

Name: Musterfrau

### I. Geschichte und Herstellung

1. a) Was versteht man unter Keramik? (3 Punkte) (+2)

- Technologie zur Herstellung keramischer Materialien (1)

- nichtmetallische anorganische Werkstoffe / Materialien  
oder (2)

- alle Werkstoffe bis auf Metalle und Kunststoffe

(in Wasser schwer löslich, zu mindestens 30% kristallin) (+2)

b) Nennen Sie chemische Summenformel und Anwendungsmöglichkeiten von mindestens drei typischen keramischen Materialien, die Sie selbst benutzen. (6 Punkte)

Kondensator:  $Al_2O_3, Ta_2O_5, Nb_2O_5, TiO_2, CaTiO_3, SrTiO_3$  (2)

Schwinger, Wandler (piezo):  $BaTiO_3, Pb(Zr, Ti)O_3$  (2)

Übertrager, Speicher (Weichferrit):  $(Zn, Ni, Mn)Fe_2O_4$  (2)

Porzellan:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  /  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  /  $SiO_2$   
Kaolin Feldspat Quarz

Glaskeramik:  $SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O (TiO_2)$

Schmuck / opt. / mech. Eigenschaften: Diamant (C), Rubin ( $Al_2O_3 + "v"$ ), Saphir  
( $Al_2O_3 + "o"$ )

Schleifmittel:  $Al_2O_3, C$

Schneiden:  $ZrO_2$

Name: Musterfrau

2. Ein wichtiges Verfahren zur Herstellung von Keramiken stellt der Schlickerguss dar.

a) Was versteht man unter einem Schlicker? (4 Punkte) (+ 3)

- stabile Suspension / Dispersion<sup>(1)</sup> mit gezielt eingestellter Viskosität<sup>(1)</sup>  
von Keramikpulver + Zusätzen<sup>(1)</sup>
- (- Keramik + Dispersionsmittel + Binder + Plastifizierer + funktionelle Additive) (+2)
- Ausgangsmaterial für massive Formgebungsverfahren<sup>(1)</sup>
- (- sterische, elektrostatische, -sterische Stabilisierung) (+1)

b) Beschreiben Sie das Schlickergussverfahren ausgehend vom Schlicker bis zum Grünkörper. (5 Punkte)

- Schlicker wird in poröse flüssigkeitsaugende Form gegossen<sup>(1)</sup>
- (- überschüssigen Schlicker abgießen)
- Dispersionsmittel wird entzogen<sup>(1)</sup>
- Verdichtung der Feststoffpartikel an der Formwand<sup>(1)</sup>
- je nach gewünschter Dicke erneut Schlicker eingießen + warten<sup>(1)</sup>
- Scherben aus der Form nehmen<sup>(1)</sup>

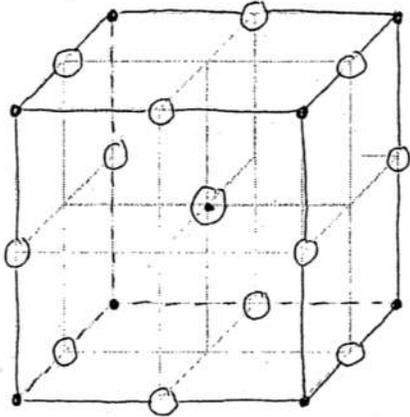
Name: Musterfrau

## II. Chemische Bindung und Kristallographie (13 Punkte)

1. Zeichnen und beschreiben Sie mit Worten (Koordinationszahlen, -polyeder, Packungsverhältnisse...) eine Elementarzelle von Perowskit ( $\text{CaTiO}_3$ ) mit

a) einem Kalziumatom im Zentrum (Wenn Sie möchten, können Sie für die Zeichnung die gegebene Vorlage benutzen)

