

EINGEGANGEN  
16. NOV. 1987  
K

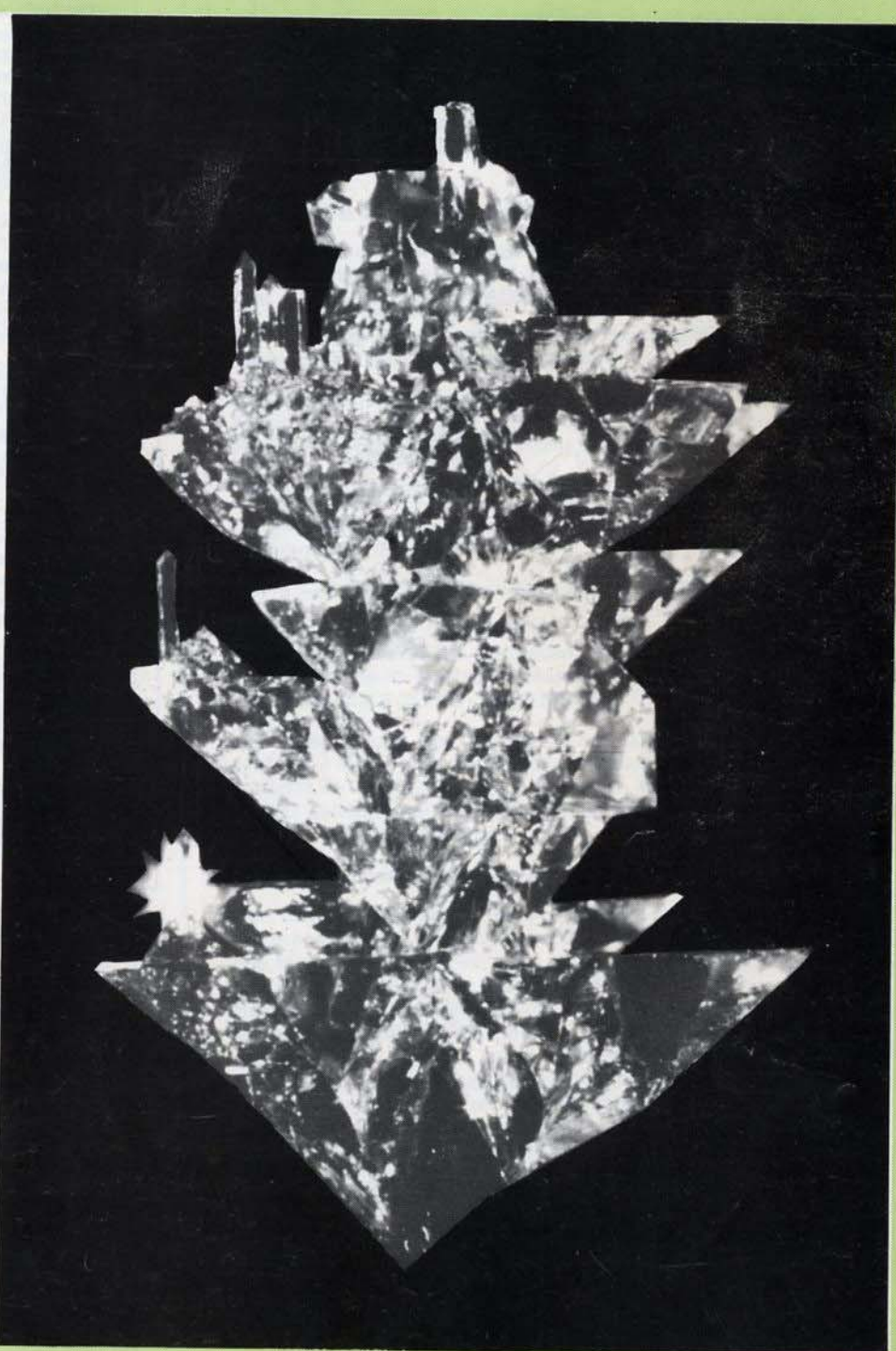
Mitteilungsblatt  
Nr. 46/Oktober 87



Deutsche Gesellschaft  
für Kristallwachstum und  
Kristallzüchtung e. V.

Inhalt

Mitteilungen der DGKK .....	3
Kristallzüchtung an Schulen .....	8
Kristallzüchtung in D .....	9
Gerätebasar .....	11
Stellenanzeige .....	11
Kristalldefekte und elektronische Bauelemente ..	13
Tagungsberichte .....	24
Neue Bücher .....	32
Schmunzelecke .....	32
Tagungskalender .....	34
Andere Gesellschaften .....	36
Personalien .....	37



**Redaktion**

Chefredakteur	G. Müller 09131/85-7636 -7633
Übersichtsartikel	K. Fischer 02461/61-4732
Kristallzüchtung in D	A. Höch 05321/71-36 77  H. Walcher 0761/2714-370
Tagungsberichte	D. Mateika 040/5493-553
Aktivitäten von und für junge Kristallwissenschaftler	C. Sussieck-Fornefeld 06221/56-2806
Mediothek	
Stellenangebote und -gesuche	
Mitteilungen der DGKK	A. Eyer 0761/40164-62
Mitteilungen ausländischer Schwestergesellschaften	J. Schmitz 0761/2714-370
Tagungskalender	
Verschiedenes	R. Köbler 0721/608-3558
Bücherecke	R. Diehl 0761/2714-286  G. Müller
Schmunzelecke	R. Diehl
Anzeigenwerbung	G. Müller - Vogt 0721/608-3470

**Vorstand der DGKK****Vorsitzender**

Prof. Dr. Klaus Werner Benz  
Universität Paderborn  
Warburgerstr. 100  
4790 Paderborn  
Tel. 05251-60-2662

**Stellvertretender Vorsitzender**

Dr. Ulrich Wiese  
Wacker-Chemitronic GmbH  
Postfach 1140  
8263 Burghausen  
Tel. 08677/83-4172

**Schriftführer**

Dr. Achim Eyer  
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme  
Oltmannsstr. 22  
7800 Freiburg  
Tel. 0761/40164-62

**Schatzmeister**

Dr. German Müller-Vogt  
Kristall- und Materiallabor der  
Fakultät für Physik  
Kaiserstr. 12  
7500 Karlsruhe  
Tel. 0721/608-3470

**Beisitzer**

Dr. Roland Diehl  
Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik  
Eckerstr. 4  
7800 Freiburg  
Tel. 0761/2714-286

\* Priv. Doz. Dr. Georg Müller  
Institut für Werkstoffwissenschaften VI  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Martensstr. 7  
8520 Erlangen  
Tel. 09131/85-7636  
7633

Dipl. Min. Cornelia Sussieck-Fornefeld  
Mineralogisch-Petrographisches Institut  
der Universität  
Im Neuenheimer Feld 236  
6900 Heidelberg  
Tel. 06221/56-2806

\* scheidet satzungsgemäß zu 31.12.1987 aus.

NACHFOLGER:  
Dr. Peter Speier  
Standard Electronic Lorenz AG  
Lorenzstr. 10  
Postfach 400749  
7000 Stuttgart 40  
Tel. 07 11/8 21-5837

**SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG**

Fa. Selisch, Druck u. Verlag  
Fliederweg 4 - 6  
8521 Langensendelbach

**Titelbild:**

ZnO Kristall gezüchtet aus der Gasphase von R. Helbig  
(Inst. für Angew. Physik, Universität Erlangen)  
im November 1966. Höhe ca 20 mm.

## Editorial

"Materialwissenschaften im Aufwind" habe ich das Editorial in der letzten Ausgabe begonnen. Zu den damals von mir genannten Beispielen sind kurz darauf die oxidischen Hochtemperatur-Supraleiter hinzugekommen, die den Aufwind in einen solchen Sturm verwandelt haben, wie ihn die Materialwissenschaften noch nie erlebt haben. Nach den bisherigen Informationen sieht es ja wohl so aus, daß wissenschaftlich-technische Fortschritte auf diesem Gebiet die Verfügbarkeit von guten Einkristallen erfordern. Also, Oxidkristallzüchter: Ihr seid gefordert! Löst das Zwillingsproblem! (Die GaAs- und InP-Züchter würden ganz nebenbei gern profitieren — von der Aufklärung der Zwillingsbildung.)

Arbeiten an den neuen Supraleitern sollten nicht im Stile der früheren Zwei-Klassen-Gesellschaft angegangen werden: hier das Kristalllabor mit Auftrag zur Probenherstellung — und dort der Auftraggeber und Probenempfänger, der die wissenschaftlichen Untersuchungen durchführt. Kristallzüchter, Kristallographen, Werkstoffwissenschaftler mit Keramikerverfahrung, Festkörperphysiker, Magnetiker, Chemiker sollten zusammenfinden und die Aufgaben koordiniert lösen — Welch eine Aufgabe für die DGKK!

Die bekannte Italiensehnsucht der Deutschen hat nun — 200 Jahre nach J.W.v. Goethe — auch die DGKK ergriffen. Wer bella Italia kennt, den wundert's nicht, daß die Idee der gemeinsamen deutsch-italienischen Jahrestagung in Parma 1989 begeisterten Anklang findet. Schon hat sich ein internationaler NATO-Workshop (siehe Ankündigung) unter deutsch-italienischer Führung angehängt. Die ersten Vorbereitungen (siehe Vorbericht) schwärmen von Parma. Und aus dem tiefen Süden, aus Sizilien, erreichten uns gleich zwei Berichte, eines Summerschool-Schülers und eines Lehrers von Erice, die fast wie Liebeserklärungen an Italien klingen.

Den Weihnachtsgruß auf dem Titelblatt sollten Sie noch bis Dezember liegenlassen — aber dann ist er herzlich gemeint.

Ihr G. Müller

## Liebe Mitglieder,

das bereits häufig diskutierte Konzept der DGKK-Arbeitskreise wurde weiter verfolgt und zunächst die Errichtung von 5 Schwerpunkten angeregt. Herr Speier hat sich hier besonderes eingesetzt und seine Ideen in dieser Ausgabe skizziert. Über die weiteren Planungen soll ja in Karlsruhe nächstes Jahr diskutiert werden. Nach dem von Herrn Speier entworfenen Konzept wird das nächste Treffen des Arbeitskreises "Epitaxie von III-V-Halbleitern" am 30.11./1.12.1987 in Darmstadt (am Forschungsinstitut der Deutschen Bundespost am Fernmeldetechnischen Zentralamt) organisiert werden.

Inzwischen liegt auch der Termin für die gemeinsame Tagung DGKK-AICC in Parma fest: 04.-06.04.1989. Schwerpunkte auf der Tagung werden die Züchtung von Halbleiter-einkristallen und magnetischen Materialien sein. (Hinfahrt am 03.04.1989 mit Bus von München.)

Das mit der Groupe Francais de Croissance Cristalline (GFCC) geplante Symposium über "Photovoltaische Materialien" in Freiburg ist auf den 3. und 4. November 1988 verschoben worden.

Allen Mitgliedern möchte ich an dieser Stelle schon ein erfolgreiches Jahr 1988 wünschen.

Ihr K.W. Benz

## Mitteilungen der DGKK

### DGKK-Preis 1988

#### Aufruf zur Nennung von Vorschlägen

Der Preis der DGKK ist erstmals im Jahre 1986 an Frau Dr. E. Bauser, Stuttgart, verliehen worden. Er kann alle 2 Jahre verliehen werden, so daß die Möglichkeit besteht, im Jahre 1988 während der Jahrestagung in Karlsruhe diesen wieder zu verleihen. Die Modalitäten für die Verleihung sind im Heft 41/April 1985 auf Seite 5 abgedruckt. Zum Preis-Komitee gehören Frau Dr. Christa Grabmaier, (Siemens AG, Zentrale Technik, AM 4, Otto-Hahn-Ring 6, 8000 München 83, Tel.: 089/636 2696); Prof. Dr.-Ing. Rolf Lacmann, (Institut für Physikal. u. Theoret. Chemie, TU Braunschweig, Postfach 3329, Tel.: 0531/391-5326) und Prof. Dr. Rudolf Nitsche, Kristallographisches Institut d. Universität Freiburg, Hebelstr. 25, 7800 Freiburg, Tel.: 0761/203 4280).

Der Vorstand fordert hiermit alle Mitglieder auf, ab sofort und möglichst bald, Vorschläge für die Preisverleihung zu machen. Die Vorschläge sollten allen drei Mitgliedern des Komitees direkt zugesandt werden.

### Protokoll der Jahreshauptversammlung 1987

**Ort:** Hörsaal des Fachbereichs Physik der Universität, Barbarastraße 7, 4500 Osnabrück

**Zeit:** 19.03.1987; 18.00 - 20.00 Uhr

#### TOP 1 — Begrüßung, Feststellung der Beschlußfähigkeit, Rechenschaftsbericht des Vorsitzenden

Die Vorstandsmitglieder Herr Benz und Herr Eyer nahmen wegen Krankheit nicht teil, daher leitete Herr Wiese die Sitzung. Herr Wiese stellte die Beschlußfähigkeit fest.

#### TOP 2 — Bericht des Schriftführers (verlesen von Herrn Wiese)

Die Mitgliederzahl ist auch weiterhin steigend. Stand 19.03.1987: Vollmitglieder 298, Studenten 78, Korporative 18, gesamt 393

#### TOP 3 — Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer

Kassenbericht (1.01.1986-12.03.1987):

Einnahmen 16 946.20 DM, Ausgaben 35 913.74 DM  
enthält Spende für Deutsches Museum (20 000.— DM)  
Kassenstand (12.03.1987) 23 630.57 DM

Herr Walcher und Herr Schmitz haben den Kassenbericht geprüft. Herr Müller-Vogt rief die Mitglieder auf, persönlich Firmenkontakte für die Aquisition von Annoncen im Mitteilungsblatt zu nutzen. Seitenpreise: 1 Seite 400 DM, 2x1 Seite 700 DM, 3x1 Seite 1000 DM, 5x1 Seite 1500 DM.

#### TOP 4 — Entlastung des Vorstandes

Herr G. Müller erklärte sich bereit, trotz seines satzungsmäßigen Ausscheidens aus dem Vorstand das Amt des Chefredakteurs des Mitteilungsblattes weiterhin zu übernehmen, auch die übrigen Redaktionsmitglieder bleiben im Amt.

Herr Müller machte eindringlich darauf aufmerksam, daß Tagungsberichte keine Aneinanderreihung von Vortragskurzfassungen sein sollen, sondern neben fachlichen Informationen auch die Atmosphäre einer Tagung beschreiben sollen. Die Berichte dürfen i.A. nicht länger als zwei Schreibmaschinenseiten sein und sollen auch Photos enthalten. In diesem Zusammenhang werden die zukünftigen Veranstalter von nationalen Tagungen gebeten, für die Photos zu sorgen.

Um für die Industrie die Rubrik "Kristallzüchtung in D" interessanter zu machen, werden in Zukunft 50 Sonderdrucke für den Autor bzw. die Firma kostenlos erstellt. Diese Sonderdrucke können z.B. für Werbezwecke verwendet werden.

Der Vorstand wurde ohne Gegenstimme entlastet.

**TOP 5 — Wahl des Vorstandes nach § 11 der Satzung**

Die Wahlleitung übernahm Herr Mateika. 59 Wahlberechtigte waren anwesend. Der Vorstand machte den Vorschlag, alle bisherigen Vorstandsmitglieder wiederzuwählen mit Ausnahme von Herrn Müller, der satzungsgemäß als Beisitzer ausscheiden muß. Für ihn wurde Herr Peter Speier nominiert. Die Wahl erfolgte durch Handzeichen.

Vorsitzender:	Herr Benz	einstimmig
Stellvertreter:	Herr Wiese	1 Enthaltung
Schriftführer:	Herr Eyer	einstimmig
Schatzmeister:	Herr Müller-Vogt	1 Enthaltung
1. Beisitzer:	Herr Diehl	1 Enthaltung
2. Beisitzer:	Herr Speier	2 Enthaltungen
3. Beisitzer:	Frau Sussieck- Fornefeld	4 Enthaltungen

**TOP 6 — Beschluß über die Jahreshauptversammlung 1988**

Inzwischen sind die Gespräche mit der französischen Schwester-gesellschaft über ein gemeinsames Fachsymposium fortgesetzt worden. In der 2. Januarhälfte kann 1988 im FHI für Solare Energiesysteme in Freiburg ein gemeinsames Fachsymposium unter dem Thema: Fotovoltaische Materialien stattfinden. Anmerkung: Das Symposium muß auf Nov. 1988 verschoben werden (siehe Ankündigung in diesem Mitteilungsblatt). Prof. Sirtl und Herr Grabmaier haben ihre Unterstützung zugesagt. Während des Symposiums sollen Gespräche im Vordergrund stehen, viel Zeit für Diskussionen sein, keine Poster und evtl. eingeladene Vorträge aus Japan.

Nach einer Diskussion über den Ort der Jahrestagung 1988 wurde Karlsruhe festgesetzt, damit nicht beide Veranstaltungen in Freiburg stattfinden würden. (Abstimmung: 2 Gegenstimmen, 4 Enthaltungen)

**TOP 7 — Diskussion über die Jahreshauptversammlung 1989, Fachsymposium und Arbeitskreise****7.1. Jahrestagung 1989**

Die Gespräche mit der AICC über eine gemeinsame Tagung und ein Symposium 1989 in Parma/Italien sind inzwischen weit fortgeschritten.

Die geplanten Themenkreise sind:

- Halbleitermaterialien (Si, III/V, II/VI)
- Magnetische Werkstoffe

Herr Diehl stellte die geplante Tagung ausführlich vor:

Die Tagung soll in der 1. Aprilwoche 1989 stattfinden und 4 Tage dauern. Es ist geplant, gemeinsam mit Bussen von München aus nach Parma zu reisen. Tagungsort wird das Gebäude der IHK in Parma sein, die örtliche Organisation haben C. Paorici, L. Zanotti, C. Pelosi und P. Franzosi.

Folgende Aktivitäten sind geplant:

- Vorträge (ca. 6 eingeladene)
- Postersitzung
- Firmenbesuche (Dynamit Nobel, Monte Edison, MASPEC)
- gemeinsames Abendessen

MASPEC ist das Instituto **Materiali Speciali per l'Elettronica e il Magnetismo + Semiconductors Department**:

LEC GaAs, Waferherstellung, Gasphasenzüchtung von binären und ternären Chalkogeniden, Kristall-Charakterisierung, MBE (n-GaAs, GaAlAs), Hydrid-Epitaxie von III/V-Heterostrukturen, Defekt-Untersuchungen inkl. Röntgentopographie + Magnetic Materials Department

Auf Antrag von Herrn Wallrafen hin wurde über die Durchführung der Tagung in Parma 1989 abgestimmt. Der Antrag wurde mit 5 Enthaltungen angenommen.

Herr Tolksdorf machte den Vorschlag, für studentische Mitglieder niedrigere Fahrtkosten anzusetzen.

**7.2. Fachsymposium und Arbeitskreise**

Herr G. Müller berichtete über die Durchführung eines Epitaxie-Arbeitskreises Anfang November 1986 in Stuttgart bei SEL. Der

Arbeitskreis tagte unter dem Namen der DGKK. Mehr als 30 Teilnehmer kamen; ein festes Programm mit eingeladenen Vorträgen zu klassischen Epitaxie-Themen wurde angeboten.

In Erlangen wurde ein Arbeitskreis zum Thema III/V-Materialien durchgeführt ohne eingeladene Vorträge. 54 Personen meldeten sich an. Auch diese Veranstaltung fand im Namen der DGKK statt.

Herr Müller-Vogt berichtete über eine II/VI-Veranstaltung in Würzburg, an der 25 Personen u.a. einige DGKK-Mitglieder teilnahmen. Leider wurde der Name der DGKK hier nicht herausgestellt. Der Arbeitskreis zeigt aber eine große Bereitschaft, mit der DGKK zusammenzuarbeiten, weil dadurch Hilfe geleistet werden kann beim Austausch von Materialien.

Eine Diskussion über Arbeitskreise innerhalb der DGKK ergab: Es sollten hauptsächlich Einzelprobleme behandelt werden, die nur einen engen Interessenkreis betreffen.

Bestimmte Personen müssen sich verantwortlich fühlen, die Arbeitskreise lebendig zu halten.

Die Jahrestagungen dürfen aufgrund der Arbeitskreis-Veranstaltungen nicht ausdünnen.

Berichte über die Arbeitskreise sollten auf den Jahrestagungen vorgetragen werden.

Ständige Arbeitskreise innerhalb der DGKK zu bestimmten Themen dienen der Information und dem Erfahrungsaustausch zwischen den Experten, gleichzeitig können sie als Gesprächsrunde ein breites Spektrum von Diskussionsmöglichkeiten liefern. Diese vorgeschlagenen Veranstaltungen sollen jedoch nur besucht werden von denjenigen Fachleuten, die zum Thema etwas beizutragen haben, reine interessierte Zuhörer werden dem Sinn und Zweck der Arbeitskreise nicht gerecht.

Der Vorstand kann jedoch nicht die Organisation und/oder Durchführung der Gesprächsrunden übernehmen, deshalb erklärte sich Herr Peter Speier bereit, zunächst einmal Vorschläge und evtl. Aktivitäten in Bezug auf Arbeitskreise zu sammeln.

Eine mehrheitliche Abstimmung zu diesem Thema ergab, daß bei der nächsten Hauptversammlung ein Papier vorgestellt werden soll über die Art und den Zweck der Arbeitskreise.

**TOP 8 — Statusbericht Kristallausstellung im Deutschen Museum München**

Herr Jacob gab einen Abschlußbericht über die seit vielen Jahren erwartete Kristall-Ausstellung im Deutschen Museum. Am 7.5.1987 wurde die Ausstellung eröffnet als ein Bestandteil der technischen Chemie. Sie wird bis Ende 1987 in der jetzigen Form zu sehen sein, danach wird sie Bestandteil einer neuen Abteilung sein. Die Hälfte des benötigten Geldes ist bis jetzt beisammen. Die Ausstellung ist durch die professionelle Mitarbeit von Werbe-firmen zu einer eindrucksvollen Schau der Welt der Kristalle geworden. Es besteht noch die Chance einer Erweiterung. Herr Jakob richtete an alle Mitglieder den Aufruf, Versuche anzubieten, die u.U. durch Knopfdruck durch den Besucher in Gang gesetzt werden können.

**TOP 9 — Verschiedenes**

Keine Beiträge.

**DGKK-Arbeitskreise**

Während der letzten Mitgliederversammlung in Osnabrück wurde die Idee der Errichtung von Arbeitskreisen in der DGKK angesprochen und sofort lebhaft und kontrovers diskutiert. Der Vorstand erhielt dann die Aufgabe, ein Konzept für diese Arbeitskreise zu erarbeiten und dieses 1988 in Karlsruhe vorzustellen. Um diese Diskussion gut vorbereiten zu können, möchte ich Ihnen ein erstes Gerüst vorstellen, das sich auf der nächsten Mitgliederversammlung der konstruktiven Kritik stellen wird.

**Einrichtung von zunächst 5 Arbeitskreisen**

- I Epitaxie von III-V Halbleitern
- II Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs- und InP- Kristallen
- III Herstellung von II-VI Halbleitern

IV Moderne Kristallstrukturen (z.B. Supraleiter, Oxide für die integrierte Optik)

V Nachwuchsarbeit

Das Ziel dieser Arbeitskreise soll sein, den Stand der Kristallzucht bzw. Epitaxie in Deutschland im Vergleich zum internationalen Standard festzustellen und anschließend neue Entwicklungen zu diskutieren, auch in einem Stadium, das noch nicht veröffentlichungswürdig ist.

Jeder Arbeitskreis kann in kleinere und damit effektivere Diskussionsrunden unterteilt werden. Ich könnte mir folgende Diskussionsrunden am Beispiel des 1. Arbeitskreises vorstellen: LPE, VPE mit MOVPE, MBE.



Prof. Schneider (IAF-Freiburg) und Prof. Winnacker (Siemens-Erlangen) während des 1. Treffens des Arbeitskreises III-V Substratkristalle im März 1987 an der Universität Erlangen

Jeder Arbeitskreis wird von einem Chairman geführt. Dieser Chairman sorgt für mindestens eine Zusammenkunft pro Jahr. Weiterhin führt er Protokoll über das Treffen und erstellt eine Teilnehmerliste. Bei den Diskussionsrunden wird kein Protokoll geführt, um damit ein offeneres Gespräch zu ermöglichen. Während der DGKK Jahrestagung berichtet der Chairman in einem ca. 30 Minutenreferat über die Aktivitäten des Arbeitskreises und der Diskussionsrunden und faßt die Highlights der Arbeitskreistreffen für die DGKK-Mitglieder zusammen.

Fassen Sie bitte die obenstehenden Zeilen als ein erstes, sicherlich unvollständiges Konzept auf. Sollten Sie Ideen für weitere Arbeitskreise bzw. Kritik am bestehenden Vorschlag haben, teilen Sie mir diese möglichst frühzeitig mit, so daß ich alles für Karlsruhe berücksichtigen kann.

P. Speier  
SEL Forschungszentrum, ZT/FZWO  
Lorenzstr. 10  
7000 Stuttgart 40

## DGKK-Tagungen

### Photovoltaische Materialien

Die GROUPE FRANCAIS DE CROISSANCE CRISTALLINE (GFCC) und die DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KRISTALLWACHSTUM UND KRISTALLZÜCHTUNG (DGKK) planen ein gemeinsames Symposium mit dem Thema PHOTOVOLTAIC MATERIALS am 3. und 4. November 1988 in Freiburg.

Ziel dieses Treffens ist, die Zusammenarbeit zwischen Forschern und Ingenieuren beider Länder zu fördern sowie den Stand der Forschung und die Zukunftsperspektiven der verschiedenen Bereiche der Photovoltaik zu diskutieren. Vorträge und Diskussionen werden in englischer Sprache sein.

### Schwerpunkte des Programms:

#### III-V-MATERIALIEN

Herstellungsverfahren und Charakterisierung; Aspekte der Tandem- und Super-Lattice-Strukturen sind enthalten

#### ANDERE VERBINDUNGSHALBLEITER (II-VI, TERNÄRE...)

Herstellungsverfahren und Charakterisierung

#### SILICIUM, MONO- UND POLYKRISTALLIN

Charakterisierung, insbesondere Eigendefekte und kristallographische Defekte.

#### GEPLANTER PROGRAMMAUFBAU:

Das Treffen soll eingeleitet werden durch zwei Übersichtsvorträge über das deutsche und das französische Photovoltaikprogramm. Zwei weitere Übersichtsvorträge sollen den Stand der Fortschritte auf dem Gebiet der Verbindungshalbleiter einerseits und des Siliciums andererseits darstellen. Danach soll jeder auf diesen Gebieten tätigen Gruppe Gelegenheit gegeben werden, in Kurzvorträgen ihre Arbeiten vorzustellen. Dabei ist eher an eine Übersichtsdarstellung als an eine hochspezielle Detaildarstellung gedacht.

#### KONTAKTADRESSEN FÜR DIE VORPLANUNG

A. Eyer  
A.Räuber  
Fraunhofer Institut für  
Solare Energiesysteme  
Oltmannsstraße 22  
D-7800 Freiburg  
Tel: 07 61/4 0164-62 AE  
Tel: 07 61/4 0164-27 AR  
Teletex: 761187 = FHISE

P. Siffert  
Centre de Recherches  
Nucleaire  
F-67037 Strasbourg  
Tel: 88 286543  
Telex: 890032 CNRS CRO-F

K.W. Benz  
GH-Universität  
FBG, Physik  
Warburgerstr. 100  
D-4790 Paderborn  
Tel: 0 52 51/602662  
Telex: 936776 UNIPB-D

## 1. NATO - Workshop on Computer Modelling in Crystal Growth from the Melt

Status of the Organization (21.Sept.1987)

Chairman:	G. Müller (Univ. Erlangen-Nürnberg)
Date:	6. and 7. April 1989 (preliminary)
Place:	Parma, Italy
Programme Committee:	G. Müller (Univ. Erlangen-Nürnberg) H. Wenzl (KFA Jülich) K.-H. Zschauer (Univ. Erlangen-Nbg.)
Organizing Committee:	G. Müller (Univ. Erlangen-Nürnberg) G. Neumann (Univ. Erlangen-Nbg.) C. Paorici (Univ. Parma) R. Fornari (MASPEC Parma)

The workshop shall take place in conjunction with the Crystal Growth Conference of the Italian (AICC) and German (DGKK) crystal growth associations to be held in Parma from 4.-6. April 1989. The AICC-DGKK conference will have international character (conference language: English) and is open for all participants of the NATO workshop. It will also have semiconductor growth as one of its main topics.

#### Topics of the NATO-workshop:

Numerical modelling in melt growth of III-V compounds, with work on silicon included where it is relevant for the growth of III-V materials

- Modelling of convective effects in Czochralski- and Bridgman configurations
- Modelling of the action of magnetic fields in melt growth

- Calculation of thermal stress and dislocation formation in melt growth
- Numerical modelling of transport effects on stoichiometry, segregation etc. in III-V bulk growth

**Conference proceedings:**

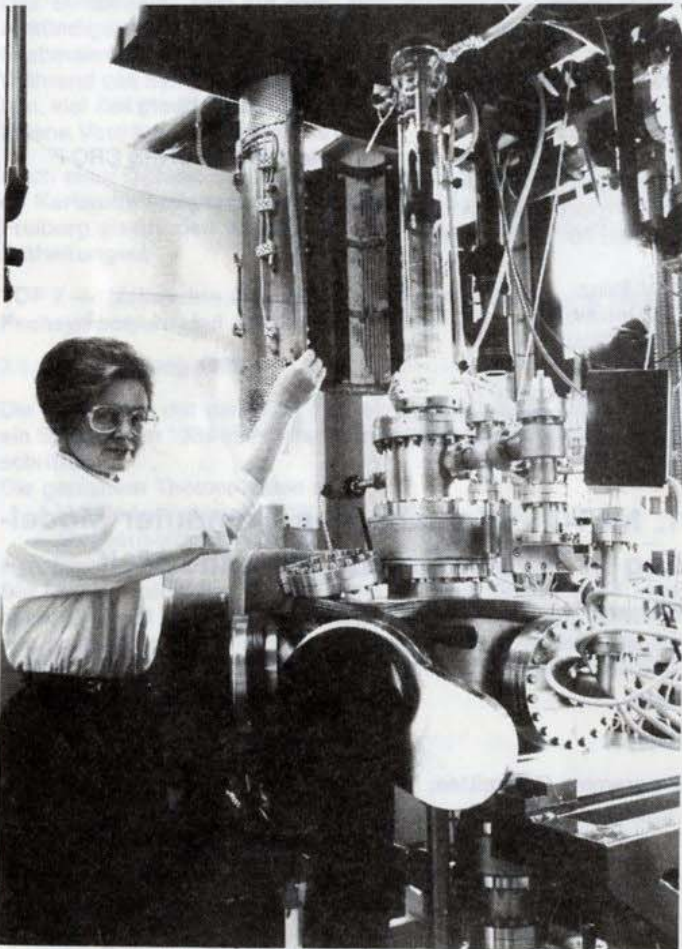
All invited and contributed papers will be published in a special volume of the Springer series "Crystals".

