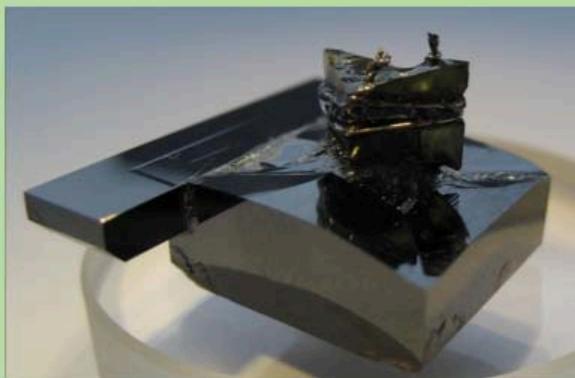


Mitteilungsblatt
Nr. 91 / 2010



Inhalt

Der Vorsitzende / Editorial	3
DGKK-intern	4
DGKK-Personen	10
DGKK-Nachrichten	14
DGKK-Fokus	25
DGKK-Forschung	27
DGKK-Nachwuchs	32
Über die DGKK	36
Tagungskalender	37

Heraeus

More than exciting dreams – Precious Metals



*Seamless tubes for extra
stable seed-crystal holders*

Precious Metals are not just a beautiful dream but irreplaceable tools in laboratories and factories. We supply a multitude of products to meet our customers' requirements – seamless tubes in all dimensions, coiled tubes, thermocouple thimbles and tailor-made parts.



**Heraeus: 150 years of
precious metals expertise.**

W. C. Heraeus GmbH & Co. KG

Engineered Materials Division
Business Unit Precious Metals Technology

Heraeusstr. 12 – 14

63450 Hanau, Germany

Phone + 49 (0) 61 81 / 35 - 37 40

Fax + 49 (0) 61 81 / 35 - 86 20

E-mail: precious-metals-technology@heraeus.com

www.wc-heraeus.com/precious-metals-technology

W. C. Heraeus

Der Vorsitzende

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

die DGKK kann auf eine erfolgreiche Teilnahme an den diesjährigen zentralen Kristallzüchtungsveranstaltungen, der ICCG-16 vom 08. bis 13. August in Peking (1100 Teilnehmer) und der davor stattgefundenen IOCG-Schule ISSCG-14 vom 01. bis 06. August in Dalian (120), zurückblicken. Mit 54 Teilnehmern, darunter erfreulicherweise zahlreiche Nachwuchswissenschaftler, stellte Deutschland nach dem Gastgeberland (521) und Japan (213) die drittstärkste Delegation vor Russland (51), USA (43), Indien (27) und Frankreich (23). Mit 55 gehaltenen Vortrags- und Posterbeiträgen, darunter einem Plenarvortrag (Prof. E. Weber, ISE Freiburg) und mehreren Einladungspräsentationen, waren wir auch hier im Vorderfeld platziert. Unser Mitglied Prof. R. Fornari (Direktor des IKZ Berlin) wurde zum Präsidenten der IOCG gewählt. Dazu im Namen der DGKK meinen herzlichen Glückwunsch und viel Erfolg! Unsere Gesellschaft wird eine hilfreiche Unterstützung leisten. Auch auf der ISSCG-14 wurden zwei Grundlagenvorlesungen zum Kristallwachstum von DGKK-Mitgliedern (Prof. G. Müller und Prof. P. Rudolph) gehalten. Leider waren nur drei „Schüler“ aus Deutschland vertreten, deren positive Einschätzungen zu hoffentlich mehr Teilnehmern im Jahre 2013 in Gdansk (Polen) Mut machen. Eine hervorragende Neuigkeit der Schule, ein „Tag der Kristallisationsversuche“, mit viel Mühe und Aufwand von einem japanischen Lehrerteam unter Leitung von Prof. K. Tsukamoto (Tohoku Univ. Sendai) vorbereitet und geleitet, sollte ab jetzt zu allen IOCG-Schulen gehören, so empfiehlt es das IOCG-Exekutivkomitee. Wir werden dazu unsere Bereitschaft für die ISSCG-15 anbieten.

Dieser Weltkongress hat wiederum die Schwerpunkte unserer weiteren Entwicklung nachhaltig dargelegt. Dazu gehören ganz wesentliche Verbesserungen der Qualität multi- und einkristallinen Siliziums für die Photovoltaik, Gewinnung perfekter Volumenkristalle und epitaktischer Schichten aus III-Nitriden, Beherrschung neuer dielektrischer Kristallmaterialien für die Lasertechnik und nichtlineare Optik, Herstellung großer organischer Kristalle und das kontrollierte Wachstum von Nanokristallen und -strukturen. Gerade auf dem Gebiet der Siliziumkristallisation kann Deutschland ein gewichtiges Wort mitreden. Nicht nur auf

der ICCG-16 stellten wir weltweit sehr beachtete Grundlagenforschungen und angewandte Ergebnisse vor, sondern auch auf einigen kürzlich durchgeführten nationalen Veranstaltungen, wie der 2. DGKK-Schule zur Si-Herstellung für die Photovoltaik vom 14. bis 16. Juni in Apolda, dem Statusseminar zu Magnetfeldern in der Kristallzüchtung vom 09. bis 10. September am Potsdamer Griebnitzsee und dem Arbeitskreis Massive Verbindungshalbleiter vom 06. bis 07. Oktober in Freiberg. Demnach sind wir auf einem guten Weg und bestimmen das internationale Niveau entscheidend mit. Das müssen wir „am Kochen halten“. Denn Deutschland kann seinen einstmals führenden Platz in der Photovoltaik nur wieder zurückerobern, wenn die Materialherstellung effektiver wird und Innovationen weiter vorangetrieben werden. In diesem Sinne führen wir auch unsere nächste Jahrestagung im März 2011 gemeinsam mit den polnischen Kristallzüchtern in Frankfurt/Oder durch. Wir beginnen mit einem Symposium zu photovoltaischen Materialien vom 14. bis 16. März, zu dem hochkarätige Vortragende aus In- und Ausland sowie Politik und Wirtschaft ihre Teilnahme bereits zugesagt haben. Nutzt unbedingt diese Gelegenheit durch Eure Teilnahme!

Unser aktiver Beitrag zur Kristallzüchtung und Materialforschung auf den o.g. Feldern ist nur durch eine gezielte Förderpolitik möglich. Zu oft mussten wir in der Vergangenheit feststellen, dass unsere Anträge zu Kristallzüchtungsprojekten nicht hinreichend fachkompetent begutachtet werden, ja sogar oft hinten anstehen. Nun ist uns ein erster hoffnungsvoller Teilerfolg gelungen. Nach reger Korrespondenz mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft ist es gelungen, dass nun auch das Fach „Materialwissenschaft“ u.a. mit den Förderpunkten 406-01 (Thermodynamik und Kinetik) und 406-02 (Herstellung und Eigenschaften von Funktionsmaterialien) seinen Platz in der DFG-Fächerstruktur gefunden hat. Nun müssen wir noch unsere Kandidatenvorschläge für DFG-Gutachter „landen“. Dann blickt die DGKK auf ein insgesamt erfolgreiches Jahr 2010 zurück.

Euer
Peter Rudolph

Inhalt

Der Vorsitzende	3	Die ICCG-16 in Zahlen	21
Editorial	4	Über gute Weiterbildungsveranstaltungen im Allgemeinen und den „IKZ Summer Course on Crystal Growth 2010“ im Speziellen	22
Zum Titelbild	4	Perfektes Silicium für die Photovoltaik – SolarWorld Junior Einstein-Award geht ans Fraunhofer IISB	23
DGKK-intern	4	Offenes Statusseminar des Projekts AVANTSolar – Magnetfelder in der Kristallzüchtung	24
Bericht über die DGKK-Vorstandssitzung am 20.09.2010 in Berlin	4	DGKK-Fokus	25
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2011	5	EACG-Meeting in Berlin	25
Arbeitskreis „Massive Verbindungshalbleiter – Herstellung und Charakterisierung“	6	Die IOCG-Wahl 2010	26
7. Workshop des DGKK-Arbeitskreis „Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung“	7	DGKK-Forschung	27
12. Kinetikseminar der DGKK	9	Entwicklung der Halbleitereinkristallzüchtung in der Industrieregion Teltow-Stahnsdorf	27
Neue Mitglieder 2010	9	Bericht über das Symposium „Triple Lines in Metals and Ceramics“	31
Nachruf: Prof. Dr. Jörg Bilgram	9	DGKK-Nachwuchs	32
DGKK-Personen	10	Abgeschlossene Promotionen an der LMU München	32
Zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Klaus Jacobs	10	Abgeschlossene Promotionen am IKZ Berlin	33
Zwei Berufsleben für die Kristallzüchtung und Materialwissenschaft	11	Abgeschlossene Promotionen am IISB Erlangen	34
Prof. Dr. Peter Rudolph zum 65. Geburtstag	12	Masterarbeit Tomash Fizia oder Nachwuchs aus Europa	34
DGKK-Nachrichten	14	Über die DGKK	36
14. Internationale Sommerschule der Kristallzüchtung (ISSCG-14)	14	Arbeitskreise	37
16. International Conference on Crystal Growth in Peking	15	Tagungskalender	37
IOCG-Preise 2010	20		

4 Editorial

In der letzten Ausgabe des DGKK-MB (90/2010) hatten wir dank Herrn Busse einen Übersichtsartikel über Graphen. Die Aktualität dieses Themas wurde durch die Verleihung des diesjährigen Nobelpreises für Physik an Andre Geim und Konstantin Novoselov unterstrichen ("for groundbreaking experiments regarding the two-dimensional material graphene"). Es zeigt auch die Notwendigkeit, sich innerhalb der DGKK mit solchen Themen zu befassen. So ist der Schwerpunkt des Kinetikseminars 2011 auf nanoskalige Systeme gelegt. Nicht nur thematisch gilt es über den „Tellerrand“ zu schauen, sondern auch geographisch. Die europäischen Kristallzüchter wollen enger zusammenarbeiten,

um Ihre Position gerade in der europäischen Forschungsstruktur zu stärken. Mehr zum Treffen der Vertreter der Kristallzüchtung aus 22 europäischen Ländern im Oktober in Berlin und den resultierenden Empfehlungen finden Sie auf Seite 25. Und für die Winterabende gibt es einen historischen Bericht aus persönlicher Sicht über die Halbleiterforschung der DDR in Stahnsdorf von Winfried Schröder und Marina Seifert (Seite 27). Viel Spaß bei der Lektüre, ein geruhsames Weihnachtsfest und eine guten Rutsch ins nächste Jahr wünscht Ihnen und Ihren Familien

die Redaktion.

Zum Titelbild

Die Bismutmetalloxide ($\text{Bi}_2\text{Me}_4\text{O}_9$ (Me = Ga, Al, Fe) kristallisieren in der Raumgruppe $P6_3/m$ ($a_1 = 7,929 \text{ \AA}$, $a_2 = 8,295 \text{ \AA}$ und $a_3 = 5,893 \text{ \AA}$ für $\text{Bi}_2\text{Ga}_4\text{O}_9$). Sie haben eine Mullit-ähnliche Struktur, d.h. kantenverknüpfte $[\text{MeO}_6]$ -Oktaederketten, welche wechselseitig durch $[\text{Me}_2\text{O}_7]$ -Gruppen aus eckenverknüpfte $[\text{MeO}_4]$ -Tetraeder bzw. durch $[\text{BiO}_6]$ -Gruppen miteinander verknüpft sind. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung, insbesondere auch durch die Dotierung mit Strontium bzw. Calcium wird in diesen Phasen eine relativ hohe Sauerstoffionenleitfähigkeit erwartet. Diese Materialien würden gute Voraussetzungen für den Einsatz in Festkörperbrennstoffzellen bieten.

Aufgrund des inkongruenten Schmelzens kommt die Top Seeded Solution Growth (TSSG) Methode zum Einsatz. Einkristalle in $\langle \text{cm}^3 \rangle$ -Dimension wurden mit der Orientierung $\parallel [001]$ aus Schmelzeinsätzen (Platintiegel) von ca. 100 ml gezüchtet. Je nach Zusammensetzung lagen die Starttemperaturen zwischen 1050 und 850 °C, die Abkühlungsraten im Bereich von 4-6 K/d.

Einschlussfreie transparente Kristalle, die neben den (001)-Flächen dominierend nur weitere Flächen vom Typ $\{110\}$ aufweisen, können insbesondere vom $\text{Bi}_2\text{Ga}_4\text{O}_9$ erhalten werden.

Aufgrund der sehr geringen Löslichkeit von $\text{Bi}_2\text{Al}_4\text{O}_9$ in Bi_2O_3 sind nur kleine $\text{Bi}_2\text{Al}_4\text{O}_9$ -Einkristalle erhalten worden.

Diese Arbeit wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Projektnummer MU1006/8-1.

Fotos auf der Titelseite (von links oben im Uhrzeigersinn): $\text{Bi}_2\text{Ga}_4\text{O}_9 \parallel [001]$, $\text{Bi}_2\text{Ga}_4\text{O}_9 \perp (110)$, $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9 \parallel [001]$

Kontakt:

Jan Ottinger, Dr. Manfred Burianek, Prof. Dr. Manfred Mühlberg,
Prof. Dr. Hartmut Schneider
Universität zu Köln
Institut für Kristallographie
Greinstraße 6
50939 Köln

DGKK-intern

Bericht über die DGKK-Vorstandssitzung am 20.09.2010 in Berlin

Peter Rudolph, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Der DGKK-Vorstand behandelte auf seiner Sitzung am 20. September 2010 die folgenden Schwerpunkte:

1. Bericht über die ICCG-16, ISSCG-14 und IOCG-Wahl 2010 in Peking (VR China)
2. Vorbereitungsstand der gemeinsamen Deutsch-Polnischen Jahrestagung vom 14.-18. März 2011 in Frankfurt/Oder
3. Stand und Terminierung der neuen DGKK-Homepage, Gestaltung des Mitteilungsblattes
4. Jugendinitiative „Junge Kristallzüchter“, Einrichtung einer Plattform auf der DGKK-Homepage
5. Stand und Bekanntmachung des „European Master Course on Crystal Growth“
6. Einbeziehung des Feldes Nanokristalle und -strukturen, Gründung eines Arbeitskreises
7. Vorschläge für ein Strategiepapier zur Kristallzüchtung an Fördereinrichtungen
8. Bericht über Neuordnung der DFG-Fächerstruktur, DGKK-Gutachterkandidaten
9. DGKK-Mitgliedschaft von Unternehmen, Regelung von Homepage-Annoncierungen
10. Vorbereitung der DGKK-Wahl am 16. 03. 2011 in Frankfurt/Oder, Kandidatenvorschläge
11. Stand der Vorbereitung des EU-Meetings zur europäischen Kooperation auf dem Gebiet der Kristallzüchtung am 20.-21.10. 2010 in Berlin

Einladung zur Jahreshauptversammlung 2011

5

An alle Mitglieder

Schriftführerin
Dr. Christiane Frank-Rotsch
Institut für Kristallzüchtung
Max-Born-Str.2
D-12489 Berlin
Telefon (030) 6392 3031
Telefax (030) 6392 3003
EMAIL frank@ikz-berlin.de
11.12.2010

Jahreshauptversammlung 2011 in Frankfurt/Oder

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur Jahreshauptversammlung 2011 ein, die anlässlich der Deutschen Kristallzüchtungstagung 2011 in Frankfurt/Oder stattfindet.

Ort: Kleist Forum
Platz der Einheit 1
D – 15230 Frankfurt/Oder

Zeit: Mittwoch, 16.03.2011, 19:00

Weitere Informationen : <http://www.dgkk.de/GPCCG-2011/>

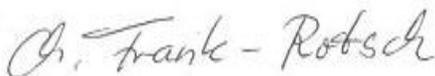
Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlussfähigkeit
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Bericht des Schriftführers
4. Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer
5. Entlastung des Vorstandes
6. Wahl des Vorstandes für die Zeit vom 1.1.2012 - 31.12.2013
7. Diskussionen über Tagungen und Symposien:
 - DGKK Jahrestagung 2012
 - DGKK Jahrestagung 2013
 - Abschließende Diskussion und Beschluss über die Jahrestagung 2012
8. Diskussion über DGKK – Arbeitskreise
9. Verschiedenes

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

Wir möchten Sie bitten, Ihre Teilnahme an der Jahreshauptversammlung 2011 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen



Christiane Frank-Rotsch
Schriftführerin DGKK

6 Arbeitskreis „Massive Verbindungshalbleiter – Herstellung und Charakterisierung“

Peter Wellmann, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Am 6./7. Oktober 2010 fand das Herbsttreffen des Arbeitskreises „Herstellung und Charakterisierung von massiven Halbleiterkristallen“ an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg statt. Wie bereits im vergangenen Jahr wurde das workshopartige Treffen durch zwei eingeladene Vorträge bereichert. In einem Vortrag von Dr. Matthias Müller (Wacker Schott Solar GmbH) wurden Stand und Perspektiven der Kristallisation von multikristallinem Silizium für Photovoltaikanwendungen beleuchtet. An dieser Stelle kann angemerkt werden, dass sich die Öffnung der Arbeitskreisthemen im Herbst 2009 von den Verbindungshalbleitern in Richtung Silizium als sehr gute Entscheidung erwiesen hat. Die Themenerweiterung deckt nicht nur neue Arbeitsgebiete der „alteingesessenen“ Arbeitskreismitglieder ab, es konnten auch eine Reihe neuer Teilnehmer angesprochen werden. Im zweiten eingeladenen Vortrag gab Frau Dr. Christiane Frank-Rotsch (Institut für Kristallzüchtung Berlin) einen Überblick zur Züchtung unter Magnetfeldeinsatz, wobei der Schwerpunkt auf

dem neuen Heizer-Magnet-Modul-Konzept lag. Bei den regulär eingereichten Beiträgen lag eine bunte Mischung der Themen vor. Statistisch betrachtet widmeten sich ca. die Hälfte der Vorträge direkt oder indirekt dem Silizium, jeweils ein Viertel hatten das klassische GaAs und die „neuen“ III-V-Nitrid-Halbleiter zum Inhalt. Die Tagung war mit ca. 70 Teilnehmern wieder sehr gut besucht. Erfreulich war auch wieder die Teilnahme junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Die Vorträge waren durchgängig auf einem fachlich hohen Niveau. Der Arbeitskreis-Charakter, also der Bericht zu aktuell laufenden Arbeiten, spiegelte sich in einer regen Beteiligung an der Fachdiskussion im Anschluss an die einzelnen Vorträge wider.

Das nächste Frühjahrestreffen des Arbeitskreises wird im Rahmen eines Symposiums auf der Deutsch-Polnischen Kristallzüchtungstagung in Frankfurt/Oder (14.-18. März 2011) stattfinden. Das nächste Herbsttreffen ist für den 5./6. Oktober 2011 in Erlangen geplant.

