

einsetzen, wenn sich die beiden Elektronenhüllen berühren bzw. überlagern; dann wird nämlich die kinetische Energie ϵ_{kin} vermindert, da dem Elektron ein größerer Bereich zur Verfügung steht, und andererseits wird die Austauschenergie bei der Überlagerung vergrößert. Die Kraftwirkungen setzen daher bei einem Abstand der beiden Moleküloberflächen von etwa 30 Å ein.

Die Elektronen in der Hülle können offenbar als weitgehend frei beweglich betrachtet werden. Solche Elektronen stellen virtuelle Oszillatoren sehr großer Amplituden und niedriger Frequenz dar. Die Größe der Amplituden wäre hier durch die Größe des Proteinmoleküls bestimmt und könnte beim Zusammenschluß von vielen Proteinmolekülen von der Größe der ganzen Kettenlänge werden. Es wäre interessant, experimentell festzustellen, ob Proteinkristalle eine Elektronenleitfähigkeit besitzen. Wie LONDON gezeigt hat¹², wird die Reichweite der Dispersionskräfte zwischen solchen ausgedehnten Oszillatoren großer Amplitude und niedriger Frequenz beträchtlich erhöht, und die auftretenden Quantensprünge

können mit intermolekularen Ladungsübertragungen verknüpft sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit von spezifischen Kraftwirkungen zwischen gleichen Proteinen, wie man solche für homologe Gen-Moleküle im Protoplasma annehmen muß. Das quantenmechanische Schema wurde in einer Arbeit von JORDAN durchgeführt¹³, und es darf hier vielleicht vorgeschlagen werden, anstelle der quantenmechanischen Resonanz zwischen den Atomschwingungen der wechselwirkenden Gen-Moleküle die Resonanz zwischen den Schwingungen der Elektronen in der Hülle anzusetzen, wenn ein solches Elektronensystem in der Natur tatsächlich realisiert ist.

Ein kurzes Referat mit Literaturangaben über Kräfte großer Reichweite in makromolekularen Systemen findet man z. B. bei HÖBER¹⁴.

Herrn Prof. Dr. K. BECHERT möchte ich für vielfältige Hilfe und insbesondere für die Anregung zu dieser Arbeit sehr danken.

¹² F. LONDON, J. Phys. Chem. **46**, 305 [1942].

¹³ D. JORDAN, Phys. Z. **39**, 711 [1938].

¹⁴ R. HÖBER, Phys. Chemie der Zellen und Gewebe, 1947.

Zum Wachstum dünner KCl-Schichten auf Einkristallunterlagen (Nach elektronenmikroskopischen Beobachtungen)

Von D. SÖNKSEN

Aus dem Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg
(Z. Naturforsch. **11 a**, 646—649 [1956]; eingegangen am 29. Mai 1956)

KCl-Schichten von 200 bis 20 000 Å Dicke werden im Vakuum von $3-5 \cdot 10^{-5}$ Torr auf frische KCl-Spaltflächen bei Zimmertemperatur aufgedampft. Von diesen werden nach einer „Schrägbeldampfung“ mit Uran Lackabdrücke genommen und im Elektronenmikroskop auf ihre Kristallgröße und Orientierung hin untersucht. Es wird beobachtet, daß im allgemeinen KCl in elektronenmikroskopisch glatten Schichten aufwächst, daß aber eine „Bekeimung“ durch geringe, mit gewöhnlichen Mitteln nicht feststellbare Mengen von Fremdstoffen zur Bildung von einzelnen zum Teil orientierten Kristallen führt, die unter Umständen zu Fehlschlüssen über das Kristallwachstum Anlaß geben können.

In der vorliegenden Arbeit wird das Wachstum dünner Schichten von KCl-Spaltflächen untersucht. Das ursprüngliche Ziel war, die beim Aufdampfen von Alkalihalogenidschichten auf Alkalihalogenidspaltflächen mittels Elektronenbeugung gefundenen Zwillingskristalle¹ zu studieren, und zwar mit dem Elektronenmikroskop, um die aufgewachsenen Kristalle in ihrer Orientierung zur Unterlage zu erkennen. Die mit Hilfe des Lackabdruckverfahrens festgestellte Struktur der Schicht zeigte jedoch hinsichtlich der Kristallgröße derartige Schwankungen, daß zuerst die Ursache hierfür festgestellt werden mußte.

Die im folgenden genauer beschriebenen Versuche ergaben, daß KCl auf KCl im allgemeinen in elektronenmikroskopisch glatten Schichten ohne Andeutung einer Kristallstruktur aufwächst. Ab und zu vorhandene Stufen deuten auf ein Wachstum in Schichten atomarer Dimensionen, wie es die KOSSEL-STRAUSKISCHE Vorstellung erwarten läßt. Werden jedoch beim Aufdampfen von KCl „Fremdstoffen“ mitverdampft, was insbesondere gegen Ende einer Verdampfung aus Schiffchen oder ähnlichen

¹ H. LÜDEMANN, Z. Naturforsch. **9 a**, 252 [1954].



Verdampfungsquellen stattfindet (s. u.), so bilden sich Keime, die zu einem Wachstum in einzelnen Kristallen Anlaß geben.

