

Orientierungen von Aufdampfschichten bei extrem ungünstiger Gitteranalogie, z. B. Silber auf (100)-Steinsalzflächen in kantenparalleler Orientierung<sup>9</sup>. Dies gilt auch für den Fall von Metallaufdampfschichten auf Metallunterlagen.

Aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich, daß die Strukturen der Aufdampfschichten auf den einzelnen Einkristallflächen verschieden sind. Die Orientierung hängt also nicht nur von der metrischen Übereinstimmung der Gitter ab. Daß große Gitterkonstantendifferenzen gegenüber der Unterlage eine Orientierung der Aufdampfschicht nicht notwendig verhindern, zeigt auch eine Untersuchung von NEWMAN<sup>10</sup>,

<sup>9</sup> L. BRÜCK, Ann. Phys., Lpz. **26**, 233 [1936].

<sup>10</sup> R. C. NEWMAN, Dissertation, Universität London 1955.

der auf einer Silber-(111)-Fläche ( $a = 4,08 \text{ \AA}$ ) orientierte Bleischichten ( $a = 4,94 \text{ \AA}$ ) erhielt, obwohl die Gitterkonstantendifferenz 21% beträgt.

Hiermit ist also festgestellt, daß geometrische Überlegungen allein nicht zur Erklärung der Orientierung dünner Metallaufdampfschichten auf Metallunterlagen hinreichen, ein Ergebnis, wie es auch schon bei Isolatorunterlagen von LÜDEMANN<sup>11</sup> gefunden wurde.

Herrn Professor Dr. H. RAETHER danke ich für das Interesse an dieser Arbeit; der Deutschen Forschungsgemeinschaft habe ich für finanzielle Unterstützung zu danken.

<sup>11</sup> H. LÜDEMANN, Z. Naturforschg. **11 a**, 935 [1956].

## Zum Nachweis sehr dünner Oberflächenschichten auf Kupfereinkristallen (Eine Untersuchung mit Elektroneninterferenzen)

Von O. HAASE

Aus dem Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg  
(Z. Naturforschg. **16 a**, 206—208 [1961]; eingegangen am 15. September 1960)

Es werden dünne Oberflächenschichten auf der (100)-Fläche eines Kupferkristalls mit Elektroneninterferenzen in Reflexion untersucht, die sich durch elektrolytische Politur des Kristalls im Phosphorsäurebad und durch Bedampfen mit Eisen, Palladium und Nickel ergeben. Es zeigt sich, daß die Schichten aus etwa einer Atomlage bestehen, wie aus der schrittweisen Abtragung mittels Kathodenzerstäubung und durch Bedampfen mit einem Molekularstrahl bekannter Intensität hervorgeht.

Elektroneninterferenzsaufnahmen in Reflexion weisen gelegentlich strichartige Zusatzreflexe auf, die im allgemeinen senkrecht zur Kristalloberfläche verlaufen. Linien dieser Art fand man z. B. an Spaltflächen von PbS-Kristallen, die in eine wäßrige Lösung organischer Substanzen (Diäthyl-dithiophosphat) getaucht waren<sup>1</sup>. Das Liniensystem konnte durch die Annahme erklärt werden, daß auf der Spaltfläche ein zweidimensionales regelmäßiges Gitter aus den Säuremolekülen oder den Anionen gebildet wird. Solche „Striche“ wurden schon früher an elektrolytisch polierten Kupfereinkristallen (100-Flächen) zwischen den Kupferreflexen beobachtet<sup>2</sup>; ebenso zeigte sich diese Erscheinung bei der Herstellung von Alpha-Eisenschichten durch Bedampfen erwärmter Alkalihalogenidspaltflächen<sup>3</sup>.

In der vorliegenden Arbeit werden einige Eigen-

schaften solcher Oberflächenschichten untersucht, und zwar an elektrolytisch polierten Kupfer-(100)-Flächen und an Aufdampfschichten von Eisen, Nickel und Palladium auf einer (durch Kathodenzerstäubung) gereinigten Kupferfläche.

