

von ungefähr 1%. In fokussiertem Sonnenlicht konnten eine Leerlaufspannung von 0,87 V und eine Kurzschlußstromdichte von 70 mA/cm<sup>2</sup> gemessen werden.

Eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades des GaAs-Photoelementes ist zu erwarten, wenn ein-kristallines Material zur Verfügung steht und das Herstellungsverfahren weiter verbessert wird.

Anm. b. d. Korr.: Inzwischen wurden an einem neuen GaAs-Photoelement folgende Werte gemessen:

Bei einer Sonnenstrahlung von ungefähr 60 mW/cm<sup>2</sup> betrug die Leerlaufspannung 0,73 V, die Kurzschlußstromdichte 4,8 mA/cm<sup>2</sup> und die maximale Leistung 2,4 mW/cm<sup>2</sup>. Es wurde also ein Wirkungsgrad von ungefähr 4% erreicht.

Herrn Dr. O. G. Folberth danke ich für die Überlassung des Ausgangsmaterials und für seine Hilfe bei der Herstellung der Photoelemente.

### Mischkristallbildung bei A<sup>III</sup> BV-Verbindungen

Von O. G. Folberth

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen

(Z. Naturforsch. 10a, 502—503 [1955]; eingeg. am 7. Mai 1955)

Germanium und Silicium bilden eine lückenlose Mischkristallreihe. Es ist daher möglich, Ge-Si-Legierungen herzustellen, bei denen die verbotene Zone  $\Delta E$  beliebige Werte zwischen demjenigen von reinem Ge (0,69 eV) und reinem Si (1,03 eV) annehmen kann<sup>1</sup>.

Die A<sup>III</sup> BV-Verbindungen ergänzen die Elemente Ge und Si durch Halbleiterstoffe mit ähnlichen Eigenschaften, wobei die verbotenen Zonen im wesentlichen unterhalb derjenigen von Ge und oberhalb derjenigen von Si liegen<sup>2</sup>. Ziel unserer Untersuchungen war festzustellen, ob durch Mischkristallbildung zwischen A<sup>III</sup> BV-Verbindungen der Bereich möglicher  $\Delta E$ -Werte noch zu erweitern ist.

Bereits früher bekannt gewordene Untersuchungen hatten einen negativen Erfolg. Köster und Thoma<sup>3</sup> untersuchten die quasi-binären Zustandsdiagramme InSb-GaSb, InSb-AlSb und GaSb-AlSb. Sie konnten in allen drei Fällen entartete eutektische Diagramme ermitteln ohne feststellbare Löslichkeit der Verbindungen ineinander.

Shih und Peretti<sup>4</sup> untersuchten das System InSb-InAs. Es handelt sich auch hier um ein entartetes eutektisches Diagramm. InSb löst kein InAs und InAs höchstens 2% InSb.

Die Ergebnisse sind einigermaßen überraschend, da z. B. GaSb und AlSb nur wenig verschiedene Gitterkonstanten besitzen (6,08 Å bzw. 6,09 Å). Wir teilen im folgenden die Ergebnisse unserer Untersuchungen über die Mischkristallbildung der A<sup>III</sup> BV-Verbindungen für die Systeme InAs-InP und GaAs-GaP mit. Es zeigt sich, daß in diesen Systemen Mischkristallbildung eintritt, obwohl die Gitterkonstanten der Randverbindungen weit weniger gut übereinstimmen als bei dem von Köster und Thoma<sup>3</sup> untersuchten System GaSb-AlSb.

<sup>1</sup> A. Levitas, C. C. Wang u. B. H. Alexander, Phys. Rev. **95**, 846 [1954].

<sup>2</sup> H. Welker, Physica **20**, 893 [1954].

<sup>3</sup> W. Köster u. B. Thoma, Z. Metallkunde **46**, 293 [1955].

<sup>4</sup> L. Shih u. E. A. Peretti, J. Amer. Chem. Soc. **75**, 608 [1953].