Zur Untersuchung wurde das Lackabdruckverfahren benutzt, kombiniert mit dem Beschattungsverfahren², wobei zur Beschattung Uran unter einem Winkel von 1 : 4 aufgedampft wurde³. Die Beobachtung wurde ausgeführt mit einem zweistufigen Elektronenmikroskop mit magnetischen Linsen, dessen wesentliche Teile in der Werkstatt des Instituts angefertigt wurden. Sein Auflösungsvermögen beträgt 30–50 Å und ist der Leistungsgrenze des Abdruckverfahrens von etwa 50 Å angepaßt.

1. Herstellung der Aufdampfschichten

Bei der Herstellung der Schichten sind folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Die Dampfmoleküle sollen möglichst wenig durch Luftmoleküle gestreut werden, damit sich nicht durch Zusammenstöße im Dampfraum Molekülgruppen bilden, die den Wachstumsmechanismus stören. Der Abstand zwischen Dampfquelle und Unterlage muß also klein sein gegen die mittlere freie Weglänge. (Bei einem Druck von $4 \cdot 10^{-5}$ Torr ist die mittlere freie Weglänge 100 cm.)

2. Die Aufdampfgeschwindigkeit soll nicht zu groß sein, damit jedes Molekül genügend Zeit hat, den energetisch günstigsten Platz einzunehmen.

3. Die Unterlage soll durch Wärmestrahlung der Dampfquelle nicht aufgeheizt werden, da bei erwärmter Unterlage veränderte Wachstumsbedingungen vorliegen. Damit sind bestimmte Bedingungen für Größe und Abstand der Verdampfungsquelle und die Dauer der Bedampfung gegeben.

Als Verdampfungsquelle dient meistens eine im Vakuum ausgeglühte Haarnadel aus 0,2 mm starkem Wolframdraht, die durch einige Ampere Wechselstrom direkt geheizt wird (gelegentlich werden auch W-Spiralen und Ta-Schiffchen benutzt). Ein abgewogener Kristallsplitter von KCl wird auf die Nadel gelegt und im Vakuum in 10–100 sec (je nach der Menge) verdampft. Als Auffänger dient frisch gespaltenes Einkristallmaterial von KCl. Die Spaltfläche liegt senkrecht zum Dampfstrahl und befindet sich auf Zimmertemperatur. Der Abstand zwischen der Verdampfungsquelle und der Spaltfläche beträgt im allgemeinen 5–10 cm, in einzelnen Fällen bis zu 2 bzw. 25 cm. Der Druck in der Aufdampfapparatur liegt bei $3–5 \cdot 10^{-5}$ Torr. Die Aufdampfgeschwindigkeit liegt in der Größenordnung von 10–100 Å pro sec.

2. Wachstum in glatten Schichten

a) aus der Dampfphase

Mit der geschilderten Anordnung wurde zunächst eine große Anzahl von KCl- und NaCl-Schichten (die späteren Versuche beschränken sich auf KCl) hergestellt und durch Abdruckverfahren im Elektronenmikroskop untersucht. Dabei ergab sich folgendes: Nach Wahl des Abstandes (2 bis 10 cm) und der verdampften Menge (4 bis 10 mg) waren Schichtdicken von 200 bis 20 000 Å zu erwarten. Die Aufnahmen zeigen unabhängig von der Schichtdicke fast immer eine elektronenmikroskopisch glatte Oberfläche. Gelegentlich sind Stufen von atomarer Größenordnung (10–20 Å) vorhanden, die auf ein Wachstum in atomaren Schichten hinweisen, wie es nach der Theorie von KOSSEL und STRANSKI erwartet werden kann (Abb. 1*). Elektroneninterferenz-aufnahmen zeigen, daß die aufgedampften Schichten sich weder in den Reflexen noch in den KIKUCHI-Linien von der Unterlage unterscheiden.

Da die Struktur elektronenmikroskopisch glatt ist, mußte nachgewiesen werden, daß die wirkliche Schichtdicke mit der aus der verdampften Menge errechneten übereinstimmt. Zu diesem Zweck wurde die Spaltfläche mit einem Kupfernetz abgedeckt und eine Schicht von 500–1000 Å aufgedampft. Hinter den (85 µ großen) quadratischen Löchern des Netzes sind infolgedessen Plateaus von KCl aufgewachsen, deren Schichtdicke aus der Schattenlänge der Kanten auf der Aufnahme ausgemessen werden kann. Der Versuch wurde mehrfach wiederholt und stets gute Übereinstimmung der gemessenen mit der errechneten Schichtdicke gefunden.

b) aus der Lösung

Ähnliches Verhalten wurde beim Wachstum aus der Lösung festgestellt. Beim schnellen Einlaß von gewöhnlicher Zimmerluft in die evakuierte Aufdampfapparatur ist infolge Abkühlung durch adiabatische Expansion mit der Bildung von Wassertröpfchen auf dem Präparat zu rechnen, die nach Temperaturengleich wieder eintrocknen. Von einer in Wasser schnelllöslichen Substanz wie KCl werden durch jedes Tröpfchen geringe Mengen gelöst, die beim Eintrocknen wieder auskristallisieren. Der Versuch wurde mehrfach an KCl-Spaltflächen ausgeführt.