I-B-S Fertigungs- und Vertriebs GmbH

für Forschung und Produktion
D-82284 GRAFRATH, Postfach 30
Tel. 08144 / 7656 Fax 08144 / 7857
email: ibs-scholz@t-online.de

Sägen

Innenlochsägen
Periphere Sägen für Längsschnitte
Fadensägen nach dem Lappprinzip
Gattersägen nach dem Lappprinzip

Läppen

IB 400 Lappmaschinen
Tellergrößen von 300 - 400mm
Lappmittelzuführsystem
Abziehringe

Polieren

IB 400 Poliermaschine
IB 400 CMP-Maschine
Tellergrößen 300 - 400mm
Slurry- und Chemiepumpen
Jigs, Autokollimatoren

Bitte besuchen Sie unsere Internetseite

www.ibs-grafrath.de

7. Workshop des DGKK-Arbeitskreis „Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung“

Olf Pätzold, TU Bergakademie Freiberg

Der 7. Workshop des DGKK-Arbeitskreises 'Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung' wurde vom 23.-24. November 2010 in Burghausen im historischen Helmbrechts-Saal durchgeführt. Seitens der DGKK wurde der Workshop von Wolfram Miller, Albrecht Seidl und insbesondere Lev Kadinski als lokaler Verantwortlicher wieder sehr gut organisiert. Lev Kadinski und die bezaubernde Nadeshda Venediktova, der an dieser Stelle ein besonderes Dankeschön gilt, sorgten für eine stets angenehme Atmosphäre vor Ort.

In diesem Jahr zeigte sich deutlich das zunehmende Interesse an der Thematik des Arbeitskreises. Mit 60 Teilnehmern wurden die Zahlen der letzten Workshops zum Teil deutlich übertroffen. Erwähnenswert ist der große Anteil der Industrie, die mit 33 sogar die Mehrzahl der Teilnehmer stellte und mit immerhin 8 von 23 Fachvorträgen im wissenschaftlichen Programm des Workshops vertreten war. Das unterstreicht die wachsende Bedeutung der numerischen Simulation für die Weiterentwicklung und Optimierung von industriellen Kristallzüchtungstechnologien und –prozessen, was auch im Grußwort von Peter Stallhofer, dem Leiter F&E der Siltronic AG Burghausen betont wurde. Eine interessante Industrieausstellung, bei der sich die Firmen FEMAGSoft S.A., STR GmbH, Linn High Therm GmbH sowie die Siltronic AG präsentierten, komplettierte das Angebot für die Teilnehmer und zeigte gleichzeitig die Fokussierung des Workshops auf die angewandte, industrienah Simulation.

In den wissenschaftlichen Vorträgen wurden die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der angewandten Simulation in der Kristallzüchtung im Detail präsentiert und diskutiert. Die aus der Sicht des Autors wichtigsten Themen und Schlussfolgerungen sind in den folgenden Thesen zusammengefasst:

- 1) Einige Vorträge (z.B. Thomas Jung und Jan Seebeck – IISB Erlangen, Vladimir Kalaev – STR Group St. Petersburg) behandelten das Potenzial und die Grenzen von verschiedenen Ansätzen zur Turbulenzmodellierung wie RANS und LES im Vergleich zur DNS. Es wurde gezeigt, dass es in Modellsystemen mit kleiner Reynolds-Zahl ($Re \approx 103$) bereits jetzt mit akzeptablem Aufwand möglich ist, Strömungsfluktuationen direkt zu berechnen. Es wird interessant werden, wie sich die Entwicklung hin zur direkten Simulation von zeitabhängigen Strömungen in industriell relevanten Systemen bei weiter steigenden Hard- und Softwareressourcen vollzieht.
- 2) Die bereits seit einigen Jahren diskutierte Kopplung von 2D- und 3D-Rechnungen für die Simulation von industrierelevanten Prozessen wird nach wie vor intensiv untersucht. Der aktuelle Stand der Arbeiten wurde in einer Reihe von Beiträgen (z.B. Thomas Jung und Andis Rudevics – IISB Erlangen, Andris Muiznics – Uni Riga, Wolfram Miller – IKZ Berlin) am Beispiel der Modellierung der Cz- bzw. FZ-Züchtung diskutiert. Im Mittelpunkt stand dabei vor allem die möglichst effektive und akkurate Verknüpfung der Ergebnisse einer globalen 2D-Berechnung des Temperaturfeldes mit einer lokalen 3D-Strömungssimulation.
- 3) Die experimentelle Strömungsmodellierung als wichtige Ergänzung zur numerischen Simulation und Brücke zum industriellen Prozess wird in Zukunft eine wachsende Bedeutung erlangen. Darauf wurde in dem Vortrag von Andris Muznieks (Uni Riga) mit Verweis auf frühere Experimente zur Modellierung der FZ-Züchtung hingewiesen. Aktuelle Arbeiten zum Vergleich von numerischen und experimentellen Resultaten wurden in den Beiträgen von Jan Seebeck (IISB Erlangen) und Vladimir Galindo (FZ Dresden-Rossendorf) am Beispiel von Cz- bzw. VGF-Modellschmelzen präsentiert.
- 4) Die Kristallzüchtung unter Magnetfeldeinfluss hat durch die Entwicklung des Heizer-Magnet-Moduls (HMM) am IKZ Berlin einen neuen Schub erhalten. Basierend auf den flexiblen Einsatzmöglichkeiten des Moduls ergeben sich auch für die numerische Simulation eine Reihe neuer Schwerpunkte, die in den IKZ-Beiträgen von Wolfram Miller (Modellierung der Facettenbildung bei der Cz-Züchtung mit HMM), Christiane Frank-Rotsch (Strömungssimulation unter Einfluss eines Doppelfrequenz-HMM) und Uwe Rehse (Simulation der Durchmischung der Schmelze bei der HgCdTe-Züchtung mit HMM) dargestellt wurden. Christoph Grützmacher vom WIAS Berlin präsentierte außerdem erste Simulationsergebnisse bei der Anwendung eines HMM mit quadratischem Querschnitt.
- 5) Ein Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der numerischen Simulation präsentierte Rainer Hartmann von der Sovello AG in Thalheim, in der Si-Wafer nach dem String Ribbon-Verfahren hergestellt werden. Ein Problem stellt dabei vor allem die Dickenvariation sowie die Welligkeit der Wafer dar, was u.a. durch die Kontrolle des Temperaturfeldes auf der Basis von Simulationsrechnungen verringert werden soll. Diese Arbeiten können von den bereits existierenden Erfahrungen bei der Simulation des EFG-Verfahrens profitieren, worauf in dem Vortrag von Herfried Behnken (Access e.V. Aachen) explizit verwiesen wurde.
- 6) Bei der aktuellen Bedeutung der Photovoltaik standen die entsprechenden Technologien zur Si-Kristallzüchtung naturgemäß im Fokus des Workshops. Andere Materialien und Verfahren scheinen momentan etwas aus dem Blickfeld geraten zu sein. Sicher zu Unrecht, was besonders der sehr informative Übersichtsvortrag von Yuri Makarov (Nitride Crystals, Inc. Richmond) über die Ergebnisse und Herausforderungen bei der Simulation der Gasphasenzüchtung von Verbindungshalbleitern wie SiC und GaN verdeutlichte.
- 7) Die ständige Weiterentwicklung der Hard- und Software ermöglicht zunehmend die Modellierung von Phänomenen, die bisher nicht bzw. nur unzureichend simuliert werden konnten. Einen Eindruck über die bereits bestehenden Möglichkeiten vermittelten die Präsentationen von Andrey Smirnov (STR Group, St. Petersburg) zur Modellierung des Stofftransports unter Einschluss von Grenzflächenreaktionen und Präzipitatsbildung sowie von Olivier Magotte (FEMAGSoft S.A., Mont St. Guibert) zur 3D-Simulation der gerichteten Kristallisation.
- 8) Die Modellierung der Kornstruktur und Versetzungsdichte im multi-kristallinen Silizium stellt eine der großen Herausforderungen für die Zukunft dar. Erste Simulationsergebnisse wurden von Giordano Cantù vom IKZ Berlin gezeigt.
- 9) Bernhard Ubbenjahns von der Uni Hannover präsentierte numerische und experimentelle Arbeiten zur lokalen Beeinflussung der Strömung und des Stofftransports vor der

Teilnahmegebühr

€ 160,00 (erm. € 80,00)

Der Tagungsbeitrag enthält die oben genannten Mittags- und Abendessen sowie die Kaffeepausen.

Phasengrenze mittels Ultraschall. Ein schönes Beispiel dafür, dass auf dem Gebiet der Kristallzüchtung noch genügend

Die Teilnehmerzahl ist begrenzt. Die Plätze sind zu den angegebenen Terminen zu überweisen

Kto: 10152489008 bei der Commerzbank Berlin, BLZ 100400000

Neben den bekannten kommerziellen Softwarepaketen, wie PDAP, FLUENT, CGsim, CrysMAS, FEMAG-DSS etc. wird für die Simulation von Kristallzüchtungsprozessen immer häufiger die offene Plattform OpenFOAM eingesetzt. Man darf gespannt sein, wie sich das Verhältnis von kommerzieller

zu offener Software in Zukunft gestalten wird.

Anmeldung der Beiträge bis spätestens

18. Februar 2009!

Bitte Online-Anmeldung unter www.dgkz.de Arbeitskreise vornehmen.

Zimmerbestellung

Die Teilnehmer werden gebeten, die Zimmer bis selbst direkt beim Hotel zu reservieren. Zimmer mit Einzelbelegung € 95,00 pro Tag.

Bis zum 18. Februar 2009 sind entsprechende Konditionen reservieren.



Blick in das Auditorium im Helmbrechtsaal

Foto: K. Böttcher

Organisation und Programmgestaltung

Dr. Wolfram Miller

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung, Berlin

Tel: (030) 6392 3074

Fax: (030) 6392 3003

E-Mail: wilf@dgkz-berlin.de

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung, Berlin

Tel: (030) 6392 3034

Fax: (030) 6392 3003

E-Mail: progkz-berlin.de

Dr. Albrecht Seidl (AK-Sprecher Ang. Simulation)

Wacker SCHOTT Solar GmbH, Alzenau

Tel: (06023) 91 1406

Fax: (06023) 91 1801

E-Mail: albrecht.seidl@wackerschott.com

Stefan Feichter

Leiberg, Compound Materials GmbH, Leiberg

Tel.: (03731) 280 236

Fax: (03731) 130 176

E-Mail: feichter@cm-germany.com



Geselliges Zusammensein nach den Vorträgen.

Foto: W. Miller

GERO

30-3000°C



KZV Kristallziehanlage mit Leistungsregelung für Fluoride nach dem Stockbarger- oder Bridgman-Verfahren bis 1800°C

- Rohröfen bis 1800°C
- Aufklappbare Rohröfen bis 1700°C
- Vielzonenrohröfen bis 1800°C
- Kammeröfen bis 3000°C
- Bottom Loader bis 2500°C
- Laboröfen bis 3000°C
- Retortenöfen
- Pyrolyseöfen
- Silizieröfen
- Öfen für MIM-Verfahren
- Sonderanlagen
- Reichhaltiges Zubehör

mehr auf www.gero-gmbh.com

GERO Hochtemperaturöfen GmbH & Co. KG

Hesselbachstr. 15

D-75242 Neuhausen

Telefon: 07234/9522-0 Fax: 07234/9522-99

E-Mail: info@gero-gmbh.com

12. Kinetikseminar der DGKK

31. März und 1. April 2011 an der Technischen Universität Clausthal

Das 12. Kinetikseminar hat als Schwerpunkt nanoskalige Systeme. Ziel ist es, Akteure aus dem Bereich der Nanotechnologien und der Kristallisation bzw. Kristallzüchtung für einen Wissens- und Erfahrungsaustausch zusammenzubringen. Das gemeinsame Abendessen am Donnerstag kann für den Aufbau von neuen Kontakten genutzt werden.

Selbstverständlich sind die Themen nicht auf nanoskalige Systeme beschränkt, sondern u.a.:

- Theorie des Kristallwachstums aus atomistischer Sicht
- In-situ-Untersuchungen kinetischer Prozesse
- Vorgänge bei der Züchtung von Nanostrukturen
- Keimbildungs- und Wachstumskinetik bei der Nicht-Gleichgewichtserstarrung von Schmelzen
- Wachstumsmoden bei der Epitaxie
- gezielte Modifikation von Wachstumsvorgängen
- kinetische Vorgänge bei der Züchtung von Volumenkristallen

- Versetzungskinetik

Das Seminar soll wieder am 1. Tag (Donnerstag) gegen 13:00 Uhr beginnen und am 2. Tag (Freitag) mittags enden. Der Teilnehmerbeitrag beträgt 50,00 EUR bzw. 30,00 EUR für Studenten und schließt das Abendbuffet mit Getränken am Donnerstag mit ein.

Weitere Informationen und Anmeldung via Online-Formular unter www.dgkk.de/kinetik.

Lokale Leitung und Organisation:
 Herr Priv.-Doz. Dr. Harald Schmidt
 Technische Universität Clausthal
 Robert-Koch-Str. 42
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Tel. : +49 - 323 /72-2094
 Fax.: +49 - 323 /72-3184
harald.schmidt@tu-clausthal.de

Neue Mitglieder 2010

Wir begrüßen ab dem 21.05.2010 als neue Mitglieder (Stand 16.12.2010):

Herr Leonard Alaribe	Freiburger Materialforschungszentrum
Dr. Bernhard Birkmann	Schott Solar Wafer GmbH Alzenau
Dr. Natascha Dropka	Leibniz Institut für Kristallzüchtung Berlin
Frau Dipl.-Ing. Nancy Gerth	Fraunhofer THM Freiberg
Herr Dr. Stefan Köstner	Fraunhofer-Center für Si-Photovoltaik (CSP) Halle
Herr Dr. Wolfgang Löser	IFW Dresden
Herr Martin Naumann	IKZ Berlin
Herr Dipl.-Ing. Roger Pingel	PVA Tepla AG Wettenberg
Thilo Semperowitsch	Thermal Technology GmbH, Bayreut
Herr Nico Werner	IKZ Berlin
Sebastian Wipprecht	Institut für Elektroprozessstechnik, Leibniz Universität Hannover
Dr. Markus Zschorsch	Fraunhofer THM Freiberg
Firma:	
Sovello AG	Bitterfeld-Wolfen OT Thalheim

Nachruf: Prof. Dr. Jörg Bilgram

Wolfram Miller, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Am 25. Dezember 2009 verstarb Prof. Jörg Bilgram, langjähriges Mitglied der DGKK. Teilnehmern des Kinetikseminars wird er sicher noch in Erinnerung sein, kamen doch aus seiner Gruppe immer interessante Beiträge zum Dendritenwachstum, unterlegt mit schönen Bildern oder Videos.

Geboren 1941 in Memmingen (D), studierte Jörg Bilgram in Freiburg/Brsg., Stuttgart und Wien Physik. Er promovierte bei Professor H. Gränicher am Laboratorium für Festkörperphysik der ETH Zürich und hat sich in der Arbeitsgruppe von Professor

W. Känzig habilitiert. An der ETH hat er das Schmelzen von Gallium und das Erstarren von Xenon untersucht. Die Arbeiten zum dendritischen Wachstum von Xenon haben grundlegende Erkenntnisse über das Wachstum in unterkühlten Schmelzen gebracht. Diese Resultate haben praktische Bedeutung in der Metallurgie, bei der Massenkristallisation und bei der Züchtung von Einkristallen. 1997 wurde ihm der Titel Professor (Titularprofessor) verliehen. Ende 2006 erfolgte die Verabschiedung in den Ruhestand.

10 DGKK-Personen

Zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Klaus Jacobs

Werner Seifert, Sebnitz

Wir gratulieren ganz herzlich Prof. Dr. Klaus Jacobs zu seinem 65. Geburtstag, den er am 9. Juni 2010 beging.



Foto: K. Banse

Mit dem Ausscheiden von Klaus Jacobs aus dem aktiven Berufsleben geht ein Wissenschaftler in den „aktiven Ruhestand“, der in vielerlei Hinsicht zur Entwicklung lichtemittierender Bauelemente auf Halbleiterbasis beigetragen hat. Der Frequenzbereich, den er dabei mit verschiedenen Materialien überdeckte, reichte von Infrarot (Lichtemitterdioden auf Basis (Ga,Al)As) bis Ultraviolett (Basis GaN und ZnSe). Sein Arbeitsleben war damit eng mit der fast zeitgleichen Entwicklung der Lichtemitterdioden (LED) verbunden.

Klaus Jacobs kam aus Leipzig, wo er an der dortigen Universität von 1964 – 1968 Chemie studierte. In dieser Zeit hatten sich am benachbarten Physikalischen Institut, initiiert durch den 1954 aus der Sowjetunion zurückgekommenen Prof. Gustav Hertz einige Gruppen etabliert, die in großer Breite Festkörpercharakterisierung und Festkörpertheorie betrieben. Am Institut für Anorganische Chemie hatte Ehrenfried Butter zur selben Zeit Arbeiten zur epitaktischen Abscheidung von Halbleitermaterialien in Gang gesetzt. Ähnliche Aktivitäten gab es auch an der Kristallographie unter Leitung von Günter Kühn. Hauptsächlich auf Initiative der damaligen Oberassistenten Konrad Unger von der Physik und Ehrenfried Butter von der Chemie wurden die verschiedenen Aktivitäten 1968 mit der Gründung der interdisziplinären Arbeitsgemeinschaft A(III)B(V)-Halbleiter zusammengefasst. Klaus Jacobs entschied sich nach Absolvierung einer Vertiefungsphase 1968 für ein anschließendes Forschungsstudium unter Leitung von Prof. Butter und geriet damit in die Richtung Halbleiterforschung, die sein weiteres Berufsleben prägen sollte.

Er promovierte 1971 mit dem Thema „LPE von (Ga,Al)As auf GaAs-Substraten für LEDs“.

Diese Strukturen waren es, die dann in einem von Carl-Zeiss-Jena gebauten Entfernungsmessgerät bei Olympia 1972 in München zum Einsatz kamen. Die Regierung der DDR fand es wert, dem Kollektiv aus Physikern und Chemikern dafür einen Nationalpreis in der Kategorie Wissenschaft und Technik zuzuerkennen.

Klaus Jacobs konnte dann einigen Einladungen in den „Westen“ folgen, u.a. einer Vortragseinladung an das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperforschung in Freiburg und einem einmonatigen Aufenthalt am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart auf Einladung von Prof. Queisser. Mit seinen Erfahrungsberichten trug er wesentlich mit dazu bei, dass das Leipziger Halbleiterteam stets bestens über internationale Entwicklungstrends informiert war.

