

Stundenwerte (mittlerer statistischer Fehler 16 bzw. 33 bzw. 57%) bedeutet das, daß die Amplitude des Sternzeitganges auch bei diesen hohen Energien offenbar nicht über einige Prozent ansteigt.

Überblicken wir zusammenfassend obige Ergebnisse, so ist es fast sicher, daß die energiereichen Luftschauer einen Sternzeitgang von der Größenordnung 1% besitzen. Bei Schauern mit einer kleineren Dichte als etwa  $3 \text{ m}^{-2}$  kann kein Gang festgestellt werden. Schauer mit einer zehnmal höheren mittleren Dichte zeigen bereits einen Gang mit einer Amplitude

von etwa 1%, und es scheint, daß mit weiter steigender Energie die Anisotropie nicht gleich stark anwächst. Die Messungen werden (mit nach oben erweitertem Energiebereich) fortgeführt.

Wir sind Herrn Professor Gentner und Herrn Dr. Sittkus für wertvolle Diskussionen und fortwährende Hilfe bei der Durchführung der Dauerregistrierung sehr zu Dank verpflichtet. Herr Dipl.-Phys. Langenbacher hat die Apparatur erstellt. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft haben wir für finanzielle Hilfe zu danken.

### GaAs-Photoelement

Von R. Gremmelmaier

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen

(Z. Naturforschg. **10a**, 501—502 [1955]; eingegangen am 7. Mai 1955)

Über den Photoeffekt in Halbleitern und über die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie erschienen in der letzten Zeit eine Reihe von Arbeiten. Chapin, Fuller und Pearson<sup>1</sup> erreichten mit einem Silizium-p-n-Photoelement bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie einen Wirkungsgrad von 6%. Cummrow veröffentlichte eine ausführliche Theorie über den Photoeffekt in p-n-Übergängen<sup>2</sup> und diskutierte eingehend die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von den verschiedenen Parametern. Die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Breite der verbotenen Zone des Halbleiters bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie wurde außerdem von Rittner berechnet<sup>3</sup>. Der Wirkungsgrad hat nach Rittner ein Maximum bei einer Breite der verbotenen Zone von 1,5—1,6 eV.

Von den halbleitenden Verbindungen vom Typ A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> lassen InP (Breite der verbotenen Zone  $\Delta E = 1,28 \text{ eV}$ ), GaAs ( $\Delta E = 1,38 \text{ eV}$ ) und AlSb ( $\Delta E = 1,6 \text{ eV}$ ) einen guten Wirkungsgrad erwarten. Vor allem die  $\Delta E$ -Werte von AlSb und GaAs liegen dicht bei dem von Rittner angegebenen optimalen Wert.

Für die vorliegenden Versuche wurde ein GaAs-p-n-Photoelement verwendet<sup>4</sup>. Es besteht aus einem Scheibchen von etwa  $23 \text{ mm}^2$  Fläche, welches aus zonengeschmolzenem, polykristallinem Material herausgeschnitten wurde. An der einen Oberfläche des n-leitenden Scheibchens wurde eine p-leitende Schicht von einigen  $10^{-2} \text{ mm}$  Dicke erzeugt. Abb. 1 zeigt die Leerlaufspannung des Elementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke bei der Beleuchtung durch eine Lichtstärke-Normallampe. Abb. 2 zeigt die Kurzschlußstromdichte in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Im Sonnenlicht beträgt die Leerlaufspannung 0,66 V, die Kurzschlußstromdichte  $2,6 \text{ mA/cm}^2$

und die maximale an einen Belastungswiderstand abgegebene Leistung  $1,1 \text{ mW}$  pro  $\text{cm}^2$  Oberfläche des Photoelementes. Bei einer Sonnenstrahlung von ungefähr  $0,1 \text{ W/cm}^2$  entspricht das einem Wirkungsgrad

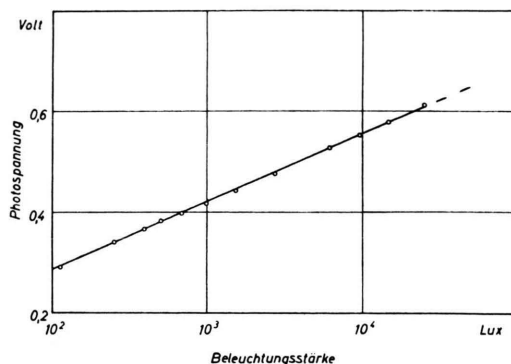


Abb. 1. Leerlaufspannung eines GaAs-Photoelementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke.

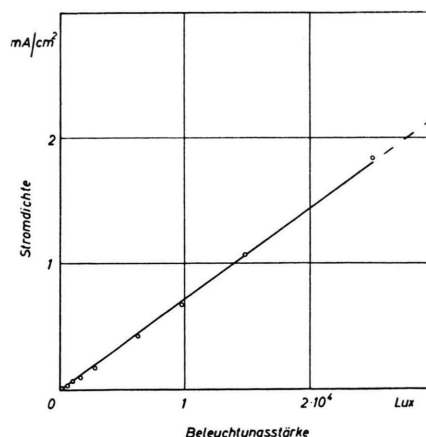


Abb. 2. Kurzschlußstrom eines GaAs-Photoelementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke.

<sup>1</sup> D. M. Chapin, C. S. Fuller u. G. L. Pearson, J. Appl. Phys. **25**, 676 [1954].

<sup>2</sup> R. L. Cummrow, Phys. Rev. **95**, 16 [1954]; Phys. Rev. **95**, 561 [1954].

<sup>3</sup> E. S. Rittner, Phys. Rev. **96**, 1708 [1954].

<sup>4</sup> Die Kennlinien eines GaAs-Gleichrichters und einer GaAs-Photozelle wurden von H. Welker schon auf der Halbleitertagung, Amsterdam 1954, gezeigt. — H. Welker, Physica **20**, 893 [1954].



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. Korrr.: 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. Naturforschg. 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               |

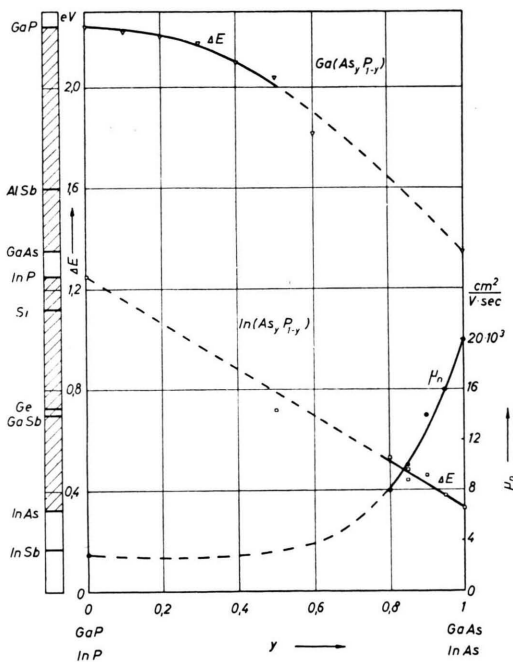


Abb. 1. Verbotene Zone  $\Delta E$  der Mischkristalle

$\text{In}(\text{As}_y\text{P}_{1-y})$  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.