² H. MAHL u. H. RAETHER, Reichsberichte f. Phys. **5**, 166 [1945]; R. C. WILLIAMS u. R. W. G. WYCKOFF, J. Appl. Phys. **15**, 712 [1944].

³ R. C. WILLIAMS u. R. C. BACKUS, J. Appl. Phys. **20**, 98 [1949].

* Abb. 1–9 auf Tafel S. 648 a–c.

Aus zahlreichen Aufnahmen ist zu erkennen, daß jeweils eine kreisförmige Vertiefung in der Spaltfläche entstanden ist. Die herausgelöste Substanz ist in ebenfalls kreisrunden Lamellen rekristallisiert, die sich als Tafelberg aus dem ebenen Boden der Vertiefung hervorheben. Die Skizze, Abb. 2, ist ein Schnitt durch das Profil der Kristalloberfläche. Oftmals findet man auf dem runden Plateau noch einen einzelnen Kristall, der sich im letzten Augenblick des Eintrocknens gebildet hat. Im wesentlichen findet aber das Wachstum aus der Lösung in ausgedehnten glatten Schichten von atomaren Dimensionen statt, analog dem Wachstum aus der Dampfphase. Bei starker Vergrößerung (Abb. 3) zeigt sich, daß die scheinbar runden Konturen in einzelne Stufen aufgelöst sind.

c) aus der Schmelze

Eine Anzahl von Versuchen, bei denen KCl aus einem Ta-Schiffchen auf KCl-Spaltflächen aus etwa 2 cm Entfernung aufgedampft wurde, ergab gleichfalls eine charakteristische Struktur von übereinander geschichteten Lamellen mit etwa 10–20 Å Stufenhöhe (Abb. 4). In diesem Falle ist sehr wahrscheinlich durch Wärmestrahlung der großflächigen Verdampfungsquelle, die 15 Sekunden lang auf 750° C geheizt wurde, die Kristalloberfläche kurzzeitig geschmolzen und wieder erstarrt.

3. Wachstum in Kristallen

a) Bekeimungshypothese

Während der überwiegende Teil der hergestellten Aufdampfschichten elektronenmikroskopisch glatt war, hatten sich in einigen Fällen Kristalle gebildet, deren Höhe aus der Schattenlänge berechnet stets wesentlich kleiner war als die aufgedampfte Schichtdicke (Abb. 5). Hierbei handelt es sich um die in der Einleitung erwähnten Schwankungen hinsichtlich der Kristallgröße, zu deren Klärung nach einer großen Anzahl von Versuchen folgende Hypothese aufgestellt wurde*: Die verdampfte Substanz wächst zunächst in glatten Schichten auf der Unterlage auf. Gegen Ende der Bedampfung tritt jedoch dadurch eine Störung ein, daß geringe Mengen einer Fremdschubstanz mit verdampft werden, die als Kondensa-

tionskeime für nachfolgende Dampfmoleküle wirken. Das weitere Wachstum vollzieht sich bevorzugt an den Keimen und führt zur Bildung einzelner Kristalle. Es wird vermutet, daß als keimbildende Fremdschubstanz Wolfram (eventuell über eine Verbindung oder Legierung mit KCl verdampft) oder Wolframoxyd in Frage kommt.

b) KCl-Doppelschichten

Wenn am Schluß der Bedampfung eine Fremdstoffbekeimung erfolgt, dann muß es möglich sein, die Keime durch eine zweite Bedampfung zu Kristallen zu „entwickeln“ und dadurch in vergrößerter Form sichtbar werden zu lassen. Aus diesem Grunde wurden Doppelschichten hergestellt. Bei der ersten Bedampfung wird eine verhältnismäßig kleine Menge KCl von einer Wolframnadel restlos verdampft und darauf die Apparatur belüftet, um die Nadel neu zu beschicken. Bei der nachfolgenden zweiten Bedampfung mit einer größeren Menge KCl vollzieht sich das Wachstum der Kristalle. Die Aufnahmen (Abb. 6 a und b) zeigen, wie die Kristallgröße mit der Schichtdicke der zweiten Bedampfung zunimmt. Die gemittelte Schichtdicke der gebildeten Kristalle entspricht der verdampften Menge. Eine statistische Auswertung ergab in einigen Fällen eine um 45° zur Unterlage gedrehte Vorzugsorientierung der Kristalle. Interferenzaufnahmen zeigen in Reflexion deutliche Desorientierung mit Faserstruktur. Abb. 7 ist das Ergebnis eines Versuches, bei dem während der ersten Bedampfung ein Teil der Spaltfläche durch ein Kupfernetz abgedeckt war. Bei der zweiten Bedampfung wurde das Netz wieder entfernt. Man sieht, daß sich auf der unbekeimten Spaltfläche eine glatte Schicht mit lamellenartiger Feinstruktur und auf der bekeimten Spaltfläche Kristalle gebildet haben. Die zwei Phasen dieses Versuches sind schematisch in Abb. 8 dargestellt. Der Versuch wurde unter Verwendung einer Molybdän-nadel an Stelle der Wolframnadel wiederholt. Das Ergebnis entspricht im wesentlichen Abb. 7.

