

D^+ ist in cm^2/sec und R in $\text{cal}/\text{Mol Grad}$ angegeben. Die Standardabweichung der sogen. Aktivierungsenergie ist 27%¹⁶.

Die erhaltene Aktivierungsenergie ist zwar größer als diejenige der bisher untersuchten geschmolzenen Salze^{23, 24} (mit Ausnahme von ZnBr_2), aber der Unterschied ist nicht statistisch signifikant. Eine weitere Diskussion und ein Vergleich mit anderen festen Salzen, wie z. B. AgJ ²⁵, soll aufgeschoben werden, bis D^+ in Li_2SO_4 genauer gemessen ist, z. B. durch Verwendung von Tabletten mit angereicherten Isotopen.

Praktische Anwendung zur Anreicherung der Lithiumisotope

Mehrere Versuche sind gemacht worden, die Ionenwanderung in geschmolzenen Halogeniden für die praktische Anreicherung von ^7Li bzw. ^6Li in größeren Mengen anzuwenden^{26–28}. Hinsichtlich des Masseneffektes wäre festes Li_2SO_4 ebenso günstig wie die anderen Medien. Als Vorteil des letzteren Verfahrens wäre anzuführen, daß (wenigstens

bei etwa 600 °C) das Glasgefäß vom festen Salze nicht merklich angegriffen wird, daß kein Diaphragma notwendig und keine Konvektion vorhanden ist. Es bestehen aber auch zwei Nachteile. Erstens ist die praktisch erreichbare Stromdichte von dem oben erwähnten Anodeneffekt begrenzt. Zweitens wird die Salzsäule schnell verbraucht, während in einer Schmelze das Trennrohr durch hydrostatische Kräfte ununterbrochen mit frischen Salz gefüllt wird.

In Tab. 1 ist der Trennfaktor der Probe mit der höchsten Anreicherung angegeben. Aus Versuch 8 wird geschätzt, daß die Vervielfachung (theoretische Plattenzahl) einen Grenzwert $f_{\text{max}} \geq 10$ erreichte, d. h. die theoretische Plattenhöhe, $h = x_{\text{max}}/f_{\text{max}}$, ist etwa 0,3 cm. Zwar wurden kleinere Plattenhöhen in Salzsäuren erreicht¹⁵, aber dann wurden etwa fünfmal größere Stromdichten verwendet.

Die Arbeit ist von Statens råd för atomforskning unterstützt worden. Den Herren M. LÖVENBY und Fil. lic. A. LODDING sowie Frau A. EKLUND sei für ihre geschickte Hilfe gedankt.

²³ A. LUNDÉN, Chalmers Tekn. Högskolas Handl. Nr. 241, Göteborg 1961.

²⁴ J. O'M. BOCKRIS u. G. W. HOOPER, Disc. Faraday Soc., im Druck.

²⁵ P. JORDAN u. M. POCHON, Helv. Phys. Acta **30**, 33 [1957]

²⁶ A. KLEMM, Proc. Symp. on Isotope Separation, Amsterdam 1957, S. 275.

²⁷ M. M. BENARIE, J. Inorg. Nucl. Chem. **18**, 32 [1961].

²⁸ J. PÉRIÉ, M. CHEMLA u. M. GIGNOUX, Bull. Soc. Chim. France **1961**, 1249.

Versuche zur Beseitigung von Aufladungen auf Durchstrahlungsobjekten durch zusätzliche Bestrahlung mit langsamen Elektronen*

Von H. MAHL und W. WEITSCH

Aus der Abteilung für Elektronenoptik, Carl Zeiss, Oberkochen/Württ.
(Z. Naturforsch. **17 a**, 146–150 [1962]; eingegangen am 20. Dezember 1961)

Bei der Durchstrahlung dünner isolierender Folien mit schnellen Elektronen treten Aufladungen auf, die zwar eine elektronenmikroskopische Abbildung nicht beeinträchtigen, bei Schattenabbildung (Flimmereffekt) und bei Untersuchung von Kleinwinkel-Beugungserscheinungen aber sehr beträchtliche Störungen hervorrufen. Durch zusätzliche Bestrahlung mit langsamen Elektronen werden — je nach den Bestrahlungsbedingungen und dem vorhandenen Restgasdruck — die Aufladungen entweder beseitigt oder verstärkt, was besonders bei Schattenabbildung zu verschiedenen Erscheinungen führt, die qualitativ gedeutet werden.

In einer früheren Arbeit¹ wurde über Versuche zur Kleinwinkelbeugung mit Elektronenstrahlen berichtet. Dabei zeigte sich, daß bei isolierenden Objekten, insbesondere bei Kunststoff-Folien, starke Störungen durch Aufladungen auftreten. Für diese Versuche wurde ein elektrostatisches AEG-ZEISS-Elek-

tronenmikroskop EM 8 mit abgewandeltem Strahlengang benutzt. Dabei wurde der Brennfleck des Elektronenmikroskop-Objektivs in üblicher Weise durch die Beugungslinse in die Gegenstandsebene des Projektivs abgebildet und durch dieses vergrößert auf den Leuchtschirm entworfen. Das Objekt, über dem

* Vorgetragen bei der 10. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie in Kiel, September 1961.

