# 平成２４年度

# 編入学・転入学選抜学力検査

# 専門科目「問題」（環境材料工学科）

**注意事項**

○　４題中３題選択し解答すること（１題につき配点１００点）
○　解答用紙はホッチキス止めを外して選択した３題を提出する。
○　提出するすべての解答用紙について，所定の欄に志望プログラム（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。

問題番号

1

次の問題を読み，以下の設問すべてに答えよ。

固体 Si の結晶構造は立方晶であり，図 1 に示すように，ダイヤモンド構造を形成する。

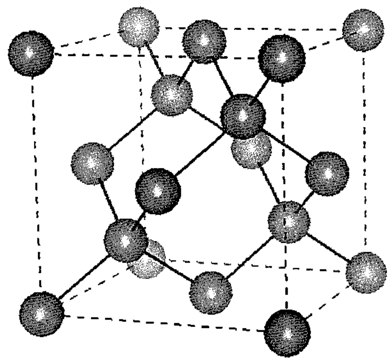


図 1: Si の結晶構造の模式図（点線は単位胞を表す。）

(1) 立方晶には，以下の 3 種類のブラベー格子がある。固体 Si の場合は，いずれのブラベー格子に属するか答えよ。

(a) 単純立方格子 (b) 面心立方格子

(c) 体心立方格子

(2) 固体 Si の単位胞内に存在する Si 原子の数を答えよ。

(3) 固体 Si の真密度(g/cm$^3$)を有効数字 2 桁で求めよ。ここで固体 Si の格子定数は 5.4 Å, Si の原子量は 28, アボガドロ数は $6.0\times10^{23}$ であるとする。

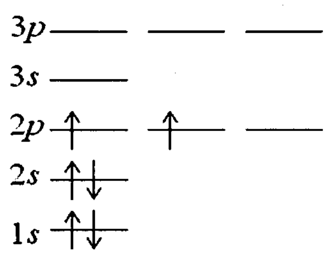



図 2: C 原子の基底状態の電子配位の模式図（矢印はスピンの向きを示す。）

(4) 固体 Si の結合は以下のいずれであるか答えよ。

(a) イオン結合 (b) 金属結合 (c) 共有結合

(d) ファンデルワールス結合 (e) 水素結合

(5) Si の原子番号は 14 である。Si 原子の基底状態，室温付近の励起状態の電子配位の模式図について，図 2 の例を参考に示せ。

(6) 固体 Si が形成される際，各 Si 原子が混成軌道を形成し結合する。(5) で求めた励起状態の電子配位において混成軌道に関与する軌道，電子数を答えよ。

(7) 室温 300 K において，純粋な固体 Si の導電率を有効数字 2 桁で求めよ。ただし，300 K における真性キャリアの密度が $n_i=1.5\times10^{10}$ (cm$^{-3}$)，伝導電子移動度が $\mu_n=1300$ (cm$^2$ V$^{-1}$ s$^{-1}$)，ホール移動度が $\mu_p = 500$ (cm$^2$ V$^{-1}$ s$^{-1}$)，電荷が $1.6\times10^{-19}$ (C)であるとする。

(8) (7) で求めた導電率において，ホールによる導電率の割合は何%になるか。 有効数字 2 桁で求めよ。

| 問題番号 |
| --- |
| 2 |

Ⅰ　溶融金属中に溶解しているガス成分の除去について，以下の各問に答えよ。

(1) 水素が溶融金属に溶解している場合，平衡状態における溶融金属中の水素濃度 $C_{\mathrm{H}}$ とガス中の水素分圧 $P_{\mathrm{H_2}}$ の関係を示せ。ただし，平衡定数は $K$ とする。

(2) 上記のように 2 原子分子の気体が溶融金属中に溶解するときに成り立つ関係式は何の法則と呼ばれているか答えよ。

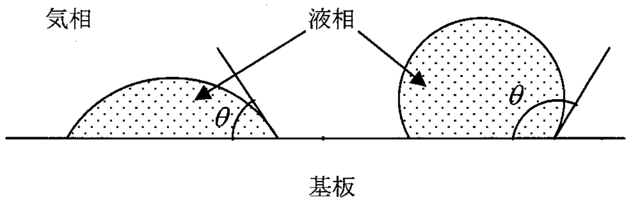
(3) 溶融金属中に溶解しているガス成分を除去する方法について説明せよ。

Ⅱ　気相から基板上への液相の凝縮は不均一核生成であるが，その活性化エネルギー $\Delta G^*$ は界面エネルギー $\gamma$ と自由エネルギー変化 $\Delta G_{\mathrm{V}}$ および基板と液相の接触角 $\theta$ を用いて次式で与えられる。

