

Über die gleichzeitige Erzeugung der Röntgen-Interferenzen und des Röntgen-Schattenbildes von Kristallen*

Von O. BRÜMMER

Aus dem Institut für experimentelle Physik der Universität Halle
(Z. Naturforsch. 15 a, 875—879 [1960]; eingegangen am 12. Juni 1960)

Es werden die Möglichkeiten und Bedingungen diskutiert, um RÖNTGEN-Weitwinkelinterferenzen gleichzeitig mit dem RÖNTGEN-Schattenbild zu projizieren. Das unterschiedliche Verhalten von Ideal- und Realkristallen wird aufgezeigt. Gitter- und Orientierungsänderungen, die durch die Extinktionslinien angezeigt werden, können bei Kristallen mit $> 10^5$ Versetzungen/cm² unmittelbar dem Schattenbild zugeordnet werden.

Erst in den letzten Jahren ist die RÖNTGEN-Mikroskopie in größerem Umfange auf den verschiedensten Gebieten der Forschung eingesetzt worden^{1, 2}. Bezüglich der Untersuchungstechnik³ unterscheidet man:

- Mikroskopie mit totalreflektierten RÖNTGEN-Strahlen,
- die Abbildung mittels BRAGGScher Reflexion,
- die Mikroradiographie und
- die RÖNTGEN-Schattenmikroskopie.

Von diesen aufgeführten Verfahren dürfte die RÖNTGEN-Schattenmikroskopie in Zukunft noch eine besondere Beachtung finden, da der Mikroprojektor sich leicht zu einem Mikroanalysator ergänzen oder als Feinstfokusröhre gebrauchen läßt^{4, 5}.

Es konnte bereits gezeigt werden, daß eine Feinfokusröhre mit Hohlanode und einem Brennfleck von $\sim 0,1$ mm ϕ für RÖNTGEN-Weitwinkeluntersuchungen an Kristallen mit der kurzwelligen Kante des Bremskontinuums oder mit der charakteristischen RÖNTGEN-Strahlung geeignet ist⁶. Die Anwendung eines RÖNTGEN-Mikroprojektors mit einem Brennfleck von $\sim 1 \mu$ ϕ ermöglicht darüber hinaus die RÖNTGEN-Weitwinkelinterferenzen in Transmission gleichzeitig mit dem Schattenbild zu projizieren. Die so entstehenden Abbildungen sollen im folgenden kurz als RIS-Diagramme (RÖNTGEN-Interferenz-Schattenbild) bezeichnet werden. Da die hier zu beschreibende Methode für kristallographische sowie

metallphysikalische Probleme von großem Interesse sein wird, sollen die Anwendungsmöglichkeiten diskutiert und mit einigen Beispielen belegt werden.

Zur Entstehung der RIS-Diagramme

Die bemerkenswerten Eigenschaften solcher RIS-Diagramme sind dadurch gegeben, daß sowohl die Extinktionslinien und deren Störungen als auch das Schattenbild des zu untersuchenden Objektes von einer Quelle projiziert erscheinen. Die Extinktionslinien können so mit ihren Störungen unmittelbar dem Schattenbild der Probe zugeordnet werden. Für die Reflexionslinien ist dies jedoch nur bedingt möglich. Im allgemeinen lassen sich die Geometrie und die Lage der Interferenzen eines Realkristalls (in Extinktion und Reflexion) auf die in Abb. 1 b dargestellte einfache Art erklären. Durch die Verwendung eines weitgeöffneten Strahlenkegels wird die BRAGGSche Bedingung längs Kegelschnitten erfüllt und es entstehen mehr oder weniger stark gestörte Weitwinkelinterferenzen.

Werden dagegen mit dieser Methode Idealkristalle untersucht, so ist der Ausbildung von Wellenfeldern in den zu untersuchenden Kristallen Rechnung zu tragen. Wie BORRMANN und Mitarb.⁷ zeigen konnten, zerfällt das Wellenfeld erst an der Rückseite des Kristalls in die Strahlen R und R₀ (siehe Abb. 1 a). Sollten nun von einem zum Teil idealen Kristall im

* Vorgetragen anlässlich der Physikertagung in Leipzig, April 1960.

¹ V. E. COSSLETT, A. ENGSTRÖM u. H. H. PATTEE, Symp. X-Ray Microscopy and Microradiography, Cambridge 1956, Verlag Acad. Press Inc., New York 1957.

² ONG SING POEN, Microprojection with X-Ray's. M. Nijhoff, Niederlande 1959.

³ G. HILDENBRAND, Erg. exakt. Naturwiss. 30 [1958].

