

## Inhalt

### Mitteilungen der DGKK

Unterstützung von ICCG14 über Gastprofessur ..	3
Sommerschule ISSCG12 2004 in Berlin.....	4
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2004 .....	8

### Aus den DGKK-Arbeitskreisen

Arbeitskreis Intermetallische Systeme .....	10
Arbeitskreis Kinetik .....	11
Angewandte Simulation in der Kristallzuchtung ..	12

### Aktuelle Beiträge zur Kristallzuchtung

Züchtung und Charakterisierung von KLN .....	16
Gasphasenzüchtung von SiC bewährt sich .....	18

### Öffentlichkeitsarbeit, Forschungspreise

Wissenschaftsnacht in Erlangen .....	21
--------------------------------------	----

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes .....	22
Georg-Waerber-Innovationspreis 2002 .....	23
DGKK-Forschungspreis .....	24

### Kristallzuchtung in Deutschland

Roberto Fornari neuer Direktor des IKZ .....	26
----------------------------------------------	----

### Tagungsberichte

Sommerschule in Udine .....	27
ACCGE15 .....	29
Gordon Research Conference 2003 .....	33

### Termine und Ankündigungen

Inserenten des Hefts .....	39
Frühere Artikel .....	40

## Profitieren Sie von unserem 150-jährigen Edelmetall-Know-how



Die Verarbeitung von Edelmetallen und Edelmetall-Legierungen nach dem neusten Stand der Technik sowie die stete Weiterentwicklung gemeinsam mit den Kunden stellen ständige Herausforderungen für die Business Unit Precious Metals Technology dar.

In weiten Teilen der Industrie sind Edelmetalle durch ihre gute chemische Beständigkeit bei hohen Einsatztemperaturen unverzichtbar.

Unser Produktprogramm umfasst unter anderem:

### Tiegel für die Kristallzucht

- aus Platin, Iridium, Gold oder Rhenium
- nahtlos gezogen
- geschweißt
  - mit gezogenem Boden
  - mit flach eingeschweißtem Boden

### Spezielle Produkte nach Kundenwünschen

Knudsenzellen, Nachheizer, Verkleidungen von Keramikbauteilen, Thermoschutzrohre, etc.

Tiegel, Schalen und Elektroden für das analytische Labor aus unserem Standardprogramm

Spezielle Tiegel- und Abgießschalen für die Herstellung von Schmelztabletten in der Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Halbzeuge aus Edelmetallen und Edelmetall-Legierungen  
Bleche, Folien, Rohre, Kapillare, Drähte

### Neue Werkstoffgeneration

Durch Zusatz von Dispersoiden erreichen wir bei Platin und einzelnen Platinlegierungen höhere Standzeiten. Der Werkstoff ist trotzdem duktil.

Über 150 Jahre Erfahrung rund um die Edelmetallverarbeitung stehen Ihnen in unserem Hause zur Verfügung! Nutzen Sie unser Know-how auch für Ihre speziellen Anforderungen und sprechen Sie uns an. Wir freuen uns auf Ihren Anruf.

### W. C. Heraeus GmbH & Co. KG

Engineered Materials Division  
Business Unit Precious Metals Technology  
Heraeusstr. 12 – 14  
63450 Hanau, Deutschland

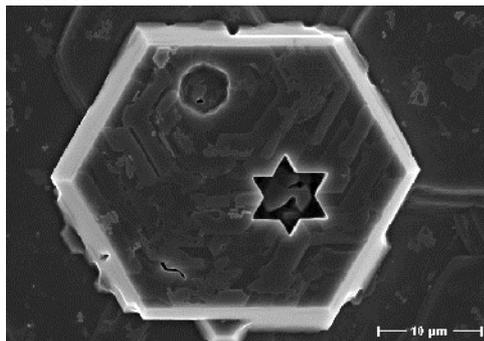
Telefon (0 61 81) 35-98 03

Telefax (0 61 81) 35-86 20

E-Mail: [precious-metals-technology@heraeus.com](mailto:precious-metals-technology@heraeus.com)

[www.wc-heraeus.com/  
precious-metals-technology](http://www.wc-heraeus.com/precious-metals-technology)

## Zum Titelbild



Das Titelbild zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines sternförmigen Volumendefektes (Vertiefung) in einer ca. 30µm dicken einkristallinen Galliumnitridschicht. Hergestellt wurde diese Schicht mittels eines Niederdrucklösungs-züchtungsverfahrens: Dabei wurde eine galliumhaltige Lösung verwendet, als Stickstoffquelle diente Ammoniak.

Kristalllabor am Fraunhofer Institut (IISB), Erlangen

## Editorial

Liebe Kollegen,

Mit dem Erscheinen dieser Ausgabe ist es wieder mal kurz vor Weihnachten geworden. Positiv gesehen bekommt so das Eintreffen dieses Heftchens in Ihrem Briefkasten einen würdigen Rahmen und Sie als Kristallzüchter können beim Weihnachtsfest nicht leer ausgehen.

Beim Zusammenstellen der Zeitung fiel mir einiges auf:

Einmal ist da natürlich das ungewöhnlich ereignisreiche und arbeitsintensive nächste Jahr 2004 mit den großen internationalen Konferenzen bei uns bzw. den französischen Kollegen und sehr viel Organisationsarbeit. Selbst unsere nationale Tagung ist diesmal eine relativ große Sache, da sie als Gemeinschaftsveranstaltung mit der DGK stattfindet. Wer sich in Jena „das volle Programm“ geben will, bringt dort auch eine volle Woche zu.

Das andere auffällige Merkmal besteht darin, daß die Instrumente für Nachwuchsförderung und Öffentlichkeitsarbeit allmählich besser zu greifen scheinen. Es werden gute Kandidaten für den Forschungspreis gefunden und auch die Unterstützung bei Reisen zu Konferenzen und Schulungen scheint eine sinnvolle Sache zu sein. Ich denke, schon die Qualität der Tagungsberichte, die von den geförderten Kollegen abgeliefert werden, zeigt, daß die Mittel auf fruchtbaren Boden fallen.

Bezüglich Außenwirkung haben im vergangenen Jahr natürlich die Erlanger Kristallwissenschaftler sehr viel geleistet mit den vielen öffentlichkeitswirksamen Preisen, die sie eingheimst haben.

Die Erfolge der Erlanger Kollegen sind sicher auch für die anderen Wissenschaftler ein Glücksfall, da hier sehr direkt demonstriert werden konnte, wie wissenschaftliche Leistung zu wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit führt.

Ich hoffe, daß das Lesen dieses Blättchens auch bei Ihnen das Gefühl bestärkt, daß es in unserer Gesellschaft frischen Schwung gibt.

Im Namen auch des ganzen Vorstands wünsche ich Ihnen schöne Feiertage und einen optimistischen und erfolgreichen Start in das Jahr 2004.

Ihr Franz Ritter

## MITTEILUNGEN DER DGKK

### Organisationskomitees der ICCG 14 in Grenoble

Priv.-Doz. Dr. Peter Wellmann vom Institut für Werkstoffwissenschaften 6 (Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik WW6, Prof. Winnacker) aus Erlangen wurde für vier Monate als Gastprofessor an das Laboratoire de Thermodynamique et Physicochimie Métallurgiques (LTPCM, Prof. Pons) am Institut National Polytechnique (INPG) in Grenoble eingeladen. Herr Wellmann habilitierte vor zwei Jahren in Erlangen auf dem Gebiet der SiC-Züchtung und arbeitet seither als Privatdozent im Bereich der Gasphasenzüchtung und Epitaxie von Halbleitern großer Bandlücke (SiC, GaN) sowie deren Charakterisierung. Die Arbeitsgruppe von Prof. Pons in Grenoble ist auf diesem Gebiet ebenfalls profiliert.

Der Einladung lag zugrunde, dass sich das lokale Organisationskomitee für die ICCG 14 in Grenoble um Prof. Duffar Unterstützung durch einen deutschen Kollegen wünschte, als Repräsentanten des Mit-Organisators DGKK, und nicht zuletzt auch um potenzielle deutsche Sponsoren besser ansprechen zu können. Auf Vorschlag des DGKK-Vorstandes wurde Herr Wellmann mit dieser Aufgabe betraut und wird von Januar bis April 2004 in Grenoble bei Prof. Pons am LTPCM tätig sein, und zwar im Bereich der SiC-Kristallzüchtung und deren numerischer Modellierung sowie der spektroskopischen Charakterisierung von SiC-Kristallen. Die Finanzierung erfolgt für drei Monate durch das INPG und für einen Monat durch WW6. Die Unterstützung des lokalen Organisationskomitees erfolgt bereits jetzt von Erlangen aus und soll während des Aufenthalts in Grenoble intensiv weitergeführt werden. Herr Wellmann wird in einer nächsten Ausgabe des Mitteilungsblattes über seine Tätigkeit berichten, für die wir ihm an dieser Stelle viel Erfolg wünschen.

A. Seidl

## 12th Int. Summer School on Crystal Growth ISSCG 12 in Berlin, 1.–6. August 2004

### Bericht über den Stand der Vorbereitungen von Georg Müller und Peter Rudolph

Am 18. und 19. September 2003 tagte am IKZ in Berlin das Organisationskomitee der ISSCG-12, die unter Schirmherrschaft der IOCG vom 01. bis 06. August 2004 in der Akademie Berlin-Schmöckwitz am Wernsdorfer See (am Rande von Berlin) durchgeführt wird.

Teilnehmer waren G. Müller (chairman), J. Friedrich (beide Univ. Erlangen), S. Bergmann, T. Boeck, A. Lüdge, U. Rehse, P. Rudolph (co-chair) und J. Warneke (alle IKZ Berlin). Als Gast nahm an einigen Tagesordnungspunkten auch der neue Direktor des IKZ, R. Fornari, teil.

Im Folgenden seien stichpunktartig einige Schwerpunkte der Beratung wiedergegeben:

Es ist international eine sehr gute Resonanz festzustellen; bisher gibt es 93 Voranmeldungen aus 27 Ländern aller Kontinente.

Aus Kapazitätsgründen ist die maximale Teilnehmerzahl auf 120 Teilnehmer plus 33 Dozenten und ca. 20 Begleitpersonen begrenzt.

Das wissenschaftliche Programm ist fertig und seit geraumer Zeit im Internet abrufbar.

Dort sind ebenfalls die Abstracts der Vorlesungen einsehbar.

Wie üblich, werden die Lectures als Proceedings veröffentlicht (ELSEVIER) und sollen den Teilnehmern zu Beginn der ISSCG 12 vorliegen (Kosten sind in der Tagesgebühr enthalten)

Es wurde durch umfangreiche Maßnahmen versucht, Sponsoren für die ISSCG 12 zu gewinnen.

Bisher liegen folgenden Zusagen vor: DGKK, DGK (Deutsche Gesellschaft für Kristallographie), IUCr (int. Union of Crystallography), IKZ Berlin, European Space Agency, Wacker Siltronik AG, FCM, Aixtron, Fa. Crystal Growth Laboratory, Fa. Linn High Therm, Fa. Schunk Kohlenstofftechnik, Fa. Crystec Berlin, Fa. Crystal GmbH Berlin.

Die bisher geringe Zahl der Zusagen aus der Industrie, vor allem auch die niedrige Höhe der Zuschüsse, ist etwas enttäuschend.

Das Hauptziel bei der Gewinnung von Sponsoren besteht darin, Stipendien für "Studentische Teilnehmer" (einschließlich Doktoranden/innen) zu finanzieren. Das Ziel der angestrebten 40 Stipendien ist noch nicht voll erreicht.



**Schulungsort Akademie Berlin-Schmöckwitz.**

**Links das Tagungs- und Hotelgebäude.**

**Rechts das alte Herrenhaus mit Reception, Restaurant und weiteren Hotelzimmern.**

Die Teilnahmegebühren für die ISSCG12 wurden wie folgt festgesetzt:

	Beträge in EUR
Teilnehmer ohne Stipendium	
Bei Anmeldung vor dem 31.01.2004	650
Bei Anmeldung nach dem 31.1.2004	720
Studenten mit Stipendium	150
Begleitpersonen	440

(Darin enthalten sind. Lectures, Proceedings, Unterkunft, alle Mahlzeiten und Kaffeepausen, ISSCG 12-Dinner, Exkursion)

Im Rahmenprogramm wird am Samstag, den 31.7.04 für Interessenten eine Besichtigung des IKZ angeboten.

Für die DGKK (deutsche Kristallzüchter) und die GFCC (französische Kristallzüchter) werden je 15 Plätze zu den genannten Teilnahmegebühren reserviert (bis zum 31.01.2004).

Alle DGKK-Mitglieder wurden bereits per E-mail darüber gesondert informiert.

Es wurde das 3rd Announcement besprochen, welches seit Oktober 2003 im Netz steht und auch in diesem Heft auf den folgenden beiden Seiten abgedruckt ist.

Weitere Informationen können dem Text dieses Announcements und der ISSCG-12-Homepage entnommen werden:



# ISSCG-12

Informieren Sie sich zur Internationalen  
Sommerschule über die Homepage

<http://isscg12.ikz-berlin.de>

Neben allen wichtigen Veranstaltungsdetails  
finden Sie dort auch die Abstracts zu den  
Vorlesungen dieser Schule!

# Cyberstar

## SCIENTIFIC & INDUSTRIAL INSTRUMENTS

*The outstanding elements which make the worldwide reputation of Cyberstar are available to equip your new puller frame or retrofit your old machine.*

### ■ HIGH PRESSURE CZOCHRALSKI PULLER FEATURES

- High pressure Czochralski puller for III-V crystals (GaAs, InP, etc.).
- Operating pressure up to 100 bars.
- Crystal size up to 4".
- Graphite heating zones.
- High precision automatic crystal and crucible rotations.
- High precision automatic crystal and crucible translations.
- Weighing device up to 20 kg.

### ■ CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS OF ANY SIZE

- Czochralski oxides pullers.
- Bridgman - Stockbarger furnaces.
- Mirror furnaces (Xenon, halogen, laser heatings).
- Crystal growth system (translation, rotation units, weighing device and Automatic Diameter Control software).

### ■ CATALOG OF PARTS FOR CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS

- Crucible vibration device.
- Automatic feeding device.
- Vacuum tight and water cooled chambers.
- Water cooled pulling rod.
- Magnetic rotating seal.
- Teflon sliding/rotating seal.
- HF glass to metal coaxial feedthrough.

### ■ CUSTOMERS WORLDWIDE

USA, Europe, Asia.



### Cyberstar

Call for more information

Parc Sud Galaxie - BP 344 - 38435 Echirolles cedex - France  
Tel. 33 4 76 40 35 91 - Fax 33 4 76 40 39 26

E-mail: [cyberstar@dial.oleane.com](mailto:cyberstar@dial.oleane.com) - Website: [www.cyberstar.fr](http://www.cyberstar.fr)

### 3<sup>rd</sup> Announcement



# ISSCG-12

## The Twelfth International Summer School on Crystal Growth

1 - 7 August 2004 in Berlin

<http://isscg12.ikz-berlin.de>



jointly organized by



under the auspices of

**International Organization of Crystal Growth**

### *Program*

#### **Saturday, July 31 – For interested participants**

15:00 - 17:00 Guided tour through the Institute of Crystal Growth

#### **Sunday, August 01 – The day of traveling and introduction**

14:00 - 18:30 Introduction into crystal growth (Fornari, Director of IKZ)

Crystal growth techniques (Müller)

Introduction into growth kinetics (Metois)

Introduction into crystal defects (Rudolph)

19:00 Welcome party

#### **Monday, August 02 – The day of fundamentals**

08:30 - 13:00 Thermodynamics of epitaxial processes (Stringfellow)

Actual concepts of interface kinetics (Jackson)

Theory of crystal growth morphology (Sekerka)

Crystallization of biomacromolecular systems (Chernov)

16:00 - 18:00 *Tutorial seminars*

1.1 - Modeling of crystal growth I (Neugebauer, Miller)

1.2 - Course on numerical simulation on PCs I (Jung)

1.3 - Growth of biological crystals (Veesler)

20:00 - 21:00 Student poster session, industrial exhibition

#### **Tuesday, August 03 – The day of modeling**

08:30 - 13:00 Modeling of crystal growth processes (Derby)

Modeling of fluid dynamics in melt growth (Kakimoto)

Molecular simulations of crystal growth processes (v.d. Eerden)

Dislocation dynamics and dislocation patterns (Zaiser)

16:00 - 18:00 *Tutorial seminars*

2.1 - Modeling of crystal growth II (Neugebauer, Miller)

2.2 - Course on numerical simulation on PCs II (Jung)

2.3 - Phase diagrams (Analysis, modelling) (Mühlberg, Klimm)

### *Program (continued)*

#### **Wednesday, August 04 – The day of future topics**

08:30 - 13:00 Crystal Growth in microgravity (Glicksman)

Materials and crystal growth for photovoltaics (Surek)

Nanocrystals and nanotubes (Loiseau)

13:00 Excursion to Berlin (Center), Sight Seeing and Boat Trip

#### **Thursday, August 05 – The day of crystal growth technology**

08:30 - 13:00 Growth of Silicon single crystals (von Ammon)

Growth of oxide crystals (Chai)

Microchannel epitaxy - lateral growth (Nishinaga)

Epitaxial technology of optoelectronics (Hommel)

16:00 - 18:00 *Tutorial seminars*

3.1 - Course on numerical simulation on PCs III (Jung)

3.2 - MOCVD of compound semiconductors (Heuken)

3.3 - Fundamentals of epitaxial growth (Pimpinelli)

19:00 Banquet

#### **Friday, August 06 – The day of crystal defects and characterization**

08:30 - 13:00 Point defects in compound semiconductors (Hurle)

Synchrotron radiation X-ray imaging (Baruchel)

Macromolecular cryst. - growth/charact. (Garcia-Ruiz)

In-situ analysis by STM (Koehler)

16:00 - 18:00 *Tutorial Seminars*

4.1 - High-resolution electron microscopy (Strunk)

4.2 - X-ray methods (Leipner)

4.3 - Point defect analysis (Irmischer)

**Saturday, August 07 and Sunday, August 08**

**Bus trip to ICCG-14 in Grenoble**

### *Lecture notes - Proceedings*

Each participant will get a printed version of lecture notes published Elsevier Science B.V. at the beginning of ISSG-12.

### **General information**

The 12<sup>th</sup> International Summer School on Crystal Growth (**ISSCG-12**) will take place in Berlin/Germany from August 01- 07, 2004 in conjunction with the 14<sup>th</sup> International Conference on Crystal Growth (**ICCG-14**) in Grenoble/France from August 09 - 13, 2004.

ISSCG-12 attracts newcomers and experts in the field of crystal growth. It offers 4 introductory lectures, 19 expert lectures and 12 tutorial seminars in special topics.

ISSCG-12 is completed by a poster session and an industrial exhibition.

ISSCG-12 is chaired by

- Prof. Georg Müller, University Erlangen-Nürnberg, georg.mueller@ww.uni-erlangen.de
- Prof. Jean-Jaques Metois, University Marseille, metois@crmc2.univ-mrs.fr
- Prof. Peter Rudolph, Institute for Crystal Growth Berlin, rudolph@ikz-berlin.de

The local organization is assisted by

- S. Bergmann, T. Boeck, A. Lüdge, U. Rehse, J. Warneke from the Institute for Crystal Growth Berlin
- J. Friedrich from Fraunhofer Institute IISB, Erlangen

### **School location and accommodation**

ISSCG-12 (lectures, meals and accommodation) will be held in a quiet region 20km outside of the center of Berlin in the Akademie Schmoeckwitz, an elegant 18th century mansion at the Lake Wernsdorfer.

### **Social events and accompanying persons' program**

A welcome party will be held on Sunday evening, the conference dinner takes place on Thursday evening.

A sight-seeing tour to Berlin is scheduled on Wednesday afternoon and a boat trip in the evening.

For accompanying persons, sight-seeing tours through Berlin and Potsdam (Sanssouci) are organized.

A visit to the Institute of Crystal Growth of Berlin including a guided laboratory tour is offered on July 31 for interested people.

### **Travel information**

The transportation from the airports, main stations and freeway exits is explained in detail in the homepage of the school under <http://isscg12.ikz-berlin.de>. A special shuttle service will be arranged on Sunday, August 1, from "S-Bahn Station Berlin-Grünau" between 9:00 to 19:00. Transportation to the Institute of Crystal Growth on Saturday, July 31, is upon request.

### **Special bus service from ISSCG-12 to ICCG-14**

A special bus service for 50 participants is offered between the ISSCG-12 school location and Grenoble (ICCG-14). The seats are reserved on a first come first serve basis. The service is free of charge for students with grant, other participants have to pay 150Euro.

### **Registration**

The number of participants is limited to 120. Therefore, an early registration is recommended because the reservation is made on a first come first serve basis. For early registration before **January 31, 2004** a discount is given.

### **Fee**

The fee includes the accommodation in the school hotels from August 1 (check in) to August 8 (check out), all meals including breakfast, lunch, dinner, coffee breaks, the welcome party, the conference dinner, the sightseeing tour through Berlin on Wednesday as well as the conference proceedings.

<b>Registration fee before January 31, 2004</b>	<b>650 Euro</b>
<b>Registration fee after January 31, 2004</b>	<b>720 Euro</b>
<b>Student with grant</b>	<b>150 Euro</b>
<b>Accompanying person in double room</b>	<b>440 Euro</b>

### **Application for student grant**

A number of up to 40 grants (double room occupancy) will be given to students (bachelor, master, PhD) upon application. The application must contain a CV, a letter of recommendation from the supervisor and a one page abstract about the thesis. These documents must be delivered by email ([isscg-12@ikz.berlin.de](mailto:isscg-12@ikz.berlin.de)) or fax to ++49-30-63-92-30-03 latest 6 weeks after registration. Students which are selected for a grant have to present their work on crystal growth by a poster during the school. Please use in any case the registration form.

### **Extra nights**

An accommodation in the school hotels for the nights before and after ISSCG-12 is offered for 70 Euro per night including breakfast.

**An alle Mitglieder**

Schriftführerin  
Dr. Anke Lüdge  
Institut für Kristallzüchtung  
Max-Born-Str.2  
D-12489 Berlin  
Telefon : (030) 6392 3076  
Telefax : (030) 6392 3003  
EMAIL : luedge@ikz-berlin.de

**05.12.03**

**Jahreshauptversammlung 2004 in Jena**

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur Jahreshauptversammlung 2004 ein, die anlässlich der gemeinsamen Jahrestagung der DGKK und der DGK in Jena stattfindet.

Ort: Campus der Friedrich-Schiller Universität Jena  
Carl-Zeiss Str. 3

Zeit: Donnerstag, den 18.März 2004, 19.15 Uhr

weitere Informationen : [www.conventus.de/kristalle](http://www.conventus.de/kristalle)

Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlussfähigkeit
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Bericht des Schriftführers
4. Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer
5. Entlastung des Vorstandes
6. Diskussionen über Tagungen und Symposien:
  - DGKK Jahrestagung 2005
  - DGKK Jahrestagung 2006
  - DGKK Jahrestagung 2007
  - ICCG - 14 und ISSCG - 12 in Grenoble / Berlin (2004)
7. Abschließende Diskussion und Beschluss über die Jahrestagung 2005
8. Diskussion über DGKK - Arbeitskreise
9. Verschiedenes

Anträge auf Erweiterung der Tagesordnung sind dem Vorstand rechtzeitig mitzuteilen. Siehe hierzu IV § 12 und VII §§ 6 und 7 der Satzung.

Wir möchten Sie bitten, Ihre Teilnahme an der Jahreshauptversammlung 2004 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen



Anke Lüdge  
Schriftführerin DGKK

# Thermische Analyse



## TA-QMS-Kopplung

- Thermische Analyse und On-line Massenspektrometrie
- Simultane TG-DSC mit höchster Stabilität und Empfindlichkeit
- Top-line Kapillarkopplung für Quadropol Massenspektrometer
- Ideale Gasströmungsbedingungen in STA und Kopplungsinterface

Thermoanalytische Methoden, speziell die simultane TG-DSC und TG-DTA (STA) sind universelle Werkzeuge zur Charakterisierung von Feststoffen. Durch die Kopplung mit dem Quadrupolmassenspektrometer AËOLOS werden flüchtige Probenanteile bis in den ppm Bereich detektiert und identifiziert. Eine exakte Trennung zwischen thermodynamischen Umwandlungen und chemischen Reaktionen an kristallinen und amorphen Festkörpern ist damit gegeben.

