

Elektronenbeugung



Physik

Moderne Physik

Quantenphysik



Schwierigkeitsgrad

-



Gruppengröße

-



Vorbereitungszeit

-



Durchführungszeit

-

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/6746f9cde9a2a000024b5569>

PHYWE



Allgemeine Informationen

Anmeldung

PHYWE



Rasterelektronenmikroskop

Die Elektronenbeugung wird am häufigsten in der Festkörperphysik und -chemie eingesetzt, um die Kristallstrukturen von Festkörpern anhand eines Beugungsmusters zu untersuchen.

Im Rasterelektronenmikroskop (REM) interagieren die Elektronen mit den Atomen in der Probe und erzeugen verschiedene Signale, die Informationen über die Oberflächentopographie und die Zusammensetzung der Probe enthalten.

Weitere Anwendungen sind das Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und die Rückstreuелеktronenbeugung.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



In der Quantenmechanik erklärt der Welle-Teilchen-Dualismus, dass jedes Teilchen entweder als Teilchen oder als Welle beschrieben werden kann. Da der Elektronenstrahl einen wellenförmigen Charakter hat, wird er beim Durchgang durch einen Kristall gebeugt.

Prinzip



Dieses berühmte Experiment demonstriert den Welle-Teilchen-Dualismus der Materie am Beispiel von Elektronen. Das Beugungsmuster schneller Elektronen, die eine polykristalline Graphitschicht passieren, wird auf einem Fluoreszenzschirm sichtbar gemacht. Die Abstände zwischen den Ebenen im Graphit werden aus dem Durchmesser der Ringe und der Beschleunigungsspannung bestimmt.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Verständnis der wichtigsten Wechselwirkungen der Elektronenbeugung durch ein Kristallgitter und des Welle-Teilchen-Dualismus.

Aufgaben



1. Messung des Durchmessers der kleinsten Beugungsringe bei verschiedenen Anodenspannungen
2. Berechnen Sie die Wellenlänge der Elektronen aus den Anodenspannungen
3. Bestimmen Sie den Interplanarabstand von Graphit aus dem Verhältnis zwischen dem Radius der Beugungsringe und der Wellenlänge

Sicherheitshinweise

PHYWE

Für dieses Experiment gelten die allgemeinen Anweisungen für sicheres Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Glühkathodenröhren sind dünnwandige, stark evakuierte Glasröhren. Behandeln Sie sie sorgfältig, denn es besteht die Gefahr einer Implosion! Setzen Sie die Röhre keinen mechanischen Beanspruchungen aus.

Wenn die Röhre in Betrieb ist, kann der Schaft der Röhre heiß werden. Lassen Sie die Röhre gegebenenfalls abkühlen, bevor Sie sie ausbauen. Bitte fassen Sie die Strahlröhre während des Experiments nicht an.

Theorie (1/9)

PHYWE

1926 sagte De Broglie in seiner berühmten Hypothese voraus, dass sich Teilchen auch wie Wellen verhalten sollten. Diese Hypothese wurde in Bezug auf Elektronen drei Jahre später unabhängig voneinander von George Thomson und Clinton Davisson bestätigt, die Beugungsmuster eines Elektronenstrahls beobachteten, der einen Metallfilm bzw. ein Kristallgitter passierte. Alle beiden erhielten für ihre Untersuchungen den Nobelpreis, De Broglie 1929 und Thomson und Davisson 1937.

Die Elektronenbeugung wird zur Untersuchung der Kristallstruktur von Festkörpern verwendet, ähnlich wie die Röntgenbeugung. Kristalle enthalten periodische Strukturelemente, die als Beugungsgitter dienen und die Elektronen in vorhersehbarer Weise streuen. Somit enthält das Beugungsmuster eines Elektronenstrahls, der eine Schicht eines kristallinen Materials durchläuft, Informationen über die jeweilige Kristallstruktur.

Im Gegensatz zu Röntgenstrahlen sind Elektronen geladene Teilchen und interagieren daher mit Materie durch Coulomb-Kräfte, die andere Informationen über die Struktur liefern als die Röntgenbeugung.

Theorie (2/9)

PHYWE

Um das Interferenzphänomen dieses Experiments zu erklären, wird eine Wellenlänge λ die vom Impuls abhängt, wird den Elektronen gemäß der de Broglie-Gleichung zugeordnet:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

wobei $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ Plancksche Konstante.

Der Impuls kann aus der Geschwindigkeit berechnet werden v die die Elektronen unter Beschleunigungsspannung erwerben U_A :

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = e \cdot U_A \quad (2)$$

Theorie (3/9)

PHYWE

Die Wellenlänge ist somit

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU_A}} \quad (3)$$

wobei $m = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ (Ruhemasse des Elektrons) und $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ (elektrische Elementarladung).