Weitere Versuche haben ergeben, daß der Luft-einlaß in die Aufdampfapparatur nach der ersten Bedampfung für die Keimbildung in diesem speziellen Fall wichtig ist. Ohne Luft-einlaß und mit Einlaß von getrockneter Luft (P_2O_5) aus einem Vorratsgefäß zeigen die gleichen Doppelschichten stets im

* Diese Vorstellung wird nahegelegt durch Versuche von TRAUB⁴ und ZEHENDER⁵, die zeigen, daß durch 10^{-2} bis 10^{-3} monoatomare Silberbedampfung eines Lackfilmes eine

Keimbildung für nachfolgende Zn- und Cd-Aufdampfschichten erzeugt wird.

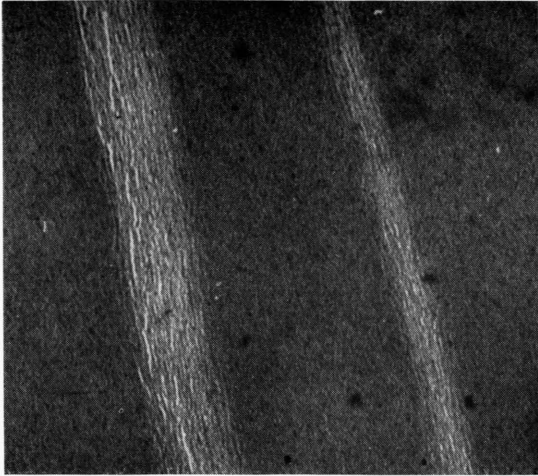


Abb. 1 a.

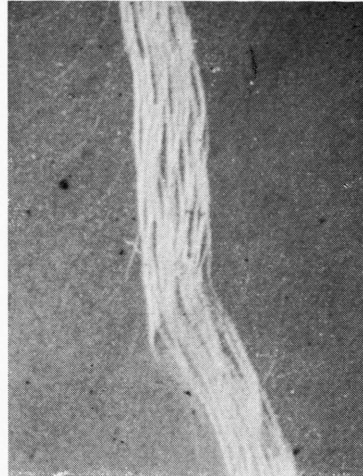
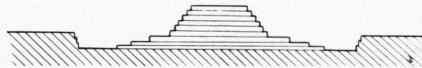


Abb. 1 b.

Abb. 1. Mit KCl bedampfte KCl-Spaltflächen. Stufenhöhe etwa a) 10 Å, b) 20 Å. Vergrößerung a) 50 000 \times , b) 30 000 \times .



100 Å | ——— 1 μ

Abb. 2. Eine durch Wassertröpfchen angelöste und rekristallisierte KCl-Spaltfläche im Schnitt. Das Profil ist 20-fach überhöht gezeichnet.



Abb. 3. KCl-Spaltfläche. Durch Wassertröpfchen gelöstes KCl ist in glatten Lamellen wieder auskristallisiert. Stufenhöhe etwa 10–20 Å. Vergrößerung 27 000 \times .

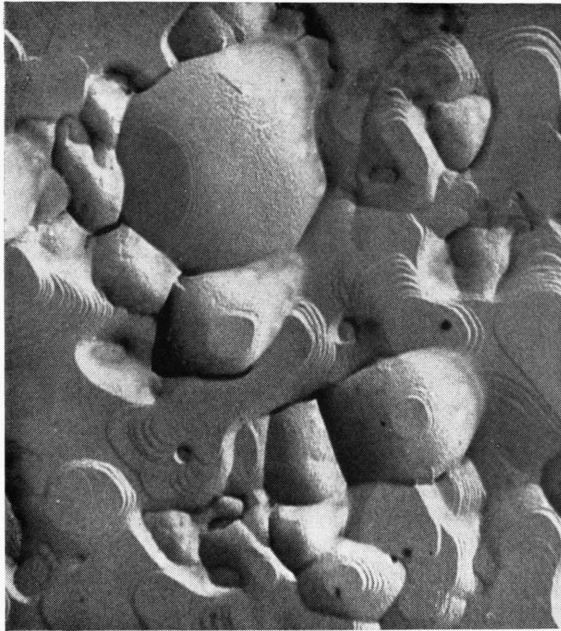


Abb. 4. KCl auf KCl-Spaltfläche. Durch die Wärmestrahlung der Verdampfungsquelle geschmolzenes KCl ist in Lamellen rekristallisiert. Stufenhöhe etwa 20 Å. Vergrößerung 30 000 \times .

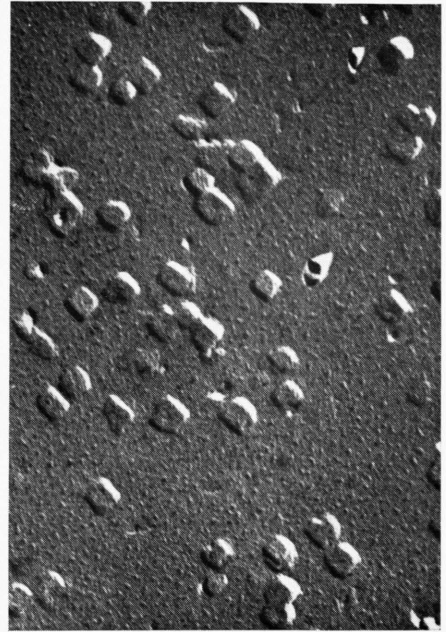


Abb. 5. NaCl-Spaltfläche mit 1000 Å NaCl bedampft. Höhe der Kristalle 140 Å. Vergrößerung 30 000 \times .