1976 kam dann eine sehr richtungweisende Einladung: auf Initiative von Prof. Klaus Thiessen, Forschungsleiter im Werk für Fernsehelektronik Berlin (WF), wurde bei Prof. Butter in Leipzig angefragt, ob die Möglichkeit besteht, die Inbetriebnahme der Gasphasenepitaxieanlage im WF durch eine Abordnung von Epitaxie-Experten zu unterstützen. Klaus Jacobs war einer von denen, die eine Abdelegierung annahm. Diese galt zunächst für ein halbes Jahr voll und dann ab und zu für eine kürzere Zeit zur Optimierung der Ergebnisse. Am Ende (etwa 1980) waren die Prozessparameter für rot/orange/gelbleuchtende Epitaxiestrukturen auf Basis Ga(As,P) ermittelt und konnten in der Produktion zur Herstellung von LEDs genutzt werden. Ein Nebenergebnis: die aus der Gasphase hergestellten GaP-Strukturen für grün-leuchtende LEDs erreichten nicht die Effizienz derer, die aus der Flüssigphasenepitaxie kamen, waren aber von höchster Reinheit. Das Leipziger Optik-Team unter Leitung von Roland Bindemann konnte an diesen Strukturen Elektronen-Loch-Tropfen Lumineszenz messen, ein Phänomen, das etwa zeitgleich von Karl-Ludwig Störmer in Stuttgart an Ge-Strukturen gefunden und Teil des Nobelpreises an Störmer 1998 wurde. Das Leipziger Team erhielt dafür 1979 den Gustav-Hertz-Preis der Physikalischen Gesellschaft der DDR.

Mit den Ergebnissen des Praxiseinsatzes konnte Klaus Jacobs unter dem Titel „Die Dotierung von Ga(As,P) und GaP“ 1981 seine Habilitation in Leipzig abschließen.

Auf Einladung von Prof. Jun-ichi Nishizawa folgte dann ein 9-monatiger Aufenthalt am Research Institute for Electrical Communication in Sendai/Japan. Klaus Jacobs arbeitete dort am Einfluss von Gasdruck/Dampfdruck auf die Stöchiometrie beim Wachstum von Halbleiterverbindungen.

Nach der Rückkehr aus Japan wurde er 1982 zum Honorardozenten an der Universität Leipzig ernannt. Aber es hielt ihn nicht lange in Leipzig. Neben einem Tag Vorlesungen pro Woche in Leipzig nahm er 1982 einen Abordnungsvertrag als Abteilungsleiter für Forschung und Entwicklung an das WF Berlin an. Hauptaufgabe war die Einführung des MOVPE-Verfahrens in der Epitaxieabteilung des WF. Dieser Abordnungsvertrag währte bis 1985. In diesem Jahr erhielt er eine Einladung für 2 Monate, um eine Gastprofessur an der RWTH Aachen wahrzunehmen. Klaus

Jacobs nutzte diese Gelegenheit um Kontakt mit den Gründern der Firma AIXTRON aufzunehmen und beteiligte sich an der Entwicklung eines Konzepts für die ersten AIXTRON-Anlagen, die dann u.a. auch ins WF geliefert wurden.

1985 erfolgte dann die Berufung zum ordentlichen Professor für Kristallographie an die Humboldt-Universität in Berlin.

Parallel zu den Lehr- und Betreuungsarbeiten als Professor an der HUB übte er im WF die Funktion eines Abteilungsleiters und später die eines Bereichsleiters (bis 1990) aus. Hier ging es hauptsächlich um die Entwicklung von Lichtleiterbauelementen für die Nachrichtenübermittlung. Zwischenzeitlich erhielt er in diesen Jahren auch eine Abordnung an das Werk Carl Zeiss Jena zur Entwicklung bzw. zum Aufbau von Infrarotoptik.

Diese hoffnungsvollen Entwicklungen wurden durch die Wende 1990 jäh unterbrochen. Das WF, in DDR-Zeiten hauptzuständig für die gesamte Entwicklung von Optoelektronik/Vakuumelektronik, wurde abgewickelt, die Epitaxieanlagen ausgelagert, die Arbeitsverträge liefen aus. Auch an der HUB gab es dramatische Änderungen. So z.B. lief der Studiengang Kristallographie aus. Das Arbeitsverhältnis von Klaus Jacobs an der HUB endete 1994 mit der Diplomverteidigung des letzten Studenten.

Klaus Jacobs hielt sich in der Folgezeit mit verschiedenen Aktivitäten, u.a. auch der Beteiligung an Firmengründungen „über Wasser“. Z.B. wurde er 1994 Geschäftsführer einer GmbH für Photodioden, später Entwicklungsleiter am Institut für Solartechnologie Frankfurt/Oder.

Seine breite Kenntnis auf dem Gebiet der LED's und Laserdioden prädestinierte ihn, 1994 eine Studie zum „Vergleich breitleitender Halbleitermaterialien bezüglich ihrer Eignung für die Herstellung optoelektronischer Bauelemente, insbesondere von Laserdioden“ durchzuführen.

Die Ergebnisse dieser Studie führten auf der Diskussionstagung „Blauer Emitter“ zur Empfehlung des Beirats, am Institut für Kristallzüchtung (IKZ) Arbeiten zur SiC-Züchtung aufzunehmen, die für eine Zeit das größte Projekt am IKZ wurden.

Im Jahr 1997 kam Klaus Jacobs dann an das Institut für Kristallzüchtung (IKZ), wo er sich mit der Lösungszüchtung von GaPO₄ beschäftigte. Dieses Thema war vorher im kleinen Umfang am IKZ eingeführt worden, wurde nun aber unter der Leitung von Klaus Jacobs systematisch vorangetrieben.

Neben dieser wissenschaftlichen Arbeit wirkte er an vielen anderen Stellen für das IKZ. So leitete er von 1999 an das Haus-Kolloquium des IKZ und konnte hier viele interessante Vortragende gewinnen, so u.a. Prof. Horst Zuse, den Sohn von Konrad Zuse. Klaus Jacobs hatte auch die Idee, eine IKZ-Sommerschule einzuführen: Dazu wird eine Wissenschaftlerpersönlichkeit auf dem Gebiet der Kristallzüchtung eingeladen, die eine Woche lang jeweils vormittags Vorlesungen mit Diskussionen abhält. Für die erste Sommerschule (2006) konnte er Prof. Jeffrey J. Derby gewinnen, dem Prof. Alexander Chernov, Prof. Tatsu Nishinaga, Prof. Aleksander Ostrogorsky und Prof. Thomas Kuech folgten. Er war auch maßgeblich an der Erarbeitung der Präsentationen für die „Lange Nacht der Wissenschaften“ beteiligt, die 2001 in Berlin zum ersten Mal veranstaltet worden ist.

Klaus Jacobs war immer an der Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Ausrichtung des Instituts interessiert. Einen guten Anlass für eine intensive Auseinandersetzung über Themen in der Kristallzüchtung und ihre Relevanz für das IKZ bot der Antrag „Advanced engineering of new crystalline materials“ im 6. Rahmenprogramm der EU, der 2003 mit Partnern aus 16 Europäischen Ländern eingereicht wurde. Klaus Jacobs stand hier nicht nur als vorgesehener Leiter des Projekts auf dem Papier, sondern war mit Sachverstand und Umsicht bei der Formulierung des Antrags an vorderster Front beteiligt. Auch wenn der Antrag letztendlich nicht erfolgreich war, hat seine Erarbeitung wesentliche Impulse für die Themen am IKZ gegeben.

Ende Mai 2003 übernahm Klaus Jacobs die kommissarische Leitung des Instituts. Es war die schwierige Zeit des Übergangs von Prof. Winfried Schröder, der altersbedingt ausschied, und Prof. Roberto Fornari, der erst zum 1. Oktober 2003 als neuer Direktor an das IKZ und als Professor an die BTU Cottbus berufen wurde. Turnusgemäß stand bereits ein Jahr später die Evaluierung des IKZ durch die Leibniz-Gemeinschaft auf der Tagesordnung, so dass unmittelbar nach Amtsantritt von Roberto Fornari mit der Erstellung der Unterlagen begonnen werden musste. Diese umfangreiche und diffizile Arbeit wurde von Klaus Jacobs übernommen, der hier die Grundlagen für das finale Dokument geschaffen hat. Bekanntermaßen ist die Evaluierung sehr positiv ausgefallen.

Wir wünschen Klaus Jacobs in der nun folgenden Lebensphase viel Glück, Kraft und Optimismus und immer ausreichend Licht!

Zwei Berufsleben für die Kristallzüchtung und Materialwissenschaft

Maike Schröder, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Am 2. Juli 2010 veranstaltete das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung ein Ehrenkolloquium unter dem Titel „Zwei Berufsleben für die Kristallzüchtung & Materialwissenschaft“. Anlass waren die 65. Geburtstage der Kompetenzfeldkoordinatoren Prof. Klaus Jacobs und Prof. Peter Rudolph. Das IKZ wollte mit dieser Veranstaltung zwei hervorragende Wissenschaftler ehren, die die Kristallzüchtung und die Materialwissenschaften zum höchsten Niveau gebracht haben. Als erster Redner berichtete der vormalige Präsident der Internationalen Kristallzüchtervereinigung, Prof. Alexander Chernov, in seinem Vortrag „Crystal Growth for Laser Nuclear Fusion“ über die Aktivitäten am Lawrence Livermore Laboratory in Kalifornien. Als Redner folgten weitere Kapazitäten, nämlich Prof. Günter Weimann, Prof. Georg Müller, Dr. Tilo Flade, Prof. Manfred Mühlberg und Prof. Werner Seifert.

Sie gaben in Ihren Vorträgen einen interessanten Überblick über verschiedene Entwicklungen, die im Laufe des Berufslebens der beiden Ehrengäste auf dem Gebiet der Materialwissenschaften und der Kristallzüchtung erfolgten. Die 120 Gäste aus dem In- und Ausland erfuhren dabei auch mehr über die wichtigen Beiträge, die Herr Prof. Jacobs z.B. zur Entwicklung von Materialien für LEDs oder Laserdioden oder Herr Prof. Rudolph z.B. im Bereich der Schmelzzüchtung von Verbindungshalbleitern und der Kristallzüchtung im wandernden Magnetfeld geleistet haben. Nicht zuletzt waren beide auch sehr aktive Mitglieder der Kristallzüchtungscommunity, die an diesem Nachmittag zahlreich vertreten war.

Herr Prof. Fornari bedankte sich bei diesen beiden hervorragenden Wissenschaftlern für ihr Engagement und betonte, dass

12 sie „zum Erfolg und zur Entwicklung unseres Instituts entscheidend beigetragen haben“. Ihnen sind nicht nur zahlreiche wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu verdanken, sondern auch Projekte und Auszeichnungen wie der Innovationspreis Berlin-Brandenburg 2008, mit dem das Team KristMag unter Leitung von Prof. Rudolph ausgezeichnet wurde. Die Initiative von Prof. Jacobs hingegen hat entscheidend zu der Beteiligung des IKZ an dem gerade bewilligten Regionalen Wachstumskern

WideBaSe beigetragen. Beide erfüllten als Koordinatoren der Kompetenzfelder „Volumenkristalle“, bzw. „Technologieentwicklung“ wichtige Funktionen für das Institut und zur Beratung des Direktors.

Nachdem auch die Mitarbeiter des Instituts den beiden Ehrengästen ihre Glückwünsche ausgesprochen hatten, gab es die Gelegenheit, den Abend im Gespräch mit Gästen und Institutsmitarbeitern bei einem kleinen Empfang ausklingen zu lassen.



Prof. Alexander Chernov

Foto: K. Banse



Prof. Jacobs, Prof. Rudolph, Prof. Fornari

Foto: K. Banse

Prof. Dr. Peter Rudolph zum 65. Geburtstag

Manfred Mühlberg, Universität zu Köln

Am 01. Juli 2010 feierte Prof. Dr. Peter Rudolph seinen 65. Geburtstag, zudem wir ihm auf das herzlichste gratulieren.



Foto: K. Banse

Prof. Rudolph wurde 1945 in Gera/Thüringen geboren. Seine Schulausbildung schloss er 1964 in Berlin mit dem Abitur ab

und begann ein Elektrotechnik-/Elektronik-Studium an der Technischen Universität Lvov/Ukraine. Sein Studium fand in einer Zeit statt, als weltweit neben den III/V-Verbindungen verschiedene andere Verbindungshalbleiter explorativ intensiv untersucht wurden. In seiner Diplom- und Doktorarbeit (1972) beschäftigte sich Prof. Rudolph mit der epitaktischen Herstellung und physikalischen Charakterisierung spezieller II/V-Verbindungen, insbesondere mit dem CdSb.

Aus der Ukraine zurück kommend, nahm Prof. Rudolph eine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am damaligen Bereich Kristallographie der Sektion Physik der Humboldt-Universität zu Berlin auf. Nach dem Tod von Prof. Will Kleber (1970) und verschiedener Hochschulreformen in der DDR orientierte sich die studentische Ausbildung stärker auf eine anwendungsorientierte Forschung. Prof. Rudolph konnte seine exzellente technische Ausbildung verbunden mit einer materialwissenschaftlichen Kompetenz einbringen in den Neuaufbau von Kristallzüchtungsanlagen für schmalbandige, PbTe-basierte IV-VI-Verbindungshalbleiter. Die intensive Beschäftigung mit den wissenschaftlichen Grundlagen des Kristallwachstums in Kombination mit technologischen Lösungen fanden ihren Niederschlag auch in der Habilitationsschrift (1979), die sich mit den Methoden und Möglichkeiten der Formzüchtung beschäftigte und auch als Buch erschien.

1980 wurde Prof. Rudolph Dozent und 1985 Professor für Kristallographie und Materialwissenschaft. In den 80er Jahren leitete er eine Arbeitsgruppe am Bereich Kristallographie, die sich mit der Einkristallzüchtung CdTe-basierter II-VI-Verbindungshalbleiter nach dem Bridgman-Verfahren und der Travelling Heater Method (THM) beschäftigte. Sein besonderes Augenmerk galt dabei den Problemen der Defektenstehung, insbesondere der Entstehung von Zwillingstrukturen in den Verbindungen mit

Zinkblende-Struktur und dem Einfluss der Struktur der schmelzflüssigen Phase auf die Qualität der gewachsenen Einkristalle. Weiterhin konzentrierten sich seine Forschungen auf die thermodynamischen Grundlagen der Stöchiometrieabweichungen bei IV-VI- und II-VI-Verbindungen und den komplexen p-T-x-Phasenrelationen in diesen Materialgruppen. Neben seiner Tätigkeit an der Universität engagierte sich Prof. Rudolph sehr intensiv in der Sparte Kristallwachstum der damaligen Vereinigung für Kristallographie (VfK) der DDR. U. a. gemeinsam mit Prof. Bohm/Berlin, Dr. Jurisch/Dresden und Prof. Görnert/Jena war er maßgeblich an der Organisation der zweijährig durchgeführten Kristallzüchtungsschulen der VfK beteiligt; regelmäßig hielt er Hauptvorträge auf diesen Schulen. Prof. Rudolph betreute in dieser Zeit eine Vielzahl von Diplom- und Doktorarbeiten, und eine Reihe von Mitarbeitern aus seiner Arbeitsgruppe sind bis heute aktiv auf dem Gebiet der Kristallzüchtung und des Kristallwachstums tätig, z. B. Dr. M. Neubert, Dr. F.-M. Kießling und Dr. T. Boeck am IKZ Berlin, Prof. Gille (LMU München) und Prof. Mühlberg (Uni Köln).

Nach der deutschen Wiedervereinigung begannen umfangreiche Umstrukturierungen der ostdeutschen Hochschullandschaft. Es war der Wille der damaligen Struktur- und Berufungskommission an der Sektion Physik der Humboldt-Universität, eine eigenständige Struktureinheit der Kristallographie in Form eines Instituts für Kristallographie und Materialforschung nicht weiter zu führen. Prof. Rudolph nahm das Angebot von Prof. Fukuda von der Tohoku Universität Sendai/Japan an, seine Forschungen auf dem Gebiet der Kristallzüchtung in Form einer einjährigen Gastprofessur in Japan weiter zu führen. Dieses Jahr war wissenschaftlich sehr ergiebig; er beschäftigte sich mit einer Vielzahl von Halbleiter- und oxidischen Materialsystemen und hielt mehrere Haupt- und Übersichtsvorträge in Japan und auf verschiedenen internationalen Konferenzen.

Nach diesem Aufenthalt im Institut für Materialforschung der Tohoku-Universität kam Peter Rudolph 1994 an das Institut für Kristallzüchtung. Mit seiner Herangehensweise von wissenschaftlicher Grundlagenuntersuchung und technischer Umsetzung war er maßgeblich beteiligt an den Entwicklungen zur Dampfdruck-gesteuerten Czochralski-Züchtung von GaAs, die in der Arbeitsgruppe von Dr. Michael Neubert entwickelt wurde. Mit dieser Technik ließ sich die Defektdichte im GaAs gegenüber dem klassischen liquid-encapsulated Czochralski-(LEC)-Verfahren deutlich herabsetzen. Diese Entwicklung eines industriellen Prozesses führte 2001 zur Verleihung des Innovationspreises Berlin-Brandenburg.

Über lange Zeit beschäftigte sich Peter Rudolph mit den Mög-

lichkeiten des Einsatzes von Magnetfeldern in der Kristallzüchtung. Was in der Metallurgie in vielen Bereichen bereits ein Standard geworden war, sollte doch auch die Kristallzüchtung voranbringen können! Im November 2002 organisierte er ein Treffen aller relevanten Gruppen in diesem Gebiet am IKZ Berlin. Leider stand eine solche Thematik nicht in der Planung des BMBF, so dass es von dieser Seite trotz großen Interesses keine Förderung gab. So schaute sich Peter Rudolph nach anderen Finanzierungsquellen um und wurde mit der Europäischen Regionalförderung (EFRE) über die Technologiestiftung Berlin (TSB) fündig. Es entstand das Projekt KRISTMAG (2005-2008) – der Name ist inzwischen ein eingetragenes Warenzeichen. Es war ein sehr ambitioniertes Projekt, sowohl was den Umfang als auch die Umsetzung betraf, das aber nicht zuletzt durch die engagierte Leitung durch Peter Rudolph zu einem Erfolg wurde, der durch den Innovationspreis Berlin-Brandenburg 2008 gekrönt wurde.

Das Ingenieur-nahe wissenschaftliche Arbeiten ist eine Facette von Peter Rudolphs Arbeit und eine andere sein Engagement für die Aus- und Weiterbildung im Bereich Kristallwachstum und -züchtung. Nicht zählbar die Kristallzüchtungs-Schulen, an denen er organisatorisch, beratend oder als Dozent auch nach 1990 teilgenommen hat. Zusammen mit Prof. Georg Müller und Prof. Jean-Jaques Métois war er für die Durchführung der International Summer School on Crystal Growth (ISSCG 12) in Berlin verantwortlich.

An vielen Stellen setzt sich Peter Rudolph für die Belange der Kristallzüchtung ein. So ist er Mitglied im Executive Committee der IOCG und seit 1.1.2010 Vorsitzender der DGKK. Auch auf europäischer Ebene ist er aktiv und hat zusammen mit Prof. Roberto Fornari zu einem Treffen von Vertretern der Kristallzüchtung aus den europäischen Ländern eingeladen (siehe Bericht in diesem Heft). Im Jahr 2000 gründete er den Arbeitskreis Kinetik der DGKK und brachte Forscher aus der Physik und der Kristallzüchtung zusammen. Das erste Kinetikseminar fand 2000 am IKZ in Berlin statt und wurde seit dem jährlich mit großem Erfolg veranstaltet.

