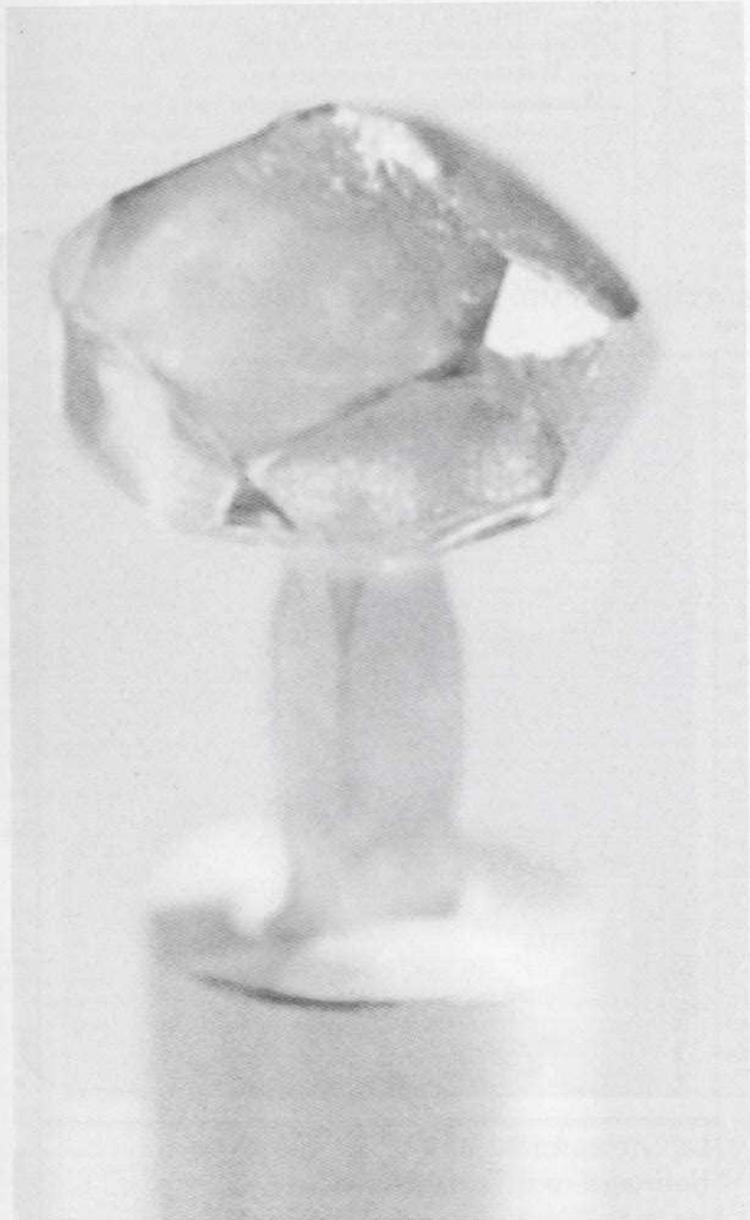


Mitteilungsblatt
Nr. 68 / November 1998

Deutsche Gesellschaft
für Kristallwachstum und
Kristallzüchtung e. V.

Leh



INHALT

Mitteilungen der DGKK

Preis der DGKK4
Drei Länder-Tagung6

Berichte aus den Arbeitskreisen

Intermetallische Verbindungen6
Kristalle für Laser und NLO7

Kristallzüchtung in Deutschland

Neubau des IKZ7
Firmenportrait des FEE10
Kristallzüchtung an den Hochschulen .11

Konferenzberichte

ICCG-12 in Jerusalem12
ISCGT-1 in Beatenberg21

Übersichtsartikel

Gedanken zur Photovoltaik26

Termine

Treffen der Arbeitskreise29
Tagungskalender30

Personalien

Neumitglieder31

Schmunzelecke

Weisheiten31

Register

Frühere Artikel32



GERO Hochtemperaturöfen GmbH *High Tec for Thermal Treatment*

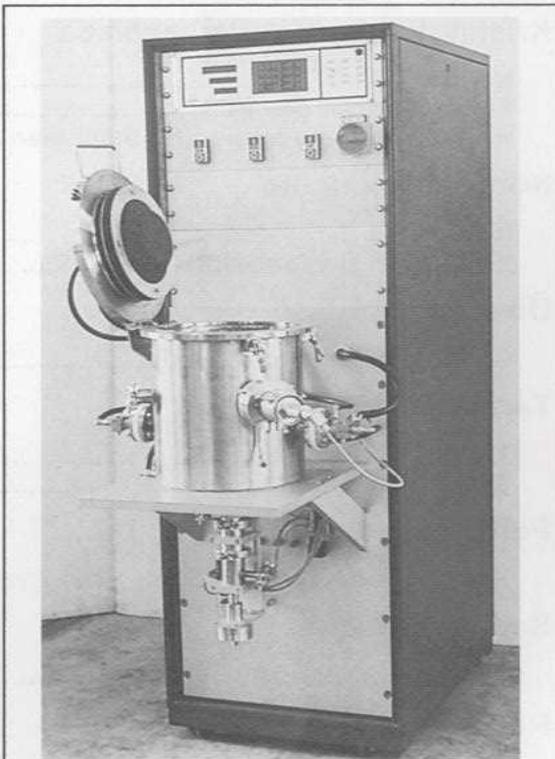
MONBACHSTRASSE 7
D-75242 Neuhausen
Tel 07234/9522-0 Fax 07234/5379

Unser Lieferprogramm:

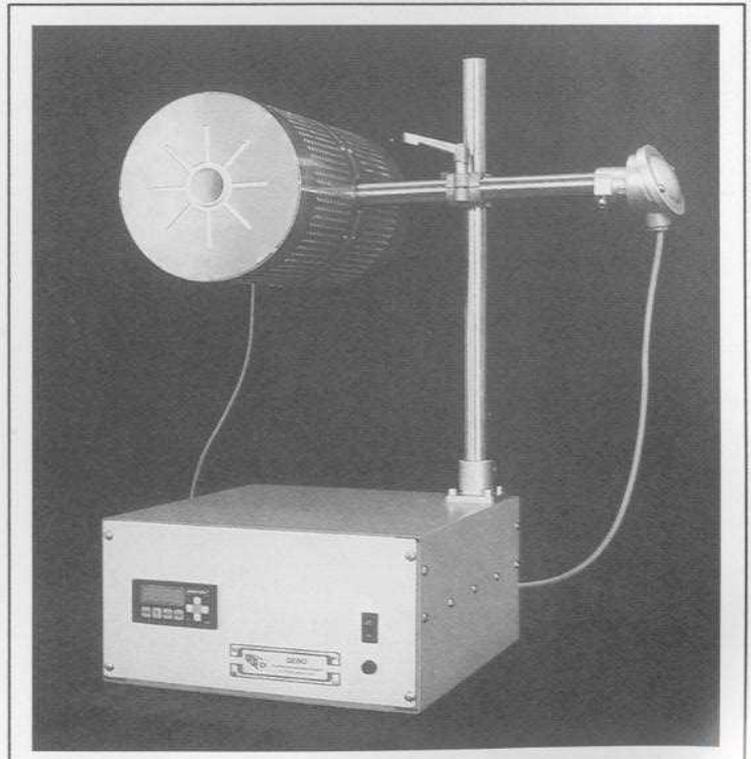
Rohröfen bis 1 800°C
Mehrzonrohröfen bis 1 800°C
Zehnzonenöfen bis 1 500°C
Kammeröfen bis 1 800°C an Luft
Tiegelöfen bis 1 800°C
Kalibrieröfen für TC und Pyrometer
Zonenschmelzanlagen
Haubenöfen
Herdwagen- u. Durchlauföfen

Vakuumöfen aller Art
Schutzgasöfen bis 3 000°C
Kristallziehenanlagen und Zubehör
Wärmerohre (heat pipes)
Wassergekühlte Edelstahlflansche
Mikrowellentrockner
Mikrowellensinteranlagen
Schwebeschmelztiegel
Sonderöfen - u. Anlagenbau

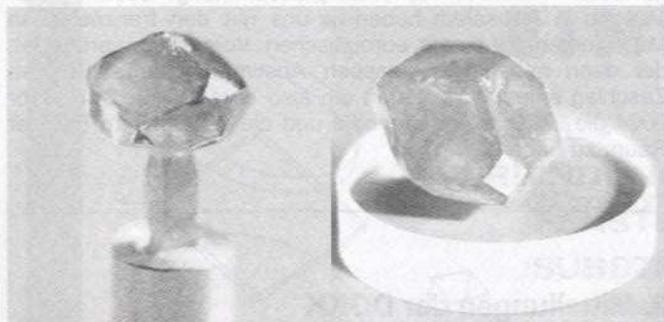
In der Entwicklung immer etwas weiter als die modernste Technik



Hochtemperatur-Laborofen bis 2 200 °C



Laborrohröfen Ro 40-250 bis 1 100 °C für
Horizontal- und Vertikalbetrieb

Zum Titelbild

Man sieht hier das Ergebnis der ersten erfolgreichen Einkristallzüchtung der im Phasendiagramm $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ ausgewiesenen Verbindung $\text{Bi}_{24}\text{B}_2\text{O}_{39}$ (Kristalldurchmesser ca. 15 mm, [111]-Richtung mit einem $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ -Keimkristall). Die in der Raumgruppe $I\ 23$ kristallisierende und zur Materialgruppe der Sillenite gehörende Verbindung schmilzt bei 670°C extrem inkongruent. Das Kristallisationsfeld ist nur ca. 1,5 Mol-% breit, d.h. der Anstieg der Liquiduslinie beträgt ca. 20 K/Mol-% (!). Weiterhin kommt erschwerend für die Züchtung nach der TSSG-Methode hinzu, daß eine Neuuntersuchung des Phasendiagramms auf eine stark nichtideale Schmelze (Komplexbildung) hinweist und es außerordentlich schwierig ist, die gleichzeitige Kristallisation der 2:1-Phase ($\text{Bi}_4\text{B}_2\text{O}_9$) zu vermeiden.

Weitere Details der Kristallzüchtung sind enthalten im Beitrag von M. Burianek und M. Mühlberg, "Crystal Growth of Boron Sillenite $\text{Bi}_{24}\text{B}_2\text{O}_{39}$ ", Cryst. Res. Technol. **32** (1997), 1023-1027.

Die erfolgreiche Kristallzüchtung ermöglichte auch eine erstmalige Kristallstrukturbestimmung (P. Held, Inst. f. Kristallographie, Uni Köln), die eine Summenformel $\text{Bi}_{24.5}\text{BO}_{38.25}$ lieferte. Die genaue Klärung dieser Diskrepanz ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

Manfred Burianek und Manfred Mühlberg
Institut für Kristallographie der Universität zu Köln.

Besuchen Sie auch die Internet-Seite der DGKK, die am Institut für Kristallzüchtung (IKZ) in Berlin eingerichtet ist.

Dort finden Sie Links auf alle interessantesten Internet-Angebote unserer Gesellschaft.

Hier nochmals die Adresse:

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

Editorial

Liebe Leser,

Sommer und Hauptreisezeit sind gleichermaßen vorbei, aber wenigstens dieses Heft soll Ihnen beides wieder etwas ins Gedächtnis zurückrufen. Für nicht wenige von uns war ja in diesem Jahr der wichtigste Anlaß zum Reisen die Kristallzüchtung, die uns zudem in sehr sommerliche und attraktive Gegenden führte. Dies trifft zumindest zu auf die "Reise nach Jerusalem" zur ICCG12 und auf die Kristallzüchtungsschule ISCGT-1 in Beatenberg in den Schweizer Bergen.

Im dem Bewußtsein, daß natürlich nicht alle Kristallzüchter diese interessanten aber auch teuren Reisen unternehmen konnten, haben auch diesmal wieder einige freundliche Kollegen sehr schöne Berichte verfaßt, hauptsächlich natürlich über die fachwissenschaftlichen Aspekte, aber zum Teil auch über touristische Eindrücke. Ich denke wir sollten die Mühe unserer Fachkollegen wenigstens dadurch belohnen, daß wir diese Tagungsberichte aufmerksam lesen und uns vornehmen, immer wieder je nach Möglichkeit nicht nur zu den lesenden sondern auch zu den schreibenden Kristallzüchtern zu gehören.

In unserer Rubrik "Kristallzüchtung in Deutschland" ergab sich die erfreuliche Gelegenheit, über eine beträchtliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen am "Institut für Kristallzüchtung" in Berlin zu berichten. Ich denke, nicht nur die Berliner Kollegen freuen sich über die erfolgreiche Entwicklung des IKZ und empfinden dieses als wichtige Verstärkung ihrer Forschungstätigkeit zur Kristallzüchtung.

Auch unsere zweite Standortbeschreibung sollte motivierend wirken. Das als Forschungsinstitut gestartete FEE in Idar-Oberstein zeigt mit seiner Entwicklung, daß kommerzielle Kristallzüchtung auch in Deutschland erfolgreich betrieben werden kann und daß hier bei guter Wechselwirkung zwischen Forschung und Produktion sogar noch Expansion möglich ist.

Kristallzüchtung an Hochschulen wird häufig mit Blick auf einen sehr speziellen Markt betrieben, den der Materialien mit ungewöhnlichen Eigenschaften mit besonderem Wert für die Grundlagenforschung. Auch das ist ein Markt mit scharfer Konkurrenz, auf dem man sich behaupten muß. Der Information über diese Seite der Kristallzüchtung die immerhin einen großen Teil der Kristallzüchter ausbildet, dient hier eingeführte Rubrik "Aus den Hochschulen", in der nach dem Vorbild des französischen Mitteilungsblatts über Dissertationen und vergleichbare Arbeiten berichtet wird. Diese Rubrik haben wir hier mit zwei Beiträgen aus Karlsruhe und Frankfurt a. M. gestartet. Sicherlich sind auch an anderen Hochschulen interessante Beiträge zur Kristallzüchtung entstanden. Bitte denken Sie daran, mir für die nächsten Hefte entsprechende Kurzberichte anzubieten, damit bekannt gemacht werden kann, welches interessante "know how" von Ihren jüngeren Mitarbeitern erarbeitet wird.

Bitte beachten Sie die Bekanntmachung zu unserer nächsten Jahrestagung, die ja eine "Drei Länder Tagung" wird.

Bis dahin wünsche ich Ihnen viel Erfolg und Spaß bei unserem gemeinsamen Hobby.

Ihr Franz Ritter

Notizen des Vorsitzenden

Wer im Sommer 1998 an allen internationalen Großereignissen der Kristallzüchtung teilnehmen wollte, hatte alle Hände voll zu tun " und benötigte einen gesegneten Reiseetat Nichtsdestoweniger war jedes für sich gesehen die Reise wert.

Den Reigen eröffnete die Int. School on Crystal Growth in Rimini (ISSCG 10). Mit der für uns Deutsche so schwer nachahmbaren Mischung aus organisatorischer Leichtigkeit und fachlichem Tiefgang führten unsere italienischen Kollegen vor, wie man am - wohl zu Unrecht geschmähten Teutonengrill - intensives Studium von "Crystal Growth" mit Dolce Vita an Strand und Promenade aufs angenehmste miteinander verbinden kann. Darauf folgte die Int. Conf. on Crystal Growth (ICCG 12) in Jerusalem. Falls es denn überhaupt Skeptiker gegeben haben sollte, die israelischen Kollegen haben eine beispielhaft gut organisierte Konferenz zuwege gebracht, die fachlich gesehen ein Kaleidoskop für "Crystal Growth" auf hohem Niveau zu bieten hatte. Daß man an einem Tagungsort wie Jerusalem möglichst jede freie Stunde zu nutzen versucht um den schier unermeßlichen Schatz an geschichtsträchtigen Sehenswürdigkeiten in und um diese Stadt zu Gesicht zu bekommen, mögen uns ICCG 12-Teilnehmern die Puristen nachsehen und nicht als Wissenschaftstourismus ankreiden, denn auch Kristallzüchter sind Menschen.

Wer aber leider mehr über die harten Niederebenen der industriellen Kristallproduktion vor allem von Silicium, Galliumarsenid und einigen Oxiden erfahren und die Hauptakteure dieser Szene treffen wollte, der mußte Anfang September die Bergschuhe schnüren und mit Rucksack ausgestattet ins Berner Oberland zur ISCT 1 nach Beatenberg ziehen. Dorthin ist es Herrn Scheel -trotz mancher Widerstände - gelungen, eine stattliche Anzahl der oben genannten "Hauptakteure" zur 1st Int. School on Crystal Technology (ISCT 1) zusammenzubringen und im Angesicht von Jungfrau, Mönch und Eiger in einer bisher noch nicht erreichten Ausführlichkeit den derzeitigen 'State of the Art' diskutieren zu lassen. Das exzellente technische Programm hat sicherlich dazu beigetragen, das in diesem Jahr untypische Spätsommerwetter in den Schweizer Bergen leichter zu ertragen und sich einer weiteren "Lecture" statt einer Bergwanderung zuzuwenden.

Mitten in die Zeit der ISCT 1 fiel ein weiteres Großereignis aus deutscher Sicht, nämlich die offizielle Einweihung des Instituts für Kristallzüchtung (IKZ) in Berlin.

Als DGKK-Vorsitzender möchte ich an dieser Stelle nochmals meine Glückwünsche an alle Mitglieder des IKZ wiederholen. Wir als DGKK sind stolz darauf, daß eines der zumindest europaweit größten Institute für Kristallwachstum und Kristallzüchtung in Deutschland angesiedelt ist. Wir verbinden damit die berechtigte Hoffnung, daß unser Arbeitsgebiet durch die Existenz des IKZ auch mittel- und langfristig die Anerkennung und Beachtung findet, um sich erfolgreich zu entwickeln. Allen Mitarbeitern des IKZ, insbesondere seinem Direktor, Herrn Dr. Schröder, unserem ehemaligen DGKK-Vorsitzenden, möchte ich viele Erfolge und alles Gute für die Zukunft wünschen.

Für 1999 dürfen wir uns auf die gemeinsame Kristallzüchtungstagung mit unseren britischen und niederländischen Kollegen freuen, die unter dem besonders gelungenen Akronym BriDGe (British- Dutch- German) in der Nähe von Utrecht vom 15. - 17. 03. 1999 abgehalten wird. (Näheres in diesem Mitteilungsblatt).

Die europäische Zusammenarbeit in der Kristallzüchtung hat uns übrigens auch dazu verholpen, daß die übernächsten Großereignisse der Kristallzüchtung ICCG 14 und ISSCG im Jahre 2004 nach Europa kommen. Hierzu lagen der Int.

Organization of Crystal Growth (IOCG) mehrere Bewerbungen vor, darunter auch unsere deutsche. Turnusgemäß wären jedoch die USA für 2004 am Zuge gewesen. Während der Kampfabstimmung beim IOCG-Meeting in Jerusalem haben wir uns mit den französischen Mitbewerbern zu einem europäischen Vorschlag, verbündet, der dann mit einem knappen Abstimmungsergebnis den Zuschlag erhielt. Wir dürfen um also darauf freuen, im Jahr 2004 die ICCG 14 in Grenoble und die ISSG 12 im Berliner Raum zu haben.

Ihr Georg Müller

2. Mitteilungen der DGKK

Preis der DGKK

Aufruf zum Einreichen von Vorschlägen

Den auf der Jahreshauptversammlung 1998 und in den Notizen des Vorsitzenden von Professor Georg Müller (letztes Mitteilungsblatt) gemachten Aufruf zum Einreichen von Vorschlägen für den "**Preis der DGKK**" möchten wir nochmals erneuern.

Wir rufen alle DGKK-Mitglieder auf, preiswürdige Vorschläge einzureichen, die entsprechend der Satzung der DGKK sich bevorzugt auf jüngere Wissenschaftler und Technologen beziehen. Besondere wissenschaftliche und technische Leistungen auf dem Gebiet des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung sollen anerkannt werden, und durch die Preisvergabe soll noch stärker nach außen auf die Bedeutung dieses Wissenschaftsgebietes hingewiesen werden.

Die vollständigen Konditionen für die Preisvergabe sind im Pkt. VII (Anhang) der Satzung der DGKK enthalten, die sich im Mitgliederverzeichnis der DGKK befindet.

Die begründeten Vorschläge sollten bis zum 31.01.1999 an eines der aufgeführten Mitglieder des Preiskollegiums gerichtet werden.

Dr. Holger Jürgensen
AIXTRON AG
Kackertstr. 15-17
D-52072 Aachen
Tel.: 0241/89090; FAX: 0241/890940
E-mail: juer@aixtron.com

Prof. Dr. Manfred Mühlberg
Institut für Kristallographie
der Universität zu Köln
Zülpicher Str. 49b
D-50674 Köln
Tel.: 0221/470-4420; FAX: 0221/470-4963
E-mail: M.Muehlberg@kri.uni-koeln.de

Prof. Dr. Helmut Wenzl
Institut für Festkörperforschung
Forschungszentrum Jülich
D-52425 Jülich
Tel.: 02461/616664; FAX: 02461/613916
E-mail: h.wenzl@fz-juelich.de

Für Forschung und Produktion

EINKRISTALLE

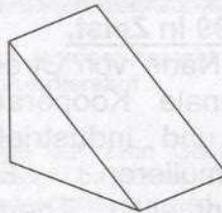
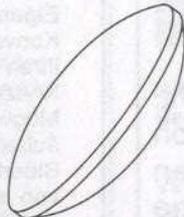
aus

METALL - LEGIERUNGEN - HALBLEITER
VERBINDUNGEN - OXIDE - HALOGENIDE

FENSTER - LINSEN - PRISMEN

SUBSTRATE - WAFER - STÄBE

Random - orientiert - präpariert



Präzisionskugeln
Halbzeug (blanks)
Rohkristalle (boules)

Sputtertargets
Seltene Erden

KRISTALLHANDEL KELPIN



69181 Leimen · Telefon 0 62 24/7 25 58 · Telefax 0 62 24/7 71 89



CRYSTAL

- Über uns
- Substrate und Wafer
- Kernstrahlungsdetektoren
- Optische Komponenten
- Lasersysteme
- Neuigkeiten
- E-mail Service

*Wenn Sie mehr wissen möchten:
<http://www.crystal-gmbh.com>*

Tel.: 030/5388 17 0

Fax: 030/535 0436

Dokument: Übermittelt

Bekanntmachung zur nächsten Jahrestagung

BriDGe 1999

Die Jahrestagung der DGKK 1999 wird geplant zusammen mit den Tagungen der Kollegen aus Grossbritannien und Niederlanden. Diese gemeinsame Tagung der "British, Dutch and German" Kristallzüchter, "BriDGe 1999" wird von den Holländischen Kollegen organisiert. Sie wird vom

14. bis 17. März 1999 in Zeist,

einem ruhigen Platz in der Nähe von Utrecht, stattfinden. Sie soll regionale Kooperation zwischen akademischen und industriellen Forschungsgruppen stimulieren. Eine vorläufige Liste der eventuellen Themen könnte beinhalten:

- Grundlegende Forschungsthemen des Kristallwachstums sowohl experimentell wie auch theoretisch
- Hochaufgelöste Oberflächenabbildung für Schichtwachstum und Nanostrukturen
- Massenkristallisation
- Biologische Systeme, Proteine, Bio-Mineralisation
- Einkristalle und dünne Filme für die Elektronik
- Kristalle für optische Anwendungen

Da die gegenseitige Abstimmung und die vorgesehenen eingeladenen Vorträge erst im November vorliegen werden, ergeht an die Mitglieder der DGKK eine getrennte Einladung.

G. Mueller-Vogt

3. Berichte aus den Arbeitskreisen

Arbeitskreistagung:

"Intermetallische Verbindungen"

Am 7. und 8.10.1998 fand in Dresden das 2. Treffen des Arbeitskreises "Intermetallische Verbindungen" der DGKK statt. An dem Treffen nahmen 9 Spezialisten aus verschiedenen Institutionen teil, die auf dem Gebiet der Einkristallzüchtung intermetallischer Verbindungen tätig sind. Einleitend gab Dr. Behr einen Überblick über das im IFW Dresden gemeinsam mit dem Sonderforschungsbereich 463 neu geschaffene Kristallzüchtungslabor. Im Mittelpunkt der Arbeiten des Labors stehen Seltenerd-Übergangsmetall-Verbindungen u.a. SE-ÜM-Borokabide und SE-ÜM-Silizide mit besonderen Supraleitungs- und magnetischen Eigenschaften. Dr. Löser sprach zu Problemen der Konvektion bei Kristallzüchtungsverfahren aus der Schmelze, ihren Einfluß auf die Form der Phasengrenze und die Konzentrationsverteilung von Elementen im Kristall. Möglichkeiten der Beeinflussbarkeit durch Rotation und äußere Magnetfelder wurden diskutiert. Die Herren Graw und Bitterlich berichteten über ihre Ergebnisse bei der Züchtung von speziellen SE-ÜM-Borokarbid-Einkristallen, den Einfluß der Zusammensetzung und der Prozeßbedingungen auf die Sprungtemperatur der Supraleitung und die Koexistenz mit magnetischen Ordnungszuständen. Prof. Aßmus informierte über die aktuellen Arbeiten in seinem Labor an der Universität Frankfurt. Besonderes Interesse fanden die Ergebnisse zur Verfahrensoptimierung der Züchtung von CeCu_2Si_2 Einkristallen und $\text{Zn}_{50}\text{Mg}_{45}\text{Y}_5$ Quasikristallen. Dr. Ritter berichtete über interessante Untersuchungen zum Einfluß der Herstellungsbedingungen auf die Eigenschaften von YbInCu_4 Einkristallen, die gemischte Valenz Effekte zeigen. Der enge Zusammenhang von Konstitutionsuntersuchungen mit Einkristallzüchtungsarbeiten wurde an diesem Beispiel besonders deutlich gezeigt. Über den Stand der Arbeiten im Kristalllabor am neu gegründeten MPI für Chemische Physik in Dresden berichtete Dr. Geipel. Zu vielen Fachproblemen fand eine rege Diskussion der Experten statt, die auch während der Besichtigung der neuen Anlagen des Kristallzüchtungslabors fortgeführt wurde. Der erste Abend in Dresden klang in der traditionsreichen Gaststätte "Italienisches Dörfchen" aus, wo viele weitere Probleme erörtert wurden und sich die Teilnehmer persönlich näher kamen. Am 8.10. wurde die Veranstaltung mit dem Besuch weiterer Laboratorien fortgesetzt. Das nächste Treffen soll im Oktober 1999 in Frankfurt/M. stattfinden. Dabei wäre eine Teilnahme weiterer Fachkollegen nur zu wünschen.