¹ H. MAHL u. W. WEITSCH, Z. Naturforsch. **15 a**, 1051 [1960].



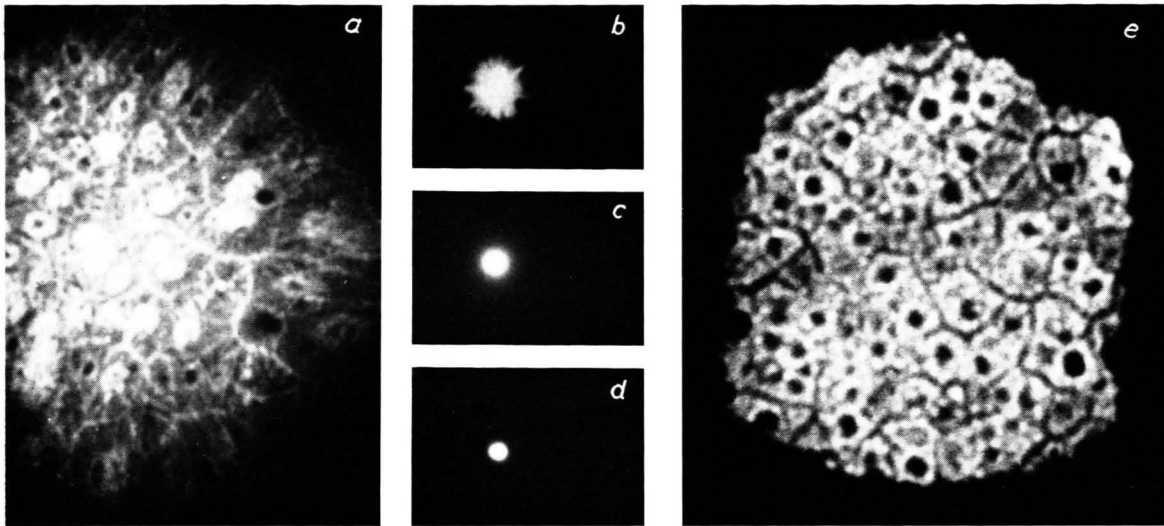


Abb. 1. Perlonfolie. Kleinwinkelbeugung ohne (a, b) und mit gleichzeitiger Bestrahlung mit langsamen Elektronen (c: 250 V, 20 μ A; d: 200 V, 10 μ A; d $D=2500$ mm \cdot \AA) und Schattenprojektionsbild (e, Vergr. 2000 : 1) der gleichen Objektstelle wie a.

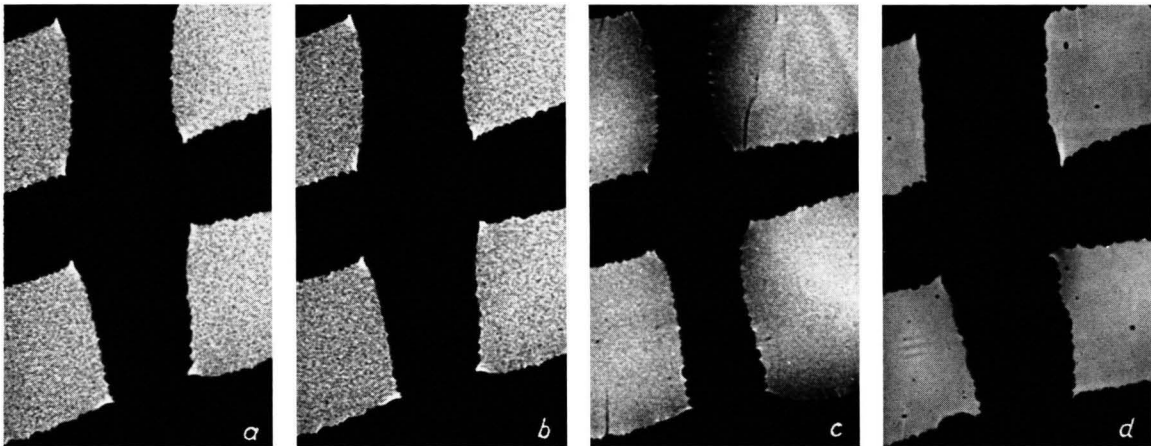


Abb. 4. Formvarfolie. Schattenprojektionsbild ohne (a) und mit gleichzeitiger Bestrahlung mit 200 V-Elektronen (b: 10 μ A; c: 30 μ A; d: 50 μ A). Vergr. 350 : 1.

