

Resultats auf die Stelle $x = x_p$ und Benutzung von (27) und (28) liefert

$$p(0) = \sqrt{p(x_p) \cdot n(x_p)} \\ = n_A \cdot \sqrt{i + \left(\frac{n_i}{n_A}\right)^2 \left[\sqrt{i + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}} \right]}. \quad (69)$$

während Division von (64) und (63), Anwendung auf die Stelle $x = x_p$ und Benutzung von (27) und (28)

$$\varphi(x_p) = \frac{1}{2} \ln \frac{n(x_p)}{p(x_p)} = \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{i + \frac{1}{4} - \frac{1}{2} + \left(\frac{n_i}{n_A}\right)^2}}{\sqrt{i + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}}} \quad (70)$$

ergibt, eine Beziehung, die wir implizit schon in Abschnitt III benutzt haben [man vgl. Gln. (59) und (61)].

Die Gln. (68), (69) und (70) beschreiben zusammen mit (63) und (64) die Lösung in der Raumladungszone für kleine und mittlere Stromdichten vollständig. Die Integration in (68) muß dabei numerisch oder graphisch vorgenommen werden. Als Beispiel für die Auswertung ist in Abb. 13 der Potentialverlauf in der Raumladungszone für die Stromwerte der Abb. 11 aufgetragen. Für $i = 0,1$ und $i = 1$ ist die Lösung nach Gl. (47) mit eingezeichnet. Sie ist bei diesen relativ kleinen Strombelastungen noch keine gute Näherung. Das ändert sich aber bei größeren Strombelastungen. Für $i = 10$ stimmt die Lösung (47) mit (68) innerhalb der zeichnerischen Genauigkeit überein.

Ab $i = 1000$ beginnt dann die Lösung (68) zu versagen. Wie man aus Abb. 9 ersieht, wird dann nämlich die in BOLTZMANN-Lösung vernachlässigte Bahnfeldstärke wesentlich.

NOTIZEN

Über die elektrischen Eigenschaften von InAs III

Von O. G. FOLBERTH und H. WEISS

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG.,
Erlangen

(Z. Naturforschg. 11 a, 510—511 [1956]; eingegangen am 10. März 1956)

Herrn Professor TRENDLENBURG zum 60. Geburtstag gewidmet

In den beiden vorausgegangenen Arbeiten über die elektrischen Eigenschaften von InAs^{1,2} wurde über Messungen an verhältnismäßig stark dotierten Proben berichtet. Die reinste n-leitende Probe besaß etwa $n_d \approx 1,2 \cdot 10^{15}$ Donatoren/cm³, die reinste p-leitende etwa $n_A \approx 2 \cdot 10^{17}$ Akzeptoren/cm³. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich nun mit schwächer dotierten p-leitenden Proben ($n_A < 2 \cdot 10^{17}$ cm⁻³). Diese zeigen gegenüber den bisher bekannten Erscheinungen anomale Eigenschaften der elektrischen Leitfähigkeit und des HALL-Effektes.

Die polykristallinen Präparate wurden nach bereits beschriebenen² Methoden hergestellt und untersucht. Als Ausgangsmaterial diente n-leitendes InAs mit $n_d \approx 3 \cdot 10^{16}$ cm⁻³. Probe 4 wurde mit $2 \cdot 10^{17}$ Zinkatomen/cm³ dotiert. Sie entspricht etwa der Probe 1 in² und verhält sich normal (Abb. 1). Präparat 3 enthält nur die halbe Menge an Akzeptoren. Entsprechend dem

¹ O. G. FOLBERTH, R. GRIMM u. H. WEISS, Z. Naturforschg. 8 a, 826 [1953].

² O. G. FOLBERTH, O. MADELUNG u. H. WEISS, Z. Naturforschg. 9 a, 954 [1954].

