

H. MAECKER, Erlangen: *Messung von Übergangswahrscheinlichkeiten in rotationsstabilisierten Lichtbögen.*

Übergangswahrscheinlichkeiten können aus der absoluten Intensität von Spektrallinien bestimmt werden, die ein rotationsstabilisierter Lichtbogen aussendet, weil letzterer eine axial-symmetrische Lichtquelle darstellt, bei der die achsensnahen Gebiete eine homogene Intensitätsverteilung aufweisen. Ein Bogen dieser Art kann sowohl für gasförmige, als auch für flüssige und auch für feste Substanzen verwendet werden. Die erforderliche Kenntnis der Teilchenkonzentration ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung der betreffenden Substanz, dem Atmosphärendruck und der Temperatur im Bogen, die aus dem Spektrum eines Zusatzelements entnommen werden kann.

W. R. S. GARTON, London: *Absorptionsspektren im Vakuumultraviolett und Autoionisationserscheinungen.*

Mit Hilfe von King-Öfen als Lichtquelle wurden für eine Anzahl Elemente „Beutler-Spektren“ aufgenommen. Die Ergebnisse an Ga, In, Sn, Cu und Ag wurden mitgeteilt. In allen Fällen zeigen die Linien im Schumann-Gebiet Autoionisationserscheinungen. Die von Beutler für einige Linien vorausgesagte hohe Oszillatorenstärke ist auch in anderen Fällen bestätigt worden. Linienkonturen stark verbreiteter Linien zur Bestimmung der Autoionisationswahrscheinlichkeit und der f-Werte sollen aufgenommen werden.

A. KASTLER, Paris: *Orientierung von Atomen durch optische Verfahren und ihre Anwendung.*

Die Atome eines Na-Atomstrahles werden bei Anwesenheit eines parallel zum Atomstrahl verlaufenden Magnetfeldes durch zirkular polarisiertes Licht der D-Linien bestrahlt. Die Bestrahlung verursacht eine Anregung der Atome in bestimmten magnetischen Unterniveaus der Hyperfeinstruktur des Grundzustandes  $^2S_{1/2}$ . Diese Orientierung wird durch nachfolgende Bestrahlung der nunmehr an einer anderen Stelle des Atomstrahles befindlichen Atome mit linear polarisiertem Licht und Vergleich der relativen Intensitäten der rechts und der links polarisierten Komponenten der emittierten Resonanzstrahlung nachgewiesen. — In einem schwachen radiofrequenten Felde wurden die vier zu erwartenden Resonanzen beobachtet. Eine Vergrößerung der Amplitude hatte das Auftreten scharfer Resonanzen zur Folge, die auf gleichzeitige Wechselwirkung des Atoms mit mehreren Strahlungsquanten zurückzuführen sind. — Die vorgetragenen Ergebnisse sind von J. Brossel, J. Winter und B. Cagnac erzielt worden.

J. BROSSEL und J. E. BLAMONT, Paris: *Der Stark-effekt des  $6^3P$ -Niveaus des Quecksilberatoms.*

Die durch Einstrahlung der Linie 2537 Å erzeugte polarisierte Resonanzstrahlung wird durch ein hochfrequentes Magnetfeld beeinflusst. Wenn außerdem ein konstantes Magnetfeld von 52 Gauß angelegt ist, weist die Resonanzkurve bei geraden Isotopen ein einziges Maximum auf. Ist gleichzeitig noch ein elektrisches Feld von mehreren Zehntausend Volt/cm vorhanden, so wird

dieses Maximum in zwei Maxima aufgespalten. Der Abstand der Maxima entspricht einer Aufspaltung von der Größenordnung 3,5 Megahertz für ein Feld von 60000 Volt/cm. — Die Untersuchung des Starkeffektes bei ungeraden Isotopen ist noch im Gange.

J. RUBIN, R. BERGEON und B. VODAR, Bellevue: *Beeinflussung der Resonanzlinien von Alkalimetallen durch Gase unter hohem Druck.*

Die experimentelle Untersuchung ist besonders in Hinblick auf die Linienverschiebung an Na, K, Rb, sowie auch an Hg und Xe in den Gasen  $H_2$ , He, A und  $N_2$  bis zu Drucken von 1450 atm ausgeführt worden. Gewöhnlich verläuft die Druckverbreiterung in Richtung niederer Frequenzen, es sind aber auch Verschiebungen in entgegengesetztem Sinne, sowie auch Umkehrungen der Richtung der Verschiebung beobachtet worden. Während frühere Theorien gar keine Rechenschaft über die beobachteten Erscheinungen geben konnten, werden die Ergebnisse durch eine in Anschluß an Lennard-Jones entwickelte Theorie einschließlich der Umkehrung des Sinnes der Verschiebung in großen Zügen wiedergegeben. Verschiedentlich sind „Satelliten“ beobachtet worden, deren Intensität bei hohen Drucken zuweilen sehr groß ist.