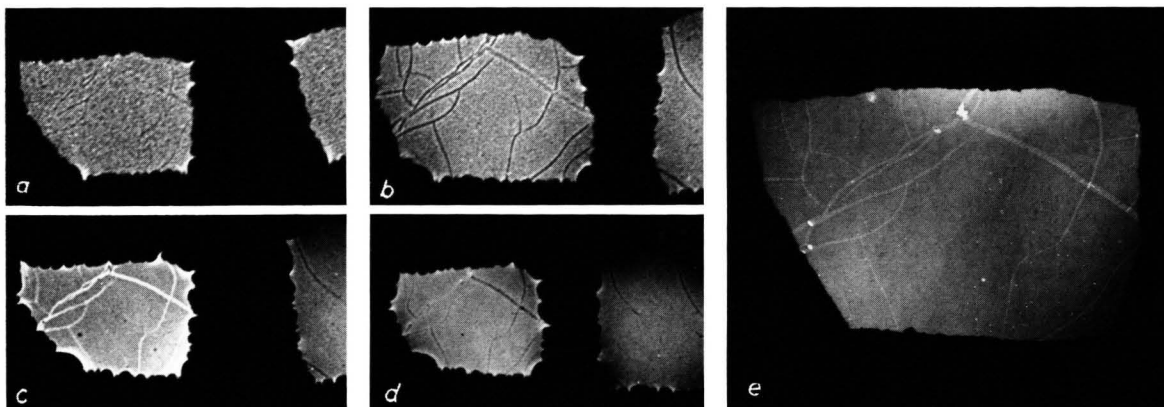


Abb. 5. Formvarfolie. Schattenprojektionsbild ohne (a: Vergr. 350 : 1) und mit gleichzeitiger Bestrahlung mit langsamen Elektronen (b: 200 V, 20 μ A; c: 200 V, 30 μ A; d: 550 V, 30 μ A), sowie elektronenmikroskopisches Bild (e, Vergr. 800 : 1).

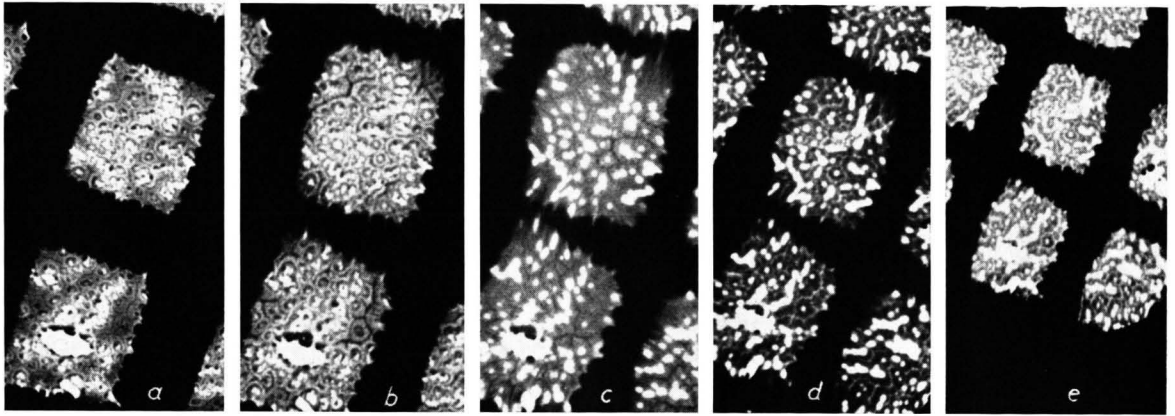


Abb. 6. Perlonfolie. Schattenprojektionsbild bei gleichzeitiger Bestrahlung mit langsamen Elektronen. a: 200 V, 10 μ A (Vergr. 350 : 1); b: 550 V, 30 μ A; c: 850 V, 60 μ A; d: 1000 V, 100 μ A; e: 1200 V, 190 μ A.