### I. Oberflächenschichten auf elektrolytisch polierten Kupfer-(100)-Flächen

Wird eine (in Orthophosphorsäure, Dichte 1,5) elektrolytisch polierte Kupfer-(100)-Fläche in Reflexion untersucht, so zeigt das Interferenzbild außer den Kupferreflexen zusätzliche Linien, auf denen sich nach dem Strukturfaktor kein Kupferreflex befindet. Das Auftreten dieser Linien war reproduzierbar; Variationen im Polier- und Spülverfahren waren ohne Einfluß.

<sup>1</sup> H. HAGIHARA u. H. UCHIKOSHI, Nature, Lond. **174**, 80 [1954].

<sup>2</sup> H. RAETHER, Optik **1**, 2 [1946].

<sup>3</sup> O. HAASE, Z. Naturforschg. **11 a**, 46 [1956].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Die Linien werden intensiver, wenn der Kupferkristall bis etwa 200 °C im Vakuum erwärmt wird (Abb. 1 \*). Bei weiterer Erwärmung (30°/min) verschwinden die Linien zwischen 200 und 300 °C. Die Linien konnten durch Aufbewahrung im Restvakuum der Apparatur ( $10^{-5}$  Torr) bei verschiedenen Temperaturen zwischen Raumtemperatur und 150 °C nicht wieder hervorgebracht werden.

In einem weiteren Versuch wurde die Kupferfläche durch Kathodenzerstäubung (bei Raumtemperatur) schrittweise abgetragen. Die Abtragungsrate betrug etwa eine Atomlage in 20 Sekunden. Nach 2 sec Zerstäubung waren die zusätzlichen Linien noch schwach, nach 5 sec nicht mehr zu sehen. Durch vorsichtige Erwärmung auf 100 °C wurden sie wieder schwach sichtbar (Abb. 2). Nach insgesamt 10 sec Zerstäubungszeit waren die Linien verschwunden und kamen auch nach Wärmebehandlung nicht wieder. Dieses Ergebnis wurde durch mehrere Versuchsreihen bestätigt. Nach diesen Messungen besteht die Oberflächenschicht aus etwa einer Atomlage.

## II. Untersuchung der durch Aufdampfen entstandenen Linien

Ausgangsfläche war auch hier eine Kupfer-(100)-Fläche, die durch Kathodenzerstäubung von der Oberflächenschicht befreit wurde und keine zusätzlichen Linien zeigte. Bei 400 °C Unterlagentemperatur wurden auf diese Fläche dünne Schichten von Eisen, Nickel oder Palladium aufgedampft. (Das Interferenzbild, das sich beim Aufdampfen dieser drei Metalle ergibt, ist das gleiche, da Eisen sich als [flächenzentriertes] Gamma-Eisen niederschlägt und die Gitterkonstanten dieser Metalle mit der des Kupfers nahezu übereinstimmen, bzw. sich in dünner Schicht ihr angleichen<sup>4, 5</sup>.) Die Intensität des Aufdampfstrahls wurde mit einer Molekularstrahlvorrichtung auf eine Atomlage in 10 sec eingestellt und der Kristall durch eine bewegliche Blende sekundenweise dem Dampfstrahl ausgesetzt. Nach 2 sec war das Interferenzbild unverändert, nach 5 sec waren zwischen den Kupferreflexen zusätzliche Linien zu sehen, und zwar in der gleichen Anordnung wie sie vorher bei der elektrolytisch polierten Kupferfläche beobachtet wurden. Auch die Aufdampfschicht ist also etwa monoatomar.

Um Verunreinigungen beim Bedampfen auszuschließen, wurde als Aufdampfofen ein dünnwandiges Röhrchen aus dem Aufdampfmetall benutzt, welches von innen beheizt wurde. Es wurde ferner beobachtet, daß die Linien zunächst innerhalb einiger Sekunden wieder verschwanden und durch Nachdampfen wieder hervorgerufen werden konnten. Durch wiederholtes Nachdampfen wurden sie zunehmend stabiler. Beim Aufdampfen weiterer Atomlagen blieben die zusätzlichen Linien erhalten.