Kontaktadresse: Dr. Günter Behr, IFW Dresden, Tel.: 0351-4659404, Fax: 0351-4659480, e-mail: behr@ifw-dresden.de

Arbeitskreistagung:**"Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik"**

Nach längerem Anlauf hat es endlich geklappt: der Arbeitskreis "Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik" traf sich zu einer Arbeitskreistagung am 24. September 1998 im Mineralogischen Institut in Bonn. Besonders erfreulich war die große Teilnehmerzahl. 30 Studenten und Wissenschaftler aus Deutschland, der Schweiz und Österreich nahmen teil. Neben umfangreichen Gesprächen und Diskussionen wurden folgende Vorträge gehalten:

L. Ackermann, FEE Idar-Oberstein

Die Renaissance des Rubin als Laserkristall für die Kosmetik: Probleme der Kristallzüchtung

H. Wilke, P. Reiche, IKZ Berlin und D. Schwabe, Uni Giessen
Kontrollierte Beeinflussung der hydrodynamischen Struktur der Schmelze durch angepaßte Kristallrotation

H. Hellwig, Uni Köln, Institut für Kristallographie
Brechwerte, optische Aktivität sowie NLO-Eigenschaften - Methoden zur Einkristallcharakterisierung

P. Hintz, D. Schwabe, Uni Giessen und H. Wilke, IKZ Berlin
Konvektion im Czochralski-System mit der Prandtl-Zahl 7 (mit Video-Präsentation)

D. Schwabe, Uni Giessen
Übertragbarkeit der Modellexperimente von P. Hintz et al. auf die LiNbO₃-Züchtung

H. Hermann, Uni Stuttgart
Wachstumseigenschaften von YLF und LiSAF

Die örtliche Organisation und exzellente Betreuung hatte Dr. F. Wallrafen übernommen. Es wurde vereinbart, daß die nächste AK-Tagung Ende September 1999 im Institut für Kristallographie in Köln stattfinden wird. Weitere Interessenten sind herzlich eingeladen, im Arbeitskreis mitzuarbeiten.

L. Ackermann
M. Mühlberg

4. Kristallzüchtung in Deutschland

Neues Gebäude für das

INSTITUT FÜR KRISTALLZÜCHTUNG (IKZ)

in Berlin

Der IKZ-Neubau in Berlin-Adlershof - neue Impulse für die Materialforschung in Deutschland

"Per aspera ad astra" - über raue Pfade zu den Sternen - so das Motto der Festrede, die Herr Prof. Dr. Helmut Wenzl, Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates und Gründungsdirektor, anlässlich der feierlichen Einweihung des neuen Gebäudes am 10. September hielt. Er erinnerte an die komplizierten Bedingungen im Vorfeld der Institutsgründung, aber auch an die Chancen, die sich nach der positiven Evaluierung von Forschungsbereichen der Akademie der Wissenschaften der DDR durch den

Wissenschaftsrat mit der Schaffung einer neuen materialwissenschaftlichen Forschungsstätte im Jahre 1992 boten.



Bild 1. Nordost-Ansicht des neuen Institutsgebäudes in Berlin-Adlershof

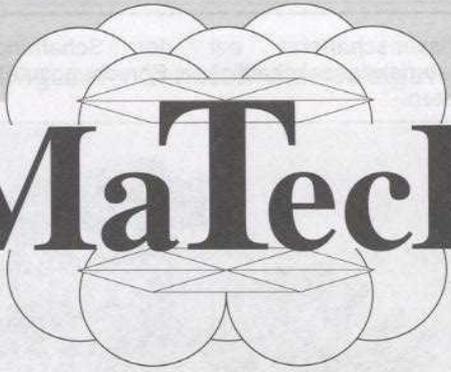
Verteilt auf zehn Gebäude, die sich teilweise in einem desolaten baulichen Zustand befanden, gelang es den Wissenschaftlern und Technikern in den Folgejahren dennoch, das IKZ zu einem wichtigen Zentrum in der nationalen und internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kristallzüchtung und -charakterisierung zu entwickeln. Zwei weitere positive Bewertungen, 1994 durch eine Arbeitsgruppe des Wissenschaftsrates zur außeruniversitären Materialforschung in Deutschland und 1997 durch den Wissenschaftsrat, schärften das Institutsprofil und schufen die Voraussetzungen dafür, daß der Bund und das Land Berlin ca. 30 Mio. DM in einen Neubau investierten.

Das in 25 Monaten errichtete viergeschossige Doppelgebäude, dessen Flügel durch einen verglasten Innenhof miteinander verbunden sind, schafft sehr gute Arbeitsbedingungen für die rund 90 Mitarbeiter.



Bild 2. Während der Feierstunde. Dr. W. Schröder, Dr. F. Schaumann, Prof. E. Thies (vorn, v.r.n.l.)

Hiervon konnten sich die zahlreichen Gäste der Einweihungsfeier, darunter die Staatssekretäre Dr. Fritz Schaumann (Bonn) und Prof. Dr. Erich Thies (Berlin), überzeugen. In ihren Grußworten fanden die Vertreter des BMBF und des Berliner Senates Worte der Anerkennung und Wertschätzung, sowohl für die gelungene Architektur als auch für die moderne Ausrüstung, verwiesen aber auch auf die hohen Erwartungen an zukünftige Leistungen.



MaTeck

Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13
D-52428 Jülich

Telefon: 02461 - 690 740

Telefax: 02461 - 690 749

e-mail: Mateck.Schlich @ T-Online.De

<http://www.physik.de/mateck>

Unser Leistungsangebot:

• Kristallzüchtungen von Metallen
und deren Legierungen

• Kristallpräparation (Formgebung,
Polieren und Orientieren)

• Reinstmaterialien (99,9 - 99,9999 %)

• Substrate, Wafer, Targets
(SrTiO₃, MgO, YSZ, NdGaO₃, Al₂O₃, etc)

• Auftragsforschung
für Werkstoffe und Kristalle

Material-Technologie & Kristalle

für FORSCHUNG, ENTWICKLUNG und PRODUKTION

Wir sind weltweit am internationalen Markt als OEM-Zulieferer der Laser-, Präzisionsoptik, Beleuchtungs- und Lichttechnik tätig.

- Plan- und Keilplatten
- Prismen, Linsen
- Laserstäbe, Laseroptik
- Laserkeramik, tech. Keramik
- Laserkristalle, Kristalloptik
- Saphir-, Quarzoptik
- Coatings, Filter, Spiegel
- Glastechnik
- Materialien

Internet <http://www.keramik.de/frank-optic-products>

consulting

FRANK
OPTIC
PRODUCTS

Materials
Components
Systems

FRANK OPTIC PRODUCTS
Lange Lemppen 9
D-89075 Ulm
Phone+49 (0)7 31/55 49-75
Fax +49 (0)7 31/55 49-77

Im IKZ existieren derzeit die Züchtungsgruppen:

- Czochralski-Halbleiter
- Czochralski-Dielektrika
- Float-Zone/Czochralski-Züchtung von Si/SiGe
- Lösungszüchtung
- Gasphasenzüchtung
- Kristalline Schichten

die Querschnittsgruppen:

- Charakterisierung
- Numerische Modellierung
- Kristallbearbeitung
- Anlagenentwicklung

sowie eine kleine, aber effektive Verwaltung.

Die Leitung des Hauses liegt in den Händen von Dr.-Ing. habil. Winfried Schröder, dem es seit 1992 gelang, das Institut über die teilweise rauen Pfade auf das heutige anerkannte wissenschaftlich-technische Niveau zu führen. Hierbei sind die enge Zusammenarbeit mit der Industrie und die sich zunehmend verbessernden Beziehungen zu Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen im In- und Ausland kennzeichnend. Das Institut sieht seinen thematischen Schwerpunkt in der bauelementbezogenen Materialforschung und betreibt dabei sowohl praxisorientierte Grundlagenforschung als auch Methodenentwicklung. Außerdem werden kristalline Materialien für andere Forschungs- und Wirtschaftseinrichtungen zur Verfügung gestellt. So konnte Herr Prof. Wenzl auf eine Reihe anerkannter Ergebnisse hinweisen: Semiisolierende 4 Zoll GaAs-Kristalle werden nach dem dampfdruckkontrollierten Czochralski-Verfahren (VCZ) mit einer im Vergleich zum konventionellen LEC-Verfahren um etwa eine Größenordnung reduzierten und deutlich homogeneren Versetzungsdichte hergestellt, Oxide und Fluoride finden u.a. Anwendungen in der Höchstfeldlaserforschung und werden in Hochtemperatur-Drucksensoren bereits kommerziell eingesetzt, ZnSe-Kristalle zeichnen sich durch eine sehr gute kristallographische Perfektion aus und sind als Homoepitaxie-Substrate geeignet, Silicium-Mikrokristalle werden für zukünftige photovoltaische Anwendungen aus Lösungsmitteltröpfchen auf Glassubstraten hergestellt und im Float-Zone-Verfahren gezüchtete, versetzungsfreie SiGe-Kristalle eröffnen neue Möglichkeiten als Gradientenkristalle für die Röntgenoptik und sind interessant für Bauelemente.



Bild 3. Nach erfolgreichem Züchtungsversuch in der Silizium-Halle



Bild 4. Diskussion vor einer Float-Zone-Anlage. Dr. G. Tränkle, Prof. K. W. Benz, Dr. R. Helbig, Dr. W. Schröder, Dr. J. Donecker (v.l.n.r.)

Die Finanzierung der Arbeiten erfolgt zu einem großen Teil durch Drittmittel. Für das laufende Jahr sind etwa 4 Mio. DM eingeworben worden, das sind ca. 1/3 des Gesamthaushaltes.

Am Rande der Feier gaben eine kleine Ausstellung gezüchteter Kristalle und eine Posterpräsentation einen anschaulichen Einblick in die Ergebnisse der Arbeit der Mitarbeiter und ermöglichten eine gute Übersicht über derzeitige Forschungsaktivitäten.

Kulturell umrahmt wurde die Veranstaltung nicht nur durch die Ästhetik der Kristalle sondern auch durch Klaviermusik, vorgetragen von den Töchtern zweier Institutsmitarbeiter.

Bevor man zum geselligen Teil überging, lud Herr Dr. Schröder - der Devise folgend: "Erst die Arbeit, dann das Vergnügen" - Gäste und Mitarbeiter ein, einem Züchtungsexperiment in der "Silicium-Halle" beizuwohnen. Im Float-Zone-Verfahren wurde ein homogener dotierter 5 Zoll Silicium-Einkristall gezogen. Das gelungene Experiment ist Teil eines von der Europäischen Union geförderten Photovoltaik-Projektes.

Nach dem offiziellen Teil war dann bei Grillwürstchen, Brezeln, Bier oder Mineralwasser Gelegenheit, die Anstrengungen des Umzuges Revue passieren zu lassen. Dabei halfen die Schnapsschüsse an der hübsch gestalteten Fotowand. Außerdem wurden die Kinderkrankheiten des Hauses diagnostiziert und der eine oder andere Therapievorschlag entwickelt.



Bild 5. Im Gespräch: Prof. H. Wenzl, Dr. W. Schröder, Dr. M. Dietrich (v.r.n.l.)

Die Mitarbeiter des IKZ haben sich sehr gefreut über die Teilnahme und über die Glückwünsche so vieler Kollegen aus der nationalen und internationalen Kristallzüchtergemeinschaft. Das Institut wird sich einbringen in nationale und internationale Netzwerke, um so dem gemeinsamen Anliegen - der Förderung der Kristallzucht - durch viele neue Ideen, Beiträge und Leistungen zu nutzen. Die Mitarbeiter sehen die Investition in ihren Neubau nicht nur als eine wichtige Förderung des Wissenschaftsstandortes Berlin-Adlershof, sondern als eine Investition in die Materialforschung in Deutschland.

Torsten Boeck

Firmenporträt des

FORSCHUNGSINSTITUTS FÜR MINERALISCHE UND METALLISCHE WERKSTOFFE GMBH (FEE)

in Idar-Oberstein

Firmengeschichte des FEE

Das FEE wurde Ende 1989 vom Land Rheinland-Pfalz, dem Kreis Birkenfeld, der Stadt Idar-Oberstein und dem Bundesverband der Diamant und Edelsteinindustrie in Idar-Oberstein gegründet, um die Forschungsinfrastruktur des Landes Rheinland-Pfalz im Bereich der angewandten Forschung zu stärken und neue Impulse für die Edelsteinregion Idar-Oberstein zu geben. Ende 1990 übernahm das FEE die Kristallzuchtanlagen und das Kristallzucht-"know how" für die Zucht von Galliumgranatkristallen der Wacker Chemitronic, Burghausen. Anfang 1991 nahm das FEE mit diesen Czochralski-Anlagen die kommerzielle Kristallzucht von Galliumgranatkristallen und Erbium-YAG-Kristallen auf. In den folgenden Jahren wurde die Kapazität der Kristallzucht abteilung und der Polierwerkstätten des FEE kontinuierlich ausgebaut und die Produktpalette der Laserkristalle erweitert. Die hervorragenden Ergebnisse in einem vom BMBF-geförderten Forschungsprojekt, in dem die Kristallzucht der für die Lasermedizin bedeutsamen Er-YAG und Ho, Tm, Cr:YAG so optimiert werden konnte, daß ein deutlicher Qualitätsvorsprung zu den amerikanischen Anbietern erreicht wurde, führte zum schnellen Ausbau des kommerziellen Bereichs des FEE. Anfang 1995 übernahm das FEE die Abteilung Optoelektronik der Fa. Sandoz und dehnte damit seine Kompetenz in den Bereich der Flux-Kristallzucht von nichtlinier-optischen Kristallen aus (Kaliumniobat und Bariumtitanat). Heute beschäftigt das FEE 20 Mitarbeiter, wobei der Bereich der Kristallbearbeitung am personalintensivsten ist. Das Konzept des schnellen Umsetzen von Forschungsergebnissen in Produkte führte zu einem wirtschaftlichen Wachstum des FEE von ca.30% pro Jahr.

Czochralski-Kristallzucht abteilung

Alle Czochralski-Anlagen des FEE sind inzwischen mit modernen automatischen Durchmesserkontrollsystemen mit Kristallwägung ausgestattet, deren Auflösungsvermögen sehr langsame Ziehgeschwindigkeiten ermöglichen (Bild 6). Dies ist insbesondere für die Zucht von Nd:YAG-Laserkristallen notwendig, da das Nd im YAG einen effektiven Verteilungskoeffizienten um 0.2 besitzt. Auf diesen Anlagen werden standardmäßig YAG-Kristalle von 65mm Durchmesser und bis zu 260mm Zylinderlänge gezogen.



Bild 6. Czochralski-Anlage mit Kristallwägung

Für normale Laseranwendungen ist die maximale Länge 180mm. Neodym dotierter Yttrium Aluminium Granat, der 1964 erstmalig von Geusic et al. als Laserkristall beschrieben wurde, ist heute der kommerziell wichtigste Laserkristall und hat daher auch eine entsprechende Bedeutung in der Produktpalette des FEE (Tabelle 1). Die bei Galliumgranaten schon in den 70er Jahren angewendete Methode der Züchtung mit horizontaler Wachstumsfront zum Erzielen von optisch hochwertigen Kristallen, wird im FEE inzwischen erfolgreich bei TGG, Nd, Cr:GSGG, Er-YAG, Nd:YAG und Yb-YAG angewandt (Bild 2).

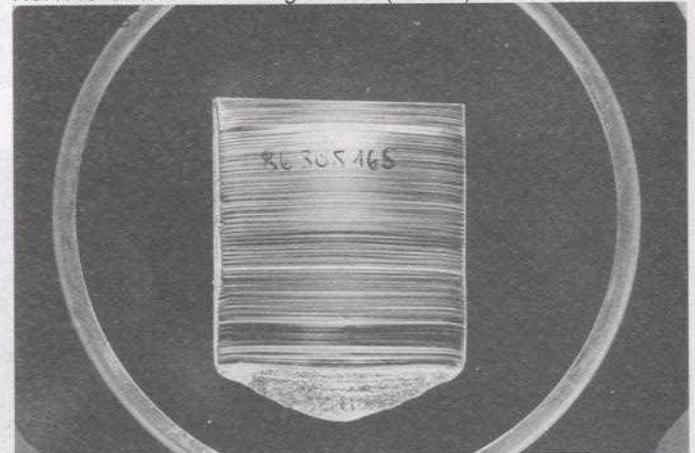


Bild 7. Kristall mit ebener Wachstumsfront zwischen gekreuzten Polarisatoren

Tabelle 1: Vom FEE kommerziell hergestellte Kristalle

Laserkristalle	Laserwellenlänge
Er-YAG (Er _{1.5} Y _{1.5} Al ₅ O ₁₂)	2940 nm
Nd:YAG	1064 nm
Ho, Tm, Cr:YAG	2100 nm
Nd, Cr:GSGG (Gd ₃ Sc ₂ Ga ₅ O ₁₂)	1062 nm
Nd:YAlO ₃	1079 nm, 1340 nm
Yb-YAG	1032 nm
Cr:Al ₂ O ₃	695 nm
Nd:YVO ₄	1064 nm
Andere optische Kristalle	
Tb ₃ Ga ₅ O ₁₂	optische Isolatoren
YAG	Spiegelsubstrate

Nichtlinear optische**Kristalle**KNbO₃BaTiO₃**Flux-Kristallzucht**

Das FEE verfügt über eine relativ große Anzahl von Anlagen, die für die Flux-Kristallzucht bei Temperaturen bis 1600°C ausgelegt sind (Bild 3). Auf den meisten Anlagen werden kommerzielle Kaliumniobat-Kristalle nach der Top-seeded-Methode gezogen. Für Forschungszwecke wurden aber auch schon CLBO-, Wolframat-, LBO- und verschiedene Bariumtitanat-Kristalle gezogen.

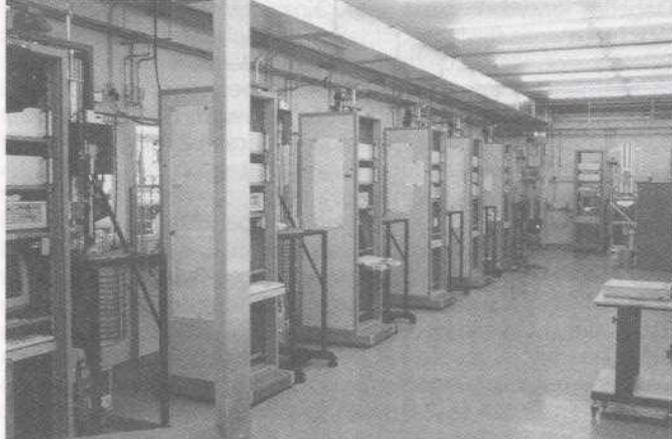


Bild 8. Flux-Anlagen zur Züchtung von KNbO₃

Kristallbearbeitung und Meßtechnik

Die Kristallbearbeitung hat im FEE eine besondere Bedeutung, wenn man sich vor Augen führt, daß in den letzten 12 Monaten einige Tausend polierte Laserstäbe bzw. optische Einzelkomponenten produziert wurden. Eine wichtige Besonderheit ist die röntgenorientierte Bearbeitungstechnologie für nichtkubische Kristalle, die im FEE aufgrund der Erfahrungen mit NLO-Materialien hervorragend beherrscht wird. Eine weitere Besonderheit die im FEE technologisch erschlossen wurde, ist die Bonding-Technologie, bei der Kristallstücke bei hohen Temperaturen miteinander verbunden werden können, um spezielle Laserdesigns zu ermöglichen. Diese Technologie wurde vor einigen Jahren von der Fa. Onyx in den USA patentiert und ist eine Schlüsseltechnologie in der Lasertechnik. Selbstverständlich verfügt das FEE über die entsprechenden Meß- und Prüfeinrichtungen zur Charakterisierung der Qualität der Kristalle und der Bearbeitungstoleranzen. Für die Kristallcharakterisierung werden Extinktion zwischen gekreuzten Polarisatoren, Kathodolumineszenz, Schlierenmethode und Interferometrie eingesetzt. Im Spektroskopielabor verfügt das FEE über alle wichtigen Spektrophotometer vom UV bis ins weite IR sowie der Möglichkeit zur Messung von Tieftemperaturspektren. Für die Überprüfung der Nd-Konzentrationen in Laserkristallen bzw. Laserstäben und zur Ermittlung von effektiven Verteilungskoeffizienten wurde ein Meßplatz zur Fluoreszenzlebensdauer aufgebaut. Das FEE verfügt außerdem über Testlaser in denen alle im FEE gezogenen Kristalle im direkten Laserfunktionstest auf Leistung und Strahlqualität vermessen werden können.

KRISTALLZÜCHTUNG AN HOCHSCHULEN:**Dissertationen über Kristallzüchtung**

Kristall- und Materiallabor der Fakultät für Physik Universität Karlsruhe

Laufende Promotion durchgeführt von Frau Dipl.-Phys. Marion Kläser:

"YBa₂Cu₃O_x-Einkristalle dotiert mit Kalzium: Züchtung und Charakterisierung"

Bei den Hochtemperatursupraleitern hat sich ein prinzipielles Phasendiagramm herausgebildet, das mit steigender Ladungsträgerzahl in den CuO₂-Ebenen von einer isolierenden antiferromagnetischen Phase über eine Zwischenphase mit eventueller Pseudoenergielücke zur supraleitenden Phase führt. Die Sprungtemperatur nimmt dabei im Bereich der supraleitenden Phase mit steigender Ladungsträgerzahl zu bis zu einem Maximalwert bei optimaler Ladungsträgerdotierung, um bei weiterer Erhöhung der Ladungsträger wieder abzunehmen. Für YBa₂Cu₃O_x erlaubt das übliche Dotierungsverfahren mit der Variation des Sauerstoffgehaltes x von 6 bis 7 nur das Überstreichen des unterdotierten Bereichs bis kurz nach der optimalen Dotierung. Das Einbringen von Ca auf dem Yttriumplatz war als weitere Dotiermöglichkeit schon bei Keramiken begonnen und wurde von Frau Kläser auf die Herstellung von Einkristallen angewendet.

Untersuchungen an diesen zum Teil eindomänigen Kristallen zeigen eindrucksvoll, daß Sauerstoffdotierung Ladungsträger zu gleichen Anteilen in die CuO-Ketten, an den Apexsauerstoff der BaO-Schichten und in die CuO₂-Ebenen liefert, während Ca Ladungsträger nur in die CuO₂-Ebenen bringt. Mit alleiniger Ca-Dotierung konnten Kristalle präpariert werden, deren Ladungsträgerkonzentration in den CuO₂-Ebenen genauso groß war wie bei rein Sauerstoff dotierten YBa₂Cu₃O_x Proben mit einem T_c von 55K. Die Ca dotierten Proben haben keine Ladungsträger im Kettensystem und zeigen keine Supraleitung. Der Einfluß des Kettensystems konnte weiterhin durch Messungen der spezifischen Wärme unterstrichen werden. Untersuchungen der hochfrequenten c-Achsenleitfähigkeit ließen quantitative Aussagen zur Pseudo- und zur supraleitenden Energielücke im gesamten Dotierungsbereich zu.

G. Müller-Vogt

Kristall- und Materialentwicklungslabor des Physikalischen Instituts Universität Frankfurt am Main

Dissertation von Andreas Langsdorf:

"Zn-Mg-Y-Quasikristalle: Untersuchung des Phasendiagramms und Einkristallzüchtung der ikosaedrischen Phase"

Im Rahmen dieser Dissertation werden große Einkristalle der ikosaedrischen (i-) Zn-Mg-Y-Phase hergestellt. Diese quasikristalline Verbindung gilt als hochgeordnete Frank-Kasper-Phase, die es als bislang einziger stabiler Quasikristall gestattet, im Austausch mit Yttrium Seltenerdionen einzubauen. i-Zn-Mg-Y ist daher ein interessantes System, um die grundlegenden Eigenschaften von Quasikristallen zu erforschen.