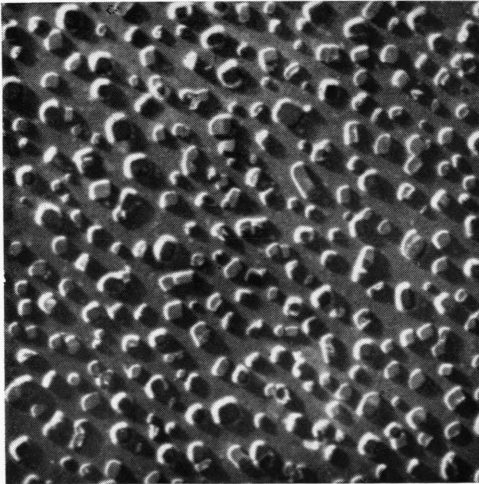


Abb. 6 a

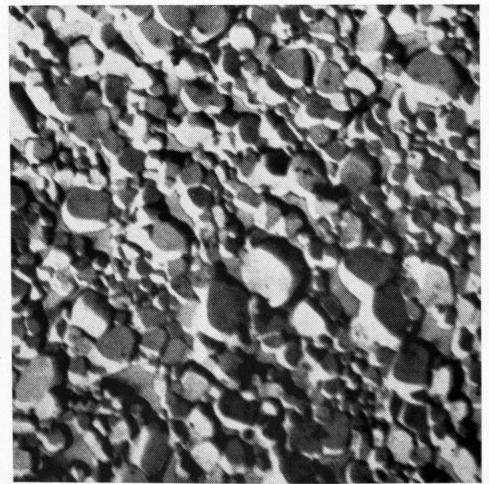


Abb. 6 b

Abb. 6. Bekeimte und mit KCl bedampfte KCl-Spaltflächen. Schichtdicke aus der verdampften KCl-Menge a) 160 Å, b) 800 Å. Mittlere Schichtdicke (berechnet aus der Kristallhöhe und dem Füllfaktor) etwa a) 120 Å, b) 500 Å. Vergrößerung 18 000 \times .

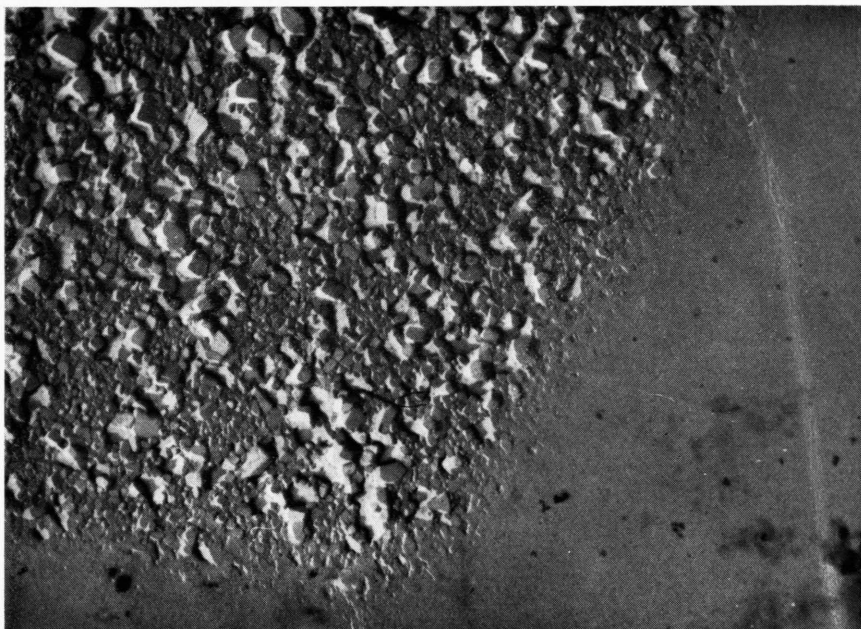


Abb. 7. KCl-Spaltfläche bekeimt und mit 160 Å KCl bedampft. Ein Teil der Fläche (rechts) war während der Bekeimung durch ein Kupfernetz abgedeckt. Vergrößerung 25 000 \times .

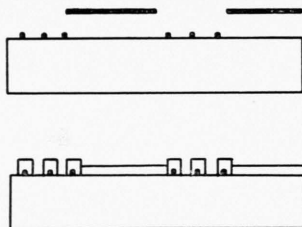


Abb. 8. Schematische Darstellung zu Abb. 7.

Oben: Die KCl-Spaltfläche ist während der Bekeimung teilweise durch ein Kupfernetz abgedeckt. Die Keime sind durch Punkte dargestellt.

Unten: Die nachfolgende KCl-Bedampfung bildet auf der bekeimten Fläche Kristalle und auf der unbekeimten eine glatte Schicht.