**Contact address:**

Priv. Doz. Dr. G. Müller  
Institut für Werkstoffwissenschaften 6  
Martensstraße 7  
D-8520 Erlangen (FRG)

**IBM-Preis 1986 für E. Bauser**

Unsere erste DGKK-Preisträgerin, Frau Dr. Elisabeth Bauser (MPI Stuttgart), erhielt nun eine weitere Ehrung durch die Verleihung des "Preis(es) für Wissenschaft und Technologie" der IBM Europa 1986. Der Preis wurde ihr gemeinsam mit Frau Dr. Manijeh Razeghi (Thomson-CSF, Paris) und Prof. Bruce A. Joyce (Philips GB) für "ihre wesentlichen Beiträge zum Fortschritt der Materialwissenschaften" am 29.06.1987 in London verliehen.



Frau Dr. Bauser an der Epitaxie-Anlage

**DGKK Tagung 1989 in Parma****Parma — eine Stadt stellt sich vor**

Parma-Schinken, Parmesankäse, irgendwo in Oberitalien... was weiß ein Bundesbürger schon von Parma? Daß es eine moderne attraktive Stadt ist mit einem vornehmen alten Zentrum? Daß eine der ältesten europäischen Universitäten sich in Parma befindet, an der heute ca. 17 000 Studenten eingeschrieben sind? Daß die geographische Lage — mitten in der Po-Ebene, zu beiden Seiten des Flusses Parma, nicht weit von den Alpen, den oberitalienischen Seen und dem Thyrrenischen Meer entfernt, eingebunden in ein Netz von Straßen und Bahnlinien — der Stadt eine Schlüsselposition verschafft hat, die Parma durch viele Jahrhunderte bis heute behalten und verstärken konnte?

Von den Römern 187 v. Chr. an der Via Emilia gegründet, hat sich Parma den über Jahrhunderte geformten Charakter einer kleinen Hauptstadt bis heute bewahrt. Das vermitteln die Altstadt, die Strada und die Piazza Garibaldi, aber auch die Eleganz der Läden und Straßen und die natürliche Gelassenheit, mit der das Leben in der Öffentlichkeit abläuft, italienisch eben, ganz einfach.

An die große Vergangenheit erinnern Bauwerke wie der Dom und das Baptisterium, der Palazzo della Pilotta mit der Galleria Nazionale oder die Universität (gegr. ca. 1066). Bibliotheken, Schauspiel, Oper, Konzert vermitteln zwischen Tradition und Gegenwart.



Parma, Baptisterium (Taufkapelle), 12. Jahrhundert

Die Wirtschaft lebt vor allem von der reichen Agrarproduktion des Hinterlands, was sich an der regen Lebensmittelindustrie — Parmaschinken und Parmesan! — und der Landmaschinenproduktion zeigt.

Gastlichkeit wird großgeschrieben: Restaurants, Pizzerien, Hotels, Pensionen, Jugendherbergen, gastfreundliche Bürger sorgen für eine Atmosphäre, in der man sich wohlfühlen und die Stadt lieben lernen kann. Dazu tragen auch die nähere und weitere Umgebung bei: Wandern, Skilaufen, Fischen im Apennin, Baden im Thyrrenischen Meer sind von Parma aus ebenso möglich wie ein Abstecher in die Toscana mit ihren alten Städten und Landschaften.

Als Überblick soll dies einstweilen genügen. Vor der gemeinsamen Tagung 1989 in Parma erscheint ein weiterer Artikel mit ausführlichen Informationen, Stadtplan und Vorschlägen zur Besichtigung und Freizeitgestaltung.

Hanne Müller

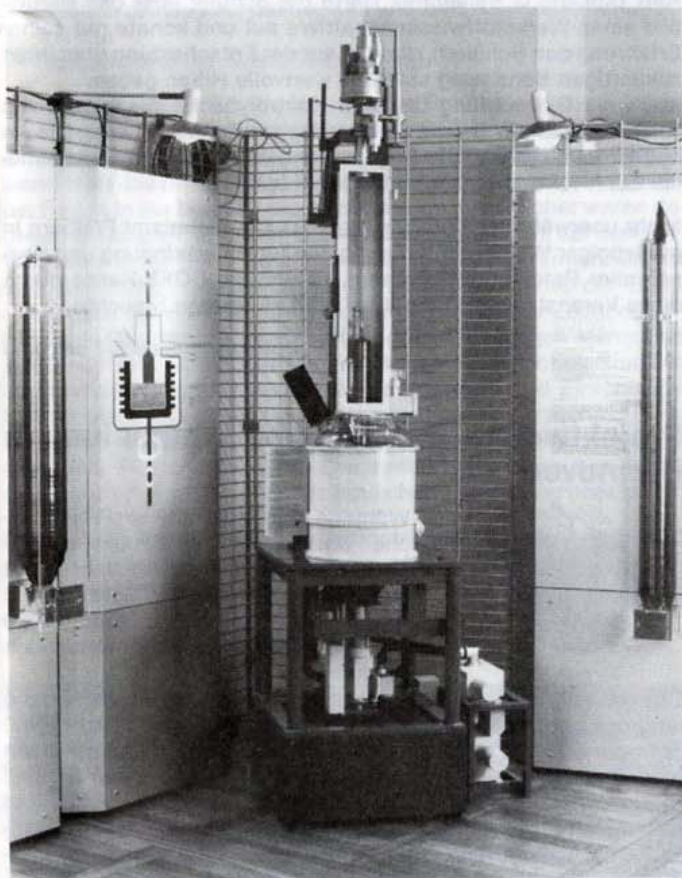
## Kristallzuchtungs-Ausstellung im Deutschen Museum

Am 7. Mai 1987 war es endlich soweit, die Ausstellung Kristallzuchtungs wurde im Deutschen Museum in München eröffnet.

Diese Ausstellung hat eine lange Vorgeschichte:

Im Jahre 1971 bemühte sich der Vorstand der DGKK erstmals um eine Ausstellung synthetischer Einkristalle im Deutschen Museum. Schon bald konnte eine Vitrine im Flur zum Eingang der "Chemischen Abteilung" mit synthetischen Einkristallen, gestiftet von Mitgliedern der DGKK aus Hochschule und Industrie, aufgestellt werden. Bei Umbauarbeiten im Deutschen Museum mußte jedoch diese Vitrine abgebaut werden, die Kristalle kamen auf Lager und fielen größtenteils einem dort entstandenen Wasserschaden zu Opfer.

Über Jahre hinweg geschah nichts!



Modell einer Czochralski-Anlage zur Züchtung von Si-Einkristallen (Ausstellung Deutsches Museum)

Im Rahmen der Ausstellung "Technische Chemie" wurde dann 1983 eine neue Kristallausstellung geplant. Im Raum der "Technischen Chemie" sollte ein quadratischer Platz von etwa 50 m<sup>2</sup> bereit gestellt werden. Vom Deutschen Museum bestand nunmehr die Auflage, diese Ausstellung von einer Design-Firma ausrichten zu lassen. Damit wurde die Ausstellung zwar stark aufgewertet, aber auch erheblich teurer. Der Kostenvoranschlag der vom Deutschen Museum empfohlenen Firma Dr. Zebhauser lag bei 220 000,—DM ohne Exponate.

Ein großer Spendenaufruf begann. Mühsam brachten wir 110 000 DM zusammen. Die Firma Dr. Zebhauser begann damit ihre Arbeit. Noch während unserer Planungsarbeiten wurde die Ausstellung aus der Abteilung "Technische Chemie" herausgelöst und dem MIRA-Projekt (Mathematische Instrumente und Rechenanlagen - mit Mikroelektronik) zugeordnet. Diese Ausstellung wird am 7. Mai 1988 eröffnet werden, die Ausstellung Kristallzuchtungs galt als Vorlauf und Test.

Die Kristallausstellung bekam nun einen eigenen Raum und durch die Ankopplung an die Mikroelektronik einen "Silicium-Touch". Die Ausstellung erklärt anhand von Schautafeln die Begriffe Kristall, Kristallwachstum, Kristallzuchtungs und Kristallbearbeitung. Die Modelle einer Czochralski-Anlage, einer Verneuil-Anlage und eines Spiegelofens veranschaulichen die Zuchtungs-methoden. Die unübersehbaren Exponate von zonen- und tiegelgezogenen Silicium zeigen den hohen Stand technisch wichtiger Kristalle. Eine Vitrine mit III-V-Verbindungen geben dem Fachmann Einblick in die einkristallinen Herstellungsmöglichkeiten komplizierter Verbindungen. GGG-, LiNbO<sub>3</sub>- und LiTaO<sub>3</sub>-Kristalle sind als Vertreter für die Zuchtungs von Oxidkristallen ausgestellt. Eine Vitrine mit Verneuil-gezogenen Schmuckkristallen erfreuen so manches Ästhetenerz.



Zwei Mitglieder des DGKK-Beirates Dr. Jacob (Vorsitzender) und Dr. Zulehner am Vorabend der Ausstellungseröffnung im Deutschen Museum

Durch eine weitere großzügige Spende eines Industrieunternehmens konnte die bisherige Ausstellung bezahlt und mit weiteren inzwischen eingegangenen Exponaten vervollkommen werden.

Herrn Dr. Jacob sei an dieser Stelle für seinen großen Einsatz am Zustandekommen dieser Ausstellung herzlich gedankt.

Chr. Grabmaier

## Kristallzüchtung an Schulen Regionale Lehrerfortbildung in Freiburg

Das Oberschulamt Freiburg veranstaltet in Zusammenarbeit mit der "Arbeitsgemeinschaft Chemie" und der DGKK am 4. und 5. Mai dieses Jahres ein Lehrerfortbildungsseminar für Lehrkräfte, die das Fach Chemie in der Oberstufe der beruflichen Gymnasien unterrichten.

Dem aufmerksamen Beobachter mag es nicht entgangen sein, daß die DGKK inzwischen einige Mitglieder aus dem schulischen Bereich hat, die sich um die Vermittlung von Kenntnissen auf dem Gebiet der Kristallstruktur, -charakterisierung und -züchtung bemühen. Herr Otto Schäfer aus Mühlheim nahm bereits im Herbst des vergangenen Jahres Kontakt mit mir auf, als die Organisation der nächsten Fortbildungsveranstaltung der "Arbeitsgemeinschaft Chemie" anstand. Der frühzeitige Beginn der Organisation bot die Chance, ein reichhaltiges Tagungsprogramm von Seiten der DGKK anzubieten.

Viele Mitglieder erklärten sich gern bereit, Vorträge zu halten und für Diskussionen zu Verfügung zu stehen.

- Dr.R. Diehl: Herstellung und Einsatzgebiete von künstlichen Kristallen
- Prof.V. Krämer: Der Mikrokosmos oder: Wie kann man Kristallstrukturen aufklären?
- Dr. E. Keller: Vorstellung und Demonstration seines Computerprogramms SCHAKAL zum Zeichnen von Kristallstrukturen
- O. Schäfer: Kristallzüchtung aus wäßriger Lösung - Darstellung eigener Arbeiten mit Schülern
- C. Sussieck-Fornefeld: Kristallzüchtung aus der Schmelze - Darstellung einiger Arbeiten mit Schülern einer Chemie-Arbeitsgemeinschaft
- Prof. H. Arend, O. Schäfer, C. Sussieck-Fornefeld: Informationen über Lehr- und Lernmittel zur Kristallzüchtung in der Schule, Versuchsanleitungen und "Rezepte"
- A. Beck: Silizium-Kristalle für die Solartechnik - ein Beispiel aus der angewandten Forschung
- Prof. H. Arend: Über die Anfänge der Kristallzüchtung
- C. Sussieck-Fornefeld: Vorstellen von Untersuchungsmethoden an Kristallen: physikalische, mineralogische und kristallographische Methoden

Über 40 Teilnehmer erschienen zu diesem Seminar, z.T. sogar aus anderen Oberschulamtsbezirken. Bei den vielen Diskussionen wurde deutlich, daß Kristallzüchtung und die Anwendung von künstlichen Kristallen bei den Lehrern schon lange ein Thema im Physik- und Chemieunterricht ist, ganz besonders an den technisch orientierten Gymnasien.



Begeisterte Kristallzüchtungsschüler am Technischen Gymnasium in Freiburg

Einen angenehmen Rahmen für die Veranstaltung schafften Herr Dr. Franken als Vertreter des Oberschulamtes Freiburg und die Herren Dipl.-Ing. H. Rudolph (Leiter der Gewerblichen Schulen Mühlheim) und Dr. S. Martin (Leiter des Technischen Gymnasiums) durch die großzügige Bereitstellung von Räumlichkeiten in ihrer Schule am zweiten Tag der Veranstaltung.

In der Schule konnten die Teilnehmer des Lehrerseminars die Arbeiten von 15 Schülern besichtigen, die zur gleichen Zeit an einer Arbeitsgemeinschaft für Kristallzüchtung teilnahmen.

Auch für diese Veranstaltung haben sich DGKK-Mitglieder zur Verfügung gestellt, ihr Wissen und ihre Erfahrungen an die nachrückende Generation von Kristallforschern weiterzugeben.

Herr R. Becker begeisterte, tatkräftig unterstützt von seiner Frau, zwei Tage lang die Schüler mit routiniert geplanten Versuchen zur Schmelz- und Lösungszüchtung sowie mit vielen kurzen Vorträgen zum Kristallwachstum.

Die Ausstattung des Schülerlabors mit Geräten und Chemikalien hatte Herr O. Schäfer in perfekter Weise vorher besorgt.

Herr Dipl.-Ing. G. Schemmel klärte die Schüler über das Berufsbild eines Werkstoffwissenschaftlers auf und konnte mit seiner Erfahrung den Schülern, die kurz vor der Entscheidung über ihren zukünftigen Berufsweg standen, wertvolle Hilfen geben.

Auch die Gelzüchtung und das elektrolytische Wachstum von Kristallen war ein Thema des zweitägigen Intensivkurses. Die Arbeitsergebnisse und die Begeisterung der Schüler war ein schöner Lohn für den Einsatz der Referenten.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß das Oberschulamt Freiburg in großzügiger Weise sämtliche Kosten für Unterbringung und Speisen aller Referenten übernahm, so daß die DGKK-Kasse durch diese Veranstaltungen nicht belastet zu werden brauchte.

Cornelia Sussieck-Fornefeld

## Projektwoche am Schiller-Gymnasium in Hannover



Während der "alternativen Projektwoche" am Schiller-Gymnasium in Hannover vom 25.-30.4. dieses Jahres bot die DGKK interessierten Schülern als Alternative: Kristallzüchtung, die Grundlage für alle zukunftsweisenden Werkstoffprobleme.

Das gesamte mehrstöckige Schulgebäude wimmelte eine Woche lang den ganzen Tag von Schülern, die emsig bei der Arbeit waren oder sich gerade auf Besichtigungstour zu anderen Kursen befanden oder kurz am Waffelstand oder im "PROWO-Café" Hunger oder Durst stillten. Riesige Mengen von Schülern fanden sich mehrmals täglich zur Videovorführung ein, die über die Aktivitäten in den einzelnen Kursen informierte. Von Lehrern war keine Spur, sie gingen schlicht unter. Doch dieses scheinbare Chaos besaß eine funktionierende Eigendynamik, die auf der Begeisterungsfähigkeit und Lebendigkeit junger Menschen basierte, die sehr gut Eigenverantwortung für ihr Tun übernehmen können - wenn man sie ihnen gibt.

40 Schülern war die Wahl ihres Kurses neben Angeboten wie "Leben krebskranker Kinder", "Mönchmeyers Wildtiere", "Aidsplakate in der Schule", "Jazz-Dance" und vielem anderen mehr offensichtlich nicht schwer gefallen. Sie entschieden sich spontan für die Kristallzüchtung. Da eine so große Zahl Interessierter weder personell noch räumlich zu bewältigen gewesen wäre, mußten leider einige Schüler der Unter- und Mittelstufe abgelehnt werden.

Herr Bakardjiev hatte die Idee zu diesem Kurs und überzeugte auch den Chemielehrer Herr D. Bargheer von der Wichtigkeit des Vorhabens. Eine ganze Woche (einschließlich Wochenende) stand den Schülern zur Verfügung, um Kristalle zu züchten und sich über die wissenschaftlichen und technischen Hintergründe dieser aktuellen Technologie zu informieren:

Samstag:

- Einführung, "Was ist ein Kristall?"
- Anschauliche Versuche zum Verständnis
- Ansetzen von Lösungen für die Züchtung aus wäßriger Lösung
- Elektrolytisches Wachstum



**Montag:**

- Dr. J. Reichelt: "Künstliche Kristalle für die moderne Industriegesellschaft"
- Ansetzen von Lösungen für weitere Kristallarten und Zuchtverfahren
- "Impfen" von gesättigten Lösungen

**Dienstag:**

- Dipl.-Ing. P. Droste: "Künstliche Saphirkristalle" — "Wie werde ich Kristallzüchter?"
- Herstellen von organischen Kristallen aus der Schmelze

**Mittwoch:**

- C. Sussieck-Fornefeld: "Silizium-Kristalle - ihre Herstellung und Anwendung"
- Überprüfen der wachsenden Kristalle

**Donnerstag:**

- Dr. J. Bakardjiev: "Einführung in die Rasterelektronenmikroskopie"
- Besuch der Schüler bei der Kali und Salz AG, Kaliforschungsinstitut
- Vorbereitung der Kristallausstellung

Der Tatendrang der Schülerinnen (!) und Schüler war so groß, daß die Sorgfalt anfangs auf der Strecke blieb. Die Quittung erhielten einige Arbeitsgruppen dann am Morgen des nächsten Tages, wenn statt des riesigen Kupfersulfatkristalls nur noch ein schlapper Faden in der blauen Lösung schwamm. Glücklicher waren dagegen diejenigen, die einen 5 cm großen Impfkristall auf dem Gefäßboden vorfanden. Trotz allerlei gutgemeinter Ermahnungen und Ratschläge von Seiten der Erfahrenen, kannte der Erfindungsgeist der Schüler zur "Vervollkommnung" der Zuchtverfahren keine Grenzen. Es ist zu hoffen, daß diese jungen Menschen ihre Phantasie auch über ein naturwissenschaftliches Studium hinüberretten. Bemerkenswert war die Geduld und Einfühlbarkeit der Mädchen, mit der sie an den Aufbau der Versuchsaapparaturen herangingen und unverdrossen einen Kristall nach dem anderen am Faden festknüpften, während die Jungen den Erfolg eher ihrer Intuition und "weltmännischen" Erfahrung überließen.

Die gute Laune und der Gruppenegeist wurden noch gesteigert durch eine Einladung von Herrn Bakardjiev. Bei herrlichem früh-sommerlichen Wetter fanden sich alle Teilnehmer zu einem Grillabend in seinem Garten ein.



Die Nachwuchsforscher bei der Besichtigung des Kristalllabors des Kaliforschungsinstituts

Der Höhepunkt war sicherlich für viele Schüler die abschließende Besichtigung des Kaliforschungsinstituts, wo ihnen die Kristallisations- und REM-Laboratorien gezeigt wurden. Die Schüler stellten hier viele Fragen zum Problem der Kristallisation aus Lösungen, die wichtig für die Produktion sind, und sie erkannten vor Ort, daß ihre Arbeit im Schullabor mehr als ein schönes Hobby sein kann.

Der Vertreter des Förderkreises der Schillerschule, Herr Prof. Denhard versprach, die Reisekosten der Referenten der DGKK zu übernehmen.

Cornelia Sussieck-Fornefeld

## Kristallzüchtung in D Kristall- und Materiallabor der Fakultät für Physik — Universität Karlsruhe

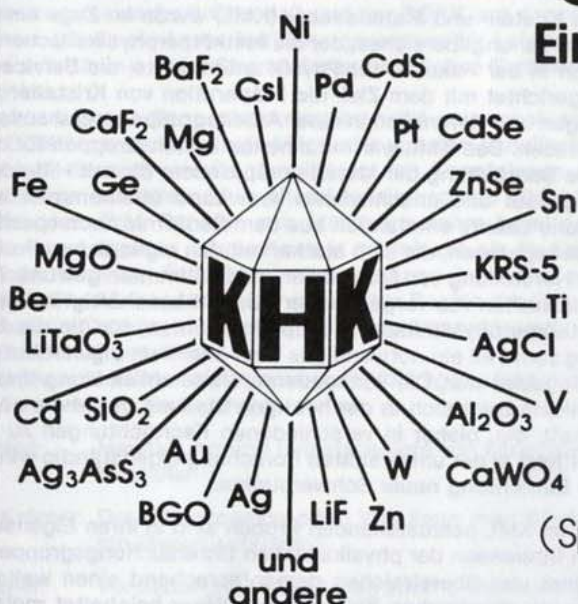
Das Kristall- und Materiallabor (KML) wurde im Zuge eines Sonderforschungsbereiches, der die festkörperphysikalischen Aktivitäten in der Fakultät für Physik unterstützte, als Servicegruppe eingerichtet mit dem Ziel, die Präparation von Kristallen, Legierungen und Keramiken in einer Arbeitsgruppe zentral zusammenzufassen. Das KML war mit einer der ersten Gruppen für die zentrale Bearbeitung der Materialpräparation, die mit Hilfe der DFG aufgebaut und anschließend vom Land übernommen wurden. Solche Labors entstanden aus dem Bedürfnis nach spezifischen Arbeitsgruppen, die sich stärker mit den eigentlichen Problemen der Herstellung von Materialien mit bestimmten gewünschten Eigenschaften von vorgegebener Qualität beschäftigten, als es die festkörperphysikalischen Gruppen konnten, für die die Herstellung zum Teil ein notwendiges Übel aber kein eigenständiges Arbeitsgebiet war. Die konsequente Weiterentwicklung dieses Gedankens zeigt sich in der heutigen Stellung der Materialwissenschaft, die, bisher in verschiedenen Fachrichtungen zu Hause, erst jetzt in der universitären Forschung eigenständig wird durch die Einrichtung neuer Schwerpunkte.

Die im KML herzustellenden Proben sind in ihren Eigenschaften den Interessen der physikalischen Untersuchungsgruppen zugeordnet und überstreichen dementsprechend einen weiten Rahmen an chemischen Substanzen. Dieser beinhaltet metallische und supraleitende Verbindungen der Übergangsmetalle, neuerdings auch die der oxidischen Hochtemperatursupraleiter, magnetisch ordnende Verbindungen mit Ionen der Seltenen Erden sowie Halbleiter der II - VI Verbindungen mit großem Bandabstand neben Apatiten oder ferroelektrischen Kristallen. Eine solche Breite an Verbindungen verlangt naturgemäß die Verwendung unterschiedlicher Züchtungsmethoden, sodaß im KML Verfahren zur Einkristallherstellung aus der Schmelze, aus der Gasphase und aus der Hochtemperaturschmelzlösung zum Einsatz kommen. Die Präparation von Kristallen, Legierungen und amorphen metallischen Gläsern ist ein Hauptgewicht der Arbeiten im KML. Daneben bildet einen weiteren Schwerpunkt die Charakterisierung der hergestellten Proben auf chemische Zusammensetzung und kristalline Qualität.

Im Bereich der Supraleiter wurden neben Legierungen der Übergangsmetalle vor allem Einkristalle der Übergangsmetallnitride und -carbide hergestellt. Hierzu wurde die chemische Gasphasenabscheidung auf Molybdänrohren verwendet und ergab Kristalle mit höchster bisher bekannter Stöchiometrie vor allem für Titanitrid. In der Zwischenzeit hat sich die Arbeit auf die Herstellung von metallischen Gläsern verschiedener Systeme verlagert, die mit einer kommerziellen Splatapparatur hergestellt werden. Im KML interessieren wir uns vor allem für die Untersuchung der thermischen Stabilität der amorphen Phase mittels differentieller thermischer Analyse. Wir haben die im KML vorhandene DTA Apparatur erfolgreich eingesetzt zum Nachweis, daß mit einer genügend gut auflösenden thermischen Analyse die Phasenübergänge in ihrer Wärmetönung quantitativ vermessen werden können. Eine genaue Vermessung des Energieumsatzes beim Phasenübergang erlaubt das Verfolgen vor allem der Vorgänge, die vor der Rekristallisation ablaufen. Die hier hauptsächlich endotherm verlaufenden Vorgänge werden als eine Vorordnung vor der eigentlichen Rekristallisation aufgefaßt und sind bei fast allen Übergängen amorph - kristallin der metallischen Gläser zu finden. Mit der genauen Vermessung soll einmal auf die Natur dieser Vorordnung geschlossen werden, vor allem, ob sie stark von den Herstellungsbedingungen der amorphen Proben abhängt und zum zweiten erlaubt die Messung der endothermen Energiemengen eine quantitative Aussage, wie weit die Umwandlung vorangeschritten ist und wie ihre Kinetik abläuft. Dazu ist derzeit eine DSC Apparatur im Aufbau.

Im Bereich der Züchtung aus Hochtemperaturschmelzlösungen werden schon seit längerer Zeit die Arsenate, Phosphate, Vanadate und Oxisulfate der Seltenen Erden hergestellt. Für diese Verbindungen lagen lange Zeit wenig Informationen über das Phasendiagramm und die Wachstumskinetik vor. Daher haben wir im KML die Möglichkeiten der thermischen Analyse mittels

# Für Forschung und Produktion



## Einkristalle

(Metalle, Oxide, II-VI, III-V- und andere Verbindungen)

### Optische Kristalle für UV und IR

(Linsen, Fenster, Prismen etc.)

### Seltene Erden

(Metalle, Oxide, Salze etc.)

### Hochreine Materialien und Metalle

### Stabile Isotope

Aufdampfmaterial,  
(Sputter-Targets etc.)

## KRISTALLHANDEL KELPIN



6906 Leimen/HD · Im Schilling 18 · Tel. 06224/72558 · Telex 466629

DTA aufgebaut und den für die Kristallzucht entscheidenden Ausschnitt des Phasendiagramms vermessen. Dies war die Grundlage für Messungen der Kristallisationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Über- bzw. Untersättigung. Hiermit wollten wir den die Geschwindigkeit bestimmenden Schritt bei der äußerst langsamen Züchtung feststellen, die zudem noch darunter leidet, daß diese Systeme einen extrem niedrigen Oswald-Miersbereich besitzen, was zu starker spontaner Keimbildung Anlaß gibt. Die Wachstumsgeschwindigkeit wird nach unseren Messungen zu etwa 80% von der Transportgeschwindigkeit im Flußmittel also von der Diffusion bestimmt. Um die Wachstumsgeschwindigkeit im Flußmittel also von der Diffusion bestimmt. Um die Wachstumsgeschwindigkeiten mit der Diffusion zu korrelieren haben wir die Messung von Diffusionskoeffizienten mit der Kapillarmethode aufgenommen und die bisherigen Untersuchungen eindrücklich bestätigen können. Wenn wir die Messungen von Kristallisationsgeschwindigkeiten als Funktion der Übersättigung vergleichen mit Messungen der Auflösungs geschwindigkeit als Funktion der Untersättigung, so stellen wir fest, daß bei der Kristallisation außer dem Transport durch das Flußmittel noch ein zusätzlicher Widerstand überwunden werden muß. Wir versuchen zur Zeit durch Messung von Oberflächenspannung, Dichte und Viskosität unserer Hochtemperaturschmelzlösungen einen Einblick in die Art und Größe der von der Wachstumsfront vorliegenden Teilchen zu gewinnen. Dazu werden die eben genannten Größen als Funktion von Temperatur und Zusammensetzung unserer Hochtemperaturschmelzen gemessen, ein bei diesen Systemen nicht gerade einfaches Unterfangen.

Die Diffusionsmessungen in den oxidischen Seltenen Erd-Verbindungen waren der Ausgangspunkt für ein neues Projekt im KML, die Messung von Diffusionskoeffizienten in Halbleiterschmelzen. Die Kristallzüchtung im Weltraum bedarf zur Planung optimaler Versuchsbedingungen, besonders in Anbetracht der dort zur Verfügung stehenden kurzen Zeit, der Kenntnis von einer ganzen Reihe von systemspezifischen Daten. Für den Transport ist das die Diffusionsgeschwindigkeit. Die Messungen auf der Erde gestalten sich recht schwierig. Das ist wohl auch der Grund für die um einige Größenordnungen voneinander abweichenden

Werte, die in der Literatur zu finden sind. Bei den unter normaler Erdbeschleunigung durchgeführten Messungen oder Abschätzungen kann nicht immer ausgeschlossen werden, daß zusätzliche Transportmechanismen die Interpretation erschweren oder unmöglich machen. Mit der im KML aufgebauten Scherzellentechnik nach Potard ist es gelungen, die Diffusionskoeffizienten für eine ganze Reihe von Schmelzen zu bestimmen. Die Möglichkeit der Variation von verschiedenen Versuchsbedingungen wie Temperatur, Diffusionszeit, Konzentration und Diffusionsquerschnitt läßt die Messung des Einflusses dieser Größen auf den Diffusionskoeffizienten zu und ermöglicht so die Abtrennung eventueller zusätzlicher Transporte. Derzeit kann dieses Verfahren für Halbleiterschmelzen als das unter Laborbedingungen genaueste gelten. Die Diffusionskoeffizienten von Ga und Sb im System Ga-Sb, von Ni in (In, Ni) Sb und von Cd im System Cd-Te wurden so gemessen. Derzeit werden die Arbeiten für Ga in Ga-As, In in In-P und Hg in Cd-Hg-Te durchgeführt. Eine Erweiterung auf mehrkomponentige Systeme ist in der Planung, in denen vor allem der Einfluß der zusätzlichen Elemente auf den diffusiven Transport studiert werden soll.

Die Kristalle der II-VI-Verbindungen werden aus der Gasphase gezüchtet außer von CdTe, das aus der tellurreichen Lösung im Bridgman- und im THM-Verfahren hergestellt wird mit Chlordotierung. Der Gasphasentransport ist für das Piper-Polich Verfahren von Faktor theoretisch untersucht worden. Aufbauend auf diese Arbeiten haben wir im KML den Transport von Verunreinigungen über die Gasphase in einem Modell betrachtet und durch experimentelle Ergebnisse seine Gültigkeit nachgewiesen. Unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt uns dieses Modell die Bestimmung von Einbaukoeffizienten aus der Kenntnis der Ausgangskonzentration und des Konzentrationsverlaufs im gewachsenen Kristall. Nicht benötigt wird der äußerst schwer zu messende Partialdruck der Verunreinigungs-komponente direkt vor der Kristallfront. Die II-VI-Verbindungen haben sich bis auf wenige Ausnahmen nicht den Stand der technologischen Reife der III-V-Verbindungen erreicht. Es fehlen eine ganze Reihe von kristallchemischen Daten. Der Einbaukoeffizient liefert hier einen Hinweis, welche Verunreinigungen oder Dotierstoffe vom Wirtsgitter

aufgenommen werden und wie sie bei Reinigungsschritten entfernt werden können. Wir haben solche Einbaukoeffizienten für Pb, Zn und Ag in CdS und von Pb in CdTe gemessen. Derzeit werden solche Messungen für Cu, Cr und Mn in CdS durchgeführt.