Am 1. Juli 2010 ist Peter Rudolph 65 Jahre alt geworden, was aber nicht bedeutet, dass er sich damit aus der Kristallzüchtung zurückgezogen hätte. Das von ihm initiierte und geleitete Projekt AVANT läuft noch bis Mitte 2011, und sicher wird er auch darüber hinaus für die Kristallzüchtung aktiv bleiben.

Wir wünschen Peter Rudolph für diese wissenschaftlichen Aktivitäten weiterhin viel Spaß und Erfolg und daneben die Zeit und Muße, sich seinen privaten Hobbys zu widmen.

14 DGKK-Nachrichten

14. Internationale Sommerschule der Kristallzüchtung (ISSCG-14)

Bernhard Ubbenjans, Institut für Elektroprozessentechnik, Leibniz Universität Hannover

1.-7. August 2010 in Dalian in China

Die 14. Internationale Sommerschule der Kristallzüchtung (ISSCG-14) fand im Vorfeld zur 16. Internationalen Konferenz der Kristallzüchtung (ICCG-16) im chinesischen Küstenort Dalian statt. Vom 1. bis zum 7. August konnten etwa 150 angehende Wissenschaftler, größtenteils Studenten, ihr Wissen auf dem Gebiet der Kristallzüchtung weiter ausbauen. Dazu wurden insgesamt 20 Unterrichtsvorträge von international renommierten Fachleuten angeboten, die einen umfassenden Überblick über die Schwerpunkte der Kristallzüchtung gaben. Die erste Unterrichtseinheit gab IOCG-Präsident Prof. Chernov zum Thema Oberflächenphänomene. Die deutschen Kristallzüchter waren durch Prof. Georg Müller und den DGKK-Vorstandsvorsitzenden Prof. Peter Rudolph vertreten, die zu den Themen Silizium bzw. Transportphänomene in der Kristallzüchtung referierten. Die besprochenen Themen deckten die verschiedenen Teilgebiete der Kristallzüchtung insgesamt sehr gut ab, wie Thermodynamik, Fluid-Dynamik, Kinetik, Wachstumsmechanismen von Kristallen, große Volumenkristalle, Herstellung von Dünnschichten, Mikrostrukturen im Nanobereich und Beobachtungs- und Charakterisierungstechniken. In den Pausen zwischen den zu Blöcken zusammengefassten Unterrichtseinheiten konnten ins-

gesamt 66 Poster betrachtet und diskutiert werden, die von den teilnehmenden Studenten und Wissenschaftlern erstellt worden waren.

Der Höhepunkt der Sommerschule in Dalian bildete eine Einheit mit praktischen Experimenten zur Kristallzüchtung. An insgesamt acht ausgewählten Experimenten konnten die Studenten in kleinen Gruppen praktische Erfahrungen sammeln. Die Themen der Experimente waren Chiral Kristallisation, In Situ Oberflächenbeobachtung, Keimbildung eines Schmelztropfens in der Schwebelage, Messung von Kristallisationsgeschwindigkeiten durch Interferometer, Phasen-Feld Computersimulation, Monte-Carlo Simulation, AFM-Untersuchungen während des Kristallwachstums aus der Lösung und Kolloid-Kristallisation.

Nach einem langen Tag mit vielen Experimenten wurden von den einzelnen Studentengruppen die gewonnenen Ergebnisse bzw. Erkenntnisse vor den versammelten Studenten und Lehrern präsentiert. Aus diesen Präsentationen heraus ergaben sich teilweise recht anregende Diskussionen, so dass alle Teilnehmer noch bis weit in den Abend hinein zusammensaßen. Insgesamt ist die Sommerschule in Dalian auf großen Zuspruch seitens der Teilnehmer gestoßen und es bleibt zu hoffen, dass die Organisatoren diese Veranstaltung auch in den nächsten Jahren in dieser bzw. ähnlicher Form fortführen.



Hotel und Veranstaltungsort der Sommerschule Foto: B. Ubbenjans



Postersitzung zwischen den Unterrichtsblöcken Foto: B. Ubbenjans



Prof. Chernov erklärt ein Experiment

Foto: B. Ubbenjans



Experimente zur Kristallzüchtung

Foto: B. Ubbenjans

16. International Conference on Crystal Growth in Peking

Wolfram Miller, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Die 16. International Conference on Crystal Growth fand vom 8.-13. August in Peking statt. Fast genau zwei Jahre nach den olympischen Spielen reisten die Kristallzüchter aus aller Welt zum Kongresszentrum, das in unmittelbarer Nähe zu den Stadien gebaut worden war. Das berühmte „Vogelnest“ (siehe Foto) lag fußläufig zu den Hotels. Nahezu die Hälfte der 1100 Teilnehmer kam aus China, gefolgt von Japan mit 213 Teilnehmern. Deutschland stellte mit 54 Teilnehmern die drittstärkste Gruppe

unter den insgesamt 35 Ländern (siehe Foto). Mit insgesamt 558 Vorträgen (davon 206 eingeladenen) gab es ein sehr volles Programm in bis zu acht parallelen Sitzungen und Vorträgen bis 22.00 Uhr. Über diese Fülle lässt sich an dieser Stelle nicht umfassend berichten, aber die folgenden drei Berichte über unterschiedliche Gebiete geben einen kleinen Eindruck der aktuellen Entwicklungen in der Kristallzüchtung.



Die deutsche Delegation beim Banquet der ICCG16. Foto: ICCG



Das sogenannte „Vogelnest“, das für die Olympiade 2008 erbaute Stadion in Abendstimmung. Die statischen Berechnungen für die komplexe Architektur wurden übrigens mit ANSYS durchgeführt. Foto: M. Wünschner

Silizium

Michael Wünschner, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Der Silizium-Kristallzüchtung wurde während der Tagung eine ganze Session „Growth of Crystalline Silicon and Photovoltaic Materials“ gewidmet, die zu 90% Silizium als Thema hatte und aus 8 Sitzungen bestand. Außerdem gab es einige Vorträge in der großen Session „Fundamental of Crystal Growth“ zum Thema Silizium. Der Plenarvortrag von Prof. Eicke Weber machte ebenfalls deutlich, dass Silizium das Element für die Photovoltaik in den nächsten Jahren sein wird. Mehr als 40% der Solarmodule werden auch in Zukunft mit Siliziumtechnologie bestückt sein. Angefangen von der Dünnschichttechnik über multikristallines bis hin zum einkristallinen Material. Dabei sind die gute Verfügbarkeit und etablierten Verfahren von entscheidendem Vorteil. Dennoch gibt es auch in diesem Zweig noch Forschungsarbeit zu leisten. Dabei geht es hauptsächlich um die Optimierung der Züchtungsprozesse und Erhöhung der Durchsatzraten.

Ein Thema für die Optimierung ist die Frage nach Verunreinigungen während der Züchtung. Es konnte in Computersimulationen gezeigt werden, dass sich die Kohlenstoffkonzentration wie auch die Sauerstoffkonzentration durch ein intelligentes Gasmanagement in der Kammer einer Blockerstarungsanlage reduziert werden kann (Bing Gao, Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University). Des Weiteren wurden Simulationen gezeigt, die sich mit den Ausscheidungen von SiC-Teilchen beschäftigen und wie sie die Korngröße beeinflussen. Dazu wurden globale Simulationen von Temperatur-, Geschwindigkeits- und Konzentrationsfeld mit einem Zellularen Automaten verbunden. Nach Bei Wu (BP Solar) finden sich hauptsächlich im Zentrum große

Kristallite, wohingegen der Randbereich ein Zentrum für Keime und damit für kleine Körner ist. Mit den Ausscheidungen beim gerichteten Erstarren hat sich Andrey Smirnov (STR Group) beschäftigt. Bei seinem verwendeten System wurde darauf geachtet, dass sich die Gase und Schmelze laminar verhalten. Dadurch lässt sich das Experiment gut nachrechnen und daran das chemische Modell für C, O und N überprüfen. Qualitativ gute Übereinstimmungen wurden für die SiC-, Si₃N₄- und Si₂N₂O-Ausscheidungen erreicht. Die ersten beiden fallen zum Ende hauptsächlich im Zentrum aus, wobei sich Si₂N₂O am Anfang der Züchtung im Zentrum sammelt. Grundlegende experimentelle Untersuchungen vom Wachstum von Dendriten haben Kozo Fujiwara et.al. (Tohoku University) auf die Idee gebracht, eine Vorstrukturierung des Bodens durch eine gezielte Unterkühlung zu erhalten. Dadurch konnte im Labor gezeigt werden, dass sich die Korngröße gesteigert hat, was zu einer Erhöhung der Solarzelleneffizienz von 1% geführt hat. Auch das Heizer-Design hat einen entscheidenden Einfluss auf die Verunreinigungsverteilung und das Temperaturfeld. Dies kann zum einen durch spezielle Heizerformen erreicht werden, die durch die Speisung mit Wechselstrom die Schmelzströmung beeinflussen, wie es von Vladimir Kalaev (STR Group) gezeigt wurde. Eine weitere Möglichkeit ist das gezielte Modulieren des Heizerstroms nach der TMF-Methode, diese wurde hier von der Modellierungsseite vorgestellt, wobei es eine Erweiterung zum Nutzen zweier Frequenzen gab. Es konnte gezeigt werden, dass dadurch eine Verbesserung der Durchmischung erreicht wird, vor allem im

16 Zentrum der Schmelze, welches eine Reduzierung der Verunreinigungen zur Folge haben sollte. Das Bild wurde vervollständigt durch den experimentellen Vergleich von Kristallen mit und ohne TMF. Dabei wurden die Einflussmöglichkeiten auf das Kristallisationsinterface und die Korngröße untersucht sowie die Verteilung der Verunreinigungen wie C, O und N (Rudolph et al., IKZ). Im Vortrag von Yuepeng Wan (LDK Solar) wurde nochmals die Bedeutung der Siliziumtechnologie betont, die sich durch eine weitere Kostenreduktion festigen lässt. Dazu wurden Ergebnisse mit 800 kg Silizium gezeigt, wobei die Barren mit dem Wafering etwa 30% der Kosten einer Solarzelle ausmachen und durch die

Verdoppelung der Einwaage diese um 10% reduziert werden können. Weitere interessante Ideen zur Verbesserung der Solarzelle waren zum Beispiel die Untersuchungen zur Dotierung mit Germanium (10^{18} Atome/cm³), um somit die Dicke ($\approx 220 - 110\mu\text{m}$) der Wafer weiter zu reduzieren und trotzdem eine gute mechanische Stabilität zu erhalten (Xuegong Yu, Zhejiang University). Die Dotierung kann auch eingesetzt werden, um die Effizienz zu erhöhen, dazu wurde Indium als Donator eingesetzt, um zusätzlich zur p-Leitung tiefe Störstellen zu erhalten, die eine Absorptionserhöhung im IR Bereich erlauben (Peng Wang, Zhejiang University).

Wide Band-Gap Semiconductors: Bulk and Epitaxial Growth

Detlev Schulz, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Diese Session beinhaltete die neuesten Entwicklungen auf den Gebieten der Volumenkristallzüchtung und Epitaxie von wide band-gap Halbleitern wie z.B. III-Nitriden, SiC, ZnO, Diamant, BN und anderen. Ein deutliches Übergewicht besaßen die Beiträge zu GaN, AlN sowie ZnO und die wichtigsten sollen hier in chronologischer Folge dargestellt werden. Den Auftakt bildete ein eingeladener Vortrag von I. Grzegory (Institute of High Pressure Phys., PAS) zu „Bulk GaN Growth by HVPE and HPNS Methods“. Die Hydride Vapor Phase Epitaxy ist eine der am weitesten fortgeschrittensten Methoden für GaN-Volumenkristalle, obwohl die Durchbiegung der Wafer sowie die Versetzungsdichte immer noch als problematisch anzusehen sind. Auch die ammonothermale Methode für GaN hat inzwischen gezeigt, dass 1.5 Zoll-Kristalle gezüchtet werden können, die sehr gute strukturelle Eigenschaften (FWHM = 17 arcsec) und eine deutlich geringere Durchbiegung als HVPE-Kristalle aufweisen. Ähnliches, „GaN Substrates Grown by Hydride Vapor Phase Epitaxial“, wurde am zweiten Tag von J. Wang (Suzhou Institute Nano-Tech & Nano-Bionics) in einem eingeladenen Vortrag präsentiert. Für 2"-Wafer wurde hier eine Versetzungsdichte von ca. 10^6 cm^{-2} angegeben. Im weiteren Verlauf des ersten Tages wurden Züchtungsvarianten für verschiedene Materialien wie (Al,In)N durch MOCVD, 3C-SiC durch Lösungskristallisation oder CVT von ZnO vorgestellt. Der letztere Vortrag durch J.-L. Santailier (CEA-LETI, Grenoble) zeigt eine interessante Möglichkeit zur Herstellung großer Einkristalle durch Sublimation bei gleichzeitiger Einflussnahme auf die Stöchiometrie durch den Einsatz von O₂ und CO. Einkristalle mit bis zu 47 mm Durchmesser wurden demonstriert. Der folgende eingeladene Vortrag von Z. Sitar (NCSU) stellte den aktuellen Stand zur Sublimationszüchtung von AlN in Wo-Tiegeln dar. Nahezu freistehend gewachsene Einkristalle bis zu 25 mm Durchmesser wurden präsentiert und die Abhängigkeit des Wachstums von der Kristallorientierung untersucht. Als wesentlicher Schritt zu perfekten Einkristallen wurde das Ankeimen auf AlN-Substraten herausgearbeitet. Die Bewegung von facettierten Hohlräumen in AlN-Kristallen, hervorgerufen durch Temperaturunterschiede, wurde in Abhängigkeit von der Substratpolarität untersucht und durch O. Filip (Uni Erlangen-Nürnberg) im Verlauf des zweiten Tages vorgestellt. Auf der Al-Seite weisen die Hohlräume rhomboedrische Facetten auf, während auf der N-Seite die Basalflächen dominieren. Der Beitrag von B. Kallinger (Fraunhofer IISB, Erlangen) zu „Doping-induced Mismatch in 4H-SiC Homoepitaxy“ zeigte den Zusammenhang zwischen der Dotierstoffkonzentration und der Durchbiegung von Wafern nach der Epitaxie. Die Durchbiegung wurde dann in eine Gitterfehlpassung umgerechnet und es wur-

de gezeigt, dass sich die Abhängigkeit der Durchbiegung von der Stickstoffkonzentration modellhaft erklären lässt. M. Chou (National Sun Yat-Sen University) präsentierte die Züchtung von a-Flächen GaN Substraten auf LiGaO₂ Wafern mittels HVPE. Die besten Ergebnisse wurden bei einer Wachstumstemperatur von 950 °C erzielt.

Der zweite Tag begann mit zwei eingeladenen Vorträgen zur Kristallzüchtung von ZnO. Der erste Beitrag von D. Schulz (IKZ, Berlin) über „Bulk Crystal Growth of Zinc Oxide from the Melt“ zeigte eine Alternative zum etablierten „Hydrothermal Growth of High Carrier Mobility Pure and Co, Ga Doped ZnO Single Crystals and Research on the Related Physical Properties“, das von F. Huang (Fujian Institute Research on the Struct. Mat.) vorgestellt wurde. Die Fortschritte der chinesischen Forschung zeigten, dass große Kristalle nach der Hydrothermalmethode zukünftig nicht ausschließlich durch japanische und russische Quellen verfügbar sein könnten. Exemplarisch wurde im ersten Vortrag im Falle von (Zn,Mg)O gezeigt, dass die Kristallzüchtung nach der Bridgman-Methode nicht nur für Zinkoxid, sondern auch für die Herstellung von Mischkristallen verwendet werden kann. Danach folgte ein Beitrag von D. Siche (IKZ, Berlin) zum „PVT-Growth of GaN Bulk Crystals“, in dem die Probleme der Sublimationszüchtung diskutiert wurden. T. Sorgenfrei (Albert-Ludwigs-Univ.) verwendete Arsen trioxid, um mittels MBE den Einbau von Arsen in ZnO zu studieren. Der Beitrag zu „Next-Generation Hydrothermal ZnO Crystals“ wurde durch D. Ehrentraut (Tohoku Univ.) vorgestellt. Lithium stellt eine unerwünschte, weil elektronisch aktive, Verunreinigung in diesen Kristallen dar, und somit wurde durch angepasste Mineralisatoren die Züchtung von Li-freien Kristallen erstmalig präsentiert. Außerdem wurde durch die Verwendung verschiedener Dotierstoffe der Einsatz von ZnO als Szintillatormaterial diskutiert.

Der eingeladene Vortrag von A. Boyd (AIXTRON AG) zu „Recent Advances of MOCVD for Large Area Production of Optoelectronic Devices“ bildete den Auftakt zum dritten Tag und reflektierte die kommerziellen Aspekte dieser Technologie. Diese, auf die Epitaxie von III-Nitriden fokussierte Sitzung, bildete den Abschluss der wide band-gap Session.

Leider blieb eine Vielzahl der Posterwände leer, von den übrigen sollen hier zwei Beiträge erwähnt werden. Von Y. Konishi (Osaka Univ.) wurde eine Methode zur Züchtung von GaN-Kristallen vorgestellt. Die aus einem Na-Fluss erhaltenen Kristalle wurden hinsichtlich der Wachstumsrate, der Kristallinität und des Habitus untersucht. Einkristalle mit bis zu 9 mm in a-Richtung und 4 mm in c-Richtung wurden gezeigt und stellen die bis dato größten Kristalle mittels dieser Methode dar. Von C. Hartmann

(IKZ, Berlin) wurde das Wachstum von AlN auf SiC-Substraten in einem karburisierten Ta-Tiegel untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Polytyp des Keimes, 4H oder 6H, nur geringen Einfluss auf die Perfektion der gewachsenen Kristalle hat. Das Wachstum auf C-polaren Flächen ist jedoch deutlich gegenüber Si-polaren Oberflächen zu bevorzugen, da nur hier ein Stufenfluss nachgewiesen werden konnte.

Wie eingangs erwähnt, wurden die neuesten Entwicklungen sowie der aktuelle internationale Stand dargestellt. Auf der Suche nach einer Züchtungsmethode für GaN-Einkristalle bietet die

ammonothermale Variante eine neue Möglichkeit, um für Homoepitaxie geeignete Substrate herzustellen. Bei der Suche nach dem besten Tiegelmateriale für die Sublimationszüchtung von AlN konnten sowohl Wolfram als auch TaC ihr Potenzial nachweisen. Für Zinkoxid-Einkristalle, was immer noch an der schlechten Reproduzierbarkeit der p-Typ-Leitfähigkeit leidet, bleibt die hydrothermale Methode vorerst die erste Wahl, wobei jüngere Verfahren wie Bridgman und CVT als Alternativen an Bedeutung gewinnen.