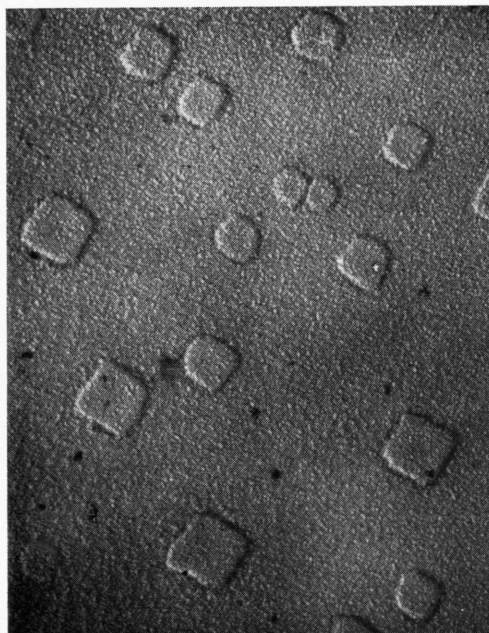


Abb. 9. KCl-Spaltfläche mit Wolframoxyd bekeimt. Bedampfung 240 Å KCl. Die Kristalle sind fast 1μ groß und haben 45° -Orientierung. Vergrößerung 12 000 \times .



Abb. 2. Elektronenmikroskopische Dunkelfeldaufnahme einer 50 Å dünnen Nickelschicht, welche auf elektrolytisch abgeschiedenem Kupfer niedergeschlagen war (Vergr. 12 000 \times).

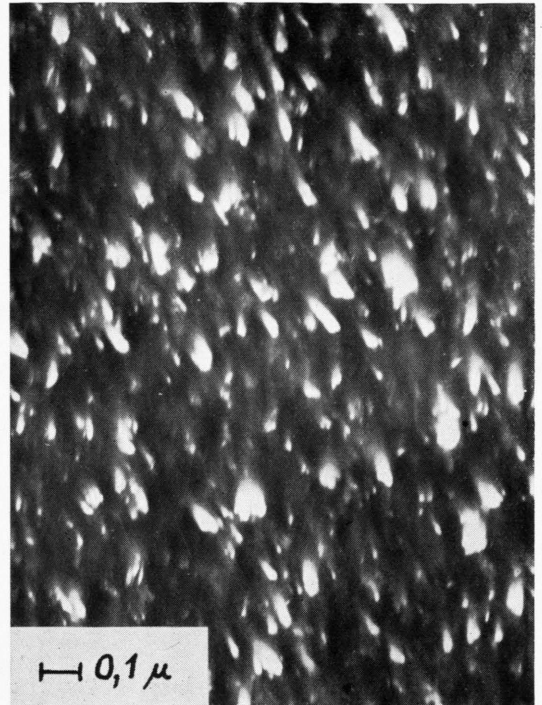


Abb. 3. Elektronenmikroskopische Dunkelfeldaufnahme einer 200 Å dünnen Nickelschicht auf Kupferaufdampfschicht (Glas) als Unterlage (Vergr. 60 000 \times).

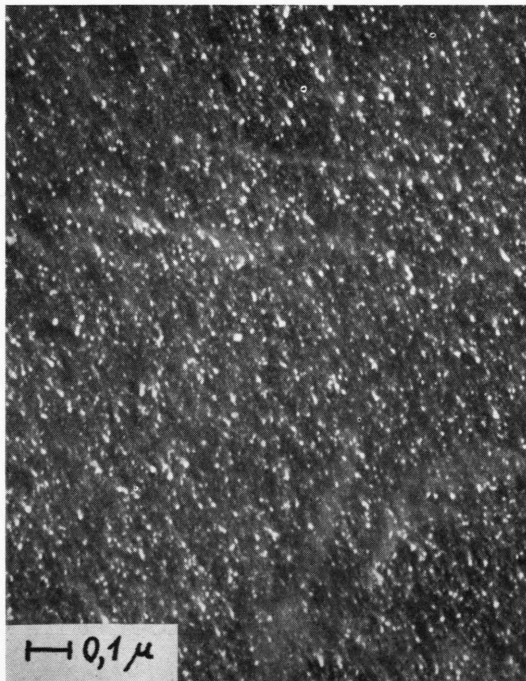


Abb. 6. Elektronenmikroskopische Dunkelfeldaufnahme einer 200 Å dünnen, auf Kupfer (20° C) aufgedampften Nickelschicht (Vergr. 60 000 \times).



Abb. 7. Wie Abb. 6, aber Kupferträger auf 200° C (Vergr. 60 000 \times).



Abb. 8. Vergleich von Hell- (a) und Dunkelfeld (b) einer 200 Å dünnen, auf Kupfer (300° C) aufgedampften Nickelschicht (Vergr. 3500×).



Abb. 11 a.



Abb. 11 b.

Abb. 11. Elektronenmikroskopische Dunkelfeldaufnahmen von 200 Å dünnen, elektrolytisch niedergeschlagenen Eisenschichten mit Elektrolytkupfer als Unterlage; a) nach der Herstellung abgelöst; b) 15 min bei 400° C getempert und dann abgelöst (Vergr. 60 000×).

