

ÜBER DIE ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN VON BROMIERTEM SELEN MIT THALLIUM-ZUSATZ¹

Von L. GOMBAY, J. GYULAI, J. KISPÉTER und J. LANG

Institut für Experimentalphysik der Universität Szeged

(Eingegangen am 19. März 1962)

Es wurde die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit und der Thermokraft von bei 120° C temperierten mikrokristallinen Selenschichten, sowie die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit und die bei Zimmertemperatur gemessene Thermokraft von bei 217° C temperierten Schichten, in Abhängigkeit der Brom-, Thallium-, sowie Brom + Thallium-Zusätze untersucht. Der Bromzusatz wurde entweder in Form von elementarem Brom oder von SeBr_4 zugegeben. Aus den Meßergebnissen wurde die jeweilige Lochkonzentration und Beweglichkeit berechnet. Aus den Ergebnissen sowohl der Leitfähigkeits- als der Thermokraftmessungen erscheint es wahrscheinlich, daß sich im Falle doppelter Zusätze Thalliumbromid bildet und überwiegend nur die in Überschuß vorhandene Komponente auf die elektrischen Eigenschaften des Selens einwirkt; ferner deuten unsere Meßergebnisse darauf, als ob die Wirkung des Bromzusatzes in Gegenwart einer geringen Menge Thalliumbromid eine stärkere wäre.

1. Einleitung

Das Selen, das zu den wichtigsten Halbleiterstoffen gehört, bildet infolge seiner komplizierten Eigenschaften und der ausgedehnten praktischen Verwendung den Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Trotz der Fülle der geleisteten Forschungsarbeit scheint weder das elektrische Verhalten des Selens widerspruchlos geklärt, noch die Deutung der verschiedenen, oft sogar auch derselben Einwirkungen zur Zeit immer einheitlich [1—3] zu sein. Ein wichtiges Problem bildet die Abhängigkeit des Leitungsmechanismus des Selens von den Zusätzen, die bisher nicht eindeutig geklärt werden konnte.

Außer der verhältnismäßig grundlegenden Eigenschaft, daß Selen im allgemeinen ein Defekthalbleiter ist [4], ist es bekannt, daß seine Leitfähigkeit durch Sauerstoff [5—8] und Halogene [9—13] gesteigert wird, doch wird diese Steigerung nicht einheitlich gedeutet. Noch weniger geklärt scheint der Einfluß der Metalle, die die Leitfähigkeit des Selens in geringer Konzentration herabsetzen, in bedeutenden Mengen aber — wahrscheinlich infolge von Selenidbildung — erhöhen und es sogar in einen Überschußhalbleiter verwandeln können [14—19]. Nach einigen Messungen können geringe Metallmengen die Leitfähigkeit des chlorierten Selens steigern [20], nach anderen [21] dagegen herabsetzen.

Vorliegende Arbeit will zur Lösung dieser Probleme einige Beiträge liefern.

¹Diese Arbeit wurde mit Unterstützung der Gleichrichterfabrik „KONVERTA“ durchgeführt und mit ihrer Zustimmung veröffentlicht.

2. Experimentelles

Unsere Messungen wurden teils an aus dem als Ausgangsmaterial benützten Selen von 99,9995% Reinheit, sogenanntem „Reinselen“¹ hergestellten, teils an Brom bzw. Thallium allein, sowie Brom + Thallium als Zusatz enthaltenden Proben

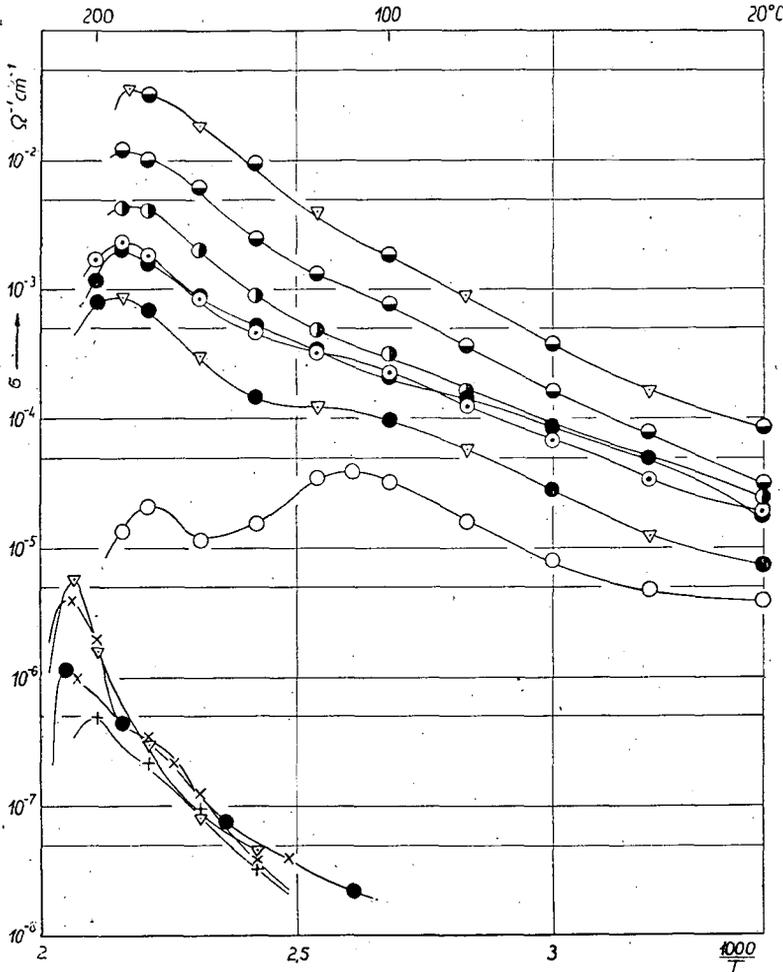


Fig. 1. Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der bei 120° C temperierten Proben

durchgeführt. Die Konzentration des Broms im Selen (die Anzahl der Bromatome je Selenatom) betrug 10^{-5} , $5 \cdot 10^{-5}$, 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-3} , diejenige des Thalliums

¹ Das „Reinselen“ enthielt als Restverunreinigungen in Gramm pro Tonne: Cadmium 0,5, Calcium 1, Silizium 1, Magnesium 0,3, Kupfer, 0,1 Eisen 0,3, Arsen 0,8, Aluminium 0,3, Tellur 0,1, Quecksilber 0,5.

$4 \cdot 10^{-7}$, $4 \cdot 10^{-6}$, $4 \cdot 10^{-5}$, $4 \cdot 10^{-4}$; die doppelten Zusätze wurden durch alle möglichen Kombinationen der obigen Werte gebildet.