Neben dem Einbau von Fremdstoffen interessierte uns auch die kristalline Qualität, worüber für diese Substanzengruppe mit Ausnahme von CdTe und (CdHg) Te wenig Informationen vorliegen. Wir führten deshalb Röntgentopographieuntersuchungen an gasphasengezüchtetem CdS durch. Da die sonst mit keinen im Lichtmikroskop erkennbaren Defekten versehenen Kristalle jedoch eine Kornstruktur aufweisen mit Verkippungen der Körner bis zu wenigen Grad, waren wir dabei auf die Synchrotrontopographie in Lauegeometrie angewiesen. Wir haben Kristalle bei verschiedenen Ziehgeschwindigkeiten und Inertgasdrücken hergestellt und die kristalline Defektstruktur vermessen. Verschiedene theoretische Ansätze liefern maximale Wachstumsgeschwindigkeiten bei entsprechenden Inertgasdrücken für ungestörtes Wachstum. Der Vergleich mit den Topographieaufnahmen bestätigt die schlechte Kristallqualität für Ziehgeschwindigkeiten, die größer sind als die maximal abgeschätzten. Allerdings ist die kristalline Qualität auch erst bei erheblich geringeren Geschwindigkeiten als vom theoretischen Modell angegeben eindeutig besser. Dazwischen liegt ein weiter Bereich, in dem die Verkippung der Körner durch Einbau von Verunreinigungen und/oder Ofentemperaturgradienten stark beeinflusst wird. Leider stagnieren diese Arbeiten zur Zeit wegen dringender anderer Aktivitäten.

Aus den vorangegangenen Arbeiten läßt sich leicht erkennen, daß für die Messung der Diffusion und der Einbaukoeffizienten eine leistungsfähige chemische Analysenmethode vorhanden sein muß. Hier haben wir uns im KML für die Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) mit Flammen- und Graphitrohratomisierung entschieden. Diese Methode erlaubt für die meisten Metalle und Halbmetalle eine Nachweisgrenze unter den ppm bis in den ppb Bereich. Die hohen Empfindlichkeiten werden entscheidend mit der Graphitrohratomisierung erreicht. Eine ganze Reihe von Routineuntersuchungen im KML z.B. über das Einbauverhalten von Silizium in Czochralski-gezüchtetem  $\text{LiNbO}_3$  oder Pb in Cadmiumsulfid zeigten, daß hochempfindliche und genaue Analysen nur erreichbar sind, wenn die Atomisierungsvorgänge im Graphitrohr und damit die chemischen Reaktionen der zu untersuchenden Substanzen über den gesamten Temperaturbereich des Aufheizvorganges bekannt sind. Die bei der AAS verwendeten Substanzmengen liegen im Bereich von Nanogramm und darunter. Damit fallen andere unabhängige Analysenmethoden aus, um zu diesen Informationen zu gelangen. Wir haben im KML ein Verfahren entwickelt, indem wir die Absorption von konstanten Mengen der zu untersuchenden Substanz als Funktion von Temperatur, Aufheizzeit des Graphitrohrofens und der Lösungsgeossen messen. Damit liefert das Absorptionssignal die Werte von Temperatur und Zeit, für die sich die Produktion von Atomen ändert. Danach untersuchen wir größere Substanzmengen, die den entsprechenden Temperaturprogrammen unterworfen wurden mit Röntgenbeugung, Elektronenmikroskopie oder Molekülabsorption, um die Natur der chemischen Reaktion im Graphitofen aufzuklären. Hier sind uns für eine ganze Reihe von Elementen wie z.B. die Karbide bildenden Übergangsmetalle oder Oxide bildende Metalle wie Seltene Erden, Al, Sn, Ge und Ga sowie für Pb die experimentellen Nachweise für die im Graphitrohr der AAS ablaufenden chemischen Reaktionen gelungen, was eine Voraussetzung für einen optimalen Einsatz des Verfahrens ist.

G.Müller-Vogt

## Bearbeitung von nichtmetallischen Sonderwerkstoffen

Der Einsatz von mechanisch bearbeiteten Teilen aus nichtmetallischen Werkstoffen bei Hochtemperaturprozessen im Bereich der Festkörperphysik und -chemie gewinnt in zunehmendem Maß an Bedeutung. Die steigenden Ansprüche bezüglich der Qualität von Kristallen erfordern für die Herstellung alternative Hilfsstoffe zu Metallen und Legierungen. Oftmals begrenzen mangelnde Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit deren Einsatz. Wenn es zusätzlich auf reinste Bedingungen in der Anlage ankommt, muß Kontamination von Kristallen und Proben unterbunden wer-

den. Hier bietet sich der Einsatz von reinsten Stoffen wie Silizium (einkristallin und polykristallin) und Quarzglas oder in speziellen Fällen arteigens Material an. Auch im Bereich der hochauflösenden Analytik finden reinste Stoffe immer mehr Eingang (z.B. Probenhalter).

Die präzise, mechanische Bearbeitung von harten Materialien ist in den meisten Fällen nicht einfach. Geeignete Bearbeitungsmöglichkeiten und langjährige Erfahrung sind erforderlich, um Lösungen für konkrete Problemstellungen zu erarbeiten. Ich möchte mit diesem kurzen Beitrag alle Interessenten, die in ihren Arbeitsgebieten Bedarf an mechanisch bearbeiteten Teilen haben, ansprechen und auf die Möglichkeit der Fertigung durch die Fa.A.Holm, Ahornstr.8, D-8261 Stammham/OBB (Tel. 086 78/84 14) aufmerksam machen.

C.Holm

### Gerätebasar

Abzugeben: 12 KW HF-Plasmagenerator, bestehend aus 1 Netzteil und separatem Generatorteil

Anfragen an: Dr.W.Uelhoff  
KfA Jülich  
Institut für Festkörperforschung  
Tel.:02161/613157

### Stellenanzeige

An der Universität Kaiserslautern soll Anfang 1988 mit der Züchtung von II-VI-Epitaxie Schichten begonnen werden. Gesucht wird ein Doktorand, der Interesse hat, eine entsprechende Anlage aufzubauen.

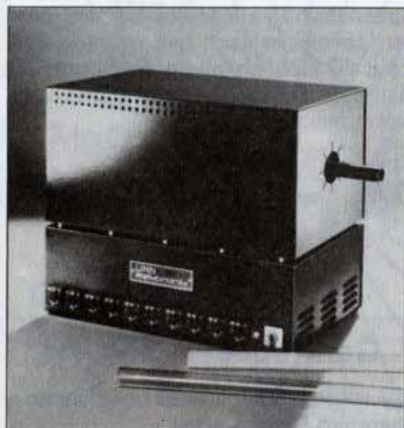
(Möglich auch für promovierten Materialwissenschaftler mit ganzer Stelle)

Bezahlung erfolgt nach Vereinbarung.

Interessenten wenden sich an

Prof.Dr.Klaus Klingshirn  
FB Physik  
Erwin-Schrödinger-Str.1  
6750 Kaiserslautern

# LINN - ELEKTRONIK DAS UMFASSENDE PROGRAMM



### FuE-Rohrofen

zum thermischen Modellieren  
20 (Halb)Zonen einzeln regelbar  
Temperaturbereich bis 1300° C  
Quarz-, Graphit, Keramik-  
und Metallrohre  
mehrere Rohrdurchmesser  
100 % Faserisolierung



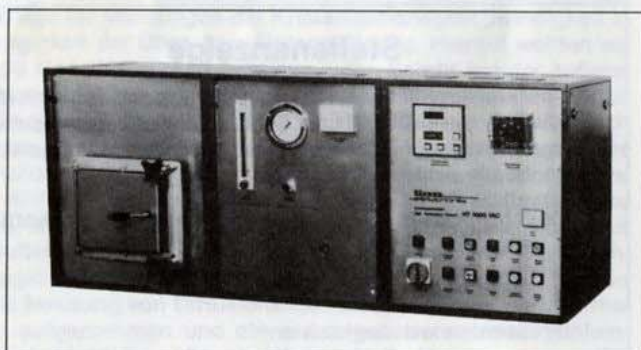
### Mini-Spiegelofen

kompakteste Abmessungen  
mit Schutzgasbetrieb  
2 x 150 Watt Strahler  
Temperaturbereich bis 2000° C  
Kontrolleuchten für Wasser-  
mangel, Übertemperatur und  
Schutzgas  
auch größere Sonderanlagen



### Rohrofen

um 90° klappbar, ermöglicht horizontalen  
und vertikalen Betrieb  
verfahrbar von 2 bis 200 mm/h  
1 oder 3 beheizte Zonen  
Temperaturbereich bis 1700° C (vertikal)  
100 % Faserisolierung  
verschiedene Größen



### Hochtemperaturofen

vakuumdicht und schutzgasdicht  
Kammervolumen 4, 26 und 52 Liter  
für oxidierende und reduzierende Atmosphären  
Temperaturbereich 1300° C, 1600° C und 1750° C  
für alle Erwärmungsprozesse  
100 % Faserisolierung  
große Auswahl an Temperaturreglungen



### Hochfrequenz-Generator

in Halbleitertechnik  
zum induktivem Löten von z.B. Metall-Keramik-Verbin-  
dungen  
tiegelloses Schwebeschmelzen  
HF-Ausgangsleistung 1,3 kW  
sehr hoher Wirkungsgrad  
äußerst kompakt B 470 x H 160 x T 400 mm  
geringes Gewicht  
bis 20 m absetzbarer HF-Generator als Option  
weitere Generatoren bis 12 kW

# linn elektronik

Heinrich-Hertz-Platz 1 · Eschenfelden · D-8459 Hirschbach 1  
Telefon (0 96 65) 17 21-23, Telex 63902 · Telefax (0 96 65) 17 20

Laboratory Furnaces  
High-Frequency Heating  
High-Temperature Technologies

# Die Rolle von Kristalldefekten in elektronischen Bauelementen

C. Weyrich

## 0 Einleitung

Wenn von Kristalldefekten in elektronischen Bauelementen die Rede ist, so ist man leicht geneigt, zunächst nur an ihre störenden, unerwünschten Wirkungen zu denken und damit ihre eigentlich wichtigere Rolle zu übersehen: Kristalldefekte sind nämlich in erster Linie unumgänglich notwendig für die Realisierung und Funktion elektronischer Bauelemente, da erst durch sie eine Steuerung der elektronischen Eigenschaften des Festkörpers möglich wird. Als zwei wichtige Beispiele hierfür seien genannt:

- (i) die (lokale) Veränderung der Elektronen- und Löcherkonzentration durch Einbau von Punktdefekten mit Donator- bzw. Akzeptorcharakter zur Erzeugung von p-n-Übergängen und
- (ii) die Steuerung der Rekombination von Ladungsträgern in indirekten Halbleitern - sowohl was das zeitliche Verhalten als auch was die Form der bei der Rekombination freiwerdenden Energie betrifft - durch Einbau sog. strahlender und nichtstrahlender Rekombinationszentren.

Auf der anderen Seite beeinflussen und limitieren Kristalldefekte, um auch zwei Beispiele für ihre störenden Wirkungen in Bauelementen anzuführen, i.allg.

- (i) die im Zusammenhang mit elektronischen Bauelementen gleichermaßen wichtigen Transporteigenschaften der Ladungsträger und
- (ii) in meist sehr verwickelter Weise die Ausbeute und somit die Wirtschaftlichkeit des Herstellprozesses.

Die spezifische Wirkung von Kristalldefekten - vor allem der Punktdefekte - hängt dabei entscheidend von den Eigenschaften des Grundgitters ab. Generell ist jede Veränderung der Zahl und Art der Kristalldefekte mit einer Änderung der elektronischen Eigenschaften des Festkörpers verbunden. Umgekehrt ist die Vielfalt der elektronischen Eigenschaften ein-

und desselben Grundmaterials - konstante Temperatur und stationäre Bedingungen vorausgesetzt - auf Unterschiede in Zahl und Art der Kristalldefekte zurückzuführen.

Die technologische Beherrschung von Kristalldefekten hinsichtlich Steuerbarkeit, Reproduzierbarkeit und Stabilität ist somit wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Herstellung von elektronischen Bauelementen.

Das heute erreichte hohe Verständnis der Bildung und Wirkung von Kristalldefekten vor allem im Bereich der Element- und Verbindungshalbleiter ist das Ergebnis multidisziplinärer Forschungsarbeiten. Auch wenn viele entscheidende Fortschritte - auch im Verständnis - durch Verfeinerung der Bauelementetechnik erzielt wurden, kommen der Festkörperphysik und der Analytik bei der Aufklärung des atomistischen Aufbaus der Kristalldefekte eine gleichermaßen wichtige Rolle zu.

Dieser Beitrag soll die wichtige Rolle und das hohe - aber keinesfalls als abgeschlossen anzusehende - Verständnis von Kristalldefekten in elektronischen Bauelementen an Hand einiger aktueller Beispiele veranschaulichen (Abschnitt 2). Im Vordergrund steht dabei immer das Aufzeigen der komplexen Zusammenhänge von elektronischen Eigenschaften der Bauelemente einerseits und Kristalldefekten andererseits. Diese werden nach Möglichkeit unter dem Aspekt der Fehlordnungsreaktionen behandelt, deren Theorie im wesentlichen auf Walter Schottky und seinen langjährigen Mitarbeiter Carl Wagner zurückgeht und deren Grundzüge im Abschnitt 1 erläutert werden. Auf analytische Verfahren zur Untersuchung von Kristalldefekten wird dabei nicht eingegangen. Einen Überblick über die verschiedenen Methoden liefern die unter [1] und [2] zusammengefaßten Arbeiten. Bezüglich einer umfassenden Übersicht über Kristalldefekte und ihre elektronischen Eigenschaften in Festkörpern sei hier zudem auf [3-5] und [6] verwiesen.

## 1 Grundsätzliches über Kristalldefekte in elektronischen Materialien

Kristalldefekte als Abweichungen vom idealen, streng periodischen Kristallaufbau werden üblicherweise hinsichtlich ihrer Dimensionalität eingeteilt (Bild 1). Bei den extrinsischen Punktdefekten, den

Punktdefekte
Leerstellen (Vakanzen)
Substitutionelle Eigenatome (nur in Verbindungen, sog. Antisite-Defekt)
oder
substitutionelle Fremdatome
Interstitielle (Zwischengitter-)Eigenatome
oder
interstitielle Fremdatome
Liniendefekte
Versetzen
Flächenhafte Defekte
Stapelfehler
Zwillingsgrenzen
Korngrenzen
Räumliche Defekte
Ausscheidungen, Einschlüsse
Löcher

Bild 1. Systematik der Kristalldefekte (schräg gedruckt: intrinsische Punktdefekte)

linienförmigen, flächenhaften und räumlichen Defekten handelt es sich im Prinzip um vermeidbare Defekte. Hingegen sind die intrinsischen Punktdefekte, die erstmals im Jahre 1926 von J. Frenkel [7] und vier Jahre später von C. Wagner und W. Schottky [8] zur Erklärung der Ionenleitfähigkeit polarer Kristalle bei höheren Temperaturen herangezogen wurden, thermodynamisch unumgänglich notwendig.

Die Notwendigkeit intrinsischer Punktdefekte im thermodynamischen Gleichgewicht wurde von C. Wagner und W. Schottky an Hand des Verhaltens eines Ionenkristalls der Form AB beim allmählichen Übergang von einer unstöchiometrischen Zusammensetzung mit Überschuß an Teilchen des einen Teilgitters zu einem solchen mit Überschuß an Teilchen des anderen Teilgitters qualitativ sehr anschaulich begründet: Betrachtet man z.B. einen Kristall mit einem Überschuß an Teilchen B, so kann dieser Überschuß im Kristallgitter

- (i) durch Einbau von Teilchen B im Zwischengitter,
- (ii) durch Bildung von Leerstellen im Teilgitter A oder
- (iii) durch Besetzung einzelner Plätze im Teilgitter A durch Teilchen des Typs B

bewerkstelligt werden. Bei kontinuierlichem Übergang von einer Zusammensetzung mit einem Überschuß an Teilchen B zu einer Zusammensetzung mit weniger B, als der stöchiometrischen Zusammensetzung entspricht, ergibt sich unabhängig davon, durch welchen Typ von Kristallstörung (Zwischengitter, Leerstelle, Antisite) die Nichtstöchiometrie ursprünglich erzeugt wurde, das grundsätzliche Problem, daß eine - wenn auch noch so kleine - Diskontinuität der Eigenschaften des Kristalls bei streng stöchiometrischer Zusammensetzung und idealer Ordnung auftreten müßte, da die Teilchen A und B definitionsgemäß unterschiedlich sind. Ein von der

Natur geforderter kontinuierlicher Übergang ist demnach nur möglich, wenn im Gleichgewicht bei endlicher Temperatur auch im Kristall streng stöchiometrischer Zusammensetzung einzelne Störungsstellen vorhanden sind, in denen sowohl einzelne Teilchen A als auch einzelne Teilchen B an Fehlordnungsstellen eingebaut sind.

Im Falle eines stöchiometrischen Ionenkristalls treten Fehlordnungen aus Gründen der elektrischen Neutralität immer paarweise auf. Nach einem auf N.F. Mott [9] zurückgehenden Vorschlag werden ein Paar, bestehend aus einer Gitterleerstelle und einem Atom desselben Teilgitters auf einem Zwischengitterplatz, als *Frenkel-Defekt* (üblich sind auch Frenkel-Fehlordnung oder Frenkel-Paar) und ein Paar, bestehend aus einer Anionen- und Kationenleerstelle, als *Schottky-Defekt* (Schottky-Fehlordnung) bezeichnet, wobei beide Bezeichnungen sinngemäß auch auf Elementkristalle angewandt werden: in beiden Fällen wird eine Leerstelle im Gitter erzeugt, wobei im Falle der Frenkel-Fehlordnung das Gitteratom auf einen Zwischengitterplatz und im Falle der Schottky-Fehlordnung an die Kristalloberfläche transportiert wird.

Die quantitative Behandlung des Problems wurde von C. Wagner und W. Schottky für den allgemeinen Fall aller intrinsischen Fehlordnungsmöglichkeiten auf molekularstatistisch-thermodynamischem Weg durchgeführt. Wesentliches Element der Berechnungen ist, daß die freie Enthalpie  $G$  sog. Konfigurationsentropien der Form  $k \ln Z$  enthält, mit  $k$  als Boltzmannkonstante und  $Z$  als Zahl der verschiedenen Möglichkeiten, die vorhandenen Defekte auf das Gitter zu verteilen. Zur Berechnung der Gleichgewichts-Konzentration der Kristalldefekte wird dann üblicherweise  $\delta G = 0$  gesetzt. Das Verfahren ist in Bild 2 am Beispiel eines einfachen Elementhalbleiters mit  $N$  Gitterplätzen und  $n_v$  Gitterfehlern, beispielsweise Leerstellen mit der Bildungsenthalpie  $\Delta H_v$ , und einer durch die Leerstellenbildung

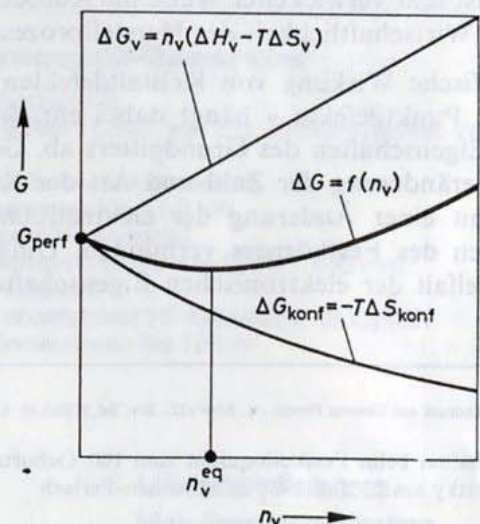


Bild 2. Freie Enthalpie  $G$  eines Elementhalbleiterkristalls mit  $N$  Gitterplätzen in Abhängigkeit von der Kristalldefektzahl  $n_v$  (übrige Bezeichnungen im Text)

verursachten Änderung der Schwingungsentropie bei den der Leerstelle benachbarten Gitteratomen  $\Delta S_V$  veranschaulicht. Die stets positive Konfigurationsentropie - der ausführliche Rechengang ist beispielsweise in [6, S.77ff.] zu finden - führt zu einem temperaturabhängigen Minimum der freien Enthalpie bei einer Zahl (Gleichgewichtszahl)

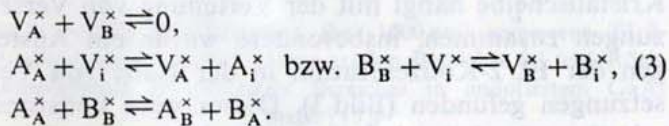
$$n_V^{eq} = N \exp\left(-\frac{\Delta G_V}{kT}\right) \quad (1)$$

von Leerstellen. Da  $n_V/N$  der Konzentration  $C(V)$  der Leerstellen im Gitter proportional ist, kann diese Beziehung auch als Massenwirkungsgesetz einer (Leerstellenbildungs- bzw. Vernichtungs-) Reaktion



mit der freien Standard-Reaktionsenthalpie  $\Delta G_V$  und der Massenwirkungskonstante  $K_V = \exp(-\Delta G_V/kT)$  betrachtet werden. Die Zahl Null auf der rechten Seite kennzeichnet das ungestörte Gitter mit unveränderter Zahl von Gitteratomen und ist dadurch gerechtfertigt, daß durch Transport eines Gitteratoms an die Oberfläche ein ursprünglich an der Oberfläche befindliches Atom zu einem Gitteratom wird, die Zahl der Gitteratome sich also nicht ändert.

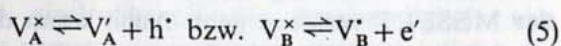
Bei einem Verbindungshalbleiter, bestehend aus zwei Atomarten A und B, treten für den einfachsten Fall ausschließlich neutraler ( $\times$ ) intrinsischer Punktdefekte folgende 3 elementare Reaktionen auf:



Hierbei kennzeichnen die Indizes A und B den Gitterplatz im Teilgitter A bzw. B und i den Zwischengitterplatz. Mit dieser Reaktion erhält man als Beziehung zwischen den Defektkonzentrationen die Massenwirkungsgesetze

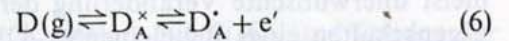
$$\begin{aligned} C(V_A^\times) C(V_B^\times) &= K_S, \\ C(A_i^\times) C(V_A^\times) &= K_{F,A} \quad \text{bzw.} \quad C(B_i^\times) C(V_B^\times) = K_{F,B}, \quad (4) \\ C(A_B^\times) C(B_A^\times) &= K_{AS}, \end{aligned}$$

wobei die Indizes S, F und AS der Massenwirkungskonstanten die Schottky-, Frenkel- und Antisitefehlordnung kennzeichnen sollen. Führt man analog den chemischen Bestandteilen des Gitters Elektronen e und Löcher h als Korpuskularteilchen ein, die man üblicherweise auch als elektronische Fehlordnung des Kristalls bezeichnet, so läßt sich der unterschiedliche Ladungszustand (negativ: ', positiv: ') einer Störstelle, beispielsweise der Leerstellen  $V_A$  und  $V_B$ , durch Reaktionen der Form



und die entsprechenden Massenwirkungsgesetze berücksichtigen. In gleicher Weise kann der Einbau

eines intrinsischen Donators D über die Gasphase (g) auf einen Platz A des Gitters durch die beiden Reaktionen



behandelt werden oder die Eigenleitung eines Halbleiters durch die Reaktion



Diese allgemeine Betrachtung von Fehlordnungsgleichgewichten mit Hilfe von Massenwirkungsgesetzen, die im wesentlichen auf C. Wagner und W. Schottky zurückgeht (für eine zusammenfassende Darstellung siehe z.B. [10]) hat sich bei der Behandlung von Ionen- und vor allem Valenzkristallen als äußerst tragfähig erwiesen und kann, sofern man sich auf hinreichende Verdünnung aller - elektronischer und chemischer - Fehlordnungen beschränkt, experimentellen Beobachtungen auch quantitativ standhalten. Für die quantitative Berechnung der Fehlordnungskonzentrationen ist es jedoch wichtig, daß sämtliche voneinander unabhängigen Reaktionen von Defekten oder Defektkomplexen erfaßt werden, wobei der Massenwirkungsansatz jeweils mit der Ladungsneutralitätsbedingung zu koppeln ist.

## 2 Kristalldefekte in elektronischen Bauelementen

Bei der Herstellung elektronischer Bauelemente haben die in Abschnitt 1 ausgeführten grundsätzlichen Gedanken über die gekoppelten Gleichgewichte der einzelnen Kollektive nur beschränkt Gültigkeit, da bei Kristallfehlordnungen in den meisten Fällen der Gleichgewichtszustand nicht nur nicht erreicht, sondern sein Erreichen sogar unerwünscht ist, z.B. bei der Erzeugung von p-n-Übergängen. Dies gilt im übrigen nicht für die elektronische Fehlordnung und den Ladungszustand der Störstellen, die auch bei Raumtemperatur i.allg. als im Gleichgewicht befindlich angesehen werden können. Trotzdem liefern Gleichgewichtsbetrachtungen über Kristalldefekte wertvolle Hinweise vor allem im Bereich der Hochtemperaturprozesse, bei denen zumindest einige wichtige Reaktionen nahe dem Gleichgewicht ablaufen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von partiellen Gleichgewichten.

Unabhängig davon handelt es sich bei elektronischen Bauelementen jedoch meist um sog. eingefrorene Kristallfehlordnungen, da die Prozeß- und Ausheiltemperaturen i.allg. wesentlich über den Betriebstemperaturen der Bauelemente liegen und das Diffusionsvermögen von Fehlstellen mit der Temperatur drastisch abnimmt. In dieser Hinsicht sind Schottky-Defekte als stabiler anzusehen als Frenkel-Defekte, da sie mit der Kristalloberfläche, an der sich die Gitteratome aus dem Kristallinneren anlagern müssen, im Gleichgewicht stehen müssen; es sei denn, das Kristallinnere weist andere Quellen für Leerstellen

len - beispielsweise Versetzungen - auf. Die aus diesem Nichtgleichgewichtszustand resultierende inhärente Instabilität ist mit einer Ursache für die meist unerwünschte Veränderung der elektronischen Eigenschaften eines Bauelementes. Dieser als Degradation bezeichnete Vorgang läuft verständlicherweise dann beschleunigt ab, wenn Veränderungen der Kristallfehlordnung durch hohe Temperaturen, durch Ladungsträger-Rekombinationsprozesse oder durch hohe elektrische Felder aktiviert oder unterstützt werden.

In diesem Zusammenhang sei noch auf zwei Entwicklungstendenzen bei modernen elektronischen Bauelementen hingewiesen, die bei Betrachtungen der Rolle von Kristalldefekten in Zukunft immer mehr ins Gewicht fallen werden:

(i) die zunehmende Zahl und Komplexität der Prozeßschritte, die untereinander sorgfältig abgestimmt werden müssen, um die gewünschten Eigenschaften des Bauelementes zu erzielen (Prozeßkompatibilität), und

(ii) die zunehmende Miniaturisierung der Bauelementestrukturen und der daraus resultierende anteilig zunehmende Einfluß von Oberflächen, Zwischenflächen oder anderen Kristallstörungen, beispielsweise Versetzungen oder Stapelfehler. Dies gilt im übrigen grundsätzlich auch für Bauelemente auf der Basis polykristalliner Materialien.

Im folgenden soll das oben Gesagte an Hand von vier aktuellen Beispielen veranschaulicht werden. Diese wurden so ausgewählt, daß allen drei wichtigen Perioden im Lebenszyklus eines Bauelementes, nämlich der Erzeugung des Grundmaterials, der Prozeßtechnik und dem aktiven Betrieb des fertigen Bauelementes, d.h. der Degradation, Rechnung getragen wird.

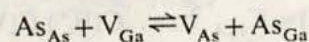
### 2.1 Beispiel für Kristalldefekte im Grundmaterial: EL 2-Defekte und Versetzungen in semiisolierendem GaAs

Der mit EL 2 bezeichnete Defekt in GaAs - genauer gesagt handelt es sich um eine Defektfamilie - stellt eine tiefe Störstelle mit Donatorcharakter (0,75 eV unterhalb der Leitungsbandkante) dar. Er ist in undotiertem GaAs verantwortlich für die elektrische Kompensation der Akzeptorhintergrundverunreinigungen - im wesentlichen Kohlenstoff - und damit für den notwendigen semiisolierenden Charakter des GaAs, das als Grundmaterial für die Herstellung schneller integrierter Schaltungen eingesetzt wird. In seiner Bedeutung hat der EL 2-Defekt das bisher zur Kompensation flacher Donatoren verwendete Cr wegen dessen ungünstigen Diffusions- und Umverteilungseigenschaften weitgehend verdrängt.

Die hohe technologische Bedeutung des EL 2-Defektes führte zu einer Vielzahl von Untersuchungen zur Identifizierung und reproduzierbaren Steue-

rung des EL 2-Defektes. Heute ist bekannt, daß die Konzentration und Verteilung des EL 2-Defektes in erster Linie vom eingesetzten Kristallzuchtverfahren, den Stöchiometrieverhältnissen bei der Kristallzucht und der thermischen Vorgeschichte des Materials abhängen (z.B. [11]). Trotz ausgedehnter Untersuchungen ist bei der atomistischen Identifizierung des EL 2-Defektes noch kein allgemein akzeptiertes Modell gefunden worden, welches in der Lage ist, das komplexe Verhalten des Defektes - beispielsweise bei der Erzeugung durch Bestrahlung mit schnellen Teilchen und anschließendes thermisches Ausheilen - oder seinen Übergang in einen metastabilen Zustand durch optische Anregung zu beschreiben. Allgemein akzeptiert ist jedoch, daß der EL 2-Defekt einen Komplex darstellt, bei dessen Aufbau der  $As_{Ga}$ -Antisite-Defekt eine zentrale Rolle spielt. Ein regulärer Antisite-Defekt - darunter wird der von vier As-Atomen umgebene und auch von den nächsten Schalen keine Störung erfahrende Defekt verstanden - kommt jedoch wegen der mittels ODESr und ODENDOR gemessenen Distorsion für den EL 2-Defekt selber nicht in Frage [12]. Von den in letzter Zeit vorgeschlagenen Modellen für den EL 2-Defekt seien hier nur zwei erwähnt, und zwar ein  $As_{Ga}$ - $As_i$ -Komplex [13] und das sog. As-Clustermodell [14], bei dem überschüssiges As in quasiamorpher Form in unterschiedlichen Koordinationen angeordnet ist, wobei eine Konfiguration mit vierfacher Koordination etwa einem  $As_{Ga}$ -Defekt entspricht.