### Das System InAs-InP

Untersucht wurden zunächst drei Proben mit den ungefähren Zusammensetzungen InAs:InP 3:1, 1:1 und 1:3\*. Debye-Scherrer-Aufnahmen zeigten Linien des ZnS-Typus, aus denen die Gitterkonstanten der Mischkristalle berechnet werden konnten:

InAs	$a = 6,04 \text{ Å}$
In(As <sub>0,75</sub> P <sub>0,25</sub> )	5,99 Å
In(As <sub>0,5</sub> P <sub>0,5</sub> )	5,93 Å
In(As <sub>0,25</sub> P <sub>0,75</sub> )	5,89 Å
InP	5,86 Å

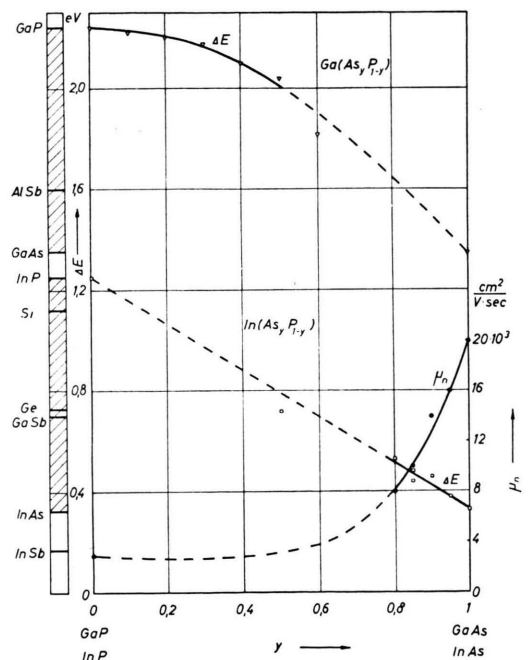


Abb. 1. Verbotene Zone  $\Delta E$  der Mischkristalle  $\text{In}(\text{As}_y\text{P}_{1-y})$  und der Mischkristalle  $\text{Ga}(\text{As}_y\text{P}_{1-y})$  sowie die Elektromobilität  $\mu_n$  der Mischkristalle  $\text{In}(\text{As}_y\text{P}_{1-y})$  in Abhängigkeit der Zusammensetzung  $y$  (Werte bei Zimmertemperatur).

\* Die Zusammensetzung sämtlicher Proben ist lediglich auf einige Prozent genau. Insbesondere dürften die Proben etwas mehr P enthalten als angegeben. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind daher als vorläufige Mitteilung zu betrachten.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Daraus ist zu ersehen, daß eine stetige Änderung der Gitterkonstanten mit der Zusammensetzung erfolgt, wie sie bekanntlich in Mischkristallreihen auftritt. Das quasi-binäre Zustandsdiagramm InAs-InP läßt also eine Mischkristallbildung in allen Konzentrationen erwarten. Eingehende Untersuchungen sind durch den verhältnismäßig hohen Dampfdruck (insbesondere der phosphorreichen Legierungen) erschwert. Die weiteren Untersuchungen konzentrierten sich daher auf Legierungen bis 20% InP. Von Interesse ist insbesondere der Gang der verbotenen Zone  $\Delta E$  und der Elektronenbeweglichkeit  $\mu_n$  mit der Zusammensetzung (Abb. 1). Die Beweglichkeit  $\mu_n$  wurde aus den Gleichstromwerten der spez. Leitfähigkeit  $\sigma$  und des Hallkoeffizienten  $R$  berechnet:  $\mu_n = 8/3\pi \cdot R\sigma$ . Die  $\Delta E$ -Werte wurden aus der Lage der optischen Absorptionskante bestimmt<sup>5</sup>. Abb. 2 zeigt vergleichsweise einige Kurven mit  $R$  als Funktion von  $1/T_{\text{abs}}$  für InAs und In(As<sub>0,85</sub>P<sub>0,15</sub>). Man sieht, daß sich der Eigenleitungsbereich vergleichbarer Proben für In(As<sub>0,85</sub>P<sub>0,15</sub>) gegenüber InAs zu höheren Temperaturen verschoben hat.

### Das System GaAs-GaP

GaAs-GaP bilden ebenfalls eine lückenlose Mischkristallreihe. Unsere Untersuchungen beschränkten sich zunächst auf die Kristalle mit mehr als 50% GaP. Diese Kristalle sind durchsichtig und somit ist die Änderung von  $\Delta E$  mit der Konzentration unmittelbar zu sehen. Für Ga(As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub>) mit  $0 < y < 0,1$  ist die Farbe der Präparate orange und von reinem GaP ( $\Delta E = 2,24 \text{ eV}$ )<sup>6</sup> kaum zu unterscheiden. Für  $0,1 < y < 0,3$  ist die Färbung rötlicher, für  $y \approx 0,4$  rot, für  $y \approx 0,5$  dunkelrot und für  $y > 0,6$  sind die Präparate undurchsichtig. Abb. 1 zeigt  $\Delta E$  in Abhängigkeit der Konzentration, berechnet aus der Lage der optischen Absorptionskante.

