

für Ag₂S-Zusatz bei 99 °K (gegenüber 129 °K in AgBr).

Daß Belichtung den Lagerungseffekt verstärkt, könnte man etwa durch einen Vorgang folgender Art zu erklären versuchen: An der Bildung des B-Zentrums seien Bromionenlücken beteiligt, die mit Fremdanionen wegen der entgegengesetzten Überschussladung assoziieren. Während der Belichtung werden Elektronen aus F-Zen-

tren befreit, die Dichte der Bromlücken wird erhöht, der Diffusionsweg verkürzt.

Eine ausführliche Veröffentlichung folgt.

Für anregende Diskussionen sage ich Herrn Prof. O. STASIW und Herrn Dr. J. TELTOW herzlichen Dank.

Durch Versetzungen bedingte innere Reibung in Silber

Von E. BODE

Eduard-Zintl-Institut der Technischen Hochschule Darmstadt
(Z. Naturforsch. 14 a, 762—763 [1959]; eingegangen am 25. Mai 1959)

Amplitudenabhängige innere Reibung

Die Theorie von GRANATO und LÜCKE¹ für den amplitudenabhängigen Anteil der inneren Reibung ist bisher von einer Reihe von Autoren² mit Experimenten an Kupfer bei hohen Frequenzen verglichen worden. Übereinstimmend wurde in diesen Arbeiten von Abweichungen von der Theorie zu höheren Werten der inneren Reibung bei kleinen Amplituden berichtet. GRANATO und LÜCKE wiesen darauf hin, daß sich Meßfehler in diesem Amplitudenzbereich außerordentlich stark auswirken.

Abb. 1 zeigt einige Messungen an Feinsilber³ bei 203 °C und 0,20 Hz mit dem Torsionspendel nach KE. Der amplitudenabhängige Anteil der inneren Reibung \bar{Q}_A^{-1} , gemessen während des Abklingens der Schwingung nach einmaliger Anregung zu verschiedenen Anfangsamplituden, wurde aufgetragen als Funktion der maximalen Dehnungsamplitude ε_{\max} , die in der „Rinde“ des tordierten Drahtes auftritt.

$\bar{Q}_A^{-1}(\varepsilon_{\max})$ ist ein Mittelwert, für den man den Ausdruck

$$\bar{Q}_A^{-1}(\varepsilon_{\max}) = \frac{4}{\varepsilon_{\max}} \int_0^{\varepsilon_{\max}} \varepsilon^3 Q_A^{-1}(\varepsilon) d\varepsilon \quad (1)$$

aufstellen kann. \bar{Q}_A^{-1} gewinnt man daraus nach:

$$Q_A^{-1}(\varepsilon_{\max}) = \bar{Q}_A^{-1}(\varepsilon_{\max}) + \frac{\varepsilon_{\max}}{4} \frac{d\bar{Q}_A^{-1}(\varepsilon_{\max})}{d\varepsilon_{\max}}. \quad (2)$$

Alle gemessenen Kurven zeigten zwei Besonderheiten:

1. \bar{Q}_A^{-1} ist reproduzierbar von derjenigen Amplitude abhängig, die zu Beginn der Messung angeregt wurde.

2. Bei einer kritischen Dehnung, die offenbar mit steigender Anfangsanregung zunimmt, verschwindet \bar{Q}_A^{-1} . Die Meßkurven weisen hier einen Knick auf.

In der Probe wird demnach durch die voraufgegangenen Schwingungen ein Anregungszustand erzeugt, der

in einer mit der Dauer des Experiments vergleichbaren Zeit wieder abklingt, da die Messungen reproduzierbar sind. Ein ähnliches Verhalten von Kupfer bei 37 kHz und 175—350 °C ist inzwischen von BESHERS⁴ berichtet