Das QMS 403 C Aëolos kann auch eigenständig für die Analyse anderer Gasquellen eingesetzt werden.

Die Kapillarkopplung STA 449 C Jupiter - QMS 403 C Aëolos ist optimiert für:

- Minimale Kondensationsverluste durch eine erhöhte Systemtemperatur von 300 °C über das gesamte Gastransfersystem, vom Ofenausgang bis zur Kapillare des MS-Gaseinlasses.
- Einstufige Druckreduzierung, um die Verstopfung von Blenden auszuschließen
- Flexibilität der Kopplung sowohl für Standard-TG-Messungen als auch für simultane TG-, MS-, (GC-MS), und FTIR-Messungen

## BERICHTE UND MITTEILUNGEN AUS DEN DGKK-ARBEITSKREISEN

Der Frühherbst kurz vor Beginn des Wintersemesters an den Universitäten ist traditionell die Zeit für DGKK-Arbeitskreistreffen. Im Oktober trafen sich folgerichtig drei unserer AK's. Im Einzelnen waren dies:

AK Kristalle für Laser und nichtlineare Optik.

Einen der dort präsentierten Beiträge finden Sie in ausführlicher Darstellung an anderer Stelle in diesem Heft. (S. Podlojenov et al., Uni Köln zur Züchtung von KLN)

AK Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen.

AK Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen.  
(siehe anschließenden Kurzbericht)

Für dieses Mitteilungsblatt erreichten mich noch keine detaillierteren Berichte über den Verlauf dieser AK-Treffen, aber vielleicht lässt sich für das Frühjahrsheft noch etwas nachliefern.

## AK Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen.

AK-Treffen in Karlsruhe am 1. u. 2. Oktober 2003  
Kurzbericht von Franz Ritter, Uni Frankfurt am Main

Dieser Arbeitskreis wird seit einiger Zeit getragen von der AG von Herrn Behr aus Dresden, dem Vorsitzenden dieses AK, dem Kristall-Labor der Uni Frankfurt am Main (AG Assmus) und den Kristallzüchtern aus dem Raum Karlsruhe. Die Kristallzüchter aus diesen drei Standorten erfuhren diesmal erfreulicherweise noch Verstärkung durch Kollegen von der Uni München, dem MPI Stuttgart und der Firma MATECK aus Jülich.

Die Karlsruher Kristallzüchtungslandschaft ist bezogen auf die unseren AK interessierenden Materialien besonders interessant, da hier Kollegen aus drei verschiedenen Organisationseinheiten beteiligt sind. dies

Zum einen ist dies die AG v. Löhneysen mit der Kristallzüchtungsgruppe um Herrn Christian Pfeleiderer, die an dem ersten Tag des Treffen die Rolle des Gastgebers übernahm.

In dieser Gruppe hat man sich vor einigen Jahren die schwierige Aufgabe gestellt, höchstreine Seltenerd- und Übergangsmetallverbindungen unter UHV-Bedingungen zu züchten. (siehe auch entsprechenden AK-Bericht in MB76)

Es verdient Respekt, wie sich diese Gruppe durch die anlagentechnischen Schwierigkeiten kämpft, die mit diesem Vorhaben verbunden sind. Der eingesetzte Spiegelofen konnte durch Entwicklung spezieller Dichtungen inzwischen inzwischen in einen „UHV-festen“ Zustand gebracht werden.



**ENGELHARD-CLAL**

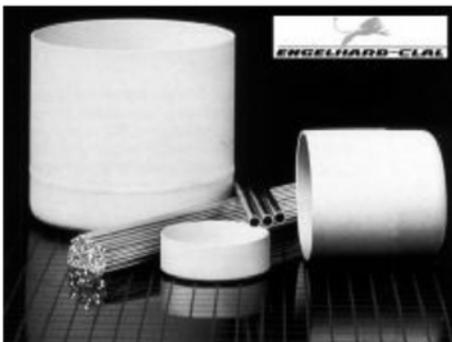
### EDELMETALL IST UNSER GESCHÄFT

#### **Laboraüstung:**

Platin- und Iridiumtiegel für die Einkristallzüchtung

Platin- und Platin/Gold-Tiegel für RFA

Schmelztiegel, Schalen, Elektroden, Instrumente für Analyse- und Forschungszwecke



*Iridium crucibles, wire and tubing for crystal growth applications.*

#### **Temperaturmessung:**

**Thermodrähte, Thermoelemente, mineralisierte flexible Thermoelemente (ENCLAD)**

#### **Fabrikationsteile:**

Drähte, Scheiben, Bleche, Hülsen, nahtlose Rohre, Präzisionsteile

**Hochreine Materialien für die Vakuumbdampfung**

**ENGELHARD-CLAL DEUTSCHLAND GMBH – Lise Meitner Str. 7 – D-63303 Dreieich**

Tel. +49 6103 / 9345 0 Fax: +49 6103 / 9345 32

[www.engelhard-clal.de](http://www.engelhard-clal.de) [info@engelhard-clal.de](mailto:info@engelhard-clal.de)

Herr Tobias Görlach berichtete von der Züchtung der kubischen Laves – Phase  $\text{YbAl}_2$ . Trotz der Schwierigkeiten wegen Yb-Verdampfung (Züchtungstemperatur  $2300^\circ\text{C}$ !) konnte von ersten Charakterisierungen an Karlsruher Proben dieses Materials berichtet werden. Die sehr sauberen technischen Aufbauten und Entwicklungen dieser Gruppe konnten in einem Laborrundgang besichtigt werden.

Der zweite Tag des Treffen wurde auf dem Gelände der Kernforschungsanlage verbracht. Dort ergab sich die Gelegenheit, das Labor unseres Kollegen Thomas Wolf zu besuchen, in dem eine große Vielfalt von Abkömmlingen der HT<sub>c</sub>- Verbindungen in großer kristalliner Perfektion hergestellt wird.

Das spektakuläre Highlight des zweiten Tages unserer AK-Tagung war zweifellos der von Herrn Franck Wastin ermöglichte Besuch der Kristallzüchtungsgruppe des Aktinidenlabors am Institut für Transurane ITU.

Die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen beim Umgang mit hochradioaktiven Stoffen und der sehr schwierige Probenaustausch mit anderen Labors haben an diesem großen Institut eine Art „Parallelwelt“ entstehen lassen mit einer sehr guten und vollständigen Ausstattung an Züchtungs- und Charakterisierungs-Einrichtungen. Jedem, der darüber stöhnt, er habe bei seinen Laboraufbauten schwierige technologische Aufgaben zu lösen, sei ein Besuch dieser Gruppe angeraten, die nahezu jede Ihrer Apparaturen in einen abgeschlossenen Handschuh-Kasten oder in eine Manipulator-Box einzubauen hat. Dies ergibt den Zwang, die Arbeitsschritte bei einem Züchtungs-, oder Charakterisierungsvorhaben besonders genau zu durchdenken und führt zu einem hohen Maß an Automatisierung. So abgeschlossen, wie dieses Labor von der anlagentechnischen Seite her erscheint, so offen ist es für den wissenschaftlichen Austausch. Dies findet Ausdruck in dem von Herrn Wastin betreuten Aufbau eines Actinide User Lab welches die Nutzung der vielfältigen Einrichtungen am ITU durch Gastforscher erleichtern soll.

Seitens des MB werde ich mich um einen Beitrag zur ausführlicheren Beschreibung dieses interessanten Standortes zur Kristallzüchtung bemühen.

Seitens der wissenschaftlichen Beiträge war das Treffen in Karlsruhe wieder lohnend, nicht zuletzt wegen der intensiven Bemühungen um realistische Phasendiagramme für die im Arbeitskreis typischen mehrkomponentigen Systemen.

Auch hierzu mehr im nächsten Heft.

## AK Kinetik

### Information zum Arbeitskreistreffen 2004 im Rahmen der DGKK-Jahrestagung in Jena.

Das bevorstehende 5. Kinetik-Seminar wird als Bestandteil der gemeinsamen Jahrestagung von DGK und DGKK im März in Jena organisiert und dort mit Vorträgen und einer der Seminarthematik gewidmeten Postersitzung am Donnerstag, 18.03. nachmittags stattfinden. Die Deadline (30.11.03) für wissenschaftliche Beiträge entspricht derjenigen der Jahrestagung und ist mit Erscheinen dieses MB leider abgelaufen, die Anmeldung zur Teilnahme an Tagung und Arbeitskreis ist aber zu den Konditionen der Jahrestagung noch möglich. (ab 01.01.04 erhöhte Gebühr!)

Nähere Informationen zum Programm an diesem Kinetiknachmittag entnehmen Sie bitte der Tagungs- WEB site, erreichbar über

[www.conventus.de/kristalle](http://www.conventus.de/kristalle) besser aber noch über [www.dgkk.de](http://www.dgkk.de), da Sie dort auch zur eigenen WEB-site des AK geführt werden.

**Im Zusammenhang mit der Internationalen Sommerschule ISSCG12 im nächsten Jahr in Berlin weist Herr Rudolph als Sprecher des Arbeitskreises Kinetik auf die hervorragende Besetzung bei den Kinetikthemen hin und gibt den dringenden Tip, sich frühzeitig um eine Teilnahme zu bemühen.**

# Generatoren für die Induktionserwärmung

Mit verschiedenen Baureihen von MF- und HF-Generatoren bietet **HÜTTINGER** das ganze Anwendungsspektrum der Induktionserwärmung.



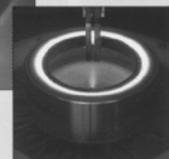
Qualität hat einen Namen:

#### Anwendungsbeispiele:

Kristallziehen

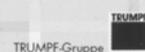


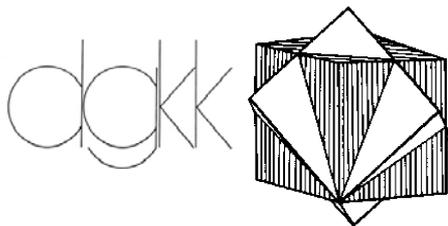
Glühen



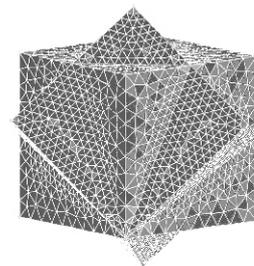
Schmieden

Hüttinger Elektronik GmbH + Co. KG  
Elsässer Str. 8, D-79110 Freiburg, Germany  
Tel.: +49-761-8971-0, Fax: +49-761-8971-150  
email: [info-ec@huettinger.com](mailto:info-ec@huettinger.com)  
Internet: <http://www.huettinger.com>





## DGKK Arbeitskreis



### Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung

#### Ankündigung:

#### 3. WORKSHOP

05. - 06. Februar 2004 in Volkach am Main

#### Veranstalter

Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. (DGKK)

#### Organisation, Programmgestaltung und Auskünfte

PD Dr. Peter Dold	Kristallographisches Institut, Universität Freiburg
Tel.: (0761) 203 6449	Fax: (0761) 203 6434 E-mail: pit.dold@krist.uni-freiburg.de
Dr. Stefan Eichler	Freiberger Compound Materials GmbH
Tel.: (03731) 280 236	Fax: (03731) 180 106 E-mail: eichler@fcm-germany.com
Dr. Albrecht Seidl	RWE SCHOTT Solar GmbH, Alzenau
Tel.: (06023) 91 1406	Fax: (06023) 91 1801 E-mail: albrecht.seidl@rweschottsolar.com

Im Februar 2004 wird der dritte Workshop zur angewandten Simulation in der Kristallzüchtung stattfinden. Mit dem neuen Tagungsort soll sowohl der Forderung nach mehr Platz wegen der steigenden Zahl von Teilnehmern als auch dem Wunsch nach Beibehaltung eines möglichst gastlichen Rahmens entsprochen werden.

Wichtigstes Anliegen ist, wie gewohnt, der **Realitätsbezug**, d.h. die Verwendung von Simulationsrechnungen zur Optimierung und zum besseren Verständnis von Kristallisationsprozessen. Dies setzt die Verwendung von realen Geometrien und Randbedingungen voraus, häufig verbunden mit freien Randwertproblemen, Phasenübergängen und nicht achsensymmetrischer Problemstellung. Für die Modellierung sind das nach wie vor Schwierigkeiten, die in ihrer vollen Bandbreite von kaum einem Softwareprogramm zufriedenstellend gelöst werden können.

Das **Ziel des Workshops** liegt zum einen im Austausch von Informationen und Hilfestellungen für primär experimentell arbeitende Wissenschaftler und Arbeitsgruppen, denen hierdurch der Einstieg in die Modellierung von Züchtungsprozessen erleichtert werden soll. Zum anderen soll ein Diskussionsforum geschaffen werden, wo aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen und Forschungsthemen behandelt werden und neue mathematische und numerische Ansätze vorgestellt werden.

Die Einbindung und die Präsenz von **Softwareanbietern** gewährleistet die Möglichkeit, Probleme und Verbesserungswünsche direkt zu besprechen.

Neben **allgemeinen Beiträgen** zur Simulation von Kristallzüchtungsprozessen sollen auch diesmal wieder **zwei Schwerpunktthemen** behandelt werden: „Numerische Simulation von Epitaxieprozessen“ und „Auswirkungen von Konvektion auf Kristallisation und Kristalleigenschaften“:

#### 1. Schwerpunkt: Numerische Simulation von Epitaxieprozessen

Die Möglichkeiten der numerischen Simulation, die dem Anwender vor der Epitaxieanlage, dem Anlagenbauer aber auch dem Physiker, der oberflächenphysikalische Untersuchungen durchführt, zur Verfügung stehen, sollen dargestellt und neue Entwicklungen und Strategien auf diesem Feld diskutiert werden. Gemäß dem Konzept des Workshops sollen Softwareanbieter und Nutzer, Softwareentwickler und Oberflächenphysiker, die Einzelphänomene auf mikroskopischer Skala betrachten, eine gemeinsame Sprache finden. Vielleicht gibt es auch die eine oder andere Anregung für Kollegen, die sich mit der Züchtung von Bulk-Kristallen befassen.

Referent: Y. Makarov (Semiconductor Technology Research GmbH)

#### 2. Schwerpunkt: Auswirkungen von Konvektion auf Kristallisation und Kristalleigenschaften

Der Stoff- und Wärmetransport in der Schmelze, der Temperaturgradient an der Phasengrenze oder das Konzentrationsfeld im gewachsenen Kristall werden entscheidend von den vorherrschenden Konvektionsregimen in der Nährphase geprägt. Ohne eine ausreichende Berücksichtigung der fluiddynamischen Prozesse ist in vielen Fällen eine sinnvolle Simulation des Kristallisationsvorganges nicht möglich. Die heute verfügbare Soft- und Hardware ermöglicht bereits realistische Behandlungen von 2- und 3-dimensionalen Strömungsvorgängen. Die für den Kristallzüchter wichtige Frage ist, inwieweit hieraus zuverlässige, quantitative Vorhersagen bezüglich der zu erwartenden Kristalleigenschaften abgeleitet werden können, bzw. wo derzeit die Grenzen des Machbaren liegen.

Referent: Dr. A. Muiznieks ( Inst. für Elektrothermische Prozesstechnik, Universität Hannover)

**Tagungsort**

Tagungsstätte Schelfenhaus  
Schelfengasse 1, 97332 Volkach

**Abendveranstaltung**

Gasthof Behringer (5 min vom Schelfenhaus)  
Marktplatz 5, 97332 Volkach  
Tel.: 09381-814-0 Fax: 09381-814-299  
E-mail: hotel-behringer@t-online.de  
Internet: <http://www.hotel-behringer.de>

Volkach am Main, ein Zentrum des fränkischen Weinbaus im Bereich der „Volkacher Mainschleife“, bietet mit dem für Veranstaltungen bereitgestellten barocken „Schelfenhaus“ und einer Vielzahl von Gasthöfen hinreichend Platz für Tagungen und Übernachtungen in historischer Umgebung. Einen Rundgang durch das mittelalterlich-barocke Volkach am Rande der Tagung sollte man sich nicht entgehen lassen. Abends besteht Gelegenheit zum Kennenlernen der lokalen Spezialitäten.

**Tagungsablauf**

Mittwoch, 04.02.04

Anreise,

ab 18:00 Gelegenheit zu Registrierung und Kennenlernen im Gasthof Behringer (Marktblickstuben, 1. Stock)

Donnerstag, 05.02.04, 8:30 Beginn des Workshops im Schelfenhaus

Übersichtsvorträge der Referenten, Kurzpräsentationen, Diskussionen

19:00 Workshop-Abend mit lokalen Spezialitäten im Gasthof Behringer (Keller)

Freitag, 06.02.04

Übersichtsvorträge der Referenten, Kurzpräsentationen, Diskussionen

Ende gegen 13:00

**Anmeldung und Teilnahmegebühren**

Bitte entweder beiliegendes Formular verwenden und an folgende Adresse senden:

Dr. Peter Dold

Kristallographisches Institut, Universität Freiburg, Hebelstr. 25, 79104 Freiburg

Fax: (0761) 203 6434

oder **Online-Anmeldung:** <http://www.dgkk.de> , „Arbeitskreise“

Teilnahmegebühr (beinhaltet 2 Kaffeepausen und den Workshop-Abend am Donnerstag):

**EUR 50,- (Studenten EUR 25,-) Firmenstandgebühr: EUR 100,-**

Überweisungen bitte auf: Kto.-Nr. 12033584 bei Sparkasse Freiburg, BLZ 680 501 01 (Kontoinhaber: P. Dold)

Bitte unbedingt Verwendungszweck "Angewandte Simulation" mit Name(n) des Teilnehmers / der Teilnehmer angeben!

**Übernachtung**

Die Teilnehmer werden gebeten, selbst die Übernachtungen zu reservieren.

Übernachtungsmöglichkeiten:

- Gasthof Behringer (siehe „Abendveranstaltung“) – begrenzte Zimmeranzahl, frühzeitige Reservierung empfohlen!
- Zahlreiche weitere Hotels und Gasthöfe in Volkach finden Sie auf der Homepage der Stadt Volkach: [www.volkach.de](http://www.volkach.de), oder über das Verkehrsamt der Stadt Volkach (Tel. 09381-40112, [tourismus@volkach.de](mailto:tourismus@volkach.de)).

**Anreise**

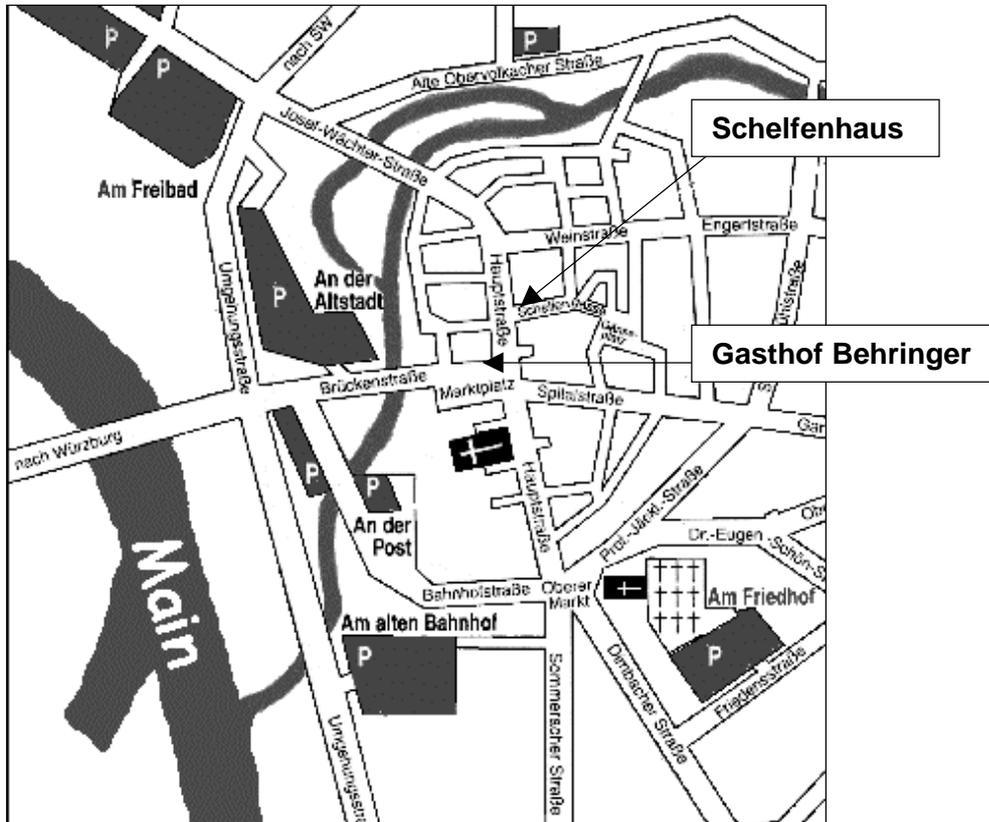
Volkach liegt östlich von Würzburg, nahe den Autobahnen A3, A7 und A70.

Mit der Bahn ist Volkach am besten über Würzburg (IC-Knotenpunkt) zu erreichen: Mit der Regionalbahn Richtung Bamberg nach Seligenstadt. Von dort (Anschluss) nur wenige Minuten mit dem Bus nach Volkach.

Lageplan Volkach:



Ortsplan Volkach:



**Anmeldung zum 3. Workshop "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"**

Name: .....  
Institution: .....  
Adresse: .....  
.....  
Telefon: .....  
FAX: .....  
E-Mail: .....

Ich nehme am DGKK-Workshop am 05./06. Februar 2004 in Volkach teil

Ich möchte eine Kurzpräsentation (ca. 15 min) mit folgendem Thema halten:

Titel: .....

.....

Autor(en): .....

Ich präsentiere einen Firmenstand

und benötige dafür: .....

Teilnahmegebühr (beinhaltet 2 Kaffeepausen und den Workshop-Abend am Donnerstag):  
**EUR 50,- (Studenten EUR 25,-)**

Gebühr für Firmenstand:

**EUR 100,-**

Überweisungen bitte auf: Kto.-Nr. 12033584 bei der Sparkasse Freiburg, BLZ 680 501 01

(Kontoinhaber: Peter Dold).

Bitte Verwendungszweck "Angewandte Simulation" mit Name(n) des Teilnehmers / der Teilnehmer angeben!

Ort / Datum: ..... Unterschrift: .....

**Anmeldung spätestens bis 24.12.03 an:**

Dr. Peter Dold

Kristallographisches Institut, Universität Freiburg

Hebelstr. 25

Fax: (0761) 203 6434

oder Online-Anmeldung: <http://www.dgkk.de> , „Arbeitskreise“

**Zimmer bitte (möglichst frühzeitig) selbst reservieren:**

Gasthof Behringer

Marktplatz 5, 97332 Volkach

Tel.: 09381-814-0 Fax: 09381-814-299

E-mail: [hotel-behringer@t-online.de](mailto:hotel-behringer@t-online.de)

Internet: <http://www.hotel-behringer.de>

oder andere Gasthöfe / Hotels in Volkach:

[www.volkach.de](http://www.volkach.de)

Verkehrsamt der Stadt Volkach (Tel. 09381-40112,

[tourismus@volkach.de](mailto:tourismus@volkach.de))

## AKTUELLE BEITRÄGE ZUR KRISTALLZÜCHTUNG

### Beiträge zur Kristallzucht und Charakterisierung der ferroelektrischen tetragonalen Wolframbronze Kalium-Lithium-Niobat ( $K_3Li_2Nb_5O_{15}$ – KLN)

Dissertation von **Dr. Serguei Podlojenov**, angefertigt am **Institut für Kristallographie der Universität zu Köln**

DFG-Projekt Mu 1006/5-1:  
Optisch homogene Einkristalle ferroelektrischer tetragonaler Bronzen von reinem und dotiertem  $K_3Li_2Nb_5O_{15}$  (KLN) und  $K_3Li_2(Ta_xNb_{1-x})_5O_{15}$  (KLNT)

#### Abstract

Einkristalle mit der Struktur der tetragonalen Wolframbronzen (TTB) stellen ein potentiell Material für nichtlinear optische Anwendungen dar. In dieser Substanzfamilie ist Kalium-Lithium-Niobat (KLN) die einzige bislang bekannte ferroelektrische Substanz mit der Struktur der geschlossenen TTB, woraus im Vergleich zu anderen TTB günstige Eigenschaften in Bezug auf nichtlinear optische Anwendungen resultieren, wie z. B. die erhöhte Zerstörschwelle für die Einstrahlung von Laserlicht.

