

Übergang in ein höheres angeregtes Niveau zurückgeht. Das F-Zentrum scheint in den Umwandlungsprozeß  $Z_2 \rightarrow Z_3$  nicht verwickelt zu sein, da eine Änderung der F-Zentrenkonzentration im Bleichspektrum infolge der hohen Oszillatorstärke der F-Bandenabsorption deutlich sichtbar sein müßte.

Weitere Untersuchungen, auch mit EPR, sind im Gange.

Zu besonderem Dank sind wir Herrn Prof. Dr. E. LÜSCHER verpflichtet, der die Arbeit ermöglicht hat und stets förderte.

## Untersuchungen über InAs-Epitaxieschichten auf GaAs-Substraten

GÜNTHER ERNST BAUER

Ludwig-Boltzmann-Institut für Festkörperphysik, Wien  
(Z. Naturforsch. **22 a**, 284–285 [1967]; eingeg. am 28. Dezember 1966)

Die elektronenoptische Untersuchung von epitaxial auf GaAs aufgewachsenen InAs-Schichten bestätigt die Regel von H. HOLLOWAY, nach der zur Elimination von Zwillingsbildung um so höhere Substrattemperaturen erforderlich sind, je kleiner der Winkel zwischen der Wachstums- und der jeweiligen  $\langle 111 \rangle$ -Richtung ist.

a) Mit Hilfe einer chemischen Transportreaktion, bei der ein Gemisch von Wasserstoff und Wasserdampf als Trägergas diente, hatte ROBINSON<sup>1</sup> InAs-Schichten auf GaAs hergestellt, jedoch keine näheren Angaben über die Struktur der Schichten gemacht. Mit derselben Reaktion wurden von uns mit der sogen. Close Space- oder Sandwich-Methode<sup>2–4</sup> InAs-Schichten mit Schichtdicken zwischen  $0,7 \mu$  und  $2 \mu$  auf einkristallinen GaAs-Substraten der  $\langle 100 \rangle$ -,  $\langle 111 \rangle$ - und  $\langle 311 \rangle$ -Orientierungen aufwachsen gelassen. Die Substrattemperaturen lagen zwischen  $700^\circ\text{C}$  und  $775^\circ\text{C}$ . Die Schichten wurden mit Elektronenbeugung in Reflexionsstellung untersucht und zwar jeweils in einem  $\langle 110 \rangle$ -Azimut.

b) Bei den auf Ga $\{111\}$ -Flächen aufgewachsenen Schichten konnte zunächst der Übergang zur azimutalen Orientierung beobachtet werden. Bei  $750^\circ\text{C}$  Substrattemperatur zeigte sich dann ein Aufwachsen in doppelter Position:  $(111)_{\text{InAs}} // (111)_{\text{GaAs}}$ ,  $[0\bar{1}1]_{\text{InAs}} // [0\bar{1}1]_{\text{GaAs}}$  und  $[01\bar{1}]_{\text{InAs}} // [01\bar{1}]_{\text{GaAs}}$ . Diese Positionen treten mit gleicher Intensität auf, wie aus Abb. 1\* zu entnehmen ist; sie befinden sich zueinander in Zwillingsstellung nach der Oberflächennormale. Gleichzeitig sind auch noch die Zwillinge nach den zur Oberfläche geneigten  $\langle 111 \rangle$ -Achsen, und zwar von beiden Aufwachspositionen vorhanden (in Abb. 1  $T_{111}$  und  $T_{111/111}$ ). Unter  $750^\circ\text{C}$  Substrattemperatur zeigten sich auch zwei- und dreifache Zwillinge.

In den auf As $\{111\}$ -Flächen aufgewachsenen Schichten zeigte sich, wie zu erwarten, ein höher geordnetes Wachstum, doch konnte auch bei  $770^\circ\text{C}$  die Zwillingsbildung um die Oberflächennormale nicht verhindert werden.

Bei  $\{100\}$ -Substraten zeigte sich bei  $750^\circ\text{C}$  Substrattemperatur noch einfache Zwillingsbildung nach den vier zur Oberfläche geneigten  $\langle 111 \rangle$ -Achsen. Diese Zwillinge verschwanden jedoch bei Erhöhung der Substrattemperatur und es trat paralleles Überwachsen auf (Abb. 2).

