

## Protokoll zur Kollegialprüfung am 30.11.01

Prüfer: Prof. Arzt (Werkstoffphysik)  
Prof. Aldinger (Keramik)  
Prof. Mittemeijer (Metallkunde)

### **Werkstoffphysik:**

- Peierlsspannung, Abstandsweite von Versetzungen
- Elastische Konstanten
- Anisotropie, Bestimmung von  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$
- Versetzungsaufspaltung -> Stapelfehler-> Stapelfehlerenergie

### **Keramik:**

- Kristallstrukturen (NaCl, Wurzitstruktur, Zinkblende, Cäsiumfluorit)
- Vertreter in Keramiken Beispiele
- Verschiedene Lücken am Gitter zeigen
- Warum bestimmte Kristallstruktur (Ladungsneutralität, EN, geometrische Aspekte)
- Zirkoniumoxid und seine Modifikationen

### **Metallkunde:**

- ZTU-Diagramme allgemein
- Keimbildung, Wachstum
- Unterschied Mischkristalle -Überstruktur
- Messung von Übergang Mischkristall, Überstruktur wie?
- Röntgenographische Untersuchung
- Was verändert sich?

### **Abschließende Bemerkung:**

freundliche Atmosphäre, Prüfer leisten entsprechende Hilfe bei Hängern und bauen auf, wenn richtige Antworten gegeben werden.

Datum: 13.10.1999

Gewählte Reihenfolge: Werkstoffphysik (Arzt), Metallkunde (Predel), Keramik (Aldinger)

### 1. Werkstoffphysik

A: Definieren Sie bitte mal den Begriff Elastizität!

-Spannung wirkt auf Körper, reversible Verformung

A: Das ist mal die grundlegende Definition, was gehört noch dazu?

-lineare Elastizität

A: Das muß aber nicht der Fall sein, Beispiel?

-Polymere, Spannungs-Dehnungskurve nicht linear

A: Wie sieht es mit der Energie aus?

-Bei elastischer Verformung kein Energieverlust

A: Wie nennt man Verformung mit Energieverlust?

-Anelastische Verformung

A: Noch ein Faktor gehört zur elastischen Verformung!

-Zeitunabhängigkeit

A: Wie ist der E-Modul definiert?

-Hooksches Gesetz, Bindungspotential  $E = 1/r_0 \left. \frac{d^2U}{dr^2} \right|_{r=r_0}$

A: Größenordnung, E-Modul von Stahl, Aluminium?

-GPa, Stahl: 200 GPa, Aluminium: 70 GPa

A: Dichte von beiden?

-Eisen:  $7,9 \text{ g/cm}^3$ , Aluminium:  $2,7 \text{ g/cm}^3$

A:  $E/\rho$  ist also für beide Materialien etwa gleich, was kennzeichnet denn diese Größe?

-Steifigkeit

A: Wo ist das wichtig:

-Leichtbau

A: Wieso ist Aluminium im Automobilbau so wichtig?

-Korrosion???

A: Das hat man auch bei Stahl schon gut im Griff! Denken sie daran, es gibt auch die Größe

$E/\sqrt{\rho}$ , was charakterisiert denn die?

-Knickstabilität

A: Genau, und welche Größe ist da wichtiger?

-Die Dichte, d.h. Aluminium wird wegen geringerer Dichte bevorzugt

A: Schauen wir uns doch mal die Elastizität von Polymeren an. Welche Größen sind da von Bedeutung?

-Energieelastizität versus Entropieelastizität, Grundformel

A: Ja, die Energieelastizität fällt ja weg, wie kommen sie jetzt auf den E-Modul?

-Gauss-Verteilung (eindimensionale gezeichnet), die Entropie über die Boltzmann-Formel  $S = k \ln W$ , W: thermodynamische Wahrscheinlichkeit, Anzahl der mikroskopischen Realisierungszustände eines Makrozustands.

A: Und was sind hier die mikroskopischen Realisierungszustände?

-Anordnung der Kette im Raum, Konformation des Moleküls

A: Gut, dann setzen Sie das in die Grundformel ein und rechnen, das können wir hier nicht machen. Was kommt denn am Ende raus?

-  $E = 3N_v kT$  (bei präziser Rechnung),  $N_v$  bedeutet Anzahl Ketten/Volumen

A: Zeichnen Sie mal die Spannungs-Dehnungskurve eines Polymers auf

-Theoretische Kurve, reale Kurve mit Anstieg bei hohen Dehnungen

A: Woher kommt denn dieser Anstieg am Schluß?

-Die Moleküle sind ja jetzt ganz gestreckt...