Der Bromzusatz wurde auf folgende Weise in das Selen eingeführt: Eine bekannte Menge „Reinselen“ wurde in eine abgewogene Ampulle gegeben, diese mittels flüssiger Luft abgekühlt, dann soviel gekühltes flüssiges Brom bzw. SeBr_4

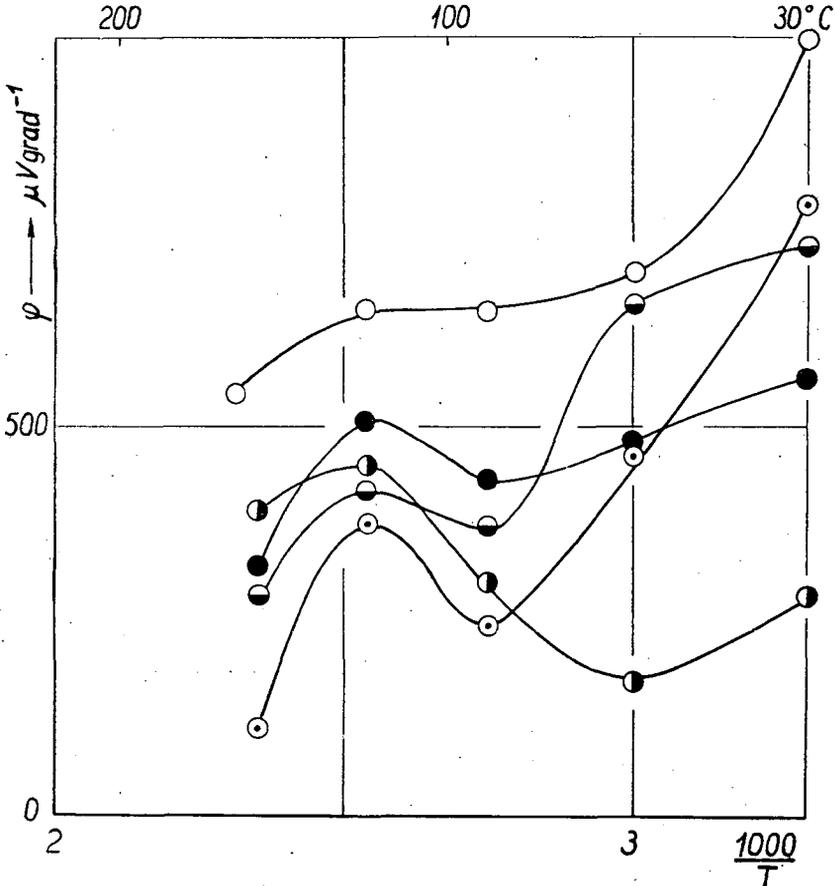


Fig. 2. Temperaturabhängigkeit der Thermokraft der bei 120°C temperierten Proben

(ohne Kühlung) zugesetzt, daß das „Reinselen“ etwa 0,5% Brom enthält. endlich auf 10^{-2} Torr Druck evakuiert, mit getrocknetem Stickstoffgas mehrmals durchgespült. Schließlich wurde die Ampulle unter 10^{-2} Torr Vakuum zugeschmolzen. Aus dem Gewichtszunahme konnte die genaue Konzentration des so hergestellten sogenannten „Mutterseleens“ berechnet werden.

Auf eine ähnliche Weise, jedoch ohne Tiefkühlung wurden aus „Mutterseleens“, „Reinselen“ und Thallium die Selenproben mit gewünschtem Brom-, Thallium- bzw. Brom + Thalliumgehalt hergestellt.

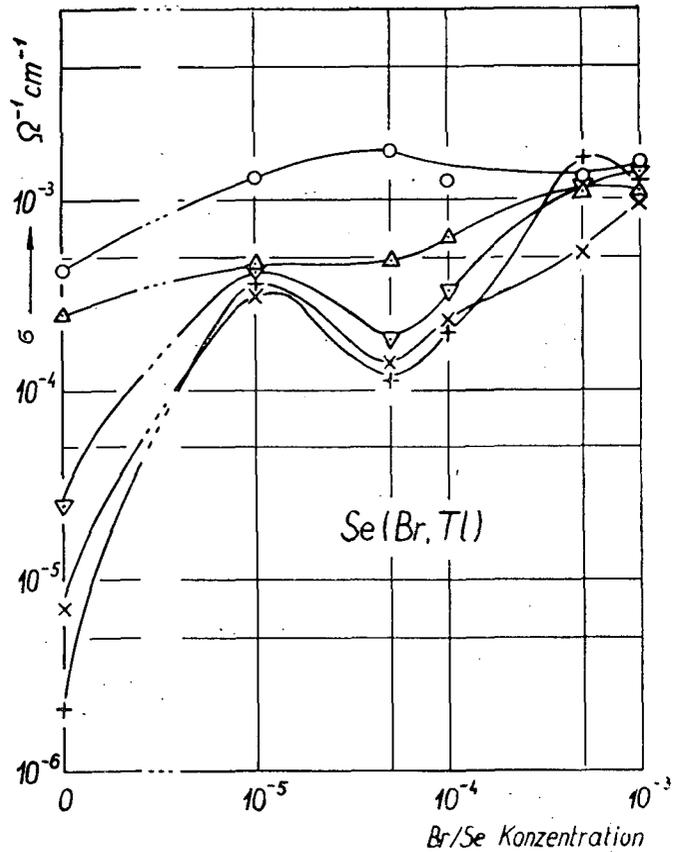


Fig. 3. Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der bei 217° C temperierten Proben von dem Br/Se-Konzentration; gleich nach dem Temperieren gemessen

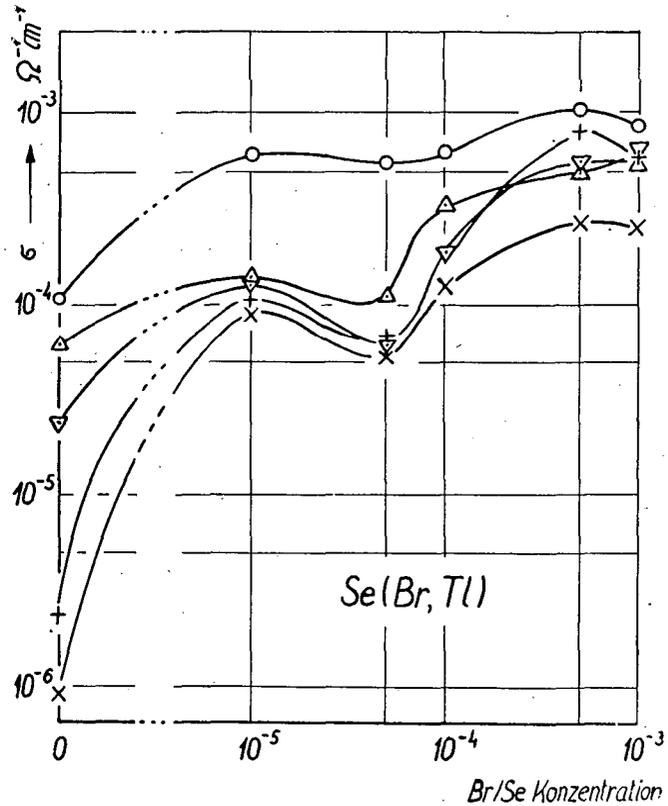


Fig. 4. Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der bei 217° C temperierten Proben von der Br/Se-Konzentration; etwa ein halbes Jahr später gemessen

