

Untersuchungen über die Neutronenausbeute der Reaktion $D(d, n) He^3$ beim Beschuß verschiedener Metalle mit Deuteronen

VON KLAUS FIEBIGER

Hochspannungslaboratorium Hechingen,
Abt. des Max-Planck-Instituts für Physik der Stratosphäre
(Z. Naturforsch. 11 a, 607—608 [1956]; eingegangen am 25. Mai 1956)

Bei der Verwendung von Deuteronen als Geschosse in Teilchenbeschleunigern lagert sich an Stellen, an denen der Teilchenstrahl auftrifft, Deuterium in das Material ein und führt zur Bildung von „Selbsttargets“.

Diese Erscheinung gibt Anlaß zu einem Störungsgrund von d,d-Neutronen, ganz besonders, wenn der Strahl nur zum kleinen Teil oder nur einen Bruchteil der Zeit für eine vorgesehene Reaktion verwendet wird und im übrigen auf Blenden fällt.

Andererseits kann die Bildung eines Selbsttargets erwünscht sein, wenn es möglich ist, damit Neutronenausbeuten der d,d-Reaktion zu erzielen, die mit der Ausbeute eines Schwer-Eis-Targets vergleichbar sind.

Für die Auswahl der für Blenden oder Targets zu verwendenden Materialien ist die Kenntnis folgender Größen wünschenswert:

- a) Sättigungswert der Neutronenausbeute relativ zu einem D_2O -Target,
- b) zeitlicher Verlauf des Sättigens,
- c) Abhängigkeit des Sättigungswertes der Neutronenausbeute von der Temperatur der Probe,
- d) Verhalten bei Unterbrechung der Bestrahlung, Beständigkeit.

Wir haben Proben von Al, Ag, Au, Cr, Cu, Fe verschiedener Legierungen, Ir, Mo, Ni, Pd, Pt, Ta, Ti, W, Zr und Graphit mit Deuteronen von 300 keV Energie¹ und einem konstanten Teilchenstrom von 50 μA auf einer Fläche von 12 mm Durchmesser beschossen. Der Niederschlag organischer Dämpfe (Treibmitteldampf der Öldiffusionspumpe und Dampf von Dichtungsfetten) auf der Probe wurde durch Kühlung des Auffängerrohres mit flüssiger Luft unmittelbar oberhalb der Probe vermieden. Die Temperatur der Probe ließ sich im Bereich von 50° ... 800° C variieren. Die Messung der Neutronen erfolgte nach zwei unabhängigen Verfahren mit einem „HORNYAK-Scintillator“ (s. Anm.²) und einem „BF₃-Long Counter“ (s. Anm.³).

Die erhaltenen Sättigungswerte, ausgedrückt in der Neutronenausbeute relativ zu einem Schwer-Eis-Target und für Probetemperaturen von etwa 50° C, zeigen starke Unterschiede; sie liegen zwischen 0,02 für Fe und Ta und 0,50 für Au. Ein besonderes Verhalten zeigt Cr, das in galvanisch auf Cu aufgetragener, grau erscheinender Schicht einen Wert von 0,60 ergab, in poliertem Zustand jedoch nur 0,12.

Nach den bisherigen Untersuchungen läßt sich sagen, daß sich die Größe der Sättigungswerte etwa umgekehrt

verhält wie die Diffusionsgeschwindigkeiten des Wasserstoffs in den entsprechenden Substanzen. Materialien mit hoher Wasserstofflöslichkeit (Fe, Ta, Ti, Zr) zeigen einen sehr niedrigen Sättigungswert.

Ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf des Sättigens zeigt Abb. 1. Für Substanzen mit hohem Sättigungswert müssen etwa 10^{19} Deuteronen/cm² aufgestrahlt werden, um die Sättigung zu erreichen. Die Sättigung verläuft in erster Näherung nach der idealen Sättigungskurve $y = 1 - e^{-at}$.