Crystal Growth of Laser and Nonlinear Optics (Including Laser Ceramics)

C. Kränkel, Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg

Die insgesamt 60 Vorträge in der Session 6 der ICCG, darunter 19 eingeladene Vorträge, teilten sich in etwa in gleicher Gewichtung auf die beiden im Titel der Session genannten Bereiche „Laserkristalle“ und „nichtlineare Kristalle“ auf. In einer Session mit einem derart angewandten Thema war nicht zu erwarten, dass sich viele Vorträge mit der Herstellung eines völlig neuen Materials oder einer neuen Herstellungsmethode befasste. Folgerichtig ging es in etwa der Hälfte der Beiträge um die Herstellung immer größerer Kristalle von altbewährten Materialien – insbesondere YAG und anderen Granaten für Laseranwendungen bzw. KTP, KDP und andere Phosphate nichtlinearer Optik – für Anwendungen mit immer höheren Leistungen.

Ein interessanter von Y. Fei präsentierter Ansatz wird am Mercury Laser Projekt des Lawrence Livermore National Laboratory in den USA verfolgt, wo große, mit der Czochralski-Methode hergestellte $\text{YCa}_2\text{O}(\text{BO}_3)_3$ -Kristalle, die sich durch eine hohe Zerstörungsschwelle auszeichnen, als effiziente Verdopplermaterialien für die Erzeugung von grüner Laserstrahlung mit mehreren 100 W Ausgangsleistung verwendet werden.

Neben der hohen erzielbaren Effizienz zeichnen sich Yb-dotierte Laserkristalle durch ihre vergleichsweise breiten Emissionsbanden aus, die sich hervorragend für die Erzeugung ultrakurzer Pulse im sub-Picosekunden-Bereich eignen. Verschiedenen Vorträgen zufolge erweist sich hier das Standard-Material Yb:YAG als weniger geeignet zur Erzeugung sehr kurzer Pulse. Von C. Kränkel (Uni Hamburg) und M. Siebold (Forschungszentrum Dresden-Rossendorf) wurden die Sesquioxide Lu_2O_3 und Sc_2O_3 sowie CaF_2 als besser geeignete Wirtsmaterialien für das Yb-Ion gepriesen. Als problematisch für die Züchtung dieser Materialien erweist sich bei den Sesquioxiden insbesondere der sehr hohe Schmelzpunkt von mehr als 2400°C, während es bei den Fluoriden durch den Einbau des dreiwertigen Yb^{3+} auf den zweiwertigen Ca^{2+} -Platz zu verschiedenen und teilweise nicht vollständig verstandenen Gitterfehlern kommt, die für eine sehr unterschiedliche Qualität der auf dem Markt verfügbaren Kristalle sorgen. In beiden Bereichen ist eine weitere Verbesserung der Herstellungsmethoden vonnöten, um die kommerzielle Verfügbarkeit hochqualitativer Kristalle zu sichern.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Vorstellung von Kristallen, die das Spektrum der verfügbaren Wellenlängen sowohl in den kurzwelligen UV, als auch in den langwelligen mittleren infraroten Spektralbereich erweitern können. Aufgrund ihrer großen Bandlücke sind dabei laut N. Sarukura und M. Tsuboi von der Osaka Universität in Japan die Fluoride, insbesondere MgF_2 , LaF_3

und LiLuF_4 als aktive Materialien für den UV-Spektralbereich besonders attraktiv, während als nichtlineare Optiken für diesen Bereich H. Zhou (Guilin RIGMR, China) und S. Luo (Chinese Academy of Sciences, China) KBBF und RBBF ($\text{ABe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ mit $A = \text{K}$ oder Rb) hervorgehoben wurden.

Für den mittleren infraroten Spektralbereich wurden hingegen verschiedene Halbleitermaterialien vorgestellt. Sehr vielversprechend scheint hier die von P. Schunemann (BAE Systems, USA) vorgestellte Verwendung von epitaktisch hergestellten GaAs-Strukturen mit wechselnder Orientierung (OPGaAs) als nichtlineares Material zur quasi-phasenangepassten Frequenzkonversion in den Wellenlängenbereich um 3-5 μm . Für den selben Zweck, aber mit entsprechender Dotierung teilweise auch als aktive Materialien wurden in einigen Vorträgen weitere Halbleitermaterialien wie ZnGeP_2 (G. Verozubova), $\text{CdSi}_{1-x}\text{Ge}_x\text{P}_2$ (V. Atuchin, beide IMCES Tomsk, Russland), CdSiP_2 (ebenfalls P. Schunemann) sowie das bekannte AgGaSe_2 (A. Yelissev, RAS Novosibirsk, Russland) mit einem Transparenzbereich von bis zu 17 μm in den IR-Bereich vorgestellt.

Ein interessantes Konzept für die Erzeugung von sichtbarer Laseremission wurde von A. Lee (Macquarie University, Australien) vorgestellt, der durch stimulierte Ramanstreuung an BaWO_4 die 1064-nm-Emission eines Nd:GdVO₄-Lasers effizient in 1180-nm-Strahlung konvertierte, welche durch Frequenzverdopplung in LBO in nahezu 3 W gelber Laserstrahlung bei 590 nm umgewandelt werden konnte.

Zu dem ebenfalls explizit im Titel genannten interessanten Bereich der Laserkeramiken gab es leider nur sehr wenige Beiträge. In zwei eingeladenen Vorträgen von T. Taira (IMS, Japan) und V. Chani (Tohoku Univ., Japan) wurde eine kurzweilige Übersicht zum aktuellen – aber nicht neuen – Stand der Dinge gegeben: Laserkeramiken sind einkristallinen Lasermaterialien in vielen Bereichen potenziell ebenbürtig, in Bezug auf die Zerstörungsschwelle eventuell sogar überlegen und daher durch die prinzipielle Möglichkeit der Herstellung sehr großer Kristalle äußerst interessant für Hochleistungsanwendungen. In der Praxis sind effiziente keramische Laser allerdings bisher auf für kubische Materialien wie YAG oder die Sesquioxide Lu_2O_3 , Y_2O_3 und Sc_2O_3 mit einem Volumen von wenigen 100 cm^3 beschränkt. Neben den eingeladenen Vorträgen fanden sich im Programm der Session 6 nur ein weiterer Vortrag (der leider ausfiel) sowie ein Poster von H. Wang (RISC, China) zu diesem Thema, auch hier ging es in beiden Fällen um YAG-Keramiken.



Important Dates

Begin of registration November 09, 2010
 End of early registration December 15, 2010
 End of abstract submission January 15, 2011
 Notification of acceptance January 30, 2011

Organizing Committee

K.H. Küsters (Conergy, DE): *chair, program*, M. Kaminska (Uni. Warsaw, PL): *co-chair, program*, D. Siche (IKZ Berlin, DE): *co-chair, program, sponsoring*, P. Rudolph (IKZ Berlin, DE): *president DGKK, program*, E. Talik (Uni. Silesia, PL): *president PTWK*, M. Wilke (Lord Mayor Frankfurt (Oder)): *local organization*, Th. Schapke (Solarregion-bb, DE): *local organization*, St. Ganschow (IKZ Berlin, DE): *secr.*, A. Drabinska (Uni. Warsaw, PL): *secr.*, S. Bergmann (IKZ Berlin, DE): *homepage, flyer*

Advisory Board

J. Baranowski, M.R. Dudek, R. Fornari, R. Galazka, M. Heuken, M. Kittler, S. Krukowski, K. Kurzydowski, W. Löser, W. Miller, J. Misiewicz, M. Mühlberg, A. Pajczkowska, H. Richter, A. Seidl, P. Wellmann

Preliminary list of sponsors

AIXTRON, Auteam, Conergy, DGKK, FCM, GERO, IKZ, Phostec, Steremat, University of Warsaw, University of Zielona Gora

Registration fee

Until December 15, 2010: Regular 160,-€, Student 50,-€
 After December 15, 2010: Regular 190,-€, Student 70,-€
 20 Euro reduction for DGKK/PTWK members
 Please use online-registration: www.dgkk.de/GPCCG-2011/

Accommodation (recommended)

Slubice - Hotel Kaliski: www.hotelkaliski.pl
 Frankfurt (Oder) - City Park Hotel: special reduced price until January 15, 2011, www.citypark-hotel.de/contact.aspx
 Frankfurt (Oder) - RAMADA Hotel: special reduced price until February 15, 2011, www.ramada.de/hotels/hotels_index.php?hotel_code=15713

Organizers



Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V.
www.dgkk.de



Polish Society for Crystal Growth and Crystal Growth
www.ptwk.org.pl



Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
www.ikz-berlin.de



Gesellschaft zur Förderung von Wissenschaft und Wirtschaft-GFWW e.V.
www.gfww.de



Solarregion Berlin-Brandenburg
www.solarregion-berlin-brandenburg.de



Investor Center Ostbrandenburg
www.icob.de/content/de



Faculty of Physics
 University of Warsaw
www.fuw.edu.pl



Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik
www.ihp-microelectronics.com



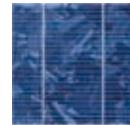
University of Zielona Gora
www.uz.zgora.pl

GPCCG 2011

German Polish Conference on Crystal Growth

in conjunction with a
Symposium on Photovoltaic Materials
 & Annual meeting of DGKK

Crystalline Materials for Advanced Applications



March 14-16, Kleist Forum Frankfurt (Oder)
 March 17-18, Collegium Polonicum Slubice

<http://www.dgkk.de/GPCCG-2011/>

3rd Announcement



Invited Speakers

Monday, 14th March

Opening ceremony

- M. Platzek (Prime Minister of State Brandenburg, DE): *Importance and strategy of renewable energy in Brandenburg*
- M. Jablonski (Marshal of Lubusz Voivodeship, PL): *Partnership in renewable energy between Lubuskie Voivodeship and Frankfurt*
- M. Wilke (Lord Mayor of Frankfurt/O): *Greetings*
- R. Bodziack (Lord Mayor of Slubice): *Greetings*
- C. Nüßlein (Investor Center Ostbrandenburg, DE): *Frankfurt/O / Eisenhüttenstadt - A region for sustainable developments in photovoltaics*
- E. Weber (Fraunhofer ISE, Freiburg, DE): *The role of material science for future photovoltaics*

International material developments

- K. Kakimoto (Kyuushu University, Fukuoka City, JP): *Steps of material science towards PV in Japan*
- K. Kurzydowski (Warsaw Technical University, PL): *Czochralski - the pioneer of crystal pulling from the melt*
- T. Surek (Surek PV Consulting, US): *State-of-art of PV materials research and production in USA*

Symposium on Photovoltaic Materials

Tuesday, 15th March

Silicon for solar cells

- B. Fischer (REC, NO): *Crystallization developments at REC*
- R. Fornari (IKZ Berlin, DE): *IKZ activities for PV*
- H. Franz (ALD Vacuum Technologies GmbH, Hanau-Berlin, DE): *Developments of mc-Si crystallizer equipments*
- St. Riepe (Fraunhofer ISE, Freiburg, DE): *Si growth for high efficiency low cost solar cells*
- P. Wawer (Q-Cells SE, DE): *Trends and development of silicon solar cells*

Advanced materials

- M. Dudek (University of Zielona Gora, PL): *C60-SWCNT gigahertz oscillator under control of magnetic nanoparticle*
- R. Kudrawiec (Wroclaw Technical University, PL): *Modulation spectroscopy of dilute nitrides and III nitrides dedicated for solar cell applications*

Thin films and nanotechnologies

- A. Bett (Fraunhofer ISE, Freiburg, DE): *Concentrator PV by tandem heterojunctions*
- M. Ch. Lux-Steiner (Helmholtz-Zentrum, Berlin, DE): *Advanced thin film technologies for cost effective PV*
- B. Rech (Helmholtz-Zentrum, Berlin, DE): *Challenges and perspectives of dilute and nanostructures for silicon based thin-film photovoltaics*
- O. Tober (Odersun AG, Frankfurt/O, DE): *CISCuT technology - a new way to innovative customized PV products*
- B. von Westerholt (First Solar Manufacturing GmbH, Frankfurt/O, DE): *CdTe-based thin film technology*

Characterization of PV materials

- M. Kittler (IHP Microelectronics, Frankfurt/O, DE): *Defect analysis in PV Si, especially dislocations*
- P. Zabierowski (Warsaw Technical University, PL): *Defect studies of CuIn,GaSe₂ Solar Cells*

Alternative PV materials

- K. Müller (BTU Cottbus, DE): *Ferroelectric layers in organic solar cells*
- W. Walukiewicz (Lawrence Berkeley Laboratory, US): *PV of third generation*

Wednesday morning, 16th March

Energy storage and inverters

- B. Burger (enquired) (Fraunhofer ISE, Freiburg, DE): *SIC-based inverters for PV*
- L. Lipinska (ITME Warsaw, PL): *Growth of materials for lithium ion batteries*
- A.U. Schmiegel (Voltwerk Electronics, Hamburg, DE): *Integrated PV system with lithium-ion batteries*

Solar manufacturing

- H.J. Möller (TU BA Freiberg, DE): *Crystal machining*
- J. Sarnecki (ITME Warsaw, PL): *Concentrators based on polymers doped with rare earths - matching to Si photovoltaics with front junctions*

Meeting of DGKK and PTWK

Wednesday afternoon, 16th March

Growth of nitrides

- R. Dwilinski (AMMONO, Nieporet-Warsaw, PL): *Ammonothermal growth of GaN bulk crystals*
- S. Porowski (IHP PAS Unipress, Warsaw, PL): *Growth of GaN crystals by HP method*

Modelling

- J. Derby (Minnesota University, US): *Future steps in modeling of crystal growth*
- S. Krukowski (IHP PAS Unipress, Warsaw, PL): *Simulation of HVPE growth of GaN*

Thursday, 17th March

Intermetallic compounds and pnictides

- DGKK price winner: *lecture of DGKK price winner*
- A. Haghghirad (Goethe-Universität, Frankfurt/M, DE): *Synthesis and Growth of Fe-based Superconductors*
- E. Talik (University of Silesia, Katowice, PL): *Growth and characterization of intermetallic compounds for magnetic refrigeration*

Etching and crystal machining

- M. Borysiewicz (Institute of Electron Technology (ITE), Warsaw, PL): *Fundamentals and practice of metal contacts to wide bandgap semiconductor devices*
- J.L. Weyher (IHP PAS Unipress, PL): *Defect sensitive etching of nitrides*

Epitaxy and nanostructures

- K. Korona (University of Warsaw, PL): *MOCVD nitrides and color detectors*
- J. Schubert (FZ Jülich, DE): *Strain effects in epitaxial perovskites films and multilayers*

Friday, 18th March

Dielectric crystals for lasers and optics

- D. Klimm (IKZ Berlin, DE): *High melting point oxides - a challenge for crystal growth*

Oxydic layers

- J. Schmidt (ISFH, Emmerthal, DE): *Physics and technology of Silicon Surface passivation using Aluminum Oxide*
- M. Skowronski (Carnegie Mellon University, US): *Oxides for memory applications*

<http://www.dgkk.de/GPCCG-2011/>

3rd Announcement



Important Dates

Begin of registration October 11, 2010
 End of applying for financial aid December 31, 2010
 End of abstract submission February 11, 2011
 Notification of poster acceptance March 11, 2011
 End of early registration April 15, 2011
 End of registration May 15, 2011

Workshop/Chairs

- R. Fornari, IKZ Berlin, DE
- D. Bliss, Air Force Research Laboratory, Hanscom AFB, US
- K. Kakimoto, Kyushu University, Fukuoka, JP

Steering Committee

- E. Bourret-Courchesne, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, US
- P. Capper, SELEX Galileo, UK
- M. Chou, National Sun Yat-Sen University, TW
- B. Depuydt, Umicore, BE
- J. Derby, University of Minnesota, US
- E. Dieguez, Auton. University Madrid, ES
- T. Duffar, SIMaP-EPM, Grenoble, FR
- R. Fornari, IKZ Berlin, DE
- V. Fratello, Integrated Photonics Inc., Hillsborough, US
- A. Gektin, Institute for Single Crystals, Kharkov, UA
- F. Kiessling, IKZ Berlin, DE
- Y. Mori, Osaka University, JP
- K. Nakajima, Tohoku University, JP
- M. Porrini, MEMC, IT
- H. Scheel, CH
- A. Seidl, Schott Solar Wafer, DE
- N. Stoddard, BP Solar, US
- R. Uecker, IKZ Berlin, DE
- Y. Wu, Beijing Center for Crystal Research & Development, CN
- E.V. Zharikov, Mendeleev University, Moscow, RU

Organizing Committee

Leibniz Institute for Crystal Growth (IKZ)
 Max-Born-Strasse 2
 12489 Berlin, Germany
 Contact: iwcg5@ikz-berlin.de
 WWW: <http://iwcg5.ikz-berlin.de>
 Fax: +49 30 6392 3003

- U. Rehse Chair, Registration, Advertisement
- S. Bergmann Website
- Ch. Frank-Rotsch Logistics, local organization
- S. Ganschow Logistics, local organization
- U. Juda Local organization
- A. Lepper Hotel information
- W. Miller Registration, Advertisement
- M. Schröder Sponsoring
- G. Wagner Sponsoring

Location

<http://www.pentahotels.com/de/berlin-koepenick/>
 Penta Hotel Berlin-Koepenick



International Organization for Crystal Growth
<http://www.iocg.org/>



Leibniz Institute for Crystal Growth (IKZ)
 Max-Born-Strasse 2
 12489 Berlin, Germany
<http://www.ikz-berlin.de>

Release date: December 13, 2010



5th International Workshop on Crystal Growth Technology

2nd Announcement



<http://iwcg5.ikz-berlin.de>

June, 26-30, 2011 · Berlin, Germany

Scope

This Workshop is the fifth of a series initiated by Hans Scheel in Beatenberg (Switzerland) in 1998 and aims at filling a gap in the conference coverage of topics, that of Crystal Growth Technology industrial crystal production and crystal machining. In essence, these workshops act as a bridge between the science and the practice, i.e. between R&D and the actual production.

IWCGT-5 is organized under the auspices of the International Organization for Crystal Growth and its programme consists of 45 min. long invited talks from international specialists. It is foreseen that the Workshop should maintain its traditional manageable size (altogether about 100 participants) to enable lots of discussions and debate including some evening sessions of a more general nature. While the oral presentation will be on invitation only, we ask all participants to present their own results in two evening poster sessions.