## III. Diskussion

Nach dem Vorangehenden liegt es nahe, bei der elektrolytisch polierten Fläche eine etwa monoatomare Schicht anzunehmen, deren Atome auf der Kupferunterlage ein zweidimensionales periodisches Gitter bilden. Das reziproke Gitter dieser Schicht, das sich aus Aufnahmen in allen Azimuten der Kupfer-(100)-Fläche ergibt, besteht aus Punkten in der  $(hk)$ -Ebene an allen ganzzahligen Werten  $h, k$ , die in der senkrecht dazu stehenden  $l$ -Richtung zu Stäben ausgezogen sind, wie es für ein Flächengitter kennzeichnend ist<sup>6</sup>. In der Abb. 3 ist der Schnitt in

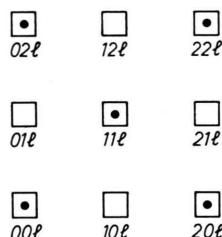


Abb. 3. Reziprokes Gitter von Kupferkristall und Oberflächenschicht, wie es sich aus Aufnahmen in allen Azimuten der Kupfer-(100)-Fläche ergibt, und zwar in Richtung der Linien (Stäbe in  $l$ -Richtung) auf die  $(h,k)$ -Ebene projiziert. Die Quadrate stellen schematisch die Linien dar, die Kreise die Kupferreflexe. Man entnimmt hieraus, in welchen Azimuten zusätzliche Linien auftreten, auf denen kein Kupferreflex liegt (z. B. 10 $l$ ), diese Linien können also nicht durch Schwänzungen der Kupferreflexe vorgetäuscht sein.

der  $(hk)$ -Ebene wiedergegeben. Die Quadrate stellen schematisch die Schnittpunkte der Stäbe mit der  $(hk)$ -Ebene dar, die Kreise die Projektion der Kupferreflexe in  $l$ -Richtung auf die  $(hk)$ -Ebene. Auf die Weise erkennt man sofort, auf welchen Linien sich kein Kupferreflex befindet.

Dieses reziproke Gitter kann durch eine zweidimensionale Atomanordnung erzeugt gedacht werden, welche die Gitterkonstante des Kupfers hat, zu ihm kantenparallel orientiert ist und eine einfach-

\* Abb. 1 und 2 auf Tafel S. 204 a.

<sup>4</sup> O. HAASE, Z. Naturforschg. 16 a, 202 [1961], voranstehend.

<sup>5</sup> O. HAASE, Z. Naturforschg. 14 a, 920 [1959].

<sup>6</sup> F. KIRCHNER u. H. RAETHER, Phys. Z. 33, 510 [1932].

quadratische Anordnung besitzt. Nimmt man z. B. an, daß die Atome der Oberflächenschicht über den Ecken der Elementarzellen der Kupferoberfläche im Abstand  $z$  sitzen, das flächenzentrierte Kupferatom in der Mitte der Elementarzelle aber unbesetzt bleibt, so erhält man für die Strukturamplitude  $F$  der Oberflächenschicht

$$F = f \cdot e^{2\pi i z l},$$

wo  $f$  der Atomformfaktor der Atome der Oberflächenschicht ist. Da die Strukturamplitude der Kupferunterlage an den Stellen, an denen die zusätzlichen Linien auftreten (nämlich bei denen die Indizes  $hkl$  gemischt sind) Null ist, stellt  $|F|^2 = f^2$  bereits die Intensität der zusätzlichen Linien dar. Bei den anderen Reflexen tritt eine Überlagerung mit der Streuamplitude der Kristallunterlage auf, die lediglich zu Intensitätsschwankungen der vorhandenen Kupferreflexe führt.

Die Frage, worauf die Oberflächenschicht zurückzuführen ist, ist bei der elektrolytisch polierten Fläche noch relativ einfach zu beantworten. Es wurde schon früher vermutet, daß Reste aus dem Polierbad zurückbleiben und den Kristall mit einer Schicht überziehen. Sie macht sich durch das Ausbleiben einer nachweisbaren Oxydschicht nach der Berührung mit der Atmosphäre<sup>7</sup> und durch die Störung der Orientierung von Aufdampfschichten bemerk-

bar<sup>4</sup>. Auch ist die Intensität der Kupferreflexe nach der Kathodenzerstäubung infolge der Entfernung der Schicht sichtbar erhöht. Daß sich die Linien beim Erwärmen verstärken, ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß sich die Fremdatome bei der erhöhten Beweglichkeit noch weiter ordnen. Bei weiterer Erwärmung dampfen die Fremdatome ab oder wandern durch Platzwechsel in das Innere des Kristalls, so daß die Linien wieder verschwinden.