Da zu Beginn der Arbeit keine erfolgreiche Kristallzüchtung berichtet ist und außerdem keinerlei Kenntnis über das Phasendiagramm Zn-Mg-Y vorliegt, wird zunächst eine systematische Untersuchung des Phasendiagramms Zn-Mg-

Y durchgeführt. Es gelingt das primäre Kristallisationsfeld der ikosaedrischen Phase - als wesentliche Information für die Kristallzüchtung - zu bestimmen [1]. Es stellt sich heraus, daß sämtliche bis zu diesem Zeitpunkt von verschiedenen Gruppen durchgeführten Züchtungsversuche außerhalb des primären Kristallisationsfeldes unternommen worden sind.

Ausgehend von diesen Kenntnissen wird ein Züchtungsverfahren entwickelt, das neben den Informationen aus dem Phasendiagramm auch den hohen Dampfdruck von Zn und Mg bei Züchtungstemperatur berücksichtigt. Es handelt sich um ein Top Seeded Solution Growth Verfahren, das mit einer Flüssigkeitsabdeckung durch eine LiCl-KCl-Salzschnmelze kombiniert wird. Mit diesem Verfahren gelingt es, Kristalle mit Durchmessern bis zu 1cm zu züchten [2], die zu weiteren Untersuchungen im Rahmen des Schwerpunktprogrammes "Quasikristalle: Struktur und physikalische Eigenschaften" der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung stehen..

[1] A. Langsdorf, A. Ritter, W. Assmus, Phil. Mag. Lett. **75** (1997) 381

[2] A. Langsdorf, W. Assmus, J. Cryst. Growth (1998), im Druck

4. Konferenzberichte

Tagungsberichte über die ICCG-12 vom 26.-31.7. 98 in Jerusalem

Bericht von **H. Klapper**, Bonn
über Vorträge in der Sitzung

"Solution Growth"

In der Sitzung "Solution Growth" wurden ein eingeladener Vortrag (30 Minuten) und 7 Kurzbeiträge (je 15 Minuten) dargeboten.

Über 6 dieser Beiträge wird hier kurz berichtet:

Der eingeladene Vortrag von **I.L. Smolsky** (Institute of Crystallography, RAS Moscow) et al. berichtete über

Röntgenopographische und optische Untersuchungen von schnell (bis 20mm/Tag) aus wäßrigen Lösungen gezüchteten KDP-, DKDP- und ADP-Kristallen.

Dabei standen Vizinalphänomene auf den Wachstumsoberflächen und die durch sie hervorgerufenen Störungen (Vizinalgrenzen, Striations) im Vordergrund.

Es handelt sich dabei um zonale Strukturen mit lokalen Änderungen der Gitterkonstanten in der Größenordnung 10^7 . Diese entstehen u.a. durch das "Springen" von Wachstumshügeln (Vizinalpyramiden) von einer führenden Versetzung zu einer anderen oder durch Überschreitung einer kritischen Übersättigung. Auch wurde das Problem der sog. "subindividuellen Kristalle" behandelt. Diese Kristalle bilden sich bei hohen Übersättigungen mit beträchtlicher Fehlorientierung auf den Wachstumsoberflächen des "Hauptkristalls" und werden von diesem oft vollständig umwachsen. Es sind vorwiegend diese Wachstumshörungen, die die Ausbeute an optischen Komponenten aus schnell gezüchteten KDP-Kristallen für die Laserfusion vermindern.

Von aktuellem Interesse ist auch der Beitrag von **Ponomarev** et al (INRAD, USA) über die **Computergestützte Regelung der Übersättigung bei der schnellen Lösungszüchtung (15 mm/Tag) von großen KDP- und DKDP-Kristallen (40x40x30 cm³).**

Die Regelung benützt die Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Lösungen. Es wurde gezeigt, daß mit dieser Kontrolle die beim schnellen Wachstum oft auftretenden scharfen Sättigungsfluktuationen vermieden und homogenere Kristalle erhalten werden.

Von **Kuznetsov** et al. (Institute of Crystallography, RAS Moscow) wurde

über den

Einfluß von organischen und anorganischen Additiven auf die Wachstumskinetik und Oberflächenmorphologie von KDP- und KAP-Kristallen beim Wachstum aus wässrigen Lösungen

berichtet.

Dabei wird u.a. eine Erhöhung der Wachstumsgeschwindigkeit der Flächen ("katalytischer Effekt"), vor allem durch anorganische Additive beobachtet. REM-Untersuchungen der (010)-Flächen des KAP zeigen eine Verminderung der Stufenhöhen und Stufenabstände durch organische Zusätze sowie deren Einfluß auf die Flächenkeimbildung.

C. Woensdregt (Univ. Utrecht) berichtete über die **Hydrothermalzüchtung von Spessartin (Mn-Al-Siliziumgranat) bei Temperaturen/Drücken von 5500C/1 kbar bis 6500C/3 kbar.**

Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der Kristallmorphologie in Abhängigkeit von den Wachstumsbedingungen.

Bei hohem Druck (> 2.5 kbar) bildet sich {110} als einzige Flächenform (gelegentlich begleitet von {100} und {112}, bei niedrigem Druck, (< 2 kbar) kbar, ist der Würfel {100} dominant. Dagegen dominiert bei natürlichen und aus stöchiometrischen Schmelzen gewachsenen Kristallen die Flächenform {112}.

In einem weiteren Beitrag (**G. Dall-Aglio**, Genua) wurde ein **"Phase Measurement Device by Diffraction" ("Diffrasor")** vorgestellt.

Es handelt sich um ein optisches Gerät zur quantitativen Bestimmung des Konzentrationsgradienten in Lösungen und zur Charakterisierung dünner Flüssigkeitsfilme auf Festkörperoberflächen. Das Meßprinzip beruht auf der Ablenkung eines Laserstrahles durch Gradienten des Brechungsindex in der Lösung. Das Gerät ist für die Bearbeitung von Fragestellungen der Lösungszüchtung im Labor und in der Schwerelosigkeit geeignet.

Der letzte Vortrag der Sitzung "Solution Growth" (**M.L. Serrano** et al., Techn. Univ. Lissabon) behandelte ein Thema der industriellen Kristallisation:

Das Ausfällen von Salzen aus wäßrigen Lösungen durch Zugabe von organischen Lösungsmitteln.

Diese reduzieren i.a. die Löslichkeit der Salze in Wasser und führen zu einer selektiven Präzipitation der gelösten Komponenten. Dieses Verfahren wurde von den Autoren auf die Ausfällung des in der Pharma-Industrie wichtigen Natriumgluconats aus wäßriger Lösung durch Zugabe von Äthanol oder Methanol angewendet. Dabei wurde der Einfluß der experimentellen Faktoren Sättigungsgrad der wäßrigen Lösung, Zugabegeschwindigkeit und Rührgeschwindigkeit auf Ausbeute und Morphologie des Präzipitats untersucht.

Bericht von **G. Klimm**, Berlin
über Vorträge in der Sitzung
"Nanocrystals and Fullerenes"

(ICCG 12/ICVGE 10 Jerusalem, Session We1)

Nachdem Nobelpreisträger Sir H. Kroto (UK) den Konferenz-Tag bereits mit einem im Plenarvortrag gegebenen fulminanten Rück- und Ausblick über die durch ihn mit aufgestoßene Welt der Fullereine begonnen hatte, sprach in *We1* mit dem Entdecker der „Nanotubes“ S. Iijima (Japan) ein weiterer prominenter Vertreter der „Schönen Neuen Kohlenstoff-Welt“ über elektronenmikroskopische Untersuchungen zu deren Bildungsmechanismus. So ist dieses schon jetzt kristallographisch und physikalisch, in einigen Jahren aber vielleicht auch technisch hochinteressante Gebiet nun auch als eigenes Mikrosymposium auf Kristallzüchter-Tagungen vertreten.

5 von insgesamt 7 Beiträgen in *We1* beschäftigten sich mit dem eng verwandten Thema „Nanokristalle“, vor allem von III-V und II-VI Halbleitern. Deren inzwischen bei einigen Substanzen mit hoher Reproduzierbarkeit mögliche Herstellung gestattete die quantitative experimentelle Bestätigung einiger erwarteter Effekte (u.a. Verschiebung der Gleichgewichts-Temperatur koexistierender Phasen, in der Regel völlige Freiheit von intrinsischen Defekten und das Auftreten von Quanteneffekten). Ein Beispiel denkbarer technischer Relevanz von Nanokristallen brachte M. B. Bawendi (USA):

Einige nm-große CdSe-Nanokristalle mit ≈ 2 Monolagen Beschichtung durch ZnS lassen sich elektrisch zu schmalbandiger optischer Emission anregen und stellen daher eine aussichtsreiche neue Lichtquelle dar.

Allerdings sind solche Arbeiten nicht sehr neu (siehe z.B. M. A. Reed: Quantenpunkte; in: Spektrum der Wissenschaft 3/1993, S. 52 – 57).

Die Herstellung von Nanokristallen und Fullerenen gehört nicht zu den typischen Aufgaben moderner Kristallzüchtung. *We1* zeigte aber, daß beide Substanzklassen durchaus Aufmerksamkeit verdienen, da hier großes Potential für zukünftige Grundlagenforschung oder gar Produktentwicklung steckt.

Bericht von **M. Mühlberg**, Köln
zum Themenkreis

Crystals for Nonlinear Optics I + II

Der Thematik "Kristalle für die nichtlineare Optik" galten zwei halbtägige Sessions. 14 Vorträge (davon ein eingeladener Vortrag) konzentrierten sich vorrangig auf die Optimierung der Wachstumsbedingungen bekannter, bereits in umfangreichem Rahmen applikativ eingesetzter Materialien, wie LiNbO₃ (drei Vorträge), β -BaB₂O₄ (BBO) (3), ZnGeP₂ (2), KTiOPO₄ (KTP) (2) und LiB₃O₅ (1). Ergänzt wurde das Vortragsprogramm mit je einem Vortrag zum GaSe, Gd_xY_{1-x}Ca₄O (BO₃)₃ und der relativ neuen Materialgruppe der II-III₂-VI₄-Verbindungen.

KTP ist nach wie vor eines der Hauptmaterialien für die Erzeugung frequenzverdoppelten blauen Laserlichts. M. Roth (The Hebrew University of Jerusalem, Israel) gab in seinem Einladungsvortrag einen Überblick über die Möglichkeiten, durch einen gepolten Wachstumsprozeß periodische Domänenstrukturen mit definierten Abmessungen im KTP zu erzeugen. Die Kristalle wurden mit Hilfe der Top seeded solution growth (TSSG)-Methode gezüchtet. Durch elektrisches Polen wurden periodische Domänenstrukturen und damit modulierte Brechwertänderungen über Bereiche von ca. 1 cm erreicht. Das Ziel der Untersuchungen besteht darin, daß durch diese brechwertmodulierten Kristallbereiche eine weitere Methode zur Erlangung der Phasenanpaßbarkeit gegeben ist (quasi phase matching). Dabei konnte eine Erhöhung des $d_{\text{eff,SHG}}$ -Koeffizienten von 3,15 pm/V auf 9,49 pm/V erreicht werden.

Modellierungsrechnungen der hydrodynamischen Strömungsverhältnisse und des Massentransports unter Berücksichtigung einer definierten Kristallmorphologie wurden zum ersten Mal von J.J. Derby (University of Minnesota, USA) am Beispiel der Züchtung von KTiOPO₄ (KTP) aus einer Schmelzlösung überzeugend demonstriert. Grundlage der Berechnungen ist die Lösung der dreidimensionalen, zeitabhängigen Navier-Stokes-Gleichung, gekoppelt mit den Advektions-Diffusions-Gleichungen mittels der Methode der finiten Elemente. Eindrucksvoll konnte die inhomogene Streifverteilung gezeigt werden, die sich durch die größere Übersättigung an den Wachstumsflächen und die geringere Übersättigung an den Wachstumskanten ergibt. Auf der Grundlage dieser Berechnungen ist eine Optimierung der Schmelzlösungsdurchmischung möglich.

Um laserinduzierte Strahlenschäden im LiNbO₃ zu reduzieren, wird nach Dotierungselementen gesucht, die die durch die Lichteinwirkung hervorgerufenen photorefraktiven Effekte im LiNbO₃ vermindern. Darüber berichtete A.M. Petrosyan (Yerevan State University, Armenien). Unter den untersuchten Dotierungselementen, deren Ionenradien möglichst denen des Li⁺ bzw. Nb⁵⁺ entsprechen sollen (Mg, Al, Sc, Zn; Zr u.a.) hat sich Hf als das geeignetste erwiesen.

Ebenfalls mit der Erzeugung periodisch gepolter Domänenstrukturen (im LiNbO₃) befaßte sich E. Dieguez (Autonome Universität Madrid). Solche Strukturen wurden bei der Züchtung von LiNbO₃ nach dem Czochralski-Verfahren in einem nichtsymmetrischen Temperaturfeld und Zugabe von Er und Yb unterschiedlicher Konzentration erhalten. Dabei wurde festgestellt, daß diese Dotierungen die Verrückung der Li-Atome beim ferroelektrischen Phasenübergang R3c → R3c verstärken.

Über das Kristallwachstum und die Charakterisierung von stöchiometrischem LiNbO₃ berichtete K. Polgar (Forschungsinstitut für Kristallphysik, Budapest). Die optischen Eigenschaften des LiNbO₃ werden durch unterschiedliche Abweichungen von der exakten Stöchiometrie beeinflusst. LiNbO₃-Einkristalle, die aus einem K₂O-Fußmittel nach der TSSG-Methode gezüchtet wurden, sind stöchiometrienäher und zeigen eine größere strukturelle Perfektion. Die UV-Absorptionskante wird zu kürzeren Wellenlängen verschoben und die notwendigen elektrischen Felder beim Polen der Kristalle können um den Faktor 4-5 reduziert werden.

Mit Hilfe der vertikalen Bridgman-Methode haben N.B. Singh et al. (Northrop Grumman Corp., Pittsburgh, USA) GaSe-Einkristalle gezüchtet. Der Einfluß von Ag und Ga als Dotierungselemente wurde untersucht. Beide Elemente sind in größeren Ausscheidungen anzutreffen. GaSe-Einkristalle mit geringen Gehalten an AgGaSe₂ reduzierten die leichte Spaltbarkeit des GaSe und führten ebenso zu einer Steigerung des $d_{\text{eff,SHG}}$ -Koeffizienten von 51 pm/V auf 76 pm/V.

Perlov et al. (Hebrew University, Jerusalem, Israel) stellten Untersuchungen zu den hydrodynamischen Verhältnissen in BaB₂O₄-Na₂O Schmelzlösungen vor. Die Motivation für diese Untersuchungen ergab sich aus folgenden experimentellen Befunden bei der Züchtung nach der TSSG-Methode: Instabile Wachstumsfront, Lösungsmittelanschlüsse, schwierige Durchmesserkontrolle und ungenaue Kenntnis des Phasendiagramms BaO-B₂O₃-Na₂O.

Eine Vielzahl von Konvektionsmoden ist bei der Züchtung des BBO als Funktion der Temperaturgradienten, des Kristalldurchmessers und der Rotationsgeschwindigkeit beobachtet worden. Während zu Beginn des

Wachstumsprozesses die natürliche Konvektion überwiegt, ist in der Endphase eine komplexe oszillatorische Anordnung der Konvektionszellen gegeben. Mit zunehmender Kristallgröße werden die Temperaturgradienten und die Fließgeschwindigkeit um den Faktor 2-6 geringer. Die experimentellen Größen konnten so variiert werden, daß eine deutliche Dickenzunahme des wachsenden BBO-Kristalls erreicht wurde.

Der Vortrag von T. Dingyuan (Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Fuzhou, China) war mit dem Titel "A novel technique for the growth of BBO crystals" angekündigt. Das "Neue" bestand darin, daß die Deckfläche des wachsenden Kristalls durch einen Gasstrom (Pt-Rohr bis an den Kristall) zusätzlich gekühlt wird. Das Wachstumsverfahren ist ebenfalls die TSSG-Methode mit einem NaF-Flußmittel. Ziehraten von 0,01 bis 0,25 mm/h wurden bei Abkühlraten von 1-5 K/d und Gaskühlströmen von 100-500 ml/min. erreicht. Wenn der Kristall einen Durchmesser von ca. 20 mm erreicht hat, wurde der trockene N₂-Strom eingeschaltet. Mit dieser Methode konnte erreicht werden, daß die Wachstumsrate um den Faktor 2-3 und die Kristalldicke auf ca. 20 mm gesteigert werden konnte. Ebenso konnte eine deutliche Verbesserung der Kristallqualität beobachtet werden, die sich in einer reduzierten Anzahl von Lösungsmiteinschlüssen und einer erhöhten optischen Transparenz zeigte.

Das Ziel der Untersuchungen von H. Kimura (National Research Institute for Metals, Tsukuba, Japan) bestand darin, durch eine partielle Substitution von B durch Al (bis 10%) im BaB₂O₄ ein stabileres Wachstum der gewünschten β -Modifikation aus einer unterkühlten Schmelze zu erreichen. Versuche mit der Czochralski-Methode lieferten nur relativ kleine Kristalle (einige Millimeter). Aus diesem Grund wurde ein Spiegelofen mit zwei Halogen-Ring-Heizern entwickelt, mit dem auch in bestimmten Grenzen die axialen Temperaturgradienten einstellbar waren. Das Ausgangsmaterial wurde in einer Pt-Röhre gehalten. Von unten wurde ein an einem Pt-Draht befindlicher Keimkristall gezogen, so daß eine schmelzflüssige Zone entstand (pulling down-Prinzip). Es konnte ein stabiles Wachstum der β -Phase erreicht werden. Bedingt durch die sehr steilen Gradienten konnte die Bildung von Ausscheidungen vermieden werden.

Die erfolgreiche Einkristallzüchtung von LiB₃O₅ (LBO) wird maßgeblich durch die generell hohe Viskosität von Boratschmelzen beeinträchtigt. J.W. Kim (Department of Physics, KAIST, Daeduck, Korea) berichtete darüber, wie mit Hilfe von NaCl als Schmelzadditiv (2 bis 4 Mol-%) die Struktur der Borat-Schmelze bei der Züchtung nach der TSSG-Methode so beeinflusst wird, daß die Viskosität um den Faktor 2 abnimmt. Dadurch konnten Kristalle mit einer Dimension von 30 x 30 x 26 mm³ bei Wachstumsraten von 3,9 - 6,8 g/d gezüchtet werden, wobei bei Anwesenheit von NaCl die Wachstumsgeschwindigkeit senkrecht zur (100)-Fläche deutlich zunimmt. Die Lasereigenschaften sind weitestgehend unabhängig vom Gehalt der NaCl-Dotierung.

Eine relativ neue interessante NLO-Verbindung ist das in der Raumgruppe Cm kristallisierende GdCa₄O(BO₃)₃, das bis weit ins UV transparent ist. Kobayashi et al. (Dept. of Electrical Engineering, Osaka University, Japan) berichteten darüber, wie mit einem partiellen Ersatz des Ca durch Y die optischen Eigenschaften (Brechwerte) so variiert werden können, daß eine nichtkritische Phasenanpassung erreicht werden kann. Die sehr hoch schmelzende Verbindung (ca. 1500°C) wurde nach dem Czochralski-Verfahren mit einer Ziehgeschwindigkeit von 3 mm/h gezüchtet. Kristalle mit einem Durchmesser von 23 mm und einer Länge von 63 mm wurden ohne Risse und Gasblaseneinschlüsse erhalten.

Der Verteilungskoeffizient des Y liegt nahe bei 1, so daß sehr homogene Kristalle erhalten wurden, die bei einem Gehalt von 52% Y eine Transparenz bis 300 nm aufwiesen. Bei einem Gehalt von 76% Y konnte eine Phasenanpaßbarkeit für THG erreicht werden.

G.A. Verozubova (Institute of Atmospheric Optics, Tomsk, Rußland) ging auf die Synthese und Einkristallzüchtung von ZnGeP₂ als NLO-Material für das mittlere Infrarot (0,7 - 11 μ m) ein. Stöchiometrieabweichungen durch Bildung von Zinkphosphid sowie ein sehr hoher Gesamtdampfdruck am Schmelzpunkt der Verbindung sind die Hauptschwierigkeiten bei der Kristallzüchtung. In einer Zwei-Zonen-Anordnung konnte durch die Steuerung des P-Dampfdruckes eine stöchiometrienähe Verbindungsbildung (bis 500 g) erreicht werden. Die Kristallisation erfolgte nach der vertikalen Bridgman-Methode in PBN-Tiegeln. Bei Versuchen mit spontaner Keimbildung setzte sich in der Regel die [110]-Richtung durch.

Das ZnGeP₂ war ebenso Gegenstand des Vortrages von Y. Shimony (Nuclear Research Center, Beer-Sheva, Israel). Bedingt durch die order-disorder Phasenumwandlung kurz unterhalb des Schmelzpunktes (950°C) und die hohen Partialdampfdrucke enthalten die Kristalle eine hohe Anzahl von Defekten, die z.T. wesentlich die Absorptionsbanden beeinflussen. Die Einkristalle wurden nach dem Horizontal Gradient Freeze (HGF) Prinzip gezüchtet. Mit Hilfe der Pulver-Diffraktometrie und einer Rietveld-Verfeinerung wurden Anteile der kubischen β -Phase innerhalb der tetragonalen α -Phase identifiziert. Die kubische Phase ist dabei kohärent innerhalb der tetragonalen Phase orientiert. Eine Reduzierung der Restabsorptionsbanden konnte durch einen Temperprozeß im Vakuum nach erfolgtem Wachstum erreicht werden, d.h. der Temperprozeß erhöht die tetragonale Phasenreinheit des Materials.

Für infrarote Laseranwendungen werden zunehmend die von den Chalkopyriten abgeleiteten II-III₂-VI₄-Materialien interessant. Vertreter dieser relativ neuen Materialgruppe stellte P.G. Schunemann (Lockheed Martin Company, Nashua, USA) vor. CdGa₂S₄, CdGa₂Se₄, CaGa₂S₄ und CaGa₂Se₄ wurden nach der Horizontal Gradient Freeze (HGF)-Methode in PBN-Tiegeln gezüchtet; der Schmelzpunkt von CaGa₂Se₄ liegt bei 1095°C. Während die Selenide durch direkte Synthese in dickwandigen Ampullen hergestellt wurden, erfolgte die Verbindungsbildung der Sulphide aus dem Ga₂S₃ und dem CdS bzw. CaS. Axiale Temperaturgradienten von ca. 2 K/cm und Abkühlraten zwischen 0,1 und 0,2 K/h wurden realisiert; die Kristalldimensionen betragen 19 mm (Durchmesser) und ca. 80 mm (Länge). In den Ca-Verbindungen konnte erfolgreich Dy³⁺ auf Ga-Plätzen eingebaut werden, so daß Laser mit einer Wellenlänge von 1,4 μ m hergestellt werden konnten. Die Materialien zeichnen sich durch einen großen Transparenzbereich (0,42 - 13 μ m) aus und weisen große NLO-Koeffizienten auf (z.B. d₃₆ ~ 30 pm/V im CaGa₂S₄).

Bericht von P. Rudolph, IKZ-Berlin

Bemerkungen zur Veranstaltung

Die ICCG-Tagungen sind die seit 1965 im 3-Jahresrhythmus veranstalteten Weltkongresse der „International Organization of Crystal Growth (IOCG)“ zur Züchtung, Charakterisierung und Anwendung von Kristallen und Schichten, die von zahlreichen Physikern, Chemikern, Werkstoffwissenschaftlern, Kristallographen u.a. besucht werden und den modernen Forschungsstand sowie interdisziplinären Charakter dieses Wissenschaftszweiges konzentriert widerspiegeln. Diesmal wurde die ICCG-12 gemeinsam mit der ICVGE-10 in Jerusalem veranstaltet. Insgesamt nahmen an beiden Tagungen etwa 600 Teilnehmer teil. Neben dem Gastgeber Israel stellten die USA, Japan und Deutschland die größten Delegationen der über 30 anwesenden Länder. Allerdings waren auch einige Fachleute, insbesondere aus Japan, wegen Sicherheitsbedenken nicht angereist.

Beide Tagungen waren von den Veranstaltern mühevoll vorbereitet worden und fanden in einer wissenschaftlich anregenden und international verbindenden Atmosphäre statt. Es gelang, die fachlichen Dinge mit den besonderen ethnographischen Gegebenheiten des Gastgeberlandes eindrucksvoll zu verbinden. Dazu trugen insbesondere die Ansprache des Bürgermeisters von Jerusalem auf einem Empfang im Israelischen Museum sowie ein Konferenzzug nach Masada und in eine beduinische Niederlassung bei.

Fachlicher Teil

Auf Grund der Arbeitsteilung mit weiteren IKZ-Teilnehmern und der fachlichen Ausrichtung des Berichterstatters auf die Züchtung von Verbindungshalbleiterkristallen soll sich der vorliegende Report auf ausgewählte Ergebnisse dieses Gebietes konzentrieren. Insgesamt wurden 40 Oralvorträge verfolgt und alle einschlägigen Poster besucht. Wegen der üblichen Durchführung von Parallelveranstaltungen konnte noch kein vollständiger Überblick "vor Ort" erzielt werden, so daß ein nachträgliches Studium der Conference-Proceedings in einer Sonderausgabe des "Journal of Crystal Growth", Anfang 1999, erforderlich ist.