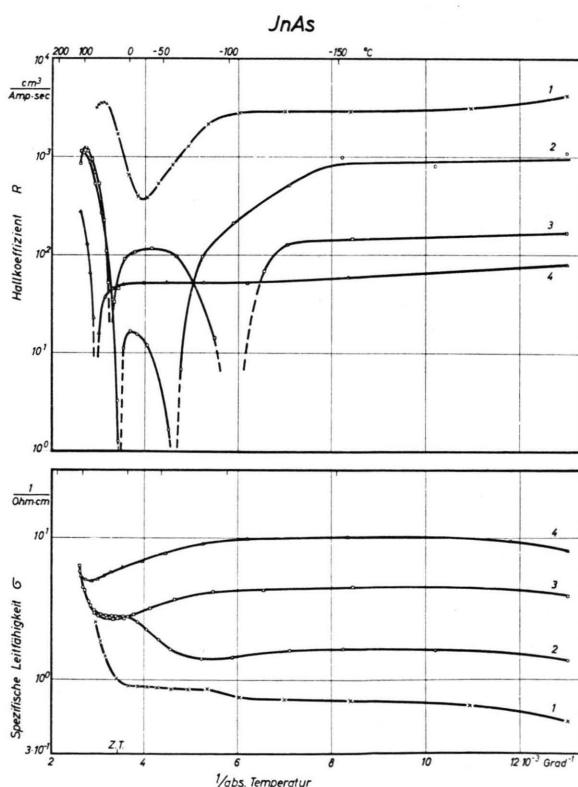


Abb. 1. Spezifische Leitfähigkeit und HALL-Koeffizient von Zn-dotierten Proben InAs in Abhängigkeit von $1/T$.



geringeren Störstellengehalt wechselt der HALL-Koeffizient sein Vorzeichen bei einer tieferen Temperatur als Probe 4, und zwar bei 20°C . Bei weiterem Abkühlen der Probe bleibt er jedoch nicht positiv, sondern wechselt bei -100°C noch einmal das Vorzeichen und bleibt dann bis zur Temperatur des flüssigen Stickstoffs negativ und nahezu konstant. Ein ähnliches Verhalten zeigt die vermutlich etwas reinere Probe 2. Probe 1 wurde mit $5 \cdot 10^{16}$ Zinkatomen/ cm^3 dotiert. Das Vorzeichen des HALL-Koeffizienten ist immer negativ und durchläuft bei -20°C ein Minimum. Es sieht so aus, als ob der bei höheren Temperaturen liegende Nulldurchgang unabhängig vom Störstellengehalt ist, während der bei tieferen Temperaturen befindliche um so höher liegt, je größer der negative HALL-Koeffizient ist. Die Werte des HALL-Koeffizienten für 3000 und 6000 Gauß stimmen mit Ausnahme der Umgebung der Nulldurchgänge nahezu überein. Bei dem sehr geringen Akzeptorengehalt der Probe 1 kommt es schließlich zu keinem

Nulldurchgang, sondern nur noch zu einem Durchhängen der HALL-Koeffizientenkurve.

Die Leitfähigkeit nimmt mit dem Akzeptorgehalt ab. Die Kurven der Proben 1 und 2 zeigen einen eigentümlichen stufenförmigen Verlauf, der bei allen Präparaten mit doppeltem Nulldurchgang gefunden wurde. Das Produkt $8/3 \pi R \sigma$ hat bei -160°C folgende Werte:

Probe	1	2	3
$8/3 \pi R \sigma$	1730	1220	550 cm^2/Vsec

Die Elektronenbeweglichkeit steigt also mit zunehmender Reinheit.

Die Deutung der Ergebnisse, vor allem der Tatsache, daß der HALL-Koeffizient bei geeigneter Dotierung bei hohen und tiefen Temperaturen negativ, in einem mittleren Temperaturbereich jedoch positiv sein kann, steht noch aus. Weitere Messungen an homogenen Einkristallen sind wohl erforderlich.