KLN besitzt ein beträchtlich ausgedehntes Stabilitätsgebiet entlang der 30 Mol-%  $K_2O$ -Linie in Richtung höherer  $Nb_2O_5$ -Gehalte. Der exakte Stöchiometriepunkt wird dabei vom Stabilitätsgebiet nicht überdeckt. KLN schmilzt inkongruent zwischen 980 und 1140 °C in Abhängigkeit vom Nb-Gehalt. Ist der  $Nb_2O_5$ -Gehalt in der Ausgangsschmelze geringer als 49 Mol-%, so findet im Abkühlprozess zwischen 400 und 500 °C eine ferroelektrische Phasenumwandlung von 4/mm nach 4mm statt.

Unsere Untersuchungen zum ternären Phasendiagramm  $K_2O$ - $Li_2O$ - $Nb_2O_5$  haben Angaben von Scott et al. (1970) qualitativ bestätigt, zeigten aber in den meisten Fällen ca. 20-50 K tiefere Temperaturwerte. Die zu KLN gehörige Liquidusfläche erstreckt sich dabei über den Bereich von ca. 30 - 38 mol %  $K_2O$ .

Rissfreie bzw. rissarme Einkristalle von undotiertem und Mg-dotiertem KLN wurden mit Hilfe der Czochralski-Technik gezüchtet.

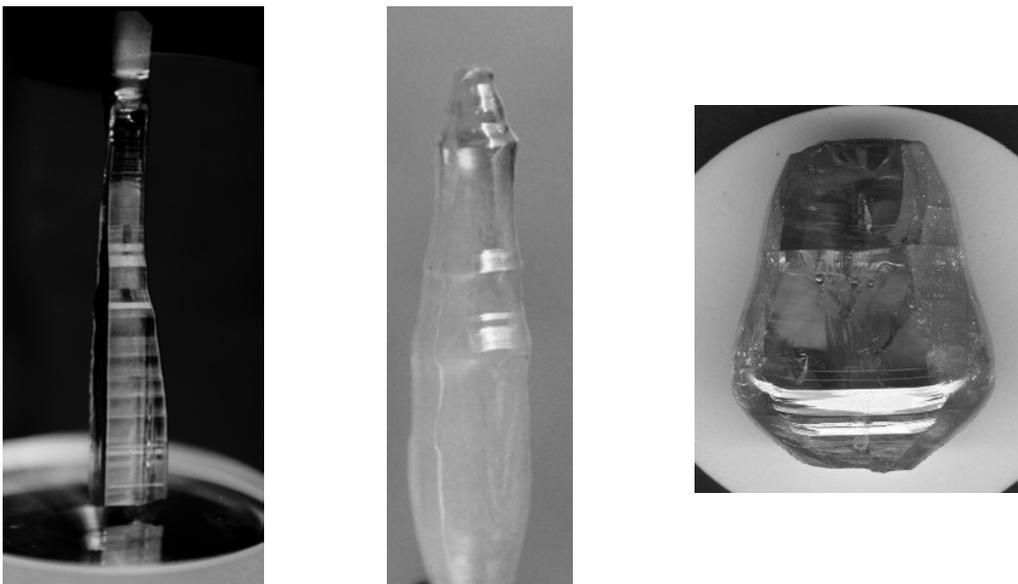
Zur Verringerung der Temperaturgradienten im wachsenden Einkristall wurde eine Kombination aus einem aktiven (Induktions-Doppelspule) und einem passiven Nachheizer in Form eines Platinzylinders eingesetzt. Hierdurch wurde der axiale Temperaturgradient beträchtlich reduziert. Die optimalen Zuchtungsbedingungen für die Czochralski-Einkristallzucht liegen für die Translationsrate bei 0,7 mm/h und für die Rotationsrate bei  $10 \text{ min}^{-1}$ . Die Rissbildung (i.d.R. parallel (001)) in größeren KLN-Kristallen (Durchmesser mehr als 7 mm) war nicht zu vermeiden. Ein möglicher Grund dafür ist ein mit der thermomechanischen Analyse bewiesenes stark anisotrope Verhalten in der thermischen Ausdehnung der ferroelektrischen KLN-Phase:

$$(\alpha_{11}=31,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}; \alpha_{33}=-19,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ für } 350 \text{ °C}).$$

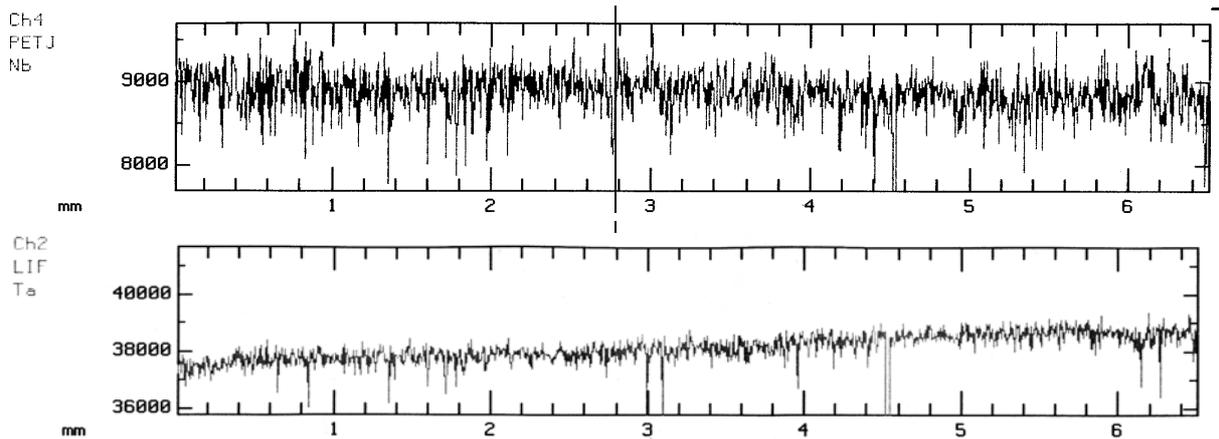
Auch wurde eine Reihe von Kalium-Lithium-Tantalat-Niobat (KLNT) - Mischkristallen mit der Czochralski-Technik gezüchtet. Optisch klare Einkristallproben bis zu einer Größe von  $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}$  wurden dabei erhalten. Wegen des großen Verteilungskoeffizienten von Ta ( $k > 2$ ) musste die Translationsrate auf bis zu 0,3 mm/h reduziert werden (Abb.1).

Die Eignung zur Frequenzverdopplung der KLN-Kristalle wurde mit Hilfe von Pulver-SHG-Tests untersucht. Es war eine klare Korrelation zwischen der Lage des Schmelzpunkts und der Intensität der SHG-Strahlung zu beobachten. Als Grenzwert zwischen der paraelektrischen und ferroelektrischen KLN-Phase kann eine Schmelztemperatur von 1060°C angenommen werden. Dagegen waren alle gezüchteten KLNT-Mischkristalle paraelektrisch.

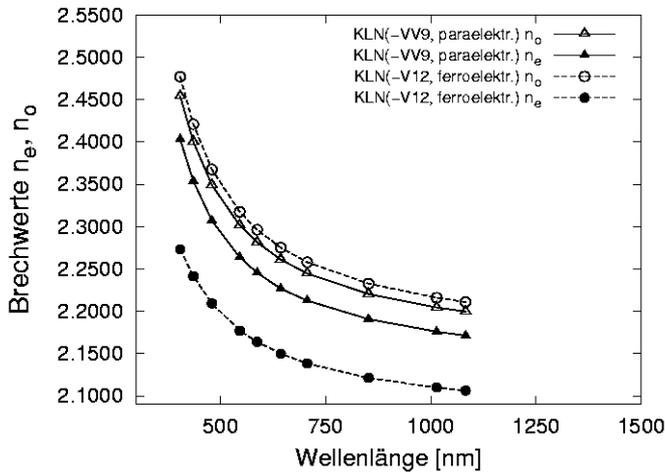
Die Zusammensetzung der gezüchteten Einkristalle wurde mit Hilfe der RFA- und AAS-Analyse festgestellt; axiale und radiale Konzentrationsprofile wurden mittels Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) bestimmt. Diese hat gezeigt, dass eine Segregation in den hier gezüchteten KLN-Einkristallen vernachlässigbar klein ist. In KLNT-Einkristallen wurde jedoch eine Ta-Segregation in der Größenordnung von ca. 1 Mol-% / 1 cm Kristalllänge festgestellt.



**Abb. 1: Mit der Czochralski-Technik gezüchtete KLN-Einkristalle:**  
**Links:** Paraelektrische KLN-Phase (~59 mol % Nb im Kristall)  
**Mitte:** Ferroelektrische KLN-Phase (~53 mol % Nb)  
**Rechts:** KLNT-Mischkristall mit  $x=0,5$



**Abb. 2: Mit der Mikrosonde bestimmte Nb- und Ta-Konzentrationen**  
 Abszissenachse – Einkristall-Länge in mm,  
 Ordinatenachse – Elementkonzentration in **Counts** (proportional zu Gew. %)



**Abb. 3: Die Brechwerte von KLN**

Die ferroelektrische Phasenumwandlung von KLN wurde mit der DSC, mit Dielektrizitätsmessungen und der temperaturabhängigen Messung der Doppelbrechung im Bereich von 470-480 °C eindeutig nachgewiesen. Die Phasenumwandlung kann als 2. Ordnung nach den Messungen der Dielektrizitätskonstanten und der temperaturabhängigen Doppelbrechung klassifiziert werden. DSC-Messungen zeigten jedoch eine geringe Wärmetönung im Bereich der Phasenumwandlung, was auf einen Anteil 1. Ordnung hinweist.

Die Brechwerte der paraelektrischen und der ferroelektrischen KLN-Phase wurde mit einer Genauigkeit von  $4 \cdot 10^{-5}$  gemessen und liegen zwischen 2,10 und 2,50. Es fällt auf, dass die Doppelbrechung in der ferroelektrischen Phase deutlich größer ist als in der paraelektrischen. Die Brechwerte der ferroelektrischen KLN-Einkristalle lassen die Erzeugung der zweiten Harmonischen bei einer Grundwellenlänge von 910nm mit nichtkritischer Phasen Anpassung bei Raumtemperatur (Typ I) zu.

Als ein noch zu bearbeitendes Problem im Umfeld von KLN-Untersuchungen kann man die Herstellung eindomäniger, defektarmer KLN-Einkristalle durch elektrisches Polen nennen.

**Literatur:**

S. Podlojenov, M. Burianek, M. Mühlberg.  
 Czochralski growth and the constitutional study on the single crystals of potassium lithium niobate (KLN), Cryst. Res. Technol. **38** (12) (2003), 1015 - 1022

## Gasphasenzüchtung von Siliziumkarbid – Ein Verfahren bewährt sich in der industriellen Produktion

E. Schmitt, M. Rasp, T. Straubinger, R. Eckstein

SiCrystal AG,  
Paul-Gossen-Straße 100, 91052 Erlangen,  
[www.sicrystal.de](http://www.sicrystal.de)

### 1. Einleitung

Die Historie der Einkristallzüchtung von Siliziumkarbid geht zurück bis ins 19. Jahrhundert als Acheson [1] sein Verfahren zur Herstellung von Siliziumkarbid-Pulver als Patent anmeldete. Hierbei entstehen als Nebenprodukt Siliziumkarbid-Plättchen mit einer Fläche von einigen Quadratzentimeter. Umso erstaunlicher erscheint es, dass erst im Jahre 1978 ein Verfahren zur Volumenkristallzüchtung unter Vorgabe eines einkristallinen Keimes veröffentlicht wurde [2]. Dies war der Startschuss für umfangreiche weltweite Entwicklungsaktivitäten auf diesem Gebiet.

Siliziumkarbid ist bei gleicher chemischer Zusammensetzung in unterschiedlichen kristallinen Modifikationen stabil. Volumenkristalle mit ausreichender Größe und Qualität konnten bisher jedoch ausschließlich in den hexagonalen Modifikationen 6H und 4H hergestellt werden. Während 6H-Wafer bereits in großen Stückzahlen zur Herstellung von Leuchtdioden eingesetzt werden, entsteht parallel ein ständig wachsender Markt für Leistungselektronik, basierend auf 4H-Substraten.

Die SiCrystal AG, gegründet 1996, entwickelt und produziert 6H- und 4H-Substrate nach dem sogenannten PVT-Verfahren aus der Gasphasenzüchtung (PVT = Physical Vapour Transport). Einige Resultate werden in diesem Beitrag vorgestellt.

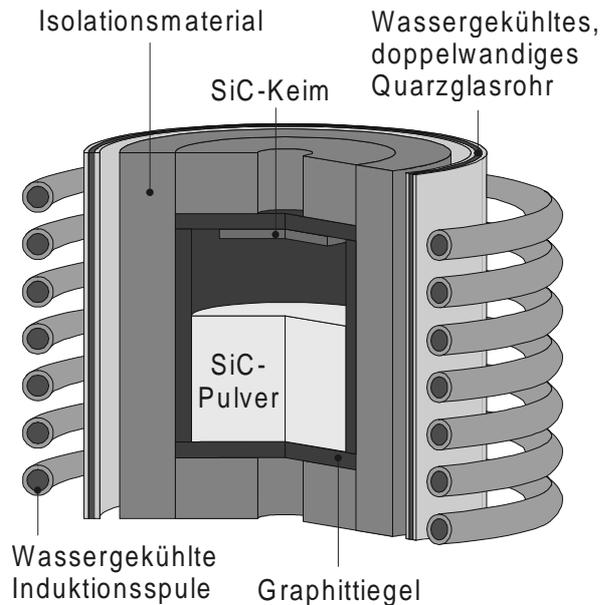


Abb. 1: Anordnung zur Gasphasenzüchtung von SiC

### 2. Ergebnisse

#### 2.1 PVT-Verfahren allgemein

Der Innenaufbau einer Siliziumkarbid-Züchtungsanlage ist in Abbildung 1 dargestellt. Die präzise Steuerung der thermischen Randbedingungen bei Temperaturen über 2000°C und des Prozessdruckes von kleiner 100 mbar ist ausschlaggebend für die Kontrolle der Vorgänge *Sublimation* des Quellenmaterials, *Transport* der gasförmigen Spezies und *Wachstum* auf der Keimoberfläche.

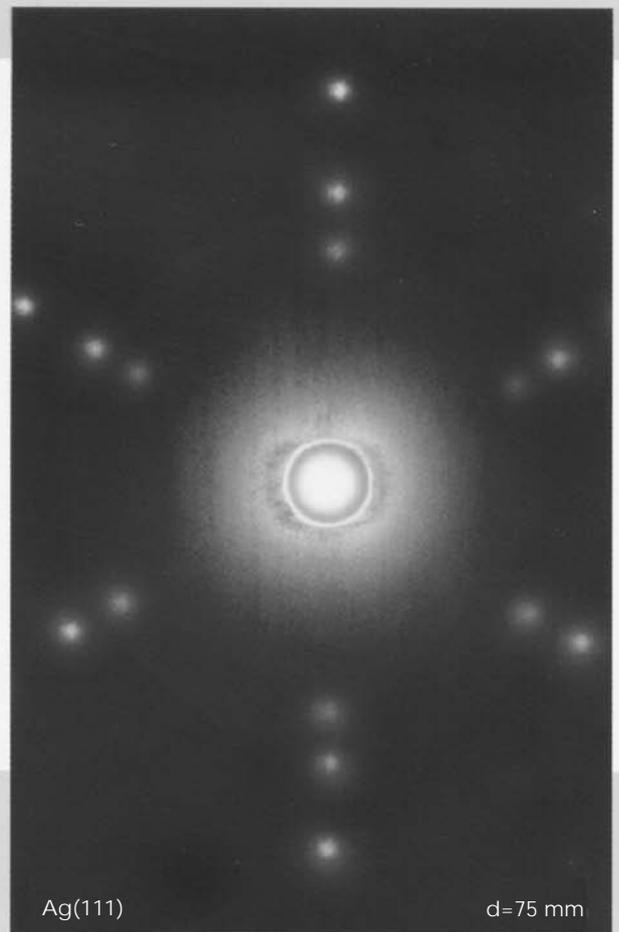
## Material-Technologie & Kristalle GmbH

für Forschung, Entwicklung und Produktion

- ▲ **Kristallzüchtungen von Metallen und deren Legierungen**
- ▲ **Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)**
- ▲ **Reinstmaterialien (99,9 – 99,99999 %)**
- ▲ **Substrate (SrTiO<sub>3</sub>, MgO, YSZ, NdGaO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.)**
- ▲ **Wafer (Si, Ge, ZnTe, GaAs und andere HL)**
- ▲ **Sputtertargets**
- ▲ **Auftragsforschung für Werkstoffe und Kristalle**



Im Langenbroich 20  
D-52428 Jülich  
Tel.: 02461/9352-0, Fax – 11  
e-mail: [service@mateck.de](mailto:service@mateck.de)  
<http://www.mateck.de>  
(inkl. Online-Katalog)



Ag(111)

d=75 mm

Darüber hinaus sind Effekte wie Graphitisierung, Zusammensetzung der Gasphase an der Phasengrenze, Form der Phasengrenze und Temperaturverteilung im wachsenden Kristall von elementarer Bedeutung für die Herstellung qualitativ hochwertiger Kristalle. Gerade diese Effekte sind während des Züchtungsprozesses messtechnisch nur schwer zu erfassen und können erst nachträglich durch Interpretation der experimentellen Ergebnisse quantifiziert werden. Immer stärkerer Bedeutung kommt deshalb dem Einsatz der numerischen Simulation zu. Bei der SiCrystal wird zu diesem Zweck die Software „Virtual Reactor“ der Fa. STR Compusoft verwendet.

**2.2. Simulation und Experiment**

Einen beträchtlichen Anteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nehmen systematische Vergleiche von Simulation und Experiment ein. Entscheidend für die Verlässlichkeit numerischer Berechnungen ist die exakte Kenntnis der physikalischen Kenngrößen aller verwendeten Materialien im betrachteten Parameterraum. Ergebnisse zu diesen Untersuchungen sind in Abbildungen 2a-d dargestellt. Für einen 2"-6H-Kristall sind die Spannungsverteilung (2a), der radiale Temperaturgradient (2b) und KOH-geätzte Kristallbereiche (2c, 2d) abgebildet. Die Resultate demonstrieren eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment. In Bereichen des Kristalls mit hohen Spannungen tritt verstärkt Versetzungsbildung auf. Das Auftreten von Kleinwinkelkorngrenzen wird ebenfalls beobachtet.

**2.3. Materialverbesserung bei der Kristallmodifikation 4H**

Eine konsequente Anwendung der Erkenntnisse aus der Simulation ist für die Züchtung von 4H-Material von besonderer Bedeutung, da der Stabilitätsbereich dieser Kristallmodifikation verglichen mit 6H noch begrenzter ist [3]. Da 4H-Substrate der Leistungselektronik eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen müssen, werden sie mit hoher Stickstoffdotierung ( $N_D - N_A > 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) hergestellt. Dies erhöht die Härte des Materials und begünstigt zudem die Bildung von Stapelfehlern [4].

Durch kontinuierliche Optimierung des thermischen Feldes ist es gelungen die Qualität der 4H-Kristalle entscheidend zu verbessern. Die Mikroröhrendichte von Produktionskristallen konnte von  $< 100 \text{ cm}^{-2}$  auf  $< 30 \text{ cm}^{-2}$  gesenkt werden. Des weiteren gelang es, durch eine Optimierung der Form der Phasengrenze und der Kontrolle der Zusammensetzung der Gasphase die Homogenität der elektrischen Parameter zu verbessern. In Abbildung 3 ist ein 4-Spitzen-Mapping eines 2"-4-Wafers dargestellt. Die Standardabweichung von 4,06 % vom Mittelwert  $16,8 \text{ m}\Omega\text{cm}$  ist zufriedenstellend. Der dargestellte Wafer besitzt bei einer Nettodotierung von  $1,2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  eine Beweglichkeit von  $70 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ .

Auch für die Aufweitung des einkristallinen Durchmessers stellt die Simulation eine wichtige Optimierungshilfe dar. Sie liefert wertvolle Informationen über die Isothermenverteilung und chemische Umgebung, welche für die Steuerung des lateralen Stufenwachstums im Randbereich der Kristalle ausschlaggebend sind.

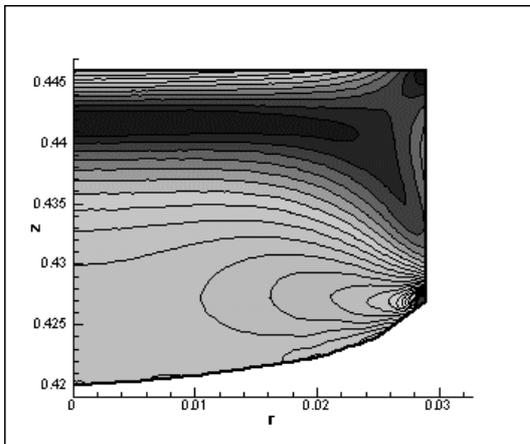


Abb. 2a  
Berechnete Spannungsverteilung eines 2"-6H-Kristalls. Maximum der Spannung im Randbereich des Kristalls

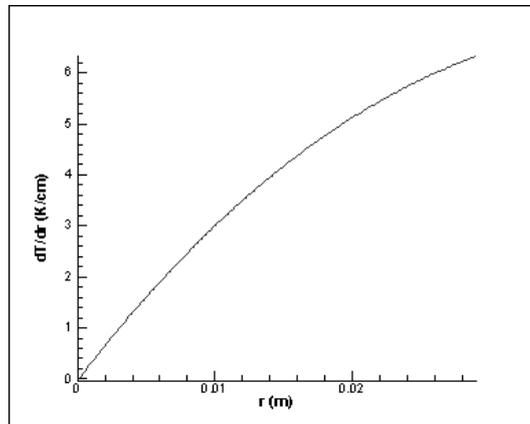


Abb. 2b  
Radialer Temperaturgradient eines 2"-6H-Kristalls (bei  $Z = 0,43$ ). Starker Anstieg zum Kristallrand.

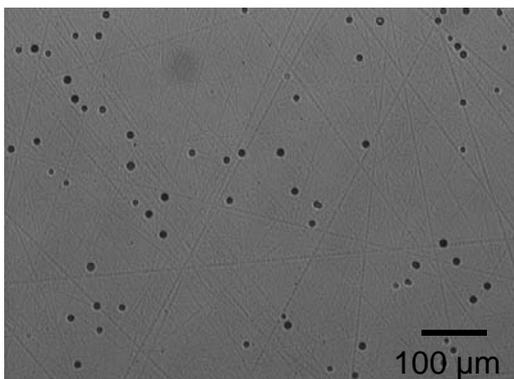


Abb. 2c  
KOH-geätzter Bereich bei  $r = 0,015$  mit einer EPD von  $9 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-2}$

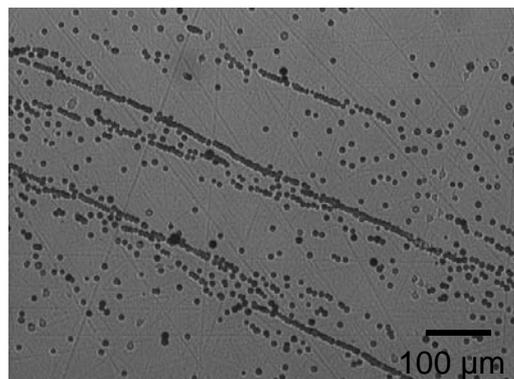


Abb. 2c  
KOH-geätzter Bereich bei  $r = 0,027$  mit einer EPD von  $8 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2}$ . Linienhaft angeordnete Ätzgruben dekorieren Kleinwinkelkorngrenzen

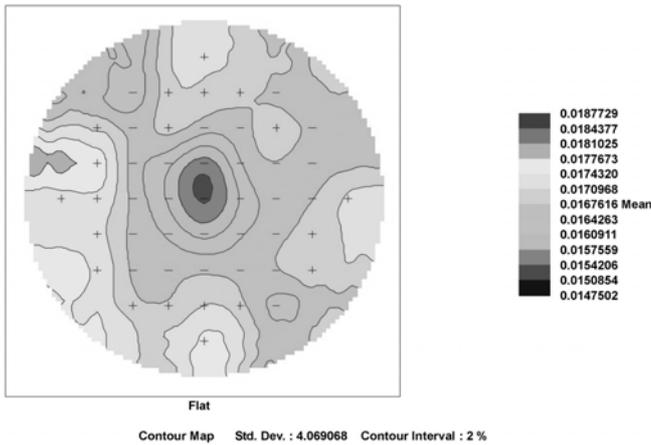


Abb. 3: 4-Spitzen-Mapping eines 2"-4H-Wafers (Messwerte in  $\Omega\text{cm}$ )

Erste 3"-4H-Musterwafer zeigen bereits eine kristalline Qualität, welche nahezu dem 2"-Standard entspricht. In Abbildung 4 ist ein Mapping der Mikroröhrendichte zu sehen. Die mittlere Mikroröhrendichte des Wafers ist kleiner  $50\text{ cm}^{-2}$ . Die Produktionseinführung von 4H-Standarddurchmessern bei der SiCrystal AG ist aus Abbildung 5 dargestellt.