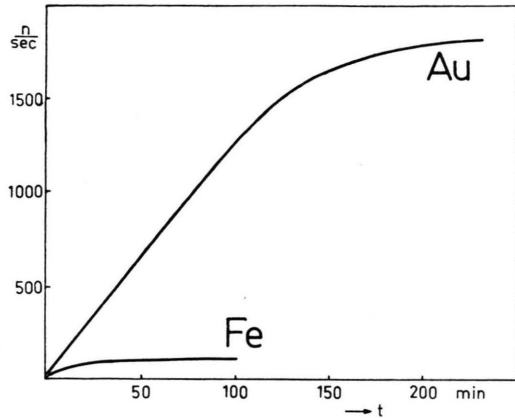


Abb. 1. Zeitlicher Verlauf des Sättigens für Au und Fe.
 $E_D = 300$ keV, $I_D = 50$ μA , $F = 12$ mm ϕ
HORNYAK-Scintillator.

Bei allen untersuchten Metallen nimmt die Ausbeute mit zunehmender Temperatur ab und nähert sich bei 800° C jeweils dem Wert von etwa 0,001. Abb. 2 gibt

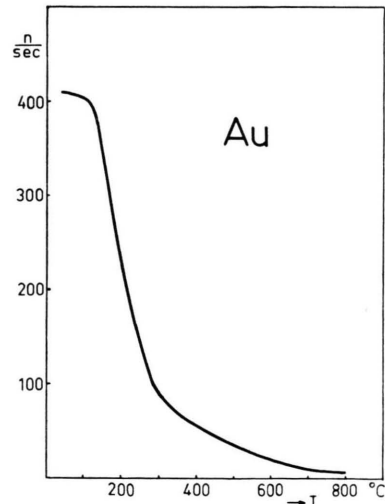


Abb. 2. Temperaturverlauf des Sättigungswertes für Au.
 $E_D = 300$ keV, $I_D = 50$ μA , $F = 12$ mm ϕ ;
HORNYAK-Scintillator.

¹ Die Spannung von 300 kV wurde gewählt, um sicher unter der Schwelle der Reaktion $C(d, n) N^{13}$ mit $E_D = 328$ keV zu liegen.

² W. F. HORNYAK, Rev. Sci. Instrum. **23**, 264 [1952].

³ A. O. HANSON u. J. L. MCKIBBEN, Phys. Rev. **72**, 673 [1947].



den Temperaturverlauf der Sättigung von Au wieder. Bei einigen Metallen (Zr, Ti) nimmt die Ausbeute bei einer bestimmten Temperatur sprunghaft ab. Bei Graphit dagegen bleibt die Ausbeute bis etwa 350°C gleich und sinkt dann nur langsam.

Für den Bau von Auffängern und Blenden eignet sich wegen des niedrigen Sättigungswertes nach den vorliegenden Messungen besonders V₂A-Stahl und Tantal. Werden jedoch die Blenden usw. auf 800°C geheizt, so ist die Art des Materials für die Vermeidung einer Selbsttargetbildung unwesentlich.

Das Verhalten der gesättigten Proben bei Unterbrechung der Bestrahlung wurde bisher nur bei Au und „grauem Cr“ untersucht. Die Beständigkeit ist außerordentlich groß. Bei Zimmertemperatur können die Proben tagelang an Luft oder auch im Hochvakuum verbleiben, ohne daß bei nachfolgender Bestrahlung die Ausbeute eine merkliche Änderung zeigt. Gold und Chrom können also brauchbare Selbsttargets darstellen.

Zur Driftbeweglichkeit der Ladungsträger in hochreinem Silicium

Von M. ZERBST und W. HEYWANG

Werkstoff-Hauptlaboratorium der Siemens & Halske AG.
(Z. Naturforschg. 11 a, 608–609 [1956]; eingegangen am 18. Mai 1956)

Die Driftbeweglichkeit der Minoritätsträger in Silicium wurde bereits von verschiedenen Autoren^{1,2} bestimmt, doch sind die Ergebnisse auch in der letzten vorliegenden Arbeit infolge des mangelnden Reinheitsgrades der zur Verfügung stehenden Proben nur unvollständig und mit größerer Unsicherheit behaftet. So konnte der Zusammenhang zwischen Trägerbeweglichkeit bei Zimmertemperatur und spezifischem Widerstand nur bis zu etwa 30 Ohm·cm verfolgt werden. In diesem Bereich ergab sich eine stetige Zunahme der Beweglichkeit mit zunehmendem Reinheitsgrad, so daß eine Extrapolation auf die Gitterbeweglichkeit in Anlehnung an die Formel von CONWELL und WEISSKOPF³ nur bedingt möglich war. Zudem wiesen die untersuchten p-Typ-Proben eine starke Gegendotierung auf, was nach PRINCE vor allem den Temperaturgang der Beweglichkeit beeinflusste⁴.