Auch auf den As $\{311\}$ -Substraten konnte über  $765^\circ\text{C}$  Substrattemperatur ein von Zwillingsbildung freies InAs-Wachstum erreicht werden.

Einige der hergestellten Schichten wurden schrittweise bis zur Zwischenfläche InAs–GaAs abgeätzt. Auf den Aufnahmen waren dann gemeinsam Reflexe von InAs und GaAs vorhanden, wie z. B. in Abb. 3, in der auch schon die Zwillinge der InAs-Schicht nach  $[111]$  und  $[1\bar{1}\bar{1}]$  erkannt werden können (Substrattemperatur:  $755^\circ\text{C}$ ).

c) Es zeigte sich auch bei Schichten, die mit Substrattemperaturen um  $700^\circ\text{C}$  hergestellt worden waren, kein Anzeichen für das Auftreten einer Wurtzphase. Eine solche hatten MÜLLER<sup>5</sup>, ebenso HOLLOWAY et al.<sup>6</sup> beim GaAs-Wachstum auf Ge festgestellt. Ein geordnetes hexagonales Aufwachsen, also mit den  $(0001)$ -Ebenen parallel zu den  $(111)$  des kubischen Gitters, führt zu Sechstelpunkten entlang den  $\langle 111 \rangle$ -Geraden des reziproken Gitters. In unseren Aufnahmen konnten wir keine solchen feststellen. Die DEBYE-Ringe in Aufnahmen von Schichten, die bei tiefen Substrattemperaturen entstanden, wurden ausgemessen. Berücksichtigt man, daß DEBYE-Ringe auch durch Doppelbeugung entstehen können, so verwendet man zum sicheren Nachweis einer hexagonalen Phase am besten den  $(10\bar{1}1)$ -Reflex<sup>7</sup>. Dieser Reflex konnte nicht beobachtet werden, es trat daher auch keine ungeordnete hexagonale Phase auf.

d) Zur Erklärung der Abhängigkeit der Zwillingsbildung von der Substratorientierung und der Substrattemperatur kann man das Modell von HOLLOWAY et al.<sup>6</sup> anwenden. Danach werden um so höhere Substrattemperaturen zur Elimination der Zwillingsbildungen erforderlich sein, je kleiner der Winkel zwischen der Wachstums- und der jeweiligen  $\langle 111 \rangle$ -Richtung ist. Da der kleinste Winkel zwischen einer  $\langle 100 \rangle$ - und einer  $\langle 111 \rangle$ -Richtung  $54,7^\circ$ , zwischen einer  $\langle 111 \rangle$ - und einer  $\langle 111 \rangle$ -Richtung  $0^\circ$ , zwischen einer  $\langle 311 \rangle$ - und einer  $\langle 111 \rangle$ -Richtung  $29,5^\circ$  beträgt, ergibt sich folgende

<sup>1</sup> P. H. ROBINSON, RCA Rev. **24**, 574 [1963].

<sup>2</sup> F. H. NICOLL, J. Electrochem. Soc. **110**, 1165 [1963].

<sup>3</sup> E. SIRTIL, J. Phys. Chem. Solids **24**, 1285 [1963].

<sup>4</sup> H. J. DERSIN u. E. SIRTIL, Z. Naturforsch. **21 a**, 332 [1966].

\* Abb. 1–3 auf Tafel S. 284 a.

<sup>5</sup> E. K. MÜLLER, J. Appl. Phys. **35**, 580 [1964].

<sup>6</sup> H. HOLLOWAY, K. WOLLMANN u. A. S. JOSEPH, Phil. Mag. **11**, 263 [1965].

<sup>7</sup> D. W. PASHLEY u. M. J. STOWELL, Phil. Mag. **8**, 1605 [1963].