⁴ I. V. LONG u. V. E. COSSLETT, Symp. X-Ray Microscopy, Cambridge 1956, Verlag Acad. Press Inc., New York 1957, S. 435—442. — L. ZEITZ u. A. V. BAEZ, ebenda, S. 417 bis 434.

⁵ W. C. NIXON, Symp. X-Ray Microscopy, S. 336—344.

⁶ O. BRÜMMER, Z. Naturforsch. 13 a, 571 [1958].

⁷ G. BORRMANN, Z. Phys. 127, 297 [1950]. — G. BORRMANN, G. HILDEBRANDT u. H. WAGNER, Z. Phys. 142, 406 [1955].



RÖNTGEN-Schattenbild Inhomogenitäten angezeigt werden, so lassen sich diese nicht unmittelbar den Interferenzen zuordnen **.

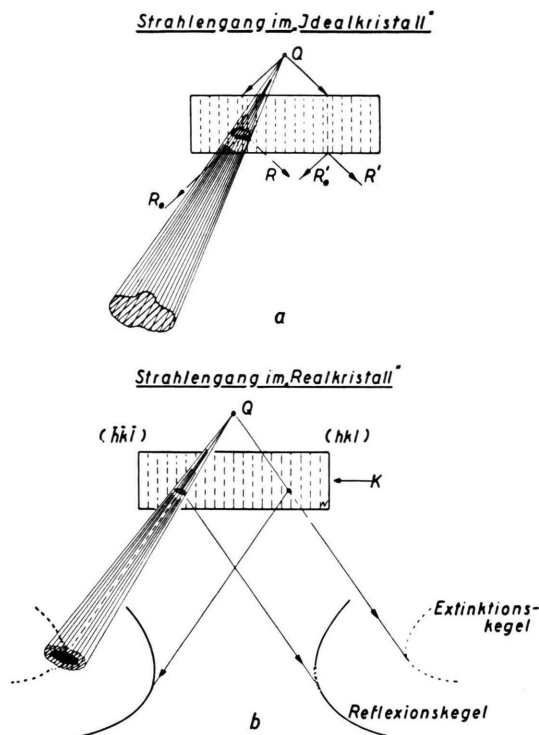


Abb. 1 a und 1 b. Schematische Darstellung des Strahlenganges in Real- und Idealkristallen bei Weitwinkelanordnung. Der Einfluß von Inhomogenitäten ist angedeutet. In Abb. 1 a sind R' und R'' zu vertauschen.

Bei einer Auswertung solcher RIS-Diagramme müssen die Besonderheiten berücksichtigt werden, die durch den Verlauf der Wellenfelder bedingt sind.

Aus diesen kurzen Ausführungen ist bereits zu erkennen, daß die zur Diskussion stehenden Verhältnisse bei den Realkristallen am einfachsten zu übersehen sind. Es wird aber zweckmäßig sein, im einzelnen auf die Merkmale sowie auf den Informationsinhalt der RIS-Diagramme einzugehen.

1. Neben dem Schattenbild ist die kristallographische Orientierung in den Diagrammen enthalten.

Da z. B. Ausscheidungsvorgänge orientierungsabhängig sein können, dürfte hier schon deshalb ein interessantes Anwendungsgebiet vorliegen. Orientierungsschwankungen bedingt durch Subgrains sowie

durch Ausscheidungen, Einschlüsse usw. machen sich durch Sprungstellen und Krümmungen bzw. durch ein Aufspalten der Interferenzlinien bemerkbar.

2. Beim Vorhandensein entsprechender Koinzidenzen kann eine Gitterkonstantenbestimmung nach der Methode von KOSSEL und VAN BERGEN⁹ durchgeführt werden.

Durch die gleichzeitige Projektion des Schattenbildes ist die Berücksichtigung von evtl. lokalen Konzentrationsschwankungen möglich. In homogenen Realkristallen sind die erreichbaren Genauigkeiten für die Gitterkonstante $1 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ und besser¹⁰.

3. Kann man die Intensitäten oder die Intensitätsverteilung in den Interferenzlinien untersuchen und mit den Inhomogenitäten im Schattenbild in Verbindung bringen.

Realkristallbereiche werden helle Extinktions- und dunkle Reflexions-Linien auf dem Film zeigen. Den Idealkristallen nahestehende Exemplare können bei entsprechender Dicke anomale Absorption (BORRMANN-Effekt) aufweisen. Die Interferenzen werden in solchen Fällen im wesentlichen als dunkle Linien registriert. Im Übergangsgebiet (Ideal \rightarrow Real-Kristall) können die Interferenzen bei festgehaltener Probendicke verschwinden^{6, 11}.

