

Teil A

Kreuzen Sie jeweils an, ob die Aussage wahr (w) oder falsch (f) ist. Tragen Sie in die Lücke die fehlende (richtige) Gleichung bzw. Zahl ein. Es gibt die Punkte nur auf komplett richtige Aufgabenlösungen.

w f

A1 (2 Punkte)

- ✓   Unter Beugung versteht man die konstruktive Interferenz von Streuwellen. ◦
- ✓   Röntgenstrahlung kann am Kristall gebeugt werden, Elektronenstrahlung dagegen nicht. ◦

A2 (2 Punkte)

$$E_{\nu} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

- ✓   Die Wellenlänge der charakteristischen Röntgenstrahlung sinkt mit steigender Beschleunigungsspannung. *konst. x*
- ✓   Die Wellenlänge der charakteristischen Röntgenstrahlung hängt nur von der Ordnungszahl ab.  $\frac{1}{\lambda} \propto (Z-1)^2$  ◦

A3 (3 Punkte)

- ✓   Der reziproke Gittervektor  $\underline{S}_{hkl}$  steht nur im kubischen Gitter senkrecht zur Netzebene (hkl). x
- ✓   Die Koordinaten eines reziproken Gitterpunktes werden durch die ganzzahligen Indizes h,k,l bestimmt. ◦
- ✓   Im orthorhombischen Gitter sind die Netzebenennormalen parallel zu den entsprechenden Richtungen des reziproken Gitters. ◦

# Klausur Werkstoffanalytik I

w f

## A4 (3 Punkte)

- ✓   Der Atomformfaktor hängt von der Ordnungszahl, der Wellenlänge und dem Beugungswinkel ab. ○
- ✓   kubisch-raumzentrierte Gitter zeigen  $kVZ \rightarrow 2, 4, 6, \dots$   
 $k+l+m$  Auslöschungen, kubisch-primitive Gitter dagegen nicht. ○
- ✓   In einem geordneten Mischkristall mit kfz-Gitter treten mehr Reflexe auf als in einem ungeordneten der gleichen Struktur und Zusammensetzung. ○

## A5 (2 Punkte)

Ein reziproker Gitterpunkt entspricht einer

- ✓   Netzebenenschar ○
- ✓   Richtung im Kristall ○

## A6 (2 Punkte)

Die typische durchstrahlte Probendicke beträgt für

- ✓ Röntgenbeugung  $1 \text{ mm}$
- f Transmissionselektronenmikroskope  ~~$1 \text{ mm}$~~   $0.1 \text{ mm}$

## A7 (3 Punkte)

- ✓   Die Tiefenschärfe eines Lichtmikroskops nimmt mit zunehmender Auflösung zu.  $\times$   
 *$d = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$*
- f   Die Auflösung eines Lichtmikroskops nimmt mit zunehmender Wellenlänge des verwendeten Lichts ab. ○  
 *$NA = \frac{1}{\lambda} \sin \alpha$*
- ✓   Das Punktaufklärungsvermögen in einem optischen und in einem Transmissionselektronenmikroskop ist nur durch die Wellenlänge der verwendeten Strahlung gegeben  $\times$   
 *$\delta = \frac{0.61 \lambda}{n \sin \alpha}$*

## Teil B

## B1 (3 Punkte)

Skizzieren Sie (anhand eines Beugungsbilds) die Lage der Objektivblende für einen Hellfeld-, einen Dunkelfeld- und hochauflösenden Abbildungsbetrieb eines TEM.

## B2 (5 Punkte)

0,968

An einem Elementpulver mit kubischer Struktur wurde bei einer Pulveraufnahme mit Fe- $K_{\alpha}$ -Strahlung ( $\lambda=1,936 \text{ \AA}$ ) die folgende Beugungsreflexe gemessen.

Linie	$2\theta$ [°]
1	38,51
2	44,76
3	65,16
4	78,31
5	82,53
6	99,20
7	112,17
8	116,74

Berechnen Sie die entsprechenden Netzebenenabstände.

Welches Translationsgitter besitzt das Element? Welche

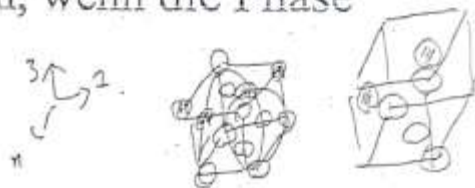
Gitterkonstante hat das Gitter?

