

von  $E_0 \approx 50$  keV ein  $\log ft \approx 5,5$  ergibt. Eine Nachprüfung erschien danach angebracht.

Messungen an MsTh 1-Präparaten werden dadurch erschwert, daß das Folgeprodukt MsTh 2 mit seinen viel energiereicheren Strahlungen sich mit einer Halbwertszeit von nur 6,13 h nachbildet. Für die Messung stehen deshalb nur relativ kurze Zeiten zur Verfügung. Andererseits erleichtert dieser schnelle Anstieg oft die Entscheidung, ob ein gefundener Strahlungsanteil zum MsTh 1 oder zum MsTh 2 gehört. So hatte eine Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Photonenstrahlung von MsTh 1-Präparaten durch BECKMANN<sup>5</sup> schon 1954 ergeben, daß die Zahl der RÖNTGEN-L-Quanten, die reines MsTh 1 emittiert, sicher viel kleiner ist als 4 auf 100 Zerfälle, sofern MsTh 1 überhaupt solche Quanten emittiert.

Unsere neueren Messungen mit Präparaten von etwa 0,6 mC bestätigten diesen Befund. Leider enthielten unsere Präparate einen beträchtlichen Anteil an natürlichem Ra<sup>226</sup>. Eine sichere Auswertung war trotzdem möglich. Messungen der Photonenstrahlung mit einem Proportionalzählrohr an frisch gefällten MsTh 1-Präparaten, die nur MsTh 1, Ra<sup>226</sup> und das in etwa 30 Min. nachgebildete MsTh 2 enthielten, zeigten eine Linie bei etwa 12 bis 13 keV, sonst keinerlei Linien bis herauf zu 80 keV. Vermutlich handelt es sich um eine L-RÖNTGEN-Linie oder um mehrere L-Linien. Extrapoliert man den zeitlichen Anstieg der Strahlungsstärke in diesem Energiegebiet auf den Zeitpunkt der Fällung des Präparates, so erhält man hierfür nur etwa 1,3% der Endaktivität, und das entspricht recht genau dem Beitrag des Ra<sup>226</sup>. Innerhalb der Meßgenauigkeit emittiert das MsTh 1 also keinerlei Photonenstrahlung; sicher aber ist sie, falls doch vorhanden, erheblich schwächer als die französische Gruppe angibt.

Danach war anzunehmen, daß der Zerfall nicht komplex ist, sondern in allen (oder fast allen) Fällen zum

Grundzustand des MsTh 2 führt. Dies wurde durch Messung des  $\beta$ -Spektrums im Proportionalzählrohr in 2  $\pi$ - und 4  $\pi$ -Geometrie<sup>6</sup> bestätigt. Es fanden sich keine

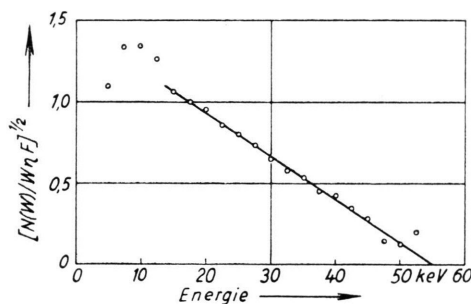


Abb. 1. KURIE-Diagramm des MsTh 1-Spektrums.

Konversionslinien, sondern nur ein einfaches  $\beta$ -Spektrum erlaubter Form. Abb. 1 zeigt das KURIE-Diagramm, welches eine obere Grenzenenergie von  $E_0 = 55 \pm 3$  keV ergibt, in guter Übereinstimmung mit dem Wert von LEE und LIBBY. (Das Diagramm zeigt links eine Andeutung der RÖNTGEN-Linie bei 12 keV.) Die Messung des  $\beta$ -Spektrums war durch die  $\alpha$ -Strahlung des beigemengten Ra<sup>226</sup> ziemlich erschwert. Die Fehlergrenzen für  $E_0$  sind entsprechend bemessen.