Plenarvorträge

Traditionell wurden auch diesmal die Konferenztage mit Plenarsitzungen für alle Teilnehmer eröffnet, auf denen hervorgehobene Übersichtsvorträge über Stand und Entwicklungen moderner Richtungen der Kristallzüchtung und Materialforschung, sozusagen derzeitige "topics" des Wissenschaftszweiges, gehalten wurden.

Von Y Levi (Weizman Institut Rehovot/Israel) wurden Kristallwachstumsvorgänge im biologischen Milieu analysiert. Als "Kristallisationsbausteine" fungieren Makromoleküle der Proteine, die Keimbildungsprozeß, Phasenstabilisierung und Oberflächenmorphologie kontrollieren, wie am Beispiel der Genetik von Weichtierschalen gezeigt wurde. Dieses Studium hilft natürliche Optimierungsvorgänge beim Kristallwachstum zu erkennen und diese speziell bei der Herstellung biologischer und pharmazeutischer Kristallproben anzuwenden.

In einem theoretischen Vortrag handelte J W. Cahn (NIST Gaithersburg/USA) den Einfluß räumlicher und zeitlicher Inhomogenitäten (Fluktuationen) auf Wachstum und Morphologie überkritischer Keime ab, die z.B. für die Abscheidung von quasikristallinen Schichten auf Glasunterlagen von praktischer Bedeutung sind.

Nobelpreisträger H. Kroto von der Universität in Sussex/GB gab einen faszinierenden Überblick über Entwicklungen und

Anwendungsmöglichkeiten von Kohlenstoff-"nanotube"-Strukturen seit der Entdeckung des C₆₀-Fullerens im Jahre 1985 durch den Autor.

Vom diesjährigen IOCG-Frank-Preisträger K A. Jackson (University of Arizona/USA) wurde die zentrale Rolle der Computersimulation für das Verständnis der atomistischen Prozesse an einer wandernden Phasengrenze, die zur Herleitung kinetischer Phasendiagramme führen, hervorgehoben. In der anschließenden Diskussion unterstrich er die Äquivalenz zwischen 2- und 3-D-Modellen bei der numerischen Behandlung der Grenzflächenkinetik.

Der IOCG-Laudise-Preisträger L Akasaki (Meijo Universität/Japan) gab eine chronologische Übersicht über die Entwicklung der Heteroepitaxie von III-Nitriden auf nichtangepaßten Substraten (Saphir) und ihre derzeitige führende Stellung bei der Herstellung blauer LEDs und LDs. Schließlich handelte A. Elstein von Intel Electronics/Israel die Perspektiven der VLSI-Technologie auf 300 mm - Siliziumwafern nach der Jahrtausendwende ab. Entwicklungen zur UV-Lithographie lassen minimale Strukturabstände von nur noch 100 nm erwarten.

II-VI Verbindungshalbleiter

Diese Materialklasse spielt in Israel insbesondere wegen seiner strategischen Bedeutung für die Infrarot-Sichtdarstellung eine hervorgehobene Rolle (CdTe, CdZnTe, HgCdTe u.a.). Darüberhinaus wird CdTe als vorteilhaftes Material hochauflösender Detektoren für Gamma- und Röntgenstrahlen mit zunehmender medizinischer Bedeutung (Computertomographie) diskutiert und getestet. Aus diesen Gründen fand während des Kongresses ein spezieller Workshop zur Charakterisierung solcher Bauelemente statt. Allerdings zeigte sich erneut, daß die komplexen Materialparameter (geringe Härte, hohe Restverunreinigungen, Einschlüsse, Substruktur, Zwillinge, komplizierte Kontrolle des semiisolierenden Verhaltens) nur geringe Fortschritte zulassen und die Detektoren einen noch zu geringen Wirkungsgrad aufweisen.

Als Züchtungsmethode werden gewöhnlich die vertikale (VB) oder horizontale Bridgmanentechnik (BB) aus der Schmelze angewendet. H. Glass et al. (Johnsen Matthey Electronics/USA) berichteten über die Produktion von VB-(Cd,Zn)Te-Kristallen mit Durchmessern bis zu 80 mm, die nach der Scheibenzerlegung 6 x 4 cm² große einkristalline Bereiche aufweisen. Extreme Anstrengungen werden zur Vorreinigung des Einsatzgutes unternommen, um schnell diffundierende Elemente wie Cu, Na und Li zu eliminieren. In Kooperation mit dieser Firma werden bereits seit geraumer Zeit an der Universität zu Minnesota/USA zeitabhängige 2- und 3-dimensionale globale Computersimulationen der VB- und BB-Züchtung von 3-6 inch (Cd,Zn)Te-Kristallen durchgeführt (A. Yeckel, JJ Derby et al.). Besonderes Augenmerk wird auf das Auffinden der Bedingungen für eine nahezu glatte Phasengrenze, geringste Restspannungen im Kristall beim Abkühlen und beschleunigte Durchmischung der Schmelze mittels ACRT-Technik gerichtet. Von L.P. Galchinskii et al. (Inst. for Single Crystals Charkov/Ukraine) wurden frühere experimentellen Beobachtungen des Berichterstatters bestätigt, wonach eine Überhitzung der II-VI-Schmelzen (hier über 50 K bei der Zn(Se,Te)-VB-Züchtung) zu merklichen Verbesserungen der Struktur und Homogenität der gewachsenen Kristalle führt. Sehr geringe VB-Kristallisationsgeschwindigkeiten von 0,3 - 0,6 mm/h müssen bei der Züchtung von (Hg,Mn)Te-Mischkristallen angewendet werden, um die konstitutionelle Unterkühlung an der Phasengrenze zu vermeiden (Scrupa et al., Univ. of Alabama/USA).

Seit geraumer Zeit wird angestrengt an Alternativzüchtungen aus der Dampfphase und Lösung gearbeitet, die unter Verzicht auf eine hohe Durchsatzrate eine höhere Kristallperfektion und -Reinheit gewährleisten.

Von A. W. Brinkman et al. (Univ. of Durham/GB) wurde eine originelle Multi-Ampullen-Methode mit in-situ-Beobachtung des Gasphasenwachstums von CdTe-Kristallen mit Versetzungsdichten unter $10^5/\text{cm}^2$ vorgestellt.

Als ein Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen der Universität Freiburg (K. W. Benz) und Technion Haifa/Israel (Y. Nemirovsky) wurden von M. Fiederle et al. (Universität Freiburg) dampfphasengezüchtete ("travelling vapour zone method") Gamma- und Röntgendetektoren aus CdTe vorgestellt. Bei niedrigen Wachstumstemperaturen wurden in Cl-dotierten stöchiometrischen Kristallen mit 15 mm-Durchmesser elektrische Widerstände von über $10^8 \Omega \text{ cm}$ mit Homogenitätsschwankungen unter 15% erzielt. Die "charge collection effectivity" (CCE) betrug 80 %.

Obwohl für den blauen Spektralbereich ein Siegeszug der "GaN-on-sapphire"-Bauelemente deutlich wird, sind dennoch weitere Grundlagenuntersuchungen zu ZnSe (insbesondere für den grünen Bereich) und GaN-gitterangepaßten ZnO-Substratkristallen wichtig. Wegen der Häufigkeit von Translationszwillingen in solchen aus der Schmelze gezogenen Kristallen liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen derzeit auf Niedertemperaturzüchtungen aus der Dampfphase und Lösung.

R. Triboulet et al. (CNRSMeudoW/Frankreich) berichteten über die Herstellung von 1 cm^2 -großen ZnSe- und ZnO-Plättchen nach der "close-spaced vapour transport method" (CSVT), die in einer Sandwich-Anordnung zwischen Quell- und Keimplatte mit Raten um $1 \mu\text{m}/\text{min}$ wachsen. Für die Lösungszüchtung wurden Zn und PbCl_2 als Lösungsmittel erprobt.

Hoffnungsvolle Resultate zur Züchtung von ZnSe-Einkristallen mit Rockingkurven-Halbwertsbreiten von 24 arcsec nach dem THM-Verfahren aus einer erstmals erprobten SnSe-Lösung wurden in einem Poster von L. Dohnke et al. (Humboldt-Universität zu Berlin) in Zusammenarbeit mit der Universität zu Köln (M. Mühlberg) und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin (S. Fiechter) vorgestellt. Als Grund für einige Lösungseinschlüsse wurde die höhere Dichte von SnSe gegenüber ZnSe-Spezies und damit deren Anhäufung an der unten befindlichen Kristallisationsfront diskutiert.

U. Rinas et al. (IKZ Berlin) verdeutlichten die Wichtigkeit einer begleitenden Computersimulation für die Herausfindung der günstigsten Kristallisationsbedingungen perfekter ZnSe-Einkristalle bei der Gasphasenzüchtung in einem halboffenen System.

Von M. Wienecke et al. (Humboldt-Universität zu Berlin) wurden wichtige Daten zum "post growth annealing and doping" von ZnSe ermittelt. Es wurde die Korrelation zwischen den Diffusionskoeffizienten interstitieller Wirtsatome (Se) bzw. implantierter Dotierungselemente (As, In) und der Stöchiometrieabweichung nachgewiesen.

III-V Verbindungshalbleiter (GaAs)

Aufgrund der sprunghaft zunehmenden Bedeutung von semiisolierendem (SI) GaAs-Kristallen für die Mikrowellenelektronik (HBTs, HEMTs, MMICs) und damit Kommunikationstechnik spielte dieses Material in den Vorträgen, Postern und Gesprächen eine besondere Rolle. Der Veranstalter hatte an den Anfang der Sitzung zur III-V - "bulk"-Züchtung vier deutsche aufeinanderfolgende Vorträge zur GaAs-Züchtung gestellt.

In einem einleitenden Übersichtsbeitrag verglichen P. Rudolph (IKZ Berlin) und M. Jurisch (FCM, Freiberg) die Züchtungsverfahren und unterstrichen die derzeitige führende Position der LEC-Methode mit in-situ Kohlenstoffkontrolle und "post growth bulk annealing" bei der Produktion großer SI GaAs-Kristalle mit homogen verteiltem elektrischen Widerstand nach Maß. Für besondere Anforderungen (spannungsfreie SI-Kristalle mit reduzierter

Versetzungsdichte) gewinnen das "vapour pressure controlled Czochralski" (VCZ)-Verfahren und das vertikale "gradient freezing" (VGF) an Bedeutung.

Von G. Müller et al. (Universität Erlangen) und K. Böttcher et al. (IKZ Berlin) wurde die zunehmende Bedeutung einer kosten- und zeitsparenden globalen Computersimulation der Temperatur- und Spannungsfelder im wachsenden Kristall für eine Züchtungsanlagenoptimierung bereits im Vorfeld der Konstruktionsausführung ("tailoring") am Beispiel des VGF und VCZ gezeigt. Bei der VGF-Züchtung von Si-dotierten 3-Zoll-GaAs-Kristallen konnte aufbauend auf den Simulationsergebnissen mit dem in Erlangen entwickelten CRYSVUN++ - Programm zur Einebnung der Phasengrenze die Versetzungsdichte von vorher durchschnittlich $2400/\text{cm}^2$ auf $570/\text{cm}^2$ gesenkt werden. Bei 4-Zoll VCZ-Kristallen wurde eine Verringerung der thermoelastischen Spannungen im Kern des wachsenden Kristalls unter die kritischen Werte der Versetzungsvervielfachung erwirkt.

T. Flade und M. Jurisch et al. (FCM, Freiberg) stellten eindrucksvolle Ergebnisse zur industriellen LEC-Züchtung von 6-Zoll SI GaAs-Kristallen mit hoher Homogenität der elektrischen Parameter vor. Mit Hilfe einer neu entwickelten Scheibentechnologie konnte eine bessere Oberflächenqualität der 6-Zoll-Wafer gegenüber bisheriger 4-Zoll-Wafer erzielt werden. FCM ist damit einer der wenigen ersten Anbieter von hochqualitativen 6-Zoll-Scheiben auf dem Weltmarkt.

Alle vier Beiträge wurden durch Postervorstellungen ergänzt (G. Müller et al. zur Anisotropie der Versetzungsverteilung in versetzungsreduzierten VGF-Kristallen, M. Neubert et al. zu den Ergebnissen der VCZZüchtung am IKZ Berlin, M. Jurisch et al. zur thermochemischen und spektroskopischen Analyse des Sauerstoffeinbaus (und weiterer Elemente wie C, B, N und H) in undotierten GaAs LEC-Kristallen).

Tagungsteilnehmer aus Japan und den USA äußerten sich gegenüber dem Berichterstatter sehr anerkennend über den wissenschaftlich-technologischen Stand und die Zusammenarbeit zwischen Industrie- und Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der GaAs-Züchtung in Deutschland.

Aus einem Poster von I. Jafri et al. (GTEquipment Technologies/USA) wurde ein identisches computergestütztes Vorgehen bei der Konstruktion und Optimierung einer Hochdruck-Züchtungsanlage mit in-situ Synthese für Kristalle bis zu 150 mm Durchmesser und Drücke bis zu 80 bar ersichtlich. Es wurde der Einfluß der Gaskonvektion bei mittleren und hohen Drücken auf die Kristallqualität hervorgehoben.

3-D-Simulationsergebnisse instationärer Konvektionsflüsse in Schmelzen mit Prandtl-Zahl von 0,05 (etwa wie GaAs) wurden in einem Poster und Film von V. L. Polezhaev et al. (Inst. of Appl. Mechanics Moscow/Rußland) vorgestellt, die z.B. bei Exzentrizität des Keimes relativ zur Temperaturfeldachse entstehen. Solche Oszillationen beeinträchtigen die Homogenität der Phasengrenzform und des Dotierungseinbaus.

Weitere Beiträge beschäftigten sich mit der Züchtung und Charakterisierung anderer III-V-Verbindungen (InP, GaSb).

R. Fornari et al. vom MASPEC Institut in Parma/Italien diskutierten die empfindliche Abhängigkeit der elektrischen Aktivität der dotierten Eisenatome in SI InP LEC-Kristallen vom axialen Ort und erklärten die fallenden Werte mit der zunehmenden Segregation des In-Überschusses, d.h. abnehmender Zahl besetzungsfähiger In-Vakanzen.

Ein Beitrag von T. Duffar et al. (CEA Grenoble/Frankreich) beschäftigte sich mit der Modellierung thermischer Spannungen und Instabilitäten der Phasengrenze in Fe-dotierten InP Kristallen. Mit FIDAP wurde der konvektive Wärmeübertrag zwischen Kristall und Gas berechnet und die Ergebnisse in das FEMAG-Programm zur Modellierung der wachsenden Grenzflächenmorphologie und von Nüsespannungen integriert. Durch computergestützte

Verbesserung der Wärmeisolation wurden der axiale Temperaturgradient und die Versetzungsdichte ($3 \times 10^4/\text{cm}^2$) drastisch gesenkt. Allerdings setzte dadurch im Endbereich konstitutionelle Unterkühlung mit Zellularwachstum der Phasengrenze ein.

In einem weiteren Beitrag zeigte T. Duffar ein begünstigtes VB-Wachstum von GaSb in Kieselglascontainern gegenüber BN-Containern aufgrund eines vorteilhaften nichtbenetzenden Randwinkel-Verhaltens an der Innenwand des Bridgmangefäßes.

Hervorzuheben sind die vielversprechenden "bulk"-Züchtungsversuche von ternären und quaternären III-V-Mischkristallen, wie (Ga,In)Sb und (GaIn)(As,Sb) nach der modifizierten Bridgmantechnik mit "submerged baffle Arrangement" (Vortrag und Poster von A. G. Ostrogorski and P.S Dutta, Rensselaer Polytechnic Inst./USA). Bei diesem Verfahren wird die Konvektion in einem schmalen mitwandernden Spalt zwischen Phasengrenze und "baffle" verhindert und ein diffusionskontrolliertes Verteilungsregime erzielt, was zur axialen Homogenität der chemischen Zusammensetzung führt. Solche Kristalle sind für die Herstellung gitterangepaßter Substrate für epitaktische MQW-Laserdioden im Wellenbereich 2-3 μm von Interesse.

Bericht von W. Schröder, IKZ-Berlin
über

Elementhalbleiter

Herr v. Ammon (Wacker Siltronic) et al. berichtete über die Ausbildung neuer Defektstrukturen in Si-Czochralskikristallen mit großem Durchmesser ($\geq 200 \text{ mm}$). Komplizierte Wärmeabfuhrbedingungen führen bei Beibehaltung der üblichen Züchtungsgeschwindigkeiten zu einer starken Durchbiegung der Kristallisationsphasengrenze. Die Reduzierung der Züchtungsgeschwindigkeit führt zu einem ungünstigen Verhältnis von Ziehgeschwindigkeit und axialem Temperaturgradient an der Phasengrenze. Es kann dadurch zu einer völligen Umkehr der Defektstruktur im Kristall kommen: statt Leerstellen bestimmter Defekte liegen nunmehr Si-interstitialsreiche Defektstrukturen vor, die das Bauelementverhalten negativ beeinflussen. Umlagerungen zu großen Defekten beeinflussen durch das thermische Stressverhalten die Sauerstoffausscheidung im Bauelementprozess.

Als Ausweg werden epi-Substrate, hoch mit Bor dotiert, angeboten.

Diese Arbeit ist ein sehr schönes Beispiel, wie in Synergie von Kristallzüchtung und der Anwendung der Kristalle in der Bauelementeindustrie relevante Lösungen gefunden werden können.

Bei gleicher Problematik - Züchtung von Si-CZ-Kristallen mit großem Durchmesser - berichtet Watanabe et. al. über Untersuchungen zur Anwendung von elektromagnetischen Kräften (Lorentz-Kraft in azimuthaler Richtung in der Si-Schmelze) als Erzeuger einer Schmelzrotation ohne Tiegelrotation.

In Wechselwirkung von einem vertikalen Magnetfeld (0,05 - 0,2T) und einem elektrischen Strom (0,5 - 4 A), eingeleitet direkt in die Schmelze, können Schmelzbewegungen von 0 bis 1000 min^{-1} erzeugt werden. Die so gezüchteten Kristalle (30 mm \varnothing) sind homogener als solche, die im vertikalen Magnetfeld bei Anwendung hoher Felddichten gezüchtet wurden.

Auch diese Arbeit zeigt, wie intensiv noch an der Züchtungsproblematik von CZ-Kristallen mit großem Durchmesser gearbeitet wird.

Auch dieser Problematik zugeordnet, aber mit deutlichem Grundlagencharakter, sind die Untersuchungen von Y. Kishida (Nippon Steel, Future a. Frontier lab!) vom Einfluß der Coriolis-Kraft in großen Tiegelvolumina. Sie finden ein instabiles Strömungsmuster bei hohen Taylor-Zahlen, die sie als geostrophische Turbulenz bezeichnen. Dazu führen sie u. a. 3-D-Berechnungen zu Strömungssimulationen und Beobachtungen in entsprechenden Tiegelgrößen durch. Thermische Profilmessungen und Berechnungen zeigen starke Bewegungen von der Schmelzoberfläche zum Boden. Die zeitabhängigen Fluktuationen zeigen deutliche Charakteristika der geostrophischen Turbulenz.

Mühe et al. (Uni Erlangen-Nürnberg und Wacker Siltronic) berichtet über Sensor-Messungen (radial/axial) des O_2 -Gehalts in CZ-Si-Schmelzen von der Oberfläche bis zum Tiegelboden.

Die gemessenen Daten wurden verglichen mit denen einer zweidimensionalen zeitunabhängigen numerischen Modellierung von Schmelzströmungen und Sauerstoffverteilung ($K-\varepsilon-\Theta^2$ -Modell). Auch diese Arbeit hat das Ziel, den Sauerstoffeinbau (Ablösung vom Tiegel, Einbau in den Kristall) durch Kenntnis und Beherrschung der Prozesse in der Schmelze zu steuern.

Voronkov et al. entwickelt ein numerisches Keimbildungswachstumsmodell für voids in Verbindung mit dem Leerstellen-Loss-Problem für den Czochralski-Fall (Abkühlungsraten $\sim 2 \text{ K/min}$) und für den FZ-Fall ($\Delta T \sim 60 \text{ K/min}$) bei gleicher Leerstellenausgangskonzentration. Deutlich ist hier zu sehen, wie exzellente theoretische Arbeiten zu aktuellen industriellen Aufgabenstellungen durchgeführt werden.

Eine verbesserte Methode zur Dichtemessung von geschmolzenem Ge und Si stellten Nakanishi et al. vor, die zu korrigierten Werten nahe des Schmelzpunktes führt, die die bisherige nicht erklärbare Anomalie - in früheren Arbeiten gefunden - nicht mehr zeigen. Die Systematik, die hier jedoch in der Erfassung von Stoffkonstanten gezeigt wird, beweist aber, mit welcher Breite auch die japanischen Forscher sich weiterhin dem wichtigsten Werkstoff der Elektronik, dem Silizium, widmen.

Eine mögliche Bandstruktur von Silizium beginnt im Bereich mit 2 ... 10 % C, diskutiert von Sher und Mitarbeiter. Sie kann unter bestimmten Voraussetzungen die Bedingungen eines direkten Halbleiters erfüllen. Eine technische Revolution würde sich ankündigen. Offen ist aber, wie die Struktur erzeugt werden kann.

Bericht von **G. Wagner**, IKZ-Berlin
über

Wide Band Gap Crystals I

Chairpersons: D. Hofmann, Germany
R. Porat, Israel

SiC-Züchtung

Der gegenwärtige Stand bei der Forschung und Entwicklung von Siliziumkarbid-Einkristallen hat einen Schwellenwert erreicht, welcher starke Impulse auf die kommerzielle Anwendung von auf SiC basierenden Bauelementen für Leistungs- und Hochtemperaturbauelemente sowie als Substrate für die Optoelektronik ausstrahlt. Eine grundlegende Voraussetzung für eine zukünftige Produktion von SiC-Bauelementen ist jedoch die Verfügbarkeit von SiC-Substraten mit niedrigen Defektdichten und Waferdurchmessern von ca. 50 mm.

Unter dieser Zielstellung standen die Beiträge zum SiC in der Sitzung zu Wide Band Gap Crystals auf der ICCG 12.

Vier Wochen vor der Europäischen SiC-Konferenz in Montpellier war die Anzahl der angemeldeten Beiträge sehr überschaubar. Teilnehmer aus den "SiC-Zentren" der USA und Japan waren nicht anwesend.

Der Plenarvortrag dieser Sitzung, gehalten von A.J. Steckl, Nanoelectronics Laboratory, University of Cincinnati, hatte das Wachstum von 3C-SiC-Schichten auf Silizium zum Inhalt. Um die Probleme bei der Züchtung von 3C-SiC in verwertbaren Größen zu umgehen, wurden 3C-SiC-Schichten epitaktisch (CVD) auf Silizium gewachsen. Wegen der Unterschiede in den Gitterkonstanten und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen SiC und Si kommt einer Pufferschicht besondere Bedeutung zu. Diese Pufferschicht wird durch Wechselwirkung von Kohlenstoff mit Silizium an der Oberfläche des Substrates bei hohen Temperaturen gebildet. Das Wachstum von 3C-SiC wurde in Abhängigkeit der verwendeten Precursoren untersucht. Es wurden die konventionellen Precursoren (Silan, Propan) und auch neue Precursoren, die gleichzeitig Silizium und Kohlenstoff enthalten, verwendet (Trimethylsilan, Silacyclobutan). Die maximale Schichtdicke betrug 25 μm . Wachstumsgeschwindigkeiten bis zu 30 $\mu\text{m h}^{-1}$ wurden erzielt. Bei größeren Schichtdicken treten hohe Defektdichten, verursacht durch den Gittermisfit zwischen Schicht und Substrat, auf. Um die Spannungen zwischen der SiC-Schicht und dem Si-Substrat zu minimieren, wurden SiC-Schichten auf zu Si alternativen Schichten (SOI, SOS) abgeschieden. Alternativ zu dem CVD-Verfahren wurde ein Überblick über den Einsatz der gas-source MBE zur Abscheidung von SiC-Schichten gegeben.

In drei Vorträgen und neun Postern wurden experimentelle Ergebnisse vorgestellt und Probleme diskutiert, die eine Vergrößerung des Durchmessers von SiC-Einkristallen, der Verringerung der Defektdichte und dem Einfluß von Züchtungsparametern auf die Wachstumsgeschwindigkeit und den Einbau von Fremdatomen zum Gegenstand hatten. Da der experimentelle Zugang zu den wachstumsrelevanten Größen wie: Temperatur, Temperaturgradienten, Wärme- und Massentransport einschließlich chemischer Prozesse wegen der hohen Züchtungstemperaturen ($T > 2000\text{ }^\circ\text{C}$) und der Abgeschlossenheit der Züchtungsanordnungen schwierig ist, wird parallel zum Experiment an einer umfangreichen Modellierung der einzelnen Prozesse gearbeitet.