Klausur Werkstoffanalytik I

**B3** (3 Punkte)

Die intermetallische Phase TiAl besitzt im geordneten Zustand eine tetragonale  $L1_0$ -Struktur (Ti: 0,0,0; 1/2,1/2,0; und Al: 0,1/2,1/2; 1/2,0,1/2). Berechnen Sie den Strukturfaktor  $F_{hkl}$  für die Reflexe (100), (010), (001) und (200).

Welche Auslöschungsregel würde auftreten, wenn die Phase ungeordnet wäre?

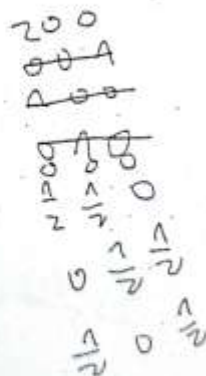
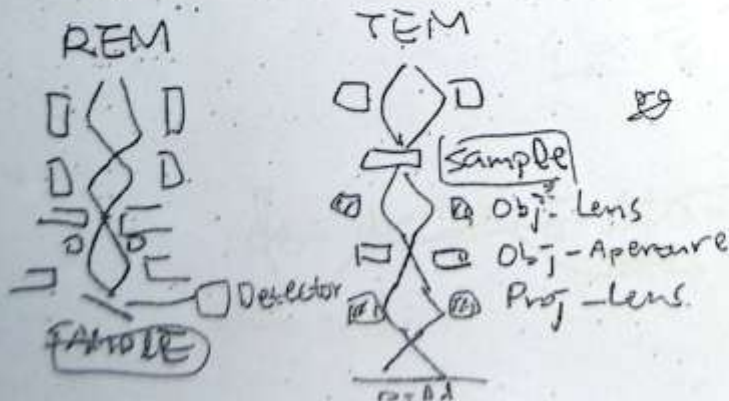


**B4** (3 Punkte)

Zeichnen Sie schematisch das entstehende Röntgenspektrum (Intensität gegen Wellenlänge) wenn Elektronen durch ein elektrisches Feld auf eine Metallanode beschleunigt werden. Wodurch ist die kleinste auftretende Wellenlänge gegeben? Welche Beschleunigungsspannung benötigt man mindestens, um Cu- $K_{\alpha}$ -Strahlung ( $\lambda=1.541 \text{ \AA}$ ) zu erzeugen?

**B5** (4 Punkte)

Beschreiben Sie die Unterschiede in Funktionsweise und Aufbau eines REM und TEM. Zeichnen Sie schematisch den jeweiligen Strahlengang.



$$e^{\pi i} = \cos \theta + i \sin \theta$$

$$\cos \theta + i \sin \theta = e^{i\theta}$$

B6 (3 Punkte)

SEM

Zeichnen Sie für ein ~~REM~~ das Wechselwirkungsvolumen des einfallenden Primärelektronenstrahls mit der Probe für eine Beschleunigungsspannung von 5kV und 30kV (Annahme: Durchmesser des Primärelektronenstrahls bleibt konstant). Zeichnen Sie in Ihre Skizze ein, aus welchen Bereichen Sekundärelektronen und Rückstreuielektronen aus der Probe austreten können und wie tief die Primärelektronen eindringen.

B7 (a: 2 Punkte; b: 2 Punkte)

- a) Erläutern Sie anschaulich die Kontrastentstehung durch eine Stufenversetzung in einer Metallfolie bei der Transmissionselektronenmikroskopie.
- b) Es wird ein Versetzungsbild analysiert in dem die gleiche Stelle unter mehreren Kippwinkeln betrachtet wird. Keine Versetzung ist bei  $g=[111]$  zu sehen, ein Teil der Versetzungen verschwindet bei  $g=[11-2]$  und der andere Teil bei  $g=[1-21]$ . Welche Burgers-Vektoren haben die beiden Versetzungstypen?