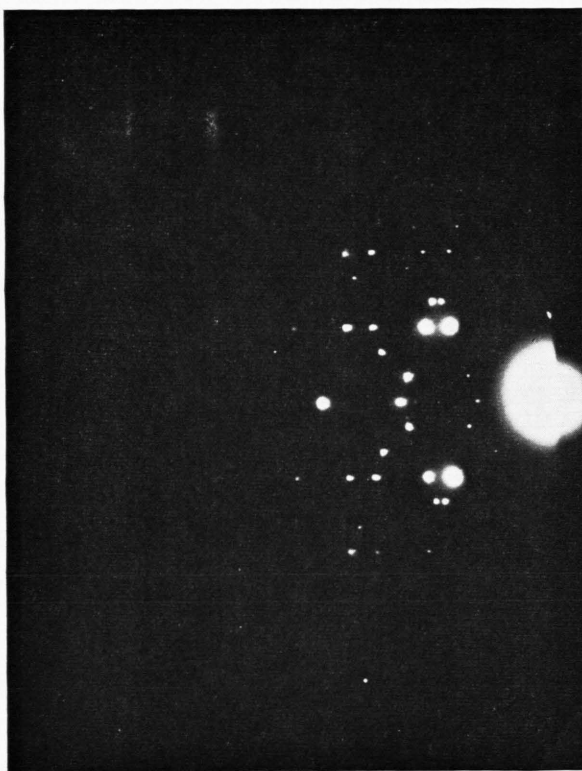


Abb. 1. InAs auf (111) GaAs, Azimut:  $[0\bar{1}1]$ ; Zwillinge:  $T_{111}$ ,  $T_{\bar{1}\bar{1}\bar{1}}$  und  $T_{111}\bar{1}\bar{1}$ ; Substrattemperatur: 750 °C.

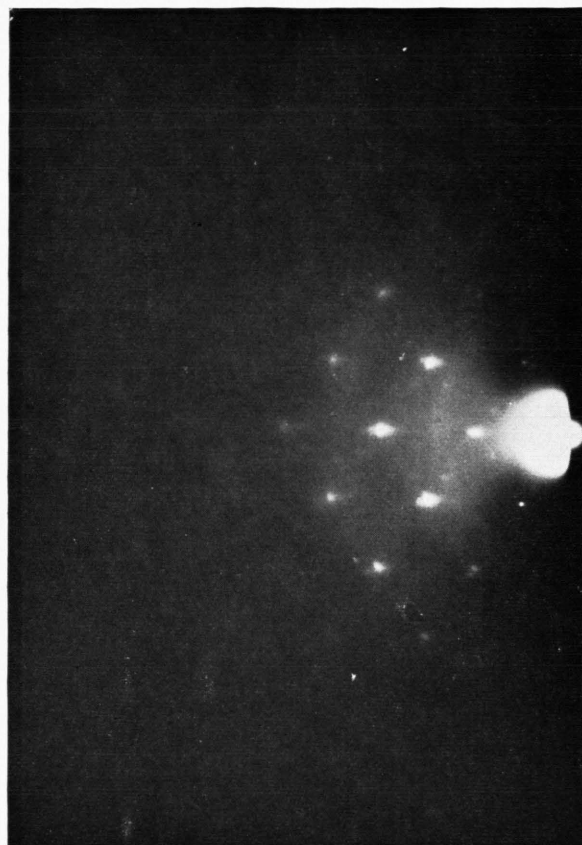


Abb. 3 a. InAs auf (100) GaAs,  $[0\bar{1}1]$  Azimut.