Wesentlich unklarer ist die Lage bei den Aufdampfschichten, zumal die Versuchsbedingungen nicht ganz übersichtlich sind (Reinheit der Kupferfläche unmittelbar vor dem Bedampfen, Wirkung des Restgases). Immerhin weist das Interferenzbild auf eine Atomanordnung in der obersten Netzebene hin, die von der normalen (100)-Fläche eines flächenzentrierten Kristalls abweicht. Um eine genaue Deutung zu geben, bedarf es einer Untersuchung unter den Bedingungen des Höchstvakuaums.

Aus den vorliegenden Versuchen ergibt sich also, daß monoatomare Schichten bei einer periodischen Atomanordnung auf Metalleinkristallen auch mit schnellen (40 kV) Elektronen nachgewiesen werden können. Bei regelloser Anordnung wäre eine solche Deckschicht kaum nachweisbar, da ihre Interferenzen im allgemeinen Untergrund untergehen würden.

Herrn Prof. Dr. H. RAETHER danke ich für sein Interesse an dieser Arbeit; der Deutschen Forschungsgemeinschaft habe ich für finanzielle Unterstützung zu danken.

<sup>7</sup> H. WESEMEYER u. H. RAETHER, Naturwiss. 17, 398 [1952].

## NOTIZEN

### On the Pairing Energy of Medium Heavy Nuclei

By H. KÜMMEL

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz  
(Z. Naturforschg. 16 a, 208—209 [1961]; eingegangen am 11. Januar 1961)

The anomalies in the neutron and proton pairing energies observed by NIER and collaborators<sup>1</sup> follow from the superfluidity theory<sup>2</sup> of nuclear pairing effects. In this theory the quantity

$$P_n^{\text{theor.}} = 2\sqrt{(\varepsilon_0 - \lambda)^2 + \Delta^2} \quad (1)$$

approximately is the even-odd mass difference (twice the distance between energy surfaces for even and odd  $N$  resp.  $Z$  nuclei). The correction  $\varepsilon_0 - \lambda$  is small (of the order 0.1 MEV) and important only for almost empty or almost filled shells, where the theory breaks down in any case. Assuming uniform level density in the shell

under investigation (with  $2\Omega$  levels,  $\varepsilon'' - \varepsilon'$  = energy difference between the lowest and the highest state in the shell) one approximately has<sup>2</sup>

$$\Delta_n = \frac{1}{2}(\varepsilon'' - \varepsilon') (\sinh \eta)^{-1} (1 - \chi_n^2)^{1/2} \quad (2)$$

with

$$\eta = (\varepsilon'' - \varepsilon') / \Omega G, \quad \chi_n = 1 - (n/\Omega), \quad (3)$$

if  $n$  = number of particles in the shell,  $G$  = coupling strength of the pairing interaction. It easily can be read off from this equation that  $\Delta$  rapidly increases, if we fill the shell with particles or holes. On the other hand, if the deformation increases, the density  $\varrho = \Omega / (\varepsilon'' - \varepsilon')$  of states decreases and tends to make  $\Delta$  small. Therefore, in shells with large deformations in the middle region we expect two maxima for the even-odd mass difference  $2\Delta$ . Using (2) and the deformation dependence

$$\varepsilon'' - \varepsilon' = (0.475 + \delta \cdot 3.25) \cdot 41 \cdot A^{-1/3} \text{ MEV} \quad (4)$$

<sup>1</sup> V. B. BHANOT, W. H. JOHNSON and A. O. NIER, Phys. Rev. 120, 235 [1960].

<sup>2</sup> S. T. BELYAEV, K. Danske Vidensk. Selsk. Mat.-fys. Medd. 31, No. 11 [1959].