Das „Reinselen“ bzw. das Selen mit Zusätzen wurde in Vakuum von 10^{-5} Torr auf Quarzplatten von 90°C Temperatur aufgedampft. Obwohl die Verdampfungstemperaturen des Thalliums, des Selens und des Broms nicht gleich sind, wurde — mit Rücksicht auf das bei der Herstellung von Selenschichten z. Z. übliche Verfahren — doch in allen Fällen das Aufdampfen in Vakuum gewählt; selbstver-

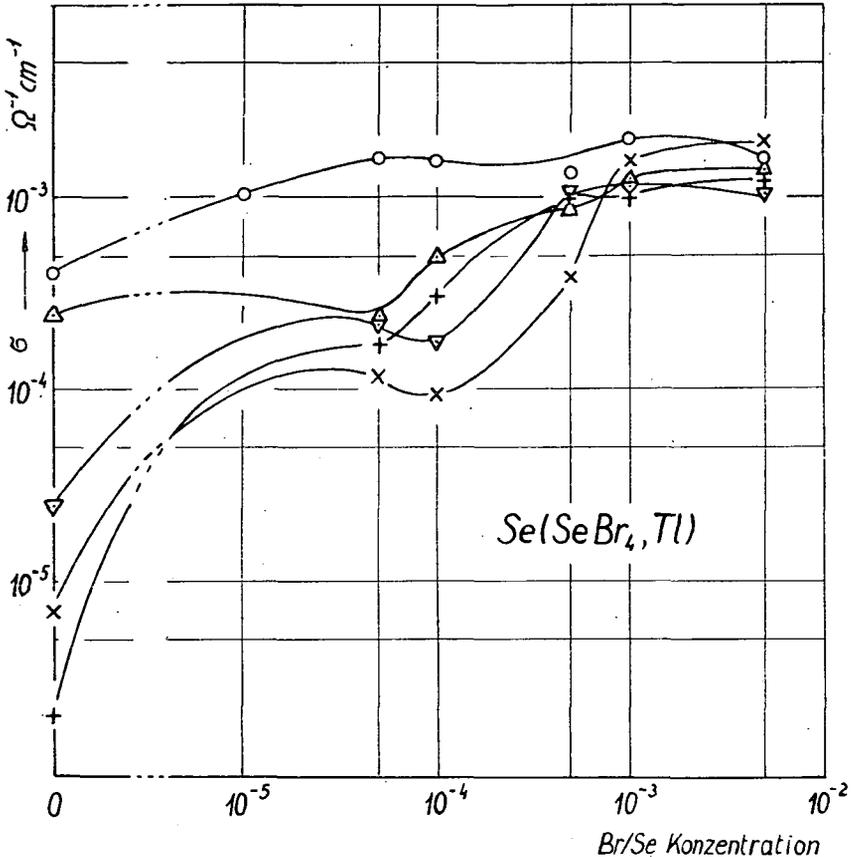


Fig. 5. Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der bei 217°C temperierten Proben von dem Br/Se-Konzentration; gleich nach der Temperieren gemessen; Br-Zusatz in Form von SeBr_4

ständig wurde infolge der höheren Verdampfungstemperatur des Thalliums im Falle von Thalliumzusätzen eine höhere Aufdampfperatur gewählt. Die Schichtdicke wurde durch Abwägen bestimmt. Die Schichtdicke der Untersuchten Proben betrug 2 bis $7 \cdot 10^{-3}$ cm. Das Temperieren, das bei 120°C oder 217°C drei Stunden dauerte, erfolgte nach dem Auftragen der Goldelektroden, um durch Eindiffundieren des Goldes möglichst ohmsche Kontakte zu erhalten.

Der Widerstand unserer Proben wurde in einer elektronischen Brücke bei

75 V cm⁻¹ Feldstärke gemessen; bei der Bestimmung des Temperaturkoeffizienten betrug die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung 0,15° C min⁻¹, und es wurden Messungen bei je 10° C im Intervall von 20° C bis 200° C ausgeführt.

Die auf Gold bezogene Thermokraft wurde bei 30, 60, 90, 120 und 150° C Temperatur mittels Kompensation gemessen; wegen des großen Widerstandes der

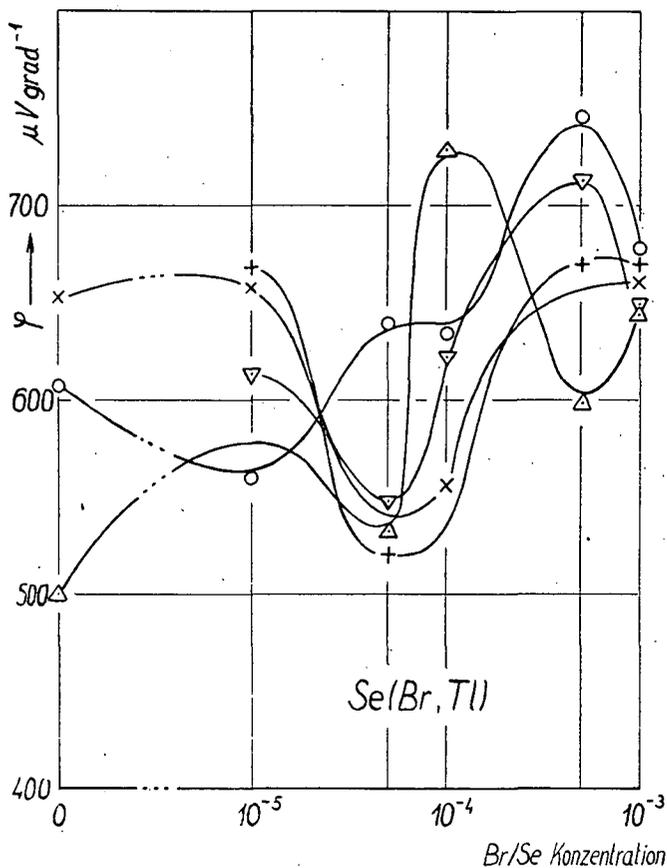


Fig. 6. Abhängigkeit der Thermokraft der bei 217° C temperierten Proben von der Br/Se-Konzentration

Proben wurde als Nullinstrument ein Gleichstrommeßverstärker von Clamann & Grahnert mit großem Eingangswiderstand und 10⁻¹² Amp/Skt Empfindlichkeit verwendet. Die einzelnen Temperaturen wurden mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,3° C min⁻¹ erreicht, die anfangs höher war, während am Schlusse die Probe die gewünschte Temperatur asymptotisch erreichte. Zur Berechnung des Mittelwertes der Thermokraft wurden bei allen Messungen mit Temperaturdifferenzen von 1, 2, 3, 4, 5 und 6° C erhaltene Werte benützt.