**BS** (a: 2 Punkte; b: 3 Punkte; c: 1 Punkte)

Gegeben sei ein Werkstoff mit einer kubischen Kristallstruktur ( $E=125 \text{ GPa}$ ,  $\nu=0.34$ ,  $a=3.608 \text{ \AA}$ ), der einem ebenen Spannungszustand ( $\sigma_x = \sigma_y$ ,  $\sigma_z=0$ ) ausgesetzt wird. Es werden bei einer röntgenographische Spannungsmessung ( $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung,  $\lambda=1.541 \text{ \AA}$ ) mit der  $\sin^2\psi$ -Methode folgende Beugungsreflexe gemessen:

$\alpha_1=10^\circ$        $\theta_1=72.033^\circ$   
 $\alpha_2=50^\circ$        $\theta_2=73.402^\circ$

- a) Erläutern Sie das Prinzip der  $\sin^2\psi$ -Methode
- b) Welcher Netzebenentyp wurde zur Spannungsmessung verwendet? Berechnen Sie die Spannung.
- c) Zeigen Sie, dass der ungedehnte Netzebenenabstand  $d_0 \frac{2\nu}{1+\nu}$  bei:

$\sin^2 \psi_0 = \frac{2\nu}{1+\nu}$  auftritt.

~~$d(\psi_0) = d_0 \frac{1+\nu}{E} \cdot \delta \sin^2 \psi + d_0 (1 - \frac{2\nu}{E} \delta)$~~

~~$\frac{1+\nu}{E} \delta \sin^2 \psi_0 = 1 - \frac{2\nu}{E} \delta$~~

$\sigma = E \cdot \epsilon$        $d_0$

$\epsilon_x = \frac{\sigma}{E} = \nu$

1.1 ~~1.18~~

1.2

0.416

0.24

~~$d_0 = d_0 \frac{1+\nu}{E} \cdot \delta \frac{\sin^2 \psi_0}{\sin^2 \psi_0} + d_0 (1 - \frac{2\nu}{E} \delta)$~~

$d_0 = d_0$

**B9** (2 Punkte)

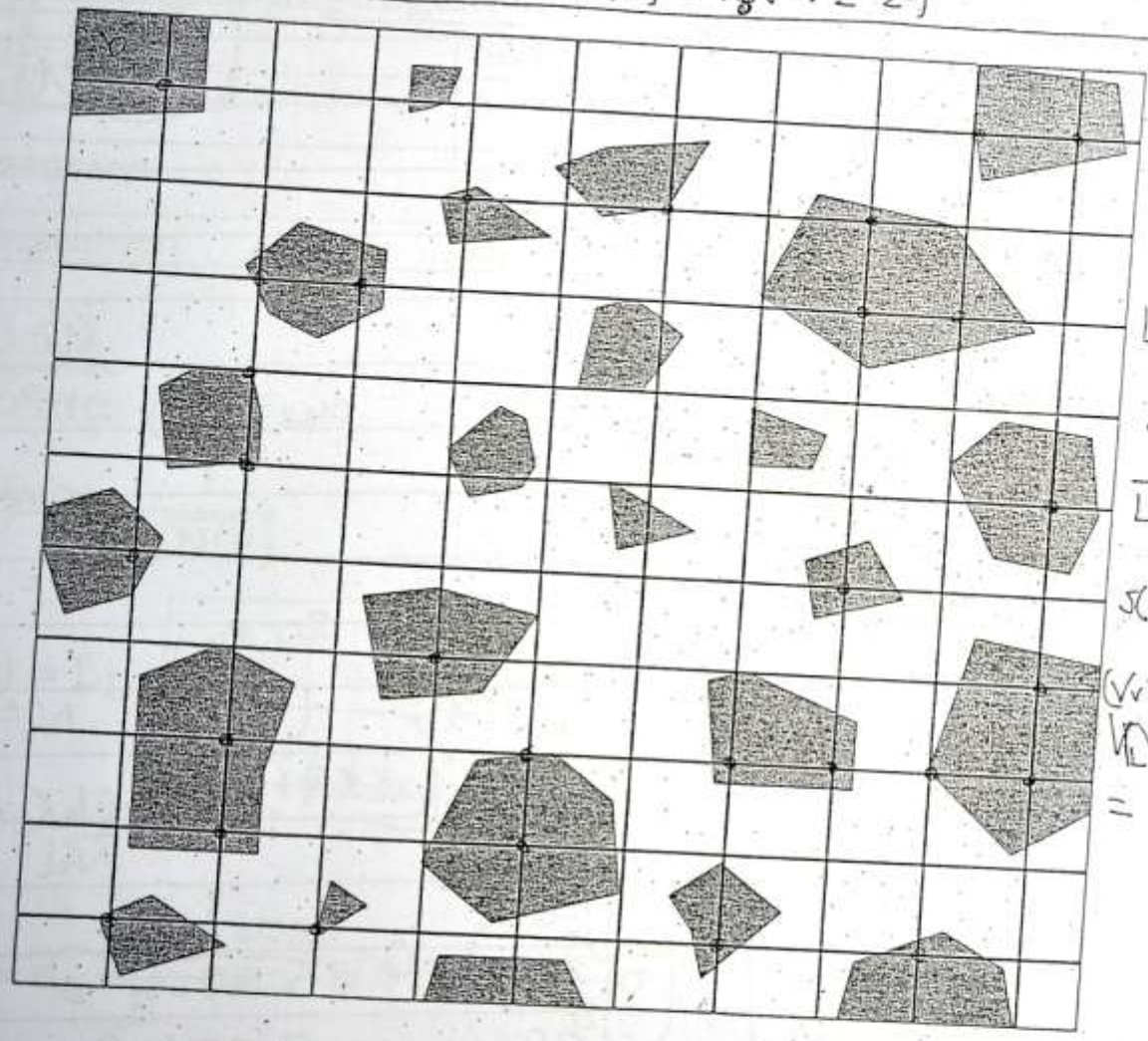
Gegeben sei das unten dargestellte Schliffbild. Bestimmen Sie mit Hilfe der eingezeichneten Linien den Volumenanteil der dunklen Phase durch eine Punktanalyse. Geben Sie das 95%-Vertrauensintervall an.