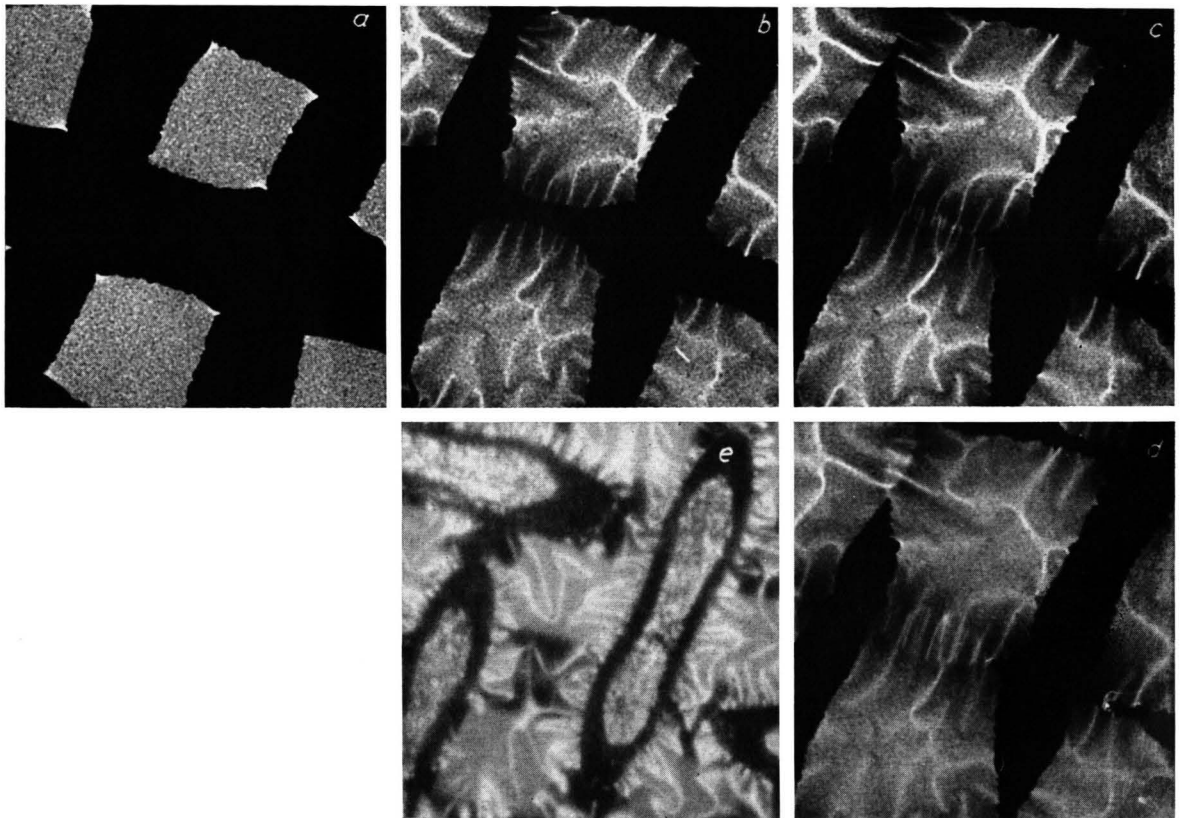


Abb. 8. Formvarfolie. Schattenprojektionsbild ohne (a, Vergr. 350 : 1) und mit gleichzeitiger Bestrahlung mit 300 V-Elektronen (b: 5 μ A; c: 20 μ A; d: 100 μ A), sowie lichtmikroskopisches Bild (e) im gleichen Maßstab.

eine Vorblende eingeschwenkt werden konnte, war unterhalb der Beugungslinse angeordnet. Diese Anordnung entspricht dem LEBEDEFESchen Strahlengang². Durch Abschalten der Beugungslinse wird die Anordnung zum Schattenmikroskop, wobei das Schattenprojektionsbild des Objekts durch das Projektiv etwa im Maßstab 160 : 1 auf den Leuchtschirm abgebildet wird.

Als Beispiel dafür, wie sich die erwähnten Aufladungen im Beugungsstrahlengang i. allg. bemerkbar machen, zeigt Abb. 1 b ** den verzerrten Zentralfleck der Beugungsfigur einer Perlonfolie. Während die Beobachtung eines einigermaßen runden Zentralflecks nur bei sehr günstiger Objektstellung gelingt, kann bei besonders ungünstiger Objektstellung der Zentralfleck in eine stark verzerrte Abbildung des Objekts übergehen, wie sie Abb. 1 a (in gleicher Nachvergrößerung wie Abb. 1 b) wiedergibt. Offenbar hat hier der Elektronenstrahl die Entstehung einer Aufladungslinse auf dem Objekt verursacht. (Ähnliche Beobachtungen wurden schon früher von BOERSCH³ gemacht, der auch bereits auf das Auftreten von Aufladungslinsen hingewiesen hat.)

In dieser Aufladungs-Abbildung sind deutlich die einzelnen Sphärolithe der Perlonfolie zu erkennen, die — wie im normalen elektronenmikroskopischen Bild — durch hellere Linien gegeneinander abgegrenzt sind. Zum Vergleich zeigt Abb. 1 e die auf etwa gleiche Endvergrößerung gebrachte Schattenprojektion derselben Objektstelle. Bemerkenswerterweise erscheinen hier die Begrenzungslinien der Sphärolithe dunkel, wie auch sonst eine Umkehr der Kontrastverhältnisse gegenüber Abb. 1 a festzustellen ist; auf diese Kontrastumkehr wird weiter unten noch zurückzukommen sein.

Das Ziel der jetzigen Untersuchung war es, die beobachteten Aufladungen durch zusätzliche Bestrahlung des Objekts mit langsamen Elektronen zu beseitigen⁴.