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\gamma^3 f(\theta)}{3(\Delta G_{\mathrm{V}})^2}$$

ここで， $f(\theta) = \dfrac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4}$ である。

右図のように基板と凝縮液の濡れ性が良い場合と悪い場合では，核生成はどちらが起きやすいか，上式を用いて説明せよ。



(a)濡れ性が良い場合　　(b)濡れ性が悪い場合

Ⅲ　空気中に吊るされている直径 $d_{\mathrm{P}}$ の球形状の固体のナフタレンの昇華について以下の各問に答えよ。

(1) 昇華したナフタレンは静止した空気中を拡散していく。ナフタレンは球形であるので，球座標系における一次元拡散となる。この場合の拡散方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial P_{\mathrm{A}}}{\partial t} = \frac{D_{\mathrm{AB}}}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial P_{\mathrm{A}}}{\partial r}\right)$$

ここで， $P_{\mathrm{A}}$ はナフタレンの分圧， $t$ は時間， $D_{\mathrm{AB}}$ は空気中のナフタレンの拡散係数， $r$ は半径方向の座標を表す。

今，定常状態 $\partial P_{\mathrm{A}}/\partial t = 0$ を仮定する。固体表面 $(r = d_{\mathrm{P}}/2)$ および空気本体 $(r = \infty)$ のナフタレンの分圧をそれぞれ $P_{\mathrm{AS}}$， $P_{\mathrm{A\infty}}$ として拡散方程式を解け。

(2) ナフタレン表面 $(r = d_{\mathrm{P}}/2)$ における拡散流束 $J_{\mathrm{A}}$ を求めよ。なお，昇華したナフタレンは理想気体とみなす。

| 問題番号 |
| --- |
| 3 |

次の文章を読み，以下の(1)～(5)に答えよ。

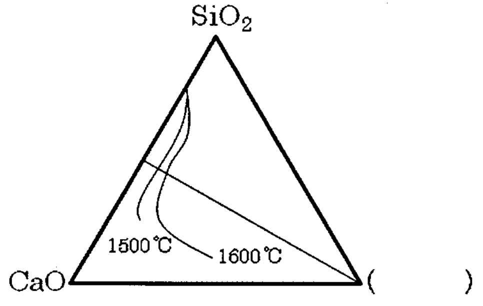
一般に耐火物は，$Al_2O_3$, $Cr_2O_3$, MgO, CaO, $SiO_2$および$ZrO_2$の6種類のセラミックスが候補材料とされている。特に注目する製鉄用耐火物の場合，原料の<u>鉄鉱石をコークスと共に加熱して得た銑鉄の溶湯</u>から鉄を純化精製するために，スラグとも呼ばれる CaO-$SiO_2$ 系の鉱滓を添加する。しかし，このスラグは高温で化学浸食性が高く耐火物を浸食するため，耐火物の選定が大きな問題となっている。

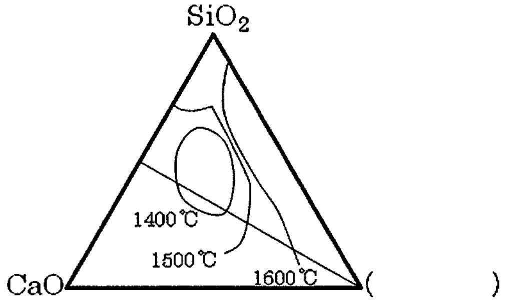
(1) 文中下線部について，鉄鉱石を $Fe_2O_3$ とする場合，銑鉄(Fe)が得られる反応式を示せ。

(2) CaO は，現在までのところ耐火物としてはほとんど用いられていない。その理由を簡単に答えよ。

(3) $Y_2O_3$ などの安定化剤がドープされた $ZrO_2$ は，他のセラミックスに比べて高い靭性を発現する。その理由について，「応力誘起相変態，立方晶，正方晶，単斜晶，破壊表面エネルギー」の用語を必ず用いて説明せよ。ただし，説明文中に用いた各用語は下線を引いて強調せよ。
**<例>**～<u>立方晶</u>の～。

(4) 高温において，$Cr_2O_3$ は $Al_2O_3$ より優れたスラグ抵抗性(スラグに溶解しにくい性質)を有している。その理由について，以下に示した2つの3成分系相平衡状態図を用い，頂点の空欄に化合物名を書き入れて説明せよ。(スラグ組成は CaO : $SiO_2$=50 : 50 (mass%; 状態図中直線)とし，解答欄の状態図中説明に必要な書き込みは適宜行ってよい。)