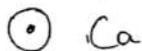
Zeichnung



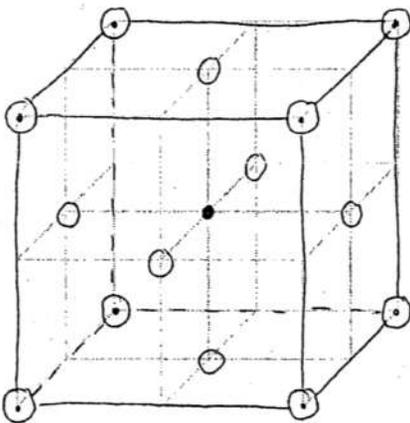
$\left(\frac{1}{2}\right)$   $\left(\frac{1}{2}\right)$   $\left(\frac{1}{2}\right)$   
kubische EZ, Ca im Zentrum, Ti an Ecken,  
O auf allen Kantenmitten  $\left(\frac{1}{2}\right)$

Ca + O bilden kubisch dichteste Kugelpackung  $(1)$

Ti in von Sauerstoff gebildeten Oktaederlücken  $(1)$



b) einem Titanatom im Zentrum.



$\left(\frac{1}{2}\right)$   $\left(\frac{1}{2}\right)$   $\left(\frac{1}{2}\right)$   
kubische EZ, Ti im Zentrum, Ca an Ecken,  
O auf Flächenmitten  $\left(\frac{1}{2}\right)$

Koordinationszahlen: Ca : 12 O (Kuboktaeder), 8 Ti (Würfel)  $(1)$

Ti : 6 O (Oktaeder), 8 Ca (Würfel)  $(1)$

O : 2 Ti (gestreckt), 4 Ca (Quadrat)  $(1)$

4

zusätzlich, wenn von a) nach b) nicht nur Ca + Ti getauscht wurden:  $(+5)$

Name: Musterfrau

### III. Gefüge und Defekte

1. Keramische Materialien enthalten neben Kristalliten häufig als Sekundärphase Korngrenzenfilme.

a) Wie kann es zur Ausbildung solcher Korngrenzenfilme kommen? (4 Punkte) (+2)

- Relikte der Flüssigphase aus dem Sintervorgang (2)

- Zusammensetzungsabhängig können sich (z.B. bei der chemischen Synthese der Ausgangspulver) amorphe Phasen bilden, die die Kristallite umschließen (z.B. bei der Precursor-synthese) (2)

- . . .

(+2)

b) Welche Auswirkungen können Korngrenzenfilme auf die mechanischen Eigenschaften einer Keramik haben? (4 Punkte)

- Zähigkeitssteigerung durch Rissablenkung (2)

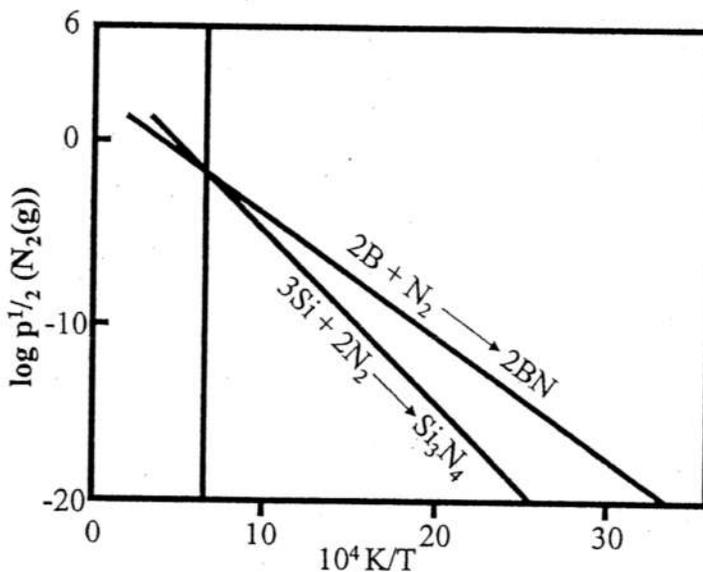
- bei hohen Temperaturen kann die Glasphase erweichen  
⇒ niedrige Kriechfestigkeit (2)