Diese hier aufgezeigten Möglichkeiten werden nun besonders vorteilhaft genutzt, wenn der Mikroprojektor in der Legierungsforschung eingesetzt wird. Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge, Rekristallisation sowie Kornwachstum lassen sich gut verfolgen, wenn die Legierungspartner einen genügend großen Kontrast im Schattenbild zeigen. Weiterhin günstig wirkt sich bei einer notwendigen Präparataufheizung der relativ große Präparat-Filmabstand aus. Zur Gewinnung möglichst übersichtlicher Interferenzbilder ist es zweckmäßig, die Proben in grobkristalliner Form oder noch besser als Ein- oder Zweikristalle zu verwenden. Auch von polykristallinem Material lassen sich RIS-Diagramme erzeugen, jedoch wirken die Interferenzen wegen Überlagerungen oft störend und können unter Umständen zu Fehlern bei der Ausdeutung des Schattenbildes Anlaß geben.

Folgende Voraussetzungen sind für derartige Untersuchungen und für die Erzeugung von RIS-Diagrammen mit dem Mikroprojektor zu erfüllen:

** Ein kupferdekoriierter Si-Einkristall nach W. C. DASH⁸ mit wenigen Versetzungen wäre wahrscheinlich als Untersuchungsbeispiel günstig gewesen. Leider konnte bisher kein entsprechendes Kristall exemplar beschafft werden.

⁸ W. C. DASH, J. Appl. Phys. **30**, 459 [1959].

⁹ W. KOSSEL, Erg. exakt. Naturwiss. **16**, 295 [1937].

¹⁰ K. LONSDALE, Phil. Trans. Roy. Soc., Lond. A **240**, 219 [1947].

¹¹ G. BORRMANN, Phys. Z. **42**, 157 [1941].

1. Es ist eine Strahlungsquelle mit genügend kleinem Brennfleck erforderlich, die eine Schattenprojektion mit ausreichender Auflösung gestattet.

2. Nach entsprechender Wahl des Anodenmaterials muß mit so hohen Spannungen gearbeitet werden, daß eine genügend durchdringungsfähige charakteristische RÖNTGEN-Strahlung für die gleichzeitige Exposition der Weitwinkel-Interferenzen zur Verfügung steht. Bei einfachen RÖNTGEN-schattenmikroskopischen Untersuchungen wurde bisher fast ausschließlich bei 5 bis 20 kV mit dem Bremskontinuum von Au-, W- oder Al-Anoden gearbeitet^{1, 2}.

3. Die Schliffdicke d der zu untersuchenden Kristalle muß der zur Anwendung kommenden charakteristischen Strahlung so angepaßt sein, daß sich die Interferenzen genügend stark vom Untergrund abheben ($d \sim 1/\mu$ für Realkristalle).

4. Muß die Öffnung des Strahlenkegels groß genug sein, damit Weitwinkelinterferenzen auftreten können. Mit mehrkristallinen Proben wird man bei einer vorgegebenen äußeren Strahlbegrenzung möglichst nahe an die RÖNTGEN-Punktquelle rücken. Die Anzahl der zur Abbildung kommenden Kristalle wird auf diese Weise verringert.

Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

Für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen kamen an der Pumpe betriebene Röhren

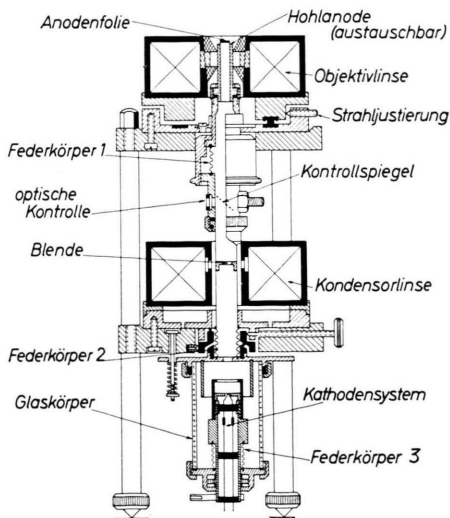


Abb. 2. Röntgen-Röhre mit Magnetlinsen für Kleinstbrennflecke.

zur Anwendung, bei denen die Anode als Hohl-anode ausgebildet war. Die Fokussierung des Elektronenstrahls zu einem kleinen Brennfleck wurde entweder mit elektrostatischen oder mit elektromagnetischen Linsen erreicht. In den Abb. 2 und 3 sind die Skizzen der benutzten Röhrentypen wiedergegeben. Die Anodenfolien (Fe, Cu, Mo, Ag) von 5 bis 20 μ Dicke wurden aufgelötet oder mit Araldit aufgeklebt. Die besten Brennfleckverhältnisse wurden mit dem elektromagnetischen System erzielt¹². Der Durchmesser des Brennflecks betrug $\sim 1 \mu$. Die Spannungsquelle (s. Abb. 2) mußte für das mit elektromagnetischen Linsen arbeitende Gerät auf $\sim 10^{-4}$ stabilisiert werden.