$$s(V_v) = P_p \cdot \frac{1}{\sqrt{N(P)}}$$

$$P_p(b) = \frac{P(b)}{P_0} = \frac{29}{100}$$

$$V_{0.95} = P(b) + 2s$$

$$N(P) = P_p(b) = 29$$



$$L(b) = \dots$$

$$L_0 = \dots$$

$$L_L(b) = \frac{L(b)}{L}$$

$$N(L) = \dots$$

$$\bar{L} = \frac{L(b)}{N(L)}$$

$$s(L) = \sqrt{\frac{\sum(L_i - \bar{L})^2}{N(L) - 1}}$$

$$V_v = \dots$$

$$V_{0.95} \approx L_L(b)$$

$$= L_L(b) + 2s$$

# Klausur Werkstoffanalytik I

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

## Naturkonstanten und Formelsammlung:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$E = eU, E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1}{2} m c^2 \lambda$$

$$\lambda eV = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{eV}$$

$$\lambda = \frac{2m\lambda^2}{2m\lambda^2} = \frac{2m\lambda^2}{2m\lambda^2} = \frac{2m\lambda^2}{2m\lambda^2}$$

## Auslöschungsbedingungen:

Gittertyp	beobachtbare Reflexe
primitiv	Alle
innenzentriert	$h+k+l = \text{gerade}$
flächenzentriert	alle gerade oder alle ungerade

$$\delta = \frac{0.61\lambda}{\mu \sin \alpha}$$

$$s(V_V) = P_P \frac{1}{\sqrt{N(P)}}$$

$$s(V_V) = L_L \sqrt{\left(\frac{s(L)}{L}\right)^2 + 1} \frac{1}{\sqrt{N(L)}}$$

$$F_{hkl} = \sum_j f_j e^{2\pi i(x_j h + y_j k + z_j l)}$$

$$d(\psi) = d_0 \frac{1+v}{E} \sigma \sin^2 \psi + d_0 \left(1 - \frac{2v}{E} \sigma\right)$$

$$\vec{g} \cdot \vec{b} = 0$$

$$\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{1}{d^2}$$

$$\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{1}{d^2}$$

$$\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{1}{d^2}$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = eV = mc^2$$

$$\lambda = \frac{hc}{mc^2} = \frac{h}{m \sqrt{\frac{2eV}{m}}}$$