- A: Genau, was passiert jetzt mit den Bindungen?  
 -Energieelastizität?
- A: Richtig, natürlich kann es jetzt auch zu einer energieelastischen Dehnung der C,C-Bindungen kommen!  
 Da fällt mir was ein, es gibt da einen besonderen Effekt, wenn man das Spannungs-Dehnungsdiagramm von Dna betrachtet. Wissen Sie, wie die aussieht?  
 -Doppelhelixstruktur, vom Prinzip her ein Polymer
- A: Ja, was passiert, wenn man die dehnt?  
 -Leiterstruktur, Doppelhelix getrennt, linear?
- A: Wie ändert sich dabei der E-Modul? Wird die Dehnung leichter?  
 -E-Modul sinkt!
- A: Richtig, im Spannungs-Dehnungs-Diagramm erhält man ein Plateau, danach dann wieder energieelastische Dehnung. Aber das nur nebenbei, jetzt gehen wir mal zu Versetzungen über. Was für Versetzungen gibt es?  
 -Stufen-, Schrauben-Versetzung
- A: Wie ist eine Stufenversetzung definiert?  
 -Burgers-Vektor orthogonal Versetzungslinie, Definition Versetzungslinie
- A: Welche Kräfte übt eine positive Stufenversetzung längs der z-Achse auf eine Schraubenversetzung aus, die sich im ersten Quadranten befindet? (etwa unter  $30^\circ$  zur Stufenversetzung)  
 -Keine?
- A: Zeichnen sie mal das Spannungsfeld der Stufenversetzung an diesem Punkt  
 -Scherkräfte, in y-Richtung Zugkraft, in x-Richtung Druckkraft
- A: Wie berechnen sie die Kräfte auf Versetzungen?  
 -Peach-Köhler-Kraft
- A: Also, es wird tatsächlich keine Kraft ausgeübt, wir haben in der Vorlesung behandelt, daß in dem Spannungstensor der Schraubenversetzung genau dort Nullen stehen, wo im Spannungstensor der Stufenversetzungen Spannungen stehen, und andersherum.  
 Was ist denn charakteristisch für die Aufspaltungsweite von Shockley-Partialversetzungen  
 -Stapelfehlerenergie
- A: Wie sieht die Formel für die Aufspaltungsweite aus?  
 -Burgersvektoren der Partialversetzung im Zähler, Stapelfehlerenergie im Nenner, Diffusionskonstante?
- A: Das mit der Diffusion verschlucken Sie mal lieber, das habe ich nicht gehört. Natürlich, die Stapelfehlerenergie ist im Nenner. Wenn wir schon mal dabei sind, wie ist denn die Aufspaltung bei Superversetzungen in geordneten Phasen?  
 -Ni<sub>3</sub>Al-Elementarzelle aufgezeichnet, Burgersvektoren, Aufspaltung (siehe Skript), Antiphasengrenzen etc.
- A: Wie nennt man dann diesen Stapelfehler?  
 -Komplexer Stapelfehler
- A: Vielen Dank, dann gebe ich mal weiter

## 2. Metallkunde

- P: Wir wollen mal den Zusammenhang zwischen Struktur und Zustandsdiagramm herausarbeiten, was ist denn eine Überstrukturphase?  
 -Atome unterschiedlicher Sorte geordnet auf bestimmten Gitterplätzen
- P: Kennen Sie welche?  
 -Cu<sub>3</sub>Au, aufgezeichnet, dann CuAu (tetragonale Struktur)
- P: Zeichnen Sie mal das Phasendiagramm  
 -Schematisch! Überstrukturphasen mit Homogenitätsbereich, zwischen den

Überstrukturphasen (wo sich die Homogenitätsbereiche treffen) eutektoider Punkt  
P: Jetzt zeichnen Sie mal die Elementarzelle von  $\gamma$ -Messing!

-27 CsCl-Zellen, Eckatome und innen zentriertes Atom fehlen => 52 Atome

P: Und jetzt NiAs

-As hcp, 6 Oktaederlücken von Ni besetzt.

P: Wie kommt hier der große Homogenitätsbereich zustande?

-Ni<sub>10,5</sub>As: Nur Hälfte der Oktaederlücken besetzt, Ni<sub>2</sub>As: trigonal-bipyramidale Lücken teilweise besetzt

P: Was wollen Sie mir jetzt noch erzählen?

-??? (Tja, auf eine solche Frage war ich nicht vorbereitet...)

P: Wie kommen denn Leerstellen zustande?

-Energie/Verzerrung <-> Entropie, GG-Leerstellenkonz.

P: Wie kann man sie künstlich erzeugen?

-Neutronenbeschuss

P: Zeichnen Sie mir doch mal das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm auf

-... (Peritektikum, Eutektikum, eutektoider Punkt, Phasen etc.) ...

P: Was passiert jetzt, wenn sie aus dem Austenit-Gebiet abkühlen? Kennen Sie das ZTU-Diagramm?

-ZTU-Diagramm aufgezeichnet, erklärt, Perlit, Sorbit, Troostit, treibende Kraft, C-Diffusion, unterschiedliche Lamellendicken

### 3. Keramik

A: Jetzt werden wir mal ein bißchen technisch. Erzählen Sie mir doch mal etwas über die Herstellung von Keramiken

-Pulverherstellung, -aufbereitung, Masseherstellung, Formgebung, Ausheizen, Sintern  
Bearbeitung

A: Pulverfreie Verfahren?

-CVD, PVD, Herstellung dünner Schichten

A: Pulveraufbereitung?

