

inneren Spannung sehr klein sind. Ferner ist

$$(dB_R/d\sigma)_{\sigma \rightarrow 0} = 9 \lambda \pi \mu_0 / 2 B_s, \quad (2)$$

wo  $(dB_R/d\sigma)_{\sigma \rightarrow 0}$  die Variation der Induktionsremanenz mit der angewandten Zugspannung wiedergibt, wenn die angewandte Zugspannung sich Null nähert, und wo  $B_s$  die Sättigungsinduktion ist.

Die Gln. (1) und (2) wurden auf die folgende Weise untersucht: a) Durch Messungen von  $\mu_0$  (für  $\sigma = 0$ ),  $\mu_R$  (für  $\sigma = 0$ ),  $B_s$ ; b) durch Ermittlung von  $(dB_R/d\sigma)_{\sigma \rightarrow 0}$  aus Kurven wie in der Abbildung und c) durch Werte von TAKAKI<sup>2</sup> für die (100)-Magnetostraktion von Eisen. Die Resultate sind in Tab. 1 angegeben.

Für die drei Temperaturwerte zwischen 600 °C und 700 °C stimmen die theoretischen und experimentellen Werte befriedigend überein. Wenn sich aber die Temperatur dem CURIE-Punkt nähert, tritt, wie schon in der

früheren Untersuchung gefunden, eine bestimmte Abweichung zwischen Theorie und Experiment auf. Dies ist jedoch nicht ganz unerwartet, da wir keine hinreichende Kenntnis des Verhaltens der magnetischen Konstanten in diesem Bereich haben.

Es mag hervorgehoben werden, daß nach BECKER und DÖRING<sup>3</sup> für den Fall der Wandverschiebungen statt Gln. (1) und (2)

$$\mu_R/\mu_0 = 0,364 \text{ und } (dB_R/d\sigma)_{\sigma \rightarrow 0} = 9 \pi \lambda \mu_0 / 4 B_s \text{ gilt.}$$

Diese Gleichungen stimmen bei weitem nicht mit den Versuchsergebnissen überein und zeigen an, daß die Magnetisierung im wesentlichen durch eine Rotation des Bezirkvektors entstand.

Dem S. A. Council for Scientific and Industrial Research sei für einen Zuschuß zur Beschaffung von Apparaten und ein Stipendium für einen der Autoren (B. J. S.) herzlich gedankt.

## Wachstumserscheinungen an Ge-Kristallen

Von G. ZIELASEK

Physikal. Laboratorium der Robert-Bosch-GmbH., Stuttgart  
(Z. Naturforschg. 13 a, 1097—1098 [1958]; eingeg. am 28. August 1958)

Bekanntlich treten auf der Oberfläche von Halbleiterkristallen, wie z. B. aus Ge, Si oder verschiedenen halbleitenden Verbindungen, die nach dem CZOCHRALSKI-Ver-

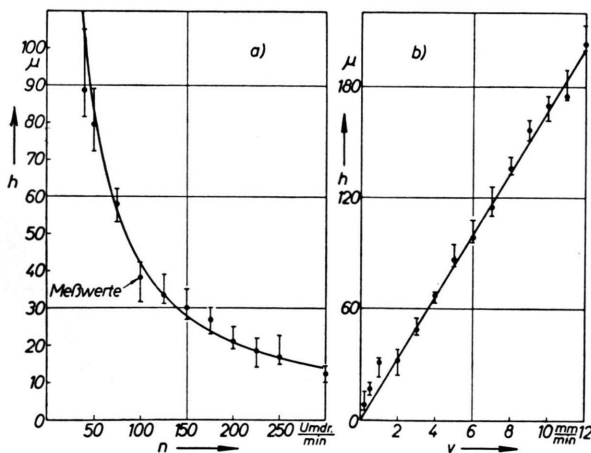


Abb. 1. Verlauf der groben Riefen auf Ge-Einkristallen nach der Schraubenrotation (theoretische Kurve  $h = v/n$  und experimentelle Werte).  $h$  Ganghöhe (Riefenabstand);  $v$  Wachstumsgeschwindigkeit;  $n$  Rotation. a)  $v = \text{const} = 4,2 \text{ mm/min}$ ; b)  $n = \text{const} = 60 \text{ Umdr./min}$ .