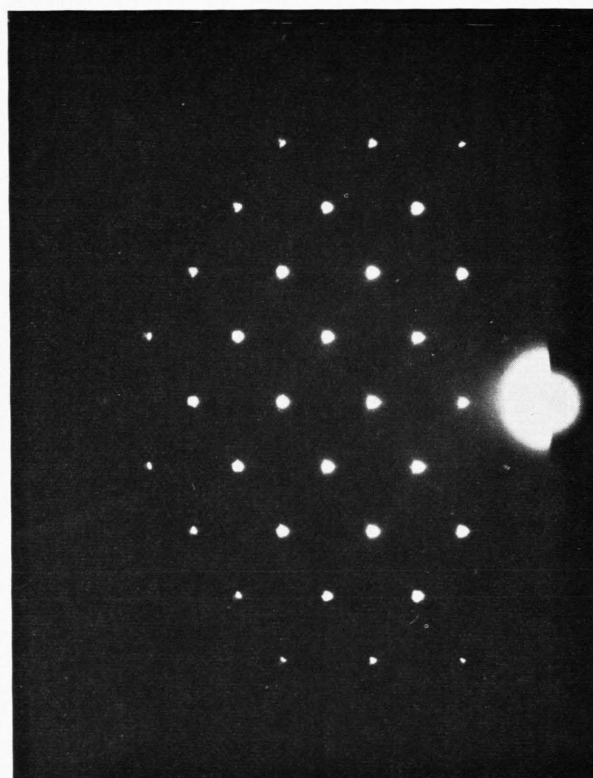


Abb. 2. InAs auf (100) GaAs,  $[0\bar{1}1]$  Azimut, Substrattemperatur: 760 °C.

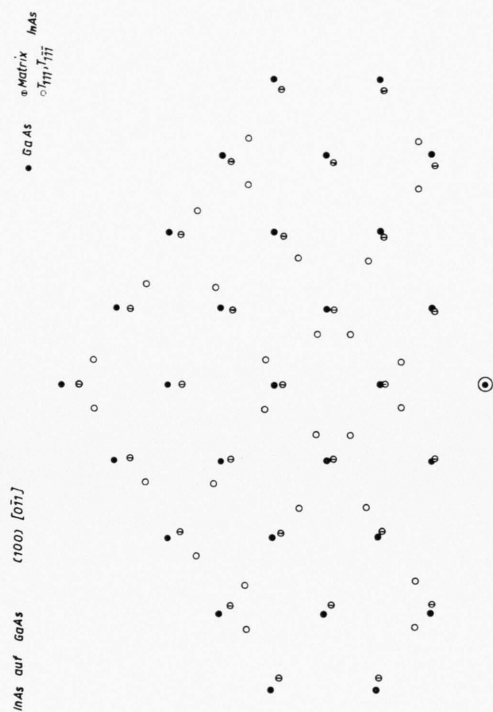


Abb. 3 b. Konstruiertes Beugungsbild zu Abb. 3 a.



Reihenfolge der Orientierungen, die die minimalsten Temperaturen zur Elimination der Zwillingsbildung benötigen:

$$T_{\{100\}} < T_{\{311\}} < T_{\{111\}}.$$

Dieses Modell, mit dem HOLLOWAY et al.<sup>6</sup> ihre Versuche zum Wachstum von GaAs auf Ge erklären, kann

man auch, wie unsere Ergebnisse zeigen, zum Wachstum von InAs auf GaAs anwenden, wenn man von den {311}- und {111}-Flächen nur die beim Wachstum dieser III-V-Verbindung begünstigten As{311}- und As{111}-Flächen berücksichtigt.

Den Herren Prof. Dr. K. M. KOCH, Dr. A. J. SCHMIDT und Dr. G. NENTWICH danke ich für viele wertvolle Anregungen.

## Einige bei niedrigen Temperaturen stabile nematische Flüssigkeiten

DIETRICH DEMUS

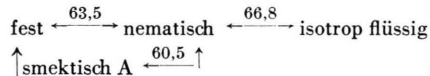
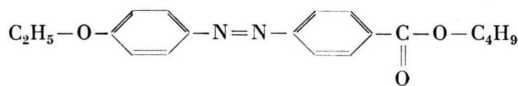
Institut für Physikalische Chemie mit Metall- und Werkstofflaboratorium der Universität Halle/Saale

(Z. Naturforsch. **22 a**, 285–286 [1967]; eingegangen am 24. Januar 1967)

Für physikalische Untersuchungen an kristallin-flüssigen, insbesondere nematischen Zuständen ist es von Interesse, bei niedrigen Temperaturen (Zimmertemperatur) arbeiten zu können. MARKAU und MAIER<sup>1</sup> haben einige Diensäuren beschrieben, die teilweise schon kurz oberhalb Zimmertemperatur zu einer nematischen Flüssigkeit aufschmelzen. Leider sind aber diese Verbindungen licht- und luftempfindlich und eignen sich daher nicht für länger dauernde Untersuchungen. In den Tabellen von KAST<sup>2</sup> finden sich einige Stoffe, die zwischen 50 und 60 °C zu nematischen Flüssigkeiten aufschmelzen.