**3. Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte**

Neben der weiteren Erhöhung des Kristalldurchmessers ist vor allem die Reduzierung der Defektdichte, insbesondere bei der Kristallmodifikation 4H, von zentraler Bedeutung. Für Anwendungen in der Hochleistungselektronik werden großflächige, defektarme Substrate benötigt. Mikroröhrendichten von  $< 1\text{ cm}^{-2}$  und Versetzungsdichten  $< 10^3\text{ cm}^{-2}$  werden hier von Bauelementherstellern als Anforderungen genannt.

Nach der Opto- und Leistungselektronik wird voraussichtlich auch für Hochfrequenzbauelemente auf Siliziumkarbid in naher Zukunft ein weiterer Wachstumsmarkt entstehen. Hierfür werden hochohmige - sog. semiisolierende - Substrate benötigt. Im Rahmen eines F&E-Vorhabens ist es der SiCrystal bereits gelungen erste Muster dieses Materials herzustellen. Durch weitere Verbesserungen der kristallinen und elektrischen Eigenschaften soll die Eignung der SiCrystal-Substrate für die GaN-Hochfrequenzelektronik unter Beweis gestellt werden.

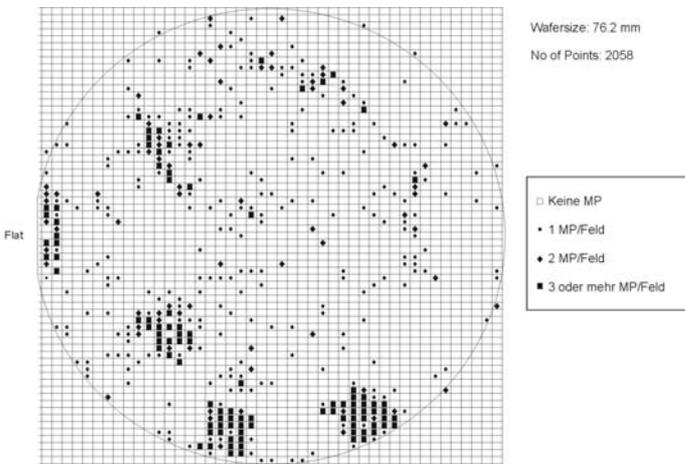


Abb. 4: Mikroröhren-Mapping eines 3"-4H-Wafers

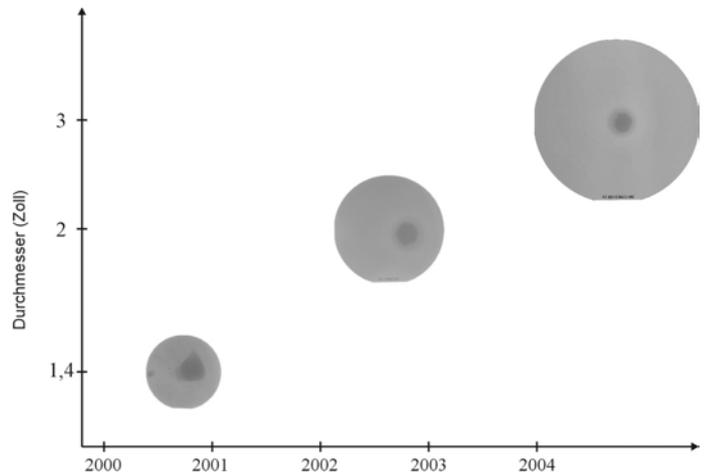


Abb. 5: Produktionseinführung von 4H-Wafern bei der SiCrystal

**4. Zusammenfassung**

Das Verfahren der Gasphasenzüchtung wird bei der SiCrystal AG erfolgreich für die Herstellung einkristalliner Siliziumkarbid-Kristalle im industriellen Maßstab eingesetzt. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Herstellungsverfahrens wird den ständig steigenden Anforderungen der Bauelementhersteller entsprochen. Durch die Entwicklung von semiisolierendem Siliziumkarbid-Wafern soll die Hochfrequenzelektronik als zukünftiger Absatzmarkt erschlossen werden.

**Danksagung**

Die Autoren bedanken sich für finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter O1BM073 sowie der Bayerischen Forschungstiftung unter 362/99. Besonderer Dank gilt den an den Forschungsvorhaben beteiligten Institutionen *Institut für Werkstoffwissenschaften 6* (FAU Erlangen), dem *Lehrstuhl für Angewandte Physik* (FAU Erlangen) und dem *Institut für Kristallzüchtung*, Berlin.

**Literatur**

- [1] E.G. Acheson, US-Patent 492,767 (1893)
- [2] Yu. M. Tairov, V.F. Tsvetkov, J. Cryst. Growth 43 (1978) 209-212
- [3] W.F. Knippenberg, Philips res. Repts. 18 (1963) 161-274
- [4] M. Naitoh, et al., J. Cryst. Growth 237-239 (2002) 1192-1195

## ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

### 700 Besucher bestaunen die Erlanger Kristallzuchtung.

<<Nur keine falsche Bescheidenheit. „Wir sorgen dafür, dass die deutsche Wirtschaft Weltspitze bleibt“, erklärt Oliver Gräbner den schwer beeindruckten Besuchern im Erlanger Fraunhofer-Institut IISB. Im Foyer des ersten Stocks beschreibt der junge Physiker mit einfachen Worten die Verdienste seines Hauses bei der Verfeinerung der Züchtung riesiger Siliciumkristalle, des wichtigsten Rohstoffs der Chip-Produktion. Für einen kurzen, stolzen Moment hat man tatsächlich das Gefühl, das nach einem Herrn Czochralski benannte Verfahren wenigstens grob kapiert zu haben. Eigentlich hat sich die Lange Nacht der Wissenschaften da schon rentiert.>>

So beginnt der Leitartikel in den Nürnberger Nachrichten vom 27. Oktober 2003, der anlässlich der Langen Nacht der Wissenschaften erschienen ist. Rund 12 000 Interessierte sind am 25. Oktober 2003 ausgeschwärmt, um in der Langen Nacht der Wissenschaften einen Blick in 80 Forschungsstellen der Region Erlangen-Nürnberg-Fürth zu werfen.

Rund 700 Besucher fanden dabei zwischen 19:00 und 1:00 Uhr den Weg zum Fraunhofer IISB. Dicht umlagert war die Ausstellung zur Kristallzuchtung, die im Foyer des IISB aufgebaut war. Dort standen die Wissenschaftler des IISB und des Instituts für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen bereit, um die Besucher von 6 bis 80 von der Kunst und der Wissenschaft der Kristallzuchtung zu faszinieren. Mit Schautafeln, Exponaten und Filmen wurde dem wissbegierigen Publikum erklärt, was Kristalle sind, wozu man sie braucht und wie man sie züchtet. Nach einer Stärkung in der Cafeteria bestaunten dann die Besucher bei Führungen durch die Reinräume, wie Halbleiterchips hergestellt werden. Anschließend ließen sie sich noch von leistungselektronischen Zaubertricks verzaubern.

Im Vorfeld zu diesem Event wusste niemand so recht, welche Resonanz uns die Lange Nacht der Wissenschaften bringen würde. Es gab einige skeptische Stimmen, die meinten, dass sich für uns doch sowieso niemand interessierte. Diese Bedenken sind aber mit dem riesigen Besucheransturm mehr als nur ausgeräumt worden.

Auch wenn bei dem einen oder anderen nach 4 Stunden ununterbrochenen Redens die Stimme weggeblieben ist, es tat spürbar gut, das Faszinosum unserer Arbeit mal ins breite Volk tragen dürfen. Deshalb werden wir wieder dabei sein, wenn es wieder eine derartige Veranstaltung geben wird.

#### Ansprechpartner:

Jochen Friedrich  
Telefon 0 91 31 /7 61-3 44  
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de  
www.kristallabor.de



**Prof. Georg Müller erklärt den Besuchern die Züchtung von Siliciumkristallen.**



**Jeder Besucher, so hatte man den Eindruck, kam auf seine Kosten. Der pensionierte Ingenieur genauso wie die Schüler.**

## Erlanger Kristalllabor erhält den mit 50 000 Euro dotierten Wissenschaftspreis des Stifterverbandes

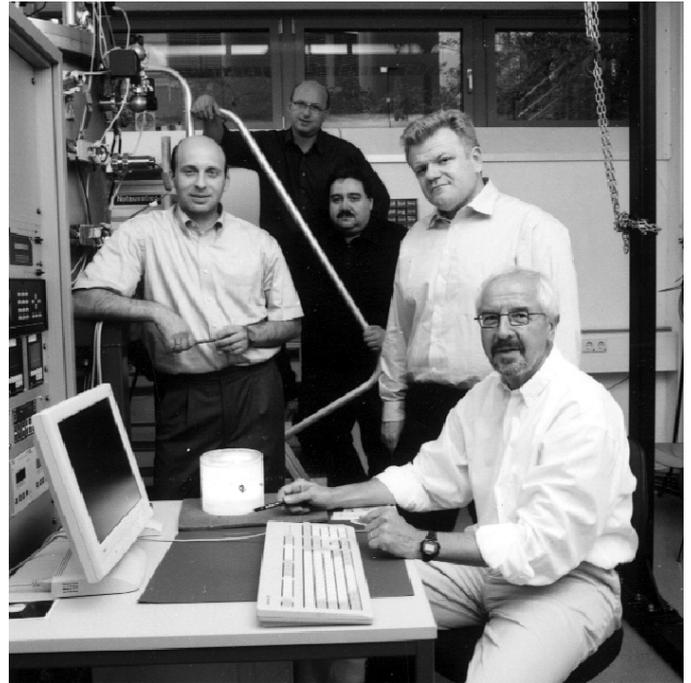
Im Rahmen des „Fests der Forschung“ der Fraunhofer Gesellschaft wurde am 22.10.2003 in Duisburg der mit 50 000 Euro dotierte Wissenschaftspreis des "Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft" an Mitarbeiter des Fraunhofer IISB und der Firma SCHOTT Lithotec verliehen. Der Preis wurde von Dr. Oetker vor etwa 1000 Teilnehmern an die beteiligten Wissenschaftler für ihre erfolgreiche Züchtung hochreiner Kalziumfluoridkristalle, die in der Halbleiterindustrie zur Herstellung von Mikrochips zum Einsatz kommen, vergeben. Unter den Ehrengästen war auch der Bundeskanzler Gerhard Schröder.

Etwa alle zwei Jahre verdoppelt sich die Anzahl der Transistoren auf einem Mikrochip und damit seine Leistung. Um dies auf gleicher Fläche zu realisieren, müssen die Strukturen und Abstände der Chipelemente immer kleiner werden. Ein wesentliches Problem dabei ist das Licht, denn die Strukturen werden durch Belichtung auf Wafer übertragen. Mit jeder Chipgeneration wird kurzwelligeres Licht benötigt, denn je kurzwelliger die inzwischen eingesetzte UV-Strahlung ist, desto feinere Strukturen sind möglich.

Beim Sprung auf unter 100 Nanometer Wellenlänge wird ein spezieller Laser als Quelle genutzt. Seine energiereiche Strahlung lassen herkömmliche Glaslinsen schlecht oder nicht mehr hindurch. Die in diesem Bereich sehr guten optischen Eigenschaften von Calciumfluorid (mineralogisch Flussspat) sind hingegen lange bekannt. Auf Anregung seines Industriepartners SCHOTT Lithotec nahm sich Professor Georg Müller, Kristallzüchter und Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB, die Natur zum Vorbild. Doch hier sind nur kleinere Kristalle von mittlerer Reinheit zu finden – für technische Anwendungen ungeeignet. Inzwischen züchten die beiden Partner größere und perfektere Kristalle synthetisch.

»Für die Kristallzüchtung braucht man vor allem viel Wissen und viel Zeit.«, betont Müller. »Ein großer Teil der Zeit vergeht neben der langwierigen Versuchsvorbereitung dadurch, dass das Kristallwachstum sehr langsam ablaufen muss.« Nur wenn der Übergang von geschmolzenem Material in die feste kristalline Phase allmählich und spannungsfrei erfolgt, erhält der Kristall die benötigte hohe Perfektion. Viel Zeit für aufwendige Versuchsreihen ist jedoch nicht vorhanden, denn auch Teams aus Japan und den USA suchen nach dem perfekten Kristall. Deshalb setzen die Forscher Computersimulationen ein, um die beste Rezeptur zu finden. Ihnen gelingt es, die über 70 Parameter wie Druck, Temperatur und Form des wachsenden Kristalls aufeinander abzustimmen – noch bevor sie im Labor real gezüchtet werden.

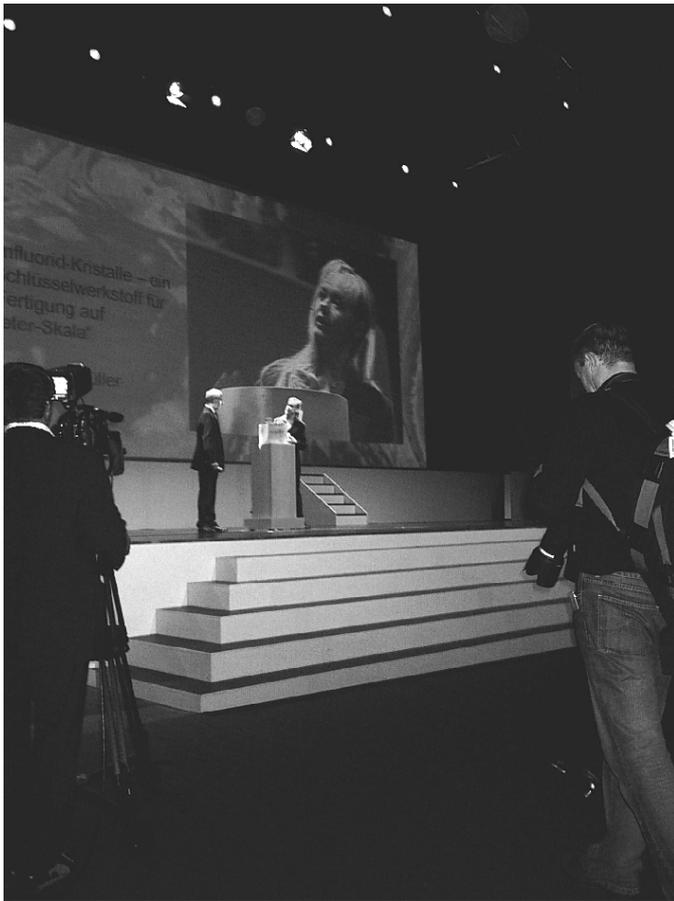
Für ihre Leistungen erhalten Gheorghe Ardelean, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Alexander Molchanov und Prof. Georg Müller vom Fraunhofer IISB und das Team um Dr. Lutz Parthier, Leiter für Forschung, Entwicklung und Technologie der Produktgruppe Crystals bei SCHOTT Lithotec den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes. Das Unternehmen liefert bereits erste Linsen aus Calciumfluorid an Anlagenbauer aus. So erobert es sich einen Marktvorsprung als weltweiter Zulieferer der Chipindustrie.



Die Stifterverbandspreisträger, hier ohne ihre Kollegen von SCHOTT, versammeln sich um einen Kristallzylinder: Alexander Molchanov, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Gheorghe Ardelean und Prof. Georg Müller (von links).



Große Medienpräsenz bei der Rede des Bundeskanzlers Gerhard Schröder am Fest der Forschung in Duisburg.



**Georg Müller auf der Bühne im Gespräch mit der Moderatorin Franziska Rubin.**



**Kristallzüchter und Förderer der Kristallzüchtung unter sich: (von rechts) Ewald Mörsen (CGS), Helmut Schillalies (Fraunhofer Zentrale), Peter Rudolph (IKZ), Georg Müller (Fraunhofer IISB) mit Frau**

**Ansprechpartner:**

Dr. Jochen Friedrich  
Abteilung Kristallzüchtung  
Fraunhofer IISB  
Schottkystrasse 10  
91058 Erlangen  
Tel. 09131-761-344  
Email: jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de  
www.kristalllabor.de

## **Georg-Waeber-Innovationspreis 2002 – Perfekte Kristalle für die Mikroelektronik durch Software vom IISB**

Marc Hainke, Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Matthias Kurz, Michael Metzger und Artur Pusztai wurden am 11. Juli 2003 im Rahmen des 27. Tages der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik der Universität Erlangen - Nürnberg mit dem Georg-Waeber-Innovationspreis 2002 des Förderkreises Mikroelektronik e.V. geehrt.

Das Team bestehend aus Mitarbeitern der Abteilung Kristallzüchtung des Fraunhofer IISB und ehemaligen Mitarbeitern des Kristalllabors am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen Nürnberg wurden für Ihre hervorragenden, in Teamwork erbrachten Leistungen bei der "Entwicklung und Kommerzialisierung des Softwareprogramms CrysVUn zur Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen für die Mikroelektronik" ausgezeichnet.

In der Mikroelektronik spielen Halbleitereinkristalle eine Schlüsselrolle. Auf den in sogenannte Wafer geschnittenen Einkristallen werden die elektronischen Bauelemente gefertigt, die heute unser Leben bestimmen, wenn wir Computer, Mobiltelefon, Fernsehgerät, Auto usw. nutzen. Dies gilt nicht nur für den Basiswerkstoff, den Halbleiter Silizium, sondern auch für etliche in der Halbleitertechnologie eingesetzte Komponenten wie z.B. Kalziumfluorid-Einkristalle als Linsenmaterial für die Lithographiegenerationen von morgen.

Für die Herstellung dieser Kristalle – genannt "Kristallzüchtung" – ist der Einsatz der numerischen Prozesssimulation heute ein unverzichtbares Hilfsmittel geworden, vor allem um in der Industrie Zeit und Kosten für die Anlagen- und Prozessentwicklung zu sparen.

Dem Preisträger-Team ist es gelungen, mit CrysVUn innerhalb von wenigen Jahren ein völlig neues Softwareprogramm zu entwickeln, das sich neben seiner Leistungsfähigkeit vor allem auch durch eine enorme Benutzerfreundlichkeit auszeichnet. Die Software erfasst den komplexen Aufbau einer Kristallzüchtungsanlage durch automatisches Einlesen einer CAD-Konstruktionszeichnung und berechnet die für das Kristallwachstum relevanten Phänomene unter Verwendung modernster Verfahren der Angewandten Mathematik und Informatik.

Ein bedeutendes Leistungsmerkmal, mit dem CrysVUn bis vor kurzem ein internationales Alleinstellungsmerkmal innehatte, ist der Berechnungsmodus der "Inversen Modellierung". Damit können die Wachstumsbedingungen für einen Kristall vorgegeben werden und das Programm berechnet dazu die Prozessparameter der Kristallzüchtungsanlage, z.B. die Auslegung der Heizleistungen.

Der Erfolg von CrysVUn beruht neben den oben genannten Leistungsmerkmalen vor allem auch darauf, dass es auch von Personen ohne spezielle Softwarekenntnisse nach einwöchiger Schulung erfolgreich benutzt werden kann und dass ein normaler PC zur Bearbeitung von Industrieproblemen ausreicht.

Der Innovationspreis wird jährlich für herausragende wissenschaftliche Leistungen ausgeschrieben und ist mit 3000 Euro dotiert. Bei der Beurteilung durch die Jury werden insbesondere der Erkenntnisfortschritt im Bereich Mikroelektronik berücksichtigt und Wert auf praktische Verwertung durch die gewerbliche Wirtschaft gelegt.

Der Förderkreis Mikroelektronik e.V. ist ein Zusammenschluss von ca. 30 Unternehmen, zwei Fraunhofer-Instituten, vier Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken. Er leistet einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Mikroelektronik, die nach wie vor eine zentrale Innovationskraft auf vielen technischen Gebieten ist.

Der Förderkreis verleiht auch jährlich einen Jugendpreis, vergibt Stipendien, fördert technisch-wissenschaftliche Veranstaltungen und Kooperationen zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung.

#### Kontakt

Dr. Jochen Friedrich  
(Anschr. siehe oben)



**Die Preisträger Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger, Flaviu Jurma, Marc Hainke, Dr. Thomas Jung und Artur Psuztai (von links) mit dem Vorsitzenden des Förderkreises Mikroelektronik e.V. Dr. Dietrich Ernst.**

## Forschungspreis der DGKK an Bernhard Birkmann

**Defektarme GaAs-Kristalle vom Erlanger Kristalllabor ermöglichen Einsatz von Hochleistungslaserdioden für innovative Materialbearbeitungstechnologien.**

Dr.-Ing. Bernhard Birkmann, Mitarbeiter der Abteilung Kristallzüchtung des Fraunhofer IISB, wird mit dem Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. (DGKK) geehrt.

Herr Birkmann erhält die Auszeichnung für seine hervorragenden Leistungen zum Thema "Züchtung und Charakterisierung von versetzungsarmen Silizium-dotierten Galliumarsenid-Substratkristallen". Halbleitereinkristalle aus Galliumarsenid mit hoher struktureller Perfektion werden als Basismaterial für die Herstellung von Hochleistungslaserdioden benötigt, die innovative Präzisionsverfahren in der Materialbearbeitung ermöglichen.

Dem Preisträger ist es gelungen, mithilfe umfangreicher Vorversuche und Modellierungen einen verbesserten Prozess zur Herstellung von Galliumarsenid-Kristallen nach dem Vertikalen Gradient Freeze (VGF) Verfahren mit einem Durchmesser von 3" zu entwickeln. Dabei wirkte sich vor allem die Verbesserung der Wärmeübertragung durch eine Neugestaltung der Tiegelstütze positiv auf den Züchtungsablauf im Konusbereich aus. Hierdurch gelang es auch, das Problem der starken Facettierung mit all seinen

Nachteilen (siehe z.B. Rasp, Birkmann, Müller, J. Crystal Growth 137 (2001) 88) effizient zu lösen.

Der Preisträger führte außerdem sehr detaillierte und systematische Untersuchungen zur Entstehung von Versetzungen während des VGF-Prozesses durch. Er stützte sich dabei auf eigene Messungen mithilfe von Strukturätzen und Infrarottransmission sowie röntgengtopographische Untersuchungen, die am ESCR in Grenoble in Kooperation mit Herrn Dr. Härtwig durchgeführt wurden. Besonders hervorzuheben sind dabei die Untersuchungen zur Versetzungsreduktion im Keimkanal. Mit diesen Ergebnissen konnte erstmals quantitativ der Verlauf einzelner Versetzungen vom Keimbereich bis ans Ende des gewachsenen Kristalls nachgewiesen und interpretiert werden. Basierend auf diesem Kenntnisstand gelangen dann dem Preisträger VGF-Züchtungen von 3" Kristallen mit einer EPD <math>< 30\text{cm}^2</math> von Kristallanfang bis zu Kristallende. Dies gilt bis heute als internationale Spitzenleistung sowohl im industriellen als auch wissenschaftlichen Maßstab.

Herr Dr.-Ing. Birkmann führte die genannten Untersuchungen am Erlanger Kristalllabor des Instituts für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg unter Leitung von Prof. Dr. Georg Müller im Rahmen des bmb+f Verbundprojektes "novalas" (Förderkennzeichen 13N7230) durch.

Der Forschungspreis der DGKK wird für herausragende wissenschaftliche Leistungen von Nachwuchswissenschaftlern ausgeschrieben und ist mit 2500 Euro dotiert. Bei der Beurteilung durch die Jury werden insbesondere der erzielte Erkenntnisfortschritt im Bereich der Kristallzüchtung und des Kristallwachstums berücksichtigt.