Die in Abb. 3 gezeigte Röhre kann auch ohne die eingezeichneten elektrostatischen Rohr-Linsen lediglich mit dem Fernfokus nach STEIGERWALD betrieben werden. Auf diese Weise war es z. B. möglich, bei 35 kV den Brennfleck noch auf $\sim 50 \mu \phi$ einzuschnüren. Für einfache Weitwinkel-Untersuchungen oder für Schattenprojektionen bei Vorliegen von größeren Inhomogenitäten hat sich auch diese Röhre bewährt. Spannungsschwankungen haben keinen wesentlichen Einfluß auf die Brennfleckabmessungen.

Die Fokuskontrolle wurde bei beiden Röhrentypen durch die Schattenprojektion von Drahtnetzen verschiedener Abmessungen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte über photographische Aufnahmen oder bei geringeren Auflösungen einfach visuell mittels Leuchtschirm. Auch Foraminiferen (Rhizopoden) sind als Testobjekte geeignet und können hier eine ähnliche Anwendung finden wie die Diatomeen in der Elektronenmikroskopie.

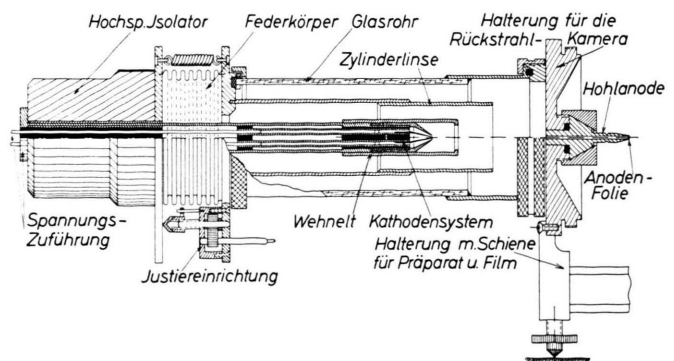


Abb. 3. Röntgen-Röhre mit elektrostatischen Linsen und Fernfokus nach STEIGERWALD.

¹² G. BECHERER, O. BRÜMMER u. M. SCHARF, Tagungsbericht, Optik aller Wellenlängen, Akad. Verlag, Berlin 1959, S. 251.

An Hand einiger Beispiele sollen abschließend die besprochenen Möglichkeiten für den Einsatz des Mikroprojektors belegt und die entsprechenden RÖNTGEN-Aufnahmen kurz diskutiert werden. Für sämtliche hier gezeigte Aufnahmen wurde die in Abb. 2 gezeigte Röhre mit einer Kupferanode benutzt. Die Betriebsspannung betrug 12 bis 20 kV, der Brennfleckdurchmesser 1 bis 5 μ . Die Aufnahmen sind photographische Positive.

Abb. 4 * zeigt die Weitwinkelaufnahme eines annähernd idealen Germaniumkristalls. Da im Kristall keine anderen chemischen Elemente in größerer Menge lokalisiert sind, erscheint der Untergrund ziemlich gleichmäßig geschwärzt. Die Interferenzen werden auf dem Film als dunkle Linien registriert und sind durch anomale Absorption bedingt. Ausgedehnte Kleinwinkelkorngrenzen sind sicherlich nicht im durchstrahlten Volumen enthalten, da sich diese durch Sprungstellen in den Interferenzlinien bemerkbar machen müßten. Die trotzdem im Kristall noch vorhandenen einzelnen Versetzungen sind hierbei nur nachzuweisen, wenn das den Interferenzlinien zugeordnete Wellenfeld zufällig von solchen Kristallfehlern gestört wird. (Bei den von LANG¹³ beschriebenen Verfahren wird deshalb zur Untersuchung solcher Kristallfehler Präparat und Film gegen den einfallenden Strahl bewegt.) Es kann jedoch bei den hier üblichen Abständen Quelle – Objekt – Film die Strahldivergenz nachteilig wirken¹⁴.