3. Meßergebnisse

a) *Leitfähigkeit und Thermokraft des bei 120° C temperierten Selens.* Die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit der bei 120° C temperierten Proben ist mit Angabe der entsprechenden Zusätze in Fig. 1 dargestellt¹. Sämtliche Kurven haben die gemeinsame Eigenschaft, daß sie im allgemeinen mit der Temperatur steigen und mindestens ein Maximum aufweisen. Die Leitfähigkeit des „Reinselens“ ist

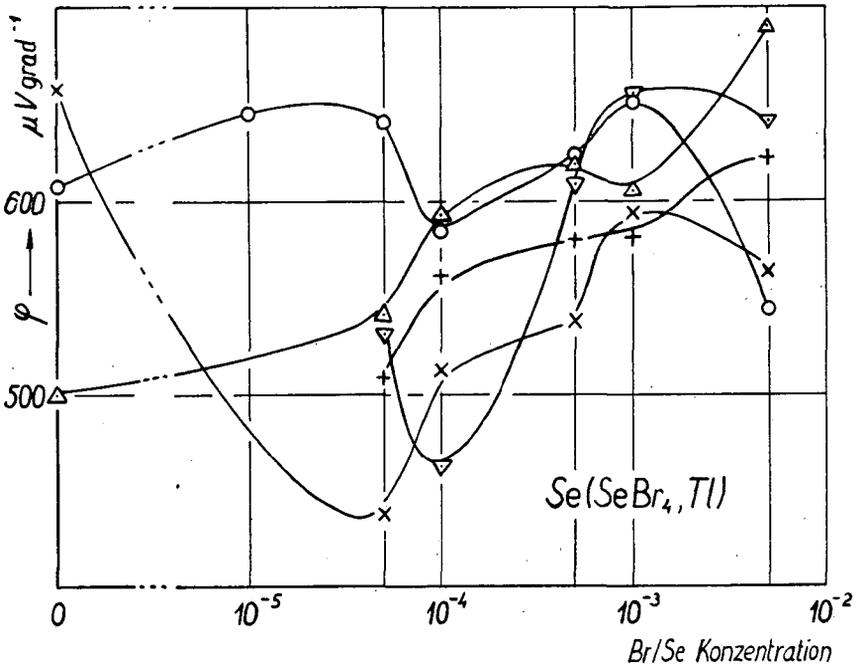


Fig. 7. Abhängigkeit der Thermokraft der bei 217° C temperierten Proben von der Br/Se-Konzentration; Br-Zusatz in Form von SeBr₄

kleiner als die der überwiegend bromierten Proben, doch höher als die der überwiegend thalliumhaltigen, und weist zwei Maxima auf.

Das bei niedrigeren Temperaturen auftretende Maximum erscheint bei Proben mit geringer Zusatzkonzentration noch als Inflexion, verschwindet aber bei höherer Konzentration vollkommen; das zweite Maximum, das der maximalen Leitfähigkeit der Zusätze enthaltenden Proben entspricht, wird durch Bromzusatz in geringem, durch Thalliumzusatz in höherem Maße gegen die höheren Temperaturen verschoben. Der Kurve des „Reinselens“ verläuft diejenige der Proben mit 0,5 Thallium/Brom Konzentration (Anzahl der Thalliumatome je Bromatome) am

¹ Bei allen Figuren wurden folgende Bezeichnungen angewendet: ○ : „Reiselen“, ⊙ : 10⁻⁵; ● : 5 · 10⁻⁵; ⊖ : 10⁻⁴; ⊕ : 5 · 10⁻⁴; ⊗ : 10⁻³; ⊘ : 5 · 10⁻³ Br/Se-Konzentration, △ : 4 · 10⁻⁷; ▽ : 4 · 10⁻⁶; + : 4 · 10⁻⁵; × : 4 · 10⁻⁴ Tl/Se-Konzentration. Bei manchen Figuren bezeichnen —●— ▽— usw. die entsprechenden doppelten Zusätze.

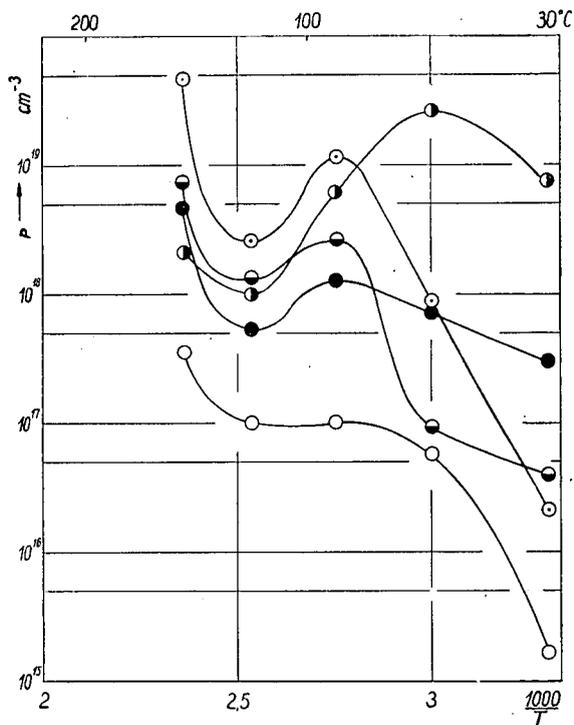


Fig. 8. Temperaturabhängigkeit der Lochkonzentration der bei 120°C temperierten Proben