#### Kontakt

Dr. Jochen Friedrich  
(Anschr. s. oben)



**Der Preisträger Dr. Bernhard Birkmann vom Fraunhofer IISB.**

**Aktuell und effizient!**

# Der neue ChemPur-Katalog

- Anorganika
- Organika
- Boronsäuren
- reine und reinste Elemente
- Metalle und Legierungen  
in definierten Formen und Reinheiten
- Platin-Laborgeräte

**Handlich, praktisch, übersichtlich!**

**Gratis für Sie!**

Feinchemikalien  
und Forschungsbedarf

chemPUR®



**ChemPur Feinchemikalien und  
Forschungsbedarf GmbH**

Rüppurrer Str. 92 · 76137 Karlsruhe/Germany · Phone + 49 (0) 721 9338140  
Fax +49 (0) 721 47200 · [chempur@compuserve.com](mailto:chempur@compuserve.com) · [www.chempur.de](http://www.chempur.de)

## KRISTALLZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND

### „Ich bin Kristallzüchter“

Roberto Fornari, der neue Direktor des IKZ,  
im Porträt

Roberto Fornari ist seit dem 1. Oktober 2003 der neue Direktor des Institutes für Kristallzüchtung.

Was hat ihn dazu bewogen, an das Berliner Institut zu kommen? „Nun, ich bin Kristallzüchter“, sagt Prof. Fornari, „seit mehr als zwanzig Jahren beschäftige ich mich mit dem Züchten von Kristallen.“ Da liegt es also nahe, an ein Institut zu gehen, wie es wenige gibt weltweit: eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung, die sich nur mit Kristallzüchtung und -bearbeitung befasst. Hinzu kommen die Einbettung in Adlershof – Fornari: „ein sehr guter Standort“ – sowie die zahlreichen Forschungskontakte, die das IKZ bereits jetzt unterhält. „Ich glaube, dass ich mit meinen eigenen Kontakten auch dem Institut dienen kann“, erklärt Fornari.

Unmittelbare Anknüpfungspunkte zum IKZ gibt es genug. Roberto Fornari hat sich schon in seiner Doktorarbeit 1980 mit der Czochralski-Methode – ein Züchtungsverfahren, das am IKZ eine große Rolle spielt – und Galliumarsenid-Einkristallen beschäftigt. Das war an der Universität von Parma. Weitere Stationen seiner Laufbahn waren die staatliche Forschungsorganisation CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) sowie einige Institute im Ausland. 1987 kam Roberto Fornari erstmals nach Deutschland an das Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen. Seither kamen viele weitere Kontakte hinzu, beispielsweise nach Freiburg oder Bonn. Aber auch nach Berlin. Das Institut für Kristallzüchtung kennt er noch aus den Anfangstagen, als es aus dem „Technikum Kristallzüchtung“ des „Zentrums für wissenschaftlichen Gerätebau“ der Akademie der Wissenschaften der DDR hervorgegangen war. Auch zum Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik gibt es Verbindungen.

Der Forscher spricht gut Deutsch. Für ihn selbst jedoch nicht gut genug. „Es ist frustrierend“, sagt Fornari, „wenn ich einem Vortrag nicht zu hundert Prozent folgen kann“. Achtzig oder neunzig Prozent versteht er gleich, doch das ist ihm zu wenig. Deshalb will er sich um einen intensiven Deutschkurs kümmern. Einen Antrag zur Aufnahme in die DGKK hat er schon gestellt – in Deutsch.

Was den Beruf angeht, hat Fornari ebenfalls bereits konkrete Pläne. Zunächst hat er sich mit allen Arbeitsgruppen getroffen,

um die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kennenzulernen und seine Kenntnisse über die derzeitigen Forschungsaktivitäten zu vertiefen. Sein Urteil: „Der Großteil der Projekte ist hoch aktuell.“ Dennoch will der neue Institutsleiter auch neue Schwerpunkte setzen. Über Einzelheiten möchte Prof. Fornari sich noch nicht äußern, es wird jedoch um neue Materialien mit besonders großen Bandlücken gehen sowie um Oxidkristalle. „Wir werden ebenfalls über die Forschung an organischen Materialien nachdenken müssen“, kündigt Roberto Fornari an.

Zunächst will aber der Umzug organisiert werden. Übergangsweise hat der Forschungsverbund Berlin, zu dem das IKZ gehört, ihn im Gästehaus der Initiativgemeinschaft Außeruniversitärer Forschungseinrichtungen in Adlershof (IGAFA) untergebracht. Aber er und seine Frau wollen sich rasch eine Wohnung suchen. „Wenn ich mich für längere Zeit an einem Ort aufhalte, dann will ich mich auch am gesellschaftlichen Leben beteiligen“, sagt Fornari. Theater, Ausstellungen, Konzerte, aber auch an Flüssen entlang spazieren oder Fahrrad fahren – die Interessen des Ehepaars sind vielseitig. Kinder haben die beiden keine. Doch zur Familie gehört noch Toby, der Hund. Welche Rasse? „Hmm...“ – da versagen sowohl Deutsch als auch Englisch. Plötzlich leuchten die Augen Fornaris auf: „Eine Mischung“, sagt er und fügt hinzu: „Eine schöne Mischung.“

#### Stationen aus dem Lebenslauf:

Geboren 1955 in Langhirano südlich von Parma

1974: Diplom in Industrie-Elektronik am Institut Leonardo Da Vinci in Parma

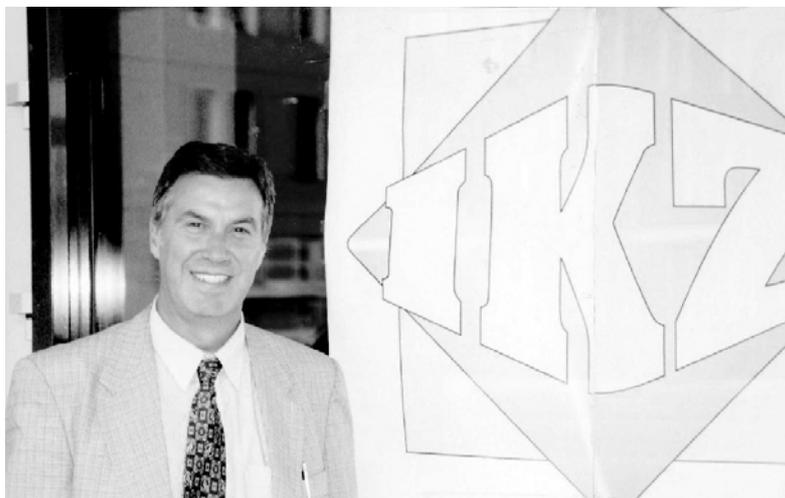
1980: Promotion an der Universität von Parma

Seit 1981: verschiedene Positionen beim Consiglio Nazionale delle Ricerche

Gastaufenthalte in Erlangen, Budapest, Nijmegen (Niederlande) und Prag.

Wissenschaftliche Schwerpunkte: Züchtung von Kristallen (GaAs, InP, GaSb) nach dem LEC-Verfahren (Liquid Encapsulated Czochralski Method), kristalline Dünnschichten (GaN auf Saphir und anderen Substraten); zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden.

Autor: Josef Zens, „Verbundjournal“, Magazin des Forschungsverbundes Berlin e.V.



**Roberto Fornari**

## TAGUNGSBERICHTE

### Sommerschule in Udine: "Moving Discontinuities in Crystalline solid"

#### I. Rasin

AG Numerische Modellierung  
Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

Ich bin Doktorand am Institut für Kristallzüchtung Berlin. Ich arbeite in der Arbeitsgruppe numerische Modellierung und beschäftige mich mit der Modellentwicklung für die Berechnung der Mikrostruktur der Kristalle. Im Rahmen meiner Arbeit am IKZ erfuhr ich von der Internationalen Sommerschule: "Moving discontinuities in Crystalline solid".



#### Das "International Centre for Mechanical Sciences" in Udine

Diese Schule wurde vom "International Centre for Mechanical Sciences" veranstaltet. Das Centre wurde 1986 gegründet, um den Wissensaustausch in der Mechanik und verwandten Gebieten zu fördern. Es befindet sich in einem alten Gebäude (1577) im Zentrum von Udine.

Die Organisation und Durchführung dieser Schule oblag Prof. M. Berveiller von LPMM-ENSAM (Metz) und Prof. F.D. Fischer von der Montanuniversität (Leoben).

Schwerpunkt der Schule waren experimentelle Untersuchungen und Modellentwicklungen für die Phasentrennung und die Evolution der Phasengrenzen im Festkörper.



Vorlesungsraum des "International Centre for Mechanical Sciences"

Im folgenden möchte ich eine kurze Zusammenfassung der Vorlesungen geben.

*Prof. M. Berveiller* (LPMM-ENSAM, Metz) hat über die Mikromechanik des Übergangs von Martensit zu Austenit und andere Effekte in "Shape-Memory" Legierungen berichtet. Bei angelegtem äußeren Druck kommt es zum Gleiten von atomaren Schichten und zur teilweisen Umwandlung der Austenit-Phase in die Martensit-Phase. Dadurch werden unelastische Deformationen generiert. Als Ergebnis besteht der deformierte Stoff aus kleinen Zwillingen der Martensit-Phase (nm-mm, je nach angelegtem Druck). Es wurde ein thermodynamisches Modell für den Phasenübergang entwickelt, das beide Mechanismen zur Bildung unelastischer Deformationen berücksichtigt. Bei Erwärmung der Legierung wandelt sich die Martensit-Phase wieder in die Austenit-Phase um. Auch diese Umwandlung wird durch das thermodynamische Modell beschrieben. Damit ist es möglich, die Hysteresis-Kurve für das Spannung-Temperatur-Diagramm zu berechnen.

*Prof. F.D. Fischer* (Montanuniversität, Leoben) gab eine Einführung in die Kinetik von Phasengrenzen in Festkörpern, die Phasen unterschiedlicher Struktur besitzen. Aufgrund der unterschiedlichen thermodynamischen Stabilität kommt es zu einer Phasenumwandlung. Die Phasen haben eine unterschiedliche Löslichkeit der Fremdstoffe. Deswegen muss bei der Phasenumwandlung eine Diffusion über die Phasengrenze erfolgen. Diese Diffusion ist im allgemeinen der zeitbestimmende Schritt. Es wurden Diffusionsmodelle für unterschiedliche Fremdstoffe dargestellt. Die Diffusionsmodelle unterscheiden sich in den Grundmechanismen. Bei manchen Fremdstoffen befinden sich die Atome auf Zwischengitterplätzen und der Diffusionskoeffizient sowie die Löslichkeit hängt vom Kristallgitter ab. Bei anderen nehmen die Atome Gitterplätze ein und ihre Beweglichkeit hängt von der Leerstellendichte ab. Es sind auch gemischte Diffusionsmechanismen möglich. Für die beiden genannten Mechanismen sind mathematische Modelle entwickelt worden. Es wurden Beispiele für die Berechnung der Evolution von Phasengrenzen gezeigt. Die Ergebnisse stimmten gut mit experimentellen Messungen überein.

*Dr. J. Svoboda* (Institute of Physics of Materials, Brno) betrachtete das Problem der Phasentrennung und Kinetik der Phasengrenze unter dem Gesichtspunkt der Nichtgleichgewicht-Thermodynamik und des Extremalprinzips. Die auf dieser Grundlage von ihm entwickelte Methode erlaubt Modellentwicklungen für unterschiedliche Mehrkomponentensysteme. Die resultierenden partiellen Differentialgleichungen werden numerisch gelöst. Die Modellentwicklungen gehen in die kinetischen Betrachtungen von *Prof. F.D. Fischer* ein.

*Prof. P. Fratzl* (E. Schmid Institute of Materials Sciences, Leoben) stellte zwei numerische Verfahren zur Kinetik der Phasentrennung im Festkörper vor: eine Monte-Carlo-Simulation und ein Phasenfeld-Modell. Entsprechende Prozesse der Strukturbildung aufgrund der Diffusion der unterschiedlichen Komponenten wurden untersucht. Nach der Kristallisation relaxiert der Festkörper durch Separation der Komponenten.

Die entstehenden Spannungen im Festkörper aufgrund der unterschiedlichen Gitterkonstanten verursachen die Bildung einer Mikrostruktur. Die Strukturen hängen von der Leerstellendichte, der Temperatur, der mechanischen Spannung und den Materialparametern ab. In der Monte-Carlo-Simulation wird der Diffusionsprozess vom atomistischen Standpunkt betrachtet. Die Diffusion wird als Platzwechsel zwischen einem Atom und einer Leerstelle definiert.

Der Zusammenhang zwischen Strukturtyp und Wechselwirkungsenergie der Leerstellen sowie der Atome kann im Rahmen des Modells untersucht werden. Auch der Einfluss äußerer Drucks kann berücksichtigt werden. Das Phasenfeld-Modell betrachtet dagegen die Diffusionsprozesse von der makroskopischen Seite. Phasenfeld-Modelle basieren auf der Thermodynamik und deshalb kann man die Wechselwirkung zwischen Diffusionsprozessen und inneren Spannungen berücksichtigen. In der Monte-Carlo-Simulation kann nur ein homogenes Spannungsfeld berücksichtigt werden. Die Form der Mikrostruktur kann mit beiden Methoden berechnet werden, aber quantitative Aussagen sind noch nicht möglich.

*Dr. R. Kienzler* (University of Bremen) hat über ein modernes Verfahren zur Berechnung von Spannungsfeldern und Defektkinetik erzählt.

Basierend auf dem sogenannten Eshelby-Tensor können mit diesem Verfahren die Gleichungen zur Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Defekten mit hoher Effizienz aufgestellt werden. Als Beispiel wurde die Wechselwirkung zwischen einer Versetzung und einem makroskopischen Loch analytisch berechnet. Analytische und numerische Rechnungen können Aussagen über Bewegungsrichtungen von Defekten machen. Eine Berechnung der Kinetik ist allerdings noch nicht möglich.

*Dr. F. Montheillet* (ENSMSE Saint Etienne) hat über die experimentelle Untersuchung und die Modellierung der dynamischen Rekristallisation berichtet. Die Struktur des polykristallinen Stoffes ändert sich wegen der sehr großen äußeren Spannungen, neue Einkristalle bilden sich. Es gibt unterschiedliche Mechanismen für eine neue Kristallbildung in solchen Systemen: Brechen des Kristalls oder Bewegung der Kristallgrenze. Das mathematische Modell und experimentelle Ergebnisse wurden dargestellt.

Ich möchte mich bei der DGKK für die finanzielle Unterstützung bedanken, die den Besuch der Schule ermöglicht hat.

## Das Programm

Lektor	Vorlesung Thema
M. Berveiller 6 Vorlesungen	Micromechanics of displacive (martensitic) transformation in heterogeneous and non-linear solids.
F.D. Fischer 5 Vorlesungen	Transformation- and twinning condition for a microregion (TTC).
P. Fratzl 6 Vorlesungen	Modelling the microstructure evolution during phase transformation and phase separation by phase field models and atomistic simulations.
R. Kienzler 6 Vorlesungen	Configurational Mechanics of Materials. Eshelbian and Newtonian forces.
F. Montheillet 6 Vorlesungen	Various recrystallization mechanisms in metals, sub-grain and grain boundary migration and dynamics.
J. Svoboda 6 Vorlesungen	Phenomenological description of processes based on non-equilibrium linear thermodynamics and extremal principle.

## Weiterführende Literatur

### Monte-Carlo-Simulation der Mikrostrukturbildung

K. Binder, P. Fratzl, "Spinoidal Decomposition" Chapt. 6 in Phase Transformation of Materials, 2nd edition, Ed G. Kostorz, Material Science and Technology, Vol. 5, Wiley-VCH, Weinheim et al., 409-480 (2001).

### Phasenfeld Simulation der Mikrostrukturbildung

P. Fratzl, O. Penrose, J.L. Lebowitz, "Modelling of phase separation in alloys with coherent elastic misfit", J. Stat. Phys., 95, 1429-1503 (1999).

### Migration der Phasengrenze

J. Svoboda, F.D. Fischer, P. Fratzl, E. Gamsjäger and N.K. Simha, "Kinetik of interfaces during diffusional transformations", Acta Mater., 49 (2001), 1249-1259.

J. Svoboda, I. Turek, "On diffusion-controlled evolution of closed solid-state thermodynamic systems at constant temperature and pressure", Phil. Mag., B64, 749-759 (1991).

### Dynamische Rekristallisation

F. Montheillet and J.J. Jonas, "Dynamic recrystallization", in Encyclopedia of Applied Physics, Ed. G.L. Trigg, Vol. 16, VCH Verl.-Ges. Weinheim, Wiley-VCH, Inc. New York, 205-225(1996).

### Shape Memory Alloys

M. Berveiller, M. Cherkaoui (Editors), "Mechanics of Martensitic Phase Transformation in SMA and TRIP Steels", Spec. Issue of the Int. J. Plasticity, 16, 1133-1409 (2000).

**Berichte über die  
15th American Conference on Crystal Growth  
and Epitaxy (ACCGE-15)  
20. - 24. Juli 2003 in Keystone, Colorado, USA**

Bericht von **Peter Rudolph,**  
**Institut für Kristallzüchtung, Berlin**

**1. Allgemeines**

Die jährlichen Tagungen zur Kristallzüchtung der Amerikanischen Gesellschaft für Kristallwachstum (AACG) sind bezüglich ihrer Größe, Internationalität und ihres Informationswertes mit den aller drei Jahre stattfindenden Internationalen Konferenzen für Kristallzüchtung (ICCG) der IOCG vergleichbar. Da die nächste ICCG erst im Jahre 2004 in Grenoble durchgeführt wird und auch der asiatische Kontinent für dieses Jahr keine größeren einschlägigen Tagungen geplant hatte, erwies sich die ACCGE-15 als das herausragende internationale Forum für Kristallzüchtung 2003. Es fand diesmal auf einer geographischen Höhe um die 3000 m (!) statt, im Skigebiet des Keystone Resort in den Rocky Mountains (Colorado, s. <http://keystone.snow.com/>). Nicht weit davon verläuft die höchste Straße Nordamerikas, hinauf zum Mount Evens (14 264 Fuss, über 4300 m), die von zahlreichen Radsportlern bezwungen wird ...!

An der Tagung nahmen über 500 Teilnehmer aus zahlreichen Ländern, darunter neben dem Gastgeberland aus Japan, China, Südkorea, Frankreich, Großbritannien, Italien, Schweiz, Russland, Deutschland, Kanada, Mexiko teil. Zu einer solch hohen Resonanz trugen auch zwei internationale Satellitenmeetings bei - 11th Biennial Workshop on OMVPE und 3rd International Symposium on Laser and Nonlinear Optical Materials. Gleichzeitig fand wiederum eine sehr umfangreiche und informative Industrieausstellung von 46 Firmen (nicht nur aus den USA sondern auch aus Europa und Japan) statt, auf der neueste kommerzielle Züchtungsprodukte, Ziehanlagen und Analysegeräte vorgestellt wurden.

Hervorzuheben sind acht Plenarvorträge, die traditionell, wie auf jeder ACCGE-Tagung, Übersichten über neue Entwicklungsrichtungen und Schwerpunkte vermittelten. Diese werden von prominenten Vertretern der US-Wirtschaft und -Wissenschaft gehalten. In diesem Jahr wurden die folgenden Themen behandelt:

- ◆ Nanocrystals and nanocrystal assemblies (C. Murray, IBM)
- ◆ The spin on electronics (S. Parkin, IBM)
- ◆ Future MOCVD manufacturing and research requirements for III-V device technologies (J. Nelson, Uniroyal Optoelectronics)
- ◆ GaN crystal growth and light emitting devices (S. Nakamura, Univ. of California)
- ◆ Toward a new emphasis on new materials and single crystals (W. Osterhuis, US Dept. of Energy)
- ◆ Current status of piezoelectric relaxor single crystals (C. Wu, Naval Res. Lab.)
- ◆ Crystals for nonlinear optics (D. Hagan, Univ. of Central Florida)
- ◆ Carbon nanotube based nanotechnology (M. Meyyapan, NASA Ames Res. Center)



**Blick auf das Massiv des Mount Evens in den Rocky Mountains (Colorado)**

Besonders informativ erwiesen sich sogenannte "backstage"-Vorträge und -Diskussionen im Anschluss an die parallelen Tagungssitzungen zu methodischen und technischen Detailfragen der Kristallzüchtung, wie z.B. zu Hochtemperaturriegeln (Iridium), Isolationskeramiken, Konstruktions- und Heizer-elementen etc., die vorrangig von Firmenverwertern diskutiert wurden.

Der Berichtersteller konzentrierte sich entsprechend seines Arbeitsfeldes auf eine der vier Parallelsitzungen - bulk crystal growth. Er lenkte sein Augenmerk auf die Halbleiterkristalle, neue Materialien und Methoden, Maßnahmen zur Verbesserung der strukturellen und chemischen Eigenschaften sowie Züchtungstechnologien. Er informierte sich insbesondere über den Stand zur InP-Kristallzüchtung. Er hielt einen Einladungsvortrag zum Phänomen der Versetzungsnetzwerke und -bündelungen in Verbindungshalbleiterkristallen, insbesondere in GaAs und InP.

Die nächste AACG-Tagung (ACCGE-16) wird erst im Jahre 2005 durchgeführt, um eine Überschneidung mit der Internationalen Kristallzüchtungsschule ISSCG-12 und Kristallzüchtungstagung ICCG-14 im Sommer 2004 in Grenoble zu vermeiden.

**3. Schwerpunkte und neue Richtungen**

Derzeitige Forschungsschwerpunkte und Neuausrichtungen (in den USA) wurden mit den o.g. Plenarvorträgen umrissen. Zweifelsohne bildet die gezielte Herstellung nanokristalliner Strukturen einen zentralen Entwicklungsschwerpunkt. Art der Überstruktur, Kombination der Atomsorten, Atomabstände, Form und Größe der Nanokristalle in einer bestimmten (z.B. organischen) Matrix bestimmen die elektrischen, optischen und magnetischen Eigenschaften. Die bekannten Volumenparameter der Element-, Verbindungs- und Mischkristalle treten dabei immer mehr in den Hintergrund. Es findet sozusagen ein „Maßschneidern“ über die Anordnung im atomaren Bereich und deren Form und Ausmaß statt. So ermöglicht die Größenvariation von InP quantum dots eine Gap-Änderung zwischen 1,7 eV (bei 6 nm) und 2,4 eV (bei 2,6 nm). Für die Kristallzüchtung besteht die Aufgabe, gut kontrollierbare Kristallisationsmethoden zu entwickeln. Eine wichtige Rolle kommt dabei der Keimbildungsphase im Zustand der thermodynamischen Überschreitung zu. Oftmals ist die Bildung einer selbstordnenden Struktur aus zahlreichen Keimzentren bereits nach kurzer Zeit abgeschlossen.

Neben den relativ schnellen Abscheidungsverfahren aus der Dampfphase gewinnen deshalb langsamer ablaufende Ausfällreaktionen aus Kolloid-Lösungen und die Kristallisation aus Gelen an Bedeutung. Besonders Kolloidfilme lassen sich zwischen zwei parallelen Plättchen gut mit vorgegebener Struktur gerichtet auskristallisieren. Die derzeitigen Forschungen richten sich neben der gezielten Herstellung solcher Nanostrukturen auf die Analyse der kristallographischen, optischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften.

W. Osterhuis (US Dept. of Energy) stellte fünf neue sich gegenseitig ergänzende Großforschungszentren der USA für „Nanoscale Science and Research“ vor. Herzstück ist jeweils ein spezielles aufwendiges Analyseverfahren, wie Synchrotronstrahlung, Spallations-Neutronenquelle, TEM u.a. Der gleiche Redner setzte sich für eine konsequente Weiterentwicklung der Einkristallzüchtung neuer komplexer Materialien in bulk-Form ein. Perfekte Einkristalle werden im Forschungs- und Entwicklungssektor zum exakten Studium der kristallographischen Eigenschaften, der Anisotropieeffekte und Defektwirkungen benötigt. Zu diesem Zweck sollen Schulen und Lehrkurse zur Kristallzüchtung viel breiter unterstützt und gefördert werden.

Für das Gebiet der photovoltaischen Materialien wurde eine zentrale Aufgabe einmal mehr in aller Schärfe formuliert: es müssen solche Materialverbindungen, -kombinationen oder -anordnungen entwickelt und beherrscht werden, die billig sind und hohe Wirkungsgrade erzielen! Die Zahl der Vorträge zur Kristallisation von ein- und multikristallinem Silicium für Solarzellen war wiederum hoch. Neben Cz, FZ, EFG und Blockgießen wurde eine modifizierte heat-exchange-Methode (HEM) vorgestellt, mit der 240 kg Ingots geringer Restverunreinigung hergestellt werden (M. Chandra, GT Equipment Technologies Inc.)

