

DIE EINWIRKUNG DES VORTEMPERNS AUF DIE STÖRSTELLENDICHTE UND DIE DICKE DER RAUMLADUNGSSCHICHTEN IN DER SPERRSCHICHT VON SELENGLEICHRICHTERN

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

Institut für Experimentalphysik der Attila József-Universität, Szeged

(Eingegangen am 5. Februar 1966)

Es wurde die Wirkung des Vortempers auf die Störstellendichte in der CdSe-Se Sperrschicht sowie auf die Dicke der Raumladungsschicht in Abhängigkeit von der Bromdotation und der Zeitdauer des Vortempers untersucht. Nach den Versuchsergebnissen übt das Vortempern eine der Bromdotation entgegengesetzte Wirkung aus. Es wird die Störstellendichte in der Se-Schicht verringert, die totale Raumladungsschichtdicke vergrößert, während die Parameter der CdSe-Schicht im wesentlichen nicht beeinflusst werden. In Abhängigkeit der Zeitdauer zeigen die Parameter der Se-Schicht bloß in den ersten 20—30 Minuten des Vortempers eine rasche Änderung, und bleiben später nahezu konstant.

Einleitung

In einer früheren Arbeit [1] wurde bereits auf die Anwendungsmöglichkeit der von LEHOVEC [2] und HOFFMANN [3] ausgearbeiteten Kapazitätsmessungsmethode zur Untersuchung der sich in Selengleichrichtern während der Herstellung abspielenden Vorgänge hingewiesen, besonders mit Betracht auf die von DOLEGA [4] weiterentwickelte SCHOTTKYSche [5] Raumladungstheorie dieser Gleichrichterkontakte. Falls die resultierende Kapazität C der in den Selengleichrichtern zwischen den Se- und CdSe-Schichten vorausgesetzten $p-n$ Übergänge bzw. $1/C^2$ als Funktion der Sperrspannung U_{Sp} bekannt ist (deren Bestimmung durch [2] und [3] ermöglicht wird), so können die Störstellendichten n_{A-} bzw. n_{D+} und die Dicken der Raumladungsschichten in den Se- bzw. CdSe-Schichten, sowie die Dicke L der CdSe-Schicht bestimmt werden.

Wie bekannt, ist die Gleichstromkennlinie eines $p-n$ Kontaktes — und damit die Sperr- und Durchlaßeigenschaften des Gleichrichters — u.a. durch n_{A-} und n_{D+} bestimmt. Es ist aber schwer, die Veränderung dieser Parameter bzw. die Wirkung der Fremdstoffdotation durch Untersuchung der Gleichrichtereigenschaften zu verfolgen. Die Messung der Kapazität des $p-n$ Kontaktes gibt eine einfache Methode zur Verfolgung der Änderungen der genannten Parameter während der einzelnen Herstellungsprozesse. Mit solchen Änderungen ist vor allem in den mit Wärmeeinwirkung verbundenen Phasen der Herstellung (Se-Aufdampfen, Tempern), zu rechnen. Obwohl schon während des Vakuumaufdampfens des Selens bedeutende Bromverluste auftreten können, ist doch die Wärmebehandlung, d.h. das länger dauernde Vortempern bei 110°C und das kürzere Tempern unmittelbar unter dem Schmelzpunkt auf die Ausbildung der Störstellendichte von größerem Einfluß. Die Wirkung des Vortempers auf die Leitfähigkeit des Selens sowie auf die Eigenschaften der Sperrschicht ist noch nicht vollkommen geklärt.

In gegenwärtiger Arbeit wird die Einwirkung des Vortemperns auf die Störstellendichte und die Dicke der Raumladungsschicht bei aus Selen mit verschiedener Bromdotierung hergestellter Gleichrichterkontakten untersucht.

Experimentelles

Die bei den Messungen gebrauchten Gleichrichterplatten wurden ähnlicherweise wie in [1] hergestellt. Die auf eine Al-Platte von 100 mm×100 mm durch Vakuumaufdampfen aufgetragene amorphe Selen-schicht wurde bei einer Temperatur von $110 \pm 2^\circ \text{C}$ in Luft in hexagonales Selen übergeführt. Die Zeitdauer dieses Vortemperns betrug 60 min (mit Ausnahme der Untersuchung der Zeitabhängigkeit des Vortemperns benutzten Platten, die einer Wärmebehandlung von 0–360 Minuten unterworfen wurden). Dann wurden die Platten 20 min in Luft bei $210 \pm 2^\circ \text{C}$ getempert und nach Auftragen der Elektroden in der üblichen Weise elektrisch formiert. Die zum Vergleich dienenden Gleichrichterplatten wurden nach dem Aufdampfen des Selens ohne Vortempern, unmittelbar dem Temperieren bei 210°C unterworfen und dann elektrisch formiert. Das benutzte Selen war von 99,995% Reinheit und wurde mit 0,014–0,14 Atom% Brom dotiert. Die Messung der Spannungsabhängigkeit der Kapazität erfolgte nach [3] mit einer der Sperrspannung von 10 V überlagerten Wechselspannung, deren Frequenz 2000 Hz war.