Bei den Spannungen U_A kann die relativistische Masse mit einem Fehler von nur 0,5 % durch die Ruhemasse ersetzt werden. Der Elektronenstrahl trifft auf eine polykristalline Graphitschicht, die auf einem Kupfergitter aufgebracht ist, und wird gemäß der Bragg-Bedingung reflektiert:

$$2d \sin \theta = n \cdot \lambda \quad n = 1, 2, 3 \dots (4)$$

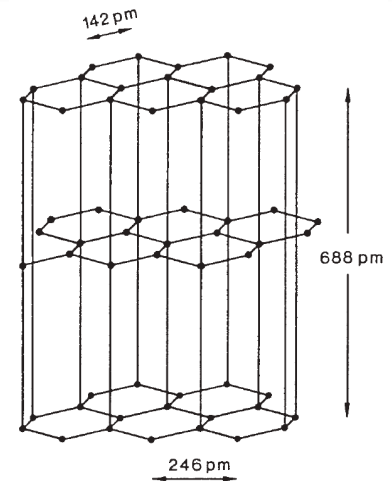
wobei d ist der Abstand zwischen den Ebenen der Kohlenstoffatome und θ ist der Bragg-Winkel (Winkel zwischen Elektronenstrahl und Gitterebenen).

Theorie (4/9)

PHYWE

Bei polykristallinem Graphit ist die Bindung zwischen den einzelnen Schichten gebrochen, so dass ihre Ausrichtung zufällig ist.

Der Elektronenstrahl breitet sich also kegelförmig aus und erzeugt Interferenzringe auf dem Fluoreszenzschirm.



Kristallgitter von Graphit

Theorie (5/9)

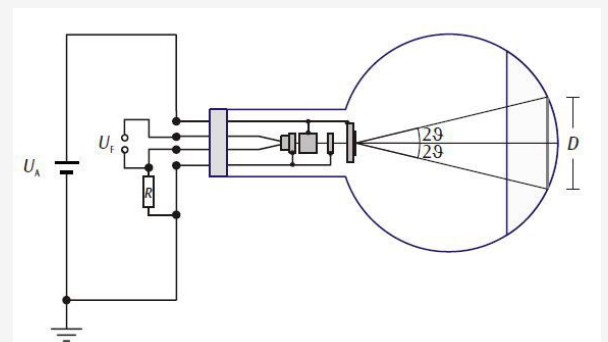
Der Bragg-Winkel θ kann aus dem Radius des Interferenzrings berechnet werden, doch ist zu beachten, dass der Abweichungswinkel α ist doppelt so groß:

$$\alpha = 2\theta$$

Von der Zahl her wird sie abgelesen

$$\sin 2\alpha = \frac{r}{R} \quad (5)$$

wobei $R = 50\text{ mm}$ ist der Radius des Glaskolbens und r ist der Radius der Interferenzringe.



Schematische Darstellung der Elektronenbeugungsröhre

Theorie (5/9)

PHYWE

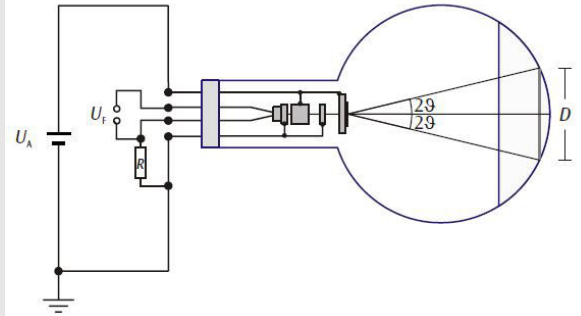
Der Bragg-Winkel θ kann aus dem Radius des Interferenzrings berechnet werden, doch ist zu beachten, dass der Abweichungswinkel α ist doppelt so groß:

$$\alpha = 2\theta$$

Von der Zahl her wird sie abgelesen

$$\sin 2\alpha = \frac{r}{R} \quad (5)$$

wobei $R = 50\text{mm}$ ist der Radius des Glaskolbens und r ist der Radius der Interferenzringe.



Schematische Darstellung der Elektronenbeugungsröhre

Theorie (6/9)

PHYWE

Jetzt, $\sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cos \alpha$.