A. VASSY, Paris: *Untersuchung der zeitlichen Entwicklung der Emissionsspektren von Funken großer Länge.*

Die Existenz von 3 Phasen der Lichtemission wird nachgewiesen. Die Spektren aller 3 Phasen enthalten Atomlinien hoher Anregungsstufen. — Die eigentliche Entladung ist sehr kurz und beträgt etwa 1  $\mu s$ ; die vorangehende Phase beginnt ungefähr 20  $\mu s$  vorher; die Dauer des Nachleuchtens, das sehr viel reicher an Stickstoff- und anderen Banden ist und eine viel größere räumliche Ausdehnung als der Kanal der Hauptentladung hat, kann bis zu 30  $\mu s$  betragen.

E. FINLEY-FREUNDLICH, St. Andrews: *Die allgemeine Rotverschiebung von Spektrallinien in den Spektren von Himmelskörpern.*

Die bisher gemessenen Größen der Verschiebungen können auf Grund der Theorie von Einstein nicht erklärt werden. Es wird daher zur Deutung der Verschiebungen ein neuer Effekt herangezogen, der in Verminderung der Frequenz bei Wechselwirkung von Lichtquanten mit anderen auf dem Wege angetroffenen Lichtquanten besteht. Auch die der Entfernung proportionale Rotverschiebung in den Spektren der Spiralnebel wird auf diesen Effekt zurückgeführt, wozu eine Annahme der Temperatur des interstellaren Raumes von 1,8 °K erforderlich ist.

In den Sitzungen der Joint Commission for Spektroskopie wurden die Frage der Verwendung der Bezeichnung „Kayser“ für die Wellenzahleneinheit ( $cm^{-1}$ ) und von  $\sigma$  statt des bisher verwendeten  $\nu$  für  $\frac{1}{\lambda}$ , einige andere Fragen der Bezeichnungen in Atom- und Molekelspektren, der Plan für einen Atlas spektroskopischen Daten und der Austausch von Forschungsproblemen beraten.

—K. [VB 592]

## Halbleitertagung in Amsterdam

vom 29. Juni bis 3. Juli 1954

B. LAX, Cambridge, Mass.: *Anisotropie der Cyclotronresonanz in Germanium.*

Bei der Cyclotronresonanz befindet sich ein Halbleiter in einem hochfrequenten elektrischen und dazu senkrechten konstanten Magnetfeld. Im Resonanzfalle gilt für die scheinbare Masse  $m^*$  der Ladungsträger folgende Beziehung:  $\omega = eB/m^*$  ( $\omega$  = Frequenz des elektrischen Feldes,  $B$  = magnetische Induktion und  $e$  = Elementarladung). Man erhält im allgemeinen für jede Richtung des magnetischen Feldes im Kristallgitter mehrere Werte für die scheinbare Masse, für Elektronen im n-Ge und Defektelektroden im p-Ge. Da nun die scheinbare Masse umgekehrt proportional der 2. Ableitung der Energie nach der Wellenzahl ist, kann man aus den Messungen der scheinbaren Massen auf die Bandstruktur schließen. Sowohl Cyclotronresonanz als auch magnetische Widerstandsänderung zeigen, daß die Energieflächen im n-Ge am Grunde des Leitfähigkeitsbandes verlängerte rotationssymmetrische Sphäroide parallel zur  $\langle 111 \rangle$ -Richtung im k-Raum sind. Sie sind sehr anisotrop mit einem Massenverhältnis etwa 1:15:  $m_1 = 1,3 m_0$ ,  $m_2 = 0,08 m_0$ .  $m_0$  = Masse des freien Elektrons. Im p-Ge lassen 2 isotope Linien mit 0,04  $m_0$  und 0,3  $m_0$  vermuten, daß die Bandkante in der Mitte der Brillouin-Zone liegt. Theoretische Kurven der effektiven Masse in Abhängigkeit von der Kristallorientierung in der (110)-Ebene stimmen mit den experimentellen Daten überein. Das gleiche gilt für die Form der Spektrallinien.