fahren aus der Schmelze gezogen werden, grobe und feine Querriefen auf, unabhängig davon, ob der Kristall mono- oder polykristallin ist. Die groben Riefen sind nun be-

dingt durch die Rotation des Kristalles oder der Schmelze während des Wachstums. Sie verlaufen spiralförmig, als ob der Kristall aus der Schmelze herausgeschraubt würde, und gehorchen der Schraubenrotation  $h = v/n$ , wie an zwei Beispielen in Abb. 1 gezeigt ist, wenn  $h$  die Ganghöhe (Riefenabstand),  $v$  die Wachstumsgeschwindigkeit, die beim ausschließlich vertikalen Wachstum der Ziehgeschwindigkeit entspricht, und  $n$  die Rotation sind. Rechtsrotation hat eine linksgängige, Linksrotation eine rechtsgängige Schraube zur Folge (siehe Abb. 2\*). Innerhalb der groben Riefen oder auf Kristallen, die während des Wachstums nicht gedreht werden oder aber sehr langsam wachsen, treten feine Riefen mit einer Breite von der Größenordnung  $10^{-5}$  bis  $10^{-3} \text{ cm}$  auf (siehe Abb. 3), welche auf der Abrißfläche eines aus der Schmelze gewachsenen und plötzlich herausgerissenen Ge-Kristalles als Lamellen erscheinen<sup>1</sup>. Auf den freigelegten Grenzflächen der einzelnen Lamellen kann man an unbehandelten Oberflächen Grübchen beobachten, die einen Durchmesser von der Größenordnung  $10^{-5} \text{ cm}$  aufweisen, wie aus der elektronenmikroskopischen Aufnahme (Abb. 4) zu ersehen ist. Man kann vermuten, daß diese Grübchen auf Gitterfehlstellen in den Zwischenschichten, die zwei Lamellen voneinander trennen, schließen lassen.

Bei starker Fremdstoffkonzentration bilden sich auf dem Kristallmantel neben den Querriefen auch längs bzw. schräg verlaufende Streifen oder eine raue Oberfläche mit polykristallinem Gefüge<sup>2</sup>, wenn die Verunreinigungskonzentration die Löslichkeitsgrenze überschreitet. Außerdem kann mitten im Kristall polykristal-

<sup>1</sup> L. GRAF, Das Lamellenwachstum der Kristalle, Z. Metallkunde 42, 336, 401 [1951].

<sup>2</sup> F. W. DEHMELT, Der Einbau von Fremdatomen in Germanium- und Silicium-Einkristallen. Vorgetragen auf der Achema in Frankfurt am 16. 5. 1955.

\* Abb. 2—5 auf Tafel S. 1084 b.



lines Wachstum ausgelöst werden. Bei Ge-Einkristallen der  $\langle 111 \rangle$ -Richtung mit  $> 1 \cdot 10^{-3} \%$  Sb wurden fremdorientierte Bereiche beobachtet, die bevorzugt in der  $\langle 100 \rangle$ -Richtung orientiert sind. In Abb. 5 sind von zwei verschiedenen Stellen des Kristalles Querschnitte dargestellt, die erkennen lassen, daß viele gleichorientierte Keime der  $\langle 100 \rangle$ -Richtung zu einem großen Bereich im Ge-Kristall der  $\langle 111 \rangle$ -Grundorientierung zusammenwachsen. Erst zum Schluß bilden sich noch 3 andersorientierte Bereiche, die aus dem Kristallinnern an einer

Stelle bis zum Kristallmantel dringen. Besonders bemerkenswert ist, daß die eingeschlossenen fremdorientierten Bereiche eine größere Sb-Konzentration aufweisen als der in  $\langle 111 \rangle$ -Richtung orientierte Grundbereich.

Herrn Prof. Dr.-Ing. L. GRAF (Institut für Metallphysik am Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart) danke ich für fördernde Diskussionen.

Für die Abb. 3 und 4 habe ich Herrn Dr. H. ZEHENDER (Robert Bosch GmbH) zu danken.

## Untersuchung der magnetischen Protonenresonanz im kristallin-flüssigen Azoxy-phenol-di-*p*-*n*-propyläther

VON KARL-HEINZ WEBER \*

Physikalisches Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig  
(Z. Naturforschg. 13 a, 1098—1100 [1958]; eingeg. am 9. September 1958)

In vorangegangenen Arbeiten <sup>1-3</sup> wurde über Untersuchungen der kernparamagnetischen Protonenresonanzabsorption in den nematischen kristallin-flüssigen Phasen der homologen Reihe der Azoxy-phenol-di-*p*-*n*-alkyläther

$H_{2n+1}C_n-O-C_6H_4-(NO)=N-C_6H_4-O-C_nH_{2n+1}$  ( $n=1, \dots, 7$ ) berichtet. In der vorliegenden Arbeit werden die am Propyläther ( $n=3$ ) erhaltenen Ergebnisse mitgeteilt, da uns diese Verbindung seinerzeit noch nicht zur Verfügung stand <sup>4</sup>.