Die Verteilung der EL 2-Störstellen auf einer Kristallscheibe hängt mit der Verteilung von Versetzungen zusammen, insbesondere wurde ein Ansteigen der EL 2-Konzentration in der Nähe von Versetzungen gefunden (Bild 3). Dieses wäre konsistent mit einer As-Anreicherung in der Nähe von Versetzungen, die aus den gefundenen As-Einschlüssen oder -Ausscheidungen an den Versetzungen geschlossen werden kann [16], und einem Bildungsmechanismus des EL 2-Defektes, der hier der Einfachheit halber einem isolierten  $As_{Ga}$ -Defekt gleichgesetzt werden soll, der Form [17]



mit

$$C(As_{Ga}) \sim \frac{C(V_{Ga})}{C(V_{As})}$$

Das in der Nähe der Versetzung parallel zur EL 2-Konzentration ansteigende  $C(V_{Ga})/C(V_{As})$ -Verhältnis begünstigt zudem einen verstärkten Einbau des implantierten amphoteren Dotierstoffes Si auf Ga-Plätzen, d.h. als Donator, was die Einsatzspannung von MES-FET in negativer Richtung verschiebt. Diese Verschiebung kann so stark sein (Bild 4), daß in der Nähe der Versetzung der „normally-off“-Charakter der MESFET verloren geht. Auch wenn die Zusammenhänge in Wirklichkeit wegen der komplexen Verhältnisse im Leitungskanal beispielsweise als Folge der Ausdiffusion von EL 2-Defekten komplizierter



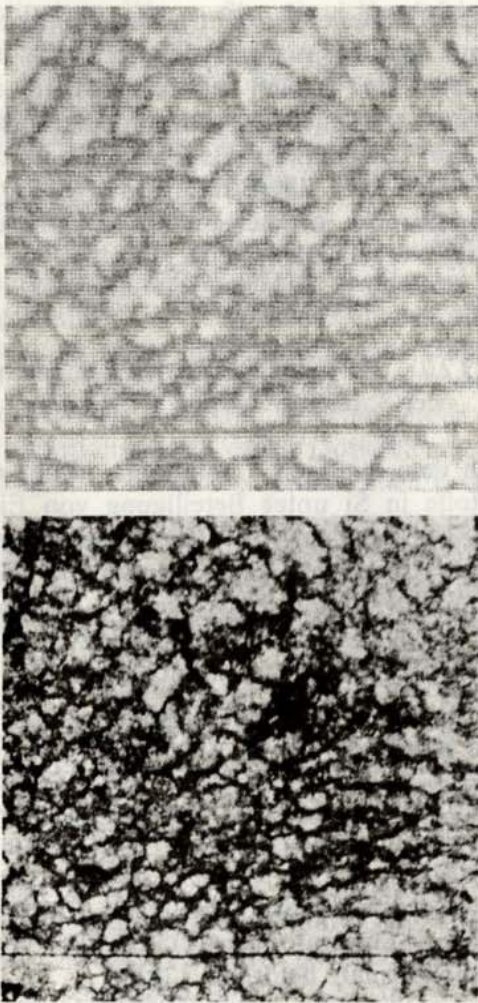


Bild 3. Mittels IR-Absorption (bei 1000 nm) gemessene EL 2-Verteilung eines 12 mm x 12 mm großen Bereiches (a) und Röntgentopogramm (b) desselben Bereiches in undotiertem GaAs (nach [15])

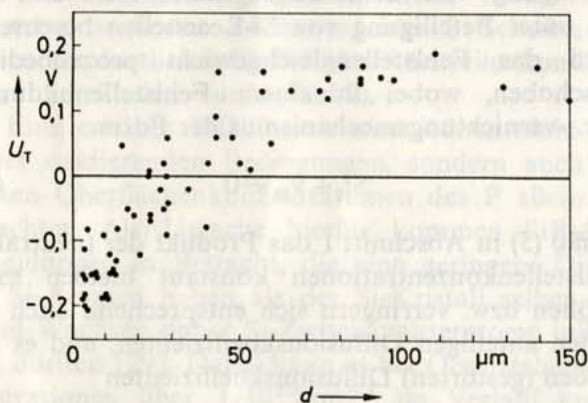


Bild 4. Einsatzspannung  $U_T$  von GaAs-MESFET vom Anreicherungstyp in der Umgebung (Abstand  $d$ ) einer Versetzung (nach [17])

sein dürften, unterstreichen die bisher vorliegenden Ergebnisse eindrucksvoll die Notwendigkeit von möglichst versetzungsfreien und hinsichtlich der EL 2-Verteilung homogenen GaAs-Kristallen als Substrat für schnelle integrierte Schaltungen.

## 2.2 Beispiele für Kristalldefekte durch Prozeßtechnik

### 2.2.1 Leerstellen in Zinkoxid-Varistorkeramik

ZnO-Keramik, dotiert mit  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  und Oxiden der Elemente Sb, Cr, Mn oder Co, hat einen stark nicht-linearen Widerstand mit einem sehr hohen Nichtlinearitätskoeffizienten von  $\alpha > 50$  in der empirischen Strom-Spannungs-Beziehung  $I \sim U^\alpha$  [18]. Diese als Varistoreffekt bezeichnete Eigenschaft der ZnO-Keramik machte sie hervorragend geeignet als Überspannungsschutz für elektronische Anlagen im weitesten Sinne.

Zur Erklärung des Mechanismus des Varistoreffektes in dotierter ZnO-Keramik wurden viele Modelle entwickelt, die in [19] zusammengefaßt sind. Wesentlich in diesem Zusammenhang wurde das durch Mikrokontaktierung benachbarter Körner gewonnene experimentelle Ergebnis, daß der Varistoreffekt im Bereich der Korngrenzen stattfindet und die Schwellenspannung für den steilen Stromanstieg unabhängig von der Zusammensetzung der Varistorkeramik bei 3,4 V liegt [20], was etwa dem Bandabstand des ZnO entspricht und einen Band-Band-Tunnelmechanismus nahelegt. Für die Erklärung der sehr hohen Werte von  $\alpha$  reicht jedoch eine Behandlung eines Körnerpaares als einfache nin-Diode nicht aus, es muß zusätzlich noch eine mit zunehmender Spannung eintretende überproportionale Verkürzung der Tunnelstrecke angenommen werden. Eine solche Verkürzung der Tunnelstrecke ergibt sich beispielsweise durch einen nichtparabolischen Verlauf der Bänder im Bereich der Korngrenze. Hier stößt die Annahme einer örtlich inhomogenen Dotierstoffverteilung allein auf Schwierigkeiten, da die Schwellenspannung, wie bereits erwähnt, unabhängig von der Zusammensetzung ist. Eine befriedigende Erklärung ergibt sich jedoch, wenn man die Verteilung intrinsischer Punktdefekte des ZnO, und zwar der von Sauerstoff- und Zn-Leerstellen mit Donator- und Akzeptorcharakter, berücksichtigt [21].

Die exakt quantitative Behandlung des Problems geht von folgenden Voraussetzungen aus:

- (i) Die experimentell bestätigte Anwesenheit von Zn- und O-Ionen in bismuthaltigen „Taschen“ in den Ecken zwischen den ZnO-Körnern, mit denen diese versuchen, ins Gleichgewicht zu kommen, und
- (ii) die Veränderung der Leerstellen-Gleichgewichtskonzentration durch den Einbau extrinsischer Dotierstoffe.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen und der temperaturabhängigen Mobilität der Zn- und O-Leerstellen ergibt sich die in Bild 5 gezeigte Leerstellenverteilung in der Umgebung der Korngrenze. Bei undotiertem ZnO überwiegen die  $V_{\text{O}}$ -Donatoren die  $V_{\text{Zn}}$ -Akzeptoren auch im Bereich der Korngrenze. Bei Anwesenheit eines extrinsischen Donators mit einer Konzentration von  $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  hingegen überwiegt die  $V_{\text{Zn}}$ -Konzentration innerhalb

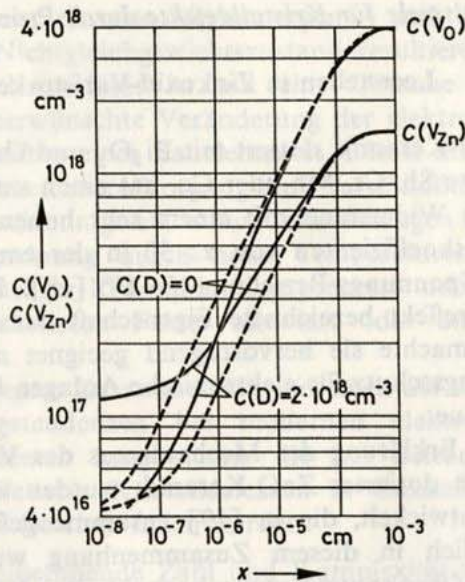


Bild 5. Berechnete Verteilung der Zink- und Sauerstoff-Leerstellenkonzentration  $C(V_{Zn})$  und  $C(V_O)$  für undotiertes (---) und mit einem extrinsischen Donator D dotiertes ZnO (—) im Bereich der Korngrenze ( $x$  Abstand von der Korngrenze) (nach [13])

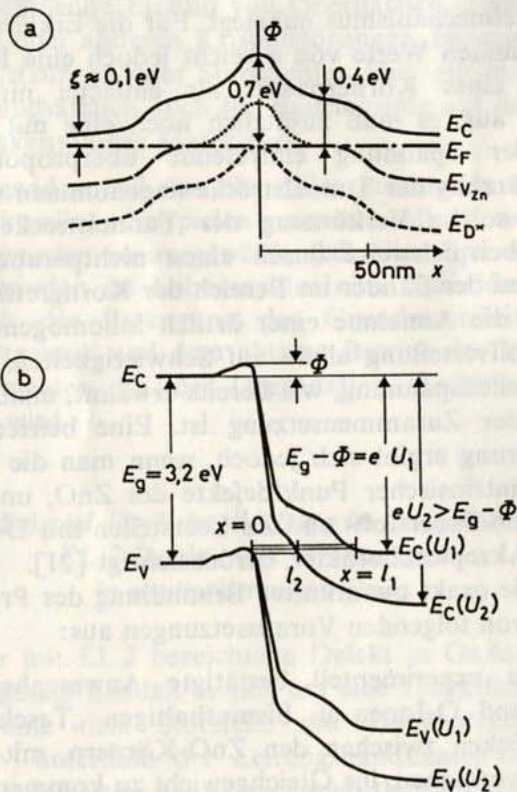


Bild 6. (a) Verlauf der Potentialbarriere  $\phi$  und (b) die sich dadurch ergebende Verkürzung der Tunnellänge  $l$  zwischen zwei ZnO-Körnern (nach [13]).  $E_C$ ,  $E_V$  Bandkanten des Leitungs- und Valenzbandes,  $E_F$  Fermienergie

aus dieser Störstellenverteilung der in Bild 6a gezeigte Verlauf der Potentialbarriere, wobei die sog. Vorschultern auf das Pinnen des Fermi-niveaus am doppelt negativ geladenen  $V_{Zn}$ -Akzeptor zurückzuführen sind. Diese Vorschultern wiederum führen zu der in Bild 6b gezeigten überproportionalen Verkürzung der Tunnelstrecke mit steigender Spannung und dem sich daraus ergebenden steilen Anstieg des Tunnelstromes.

### 2.2.2 Diffusion von Dotierelementen der 3. und 5. Gruppe in Silizium

Nach dem heutigen Verständnis diffundieren die Dotierstoffe in Si unter Beteiligung von Eigenfehlstellen (Si-Leerstellen und Si-Zwischengitteratomen), wobei prozeßinduzierte Änderungen der Gleichgewichtskonzentrationen dieser Defekte für einige Anomalien des Diffusionsverhaltens wie z.B. den Emitter-Dip-Effekt oder das Ausbilden von flachen Diffusionsausläufern bei der P-Diffusion verantwortlich gemacht werden [22, 23]. Die angenommene Wechselwirkung von Dotierelement und Eigenfehlstelle kann beispielsweise durch Bildung eines Dotierelement-Leerstellen-Komplexes [24] oder über einen sog. Kickout-Mechanismus erfolgen, bei dem ein auf einem Zwischengitterplatz befindliches Dotierelementatom ein Si-Gitteratom verdrängt und auf einen Zwischengitterplatz befördert [25].

Für die Diffusion unter Beteiligung von Eigenfehlstellen als Diffusionsvehikel setzt sich der Diffusionskoeffizient eines substitutionellen Dotierelementes  $D^S$  gemäß [26],

$$D^S = D_1^S + D_V^S, \tag{10}$$

zusammen, wobei  $D_1^S$  den Beitrag der Diffusion unter Beteiligung von Si-Zwischengitteratomen und  $D_V^S$  den unter Beteiligung von Si-Leerstellen beschreibt. Wird das Fehlstellengleichgewicht prozeßbedingt verschoben, wobei in einem Fehlstellenbildungs- bzw. -vernichtungsmechanismus der Form



gemäß (5) in Abschnitt 1 das Produkt der (neutralen) Fehlstellenkonzentrationen konstant bleiben muß, erhöhen bzw. verringern sich entsprechend auch die beiden anteiligen Diffusionskoeffizienten, und es gilt für den (gestörten) Diffusionskoeffizienten

$$D_{gest}^S = D_1^S \frac{C(Si_i)}{C(Si_i)^{eq}} + D_V^S \frac{C(V_{Si})}{C(V_{Si})^{eq}}, \tag{12}$$

wobei  $C(Si_i)^{eq}$  und  $C(V_{Si})^{eq}$  die ursprünglichen Gleichgewichtskonzentrationen kennzeichnen. Diese Darstellung vernachlässigt der Einfachheit halber sowohl den unterschiedlichen Ladungszustand der Eigenfehlstellen als auch deren ebenfalls vom Ladungszustand abhängendes Diffusionsvermögen, was u.U. für die beträchtlichen Diskrepanzen der aus Messun-

eines Abstandes von 10 nm von der Korngrenze, da der Einbau des extrinsischen Donators, wie man sich aus dem in Abschnitt 1 über die gekoppelten Gleichgewichte Gesagten überlegen kann, dem Einbau von  $V_O$ -Donatoren entgegenwirkt und den von  $V_{Zn}$ -Akzeptoren fördert. Unter Berücksichtigung der Ladungsumverteilung bei Raumtemperatur ergibt sich

gen ermittelten Werte für die Eigendefektdichten verantwortlich sein dürfte.

Eine prozeßtechnische Beeinflussung der Eigenfehlstellenkonzentrationen erfolgt am einfachsten durch Veränderung der Randbedingungen, unter denen die Diffusion durchgeführt wird. Eine Oxidation der Si-Oberfläche führt zu einer Injektion von Si-Zwischengitteratomen, was u.a. aus der erhöhten Bildungsrate von Stapelfehlern, sog. Oxidation Induced Stacking Faults (OSF), geschlossen werden kann [27]. Da unter diesen Bedingungen eine erhöhte Diffusion von P, B, Ga, Al gemessen wurde (Oxidation Enhanced Diffusion, OED), kann auf einen vorwiegenden Diffusionsprozeß dieser Dotierelemente unter Beteiligung von Si-Zwischengitteratomen geschlossen werden, während das für Sb gemessene geringere Diffusionsvermögen (Oxidation Retarded Diffusion, ORD) auf einen Diffusionsprozeß des Sb unter Beteiligung von Si-Leerstellen schließen läßt. Lediglich As, bei dem unter oxidierenden Bedingungen fast keine Veränderung der Diffusionsgeschwindigkeit gemessen wurde, dürfte bei der Diffusion beide Typen von Eigenfehlstellen involvieren [28]. Eine Nitridierung des SiO<sub>2</sub> führt zu qualitativ gleichem Verhalten der einzelnen Dotierelemente, woraus gleichermaßen auf eine relative Erhöhung der Konzentration der Si-Zwischengitteratome und Erniedrigung der Konzentration der Si-Leerstellen durch diesen Prozeß geschlossen werden kann. Ein gänzlich inverses Verhalten wird jedoch bei thermischer Nitridierung der reinen Si-Oberfläche gefunden: Beschleunigte Diffusion von Sb und verzögerte Diffusion von P und B, wobei gleichzeitig eine Längenabnahme der Stapelfehler gefunden wird, was auf eine Abnahme von C(Si<sub>i</sub>) bzw. Zunahme von C(V<sub>Si</sub>) durch die Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Bildung schließen läßt. Daß die Eigenfehlstellen dabei sehr schnell diffundieren ( $D \approx 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ), zeigen Versuche mit Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-beschichteter Vorder- und teilweise oxidierter Rückseite einer Si-Scheibe, bei denen ein deutlicher Einfluß der Rückseitenkonditionierung gefunden wurde (Bild 7).

Eine erhöhte P-Diffusion wird jedoch nicht nur unter oxidierenden Bedingungen, sondern auch bei hohen Oberflächenkonzentrationen des P allein beobachtet. Als Ursache hierfür kommen SiP-Ausscheidungen in Betracht, die eine geringere Dichte an Si-Atomen haben als der Si-Kristall selber und beim Wachsen daher Si-Zwischengitteratome injizieren dürften [29]. Dabei kann es bei Oberflächenkonzentrationen über  $3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  im Verlauf knapp unterhalb der Oberfläche zur Ausbildung eines Versetzungsnetzwerkes kommen, das dann lokal wiederum eine Senke für Si-Zwischengitteratome darstellt, was insgesamt zu dem gemessenen Plateau des P-Profiles an der Oberfläche mit anschließendem Diffusionsschwanz führen könnte [25].

Diese Ergebnisse unterstreichen den bei der Miniaturisierung der Bauelemente zunehmenden Einfluß von Versetzungen, Ober- bzw. Zwischenflächen oder Ausscheidungen. Dasselbe gilt für die mechani-

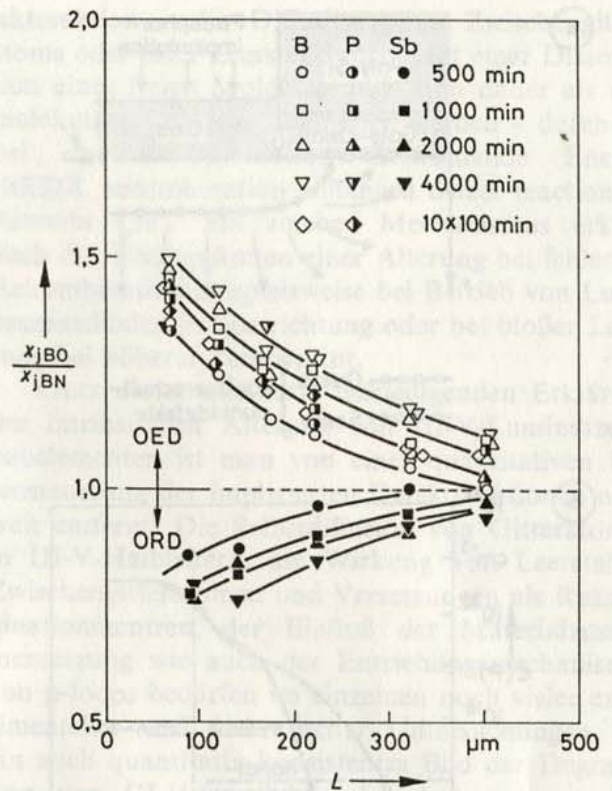


Bild 7. Relative Erhöhung bzw. Erniedrigung der Diffusionstiefe ( $x_{jBO}/x_{jBN}$ ) von P, B bzw. Sb durch Oxidation der Rückseite der Si-Scheibe in Abhängigkeit von der Scheibendicke  $L$  und der Oxidationsdauer (1100 °C, trockenes O<sub>2</sub>) (nach [28])

schen Spannungen, hervorgerufen durch die verschiedenen aufgebracht, lateral strukturierten Schichten und die Amorphisierung des Si-Gitters bei hohen Implantationsdosen. Ein alle neuen Erkenntnisse berücksichtigendes, für die Prozeßsimulation der P-Diffusion in Si geeignetes konsistentes Modell steht dabei bis heute leider noch aus. Alle bisherigen Simulationsprogramme für die P-Diffusion beruhen auf dem Modell von Fair-Tsai [24], das die gemessenen Diffusionsprofile mathematisch zwar richtig beschreibt, dabei aber von physikalisch nicht mehr haltbaren Voraussetzungen, nämlich der Diffusion über P<sub>Si</sub>V<sub>Si</sub>-Komplexe, ausgeht und damit keine Extrapolation außerhalb des experimentell gesicherten Bereiches zuläßt. Trotzdem sei als Beispiel für die Leistungsfähigkeit dieses Modells in Bild 8 die mit einem zweidimensionalen Prozeßsimulator [30] berechnete P-Unterdiffusion im Drainbereich eines MOS-FET mit und ohne Annahme einer Senke für die involvierten Eigenfehlstellen - in diesem Fall V<sub>Si</sub> - unter dem Gate-Oxid gezeigt, das die experimentell gemessene effektive Länge des Kanals richtig wiedergibt.

### 2.3 Beispiel für Kristalldefekte durch aktiven Betrieb elektronischer Bauelemente: Degradation von III-V-Lumineszenzbauelementen

Die in III-V-Lumineszenzbauelementen ausgenutzte Injektionslumineszenz ist eine besonders emp-

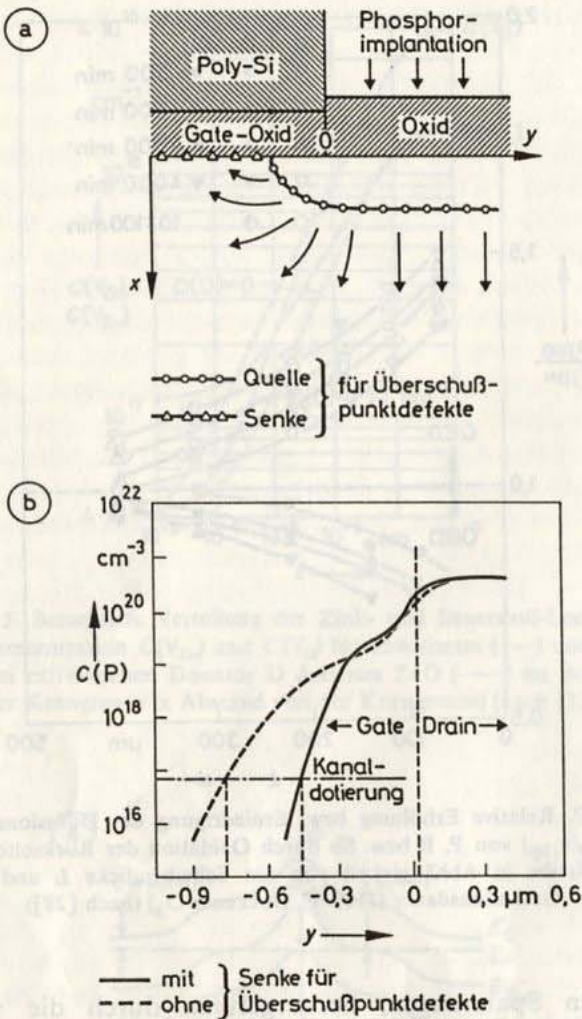


Bild 8. 2d-Simulation des P-Profiles von Submikron-MOSFET: (a) Topologie und (b) Phosphorkonzentration  $C(P)$  entlang der Si-Oberfläche (nach [31])

findliche Meßgröße für Veränderungen der Art und Zahl von Kristalldefekten, da diese nicht nur das zeitliche Rekombinationsverhalten der Überschuss-träger, sondern auch den Wirkungsgrad der Photonenenergie direkt beeinflussen. Insbesondere in Bauelementen mit hoher Dichte der injizierten Träger ( $>10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) spielen Degradationserscheinungen eine große Rolle, wobei sie im Falle der Laserdioden lange Zeit deren praktischen Einsatz in Frage stellen. Obwohl diese Probleme inzwischen vorwiegend durch technische Maßnahmen gelöst werden konnten, besteht über die Mechanismen der verschiedenen Degradationserscheinungen noch keineswegs Klarheit. Relativ konsistent ist das Bild dort, wo eine direkte Korrelation mit bestimmten Prozeßschritten bei der Herstellung vorliegt, beispielsweise bei der sog. Spiegeldegradation [32], der Degradation durch spannungsinduziertes Gleiten von Versetzungen [32], der Degradation durch Reaktion von Halbleiter- und Elektrodenmaterial [33] oder der Degradation durch Aktivierung extrinsischer tiefer Störstellen [34]. Demgegenüber bedürfen die beiden wesentlichen intrinsischen (Volumen-)Degradationsmechanismen, die sog. schnelle Kurzzeitalterung (rapid degradation) durch Ausbildung von ausgedehnten

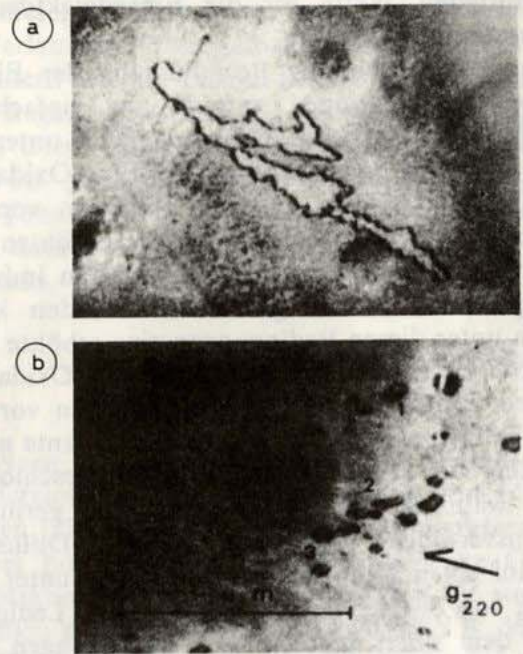


Bild 9. (a) Versetzungsnetzwerk in der aktiven Zone einer GaAlAs-Laserdiode, ausgehend von einem links oben befindlichen Versetzungskeim. (b)  $\mu$ -loops in einer 70 h bei 300°C gealterten GaAlAs-Laserdiode (aus [35])

ten Versetzungsnetzwerken in der aktiven Zone der Bauelemente und die sog. Langzeitalterung (gradual degradation), die auf Ausbildung und Vermehrung von Mikro-Versetzungsschleifen ( $\mu$ -loops) zurückgeführt wird, noch einer tiefergehenden Erklärung. Die dem heutigen Stand der Erkenntnisse entsprechenden einfachen qualitativen Modellvorstellungen, die in [35] und [36] ausführlich diskutiert werden, lassen sich in folgender Weise zusammenfassen:

Die den beiden Degradationsmoden zugrundeliegenden Versetzungen sind vom Zwischengittertyp und wachsen durch Klettern. Im Falle der Kurzzeitalterung von GaAlAs-Laserdioden gehen sie von einer als Keim wirkenden Versetzung aus (Bild 9a), beispielsweise einer aus dem Substratkristall herrührenden oder durch Gitterfehlانpassung der Epitaxialschichten bedingten Versetzung, und wachsen nach anfänglicher Verzögerung mit etwa  $10 \mu\text{m h}^{-1}$  meist in  $\langle 100 \rangle$ -Richtung. Die Aktivierungsenergie für diesen Wachstumsprozeß beträgt etwa 0,1 eV, zudem hängt dieser quadratisch von der Stromdichte ab. Die Wirkung von Versetzungen auf das Rekombinationsverhalten von Ladungsträgern hängt stark von ihrer „Historie“ ab [37]: Frisch gebildete Versetzungen wirken als Gebiete mit wesentlich höherer nichtstrahlender Rekombinationsrate als sog. alte Versetzungen – daher auch die Bezeichnung „dark line defects“ (DLD). Die aus der nichtstrahlenden Rekombination resultierende lokale Temperaturerhöhung von etwa 100°C entlang der DLD bewirkt eine thermische Ausdehnung und damit eine Zugspannung, die das Gitter lokal aufweitet und die Versetzung durch thermisch aktivierte Anlagerung von

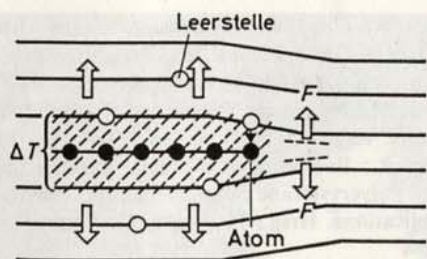


Bild 10. Schnelles Wachstum (Klettern durch Keilwirkung) von Versetzungen als Folge nichtstrahlender Rekombination an der Versetzung mit nachfolgender Erwärmung und Aufweitung (Zugspannung  $F$ ) des Gitters [35]

Gitteratomen, d.h. unter Emission von Leerstellen, wachsen läßt (Bild 10). Die geringere nichtstrahlende Rekombination an „alten“ Versetzungen und die daraus resultierende geringere lokale Temperaturerhöhung erklärt auch die anfängliche Verzögerung beim Wachsen von DLD in GaAlAs. In InGaAsP/InP-Laserdioden wird im Gegensatz zu GaAlAs/GaAs-Laserdioden eine wesentlich geringere Tendenz zur Bildung von DLD beobachtet. Als Ursache hierfür wird die bevorzugte Anlagerung von Atomen passender Größe zum Abbau mechanischer Spannungen in der Umgebung der Versetzung angesehen, was in GaAlAs wegen der (fast) gleich großen Atome nicht möglich ist [36].

Die graduelle *Langzeitalterung* läuft hingegen etwa  $10^4$ - bis  $10^6$ -mal langsamer ab, und sie hat im Falle des GaAlAs eine wesentlich höhere Aktivierungsenergie von 0,6 eV als die Kurzzeitalterung. Zudem hängt sie nur wenig von der Stromdichte ab, wird aber in gleicher Weise durch Ausüben mechanischer Spannungen verstärkt. Die Langzeitalterung wird auf kleine Versetzungsschleifen ( $\mu$ -loops) mit einer Größe unter  $0,1 \mu\text{m}$  und einer Dichte bis zu  $10^9 \text{cm}^{-2}$  zurückgeführt. Diese wachsen vermutlich durch Anlagerung von Zwischengitteratomen, wobei eine weitgehend gleichmäßig fortschreitende Verdunklung des Leuchtbildes beobachtet wird. Da die Dichte der Zwischengitteratome und damit auch die Konzentrationsgradienten wesentlich kleiner angenommen werden können als die der bei der Kurzzeitalterung gebildeten Leerstellen, ist die Wachstumsgeschwindigkeit der  $\mu$ -loops auch wesentlich kleiner. Daneben dürfte auch ihre Kleinheit und vielleicht auch die geringere „Frischheit“ eine Ursache dafür sein, daß die Schwelle für einen rückgekoppelten Wachstumsprozeß wie bei den DLD nicht erreicht wird.

Voraussetzungen für beide oben beschriebene Wachstumsprozesse ist jedoch ein zusätzlicher, die Diffusion von Leerstellen und Zwischengitteratomen beschleunigender Mechanismus, da die gemessenen Wachstumsraten der Defekte auch nicht annähernd durch eine thermisch aktivierte Diffusion zu erklären sind. Als athermischer diffusionsbeschleunigender Mechanismus kommt die Rekombination von Trägern an tiefen Störstellen mit Aktivierung einer De-

fektreaktion – die Diffusion eines Zwischengitteratoms oder einer Leerstelle entspricht einer Dissoziation eines freien Moleküls und kann daher als unimolekulare Reaktion angesehen werden – durch die bei der Rekombination freiwerdende Energie (REDR, recombination enhanced defect reaction) in Betracht [38]. Ein solcher Mechanismus erklärt auch das Nichtauftreten einer Alterung bei fehlender Rekombination beispielsweise bei Betrieb von Lumineszenzdioden in Sperrichtung oder bei bloßer Lagerung bei höherer Temperatur.

Trotz dieser qualitativ befriedigenden Erklärung der intrinsischen Alterung von III-V-Lumineszenzbauelementen ist man von einer quantitativen Untermauerung der implizierten Defektreaktionen noch weit entfernt: Die Selbstdiffusion von Gitteratomen in III-V-Halbleitern, die Wirkung von Leerstellen, Zwischengitteratomen und Versetzungen als Rekombinationszentren, der Einfluß der Materialzusammensetzung wie auch der Entstehungsmechanismus von  $\mu$ -loops bedürfen im einzelnen noch vieler experimenteller und theoretischer Untersuchungen, um ein auch quantitativ konsistentes Bild der Degradation von III-V-Lumineszenzbauelementen angeben zu können.

