

Diskussion

Die bisher bekannten Lebensdauerwerte des 2p<sub>6</sub>-Niveaus sind in der Tab. 1 zusammengefaßt. Innerhalb der Fehlergrenzen besteht eine gute Übereinstimmung des vorliegenden Ergebnisses mit den Werten von KLOSE <sup>6</sup>, BENNETT u. a. <sup>5</sup> und Mc LEAN <sup>3</sup>. Wegen der hohen relativen Genauigkeit der Lebensdauerwerte verschiedener 2p-Niveaus untereinander kann angenommen werden, daß die von KLOSE angegebenen Werte der übrigen 2p-Niveaus ebenfalls eine sehr hohe Genauigkeit aufweisen.

Zur Durchführung der in diesem Bericht mitgeteilten Arbeiten sind Zuschüsse des Bundesministeriums für Wissenschaftliche Forschung verwendet worden.

Autor	Methode	Ergebnis
Diese Arbeit		17 ± 2
KLOSE <sup>6</sup>	a	22 ± 1; 10% system. Fehler
BENNETT et al. <sup>5</sup>	a	31 ± 13
OSHEROVICH <sup>6</sup>	b	115
GRIFFITHS <sup>4</sup>	b	90 ± 9
Mc LEAN <sup>3</sup>	c	< 20
PERY-THORNE <sup>2</sup>	d	< 45,7
LADENBURG <sup>1</sup>	d	13 ± 1,6

Tab. 1. Mittlere Lebensdauer des Neonniveaus 2p<sub>6</sub> in Nano-sekunden. a direkte Messung (verzögerte Koinzidenz), b direkte Messung (Phasenverschiebung), c aus Emission, d aus anomaler Dispersion.

Ein Beitrag zur Analyse des Gitterschwingungsspektrums von Silicium zwischen 13,7 und 16,8 µm

E. SUTTER

Institut B für Physik der Technischen Hochschule Braunschweig

(Z. Naturforschg. 21 a, 177–178 [1966]; eingeg. am 14. Dezember 1965)

In den letzten Jahren wurde das Gitterschwingungsspektrum von Silicium im nahen und fernen Ultrarot in einer Reihe von Arbeiten sowohl theoretisch als auch experimentell untersucht <sup>1-4</sup>. Man erwartet in dem Spektralbereich zwischen 13,7 und 16,8 µm das Auftreten einer Reihe von Absorptionsbanden, die von Zwei- und Drei-Phononen-Prozessen herrühren. Nachdem es zunächst nur gelungen war, die einzelnen Phononenzweige in ihrem Einfluß pauschal zu erfassen, konnten dann später die Absorptionsbanden, die von den verschiedenen kritischen Punkten im k-Raum herrühren, einzeln unterschieden werden. Jedoch reichte die spektrale Auflösung nicht aus, um die gesamte Struktur im Absorptionsspektrum sicher aufzulösen, so daß nicht alle erwarteten Übergänge beobachtet werden konnten. In der vorliegenden Arbeit wurde nun der oben erwähnte Spektralbereich genau vermessen und eine Reihe neuer Banden beobachtet, die erlaubten Übergängen an kritischen Punkten zugeordnet werden konnten.

Die experimentelle Anordnung bestand aus einem selbstgebaute Spektrometer. Zur spektralen Zerlegung des Lichtes enthielt es einen Doppelmonochromator der Firma Carl Leiss, Berlin-Steglitz, der mit Steinsalzprismen ausgerüstet war und der auf Grund seines Strahlenganges gegenüber einem Einfachmonochromator die doppelte lineare Dispersion des Spektrums liefert. Als Lichtquelle diente ein Nernst-Stift, dessen Strah-

lung mit 12,5 Hz moduliert wurde. Als Strahlungsempfänger kam ein Thermoelement zur Verwendung und dahinter ein Verstärker mit einem phasenempfindlichen, gesteuerten Gleichrichter. Um ein möglichst hohes Auflösungsvermögen zu erzielen, wurde mit einer Zeitkonstanten der Anzeige von über 1 Minute gearbeitet.

Als Probenmaterial diente einkristallines Reinstsilicium der Firma Wacker-Chemie München, dessen spezifischer Widerstand 5600 Ωcm war.

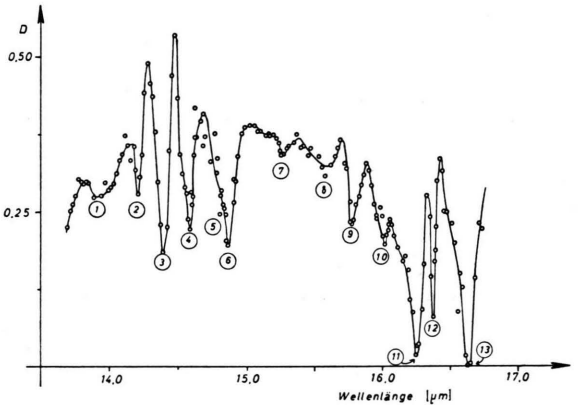


Abb. 1. Durchlässigkeit von einkristallinem Reinstsilicium zwischen 13,7 und 16,8 µm bei Zimmertemperatur.

