_f 以上のからの準位に励起でき、自由に運動できるようになる。そのため、電気伝導性は高い。

シリコンでは、価電子バンドは完全に満たされ、伝導バンドは完全に空である。価電子バンドの頂上には空の準位がないため、自由電子を作り出すためにはバンドギャップを越えるエネルギーを受け取り、伝導バンドの底の準位に励起する必要がある。そのため、銅よりも電気伝導性は低い。



6. 配向分極する物質の代表例として水分子が挙げられる。以下の問いに答えなさい。

- (1) 配向分極を簡単に説明しなさい。
- (2) 交流電場の周波数が非常に高くなると、比誘電率は低下する。その理由を述べなさい。
- (3) マイクロ波を利用した電子レンジで食品を温められる原理を述べなさい。

解答例

- (1) 水分子のように永久双極子モーメントを持つ物質に認められ、双極子が印加電場の方向に整列することによる分極。
- (2) 交流電場により分極する材料では、電場の向きが反転するたびに双極子が再整列するが、高周波数で、追随できなくなる分極機構があるため、比誘電率が低下する。
- (3) マイクロ波 (2.45GHz) により、食品中の水分子（永久双極子）は、電場の向きに配向し、1秒間に24億回も分極を繰り返す。その過程で、周囲の分子の抵抗を受け、エネルギーの一部が熱として失われ、その摩擦熱で食品が加熱される。

令和2年度大学院博士前期課程入試問題（マテリアル工学専攻）
 （一般入試・外国人留学生特別入試）

科 目 名	材 料 工 学	(6 / 6)	受 驗 番 号	
-------	---------	---------	---------	--

7. ニッケル (Ni、原子量 A=58.7、密度 $\rho = 8.90 \text{ g/cm}^3$) について、以下の問い合わせに答えなさい。

なお、ボーア磁子を $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$ とすると、Ni 原子1個の磁気モーメントは $0.60 \mu_B$ 、アボガドロ数は $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ である。

(1) 単位体積(1 m^3)のニッケルの中に含まれる Ni 原子の数を計算しなさい。

$$1\text{m}^3 \text{ の Ni の質量} = 8.90 \times 10^6 \text{ g}$$

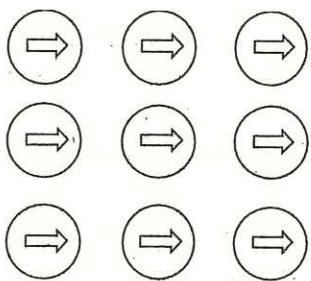
$$1\text{m}^3 \text{ の Ni のモル数} = 8.90 \times 10^6 / 58.7 = 1.52 \times 10^5 \text{ mol}$$

$$1\text{m}^3 \text{ の Ni の原子数 } N_{\text{Ni}} = 1.52 \times 10^5 \times 6.02 \times 10^{23} = 9.13 \times 10^{28} \text{ 個}$$

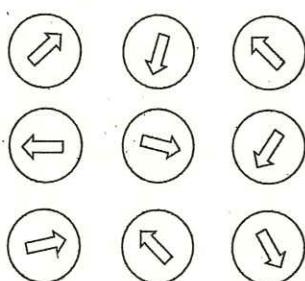
(2) ニッケルの飽和磁化を計算しなさい。

$$M_s = 0.60 \mu_B \times N_{\text{Ni}} = 0.60 \times 9.27 \times 10^{-24} \times 9.15 \times 10^{28} = 5.09 \times 10^5 \text{ A/m}$$

(3) ニッケルのキュリー温度は 335°C であり、この温度以上では飽和磁化がゼロとなる。この温度の上下での、磁気双極子モーメントの配列状態を図で示しなさい。



(a) キュリー温度以下
強磁性状態



(b) キュリー温度以上
常磁性状態