Im Beitrag des Fachbereiches für Physik der Universität Linköping, Schweden, vorgestellt von Frau R. Yakimova, wurden die Morphologie und die Bildung unterschiedlicher Polytypen beim epitaktischen Wachstum von SiC Schichten untersucht. 6H und 4H-SiC Schichten wurden bei Temperaturen von 1700-2000 $^\circ\text{C}$ ($p < 1\text{ mbar}$) auf SiC Substrate unterschiedlicher Orientierung und Polarität abgeschieden. Die Dicke der Epitaxieschichten lag zwischen

25 μm und 900 μm . Das Wachstum unterschiedlicher Polytypen tritt verstärkt auf on-axis orientierten Substraten auf. In diesem Fall ist der 2D Wachstumsmechanismus dominierend. Mit zunehmender Fehlorientierung ist eine Verbesserung der Morphologie und Polytypenreinheit zu verzeichnen. Das Wachstum geht von einem 2D in einen step flow modus über. Einen wesentlichen Einfluß auf die Schichtmorphologie und Defektstruktur hat die Wachstumsgeschwindigkeit bei der Schichtabscheidung. Das Wachstum unterschiedlicher Polytypen konnte beträchtlich reduziert werden bei Wachstumsraten $< 200\text{ }\mu\text{m/h}$ und Schichtdicken unter 400 μm auf off-axis Substraten.

D.Hofmann (Universität Erlangen, Werkstoffwissenschaften) gab eine zusammenfassende Übersicht über die möglichen Defekte bei der SiC Sublimationszüchtung. An Hand von experimentellen Ergebnissen wurde gezeigt, wie durch Einstellung optimaler Druckverhältnisse während der Züchtung und geeigneter Temperaturgradienten zwischen Keim und SiC-Quelle die Defektdichte in den SiC Kristallen beeinflusst werden kann. Besondere Bedeutung für die Bildung von "micro-pipes", Polytypen und anderer Defekte haben dabei die Züchtungsbedingungen zu Beginn der Abscheidung (Aufheiz- und Abpumpregime). Durch eine numerische und analytische Modellierung der SiC-Züchtung wurde der globale Wärme- und Massentransport simuliert und Rückschlüsse zum Experiment gezogen. Herr Hofmann demonstrierte einen in SiC-Wafer mit einem Durchmesser von 35 mm und einer "micro-pipe" Dichte $< 200\text{ cm}^{-2}$.

Herr A.S. Bakin (Elektrotechnische Universität St. Petersburg) stellte in seinem Beitrag experimentelle Ergebnisse aus der langen Tradition bei der Züchtung von SiC-Einkristallen an der Elektrotechnischen Universität in St. Petersburg dar. An Hand einer Vielzahl von experimentellen Resultaten wurden Parameter vorgestellt, mit der die Wachstumsrate, der Polytyp und die Defektstruktur der SiC Kristalle beeinflusst werden können. Durch ein zusätzliches Tempern der SiC Kristalle konnte eine Reduzierung der "micro-pipe" Anzahl und ihrer Länge erreicht werden. Die Demonstration von 2 Zoll 6H SiC-Einkristallen, wie im Abstract angekündigt, blieb der Referent schuldig.

In den vorgestellten Postern wurden die Abscheidung von SiC-Schichten, der Einbau von Fremdatomen und der definierte Einbau von Dotierelementen, Ergebnisse zur Beeinflussung des Polytypes bei der Züchtung, Simulationsrechnungen zum Temperatur- und Massentransport und Untersuchungen zur Spannungsverteilung in SiC-Wafern diskutiert.

Es wurde versucht, eine Korrelation zwischen der Realstruktur der gezüchteten Kristalle und den Züchtungsparametern herzustellen. Obwohl verschiedene Modelle für die Entstehung von Defekten bei der Züchtung von SiC existieren, sind auf der ICCG 12 keine Ergebnisse vorgestellt worden, welche die Bedingungen für die Züchtung von SiC-Einkristalle und deren strukturellen Eigenschaften für die Bauelementeentwicklung wesentlich verbessern.

Bericht von **F. Wallrafen**, Universität Bonn

Allg. Bemerkungen:

Es war eine sehr gut organisierte Tagung, wozu den Kollegen und Organisatoren aus Israel ein hohes Lob gebührt. Sicherlich gibt es auch Kritik, die hier nicht unter den Teppich gekehrt werden soll. Leider waren die 'Chairpersons' überhaupt nicht in der Lage, einen wirklich geordneten Zeitplan zu vollziehen. Es begann damit, daß auf die Redezeit der Vortragenden überhaupt nicht geachtet wurde: Redezeit zu lang – Diskussionszeit zu kurz (?) bzw. es wurden die Zeiten kräftig überzogen. Man fragt sich, wann die 'Chairpersons' die Regeln endlich lernen, denn in den

letzten Jahren waren es immer dieselben, leider ohne Lerneffekt (oder ?).

Es ist sicherlich sehr gut, Vorträge und Diskussionen nicht abrupt abzubrechen. Aber dann bitte nur bei einem Einzelvortrag und nicht im Rahmen einer internationalen Tagung mit Parallelsessions. Dort muß einfach in dieser Hinsicht Disziplin verlangt werden. So war es in vielen Fällen nicht möglich, die Session ohne Zeitverzug und daher mit entsprechendem Informationsverlust zu wechseln.

Ich möchte dafür plädieren, daß die Ausrichter einer internationalen Tagung mit Parallel-Sessions ihre Chairpersons vergatten- ohne Rücksicht darauf, ob es sich um alte, verdiente Chairpersons handelt.

Die schöne Zeit in Jerusalem wurde leider sehr stark getrübt durch die für einen demokratischen Staat westlicher Prägung völlig unmögliche Ausfragerei am Flughafen bei der Ausreise. So etwas war das Charakteristikum totalitärer Regime und paßt keineswegs in die heutige Zeit, auch wenn es sich um Israel handelt.

Zur Statistik:

Nach Angaben der Tagungsleitung bei der Closing Ceremony gab es 553 Teilnehmer aus mehr als 30 Ländern (davon waren 31 Länder mit mind. 1 Vortrag vertreten). Aus Deutschland waren 57 Wissenschaftler angereist; aus der EU kamen 139 Tagungsteilnehmer.

Plenarvorträge (P), eingeladene Vorträge (E), Kurzvorträge (K), Teilnehmer (T)

Quoten: $Q_{P,E+K} = T / (P,E)+K$; $Q_{P,E} = T/P,E$; $Q_K = T/K$; $Q_{K,PE} = K/P+E$

Land	P,E	K	T	$Q_{P,E+K}$	$Q_{P,E}$	Q_K	$Q_{K,PE}$
USA	19	52	72	1.01	3.78	1.38	2,74
Israel	12	24	57	1.58	4.75	2.37	2.00
Japan	9	28	76	2.05	8.44	2.71	3.11
Frankreich	6	15	25	1.19	4.16	1.66	2.50
Großbritannien	5	9	16	1.14	3.20	2.11	4.50
n							
Deutschland	3	24	57	2.11	19.00	2.37	8.00
Niederlande	1	11	22	1.83	22.00	2.00	11.00
Rußland	1	20	33	1.57	33.00	1.65	20.00
Ukraine		5					
Italien		5					
China		4					
Australien		4					
Ungarn		4					
Österreich		3					
Korea		3					
Indien		3					
Schweden		2					
Rumänien		2					
Armenien		2					
Taiwan		2					
Brasilien		2					
Spanien		1					
Portugal		1					
Slowakei		1					
Tschechien		1					
Litauen		1					
Polen		1					
Bulgarien		1					
Weißrußland		1					
Uruguay		1					
Kanada		1					

An 2 Tagen fanden Postersitzungen statt. Die folgende Aufzählung gilt für die angemeldeten Poster. Die fehlenden konnten von mir nicht alle berücksichtigt werden. Für die Oxid-Session waren z.B. 14 Poster von 99 nicht vorhanden.

Diese fehlenden Poster waren hauptsächlich von Kollegen aus den osteuropäischen Länder.

Posterthemen (Zahl aus Deutschland von Gesamtzahl):

Fundamentals: 2 von 37; Modelling: 3 von 38; Surfaces/Interfaces: (0 von 12); Flow & Gravitational Effects: 2 von 6; Oxide Crystals: 3 von 99 (Fehlanzeigen 14!); Crystals for NLO: 0 von 21; Wide Band Gap Crystals: 0 von 24; Proteins: 0 von 10; Biomineralization: 0 von 7; Templated Crystallization: 0 von 1; Nanocrystals & Fullerenes: 1 von 9; *Workshop 1, Room Temperature Detectors for Remote Portable and in Situ Radiation Measurement Systems*: 0 von 4; In Situ Characterization: 0 von 16; Bulk Semiconductors (II-VI): 2 von 11; Thin Film (II-VI): 1 von 9; Bulk Semiconductors (III-V): 3 von 11 Thin Film (III-V): 1 von 35; Elemental Semiconductors: 7 von 25; Superconductors: 0 von 9; Solution Growth: 0 von 37; Industrial Crystallization: 0 von 17; Vapor Growth: 1 von 13; Nuclear Detectors & Scintillators: 0 von 10; Characterization & Physical Properties: 1 von 35; Melt Growth: 1 von 19; *Workshop 3 Crystallization Phenomena in Foods, Pharmaceuticals and Biorelevant Materials*: 1 von 18

Oxide I- Session Mo, 27. Juli 1998

Die Oxide Session begann mit einem eingeladenen Vortrag von A. Revcolevschi (Universität Paris Süd) über ‚LOW DIMENSIONAL CUPRATES: CRYSTAL GROWTH BY THE TRAVELLING SOLVENT METHOD; CHARACTERIZATION AND SIGNIFICANT PROPERTIES‘. Die Anwendung der Methode TSZM wurde eingehend am Beispiel von SrCuO, Sr₂CuO₃ und der supraleitenden Phase Sr_{1-x}Ca_xCu₂₄O₄₁ erläutert. Zur Charakterisierung der Kristalle wurde Neutronenbeugung benutzt und es wurde auf einige physikalisch relevante Eigenschaften eingegangen. Der Vortrag gab einen schönen Überblick.

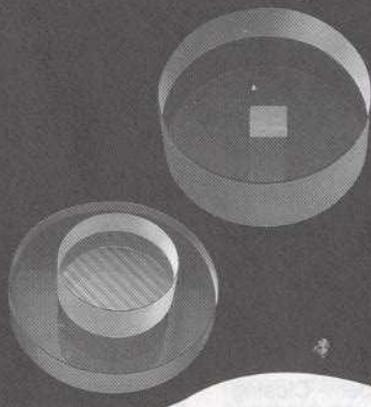
B. Epelbaum berichtete über ein interessantes Verfahren: ‚MICRO-PULLING-DOWN METHOD: HUGE VERSATILITY OF MINIATURE CRUCIBLE‘, eine miniaturisierte Form der EFG-Methode. Die vorgestellte Methode ist im Fukuda-Laboratorium in Sendai zu einem beachtlichen und weitreichend anwendbaren Verfahren entwickelt worden.

Daran schloß sich der einzige deutsche Kurzvortrag in der Oxid-Session von F. Wallrafen über ‚CZOCHEWALSKI GROWTH AND CHARACTERIZATION OF PURE AND Nd_DOPED YAlO₃ SINGLE CRYSTALS. Ein altes Material mit seinen Defekten wie Zwillingsbildung, Farbzentren sowie deren erfolgreiche Verhinderung durch geeignete Züchtungsparameter wurde vorgestellt.

V.N. Kurlov hielt einen sehr interessanten Vortrag über ‚PRODUCTION OF SHAPED SAPPHIRE CRYSTALS GROWN FROM THE MELT‘. Die russischen Kollegen überraschen immer wieder mit ausgezeichneten Weiterentwicklungen – hier mit der ‚Noncapillary Shaping‘-Methode am Beispiel des Al₂O₃.

Auch der Vortrag von V.A. Borodin behandelte das Shaped Crystal Growth mit dem Thema: ‚THE DEVELOPMENTS OF STEPANOV METHOD: VARIABLE AND LOCAL SHAPING TECHNIQUES‘. Borodin beschäftigte sich hauptsächlich mit der Bildung und Entwicklung von Versetzungen und Mosaikstrukturen in Al₂O₃-Rohren. Unterschiede bzgl. verschiedener Keime und deren Auswirkungen auf die Blockstrukturen und Kleinwinkelkorngrenzen wurden dargelegt.

Sind Sie auf unserer Wellenlänge?



- › Bei der Durchführung Ihrer Polituren
- › beim Grad Ihrer Automatisierung
- › bei der Güte Ihrer Oberflächen
- › bei der Reproduzierbarkeit in der Probenpräparation
- › bei der Reflektivität Ihrer Oberflächen
- › bei der Flexibilität Ihrer Anwendung
- › bezogen auf „high-end“ Polituren bei optischen und faseroptischen Bauteilen

LOGITECH's Läpp- und Poliersysteme helfen Ihnen in Forschung und Entwicklung, endlich die „richtige“ Wellenlänge zu haben.

Interesse?

Wir führen Ihnen die Geräte
gern in unserem Applikationslabor
vor. Bitte vereinbaren Sie einen
Termin mit uns.



STRUERS GMBH
Produktgruppe LOGITECH
Linsellesstrasse 142
47877 Willich
Tel. (02154) 818-0
Fax (02154) 818-134
E-mail: infostru@struers.de
www.struers.de

Eingehend beschäftigte sich A.G. Petrosyan mit der Züchtung von dotierten Perowskiten: 'CZOCHELSKI SINGLE GROWTH OF Ce- AND Pr-DOPED LaLuO₃ DOUBLE OXIDES'. Ein Kenner der Perowskite stellte im Ggs. zu seinen früheren Veröffentlichungen (Bridgman-Züchtung von oxidischen Perowskiten) jetzt die Ergebnisse der Czochralski-Züchtungen vor. Besonders die Züchtung aus unterschiedlich hoch gefüllten Iridium-Tiegeln mit der Konsequenz unterschiedlicher Interface-Formen (flach bei 90%-Füllungsgrad, und konvex-flach bei 65%); sicherlich eine direkte Folge der aus den unterschiedlich hoch gefüllten Tiegeln resultierenden Temperaturgradienten.

Den Abschluß der Oxide I-Session bildete der Vortrag von E.V. Shvanski mit dem Titel: 'HIGH TEMPERATURE CRYSTALLIZATION IN SILICATE AND BOROSILICATE SYSTEMS'. Das wesentliche Material war Cr-dotiertes Y₂SiO₅ (Cr:YSO) als Laserkristall. Sehr homogene Verteilung des Cr in diesem Wirtgitter bei Anwendung unterschiedlicher Flux-Systeme (Li- und K-Polymolydate) und der Züchtung nach Czochralski. Weiterhin wurden interessante Ergebnisse zu dem Materialien CaB₂Si₂O₈, Na₂CaSiO₄ und NaBSi₃O₈ sowie zu den neueren ferroelektrischen Kristallen LaBSiO₅ und NdBSiO₅ mit Stillwellit-Struktur vorgestellt.

Oxide II-Session Di, 28. Juli 1998

Die Oxide II-Session begann mit dem eingeladenen Vortrag 'BRIDGMAN GROWTH AND LIGHT SCATTERING TOMOGRAPHY STUDY OF STRONTIUM BARIUM NIOBATE SINGLE CRYSTALS' von R.S. Feigelson. Die sehr lange Einleitung über das Czochralski-Verfahren bei der SBN-Züchtung hätte man sich ersparen können. Für die Bridgman-Züchtungen wurden z.T. sehr schöne Ergebnisse (Korrelation der Brechungsindex-Änderungen δn mit den Temperaturgradienten ΔT vorgestellt. Genaueres Nachfragen bzgl. der Interface-Formen der Kristalle mit 25 mm Durchmesser durch den Verfasser dieser Zeilen ließ durch die sehr unklaren Antworten doch einige Zweifel an den Ergebnissen bzgl. der Temperaturgradienten und der daraus resultierenden Form der Interface aufkommen.

Y.J.Lai berichtete über 'INVESTIGATIONS OF FERROELECTRIC DOMAIN STRUCTURES IN THE MgO:LiNbO₃ FIBERS BY LHPG'. Es wurden die Beziehungen zwischen den auftretenden Domänen und einigen Züchtungsparametern wie Ziehgeschwindigkeit, Dotierstoff und Laserleistung diskutiert.

Das immanente Bild der Striations bei der Kristallzüchtung beschrieb O.A. Gliko in seinem Vortrag 'ROTATIONAL STRIATIONS IN DOPED LiNbO₃ CRYSTALS: TOWARDS THE UNDERSTANDING OF TANGENTIAL AND NORMAL GROWTH MECHANISMS'. Hauptaussage: periodische Temperaturschwankungen an der s/l-Interface, die während des Wachstums in einem asymmetrischen Temperaturfeld auftreten, führen zu sinusoidalen Schwankungen der Wachstumsgeschwindigkeiten, besonders bei Anwendung unterschiedlicher Wachstumsrichtungen der Kristalle.

Ein weiterer Vortrag von F. Shiji beschäftigte sich wiederum mit der Bridgman-Züchtung von Oxiden: 'BRIDGMAN GROWTH OF NIOBATE CRYSTALS WITH TUNGSTEN BRONZE STRUCTURE'. Es wurde insb. über die Züchtung von kongruent schmelzendem Pb₂KNb₅O₁₅ (PKN) und dem inkongruent schmelzenden K₃Li₂Nb₅O₁₅ (KLN) berichtet. Das Bridgman Verfahren hat bei diesen Substanzen mit den hohen Verdampfungsraten an PbO in Li₂O wegen der geschlossenen Tiegel gegenüber der Czochralski-Anordnung wesentliche Vorteile. Die besten Züchtungsergebnisse bei PKN wurden bei Einsatz von [110]-Keimen und Temperaturgradienten von 10-15°C/cm erzielt.

A. Peter berichtete über 'IMPROVEMENT IN QUALITY AND PERFORMANCE OF PHOTOREFRACTIVE Bi₂TeO₅'. Der Wert der Arbeit bestand hauptsächlich in der systematischen Überprüfung der Züchtungsparameter und deren Optimierung. Insb. die Verdampfung von TeO₂ und die

Valenzprobleme Te⁴⁺ und Te⁶⁺ sind, wie auch die Züchtungsparameter verantwortlich für die Qualität der photorefraktiven Gütefaktoren. Der Verteilungskoeffizient für die Dotierungen Cr, V und Mo wurden zu ca. 1 gemessen, ein sehr wesentlicher Faktor für mögliche Anwendungen von dotiertem Bi₂TeO₅.

Die attraktive Gruppe der ortho-, pyro-, meta- und polyborate wurde von N.I. Leonyuk in seinem Vortrag: 'SOLIFICATION OF BORATE MELTS: CRYSTALLIZATION VS POLYMERIZATION' dargestellt. [RM₃(BO₃)₄ mit R = Y, Seltene Erden, In, Bi und M = Al, Sc, Cr, Fe, Ga; InBO₃, BaCaBO₃F, Ba₇(BO₃)₃F₅, KBe₂BO₃F₂]. Die Wachstumsgeschwindigkeiten lagen bei 0.1 - 0.3 mm/Tag (!).

Der Tiefquarkonkurrent GaPO₄ wurde von W. Wallnhöfer ('SEGREGATION FORMING AND GROWTH DEFECT CHARACTERIZATION BY HIGH TEMPERATURE TREATMENT OF HYDROTHERMALLY GROWN GaPO₄') vorgestellt. Die thermisch stabilen piezoelektrischen und elektromechanischen Eigenschaften sind von sehr starkem Interesse. Die Kristalle wurden nach dem Hydrothermal-Verfahren aus sauren Lösungen gezüchtet. Nach meiner Kenntnis wird bei der Firma AVL List in Österreich am erfolgreichsten auf diesem zukunftsreichen Gebiet gearbeitet.

First International School on Crystal Growth Technology (ISCGT-1) im Berner Oberland - eine "Gratwanderung in den Höhen" der Kristallzüchtungstechnologie

Bericht von Prof. P. Rudolph, IKZ-Berlin

1. Allgemeine Bemerkungen:

Schon im organisatorischen Vorfeld hatte die 1. Internationale Schule für Kristallzüchtungstechnologie, von Dr. H. Scheel (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Schweiz) und seinem Team perfekt organisiert, einige Hürden zu nehmen. Es galt, die internationale Gemeinschaft der Kristallzüchter und relevante Förderer davon zu überzeugen, daß eine konzentrierte Zusammenkunft führender Vertreter aus Wissenschaft und z.T. miteinander konkurrierender Industrieunternehmen unter den Augen von Nachwuchsforschern zu einem umsetzbaren Erkenntnisgewinn beitragen kann. Dabei wurde mit der Konvention bisheriger Schulen gebrochen, zu jedem Themenschwerpunkt nur einen Vorlesenden einzuladen. Zu speziellen Materialsystemen (Silicium, GaAs) oder Bearbeitungsproblemen referierten Spezialisten unterschiedlicher Institute und Unternehmen. Dies rief in der Vorbereitungsphase einige Skepsis hervor, erwies sich jedoch letztlich als voller Erfolg. So erhielt man einen guten Überblick über die verschiedenen technologischen Herangehensweisen und bekam den aktuellen Stand auf entscheidenden Gebieten der Kristallzüchtung vermittelt. Hier wurde ein neuer Grat beschritten.

Und fast alle "Großen" waren vertreten ... (Wacker Siltronic, Sumitomo Electric, MEMC, Freiburger Compound Materials (FCM), Shin Etsu, M/A-COM, AIXTRON, Zirmat Corp. International, Schott, Wafer Technology, Super Silicon Corp., CRISMATEC, TOPSIL, HCT Shaping Systems u.v.a. ebenso wie hervorragende Hochschul- und Instituteinrichtungen, wie Tokyo University, FG IAF Freiburg, Technion Israel, Tohoku University Sendai, Institute for Single Crystals Charkov, NIRIM Japan, CNRS Bellevue, EPFL Lausanne, KFA Jülich, NREL USA, General Physics Institute Moscow, Universität Erlangen, SEMI

Japan, University of Minnesota, CERN, National Physics Lab New Dehli, NTT Japan, RAS Chernogolovka, IKZ Berlin u. a.). Schließlich wollte am Ende keiner fehlen, um nichts zu verpassen.

Selten haben die Berichtersteller eine solche Konzentration führender Kristallproduzenten und Wachstumsspezialisten auf einer Schule erlebt, die eigentlich die Bezeichnung "Meeting of Technology Experts on Crystal Growth" verdient hätte.

Insgesamt nahmen über 50 geladene Vortragende aus 16 Ländern und ca. 50 weitere Spezialisten und "Schüler", die zahlreiche Poster vorstellten, an der Internationalen Schule teil, die vom 5.-16. September 1998 stattfand. Japan stellte die größte Delegation mit 28 Teilnehmern. Erfreulich hoch war auch die Teilnehmerzahl aus Rußland, Belorußland, der Ukraine und Lettland mit insgesamt 15.

Dank generöser Sponsoren (IUCr, Japanese Society for Promotion of Science, Shin Etsu, Swiss Federal Institute of Technology and Group Cristallogenese, US Air Force, AIXTRON, Crystal Technology USA, DGKK, Wacker Siltronic, Well-Walter Ebner Switzerland u.a.) war es gelungen, eine unvergeßliche Symbiose aus natürlichem Kristallwachstum (Entstehung der Alpen, Gletscherbildung und Tektonik) und der Kristallzucht zu vollziehen. Vor der Kulisse des majestätischen Dreigestirns von Eiger, Mönch und Jungfrau im Berner Oberland (Zentralschweiz) bot der malerische Ort Beatenberg, ca. 1200 m hoch, oberhalb des Thuner Sees und der weltbekannten Stadt Interlaken gelegen, beste Bedingungen, um in konzentrierter Form ein straffes wissenschaftliches Programm zu veranstalten und mit aktiver Entspannung zu kombinieren. Täglich wurden 7 Vorträge von jeweils einstündiger Dauer gehalten und zusätzlich an den Abenden Postersitzungen, interessante Fachfilme über die Modellierung hydrodynamischer Prozesse beim Kristallwachstum sowie Diskussionsrunden wissenschaftspolitischer Natur zu Stand und Zukunft der Kristallzucht, Kristallen in der Energiepolitik, Fragen des wissenschaftlichen Nachwuchses durchgeführt. Eröffnet wurden die Abendsitzungen mit einem Vortrag zu natürlichen Kristallen in der Schweiz und der Alpentektonik (B. A. Hofmann/Natural History Museum Bern).



Das Kontrastprogramm zur intensiven Beschäftigung mit Kristallwachstum und -zucht umfaßte zwei Exkursionen in die Bergwelt mit sprichwörtlicher Gratwanderung am Niederhorn und von Wissenschaftlern und Bergspezialisten geführte Gletscherwanderungen (Gries- und Rhonegletscher), umrahmt von Fachvorträgen vor Ort (über Rekrystallisations- und Bewegungsvorgänge im Gletscher) sowie die Besichtigung eines einzigartigen Drusenhohlraumes mit hunderten Bergkristallen (Kristallluft Gersteneegg). Diese entstand vor ca. 15 Millionen Jahren und wurde beim Bau eines Pumpspeicherwerkes (Oberhasli) am Grimselpaß tief innerhalb des Berges entdeckt und der Nachwelt zugänglich gemacht. Dazu fährt der Bus ans Ende eines 2,6 km langen Stollens - einfach faszinierend!