Die Meßergebnisse zeigt die Abbildung. Es wurden in dem Spektralbereich zwischen 13,7 und 16,8 µm 13 Banden beobachtet, die in der Tabelle nochmals zusammengestellt sind. Diejenigen Banden, die schon in den Arbeiten von JOHNSON <sup>2,5</sup>, LUDON und JOHNSON <sup>1</sup> und BALKANSKI und NUSIMOVICI <sup>4</sup> beobachtet wurden, sind in der Tabelle gekennzeichnet. Darüber hinaus konnten 6 Banden neu aufgelöst werden. Zur Deutung

<sup>1</sup> R. LUDON u. F. A. JOHNSON, Proc. Intern. Conf. Phys. Semiconductors, Paris 1964.  
<sup>2</sup> F. A. JOHNSON, Proc. Phys. Soc. London 73, 265 [1959].  
<sup>3</sup> F. A. JOHNSON u. W. COCHRAN, Proc. Intern. Conf. Phys. Semiconductors, Exeter 1962.

<sup>4</sup> M. BALKANSKI u. M. NUSIMOVICI, Phys. Status Solidi 5, 635 [1964].  
<sup>5</sup> F. A. JOHNSON, in: Progress in Semiconductors Bd. 9, London 1965.



Nr.	Beobachtete Wellenlänge $\mu\text{m}$	Deutung	Beobachtete Wellenzahl $\text{cm}^{-1}$	Wellenzahl aus Neutronenbeugung	Bemerkung
1	13,92	2 TA(X) + L(X) oder L(W) + TA(W) + TA(X)	717	$711 \pm 11$	breite Bande
2	14,22	TO 1( $\Sigma$ ) + TA 1( $\Sigma$ )	702	705	J
3	14,40	2 TA(L) + TO(X)	694	$691 \pm 14$	J
4	14,59	TO(W) + TA(W)	686	—	J, B
5	14,77	LO(L) + TA(X) + TA(L)	678	$684 \pm 15$	Sattel
6	14,87	TO 2( $\Sigma$ ) + TA 1( $\Sigma$ )	673	—	
7	15,26	LA(L) + TA(L) + TA(X)	655	$644 \pm 14$	
8	15,60	2 TA(L) + L(X)	641	$639 \pm 11$	
9	15,79	LO( $\Delta$ ) + TA( $\Delta$ )	634	630	J
10	16,03	TA 1( $\Sigma$ ) + LO( $\Sigma$ )	623	630	J
11	16,25	TO(X) + TA(X)	615	$613 \pm 10$	J, B
12	16,38	TA 2( $\Sigma$ ) + TO 2( $\Sigma$ )	611	—	
13	16,65	TO(L) + TA(L)	600	$603 \pm 12$	J, B

Tab. 1. Beobachtete Absorptionsbanden in Reinstsilicium bei Zimmertemperatur. J angegeben von JOHNSON u. a.<sup>1,5</sup>; B angegeben von BALKANSKI und NUSIMOVICI<sup>2</sup>.

der Banden kommen bei dem verwendeten Reinstsilicium in diesem Spektralbereich nur Zwei- bzw. Drei-Phononen-Prozesse in Frage.

Bei den Zwei-Phononen-Prozessen müssen neben der Bedingung, daß der Impuls erhalten bleibt, noch verschiedene andere Auswahlregeln beachtet werden, z. B. daß die Kombinationen von zwei Phononen aus dem gleichen Zweig verboten sind (vgl. z. B. LOUDON und JOHNSON<sup>1</sup>). Bei Beachtung aller dieser Auswahlregeln bleibt in dem hier vermessenen Spektralbereich nur noch eine kleine Anzahl von erlaubten Übergängen an kritischen Punkten. Alle diese Übergänge konnten beobachteten Absorptionsbanden zugeordnet werden. Als Orientierungshilfe bei der Zuordnung wurden dabei die Phononenenergien benutzt, die DOLLING<sup>6,1</sup> für einige Zweige und Richtungen im reziproken Gitter aus Neutronenbeugungsversuchen an Silicium gewonnen hat.

Da auch bei den Drei-Phononen-Prozessen der Wellenzahlvektor bis auf einen Vektor des reziproken Gitters erhalten bleiben muß, existieren nur relativ wenige mögliche Wellenzahlkombinationen. Dies sind einmal solche Kombinationen, bei denen zweimal der gleiche

Wellenzahlvektor und daneben der Punkt  $\Gamma$  ( $k=0$ ) vorkommt. Außerdem sind noch die folgenden drei Kombinationen möglich, die gerade die Bedingung der Impulserhaltung erfüllen:  $2L+X$ ,  $3W$ ,  $2W+X$ .

Setzt man nun die Phononenenergien für die kritischen Punkte ein, so ergeben sich in dem vermessenen Spektralbereich nur 6 mögliche Prozesse. Die dazugehörigen Absorptionsbanden konnten auch alle beobachtet werden und sind in der Tabelle zusammengestellt und zugeordnet.

Sowohl die Energiewerte für die Zwei-Phononen-Prozesse als auch für die Drei-Phononen-Prozesse stimmen innerhalb der Meßgenauigkeit mit den Daten aus den Neutronenbeugungsversuchen überein, soweit sie aus der Arbeit von DOLLING bekannt sind. Außerdem konnten alle Banden, die in dem hier vermessenen Spektralbereich zu erwarten sind, auch beobachtet werden. Daneben sind ganz schwach in dem Spektrum noch einige kleine Sättel angedeutet, die möglicherweise auf Vier-Phononen-Prozesse zurückzuführen sind.

Dem Direktor des Instituts B für Physik, Herrn Professor Dr. F. R. KESSLER, möchte ich herzlich dafür danken, daß ich diese Arbeit in seinem Institut durchführen konnte.

<sup>6</sup> G. DOLLING, Symposium on Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids, Chalk River, Canada, 1962.