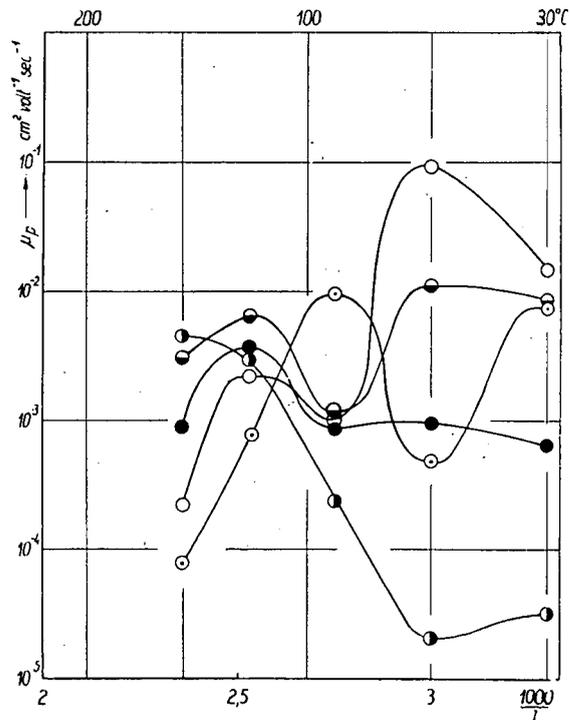
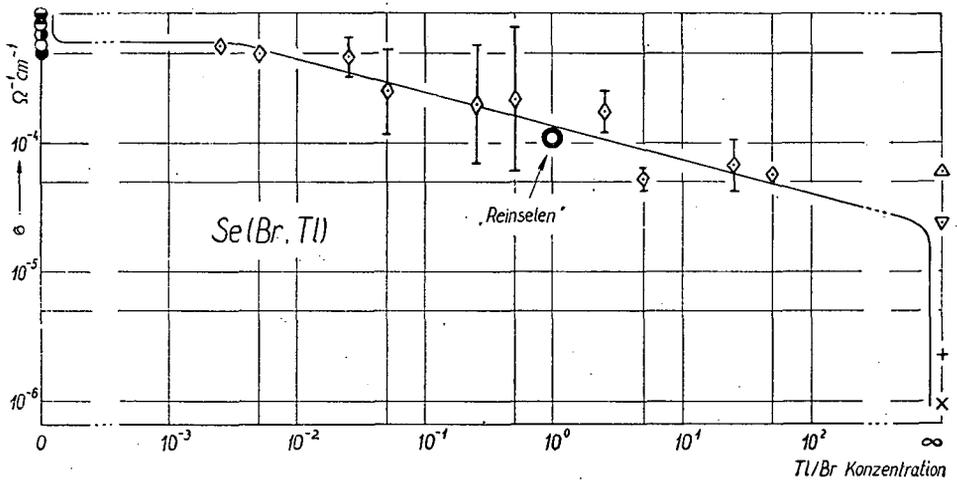
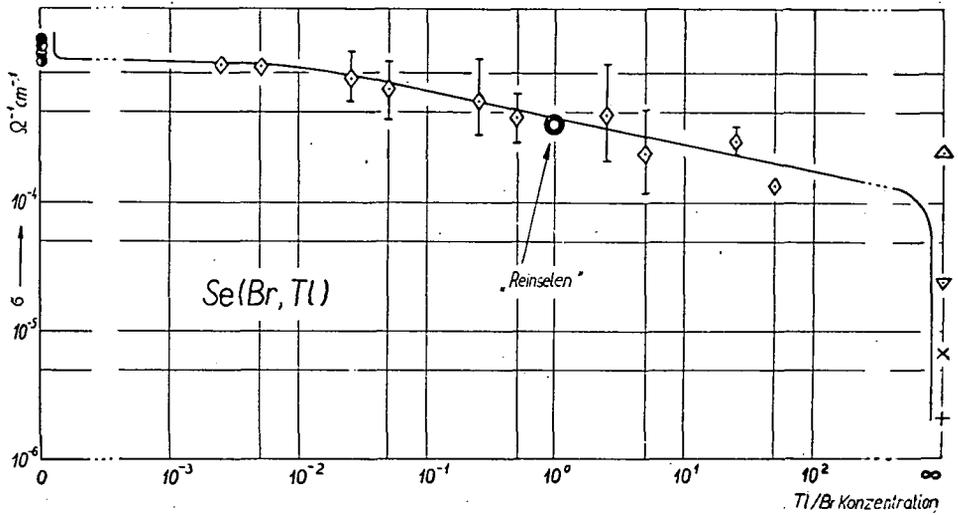


Fig. 9. Temperaturabhängigkeit der Lochbeweglichkeit der bei 120°C temperierten Proben



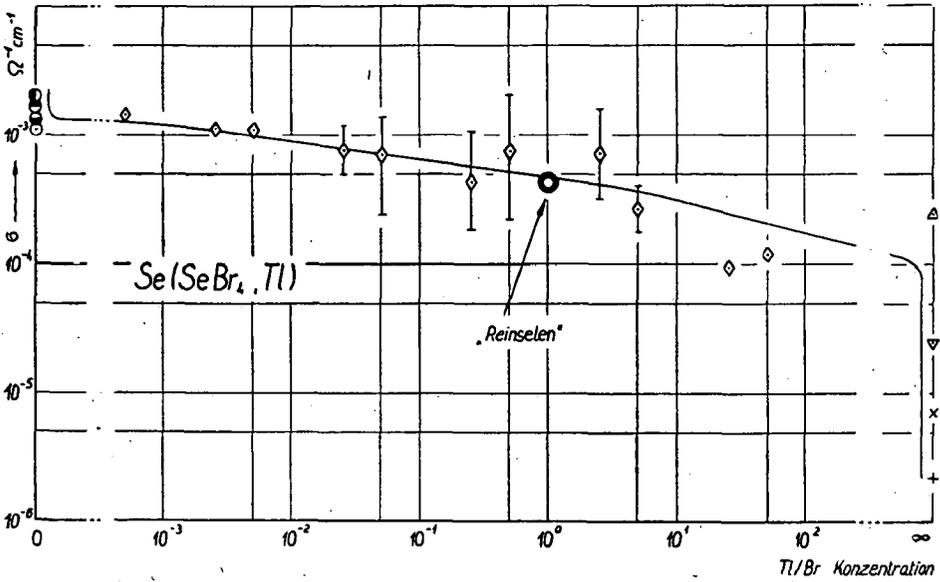


Fig. 12. Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der bei 217° C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration; gleich nach der Temperieren gemessen; Br-Zusatz in Form von SeBr₄

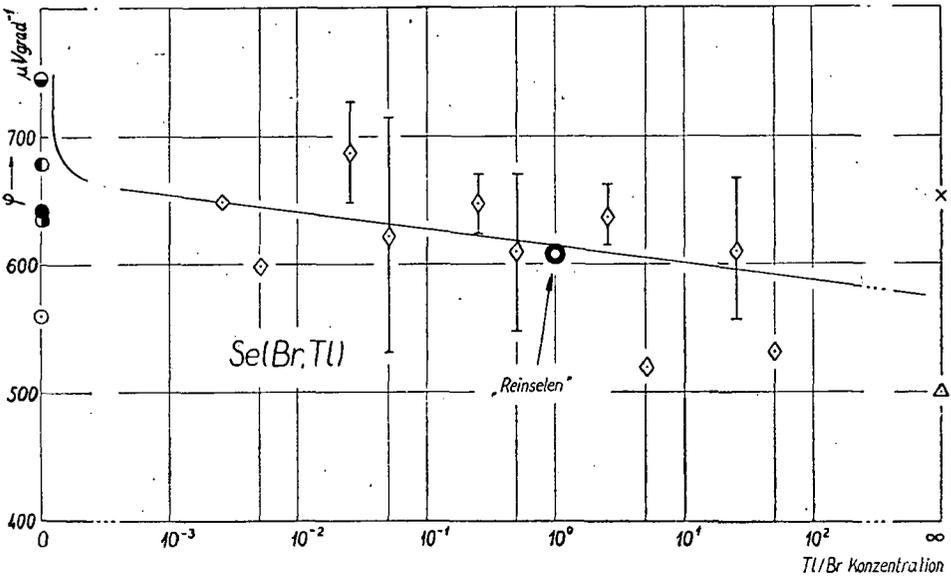


Fig. 13. Abhängigkeit der Thermokraft der bei 217° C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration

nächsten. Es ist zu bemerken, daß im Einklang mit einzelnen Literaturangaben [20] nicht die Leitfähigkeit der bloß Halogene enthaltenden Proben, sondern die der mit 0,05 Thallium/Brom Konzentration sich als die höchste ergab. Die Ergebnisse der Thermokraftmessungen an diesen Proben zeigt Fig. 2. Die höchste Thermokraft wurde bei „Reinselen“ gemessen; diese nahm mit steigender Temperatur ab, doch zeigte sich um 100°C ein verwaschenes Maximum, das sich bei bromhaltigen Proben scharf entwickelte.