Für n-Si finden Kip und Lax 0,2  $m_0$  für die longitudinale und 0,8  $m_0$  für die transversale Masse. Die Energieflächen in n-Si sind rotationssymmetrische verlängerte Sphäroide längs der  $\langle 100 \rangle$ -Richtung im k-Raum.

G. L. PEARSON, Murray Hill, N.J.: *Elektronen-Spinresonanz in n-Si.*

Die Elektronen-Spinresonanz wurde in n-leitendem Si bei 4 °K gemessen. Es handelt sich dabei um ein Phänomen analog der Kernresonanz, die zur Messung des gyromagnetischen Verhältnisses, d. h. des Verhältnisses von magnetischem Dipolmoment zu Spin, bei Atomkernen dient. Bei Störstellenkonzentrationen kleiner  $10^{18}/cm^3$  wurden in Si mehrere äquidistante Linien erhalten, und zwar für p-dotiertes Si 2, für As dotiertes 4 und für Sb-dotiertes Si 6 bzw. 8. Diese Aufspaltung rührt davon her, daß das Feld des magnetischen Dipols des Atomrumpfes sich dem äußeren konstanten Magnetfeld überlagert. P hat den Spin 1/2, As 3/2 und Sb 5/2 bzw. 7/2. Die Anteile der beiden Sb-Isotope sind 56 % bzw. 44 %. Entsprechend verhalten sich die Intensitäten der Absorptionslinien. Bei Konzentrationen, die größer als  $10^{18} cm^{-3}$  sind, erhält man nur noch eine Linie, die der Absorption durch freie Elektronen entspricht und nach Portis durch Leitfähigkeitselektronen hervorgerufen wird. Die Breite der Resonanzlinien wird außerdem durch die Wechselwirkung mit  $^{29}Si$  (5 %) beeinflusst.

D. T. STEVENSON, Cambridge, Mass.: Messungen der Rekombinationsgeschwindigkeiten an Germanium-Oberflächen.

Es wurde die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit  $s$  mit Hilfe des Verschwindens der Photoleitfähigkeit an geätztem Ge untersucht. Das umgebende Gas wechselte dabei von feuchtem zu trockenem Sauerstoff. In  $n$ -leitendem und eigenleitendem Ge ist  $s$  bei trockenem Sauerstoff ungefähr doppelt so groß wie in feuchtem Sauerstoff. In  $p$ -Ge ist das Gegenteil der Fall. Sowohl in  $n$ -Ge (15 Ohm cm) als auch in  $p$ -Ge (10 Ohm cm) nimmt  $s$  mit abnehmender Temperatur stark zu.

P. AIGRAIN, Paris: Lichtemission von Injektionskontakten in Germanium zwischen 2  $\mu$  und 6  $\mu$ .

Es wurde ein Ge-Einkristall mit einer Form verwendet, die als Linse zugleich eine optische Abbildung des emittierenden Spitzenkontaktes lieferte. Zur Messung des emittierten Lichtes dienten PbS- und PbTe-Zellen. Die Messungen wurden mit Wechselstrom ausgeführt, um die Schwarze-Körper-Strahlung zu eliminieren. Die Emission war bei 77 °K und 300 °K dieselbe. Die nach dem Shockley-Readschen Modell bei 2,6  $\mu$  liegenden Emissionsbanden wurden nicht gefunden. Im Gegenteil, oberhalb dieser Wellenlänge war die Emission erst meßbar. Die Intensität nahm zu großen Wellenlängen hin zu. Man muß demnach ein kompliziertes Spektrum mit Zwischenniveaus zwischen dem Shockley-Readschen Rekombinationszentrum und dem Leitfähigkeitsband annehmen. 10–100 % der Rekombinationsenergie wurden im optischen Spektrum wiedergefunden.