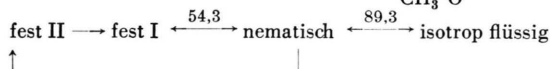
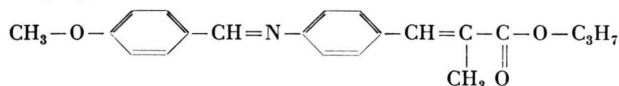
In binären Systemen besteht auf Grund der Schmelzpunktserniedrigung die Möglichkeit der Existenz nematischer Zustandsgebiete auch bei tieferen Temperaturen. Die 3 folgenden Substanzen (deren Umwandungsverhalten mit den entsprechenden Umwandlungstemperaturen in °C angegeben ist) wurden in binären Systemen kombiniert und ihre Zustandsdiagramme untersucht.

**Nr. 1.** 4'-Äthoxy-azobenzol-4-carbonsäure-n-butylester



Die Substanz wurde von SCHULZE<sup>3</sup> dargestellt und von DEMUS und SACKMANN<sup>4,5</sup> untersucht. Die instabile smektische Modifikation tritt in den folgenden binären Systemen nicht in Erscheinung.

**Nr. 2.** 4-Methoxybenzal-4-amino- $\alpha$ -methylzimtsäure-n-propylester



Beide festen Modifikationen können beim Kühlen der Schmelze entstehen. Die nematische Schmelze kristalli-

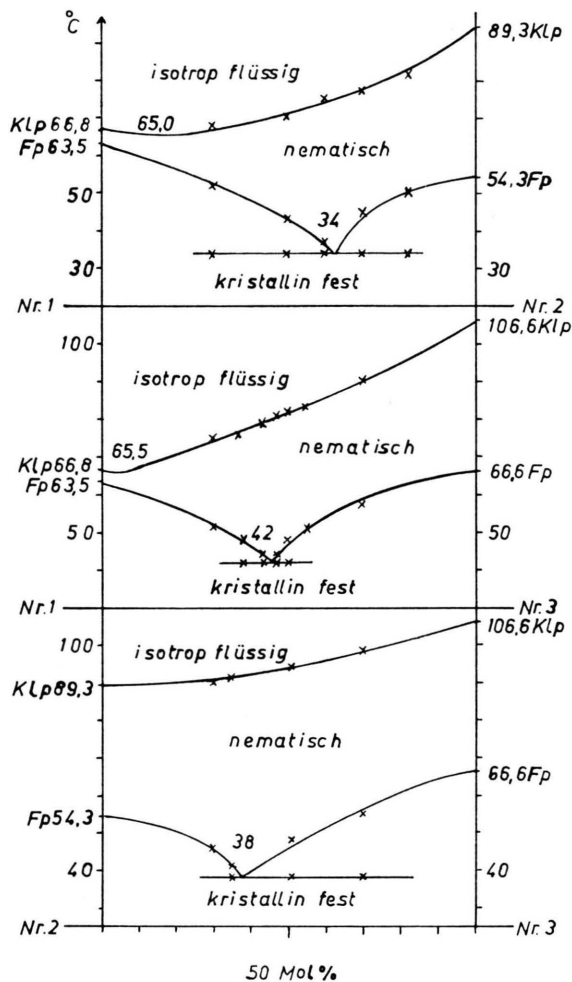


Abb. 1. Zustandsdiagramme.

<sup>1</sup> K. MARKAU u. W. MAIER, Chem. Ber. **95**, 889 [1962].

<sup>2</sup> W. KAST, in LANDOLT-BÖRNSTEIN, Physikalisch-Chemische Tabellen, 6. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960, 2. Bd., 2. Teil, S. 226–333.

<sup>3</sup> R. SCHULZE, Dissertation Halle (Saale) 1928.

<sup>4</sup> D. DEMUS u. H. SACKMANN, Z. phys. Chem. Leipzig **222**, 127 [1963].

<sup>5</sup> H. SACKMANN u. D. DEMUS, Z. phys. Chem. Leipzig **224**, 177 [1963].