Versuchsanordnung

An die Fensteröffnung des Zwischenrohres der Mikroskopsäule, in dem sich das Objekt befindet, wurde ein kleines Strahlerzeugungssystem angesetzt, dessen Achse

auf das Objekt gerichtet ist. Das Strahlensystem ist in Abb. 2 schematisch wiedergegeben. Eine Haarnadelkathode sitzt etwas zurückgezogen im Innern einer trichterförmigen WEHNELT-Elektrode, der in geringem Abstand die Anodenblende gegenübersteht. Der Abstand von der Anodenblende bis zum Objekt beträgt etwa 60 mm. An die Glühkathode kann eine Spannung bis über 1000 V angelegt werden. Die Regelung des Strahlstroms erfolgt durch WEHNELT-Spannungsänderung. Für die hier wiedergegebenen Aufnahmen wurden Strahlstromstärken zwischen 0 und 200 μA benutzt.

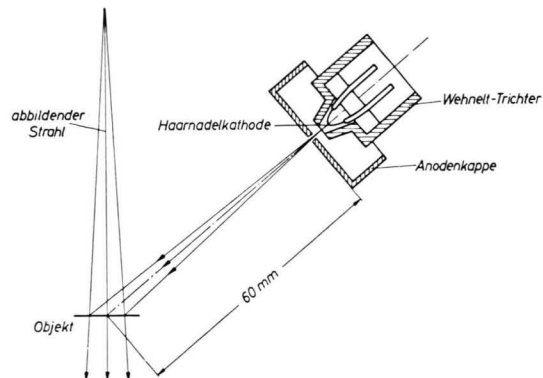


Abb. 2. Anordnung zur zusätzlichen Objektbestrahlung mit langsamen Elektronen.

Auffängermessungen ergaben, daß in diesem Bereich die Stromdichte in der Objektebene der Stromstärke proportional ist und zwischen 0 und 11 mA/cm^2 variiert. Der Strahlengang für Schattenabbildung ist in Abb. 3 wiedergegeben. Bei Beobachtung des Beugungsdiagramms ist die gestrichelt gezeichnete Beugungslinse eingeschaltet.

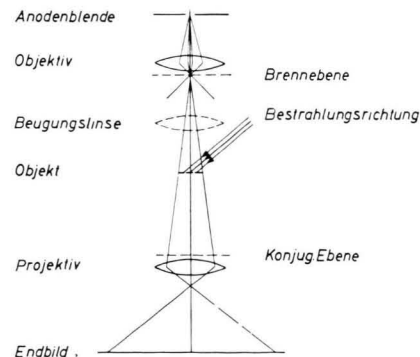


Abb. 3. Schattenprojektions-Strahlengang mit zusätzlicher Objektbestrahlung mit langsamen Elektronen.

² A. A. LEBEDEF, Nature, Lond. **128**, 491 [1931].

** Abb. 1, 4, 5, 6 u. 8 auf Tafel S. 146 a, b.

³ H. BOERSCH, Z. Phys. **116**, 469 [1940]; insb. Abb. 3.

⁴ Eine Bestrahlung mit langsamen Elektronen zur Beseitigung von Objektaufladungen wurde bei Reflexions-Beugungsuntersuchungen an isolierenden Oberflächen bereits

mit Erfolg angewandt (z. B. Anm. ⁵, ⁶). Bei Durchstrahlungspräparaten ist unseres Wissens diese Methode noch nicht angewandt worden.

⁵ H. KAMOGAWA, Phys. Rev. **58**, 660 [1940].

⁶ R. G. PICARD, P. C. SMITH u. J. H. REISNER, Rev. Sci. Instrum. **20**, 601 [1949].

Versuchsergebnisse

Eine Bestrahlung des Objekts mit langsamen Elektronen brachte sofort einen Erfolg in dem beabsichtigten Sinne. Sogar bei ungünstiger Objektstellung, in der ohne zusätzliche Bestrahlung eine Aufladungsabbildung (wie in Abb. 1 a) zustande kam, wird bereits bei einem sehr geringen Bestrahlungsstrom und verhältnismäßig niedriger Beschleunigungsspannung die Aufladung beseitigt (Abb. 1 c). Eine Verschiebung des Objekts bewirkt zwar auch jetzt noch geringe Änderungen im Aussehen des Zentralflecks (z. B. Abb. 1 d), die aber sehr wahrscheinlich durch echte Unterschiede in der Struktur der jeweiligen Objektstelle bedingt sind.

Nachdem die günstige Wirkung einer zusätzlichen Bestrahlung des Objekts mit langsamen Elektronen bei der Beugungsabbildung nachgewiesen war, wurden im Strahlengang der Abb. 3 bei verschiedenen Bestrahlungsbedingungen weitere Untersuchungen am schattenmikroskopischen Bild angestellt, das besonders empfindlich gegen Aufladungsstörungen ist. Mit dieser Anordnung war früher⁷ an dünnen, isolierenden Schichten eine als fluktuierende Granulation bezeichnete Erscheinung beobachtet worden, die auf rasch wechselnde lokale Aufladungen zurückgeführt werden konnte.