Den Herren F. G. HOUTERMANS und H. KOPFERMANN danken wir für die Überlassung von MsTh-Präparaten.

<sup>5</sup> WILFRIED BECKMANN, Diplomarbeit, Marburg 1954.

<sup>6</sup> Zur Methode vgl.: WOLFHARD BECKMANN u. E. HUSTEN, Z. Naturforsch. **10 a**, 86 [1955]. — WOLFHARD BECKMANN, Z. Phys. **142**, 585 [1955].

## Härteänderung von Alkalihalogenid-Einkristallen durch Deuteronenbeschuß

Von R. BOCK, E. FUSS und U. SCHMIDT-ROHR

Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg

(Z. Naturforsch. **13 a**, 797—799 [1958]; eingegangen am 14. Juli 1958)

Durch ionisierende Strahlung wird die Härte von Alkalihalogenid-Einkristallen merklich erhöht. Über diese Härtung wurde an NaCl und KCl schon berichtet<sup>1</sup>. Zur quantitativen Untersuchung dieses Effektes wurden Alkalihalogenid-Einkristalle\* mit Deuteronen von 10 MeV auf einer Meßsonde im Zyklotron bestrahlt, die es gestattet, die Anzahl der aufgefallenen Deutero-

nen absolut zu messen. Die Härte ist meist mit dem Härtemeßgerät Durimet der Firma Zeiß bestimmt worden.

Um Hinweise auf den Mechanismus der Härtung zu erhalten, wurde die Ionisierungsdichte variiert und mit Hilfe von LAUE- und GUINIER-Aufnahmen nach Veränderungen der Gitterstruktur gesucht. Außerdem wurden die Änderungen der Härte und der Verfärbung des Kristalls beim Tempern untersucht.

Abb. 1 zeigt die Härte in Vickers-Einheiten in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis für verschiedene Alkalihalogenide. Die Härtung ist um so größer, je kleiner die Ordnungszahl der Gitteratome ist. Die für NaCl und KCl bei größten Bestrahlungsdosen gemessenen Werte stimmen mit den von WESTERVELT<sup>1</sup> angegebenen gut überein. Die Änderung der Härte ist bei

<sup>1</sup> D. R. WESTERVELT, Acta Met. **1**, 755 [1953]. — W. H. VAUGHAN, W. J. LEIVO u. R. SMOLUCHOWSKI, Phys. Rev. **91**, 245 [1953].

\* Hersteller der Einkristalle Dr. K. KORTH, Kiel. LiF-Einkristalle aus spektralreinem Ausgangsmaterial wurden uns außerdem von der BASF Ludwigshafen überlassen.



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.

LiF weitaus am größten. Es wurde daher in erster Linie LiF untersucht. Seine Härtung weist, wie Abb. 1 erkennen läßt, bei etwa  $1 \cdot 10^{15}$  Deuteronen/cm<sup>2</sup> eine Sättigung auf. Bei dieser Bestrahlungsdosis wird im Mittel pro Gitteratom eine Energie von 2 eV zugeführt. Die Energie der Deuteronen wurde zwischen 7 und 12 MeV

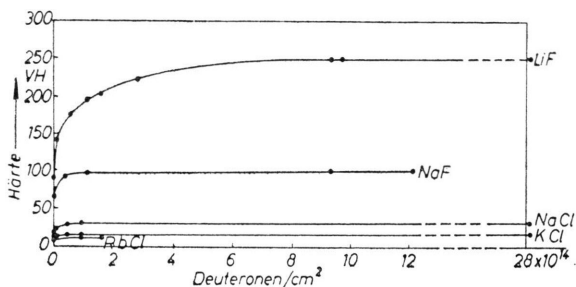


Abb. 1. Die Vickers-Härte von Alkalihalogenid-Einkristallen in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis.

variiert, ohne daß sich Unterschiede in der Sättigungshärte zeigten. Bestrahlungen mit  $\alpha$ -Teilchen von 5 bis 7 MeV führten ebenfalls zum gleichen Resultat. Die Sättigungshärte ist somit in weiten Grenzen von der Ionisierungsdichte der Strahlung unabhängig. Spaltet man die obersten Schichten des bestrahlten Kristalls ab, so erhält man in tieferen Schichten die gleiche Härte. Die Härtung ist also kein Oberflächeneffekt, sondern gleichmäßig auf das bestrahlte Volumen verteilt.