Insgesamt wurde der hohe Anspruch dieser Schule, führende Wissenschaftler und Experten der Kristallzüchtungstechnologie einschließlich Waferproduktion und Epitaxie zusammen-zubringen, um Erfahrungen und know how auf höchstmöglichem Niveau zu vermitteln, aus unserer Sicht erfüllt. Eine hochkarätige Besetzung mit erfahrenen Kristallzüchtern erlaubte es, die Entwicklung dieser Disziplin in den letzten Jahren nachzuvollziehen, einen fundierten Überblick über den gegenwärtigen Stand zu erhalten und künftige Entwicklungstrends zu erkennen. Nicht zuletzt trug die Präsentation einiger "highlights", wie einer 400 mm Silizium-Scheibe oder die Vorstellung einer sensationellen plasmagestützten Kristallbearbeitungs-methode "atomistischer" Oberflächenqualität oder Filme zur 3D-Computersimulation wesentlich zum Erfolg der Veranstaltung bei. Vielleicht war es sogar das erste Mal, daß im internationalen Maßstab Probleme der Produktion, der Ausbeute und Spezifikation bzw. Charakterisierung von Kristallprodukten so intensiv öffentlich diskutiert wurden.



Die didaktische Untergliederung in einige einführende Übersichtsvorträge zu den Grundlagen des Kristallwachstums, wie zur Thermodynamik (P. Rudolph/IKZ Berlin), Grenzflächenkinetik (S. Brandon/Technion Israel), Mikroseggregation (H. Scheel/ EPF Lausanne), Kristall-Charakterisierung (H. Klapper/Universität Bonn und K. Lal/New Dehli), Siliziumdefekte (T. Abe/Shin Etsu) und nach Materialsystemen geordnete Fachvorträge (Siliziumschmelze, -zucht und -wafertechnologie, AIII-BV, AII-BVI, Epitaxie, dielektrische Kristalle) sowie dazugehörige numerische Simulationen erwies sich als günstig. Der direkte Vergleich komplementärer Kristallzüchtungsverfahren innerhalb eines Materialsystems (z.B. Hot-Wall-LEC, LEC, VCZ, VGF bei der GaAs-Zucht) oder verschiedener Kristallschnittverfahren für Silizium (Innenloch-, Multidraht- oder Plasmaätzsägen) hinsichtlich erreichbarer Materialqualitäten und Kosten zeigte eindringlich die

Perspektiven und Industrierelevanz der betreffenden Methode.

Natürlich ist es auch eine Art Gratwanderung, wenn die Repräsentanten führender kommerzieller Materialhersteller ihre neuesten Ergebnisse offerieren, ohne jedoch das technologisch letzte Detail preiszugeben. Als Regulativ wirkte diesbezüglich die Tatsache, daß die unmittelbaren Konkurrenten anwesend waren und die Ergebnisse kritisch hinterfragten. Schönfärberei oder die Präsentation lange bekannter Dinge waren dadurch ohne Chance. Aspekte der Reduzierung von Entwicklungs- und Produktionskosten in der Kette vom Materialhersteller bis hin zum fertigen Bauelement standen konsequenterweise mit im Vordergrund. Die Beiträge wissenschaftlicher Institutionen und Forschungsinstitute trugen dazu bei, das Verständnis der komplexen Prozesse beim Kristallwachstum zu vertiefen und insbesondere über eine globale numerische Simulation bereits im Vorfeld der Züchtung die jeweils optimalen Parameter "maßzuschneidern". Es zeigte sich eindringlich, daß ohne eine effektive prozeßbegleitende Modellierung unter Nutzung eigener oder kommerziell erhältlicher Programme unabhängig von der Züchtungsmethode keine entsprechende Qualität der Kristalle mehr zu erreichen bzw. die Entwicklungskosten für eine neue Technologie in Grenzen zu halten sind.

Es soll hier bemerkt werden, daß die Zahl der "Schüler"(51) diejenige der "Lehrer"(51) nicht überstieg. Natürlich ist die Trennung zwischen "Schülern" und "Lehrern" nicht sehr strikt zu sehen, da auch die Lecturer Teilnehmer waren, die viel profitieren konnten. Dennoch sollte insbesondere unter dem Aspekt des "Generationswechsels" in der Materialwissenschaft dem Schüler - Lehrer - Verhältnis künftig mehr Beachtung geschenkt werden (ist bezüglich der Nachfolgeschule im Jahr 2000 in Japan bereits angedacht worden). Weiterhin sollte die Gesamtdauer der Schule etwas reduziert werden. Kaum einer der Anwesenden war über den Gesamtzeitraum der Tagung abkömmlich. Zum Teil erfolgten An- und Abreise interessensspezifisch. Dennoch verblieb auch im Rahmen des Exkursionsprogrammes noch ausreichend Zeit zur fachlichen Diskussion und persönlichen Kontaktaufnahme.



Interessant waren auch die Ausführungen zur Wissenschaftspolitik in den einzelnen Ländern. Hier offenbarten sich besonders die Probleme osteuropäischer Staaten, deren Überlebenschance eng an die ökonomische Leistungsfähigkeit der betreffenden Länder und an erforderliche Kooperationen mit Kristallzüchtungseinrichtungen Europas, Japans und der USA gekoppelt ist.

Einigkeit herrschte unter den Teilnehmern hinsichtlich der Notwendigkeit, die Bedeutung der Kristallzüchtung für die weitere Innovationsfähigkeit der jeweiligen Gesellschaft stärker ins Bewußtsein der Politiker und der Bürger zu rücken (z.B. durch verstärkte Publikationen in den Medien). Der Aufbau bzw. Erhalt von Kompetenzzentren für Kristallzüchtung (wie z.B. das IKZ Berlin oder IKZ Charkov)

und die langjährigen Erfahrungen in den existierenden Laboratorien der Industrie und Forschung müssen langfristig gesichert werden und dürfen nicht kurzfristigen marktorientierten Erwägungen geopfert werden. Dem Schulungsleiter H. Scheel und seinem co-chairman T. Fukuda sei für die konsequente Durchführung einer solchen darauf abzielenden Veranstaltung ganz herzlich gedankt.

2. Ausgewählte "Topics"

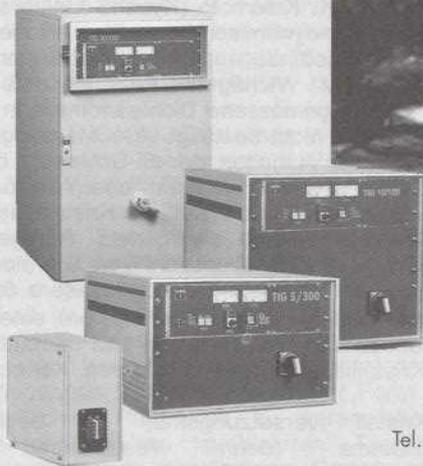
Zur "Struktur" der Si-Schmelze referierten S. Kimura (NIRIM/Japan) und K. Terashima (Shonan Institute of Technology/Japan). K. Kakimoto (Kyushu University/Japan) stellte molekular-dynamische Simulationen der atomistischen Zustände unter Mitwirkung von Sauerstoffatomen vor. Wichtigstes Fazit ist, daß sich eine von einigen Autoren gemessene Dichteanomalie in der Nähe des Schmelzpunktes nicht bestätigt. Alle Messungen deuten auf ein metallisches Verhalten der Si-Schmelze hin. Damit dürfte auch die Lebensdauer vermeintlicher Assoziate viel zu gering sein, um einen Einfluß auf die Kristallisationskinetik auszuüben. Allerdings gibt die mittels Röntgenbeugung gefundene geringe Koordinationszahl von 6,4 noch Rätsel auf (in metallischen Schmelzen beträgt diese ≥ 8). Weitere präzise Untersuchungen sind notwendig, um eine mögliche Korrelation zum Einbau von Vakanzen und Interstitials in die wachsende Kristallisationsfront und deren Kontrollierbarkeit aufzufinden.

Ist ein Kristall versetzungsfrei, so beginnt das Punktdefektdilemma (denn Versetzungen gettern Punktdefekte). Über das "defect engineering" an Silicium-Kristallen berichteten und stritten E. Tomzig (WACKER Siltronic AG.), T. Abe (Shin Etsu/Japan), R. Falster (MEMC International/Italy) and M. Itsumi (NTT/Japan). Im Zentrum standen Fragen der Beherrschung des Vakanzen-Interstitial-Verhältnisses und der Vakanzenkondensation zu "microvoids" im wachsenden Kristall. Kontroverse Diskussionen gab es zur Interpretation der direkten kritischen $V(G)$ -Funktion zur Eliminierung von Punktdefekten, da nach T. Abe im Kristallzentrum der Temperaturgradient G invers mit der Ziehrate V abnehme. Hier wurden die Modellierer angesprochen, diesen Vorgang sorgfältig zu simulieren. R. Falster stellte das Konzept einer "magic denuded zone" mittels eines gezielten Wafertemperprozesses vor, was wesentlich zur Verringerung und Homogenisierung der Punktdefektaggregate in der aktiven Zone beiträgt.

Ergebnisse zur Computersimulation der hydrodynamischen Vorgänge in Halbleiter- (Si, GaAs) und Oxidschmelzen (KDP) sowie zur Optimierung der Form der Phasengrenze und zu den thermo-mechanischen Restspannungen, verantwortlich für die Versetzungsdynamik im Kristall, wurden von F. Dupret (Universite Catholique de Louvain/Belgium), K. Kakimoto (s.o.), V.I. Polezhaev (Institute for Problems in Mechanics Moscow), G. Müller (Universität Erlangen) und A. Yeckel (University of Minnesota/USA) vorgestellt. Von besonderer Wichtigkeit sei die globale Lösung sogenannter inverser Probleme, wie z.B. die Vorgabe der gewünschten Form der Phasengrenze und die Berechnung der dafür notwendigen Heizerleistungen. Die 3D-Ermittlung oszillatorischer Instabilitäten in Schmelzen und die Modellierung von Konvektionsturbulenzen in der Gasphase tragen wesentlich zum Verständnis von Dotierungsinhomogenitäten im Kristallvolumen und der Defektgeneration auf der Kristalloberfläche bei.

Generatoren für die Induktionserwärmung

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



Qualität hat einen Namen:

Hüttinger Elektronik GmbH + Co. KG
 Elsässer Str. 8, D-79110 Freiburg, Germany
 Tel.: +49-761-89 71-0, Fax: +49-761-89 71-150
 email: info-ec@huettinger.com
 Internet: <http://www.huettinger.com>



Anwendungsbeispiele:

Kristallziehen



Glühen

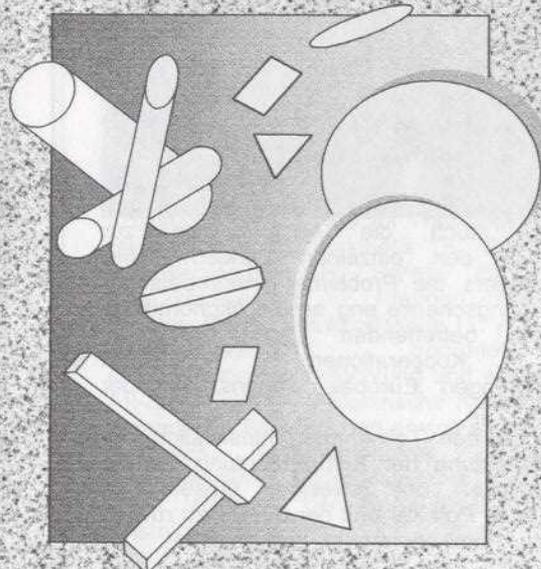


Schmieden

IMPEX HIGH - TECH

Import u. Export von High-Tech Materialien - Einkristalle - HTSC Substratmaterialien - Optische Komponenten aus Saphir, YAG, GGG, LiF, CaF, BaF, Glas u.a... - Formgezogene Saphirteile wie Rohre, Tiegel usw. - Softwarelösungen für die Lasertechnologie - Handelsvertretungen

- Laserelemente & Lasersoftware
- Optische Kristalle
- Optische Komponenten aus Saphir, YAG, GGG, Glas.....
- Formgezogene Saphirteile Rohre, Düsen, Fadenführer....
- ITO Beschichtungen, u.a.
- Keramikkomponenten Substrate, Tiegel....
- Schmucksteine, Smaragd, Kunzit Amethyst, Saphir



IMPEX High - Tech
 In der Weede 114
 D 48163 Münster
 Tel. : .. 49 (0)2536 335240
 Fax.: .. 49 (0)2536 335241
 E-mail: W.Janzen@t-online.de

H. Yamagishi (Super Silicon Institute/Japan) sprach über erste Ergebnisse zur Züchtung von 400-mm-Siliziumkristallen mit einer Masse von bis zu 500 kg an zwei speziell dafür entwickelten Cusp-MCZ-Anlagen (Gemeinschaftsentwicklung mit Leybold). Seit März 1998 gelingt in einer Teststrecke die Prozessierung versetzungsfreier Wafer. Eine industrielle Produktion wird für die erste Dekade nach 2000 prognostiziert.

Vorlesungen zur Kristallbearbeitung wurden von Y. Mori et al. (Osaka University), C. Hauser (HCT Shaping Systems) und B. Sauter (WACKER Siltronic) gehalten. B. Weinert (FCM) stellte beachtliche Ergebnisse einer verbesserten Oberflächentechnologie für den 150 mm GaAs-Waferprozeß vor. Übereinstimmend wurde von der Ablösung des Innenbordsägens durch Multidrahtsägen gesprochen, wodurch bei 8-Zoll Si-Kristallen ein Materialgewinn von 31 % erzielt werden kann. Die von der Gruppe um Y. Mori vorgestellten Entwicklungen zur plasmagestützten Kristallpräparation (PCVM - plasma chemical vaporization machining) und zum "elastic emission machining" (EEM) trugen geradezu sensationellen Charakter. So wird mit einer schnell rotierenden Elektrode, die als Sägeblatt, -draht, Polierscheibe oder Schleifkugel ausgeführt werden kann, in einem He/CF₆ - Plasma eine Schnitt- bzw. Polierqualität "atomistischer" Güte erreicht. Damit wurde eine neue Generation der Kristallbearbeitung mit fehlender Störtiefe eingeleitet.

Stand und Entwicklungen zur Züchtung von GaAs wurden von H. Wenzl (IFF KFA Jülich), G. Müller (Universität Erlangen), P. Rudolph (IKZ Berlin), Y. Nishida (Sumitomo Electric Ind.), B. Weinert (FCM) und R. Ware (M/A-COM) vorgetragen. Im Mittelpunkt stand die Qualität von semi-isolierenden LEC 100 und 150 mm Scheiben. Übereinstimmung herrschte darin, daß eine verbesserte Homogenität der Versetzungsverteilung bei möglichst gleichzeitiger Verringerung der Dichte erzielt werden muß. Die nächste Zukunft wird zeigen, ob das VGF- und/oder das VCZ-Verfahren unter Beibehaltung einer hohen Kohlenstoffverteilungshomogenität und effektiven Kristalllänge dazu in der Lage sind. Wiederum wurde die wichtige Rolle einer globalen Simulation unter Einbeziehung der Gaskonvektion für eine optimale Anlagenkonstruktion hervorgehoben. Wichtig war auch die übereinstimmende Erkenntnis aus der VGF- und VCZ-Züchtung, daß eine verringerte Versetzungsdichte eine erhöhte Multiplikationsgeschwindigkeit nach sich zieht und damit den Kristall im Abkühlstadium sensibilisiert. Offensichtlich existieren noch weitere Quellen für die Entstehung von Versetzungen (z.B. an der Kristalloberfläche) als nur die Vervielfältigung der durch den Keim eingewachsenen, was noch sorgfältig zu untersuchen ist.

Über die LEC-, VCZ- und VB-Züchtung von InP-Kristallen berichteten I. Grant (Wafer Technology/UK) und T. Asaki (Japan Energy). Aus diesem Material werden bereits 3-Zoll VCZ-Scheiben kommerziell angeboten. Entwicklungen für eine 100 mm Technologie sind im Gange. Interesse rief die erfolgreiche industrielle Bridgmanzüchtung aus einem Keim gleichen Durchmessers wie der wachsende Kristall hervor. Die beiden Vorträge zur CdTe-Züchtung (T. Asaki/Japan Energy und R. Triboulet/CNRS Meudon) verdeutlichten zum einen den bereits beachtlichen Stand des VB-Verfahrens (100 mm Durchmesser), offenbarten aber zum wiederholten Mal die Komplikationen gegenüber der III-V-Züchtung, die vor allem mit dem hohen Assoziationsgrad der II-VI-Schmelzen zusammenhängen.

Ein spezieller Tag war der Halbleiterepitaxie vorbehalten. Einleitend gab J. Nishizawa (Tohoku University Sendai) einen Überblick über die Herstellung optoelektronischer Bauelemente mittels LPE, MOCVD und MBE, wobei die höchste LED-Effizienz beim stöchiometrie-kontrollierten LPE-Prozeß erreicht werde. H. Scheel unterstrich die Bedeutung der LPE für die Herstellung großflächiger

Schichtabscheidungen hoher struktureller Qualität, da nur dieses Verfahren nah am thermodynamischen Gleichgewicht abläuft und einen layer-by-layer-Mechanismus mit beträchtlichem Stufenabstand (0.6 - 17 µm gegenüber 15-30 nm beim PVD- oder MOCVD-Prozeß) zuläßt. T. Nishinaga (Tokyo University) gab einen ausgezeichneten Überblick über die Entwicklung und Möglichkeiten der "microchannel epitaxy" bzw. der "epitaxial lateral overgrowth"-Methode (ELO), mit der es gelingt, beim Wachstum durch eine schmale Maske hindurch nahezu alle Versetzungen aus der Schicht unter der selektiven Abdeckung zurückzulassen. Im Falle der Heteroepitaxie von GaAs auf Silizium werden damit versetzungsfreie "overgrown" Schichtbreiten von 200 µm erzielt, genügend für das Aufbringen von nur 30 µm-breiten LD-Strukturen. Dieses Verfahren spielt auch eine entscheidende Rolle bei der Herstellung von GaN-Laserdioden auf Saphirsubstraten. G. Weimann (Fh-IAF Freiburg) stellte die spezifischen Vorteile der MBE und deren kostengünstige Produktionsfähigkeit für die Herstellung von "quantum wells" mit scharfen Grenzflächen und Dicken im Nanometerbereich vor. Er postulierte eine alsbaldige Ablösung der jetzt gebräuchlichen 4-Zoll-GaAs-Wafer durch 150-mm Substrate. Eine interessante Hochrechnung ergab, daß im Prinzip 3 MBE-Anlagen ausreichen würden, um den jährlichen Bedarf an GaAs MMICs für automatische KFZ-Leitsysteme in der deutschen Autoproduktion (10 Mio./Jahr) abzudecken. Allerdings muß die Bauelementausbeute dafür noch beträchtlich erhöht werden. M. Heuken (AIXTRON) und K. Gillissen (TEMIC Heilbronn) rundeten den sehr interessanten Epitaxietag mit Vorlesungen über den MOCVD- und LPE-Produktionsstand ab, der leider insgesamt zu wenig von den Schulungsteilnehmern besucht wurde, obwohl in der Diskussion wichtige Fragen des Einflusses der Substratqualität (z.B. GaAs-Versetzungsdichte und -Substruktur auf HBT-Parameter) zur Sprache kamen. Gerade diese Schnittstelle sollte auf Kristallzüchtungsschulen weiterhin gepflegt werden.

Den abschließenden Themenkreis bildete die Züchtung dielektrischer Kristalle, der ganz wesentlich von den "Hochburgen" in Moskau (V. Osiko zum "skull melting" von ZrO₂-Kristallen und E.V. Zharikov zur Saphir- und YAG-Züchtung/General Physics Institute, V. Balitsky zur Quarzsynthese/Institute of Experimental Mineralogy in Chernogolovka) und Charkov (A. Gektin zu Halogenidzittillatoren und L. Lytvynov zur Saphirprofilzüchtung/ Institute for Single Crystals) getragen wurde. Besonderes Interesse rief die experimentelle Erfahrung Zharikovs hervor, daß die Einkopplung von akustischen Schwingungen in den Züchtungstiegel zur Verringerung der "striation"-Bildung in YAG-Kristallen beiträgt. Offensichtlich liegt hier eine Auslöschung der Marangonifrequenzen durch Resonanz vor.

T. Fukuda (Tohoku University Sendai) und T. Sasaki (Osaka University) stellten den japanischen Stand der technologischen Grundlagenforschung an modernen piezoelektrischen (Langasit) und nichtlinearen optischen Kristallen (CBO, CLBO) vor, wobei letztere als UV-Laser (236 nm) durch Generation der 4. und 5. Harmonischen des Nd:YAG-Lasers mit einer beachtlichen Konversionseffizienz von 28 % einsetzbar sind. Das leidliche Problem der Hygroskopie wird durch einen Tempervorgang mit anschließender Verkappung gelöst. S. Miyazawa (Research Institute of Technology Japan) demonstrierte die Wichtigkeit der Stöchiometrie-einhaltung während der Züchtung oxidischer Kristalle für den optischen Bedarf. D. Cochet-Muchy (CRISMATEC) umriß die Produktionstechnologie von LiNbO₃ und LiTaO₃. Die Vorteile der sehr interessanten "Heat Exchanger Method (HEM)" zur Züchtung von Saphirkristallen (u.a. auch photovoltaischem Si) großer Durchmesser (bis zu 500 mm) wurden von F. Schmid (Crystal Systems Inc. USA) demonstriert.

Es kann in diesem Bericht nicht detailliert auf die Vielzahl der gebotenen Ergebnisse und interessanten Diskussionen eingegangen werden. Dazu sei auf die von H. Scheel herausgegebenen Schulungs-Proceedings mit den abstracts, Folienkopien und Posterzusammenfassungen aller Vorträge (insgesamt 806 Seiten) verwiesen, die bei ihm und jedem Schulungsteilnehmer sicher abgefragt werden können.

Dies war der Start in ein neues Technologieforum für Kristallzüchter, für dessen Fortsetzung im Jahre 2000 in Sendai (Japan) sich alle Teilnehmer uneingeschränkt aussprachen, damit der "Grat" in ein stabiles Plateau einmünde.

5. Übersichtsartikel

Einige Gedanken zu Gegenwart und Zukunft der Photovoltaik

K. Jacobs
Institut für Kristallzüchtung Berlin

Ich kann mir keinen Naturwissenschaftler vorstellen, für den die bisher so geringe direkte Nutzung der Sonnenenergie, ohne den Umweg über die Bildung von Biomasse und deren weitere Umwandlung, nicht einen Stachel darstellte. Kristallzüchtung und Materialwissenschaften sind Schlüsseldisziplinen bei der Weiterentwicklung und Durchsetzung der photovoltaischen Energiewandlung.

Der Autor dieses Beitrages arbeitet seit mehreren Jahren in einer gemeinnützigen GmbH mit Ex-Mitarbeitern des früheren Halbleiterwerkes in Frankfurt/Oder an der Entwicklung von Solarzellen auf der Basis von CuInS_2 , zugegeben eines Exoten unter den Materialien für Solarzellen, zusammen. Diese Tätigkeit ist nicht unerheblich durch die erwähnte ständige Herausforderung motiviert, die aus den zunehmend bewußter werdenden Problemen der konventionellen Energieerzeugung und dem Überangebot an Sonnenenergie auf der einen Seite, ihrer bisher außerordentlich geringen photovoltaischen Nutzung andererseits, entsteht. Interesse und Einsatz für die Photovoltaik sind nicht nur Möglichkeit zum Broterwerb, sie dürfen aber auch nicht einfach ein Glaubensbekenntnis sein. Auch wer nicht unmittelbar auf dem Feld Photovoltaik tätig ist, ist als Kristallzüchter, auch einfach als Bürger dieses Staates, zu einer sachlichen und sachkundigen Stellungnahme gefordert. Wir haben in der letzten Vergangenheit erlebt, wie an sich vernünftige "grüne" Überlegungen zu realitätsfremden Forderungen wurden, die letzten Endes die vernünftigen Denk- und Handlungsansätze diskreditiert haben. Die Diskussion um die Möglichkeiten der Photovoltaik bewegt sich auch oft im Bereich von Glaubenskriegen. Ich möchte deshalb im folgenden einige Zahlen und Überlegungen anführen, die zu einer realistischen Beurteilung der Notwendigkeiten und Möglichkeiten für die Photovoltaik beitragen sollen. Von Kristallzüchtern wird, wie erwähnt, hierzu besondere Sachlichkeit und Kompetenz erwartet. Die Problematik ist auch von in unserem Wissenschaftsgebiet nicht immer gegebener allgemeiner Bedeutung.

Der Primärenergiebedarf Deutschlands wird gegenwärtig zu folgenden Anteilen von den verschiedenen Energieträgern gedeckt:

- 40.3 % Mineralöl
- 20 % Erdgas
- 14.5 % Steinkohle
- 12.2 % Braunkohle
- 10.1 % Kernenergie
- 1.7 % Wasserkraft
- 1.2 % Sonstige (Holz, Torf, Müll, Wind,...).