Eine zentrale Stellung nahm auf der Tagung die Züchtung von GaN- und AlN-Kristallen und Dickschichten ein. S. Nakamura (University of California) ging in seinem Plenarvortrag ausführlich auf Stand und Entwicklungen von Blau und UV emittierenden Dioden ein. Es wurden die Ergebnisse der HVPE-Dickschichtepitaxie auf Saphirsubstraten unter Verwendung der „lateral epitaxial overgrowth“ (LEO)-Technik diskutiert. Dabei ist das Wachstum von a-Flächen gegenüber den c-Flächen wegen der geringeren Verspannungen bevorzugt. Für den tiefen UV-Bereich ( $\lambda < 300$  nm) sei allerdings AlN dem GaN vorzuziehen. AlN ist zwischen 200 und 300 nm transparent und verhindert damit eine Eigenabsorption des emittierenden Lichtes. Außerdem wird kein Bersten der  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Schichten auf AlN bei hohen Al-Anteilen ( $x > 0,4$ ) wie auf GaN beobachtet. Wegen der sehr hohen Defektdichte von AlN-Schichten auf Saphir und der hohen Anwendungsbreite (biochemische Detektoren, hohe Speicherdichte, Weißlichterzeugung) forderte Nakamura zur unbedingten Züchtung von AlN-Substratkristallen auf. Hierzu wurden ebenso wie zu GaN zahlreiche Vorträge und Poster aus den USA (Sunny at Stony Brook, Northrop Grumman Co., GE Global Res. Center, Air Force Res. Lab.), Japan (Nippon Institute of Technology) und Deutschland (Univ. Erlangen) gehalten. C. Rojo (Sunny at Stony Brook) stellte dampfphasengezüchtete AlN-Kristallplättchen mit einem Durchmesser von 15 mm und geringer Versetzungsdichte  $\leq 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$  vor. Am Air Force Res. Lab. wird in Kooperation mit der Clemson University GaN mit der Hydrothermalsynthese (HTS) gezüchtet. Auch wenn die Kristalle noch relativ klein sind, bringt die beträchtlich reduzierte Züchtungstemperatur von 500 °C Vorteile mit sich.



**Keystone Village, Tagungsort der ACCGE-15 2003**

Als eine sehr aussichtsreiche gitterangepasste Substratvariante für die GaN-Epitaxie erweist sich ZnO. Von der Tokyo Denpa Company wurden HTS-gezüchtete 2-Zoll ZnO-Einkristalle der Dicke 1,5 - 2 cm vorgestellt. Als Kooperationspartner wird im Fukuda Lab. Sendai an der HTS-Züchtung in 300-mm-Pt-Containern gearbeitet. Die strukturellen und optischen Daten (angeblich keine OH-Gruppen !) sind erstaunlich gut. Weitere Vorträge aus den USA (Bell Lab., Clemson Univ.) unterstrichen die Bedeutung dieser Arbeiten, zumal ZnO weitere moderne Anwendungen eröffnet (UV, transparenter Halbleiter, Sensorik u.a.). In einem Gespräch unterstrich B. Chai (Crystal Photonics) wiederholt die Vorteile einer Hochdruck-Schmelzzüchtung nach dem Prinzip des „skull-melting“, wie sie z.Z. erfolgreich bei der Firma Cermet praktiziert wird.

Zahlreiche Vorträge beschäftigten sich mit der Einkristallzüchtung piezoelektrischer Relaxormaterialien, wie  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  (PMNT),  $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  (PZNT),  $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  (PSNT) u.a., die das Gebiet der Sonarik (z.B. Ultraschall Diagnostik in der Medizin) revolutionieren werden. Natürlich stehen in den USA v.a. strategische Interessen dahinter. Die DARPA stellt derzeit hierfür eine Fördersumme von über 50 Mio USD bereit. Den Plenarvortrag dazu hielt C. Wu vom Naval Res. Lab. Als Züchtungsmethoden wurden flux growth, Bridgmanverfahren, zone melting und SSR hervorgehoben. Probleme stellen Phasenumwandlungen, chemische Aggressivität und Neigung zur Mikrorissbildung dar. Recht gutes 2-Zoll-Material mit einer Länge von ca. 80 mm ist heute bereits verfügbar (7 Firmen in den USA beschäftigen sich mit diesen Materialien und deren Anwendungen).

Schließlich sei noch die zunehmende Bedeutung der Kristallzüchtung nichtlinearer optischer (NLO) Materialien hervorgehoben. D. Hagan (Univ. of Central Florida) zeigte in seinem Plenarvortrag die Wichtigkeit der Auffindung neuer Materialien mit hoher optischer Nichtlinearität. Dies wird insbesondere für organische und polymere Kristalle vorausgesagt. Jedoch ist ihre Zerstörungsschwelle durch den Anregungslaser z.Z. noch zu niedrig. Neue Möglichkeiten eröffnen auch GaAs-Schichten auf Ge/GaAs, die eine alternierende 90°- Mikrozwillings-Strukturierung (als Antiphasendomäne) besitzen und eine 4-fach höhere NL-Suszeptibilität als  $\text{LiNbO}_3$  zeigen (M. Fejer, Stanford University). Dies könnte ein neues breites Anwendungsgebiet von GaAs-Substraten werden...

### InP, Magnetfelder, Regelkonzepte

Grundsätzlich waren zahlreiche Spezialisten zur InP-bulk-Züchtung anwesend (u.a. D. Bliss, R. Ware, I. Grant, W. Bonner). Ebenso spielten InP-Schichten und -Bauelemente auf der OMVPE-11 - Tagung eine wichtige Rolle. Auf der ACCGE-15 wurden allerdings keine Vorträge zur InP-Bulk-Züchtung gehalten. Leider fiel der Beitrag von N. Sun (Hebei Semiconductor Institute, P.R. China) zur LEC-Züchtung von InP mit Injektionssynthese aus (ein Grund für fehlende InP-Vorträge, insbesondere aus den USA, dürfte die wenige Wochen vor der ACCG-15 in den USA stattgefundene internationale InP-Tagung sein). Aus dem Abstract im Tagungsband geht hervor, daß N. Sun das Hauptaugenmerk auf die Durchmesservergrößerung bei gleichzeitiger struktureller Verbesserung der Kristalle richtet. Es wird von 4-Zoll undotierten und S- und Fe-dotierten InP-Kristallen berichtet, die nach der LEC-Methode mit „rapid“ Phosphor-Injektionstechnik gezogen werden. Undotierte Kristalle weisen eine EPD unter  $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$  auf. In dotierten Kristallen verringert sich die Versetzungsdichte bis auf  $3.8 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ . Bei der Züchtung aus P-reichen Schmelzen, kontrollierbar durch die in-situ Injektionstechnik, werden noch Mikroporen gefunden, die durch den Phosphorüberschuss entstehen. Offensichtlich wird an der Optimierung des thermischen Feldes (stabile Form der Phasengrenze) und an der in-situ-Einhaltung der Stöchiometrie gearbeitet.

Sumitomo Electric (Japan) und InPACT (Frankreich) waren mit Ausstellungsständen vertreten. Den Gesprächen und ausgelegten Prospekten nach zu urteilen, werden die besten von Sumitomo auf dem Markt angebotenen 3 – 4-Zoll InP-Kristalle nach dem VCz-Verfahren gezogen. Magnetfelder werden zusätzlich zur Stabilisierung des Temperaturfeldes und damit Vermeidung von Zwillingen eingesetzt. Die Versetzungsdichten liegen in undotiertem Material bei  $\leq 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ . Die Wafer sind nahezu restspannungsfrei. Auch nach Ansicht des InPACT-Vertreters (EPD in undot. 3-Zoll-LEC-Material um  $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ ) können Zwillinge beim LEC-Verfahren besonders durch Eindämmung der konvektiven Instabilitäten verhindert werden. Dies wurde auch in einer Diskussion mit R. Ware (M/A-COM, USA) bestätigt, der über den Einsatz konstanter Magnetfelder bei der InP-LEC-Züchtung berichtete.

Es muss betont werden, dass der Einsatz stationärer und instationärer Magnetfelder bei der Züchtung aus der Schmelze wieder eine wichtige Rolle auf der Tagung spielte. A. Cröll (BA Univ. Freiberg) gab einen instruktiven Übersichtsvortrag über die Wirkung äußerer Felder auf Kristallisationsprozesse. Neben rotierenden und wandernden Magnetfeldern gewinnen auch zunehmend in die Schmelze eingekoppelte akustische Vibrationen an Bedeutung, um die Phasengrenze zu glätten.

In der Gruppe um J. Derby (Univ. of Minnesota) werden in Kooperation mit G. Müller (Univ. Erlangen) unter Verwendung des Codes CrysVUN++ große Anstrengungen zur Optimierung und Automatisierung von VGF-Prozessen für Verbindungshalbleiter und Mischkristalle (vorrangig Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te) unternommen. A. Yeckel berichtete über die Entwicklung eines model-basierenden nichtlinearen Regelsystems. Mittels zeitlich realer Computerüberwachung wird die Containerrotation so geregelt, dass konvektiv bedingte Fluktuationen eingedämmt werden.

Mit F.J. Bruni (Thermal Technol. Inc.), einem erfahrenen Spezialisten zur Durchmesserreglung bei Czochralskiprozessen (sowohl über Temperatur als auch Ziehgeschwindigkeit und optische Überwachungsmethoden) wurde vereinbart, ihn zu einem Arbeitsbesuch ans IKZ einzuladen. Es entsprang die Idee, in Zukunft einen internationalen Workshop zu modernen Regelungsproblemen in der Kristallzüchtung durchzuführen.

Prof. Dr. habil P. Rudolph  
Institut für Kristallzüchtung  
Max-Born-Str. 2  
12489 Berlin  
Tel. 030 + 6392 3034  
E-mail: rudolph@ikz-berlin.de  
Berlin, den 21. August 2003

### Bericht von Matthias Bickermann WW6, Universität Erlangen

Kristallzüchter und Epitaxieexperten aus der ganzen Welt waren vom 20. bis 24. Juli 2003 zu Gast im Konferenzzentrum in Keystone, Colorado, USA. Zu diesem Treffen im schönen Ferienort mitten in den Rocky Mountains – idyllisch an einem kleinen See auf 2.850 m Höhe gelegen – hatte die Amerikanische Kristallzüchtervereinigung (american association for crystal growth, AACG) geladen. Es wurden drei Konferenzen parallel abgehalten: Neben der 15. Amerikanischen Konferenz über Kristallzüchtung und Epitaxie (ACCGE-15) wurde die 11. Workshop-Biennale zur Metallorganik-Gasphasenepitaxie (OMVPE-11) sowie das Dritte Internationale Symposium über Laser und nichtlinear-optische Werkstoffe (ISLNOM-3) ausgerichtet. Viel Stoff also, und bis zu sechs parallele Veranstaltungen an insgesamt vier Arbeitstagen.

Die Zahlen sprechen für sich: 489 registrierte Teilnehmer, dazu weitere Personen der insgesamt 46 ausstellenden Firmen (Begleitpersonen nicht mitgezählt). Über 250 mündliche Vorträge wurden gehalten, etwa 100 Poster präsentiert. Damit zählte diese Dreier-Konferenz zu den größten wissenschaftlichen Veranstaltungen auf dem Gebiet der Kristallzüchtung überhaupt. Neben den Amerikanern waren insbesondere die Japaner, Deutschen und Franzosen stark vertreten, so daß man zu Recht von einem internationalen Treffen sprechen kann. Doch nicht nur die Quantität, auch die Qualität war beeindruckend: Die Organisatoren unter der Leitung von Robert Feigelson und Robert Biefeld stellten ein anspruchsvolles Programm zusammen und ließen auch bei der Organisation vor Ort (fast) keine Wünsche offen.

Eine objektive inhaltliche Zusammenfassung der Konferenz ist aufgrund der vielen und auch parallel abgehaltenen Vorträge schlicht nicht möglich; ich will aber aus meiner subjektiven Sicht die Hauptkonferenz ACCGE-15 kurz zusammenfassen. Im Vordergrund standen eindeutig die Halbleiter (und hier vor allem die Nitride sowie das wieder entdeckte Zinkoxid), gefolgt von den Piezoelektrika. Auch neue Dünnschicht- und Nanomaterialien mit neuen, teilweise verblüffenden magnetischen oder ferroelektrischen Eigenschaften hatten einen starken Auftritt. Dagegen waren die Biokristallisation wie auch die Kristallzucht-Simulation nur vergleichsweise schwach vertreten (von der Weltraum-Kristallzucht ist man dies ja mittlerweile gewöhnt). Und auch an der Herstellung einkristalliner Supraleiter wird nicht mehr viel geforscht.

Als wegweisend, wenn auch leider durch Parallelvorträge in ihrer Wirkung etwas abgeschwächt, sind die Themen der Plenarvorträge zu nennen: Nanokristalle und Spintronic-Materialien (beide IBM), III-V-Epitaxie (Uniroyal Optoelectronics) und GaN-Wachstum/-Optoelektronik (Prof. Nakamura von der UCSB), Neue Materialien (US-Energieministerium) und einkristalline Relaxoren (US-Naval Research Lab), Kristalle für die nichtlineare Optik (Universität von Central Florida) und Carbon Nanotubes (NASA Research Center). Diese Themen werden in Amerika zu Recht als Schwerpunkte der staatlichen Förderung behandelt: Hier ist auch eine industrielle Relevanz gegeben und eine schnelle Umsetzung möglich. Man würde sich wünschen, wenn Europa respektive Deutschland hier ebenfalls an vorderster Front mitspielen würde. Allem Anschein nach muss dazu aber noch viel getan werden.

Eine schöne Ergänzung zum wissenschaftlichen Programm waren die Vorträge in den „Crystal Growth Backstage“-Sessions, bei denen Firmenvertreter unprätentiös und sachlich die Grundlagen wesentlicher Kristallzüchterutensilien (Quarzglas, Iridiumtiegel, Keramikisolation, MOCVD-Precursoren etc.) erläuterten. Hier konnte man noch richtig was lernen – wussten Sie, dass die ersten metallorganischen Precursoren bereits in Deutschland um 1840 entdeckt wurden?

Natürlich ist Zuhören nicht alles. Essen und Trinken war beinahe rund um die Uhr frei verfügbar bis hin zum täglichen Frühstücksbuffet im Konferenzzentrum. Stift, Zettel, Trinkgläser und Bonbons wurden nach jeder Session an jedem Platz neu ausgelegt. Eine bessere Organisation dieser überaus wichtigen Dinge habe ich noch nicht erlebt. Die Konferenz war zudem begleitet von mehreren Empfängen und Abendveranstaltungen, und die Atmosphäre war immer leger, kommunikativ und angenehm. Hier hat die Konferenz genauso ihre Maßstäbe gesetzt wie bei der Wahl des Konferenzortes selbst. Viele Teilnehmer nutzten die Tage vor oder nach der Konferenz für Spritztouren zu den Nationalparks der Rockies, zu den alten Goldgräberminen und -städten oder einfach auf die Berge, die hier sich sanft bis auf 4.700 m Höhe erheben. Im Winter wird Ski gefahren, im Sommer entweder Golf gespielt oder mit dem Mountainbike trainiert. Tolle Hotelangebote rundeten die Konferenzreise ab. Keystone, 2.850 m, das war wie eine Botschaft: Hoch sollen Sie leben, die Kristallzüchter! Hoffentlich schlagen wir hier unten bei der täglichen Arbeit nicht allzu hart auf.



## T B L - Kelpin

Dr. Gerd Lamprecht  
former Kristallhandel Kelpin

Single Crystals for Research and Industry



TBL.Lamprecht@t-online.de :

### single crystals

metals, alloys, semiconductors (III-V, II-VI), oxides, halides and all kind of compounds

### sputter targets and evaporation sources

(elements and compounds)

### optical compounds:

windows, lenses, prisms, rods  
blanks:  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{LiF}$ ,  
 $\text{KBr}$ ,  $\text{CsBr}$ ,  $\text{CsI}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{KRS-5/6}$ ,  
 $\text{LaF}_3$ ,  $\text{CeF}_3$  and others

single crystal surface preparation and high precision crystallographic orientation ( $<0,1^\circ$ )

high purity metals & materials, rare earth metals and compounds, wire, rods, foils, isotopes, superconducting materials

### single crystal substrates

Si, Ge, III-V and II-VI compounds  
 $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{LaAlO}_3$ ,  
 $\text{NdGaO}_3$ ,  $\text{YAlO}_3$ ,  $\text{SrLaAlO}_3$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  
 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  
 $\text{CoO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$   
and others

TBL - Kelpin, Lehninger Str. 10-12 D 75242 Neuhausen  
Tel. 0049 (0)7234 1007 Fax 0049 (0)7234 5716 e-mail: TBL.Lamprecht@t-online.de  
www.tbl-kelpin.de

## „Gordon Research Conference on Thin Film and Crystal Growth Mechanisms“

Bericht von **Carsten Busse**,  
I. Physikalisches Institut, RWTH-Aachen

Die diesjährige „Gordon Research Conference“ mit dem Thema „Thin Film and Crystal Growth Mechanisms“ fand vom 22.6. – 27.6. 2003 am Mount Holyoke College, South Hadley (Massachusetts) statt. Das Mount Holyoke College nimmt eine besondere Stellung unter den amerikanischen Universitäten ein, es war eine der ersten Bildungseinrichtungen für Frauen und gehört zu den „Seven Sister“-Universitäten, dem weiblichen Pendant zu den (früher rein männlichen) Universitäten der „Ivy League“. Während der amerikanischen Semesterferien finden an diesem College Woche für Woche insgesamt 8 Gordon-Konferenzen statt.

Die Gordon-Konferenzen (benannt nach dem Begründer dieser Konferenzserie, dem Chemiker Prof. Neil Gordon (1886-1949)) bieten gemäß ihrer Grundausrichtung ein internationales Forum zur Präsentation und Diskussion neuester Forschungsergebnisse auf den Gebieten Biologie, Chemie und Physik. Die erste Tagung dieser Art fand bereits 1931 statt, heute werden jährlich fast 100 Gordon-Konferenzen mit den unterschiedlichsten Schwerpunkten angeboten. Das traditionelle Schema dieser Tagungen beinhaltet Vorträge am Morgen und am Abend, während die Nachmittage für intensive Diskussionen freigehalten sind. Im Gegensatz zu den großen Konferenzen finden hier keine parallelen Sitzungen statt, und die Zahl der nicht-eingeladenen Vorträge ist stark begrenzt. Für jeden Beitrag sind 45 Minuten Redezeit vorgesehen, sowie 15 Minuten für Diskussion, so dass die Forschungsergebnisse detailliert vorgestellt und besprochen werden können. Als Erweiterung besteht die Möglichkeit, Ergebnisse in einer der Postersitzungen zu präsentieren. Die diesjährige Veranstaltung wurde von Prof. D. Cahill (Illinois) geleitet.

Insgesamt war eine große Bandbreite von Themen vertreten. Das komplette Programm und weitere Informationen zu der Konferenz findet man im Internet unter <http://www.chem.cornell.edu/ThinFilm/>, im folgenden werden exemplarisch einige Beiträge kurz angerissen.

Der erste Vortrag von Prof. Libbrecht (Caltech) spannte einen Bogen zurück zu den Anfängen der Interpretation von Kristallstrukturen aus ihrem atomaren Aufbau: Wie Kepler erforscht Libbrecht die Gestaltbildung von Eiskristallen. Das heute erreichte Verständnis der Struktur einer solchen „Schneeflocke“ ermöglichte es den Forschern am Californian Institute of Technology, aus der Gasphase durch Anlegen einer hohen Spannung „elektrische Eis“ an einer Metallspitze zu züchten. Hierbei übernimmt die Spannung in gewisser Weise die Rolle der Übersättigung, so dass über diesen gut kontrollierbaren Parameter die Morphologie des Eiskristalls gesteuert werden kann.

Genau die in Libbrechts Vortrag beschriebene Bildung von Eiskristallen ist für kaltblütige Lebewesen in arktischen Gewässern gefährlich: Bildung von Kristalliten in Körperflüssigkeiten wie Blut und Zellwasser ist für Organismen tödlich. Trotzdem gelingt es zahlreiche Fischarten mit einer Körpertemperatur unterhalb des Gefrierpunkts zu überleben, wie Prof. Knight vom National Center for Atmospheric Research in seinem Vortrag erläuterte:

Die Eiskristallite, die im Blut dieser Tiere vorhanden sind, werden durch spezielle Frostschutzproteine (Peptide, die aus circa 1000 Atomen bestehen) am weiteren Wachstum gehindert. Verschiedene Modelle für die genaue Wirkungsweise dieser Proteine werden momentan diskutiert.

Die Bildung von Kristallen aus Proteinen war das Thema des Vortrags von Prof. G. Benedek (MIT). Viele Krankheiten (Alzheimer, Parkinson) sind auf die unkontrollierte Zusammenballung von körpereigenen Proteinen zu Kristallen zurückzuführen. Die spezielle Krankheit, die am MIT untersucht wurde, ist der graue Star, der durch mutierte Proteine verursacht wird. Diese kristallisieren um Größenordnungen schneller als die regulären Varianten und bilden so Eintrübungen der Augenlinse. Modellierung der Proteine als Kugeln mit lokal unterschiedlichem Bindungsverhalten („aleotopic interaction“) liefert Erkenntnisse über den genauen Ablauf der Proteinkristallisation.

Die physikalischen Grundlagen des Kristallisationsvorgangs wurden von Prof. D Frenkel (FOM-AMOLF) am Beispiel kolloidaler Kristalle dargestellt.