Eine Indizierung der einzelnen Interferenzlinien ist mit Hilfe eines konstruierten Stereogrammes möglich. Die Konstruktion kann unter Berücksichtigung des Kristallsystems und der Wellenlänge über das von KOSSEL angegebene Hilfsebenensystem entwickelt werden⁹.

Die Abb. 5 zeigt eine entsprechende Aufnahme (anomale Absorption), wie sie in Abb. 4 wiedergegeben ist, jedoch von einem stärker gestörten Kalkspatkristall. Es treten nur die intensivsten Interferenzen auf. Aber selbst diese sind stellenweise unterbrochen bzw. versetzt, was auf die stärkeren Störungen und Blockverschwenkungen hinweist. An diesem Beispiel zeigt sich, daß auch beim Fehlen von Fremdelementen für die Kontrastbildung im Schattenbild das Arbeiten mit kleinen Brennflecken von Vorteil ist. Durch die Anwendung des Mikroprojektors ist eine so starke förderliche Vergrößerung mög-

lich, die diese Kristallbaufehler aufzudecken gestattet.

Damit ist das Verhalten der Interferenzen für einen „Idealkristall“ mit stärkeren Störungen gekennzeichnet. Es zeigt sich, daß die anomale Absorption immer weiter zurückgedrängt wird. Der kritische Störungsgrad liegt nach eigenen Erfahrungen aus Vergleichen mit Ätzbildern bei etwa 10^5 Versetzungen/cm². Durch wiederholten Aufbau und Zerfall der Wellenfelder an kohärenzstörenden Grenzen verzweigt sich wahrscheinlich der Energiestrom. Auf dem Film werden dann die Interferenzen im Untergrund verschwinden. Erst bei einem weiter steigenden Störungsgrad, ab annähernd 10^6 Versetzungen/cm², erhält man die Weitwinkelinterferenzen, die typisch für den Realkristall sind **.

Zum Vergleich zwischen Ideal- und Realkristall bei gleicher Versuchsanordnung wird in Abb. 6 eine Aufnahme von einem relativ reinen Al-Einkristall (99,96%) gezeigt. Es sollten jetzt auf dem Film die LAUE-Fälle als Hell-Dunkel-Linien und die BRAGG-Fälle als helle Linien markiert sein. Der Abstand zwischen den hellen und dunklen Linien ist dabei vom Abstand Kristall – Quelle abhängig (s. Abb. 1). Die hellen Linien werden also in der Mehrzahl auf dem Film registriert. Sie haben ihre Ursache im Energieverlust durch Reflexion. Die Sekundärextinktion wird wirksam und nimmt mit wachsender Fehlordnung ab, bei gleichzeitiger Zunahme des integralen Reflexionsvermögens.

Es läßt sich auch erklären, daß die Interferenzlinien bei dem stärker gestörten Al-Kristall mit $\sim 10^8$ Versetzungen/cm² nicht versetzt oder unterbrochen erscheinen. Dazu muß bedacht werden, daß die dynamische Theorie, die zur Erklärung der Interferenz-Vorgänge am Kalkspat noch herangezogen werden konnte, den Interferenz-Vorgang am Realkristall in der Gesamtheit nicht mehr bestimmt. Weiterhin ist aus den Aufnahmen auf eine relativ gleichmäßige Verteilung der Störungen in dem Al-Einkristall zu schließen. Die *Subgrains* sind bei einem undeformierten, aus der Rekrystallisation gewonnenen Al-Einkristall offensichtlich größer als der zur Abbildung kommende Bereich. Da die Lage und Geometrie der Interferenzlinien beim Idealkristall sowie Realkristall sich in erster Näherung entsprechen, wird das für eine allgemeine Übersicht erfor-

* Abb. 4 bis 9 auf Tafel S. 878 a, b.

** Bei größeren Dickenunterschieden ist mit einem Volumeneffekt zu rechnen, der das Übergangsgebiet verschiebt.

¹³ A. R. LANG, J. Appl. Phys. **30**, 17, 48 [1959].

¹⁴ G. BORRMANN, W. HARTWIG u. H. IRMLER, Z. Naturforschg. **13a**, 423 [1958].