Aus den LAUE- und GUINIER-Aufnahmen können nur obere Grenzen für die Störung des Gitters angegeben werden. Es wird weniger als eine Fehlstelle pro  $10^4$  Atome erzeugt, und die Änderung der Gitterkonstante ist kleiner als  $5 \cdot 10^{-3}$ . Das Gitter des LiF wird also im Einklang mit Untersuchungen von STECH<sup>2</sup> nur wenig gestört. Gitterstörungen, die durch röntgenographische Methoden nachweisbar sind, werden erst bei wesentlich stärkerer Ionisation oder durch Beschuß mit mehr als  $10^{17}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> erzeugt<sup>3-5</sup>.

Für die Bestimmung der Härteänderung beim Tempern wurden die bestrahlten Kristalle aufgeteilt. Die Teile wurden in einem Tiegelofen für verschieden lange Zeitabschnitte auf einen Kupferblock der angegebenen Temperatur gepreßt und nach Abkühlung auf Zimmertemperatur auf ihre Härte untersucht. Abb. 2 und 3 zeigen die Ergebnisse. Abb. 4 gibt einen Überblick über die Veränderungen im optischen Absorptionsspektrum durch Tempern. Die Kristalle sind in Übereinstimmung mit Messungen von CASLER u. a.<sup>6</sup> bei 300 °C schon weitgehend ausgebleicht. Die Abnahme der Härte bleibt dagegen bis 300 °C gering. Erst bei 500 °C werden die Gitterstörungen, welche die Härtezunahme verursachen, vollständig beseitigt. Verfärbung und Härtung werden

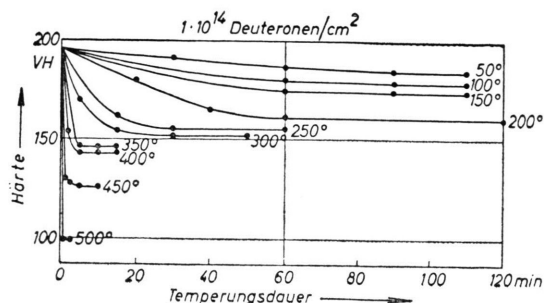


Abb. 2. Ausheizkurven von durch Deuteronenbeschuß gehärteten LiF-Einkristallen. Die Kristalle wurden nach dem Beschuß bei der als Parameter angegebenen Temperatur getempert und nach Abkühlung auf Zimmertemperatur auf ihre Härte untersucht.

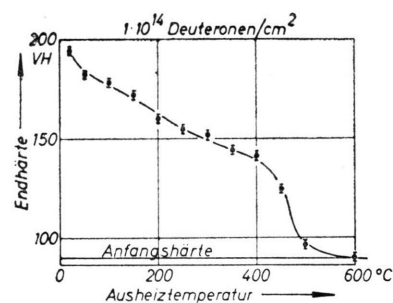


Abb. 3. Die Härte von LiF-Einkristallen nach Erreichen des Endwertes beim Tempern als Funktion der Temperatur. Die eingetragenen Fehlergrenzen sind geschätzt.

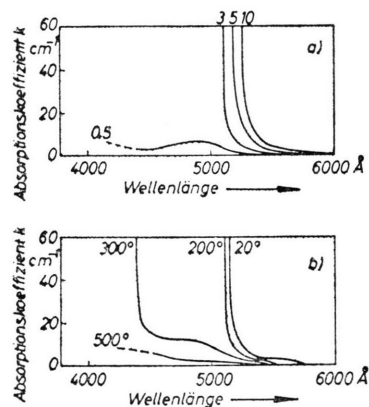


Abb. 4. Optische Absorptionsspektren von mit Deuteronen bestrahlten LiF-Einkristallen. a) Für verschiedene Bestrahlungsdosen in Einheiten von  $10^{14}$  Deuteronen/cm<sup>2</sup>. b) Nach Tempern bei verschiedenen Temperaturen. Bestrahlungsdosis:  $3 \cdot 10^{14}$  Deuteronen/cm<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> B. STECH, Z. Naturforschg. 7a, 175 [1952].