Fluktuierende Granulation. Es wurden Versuche mit Formvar- und Perlonfolien angestellt, bei denen im Schattenbild die fluktuierende Granulation besonders deutlich beobachtet werden kann. Abb. 4 zeigt eine Reihe von Aufnahmen einer Formvarfolie, die in der beschriebenen Anordnung mit Elektronen geringer Geschwindigkeit (200 V) bestrahlt wurde. Der Emissionsstrom wurde von 0 – 50 μ A gesteigert. In der Objektebene entspricht dies einer Stromdichteänderung von 0 – 3 mA/cm². Man erkennt aus Abb. 4, daß die Granulation mit zunehmender Bestrahlungsintensität schwächer wird und schließlich ganz verschwindet. Bei Verminderung der Bestrahlungsintensität tritt die Granulation wieder auf. Durch die Bestrahlung finden also keine bleibenden Veränderungen im Objekt selbst statt.

Inhomogenitäten in Folien. Die zusätzliche Bestrahlung einer isolierenden Folie mit langsamen Elektronen beeinflußt nicht nur die erwähnte fluktuierende Granulation, sondern auch die Kontrastwiedergabe von Inhomogenitäten der Folie. Die elektronenmikroskopische Aufnahme einer solchen

Folie zeigt Abb. 5 e. Die Folie ist von hellen Streifen, offensichtlich dünneren Stellen, durchsetzt. Zum Teil haben diese Streifen den Charakter von Leitern, die aus einer Reihe von Löchern bestehen. In der Schattenprojektion ohne Bestrahlung (Abb. 5 a) sind diese Streifen dunkel, jedoch nur sehr schwach zu erkennen. Bei geringer Bestrahlung (Abb. 5 b) treten sie als kräftige, dunkle Linien hervor und schlagen bei etwas höherem Strahlstrom nach hell um (Abb. 5 c). Der Umschlag kann in verschiedenen Objektbereichen jeweils bei anderen Einstellungen des Bestrahlungsstroms erfolgen (Abb. 5 d), was vermutlich mit Inhomogenitäten im Elektronenstrahl selbst zusammenhängt. Sobald die Streifen von dunkel nach hell umgeschlagen sind und damit die Kontrastverhältnisse denen des elektronenmikroskopischen Bildes entsprechen, verschwinden übrigens auch die fluktuierenden Aufladungen. Eine ähnliche Erscheinung tritt, wenn auch weniger deutlich, in Abb. 4 c und 4 d auf; gleichzeitig mit dem Umschlag der Streifen von dunkel nach hell treten in Abb. 4 d eine Anzahl dunkler Punkte deutlich hervor, die in Abb. 4 c nicht sichtbar oder nur schwach angedeutet sind.

Die vor dem Umschlag beobachteten umgekehrten Kontraste dürften auf den „Furcheneffekt“ zurückzuführen sein, der besonders bei emissionsmikroskopischen und spiegelmikroskopischen Abbildungen bekannt ist. Er beruht darauf, daß infolge unterschiedlicher Aufladung an Objekthinomogenitäten Felddeformationen auftreten, die als zusätzliche Linsen wirken, z. B. im Falle von Furchen als Zylinderlinsen. Die richtige Kontrastwiedergabe in Abb. 5 c kann daher, ebenso wie das Verschwinden der Granulation, als Beweis für die Kompensation der Objektaufladungen gewertet werden.

Vergrößerungsveränderung. Bei der Beobachtung des schattenmikroskopischen Bildes unter gleichzeitiger Bestrahlung des Objekts mit langsamen Elektronen fällt neben den beschriebenen Erscheinungen auf, daß sich mit zunehmender Bestrahlungsintensität häufig auch der Abbildungsmaßstab der einzelnen Folienquadrate ändert. Im allgemeinen ist es so, daß bei geringer Bestrahlungsintensität zunächst die Vergrößerung zunimmt (vgl. Abb. 4 c, 5 b), um dann bei stärkerer Bestrahlung wieder abzunehmen (vgl. Abb. 4 d, 5 c, 5 d).

Offensichtlich ist diese Vergrößerungsänderung auf die Wirkung der Aufladungslinsen zurückzuführen, die sich auf dem Objekt bilden. Als weiteres

⁷ H. MAHL u. W. WEITSCH, *Optik* **17**, 107 [1960].