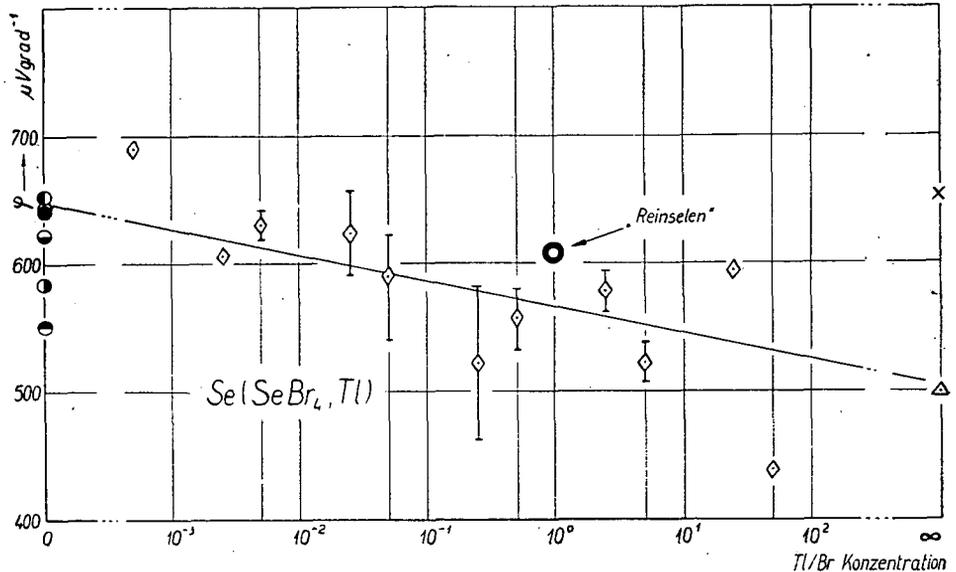


Fig. 14. Abhängigkeit der Thermokraft der bei 217°C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration; Br-Zusatz in Form von SeBr_4

b) *Leitfähigkeit und Thermokraft der bei 217°C temperierten Proben.* Die Meßergebnisse der Leitfähigkeit der bei 217°C temperierten Proben sind in Fig. 3, 4, 5 enthalten. Diese Messungen wurden bei Zimmertemperatur durchgeführt, und die Ergebnisse als Funktion der Bromzusätze aufgetragen. Die einzelnen Kurven beziehen sich auf konstanten Thalliumgehalt.

In Fig. 3 sind die Ergebnisse der unmittelbar nach der Herstellung der Proben durchgeführten Messungen zu sehen, in Fig. 4 die etwa ein halbes Jahr später an denselben Proben erhaltenen Meßergebnisse. Der Vergleich der beiden Figuren zeigt, daß die Leitfähigkeit mit der Zeit etwas abnimmt. Die Kurven weisen im allgemeinen bei 10^{-5} und $5 \cdot 10^{-4}$ Bromkonzentration ein Maximum, bei $5 \cdot 10^{-5}$ dagegen ein Minimum auf. Aus Fig. 5 ist ersichtlich, daß in Form von SeBr_4 zugeführte Zusätze unmittelbar nach dem Temperieren ähnliche Kurven, aber weniger ausgesprochene Extremwerte ergaben. Die Leitfähigkeit sämtlicher Proben nahm mit steigender Temperatur monoton ab.

Die Figuren 6 und 7 enthalten die Thermokraftkurven der bei 217°C temperierten, Brom+Selen enthaltenden Proben mit in Form von elementarem Brom bzw. von SeBr_4 zugeführten Bromzusätzen.

4. Diskussion der Meßergebnisse

a) Bei 120° C temperierten Proben. Die in Fig. 1 ersichtliche Versuchsergebnisse, nach welchen auch der geringste Bromzusatz eine um eine Größenordnung höhere Leitfähigkeit ergibt, als „Reinselen“, sowie der Umstand, daß die Leitfähigkeit der Proben mit 0,5 Thallium/Brom Konzentration, bei denen Thallium und Brom in nahezu stöchiometrischen Verhältnis vorhanden sind, derjenigen des

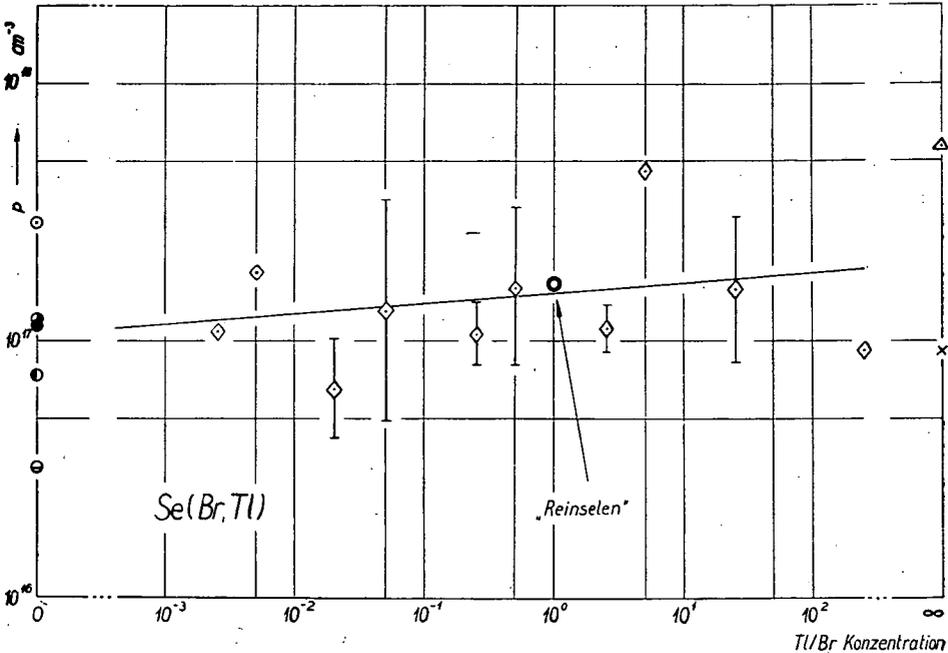


Fig. 15. Abhängigkeit der Lochkonzentration der bei 217° C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration

„Reinselens“ am nächsten liegt, weisen darauf hin, daß die Erklärung der Wirkung der doppelten Zusätze in der Bildung von Thalliumbromid zu suchen ist. Diese Annahme scheint auch dadurch unterstützt, daß ein über dem stöchiometrischen Verhältnis vorhandener Bromüberschuß den Wert der Leitfähigkeit dem der bloß Brom enthaltenden Proben, ein Thalliumüberschuß aber demjenigen der allein Thallium enthaltenden Proben ähnlich macht. Mit Rücksicht auf das bei 120° C erfolgte Temperieren ist anzunehmen, daß das Thalliumbromid bereits bei dieser Temperatur gebildet wird. Da die Leitfähigkeit der Probe mit 0,05 Thallium/Brom-Konzentration die höchste ist, erscheint die Gegenwart des Thalliumbromids nicht vollkommen belanglos, vielmehr scheinen unsere Meßergebnisse zu bestätigen, daß der Bromzusatz in Gegenwart einer geringen Konzentration von Thalliumbromid die Leitfähigkeit des Selens in höherem Maße steigert, als ohne Thalliumbromid. Aus der Figur ergibt sich der Wert der Aktivationsenergie bis etwa 100° C zu 0,45 eV

[23], unabhängig von der Menge der Zusätze. Es ist zu erwähnen, daß das Intervall mit negativem Temperaturkoeffizienten durch Bromzusatz in geringerem, durch Thalliumzusatz in höherem Maße hinausgeschoben wird.