<sup>3</sup> M. LAMBERT u. A. GUINIER, C. R. Acad. Sci., Paris 244, 2791 [1957]; 245, 526 [1957].

<sup>4</sup> D. T. KEATING, Phys. Rev. 97, 832 [1955].

<sup>5</sup> D. BINDER u. W. J. STURM, Phys. Rev. 96, 1519 [1954].

<sup>6</sup> R. CASLER, P. PRINGSHEIM u. P. YUSTER, J. Chem. Phys. 18, 887 [1950].

also durch verschiedenartige Gitterstörungen hervorgerufen<sup>7</sup>.

Die durch ionisierende Strahlung in LiF erzeugten Gitterstörungen sind hauptsächlich FRENKEL-Defekte<sup>5, 8</sup>, die sich nach röntgenographischen Untersuchungen von KEATING<sup>4</sup> und von LAMBERT und GUINIER<sup>3</sup> bevorzugt in bestimmten Gitterebenen bilden. Die Störungen erzeugen Verspannungen im Kristall und verhindern ein Abgleiten von Versetzungen, wodurch die Zugfestigkeit und die Härte des Kristalls erhöht werden. Die Zunahme der Härte mit der Bestrahlungsdosis weicht schon bei kleinen Deuteronenintensitäten vom linearen Anstieg ab und nähert sich einem Sättigungswert. Das bedeutet, daß schon bei geringen Konzentrationen eine Rückreaktion einsetzt, wahrscheinlich derart, daß neu erzeugte Zwischengitteratome mit Fehlstellen rekombinieren, die von vorher eingeschossenen Deuteronen hervorgerufen worden sind. Der hohe Wirkungsquerschnitt der Rückreaktion zeigt, daß die Beweglichkeit eines

Teils der Zwischengitteratome schon bei Zimmertemperatur relativ groß ist. Andererseits zeigen die Ausheizkurven, daß ein Teil der Gitterstörungen erst bei mehr als 400 °C ausheilt. Nach SEEGER<sup>9</sup> können diese erst bei hohen Temperaturen ausheizbaren Strahlungsschädigungen auf Zonen beruhen, die eine wesentlich geringere Dichte aufweisen als der umgebende wenig gestörte Kristall.

Herrn K. WEBER vom Mineralogischen Institut der Universität sind wir für röntgenographische Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

<sup>7</sup> Vgl. K. LINTNER u. E. SCHMID, *Erg. exakt. Naturw.* **28**, 392 [1954/55].

<sup>8</sup> F. SEITZ u. J. KOEHLER, *Solid State Physics*, Bd. II, Academic Press, New York 1956, S. 443.

<sup>9</sup> A. SEEGER, *Z. Naturforschg.* **13 a**, 54 [1958].

### Zur Frage der Tribo-Photostimulation-Coelektronenemission von Aluminium-Oberfläche

Von I. BÓJKO und M. PIÓRÓ

Katedra Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Opolu, Polska

und B. SUJAK

Zakład Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski, Polska

(Z. Naturforschg. **13 a**, 799—800 [1958]; eingeg. am 27. Dezember 1957)

GRUNBERG und WRIGHT<sup>1</sup> berichteten von 3 Maxima der Photostimulation-Coelektronenemission geritzter Al-Oberflächen im Wellenlängenbereich von 4000 Å bis 7000 Å, und zwar um 4700 Å, um 5200 Å und oberhalb 6000 Å. Diese Maxima wurden mit Elektronen besetzten Haftstellen zugeschrieben, die in der Oberflächenschicht durch das Ritzen entstehen und den F'-Zentren in Alkalihalogeniden ähnlich sein sollen, wie das bei KCl- und NaCl-Deckschichten angenommen wurde<sup>2</sup>. GRUNBERG und WRIGHT<sup>3</sup> stellten weiterhin fest, daß auch andere Eingriffe in die Oberfläche des Aluminiums, z. B. Dehnen und Aufdampfen, zu der gleichen spektralen Verteilung der Photostimulation-Coelektronenemission führen. Bei den Untersuchungen wurde ein Lichtabsorptionsfiltersatz zur Monochromatisierung des Lichtes benutzt.

