Physikalische Methoden zur Strukturaufklärung / ergphys_A

Abschlussklausur, 8. Februar 2013

Name: Vorname: Immatr.-Nr:

1.) Die Entwicklung (mechanischer) Rastersondenverfahren hat insbesondere für nanoskopische Untersuchungen an Oberflächen neue Möglichkeiten eröffnet. Nennen Sie (mindestens) zwei Rastersondenmikroskopie-Verfahren und jeweils den zugehörigen physikalischen Effekt, der für die abstandsempfindliche Wechselwirkung zwischen Sonde und Objektstelle genutzt wird. 2 P

2.) Nennen Sie (mindestens) zwei typische Elektronenstrahl-Wechselwirkungsprodukte, die als Signalquellen in der Rasterelektronenmikroskopie zur Oberflächenabbildung massiver Objekte benutzt werden.
Nennen Sie charakteristische Merkmale dieser Signalquellen.
Welche typischen Informationen (Bildkontraste) liefern diese Signalquellen? 2 P
Vergleichen Sie diese Signalquellen bezüglich des erreichbaren Auflösungsvermögens und begründen Sie den Unterschied.

3.) Beschreiben Sie kurz den prinzipiellen Aufbau eines Transmissionselektronenmikroskops (TEM).
Nennen Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede im Vergleich mit einem Durchstrahlungslichtmikroskop.
Welche wesentlichen Anforderungen an ein im TEM zu untersuchendes Objekt sind zu berücksichtigen und welche Objektpräparationen finden Anwendung? 2 P
Nennen Sie für die Transmissionselektronenmikroskopie mindestens zwei Kontrastmechanismen und die Objektstrukturen, die damit in einer TEM-Abbildung sichtbar gemacht werden können?

4.) Die als Versetzungen bezeichneten eindimensionalen Gitterbaufehler sind sowohl für das mechanische als auch das elektrische Verhalten von Kristallen bedeutsam.
Wie heißen die beiden Grundtypen der Versetzungen und durch welche vektorielle Größe werden die Versetzungen quantitativ charakterisiert? 2 P
Bei welchem Versetzungstyp ist dieser Vektor senkrecht und bei welchem parallel zur Versetzungslinie?
Welchen Kontrast nutzt man, um Versetzungen im TEM sichtbar zu machen?

5.) Ein Lichtmikroskop mit einer Objektivbrennweite f_{ob} = 5 mm und einer Okularbrennweite f_{ok} = 20 mm hat eine Tubuslänge L = 100 mm.

a) In welchem Abstand vom gegenstandsseitigen Objektivbrennpunkt muss sich das Objekt befinden, um mit entspanntem Auge scharf gesehen zu werden? 1 P

b) Unter welchem Sehwinkel erscheint ein 0,1 mm großer Gegenstand? 1 P

6.) In einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) werden die Elektronen zur Erzeugung des Elektronenstrahls durch eine Beschleunigungsspannung von U = 200 kV beschleunigt.
Physikalische Konstanten:
Ladung des Elektrons $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C; Ruhemasse des Elektrons $m_e = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ kg; Plancksches Wirkungsquantum $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s; Vakuum-Lichtgeschwindigkeit $c = 2{,}998 \cdot 10^{8}$ m·s^{-1}

a) Bestimmen Sie unter Berücksichtigung <u>nichtrelativistischer</u> Zusammenhänge die zugehörige Elektronenwellenlänge λ und die Elektronengeschwindigkeit v. Vergleichen Sie die Elektronengeschwindigkeit v mit der Lichtgeschwindigkeit c (Angabe in %) und begründen Sie davon ausgehend die Aufgabestellung b). 2 P

b) Bestimmen Sie unter Berücksichtigung <u>relativistischer</u> Zusammenhänge die zugehörige Elektronenwellenlänge λ und die Elektronengeschwindigkeit v. Vergleichen Sie die Elektronengeschwindigkeit v mit der Lichtgeschwindigkeit c (Angabe in %). 3 P

c) Welche Auflösungsgrenze d in nm könnte man mit diesem TEM erreichen, wenn die maximale Strahlapertur (halber Öffnungswinkel des Objektivs) $\alpha = 4 \cdot 10^{-3}$ rad beträgt und zur Berechnung von d die für die Lichtmikroskopie typische Formel (bei einem Brechungsindex n = 1) benutzt wird. 1 P

d) Die Auflösungsformel für die Lichtmikroskopie berücksichtigt als maßgeblichen Effekt für das Auflösungsvermögen (nur) die Beugung. In der Elektronenmikroskopie müssen zusätzlich unbedingt Fehlerquellen der Linsen (hauptsächlich der Objektivlinse) berücksichtigt werden. Wie heißt der wichtigste Linsenfehler, der (abgesehen von modernen Hochleistungsgeräten) nicht korrigiert werden kann und deshalb zur Beschränkung auf eine extrem kleine Strahlapertur wie in c) angeben zwingt. 1 P

7.) Im Röntgenpraktikum sollen Studenten mittels Debeye-Scherrer-Verfahren den Gitterparameter a der Einheitszelle des fcc-Gitters von Aluminium bestimmen. Der monochromatische Röntgenstrahl, der die polykristalline Aluminiumprobe bestrahlt und in der Registrierebene ein Beugungs-Ringdiagramm erzeugt, hat eine Wellenlänge von $\lambda_X = 0{,}154$ nm. Anhand des gemessenen Durchmessers des innersten Ringes ermittelten die Studenten einen zugehörigen Braggwinkel von $\theta_X = 19{,}2°$. Dieser Braggwinkel ist also der Beugung erster Ordnung (n = 1) an der (111)-Netzebenenschar zuzuordnen.

a) Ermitteln Sie den zugehörigen Netzebenenabstand $d_{(111)}$ und davon ausgehend den Gitterparameter a der Elementarzelle. 2 P

b) Zum Vergleich wurde an einem dünnen polykristallinen Aluminiumfilm in einem Transmissionselektronenmikroskop mit einer Beschleunigungsspannung von 200 kV ein entsprechendes Elektronenbeugungs-Ringdiagramm aufgenommen. Bedingt durch die wesentlich kleinere Wellenlänge λ_e des Elektronenstrahls ergab die Auswertung des innersten Ringes in diesem Fall nur einen Braggwinkel von $\theta_e = 0{,}31°$. Berechnen Sie hiervon ausgehend die Wellenlänge λ_e des Elektronenstrahls. 1 P

Σ 20 P