Die Teilnehmer der „Gordon Research Conference on Thin Film and Crystal Growth Mechanisms“ 2003.  
Foto: D. Wright

# Nucleation of stacking-faults on Ir(111)

C. Busse<sup>a</sup>, C. Polop<sup>a</sup>, M. Müller<sup>b</sup>, K. Albe<sup>b</sup>, and T. Michely<sup>a</sup>

(a) I. Physikalisches Institut, RWTH Aachen, Germany

(b) Fachbereich Material - und Geowissenschaften, TU Darmstadt, Germany

## Motivation

**Crystal growth in thermal equilibrium**  
adatoms find positions lowest in  $E \Rightarrow$  perfect single crystal

**Statistic growth**  
equilibration processes become kinetically forbidden

**Crystal defects**  
transition ordered-disordered: introduction of defects

**Stacking-faults**  
important crystal defect in thin film and crystal growth (twinning)  
present in fcc, hcp, bcc, zinblende (e.g., III-V semiconductors)

## Previous work

Stacking fault formation observed for:  
Cu/Cu(111) [1,2,3,4], Ag/Ag(111) [5,6,7]

Methods: STM, surface XRD, TEM (decoration technique)

contradicting results  
heterogenous nucleation?  
results strongly depend on growth model  
strain induced formation?  
little variation of growth parameters

**no concise picture of SF nucleation**

- [1] J. Camarero, J. de la Figuera, J. J. de Miguel, R. Miranda, J. Alvarez, S. Ferrer, Surf. Sci. **459**, 191 (2000)  
[2] M. Giesen, H. Ibach, Surf. Sci., **529**, 135 (2003)  
[3] H. A. van der Vegt, J. Alvarez, X. Torrelles, S. Ferrer, Phys. Rev. B **52**, 17443 (1995)  
[4] A. L. Vázquez de Parga, F. J. García-Vidal, R. Miranda, PRL **85**, 4365 (2000)  
[5] K. Meinel, M. Klaus, H. Bethge, Phys. Stat. Sol. (a) **110**, 189 (1988)  
[6] S. A. de Vries, W. J. Huisman, P. Goedtkindt, M. J. Zwanenburg, S. L. Bennett, E. Vlieg, Phys. Rev. Lett. **81**, 381 (1998)  
[7] J. Tersoff, A. W. Denier van der Gon, R. M. Tromp, PRL **72**, 266 (1994)

## Experimental

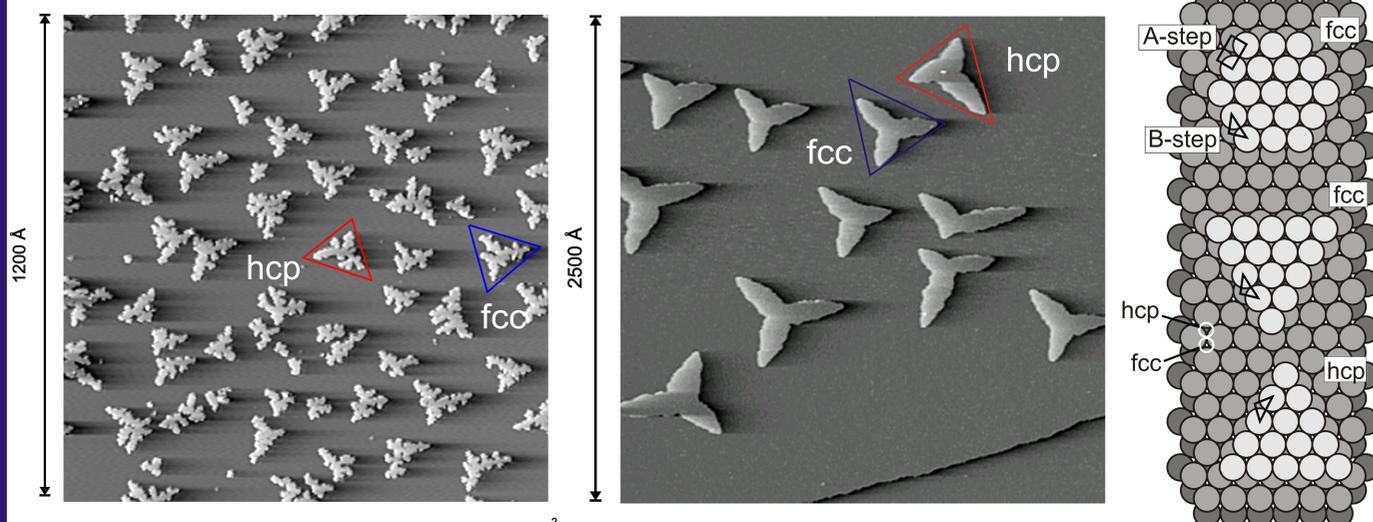
**Method:**  
variable temperature scanning tunneling microscopy

**UHV-system:**  
base pressure  $< 8 \cdot 10^{-12}$  mbar

**Sample preparation:**  
cyclic preparation (sputtering, annealing)  
 $\Rightarrow$  clear LEED-pattern, no impurities visible in STM,  
terraces several 1000 Å wide

**Growth:**  
evaporation from directly heated Ir-wire (99.8% pure),  
pressure during evaporation  $< 1 \cdot 10^{-10}$  mbar  
(latest exp.:  $< 1 \cdot 10^{-11}$  mbar)

## STM-topographs of stacking-fault islands



$T=300$  K,  $P_{\text{hcp}}/P_{\text{fcc}} = 0.36, 0.03$

$F=1.3 \cdot 10^{-2}$  ML/s,  $=0.13$  ML

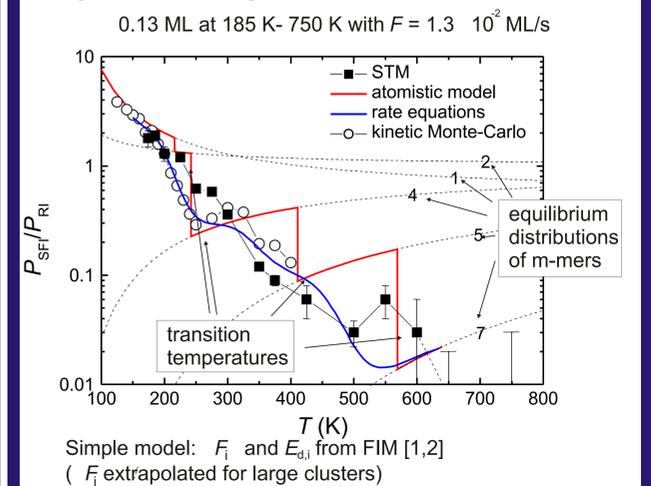
$T=600$  K,  $P_{\text{hcp}}/P_{\text{fcc}} = 0.03$

### Observations:

two types of islands in regime of fractal-dendritic islands  
with triangular envelope  
rotated islands = stacking fault islands (see ball model),  
i.e. atoms bound in hcp- rather than fcc-positions

largest observed SFI contain  $> 7000$  atoms  
probability of SFI-formation decreases with deposition  
temperature and increases with deposition flux

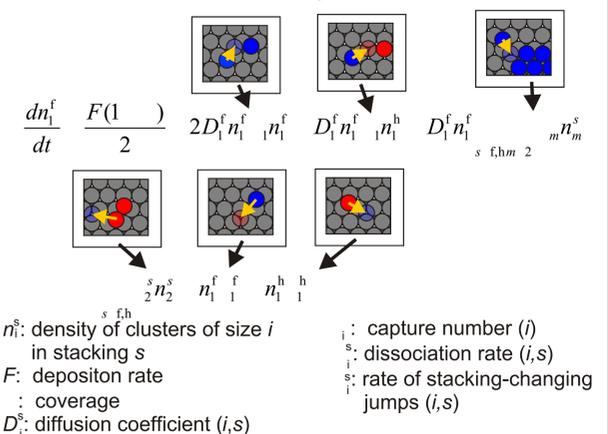
## Temperature-dependence of SF-formation



Simple model:  $F_i$  and  $E_{d,i}$  from FIM [1,2]  
( $F_i$  extrapolated for large clusters)

## Mean-field approach and kinetic Monte-Carlo

Rate-equations of nucleation on surface with two binding sites  
Example: adatoms in fcc stacking

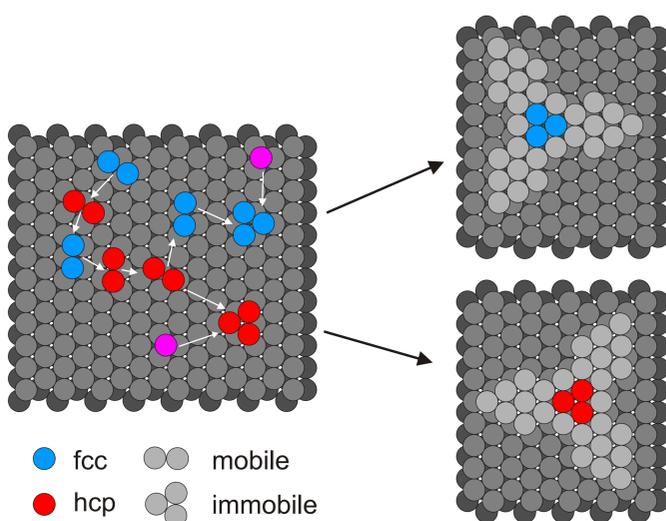


Parameters from FIM [1,2,3,4] and STM [5]  
simplified two-step diffusion  
 $\tau_{d,i} = 3$  for  $i < 8$  and  $\tau_{d,i} = 7$  for  $i > 8$   
Mobility of all clusters  $i < 8$ , dimer dissociation included (insignificant)  
Numerical solution of 16 equations (binning for  $i > 7$ )

kinetic Monte-Carlo: same parameters as above, realistic fcc(111) lattice

- [1] S. C. Wang et al., Surf. Sci. **239**, 301 (1990)  
[2] S. C. Wang, G. Ehrlich, Phys. Rev. Lett. **68**, 1160 (1992)  
[3] S. C. Wang, G. Ehrlich, Phys. Rev. Lett. **81**, 4923 (1998)  
[4] G. Ehrlich, private communication  
[5] C. Busse, et al., Surf. Sci. Lett. **539**, L560 (2003)  
[6] J. A. Venables, Philos. Mag. **27**, 697 (1973)

## Model of SFI-formation



### Mobile and immobile clusters

cluster up to critical size  $i^*$  mobile, larger clusters immobile

### Energetics

mobile clusters obey Boltzmann-distribution:

$$P_{\text{hcp}}/P_{\text{fcc}} = e^{-\Delta F/k_B T} \approx e^{-\Delta E/k_B T}$$

$$\Delta F = F_{\text{hcp}} - F_{\text{fcc}}, \Delta E = E_{\text{hcp}} - E_{\text{fcc}}$$

### Kinetics

$\tau_{d,i}$ : lifetime of cluster between two successive attachments of adatoms,  $\tau_{d,i} \propto N_i/F$

$\tau_{d,i}$ : lifetime of cluster of size  $i$  between two diffusion jumps,  $\tau_{d,i} \approx \sqrt{V_{0,i}} e^{E_{d,i}/k_B T}$ , with  $E_{d,i}$  diffusion barrier

mobility criterion:  $\tau_{d,i} \gg \tau_{d,i+1}$  transition in  $i^*$  for  $\tau_{d,i} = \tau_{d,i+1}$

### Successive growth

immobile cluster can not interchange between fcc and hcp  
all additional atoms adopt ist binding type

### Island shape

under specific growth conditions, fractal-dendritic islands  
with triangular envelope consisting of B-steps develop  
(also on other systems, e.g. Pt, Al)  $\Rightarrow$  SFI appear rotated by  $180^\circ$

## Conclusions

formation of metastable stacking-fault islands on Ir(111) under wide range of deposition conditions

probability of SFI-formation decreases with  $T$  and increases with  $F$

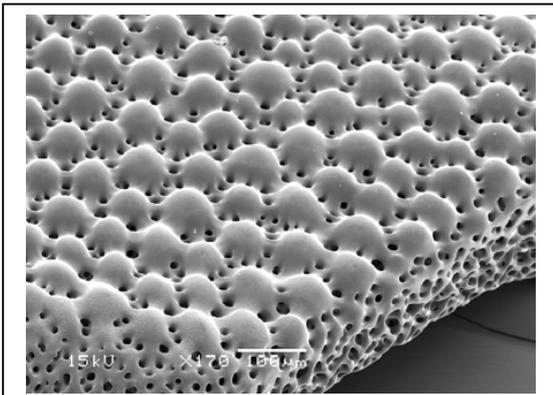
measurements can be quantitatively explained on the basis of atomic processes:  
SFI grow from small clusters that occupy hcp sites in thermal equilibrium by sufficiently fast addition of adatoms

## Acknowledgements

We acknowledge experimental help of A. Petersen and L. Athanatos and communication of recalibrated diffusion parameters by G. Ehrlich

C. B.'s participation in the Gordon Conference was enabled by the "Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung" (DGKK)

This work has been published as: C. Busse, C. Polop, M. Müller, K. Albe, U. Linke, T. Michely, Phys. Rev. Lett. **91**, 56103 (2003)



**Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Teils des Skeletts eines „Brittlestars“ (Ophiocoma wendtii). Die gesamte Struktur (das Gitter und die Anordnung der Mikrolinsen) besteht aus einem Kalzit-Einkristall und dient dem Organismus zur Wahrnehmung von Licht.**

**Aus: „Direct Fabrication of Large Micropatterned Single Crystals“, J. Aizenberg, D. A. Muller, J. L. Grazul, D. R. Hamann, Science 299, 1205 (2003)**

Ausgangspunkt ist hier das bekannte Problem, dass Unterkühlung von Flüssigkeiten möglich ist, d.h., zur Nukleation eines Kristalls ist eine Keimbildungsbarriere zu überwinden. Für kolloidale Partikel, bei denen nur die Wechselwirkung zwischen nächsten Nachbarn zu berücksichtigen ist, konnten Effekte von heterogenen Nukleationskeimen, Polydispersität (nicht alle Partikel haben die gleiche Größe) und vorstrukturieren Schablonen auf die Kristallisation analysiert werden. So zeigt es sich zum Beispiel, dass die unterschiedlichen elastischen Eigenschaften von kubisch-flächenzentrierten (fcc) und hexagonal-dichtgepackten (hcp) Kolloidkristallen sich zur Steuerung des Wachstums ausnutzen lassen: Während auf einer der Größe der Partikel angepassten Schablone die Bildung der fcc-Phase leicht bevorzugt wird, kann man auf einer entsprechend verformten Unterlage die hcp-Phase aufwachen lassen.

Eine Erweiterung der bisherigen Modellvorstellungen des homoepitaktischen Schichtwachstums wurde im Vortrag von Prof. J. Kirschner (MPI Halle) eingeführt: Mit Hilfe von molekulardynamischen Rechnungen konnte er zeigen, dass sich das sonst oft als starr angenommene Substrat bei Adsorption von Atomen deutlich verformt, und elastische Effekte auftreten, die bei einer detaillierten Beschreibung des Wachstums dünner Filme berücksichtigt werden müssen.

Elastischen Verzerrungen in epitaktischen Schichtsystemen können auch zur Erzeugung von Gittern aus Quantenpunkten ausgenutzt werden. Wie Prof. G. Springholz (Universität Linz) erläuterte, bilden sich solche Quantenpunkte z. B. beim Wachstum von PbSb auf PbEuTe, da der Stranski-Krastanov Wachstumsmodus vorliegt, bei der auf einer dünnen Benetzungslage dreidimensionale Cluster aufwachsen. Beim Überwachen dieser Struktur mit einer PbEuTe-Pufferschicht nimmt diese die vorliegenden elastischen Verspannungen auf. Erneutes Abscheiden von PbSb auf dieser Zwischenschicht ist nun stark von dem Verzerrungsfeld im Film beeinflusst. Durch geschickte Wahl der Wachstumsparameter kann so eine fcc-Überstruktur der Quantenpunkte erzeugt werden, die sich wohlgeordnet über mehrere Lagen in dem Vielschichtsystem erstreckt.

In dem Vortrag von Dr. J. Aizenberg (Lucent Technologies) wurde uns die Beschränktheit unserer Fähigkeiten, Kristalle mit maßgeschneiderten Formen und Funktionalitäten zu erzeugen, vor Augen geführt: In der Tier- und Pflanzenwelt finden sich in Organismen kristalline Komponenten, die mit der heutigen Technik nicht erreichbare Eigenschaften aufweisen.

So besitzt zum Beispiel der „Brittlestar“, ein dem Seestern ähnlicher Meeresbewohner, ein kristallines Auge (Abbildung) aus einem Kalzit-Einkristall ( $\text{CaCO}_3$ ), das aus einem Feld von Mikrolinsen mit jeweils nur 50  $\mu\text{m}$  Durchmesser besteht. Darüber hinaus ist der Einkristall entlang seiner c-Achse orientiert, um die Doppelbrechung des Kalzits zu vermeiden. Anhand eines Modellsystems -  $\text{CaCO}_3$  wächst auf selbst-organisierten Monolagen von organischen Molekülen („self-assembled monolayers“, SAM) – konnten die Forscher an den Bell Labs grundlegende Prozesse bei der Kalzitkristallisation studieren. Verschiedene Endgruppen der organischen Moleküle, auf denen sich der Kristall bildet, führen zu verschiedenen Orientierungen des aufwachsenden Kalzitkristalls. Lokale „Impfung“ einer ansonsten ungeordneten Molekülschicht mit einem speziellen Molekül führt zur Bildung eines Kristalliten an einem definierten Ort.

Ein klassisches Thema der Festkörperphysik wurde in dem Vortrag von Dr. K. Morgenstern (FU Berlin) neu beleuchtet: Mit Hilfe atomar aufgelöster STM-Bilder von Durchstoßpunkten von Versetzungen an der Kristalloberfläche konnte sie am Beispiel der Silber-(111)-Oberfläche zeigen, wie die Anwesenheit der Grenzfläche die Struktur dieser Kristalldefekte beeinflusst. Bei diesen Studien wurde die mit dem STM gewonnene Information über die Morphologie der Oberfläche durch molekulardynamische Rechnungen ergänzt, die Aufschluss über die Struktur der oberflächennahen Kristallschichten geben.

Der Vortrag von Dr. J. Hannon (IBM) zeigte, wie die noch recht junge Untersuchungsmethode des LEEM („Low Energy Electron Microscope“) dazu genutzt werden kann, sowohl die Energetik als auch die Kinetik von Phasenumwandlungen an Oberflächen zu beobachten: Auf der Silizium-(111)-Oberfläche konnten aus detaillierten Untersuchungen eines Phasenübergangs erster Ordnung zwischen einer geordneten und einer ungeordneten Oberflächenstruktur wichtige Materialkonstanten bestimmt werden (freie Oberflächenenergien und Energie der Phasengrenze). Die gute Zeitauflösung des LEEM konnte weiterhin dazu genutzt werden, die Dynamik von Phasenumwandlungen auf dieser Oberfläche zu studieren.

Prof. J. Krug (Duisburg-Essen) behandelte in seinem Vortrag theoretisch verschiedene Mechanismen, die zur Entstehung von Stufenbündeln im Dünnschichtwachstum führen. Allgemein wird der Stufenbündelungseffekt dadurch hervorgerufen, dass die Anlagerungsgeschwindigkeit an eine Stufe für Atome, die von der oberen Terrasse kommen, eine andere ist, als für Atome, die die Stufe von der unteren Terrasse erreichen. Krug erweiterte dieses Modell in seinem Vortrag um den Einfluss von Verunreinigungen auf diese Asymmetrie im Materialtransport.

Begleitend zu den Hauptvorträgen wurde eine große Zahl von Beiträgen auf den zwei Postersitzungen präsentiert. Auch hier zeigte sich das gewachsene Interesse an Fragestellungen aus der Biologie, von der Keimung von Nierensteinen bis zur Proteinkristallisation.

Im Gebiet Simulation und Modellierung von Wachstumsprozessen lag ein Hauptschwerpunkt auf der Verschmelzung etablierter Ansätze: So gab es Beiträge, die die Genauigkeit von molekulardynamischen Rechnungen mit der Geschwindigkeit von Monte-Carlo-Simulationen verbanden.

Weitere Arbeiten beschäftigten sich mit dem Übergang von einer diskreten zu einer kontinuierlichen Modellierung von atomaren Prozessen.

Traditionell wurde zum letzten Abendessen der Konferenz Hummer serviert, der die nötige Energie für die abschließende Abendsitzung zu liefern hatte, die den „Hot Topics“ vorbehalten war. Die Thematik war auch hier sehr gemischt, es gab Beiträge zur Theorie der Stufenfluktuationen auf vizinalen Kristalloberflächen (Prof. T. Einstein, Maryland), experimentelle Untersuchungen zur Bildung von Stapelfehlern beim Dünnschichtwachstum (C. Busse, Aachen), interferometrische Messungen zum Verhalten von unerwünschten Stufenbündeln beim Kristallwachstum aus einer Lösung (Dr. N. Booth, Houston), und Biomineralisation (Dr. M. Travaillie, Nijmegen, und Prof. J. Evans, New York). Nach diesen letzten Vorträgen hatte sich alle Teilnehmer einen geselligen Ausklang der Konferenz verdient, bei dem allgemein ein sehr positives Fazit der Veranstaltung gezogen wurde. Die nächste Konferenz der Serie findet 2005 voraussichtlich wieder am Mount Holyoke College unter der Leitung von Prof. M. Hines, Cornell University, statt.

**Carsten Busse arbeitet auf dem Forschungsgebiet „Atomare Prozesse beim Schichtwachstum“ und beendet gerade seine Promotion zum Thema Stapelfehlerbildung beim Wachstum dünner metallischer Filme. Seine Kongressreise zur Gordon-Konferenz wurde von der DGKK über den DGKK-Nachwuchspreis finanziert. Bei dem zwei Seiten zuvor abgedruckten Poster handelt es sich um seinen Konferenzbeitrag, der in der Sitzung „Hot Topics“ präsentiert wurde.**

## TERMINE UND ANKÜNDIGUNGEN

### Tagungskalender

#### 05 – 06 February 2004

DGKK-Arbeitskreistreffen Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung in Volkach am Main  
Kontakt: A. Seidl  
E-mail: albrecht.seidl@rweschottssolar.com

#### 24 – 28 February 2004

Int. Workshop on Crystal Growth and Characterization of Technologically Important Materials at the Crystal Growth Centre, Anna University in Chennai, India  
Contact: Prof. R. Dhanasekaran  
rdhanasekaran@annauniv.edu

#### 15 - 18 March 2004

Gemeinsame DGKK-DGK Jahrestagung in Jena  
Kontakt: Prof. E. Förster (FSU Jena)  
foerster@ioq.uni-jena.de  
Prof. R. Hilgenfeld (Univ. Lübeck)  
hilgenfeld@biochem.uni-luebeck.de  
www.conventus.de/kristalle

#### 17 – 19 March 2004

Inverse Problems, Design and Optimization Symp. in Rio de Janeiro, Brazil  
selected topics: heat and mass transfer, fluid mech., solid mech., materials processing  
<http://www.lmt.coppe.ufrj.br/ipdo/>

#### 18 March 2004

DGKK-Arbeitskreistreffen Kinetikseminar im Rahmen der DGKK-DKG Jahrestagung in Jena  
Kontakt: H. Strunk, P. Görnert, P. Rudolph  
E-mail: strunk@ww.uni-erlangen.de  
www.conventus.de/kristalle

#### 12 - 16 April 2004

MRS Spring Meeting  
In San Francisco, USA  
www.mrs.org.MRS

#### 16 - 20 May, 2004

International Conf. on Solid State Crystals, Material Science and Applications and 7th Polish Conference on Crystal Growth - ICSSC-7PCCG in Kocielisko, Zakopane, Poland  
www.ptwk.org.pl/ICSSC-7PCCG/

#### 24 - 28 May 2004

E-MRS Spring Meeting  
in Strasbourg, France  
www-emrs.c-strasbourg.fr.E-MRS

#### 30 May – 04 June 2004

3<sup>rd</sup> Int. Conference on Computational Modeling and Simulation of Materials in Acireale, Italy  
www.technagroup.it/modeling.htm

**30 May – 04 June 2004**

12<sup>th</sup> Int. Conf. on Metal-Organic Vapour  
Phase Epitaxy (ICMOVPE-XII)  
in Lahaina, Hawaii, USA  
[www.tms.org](http://www.tms.org)

**13 – 16 June 2004**

Nineteenth Conf. on Crystal Growth  
and Epitaxy of the AACGE/west  
Stanford Sierra Camp.,  
Fallen Leaf Lake, California, USA  
[www.crystalgrowth.org](http://www.crystalgrowth.org)

**19 - 23 July 2004**

Int. Workshop on Nitride Semiconductors  
(IWN04) in Pittsburgh, PA, USA  
[www.mrs.org](http://www.mrs.org)

**19 - 23 July 2004**

The 20-th General Conference of  
Condensed Matter Division of the  
European Physical Society  
in Prague, CZ  
<http://195.113.32.128/CMD20.htm>

**21-23 July 2004**

4th European Workshop on Piezoelectric Materials  
in Montpellier, France  
<http://www.lpmc.univ-montp2.fr/~4ewpm>

**01 - 07 August 2004**

Int. Summer School on Crystal Growth  
(ISSCG-14) in Berlin, Germany  
[www.dgkk.de/ISSCG-12](http://www.dgkk.de/ISSCG-12) and  
<http://ISSCG12.ikz-berlin.de>

**09 - 13 August 2004**

ICCG-14, ICVGE-12  
in Grenoble, France  
<http://iccg14.inpg.fr/>

**25 – 31 August 2004**

XXII European Crystallographic Meeting  
(ECM-22) in Budapest, Hungary

**13 - 17 September 2004**

2nd International Conf. on the Fundamentals  
of Plastic Deformation - DISLOCATIONS 2004  
in La Colle-sur-loup, France.  
<http://lem.onera.fr/dislocations2004>

**21 - 24 September 2004**

8th Int. Conf. on Condensed Matter and Statistical  
Physics  
in Marrakech, Morocco  
<http://www.ensma.ac.ma/8ICCMSP/>

**10 – 15 September 2005**

Third Int. Workshop on Crystal Growth  
Technology (IWCGT-3)  
In Beatenberg, Switzerland  
Contact: H. Scheel  
E-mail: [hans.scheel@bluewin.ch](mailto:hans.scheel@bluewin.ch)

**SPEZIELLE ANKÜNDIGUNGEN,  
VERSCHIEDENES****2<sup>nd</sup> Announcement für ICCG14 in Grenoble**

Das 2<sup>nd</sup> Announcement für die ICCG14 ist mittlerweile  
erschienen. Für die sehr umfangreiche Information sei auf die  
WEB-site

<http://iccg14.inpg.fr>

verwiesen.

Hier soll allerdings noch einmal auf die wichtigsten Termine  
Hingewiesen werden:

ICCG 14	
Deadline for abstracts submission	15/01/2004
Deadline for financial help submission	15/01/2004
Notification of accepted abstracts by	15/03/2004
Deadline for receipt of papers	03/05/2004
Deadline for advanced registration	04/05/2004
Deadline for receipt of late abstracts	31/05/2004
Notification of accepted papers by	01/07/2004
Deadline for online registration	31/07/2004
ICCG 14 starts	09/08/2004
ISSCG 12	
Deadline for advanced registration	31/01/2004
ISSCG 12 starts	01/08/2004

**Die Vorbereitungen für den****Third International Workshop on Crystal  
Growth Technology****vom 10. bis 18. Sept. 2003 in Beatenberg,  
nähe Interlaken, Schweiz**

sind offenbar schon weit fortgeschritten. Interessenten können  
sich diesen Termin schon vormerken. Herr Scheel scheint es  
wieder zu gelingen, eine illustre Schar von Fachkollegen für  
diese Veranstaltung zu gewinnen.