Bei kleinen Winkeln α ($\cos 10^\circ = 0,985$) setzen kann

$$\sin 2\alpha \cong 2\sin \alpha \quad (6)$$

so dass bei kleinen Winkeln θ erhalten wir

$$\sin 2\alpha = \sin 4\theta \cong 4\sin \theta \quad (6a)$$

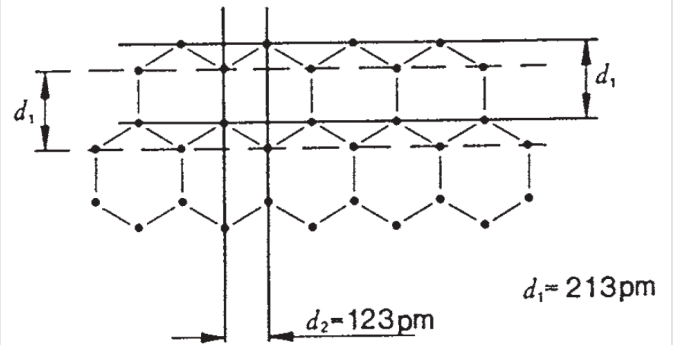
Mit dieser Näherung erhalten wir

$$r = \frac{2R}{d} \cdot n \cdot \lambda \quad (7)$$

Theorie (7/9)

PHYWE

Die beiden inneren Interferenzringe entstehen durch Reflexion an den Gitterebenen mit den Abständen d_1 und d_2 für $n = 1$ in (7).



Graphitebenen für die ersten beiden Interferenzringe

Theorie (8/9)

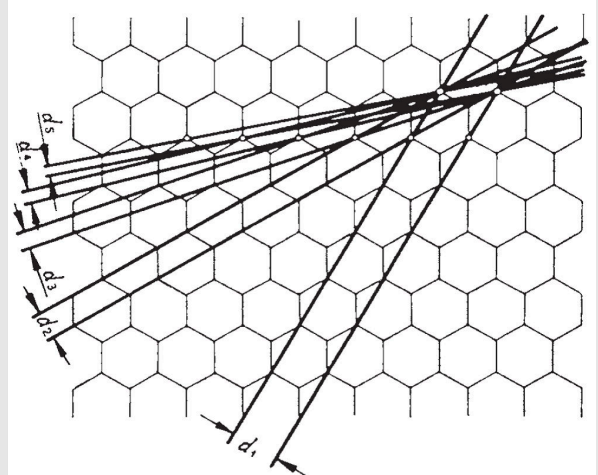
PHYWE

Anmerkungen

Die Intensität der Interferenzringe höherer Ordnung ist viel geringer als die der Ringe erster Ordnung.

So ist zum Beispiel der Ring zweiter Ordnung von d_1 ist schwer zu identifizieren und der erwartete Ring vierter Ordnung von d_1 ist einfach nicht zu sehen. Der Ring dritter Ordnung von d_1 ist leicht zu erkennen, da bei Graphit immer zwei Gitterebenen zusammenliegen, die einen Abstand von $1/3$ habend.

Im sechsten Ring, der ersten Ordnung des Rings der d_4 deckt sich eindeutig mit der zweiten Ordnung von d_2 .



Interplanarer Abstand in Graphit

Ausrüstung

| Position | Material | Art.-Nr. | Menge |
|----------|---|----------|-------|
| 1 | Elektronenbeugungsröhre | 06721-02 | 1 |
| 2 | Halter für Elektronenbeugungsröhre | 06721-03 | 1 |
| 3 | Hochspannungsnetzgerät für Elektronenbeugungsröhre 230 V | 06721-04 | 1 |
| 4 | Sicherheitsexperimentierkabel (15 Stk.) für Elektronenbeugungsröhre | 06721-05 | 1 |

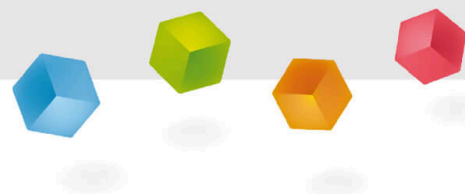
Ausrüstung

PHYWE

| Position | Material | Art.-Nr. | Menge |
|----------|---|----------|-------|
| 1 | Elektronenbeugungsröhre | 06721-02 | 1 |
| 2 | Halter für Elektronenbeugungsröhre | 06721-03 | 1 |
| 3 | Hochspannungsnetzgerät für Elektronenbeugungsröhre 230 V | 06721-04 | 1 |
| 4 | Sicherheitsexperimentierkabel (15 Stk.) für Elektronenbeugungsröhre | 06721-05 | 1 |

PHYWE

Einrichtung und Verfahren



Einrichtung (1/2)

PHYWE

Schieben Sie die Elektronenbeugungsröhre in den Röhrenhalter und achten Sie darauf, dass die Kontaktstifte der Röhre in die richtigen Löcher des Halters eingreifen. Der mittlere Stift der Röhre sollte auf der Rückseite des Halters leicht überstehen.