### 3 Ausblick

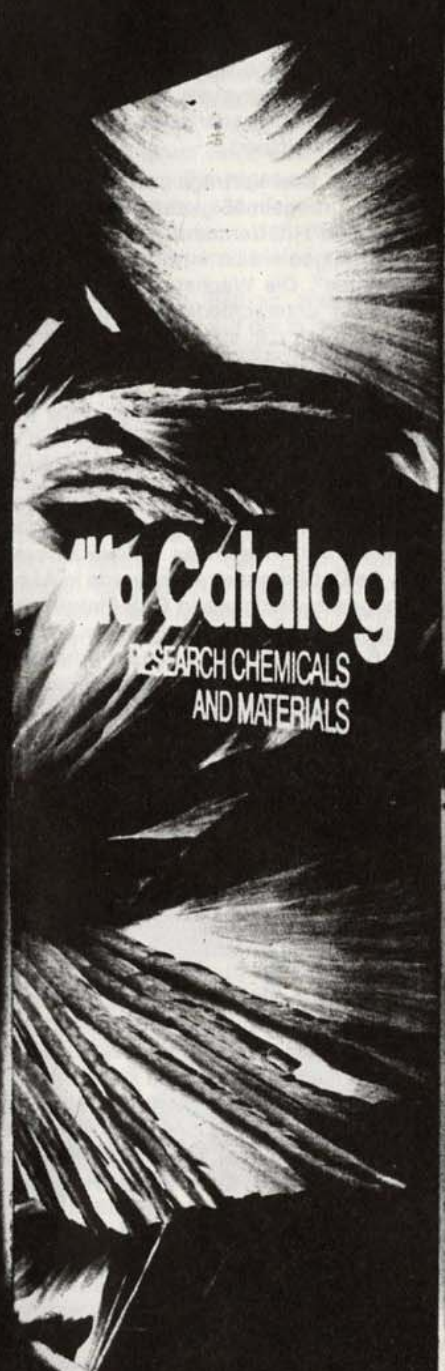
Das heute erreichte hohe Verständnis der Entstehung und Wirkung von Kristalldefekten im Festkörper ist das Ergebnis einer beispielhaften multidisziplinären Forschung. Die dabei entwickelten Modellvorstellungen werden jedoch bei der zunehmenden Komplexität und Miniaturisierung der Bauelemente in Zukunft weiter verfeinert werden müssen. Hierbei wird die auf W. Schottky und C. Wagner zurückgehende Betrachtungsweise von Kristalldefekten als Fehlordnungsgleichgewichte nach wie vor eine wichtige Rolle spielen.

Mein Dank gilt einer Reihe von Kollegen für viele hilfreiche Hinweise sowie namentlich den Herren K.-H. Zschauer und A. Winnacker für anregende Diskussionen und Anmerkungen zum Manuskript.

### Literatur

1. Kimerling, L.C.; Benton, J.L.; Lee, K.M.; Stavola, M.: Defect Structure and Properties by Junction Spectroscopy. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 3–12
- Schneider, J.: Microscopic Identification of Defects in Semiconductors by Electron-Spin Resonance and Related Techniques. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 13–25
- Skolnick, M.S.: Identification of Impurities and Defects in Semiconductors by Optical Spectroscopy. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 27–28
- Grimmeiss, H.G.: Electronic Defect Characterization. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 39–57

- Petroff, P.M.: Role of Electron Microscopy in Semiconductor Electronic Defect Analysis. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 433-440
2. Pfisterer, H.; Fuchs, E.: Festkörper-Analytik in Elektronik und Mikroelektronik. Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 14 (1985), S. 148-152  
Oppolzer, H.; Rehme, H.: Abbildung und Analyse von Grenzflächen mit dem Transmissions-Elektronenmikroskop. Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 14 (1985), S. 184-192  
Rehme, H.; Oppolzer, H.: Hochaufgelöste elektronenmikroskopische Querschnittsabbildung von Bauelementstrukturen und p-n-Übergängen. Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 14 (1985), S. 193-200  
Criegern, R. v.; Weitzel, I.; Rehme, H.: Analyse der Tiefenverteilung von Dotierstoffen mit der Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS). Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 14 (1985), S. 208-215
  3. Gleichmann, R.; Pasemann, M.; Blumtritt, H.; Johansen, H.: Defekte in Halbleitern und Bauelementstrukturen. In: Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik. Berlin: Springer 1982, S. 381-407
  4. Swalin, R.A.: Thermodynamics in Solids. New York: Wiley 1962
  5. Seeger, A.: Atomic Defects in Metals and Semiconductors. Festkörperprobleme (Advances in Solid Physics), Vol. XVI, S. 149-178. Hrsg.: Treusch, J. Braunschweig: Vieweg 1976
  6. Arnold, H.: Physikalische Chemie der Halbleiter. Wissenschaftliche Taschenbücher, Bd. 254. Berlin: Akademie-Verlag 1978
  7. Frenkel, J.: Über die Wärmebewegung in festen und flüssigen Körpern. Z. f. Physik 35 (1926), S. 652-669
  8. Wagner, C.; Schottky, W.: Theorie der geordneten Mischphasen. Z. f. Phys. Chemie 11 (1931), S. 163-210
  9. Mott, N.F.; Gurney, R.W.: Electronic Processes in Ionic Crystals. Oxford: University Press 1940
  10. Hauffe, K.: Fehlordnungsgleichgewichte in halbleitenden Kristallen vom Standpunkt des Massenwirkungsgesetzes. In: Halbleiterprobleme, Bd. 1. Hrsg.: Schottky, W. Braunschweig: Vieweg 1954, S. 107-127  
Schottky, W.: Statistische Halbleiterprobleme. In: Halbleiterprobleme, Bd. 1. Hrsg.: Schottky, W. Braunschweig: Vieweg 1954, S. 139-226
  11. Gatos, H.C.; Lagowski, J.: EL 2 and Related Defects in GaAs-Challenges and Pitfalls. Hrsg.: Johnson, N.M.; Bishop, S.G.; Watkins, G.D. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 46 (1985), S. 153-167
  12. Spaeth, J.M.: Application of Modern Magnetic Resonance Techniques to the Characterization of Point Defects in Semi-Insulating III-V Semiconductors. Proc. 4th Int. Conf. on Semi-Insulating GaAs. Hakone 1986
  13. Bardeleben, H.J. v.; Stievenard, D.; Bourgoïn, J.C.; Huber, A.: Identification of EL 2 in GaAs. Appl. Phys. Letters 47 (1985), S. 970-972
  14. Ikoma, T.; Mochizuki, Y.: Identification of the "EL 2 Family" Midgap Levels in GaAs. Jap. J. Appl. Phys. 24 (1985), L935-L937
  15. Alt, C.H.; Packeiser, G.: Two Dimensional High Resolution EL 2 Topography in Thin Semiinsulating LEC-grown GaAs Wafers. Proc. Conf. on Solid State Devices and Materials. Tokyo 1986, S. 659-662
  16. Cullis, A.G.; Augustus, P.D.; Stirland, D.J.: Arsenic Precipitation at Dislocations in GaAs Substrate Material. J. Appl. Phys. 51 (1980), S. 2556-2560
  17. Miyazawa, S.; Wada, K.: Mechanism for the Threshold Voltage Shift of a GaAs Field-Effect Transistor around Dislocations. Appl. Phys. Letters 48 (1986), S. 905-907
  18. Matsuoka, M.: Nonohmic Properties of Zinc Oxide Ceramics. Jap. J. Appl. Phys. 10 (1971), S. 736-746
  19. Einzinger, R.: Evolution of Physical Models for ZnO-Varistors. In: Polycrystalline Semiconductors, Physical Properties and Applications. Hrsg.: Harbecke, G. Berlin: Springer 1985, S. 228-244
  20. Einzinger, R.: Mikrokontakt-Messungen an ZnO-Varistoren. Ber. Dt. Keram. Ges. 52 (1975) 7, S. 244-245
  21. Einzinger, R.: Grain Boundary Phenomena in ZnO Varistors. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 5 (1982), S. 343-355
  22. Gösele, U.; Tan, T.Y.: The Influence of Point Defects on Diffusion and Gettering in Silicon. Hrsg.: Fair, R.B.; Pearce, Ch.W.; Washburn, J. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 36 (1985), S. 105-116
  23. Mathiot, D.; Pfister, D.C.: Diffusion Mechanism and Non-equilibrium Defects in Si. Hrsg.: Fair, R.B.; Pearce, Ch.W.; Washburn, J. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 36 (1985), S. 117-124
  24. Fair, R.B.; Tsai, J.C.C.: A Quantitative Model for the Diffusion of Phosphorus in Silicon and the Emitter Dip Effect. J. Electrochem. Soc. 124 (1977), S. 1107-1118
  25. Schaake, H.F.: The Diffusion of Phosphorus in Silicon from High Surface Concentrations. J. Appl. Phys. 55 (1984), S. 1208-1211
  26. Antoniadis, D.A.: Oxidation Induced Point Defects in Silicon. J. Electrochem. Soc. 129 (1982), S. 1093-1097
  27. Hu, S.M.: Formation of Stacking Faults and Enhanced Diffusion in the Oxidation of Silicon. J. Appl. Phys. 45 (1974), S. 1567-1573
  28. Mizuo, S.; Higuchi, H.: Investigation of Point Defects in Si by Impurity Diffusion. Hrsg.: Fair, R.B.; Pearce, Ch.W.; Washburn, J. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 36 (1985), S. 125-130
  29. Ourmazd, A.; Schröter, W.: Phosphorus Gettering and Intrinsic Gettering of Nickel in Silicon. Appl. Phys. Letters 45 (1984), S. 781-783
  30. Tielert, R.: Two-Dimensional Numerical Simulation of Impurity Redistribution in VLSI Processes. IEEE Trans. ED 27 (1980), S. 1479-1483
  31. Lau, F.; Gösele, U.: Two-Dimensional Diffusion Properties of Phosphorus in MOS-Source/Drain Structures. Vortrag, gehalten auf: "The Electrochemical Society, Spring Meeting". Boston, Massachusetts, Mai 1986
  32. Nannichi, Y.: Recent Progress in Semiconductor Lasers. Jap. J. Appl. Phys. 16 (1977), S. 2089-2102
  33. Chin, A.K.; Zipfel, C.L.; Geva, M.; Camlibel, I.; Skeath, P.; Chin, B.H.: Direct Evidence for the Role of Gold Migration in the Formation of Dark-Spot Defects in 1,3 µm InP/InGaAsP Light-Emitting Diodes. Appl. Phys. Letters 45 (1984), S. 37-39
  34. Bergh, A.A.: Bulk Degradation of GaP Red LEDs. IEEE Trans. ED 18 (1971), S. 166-170
  35. Hayashi, I.: Degradation in III-V Opto-Electronic-Devices. Proc. 15th Int. Conf. Physics of Semiconductors. Kyoto 1980. J. Phys. Soc. Japan 49, Suppl. A (1980), S. 57-65
  36. Matsui, J.: Degradation Behavior of Optoelectronic Devices. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 14 (1983), S. 477-490
  37. Heinke, W.; Queisser, H.-J.: Photoluminescence at Dislocations in GaAs. Phys. Rev. Letters 33 (1978), S. 1082-1084
  38. Kimerling, L.C.: Recombination Enhanced Defect Reactions. Solid-State Electron. 21 (1978), S. 1391-1401



# Ein Blick genügt...

... und Sie werden feststellen, daß der neue Alfa-Catalog für jedes Forschungslabor unentbehrlich ist.

Unser umfassendes Lieferprogramm:

Anorganische, organische und metallorganische Forschungschemikalien, ultrareine Chemikalien, reine und reinste Metalle, Legierungen, deuterierte Lösungsmittel, Atomabsorptionsstandards, Katalysatoren, NMR-Shiftreagenzien, Molekularsiebe, Zubehör für das Forschungslabor

Ventron-Alfa Products  
Division of Morton  
Thiokol GmbH  
Zeppelinstraße 7  
Postfach 6540  
D-7500 Karlsruhe 1  
Telefon 0721/85 30 61  
Telex 7 826 579 vent d

... senden Sie mir deshalb schnellstens den neuen Alfa-Catalog kostenlos zu.

\_\_\_\_\_

Name

\_\_\_\_\_

Institut/Fa.

\_\_\_\_\_

Str./Postfach

\_\_\_\_\_

PLZ/Ort

M

## Tagungsberichte

### Fachausschuß "Kristallisation" der Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) im VDI

Die diesjährige interne Arbeitssitzung des Fachausschusses fand am 31. März und 1. April 1987 in Burghausen statt. Im Rahmen des Vortagsprogrammes wurden verschiedene Bereiche des Kristallwachstums behandelt.

In dem Vortrag "Zur Genauigkeit der Auswertung von fehlerbehafteten Messungen der Wachstumsgeschwindigkeit" berichteten W. Beckmann und M. Rauls (Physikalische Chemie der TU Braunschweig) wie sich Meßfehler, Versuchsfehler und die Wachstumsdispersion auf die berechneten Größen wie kinetischer Koeffizient, Sättigungstemperatur, Lösungs- und Aktivierungsenthalpie auswirken. Es wurden Computersimulationen mit vertauschten Datensätzen durchgeführt und diskutiert, welche Schlüsse man aus fehlerbehafteten Messungen allgemein ziehen kann.

H.J. Meyer (Mineralogie der Universität Bonn) berichtete in seinem Vortrag "Zufällige Raumerfüllung durch überlappende Cluster" ebenfalls über Computersimulationen. In vielen Bereichen spielt das Problem der Raumerfüllung beim Zusammenspiel von Keimbildung und Wachstum eine Rolle. Die ersten Ansätze gehen auf Kolmogorov und Avrami zurück. Die Ergebnisse konnten durch Erweiterung des Ansatzes von Avrami mit Hilfe eines Exponenten  $x (< 1)$ , der auf die Überlappung der wachsenden Teilchen (Cluster) zurückzuführen ist, beschrieben werden.

M. Kind und A. Mersmann (Verfahrenstechnik B der TU München) stellten in dem Vortrag "Metastabiler Bereich von Lösungskeimbildung bei hohen Übersättigungen" ein Modell zur Entwicklung des metastabilen Bereiches vor, das mit experimentellen Ergebnissen gestützt wird. Es wird festgestellt, daß der metastabile Bereich im Grunde nicht von Interesse ist, wenn die Zeiten bis zum Beginn des Auskristallisierens so lang werden, daß sie technisch uninteressant sind.

Zwei weitere Vorträge beschäftigen sich mit dem Fremdstoffeinfluß auf die Keimbildung und Kristallisation. J. Ulrich und M. Stepanski (Verfahrenstechnik der Universität Bremen) berichteten über Auswirkung von Fremdstoffzusätzen auf das Wachstumsverhalten von  $K_2SO_4$ -Kristallen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit". Für diese Untersuchungen wurde eine Wirbelbettanlage mit einer Doppelkammer verwendet, durch die es möglich ist, das Wachstum von Kristallen mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit zu vergleichen. Die Wachstumsgeschwindigkeit von  $K_2SO_4$  wird durch  $Cr_4(SO_4)_5(OH)_2$  gesenkt und durch Zugabe von wenig  $CrSO_4$  erhöht.

In dem Vortrag von R. Lacmann, J. Meier, M. Mittmann (Physikalische Chemie der TU Braunschweig) "Untersuchungen zur Fremdstoffbeeinflussung von Kristallisationsvorgängen" wird über die Keimbildung und das Wachstum von KCl in Anwesenheit von verschiedenen Fremdstoffen berichtet. Die untersuchten Verunreinigungen beeinflussen zum Teil die Keimbildung. Bei der Kristallisation wird insbesondere auch ein starker Einbau der Verunreinigungen in den Kristall beobachtet und die Änderung der Kristallform untersucht. Außerdem wird in einer Datei die Literatur über die Fremdstoffbeeinflussung der Kristallisation gesammelt.

Das für die technische Kristallisation ebenfalls wichtige Problem der Korngrößenverteilung wird ebenfalls in zwei Vorträgen behandelt. In dem Vortrag von J. Jager, E.J. de Jong, W. Klapwijk, S. de Wolf (Apparatebau Prozeßindustrie der TU Delft) "Ein neuer Entwurf für Produktkorngrößenbestimmungen" wird ein Gerät zur On-line-Bestimmung von Kristallgrößenverteilungen im MSMPPR-Kristallisator vorgestellt. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der Fraunhofer Diffraktion. Da das Gerät nur mit maximalen Feststoffgehalten von 1% arbeiten kann, wurde eine automatische Verdünnungsanlage entwickelt. Erste experimentelle Ergebnisse mit Glaskugeln in  $H_2O$  zur Kalibrierung und von  $(NH_4)_2SO_4$  wurden vorgestellt. P. Marschal, R. David, J.P. Klein und J. Villiermaux (Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, CNRS-ENSIC-INPL, Nancy und Rhône-Poulenc Industrialisation: Forschungszentrum Décines) berichten über "Ein Lösungsverfahren der Anzahldichtebilanzen bei der Kristallisation mit Agglo-

meratbildung". Ein Ansatz für eine modellmäßige Beschreibung von MSMPPR-Kristallisationen mit Hilfe von Differential- und Bilanzgleichungen wurde vorgestellt und anhand der Kristallisation von Adipinsäure erläutert. Neben Korngrößenverteilung, Primär- und Sekundärkeimbildung, Kristallwachstum und Konzentration aller chemischen Verbindungen ging auch die Agglomeration in das Gleichungssystem ein. Die Agglomeration wird als chemische Reaktion beschrieben. Das Modell wurde bisher nicht experimentell verifiziert.

Ebenfalls zwei Vorträge beschäftigen sich mit ganz unterschiedlichen Unregelmäßigkeiten beim Kristallwachstum. K.F. Lambert und H. Offermann (Verfahrenstechnik der RWTH Aachen) beschäftigen sich mit der "Wachstumsdispersion von Kristallen". Die Wachstumsgeschwindigkeit gleich großer Kristalle ist unterschiedlich. Dazu existieren zwei Modelle (Berglund, Larson u.a. sowie White, Wright Garside und Tavaré). Das erste Modell geht von einer zeitlich konstanten Wachstumsgeschwindigkeit aus, die für jeden Kristall unterschiedlich ist, das zweite von einer Schwankung dieser Geschwindigkeit. Es wurde versucht, diese Wachstumsdispersion, die bis zu  $\pm 40\%$  betrug, am Beispiel  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$  zu analysieren.

Demgegenüber beschäftigen sich E. Schönherr und Y.C. Li (MPI für FK Stuttgart) mit der "Kinetik der Dotierstreifungen in Einkristallen" mit Hilfe eines Relaxationsverfahrens. Die Geometrie von Ge-Dotierungsstreifen wurde in Abhängigkeit von der Wachstumsgeschwindigkeit in GeS-Einkristallen untersucht, die durch Sublimation nach sprunghafter Änderung der Übersättigung durch Verrücken der Ampulle erhalten wurde. Die Streifungen konnten auf kleine Temperaturschwankungen im Regelsystem ( $< 0,4^\circ C$ ) zurückgeführt werden. Die Versuchsdauer betrug bis zu einem Jahr.

Wie weit gefächert das Gebiet des Kristallwachstums ist, zeigen die drei letzten Vorträge. U. Riebel und F. Löffler (Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe) berichten in dem Vortrag "Ein Versuchsstand zur Durchführung der diskontinuierlichen Kühlungskristallisation bei kontrollierter Unterkühlung" über die diskontinuierliche Kristallisation von  $K_2SO_4$  in einem Leitrohr-Kristallisator bei Unterkühlungen von 4 bis 9 K. Die Dichte der Lösung wurde on-line gemessen. Es wurde die Partikelgröße als Funktion der Zeit und der Unterkühlung untersucht. Der Schwerpunkt lag bei der Untersuchung der Agglomeration mit quantitativer Bildanalyse. Eine ganz andere Art der Kristallisation wird von G. Ziegler (Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, München) in dem Vortrag "Untersuchungen zum Kristallisationsverfahren von Kakaobutter" berichtet. Die zu wählenden Erstarrungsbedingungen der Kakaobutter bei der Schokoladenherstellung hängen von ihrer chemischen Zusammensetzung ab. Diese haben dann Einfluß auf die Kristallgröße und Modifikation und damit auf die Qualität der Schokolade. Die Kristallisationsbereitschaft der Schokoladenschmelzen kann über thermoanalytische Untersuchungen (DSC) abgeschätzt werden. Darüber hinaus werden NMR- und Viskositätsmessungen durchgeführt. Schließlich wurde noch von H. Weidner und H. Fußstetter (Wacker-Chemitronic, Burghausen) über "Granatkristalle für Laser" berichtet. Das Ziel ist es, Granatkristalle für Hochleistungslaser zu züchten. Hierzu eignet sich der Gadolinium-Gallium-Gallium-Granat (GGG), der sich homogen und streuzentrenfrei, schneller und in größeren Dimensionen herstellen läßt als der Yttrium-Aluminium-Granat. Die Kristalle werden nach dem Czochralski-Verfahren hergestellt und erreichen mit hohen Nd-Cr-Dotierungen bereits jetzt Wirkungsgrade wie der Neodym-dotierte-YAG-Laser.

Im Anschluß an die Vorträge fand eine Besichtigung von Einrichtungen der Wacker-Chemitronic und Heliotronic, die auch Gastgeber für die Veranstaltung waren, statt. Es wurden Einrichtungen zur Herstellung, Züchtung und Verarbeitung von Silicium und III-V-Halbleitern für die Mikroelektronik und Photovoltaik gezeigt. Im nächsten Jahr wird die Arbeitssitzung zusammen mit dem Fachausschuß "Partikelmeßtechnik" im Raum Zürich/Winterthur stattfinden (Termin noch offen). Eine Besichtigung bei der Firma Gebrüder Sulzer AG ist vorgesehen.

Das alle 3 Jahre stattfindende Symposium "Industrial Crystallization", das in diesem Jahr in Bechyně/CSSR stattfindet, soll im Jahre 1990 in München stattfinden und von der GVC und dem Fachausschuß vorbereitet werden (11. - 13. September).

R. Lacmann und M. Mittmann



## NATO-Workshop on "Microscopic Inhomogeneities in Bulk Gallium Arsenide"

9. April 1987 im Keble College der University of Oxford

Der eintägige NATO workshop zum oben genannten Thema war mit etwa 50 Teilnehmern erstaunlich gut besucht. Die Beiträge kamen hauptsächlich aus Großbritannien, Frankreich und den USA. Die Bundesrepublik war durch einen eingeladenen Vortrag von Dr. Packeiser (Siemens AG) und zwei Beiträgen zur optischen Charakterisierung (IAF Freiburg) vertreten.

Bei der Volumenkristallzüchtung merkte man, daß Westeuropa und die USA derzeit den Japanern nicht paroli bieten können.

M. Duseaux (Frankreich) ist in seinem Beitrag zum Thema "Growth of Defect Free GaAs" leider nicht auf die in seinem Abstract angekündigten Themen eingegangen, sein Beitrag war insgesamt enttäuschend.

Interessant war an dem Vortrag von W.F. Ford (USA), daß in der technischen GaAs Produktion seiner Firma 2" Stäbe aus 5 Kristallen herausgeschnitten werden. Die elektrischen Eigenschaften sind nach der Züchtung ungeeignet für die Bauelementherstellung (IC) und müssen erst durch Temperung und Abschrecken (!) semisoliierend und "homogen" gemacht werden. Der Zusammenhang zwischen dieser Prozedur und den Eigenschaften scheint ziemlich unverstanden zu sein. Das Hauptgewicht der Beiträge lag auf dem Gebiet der Charakterisierung von Materialeigenschaften und Defekten von GaAs, wo sehr gute Beiträge gegeben wurden.



Das Frühstück beim NATO-workshop "Microscopic..." wurde stilschön in der wunderschönen Halle des Keble College eingenommen

Die Tendenz geht hier erfreulicherweise dahin, daß auch die Verteilung von Defekten in und senkrecht zur Wachstumsrichtung häufiger untersucht wird und somit für den Kristallzüchter Zusammenhänge von Defektverteilung und Wachstumsbedingungen erkennbar gemacht werden. Als interessantes Beispiel sei die LASER Scattering Tomography (japanische Entwicklung) genannt, die eine sehr hohe Auflösung, gute Kontrastverstärkung und 3-dimensionale Beobachtung erlaubt.

Die Komplexität der meisten Untersuchungsverfahren hat dazu geführt, daß sich spezialisierte Arbeitsgruppen gebildet haben. Fortschritte bei der Kristallherstellung erfordern eine Zusammenarbeit von Kristallzüchtern und solchen "Charakterisierungsspezialisten".

G. Müller

## MRS-Spring-Meeting in Anaheim, CA vom 21. bis 23. April 1987

Das diesjährige Frühjahrs-Treffen der Materials Research Society fand vom 21. bis 23. April 1987 im Anaheim Marriott Hotel in Kalifornien statt. Die hervorragend organisierte Tagung war unterteilt in insgesamt 14 Symposien, so daß nahezu die gesamte Breite der Materialwissenschaften abgedeckt war. So reichten die Themen der Symposien von "Initial Stages of Epitaxial Growth" über "Geological Materials: Silicate Melts and Glasses" bis hin zum heute wohl am meisten interessierenden Gebiet der "High Temperature Superconductors with  $T_C$  over 30 K".

Daß bei einer solchen Fülle des Angebots für einen einzelnen Teilnehmer die meisten Dinge -leider- unberücksichtigt bleiben müssen, dürfte sich von selbst verstehen. Schon allein die Teilnahme an allen Veranstaltungen mit Bezug zum eigenen Arbeitsgebiet war zum Teil mit "Terminschwierigkeiten" verbunden.

Mein eigenes Interesse gilt der Heteroepitaxie von nicht gitterangepaßten Halbleitern auf Silizium. Ich besuchte daher nahezu ausschließlich Vorträge beim Symposium "Heteroepitaxy on Silicon Technology" und werde mich im folgenden auch auf eine kurze Beschreibung der wissenschaftlichen Ergebnisse dieses Symposiums beschränken.

Die beiden ersten Sitzungen beschäftigten sich sehr ausführlich mit materialwissenschaftlichen Aspekten des Systems GaAs auf Si. Besondere Beachtung fand dabei das Problem der Ausbildung von Antiphasengrenzen an der Grenzfläche GaAs/Si. Dies taucht immer dann auf, wenn man versucht, einen polaren Halbleiter auf einen nichtpolaren aufwachsen zu lassen. In einigen theoretischen Arbeiten (z.B. Aspnes) wurde gezeigt, wie eine Oberflächenrekonstruktion der Si(100)-Oberfläche im UHV bei hohen Temperaturen zu einer Bündelung der Fehlorientierungsstufen führt. Diese Stufen sind dann besonders stabil, wenn sie genau zwei atomare Einheiten ( $a_0/2$ ) hoch sind. Eine solche Anordnung biatomar hoher Stufen sollte aufgrund geometrischer Überlegungen eine Ausbildung von Antiphasengrenzen gerade verhindern. Ein eindeutiger Einfluß wurde jedoch nicht in allen experimentellen Arbeiten gefunden.

Neben den Antiphasengrenzen ist auch weiterhin das Fehlpasungsproblem (Unterschiede in den Gitterkonstanten von GaAs und Si) und das Problem der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von großem Interesse. Es zeigt sich, daß bei den erhöhten Wachstumstemperaturen eine nahezu perfekte Anpassung der Gitterkonstante durch die Ausbildung von Fehlpasungsversetzungen erfolgt. Kühlt man die Probe dann auf Raumtemperatur ab, so führt die größere thermische Ausdehnung des GaAs zu Zugspannungen in der Epitaxieschicht (und nicht zu Druckspannungen, wie man es für eine Substanz mit größerer Gitterkonstante erwarten würde!). So können Heteroepitaxieschichten i.a. nur bis zu einer gewissen Dicke ( $\sim 3-4\mu\text{m}$ ) gezüchtet werden. Oberhalb dieser Dicke werden die Spannungen in der Schicht so groß, daß sich Mikrorisse bilden. Dieses Problem versucht man derzeit durch eine Senkung der Wachstumstemperaturen zu umgehen.

Mitterweile scheint sich für die Heteroepitaxie von GaAs auf Si mit Hilfe der MBE ein Standardverfahren durchzusetzen, wobei zunächst 100nm GaAs bei 400°C abgeschieden werden. Anschließend wird die Temperatur auf 575°C erhöht und das weitere Schichtwachstum erfolgt bei Bedingungen, wie sie für die GaAs-Homoepitaxie üblich sind. Als Substrat wird (100)-Si verwendet, das i.a. 2° zum (110)-Pol hin fehlorientiert ist.

Neben der MBE wird auch verstärkt das MOCVD-Verfahren für die Heteroepitaxie von GaAs auf Si eingesetzt. Einige Vortragende zu diesem Thema konnten über sehr beeindruckende Erfolge berichten, was die Qualität der Epitaxieschichten und der darin verwirklichten Bauelemente anlangt. In dieser Hinsicht ist die MOCVD der MBE durchaus ebenbürtig.

Einen weiteren Schwerpunkt des Symposiums bildete die optische und elektrische Charakterisierung heteroepitaktischer Schichten. In diesem Zusammenhang wurde auch über Ansätze zur voll-epitaktischen Herstellung von 3D-Strukturen mit Hilfe der MBE berichtet, wobei als Isolatoren epitaktische Fluoride

$[(Ca,Sr)F_2]$  und als "Metalle" epitaktische Silicide ( $NiSi_2$ ,  $CoSi_2$ ) verwendet werden.

Mit dem System SiGe auf Si befaßten sich ebenfalls viele Arbeiten. Es wurde in allen Vorträgen bis auf einen (mein eigener) über Ansätze mit Hilfe der MBE berichtet. Daß man sich dem System SiGe auf Si auch mit Hilfe der LPE mit durchaus respektablen Ergebnissen nähern kann, stieß auf einige Überraschung und auf erfreulich großes Interesse.

In den MBE-Arbeiten wurden inzwischen enorme Fortschritte erzielt. So wurde gezeigt (Arbeiten von Bean und Pearsall, AT&T), daß es inzwischen möglich ist, Übergitter mit atomarer Auflösung in Wachstumsrichtung herzustellen ("atomic-layer-superlattices"). Solche Strukturen verlieren die Zentrosymmetrie des SiGe-Mischkristalls und haben daher eine neue Bandstruktur, mit deren Hilfe man hofft, im System Si/Ge direkte optische Übergänge verwirklichen zu können.

Für interessierte Kollegen sei darauf hingewiesen, daß der Proceedings-Band zu diesem Symposium im Herbst 1987 als Vol. 91 der MRS-Symposia-Proceedings erscheinen wird. Herausgeber werden John C.C. Fan, Julia M. Phillips und B.-Y. Tsaur sein.

Zum Abschluß noch einige Worte zum Umfeld: Das Anaheim Marriott Hotel bot einen ausgesprochen gediegenen Rahmen für die gesamte Veranstaltung. Besonders die Poster-Sessioens - jeweils mit Möglichkeit für Speis und Trank - waren sehr nett organisiert und boten viele Möglichkeiten, die Kollegen auch privat etwas näher kennenzulernen. Last but not least sei hervorgehoben, daß der Atem der amerikanischen Kultur durch die unmittelbare Nähe des Hotels zu Disneyland ständig zu spüren war.