Zusammen mit der Ankündigung des Workshops haben wir  
die Information erhalten, daß das von Herrn Scheel und Herrn  
Fukuda herausgegebene Buch

**„Crystal Growth Technology“**

mittlerweile im Buchhandel erschienen ist. Es ist über  
Wiley&Sons als gebundene Ausgabe und als Taschenbuch  
erhältlich.

Auch bei diesem Buch haben natürlich namhafte Kollegen  
mitgewirkt.

Vielleicht gelingt es uns für eines der nächsten  
Mitteilungsblättchen, einen Kollegen für eine ausführlichere  
Buchbesprechung zu gewinnen.

# International Conference on Solid State Crystals

*Material Science and Applications*

## and 7<sup>th</sup> Polish Conference on Crystal Growth

*General Meeting of Polish Society for Crystal Growth*



May 16÷20, 2004, Kościelisko, Zakopane, POLAND



### Organizers:

Polish Society for Crystal Growth

*in co-operation with:*

Ministry of Scientific Research and Information Technology (Poland)

Institute of Electronic Materials Technology (Poland)

High Pressure Research Center, Polish Academy of Sciences (Poland)

Umicore (Belgium)

Institute of Physics, Technical University of Lodz (Poland)

Committee of Crystallography, Polish Academy of Sciences (Poland)

Silicon CEMAT (Poland)

### Topics:

- Crystal growth
- Characterization and applications of solid state materials
- Nanostructured materials and films
- Opto- and micro-electronic devices



### Papers will be published in:

*Crystal Research and Technology and Opto-Electronic Review*

### Preliminary list of invited speakers:

**Robert F. Sekerka**, President of the Internat. Organiz. for Crystal Growth  
Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA

**Maciej Bugajski**, Institute of Electron Technology, Warsaw, Poland

**Sadik Dost**, University of Victoria, Victoria, Canada

**Lorenzo Faraone**, University of Western Australia, Crawley, Australia

**Grzegorz Gładyszewski**, Technical University of Lublin, Lublin, Poland

**Izabella Grzegory**, High Pressure Research Center, PAsC., Warsaw, Poland

**Detlef Hommel**, University Bremen, Bremen, Germany

**Hideo Hosono**, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan

**Andrzej Jeleński**, Institute of Electronic Materials Technology, Warsaw, Poland

**Koichi Kakimoto**, Kyushu-University, Kasuga, Japan

**Zuzanna Liliental**, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA

**Wolfgang Neumann**, Humbolt Universität in Berlin, Germany

**Gottfried Strasser**, Mikrostrukturzentrum TU Wien, Austria

**Isao Tanaka**, University of Yamanashi, Yamanashi, Japan

**Masami Tatsumi**, Sumitomo Electric Industries, LTD, Itami, Japan

**Mauro Tonelli**, Pisa University, Pisa, Italy

**Zbigniew Żytkiewicz**, Institute of Physics, PAsC., Warsaw, Poland



**Abstract and Registration Deadline: January 15, 2004**

Conference website: <http://www.ptwk.org.pl/ICSSC-7PCCG/>

Secretary - E-mail: [ICSSC-7PCCG@itme.edu.pl](mailto:ICSSC-7PCCG@itme.edu.pl)

## Arbeitskreise, Adressen und Termine

### Arbeitskreis

#### „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“

Nächstes Treffen am 31.03.2004 und 01.04.2004 an der Universität Halle

Kontakt über:

Prof. Dr. Reinhard Krause-Rehberg

Universität Halle / Physik

Fr.-Bach-Platz 6

Tel.: (+49) 345- 55 25 567 or 570

Fax: (+49) 345- 55 27 160

Email: krause@physik.uni-halle.de

### Arbeitskreis

#### „Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen“

Nächstes Treffen im Oktober 2004 in Dresden

Kontakt über:

Dr. Günter Behr

IFW Dresden

Tel.: 0351/4659 404

Fax.: 480

E-Mail: behr@ifw-dresden.de

### Arbeitskreis

#### „Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik“

Termin für nächstes Treffen noch nicht bekannt, wird im nächsten Mitteilungsblatt angegeben.

Kontakt über:

Prof. Dr. Manfred Mühlberg

Institut für Kristallographie

der Universität zu Köln

Zülpicher Str. 49b

D-50674 Köln

Tel.: 0221/470- 4420;

FAX: 4963

E-mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

### Arbeitskreis

#### „II-VI – Halbleiter“

Termin für nächstes Treffen nicht bekannt

Kontakt über

Dr. German Müller-Vogt

Kristall- und Materiallabor der

Fakultät für Physik

Kaiserstr. 12

76131 Karlsruhe

Tel.: 0721/608- 3470

Fax.: 7031

Email: German.Mueller-Vogt@phys.uni-karlsruhe.de

### Arbeitskreis

#### „Epitaxie von III-V-Halbleitern“

Treffen normalerweise jährlich im Dezember. Termin und Ort für das Treffen 2004 sind noch nicht bekannt, werden aber im nächsten Mitteilungsblatt bekanntgegeben.

Kontakt über:

Prof. Dr. Michael Heuken

Aixtron AG

Kackertstr. 15-17

52072 Aachen

Tel.: 0241/8909154

Fax.: 0241/890940

E-Mail: M.Heuken@aixtron.com

### Arbeitskreis

#### „Kinetik“

Nächstes Treffen am 18.März 2004 im Rahmen der DGKK/DGK – Jahrestagung.

(siehe auch Info weiter vorne im Heft)

Kontakt über:

Prof. Dr. Peter Rudolph

Institut für Kristallzüchtung

Max Born - Straße 2

12489 Berlin

Tel.: 030/6392 -3034

Fax.: -3003

E-Mail: rudolph@ikz-berlin.de

### Arbeitskreis

#### "Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"

Nächstes Treffen am 5. und 6. Februar 2004. in Volkach.

(Siehe ausführliche Ankündigung weiter vorne im Heft)

Kontakt über:

Dr. Albrecht Seidl

RWE Schott Solar GmbH

Industriestr. 13

63755 Alzenau, Germany

Tel: 49 (0)6023 91-1406

Fax: 49 (0)6023 91-1700

E-mail: albrecht.seidl@rweschottsolar.com

## DIE INSERENTEN DIESES HEFTS

### Heraeus.....2

Edelmetalle für Labor und Industrie

### Cyberstar.....5

Seit langem bekannt als Hersteller hochentwickelter Kristallzüchtungsanlagen

### Netzsch.....9

Thermoanalytische Geräte höchster Präzision

### Engelhard-Cial.....10

Spezialist für Edelmetalle, mit seinen Laborgeräten den Kristallzüchtern seit langem bekannt.

### Hüttinger-Elektronik GmbH.....11

Der Spezialist für Induktionserwärmung und Plasmatechnologie

### MaTeck.....18

Die Material-Technologie und Kristalle GmbH  
Kompetenz in Kristallherstellung und -Präparation

### ChemPur.....25

### TBL-Kelpin.....32

Der Nachfolger des Kristallhandel-Kelpin, mehr als 25 Jahre Erfahrung in Kristall-Handel und Technologie

### Linn High Therm GmbH.....4.Umschlagseite, S.44

*Liebe Inserenten:*

*Bitte schicken Sie neben Ihrer Annonce auch einen kleinen Ein- bis Zweizeiler an die Redaktion, mit dem wir Ihre Anzeige hier in diesem Verzeichnis ankündigen können.*

*Adresse hierfür: Dr. F. Ritter,*

*Robert Mayer-Str. 2-4*

*60054 Frankfurt am Main*

*E-Mail: F.Ritter@physik.uni-frankfurt.de*

## REGISTER BEREITS ERSCHIENENER ARTIKEL

### Beschreibung von Kristallzuchtungsstandorten

	MB-Nr.
Berlin, Kristallzuchtung am Hahn-Meitner-Institut	55
Berlin, Institut für Kristallzuchtung (IKZ)	56
Braunschweig, Forschung zum Kristallwachstum seitens der ansässigen Institute	42
Dresden, Kristallzuchtung und Kristallwachstum am ZFW (bis 1990)	54
Dresden Einkristallzuchtung am IFW (Situation im Jahr 1999)	71
Erlangen-Nürnberg, Kristalllabor am Lehrstuhl f. Werkstoffe der Elektrotechnik der Univ.	60
Frankfurt am Main, Kristall- und Mat.-Labor am Physikalischen Institut der Universität	50
Freiburg, Forschungsschwerp. "Kristallz. unter Red. Schwerkraftbedingungen" (KURS)	53
Freiburg, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme	47
Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)	61
Gießen, Kristallzuchtung am I. Physikalischen Institut der Universität	52
Idar-Oberstein, Firmenportrait des FEE	68
Karlsruhe, Kristall- und Materiallabor der Fakultät für Physik an der Universität	46
Kiel, Korth Kristalle GmbH - 50 Jahre Kristalle und Kristalloptik	69
Kristallzuchtung in Polen (engl.)	64
Kristallzuchtung in Süd-Korea	66
Schulen, Projekt zur Kristallzuchtung in Berlin	51
Schulen, Projekt zur Kristallzuchtung in Bochum	47
Schulen, Projekt zur Kristallzuchtung in Hannover	46

### Züchtungsverfahren, Züchtungsprojekte

Flüssigphasenelektroepitaxie	55
Liquid Encapsulated Cz.-Grown Semi-Insulating GaAs, Quality Status	54
Vertical Bridgman and Gradient Freeze Growth of III-V-Compound Semiconductors	53
Ga-Segregation in VGF-Germanium	77
Lithium-Niobat, Herstellung großer Einkristalle	42
Die tetragonale Bronze Calcium-Barium-Niobat	77
Optical Heating for Zone Methods	65
Kristallzuchtung für die Photovoltaik	59
Gedanken zu Gegenwart und Zukunft der Photovoltaik	68
Siliziumgranulat für das EFG-Verfahren	72
Kristallzuchtung unter reduzierten Schwerkraftbedingungen	49
Kristallzuchtung mit der Skull-Schmelz-Technik	67
Kristallzuchtung von SrPrGaO <sub>4</sub>	70
Kristallwachstum Biologischer Makromoleküle	73
Zn-Mg-RE-Quasikristalle - Ergebnisbericht	76

### Charakterisierung, mikroskopische Untersuchungen, Grundlagen

Characterization of Crystal Defects	56
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), X-Ray Diffraction Topography	60
ESRF (Kurzinformation)	62
Kristalldefekte und ihre Rolle in elektronischen Bauelementen	46
Lichtmikroskopie für die Kristallzuchtung -Kontrastverfahren und Spannungsoptik-	63
Marangoni-Effekte	37
Rasterkraftmikroskopische in-situ Kristallisationsuntersuchungen an der TU-Braunsch.	65
Spektroskopische in-situ-Methoden	72
Sparc source mass spectroscopy	75

### Technisches

Edelmetalle als Tiegelmaterial	49
Thyristorsteller zum Betreiben von Kristallzuchtungsöfen, Probleme bei induktiver Last	52

### Historisches

Einkristallzuchtung vor 35 Jahren: Herstellung von GaAs mit dem Gremmelmeier-Verf.	57
Kristallzuchtung in der DDR	51
Kristallzuchtung unter Obhut der Arbeitsgruppe "Kristallisation" der VfK (DDR)	63
Iwan N. Stranski	66
The Various Institutions of Crystal Growth (How did they all start?)	44
Walter Schottky, Anmerkungen zum 100. Geburtstag	44
50 Jahre III/V – Blick in die Originalliteratur	75
Geschichte der III/V - Halbleiter □ Ergänzungen	76
Watsons Doppelhelix -Pflichtlektüre	77

### Forschungsorganisation, Politik

DFG-Schwerpunktprogramm "Kristallkeimbildung und -wachstum ..." (1988-93)	62
Fächerübergreifende Arbeitsgemeinschaft Halbleiterforschung Leipzig	64
Tätigkeit der "IUCr Commission on Crystal Growth and Characterization of Materials"	70

<b>Redaktion</b>	
Chefredakteur	F. Ritter Physikalisches Institut der Uni Frankfurt am Main Robert Mayer Str. 2 - 4 60054 Frankfurt /Main Tel.: 069/798 -28053 Fax.: -28520 E-Mail: F.Ritter@Physik.uni-frankfurt.de
Übersichtsartikel, Kristallzüchtung in Deutschland	T. Boeck IKZ Berlin Tel.: 030/6392 -3051 Fax.: -3003 E-Mail: boeck@ikz-berlin.de
Tagungsberichte	J. Friedrich Fraunhofer Institut IIS-B, Erlangen Tel.: 09131/761 -344 Fax.: -312 E-Mail: jochen.friedrich@iis-b-fhg.de
Mitteilungen der DGKK, Stellenangebote, Stellengesuche	A. Lüdge IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3076 Fax.: -3003 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de
Mitteilungen von Schwestergesellschaften	F. Ritter Anschrift siehe oben
Tagungskalender	P. Rudolph IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3034 Fax.: -3003 E-Mail: rudolph@ikz-berlin.de
Schmunzelecke	R. Diehl IAF Freiburg Tel.: 0761/5159 -416 Fax.: -400
Anzeigenwerbung	M. Mühlberg, Anschrift siehe rechte Spalte
<b>Internet-Redaktion</b>	
Redaktionsleitung	A. Lüdge, Anschrift siehe oben
Gestaltung der WEB-site	S. Bergmann IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3093 Fax.: -3003 E-Mail: bergma@ikz-berlin.de WWW: <a href="http://www.ikz-berlin.de">http://www.ikz-berlin.de</a>

**Hinweise für Beiträge****Redaktionsschluß MB 79:****15. April 2004**

Bitte senden Sie Ihre Beiträge möglichst per E-Mail als angehängte Dateien oder auf Diskette (Format sekundär).  
Willkommen sind jederzeit interessante Bilder für den Titel.

Besten Dank  
Die Redaktion

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

Dr. Michael Heuken  
Aixtron AG  
Kackertstr. 15-17  
52072 Aachen  
Tel.: 0241/8909154  
Fax.: 0241/890940  
E-Mail: M.Heuken@aixtron.com

**Stellvertretender Vorsitzender**

Dr. Detlef Klimm  
Institut für Kristallzüchtung  
12489 Berlin  
Tel.: 030/6392 3024  
Fax.: 3003  
E-Mail: klimm@ikz-berlin.de

**Schriftführerin**

Dr. A. Lüdge  
Institut für Kristallzüchtung  
12489 Berlin  
Tel.: 030/6392 -3076  
Fax.: -3003  
E-Mail: luedge@ikz-berlin.de

**Schatzmeister**

Prof. Dr. Manfred Mühlberg  
Institut für Kristallographie  
Universität zu Köln  
Zülpicher Strasse 49b  
50674 Köln  
Tel.: 0221/470 -4420  
Fax.: 0221/470 -4963  
E-Mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

**Beisitzer**

Dr. German Müller-Vogt  
Kristall- und Materiallabor der  
Fakultät für Physik  
Kaiserstr. 12  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 0721/608- 3470  
Fax.: 7031  
E-Mail: German.Mueller-Vogt@phys.uni-karlsruhe.de

Dr. Torsten Boeck  
Institut für Kristallzüchtung  
12487 Berlin  
Tel.: 030/6392 -3051  
Fax.: -3003  
E-Mail: boeck@ikz-berlin.de

Dr. Albrecht Seidl  
RWE Schott Solar GmbH  
Industriestr. 13  
63755 Alzenau, Germany  
Tel: 06023 91-1406  
Fax: 06023 91-1700  
E-Mail: albrecht.seidl@rwehotsolar.com

**BANKVERBINDUNGEN**

Sparkasse Karlsruhe  
Kto.-Nr.: 104 306 19,  
BLZ: 660 501 01  
IBAN DE84 6605 0101 0100 1043 0619 SWIFT-BIC:KARSDE 66

**DGKK – STICHWORTLISTE****KRISTALLHERSTELLUNG  
ZÜCHTUNGSMETHODEN**

- 110 Schmelzzüchtung  
 111 Czochralski  
 112 LEC  
 113 Skull / kalter Tiegel  
 114 Kyropoulos  
 115 Bridgman  
 116 Schmelzzonen  
 117 gerichtetes Erstarren  
 118 Verneuil  
 119 andere Methoden
- 120 Gasphasenzüchtung  
 121 CVD, CVT  
 122 PVD, VPE  
 123 MOCVD  
 124 MBE, MOMBE  
 125 Sputterverfahren  
 129 andere Methoden
- 130 Lösungszüchtung  
 131 wässrige Lösung  
 132 Gelzüchtung  
 133 hydrothermal  
 134 Flux  
 135 LPE  
 136 THM  
 139 andere Methoden
- 140 weitere Verfahren  
 141  $\mu$ -g - Züchtung  
 142 Hochdrucksynthese  
 143 Explosionsverfahren  
 144 Elektrokristallisation  
 145 Rekristallisation / Sintern  
 149 andere Verfahren
- 150 Reinstoffherstellung

**MATERIALZUSAMMENSETZUNG**

- 210 Elemente  
 211 Graphit  
 212 Diamant, diamantartiger K.  
 213 Silizium  
 214 Germanium  
 215 Metalle  
 219 andere Elemente
- 220 Verbindungen  
 221 binäre Verbindungen  
 222 ternäre Verbindungen  
 223 multinäre Verbindungen  
 231 IV-IV  
 232 11-V  
 233 11-VI  
 234 Oxide, Ferroelektrika  
 235 metallische Legierungen  
 236 Supraleiter  
 237 Halogenide  
 238 organische Materialien  
 239 andere Verbindungen

**WACHSTUMSFORMEN**

- 311 Massivkristalle  
 312 dünne Schichten, Membranen  
 313 Fasern  
 314 Massenkristallinat  
 321 Einkristalle  
 322 Polykristalle  
 323 amorphe Materialien, Gläser  
 324 Multischicht - Strukturen  
 325 Keramik, Verbundwerkstoffe  
 326 Biokristallinat  
 327 Flüssigkristalle  
 328 Polymere  
 329 andere Materialtypen

**KRISTALLBEARBEITUNG**

- 411 Tempern  
 412 Sägen, Bohren, Erodieren  
 413 Schleifen, Läppen, Polieren  
 414 Laserstrahl -Bearbeitung  
 421 Lithographie  
 422 Ionenimplantation  
 423 Mikrostrukturierung

**KRISTALLCHARAKTERISIERUNG  
KRISTALLEIGENSCHAFTEN**

- 510 grundlegende Eigenschaften  
 511 Stöchiometrie  
 512 Phasenreinheit  
 513 Struktur, Symmetrie  
 514 Morphologie  
 515 Orientierungsverteilung  
 516 Phasenumwandlungen
- 520 Strukturdefekte / Struktureigenheiten  
 521 Punktdefekte, Dotierung  
 522 Versetzungen  
 523 planare Defekte, Verzwilligung  
 524 Korngrenzen  
 525 Einschlüsse, Ausscheidungen  
 526 Fehlernungen  
 527 Überstrukturen
- 530 Mechanische Eigenschaften  
 531 Elastische Eigenschaften  
 532 Härte  
 533 Bruchmechanik
- 540 Thermische Eigenschaften  
 541 Wärmeausdehnung  
 542 kritische Punkte
- 550 Elektrische Eigenschaften  
 551 Leitfähigkeit  
 552 Ladungsträger-Eigenschaften  
 553 Ionenleitung  
 554 Supraleitung
- 560 Optische Eigenschaften
- 570 Magnetische Eigenschaften
- 580 Weitere Eigenschaften  
 581 Diffusion  
 582 Korrosion  
 583 Oberflächen-Rekonstruktion
- MESSMETHODEN**  
 610 chemische Analytik  
 611 chemischer Aufschluß  
 612 Ätzmethoden  
 613 AAS, MS  
 614 thermische Analyse
- 620 Mikroskopie  
 621 lichtoptische Mikroskopie  
 622 Elektronenmikroskopie  
 623 Rastertunnel-Mikroskopie  
 624 Lumineszenz-Topographie
- 630 Beugungsmethoden  
 631 Röntgendiffraktometrie  
 632 Röntgentopographie  
 633 Gammadifraktometrie  
 634 Elektronenbeugung  
 635 Neutronenbeugung
- 640 Spektroskopie, Spektrometrie  
 641 UV-, VIS-, IR-, Fourier-  
 642 Raman-, Brillouin-  
 643 Kurzzeit-Spektroskopie  
 644 NMR, ESR, ODMR  
 645 RBS, Channeling  
 646 SIMS, SNMS
- 650 Oberflächenanalyse  
 651 LEED, AUGER  
 652 UPS, XPS
- 660 Elektrische Charakterisierung
- 670 Andere Meßmethoden

**MATHEMATISCHE BEHANDLUNG**

- 710 Kristallwachstum  
 711 Keimbildung  
 712 Wachstumsvorgänge  
 713 Transportvorgänge  
 714 Rekristallisation  
 715 Symmetriemaspekte  
 716 Kristallmorphologie  
 717 Phasendiagramme
- 730 Materialeigenschaften  
 731 thermodyn. Berechnungen  
 732 elektrochem. Berechnungen  
 733 Bandgap-Engineering (physik.)  
 734 Crystal-Engineering (biolog.)  
 735 Defect-Engineering
- 750 Prozessparameter  
 751 Temperaturverteilung  
 752 Konvektion

**ENTWICKLUNG / VERTRIEB /  
SERVICE**

- 810 Anlagen / Komponenten  
 811 Züchtungsapparaturen  
 812 Prozess-Steuerungen  
 813 Sägen, Poliereinrichtungen  
 814 Öfen, Heizungen  
 815 Hochdruckpressen  
 816 mechanische Komponenten  
 817 elektrische Komponenten  
 818 Meßeinrichtungen
- 830 Zubehör  
 831 Zubehör für Kristallzüchtung  
 832 Zubehör für Kristallbearbeitung  
 833 Zubehör für Materialanalyse  
 834 Ausgangsmaterialien  
 835 Kristalle  
 836 Lehrmaterial, Kristallmodelle  
 837 Rechenprogramme
- 850 Service  
 851 Anlagenplanung  
 852 Anwendungsberatung  
 853 Materialanalyse (als Service)

**Die Schriftführerin bittet darum,  
bei Antrag auf Mitgliedschaft nur  
diese Code-Nr. zu verwenden.**



# TECHNOLOGY LEADERSHIP



## Crystal growth system

for production of low defect SiC single crystals for High-Performance, high-temperature electronics and optoelectronics.

It executes precisely defined process-conditions (temperature, atmosphere) to grow up to 3" 4H and 6H SiC single crystals in a gas phase. The system is composed of an induction heated reactor, a high-stability current supply (medium frequency 10 kHz/20 kW), process controller and a PC interface for monitoring and programming. Tmax 2300 °C.



## Medium frequency inverter / generators

MF-Output power up to 250 kW.

Operating frequency 2,0 - 100 kHz.

## High frequency solid state generators

HF-Output power 1,5 - 50 kW.

Operating frequency up to 200 - 1500 kHz.



## Micro-Crystal growth system

for pulling of single crystalline fibers from the melt under inert gas or air. Fiber dimensions:  $\varnothing = 0,2 - 2,0$  mm, lmax = 250 mm. Up to 5000 mg of starting material is melted in a platinum crucible (for high-melting compounds also Ir-, W-, Mo- crucibles) and a fiber crystal is pulled down through a capillary nozzle with a secondary heater around the nozzle. Power supply: Primary heater 80 W (max. 500 W), secondary heater 30 W (max. 200 W).



## High temperature graphite

### Vac - Gas furnace

for materials research. Separate inner tube and outer chambers with individual gas flow. Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> and vacuum up to 10<sup>-4</sup> mbar. 2100 / 1950 °C working temperature with mass spectrometer.

Special systems according to customer specifications!

**linn**  
High Therm



ISO 9001:2000

Linn High Therm GmbH  
Heinrich-Hertz-Platz 1  
D-92275 Eschenfelden  
Tel: +49 (0) 9665 9140-0  
Fax: +49 (0) 9665 1720  
E-Mail: info@linn.de  
Internet: www.linn.de