Name: Musterfrau

#### IV. Thermochemie

Bornitrid und Siliziumnitrid sind keramische Materialien, die bei Hochtemperaturanwendungen zum Einsatz kommen.

a) Benutzen Sie das unten abgebildete Ellingham-Diagramm, um qualitative Aussagen über die relative thermische Stabilität von BN und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  zu machen. (6 Punkte)



Bornitrid (Siliziumnitrid) steht über die Reaktion  $2\text{BN} \rightleftharpoons 2\text{B} + \text{N}_2$  ( $\text{Si}_3\text{N}_4 \rightleftharpoons 3\text{Si} + 2\text{N}_2$ ) mit den Elementen B und N (Si und N) im Gleichgewicht. Bei Temperaturerhöhung verschiebt sich das Gleichgewicht zunehmend nach rechts, d.h. die Verbindung wird stabiler. (2)

Bei niedrigen Temperaturen (rechts vom Schnittpunkt der Geraden) ist  $\text{Si}_3\text{N}_4$  stabiler als BN, da sich über  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ein geringeres Gasdruck ausbildet. (2)

Bei höheren Temperaturen (links vom Schnittpunkt) ist BN stabiler als  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . (2)

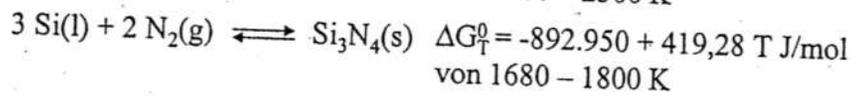
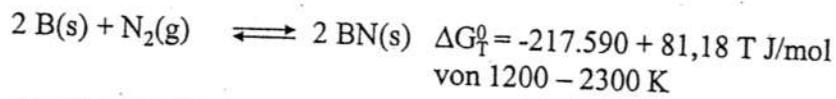
b) Unter welchen Bedingungen scheint es Ihnen sinnvoll, Bornitrid als Hitzeschutzschicht auf Siliziumnitrid aufzubringen? (2 Punkte) (+2)

Es ist sinnvoll, wenn BN stabiler ist als  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , d.h. bei hohen Temperaturen links vom Schnittpunkt der Geraden. (2)

(Das gilt natürlich nur, wenn der äußere  $\text{N}_2$ -Druck nicht konstant gehalten wird, da sich bei z.B. 1 atm  $\text{N}_2$  bei diesen Temperaturen (bis ca.  $1840^\circ\text{C}$ ) weder  $\text{Si}_3\text{N}_4$  noch BN merklich zersetzen.) (+2)

Name: Musterfrau

c) Berechnen Sie mit Hilfe der angegebenen Daten für die Freie Bildungsenthalpie die Temperatur des Schnittpunkts der beiden Geraden im Ellingham-Diagramm für die Reaktion  $\text{Si}_3\text{N}_4(\text{s}) + 4 \text{B}(\text{s}) \rightarrow 4 \text{BN}(\text{s}) + 3 \text{Si}$ . (5 Punkte)



Am Schnittpunkt der Geraden müssen die Freien Enthalpien gleich sein, d.h. ①

$$4 \cdot \Delta G_T^\circ (\text{BN}) = \Delta G_T^\circ (\text{Si}_3\text{N}_4) \quad \Leftrightarrow \quad \text{②}$$

$$0 = 4 \cdot [(-217.590 + 81,18 T)/2] - (-892.950 + 419,28 T) \quad \text{①}$$

$$419,28 T - \frac{4}{2} \cdot 81,18 T = -\frac{4}{2} \cdot 217.590 + 892.950$$

$$T = \left( \frac{-2 \cdot 217.590 + 892.950}{419,28 - 2 \cdot 81,18} \right) \text{ K}$$

$$= \underline{\underline{1781,76 \text{ K}}} \quad \text{①}$$

Der Schnittpunkt der Geraden liegt bei 1781,76 K.