Hans-Peter Trah

### EMRS-Tagung in Straßburg (2.-5. 6. 1987)

Die EMRS-Conference 1987 war geteilt in drei Symposien und in eine wegen der Aktualität kurzfristig angesetzten Veranstaltung über Supraleiter bei hohen Temperaturen. Die für den Berichterstatter interessanten Themen zum Gebiet III-V-Halbleiter waren im Symposium B zusammengefaßt. Es wurde eine recht große Zahl von Themen behandelt, vorwiegend im Bereich Materialcharakterisierung.

Zum Thema bulk-Kristallzucht kamen wenige (6) Beiträge, im wesentlichen zu InP (Müller + Völk/Erlangen) und eine Übersicht zu GaAs (Zanotto/MASPEC) sowie über Homogenität von s.i. GaAs (Nagel/Wacker-Chemitronic). Von den Vorträgen zum Oberbegriff Epitaxie, Heterostrukturen und entsprechenden Bauelemente erschien das "Limited Reaction Processing (LRP)" interessant, das unter anderem für III-V-Epitaxie eingesetzt werden kann. Durch eine Kombination des CVD-Prinzips mit einem Rapid-thermal-processing können sehr abrupte Übergänge hergestellt werden (Konkurrenz zu MBE?). Zu nennen sind hier auch die Reihe von Beiträgen zu GaAs on Si. In einer Übersicht von Fisher/Bell Labs wurden die diversen Möglichkeiten, die Probleme und der bisher erreichte Stand (realisierte Bauelemente,...) dieser Technologie recht positiv dargestellt, andere Beiträge zeigten aber die z.T. noch erheblichen Probleme auf.

Der größte Teil der Beiträge in Symposium B beschäftigte sich mit Charakterisierung, sowohl grundlegender Materialeigenschaften als auch in verstärktem Maße von Einflüssen der Technologieprozesse.

Einen recht guten Übersichtsvortrag hielt W. Jantz/IAF Freiburg zu Charakterisierungsmöglichkeiten von Substrat und aktiven Schichten in GaAs.

Gut zum Ausdruck kamen Einflüsse der Prozesse um die Ionenimplantation auf die Bauelementergebnisse auch in einem Beitrag von A. Cetrionio/Selenia, ITA, der den Standpunkt, das Substratmaterial sei der begrenzende Faktor, für den Fall niedrigintegrierter Bauelemente etwas relativierte.

Interessant waren auch die Ergebnisse von S. Kitching/STC, daß die Korrelation zwischen Schwellspannung  $V_{th}$  eines FET's und dessen Distanz zur nächsten Versetzung, die für höhere EPD-Werte ( $\sim 10^5 \text{cm}^{-2}$ ) eindeutig besteht, für Substrat mit niedriger EPD um  $10^4 \text{cm}^{-2}$  nicht vorhanden ist.

Eine größere Anzahl von Vorträgen befaßten sich mit Photolumineszenz als Charakterisierungsmethode, die für eine breite Palette von Aufgaben eingesetzt wird. Eine gute Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten von Raumtemperatur-PL-Mapping zu Material- und Prozeßkontrolle gab S. Krawczyk/FRA. Von einer Gruppe wurde über EPR-Messungen an GaAs berichtet, die mit Cu als Störstelle erklärt werden können, eine eindeutige Bestätigung fehlt allerdings noch.

M. Baumgartner

### 3. Int. Conference on II-VI Compounds 12.7.—17.7.1987, Monterey, CA (USA)

Die dritte Internationale Konferenz über II-VI Verbindungen fand in diesem Jahr vom 12.—17. Juli in Monterey/CA statt. Sie wurde gemeinsam mit der Jahrestagung der amerikanischen Kristallzüchtergesellschaft abgehalten.

Beide Konferenzen waren mit über 600 Teilnehmern gut besucht, von denen mehr als zwei Drittel aus den USA kamen. Nach den Amerikanern kam die größte nationale Gruppe aus Japan. Knapp 100 Teilnehmer kamen aus Europa. Hier stellten die Engländer das größte Kontingent.

Monterey ist eine kleine Stadt etwa 200 km südlich von San Francisco. Für literarisch Interessierte: Mac und die Boys aus John Steinbeck's "Cannery Row" sind hier zuhause. Bis zu Beginn der 50er Jahre lebte Monterey von der Sardinenindustrie. Die Landungsstelle der Fangboote ragt noch heute in den Hafen hinaus. Nur sind heute auf Fisherman's Wharf Andenkenläden und EBlokale untergebracht. Im Hafen kann man Seeottern, Seelöwen und Seehunde bewundern. Pelikane balgen sich mit Seelöwen um Abfälle, die Angler in den Hafen werfen.

In der alten Cannery Row, wo die Sardinen in Blechdosen verpackt wurden, wurde in der letzten "Cannery" nach ihrer Schließung ein Aquarium eingerichtet. Den Besuch dieses "lebenden Museums" kann ich nur jedem empfehlen, der einmal nach Monterey kommt.

So gehörte denn auch ein Abendimbiß in den Räumen des Aquariums zu den Höhepunkten des Rahmenprogramms der Konferenzen. Ein weiterer Schwerpunkt des "social programs" war das Konferenzdinner. Hier wurden die Gewinner der von der AACG vergebenen Preise geehrt. Den International Crystal Growth Award erhielt Professor D.T.J. Hurler von RSRE in Malvern, England, für seine Beiträge zur Theorie und Praxis der Kristallzüchtung. Insbesondere heißt es in der Verleihungsurkunde: "He possesses the rare talent to combine major theoretical insights with the ability to test his discoveries experimentally and see their impact on crystal growth technology." Der Preis wird alle drei Jahre verliehen und besteht aus einer Urkunde, einer Gedenkmedaille und 3000 US\$. Den Young Authors Award erhielten Dr.T.F. Kuech und Dr. B.S. Meyerson von IBM, T.J. Watson Research Center in Yorktown Heights NY. Dr. Kuech erhielt den Preis für seine Beiträge auf dem Gebiet der MOCVD von III-V-Verbindungen; Dr. Meyerson wurde geehrt für seine Arbeiten über CVD von dünnen Si Schichten.

Das Programm war in 30 Vortragssitzungen aufgeteilt. Die einzelnen Vorträge wurden in drei Parallelsitzungen gehalten. Die Vortragsräume lagen nah beieinander, so daß ein Überwechseln in Parallelsitzungen möglich war. Weder kann noch soll an dieser Stelle jeder einzelne Vortrag aufgeführt werden; es soll jedoch versucht werden, einen Eindruck wiederzugeben, der selbstverständlich subjektiv ist.

Ein Schwerpunkt in den Vorträgen über Bulk Growth von II-VI Verbindungen lag auf CdTe, CdZnTe und CdTeSe. Diese Materialien finden im Wesentlichen ihre Anwendung bei der Epitaxie von HgCdTe. Nach Auskunft der Hersteller drängt CdZnTe die beiden anderen Verbindungen immer weiter zurück (in der Anwendung für die Epitaxie). Die elektrischen Eigenschaften und IR-Transmissivität aller drei Materialien sind zwar vergleichbar; jedoch sind CdZnTe und CdTeSe beide härter als CdTe. Dadurch wird das gesamte "handling" einfacher. Darüberhinaus lassen sich CdZnTe und CdTeSe gitterangepaßt für die HgCdTe-Epitaxie herstellen. Die relativ große Diffusionsgeschwindigkeit von Se in CdTeSe favorisiert das CdZnTe vor dem CdTeSe.

Die Züchtung aller drei Materialien erfolgt überwiegend nach dem horizontalen oder vertikalen Bridgman-Verfahren. Die besten Ergebnisse werden in Mehrzonenöfen erzielt, die es erlauben, einen kleinen Temperaturgradienten an der Wachstumsfront einzustellen. Es werden Züchtungskörper mit bis zu 5 cm Durchmesser hergestellt. Aus diesen werden geeignet orientierte Scheiben für die Epitaxie herausgesägt.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Bulkzüchtung von HgZnTe. Diese Verbindung ist eine Alternative zum HgCdTe. Die Vorteile liegen darin, daß das Material härter als HgCdTe ist, die elektrischen Eigenschaften sollen vergleichbar sein.

Als mögliche Züchtungsmethoden wurde die Travelling Heater Methode, das gerichtete Erstarren und die SSR-Methode vorgestellt. Die Probleme mit allen drei Methoden sind größer als beim HgCdTe. Das liegt zum einen an der starken Separierung von Solidus- und Liquiduslinie im pseudobinären Phasendiagramm; zum anderen ist die Steigung der Soliduslinie im interessierenden Bereich äußerst flach. Die Folge ist, daß kleine Änderungen in der Temperatur zu großen Änderungen in der Zusammensetzung führen.

Eine weitere große Gruppe von Vorträgen befaßte sich mit der MOCVD Züchtung von II-VI-Verbindungen. Auch hier sei nur die Gruppe CdTe, HgTe und HgCdTe herausgegriffen.

Bezüglich des HgCdTe werden z.Zt. zwei Wege besprochen:

- der sog. "alloy process"
- der "interdiffused multilayer process"

Beim Alloy-Prozess werden alle Quellen, für Hg, für Cd und für Te gleichzeitig in das System eingebracht. Es wird versucht, eine einheitliche Schicht HgCdTe aufzuwachsen.

Im Interdiffused-Multilayer-Prozess werden abwechselnd Schichten von HgTe und CdTe gezüchtet. In einem anschließenden Temperprozeß läßt man diese Schichten ineinanderdiffundieren.

Bemerkenswert ist die Uniformität der Schichten, die inzwischen mit MOCVD erreicht wird. So wurde berichtet über 2 inch Wafer mit einer Abweichung im x-Wert von  $\Delta x = 0.008$  für den Alloy-Prozeß und  $\Delta x = 0.02$  für den Interdiffused-Multilayer-Prozeß. Zum Vergleich: mit der LPE werden heute Schichten mit einem  $\Delta x$  von 0.002 erreicht.

Will man echte Mehrschichtsysteme züchten, so liegt das Problem in der hohen Diffusionsgeschwindigkeit des Hg bei den Wachstumstemperaturen (über 300°C). Um hier zu tieferen Temperaturen zu gelangen, konkurrieren z.Zt. zwei Möglichkeiten:

- Anregung des Zerfalls des Metallorganikums durch Photostimulation oder Plasmaanregung
- Suche nach neuen Metallorganika, die bei tieferen Temperaturen zerfallen.

Mit Hilfe der Photostimulation erreicht man heute Temperaturen um 200°C, bei der Zerfallsanregung durch ein Plasma wird von "guten" HgTe-Schichten berichtet, die unter 100°C gewachsen sind. Bei der Suche nach neuen metallorganischen Verbindungen wurden inzwischen einige gefunden, die bei Temperaturen unterhalb von 200°C zerfallen. Es gibt aber noch offene Probleme mit ihrer Haltbarkeit und Reinheit.

Die Sitzung über MBE befaßte sich überwiegend mit der Epitaxie von MCT. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf ZnSe.

Als Substratmaterial für HgCdTe wurde auch hier mehrheitlich CdTe und CdZnTe verwendet. Die Wachstumstemperaturen liegen bei 200°C. Es zeigte sich, daß die Eigenschaften der Schichten stark von der Substratorientierung abhängen. So wird auf 100- und 111-Flächen immer n-Leitung der aufgewachsenen Schicht beobachtet; 110-Orientierung ergibt p-Leitung. Als mögliche Erklärung wird ein Orientierungsabhängiger Haftungskoeffizient diskutiert.

Schwefel dotiertes ZnSe ist ein vielversprechendes Material für blaue LED's. Als Substratmaterial kommt in der Regel GaAs zur Anwendung. Die Wachstumstemperaturen liegen bei 300°C. Als Problem ergibt sich hier die große Diffusionsgeschwindigkeit von Ga in ZnSe. Man versucht diese zurückzudrängen durch Pufferschichten von ZnTe und/oder CdZnTe.

In der Sitzung über Solution Growth wurden LPE-Verfahren für HgCdTe behandelt. Als Substratmaterial wird fast ausschließlich CdZnTe verwendet. Als Lösungsmittel wird überwiegend Tellur eingesetzt. Te bietet gegenüber Hg als Lösungsmittel den Vorteil niedrigerer Drucke. As grown Material ist immer p-Typ. Es muß

durch Tempern im Hg-Dampf oder Ionenimplantation umdotiert werden. Eine Dotierung während des LPE-Prozesses wirft Probleme auf, da die Verteilungskoeffizienten der möglichen Dotierstoffe sehr klein sind.

Benutzt man Hg als Lösungsmittel ist sowohl eine p- als auch eine n-Dotierung während des LPE-Prozesses problemlos möglich. Die Epitaxie erfolgt bei Temperaturen um 450°C. Bei diesen Temperaturen hat Hg einen Dampfdruck von etwa 5 atm. Es muß große Sorgfalt aufgewendet werden, um den Verlust von Hg zu vermeiden.

Johannes Schmitz

## American Conference on Crystal Growth (ACCG-7) (12.7. — 17.7.87, Monterey, Ca, USA)

Die diesjährige "American Conference on Crystal Growth (ACCG)" fand in Verbindung mit der "International Conference on II-VI Compounds" in dem hübschen Städtchen Monterey in Kalifornien statt. Die Zusammenlegung der beiden internationalen Tagungen erzeugte eine Konferenz mittlerer Größe mit ca. 1000 Teilnehmern, von denen der Hauptteil selbstverständlich aus den USA kam. Eine weitere, nicht zu übersehende Delegation stellten die Japaner, während die deutsche Beteiligung auf ca. 15 Teilnehmer beschränkt blieb.

Das Programm teilte sich nach der gemeinsamen Eröffnungssitzung in jeweils drei bis vier parallel verlaufende Sitzungen auf. Zwei bis drei dieser Parallelsitzungen beschäftigten sich mit den II-VI Verbindungen (siehe Bericht v. J. Schmitz), während mein eigenes Interesse mich in die ACCG-Sitzungen zog.

Zu den Topics der ACCG müssen zweifellos der "Superconductivity Workshop" und die Sitzung über "III-V Bulk Crystal Growth" gerechnet werden. Die Teilnehmerzahlen lagen dementsprechend auch bei 500-700 Besuchern während dieser Sitzungen. Die meisten anderen Vorträge wurden von lediglich 100-300 Zuhörern besucht.

Das Interesse am Superconductivity Workshop war durch die neuen Hochtemperatur-Supraleiter gegeben. Die kritische Temperatur  $T_C$  unterhalb der diese Materialien supraleitend werden ist etwas über 90K. Diese Temperatur liegt über der Verflüssigungstemperatur von Stickstoff (77K) und erlaubt somit eine praktische Nutzung dieser Werkstoffe.

Die Herstellung der Hochtemperatur-Supraleiter als Drähte, dünne Filme oder sogar Kristalle beschäftigt wohl nahezu jedes Institut in den Vereinigten Staaten. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei in der Herstellung von möglichst großen, supraleitenden YBaCuO-Kristallen. In den Vorträgen wurde über zwei Züchtungsmethoden berichtet, die mittlerweile zu größeren Kristallen geführt haben ( $8 \times 4 \times 4 \text{ mm}^3$ ). Einerseits berichtete D.J. Lam (Argonne National Laboratory) über Kristalle, die aus PbO/PbF<sub>2</sub>-Flux gewonnen wurden. Andererseits zeigen die Erfahrungen bei (AT&T), daß die verwendeten Oxide in einem kleinen Bereich des Phasendiagramms kongruent aufschmelzen und bei Temperaturen zwischen 1000°C und 880°C zu YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> kristallisieren. Lynn Schneemeyer hob bei ihrem Vortrag hervor, daß eine Zusammenarbeit mit Zahnärzten von Vorteil ist, da diese in der Lage sind, die entstandenen Kristalle aus der erstarrten Schmelze herauszubohren!

Ein nicht mehr so neues, aber dennoch aktuelles Thema ist die Kristallzucht von III-V Halbleitern. Da es bisher noch nicht gelungen ist, gutes GaAs herzustellen, konzentriert man sich darauf, das Czochralski-Verfahren zu verstehen und zu modellieren. Die Wachstumsprozesse am Interface, die Konvektion in der Schmelze, die Wärmeabstrahlung des Kristalls und in Zukunft auch der Einfluß von Magnetfeldern sind nur Beispiele, die studiert und mit Theorien beschrieben werden. Für die Entwicklung, Verknüpfung und die Umsetzung dieser Theorien in Rechnerprogramme erhielt dann auch D.T.J. Hurle (RSRE, UK) den diesjährigen "International Crystal Growth Award".

Auf der Konferenz war zu erfahren, daß AT&T einen neuen Weg zur Herstellung von gutem GaAs vorantreibt. Während die herkömmlichen Versuche in Japan, den USA und auch in der Bundesrepublik das LEC-Verfahren favorisieren, hat AT&T seine

nicht unerhebliche LEC-Forschung völlig eingestellt. Die GaAs-Forschung konzentriert sich jetzt vollständig auf das "Vertical Gradient Freeze" Verfahren und erzeugt Kristalle von sehr guter Qualität. Die Vorteile dieses Verfahrens hat G. Müller (Erlangen) schon vor Jahren herausgestellt und praktiziert es mit InP. Die von E. Monberg vorgestellten Ergebnisse an GaAs waren sowohl von der niedrigen Versetzungsdichte (EPD von undotiertem GaAs:  $1.2 \times 10^3 \text{cm}^{-2}$ ) als auch von der Homogenität (keine W-Profile in der EL2-Absorption oder Ladungsträger-Beweglichkeit) beeindruckend.

Auch von den anderen ACCG-Sitzungen gibt es noch einige Highlights zu berichten. So berichtete Y.S. Luh (Stanford University) über eine wesentliche Verbesserung der frequenzverdoppelnden  $\text{LiNbO}_3$  Fasern. Durch Li-Diffusion in die stets inhomogenen Fasern erreicht er eine Homogenisierung des Materials. Diese Verbesserung hat dazu geführt, daß in Stanford die Frequenzverdopplung mit diesen Fasern in den blauen Wellenlängenbereich gelungen ist!

Ein schöner Vortrag kam auch von Frau E. Bourret (Lawrence Berkeley LABORATORY) über den Einbau von radioaktiven  $^{14}\text{C}$  in GaAs. Ihre Autoradiogramme zeigten eine homogene Verteilung von Kohlenstoff und keine Segregation an Versetzungen oder Korngrenzen! Dies deutet darauf hin, daß die beobachteten Kontraste in Kathodolumineszenz-Messungen nicht wie angenommen durch Kohlenstoff-korrelierte Lumineszenzen zu erklären sind.

Auffällig war außerdem in den beiden Sitzungen über optische Materialien, die Präsenz von relativ vielen Kristallzüchtern aus dem Lawrence Livermore National Lab. In nicht weniger als 6 Vorträgen berichteten sie über die Herstellung von Granat-, Phosphat- und Fluorid-Kristallen, die für Laseranwendungen geeignet sind.

Nicht unerwähnt lassen möchte ich das wunderbare Rahmenprogramm. Dazu gehörten der gepflegte Empfang am Sonntag während der Anmeldung im Monterey Sheraton Hotel, das Konferenz Bankett und auch die Beköstigung während der Postersitzungen. Die Nähe des Conference Centers zur Cannery Row und Fisherman's Wharf sorgte in den Mittagspausen für ausgiebige Wiederbelebung der ermüdeten Gemüter und zu einem Höhepunkt dieser Tagung kristallisierte sich am Donnerstag Abend der gemeinsame Besuch des Monterey Aquariums aus.

Frank Bantien

## International School of Crystallography

13. Kursus: Crystal Growth in Science and Technology  
Erice - Trapani - Sicily: 17.8. bis 7.9.1987

Im Rahmen der Internationalen Schule für Kristallographie fand unter der Leitung von Prof. Hanns Arend (Zürich) und der Organisation von Prof. Lodovico Riva di Sanseverino (Bologna) als 13. Kursus eine Vortragsreihe über Kristallzüchtung in Wissenschaft und Technik in Erice, Sizilien statt. Der Kursus begann am Donnerstag, den 27. August und dauerte bis Montag, den 7. September. Ein großer Teil der ungefähr 100 Teilnehmer und 25 Vortragenden waren in dem kleinen, geschichtsträchtigen Städtchen Erice in komfortabel umgebauten Klöstern untergebracht. Erice liegt exponiert auf einem Berg in ca. 750 m Höhe oberhalb der Küstenstadt Trapani. Diese Höhenlage gewährte ein angenehmes Klima: am Tage warm und am Abend durch Wind und Wolken angenehm mild. Die Vorträge wurden in der modern ausgestatteten ehemaligen Kirche S. Domenico gehalten. Die technische Ausstattung war vorbildlich.

30 Länder waren vertreten:

(Nach dem Verständnis der Organisatoren als Weltbürger)  
Italien (18), BRD (13), USA (12), England (10), Frankreich (9), Schweiz (9), Holland (7), Polen (6), Spanien (4), Belgien (3), Israel (3), Czechoslowakei (3).

Je 2 oder 1 Vertreter aus: Ägypten, Brasilien, Bulgarien, China, DDR, Finnland, Griechenland, Indien, Japan, Mexiko, Nigeria, Österreich, Portugal, Thailand, Türkei, UdSSR, Ungarn, Jugoslawien.

Die Vorträge waren im allgemeinen in 2 Teile von je 45 Minuten eingeteilt, nach jedem Teil 15 Minuten Diskussion. Dazu kamen 3 "Panel Discussions" am Abend: "Crystal Characterization, New



Lecturer beim Mittagsummel durch Erice, Ilegems, Tolksdorf, Stringfellow mit Frau, Wilcox und ein Student (v.l.n.r.)

Crystal Technology and High Temperature Oxidic Superconductors". Außerdem gab es noch zwei Sitzungen mit Beiträgen aus dem Teilnehmerkreis. Im ganzen war es ein sehr umfangreiches Programm, das auch die Sonntage mit vollem wissenschaftlichem Programm ausnutzte. Zwei Nachmittagsausflüge machten die Teilnehmer mit der Geschichte dieses Teiles von Sizilien bekannt: Reste griechischer Tempel und phönizischer Siedlungen wurden besichtigt, dazu die Salzgewinnung aus dem Mittelmeer in Trapani.

Die Vorträge waren eine gute Mischung aus Einführung bis hin zu neuesten Ergebnissen. Wie zu erwarten, kamen die Beiträge "Homogeneous Nucleation" (Prof. Mutaftschiev, Nancy) und "Fundamental of Epitaxy" (Prof. Kern, Marseille), die beide recht anschaulich waren, nicht über die einfachen Ansätze hinaus. Sehr lebendig und eindrucksvoll hat Dr. Ghez (IBM Lab.) über Kristallzüchtung und Phasendiagramme vorgetragen mit der Empfehlung, bei Gibbs nachzulesen. Recht kompliziert aber verständlich, wurden dendritisches Wachstum (Prof. Glicksman, Renselaer Polyt., Troy, USA) und Wachstum der Polymere (Prof. Basset, Reading, GB) vorgetragen. Prof. Ahrend gab eine sehr gute Übersicht über "Crystal Growth and Crystal Chemistry" mit vielen Beispielen zum großen Teil aus seiner eigenen langjährigen Praxis. In seiner engagierten Art und gekrönt mit anschaulichen, sehr beeindruckenden Filmen trug Prof. Sunagawa (Sendai, Japan) über "Crystal Growth and Geosciences" vor. Prof. Kaldis (Zürich) brachte Beispiele aus dem Bereich der Seltenerdchalkogenide. Prof. Rosenberger (Huntsville, USA) und Prof. Stringfellow (Salt Lake City, USA) gingen in ihren Beiträgen sehr anschaulich auf die Probleme der Züchtung aus der Dampfphase ein. Es gab Übersichtsvorträge unter anderem über Mechanismen des Kristallwachstums (Prof. Aquilano, Turin), über Si (Prof. Gilling, Nijmegen), über III-V- (Dr. Zanotti, MASPEC, Parma) und II-VI-Halbleiter (Prof. Paorici, Parma) und über "Molekular beam epitaxy" (Prof. Ilegems, Lausanne). Prof. Feigelson (Stanford, USA) machte die Bedeutung des Wachstums von "shaped crystals" in seinem mit vielen Bildern versehenen Vortrag klar. In meinem

# GALAXIE®

## Hi-tech single crystal growth machines

A range of modular single crystal growth equipments for production of high quality crystals in the most advanced fields of technology.

### MODULAR EQUIPMENT

A complete catalogue of standardized sub-assemblies which allow systems best adapted for the severest criteria of the crystal growth process (CZOCHEWALSKI method) to be composed.

These sub-assemblies permit:

- Construction of the basic unit common to all the different machines which can be built.
- A choice of the type of heating and atmosphere control module to suit the particular growth conditions of each kind of crystal.

All exist in different dimensions, enabling crystal diameters from 1 to 4" to be obtained, according to the type of crystals produced.

### ADAPTABLE FURNACES

Two ranges are available:

- **High pressure furnaces**, heated by graphite resistance.

Operating pressure: 5, 50 and 100 bar.

- GALAXIE MARK II: Crucibles from 1 to 4" in diameter.

- GALAXIE MARK III: Crucibles from 4 to 6" in diameter.

- GALAXIE MARK IV: Furnaces with 3 heating zones crucibles from 6 to 7.25" in diameter.

OPTION: Addition of a vertical magnetic field on the melt by supraconductive magnet.

- **Low pressure furnaces**, induction heated.

Operating pressure: Vacuum or atmospheric pressure.

- GALAXIE MARK I, GGG: 2000°C for garnet or refractory oxide growth.

Crucibles up to 8" in diameter.

- GALAXIE MARK I LNB: 1300°C for growth of lithium niobate with pre-heating of the crystal.

Crucibles up to 4" in diameter.

- **Automatic operation**

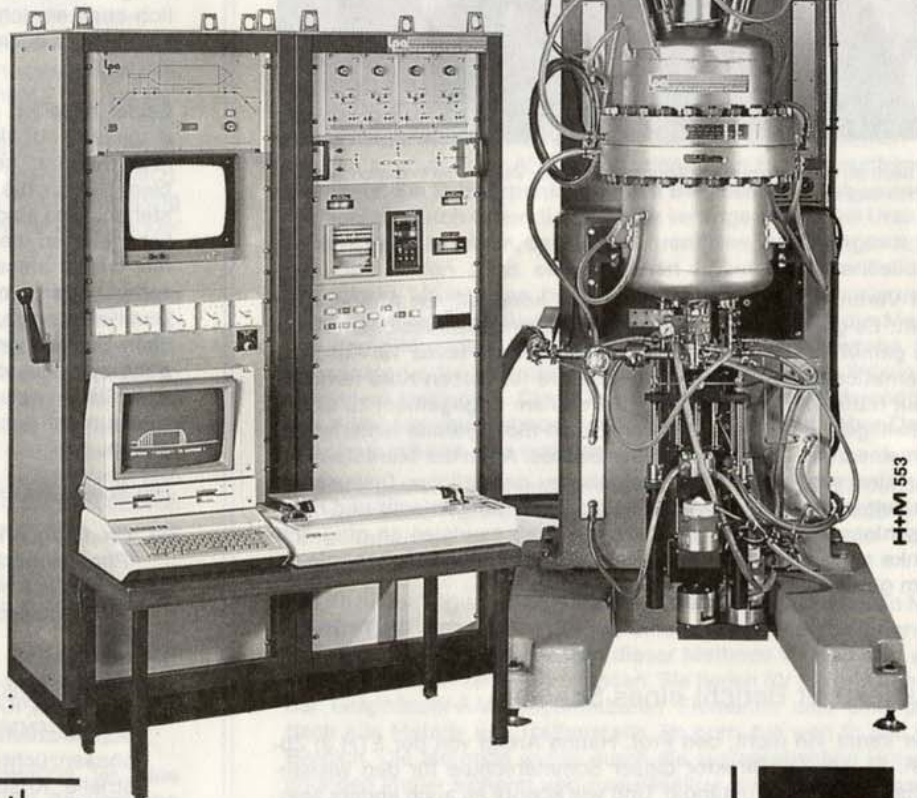
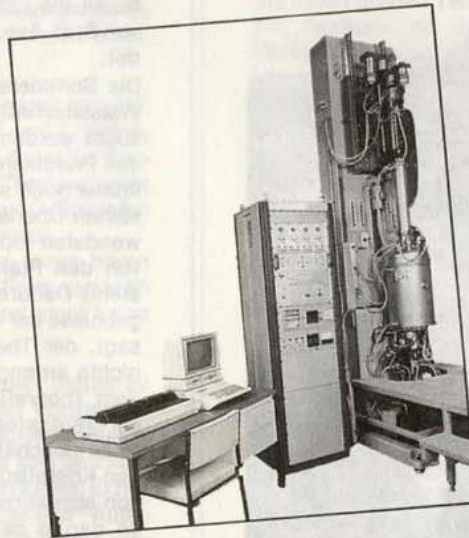
- Automatic computerized control of crystal growth by the weight measurement method.

- Closed circuit television monitoring.

Our Exclusive Agent in Germany :

**linn**  
elektronik

Heinrich-Hertz-Platz 1. Eschenfelden. D-8459 Hirschbach 1  
Telefon (096 65) 17 21-23. Telex 63902. Telefax (096 65) 17 20



H+M 553



Beitrag über Flüssigphasen-Epitaxie der Granate konnte ich einige experimentelle Beispiele für die vorher gehaltenen Vorträge über Fluxzüchtung (Dr. Elwell, Hughes Research Labs, Malibu, USA) und Lösungzüchtung (Prof. Wilcox, Potsdam, USA) geben und die Bedeutung der Kenntnisse über Kristallwachstum für die Anwendung erläutern. Prof. Bedarida (Genua) zeigte die Möglichkeiten, Konzentrationsgradienten an der wachsenden Grenzfläche Kristall/Lösung sichtbar zu machen.



Die Seele der Sommerschule von Erice, Prof. Ludovico während der Exkursion zum Tempel von Segesta

Die Veranstaltung fand in einer sehr kooperativen Atmosphäre statt. Es gab reichlich Zeit für Fragen und Diskussionen. Auch die gemütliche Seite kam nicht zu kurz. Prof. Rivas 13. Ausgabe internationaler Volkslieder, die er extra für diesen Kurs fertiggestellt hatte, halfen zusammen mit seinem Engagement zu einem gutwilligen, gutgemeinten, wenn auch nicht gerade fehlerfreien, gemeinsamen Gesang zu später Stunde. Auch der Marsala-Wein war eine sehr angenehme Beigabe zu gemütlicher Diskussion. Ich selbst habe viel gelernt, alte Kontakte aufgefrischt und neue geschlossen, und ich bin überzeugt, daß es vielen so ging. Ich danke an dieser Stelle nochmals allen Verantwortlichen, die zu dem guten Gelingen beigetragen haben.