Meßergebnisse und Diskussion

Die aus den Kapazitätsmessungen berechneten $1/C^2 = f(U_{Sp})$ Kurven zeigten in allen Fällen einen ausgesprochenen Knickpunkt; so konnte n_A - und n_D + aus den zu den vor bzw. nach den Knickpunkten liegenden geraden Abschnitten zuzuordnenden Richtungstangenten ermittelt werden. Die aus den Kapazitätsmessungen berechneten Störstellendichten als Funktion des Bromgehaltes zeigt Fig. 1. Aus der Figur ist ersichtlich, daß sowohl n_A - als auch n_D + im untersuchten Bereiche mit wachsender Bromdotierung zunehmen, und zwar derart, daß alle Kurven bei etwa 0,04 Atom% Bromdotierung ein Maximum, und bei etwa 0,06 Atom% ein Minimum durchlaufen. Durch das Vortempern werden die Werte von n_A - stark verringert (Kurven *a* und *b* in Fig. 1); die Abnahme gegen Kurve *a* beträgt je nach dem Bromgehalt 20% bis 60%. Auf die Werte von n_D + ist das Vortempern kaum von Einfluß; die ohne bzw. nach Vortempern gemessenen n_D + Kurven (Kurve *c* und *d* in Fig. 1) verlaufen parallel und liegen nahe zueinander.

Es ist anzunehmen, daß dieses Ergebnis damit zusammenhängt, daß die Temperatur des Vortemperns genügt, um ein Abreißen der zugeführten Bromatome zu ermöglichen, und so dieser Prozess zu weiteren — der Bromdotierung proportionalen — Bromverlusten führt. Dagegen setzt bei der Temperatur des Vortemperns eine stärkere, zur Ausbildung der CdSe-Schicht nötige Diffusion des Cd noch nicht ein. Letztere Annahme wird auch durch Fig. 2 unterstützt, woraus ersichtlich ist, daß die Werte von L sich während des Vortemperns nicht wesentlich ändern, während die gesamte Dicke der Raumladungsschicht l (die Summe der in den Se- und CdSe-Schichten gemessenen Schichtdicken) bedeutend zunimmt. Die Schichtdicken verändern sich auch mit dem Bromgehalt; größerer Brommengen entsprechen kleinere Schichtdicken.

Fig. 3 zeigt die Änderung der untersuchten Parameter während des Vortemperns für eine bestimmte Bromdotierung. Die Kurven zeigen bei einer Vortemperungsdauer von etwa 20–30 min einen optimalen Grenzwert; nach einer während der ersten 20–30 Minuten gemessenen raschen Änderung folgt eine sehr langsame Änderung entgegengesetzter Richtung. Der erste Abschnitt kann dem Bromaustritt

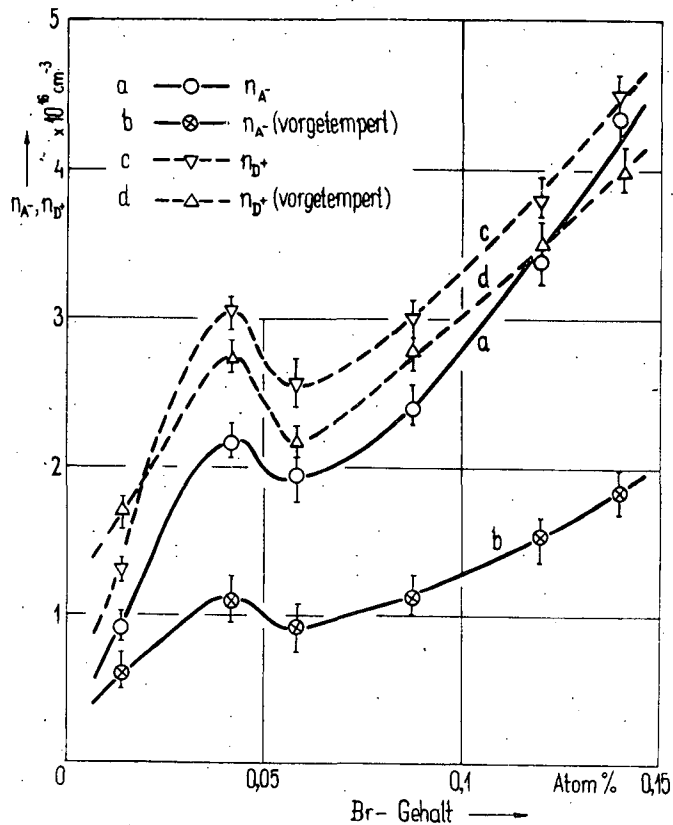


Fig. 1. Störstellendichte n_A - und n_{D^+} in Abhängigkeit vom Bromgehalt für vorgetemperte und nicht vorgetemperte Se-Gleichrichterplatten