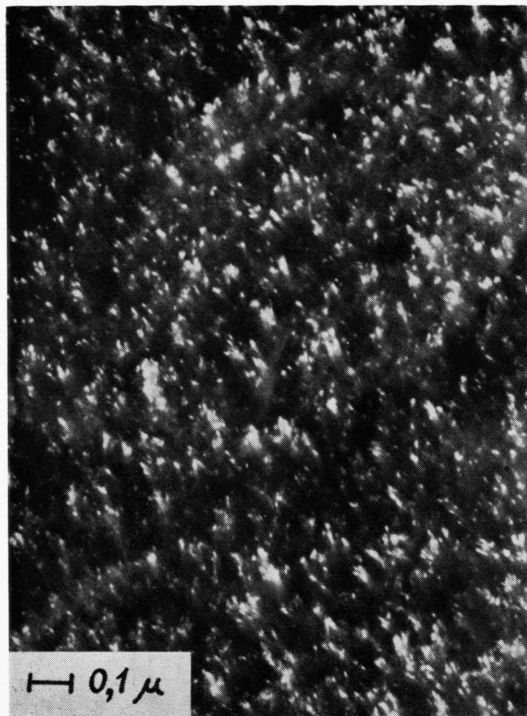


Abb. 13 a.

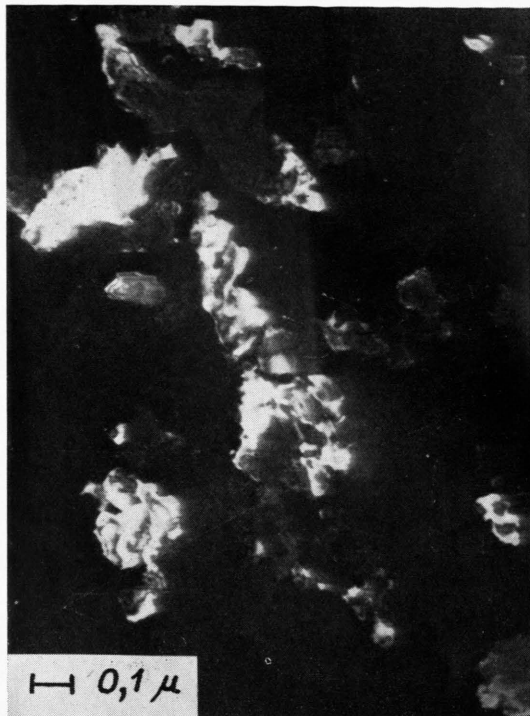


Abb. 13 b.

Abb. 13. Elektronenmikroskopische Dunkelfeldaufnahmen von 200 Å dünnen aufgedampften Eisenschichten. Temperatur der Kupferunterlage: 20° C und 400° C (Vergr. 60 000×).

F. LENZ und W. SCHEFFELS, *Über die Veränderung des Streuvermögens elektronenmikroskopischer Objekte unter Elektronenbeschuß* (S. 656).

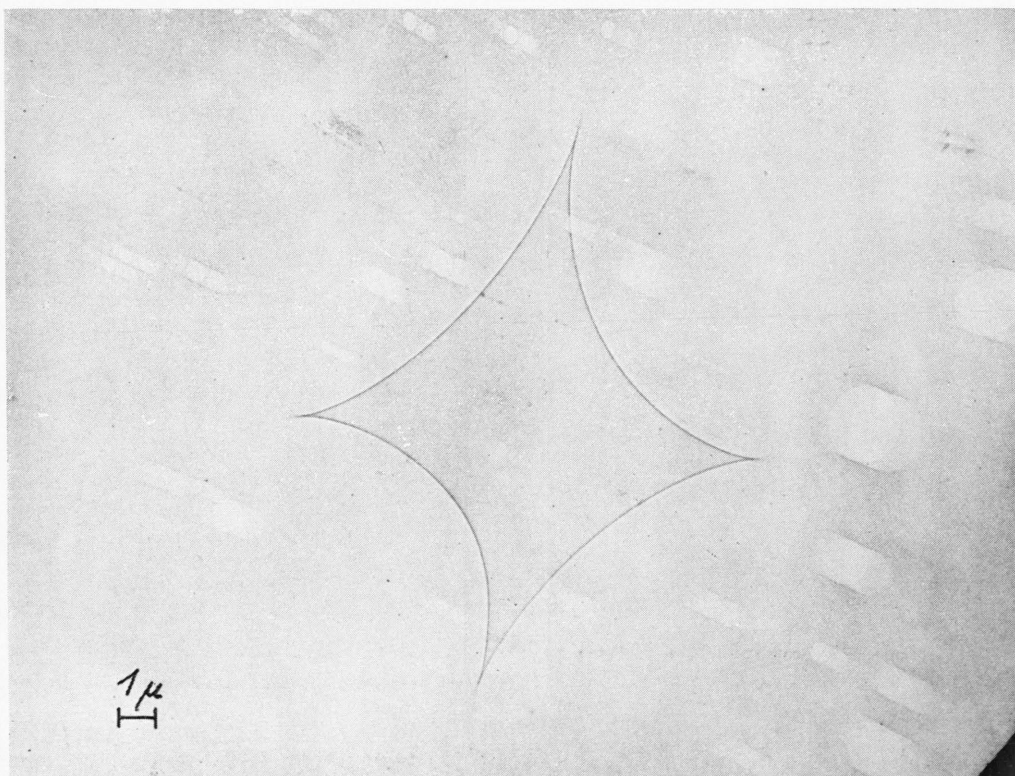


Abb. 2. Typisches Schattenbild der in der Einleitung genannten Art. Die astroidenförmige Gestalt der Schattenfigur läßt sich aus den Fertigungsungenauigkeiten des Linsenspolschuhs (axialer Astigmatismus) deuten. Um zu zeigen, daß dieses „Streusternchen“ eine feste Lage relativ zur Bestrahlungsanordnung besitzt, wurde die Objektfolie während der Belichtungszeit seitlich zur Strahlachse verschoben. 3033/55.