W. Tolksdorf

### Subjektiver Bericht eines Schülers

Wer kennt ihn nicht, den Prof. Hanns Arend von der ETH in Zürich. Er war als Direktor dieser Sommerschule für den wissenschaftlichen Teil zuständig. Und wie könnte es auch anders sein, die Vortragsthemen und die Referenten waren entsprechend sorgfältig ausgesucht. Daß bei aller Sorgfalt der eine oder andere Vortrag vielleicht nicht so ausgefallen ist wie gewünscht, hat der Schule keinen Abbruch getan. Daß es eine internationale Schule war, konnte an der großen Zahl der Nationen abgelesen werden, die in Erice vertreten waren. Laut Teilnehmerliste waren

es 30 Länder mit insgesamt 118 Teilnehmern. Besonders erfreulich war, daß über 1/4 der Teilnehmer aus Ländern kam, die meist nur sehr wenig vertreten sind. (Asien, Südafrika, Südamerika, Ostblock)

Die Organisatoren und der Ort, in dem die Sommerschule stattfand, haben das ihre dazu beigetragen, daß es eine wirklich gelungene Veranstaltung war. Erice ist ein kleines Dorf, das an der nord-westlichen Küste von Sizilien - erhaben aber auch einsam - auf einem Berg 751 m ü.NN 12 km von Trapani entfernt liegt. An Sonntagen kommen wohl einige Einheimische der Umgebung hierher und ab und zu tauchen auch ein paar Touristen auf. Die Piazza war aber jeden Abend, wie das in Italien so üblich ist, Tummelplatz für Alt und Jung. Wenn dann noch eine entsprechend attraktive und hübsche Italienerin auftauchte, gab es unter den Schülern schon mal Unruhe.

Wir haben uns erkundigt, von was diese Ortschaft denn lebt. Es hat ganz den Anschein, daß das Schulzentrum "Ettore Majorana" heute die Lebensgrundlage des Ortes darstellt. Es wurde 1963 von Prof. Antonio Zichichi, der in Trapani geboren wurde, gegründet.

Die Sommerschule stand unter dem Motto Kristallzüchtung in Wissenschaft und Technik. Die Vermutung liegt nahe, daß versucht werden sollte, die Gräben zwischen den Theoretikern und den Praktikern etwas zu schließen. In vielen Fällen ist es ja leider immer noch so, daß die Randbedingungen, die ein Theoretiker in seinen Überlegungen/Berechnungen einführen muß, um die verwendeten Modell nicht zu kompliziert zu machen (Idealsystem), von den Praktikern nicht eingehalten werden können (Realsystem). Dadurch gibt es größte Schwierigkeiten, wenn man die Ergebnisse der einen Seite auf die andere übertragen will. Kurz gesagt, der Theoretiker rechnet etwas aus, womit der Praktiker nichts anfangen kann und die Ergebnisse des Praktikers helfen dem Theoretiker nicht weiter. Beide Seiten sind deshalb dringend aufgefordert, sich mehr mit den Problemen der anderen Seite zu beschäftigen. Nur unter diesen Voraussetzungen wird es den Kristallzüchtern gelingen, die Phase des Trail und Error deutlich abzukürzen und wertvolle Zeit einzusparen, besonders wenn es darum geht, neue Methoden oder Verbindungen aus dem Hochschulbereich in eine industrielle Fertigung zu überführen. Einige der Vortragenden haben genau das versucht und sicherlich auch erreicht, Verständnis für die Probleme der anderen zu haben aber auch Verständnis der anderen für die eigene Sache zu wecken.

Leider habe ich aber irgendwie das Gefühl, daß die Theoretiker insgesamt auf einem höheren Roß zu sitzen scheinen und auf die "Handwerker" herunter blicken. Es scheint für sie auch kein Problem zu sein, die Probleme der Praktiker und deren Lösung zu verstehen. (Das sind möglicherweise auch nur triviale Dinge.) Umgekehrt blicken die Handwerker zu den Theoretikern auf, da sie immer wieder einsehen müssen, daß sie den Gedankengängen nur schwer oder auch gar nicht mehr folgen können.

Das Klima einer Sommerschule mag noch so gut sein, unter solchen Umständen wird sich nur sehr schwer eine gute Verständigung zwischen den beiden "Gegensätzen" entwickeln können. Glücklicher Weise gibt es einige Kollegen, die sich in beiden Gebieten recht gut auskennen und die als eine Art Übersetzer fungieren.

Die Schule war in folgende Bereiche eingeteilt:

- Grundlagen theoretischer Natur:  
(Phasengleichgewichte, homogene Keimbildung, grundlegende Mechanismen in der Kristallzüchtung, Kristallzüchtung und Festkörperphysik)
- Grundlagen verschiedener Züchtungsmethoden und Überichten über bestimmte Substanzgruppen:  
(Polymere, Kristallwachstum in der Erde, organische Kristalle, Schmelzzüchtung, dendritisches Wachstum, MOCPE, Gasphasenzüchtung, Lösungzüchtung, Fluxzüchtung, industrielle Kristallisation, Züchtung von Formteilen, Epitaxie allgemein, MBE, Elementhalbleiter, III-V Verbindungen, II-VI Verbindungen, Supraleiter, LPE von Granaten)

Eines der wohl wichtigsten Gebiete überhaupt stand als erste Stunde auf dem Programm:

"A theoretical crystal grower's view of phase equilibria".

Dieser zweiteilige Vortrag von R. Ghez, IBM Yorktown Heights, machte deutlich, was von einem "quasi stationären Gleichgewicht" von dem wir Kristallzüchter recht gerne sprechen, eigentlich zu halten ist. Er zeigte auf, welche Überlegungen notwendig sind, um aus Phasendiagrammen verwertbare Informationen zu gewinnen.

Ein aus meiner Sicht ebenfalls sehr wichtiges Gebiet war "Crystal growth and crystal chemistry". Herr H. Arend gab einen Überblick über die verschiedenen Züchtungsmethoden für bestimmte Substanzgruppen. Er verwies auch auf zum Teil schon halb vergessene Züchtungsmethoden und auf Möglichkeiten, durch systematische Vorversuche den geeigneten Arbeitsbereich für eine bestimmte Substanz zu finden.

Die Themenkreise "Homogeneous nucleation" und "Fundamentals of melt growth" sind ebenfalls von großer Bedeutung. Leider wurde eine große Zahl der Zuhörer von den dicht mit Gleichungen beschriebenen Folien eher gelähmt als von den Sätzen gerissen. Weniger wäre mehr gewesen, nicht nur auf den einzelnen Folien, sondern insgesamt.

Ganz besondere Beachtung fanden "Dendritic crystal growth" von M. Glicksman, "Elementary semiconductors" von L. Gilling, "Binary semiconductors: III-V compounds" von L. Zanotti, "Fundamentals of vapor growth" von F. Rosenberger, "Technologies based on organometallic vapor phase epitaxy" von G. Stringfellow und "Growth of shaped crystals" von R. Feigelson.

Bei diesen Vorträgen hätte man eine Stecknadel fallen hören können. Außerdem gab es noch eine Belohnung in Form von kräftigem Beifall. (Die Reihenfolge ist eine zeitliche und stellt keine weitere Wertung dar).

Ein Gebiet, das viel zu oft vernachlässigt wird, ist die "Industrial crystallization", das R. Davey in seinem dreiteiligen Vortrag behandelte. Jeder von uns möchte zwar von der Industrie Produkte, die gleichbleibende Eigenschaften aufweisen, aber daß das zeitweise äußerst schwer zu realisieren ist bedenkt man kaum. Er hat mit diesem Beitrag hoffentlich erreichen können, daß das "Ansehen" der vielen kleinen aber gleichmäßigen Kristalle etwas größer geworden ist.

Einige Vorträge möchte ich unter den Begriff Exoten stellen: "Crystal growth and properties of polymers" von D. Bassett, "Crystal growth and geosciences" von I. Sunagawa, "Crystal growth in biosciences" von C. Bugg und "Twinning in crystals" von B. Brezina. Diesen Randbereich innerhalb der Kristallzüchtung ist oft nur mit sehr ausgefallenen Methoden und Kniffen beizukommen und der Fantasie sind hier keine Grenzen gesetzt. Hier wurde als Hilfsmittel auch mehrmals die Kristallzüchtung unter Mikrogravitation genannt. Ein recht schwer zu verdauender Brocken waren die Zwillinge.

Herr Arend hat bei der Eröffnung der Schule darauf aufmerksam gemacht, daß viele Zuhörer Englisch nicht als Muttersprache haben und daß die Vortragenden darauf doch bitte Rücksicht nehmen sollen. Er hat seine Bitte zwischendurch mehrfach wiederholt, woraus man ersehen kann, daß der Aufruf nicht immer die notwendige Beachtung gefunden hat. Die meisten Vortragenden haben sich recht gut an ihre Zeiten gehalten. Wenn die Zeiten nicht mehr so ganz stimmten, hat Chairman G. Müller durch entsprechende Ermahnungen wieder Ordnung geschaffen. Dadurch war bis auf wenige Ausnahmen immer ausreichend Zeit für die Diskussion vorhanden.

Für mich war die Schule auf jeden Fall ein Gewinn und ich würde gerne mal wieder an einer ähnlichen Veranstaltung teilnehmen.

Herbert Walcher

## Post Symposium CSI XXV Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry.

Die Graphitrohrfurnace-Atom-Absorptions-Spektrometrie ist eine der nachweisstärksten Methoden zur qualitativen Bestimmung von Metall- und Halbmetallspuren in den verschiedensten Materialien. Diese Methode wird zunehmend zur Analytik von Verunreinigungen in Kristallen benutzt, deshalb soll hier über eine Tagung berichtet werden, auf der die neuesten Ergebnisse und Entwicklungen auf dem Gebiet der Graphitrohrfurnace-AAS vorgestellt werden.

Alle zwei Jahre treffen sich die Spektroskopiker aus aller Welt auf der Tagung "Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI)". Dieses Jahr fand das Treffen in Toronto (Kanada) vom 22.—28. Juni statt. Im Anschluss daran werden über verschiedene Spezialgebiete der analytischen Spektroskopie Symposien abgehalten. Das Post-CSI Symposium über Graphitrohrfurnace-AAS fand in Huntsville (Ontario, Kanada) statt, ausgezeichnet organisiert von R. Sturgeon (National Research Council of Canada) und J. Holcombe (University of Texas in Austin).

Auf dem Gebiet der Graphitrohrfurnace-AAS kristallisierten sich drei Schwerpunkte heraus: die Veränderung der Konstruktion des Graphitrohrfurnaces, um geringere Nachweisgrenzen zu erreichen und um mehrere Elemente gleichzeitig bestimmen zu können; Untersuchungen über die chemischen und physikalischen Vorgänge im Ofen selbst; sowie Arbeiten über praktische Anwendung dieser Methode bei der Analyse von verschiedenen Materialien. Die derzeit benutzten Graphitrohrfurnace haben den Nachteil, daß sie einen großen Temperaturgradienten zu den gekühlten Enden hin besitzen, so daß hier Rekondensationen des atomaren Dampfes der zu untersuchenden Elemente stattfinden, die zu einer Verringerung der Lichtabsorption und damit zu einer geringeren Nachweisempfindlichkeit führen. Es wurden neue Konstruktionen vorgestellt, die seitlich beheizt sind, wodurch ein relativ geringer Temperaturgradient entsteht. Die Probe wird in einen kleinen Behälter unterhalb des Ofens gegeben. Dieser Behälter wird relativ zum Ofen verzögert zur Atomisierung aufgeheizt, so daß die Substanz in eine thermisch stabile Atmosphäre hineinverdampft (Ofen im thermischen Gleichgewicht). Durch diese Konstruktion soll die Nachweisgrenze einiger Metalle herabgesetzt werden und die oft störenden Einflüsse der Matrix (chemische Interferenzen) werden verringert.

Die Analyse mehrerer Elemente gleichzeitig ist mit der sogenannten FANES-Methode möglich. Hier werden die zu bestimmenden Elemente durch eine Plasma-Anregung in die Ofenatmosphäre hineinverdampft und zur Lichtemission angeregt. Das emittierte Licht läßt sich mit Hilfe eines Echelle-Monochromators hoher Auflösung den einzelnen Elementen zuordnen, die Intensität jeder Emissionswellenlänge wird von jeweils einem Photomultiplier gemessen. Ob sich diese Methode in der Praxis durchsetzen wird, muß die Zukunft zeigen.

Die Prozesse, die im Graphitrohrfurnace ablaufen, sind immer noch Ziel zahlreicher Arbeiten. Aus ihrer Kenntnis heraus lassen sich vor allem Matrixeffekte besser abschätzen, was die Analysen zuverlässiger macht und die Methode auf gesicherte Grundlagen stellt. Unter Matrixeffekten versteht man den Einfluß von Elementen, die in der zu untersuchenden Substanz zusätzlich vorhanden sind, auf das Absorptionssignal des zu untersuchenden Elements. Ein Schwerpunkt lag beim Blei, dessen Nachweisempfindlichkeit durch Chloridionen stark verringert wird. Die Ursache scheint darin zu liegen, daß sich während des Trocknungsvorganges der in den Ofen eingegebenen Lösung schwerlösliches Bleichlorid bindet, das beim Hochheizen zum Atomisierungsschritt in flüchtiges Bleimonochlorid zerfällt und so die Menge der dampfförmigen Bleiatome verringert. Durch Zugabe von Phosphaten oder Palladiumsalzen lassen sich diese Störungen zumindest verringern. Diese Zusätze nennt man Matrixmodifizier. Ihre Wirkungsweise ist noch weitgehend unklar und daher Ziel einer ganzen Reihe von systematischen Arbeiten.

Über die praktische Anwendung der Graphitrohranalytik berichteten zahlreiche Autoren. Der Schwerpunkt lag naturgemäß in der Umweltanalytik, die metallischen Verunreinigungen in GaAs-Schichten war das Thema immerhin eines Vortrages.

Als Fazit der Tagung läßt sich sagen, daß keine prinzipiellen Neuerungen auf dem Gebiet der extremen Spurenanalytik zu erwarten sind, die Nachweisgrenzen dieser Methode werden sich also nicht wesentlich verbessern lassen. Sie liegen für die meisten mit der Graphitrohrfurnace-AAS bestimmenden Elemente, dies sind praktisch alle Metalle und Halbmetalle, im ppm- bis weit in den ppb Bereich. Die Methode wurde durch die systematischen Untersuchungen immer sicherer und zuverlässiger, so daß schon absolute Messungen, also ohne die Verwendung von Standards, mit einem Fehler von etwa 20-30 % im Spurenbereich möglich sind. Die Graphitrohrfurnace-AAS hat meiner Ansicht derzeit einen Stand erreicht, daß sich die Kristallzüchter in wesentlich größerem Umfang als bisher dieser empfindlichen Charakterisierungsmethode bedienen sollten.

W. Wendl

**Neue Bücher**

**FLUID SCIENCES AND MATERIALS SCIENCE IN SPACE-  
A European Perspective**  
H. U. Walter (Editor)

1987. Approx. 500 figures, 2000 ref. Approx. 800 pages  
Hard cover approx. DM 280,—. ISBN 3-540-17862-7

**ADVANCED CRYSTAL GROWTH**

Lectures presented at the Sixth International Summer School on  
Crystal Growth (ISSCG) held in Edinburgh, Scotland, 6-11 July 86

Edited by: Peter M. Dryburgh, Brian Cockayne, K. G. Barraclough  
Verlag Preutice Hall, London (1987)

The purpose of the summer school on which this book is based  
was to provide attendees with a working knowledge of advanced  
techniques in the technologically important subject of crystal  
growth and particularly in the controlled growth of large single  
crystals.

ADVANCED CRYSTAL GROWTH provides a general survey intro-  
ducing crystal growth processes, giving some historical perspec-  
tive but emphasising and reviewing the widespread relevance of  
the subject to modern industry and society. Current knowledge  
and device fabrication are then dealt with in detail.

**Schmunzelecke**

**AUS DEM LEBEN GEGRIFFEN:**

*Mancher fällt aus dem Rahmen, obwohl er gar nicht im Bilde war.*

*Sein zweiter Wohnort ist der Fettnapf.*

*Oft träume ich davon, die zweite Silbe von Frankreich zu sein.*

*Es ist unsinnig, einen langsamen Mitarbeiter zusätzlich noch zur  
Schnecke zu machen.*

*Menschen, die nicht groß sind, machen sich gern breit.*

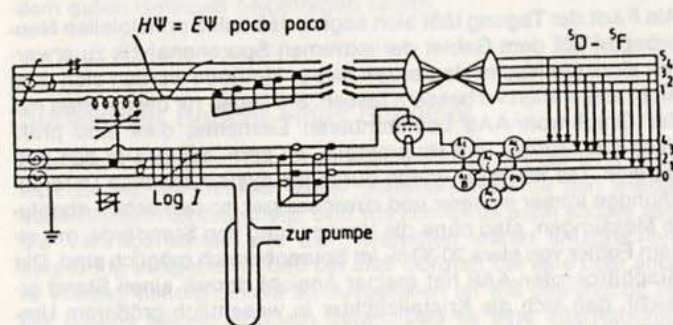
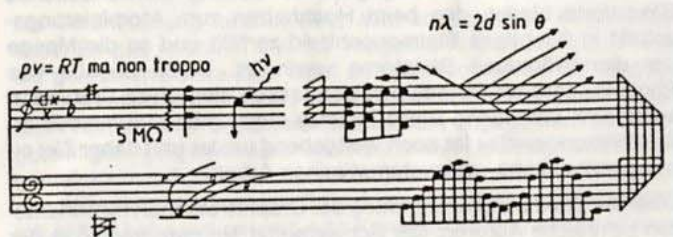
*Das Einzige, was noch schlimmer ist als Experten, sind Leute, die  
sich dafür halten.*

*Willst du dein Gesicht wahren, so mach' es unten zu.*

*Aus den Klausuren am 1. April 87 im Fach  
Werkstoffe der Elektrotechnik*

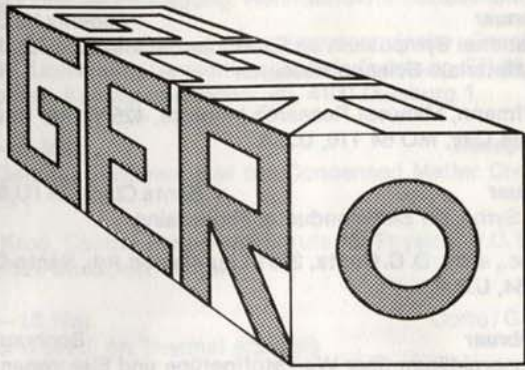
*Schreibweisen für den Namen Czochralski*

- Calnizaro
- Chochalzki
- Chochralski
- Chokralski
- Choralski
- Choralsky
- Chowralski
- Chrochalski (3x)
- Chrochalzki (2x)
- Chrochalzky
- Chroszalski
- Chrowalski
- Cjochralski
- Cochralski
- Cocharalski
- Crochalschi (5x)
- Crochalski (2x)
- Crochalzki
- Crochralski
- Crozalchski
- Crochalschi
- Crozochalski
- Crochralski
- Crzochalski
- Crzolchski
- Cschochalski
- Czeralski
- Czochalski (4x)
- Czochalsky (6x)
- Czochazki oder so
- Czocholski
- Czochrabski
- Czochralki
- Czochralski (35x richtig)
- Czochralsky (2x)
- Czochralzki
- Czoralski
- Czorchalski
- Czowalowski
- Czroalsky
- Czrochalski (4x)
- Czrochalsky
- Rochalsky



**Hymne der Kristallzüchter**



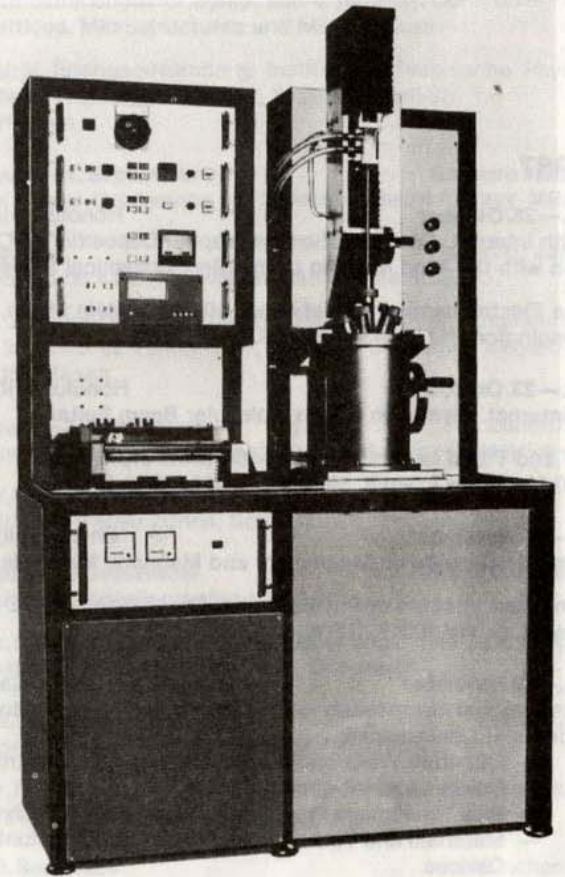


**GERO Hochtemperaturöfen GmbH**

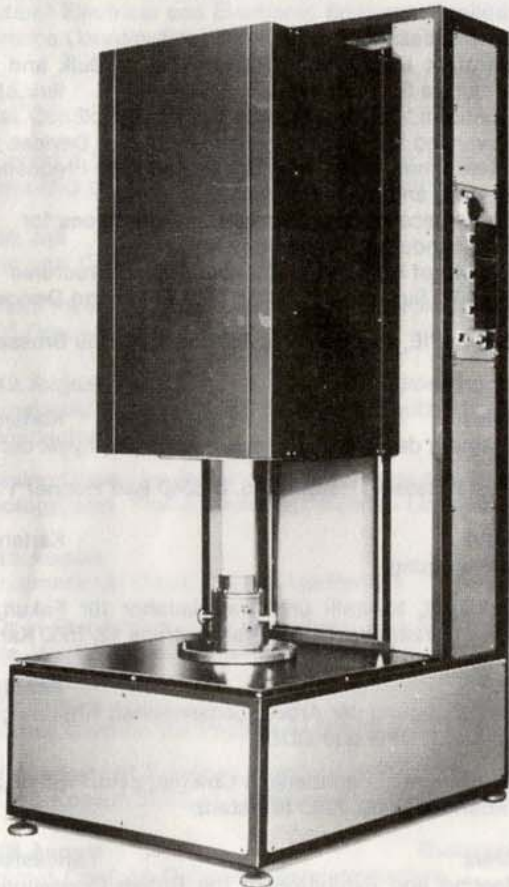
- Hochtemperaturöfen
- Anlagen zur thermischen Materialbehandlung und Kristallzuchtung
- Kristallzüchtungszubehör

**GERO-Hochtemperaturöfen GmbH**

Monbachstraße 7  
 D-7531 Neuhausen  
 Tel. 07234/6136  
 Telex 783309 gero d



Labor-Czochralski Kristallziehanlage



Bridgman Kristallziehanlage

**Lieferprogramm:**

- Standard-Rohröfen bis 1100 °C
- Standard-Rohröfen bis 1300 °C
- Mehrzonen-Rohröfen bis 1100 °C bzw. 1300 °C
- Rohröfen ein- und mehrzonig bis 1700 °C
- Zehnzonen-Rohröfen bis 1300 °C für spezielle Temperaturprofile
- (z.B. für Epitaxie und Kristallzuchtung)
- SiC-Rohr- und Kammeröfen bis 1500 °C
- Kammer- und Tiegelöfen (auch mit pneumatischem Aushub) bis 1700 °C
- Pyrometer Kalibrieröfen bis 2300 °C
- Schutzgas- und Vakuumöfen bis 3000 °C
- Lichtbogenöfen und Schmelzanlagen
- Bewegungseinrichtungen für Öfen und Proben
- Zonenschmelzanlagen
- Kristallziehanlagen (Bridgman und Czochralski)
- Wärmerohre (heat pipes)
- Sonderöfen- und Anlagenbau
- Sämtliche Temperatur- und Motorregleinheiten
- X-Y-Schreiber (Ein- und Mehrkanal, auch mit Nullpunktunterdrückung)
- Diamantdrahtsägen zur Kristallpräparation

## Tagungskalender

### 1987

**18.—23. Oktober** Honolulu (HI)/U.S.A.  
10th Internat. Conf. on Chemical Vapour Deposition in Conjunction with the 72nd Meeting of the Electrochemical Society

The Electrochemical Society, Inc., 10 South Main Street, Pennington, NJ 08543-2896, U.S.A.

**18.—23. Oktober** Honolulu (HI)/U.S.A.  
2. Internat. Symp. on Silicon Molecular Beam Epitaxy

AT and T Bell Laboratories, 1D-464, attn.: J.C. Bean, 600 Mountain Avenue, Murray Hill, NJ 07974, U.S.A.

**9.—11. November** Chicago (Ill)/U.S.A.  
32nd Conference on Magnetism and Magnetic Materials

American Institute of Physics, attn.: Dr. J.T. Scott, 335 E 45th St. New York, NY 10017, U.S.A.

**16.—20. November** Cannes / F  
International Symposium on the Technologies for Optoelectronics Eight Conferences:

- Quantum Wells and Superlattices in Optoelectronic Devices and Integrated Optics
- Real Time Image Processing, Concepts and Technologies
- Materials and Technologies for Optical Communications Devices
- Focal Plane Arrays: Technologies and Applications
- Ultraviolet Technology
- Optical Devices in Adverse Environments
- Advanced Optoelectronic Technology
- Optical Interconnections

Judith Prado, Cannes Conference Coordinator  
ANRT - Association Nationale de la Recherche Technique  
16, av. Bugeaud, 75116 Paris, France

**30. November — 11. Dezember** La Habana / Cuba  
Internat. School on Crystal Growth and Characterisation of Materials for Electronics

Universidad de La Habana, Facultad de Fisica, attn.: Dr. O. Virgil, La Habana, Vedado, Cuba

**7.—10. Dezember** Neu Delhi/Indien  
7th International Conference on Thin Films

Indian Institute of Technology, K.L. Chopra, Khas, New Delhi 110029, India

**14.—18. Dezember** Bilbao/Spanien

Four International Conferences

- I. New Structural Materials
- II. Energy
- III. Telecommunications
- IV. Advanced Technology in Design and Manufacturing

Secretaria del II Congreso Mundial Vasco, Paeso de la Senda, 15-bajo, 01007 Vitoria-Gasteiz, Basque Country, Spain

**16.—18. Dezember** Bristol/U.K.  
Symposium on Diffraction Studies of Nearly Perfect Crystals

Mrs. M.A.G. Halliwell, BTRL, R3.1.3, Martlesham Heath, Ipswich IP5 7RE, England

**29.—30. Dezember** Oxford/U.K.  
Organic Materials for Non-Linear Optics (ASSCG)

R.T. Blunt, Allen Clark Research Center, Plessey Research Ltd., Caswell, Towcester, Northants NN12 8EQ, England

### 1988

**25.—29. Januar** Phoenix / U.S.A.  
2nd International Symposium on Experimental Methods for Microgravity Materials Science Research

Dr. R. Schiffmann, Midwest Research Institute, 425 Volker Boulevard, Kansas City, MO 64 110, U.S.A.

**1.—5. Februar** Santa Clara CA / U.S.A.  
5. Internat. Symp. on Semiconductor Processing

Siliconix Inc., attn.: D.C. Gupta, 2201 Laurelwood Rd., Santa Clara, CA 95054, U.S.A.

**15.—19. Februar** Bochum / D  
Fortbildungspraktikum über Werkstoffgefüge und Elektronenmikroskopie

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V., Adenauerallee 21, 6370 Oberursel 1

**29. Februar — 4. März** Interlaken / Schweiz  
International Conference on High Temperature Superconductors and Materials and Mechanisms of Superconductivity

ETH-Hoenggerberg, Physics Department, CH-8093 Zürich, Schweiz

**März** Budapest / Ungarn  
8. General Conf. of the Condensed Matter Division of the EPS  
European Physical Society, P.O. Box 69, CH-1213 Petit-Lancy 2

**10.—11. März** Grenoble / F  
Jahrestagung der G.F.C.C.

J.C. Bruyere, LEPES/CNRS - BP 166X, 38042 Grenoble Cedex

**13.—18. März** Newport Beach (CA) / U.S.A.  
Advances in Semiconductors and Superconductors: Physics and Device Applications  
Seven Conferences:

- Ultrafast Laser Probe Phenomena in Bulk and Microstructure Semiconductors II
- Quantum Well and Superlattice Physics II
- Advanced Processing of Semiconductor Devices II
- Interconnection of High-Speed and High-Frequency Devices and Systems
- Spectroscopic Characterisation Techniques for Semiconductor Technology III
- Growth of Compound Semiconductor Structures
- High-Tc Superconductivity: Thin Films and Devices

Anne Röhrig, SPIE, Avenue de la Tanche 2, B-1160 Brussels, Belgium

**14.—18. März** Karlsruhe / D  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der DPG  
DPG - Geschäftsstelle, Hauptstr. 5, D-5340 Bad Honnef 1

**22.—25. März** Karlsruhe / D  
DGKK Jahrestagung

Dr. G. Müller-Vogt, Kristall- und Materiallabor für Fakultät der Physik der Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 7500 Karlsruhe

**28.—31. März** Konstanz / D  
27. Diskusstagung der Arbeitsgemeinschaft Kristallographie (AGKr), der DMG, DPG und GDCh

Universität Konstanz, Fachbereich Chemie, z.Hd. Prof. Dr. J. Felsche, Postfach 5560, 7750 Konstanz

**28.—30. März** Lancaster / U.K.  
Spring Meeting and Exhibition of the British Crystallographic Assoc.

University of Warwick, Dept. of Engineering, attn.: Dr. D.K. Bowen, Warwick, Coventry CV4 7AL, U.K.

**27.—29. April** Bad Soden a.T./ D  
ITG - Diskussionstagung: Heterostruktur-Bauelemente

Dr. L.M.F. Kaufmann, Informationstechnische Gesellschaft im VDE, Universität Gesamthochschule Duisburg, FB IX, Halbleitertechnik, Kommandantenstr. 60, 4100 Duisburg 1

**6.—9. Mai** Budapest / Ungarn  
8. General Conference of the Condensed Matter Division of the EPS

N. Kroo, Central Research Institute for Physics, P.O. Box 49, H-1525 Budapest, Ungarn

**9.—10. Mai** Corfu / Griechenland  
World Conf. on Thermal Analysis

Alena Enterprises of Canada, attn.: Dr. V.N. Bhatnagar, P.O. Box 1779, Cornwall, Ontario K6H 5V7, Canada

**30. Mai—7. Juni** Erice / Italien  
Crystallography of Molecular Biology

Prof. L. Riva de Sanseverino, International School of Crystallography, Piazza Porta San Donata 1, I-40127 Bologna

**1.—3. Juni** Malmö / Schweden  
5. Conf. on Semi-Insulating III-V Materials

University of Lund, Dept. of Solid State Physics, attn.: P. Omling, P.O. Box 118, S-22100 Lund, Schweden

**4.—8. Juli** Oxford / U.K.  
9. Internat. Conference on Solid Compounds of Transition Metals

The Royal Society of Chemistry, Burlington House, London W1V 0BN, U.K.