Topical Sessions and Coordinators

- Growth technologies for solar silicon (T. Duffar, N. Stoddard)
- Melt growth technologies for dielectric crystals for applications as piezo-devices, scintillators, NLO and lasers (A. Gektin, E. Bourret-Courchesne)
- Advances in crystal machining and wafer processing (K. Jacobs, U. Juda)
- Advances in solution growth (A. Ibanez, D. Bliss)
- Technologies for growth of bulk wide-bandgap semiconductors (J. Friedrich, Z. Sitar)
- Melt growth technologies for ultra pure and perfect semiconductors, e.g. silicon and germanium, III-V, II-VI (B. Depuydt, P. Rudolph)
- Novel crystalline materials and novel growth methods (R. I. Merino, A. Yoshikawa)

Preliminary List of Invited Speakers

- Akselrod, M., Landauer Inc., US: *Modern trends in crystal growth and new applications of sapphire*
- Arnberg, L., NTNU, NO : *State-of-the-art growth of silicon for PV applications*
- Buonassisi, T., MIT, US: *Characterisation and control of defects in solar Si*
- Chani, V., Tohoku University, JP: *Micro-pulling-down technology and its applications*
- Clark, R., BP Solar, US: *Growth of single crystal Silicon for PV applications (to be confirmed)*
- Demazeau, G., ICMCB, ENSCBP, Pessac, FR: *Hydrothermal/ Solvothermal crystal growth : an old but adaptable process*
- Flahaut, E., CEA-INES, FR: *What is a good silicon for the production of crystalline silicon based solar panel?*
- Kearns, J., MEMC, US: *Continuous CZ technology for electronic and solar silicon production*
- Kozlowski, P., ComSeCore, PL: *Chemo-mechanical polishing of semiconductor substrates for epitaxial applications*
- Kumagai, Y., TUAT Tokio, JP: *Growth of AlN on homo- and hetero-substrates by HVPE*
- Möller, H.-J., TUB Freiberg, DE: *Wafering of Si crystals- basics and technological details of the sawing process*
- Neubert, M., IKZ Berlin, DE: *Model based control of the Czochralski process*
- Orera, V., University Zaragoza, ES: *Growth of eutectic ceramic structures by directional solidification methods*
- Pawlak, D., ITME, PL: *Bottom-up approach via micro-pulling down method towards metamaterials*
- Rytz, D., FEE Idar Oberstein, DE: *State-of-the-art nonlinear optical crystals for ultraviolet applications*
- Schunemann, P., BAE Systems, US: *Non-linear optical crystals (to be confirmed)*
- Schlesser, R., HexaTech, Inc., US: *Progress in PVT growth of bulk AlN*
- Tsvetkov, V., Cree, Inc., US: *Status of SiC sublimation technology (to be confirmed)*
- Watauchi, S., Yamashita University, JP: *Crystal growth by a modified infrared heating floating zone method*
- Zaitseva, N., LLNL Berkeley, US: *Rapid solution growth of organic/inorganic crystals*
- Zharikov, E., Mendeleev University, Moscow, RU: *Recent advances in melt crystal growth technology*

Preliminary Program

(as of November 2010)

- June 26**
 14:30 Arrival & Registration
 18:30 Welcome, Address, Cocktail
 20:00 Panel discussion: Modern crystal growth equipments and use of external fields in the melt growth
- June 27**
 09:00 Melt growth technologies for ultra pure and perfect semiconductors, e.g. silicon & germanium, III-V, II-VI
 13:00 Lunch
 14:30 Advances in solution growth
 18:30 Dinner
 20:00 Poster session 1
- June 28**
 09:00 Growth technologies for solar silicon
 13:00 Lunch
 14:30 Advances in crystal machining and wafer processing
 16:30 Workshop photo
 17:00 Workshop Dinner & boat trip
- June 29**
 09:00 Crystal growth technologies for crystal fibers and metamaterials
 13:00 Lunch
 14:30 Melt growth technologies for dielectric crystals for applications as piezo-devices, scintillators, NLO & lasers
 18:30 Dinner
 20:00 Poster session 2
- June 30**
 09:00 Technologies for growth of bulk wide-bandgap semiconductors
 13:00 Lunch
 14:30 End



20 IOCG-Preise 2010

Peter Rudolph, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Seit 1998, erstmals auf der ICCG-9 in Sendai (Japan), verleiht die IOCG den Frank-Preis für hervorragende theoretische Beiträge zum Kristallwachstum sowie den Laudise-Preis für exzellente technologische Kristallzüchtungsarbeiten. Dazu setzt das IOCG-Exekutivkomitee im Dreijahresrhythmus eine Preisjury ein, die die Vorschläge einzelner Personen, Teams oder Landesvereine begutachtet und daraus in geheimer Abstimmung die Gewinner ermittelt. Die Auszeichnungen finden auf den jeweiligen Weltkongressen für Kristallwachstum statt, auf denen die Preisträger auch ihre Leistungen in Festvorträgen vorstellen (weitere Einzelheiten sind der IOCG-Homepage zu entnehmen: <http://www.iocg.org/>). Erste Preisträger waren A.A. Chernov (Frank-Preis) und J. Nishizawa (Laudise-Preis). Seither haben prominente Wachstumstheoretiker und Kristallzüchter, wie z.B. R.F. Sekerka (FP 1992), P. Bennema (FP 1995), K.A. Jackson (FP 1998), D.T.J. Hurle (FP 2001), T. Nishinaga (LP 2004) oder J.B. Mullin (LP 2007) diese Auszeichnung erhalten. Deutsche Laureaten sind bisher unser DGKK-Mitglied Georg Müller (Erlangen), der auf der ICCG-13 in Kyoto 2001 mit dem Laudise-Preis geehrt wurde und George Comsa von der Universität Bonn (FP 2004).

Seit 2004 wird der Schieber-Preis für Nachwuchswissenschaftler, die nicht älter als 40 Jahre sein dürfen, ausgeschrieben und vom Journal of Crystal Growth gefördert.



Prof. M. Glicksmann (links) empfängt die Glückwünsche des neuen IOCG-Präsidenten, Prof. R. Fornari
Foto: ICCG

Bisher erhielten diese Auszeichnung J. Goniakowski (CNRS Marseille) und V. Bermudez (Autonome Univ. Madrid).

Im Folgenden soll kurz darüber berichtet werden, wer in diesem Jahr „die Nase vorn hatte“. Für den Frank- und Laudise-Preis waren respektive 3 bzw. 4 Vorschläge eingegangen. Auf der Favoritenliste des Schieber-Preises standen drei Kandidaten.

Gewinner des Frank-Preises wurde M.E. Glicksman von der University of Florida für seine grundlegenden Arbeiten zum Dendritenwachstum. Dendriten sind wohlbekannte Kristallisationsmuster, die bereits von Johann Kepler in der Neujahrsnacht 1611 an Schneeflocken studiert wurden und heute eine hohe Bedeutung in metallurgischen Gießprozessen vieler Legierungen besitzen. Sie entstehen bei der Kristallisation aus unterkühlten Schmelzen, aber auch übersättigten Dämpfen und Lösungen, sofern relativ geringe Temperaturgradienten vorliegen. Dendritische Strukturen sind eine Form der Selbstorganisation, deren Bildung seit Ende der 70-er Jahre im Rahmen nichtlinearer Phasenumwandlungen analysiert wird. Unter irdischen Verhältnissen wird ihr Wachstum von thermischer und solutaler Konvektion beeinflusst. Deshalb untersucht Glicksman seit geraumer Zeit die Dendritenkristallisation unter nahezu diffusionskontrollierten, also μg -Bedingungen. Dazu leitete er zwischen 1994 und 1997 drei erfolgreiche Weltraumexperimente, bestehend aus hunderten Wachstumszyklen, die bis dato einen international einmaligen umfassenden Überblick über das konvektionsfreie Wachstum aus verschiedenen Unterkühlungen vermittelten. So konnte er z.B. herausfinden, dass das Skalierungsprinzip $vr^2 \approx \text{const.}$ (v - Geschwindigkeit der Dendritenspitze, r - Spitzenradius) und nahezu unabhängig von Unterkühlung, Gravitationsgrad und Materialparametern ist. Nicht zuletzt lieferten seine Beobachtungen einen wertvollen Beitrag für die Entwicklung einer realitätsnahen Phasenfeldmodellierung. Wir erinnern uns noch sehr gut an seine Vorlesung auf der Internationalen Schule für Kristallwachstum ISSCG-12 in Berlin-Schmöckwitz, erschienen in G. Müller, J.-J. Metois and P. Rudolph (eds.), *Crystal Growth - From Fundamentals to Technology* (Elsevier 2004), 115-142.

Den Laudise-Preis erhielten gemeinsam aus den USA N. Zaitseva und J. De Yoreo (beide Lawrence Berkeley Nat. Lab) und aus Russland L. Rashkovich (Moskauer Staatliche Universität), denen es gelungen war, sehr große KDP- und DKDP-Kristalle



Prof. L. Rashkovich, Dr. N. Zaitseva und Prof. J. DeYoreo (v.l.n.r.)-Laudise-Preisträger 2010
Foto: ICCG



V.V. Maltsev - Preisträger des Schieber-Preises 2010 Foto: ICCG mit Querschnitten bis zu 54 x 54 cm² bei extrem hohen Wachstumsraten bis zu 50 mm/d aus hoch übersättigten Lösungen (bis zu 35 %) in 1000-Liter-Kristallisatoren zu züchten und in die Produktion von Frequenzwandlern und Pockelszellen für die lasergesteuerte Kernfusion zu überführen. Auf Grund der sehr hohen Laserleistung müssen die dafür verwendeten Kristallkörper von einer solch großen Dimension sein. Konventionell angewendete langsame Züchtungszeiten würden für ein solches Ziel zu kostenaufwendig sein. Damit aber bei den deut-

lich erhöhten Wachstumsraten keine Fremdstoffe und Cluster eingebaut werden, die die Transmission herabsetzen würden, müssen Lösung und Übersättigung von extremer Sauberkeit und Homogenität sein, schon deshalb, um keine Fremdkeimbildung zuzulassen. Neben technologischen Tricks, wie einer konvexen Kristallaufgabe, wurde eine hohe „Überhitzung“ vor Einstellung der Wachstumstemperatur und sodann eine konstante Scherströmung des Lösungsmittels gewählt. Unter solchen Bedingungen kann ein sehr stabiles und schnelles Spiralwachstum an Schraubenversetzungen erzeugt werden. Auch hier sei für mehr Informationen auf eine Reviewarbeit von N. Zaitseva und L. Carman in Progress Crystal Growth and Characterization of Materials 43 (2001) 1-118 hingewiesen.

Den Schieber-Preis erhielt V.V. Maltsev von der Moskauer Staatlichen Universität für seine Züchtungen neuer Orthoboratkristalle für IR-Lasersysteme. Seit 2007 werden (Er,Yb):YAB- Kristalle als potenzielles Lasermaterial für eine mit Diodenlasern gepumpte Multiwattgeneration bei 980 nm diskutiert. Maltsev gelang die experimentelle Herstellung von 10x10x15 mm³ - Kristallen mittels Abkühlverfahren aus K₂Mo₃O₁₀-B₂O₃-Schmelzlösungen bei einer (Yb,Er):YAB-Startkonzentration von 17%. Besonderes Augenmerk wurde neben höchster Komponentenreinheit auf ein Vorsintern von K₂Mo₃O₁₀ aus K₂MoO₄ und H₂MoO₄ bei 650 °C gelegt. Optische Kristallqualität wurde bei Abkühlraten zwischen 0,1 und 0,3 K/d im Temperaturbereich 1060 - 1000 °C erzielt. Aus diesen Kristallen wurden Prismen für Laservermessungen und Substratscheiben für die Flüssigphasenepitaxie von (Er,Yb):YAB - Schichten gewonnen. Während die Kristalle im Spektralbereich zwischen 1520 und 1602 nm einen CW-Output von 1 W und QW-Leistungen um 625 mW aufweisen, sind die Schichten sehr attraktiv für eine passive Multimode-Oberflächenwellenleitung.

Die ICCG-16 in Zahlen

Peter Rudolph, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Registrierte Teilnehmer:	1100
	521 aus China
	579 aus 34 Ländern
Japan	213
Deutschland	54
Russland	51
USA	43
Indien	27
Frankreich	23
Südkorea	12
Ukraine	11
Polen, England	10
andere Teilnehmer aus	Algerien, Armenien, Australien, Brasilien, Belgien, Dänemark, Iran, Israel, Italy, Kanada, Malaysia, Mexiko, Niederlande, Norwegen, Österreich, Rumänien, Singapur, Slowakei, Spanien, Schweden, Schweiz, Thailand, Tschechische Republik, Türkei

Eingereichte Abstracts	1464
davon akzeptiert	1348 aus 45 Ländern
China	630
Japan	242
Indien	126
Russland	114
USA	79
Deutschland	55
Frankreich	31
Ukraine	26
England	19
Südkorea, Spanien	14
Andere	10

Anzahl Sessions	104	je 8 parallel
Einladungsvorträge	206	
Akzeptierte Vorträge	419	
Gehaltene Vorträge	558	
Akzeptierte Poster	723	
Präsentierte Poster	582	3 Sessions

22 Über gute Weiterbildungsveranstaltungen im Allgemeinen und den „IKZ Summer Course on Crystal Growth 2010“ im Speziellen

Klaus Jacobs, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)



Prof. T. Kuech im IKZ

Foto: IKZ

Aus guten Gründen gehören Aus- und Weiterbildungskurse zum normalen Leben von Beschäftigten an wissenschaftlichen Einrichtungen: Zum einen verändern sich Wissen und Verständnis, neue Erkenntnisse und immer komplexere Methoden entstehen in schneller Folge, zum anderen gibt es eine ständige Fluktuation unter den Mitarbeitern. Ein großer Teil der Forschung wird von Doktoranden und frisch promovierten jungen Wissenschaftlern geleistet, die auf dem Gebiet der Kristallzüchtung oft kaum eine spezielle Ausbildung erfahren haben. Das gilt auch für das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung in Berlin. Daher sieht es das Institut als eine wesentliche Aufgabe und Pflicht an, in jedem Jahr einen Sommerkurs zur Kristallzüchtung anzubieten. Dieser dient in erster Linie der Weiterbildung der IKZ-Mitarbeiter (auch interessierter Techniker und Studenten), er steht aber ausdrücklich auch externen Interessenten offen.

Das IKZ hat ein Format für diesen Kurs gefunden, welches ihn ganz besonders attraktiv macht und von anderen Weiterbildungsveranstaltungen deutlich abhebt: Es gibt nur einen einzigen Lektor, der eine Woche lang täglich eine Lektion von 90 Minuten Dauer hält. So haben die Kursteilnehmer am Ende fünf systematisch aufeinander abgestimmte Lektionen gehört, welche ihnen ein geschlossenes Bild über ein Teilgebiet der Kristallzüchtung vermitteln. Jeder Teilnehmer erhält die Folien des Vortragenden auch als Handout; außerdem stehen sie über die Webseite des IKZ allgemein zur Verfügung.

Warum haben wir diese Form gewählt? – Man schätzt, dass der Mensch im Allgemeinen ca. 80 % seiner Informationen visuell aufnimmt. – Welchen Sinn haben dann Vorlesungen? Wenn man an die eigene Studienzeit zurück denkt, so findet man eine Antwort: Vieles, was sich eingepreßt hat, ist unmittelbar mit der Person bzw. Persönlichkeit des Vortragenden verbunden. Die Autoren von „klassischen“ Lehrbüchern haben diese geschrieben, nachdem sie eine Vorlesung zum Thema viele Jahre gehalten haben, so dass sie das wirklich Wesentliche heraus destilliert haben. Auswahl und Inhalt des Vermittelten haben dann durchaus auch eine persönliche Färbung – dadurch sind sie besonders interessant und einprägsam. Einem erfahrenen Wissenschaftler billigt man auch berechtigt viel eher Souveränität im Weglassen und eine gewisse Subjektivität zu. – Eine wirklich gute Lehrveranstaltung, von der etwas „hängen bleibt“,

bedarf also auch eines wirklich guten, erfahrenen Lehrenden. Dem IKZ ist es gelungen, für seine bisherigen Sommerkurse jeweils hervorragende, weltweit führende Wissenschaftler als Vortragende zu gewinnen. Lektoren der bisherigen Kurse waren die Professoren Jeff Derby, Alexander Chernov, Aleksandar Ostrogorsky, Tatau Nishinaga, und im Jahre 2010 Thomas Kuech. Für jeden gilt, dass sich der Nutzen ihrer Lehrveranstaltung aus der Symbiose zwischen hervorragendem Fachwissen und Individualität der Persönlichkeit ergibt.

Wie erwähnt, war in der ersten Juni-Woche des zu Ende gehenden Jahres 2010 Professor Dr. Thomas Kuech von der University of Wisconsin in Madison (USA) der Lektor des „IKZ Summer Course on Crystal Growth“. Kuech studierte Physik und Materialwissenschaften an der Marquette University in Milwaukee und erlangte dort auch den B.S.-Abschluss in Physik (1976) und den M.S.-Grad in Materialwissenschaften (1977). Er setzte seine Studien am weltberühmten „California Institute of Technology“ fort, wo bekanntlich Wissenschaftler wie Linus Pauling und Richard Feynman (den Kuech persönlich noch gehört hat), tätig waren. Am „CalTech“ erwarb Kuech auch die akademischen M.S.- (1977) und PhD-Grade (1981) in Angewandter Physik. Sein weiterer Berufsweg führte ihn an das IBM Forschungszentrum in Yorktown Heights, NY, wo er von 1981-1990 tätig war. Dort begann seine Arbeit auf dem Gebiet der Epitaxie von III-V-Halbleitern. Im Anschluss wurde er als Professor an das College of Engineering des Department for Chemical and Biological Engineering der University of Wisconsin – Madison berufen. Kuech ist Autor bzw. Koautor von ca. 400 wissenschaftlichen Artikeln. Seit 2003 ist er Principal Editor des Journal of Crystal Growth. Neben anderen wissenschaftlichen Auszeichnungen wurde er 2010 zum Mitglied der US-amerikanischen Academy of Engineering gewählt.

Der IKZ-Sommerkurs des Jahres 2010 hatte „Thermodynamische und chemische Aspekte des Kristallwachstums“ zum Gegenstand. Mit pädagogischem Geschick und Erfahrung verstand es Tom Kuech, den Zuhörern sowohl klassische Grundlagen als auch moderne und aktuelle Entwicklungen auf diesem Gebiet nahezubringen. Seine fünf Lektionen behandelten folgende Themen:

1. Eine Auffrischung thermodynamischer Grundlagen
2. Keimbildung und Nanoobjekte
3. Lösungszüchtung
4. Chemische Gasphasenzüchtung
5. Metallorganische Gasphasenepitaxie

Damit standen im diesjährigen Kurs nicht Wachstum und Züchtung von Volumenkristallen im Mittelpunkt, sondern Probleme des Wachstums von Epitaxieschichten und von kristallinen Objekten mit Abmessungen im Nanometer-Bereich. Auf der Basis einer tiefen Kenntnis alter und neuester Originalarbeiten sowie eigener Forschungen zu diesen Themen hat Kuech souverän eine systematische Darstellung zu den genannten Themen gegeben, wobei die einzelnen Lektionen vielfältig aufeinander Bezug nahmen. Dabei wurden nicht nur klassische Darstellungen geboten, sondern auch aktuelle, neue Entwicklungen und

Erkenntnisse vermittelt. Beispielsweise sprach Kuech auch über die Besonderheiten der Keimbildung in sehr kleinen Lösungsvolumina (wo viele Vorgänge nicht mehr mit den Gesetzen der klassischen Thermodynamik zu behandeln sind), über die Epitaxie verspannter Schichten und über die komplexe Chemie der Epitaxie von Nitrid-Schichten. Diese Reihe spezieller Themen ließe sich fortsetzen. Besonders erfreulich war, dass der Lektor sowohl Neulinge als auch erfahrene Kristallzüchter ansprach. Wie erwähnt, arbeiten auch in einem Institut für Kristallzüchtung immer wieder neue Mitarbeiter ohne spezielle Ausbildung und Kenntnisse in der Kristallzüchtung.