Nach den Szenarien der NEDO, der japanischen "New Energy and Industrial Technology Development Organization", für die Entwicklung der Energieträgerstruktur steht Erdöl zur Deckung des Welt-Energiebedarfs noch für 43 Jahre zur Verfügung, Erdgas noch für 56 Jahre, Kohle für 174 Jahre und Uran für 66 Jahre (Angaben im Juli 1998 publiziert). Alle Zahlen dürfen sicher nicht auf die Goldwaage gelegt werden; als Richtwerte sind sie aber wohl korrekt. Man könnte diese beiden Zahlengruppen in eine Tabelle schreiben und benötigt keinen Kommentar dazu.

Die Energiegewinnung aus den ersten der vier oben aufgeführten Energieträger erfolgt durch Verbrennung zu CO_2 (und Wasser). Aus der Verbrennung von 12 g Kohlenstoff entstehen 44 g des Treibhausgases Kohlendioxid, welches die Rückstrahlung der Wärme in den Weltraum verhindert. Weltweit sind das ca. 2.2×10^{10} t/a. In Deutschland allein werden auf diesem Weg jährlich ca. 910 Millionen Tonnen CO_2 erzeugt. Die Fernheizkraftwerke tragen mit 36 % zu diesem Ausstoß bei; 20 % entfallen auf Kleinverbraucher und private Haushalte und 24% auf den Verkehr.

Die neue Regierungskoalition hat, ebenso wie die Regierung der Schweiz, den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen, weil der Betrieb der Kernreaktoren selbst und der Umgang mit ihren Endprodukten, deren Transport und Lagerung nicht völlig risikofrei beherrschbar scheinen. Die Lehre von Tschernobyl sitzt tief.

Der Energieverbrauch in Deutschland bleibt absolut und pro Kopf konstant oder nimmt sogar leicht ab. Das ist in allen hochentwickelten Industrieländern so. Aber die Weltbevölkerung wächst. Im Jahre 2020 werden die Entwicklungsländer ca. 80 % der Weltbevölkerung stellen. Mitte der neunziger Jahre verbraucht jeder Bewohner eines Industrielandes im Durchschnitt zehnmal so viel Energie wie der Bewohner eines Entwicklungslandes. Ein menschenwürdiges Dasein ist nur möglich, wenn jedem Bewohner dieser Länder entsprechende Energiemengen zur Verfügung stehen.

Die notwendigen Konsequenzen aus diesen Sachverhalten sind klar: Die Energiegewinnung aus wiederverwertbaren oder unerschöpflichen Energieträgern, deren Umwandlung in Sekundärenergie (Elektrizität) überdies in der Regel nur geringe Umweltbelastungen hervorruft, **muß** einen maßgeblichen Anteil gewinnen.

In sicherer Entfernung von der Erde, ca. 151 Millionen km weit weg, arbeitet die Sonne als gigantischer Kernfusionsreaktor, dessen Produktion wir unsere Existenz verdanken. Er strahlt seit ca. 4.5 Milliarden Jahren und wird sich erst in etwa 6 Milliarden Jahren seiner Erschöpfung nähern... Die Sonneneinstrahlung ist – mit Ausnahme von Kernenergie und geothermischer Energie- letztlich die Quelle aller auf der Erde nutzbarer Energievorräte, selbst bei Gezeitenkraftwerken hilft sie ein wenig mit. Wind- und Wasserkraft, Biomasse, Photosynthese, direkte Wärmezeugung und Ausnutzung von Temperaturunterschieden – alle haben ihren Ursprung in der Sonneneinstrahlung. In einer Stunde versorgt die Sonne die Erde mit etwa fünfmal soviel Energie, wie die Menschheit zur Zeit in einem Jahr verbraucht.

Die Fusion von 1 g H_2 produziert 180 000 kWh Energie. Die Sonne strahlt jährlich ca. 10^{18} kWh Energie auf die Erde mit ihrer atmosphärischen Hülle; 47 % davon gelangen auf die Erdoberfläche. Der gegenwärtige Welt-Bedarf an elektrischer Leistung wird auf 1×10^{10} kW geschätzt. Aber nur 0.004 % der weltweit erzeugten elektrischen Leistung stammen aus der Photovoltaik!

Die Geschichte der Photovoltaik ist nicht mehr ganz jung. Viele Jahre ist das Flämmchen nur sehr mühselig am Leben gehalten worden. 1839 wurde von Becquerel der Photoeffekt entdeckt, 1883 findet sich zum ersten Mal eine Beschreibung einer Art von Se-Solarzellen in der Literatur (Fritts). 1941 wurde an Ohi ein Patent zu Si-Solarzellen erteilt. 1954 wurden in den USA, sowohl in den Bell Labs, als auch in den RCA-Laboren, Arbeiten an Si- und Ge-Solarzellen aufgenommen. 1974 wurde von Wagner CIS (Kupfer-Indium-Diselenid) erstmalig als potentiell interessantes Absorbermaterial in die Diskussion gebracht. Ein entscheidender Beitrag für das "Überleben" der Solarzellenforschung war der erstmalige Einsatz von Solarzellen an Bord des Raumflugkörpers Vanguard I im Jahre 1958. Ein 6-Zellen-Modul für 5mW sicherte für 6 Jahre die Stromversorgung. Ein tief wirkender Impuls für die verstärkte Entwicklung der Photovoltaik war die Ölkrise von 1974, als in einigen Ländern Europas Autos nur an jedem zweiten Sonntag fahren durften... Bei der heutigen Weltlage kann man mit einem ähnlichen Szenarium kaum noch jemanden ernstlich schrecken oder aufwecken; auch die Verknappung der natürlichen Ressourcen wird kaum ernst genommen, wenn man zugleich in der Zeitung liest, daß die OECD-Staaten die Produktion drosseln, um die Preise halten zu können. Aber seit etwa 1980 geht von ökologischen Erkenntnissen und Überzeugungen mehr und mehr Motivation für die Verstärkung der photovoltaischen Energieerzeugung aus. Die Photovoltaik gewinnt nur sehr langsam Boden. Ihr Beitrag zur Energieversorgung ist insgesamt gegenwärtig noch vernachlässigbar.

Die folgenden Zahlen sollen ein reales Bild vom gegenwärtigen Stand der photovoltaischen Energiewandlung liefern. Zum Vergleich sei erwähnt, daß ein größeres Kohlekraftwerk heute eine Leistung von ca. 750 MW liefert, ein Kernkraftwerksblock bis zu 1400 MW. Im Jahre 1990 lieferten alle Silicium-Solarzellen zusammengerechnet eine elektrische Leistung von etwa 160 MW. In den Folgejahren wurden dann Solarzellen für folgende kumulative Leistungen weltweit erzeugt:

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
sonstige	4,7	5,0	4,6	4,4	5,6	6,4	9,8	9,4
Europa	10,2	13,4	16,4	16,6	21,7	21,1	18,8	30,4
Japan	16,8	19,8	18,8	16,7	16,5	17,4	21,2	35,0
USA	14,8	17,1	18,1	22,4	25,6	34,8	38,9	51,0
Gesamt	46,5	55,3	57,9	60,1	69,4	79,6	88,6	125,8
Zuwachs [%]		18,9	4,7	3,8	15,6	14,6	11,3	42,0

Quelle: PV News

Man sieht, daß alle bisher produzierten Solarzellen nur einen verschwindend geringen Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs beitragen können. Erst im letzten Jahr ist ein etwas kräftigerer Schub in den Zuwachsraten zu erkennen. Bisher kommen photovoltaische Generatoren nahezu ausschließlich für netzunabhängige Kleinanwendungen zum Einsatz; ihre Anwendung ist an das konkrete Objekt, in welches sie eingebaut sind, gekoppelt. Sie leisten praktisch noch keinen wirklichen Beitrag zur allgemeinen Energieversorgung. Japan strebt an, im Rahmen des 1993 gestarteten "New Sunshine" Projektes, mit dem ein globaler Ansatz für nachhaltiges Wachstum sowie die Bewältigung bzw. Beherrschung von Energie- und Umweltproblemen verfolgt wird, eine Verschiebung des Photovoltaik-Entwicklungspotentials von "consumer applications" zu "power supply products" zu erreichen. Die "consumer applications" umfassen zu 83 % Taschenrechner, zu 4 %

Uhren, 4 % Spielzeug, 4 % Batterieladegeräte, dazu ein weites Feld von Radios, Ventilatoren, Camping-Geräten usw. Als merklichen Beitrag zur Energieversorgung hingegen soll die photovoltaisch erzeugte Energie zu 90 % direkt bei den allgemeinen Energieversorgern eingespeist werden, 3,5 % sollen für Verkehrsleiteneinrichtungen und 6,5 % für Kommunikationssysteme eingesetzt werden. Dieser Beitrag zur Energieversorgung wird in Japan massiv staatlich gefördert.

Der photovoltaischen Wandlung der Sonnenstrahlung in elektrische Energie werden seit langem gute Perspektiven eingeräumt. Worauf beruht dann der große Widerspruch zwischen riesigem Energieangebot und bisher nur sehr geringer Nutzung ?

Die naturgegebenen grundsätzlichen Probleme der direkten Umwandlung der Solarenergie in Elektrizität sind bekannt: Das sind vor allem die geringe Leistungsdichte und die örtlich und zeitlich erheblich schwankende Verfügbarkeit. Während die Leistungsdichte einer Kochplatte ca. 100 kW/m² beträgt, ein Kohlekraftwerk etwa 500 kW/m² und ein Kernkraftwerk ca. 650 kW/m² liefern, werden von der Sonne in unseren Breitengraden nur ca. 0.1 kW Leistung auf einen Quadratmeter Fläche eingestrahlt. Solarzellen haben heute leider bestenfalls nur Umwandlungs-Wirkungsgrade zwischen 8 % und etwa 23 %, zu Modulen verschaltete Zellen noch etwa 1 - 2 % weniger... Mit vertretbaren Kosten sind keine allzu große Steigerungen der Wirkungsgrade mehr möglich. In Berlin können von optimal angebrachten (nach Süden ausgerichtet und etwa 30° gegen die Horizontale geneigt) Solarzellen in einem Jahr etwa 1100 kWh/m² Sonnenenergie genutzt werden, bei senkrechter Aufstellung (an der Fassade angebracht) sind es nur etwa 770 kWh. Wenn die Fassade nach Osten oder Westen zeigt, verringert sich die jährlich auf einen Quadratmeter eingestrahlte Energiemenge auf ca. 680 kWh/(m²a). Die zeitlichen Schwankungen werden aus folgenden Zahlenangaben für Hamburg deutlich: Im Tagesverlauf treten im Mittel Schwankungen zwischen 40 Wh/(m²·h) und 1000 Wh/(m²·h) auf; saisonal schwankt die eingestrahlte Energiedichte zwischen 500 Wh/(m²·d) im Winter und 6000 Wh/(m²·d) im Sommer, und im Vergleich mehrerer Jahre wurden Absolutwerte zwischen 740 kWh/(m²a) und 830 kWh/(m²a) ermittelt. Die Nutzung der Solarenergie ist folglich ohne geeignete Speicher nicht möglich.

Ein weiteres Problem liegt in der Kompatibilität von photovoltaisch erzeugter Elektroenergie mit den bestehenden Netzen. Eine Solarzelle liefert Gleichstrom relativ niedriger Spannung. Für die Kopplung ans Wechselstromnetz sind geeignete Wandler notwendig. Für Insel-Lösungen benötigt man neben weiterer Peripherie (für die Installation z.B.) also photovoltaische Generatoren und Speicher, für die Netzkopplung Solarzellen und Wandler. Das macht die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik natürlich noch schwieriger.

Ein Problem für die Durchsetzung eines größeren Anteils an photovoltaischer Energieversorgung ist die Markt-Akzeptanz. Grundsätzlich liegt hier zunächst ein gewichtiger Vorteil der Photovoltaik: Sie findet hohe gesellschaftliche Akzeptanz, weil sie umweltfreundlich und gefahrlos ist. Trotzdem ist sie bis heute noch mehr etwas für Liebhaber und technisch Interessierte. Die Japaner haben sehr genau ermittelt, welche Prioritäten in welcher Reihenfolge die Käufer photovoltaisch versorgter Produkte setzen:

- wettbewerbsfähiger Preis,
- Langlebigkeit
- Umweltfreundlichkeit
- attraktives Äußeres.

Letzterem tragen neuere Entwicklungen, wie unterschiedlich gefärbte und flexible Solarmodule, Rechnung.

Der gegenwärtig entscheidende Nachteil sind die noch sehr hohen Kosten für photovoltaische Systeme. Auch heute noch liegen die Gestehungskosten für photovoltaisch gewonnene Elektroenergie um den Faktor 6 – 10 über denen von konventionell erzeugter (also vorwiegend durch Verbrennung fossiler Energieträger). Die 1995 vom BMBF initiierte und finanzierte, 1998 fertiggestellte DELPHI-Studie "Vorausschau auf die Entwicklung von Wissenschaft und Technik" formuliert als Summe der in mehreren Runden von mehreren Tausend kompetenten Personen geäußerten und begründeten Erwartungen: "Die erneuerbaren Energiequellen (ohne Wasserkraft) werden zwischen 2015 und 2025 die 10 % - Marke bei der Stromerzeugung in Deutschland überschreiten. Möglich erscheint dies, weil etwa ab 2017 für netzgekoppelte Systeme Systemkosten von weniger als 4000 DM/kW_p erreicht werden, ...". Es lohnt sich, länger über diese Zahl nachzudenken, wenn man sie mit der Obergrenze für den BMBF-Zuschuß im Rahmen des im Jahre 1990 aufgelassenen 1000-Dächer-Programms der BRD vergleicht: Im Rahmen dieses Programms zahlte das BMBF einen Zuschuß in Höhe von 50 % bis zu einer Obergrenze von 27000 DM pro kW_p installierter Leistung – Anfang der neunziger Jahre beliefen sich die Kosten also auf ca. 50 bis 60 Tausend DM/kW_p.

Ich glaube, daß durch allzu optimistische Prognosen von Wissenschaftlern, auch gegenwärtig noch, in der Öffentlichkeit und bei Politikern viel Porzellan zerschlagen worden ist und unerfüllbare Illusionen geweckt wurden. Im Lichte der obigen Einschätzungen aus der DELPHI-Studie betrachte man zum Beispiel folgendes Zitat aus dem Januarheft der "Physikalischen Blätter" von 1980: "Gerechnet wird bis 1986 mit Kosten von nur 4 DM/W installierter Leistung; bis zum Jahr 2000 sollen es nur noch 2 DM/W sein." Dies äußerten amerikanische Teilnehmer an einer 1979 in Berlin mit 600 Teilnehmern aus 26 Ländern abgehaltenen Konferenz über "Photovoltaische Stromerzeugung aus Sonnenenergie". Ich weiß nicht, ob die Übertreibung zum guten Ton gehört oder vielleicht sogar notwendig ist, um Fördermittel akquirieren zu können.

Andererseits erzeugen auch Politiker mit unzuverlässigen Zuarbeiten oder zweideutigen Formulierungen für ihre Reden Erwartungshaltungen oder suggerieren Tatbestände, die nicht wahr sind. So etwas bringt die Wissenschaft in Mißkredit in der Öffentlichkeit. Hier sei aus der Presseerklärung vom 04.06.1998 des damaligen Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie anlässlich der Grundsteinlegung der Solarzellenfabrik in Gelsenkirchen zitiert: "Auf dem Weltmarkt für Photovoltaik mit einem Umsatzvolumen von 1,7 Mrd. DM und Wachstumsprognosen von jährlich 15 – 20 % ..." Das klingt nicht völlig unrealistisch, ich sehe diese Aussagen trotzdem skeptisch. Man vergleiche zunächst einmal mit den in obiger Tabelle aufgeführten Zuwachsraten. Schaut man sich die Entwicklung in Deutschland näher an, so entsteht ebenfalls ein gemischtes Bild. Einen sehr guten Überblick bis zum Jahre 1995 gibt eine Zusammenfassung des BMBF "Photovoltaik – ein Forschungsschwerpunkt zur Erschließung der Sonnenenergie". Daraus geht hervor, daß dieser Forschungsschwerpunkt in Deutschland seit 1974 vom Staat gefördert wird. Der Höhepunkt in der Förderung lag in den Jahren 1992 und 1993 mit jeweils mehr als 110 Millionen DM; dann ging es drastisch zurück. Aus Heft 1/1998 der BMBF-Hauszeitschrift "Prospect" ist zu entnehmen, daß ein "Wegbereitungsprogramm Photovoltaik 2005" entwickelt wurde und derzeit rund 65 Millionen Mark pro Jahr vom BMBF für die photovoltaische Grundlagenforschung und die Umsetzung in Produktionstechnologien bereitgestellt werden. Es bleibt abzuwarten, welches Gewicht die neue

Regierungskoalition diesem Schwerpunkt beimessen wird. Ist der Ausstieg aus der Atomenergie ernst gemeint, dann ist eine weitere Verstärkung der Photovoltaik erst recht zwingend!

In "Bild der Wissenschaft" vom März 1996 findet man einen Artikel mit der Überschrift "Der Exodus", in dem die Geschichte der Solarzellenproduktion in Deutschland resümiert wird. Der erste Satz dieses Artikels: "Die letzte Serienproduktion von Solarzellen wird in Deutschland eingestellt". Dabei handelte es sich um das Werk Wedel der "Angewandten Solarenergie GmbH" (ASE), zu je 50 % ein Joint Venture der RWE-Tochter NUKEM und der Dimler-Benz Aerospace (DASA). Inzwischen sieht die Lage wieder anders aus. ASE baut ein Werk in Alzenau bei Hameln mit einer geplanten Produktionskapazität von 13 MW/a und einer Erweiterungsoption auf 25 MW/a aus. Die Firma Pilkington Solar International und die Deutsche Shell AG bauen in Gelsenkirchen die weltgrößte Solarzellenfabrik mit 25 MW/a Fertigungskapazität. Und schließlich entsteht nun endlich eine Fertigungsstätte für CdTe-Dünnschicht-Solarzellen der ANTEC Solar GmbH (hervorgegangen aus dem ehemaligen Batelle-Institut in Frankfurt/M. in Rudisleben bei Erfurt). Die geplante Produktionskapazität beträgt hier 10 MW/a. Am Rande sei erwähnt, daß in diesen drei Fertigungsstätten insgesamt 160 Arbeitsplätze neu entstehen, etwa 400 Arbeitsplätze können in vor- und nachgelagerten Produktionsstufen entstehen. Es wird geschätzt, daß in die Entwicklung der ASE-Technologie insgesamt etwa 1,2 Milliarden DM investiert wurden... Die Investitionskosten für die drei Werke betragen 30 Millionen DM (Gelsenkirchen), 60 Millionen DM (Rudisleben) und 20 Millionen DM (Alzenau). 110 Millionen DM Investitionen erzeugen direkt 160 Arbeitsplätze... In jedem Falle erfahren diese Investitionen erhebliche Zuschüsse von seiten des Bundes und der jeweiligen Länder.

Zusammengenommen entstehen in Deutschland also momentan Fertigungskapazitäten von 48 MW/a! Man vergleiche dies mit der weltweiten Fertigung von Modulen für 126 MW im vergangenen Jahr (Tabelle oben). Das ist eine gewaltige Steigerung. Aber von nun an werden bestimmt nicht jedes Jahr ähnliche Kapazitäten installiert. Mag sein, daß Rüttgers recht hat, wenn er vom Weltmarkt spricht – für Deutschland sind die genannten jährlichen Steigerungsraten nicht zutreffend.

Dieses Jahr hat weitere bemerkenswerte Durchbrüche in der Etablierung der Photovoltaik gebracht: In München wurde gemeinsam vom Energieversorger Bayernwerk, der Siemens AG und den Stadtwerken München auf 38.100 m² Dachfläche der Neuen Messe eine Photovoltaik-Anlage in Betrieb genommen, die eine Spitzenleistung von 1,016 MW liefern kann. Das ist die größte Solarstrom-Fabrik der Welt. Diese Leistung wird von 7.812 Solarmodulen auf Basis von einkristallinem Silicium der Firma Siemens Solar (USA!) erbracht. Damit lassen sich ca. 4 % des jährlichen Messe-Strombedarfs decken. Etwa eine Million Tonnen Kohlendioxid pro Jahr werden dadurch nicht erzeugt. Die Installation dieser Anlage hat eine Fülle technischer Neuentwicklungen evoziert, die nun tatsächlich über die reinen Modell-Lösungen für die Netzkopplung hinausgehen.

Für bemerkenswert halte ich weiterhin, daß in diesem Jahr die ersten Solarmodule auf der Basis des Dünnschicht-Materials Kupfer-Indium-Diselenid kommerziell verfügbar wurden. Von Siemens Solar Industries werden zwei Modultypen mit Außenabmessungen von (328×387) mm² und (206×387) mm² angeboten, die 10 bzw. 5 W_p Leistung liefern. Auch darüber lohnt es sich, für eine realistische Beurteilung der Photovoltaik aus der Sicht eines Kristallzüchters (oder allgemeiner: Materialwissenschaftlers) nachzudenken: Zwischen erster Publikation in der

Fachliteratur zum Material und der Markteinführung eines Produktes auf dieser Basis liegen hier 24 Jahre, wobei die Physik der Solarzellen im wesentlichen mit anderen Materialien entwickelt wurde.

Im Juli 1998 fand in Wien die "2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion" statt. Wohlgemerkt: Es ging nur um die photovoltaische Sonnenenergieumwandlung. Mehr als 2200 Teilnehmer diskutierten über neueste Ergebnisse und zeigten ein weites Spektrum von Produkten, die etwas mit der Photovoltaik zu tun haben. Die hohe Teilnehmerzahl erklärt sich unter anderem daraus, daß die großen Photovoltaik-konferenzen immer auch eine über die reine Fachwissenschaft hinausgehende politische und soziale Dimension haben, indem ganze Sektionen sich mit der Finanzierung und Implementierung photovoltaischer Systeme in den Entwicklungsländern beschäftigen. Deutschland war am stärksten vertreten mit mehr als 480 Teilnehmern. [- Die DGKK hat ca. 430 Mitglieder]. Nun ja - Wien ist eine schöne, interessante Stadt, man ist in derselben Sprache ergriffen von Kaiserin Sissis Schicksal, und der Weg nach Wien ist nicht weit. Aber natürlich spiegeln diese großen Teilnehmerzahlen doch die weltweiten Aktivitäten, ebenso wie Deutschlands Engagement wider. Die Forcierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Photovoltaik ist notwendig. Deutschlands Anstrengungen und Beiträge im Jahre 1998 waren hervorragend. Aber allen ist klar, daß die Barriere der zu hohen Kosten noch sehr hoch ist. Es bedarf vor allem politischen Willens, die Photovoltaik wirklich zu etablieren. Deutschland ist konfrontiert mit einem "10 000-PV-Anlagen-Programm" Italiens, in dem 70 -80 % Förderung vom Staat beigesteuert werden, mit der "1-Million-Dächer-Initiative" Präsident Clintons, mit den weiteren amerikanischen Programmen "Rebuild America", "Building America" und dem "Weatherization Program" der USA, mit den Programmen Japans zur Installation von 400 MW PV-Kapazität im Jahre 100 und der Steigerung auf eine kumulierte Kapazität von 4600 MW im Jahr 2010. Das Budget der staatlichen Förderung für die Photovoltaik wächst nicht nur in den genannten Ländern massiv. Auch Deutschland wird weiter zulegen müssen. Dieser Aufsatz soll aber nicht in erster Linie ein Appell zu höherer staatlicher Förderung sein. Als Wissenschaftler sind wir zu korrekter Beurteilung und zu ehrlicher, zielgerichteter und erfolgreicher Arbeit verpflichtet.

Eine nicht geringe Zahl von DGKK-Mitgliedern ist in der Photovoltaik aktiv. In den nächsten Heften unserer Mitteilungsblätter könnte mit Einzelbeiträgen auf materialwissenschaftliche und kristallzüchterische Aspekte verschiedener für die Photovoltaik wichtiger Materialien eingegangen werden.

6. Termine

Nächste Treffen der Arbeitskreise

Arbeitskreis

"Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen"

Nächstes Treffen am 23./24. 3. 1999 in Erlangen.

Kontakt über

Prof. Dr. G. Müller
Institute for Materials Science
Dept. 6
University Erlangen-Nuremberg
Martensstr.
7D-91058 Crystal Growth
Laboratory Erlangen Germany
Phone: +49-9131-857636
Fax: +49-9131-858495
E-mail: georgmueller@ww.uni-erlangen.de

Arbeitskreis

"Intermetallische Verbindungen"

Nächstes Treffen am 4./5.10.1999 in Frankfurt/Main

Kontakt über

Prof. Dr. W. Aßmus
Uni Frankfurt am Main
Tel.: 069/798-23144
Fax.: -28520
E-Mail: assmus@physik.uni-frankfurt.de

Arbeitskreis

"Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik"

Nächstes Treffen geplant für Ende September 1999 in Köln.