W. H. BRATTAIN und C. G. B. GARRETT, Murray Hill, N. J.: Oberflächeneigenschaften von Halbleitern.

Die Oberfläche eines Halbleiters ist durch eine Raumladungsdoppelschicht von etwa 1  $\mu$  Dicke gekennzeichnet. Das Verhalten der Oberflächenschicht kann im Rahmen der allgemeinen  $p$ - $n$ -Theorie verstanden werden, wobei die Oberfläche als ein diskreter Halbleiter aufgefaßt wird, dessen Eigenschaften durch Messung des Kontaktpotentials bei wechselnder Gasatmosphäre oder als Halbzelle in einem Elektrolyten studiert werden. Bei anionischer Adsorption ist die Oberflächenladung negativ und die Oberfläche steht im chemischen Gleichgewicht mit Löchern im Halbleiter. Bei kationischer Adsorption ist die Oberflächenladung positiv und die Oberfläche steht im chemischen Gleichgewicht mit Elektronen im Halbleiter. Dem entsprechen viele Experimente betreffend die Wirkungen adsorbierter Materialien auf die Leitfähigkeit von Pulvern und dünnen Filmen polarer Halbleiter.

LARK - HOROVITZ, Lafayette, Indiana: Verhalten von Germanium bei Helium-Temperaturen.

Der spezif. Widerstand, die magnetische Widerstandsänderung und der Hall-Effekt von Germanium wurden gemessen. Es zeigt sich, daß der Hall-Koeffizient bei Helium-Temperaturen ein Maximum durchläuft und mit abnehmender Temperatur wieder absinkt. In gleichem Maße sinkt die magnetische Widerstandsänderung, die ein Maß für die Beweglichkeit der Ladungsträger ist. Dieser Effekt beruht nicht auf einer Oberflächenleitung, da festgestellt wurde, daß der Verlauf der Kurven unabhängig von der Oberflächenbehandlung ist. Es wird daher vermutet, daß es sich dabei um eine Elektronenleitung im Störband handelt. Diese Vermutung wird durch die Tatsache bekräftigt, daß die Temperatur, bei der das Maximum des Hall-Effektes liegt, d. h. diejenige Temperatur, bei der die Störleitung einsetzt, umso höher liegt, je größer die Konzentration der Störstellen ist.

J. A. BURTON, Murray Hill, N. J.: Störzentren in Germanium und Silicium.

Es wurde eine Übersicht über die Eigenschaften von Störstellen in Ge und Si hinsichtlich der Verteilungskoeffizienten, Diffusionskonstanten und der Ionisierungsenergien gegeben. Aus Messungen des Einfangquerschnittes ergab sich, daß bei Nickel der Einfangquerschnitt für Löcher etwa 50 mal größer ist als derjenige von Eisen.

J. APPEL und G. LAUTZ, Braunschweig: Über einige elektrische Eigenschaften der Tellur-Verbindungen  $In_2Te_3$ ,  $CdTe$  und  $Ag_2Te$ .

Vortr. sprach über die elektrischen Eigenschaften von  $In_2Te_3$ ,  $CdTe$  und  $Ag_2Te$ . Die polykristallinen Proben wurden durch Zusammenschmelzen im Quarzrohr hergestellt. Die Reinheit war höher als 99,9 %. Als wesentliche Eigenart der Verbindung  $Ag_2Te$  wird der mit einer starken Gitterauflockerung verbundene Übergang von  $\alpha$ - $Ag_2Te$  (covalente Bindung mit einer Elektronenbeweglichkeit von 4300 cm<sup>2</sup>/V sec und entsprechend großer transversaler magnetischer Widerstandsänderung bei 20 °C) zu  $\beta$ - $Ag_2Te$  (Ionengitter) an Hand der Temperaturabhängigkeit von Leitfähigkeit und Hallkoeffizient untersucht. Die Gitteranisotropie ist verantwortlich für longitudinale Widerstandsänderung.

H. WELKER, Erlangen: Halbleitende intermetallische Verbindungen.

Die intermetallischen Verbindungen wurden durch E. Zintl in eine metallische und in eine Gruppe mit salzartigem Charakter geteilt. Vom physikalischen Standpunkt handelt es sich bei der zweiten Gruppe um Halbleiter mit überwiegend homöopolarem Bindungscharakter. Die bekannten Halbleiter werden um die intermetallischen Verbindungen vom II–IV-Typ ( $Mg_2Si$ ,  $Mg_2Ge$ ,  $Mg_2Sn$ ,  $Mg_2Pb$ ,  $Cd_2Ge$  usw.) und vom II–V-Typ ( $Mg_2Sb_2$ ,  $ZnSb$ ,  $CdSb$ ) vermehrt. Die III–V-Verbindungen werden auch als intermetallische Verbindungen bezeichnet, soweit die zweite Komponente ein Metall ist.