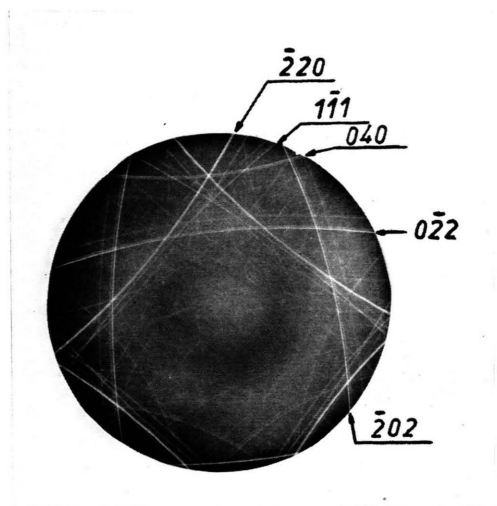


Abb. 4 *. Weitwinkelinterferenzen von einem „Idealkristall“ in anomaler Absorption. Ge, (100) annähernd parallel zur Kristalloberfläche. Kristalldicke 0,2 mm, Kupferstrahlung 15 kV, 50 μ A, ~ 2000 Versetzungen/cm². Gesamtvergr. $V = 300$, Abstand Quelle—Präparat $\sim 0,2$ mm.

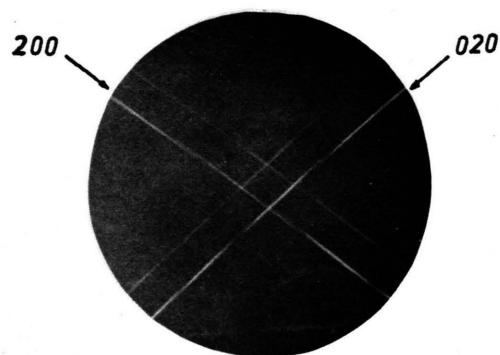


Abb. 5. Weitwinkelaufnahme zum Teil in anomaler Absorption von stärker gestörtem Kalkspat. Kristalldicke 0,5 mm, Cu-Strahlung 15 kV, 40 μ A, Gesamtvergr. $V = 40$, Abstand Quelle—Präparat ~ 3 mm.

* Anm. d. Redaktion: Die Abb. 4–9 wurden zur Reproduktion auf 2/3 verkleinert.

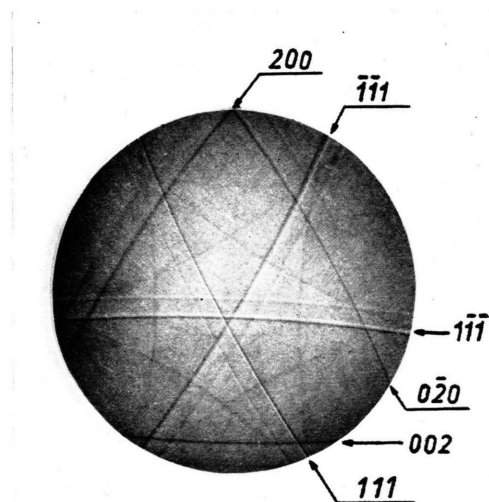


Abb. 6 a. Weitwinkelinterferenzen von einem „Real-Kristall“ in Extinktion und Reflexion, Al 99,96-proz. aus der Rekristallisation gewonnen¹⁶. (111) annähernd parallel zur Kristalloberfläche, Kristalldicke 0,3 mm, Kupferstrahlung 12 kV, 50 μ A, Gesamtvergr. $V = 200$, Abstand Quelle—Präparat $\sim 0,3$ mm.

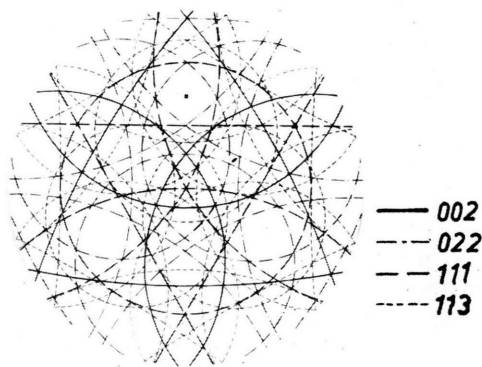


Abb. 6 b. Stereogramm für Al- und Cu-Strahlung. Projektionszentrum $\{111\}$ -Pol.