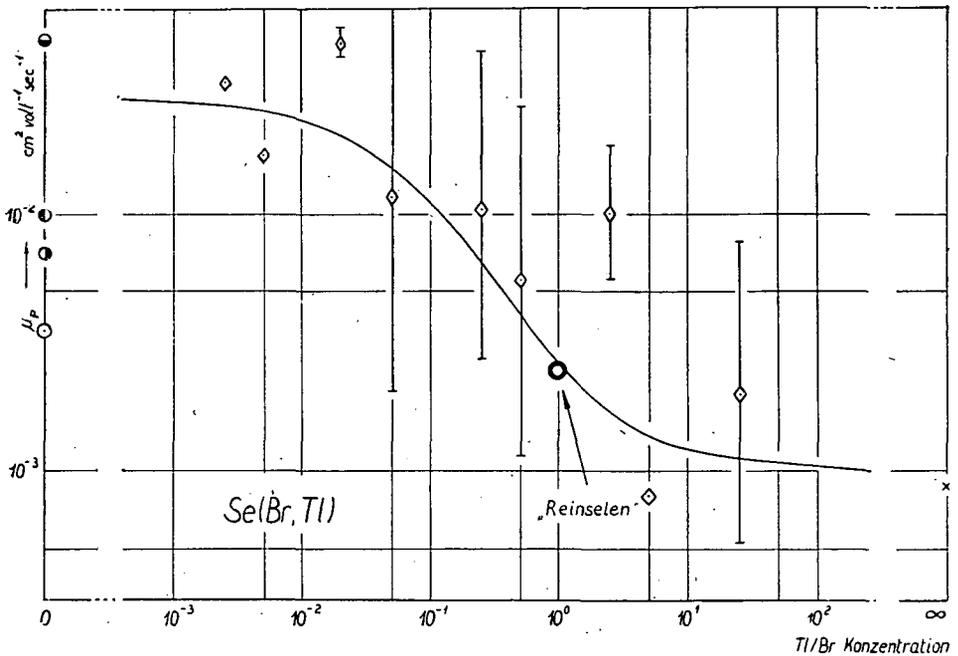


Fig. 16. Abhängigkeit der Lochbeweglichkeit der bei 217° C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration

Aus den Meßergebnissen der Thermokraft (φ) und der Leitfähigkeit (σ) wurden mit Benützung der Zusammenhänge

$$\varphi = \frac{k}{e} \left(\ln \frac{3\pi T^{3/2}}{8ep} - 5,32 \right)$$

und

$$\sigma = ep\mu_p$$

(worin p = Lochkonzentration, μ_p = Lochbeweglichkeit, k = Boltzmann-Konstante, e = Elementarladung, T = abs. Temperatur) die Werte von p und μ_p berechnet [6]. Die Lochkonzentrationen sind in Fig. 8 dargestellt. Diese zeigt, daß die kleinsten Werte bei „Reinselen“ erhalten wurden und die Proben mit Zusatz um 100° C ein Minimum aufweisen, welche Ergebnisse schon auf Grund der Fig. 2 zu erwarten waren. Die Größenordnung der Lochkonzentrationen liegt zwischen 10^{16} und 10^{19} cm^{-3} . Die Beweglichkeiten (Fig. 9) weisen um 120° C Maxima auf. Da die Leitfähigkeit des „Reinselens“ mit der Temperatur weniger zunimmt, als die der Proben mit Zusätzen, ist die Beweglichkeit des „Reinselens“ bei höheren Tempera-

turen kleiner als diejenige der Zusätze enthaltenden Proben. Die Größenordnung der Beweglichkeit ist 10^{-5} bis 10^{-1} $\text{cm}^2 \text{ Volt}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

b) *Leitfähigkeit und Thermokraft des bei 217° C temperierten Sels.* Die Auswertung der Leitfähigkeit der bei 217° C temperierten Proben kann anschaulicher gestaltet werden, wenn das Verhalten der Leitfähigkeit nicht in Abhängigkeit der absoluten Brom- bzw. Thallium-Zusätze, sondern der relativen Thallium/Brom-

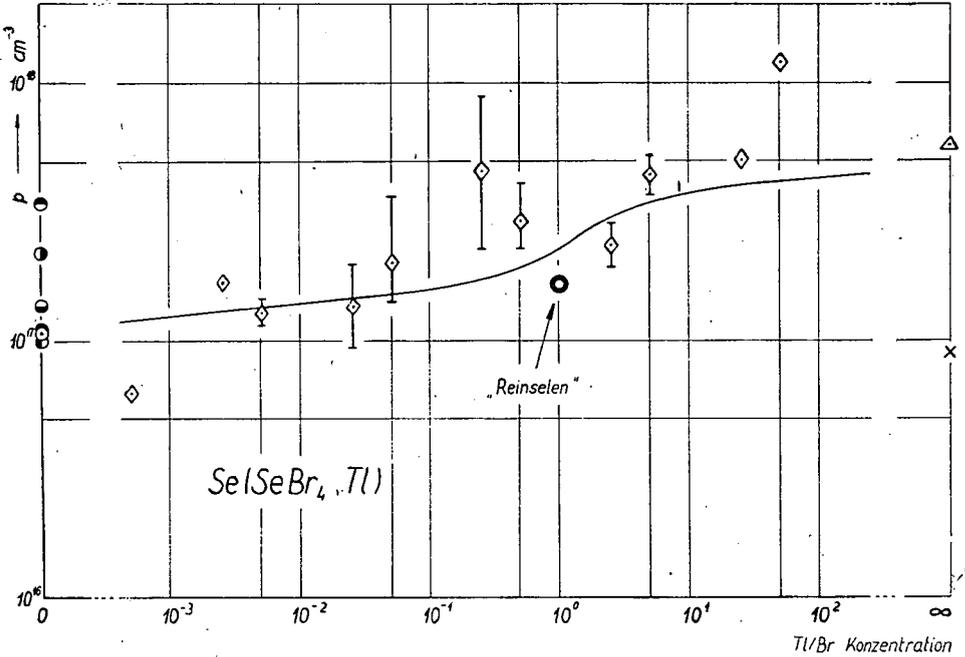


Fig. 17. Abhängigkeit der Lochkonzentration der bei 217° C temperierten Proben von der Tl/Br-Konzentration; Br-Zusatz in Form von SeBr₄