Kontakt über

Prof. Dr. Manfred Mühlberg
Institut für Kristallographie
der Universität zu Köln
Zulpicher Str. 49b
D-50674 Köln
Tel.: 0221/470-4420; FAX: 0221/470-4963
E-mail: M.Muehlberg@kri.uni-koeln.de

Arbeitskreis

"II-VI - Halbleiter"

Termin für nächstes Treffen bekannt ab Mitte November 1998

Kontakt über

Dr. German Müller-Vogt
Kristall- und Materiallabor der
Fakultät für Physik
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe
Tel.: 0721/608-3470
Fax.: 0721/697-123
Email: German.Mueller-Vogt@phys.uni-karlsruhe.de

Arbeitskreis

"Epitaxie von III-V-Halbleitern"

Nächstes Treffen am 8. und 9. Dezember 98 an der TU Braunschweig.

Ansprechpartner: Prof. Schlachetzki (Braunschweig)

Tagungen**1 - 4 November 1998**

IEEE GaAs IC Symposium
Westin Peachtree Plaza in Atlanta, GA
Contact: Dr. W. Stanchina
Hughes res. Labs., RL61
Plasma Phys. Lab.
3011 Malibu Canyon Rd.
Malibu, CA 90265
Tel: 001+3103175089
Fax: 001+3103175483

14 - 16 December 1998

Conf. on Optoelectronic and Microelectronic
Materials and Devices (COMMAD '98)
Perth, Australia
Contact: L. Faraone
Univ. of Western Australia
EEE Department
Nedlands, WA 6907 Australia
Tel: 0061+893803104
Fax: 0061+893801095
e-mail: faraone@ee.uwa.edu.au
<http://www.ee.uwa.edu.au/~COMMAD98>

23 - 29 January 1999

Photonics West (High-Power Lasers)
San Jose, CA
Contact: SPIE, PO Box 10
Bellingham, WA 98227 USA
Tel: 001+3606763290
Fax: 001+3606471445
e-mail: spie@spie.org
<http://www.spie.org>

14 - 17 March 1999

Dreiländertagung der DGKK - DACG (Dutch Association for
Crystal Growth) - BACG (British Association for Crystal
Growth)
in Zeist b. Utrecht, The Netherlands
Contact: DGKK-Vorstand

19 -20 April 1999

German (IKZ)-Japan-Poland Crystal Growth Meeting
IKZ Berlin, Germany
(begrenzte Teilnehmerzahl)
Si, Si-Ge, GaN, SiC, II-VI, GaAs, laser oxides
Contact: P. Rudolph, IKZ Berlin
Rudower Chaussee 6, 12489 Berlin
Tel: 030+63923034
Fax: 030+63923003
e-mail: pr@ikz-berlin.de

5 - 9 April 1999

MRS Spring Meeting
San Francisco, CA
Contact: MRS, 506 Keystone Drive, Warrendale
PA 15086-7573, USA
Tel: +7247793003
Fax: +7247798313
e-mail: info@mrs.org
<http://www.mrs.org/>

3 - 7 May 1999

6th European Workshop on Modern Developments
and Applications in Microbeam Analysis (EMAS '99)
Konstanz, Germany
Contact: EMAS Secretariat
Univ. of Antwerp (UIA)
Dpt. Of Chemistry
Universiteitsplein 1
B-2610 Antwerp-Wilrijk, Belgium
Tel: +32 38202343
Fax: +32 38202376
e-mail: vantdack@uia.ua.ac.be

16 - 20 May 1999

IPRM'99, 11th Int. Conf. on InP and Related Materials
Davos, Switzerland
Contact: H. Melchior, Swiss federal Inst. of Technology
CH-8093
Zurich, Switzerland
Fax: 0041+16331109
e-mail: h.melchior@iqe.phys.ethz.ch

27 - 30 May 1999

PR'99, Photorefractive Materials, Effects and Devices
Elsinore, Denmark
Contact: PR 99 Secretary
Optics and Fluid Dynamics dept.
Riso national Laboratory,
PO Box 49, DK-4000
Roskilde, Denmark
Fax: 0045+46774565
e-mail: prm99@risoe.dk

31 May - 04 June 1999

E-MRS Spring Meeting
Strasbourg, France
u.a. advanced Si substrates, defects in semiconductors,
magnetic oxides, nanocrystalline semiconductors,
chalcogenide semiconductors, strain in materials etc.
Contact: e-MRS, BP 20
67037 Strasbourg Cedex 2, France
Tel: 0033+388106543
Fax: 0033+388106293
e-mail: emrs@phase.c-strasbourg.fr

21 - 25 June 1999

Seventh Int. Symp. on Nanostructures: Physics
and Technology
St. Petersburg, Russia
Contact: B. Egorov, Ioffe Inst.
Polytechnicheskaya st. 26, 194021 St. Petersburg, Russia
Fax: +7 812247117
e-mail: boris.egorov@pop.ioffe.rssi.ru
<http://www.ioffe.rssi.ru/NANO-99/>

1 - 6 August 1999

Eleventh American Conference on Crystal Growth & Epitaxy
Tucson, Arizona
all aspects of crystal growth, characterization and application
Contact: T. Gentile, ACCGE-11 Secretariat
P.O. Box 3233
Thousand Oaks, CA 91359-0233 USA
Tel: 001+8054927047
Fax: 001+8054924062
e-mail: aacg@lafn.org

29 August - 03 September 1999

FLC 99. Seventh Int. Conf. on Ferroelectric Liquid Crystals
 Darmstadt, Germany
 Contact: W. Haase, Inst. of Physical Chemistry
 Darmstadt University of Technology
 Petersenstr. 20
 D-64287 Darmstadt
 Fax: 0049+6151164924
 e-mail: flc99@tu-darmstadt.de

25 - 29 October 1999

Third Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces
 Karuizawa, Japan
 Contact: T. Katoda, Dpt. Electronic and Photonic System
 Eng.
 Kochi Univ. Tech.
 Tosayamada, Kochi 782-0003, Japan
 Tel: 0081+887531010
 Fax: 0081+887572120
 e-mail: katouda@ete.kochi-tech.ac.jp

7. Personalien

Neumitglieder

Czupalla, Matthias, Ingenieur

Institut für Kristallzüchtung

Rudower Chaussee 6

D-12489 Berlin

Tel: 030 63923032 Mitgliedsnummer: 779 M

Fax: 030 63923003 Eintrittsdatum.: 01.04.98

E-Mail: czupalla@ikz-berlin.de

Züchtung von Verbindungshalbleitern (GaP, GaAs) nach

Czochralski

S1: 111 S2: 112 S3: 121 S4: 232 S5:
311

S6: 321 S7: 322 S8: 411 S9: 522 S10

Dr. Klimm, Detlef, Dipl-Kristallograf

Institut für Kristallzüchtung

Rudower Chaussee 6

D-12489 Berlin

Tel: 030 6392 3024 Mitgliedsnummer: 780 M

Fax: 030 6392 3003 Eintrittsdatum.: 01.09.98

E-Mail: klimm@ikz-berlin.de

Schmelzzüchtung, Oxide, Halogenide

S1: 111 S2: 234 S3: 237 S4: 311 S5:
510

S6: 520 S7: 530 S8: 540 S9: 670 S10

710

Dr. Schäfer, Norbert, Ingenieur

Siemens AG, Halbleiter,

Otto-Hahn-Ring 6

D-81739 München

Tel: 089 63646193 Mitgliedsnummer: 781 M

Fax: 089 63646721 Eintrittsdatum.: 01.09.98

E-Mail: norbert.schaefer@siemens-scg.com

Kristallzüchtung, Stöchiometrie, Defekte

S1: 111 S2: 112 S3: 115 S4: 213

S5: 221 S6: 311 S7: 313 S8: 413

S9: 511 S10 523

Die Schmunzelecke

So einfach

The wireless telegraph is not difficult to understand. The ordinary telegraph is like a very long cat. You pull the tail in New York, and it meows in Los Angeles.

The wireless is the same, only without the cat.

- Albert Einstein

Die Weisheit des Monats

Klage nicht, daß ein
 Rosenstrauch Dornen hat,
 sondern freue Dich, daß
 ein Dornenstrauch Rosen trägt!

(Autor unbekannt)

8. Register bereits erschienener Artikel

Beschreibung von Kristallzuchtungsstandorten

Titel	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
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
Karlsruhe, Kristall- und Materiallabor der Fakultät für Physik an der Universität	46
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

Titel	MB-Nr.
Flüssigphasenelektroepitaxie	55
Kristallzuchtung für die Photovoltaik	59
Kristallzuchtung mit der Skull-Schmelz-Technik	67
Kristallzuchtung unter reduzierten Schwerkraftbedingungen	49
Liquid Encapsulated Cz.-Grown Semi-Insulating GaAs, Quality Status	54
Lithium-Niobat, Herstellung großer Einkristalle	42
Optical Heating for Zone Methods	65
Vertical Bridgman and Gradient Freeze Growth of III-V-Compound Semiconductors	53

Charakterisierung, mikroskopische Untersuchungen, Grundlagen

Titel	MB-Nr.
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-Braunschw.	65

Technisches

Titel	MB-Nr.
Edelmetalle als Tiegelmateriale	49
Thyristorsteller zum Betreiben von Kristallzuchtungsöfen, Probleme bei induktiver Last	52

Historisches

Titel	MB-Nr.
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

Forschungsorganisation, Politik

Titel	MB-Nr.
DFG-Schwerpunktprogramm "Kristallkeimbildung und -wachstum ..." (1988-93)	62
Fächerübergreifende Arbeitsgemeinschaft Halbleiterforschung Leipzig	64

Redaktion

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 W. Abmus
 Uni Frankfurt am Main
 Tel.: 069/798 -23144
 Fax.: -28520
 E-Mail: assmus@physik.uni-frankfurt.de

**Mitteilungen der DGKK
 Stellenangebote/
 Stellengesuche** A. Lüdge
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392 -3011
 Fax.: -3003
 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de

**Mitteilungen ausländischer
 Schwestergesellschaften** F. Ritter
 Anschrift siehe oben

Tagungskalender P. Rudolph
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392 -3034
 Fax.: -3003
 E-Mail: pr@ikz-berlin.de

Internet-Ansprechpartner U. Rehse
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392 -3070
 Fax.: -3003
 E-Mail: ur@ikz-berlin.de
 WWW: http://www.ikz-berlin.de

**Bücherecke
 Schmunzelecke** R. Diehl
 IAF Freiburg
 Tel.: 0761/5159 -416
 Fax.: -400

Anzeigenwerbung G. Müller-Vogt
 Uni Karlsruhe
 Tel.: 0721/608 -3470
 Fax.: /697 -123
 Email: kml@phys.uni-karlsruhe.de

Hinweise für Beiträge**Redaktionsschluß MB 69:
 8. April 1999**

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

Besten Dank
 Die Redaktion

SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG

bollmann druck GmbH
 Rudolf-Diesel-Straße 3
 90513 Zirndorf bei Nürnberg

Vorstand der DGKK

Vorsitzender
 Dr. G. Müller
 Institut für Werkstoffwissenschaften VI
 Universität Erlangen
 Martensstraße 7
 91058 Erlangen
 Tel.: 09131/85 -7636
 Fax.: -8495
 E-Mail: georgmueller@ww.uni-erlangen.de

Stellvertretender Vorsitzender
 Dr. L. Ackermann
 Forschungsinstitut für mineralische und metallische
 Werkstoffe
 Struthstraße 2
 55743 Idar-Oberstein
 Tel.: 06781 -21191
 Fax.: -70353
 E-Mail: FEE-IO@t-online.de

Schriftführerin
 Dr. A. Lüdge
 Institut für Kristallzüchtung
 12489 Berlin
 Tel.: 030/6392 -3011
 Fax.: -3003
 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de

Schatzmeister
 Dr. German Müller-Vogt
 Kristall- und Materiallabor der
 Fakultät für Physik
 Kaiserstr. 12
 76131 Karlsruhe
 Tel.: 0721/608 -3470
 Fax.: 0721/697 -123
 Email: German.Mueller-Vogt@phys.uni-karlsruhe.de

Beisitzer
 Dr. H. Walcher
 Fraunhofer-Institut für
 Angewandte Festkörperphysik
 Tullastr. 72
 79108 Freiburg
 Tel.: 0761/5159-347 oder 597
 Fax.: 0761/5159-219
 E-Mail: Walcher @ iaf. fhg. de

Dr. W. v. Ammon
 Wacker Siltronic AG
 Wacker Straße
 84489 Burghausen
 Tel.: 08677/83 -2008

Dr. B. Weinert
 Freiburger Compound Materials GmbH
 Am Junger Loewe Schacht 5
 09599 Freiberg / Sachsen
 Tel.: 03731/280 -200
 Fax.: -106

BANKVERBINDUNGEN

Sparkasse Karlsruhe
 Kto.-Nr. 104 306 19,
 BLZ 660 501 01

Postbank Karlsruhe
 Kto.-Nr. 2424 17-752,
 BLZ 660 100 75

DGKK - STICHWORTLISTE

KRISTALLHERSTELLUNG		KRISTALLCHARAKTERISIERUNG		730 Materialeigenschaften	
ZÜCHTUNGSMETHODEN		KRISTALLEIGENSCHAFTEN		731 thermodyn. Berechnungen	
110	Schmelzzüchtung	510	grundlegende Eigenschaften	732 elektrochem. Berechnungen	
	111 Czochralski		511 Stöchiometrie	733 Bandgap-Engineering (physik.)	
	112 LEC		512 Phasenreinheit	734 Crystal-Engineering (biolog.)	
	113 Skull / kalter Tiegel		513 Struktur, Symmetrie	735 Defect-Engineering	
	114 Kyropoulos		514 Morphologie	750 Prozessparameter	
	115 Bridgman		515 Orientierungsverteilung	751 Temperaturverteilung	
	116 Schmelzzonen		516 Phasenumwandlungen	752 Konvektion	
	117 gerichtetes Erstarren	520	Strukturdefekte / Struktureigenheiten	ENTWICKLUNG / VERTRIEB / SERVICE	
	118 Verneuil		521 Punktdefekte, Dotierung	810 Anlagen / Komponenten	
	119 andere Methoden		522 Versetzungen	811 Züchtungsapparaturen	
120	Gasphasenzüchtung		523 planare Defekte, Verzwilligung	812 Prozess-Steuerungen	
	121 CVD, CVT		524 Korngrenzen	813 Sägen, Poliereinrichtungen	
	122 PVD, VPE		525 Einschlüsse, Ausscheidungen	814 Ofen, Heizungen	
	123 MOCVD		526 Fehlernungen	815 Hochdruckpressen	
	124 MBE, MOMBE		527 Überstrukturen	816 mechanische Komponenten	
	125 Sputterverfahren	530	Mechanische Eigenschaften	817 elektrische Komponenten	
	129 andere Methoden		531 Elastische Eigenschaften	818 Meßeinrichtungen	
130	Lösungszüchtung		532 Härte	830 Zubehör	
	131 wässrige Lösung		533 Bruchmechanik	831 Zubehör für Kristallzüchtung	
	132 Gelzüchtung	540	Thermische Eigenschaften	832 Zubehör für Kristallbearbeitung	
	133 hydrothermal		541 Wärmeausdehnung	833 Zubehör für Materialanalyse	
	134 Flux		542 kritische Punkte	834 Ausgangsmaterialien	
	135 LPE	550	Elektrische Eigenschaften	835 Kristalle	
	136 THM		551 Leitfähigkeit	836 Lehrmaterial, Kristallmodelle	
	139 andere Methoden		552 Ladungsträger-Eigenschaften	837 Rechenprogramme	
140	weitere Verfahren		553 Ionenleitung	850 Service	
	141 μ -g - Züchtung		554 Supraleitung	851 Anlagenplanung	
	142 Hochdrucksynthese	560	Optische Eigenschaften	852 Anwendungsberatung	
	143 Explosionsverfahren		570 Magnetische Eigenschaften	853 Materialanalyse (als Service)	
	144 Elektrokristallisation	580	Weitere Eigenschaften	Die Schriftführerin bittet darum, bei	
	145 Rekrystallisation / Sintern		581 Diffusion	Antrag auf Mitgliedschaft nur diese	
	149 andere Verfahren		582 Korrosion	Code-Nr. zu verwenden.	
150	Reinstoffherstellung		583 Oberflächen-Rekonstruktion		
MATERIALZUSAMMENSETZUNG		MESSMETHODEN			
210	Elemente	610	chemische Analytik		
	211 Graphit		611 chemischer Aufschluß		
	212 Diamant, diamantartiger K.		612 Atzmethoden		
	213 Silizium		613 AAS, MS		
	214 Germanium		614 thermische Analyse		
	215 Metalle	620	Mikroskopie		
	219 andere Elemente		621 lichtoptische Mikroskopie		
220	Verbindungen		622 Elektronenmikroskopie		
	221 binäre Verbindungen		623 Rastertunnel-Mikroskopie		
	222 ternäre Verbindungen		624 Lumineszenz-Topographie		
	223 multinäre Verbindungen	630	Beugungsmethoden		
	231 IV-IV		631 Röntgendiffraktometrie		
	232 III-V		632 Röntgentopographie		
	233 I-VI		633 Gammadiffraktometrie		
	234 Oxide, Ferroelektrika		634 Elektronenbeugung		
	235 metallische Legierungen		635 Neutronenbeugung		
	236 Supraleiter	640	Spektroskopie, Spektrometrie		
	237 Halogenide		641 UV-, VIS-, IR-, Fourier-		
	238 organische Materialien		642 Raman-, Brillouin-		
	239 andere Verbindungen		643 Kurzzeit-Spektroskopie		
WACHSTUMSFORMEN			644 NMR, ESR, ODMR		
	311 Massivkristalle		645 RBS, Channeling		
	312 dünne Schichten, Membranen		646 SIMS, SNMS		
	313 Fasern	650	Oberflächenanalyse		
	314 Massenkristallinit		651 LEED, AUGER		
	321 Einkristalle		652 UPS, XPS		
	322 Polykristalle	660	Elektrische Charakterisierung		
	323 amorphe Materialien, Gläser		670 Andere Meßmethoden		
	324 Multischicht - Strukturen	MATHEMATISCHE BEHANDLUNG			
	325 Keramik, Verbundwerkstoffe	710	Kristallwachstum		
	326 Biokristallinit		711 Keimbildung		
	327 Flüssigkristalle		712 Wachstumsvorgänge		
	328 Polymere		713 Transportvorgänge		
	329 andere Materialtypen		714 Rekrystallisation		
KRISTALLBEARBEITUNG			715 Symmetrieaspekte		
	411 Tempern		716 Kristallmorphologie		
	412 Sägen, Bohren, Erodieren		717 Phasendiagramme		
	413 Schleifen, Läppen, Polieren				
	414 Laserstrahl - Bearbeitung				
	421 Lithographie				
	422 Ionenimplantation				
	423 Mikrostrukturerung				

Dr. A. Lüdge
DGKK-Schriftführerin
Institut für Kristallzüchtung
Rudower Chaussee 6
D-12489 Berlin

Telefax: 030 / 6392-3003

Betr.: Verwendung der persönlichen Daten im Internet

- Ich bin damit einverstanden, daß meine persönlichen Daten vollständig (sh. Mitgliedsverzeichnis) im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht werden.
- Ich möchte, daß nur mein Namen im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht wird.
- Ich wünsche nicht, daß meine Daten im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht werden. (zutreffendes bitte ankreuzen)

Datum

Unterschrift

Name bitte in Druckschrift wiederholen

Seit Erstellung des Mitgliederverzeichnisses 1995 haben sich folgende Änderungen ergeben:

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

werden Sie Mitglied der DGKK!

- Sie sind willkommen in einem Kreis von rund 500 Fachkollegen, die einer Gesellschaft angehören, deren Zweck es ist,
- Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet von Kristallwachstum und Kristallzüchtung zu fördern,
 - über entsprechende Arbeiten und Ergebnisse durch Tagungen und Mitteilungen zu informieren,
 - wissenschaftliche Kontakte unter den Mitgliedern und die Beziehung zu anderen wissenschaftlichen Gesellschaften zu fördern, sowie
 - die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene im Sinn der Gemeinnützigkeit zu fördern.

Damit kann die Gesellschaft zu einer wesentlichen Unterstützung Ihrer beruflichen Aktivitäten beitragen. Zögern Sie daher nicht und senden Sie noch heute das ausgefüllte Anmeldeformular ab (Jahresbeitrag DM 30,-, für Studenten DM 15,-)

Dr. A. Lüdge
DGKK-Schriftführerin
Institut für Kristallzüchtung
Rudower Chaussee 6
D-12489 Berlin

Telefax: 030 / 6392-3003

Antrag auf Mitgliedschaft / Änderung

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

- Art der Mitgliedschaft:
- ordentliches Mitglied
 - studentisches Mitglied
 - korporatives Mitglied

Gewünschter Beginn der Mitgliedschaft: _____

Dienstanschrift

(Name)

(Vorname)

(Titel)

(Beruf)

(Firma, Institut, etc.)

(Straße, Haus-Nr.)

(PLZ, Ort)

(Telefon)

(FAX)

E-mail

Privatanschrift: (bitte nur in Ausnahmefällen für den Schriftwechsel wählen)

(Straße, Haus-Nr.)

(PLZ, Ort)

(Telefon)

(FAX)

E-mail

Wissenschaftliche Interessen- und Erfahrungsgebiete (Stichworte): _____

Tätigkeit und Erfahrung mit maximal 10 Stichwortnummern charakterisieren (s. Liste).

1.:

2.:

3.:

4.:

5.:

6.:

7.:

8.:

9.:

10.:

Verwendung der persönlichen Daten im Internet?

- Ich bin damit einverstanden, daß meine persönlichen Daten vollständig im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht werden.
- Ich möchte, daß nur mein Namen im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht wird.
- Ich wünsche nicht, daß meine Daten im Rahmen der DGKK Homepage veröffentlicht werden. (zutreffendes bitte ankreuzen)

den

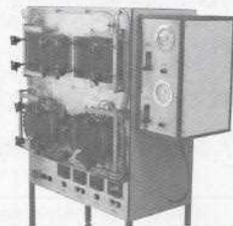
(Unterschrift)

VORSPRUNG DURCH MODERNSTE TECHNIK



Induktiv beheizter Temperofen

für Kristallzucht und Temperung von z.B. SiC-Wafern. Der Nutzraum kann bis 2300 °C geheizt werden. Die VAC/Schutzgaseinrichtung ermöglicht kontrollierte Gemische von Ar, He, H₂ und N₂ im Partialdruckbereich $4 \cdot 10^{-2} \text{ Pa} < p < 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ abs. Extrem kurze Heiz- und Kühlzyklen garantieren optimale Prozeßeigenschaften.



4-Kammer-Laboröfen

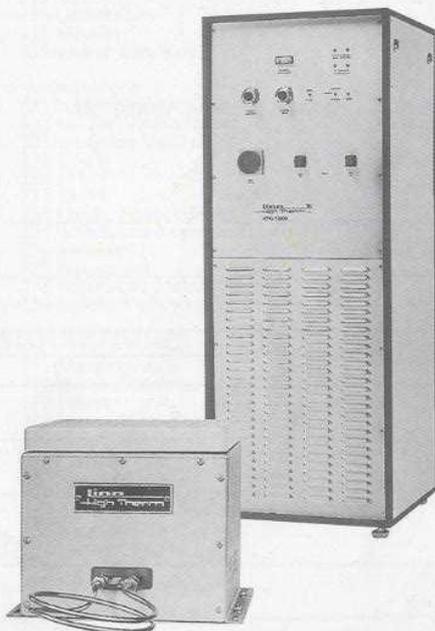
für Wärmebehandlung, z.B. zum thermischen Ätzen, Tempern, Diffundieren. Für Halbleiter und Mikrostrukturtechnik.

Schutzgasbetrieb
2 Rechteckkammern, Inconel
2 zylindrische Kammern, Quarz
für höchstreine Prozesse
Reinraumbetrieb
Tmax 1050 °C



Hochtemperatur-Laboröfen VMK 1400

mit Isolation aus vakuumgeformten Keramikfasermaterial. Beheizung: Kanthal-A-PM-Mäanderheizelement oder Kanthal-Super-U-Heizelemente. Tmax 1800 °C



Mittelfrequenz-Generatoren

In den Leistungsklassen 20 kW (MFG 20) und 30 kW (MFG 30) im Frequenzbereich 6-20 kHz. Über einen optionalen Ausgangstransformator ist eine Anpassung an die jeweilige Last möglich.

ohne Abb.

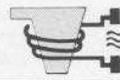
Safir-Formteile: Platten, Rohre bis Durchmesser 40 mm und Länge 1000 mm, sowie Tiegel. Verwendung u.a. als Thermoelement-Schutzrohr oder Bestandteil von Ziehgestängen.

Hochfrequenz-Halbleiter-Generatoren

für induktive Erwärmungsprozesse wie Härten, Löten, Glühen, Schweißen, Schmelzen oder Schwebeschmelzen. Besonders für den Einsatz im Labor und Industrie, zum Einbau in Automaten oder Fertigungsstraßen geeignet. HF-Ausgangsleistung bis 12 kW, Arbeitsfrequenz bis 400 kHz.

Sonderanlagen
nach
Kundenspezifikationen!

linn
High Therm



ISO 9001

Heinrich-Hertz-Platz 1
D-92275 Eschenfelden
Tel. 096 65-91 40-0
Fax 096 65-17 20

Internet: <http://www.linn.de>
e-mail: info@linn.de