Beispiel zeigt Abb. 6 einige Aufnahmen einer Perlonfolie. Bei steigender Bestrahlungsintensität ist zu erkennen, daß zwar die Vergrößerung der Netzdrahtabstände zunächst unverändert bleibt, während der Abbildungsmaßstab innerhalb der einzelnen Maschen deutlich zunimmt (Abb. 6 b, c); dies zeigt sich im Schmälerwerden der Netzdrähte. Die in Abb. 8 b – d wiedergegebene Aufnahmereihe zeigt, daß diese Zunahme des Abbildungsmaßstabes in den einzelnen Maschen, in denen sich Aufladungslinsen gebildet haben, so weit gehen kann, daß einzelne Teile der Netzdrähte völlig verschwinden, ohne daß dabei die Vergrößerung der Netzdrahtabstände sich verändert. Eine Verkleinerung des Abbildungsmaßstabes ist in Abb. 6 d und 6 e deutlich zu erkennen. Dabei nimmt einmal der Abbildungsmaßstab des ganzen Netzes ab, zum andern werden die Netzdrähte jedoch relativ und sogar absolut wieder breiter, woraus zu entnehmen ist, daß der Abbildungsmaßstab innerhalb der einzelnen Folienquadrate noch stärker abnimmt als der des ganzen Netzes.

Zur Erklärung einer Vergrößerungsänderung bei Schattenabbildung durch Aufladungslinsen sind in Abb. 7 die Verhältnisse bei negativer und positiver Objektaufladung schematisch dargestellt. Wie man

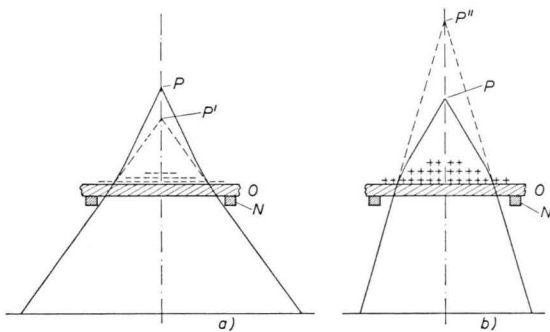


Abb. 7. Änderung des Abbildungsmaßstabes bei Schattenprojektion infolge negativer (a) und positiver (b) Objektaufladung. N=Netzdraht, O=Objekt, P=(reelles) Projektionszentrum, P', P''=virtuelle Projektionszentren.

sich leicht überzeugt, übt eine negative Aufladung eine von der Achse nach außen gerichtete Ablenkraft auf den Strahl aus und verursacht dadurch im Schattenprojektionsbild eine Zunahme der Vergrößerung. Umgekehrt tritt bei positiver Aufladung eine zur Achse gerichtete Ablenkraft und damit eine Abnahme des Abbildungsmaßstabes auf. Eine

negative Aufladung kann sich dann ergeben, wenn der Sekundäremissionsfaktor kleiner als 1 ist, also bei zu geringer Elektronenenergie; es ist aber auch eine negative Aufladung durch Restgasionen möglich. Eine positive Aufladung kann bei einem Sekundäremissionsfaktor größer als 1 und zu starker Bestrahlung auftreten, weil dann eine Überkompensation der durch den Abbildungsstrahl hervorgerufenen negativen Aufladung stattfindet; eine positive Aufladung kann aber auch durch positive Restgasionen hervorgerufen werden.

Um die verschiedenen Effekte – dabei wäre auch noch ein möglicher Einfluß von Kontaminationsschichten auf die Sekundärelektronenausbeute zu berücksichtigen – voneinander zu trennen, müßten die Untersuchungen in einem wesentlich besseren Vakuum durchgeführt werden als es in der Versuchsanordnung zur Verfügung stand (einige 10^{-4} Torr); denn sonst tritt immer eine Überlagerung von verschiedenen Aufladungseffekten ein, die ihren Ursprung einerseits in der unmittelbaren Elektronenbestrahlung, andererseits in der Restgasionisation haben. Daß die Restgasionen tatsächlich den Ladungszustand der isolierenden Objekte beeinflussen (vgl. auch Anm. ⁸), konnte durch Versuche nachgewiesen werden, bei denen die langsamen Elektronen in der Nähe des Objekts vorbeigeschossen wurden. Dabei konnten ebenfalls Vergrößerungsänderungen der Schattenabbildung beobachtet werden.

Hervortreten von Falten. Bei einigen Formvarfolien zeigte sich eine besonders auffällige Erscheinung, die in Abb. 8 wiedergegeben ist. Ohne Bestrahlung zeigte diese Folie (Abb. 8 a) das übliche Bild der fluktuierenden Granulation. Schon bei sehr geringem Bestrahlungsstrom tritt eine deutliche Faltenstruktur zutage (Abb. 8 b). Eine lichtmikroskopische Prüfung dieser Folie zeigt, daß tatsächlich derartige Falten vorhanden waren (Abb. 8 e), die im rein elektronenmikroskopischen Durchstrahlungsbild nicht sichtbar sind.