wesentlichen glatte Oberflächen ohne Kristallstruktur. Der Vorgang konnte mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht geklärt werden. Es ist aber anzunehmen, daß beim Lufteinlaß durch Tröpfchenbildung auf dem Präparat die Oberfläche der Schicht etwas angelöst wird (siehe Abschnitt 2b). Vermutlich bilden sich beim Rekristallisieren durch die Gegenwart einer Verunreinigung in der Aufdampfschicht bereits kleine KCl-Kristalle.

c) Wolframoxyd-Bekeimung

Die Kristallbildung durch Bekeimung kann auch unabhängig von der Luftfeuchtigkeit erfolgen: Eine geringe Menge Wolframoxyd wurde von einem Wolframdraht aus 5 bis 25 cm Entfernung auf eine Spaltfläche aufgedampft. Der Draht war vorher durch Glühen an Luft mit einem Oxydüberzug versehen worden. Darauf wurde von einer zweiten Bedampfungsquelle, ohne vorherigen Lufteinlaß, die KCl-Bedampfung durchgeführt. Wie Abb. 9 zeigt, haben sich Kristalle gebildet. Die feine Rauigkeit, mit der die ganze Oberfläche bedeckt ist, ist wahrscheinlich auf eine ungewollte zweite Bekeimung am Schluß der Bedampfung zurückzuführen. Bemerkenswert ist die gleichmäßige Orientierung der großen Kristalle. Am Uranshatten, der kantenparallel zur Unterlage liegt, kann man erkennen, daß sie alle um 45° zur Unterlage gedreht sind. Tab. 1 gibt eine

Übersicht über die durchgeführten Bekeimungsversuche.

1. Bedampfung (Keimbildung)	Lufteinlaß	2. Bedampfung (Schichtbildung)	Elektronenmikroskopisches Bild
etwa 20 Å KCl von W-Draht	Zimmerluft	etwa 200 Å KCl von W-Draht	grobkristallin
—	Zimmerluft	etwa 200 Å KCl von W-Draht	strukturlos
etwa 20 Å KCl von W-Draht	—	etwa 200 Å KCl von W-Draht	strukturlos
etwa 20 Å KCl von W-Draht	trockene Luft	etwa 200 Å KCl von W-Draht	strukturlos
etwa 20 Å KCl von Mo-Draht	Zimmerluft	etwa 200 Å KCl von W-Draht	grobkristallin
WO ₃ von W-Draht	—	etwa 200 Å KCl von W-Draht	grobkristallin

Tab. 1. Bekeimungsversuche.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß bei der Untersuchung insbesondere von Aufdampfschichten hinsichtlich ihres Kristallwachstums Fehlschlüsse durch „Bekeimung“ möglich sind.

Die Untersuchungen wurden im Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg durchgeführt. Dem Leiter des Instituts, Herrn Professor Dr. H. RAETHER, danke ich für die Anregung und Förderung der Arbeit.

⁴ E. TRAUB, Z. Angew. Phys. **12**, 545 [1949].

⁵ E. ZEHENDER, Optik **7**, 200 [1950].

Der Einfluß der Kristallitgröße auf die Koerzitivkraft elektrolytisch niedergeschlagener und aufgedampfter Nickel- und Eisenschichten

VON LUDWIG REIMER

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Münster/Westf.
(Z. Naturforsch. **11 a**, 649—655 [1956]; eingegangen am 11. Juli 1956)

Die Kristallitgröße elektrolytisch niedergeschlagener Schichten hängt wesentlich von der Kristallstruktur der Unterlage ab, diejenige von Aufdampfschichten wird wesentlich durch die Temperatur des Trägers bestimmt. Beides wurde elektronenmikroskopisch beobachtet. Schichten, die aus Einkristall-Lamellen bestehen, zeigen Formanisotropie. Sobald die Kristallitausehnung in Schichtebene in die Größenordnung der Schichtdicke kommt, gewinnt die Kristallanisotropie an Einfluß. Wenn man annimmt, daß die Kristallitgrenzen auch gleichzeitig Grenzen der Eindomänenbereiche sind, so kann man mit den Abschätzungsformeln für die Koerzitivkraft von NÉEL und KITTEL die beobachteten Koerzitivkräfte quantitativ erklären. Auch der Fall der Spannungsanisotropie läßt sich realisieren, wenn man dünne Schichten mit Kristallanisotropie äußeren Spannungen unterwirft.

Von NÉEL¹ und KITTEL² wurde gezeigt, daß kleinste ferromagnetische Teilchen und dünne Schichten aus Eindomänenbereichen bestehen, wenn die Abmessungen (Durchmesser bzw. Schichtdicke) kleiner

als eine kritische Größe werden. Dadurch fällt für die Ummagnetisierung der WEISSschen Bezirke die

¹ L. NÉEL, C. R. Acad. Sci., Paris **224**, 1488 [1947].

² C. KITTEL, Phys. Rev. **70**, 96 [1946].