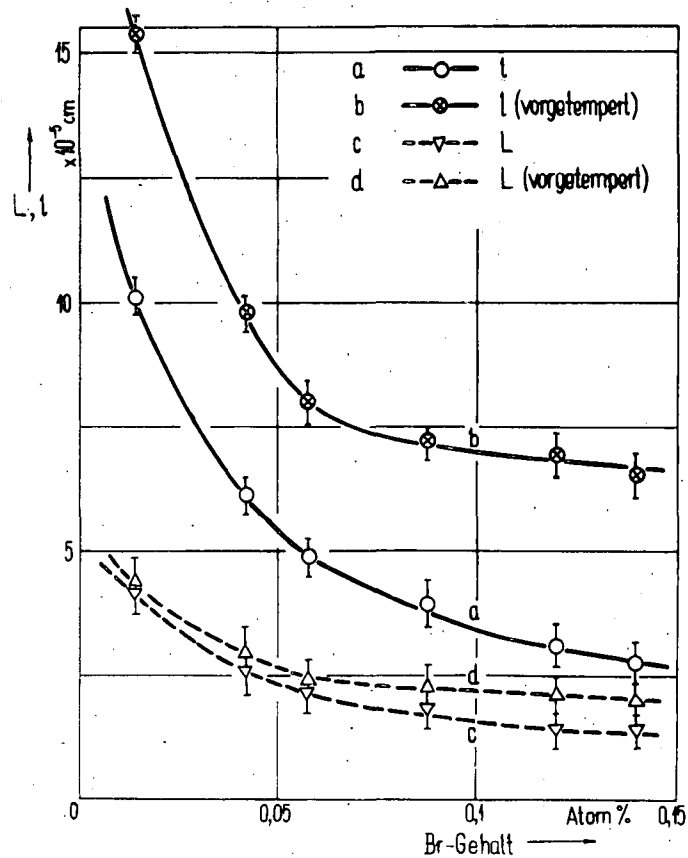


Fig. 2. Dicke der CdSe-Schicht (L) und der Raumladungsschicht (l) in Abhängigkeit vom Bromgehalt für vorgetemperte und nicht vorgetemperte Se-Gleichrichterplatten

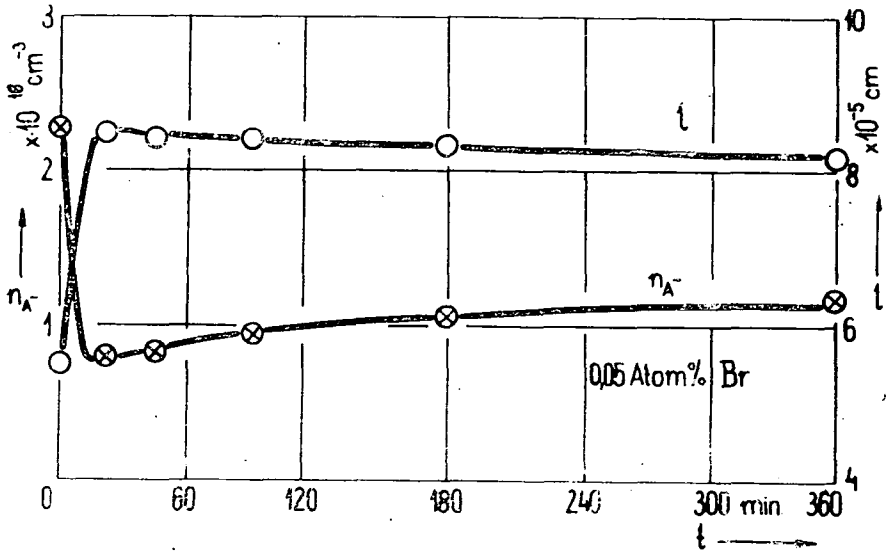


Fig. 3. Zeitlicher Verlauf von n_{A^-} und l während des Vortemperns

zugeschrieben werden, während die langsame Änderung durch Oxidation des Selen erklärt werden kann. Obwohl das Brom nach Fig. 3 aus der Selen-schicht schnell austritt, zeigt die Erfahrung, daß zur Ausbildung einer guten Sperrschicht ein Vortempern von längerer Dauer als 20–30 min nötig ist. Dies ist damit zu erklären, daß die Ausbildung der die Leitfähigkeit des Selen mitbestimmenden hexagonalen Struktur nach Versuchen [6] eine längere Zeit beansprucht.