Die II–IV-Verbindungen besitzen homöopolaren Charakter wie Ge und Si, so daß ihre Eigenschaften von denen der Elemente nicht wesentlich abweichen werden. Die Eigenschaften der II–V-Verbindungen sind noch nicht geklärt. Die Untersuchungen von Justi über  $CdSb$  lassen keine Besonderheiten erwarten. Die III–V-Verbindungen besitzen eine vorwiegend homöopolare Bindung, jedoch mit spürbarem Ionenanteil, der infolge des Resonanzeffektes Anlaß zu einer stärkeren Bindung gibt. Charakteristisch ist die außergewöhnlich hohe Elektronenbeweglichkeit bei einer Löcherbeweglichkeit in der Größenordnung derjenigen von Ge. Diese Beobachtung läßt sich mit Hilfe des Kronig-Modells erklären. Die große Elektronenbeweglichkeit führt zu großen magnetischen Effekten, wie Hall-Effekt und Widerstandsänderung, die stark von der geometrischen Form abhängen. Innerhalb der III–V-Verbindungen wächst die Lebensdauer rasch mit der Breite der verbotenen Zone.

C. H. L. GOODMANN, Wembley, Engl.: Einige halbleitende Verbindungen von diamantähnlicher Struktur.

Für viele Zwecke sind Halbleiter mit einer Breite der verbotenen Zone zwischen 0,8 und 1,5 eV sowie einer Trägerbeweglichkeit größer 1000 cm<sup>2</sup>/Vsec erwünscht. Diese beiden Forderungen werden am besten von einer Struktur mit überwiegend covalenter Bindung erfüllt. Die einfachsten Gitter mit einer derartigen Bindung sind diejenigen von Diamant und das durch Substitution abgeleitete Zinkblende-Gitter. Von den in Frage kommenden binären III–V-, II–VI- und I–VII-Verbindungen haben nur wenig die gewünschten Eigenschaften und sind dann meist schwierig herzustellen. Die Diamantstruktur erfordert 4 Elektronen für jedes Atom. Substitutionstypen für Diamantstruktur sind außerdem Kristalle mit Chalkopyrit-Struktur (siehe Tabelle) und Stannite ( $Cu_2FeSnS_4$ ).  $CuFeS_2$  ist in der Tat ein Halbleiter mit einer verbotenen Zone von mindestens 0,5 eV. Cu liefert 1, Fe 3 und die beiden S-Atome je 6 Elektronen für die Bindung. Es treffen also auf jedes Atom 4 Bindungselektronen.  $CuAlS_2$  zeigt eine Breite der verbotenen Zone von 0,8 eV und ist dem TIAs analog, das  $CuAlTe_2$  dem  $CdTe$ . Weiterhin zeigt  $CuInSe_2$  gute Gleichrichtwirkung mit einer Breite der verbotenen Zone von 0,9 eV und einer Beweglichkeit von 300 cm<sup>2</sup>/Vsec bei einem spez. Widerstand von 0,1 Ohm cm.

Tabelle der Verbindungen mit diamantähnlicher Struktur

ZnS	III–V	II–VI	I–VII	
		I	III	VI
			B	
Chalkopyrite		Cu	Al	S <sub>2</sub>
I–III–VI		Ag	Ga	Se <sub>2</sub>
			In	Te <sub>2</sub>
			Tl	
Stannite		$Cu_2FeSnS_4$		

R. A. SMITH, Great Malvern, Worcs., Engl.: Bestimmung der verbotenen Zone, Trägerbeweglichkeiten und Lebensdauern von PbS, PbSe und PbTe.

Bei den genannten drei Halbleitern nimmt die Breite der verbotenen Zone mit wachsender Temperatur nach folgender Beziehung zu:

$$\Delta E = \Delta E_0 + \alpha T - \beta T^2.$$

Zusätzlich zu der früher bekannten Absorptionskante von PbS bei 0,9  $\mu$  wurde bei etwa 3  $\mu$  eine zweite gefunden, die in Übereinstimmung mit neueren photoelektrischen und elektrischen Messungen steht. Die von Smith extrapolierten Werte für die Breite der verbotenen Zonen aus UR-Absorptionsmessungen sind:

PbS	PbSe	PbTe
0,34	0,27	0,30 Elektronenvolt

Für die Elektronen- ( $\mu_n$ ) und Löcherbeweglichkeit ( $\mu_p$ ) ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\mu_n = A_n T^{-5/2} \quad \mu_p = A_p T^{-3/2}.$$

—W. [VB 604]