

den $(2+)$ -Niveaus in W^{182} mit der Spinänderung Null oder Eins verknüpft sein müssen; diese Übergänge sind also „non-unique“ einfach verboten oder erlaubt. Dann bleibt zu erklären, warum der Übergang zum $(2+)$ -Niveau von 0,100 MeV so stark retardiert ist: Die oben angegebene Intensitätsgrenze entspricht einer Verzögerung um etwa den Faktor 10^5 gegenüber einem „durchschnittlichen“ einfach verbotenen Übergang mit Spinänderung Null oder Eins. Das Schalenmodell mit starker Spin-Bahn-Kopplung³ erlaubt in diesem Gebiet keine sichere Konfigurationszuordnung. Eine starke Bahndrehimpuls-Änderung bei der Umwandlung des Neutrons in ein Proton ist durchaus möglich. Andererseits können auch kollektive Effekte ausschlaggebend

sein. Im Rahmen des Rotationsmodells ist die starke Verzögerung durch K-Verbotenheit erklärbar⁴.

Im Fall des β -Überganges in den Grundzustand können die gleichen Verhältnisse vorliegen. Es ist aber auch möglich, daß dieser Übergang aus Spin- und Paritätsgründen zweifach oder dreifach verboten ist.

Für die Untersuchung wurden Apparate der Deutschen Forschungsgemeinschaft mitverwendet.

³ M. GOEPFERT-MAYER u. J. H. D. JENSEN, Elementary Theory of Nuclear Shell Structure, John Wiley & Sons, New York 1955. – P. F. A. KLINKENBERG, Rev. Mod. Phys. **24**, 63 [1952].

⁴ G. ALAGA, K. ALDER, A. BOHR u. B. R. MOTTelson, Dan. Mat. Fys. Medd. **29**, no. 9 [1955].

Dielektrische Untersuchungen an polykristallinem Selen

Von W. LUDWIG

Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin,
Physikalisch-Technisches Institut,
Bereich Elektronische Halbleiter

(Z. Naturforschg. **15** a, 285–286 [1960]; eingegangen am 12. Februar 1960)

Das Dispersionsverhalten der DK und des Verlustwinkels $\tan \delta(\omega)$ von hochgereinigtem polykristallinem Selen^{1–3} mit einer Dotierung von 0,1 Gew.-% Br wurde im Frequenzbereich von 0,5–1000 kHz, und zwar zwischen $+40^\circ\text{C}$ und -160°C , untersucht. Für relativ große Verluste, d. h. für $\tan \delta > 1$, diente eine modifizierte NERNST-Brückenordnung, für kleine Verluste wurde mit einer SCHERING-Brückenordnung nach einem Substitutionsverfahren gemessen. Als Kondensator diente ein koaxiales Elektrodensystem aus Pt-Blech. Dieses System befand sich in einem Glasgefäß, in das das Selen unter Hochvakuum eindestilliert wurde. Vor den Messungen wurden die Proben jeweils 160 Stdn. bei 95°C und 210°C getempert.

Die Frequenzabhängigkeit der komplexen DK

$$\bar{\epsilon}(\omega) = \epsilon'(\omega) - i\epsilon''(\omega) \quad \text{mit} \quad \tan \delta(\omega) = \epsilon''(\omega)/\epsilon'(\omega)$$

zeigt ein für eine anomale Dispersion typisches Frequenzverhalten, dem zusätzlich Leitfähigkeitsverluste überlagert sind (Abb. 1). Berücksichtigt man diese zusätzlich auftretenden Leitfähigkeitsverluste, die den proportional $1/\omega$ verlaufenden Anstieg des gemessenen $\tan \delta(\omega)$ bei kleinen Frequenzen bedingen, so erhält man für $\epsilon''(\omega)$ glockenförmige Kurven mit entsprechenden Maxima bei den Dispersionsfrequenzen $\omega_0(T)$, die stark temperaturabhängig sind (Abb. 2). Wird $\epsilon''(\omega)$ über $\epsilon'(\omega)$ bei einer Meßtemperatur $T=133,8^\circ\text{K}$ aufgetragen, so erhält man einen COLE-Kreis⁴, dessen Mittelpunkt eindeutig unterhalb der Abszisse liegt. Die Meßwerte lassen sich durch das folgende Dispersions-

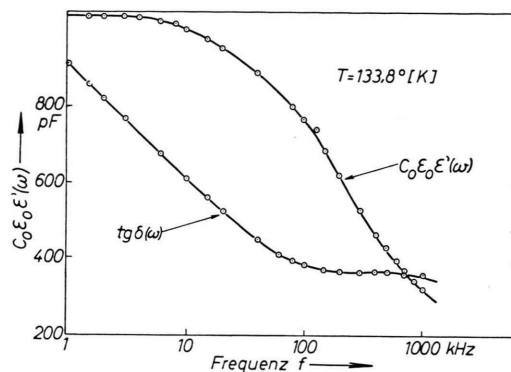


Abb. 1. $C_0 \epsilon_0 \epsilon'(\omega)$ in Abhängigkeit von der Frequenz f . $C_0 \epsilon_0$ ist die Leerkapazität des Elektrodensystems mit ca. $6 \cdot 10^{-12}$ F.