(5) $SiO_2$ は，低温から高温へ順に石英(クォーツ)→(870 ℃)トリジマイト→(1470 ℃)クリストバライト(最終融点:1723 ℃)相へと転移する(多形をもつ)。横軸に温度，縦軸を各相の標準生成自由エネルギー($\Delta G°$; 負の値を持つ)として，各相の温度に対する $\Delta G°$ の変化を概略図で示せ。ただし，各相の $\Delta G°$ は温度に対して直線的に変化するものとする。解答欄には既に融液相の $\Delta G°$ のみ書き込んである。

問題番号
**4**

設問すべてについて解答すること。

I　引張試験は，材料の機械的性質を調べるための代表的な試験方法である。図１は，多結晶金属材料の典型的な応力－ひずみ曲線を表す。原点Oから点Aまでの区間では，応力$\sigma$はひずみ$\varepsilon$に比例して増大する[a]。　点Aで比例関係からはずれると，ひずみの増大とともに応力は緩やかに増加し[b]，点Bで応力が最大に達した後，点Cで試料は破断する。次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

(1) 点Aの名称を答えよ。

(2) 下線部(a)の関係をフックの法則という。弾性率(ヤング率)を$E$とし，フックの法則を式で表せ。

(3) 区間ACの変形を何と呼ぶか答えよ。

(4) 点Bの応力は，この材料が耐えうる最大の応力である。この応力の名称を答えよ。

(5) 下線部(b)の現象を何と呼ぶか答えよ。また，応力が増大する理由を簡潔に説明せよ。

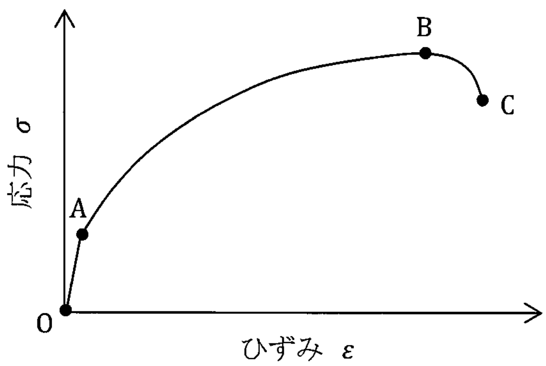


図１

II　ヤング率の測定方法の一つに，音速測定法がある。そこで，金属棒を伝播する音波について考え，ヤング率と音速の関係式を導出することにする。図２のように$x$軸をとり，ヤング率$E$，密度$\rho$，断面積$S$で太さ一定の金属棒の左端をハンマーで叩く。叩かれた部分は弾性的に圧縮・伸張し，この変形が縦波の正弦波となって棒を伝播していくものとする。次の(1)～(7)の問いについて答えよ。

(1) 縦波により，棒中の微小部分(長さ$dx$)は，両端がそれぞれ$u$と$u + du$だけ変位した。この伸び変形に対するひずみを求めよ。

(2) 微小部分の一端には$-F$，他端には$F + dF$の力が働くが，$F \gg dF$とし，微小部分の両端に同じ大きさの力$F$が作用するとみなしてもよい。このとき，微小部分の両端にはたらく引張応力の大きさを求めよ。

(3) 微小部分の弾性変形に対し，フックの法則を表す式を示せ。

(4) 微小部分の質量を求めよ。ただし微小部分の変形は無視してよい。

(5) 微小部分は，両端にはたらく力の差($dF$)により，並進運動をする。微小部分の並進運動に関する加速度を$\partial^2 u/\partial t^2$と表すこととし，運動方程式を示せ。

(6) 一般に波動は，波動方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

で記述できる。ここで$v$は物体中を伝播する波の音速である。そこで，微小部分の並進運動に関する運動方程式とフックの法則を表す式を用いて波動方程式を導出し，金属棒を伝播する縦波の音速$v$とヤング率$E$の関係式を導出せよ。ここで$dF = (\partial F/\partial x)dx$と変形できることを利用せよ。

(7) 一般に，固体中では縦波の方が横波より速く伝播する。それぞれの波動に関連する弾性定数とその大小関係を明示し，この理由を説明せよ。

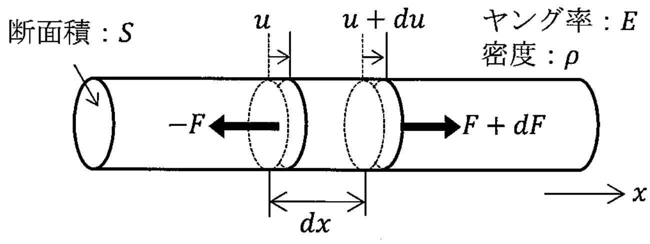



図２