Bekanntlich ist der Durchlaßstrom I_{Du} bei konstanter Temperatur den Werten von n_{A^-} proportional (s. z. B. [7] und Fig. 4, in der I_{Du} und U_{Sp} in Abhängigkeit vom Bromgehalt dargestellt sind). Es ist daher zu erwarten, daß die Änderungen von n_{A^-} während des Vortemperns sich in gleichem Maße in der Intensität des Durchlaßstromes äussern werden.

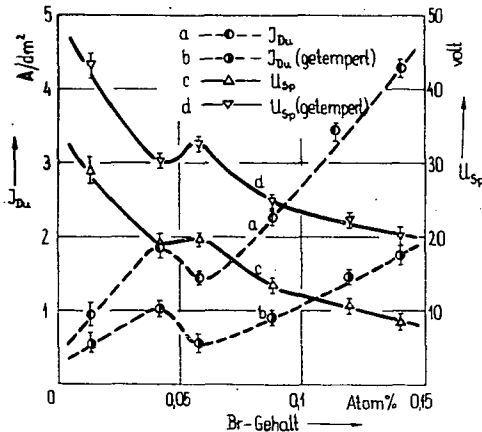


Fig. 4. Einfluß des Vortemperns auf den Durchlaßstrom (I_{Du}) bzw. auf die maximal zulässige Sperrspannung (U_{Sp})

Tabelle I gibt die relative Abnahme von n_{A^-} und I_{Du} gegenüber den vor dem Vortempern gemessenen Werten an. Eine ähnliche Übereinstimmung ist zwischen während der Wärmebehandlung auftretenden relativen Zunahme der berechneten Werte von l und den bei einer konstanten Belastung gemessenen, maximal zulässigen Sperrspannungen U_{Sp} des Gleichrichters zu finden (Tab. II).

Табелле I

Br-Гехалт Атом%	0,014	0,04	0,06	0,09	0,12	0,14
Δn_A - %	26	49	53	55	56	58
ΔI_{Du} %	30	43	54	58	57	61

Табелле II

Br-Гехалт Атом%	0,014	0,04	0,06	0,09	0,12	0,14
ΔI %	45	59	60	82	129	136
ΔU_{Sp} %	47	56	64	86	121	143

Дие Wirkung дес Vortemperns zeigt sich also vor allem in дер Abnahme дер Akzeptорконцентрация дес Селенс, дие zwar mit дер Abnahme von I_{Du} einhergeht, andererseits steigt aber infolge дер Zunahme дер Raumladungsschichtdicke auch дер maximal zulässige Wert дер Sperrspannung дер Gleichrichterplatte. Дие Parameter дер CdSe-Schicht werden durch das Vortempern nicht beeinflusst. Eine Untersuchung дер Wirkung дес Vortemperns in Abhängigkeit vom Bromgehalt ergibt, daß das Vortempern einer erhöhtен Bromdotierung entgegenwirkt.

* * *

Дие Verfasser sind Herrn Professor A. BUDÓ, Direktor дес Instituts, für sein förderndes Interesse zu aufrichtigem Dank verpflichtet. Ferner wünschen sie дер Gleichrichterfabrik „KONVERTA“ ihren Dank für дие Unterstützung дер Arbeit auszudrücken.

Literatur

[1] Kispéter, J., J. Lang, L. Gombay: Acta Phys. et Chem. Szeged 10, 85 (1964).
 [2] Lehovec, K.: J. Appl. Phys. 20, 123 (1949).
 [3] Hoffmann, A.: Z. angew. Phys. 2, 353 (1950).
 [4] Dolega, U.: Z. Phys. 167, 46 (1962).
 [5] Schottky, W.: Z. Phys. 113, 367 (1939); 118, 539 (1942).
 [6] Kispéter, J., L. Gombay, L. Lang: Acta Phys. et Chem. Szeged 12, 27 (1966).
 Henkels, H. W.: J. appl. Phys. 22, 1265 (1951).
 [7] Dolega, U.: Z. Naturforschg. 18a, 653 (1963).

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВОРИТЕЛЬНОГО ТЕМПЕРИРОВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ МЕСТА ДЕФЕКТА И НА ТОЛЩИНУ СЛОЕВ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА В ЗАПИРАЮЩИХ СЛОЯХ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Я. Ланг, И. Кишпэтэр, Л. Гомбай

Было исследовано влияние предварительного темпериования на плотность места дефекта CdSe-Se, а также на толщину слоев объемного заряда в зависимости от добавления брома и времени предварительного темпериования. По данным опытов предварительное темпериование противодействует добавлению брома и в слое Se уменьшает плотность места дефекта и увеличивает полную толщину слоя объемного заряда, а на параметры слоя CdSe заметно не влияет. В зависимости от времени предварительного темпериования параметры слоя Se в первых 20—30 минутах быстро изменяются, а после этого они остаются почти неизменными.