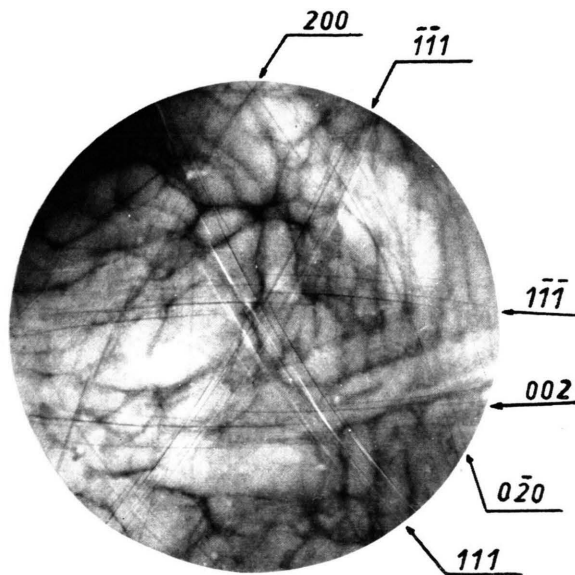


Abb. 7. RIS-Diagramm von Al-Cu-Einkristall, (5% Cu), aus der Schmelze gewonnen, Abkühlungszeit 2 Stunden, (111) parallel zur Kristalloberfläche, Kristalldicke 0,2 mm, Kupferstrahlung 17 kV, 50 μ A, Gesamtvergr. $V=75$, Abstand Quelle—Präparat ~ 2 mm.

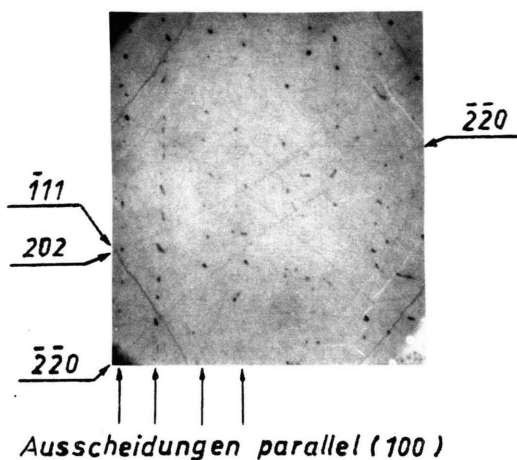


Abb. 8. RIS-Diagramm von Al-Cu-Einkristall (3,5% Cu), aus dem Schmelzfluß gewonnen, Abkühlungszeit 2 Tage, (110) parallel zur Kristalloberfläche, Kristalldicke 0,2 mm, Kupferstrahlung 16 kV, 50 μ A, Gesamtvergr. $V=15$, Abstand Quelle—Präparat ~ 6 mm.

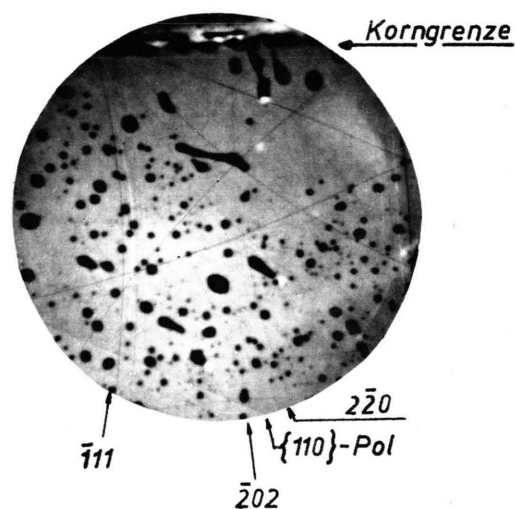


Abb. 9. RIS-Diagramm von Al-Sn-Einkristall (5% Sn), aus der Rekristallisation gewonnen, abgeschreckt in H_2O , Kristallprojektion Nähe Rhombendodekaeder, Kristalldicke 0,2 mm, Kupferstrahlung 18 kV, 40 μ A, Gesamtvergr. $V=40$, Abstand Quelle—Präparat ~ 2 mm.

derliche Stereogramm (Abb. 6 b) in der gleichen Weise, wie zuvor erwähnt, gewonnen. Eine Indizierung der Aufnahme – des Oktaederpols – in Abb. 6 a ist damit leicht möglich.

In den folgenden Abbildungen, die von Legierungseinkristallen erhalten wurden, tritt der Vorteil dieser Aufnahmemethodik noch deutlicher in Erscheinung. In Abb. 7 ist das RIS-Diagramm von einem Al-Cu-Einkristall mit 5% Cu wiedergegeben. Der Kristall wurde aus dem Schmelzfluß gewonnen und langsam abgekühlt (2 Stunden). Da die (111)-Ebene wie bei dem in Abb. 6 gezeigten Kristall parallel zur Oberfläche liegt, ist ein unmittelbarer Vergleich mit diesem möglich. Die Interferenzlinien vor allem in Extinktion, sind gut zu erkennen. Sie erscheinen jedoch jetzt aufgefächert, gekrümmt und verschiedentlich unterbrochen. Von den Reflexionslinien wurden nur Bruchstücke registriert.