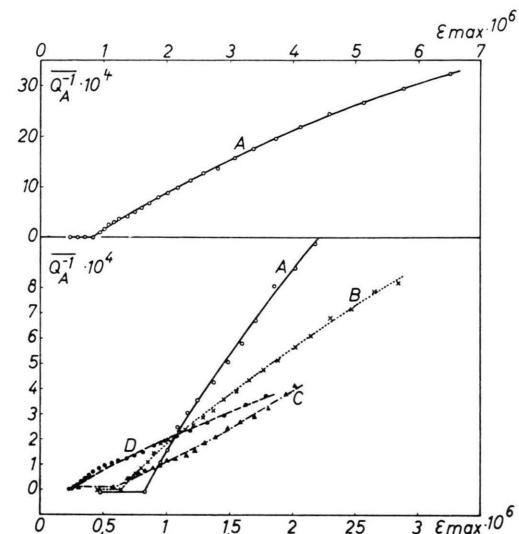


Abb. 1. Verschiedene Kurven des amplitudenabhängigen Anteils der inneren Reibung bei 203 °C und 0,20 Hz. Im oberen Teil des Bildes ist Messung A in verkleinertem Maßstab vollständig wiedergegeben.

worden. Gl. (2) stellt unter diesen Umständen nur eine Näherung für den Fall einer geringen zeitlichen Änderung des Anregungszustandes dar. Bestimmt man \bar{Q}_A^{-1} nach Gl. (2) und trägt, entsprechend dem Ausdruck von GRANATO und LÜCKE:

$$Q_A^{-1} = \frac{4(1-\nu)}{\pi^4} A L_N^2 \frac{L_N}{L_c} \frac{\Gamma}{\sigma_0} \exp\left(-\frac{\Gamma}{\sigma_0}\right) \quad (3)$$

die Größe $\log(Q_A^{-1} \varepsilon)$ gegen $1/\varepsilon$ auf, so erhält man statt der nach der Theorie zu erwartenden Geraden im Bereich oberhalb der kritischen Dehnung Kurven, die den z. B. von NIBLETT und WILKS² an Kupfer gefundenen weitgehend ähnlich sind. Abb. 2 zeigt die aus Messung A direkt (a) und nach Anwendung von Gl. (2) (b) gewonnene Kurve sowie eine Kurve (c), bei der eine vereinfachte Mittelung über alle Gleitrichtungen der

Phil. Mag. (8) 3, 519 [1958]. — H. L. CASWELL, J. Appl. Phys. 29, 1210 [1958].

³ E. BODE, Dissertation, Darmstadt 1958.

⁴ D. N. BESHERS, J. Appl. Phys. 30, 250 [1959].

¹ A. GRANATO u. K. LÜCKE, J. Appl. Phys. 27, 583, 789 [1956].

² z. B.: D. H. NIBLETT u. J. WILKS, Proc. Phys. Soc. 73, 95 [1959]. — R. S. BARNES, N. H. HANCOCK u. E. C. H. SILK,



Versetzungen berücksichtigt ist, nicht aber die Mittelung über alle damit verträglichen Gleitebenenlagen. Die Abweichungen von der Geraden liegen auch bei niedrigen Amplituden weit außerhalb der Meßfehler. Aus einer mittleren Steigung der Kurve (c) ergibt sich ein Wert

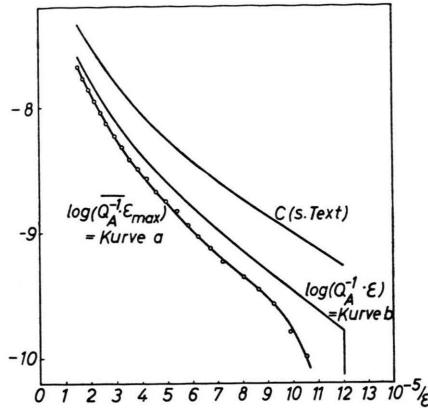


Abb. 2. Messung A aus Abb. 1, aufgetragen nach GRANATO und LÜCKE. Nähere Beschreibung s. Text.

für die Abreißspannung, der von der richtigen Größe ist, wenn man die im Gitter vorhandenen Kupferatome (Gehalt 0,02 bis 0,04 At.-% nach Angabe der Herstellerfirma) als „pinning points“ annimmt und die Versetzungen als dissoziert ansieht. Die Bindung an den Stapelfehler ist wahrscheinlich neben der Bindung an die Halbversetzungen in erster Näherung zu vernachlässigen.