Konzentration untersucht wird. Den Figuren 3,4 und 5 entsprechen dann die Figuren 10, 11 und 12. Aus diesen ist abzulesen, daß die Leitfähigkeit des Sels durch Thalliumüberschuß herabgesetzt, durch Bromüberschuß dagegen gesteigert wird. Die Leitfähigkeit des „Reinselens“ stimmt im wesentlichen mit derjenigen der Proben mit Zusätzen in stöchiometrischem Verhältnis überein, was darauf hinweist, daß die doppelten Zusätze auch im Falle der bei 217° C temperierten Proben zur Bildung von Thalliumbromid führen; weiterhin ist aus den Figuren zu entnehmen, daß der über stöchiometrische Verhältnis vorhandene Brom- bzw. Thalliumüberschuß die Leitfähigkeit des Sels steigert bzw. herabsetzt.

Die an den bei 217° C temperierten Proben gemessene Leitfähigkeit nahm mit steigender Temperatur ab, was dem metallischen Leitfähigkeitscharakter der bei 217° C temperierten Proben entspricht.

Die Darstellung der in Fig. 6, 7 gegebenen Ergebnisse der Thermokraftmessungen als Funktion der Thallium/Brom-Konzentration (Fig. 13, 14) zeigt, daß die

Thermokraft mit der Zunahme des Bromüberschusses größer, dagegen mit wachsenden Thalliumüberschuß kleiner wird. Der eingezeichnete Wert der Thermokraft des „Reinselens“ scheint auch hier unsere Annahme bezüglich Bildung von Thalliumbromid zu unterstützen (die verhältnismäßig größeren Abweichungen der Messungen an SeBr_4 enthaltenden Proben sind der Fehlergrenze dieser Messungen zuzuschreiben). Eine während der Abschlußphase unserer Untersuchungen erschienene Arbeit [22] weist den von uns aus den Ergebnissen unserer Leitfähigkeits- und Thermokraftmessungen abgeleiteten Zusammenhang bei Leitfähigkeitsmessungen mit Chlor- und Thallium- bzw. Jod- und Thalliumzusätzen nach.

In Fig. 15 sind die aus der Thermokraft berechneten Werte der Lochkonzentration enthalten, die von dem Brom- bzw. Thalliumüberschuß kaum abhängig sind [13]; die aus Fig. 16 ersichtliche Lochbeweglichkeit hängt dagegen — infolge der Änderung der Leitfähigkeit — stark von den Zusätzen ab (die Unterschiede betragen anderthalb Zehnerpotenzen). Im Vergleich mit den bei 120°C temperierten Proben ist die Lochkonzentration um etwa eine Größenordnung kleiner, die Beweglichkeit um zwei Größenordnungen höher, in Übereinstimmung mit Literaturangabe [11], welche an Proben mit einfachen Zusätzen ähnliche Zusammenhänge nachweisen. Fig. 17 enthält die aus der Thermokraft berechnete Lochkonzentration von Proben mit Bromzusatz in Form von SeBr_4 ; diese zeigt eine mit dem Bromgehalt etwas abnehmende Tendenz [13].

* * *

Die Verfasser möchten auch an dieser Stelle ihren aufrichtigen Dank Herrn Professor A. BUDÓ, dem Direktor des Instituts, für seine befördernde Interesse aussprechen, ferner danken Fraulein K. BIRÓ für seine Hilfe in der Durchführung der Messungen.

Literatur

- [1] Brunke, F.: Halbleiterprobleme (F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1955) Bd. II. S. 57.
- [2] Schweickert, H.: Halbleiterprobleme (F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1955) Bd. II. S. 66.
- [3] Eckart, F.: Halbleiterprobleme (F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1955) Bd. II. S. 69.
- [4] Eckart, F., A. Kittel: Naturwiss. **29**, 371 (1941).
- [5] Eckart, F.: Ann. Phys. **14**, 233 (1954).
- [6] Henkels, H. W.: J. appl. Phys. **22**, 1265 (1951).
- [7] Eckart, F.: Ann. Phys. **17**, 84 (1956).
- [8] Wlerick, G.: C. R. Acad. Sci. (Paris) **238**, 2514 (1954).
- [9] Rebstock, H., K. Seiler: Z. Naturforsch. **9a**, 49 (1954).
- [10] Henkels, H. W.: Phys. Rev. **76**, 1737 (1949).
- [11] Plessner, K. W.: Proc. Phys. Soc. B **64**, 671 (1951).
- [12] Nasledov, D. N., B. V. Sokolov: Zh. tekhn. Fiz. **28**, 704 (1958).
- [13] Geikhman, D. S., V. N. Romankevich, V. G. Sidyakin: Fiz. Tverdogo Tela. **1**, 218 (1959).
- [14] Nyland, C. M.: Philips Res. Rep. **3**, 259 (1954).
- [15] Henisch, H. K., E. W. Sacker: Proc. Phys. Soc. B **65**, 149 (1952).
- [16] Henkels, H. K., I. Maczuk: J. appl. Phys. **25**, 1 (1954).
- [17] Shapiro, I. P.: Fiz. Tverdogo Tela. **1**, 1782 (1959).
- [18] Sidyakin, V. G.: Fiz. Tverdogo Tela. **1**, 1172 (1959).
- [19] Lehovec, K.: Z. Phys. **124**, 278 (1948).
- [20] Nitsche, E., E. Schillmann: Phys. Verh. H. **7**, 194 (1953).
- [21] Schweickert, H.: Z. Phys. **128**, 47 (1950).
- [22] Hempel, H. P., H. Lauckner, H. Thumann: Z. Naturforsch. **16a**, 1402 (1961).
- [23] Blacburn, W. E.: J. appl. Phys. **19**, 51 (1948).

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ БРОМИРОВАННОГО СЕЛЕНА,
ЗАГРЯЗНЕННОГО ТАЛЛИЕМ

Л. Гомбаи, И. Дьюлаи, И. Кишпегер, Я. Ланг

Была исследована зависимость температуры электрической проводимости и термоэдса микрокристаллического селенового слоя, темперированного при 120° и зависимость температуры проводимости и термоэдса в комнатной температуре темперированного при 217° в зависимости от содержания в нем брома, таллия, а также таллия плюс брома примесей. В обоих случаях была внесена бромная примесь в форме элементарного брома и SeBr_4 . Была вычислена из измерительных результатов концентрация и подвижность дыр. Вероятно, из результатов измерения и электрической проводимости и термоэдса, что при двойной примеси образуется таллий бромид и в преобладающей части только избыток компонента на электрические свойства селена. Далее результаты измерения показывают, как будто примеси брома было бы большее влияние в случае присутствия незначительной таллий бромидной примеси.