Das Schattenbild zeigt gleichzeitig wolkenähnliche Anreicherungen von Kupfer im Aluminium. Betrachtet man Schattenbild und Extinktionslinien im Zusammenhang unter den einleitend gemachten Ausführungen, so kann aus diesen Aufnahmen geschlossen werden, daß die Kupferanhäufungen in den Kleinwinkelkorngrenzen liegen. Die Interferenzlinien in Extinktion enden verschiedentlich an solchen Grenzen oder weisen deutliche Sprungstellen auf. Daß außerdem mehrfach nebeneinander die Interferenzlinien gleicher Indizierung auftreten, ist gleichfalls aus den Kristallstörungen erklärbar. Der RÖNTGEN-Strahl mußte z. Tl. mehrere Schichten, die gegeneinander verdreht und verkantet sind, durchdringen. Jede Schicht hat demzufolge eine versetzte Interferenzlinie geliefert. Stereoaufnahmen können hier interessante Aufschlüsse geben. Die Größe der Verwinklung der *Subgrains* gegeneinander läßt sich bei Berücksichtigung der Vergrößerung unmittelbar bestimmen.

Auch in der Abb. 8 wird ein RIS-Diagramm von einem Al-Cu-Einkristall gezeigt. Der Kristall mit 3,5% Cu wurde ebenfalls aus dem Schmelzfluß gewonnen, die Abkühlung war jedoch bedeutend langsamer und erstreckte sich über 2 Tage. Die Kupferansammlungen sind unter diesen Bedingungen viel schärfer lokalisiert. Bei einem genauen Studium der Aufnahme, die die Interferenzen des Rhombendodekaeders zeigt, kann festgestellt werden, daß

die Ausscheidungen in zur (100)-Ebene parallelen Schichten stattgefunden haben. Diese Aussage kann auch bei Heranziehung des Stereogramms bestätigt werden, wenn man die Interferenzen in Extinktion in erster Näherung als parallellaufend zur Spur der Netzebenen annimmt. Diese Annahme ist natürlich ungenau aber um so richtiger, je kurzwelliger die zur Interferenz kommende Strahlung ist.

Mit diesen Untersuchungen an Al-Cu-Einkristallen, auf die an dieser Stelle im einzelnen nicht weiter eingegangen werden soll, konnte gezeigt werden, daß die (100)-Ebene offensichtlich für die Kupferanhäufungen prädestiniert sind. Ähnliche Schlüsse, die sich jedoch nur auf den Aushärteprozeß der Al-Cu-Legierungen beziehen und deshalb nicht die gleiche Ursache zu haben brauchen, konnten aus den GUINIER-PRESTON-Zonen gezogen werden^{15, *}. Über die Abhängigkeit der Abstände der kupferreichen Zonen kann noch nichts Genaueres ausgesagt werden. Wahrscheinlich stehen diese aber mit den Abkühlverhältnissen im Zusammenhang. Die Welligkeit der Interferenzlinien (s. Abb. 8) ist auf Störungen und Konzentrationsschwankungen zurückzuführen.

Zum Abschluß dieser Ausführungen soll noch das RIS-Diagramm von einem Einkristall einer 5-proz. Al-Sn-Legierung (s. Abb. 9) besprochen werden. Da diese Legierung keine Mischkristalle bildet, konnte man erwarten, daß die Interferenzlinien weniger deformiert auftreten.

Der Kristall wurde durch Rekristallisation gewonnen. Deshalb ist es interessant, daß das Zinn im Einkristall koaguliert auftritt und nur z. Tl. vor der Wachstumsfront hergeschoben wird. Wie zu ersehen ist, löst sich das Zinn tropfenförmig von der Korngrenze und wird dann in den Kristall eingebaut. Dieser Zustand konnte fixiert werden, indem der Kristall von der Rekristallisationstemperatur in Wasser abgeschreckt wurde. Auf weitere Einzelheiten, die sich durch Variationen der Versuchsdurchführung ergaben, soll an anderer Stelle eingegangen werden. Hier sollte vor allem die Anwendungsmöglichkeit der Methode sowie der Informationsinhalt von solchen RIS-Diagrammen aufgezeigt werden.

Dem Direktor des Institutes für experimentelle Physik, Herrn Prof. Dr. W. MESSERSCHMIDT, danke ich für das dieser Arbeit entgegengebrachte Interesse.

¹⁵ A. GUINIER, C. R. Acad. Sci., Paris **208**, 10, 11 [1938].

¹⁶ G. BECHERER, O. BRÜMMER u. E. MORGENSTERN, Exp. Techn. Physik **5**, 272 [1958].

* Für Aluminium-Silber-Legierungen sind entsprechende Untersuchungen mit der hier beschriebenen Methode in Vorbereitung.