### Zusammenfassung

In den quasi-binären Systemen InAs-InP und GaAs-GaP tritt lückenlose Mischkristallbildung ein. Damit

ist es möglich, A<sup>III</sup>B<sup>V</sup>-Verbindungen herzustellen mit beliebigem  $\Delta E$  zwischen 0,33 und 1,25 eV, sowie 1,45 bis 2,25 eV (schraffierte Bereiche der  $\Delta E$ -Skala von Abb. 1).

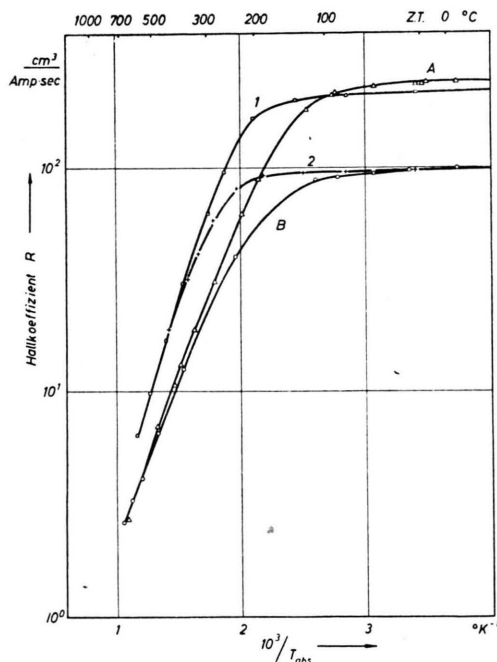


Abb. 2. Hall-Konstante  $R$  als Funktion von  $1/T_{\text{abs}}$  für In(As<sub>0,85</sub>P<sub>0,15</sub>): Probe 1 und 2 sowie InAs: Proben A und B.

Für die Überlassung der Daten der elektrischen Messungen bin ich Herrn Dr. H. Weiß, für diejenigen der optischen Messungen Herrn Dr. F. Oswald und für die röntgenographischen Daten Herrn Dr. H. Pfister zu Dank verpflichtet.

<sup>5</sup> F. Oswald u. R. Schade, Z. Naturforschg. **9a**, 611 [1954].

<sup>6</sup> O. G. Folberth u. F. Oswald, Z. Naturforschg. **9a**, 1050 [1954].

### Elektronenoptische Untersuchungen an Selen<sup>1</sup>

Von W. Theis

AEG Laboratorium Belecke

(Z. Naturforschg. **10a**, 503—504 [1955]; eingeg. am 9. Mai 1955)

Dampft man auf eine um 130°C vorgeheizte Trägerplatte einen Selenfilm von etwa 30  $\mu$  Stärke auf, so erhält man in diesem sogenannten Vorkristallisationsstadium des Selen sphärolithische Strukturen. Sphärolithe stellen eine Anhäufung von kleinsten Kristallindividuen um ein Zentrum, eine höhere Einheit dar. Neben Sphärolithen, die sich durch Elektronenbeu-

gung als hexagonale, sogenannte metallische Modifikation des Selen erweisen, zeigt das Kondensat einer solchen Platte hexagonal kristallisierte Stäbchenstrukturen des Selen mit definierten Winkeln. Abb. 1\*. Das Gitter des hexagonalen Selen besitzt dreizählige Schraubenachsen parallel der c-Achse. Die Atome, die der gleichen Schraubenachse angehören, sind untereinander homöopolar gebunden und bilden eine lange Kettenmolekel. Bei diesen Aufdampftemperaturen liegt die c-Achse parallel zur Oberfläche<sup>2</sup>. Das Elektronenbild macht dies anschaulich sichtbar. Die Aufnahme zeigt tangential Wachstum auf niederindizierten Ebenen, die sich in molekularen Schichten über-

<sup>1</sup> Vorgetragen auf der 6. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie in Münster 1955.

\* Abb. 1 bis 6 auf Tafel S. 464 b.

<sup>2</sup> H. Krebs, Z. Metallkde. **40**, 29 [1949].