**11.—15. Juli** Vancouver / Canada  
Joint INTERMAG/Magnetism and Magnetic Materials Conference

Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc. (IEEE), Conference Coordination, 345 E 47th St., New York, NY 10017

**12.—15. Juli** Grenoble / F  
Internat. Conf. on Neutron Scattering

CEA Centre d'Etudes Nucleaires de Grenoble, DRF, attn.: J. Rossat-Mignot, 85X, F-38041 Grenoble, France

**25.—30. Juli** Paris / F  
International Conference on Magnetism

Université Paris Sud, Physique des Solides, ICM 88, F-91405 Orsay, France

**10.—12. August** Linköping / Schweden  
3. International Conference on Shallow Impurities in Semiconductors

Linköping University, Department of Physics and Measurement Technology, attn.: Prof. B. Monemar, S-58183 Linköping

**15.—19. August** Freiburg / D  
12th International Liquid Crystal Conference

Prof. Dr. H. Stegemeyer, Univ. Paderborn, Inst. für Physikal. Chemie, Warburgerstr. 100, D-4790 Paderborn

**15.—19. August** Warschau / Polen  
19. Internat. Conf. on the Physics of Semiconductors

Polish Academy of Sciences, Institute of Physics, attn.: Dr. J. Kossut, 32/46, ul. Lotnikow, PL-02-66 Warszawa, Poland

**22.—26. August** Budapest / Ungarn  
15. Internat. Conf. on Defects in Semiconductors

MFKI, attn.: G. Ferenczi, P.O. Box 76, H-1325 Budapest, Ujpest 1, Ungarn

**22.—26. August** Miramare (Trieste) / Italien  
5. Trieste Semiconductor Symp. and 4. Internat. Conf. on Superlattices, Microstructures and Microdevices

Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Technische Physik, z.Hd. Herrn Prof. Dr. G.H. Döhler, Erwin-Rommel-Str. 1, 8520 Erlangen

**28. August—1. September** Sapporo / Japan  
5. International Conference on Molecular Beam Epitaxy MBE-V

**2. September** Sapporo / Japan  
1. Workshop on CBE, MOMBE or Gas Source MBE

Prof. M. Konagai, Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152, Japan

**29. August—1. September** Zürich / CH  
1. European Conference on Applications of Polar Dielectrics

Prof. Dr. H. Arend, Laboratory of Solid State Physics, ETH-Zürich, CH-8093 Zürich, Schweiz

**29. August—2. September** Wien / Österreich  
11. European Crystallographic Meeting

Prof. Dr. A. Preisinger, Institut für Mineralogie und Kristallographie, Getreidemarkt 9, A-1060 Wien, Österreich

**12.—15. September** Freiburg / D  
4. European Symposium on Inorganic Chemistry

Prof. Dr. H. Vahrenkamp, ESIC IV, Chemisches Laboratorium, Albertstr. 21, 7800 Freiburg

**12.—16. September** München / D  
International Conference on Teaching Solid State Physics

Universität München, Sektion Physik, z.Hd. Herrn Prof. K. Luchner, Schellingstr. 4, D-8000 München 40

**26.—29. September** St. Helier, Jersey / U.K.  
European Gallium Arsenide Conference

Institute of Physics, Meeting Officer, 47 Belgrave Square, London SW1X 8QX, U.K.

**28.—30. September** Erlangen / D  
Vortragstagung der GDCh-Fachgruppe Festkörperchemie: Ungewöhnliche Valenzzustände in Festkörpern

GDCh Geschäftsstelle, Abt. Tagungen, Postfach 900 440, 6000 Frankfurt/Main 90

**3.—4. November** Freiburg / D  
DGKK Fachsymposium mit der französischen Schwestergesellschaft: Photovoltaische Materialien

Dr. A. Räuber, Dr. A. Eyer, Frauenhofer Institut für Solare Energiesysteme, Oltmannstr. 21, D-7800 Freiburg

## 1989

**27.—31. März** Washington (DC) / U.S.A.  
International Magnetism Conference (INTERMAG)

Hewlett Packard, attn.: R.W. Patterson, 1501 Page Mill Rd., Palo Alto, CA 94303, U.S.A.

**4.—6. April** Parma / I  
DGKK-Fachsymposium mit der italienischen Schwestergesellschaft: Magnetische Werkstoffe und Halbleiter

Dr. R. Diehl, Frauenhofer Institut für angewandte Festkörperphysik, Eckerstr. 4, D-7800 Freiburg

**6.—7. April** Parma/I  
NATO-Workshop: "Computer Modelling of Crystal Growth from the Melt"

Priv. Doz. Dr. G. Müller, Inst. für Werkstoffwissenschaften 6,  
Martensstr. 7, D 8520 Erlangen

**3.—7. April** Huntsville (AL) / U.S.A.  
7. Internat. Conf. on Finite Element Methods in Flow Problems

University of Alabama, Dept. of Mechanical Engineering,  
attn.: Prof. T.J. Chung, Huntsville, AL 35899, U.S.A.

**4.—7. April** Lancaster / U.K.  
Spring Meeting and Exhibition of the British Crystallographic Assoc.

Clarendon Laboratory, attn.: Dr. A.M. Glazer, Parks Rd.,  
Oxford OX1 3PU, U.K.

**20.—25. August** Sendai / Japan  
International Conference on Crystal Growth (ICCG-9)

**26.—31. August** Sendai / Japan  
International Summer School on Crystal Growth (ISSCG-7)

Prof. T. Nishinaga, Dept. Elect. Eng., University of Tokyo,  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

**17.—22. September** Bonn / D  
22. GDCh - Hauptversammlung

GDCh - Geschäftsstelle, Abt. Tagungen, Postfach 900440,  
6000 Frankfurt a.M. 90

## 1990

**Juli** Bordeaux/F  
16th General Assembly and International Congress of  
Crystallography

Prof. M. Hospital, Laboratoire de Cristallographie et de Physique  
Cristalline, Université de Bordeaux 1, 351 Cours de la Liberation,  
F-33405, Talence

**24.—27. September** St. Helier (Jersey)/U.K.  
European Gallium Arsenide Conf.

Institute of Physics, Meeting Office, 47, Belgrave Sq.,  
London, SW1X8QX

## 1991

**8.—14. September** Edinburgh/U.K.  
International Conference on Magnetism

Institute of Physics, Meeting Officer, 47 Belgrave Square,  
London SW1X 8QX, U.K.

## Mitteilungen anderer Gesellschaften

Vor der eigentlichen Besprechung der Mitteilungsblätter ein Nachtrag zu den Offiziellen der anderen Gesellschaften. Bei der amerikanischen Schwestergesellschaft haben auf ihrer Jahrestagung in Monterey Wahlen stattgefunden. Gewählt wurden folgende Personen:

Präsident: W.A. Bonner, Bell Communications Res., 331  
Newmann Springs Road, Room 3G-111, Red  
Bank, NJ 07701  
Vizepräsident: Grant Elliot, Hewlett Packard OED, 370 West  
Trimble Road, M.S. 91-1L, San Jose, CA 90265  
Sekretär: T. Surek, Solar Energy Research Institute,  
1530 Cole Blvd., Golden, Co 80401, U.S.A.  
Schatzmeister: T.F. Kuech, IBM Watson Center, P.O. Box 218,  
Yorktown Heights, NY 10598

## AGKr

Heft 11 der Kristallographie-Nachrichten vom Juli 1987 beginnt mit einer Zusammenfassung von 26. Diskussionstagung der AGKr vom 30.3. — 1.4.1987 in Berlin. Durch das Programm wurden im wesentlichen zwei Schwerpunkte abgedeckt: (i) Kristallographie an bio-chemischen Kristallen und (ii) Spektroskopie an Mineralien. Daran schließt sich das Protokoll der Mitgliederversammlung an. Aus diesem Bericht erscheinen mir zwei Dinge erwähnenswert: Zum einen, der Mitgliederstand der AGKr lag am 31.12.1986 bei 787 Personen. Er hatte sich im Jahr 1986 um 150 vergrößert. (Zum Vergleich: Die Mitgliederzahl der DGKK hatte zum 31.3.1987 die Marke 400 fast erreicht.)

Zum zweiten: Die Diskussion über eine neue Organisationsform der AGKr ist soweit gediehen, daß von den Herren Burzlaff und Fuess ein Satzungsentwurf erarbeitet worden ist. Alle Mitglieder werden um Stellungnahmen gebeten. Der Leiter der AGKr, Herr Fuess, möchte der Mitgliederversammlung in Konstanz 1988 einen abstimmungsreifen Entwurf vorlegen, um diese Frage noch in seiner Amtszeit abschließen zu können.

Es folgt die Bekanntgabe verschiedener internationaler Preisgewinner, Dr. W. Parrish erhielt den Hanawald Preis für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Pulverdiffraktometrie. Die Doktoren David und Liselotte Tempelton erhielten den Patterson Preis für ihre Beiträge zum Verständnis der anomalen Streuung von Röntgenstrahlen. Professor J.M. Cowley und Dr. A.F. Moodie wurden für ihre Arbeiten über Theorie und Technik direkter Bildenerzeugung von Kristallstrukturen und Strukturdefekten mit Hilfe hochauflösender Elektronenmikroskopie mit dem Ewald Preis ausgezeichnet. Den Wolf Preis erhielten Prof. Sir David C. Phillips und Prof. David M. Blow. Sie wurden geehrt für ihre Beiträge zum Verständnis der enzymatischen Katalyse durch das Studium von Enzymen mit Hilfe der Röntgenbeugung. Ein letzter Preis, der "Distinguished Service Award of the Miami Winter Symposium", wurde an Max F. Perutz und John C. Kendrew für die Förderung der internationalen Zusammenarbeit zwischen Biologen vergeben. Perutz und Kendrew hatten 1962 den Nobelpreis in Medizin für die Aufklärung der Strukturen des Hämoglobin (Perutz) und des Myoglobin (Kendrew) erhalten.

Weiter wird berichtet über die Gründung und Zusammensetzung der Gremien für Forschung mit Neutronen, Forschung mit Synchrotronstrahlung und des Fachausschusses für Texturen in der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde.

Es folgen Tagungsberichte, Personalien und Stellenausschreibungen. In einem Brief der Herren Arnold, Klapper und Woermann wird darauf hingewiesen, daß Prof. Dr. Theo Hahn am 3. Januar 1988 60 Jahre alt wird. Der Herausgeber der Zeitschrift für Kristallographie, Prof. Dr. Haussühl, hat sich bereiterklärt, Arbeiten mit einer Widmung für Prof. Hahn zu sammeln und gemeinsam zu drucken. Den Abschluß des Heftes bildet ein Beitrag aus der Reihe Kristallographie in Deutschland. Die Außenstelle des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL) beim Deutschen-Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg wird vorgestellt.

## AACG

Im Märzheft des AACG-Newsletter kommt Tony Gentile in seiner President's Corner auf Aspekte der Größe einer Berufsorganisation zu sprechen. Er empfindet es als positiv einer "kleinen" Organisation anzugehören. Gegen Ende seines Beitrages gibt er eine persönliche Definition von "crystal growth", die ich an dieser Stelle wiederholen möchte. "I have always taken a fairly broad view in defining crystal growth in which I include any procedure that yields a product that is crystalline. Naturally, I expand my definition to contain the disciplines which involve the theory behind a process, the tools utilized to carry out the process, as well as the process itself. Finally, I add to all of that the characterization of the processes and their products."

Für alle, die sich mit Kristallzüchtung unter Weltraumbedingungen beschäftigen, ist ein weiterer Beitrag interessant. Hierin gibt die Clarkson Universität die Gründung eines "Center for the Development of Commercial Crystal Growth in Space" bekannt. Es folgt eine Würdigung von Iwan Stranski. Daran schließen sich

"News from the Regions". Vier weitere Seiten sind dem Programm von ACCG-7 und II-VI-87, sowie der Vorstellung der Chairmen gewidmet. Es folgen ein Bericht über die erste Konferenz der "Ostregion" der ACCG, Personalien und ein Tagungskalender. Im Anschluß daran erhält Brian Pamplin, der am Neujahrsabend 1986 verstorben ist, eine Würdigung. Den Abschluß des Heftes bilden Buchbesprechungen und Briefe an den Herausgeber.

## BACG

Die Dezemberausgabe 1986 des Newsletters der BACG beginnt mit Chairman's Notes von Ian Saunders. Es schließt sich der Rechenschaftsbericht des Vorsitzenden, ein Bericht über die Mitgliederentwicklung von J.G. Wilkes, sowie der Kassenbericht des Schatzmeisters St. Irvine an. Es folgt eine Konferenznachlese von ICCG-8 in York und ISSCG-6 in Edinburgh. Den Abschluß bilden Tagungshinweise und die Inhaltsverzeichnisse der Bände 11 bis 13 von Progress in Crystal Growth and Characterization und der Bände 76 bis 79 des Journal of Crystal Growth.

Wie das Dezemberheft 86 beginnt das Maiheft 87 mit zwei Beiträgen des Vorsitzenden, den Chairman's Notes und einem Bericht über die Jahrestagung 86 der BACG in Bath. Es folgen drei Beiträge über die Zeitungen der SGK, der japanischen Kristallzüchtergesellschaft und der DGKK. Unser Mitteilungsblatt findet K. Barraclough "most impressive". Bemerkenswert findet er außerdem, daß relativ viele Mitglieder sich bereitfinden Artikel zu schreiben. "Perhaps our committee should try and find out how their German counterparts manage to extract so many articles from their members."

Es folgt ein Fachartikel über "In-situ Electrochemistry using Synchrotron Radiation". Daran anschließend berichtet Michael Daly über ein viermonatiges Industriepraktikum bei BBC in Deutschland. In einem weiteren Reisebericht faßt Barbara Wanklyn ihre Eindrücke von einer dreiwöchigen Chinareise zusammen.

Es folgen Tagungsberichte, Veranstaltungskalender und Personalien. Den Schluß des Heftes bilden wieder Inhaltsverzeichnisse des Journal of Crystal Growth, diesmal der Bände 80 bis 82.

## SGK

Den größten Teil der Aprilausgabe der SGK-Nachrichten nimmt der Abdruck des Oktober-86-Newsletters der IUCr Commission on Small Molecules ein. Darin sind Tagungsberichte enthalten, sowie ein Artikel über "Small Molecule Crystallography" und ein weiterer über "Magnetic Ordering in Rare Earth Multilayer Films".

Das Heft beginnt mit Personalien. Es schließen sich Berichte über die Jahreshauptversammlung 86 der SGK und der Gemeinschaftstagung der SGK mit der österreichischen Schwestergesellschaft im März in Salzburg an. Den Abschluß bildet ein Tagungskalender und Stellenausschreibungen.

Wie das Aprilheft beginnt die Juliausgabe mit Personalien. Es folgt ein Bericht über Crystallographic Data Files an der ETH Zürich. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Bekanntgabe von Preisgebern. Neben den schon bei der AGKr aufgezählten Gewinnern finden D.T.J. Hurlle für den Erhalt des International Crystal Growth Award sowie Dr. T.F. Kuech und B.S. Meyerson mit dem Young Authors Award Erwähnung. Wir berichten darüber in unserem Konferenzbericht aus Monterey.

Im Anschluß daran erfolgt der Abdruck des Juni-Newsletters der IUCr Commission on Small Molecules. Den größten Teil dieser Ausgabe nehmen Einladungen und Vorprogramm der 167. Jahreshauptversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft ein. In diesem Jahr ist das Hauptthema die Eiszeitforschung. Zum Schluß gibt es wieder einen Tagungskalender.

## GFCC

Von der französischen Kristallzüchtergesellschaft ist über die April und die Juliausgabe 1987 ihres Mitteilungsheftes zu berichten. Das Aprilheft enthält eine Zusammenfassung der Jahrestagung im März in Nantes, verschiedene Tagungsberichte, einen

Beitrag über Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Arsen sowie Tagungsankündigungen. Der Beitrag über die Jahrestagung enthält neben dem Bericht des Schatzmeisters auch eine Ankündigung des gemeinsam mit der DGKK geplanten Symposiums über Aspekte der Photovoltaik.

Die Juliausgabe beginnt mit der Ankündigung der Jahrestagung 1988 die am 10. und 11. März in Grenoble stattfinden soll. Es folgen Berichte aus den Sektionen "Hydrodynamik und Kristallwachstum" und "Gasphasentransport". Den Schwerpunkt dieses Heftes bildet ein Fachbeitrag über die neuen Supraleiter bei erhöhten Temperaturen. Die Ausgabe wird abgerundet mit einem Portrait von Iwan Stranski und einer Würdigung von D.T.J. Hurlle (im Zusammenhang mit der oben erwähnten Preisverleihung).

Johannes Schmitz

## Personalien Neumitglieder

Die Mitgliederzahl hat die Marke 400 überschritten und beträgt jetzt 406 (Stand 1.10.1987)

Die Mitglieder setzen sich wie folgt zusammen:

- 304 Vollmitglieder
- 83 studentische Mitglieder
- 19 korporative Mitglieder

In der Reihenfolge ihres Beitritts begrüßen wir folgende Neumitglieder:

Physikalisches Institut II  
RWTH Aachen  
Templergraben 55  
5100 Aachen  
Telefon: 0241/807056

Mitgliedsnummer: 471 K

Eintrittsdatum: 03.04.1987

Halbleiter- und Oberflächenphysik

Rauls Matthias  
Inst. für Physik. und Theor. Chemie  
Hans-Sommer-Str. 10  
3300 Braunschweig

Mitgliedsnummer: 472 S

Eintrittsdatum: 03.04.1987

Kinetik und Oberflächenphänomenologie beim Wachstum und bei der Auflösung von Fettsäurekristallen in organischen Solventien

Bakhshandeh-Khiri Abbas  
Inst. für Mineralogie und Petrographie  
Hans-Meerwein-Str.  
3550 Marburg  
Telefon: 06421/283007

Mitgliedsnummer: 473 S

Eintrittsdatum: 15.05.1987

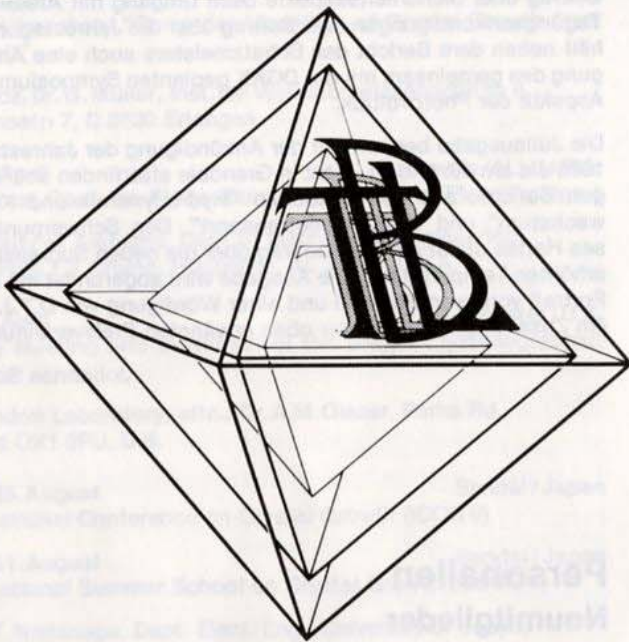
Einkristallzüchtung von Te<sub>3</sub>VSe<sub>4</sub>; physikalische Eigenschaften

Maleki Hadi  
Inst. für Mineralogie und Petrographie  
Hans-Meerwein-Str.  
3550 Marburg  
Telefon: 06421/283007

Mitgliedsnummer: 474 S

Eintrittsdatum: 15.05.1987

Einkristallzüchtung von Te<sub>3</sub>BX<sub>4</sub>, B = V, Nb, Ta, X = S, Se; physikalische Eigenschaften



# Einkristalle für Forschung und Industrie

Wibbelmann Claus Dr. Dozent  
University of Aberdeen  
Dep. of Chemistry  
Old Aberdeen AB9 2UE  
Schottland  
Telefon: 224/480241

Mitgliedsnummer: 475 M                      Eintrittsdatum: 24.04.1987

Festkörperchemie, Strukturuntersuchungen, Ultra-Spuren-  
analytik von Verunreinigungen und Defekten in Einkristallen

Matthies Horst  
Mineralogisches Inst. der Uni  
Poppelsdorfer Schloß  
5300 Bonn 3  
Telefon: 0228/460478

Mitgliedsnummer: 476 M                      Eintrittsdatum: 08.05.1987

Züchtung von ternären Fluoriden (Ba<sub>2</sub>ZnF<sub>6</sub>), Laserkristalle,  
Lösungszüchtung

Rupp Roland  
Inst. für Werkstoffwiss. VI der Uni  
Martenstr. 7  
8520 Erlangen  
Telefon: 09131/85-7683

Mitgliedsnummer: 477 S                      Eintrittsdatum: 19.03.1987

Kristallzüchtung unter  $\mu\text{g}$ , III-V-Halbleiter, FZ-Verfahren,  
Charakterisierung

Unsere Schwerpunkte sind:

- **Einkristall-Züchtung**  
nach Czochralski-, Bridgman-, Zonen-  
schmelzverfahren, aus der Gasphase  
(besonders II-VI-Photo-Halbleiter), durch  
chemischen Transport etc.
- **Auftragsforschung  
und Beratung**  
Züchtung nicht kommerzieller Mate-  
rialien, Verfahrensentwicklung, Doku-  
mentation (Film, Video).
- **Kristallpräparation**  
Orientieren, Sägen, Polieren, Funken-  
erosion, Orientieren auf  $\pm 10-15$  Mi-  
nuten, Gammastrahl-Diffraktometrie.

Bitte fordern Sie unsere Lagerliste an; rufen  
Sie uns an, wir informieren Sie über unser  
Produktions- und Lieferprogramm.

## Dr. Gerd Lamprecht

Technisches Büro für Kristallzüchtung  
II-VI Monokristalle  
Lehninger Straße 10-12  
7531 Neuhausen  
Telefon 07234/1007, Telex 783379

Mosel Frank  
Inst. für Werkstoffwiss. VI der Uni  
Martenstr. 7  
8520 Erlangen  
Telefon: 09131/85-7683

Mitgliedsnummer: 478 S                      Eintrittsdatum: 19.03.1987

Kristallzüchtung von III-V-Halbleitern (LEC), Charakterisierung

Stegemeyer Horst, Prof. Dr.  
Universität (GH) Paderborn  
FB13 Physikalische Chemie  
Warburgerstr. 100  
4790 Paderborn  
Telefon: 05251/602156

Mitgliedsnummer: 479 M                      Eintrittsdatum: 10.06.1987

Flüssigkristalle, Wachstum flüssiger Einkristalle

Jordan Michael  
Universität (GH) Paderborn  
FB 6 Physik  
Warburgerstr. 100  
4790 Paderborn  
Telefon: 05251/602709

Mitgliedsnummer: 480 M                      Eintrittsdatum: 11.06.1987

Herstellung und Charakterisierung von GaAs-Kristallen,  
Magnetische-Resonanz-Untersuchungen an Ionenkristallen und  
Halbleitern

Lenk Winfried Dr. Dipl.-Chem.  
Chemetail GmbH  
Reuterweg 14  
6000 Frankfurt 1  
Telefon: 068/159-2643

Mitgliedsnummer: 481M      Eintrittsdatum: 12.06.1987

III-V-CVD-Verfahren

Hampe Ulrich  
Preussag Pure Metals GmbH  
3394 Langelsheim 1  
Telefon: 05321/713676

Mitgliedsnummer: 482 M      Eintrittsdatum: 15.06.1987

Oxidkristallzüchtung und -charakterisierung

ICI Wafer Technology Ltd  
c/o Deutsche ICI GmbH  
z.Hd. Herrn Manfred Bär  
Lyoner Str. 36  
6000 Frankfurt 71  
Telefon: 069/6600267

Mitgliedsnummer: 483 K      Eintrittsdatum: 15.06.1987

Herstellung von III-V-Verbindungshalbleitern

Harms Gerd J. Dr. Dipl.-Chem.  
Preussag Pure Metals GmbH  
Herzog-Julius-Hütte  
3394 Langelsheim  
Telefon: 05321/713624

Mitgliedsnummer: 484 M      Eintrittsdatum: 19.06.1987

Hampe Jens  
Berg- und Hüttenschule  
Paul-Ernst-Str. 2  
3392 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: 05323/712276

Mitgliedsnummer: 485 S      Eintrittsdatum: 21.06.1987

Kristallzucht, LEC von II-VI-Halbleitern

Hofmann Hartmut Dr. Dipl.-Chem.  
Preussag Pure Metals GmbH  
3394 Langelsheim  
Telefon: 05321/713638

Mitgliedsnummer: 486M      Eintrittsdatum: 26.06.1987

Verbindungshalbleiter, Epitaxie

Holm Claus Dr. Dipl.-Chem.  
Heliotronic GmbH  
Postfach 1129  
8283 Burghausen  
Telefon: 08677/83-2030

Mitgliedsnummer: 487 M      Eintrittsdatum: 01.07.1987

Chem. Gastransport zur Kristallzüchtung, Sonderdotierung von Si, Mech. Bearbeitung von Si, Quarz und Keramik

Bernauer Otto Dr. Geschäftsführer  
HWT Ges. für Hydrid- und Wasserstofftechnik mbH  
Wiesenstr. 36  
4330 Mülheim  
Telefon: 0208/45001-24

Mitgliedsnummer: 488 M      Eintrittsdatum: 14.08.1987

Kristallzüchtung, Metallphysik, Gasreinigung

## Veränderungen:

Bei folgenden Mitgliedern haben sich berufliche Veränderungen oder Änderungen ihrer Anschrift ergeben:

Trauth Jürgen  
Siemens AG  
ZT ZFE AMF 21  
Otto-Hahn-Ring 6  
8000 München 83  
Telefon: 089/636-2696

Mitgliedsnummer: 434 M      Eintrittsdatum: 01.04.1986

Schmelzzüchtung von LiNbO<sub>3</sub> und LiTaO<sub>3</sub>

Bruder Martin Dr. Dipl.-Min.  
Telefunken Electronic  
Theresienstr. 2  
7100 Heilbronn

Mitgliedsnummer: 347 M      Eintrittsdatum: 01.04.1984

II-VI-Verbindungen, Gasphasen-, Flux- und Bridgman-Züchtung

Steinborn Wolfgang Dr. Dipl.-Phys.  
Battelle Büro Bonn  
Ahrstr. 45  
5300 Bonn 2  
Telefon: 0228/302270

Mitgliedsnummer: 339 M      Eintrittsdatum: 01.03.1984

Züchtung von Halbleiterkristallen, schwerkraftbezogene Effekte bei der Kristallzüchtung

Danilewsky Andreas  
Uni GH Paderborner Fachbereich Physik  
Warburgerstr. 100  
4790 Paderborn  
Telefon: 05251/60-2663

Mitgliedsnummer: 435 M      Eintrittsdatum: 21.02.1986

Adler Hans-Jürgen Dr. Dipl.-Min  
Int. Dokumentationsgesellschaft für Chemie  
Otto-Vogler-Str. 19  
6231 Sulzbach

Mitgliedsnummer: 282 M      Eintrittsdatum: 20.04.1983

Entwicklungsarbeiten im Rahmen von chemiebezogenen Datenbanken

Wenn Sie auf dem Gebiet Kristallwachstum, -züchtung, -charakterisierung und -anwendung tätig und noch nicht Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) sind, so treffen Sie eine wichtige Entscheidung und

**werden Sie Mitglied der DGKK!**

- Sie sind willkommen in einem Kreis von fast 400 Fachkollegen, die einer Gesellschaft angehören, deren Zweck ist
- Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet von Kristallwachstum und Kristallzüchtung zu fördern,
  - über entsprechende Arbeiten und Ergebnisse durch Tagungen und Mitteilungen zu informieren,
  - wissenschaftliche Kontakte unter den Mitgliedern und die Beziehung zu anderen wissenschaftlichen Gesellschaften zu fördern, sowie
  - die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene im Sinne der Gemeinnützigkeit zu fördern.

Damit kann die Gesellschaft zu einer wesentlichen Unterstützung Ihrer beruflichen Aktivitäten beitragen. Zögern Sie daher nicht und senden Sie noch heute das ausgefüllte Anmeldeformular ab!

(Jahresbeitrag DM 30,-; für Studenten DM 15,-)



DGKK-Schriftführer  
 Dr. Achim Eyer  
 Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme  
 Oltmannsstr. 22  
 D - 7800 Freiburg

**Antrag auf Mitgliedschaft**

Ich (Wir) beantrage(n) hiermit die Mitgliedschaft in der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e. V. (DGKK).

- Art der Mitgliedschaft:     ordentliches Mitglied  
                                    studentisches Mitglied  
                                    korporatives Mitglied

Gewünschter Beginn der Mitgliedschaft:.....

Dienstanschrift:.....

(Name)	(Vorname)	(Titel)	(Beruf)
.....			
<input type="radio"/> *) (Firma, Institut, etc.)			
.....			
(Straße, Haus-Nr.)			
.....			
(Plz., Ort)			(Tel.)

Privatanschrift:.....

(Straße, Haus-Nr.)

.....

\*) (Plz., Ort) (Tel.)

Meine (Unsere) wissenschaftlichen Interessen- und Erfahrungsgebiete sind:

.....

.....

....., den .....

(Unterschrift)

\*) bitte unbedingt ankreuzen, unter welcher Anschrift der Schriftwechsel geführt werden soll.



## ***Folienprogramme - audio - visuell***

---

- *Folien für Seminar & Vortrag*
- *Vortragsfolien · Diagramme & Schemata*
- *Audiovisuelle Programme  
nach dem Cibacopy-Verfahren der Fa. Ilford  
bzw. mehrfarbig offsetgedruckt.*

## ***Vortragsposter***

---

- *Entwurf & Gestaltung*
- *mit CAS-computergeschnittene Folien-  
beschriftung.*
- *mit Farbrückvergrößerung v. KB-Dia mit  
eigenem Cibaprint-Center.*

***Fordern Sie unsere Unterlagen an.***

# Aus Naturwissenschaft und Technik

Die neue  
Buchreihe

Erstauflage 1986  
ISBN: 3-88813-000-X  
177 Seiten, DM 49,-

Georg Müller

Über die Entstehung von  
Inhomogenitäten in Halbleiter-  
kristallen  
bei der Herstellung aus Schmelzen

Selisch Fachbuch-Verlag

## »Über die Entstehung von Inhomogenitäten in Halbleiterkristallen bei der Herstellung aus Schmelzen«

von Dr. Ing. habil. Georg Müller

Das Buch befaßt sich mit einem aktuellen Thema aus dem Bereich der Werkstoffe für die Elektronik. Die Eigenschaften dieser Werkstoffe (Halbleiterkristalle) spielen eine entscheidende Rolle für die Mikroelektronik oder Laserdioden für die optische Nachrichtentechnik.

Die weitere Entwicklung solcher Bauelementekonzepte und die Erhöhung der Ausbeute bei der Fertigung wird derzeit häufig durch Mängel bei den Halbleiterkristallen behindert. Diese Mängel be-

stehen in einer nicht ausreichenden Homogenität der elektronischen Eigenschaften der Silizium-, Galliumarsenid- und Indiumphosphidkristalle.

In dem vorliegenden Buch wird untersucht, wie solche Inhomogenitäten bei der Herstellung der Kristalle entstehen und durch welche Maßnahmen sie vermieden werden können.

Der Autor ist Leiter des Kristallabors am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg und hält seit über 10 Jahren Vorlesungen aus dem Bereich der Werkstoffe der Elektrotechnik. Er gilt als international anerkannter Fachmann auf dem Gebiet der Herstellung von Halbleiterkristallen und hat sich vor kurzem mit dem vorliegenden Buch habilitiert.

Zu beziehen über den Buchhandel oder direkt beim Verlag:

**W. Selisch · Mikrofilmservice, Druck & Verlag**  
Fliederweg 4-6 · 8521 Langensendelbach · Telefon 09131/3338 o. 4054  
Telex 629817 wase d  
BIZ Büroinformationszentrum · Michael-Vogel-Str. 1e · 8520 Erlangen  
Telefon: 09131/20005-06 · ttx: 9131374 biz