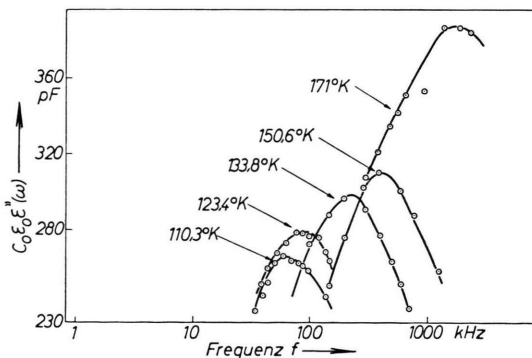


Abb. 2.

schema beschreiben:

$$\bar{\epsilon}(\omega) - \epsilon_\infty' = \frac{[\epsilon_s' - \epsilon_\infty']}{1 + (i\omega\tau_0)^{1-\alpha}}; \quad \alpha = 0,26.$$

ϵ_s' ist der Wert von $\epsilon'(\omega)$ bei $\omega=0$; ϵ_∞' ist der Wert von $\epsilon'(\omega)$ für bezüglich der Dispersionsfrequenz ω_0

von Ca, Mg und As gefunden. Über den Halogengehalt können zunächst keine Angaben gemacht werden.

⁴ R. H. COLE, J. Chem. Phys. **25**, 493 [1955].

¹ F. ECKART, Ann. Phys., Lpz. **14**, 233 [1954].

² F. ECKART u. H. BERG, Naturwiss. **45**, 335 [1958].

³ Spektralanalytisch wurden unter optimalen Anregungsbedingungen lediglich gerade noch nachweisbare Spuren



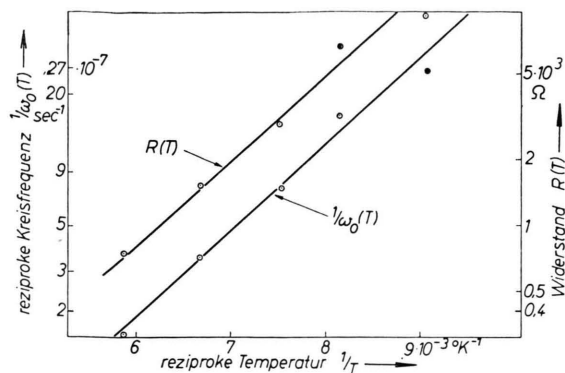


Abb. 3.

sehr große Frequenzen. τ_0 ist eine mittlere Relaxationszeit; α ist ein Maß für die Verteilung der um τ_0 kontinuierlich verteilten Relaxationszeiten, die zusätzlich wirken. Da $\alpha > 0$ ist, liegt kein einheitlicher Relaxationsmechanismus vor.

Für die Änderung der mittleren Dispersionsfrequenz $\omega_0(T)$ mit der Temperatur gilt:

$$\omega_0(T) = A \cdot e^{-U/kT} \quad \text{mit } U = 0,08 \text{ eV.}$$

Bemerkenswert ist, daß der Gleichstromwiderstand $R(T)$

auch proportional $e^{+U/kT}$ mit $U = 0,08 \text{ eV}$ verläuft (Abb. 3).

Es wurde für $[\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty]$ eine charakteristische Temperaturabhängigkeit gemessen, und zwar gilt:

$$[\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty] \sim 1/T.$$

Diese Effekte sind bei den von uns untersuchten mit 0,1 Gew.-% Br dotiertem Selen vermutlich durch Platzwchselfvorgänge⁵ bedingt. Nach dieser Theorie verläuft $\omega_0(T) \sim e^{-U/kT}$. Es ist außerdem $[\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty] \sim N/T$, wenn N die Konzentration der an dem Platzwchselfvorgang beteiligten Ladungsträger ist. Ein Vergleich mit unseren Messungen ergibt, daß im untersuchten Temperaturbereich $N(T) \approx \text{const}$ sein muß. Diese Aussage stimmt aber mit Ergebnissen aus HALL-Effekts-, Leitfähigkeits- und Thermokraftmessungen überein^{6,7}. Die Aktivierungsenergie U hängt eindeutig von den Temperaturbedingungen ab. Eine Temperung der Meßprobe über 150 Stdn. bei jeweils einer diskreten Temperatur zwischen $+100^\circ\text{C}$ und $+210^\circ\text{C}$ zeigt, daß U mit einem Wert von 0,29 eV bei einer Temperung bei 100°C etwa hyperbolisch auf 0,035 eV bei einer Temperung bei 210°C abfällt. Die Untersuchungen werden weitergeführt.

Herrn Dr. F. ECKART bin ich für fördernde Anregungen und für sein stetes Interesse an dem Fortgang der Arbeit zu besonderem Dank verpflichtet.

⁵ H. FRÖHLICH, Theory of Dielectrics. Clarendon-Press, Oxford 1949.

⁶ M. I. IGLIZIN, ZUR. Techn. Fiz. XXII, 885 [1952] (russ.).

⁷ L. M. NIJLAND, Philips Res. Rep. 9, 259 [1954].