So kann auch der Sommerkurs des Jahres 2010 wieder als eine sehr gute, auf hohem Niveau stehende Weiterbildungsveranstaltung eingeordnet werden. An den Lektor, Prof. Thomas Kuech, geht ein herzlicher Dank für seine sorgfältige Vorbereitung, seine engagierte Präsentation und die Bereitschaft, seine Vortragsfolien über die IKZ-Homepage allgemein zugänglich zu machen.

Das IKZ beabsichtigt, auch im kommenden Jahr einen Sommerkurs in der nun schon traditionellen Form auszurichten. Interessenten sollten sich die erste Juni-Hälfte dafür schon vormerken.

Perfektes Silicium für die Photovoltaik – SolarWorld Junior Einstein-Award geht ans Fraunhofer IISB

Pressemitteilung, 7. September 2010



Dr. Christian Reimann mit einer Versuchsanlage zur Kristallisation von Silicium in seinem Labor am Fraunhofer IISB Foto: Fraunhofer IISB

Der diesjährige SolarWorld Junior Einstein-Award geht an Dr. Christian Reimann vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen. Der Mineraloge entwickelte ein Verfahren zur Erhöhung der Materialqualität gerichtet erstarrter Siliciumblöcke – dem Grundmaterial für die Photovoltaik. Dadurch kann der Wirkungsgrad von Solarzellen erhöht und somit die Kosten für Solarstrom gesenkt werden.

Der SolarWorld Junior Einstein-Award wird seit 2006 an Nachwuchswissenschaftler verliehen, die in ihrer Abschlussarbeit zur Photovoltaik oder in angrenzenden Gebieten herausragende Leistungen gezeigt haben. Christian Reimann erhält den Preis für seine Dissertation „Einbau von O, N und C bei der gerichteten Erstarrung von multikristallinen Siliciumblöcken für die Photovoltaik“.

Die Erzeugung von Photovoltaikstrom erfolgt heutzutage zum Großteil mittels Siliciumsolarzellen. Für deren Fertigung werden Siliciumscheiben („Wafer“) benötigt, die eine möglichst hohe Materialqualität aufweisen, aber in der Herstellung möglichst kostengünstig sind. Einen guten Kompromiss aus diesen Anforderungen stellen multikristalline Siliciumkristalle dar, die aus der Siliciumschmelze durch das Prinzip der gerichteten Erstarrung gezüchtet werden. Die Qualität der aus den Kristallen gesägten Siliciumwafer wird in großem Maße durch die während der Kristallisation und der Abkühlung auftretenden Wärme- und Stofftransportprozesse beeinflusst.

Durch die Wechselwirkung des Siliciumrohstoffs bzw. der Si-

liciumschmelze mit dem eingesetzten Tiegelmateriale, der Tiegelbeschichtung und der umgebenden Gasatmosphäre können bei der Herstellung des Siliciumkristalls Materialfehler in Form von so genannten Ausscheidungen von Materialien wie Siliciumdioxid (SiO_2), Siliciumnitrid (Si_3N_4) und Siliciumcarbid (SiC) entstehen. Diese können sich problematisch beim anschließenden Sägeprozess auswirken, unerwünschte elektrische Aktivität zeigen sowie zur Ausbildung von Kurzschlussströmen führen und damit die Eigenschaften der Solarzellen verschlechtern. Daher ist es äußerst wichtig, den Gehalt an Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff zu reduzieren bzw. zu kontrollieren und die mit diesen Elementen verbundene Ausscheidungsbildung zu vermeiden.

Christian Reimann untersuchte dazu den Einfluss der Erstarrungsgeschwindigkeit und einer speziell entwickelten Gasspüleinheit auf die Materialqualität der Siliciumblöcke. Zudem variierte er die eingesetzten Medien und Materialien (Rohstoff, Tiegelbeschichtung, Spülgasreinheit, Material der Gasspüleinheit) und untersuchte den Einbau der Fremdstoffe und die damit verbundene Entstehung von Ausscheidungen in der Siliciumschmelze. Christian Reimann wies in seiner Arbeit nach, dass durch eine gezielt eingesetzte Gasspülung an der Oberfläche



Preisträger und Laudatoren der Einstein Awards 2010 bei der feierlichen Preisverleihung am 6. September 2010 in Valencia: Dr. Christian Reimann (SolarWorld Junior Einstein Award, Fraunhofer IISB, 2.v.l.), Ms. Ratterman (SunEnergyPower, 1.v.l.), Ms. Ratterman (SolarWorld Einstein Award, SunEnergyPower, 4.v.l.), Prof. Yunus (SolarWorld Einstein Award, Friedensnobelpreisträger, 5.v.l.), zusammen mit dem Laudatoren Herr Franz Alt (Journalist, 3.v.l.), Dr. Frank Asbeck (Vorstandsvorsitzender der Solarworld AG, 2.v.r.), Dr. Holger Neuhaus (einer der Geschäftsfüh-

24 rer der SolarWorld Innovations GmbH, rechts) Foto: Hellophoto – Alvaro Crivillés for SolarWorld

der Siliciumschmelze eine Durchmischung derselben erzielt werden kann. Dies wiederum führt dazu, dass trotz hoher Fremdstoffkonzentrationen Siliciumkristalle ohne Ausscheidungen hergestellt werden können.

„Dieses Ergebnis ist für die industrielle Kristallisation so innovativ und Erfolg versprechend, dass es zu einer Patentanmeldung geführt hat“, erklärt Prof. Dr. Georg Müller, der die Promotionsarbeit betreute. Auch habe Christian Reimann ein Simulationsmodell erstellt, mit dem die experimentell untersuchten Parametervarianten simuliert werden können und das sich beim Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen als tragfähig erwies.

In diesem Jahr durfte die Jury des SolarWorld Junior Einstein-Awards wieder zahlreiche exzellente Arbeiten aus allen Bereichen der Solarenergieforschung begutachten. „Herr Reimann wurde als Gewinner nominiert, da er in seiner Arbeit die Entstehung von Ausscheidungen sehr gut erklären kann, dies zu

der Beseitigung des für die Industrie bedeutenden Phänomens führt und er hierbei sehr systematisch vorgegangen ist. Herr Reimann ist ein herausragender Wissenschaftler im Bereich der Solarenergieforschung“, begründete die Jury ihre Entscheidung. Christian Reimann studierte an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und an der Universität zu Köln Mineralogie und arbeitet seit 2005 am Fraunhofer IISB. Der SolarWorld Junior Einstein-Award wurde ihm gestern anlässlich der „25th European Photovoltaic Solar Energy Conference“ in Valencia verliehen.

Ansprechpartner:

Dr. Jochen Friedrich
Fraunhofer IISB
Schottkystraße 10, 91058 Erlangen, Germany
Tel. +49-9131-761-269
Fax +49-9131-761-280
info@iisb.fraunhofer.de

Offenes Statusseminar des Projekts AVANTSolar – Magnetfelder in der Kristallzüchtung

Vom 9.-10. September 2010 in Potsdam-Babelsberg

Bernhard Ubbenjans, Institut für Elektroprozessentechnik, Leibniz Universität Hannover

Vom 9. bis zum 10. September 2010 fand in Potsdam am Griebnitzsee ein offenes Statusseminar des Projekts AVANTSolar statt. Die Schwerpunkte der Veranstaltung waren der Einsatz von Magnetfeldern für die Herstellung von ein- und multikristallinem PV-Silizium, Magnetfelder bei der Erstarrung von Verbindungshalbleitern, Metallen und anderen Werkstoffen und die numerische und physikalische Modellierung von Konvektions- und Kristallisationsvorgängen in Magnetfeldern. Der Workshop richtete sich sowohl an Projekt- und Kooperationspartner als auch an einschlägige Spezialisten aus Forschung und Industrie, die eingeladen waren, Vorträge über eigene Ergebnisse und Entwicklungen zu halten. So ergab sich letztendlich ein abwechslungsreiches Programm mit insgesamt 15 halbstündigen Vorträgen, wovon sechs von Mitarbeitern des AVANTSolar Projektes und neun von Spezialisten aus anderen Einrichtungen stammten.

Zu Beginn der Veranstaltung erläuterte Projektleiter und DGKK-Vorsitzende Prof. Peter Rudolph das Ziel des AVANTSolar-Projektes. Mit einem neuen Herstellungsverfahren soll Solarsilizium billiger produziert werden können. Da die Schmelz- und Kristallisationsprozesse des Siliziums allein schon etwa vierzig Prozent der Herstellungskosten einer Solarzelle ausmachen, würde eine Erhöhung der Ausbeute den Preis des kristallinen Siliziums verringern. Gemeinsam mit einem der führenden deutschen Hersteller von Silizium-Wafern für die Solarindustrie und weiteren Partnern wurde deshalb eine Blockguss-Kristallisationsanlage in industriellem Maßstab entwickelt, in der die Ausbeute an verwertbarem Silizium gesteigert werden kann. Um dies zu erreichen, werden wandernde Magnetfelder eingesetzt, damit die Verunreinigungen während der gerichteten Erstarrung auf Grund von physikalischen Gesetzmäßigkeiten dichter an den Rand des Kristalls gedrängt werden. Beim anschließenden Ausschneiden der Wafer kann somit die Ausbeute an brauchbarem Rohmaterial erhöht werden.

Die Veranstaltung war in insgesamt vier Sessions unterteilt, wobei die projekteigenen und –fremden Präsentationen gemischt wurden. Vom Projekt AVANTSolar gab es Vorträge zur numerischen Simulation von Schmelzströmung und Fremdstoffdurchmischung im wandernden Magnetfeld. Desweiteren wurde das Kornwachstum und dessen Einfluss auf das Magnetfeld untersucht. Von Frau Dr. Frank-Rotsch wurden interessante Züchtungsergebnisse von 4´´ Germaniumkristallen im Wandermagnetfeld vorgestellt. Zusätzlich wurde hier auch der Einsatz von Ultraschall als unterstützendes Element analysiert. Die projektfremden Spezialisten bestätigten mit ihren Beiträgen die richtungsweisenden Inhalte von AVANTSolar. Dr. Jochen Friedrich zeigte, wie der Kohlen- und Stickstofftransport bei der gerichteten Erstarrung von multikristallinem Silizium mittels Magnetfeld beeinflusst werden kann und präsentierte dazu auch einige Simulationsergebnisse mit der Open Source Software OpenFoam. Weitere Beiträge beleuchteten ebenfalls das Thema Wanderfeld in der Kristallzüchtung auf vielfältige Weise. Professor André Thess berichtete vom neu angelegten Graduiertenkolleg der TU Ilmenau, bei dem etwa 30 Studenten die Möglichkeit erhalten auf dem Gebiet der Elektromagnetischen Strömungsmessung zu promovieren.

Insgesamt ist das Statusseminar auf großes Interesse seitens der Teilnehmer gestoßen und bekräftigt damit die Wichtigkeit der Entwicklung von Verfahren zur Erhöhung der Ausbeute von Silizium für die Photovoltaikindustrie. Dies wird auch aus der Fördersumme des Projekts deutlich. Die Förderung beträgt 3,4 Millionen Euro und ist kofinanziert aus dem Europäischen Fond für Regionalentwicklung (EFRE). Über 2 Millionen Euro steuern die Projektpartner aus eigenen Mitteln und aus Mitteln, die sie von einem großen deutschen Wafer-Hersteller eingeworben haben, bei. Damit umfasst das Vorhaben ein Projektvolumen von deutlich mehr als 5 Millionen Euro.

DGKK-Fokus

EACG-Meeting in Berlin

Wolfram Miller, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Treffen zu „Europäischen Aktivitäten zur Kristallzüchtung“ (European Activities on Crystal Growth“ am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung in Berlin.



Die Teilnehmer vor dem Haupteingang des IKZ, wo das EACG-Treffen am 21. Oktober 2010 stattfand. Foto: Oleg Root

Im letzten Jahr gaben die europäischen Mitglieder der IOCG den Anstoß zu einer Stärkung der europäischen Kristallzüchtung. Roberto Fornari als damaliger Vize-Präsident der IOCG und Peter Rudolph als DGKK-Vorsitzender ergriffen die Initiative und erfragten die Bereitschaft der Vertreter der nationalen Organisationen bzw. Repräsentanten der Kristallzüchtung von insgesamt 25 europäischen Ländern, an einem Treffen in Berlin zu europäischen Aktivitäten im Bereich Kristallzüchtung teilzunehmen. Die Resonanz war groß, und so wurde das Treffen für den 20. und 21. April 2010 geplant. Leider verhinderte die Aschewolke des isländischen Vulkans dieses Treffen, und so fand es nun am 20. und 21. Oktober am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung in Berlin statt. Insgesamt nahmen Vertreter aus insgesamt 22 europäischen Ländern (siehe Liste unten) teil. Aus Norwegen und Irland konnte leider aus Termingründen kein Vertreter teilnehmen. Von österreichischer Seite hingegen gab es keine Reaktion auf die Einladung zum Treffen im Oktober.

Die Veranstaltung begann mit einer Abendveranstaltung am 20. Oktober, bei der Claudia Labisch aus dem Brüsseler Büro der Leibniz-Gemeinschaft eine Übersicht über die Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Gestaltung der Forschungsprogramme der EU gab. Gerade hier sind Kristallzüchtungs-relevante Themen in der letzten Zeit nur sehr spärlich vertreten gewesen - ganz im Gegensatz zur Bedeutung in der Materialforschung und -entwicklung. Das eigentliche Treffen fand dann am 21. Oktober mit 5 Tagesordnungspunkten (sie sind hier in der englischen Originalformulierung wiedergegeben) statt:

- Lobbying for Crystal Growth in EU Programs (Framework, ESF, COST, ...) Co-operation of bi- or multilateral projects on Crystal Growth and Material Science
- Forthcoming crystal growth meetings in Europe
- National CG meetings and co-ordination of bi- or multilateral CG meetings and activities
- Establishment of an European Master Course
- Presentation and discussion on the current situation of crystal growth activities in the different countries

Liste der Teilnehmer

Belgium	Prof. Francois Dupret
Bulgaria	Dr. Bogdan Rangelov
Czech Republic	Dr. Karel Nitsch
Denmark	Dr. Sune Bro Duun
Finland	Prof. Markku Sopanen
France	Prof. Thierry Duffar
Germany	Prof. Roberto Fornari
	Prof. Peter Rudolph
Great Britain	Dr. Timothy Joyce
	Prof. Kevin Roberts
Greece	Prof. Stathis Polychroniadis
Hungaria	Dr. Katalin Polgár
	Dr. Szusanna Szaller
Italia	Prof. Andrea Zappettini
Latvia	Prof. Andris Muiznieks
The Netherlands	Prof. Elias Vlieg
Poland	Prof. Ewa Talik
Portugal	Prof. Florinda Costa
Romania	Prof. Horia Alexandru
Russia	Prof. Evgeny Zharikov
Slovakia	Dr. Jozef Novak
Spain	Dr. Jaime Gomez-Morales
Sweden	Prof. Bo Monemar
Switzerland	Dr. Kazimierz Conder
	Prof. Hans Scheel
Ukraine	Dr. Vyacheslav Puzikov
	Dr. Igor Pritula
IUCr Committee	Dr. Hanna Dabkowska
Brussels Office	Claudia Labisch (only topic 1)
Secretary	Dr. Wolfram Miller
Assistent	Dr. Maike Schröder

Als Grundlage für den letzten Tagesordnungspunkt lag eine Broschüre mit den von den Teilnehmern vorher in eine Datenbank eingegebenen Informationen vor. Möglich wurde dieses durch Unterstützung durch die TSB Innovationsagentur Berlin GmbH. Als weitere Sponsoren haben die Firmen Auteam, Crystec und Steremat sowie die DGKK zur Durchführung der Veranstaltung beigetragen.

Die Situation bezüglich Kristallzüchtung und Organisation ist in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich, wie die Übersichten zeigten. Überraschenderweise wird Frankreich seine Gesellschaft „Groupe Francais de Croissance Cristalline“ (GFCC) zu diesem Jahresende auflösen, da sich die Aktivitäten auf dem Gebiet der Kristallzüchtung inzwischen auf die Organisationen CRISTECH, CRISTAL und CMDO. verteilt hätten. Dagegen plant Jozef Novak die Gründung einer Organisation in der Slowakei. In Russland wiederum sind die Kristallzüchter nicht organisiert, aber es gibt eine Kristallzüchterkonferenz, die jährlich von einem speziellen Komitee veranstaltet wird. Die aktivisten nationalen

26 Gesellschaften sind die britische BACG, die niederländische DACG, die polnische PTWK, sowie die DGKK. Die Diskussionen haben zu folgenden Empfehlungen geführt (in englisch wie im Protokoll des Treffens):

- to strengthen the Crystal Growth presence in calls and programmes of the European Union, e.g. in forthcoming FP8 call,
- to re-establish a stable and long-lasting European Conference on Crystal Growth (ECCG), i.e. next will be organised in Glasgow 2012 (ECCG-4),
- to nucleate new national societies on crystal growth,
- to create a European Network of Crystal Growth, represented by a Steering Committee and an Executive Committee
- to support presently established courses on crystal growth (in Spain, Czech Rep., Italy, etc.) and to promote a new platform for education (Master Course of Crystal Growth),
- combine ECCG with schools on crystal growth,
- to include more actively the industry in the CG Network (the coordinator Prof. Duffar will collect names and contacts of industry from all countries) and to hold a meeting in Brüssel with EU and industry representatives (organised by Prof. Duffar),
- to communicate the dates of workshops, conferences, meetings to the IOCG in order to publish them on its web-page,
- to have the next council meeting at ECCG-4 in Glasgow 2012.



Die Teilnehmer bei der intensiven Diskussion. Die Tagung führte zu regen Informationsaustausch und zur Gründung eines European Network of Crystal Growth (ENCG).
Foto: Oleg Root

Weitere Informationen sind unter www.dgkk.de/eacg zu finden. Interessierte können unter MEETING das Protokoll der Sitzung herunterladen. Bei dem Treffen wurde vereinbart, ein europäisches Netzwerk zur Kristallzüchtung (ENCG) zu etablieren. Thierry Duffar wurde zum Sekretär bestimmt. Weiterhin gehören dem Executive Komitee noch Kevin Roberts (als Ausrichter der ECCG-4) und Wolfram Miller an. Fragen, Meinungen, Vorschläge zu diesem Thema können Sie per Email an encg@dgkk.de schicken.

Aktueller Nachtrag

Dieser Tage kam die Einladung vom BV MatWerk (www.matwerk.de) zu einer konstituierenden Sitzung eines Arbeitskreises „AK Europa“ am 20. Januar 2011. Die DGKK, Vollmitglied in der Vereinigung MatWerk, wird dort durch Wolfram Miller vertreten sein. Es war somit ein glücklicher Umstand, dass im Oktober das Treffen mit so Vertretern aus so vielen europäischen Ländern stattgefunden hat und die DGKK gut gerüstet in die Konstituierungssitzung gehen kann.