Nachdem nun auch infolge des Fortschritts der Präparationstechnik Siliciumproben mit wesentlich höherem Reinheitsgrad vorlagen, bestand die Möglichkeit, diese noch offenen Fragen experimentell aufzugreifen.

Unsere Meßapparatur lehnt sich eng an die auch von PRINCE angewandte Methode von HAYNES und SHOCKLEY⁵ an (Abb. 1). Durch eine auf die Si-Probe aufgesetzte Sonde (Emitter) werden Minoritätsträger in das Silicium injiziert, die in dem Feld zwischen den

Bei Metallen mit hohem Sättigungswert, bei denen die Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserstoffs bei Zimmertemperatur praktisch gleich Null ist, sollten die Deuteronen am Ende ihrer Reichweite im Gitter stecken bleiben. Über die Verteilung des Deuteriums im Gitter werden weitere Untersuchungen angestellt.

Herrn Prof. Dr. E. SCHOPPER danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für die Förderung und Unterstützung bei ihrer Durchführung.

Die Untersuchungen wurden durch Mittel des Schwerpunktsprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft in dankenswerter Weise unterstützt.

An m. b. d. Korr.: In den Nuclear Science Abstracts, Vol. 10, 1938 [1956], LRL 83 wird über eine Arbeit von R. A. HECKMAN u. C. J. EGAN berichtet, die beim Beschuß von Al mit 19,5 MeV Deuteronen eine Einlagerung des Deuteriums am Ende der Deuteronenreichweite in Form eines „Bandes“ finden.

Kontakten 1 und 2 zu einer zweiten Sonde (Collector) driften. Diese ist über einem Verstärker an einen Oszillographen angeschlossen, der eine direkte Messung der Zeit zwischen Injektion des Trägerimpulses und seiner Ankunft am Kollektor gestattet. Mit dem bekannten Abstand l zwischen Emitter und Collector erhält man die Beweglichkeit aus

$$\mu = l/Et. \quad (1)$$

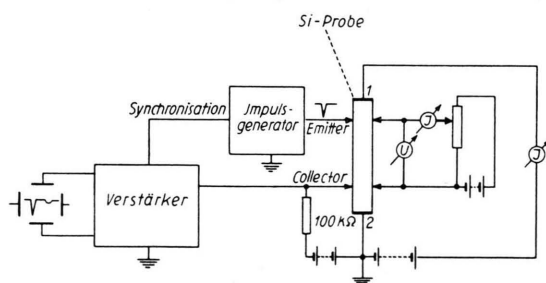


Abb. 1. Messung der Driftbeweglichkeit

Als Ausgangsmaterial wurde hochreines p-Silicium mit einem spez. Widerstand zwischen 200 und 2000 Ohm·cm verwendet. Durch Dotieren mit B bzw. As wurden weitere niederohmige p- und n-Typ-Proben hergestellt, so daß ein weiterer Widerstandsbereich untersucht werden konnte.

Unsere Messungen stimmen im höher dotierten Bereich mit den Werten der reinsten PRINCESchen Proben überein, so daß sich der von uns bestimmte Kurvenast sowohl für μ_n als auch für μ_p gut an die PRINCESche Kurve anschließt (vgl. Abb. 2). Aus unseren Ergebnissen kann auf eine Gitterbeweglichkeit zwischen

¹ J. R. HAYNES u. W. C. WESTPHAL, Phys. Rev. **85**, 680 [1952].

² M. PRINCE, Phys. Rev. **93**, 1204 [1954].

³ E. CONWELL u. V. F. WEISSKOPF, Phys. Rev. **69**, 258 [1946]; **77**, 388, [1950].

⁴ So ergäbe eine Extrapolation der PRINCESchen Messungen unterhalb 100°K eine höhere Löcher- als Elektronenbeweglichkeit im Gegensatz zu den theoretischen Erwartungen.

⁵ J. R. HAYNES u. W. SHOCKLEY, Phys. Rev. **81**, 835 [1951].