Daß diese Falten durch die schräge Bestrahlung mit langsamen Elektronen überhaupt sichtbar gemacht werden, dürfte daran liegen, daß die Sekundärelektronenausbeute und damit die Höhe der örtlichen Aufladung sehr stark vom Einfallswinkel abhängt, der bei einer faltigen Folie von Ort zu Ort stark variiert. In Abb. 9 ist nach MÜLLER ⁹ für eine

⁸ R. B. KEHOE, R. C. NEWMAN u. D. W. PASHLEY, J. Sci. Instrum. **31**, 399 [1954].

⁹ H. O. MÜLLER, Z. Phys. **104**, 475 [1937], Abb. 16.

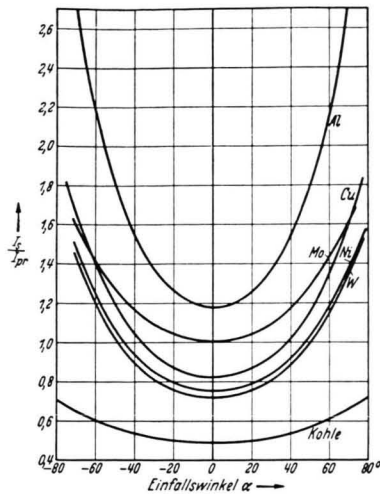


Abb. 9. Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Ausbeute $I_{\text{sek}}/I_{\text{prim}}$ vom Einfallswinkel für verschiedene Elemente (nach H. O. MÜLLER⁹⁾).

Reihe von Substanzen die Winkelabhängigkeit der Sekundärelektronenausbeute dargestellt. Das starke

Anwachsen der Sekundäremission mit zunehmendem Einfallswinkel wird dadurch erklärt, daß bei schrägem Einfall der Primärelektronen ein längerer Teil ihrer Bahn als bei senkrechtem Einfall in einer Schicht verläuft, aus der Sekundärelektronen noch austreten können.

Die Untersuchungen zeigen, daß störende Aufladungen durch geeignete Bestrahlung mit langsamen Elektronen völlig beseitigt werden können, wodurch sich die Voraussetzung für die Beobachtung ungestörter Kleinwinkel-Beugungsdiagramme und Schattenprojektionsbilder herbeiführen läßt. Andererseits können durch die Bestrahlung zusätzliche Aufladungen erzeugt werden, die bei Schattenabbildung unter Umständen Inhomogenitäten und Unebenheiten besonders deutlich hervortreten lassen.

Für finanzielle Unterstützung der Untersuchungen sind wir dem Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg und der Arbeitsgemeinschaft für Elektronenoptik zu Dank verpflichtet.

Über einen Zusammenhang zwischen Kristallanisotropie und Magnetostriktion bei Nickel

Von R. BRENNER

Aus dem Laboratorium der Vacuumschmelze AG, Hanau
(Z. Naturforsch. 17 a, 150—154 [1962]; eingegangen am 6. Dezember 1961)

Es wird untersucht, ob sich die Magnetostriktion des Nickels durch die Abhängigkeit der Spin-Bahn-Wechselwirkung von Gitterverzerrungen deuten läßt, d. h. als Nebeneffekt der Kristallanisotropie mit gleicher physikalischer Ursache.

Zu diesem Zweck wird die VAN VLECKsche Quadrupolwechselwirkung in einfacher klassischer Behandlung auf das verzerrte Nickelgitter angewendet. Das Ergebnis: Ist die Volumenabhängigkeit der Kristallanisotropie von Null verschieden, so zeigt das Kristallgitter spontane Verzerrungen. Im Fall des Nickels stimmen diese nach Art und Größe weitgehend mit der beobachteten Magnetostriktion überein.

Die Untersuchung blieb auf Nickel beschränkt, weil nur für dieses Metall bisher vollständige Messungen aller Magnetostruktionskonstanten vorliegen.

Unter *Magnetostriktion* versteht man die Gitterverzerrungen, die ferromagnetische Metalle erleiden, wenn man sie magnetisiert. Durch die *Kristallanisotropie* werden einzelne Orientierungen der spontanen Magnetisierung im Kristallgitter gegenüber anderen energetisch bevorzugt.

Die Ursachen der Anisotropie sind zumindest in den Grundzügen aufgeklärt, es existiert auch ein quantenmechanisches Modell dieser Erscheinung

(VAN VLECK¹). Sie kommt zustande durch eine Wechselwirkung der Spin- und Bahnmomente benachbarter Atome.

Der physikalische Hintergrund der Magnetostriktion dagegen liegt noch weitgehend im Dunkeln. Nach Untersuchungen von AKULOV² und BECKER³ zeigt ein Gitter aus magnetischen Dipolen zwar durch die magnetostatischen Kräfte eine spontane Verzerrung, doch ergibt eine Anwendung auf die

¹ J. H. VAN VLECK, Phys. Rev. **52**, 1178 [1937].

² N. AKULOV, Z. Phys. **52**, 389 [1928].

³ R. BECKER, Z. Phys. **62**, 253 [1930].