LINTNER und SCHMID<sup>4</sup> sowie WEINBERGER und MÜLLER<sup>5</sup> (siehe auch EDLINGER und MÜLLER<sup>6</sup>) konnten dagegen nur eine Verschiebung der Grenzwellenlänge nach größeren Wellenlängen bis ca. 4000—4500 Å an gedehnten und geritzten poly- sowie monokristallinen

Al-Proben feststellen. Die zuletzt genannten Autoren arbeiteten mit prismatisch zerlegtem Licht. Die untersuchten, deformierten Al-Oberflächen stellten einen Teil der Wand des Meßzählrohrs dar. Bei GRUNBERG und WRIGHT waren dagegen die deformierten Al-Oberflächen von dem Zählvolumen mittels eines Gitters abgeschirmt.

Nach Untersuchungen über das Auslösen der Photostimulation-Coelektronenemission mittels einer Funkenentladung an Luft (SUJAK und MADER<sup>7</sup>) ist zwischen der Emission einer geritzten Al-Oberfläche, die hauptsächlich einer Freilegung der frischen Metalloberfläche zuzuschreiben wäre, und der Emission aus der Oxydschicht (Haftstellenemission) zu unterscheiden. Danach wäre aber, wenn die geritzte Al-Probe nicht vorher speziell oxydiert wurde, eine Photostimulation-Coelektronenemission zu erwarten, die keine Maxima in dem Wellenlängenbereich 4000—7000 Å aufweist.

Wir haben deshalb die spektrale Verteilung der Photostimulation-Coelektronenemission von mit Stahl geritztem Aluminium mittels einer Anordnung, die der von GRUNBERG und WRIGHT ähnlich war, zu messen versucht.

Zum Messen der Emissionsintensität haben wir ein Graphitzählrohr (1 cm Hg Alkohol und 9 cm Hg Argon), das von der untersuchten Al-Probe mittels eines Gitters abgetrennt war, benutzt. Das Licht einer Glühbirne wurde mittels eines Glasabsorptionsfiltersatzes (S-Filter zu dem Zeiß-Pulfrich-Photometer) zerlegt und die jeweils durchgehende Lichtenergie mit einem Thermoelement und Galvanometer gemessen. Die Oberflächen der Al-Proben wurden an Luft, im Dunkeln mit Stahl abgeschabt und die Proben dann sofort in einen Glasrezipienten mit dem Zählrohr eingelegt. Nach ca. 10

<sup>1</sup> L. GRUNBERG u. K. H. R. WRIGHT, *Proc. Roy. Soc., Lond. A* **232**, 403 [1955].

<sup>2</sup> B. SUJAK, *Acta Phys. Polonica* **12**, 241 [1953]; *Acta Phys. Aust.* **10**, 460 [1957].

<sup>3</sup> L. GRUNBERG u. K. H. R. WRIGHT, *Acta Phys. Aust.* **10**, 375 [1957].

<sup>4</sup> H. E. SCHMIDT u. K. LINTNER, *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl.* **164**, 158 [1955].

<sup>5</sup> H. MÜLLER u. F. WEINBERGER, *Acta Phys. Aust.* **10**, 409 [1957].

<sup>6</sup> W. EDLINGER u. H. MÜLLER, *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl.* **163**, 83 [1954].

<sup>7</sup> B. SUJAK u. J. MADER, *Z. Naturforschg.* **13 a**, 55 [1958].