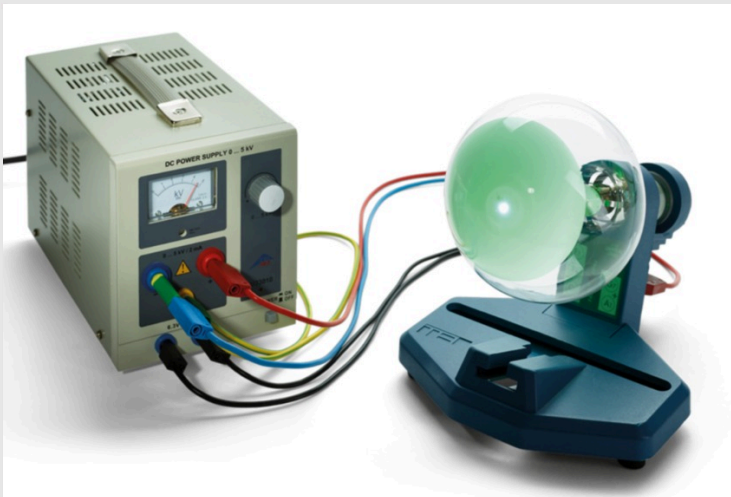
Verbinden Sie die Buchsen F3 und F4 des Röhrenhalters mit den Heizspannungsausgangsklemmen des 5 kV-Hochspannungsnetzteils.



Elektronenbeugungsröhre

Einrichtung (2/2)

PHYWE



Experimenteller Aufbau

Verbinden Sie die negative Ausgangsklemme des 5 kV-Hochspannungsnetzteils mit der Buchse C5 des Röhrenhalters und die positive Ausgangsklemme mit der Buchse G7, und schließen Sie die Schutzleiteranschlüsse an.

Durchführung

PHYWE

Legen Sie eine Hochspannung von 5000 V an und messen Sie die Durchmesser der beiden Beugungsringe auf dem gebogenen Fluoreszenzschirm.

Messen Sie die Innen- und Außenkante der Ringe mit dem Messschieber (in einem abgedunkelten Raum) und ermitteln Sie den Durchschnitt

Reduzieren Sie die Spannung in Schritten von 500 V und messen Sie jeweils die Beugungsringe.

Bewertung (1/4)

PHYWE

| U_A/kV | λ/pm |
|----------|--------------|
| 5000 | 17.4 |
| 4500 | 18.3 |
| 4000 | 19.4 |
| 3500 | 20.8 |
| 3000 | 22.4 |
| 2500 | 24.6 |

Berechnete Elektronenwellenlängen bei verschiedenen Beschleunigerspannungen

Abstand zum Fluoreszenzschirm L , Radius R der Glaskugel der Elektronenbeugungsröhre und Gitterkonstanten d sind:

$$L = 130 \text{ mm}$$

$$R = 50 \text{ mm}$$

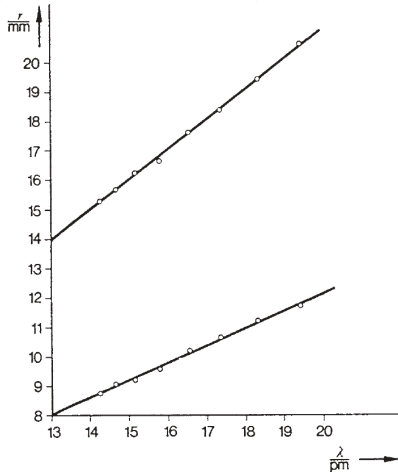
$$d_1 = 123 \text{ pm}$$

$$d_2 = 213 \text{ pm}$$

Die Wellenlänge wird aus der Anodenspannung gemäß (3) berechnet

Bewertung (2/4)

PHYWE



Radien der ersten beiden Interferenzringe in
Abhängigkeit von der Wellenlänge der

Wendet man die durch $Y = AX + B$ ausgedrückten
Regressionsgeraden auf die Messwerte der Abbildung an,
so ergibt sich eine Steigung

$$A_1 = 0.62(2) \cdot 10^9 \text{ und}$$

$$A_2 = 1.03(2) \cdot 10^9$$

und die Gitterkonstanten

$$d_1 = 211 \text{ pm und}$$

$$d_2 = 126 \text{ pm}$$

in Übereinstimmung mit (7).

Bewertung (3/4)

PHYWE

Was passiert, wenn die Beschleunigungsspannung erhöht wird?

Wenn die Beschleunigungsspannung erhöht wird, haben die Elektronen mehr
[] und damit eine kürzere []. Daher werden die Wellen
[] gebeugt und die Durchmesser der Beugungsringe []
sich.

Wellenlänge

Energie

weniger

verringern

✓ Siehe

Bewertung (4/4)**PHYWE**

Was davon tritt bei der Elektronenbeugung durch einen Kristall auf?

☐ Konstruktive Einmischung☐ Elektronenstreuung☐ Nukleare Interaktionen☒ Siehe

Die Ergebnisse der Elektronenbeugung hängen von folgenden Faktoren ab:

☐ Abstände zwischen den Atomschichten☐ Zusammensetzung des Kristalls☐ Anzahl der atomaren Schichten☒ Siehe