-Naß, plastisch, trocken. Naß: stabile Suspension der Pulver notwendig, Verschlickern, sterische und elektrostatische Stabilisation. Formgebung: Foliengiessen, Schlickergiessen (Form aus Gips).

-Plastisch: Plastifizierung der Pulver durch Binder, Spritzgiessen, Extrudieren, Kalandern

A: Binder: Unterschied zu nasser Formgebung?

-Bis zu 50% Binder-Anteil bei plastischer Formgebung

Trockene Formgebung: rieselfähige Pulveragglomerate erforderlich

A: Warum keine reinen Pulver?

-???

A: Agglomerat aufgezeichnet

Gleitkräfte zwischen Pulverteilchen müssen gleich sein, verwendet man Pulver, das z.B. aus kalziniertem Aluminiumoxid entstanden ist, sind evt. schon Sintervorstufen im Pulver vorhanden, dies muss vermieden werden.

-Beispiele für trockene Formgebung: Isostatisches Pressen, Uniaxiales Pressen

A: Jetzt nochmal zurück zu den Versetzungen, welche Rolle spielen die denn in Keramiken?

-Keine so grosse, Versetzungsbewegung sehr erschwert.

A: Genau, aber welche Defekte sind dann wichtig bei Keramiken?

-Risse bestimmen die Festigkeit des Materials

A: Und, was noch?

-Poren, Korngrenzen

A: Wie können Korngrenzen die Stabilität des Materials beeinträchtigen?

-Nach Sintervorgang Abkühlung => Spannungen an den Korngrenzen, wenn z.B.

- anisotroper Ausdehnungskoeffizient, Gefahr von Korngrenzenbrüchen
- A: Was gibt es noch an Defekten?  
-Nulldimensionale, also Frenkel-, Schottky-Defekte, Farbzentren
- A: Wie sieht es aus mit Substitutionsmischkristallen?  
-4 Regeln (Isotypie, Radiendifferenz, chemische Affinität, Ladungsausgleich)
- A: Wenn Ladungsausgleich nicht gewährleistet?  
-Strukturelle Leerstellen, Bsp. NiO
- A: Kennen Sie noch ein anderes Beispiel?  
-ZrO<sub>2</sub>, mit Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert, Sauerstoffionen beweglich, Lambda-Sonde.
- A: Gibt es auch andere Möglichkeit als Leerstellenbildung?  
-Atome gehen ins Zwischengitter
- A: Beispiel? Gehen Sie mal von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aus.  
-MgO?
- A: Ja, Aluminium weicht ins Zwischengitter aus. Können Sie das in Verbindung bringen mit dem technischen Prozeß? Bei was könnte das eine Rolle spielen? Sicher nicht bei der Formgebung!  
-Sintern?
- A: Genau, wo liegt der Vorteil, wenn man beim Sintern Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert mit MgO verwendet?  
Denken Sie an die Sintermechanismen!  
-Diffusion, z.b. Leerstellendiffusion, Zwischengitterdiffusion
- A: Wie läuft denn die Diffusion bei Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ab?  
-???
- A: Das können Sie nicht wissen, O diffundiert an den Korngrenzen. Was ist jetzt aber der Effekt?  
-Aluminium diffundiert im Zwischengitter, d.h. Zugabe von MgO bringt mehr Al-Atome ins Zwischengitter => erhöhte Zwischengitterdiffusion, die für den Sinterprozeß günstig ist.

anisotroper Ausdehnungskoeffizient, Gefahr von Korngrenzenbrüchen

A: Was gibt es noch an Defekten?

-Nulldimensionale, also Frenkel-, Schottky-Defekte, Farbzentren

A: Wie sieht es aus mit Substitutionsmischkristallen?

-4 Regeln (Isotypie, Radiendifferenz, chemische Affinität, Ladungsausgleich)

A: Wenn Ladungsausgleich nicht gewährleistet?

-Strukturelle Leerstellen, Bsp. NiO

A: Kennen Sie noch ein anderes Beispiel?

-ZrO<sub>2</sub>, mit Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert, Sauerstoffionen beweglich, Lambda-Sonde.

A: Gibt es auch andere Möglichkeit als Leerstellenbildung?

-Atome gehen ins Zwischengitter

A: Beispiel? Gehen Sie mal von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aus.

-MgO?

A: Ja, Aluminium weicht ins Zwischengitter aus. Können Sie das in Verbindung bringen mit dem technischen Prozeß? Bei was könnte das eine Rolle spielen? Sicher nicht bei der Formgebung!

-Sintern?

A: Genau, wo liegt der Vorteil, wenn man beim Sintern Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert mit MgO verwendet?

Denken Sie an die Sintermechanismen!

-Diffusion, z.b. Leerstellendiffusion, Zwischengitterdiffusion

A: Wie läuft denn die Diffusion bei Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ab?

-???

A: Das können Sie nicht wissen, O diffundiert an den Korngrenzen. Was ist jetzt aber der Effekt?

-Aluminium diffundiert im Zwischengitter, d.h. Zugabe von MgO bringt mehr Al-Atome ins Zwischengitter => erhöhte Zwischengitterdiffusion, die für den Sinterprozeß günstig ist.