Name: Musterfrau

## V. Mechanische Eigenschaften

1. Keramische Materialien gelten im Allgemeinen als spröde Werkstoffe.

a) Erläutern Sie kurz drei Verstärkungsmechanismen, die sich durch Gefügeoptimierung zur Erhöhung der Bruchfestigkeit nutzen lassen. (9 Punkte)

①  
- Rissablenkung: - Spannungskonzentrationsfaktor an der Risspitze ist kleiner als bei geradem Rissverlauf, da der Riss nicht in Richtung der höchsten Beanspruchung wächst

- Rissoberfläche bei gleicher Risslänge größer als bei geradem Rissverlauf  $\Rightarrow$  zur Bildung des Risses ist mehr Energie nötig

z. B. durch langgestreckte Körner oder Zweitphase oder eingelagerte Teilchen in der Matrix

①  
- Prozessonenbildung: - Umwandlungseinlagerung: Zugspannung an Risspitze erniedrigt durch Volumenzunahme oder Gestaltänderung einzelner Teilchen bei spannungsinduzierter Umwandlung

- Mikrorissbildung bewirkt Energiedissipation.  
Erniedrigung des  $E$ -Moduls, die bei vorgegebener Dehnung zu erniedrigter Zugspannung an Risspitze führt.

①  
- Debonding: Energiedissipation durch Lösen der Grenzschicht zwischen Korn und Matrix

②  
- Rissüberbrückung: Rissufer werden durch langgestrecktes Korn hinter Risspitze zusammengehalten  $\Rightarrow$  Entlastung der Risspitze

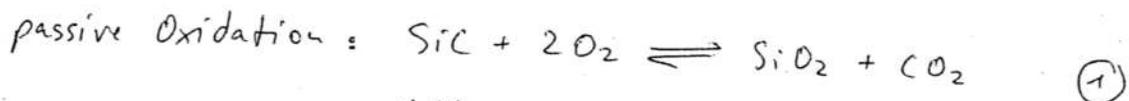
③  
- Pullout: Beim Herausziehen des Korns aus der Matrix entsteht Reibung, die Energie dissipiert.

Name: Musterfrau

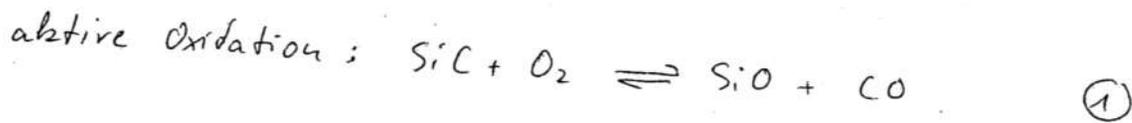
## VI. Chemische Eigenschaften

1. Werkstoffe aus Siliziumkarbid weisen in der Regel eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit auf und können auch in oxidierenden Atmosphären bis 1300°C verwendet werden.

a) Was versteht man unter aktiver und passiver Oxidation bei Siliziumkarbid-Keramiken? Erklären Sie die Begriffe anhand von Reaktionsgleichungen. (6 Punkte)



Bildung einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht an der Oberfläche, die das darunterliegende Material vor weiterer Oxidation schützt. (2)



↑  
bei hohen Temperaturen flüchtig, darunterliegendes Material wird nicht geschützt (2)

b) Unter welchen Bedingungen (Druck, Temperatur) wird welche der genannten Oxidationen beobachtet? (3 Punkte)

niedrige Temperatur: passive Oxidation (1)

hohe Temperatur: passive Oxidation, aber: (1)

hohe Temperatur, geringes  $\text{O}_2$ -Partialdruck: aktive Oxidation (1)