Mit dem früher <sup>1</sup> beschriebenen Kernresonanzspektrometer normaler Auflösung (Feldinhomogenität ca. 0,1 Gauß über den Bereich der Probe) wurden bei einer Feldstärke  $H_0=7750$  Gauß, entsprechend einer Resonanzfrequenz  $\nu_0=33$  MHz, im kristallin-flüssigen Zustand in Abhängigkeit von der Temperatur die Ableitun-

gen  $g'(H)=dg/dH$  der Absorptionslinien  $g(H)$  registriert. Oberhalb des Klärpunktes (Umwandlungspunkt kristallin-flüssig  $\rightarrow$  isotrop-flüssig) beobachtet man eine schmale, strukturlöse, für normale Flüssigkeiten typische Linie, die beim Unterschreiten der Klärpunktstemperatur ( $125^\circ\text{C}$ ) infolge der für den kristallin-flüssigen Zustand charakteristischen Parallelorientierung der Moleküllängsachsen sich sprunghaft verbreitert, wie es die in Abb. 1 (Kurve a) dargestellte, bei  $121,6^\circ\text{C}$  registrierte Linie zeigt. Mit abnehmender Temperatur wächst die Linienbreite, und die bei  $121,6^\circ\text{C}$  bereits angedeutete Tripletstruktur prägt sich mehr und mehr aus, da bei niedrigerer Temperatur die durch intermolekulare Wechselwirkungskräfte verursachte Parallelordnung der Moleküllängsachsen durch die Wärmebewegung weniger gestört wird. Die tiefste Temperatur, bei der infolge der Unterkühlbarkeit der Substanz (Schmelzpunkt  $114,5^\circ\text{C}$ ) der kristallin-flüssige Zustand noch existiert, betrug  $102,0^\circ\text{C}$  (Kurve b). Beim Erstarren wächst die Linienbreite sprunghaft an, und es wird eine strukturlöse Linie (Kurve c) beobachtet. Die Linienverbreiterung beim Erstarren wird durch die Behinderung der im kristallin-flüssigen Zustand vorhandenen freien oder nur wenig behinderten Drehbarkeit der Moleküle um ihre Längsachsen sowie durch die im festen Zustand mögliche

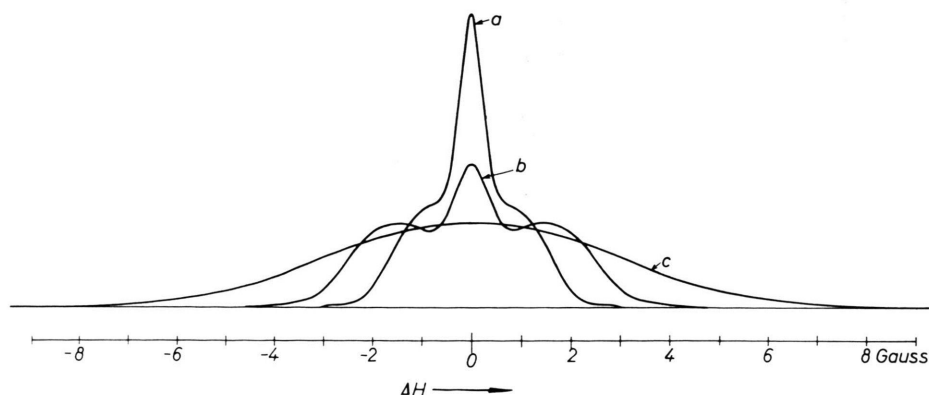


Abb. 1. Linienformen der magnetischen Protonenresonanz im kristallin-flüssigen (Kurve a  $121,6^\circ\text{C}$ , Kurve b  $102,0^\circ\text{C}$ ) und im kristallin-festen Zustand (Kurve c  $30^\circ\text{C}$ ) im Azoxyphenol-di-*p*-*n*-propyläther.

\* Neue Anschrift: VEB Vakutronik, Dresden A 21, Dornblüthstr. 14.

<sup>1</sup> H. LIPPMANN u. K.-H. WEBER, Ann. Phys., Lpz. (6), 20, 265 [1957].

<sup>2</sup> H. LIPPMANN, Ann. Phys., Lpz. (7), im Druck.

<sup>3</sup> K.-H. WEBER, Ann. Phys., Lpz. (7), erscheint demnächst.

<sup>4</sup> Wir danken Herrn Prof. Dr. W. MAIER, Freiburg i. Br., für die Überlassung der Substanz.