Herstellung von InAs- und GaAs-Einkristallen

Von R. GREMMELMAIER

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG.,
Erlangen

(Z. Naturforschg. 11 a, 511—513 [1956]; eingeg. am 27. Dezember 1955)

Herrn Professor TRENDLENBURG zum 60. Geburtstag gewidmet

Die Eigenschaften der Halbleiter hängen sehr stark von Störungen des Kristallgitters ab. Man strebt daher danach, die Halbleiter in der Form möglichst ungestörter Einkristalle herzustellen. Für diesen Zweck hat sich das Verfahren von CZOCHRALSKI¹ sehr bewährt. Der Einkristall wird mit Hilfe eines Keimes aus der Schmelze gezogen. TEAL und LITTLE entwickelten das Verfahren weiter und wendeten es erstmals zur Herstellung von Germanium-Einkristallen an². Im Laufe der letzten Jahre wurden nach dieser Methode auch Siliciumeinkristalle³ und Einkristalle der Verbindungen InSb, GaSb und AlSb⁴ aus der Schmelze gezogen.

Im folgenden wird über die Herstellung von InAs und GaAs-Einkristallen nach dem CZOCHRALSKI-Verfahren berichtet. Es bereitet zunächst einige Schwierigkeiten, das Verfahren auf Verbindungen zu übertragen, die am Schmelzpunkt zersetzlich sind, z. B. InAs, GaAs, InP und GaP. Wenn man keine besonderen Vorkehrungen trifft, dampft die leichtflüchtige Komponente der Verbindung (bei den angeführten Beispielen das Arsen bzw. der Phosphor) aus der Schmelze heraus und schlägt sich an kalten Stellen des Schmelzgefäßes nieder. Man kann nun dieses Verdampfen dadurch vermeiden, daß man die Verbindung in einem abgeschlossenen Gefäß schmilzt und alle Flächen, die den Dampf-

raum begrenzen, auf einer Temperatur hält, die über der Kondensations- bzw. Sublimationstemperatur der leichtflüchtigen Komponente liegt. Die Grundlagen die-

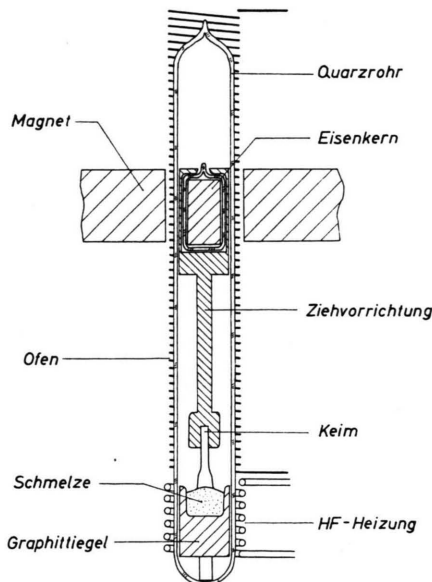


Abb. 1. Apparatur in schematischer Darstellung.

ses Verfahrens zum Schmelzen zersetzlicher Verbindungen werden an anderer Stelle ausführlich beschrieben⁵. Das Ziehen eines Kristalls aus der Schmelze ist allerdings jetzt dadurch erschwert, daß man die Ziehbewegung in das abgeschlossene Gefäß hinein übertragen

¹ I. CZOCHRALSKI, Z. Phys. Chem. 92, 219 [1918].

² G. K. TEAL u. J. B. LITTLE, Phys. Rev. 78, 647 [1950].

³ G. K. TEAL u. E. BUEHLER, Phys. Rev. 87, 190 [1952].

⁴ R. GREMMELMAIER u. O. MADELUNG, Z. Naturforschg. 8 a, 333 [1953]; M. TANENBAUM, G. L. PEARSON u. W. L. FELDMANN, Phys. Rev. 93, 912 [1954]; u. a. m.

⁵ O. G. FOLBERTH, im Erscheinen.