Ein Stück der Probe wurde angeschliffen, elektro-poliert und die Durchstoßpunkte der Versetzungen durch thermische Ätzung nach HENDRICKSON und MACHLIN⁵ sichtbar gemacht. Die Auszählung der Ätzgruben ergab Werte zwischen 3 und $8 \cdot 10^6/\text{cm}^2$. Mit Hilfe der so bestimmten Versetzungsliniendichte ergibt sich aus Kurve (c) :

$$\Delta L_N^{-2} \approx 0,15.$$

Das bedeutet, daß sich nur etwa 5% der Versetzungen mit günstig gelegenen Gleitrichtungen oder etwa 2% aller vorhandenen Versetzungen am Prozeß des Gleitens und Losreißen beteiligen. Ähnlich niedrige Werte haben auch GRANATO und LÜCKE aus Messungen an Proben berechnet, für deren Versetzungsliniendichte geschätzte Werte verwendet wurden.

⁵ A. A. HENDRICKSON u. E. S. MACHLIN, Acta Met. 3, 64 [1955].

⁶ W. SEITH u. E. PERETTI, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 42, 570 [1936].

Für die Abweichungen von der Theorie von GRANATO und LÜCKE könnte man eine Reihe von Ursachen vorschlagen, so etwa für die Krümmung der Kurven: Vernachlässigungen in der Rechnung, so daß Gl. (3) nur für $\sigma_0 \ll \Gamma$ gilt; unvollständige Mittelung über alle im Kristall vorkommenden Versetzungsarten; mehr als eine Art von „pinning points“, wenn die Art mit geringerer Bindungsenergie an die Versetzung in genügend kleiner Konzentration vorhanden ist; und, gleichzeitig für die Zeitabhängigkeit: eine zeitlich veränderliche Konzentration der „pinning points“ an der Versetzung. (Aus der auf 200 °C extrapolierten Diffusionskonstanten von Kupfer in Silber⁶ erhält man eine Sprungfrequenz von ca. 10/sec, so daß während der Auslenkung der Versetzung aus ihrer Ruhelage während jeder halben Schwingungsperiode Kupferatome durch die Gleitebene hindurch in den anderen Halbraum geraten könnten, wo zwischen ihnen und der zurückkehrenden Versetzung Abstoßung herrscht.)

BESHERS⁴ konnte an Hand der zeitlichen Änderung der inneren Reibung von 99,999%-Kupfer bei konstanter Amplitude zeigen, daß sich Leerstellen an dem sich abspielenden Prozeß beteiligen. Mit dieser Möglichkeit muß natürlich auch hier gerechnet werden.

Amplituden-unabhängiger Anteil der inneren Reibung

Über einen Mechanismus, der zu einer amplituden-unabhängigen inneren Reibung bei niedrigen Frequenzen führt, ist noch wenig bekannt. Deshalb erschien eine Feststellung interessant, die sich im Verlauf der Untersuchung der inneren Reibung des Silbers ergab: Eine Wasserstoffatmosphäre beeinflußt bei Zimmertemperatur die innere Reibung. Nach einer Änderung des Wasserstoffdruckes nähert sich Q^{-1} nach Art einer Sättigungskurve einem neuen Grenzwert, der um so tiefer liegt, je höher der Druck gewählt wurde. Die Geschwindigkeit des Vorgangs entspricht größenordnungsmäßig der Geschwindigkeit der Diffusion von Wasserstoff in die Probe bzw. aus der Probe heraus, zu deren Berechnung bei höheren Temperaturen gemessene Diffusionskonstanten⁷ auf Zimmertemperatur extrapoliert wurden. Bei 200 °C läuft der Vorgang sehr viel schneller ab, und nur bei Drucken unterhalb einiger Torr sind noch meßbare Änderungen der inneren Reibung zu erzielen. Die Untersuchungen werden fortgeführt.

Herrn Prof. Dr. H. WITTE danke ich für die freundliche Unterstützung dieser Arbeit und für sein ständiges Interesse.

⁷ W. EICHENAUER, H. KÜNZIG u. A. PEBLER, Z. Metallkd. 49, 220 [1958].