Die IOCG-Wahl 2010

Christiane Frank-Rotsch, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Der IOCG-Vorstand und das Executive Committee ist für den Zeitraum 2010-2013 neu gewählt worden. Das Wahlergebnis lautet wie folgt:

Präsident	Roberto Fornari (Deutschland)
Vizepräsidenten	Thomas Kuech (USA) Elias Vlieg (Niederlande)
Sekretär	Koichi Kakimoto (Japan)
Schatzmeister	Vincent Fratello (USA)

Executive Committee Members

- Hanna Dabkowska (Canada)
- Jeff Derby (USA)
- Thierry Duffar (Frankreich)
- Juan Manuel García-Ruiz (Spanien)
- Yusuke Mori (Japan)
- Kevin Roberts (Großbritannien)
- Peter Rudolph (Deutschland)
- Alexei Voloshin (Russia)

Die DGKK gratuliert den Gewählten und wünscht ihnen viel Erfolg in der bevorstehenden Amtsperiode. Weitere Informationen erhalten Sie auch unter: http://iocg.org/about_officers.htm

DGKK-Forschung

Entwicklung der Halbleitereinkristallzüchtung in der Industrieregion Teltow-Stahnsdorf

Winfried Schröder und Marina Seifert

1. Silicium-Einkristallzüchtung-tiegelloses Zonenziehen 1961-1970 (W. Schröder)

Meine¹ Tätigkeit im Institut für Halbleitertechnik (IHT) Teltow² begann im Mai 1961, wo ich bis zum Herbst 1970 in der Siliciumentwicklung tätig war. Diese nahezu 10 Jahre waren sowohl politisch, wirtschaftlich als auch persönlich voller Umbrüche und starker Veränderungen.

Im August 1961 wurde um Westberlin eine Mauer errichtet, um jeden unkontrollierten Kontakt, insbesondere die Übersiedlung in die Bundesrepublik zu verhindern. Diese Maßnahme wirkte sich aber auch auf die wissenschaftliche Arbeit und die wirtschaftliche Entwicklung in der DDR aus.

Es wurde aber versucht, die Halbleitertechnik in der DDR intensiv weiter zu entwickeln und es setzte insbesondere im Raum Teltow/ Stahnsdorf Aufschwung ein. Das IHT bekam in Stahnsdorf neue Laborgebäude mit moderner Ausrüstung, verlor aber Ende der 60-iger Jahre seine Selbständigkeit durch die Eingliederung in das Halbleiterwerk Frankfurt/Oder (HFO). In dieser Dekade wurden auch die Kristallzüchtungsarbeiten in Teltow/Stahnsdorf beendet und zum VEB³ Spurenmetalle Freiberg/Sa. (SMF) überführt (1967-1970).

Als ich als Absolvent in das damalige Silicium- Kristalllabor kam, das von Herrn Dipl.-Phys. Erich Schöne geleitet wurde, fand ich eine gut funktionierende Arbeitsstätte vor. Die Mitarbeiter waren außerordentlich kameradschaftlich und ich fand fast jede Unterstützung durch den Laborleiter Erich Schöne und Entw.-Ing. Ernst Häßner sowie den sehr erfahrenen Labortechniker Herrn Hubertus Koch.

Nahezu gleichzeitig mit mir stieß Dipl.-Mineraloge Eberhard Wolf (Dr. Wolf) zu der Gruppe. Er hatte schon praktische Erfahrung in einem Labor der Kali-Industrie gesammelt. Später kam noch Dipl.-Phys. Heinz Vater dazu.

Neben den eigentlichen Entwicklungsarbeiten wurden routinemäßig Czochralski-Einkristalle (Silicium) für die Bauelementeversuchsproduktion durch die Labortechnikerin Christa Becker bereitgestellt.

Ernst Häßner führte Untersuchungen zur Züchtung von versetzungsfreien Siliciumkristallen nach der tiegelfreien Zonenziehetechnik durch.

Bei dieser Technik wird durch die Gewinnung eines dünnen Kristallhalses (ca. 2-3 mm) ein versetzungsfreier Impfkristall am Beginn des Züchtungsprozess erzeugt. Dies gelingt, da die thermischen Spannungen, die für die Erzeugung und für das Klettern der Versetzungen, d.h. das „Mitwandern“ während der Vorwärtsbewegung der Erstarrungsphasengrenze verantwortlich sind, sehr gering sind. Vorhandene Versetzungen bleiben quasi liegen, neue werden nicht erzeugt. Letzteres ist an Bedingungen geknüpft wie mechanische und elektrisch/elektronische Stabilität der Anlage, Reinheit des Ausgangsmaterials, etc. Diese waren damals nicht gegeben.

Diese Technik, kurz vorher von W. C. Dash veröffentlicht, galt aber lange Zeit als festkörperphysikalische und züchtungstechnische Kuriosität und wurde daher, da nur wenig aussagekräftiges Kristallmaterial zur Verfügung stand, eingestellt. Auch bestanden seitens der Bauelementeentwickler Bedenken gegen dieses Material. Die Arbeiten zu diesem Verfahren wurden dann aber später wieder sehr forciert aufgenommen und es wurde, nachdem man die Technik experimentell und technisch (Züchtungsanlagen!) beherrschte, die Grundlage für die Produktion von Si-Kristallen hoher Reinheit und struktureller Perfektion (siehe später).

Ein Hauptmangel des Ausgangsmaterials für das tiegellose Zonenziehen, die mikrokristallinen Siliciumstäbe (Roh-Stäbe) mit ca. 20-25 mm Durchmesser und 300-400 mm Länge, waren noch vorhandene Verunreinigungen. Diese Stäbe wurden nach einem chemischen Verfahren durch Abscheidung aus Trichlorsilan im VEB SMF hergestellt.

Insbesondere die Konzentration des Donators Phosphors war um Größenordnungen zu hoch, um daraus Einkristalle für die vorgesehenen Bauelemente herzustellen. Andere Verunreinigungen mussten ebenfalls verringert werden.

Es war daher nötig, eine Technologie zur Hochreinigung des mikrokristallinen Siliciums vor der Einkristallzüchtung zu entwickeln. Diese Aufgabe wurde mir übertragen.

Die Si-Stäbe wurden dazu zahlreichen, bis zu 25 Zonenzügen im Hochvakuum unterworfen, um sowohl eine Verunreinigung durch ein Schutzgas zu verhindern, mehr aber, um Verunreinigungen mit hohem Dampfdruck, wie z.B. Phosphor, durch Abdampfen erheblich zu vermindern. Dabei wurden auch Elemente, die nicht abdampfen, aber segregieren (Verteilungskoeffizient < 1), an das zu verwerfende Stabende transportiert.

Ziel war, ein niedrig kompensiertes Material (Verhältnis Akzeptoren/Donatoren < 1) zu erhalten, da die Siliciumkristalle für ihre Anwendung (Thyristoren, Hochleistungsdioden) eine bestimmte enge homogene Widerstandstoleranz auch nach der im Einkristallzüchtungsprozess durch Gasphasendotierung erfolgten Widerstandseinstellung haben mussten.

Die Gasphasendotierung wurde von E. Wolf durch gesteuerte Beimischung von Phosphin (PH₃) in den Schutzgasstrom (Wasserstoff, später Argon) vorgenommen. Anfangs wurde das erforderliche Phosphin im Labor selbst hergestellt und mit Reinstargon verdünnt, später wurden definierte Phosphin – Argon – Gemische importiert. Die Dotierungs- und die Hochreinigungstechnologie wurden Bestandteil der Einkristallproduktion im Betriebsteil „Lohse“ des IHT in Teltow. Während die Hochreinigungstechnologie durch Verbesserung des mikrokristallinen Siliciums später nicht mehr nötig war, wurde die Dotierungstechnologie in unterschiedlichen Varianten bis in die 90er Jahre im VEB SMF bzw. den Nachfolgeeinrichtungen genutzt.

Die für die experimentelle Durchführung der Arbeiten genutzten Anlagen waren einfache Laboranlagen, die sich für einen Dauerbetrieb, der notwendig war, wenig eigneten. Sie hatten einen

¹ Prof. Dr. habil Winfried Schröder war der erste Direktor des Institut für Kristallzüchtung (IKZ) in Berlin.

² Bezirk Potsdam, Brandenburg, DDR

³ Volkseigener Betrieb

28 Rezipienten aus Quarz, die Antriebe und der Hochfrequenzgenerator waren nicht stabilisiert. Der sichere Hochvakuumbetrieb war stets gefährdet.

Grundlage der Anlagen war eine Konzeption, die E. Schöne und E. Häßner entworfen hatten. Das Prinzip, das noch heute genutzt wird, ist eine Innenheizung, d.h. der feststehende Hochfrequenzinduktor umgibt unmittelbar die Schmelze.

Sehr früh wurde auch das Problem erkannt, dass sich mit der vorhandenen Züchtungsanordnung (Verhältnis Spulen- zum Stabdurchmesser > 1) aus Stabilitätsgründen keine Kristalle mit Durchmessern größer 28 mm züchten ließen.

Die von H. Vater durchgeführten Versuche zur Anwendung von Stützfrequenzen (ca. 8 kHz), um Stabdurchmesser größer 24 mm stabil zu schmelzen, wurden ohne Erfolg beendet. Ein Ergebnis, das in der Folgezeit auch in der Fachliteratur bestätigt wurde.

Das Problem wurde später durch die Entwicklung der Nadelöhrtechnik gelöst. Hier wird die Schmelze durch eine enge Spule geleitet. Durchmesser bis 200 mm sind heute möglich.

1962 erfolgte der Umzug in einen neuen Gebäudekomplex in Stahnsdorf. Dies war ein großer Fortschritt in der Verbesserung der Arbeitsmöglichkeiten: optimale Arbeits- und Büroräume und auch neue Kristallzüchtungsanlagen vom VEB Sondermaschinenbau Dresden, die wesentlich zuverlässiger waren.

Etwa zeitgleich war ein Bereich Halbleitermetallurgie unter der Leitung von Dr. H.-F. Hadamovsky gegründet worden, in dem alle werkstoffkundlichen Arbeiten konzentriert wurden. Die Mitarbeiterzusammensetzung änderte sich bei dieser Umstrukturierung erheblich.

E. Schöne und E. Häßner wechselten zur Epitaxietechnik, d.h., E. Häßner erst, nachdem es ihm gelungen war, durch die Entwicklung einer neuartigen Animpftechnik Keim/Ausgangsstab zu Beginn des Schmelzprozess die Qualität der nach dem tiegelfreien Zonenziehen hergestellten Silicium-Kristalle entscheidend zu verbessern.

Die Leitung der Arbeitsgruppe Silicium-Kristallzüchtung übernahm Dipl.-Phys. Siegfried Hutschenreuther.

Neu in die Gruppe kamen Ing. Manfred Mehlberg, Ing. Helmut Heckert, Dipl.-Ing. Hans-Joachim Schilling, Dipl.-Phys. Horst Falk, Dipl.-Phys. Rudolf Anders. Die Arbeiten zur Hochreinigung wurden anfänglich fortgesetzt, fanden aber ca. 1967 ihren Abschluss. Umfangreiche Teile der Ergebnisse wurden in der Habilitationsschrift des Bereichsleiters Dr. Hadamovsky (1967) zum „Abreicherungsverhalten von Elementen mit sehr kleinem Verteilungskoeffizienten (Metalle) beim tiegelfreien Zonenziehen von Silicium“ publiziert.

Die Arbeit wurde mittels radioaktiver Substanzen in enger Zusammenarbeit mit dem Radioanalytischen Labor des VEB WF Berlin durchgeführt.

Das Hauptproblem der Züchtung zonengezogener Siliciumkristalle für die Bauelementeentwicklung und Produktion wurde aber die Bereitstellung von Kristallen ohne größere Strukturfehler wie hohe Versetzungsdichten, Versetzungsbündelungen und Kleinwinkelkorngrenzen bei ständig vergrößerten Kristalldurchmessern.

Mit dem etablierten Züchtungsverfahren war dies offensichtlich nicht zu lösen.

Die komplizierten thermischen Verhältnisse des Verfahrens mit seinen steilen Temperaturgradienten in der Schmelze und im

erstarrten Kristall führten zu hohen Versetzungsdichten und anderen Bauelementen, die zu Ausfällen im Bauelement führten. Es war erkennbar, dass sich diese Problematik bei einer Durchmessererweiterung noch wesentlich verstärkt.

Auch die Arbeiten von R. Anders und H. Falk (1963-1967) zur Verminderung der thermischen Spannungen im wachsenden Kristall mittels unterschiedlicher Nachheizer brachten nicht die erwünschten Erfolge.

Einen deutlichen Fortschritt brachte das von M. Mehlberg entwickelte Stauchverfahren, bei dem der obere Ausgangsstab schneller abgeschmolzen wird, als die Erstarrung am unteren Einkristall erfolgt. Die thermischen Bedingungen im erstarrten Kristall verbesserten sich dadurch, und es konnten Kristalle bis zu 28 mm Durchmesser (aus 22 mm Stäben) mit für die Bauelementeproduktion akzeptabler Bauelementerdichte hergestellt werden. Diese Technologie hatte eine relativ große Bedeutung, da lange Zeit nur Ausgangsstäbe mit so geringem Durchmesser vorlagen. Auf dieser Basis wurden Kristalle mit 28 mm Durchmesser längere Zeit produktionsmäßig in Teltow/Stahnsdorf für Gleichrichter und Thyristoren hergestellt.

Weitere Verbesserungen brachten die Untersuchungen von R. Anders und H. Falk zur Anwendung einer Vorheizung mit einer Zusatzspule. Die obere Phasengrenze wurde eingeebnet, und in Verbindung mit einer geeigneten Kristallisationsgeschwindigkeit konnten Einkristalle bis ca. 30 mm Kristalle aus Stäben mit etwa gleichem Durchmesser mit deutlich verbesserter Kristallstruktur gezüchtet werden. Diese Technik wurde auch im VEB SMF eingeführt.

Bei diesem Kristalldurchmesser war aber offensichtlich eine Grenze dieser Techniken erreicht. Größere Durchmesser waren nicht möglich.

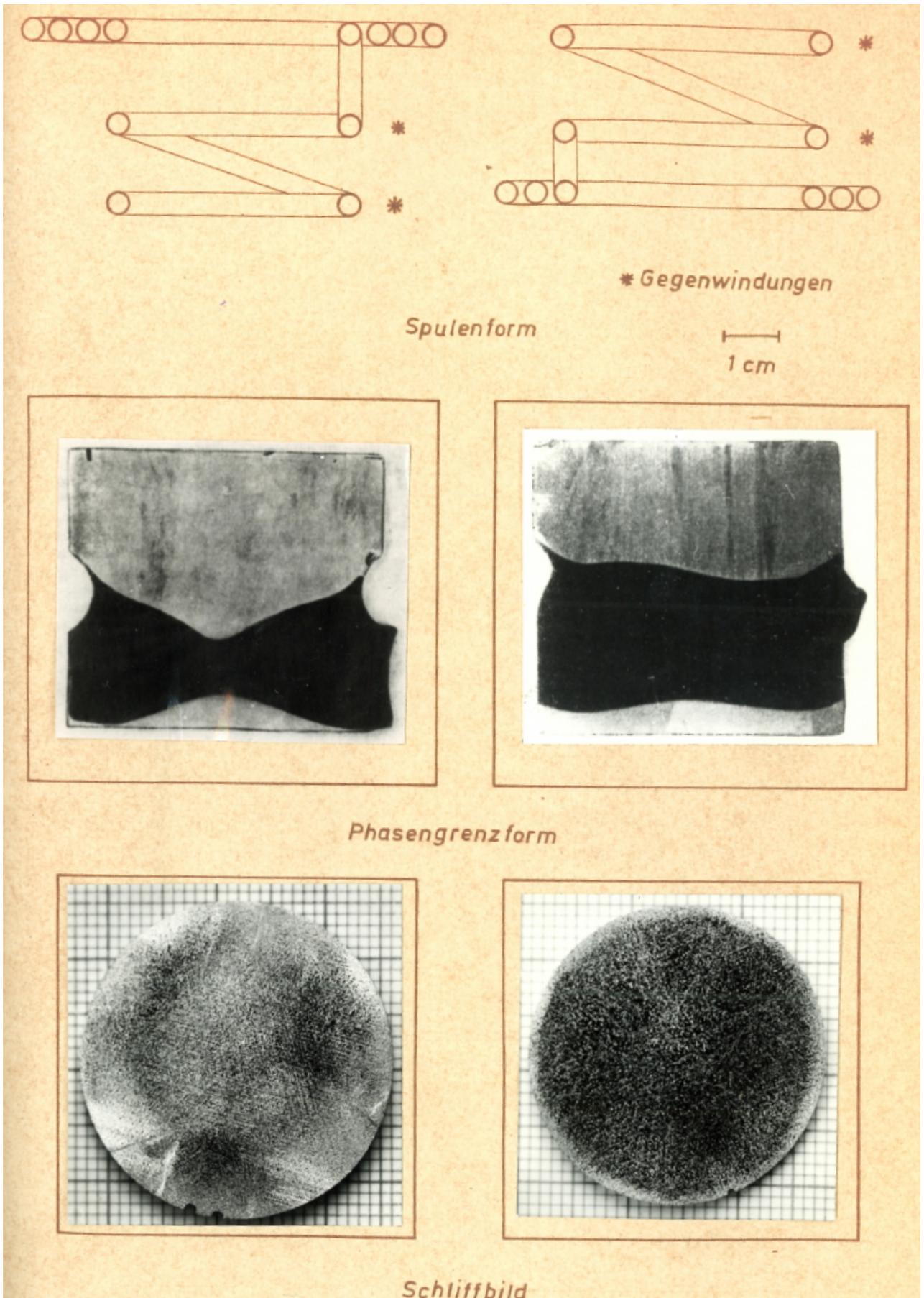
Da sich in der Literatur Hinweise verdichteten, dass die Anwendung der Dünnsziehtechnik nach Dash für die Kristalle mit hoher struktureller Perfektion eine Bedeutung haben könnte, wurden diese Arbeiten wieder aufgenommen (Leitung W. Schröder).

Die Grundlage der Untersuchungen war der Umstand, dass zur Erzeugung von Versetzungen in einer versetzungsfreien Matrix relativ hohe Energien im Verhältnis zu einer Versetzungsmultiplikation notwendig sind.

Versetzungsfreiheit kann man im Dünnhals beim Züchtungsprozess erzielen. Vermeidet man danach äußere Versetzungsquellen wie Schmutz auf der Schmelze, Erschütterungen der Schmelze durch Instabilitäten im mechanischen Antrieb und durch den Hochfrequenzgenerator, sollte es möglich sein, größere oder sogar große Kristalle zu erhalten. Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die Anwendung einer Induktorgeometrie, die ein relativ homogenes Hochfrequenzfeld erzeugt.

1968/1969 gelang die Züchtung erster Kristalle mit ca. 15 mm Durchmesser und ca. 250 mm Länge. Damit war der vielleicht grundlegende Beweis geführt, dass sich wahrscheinlich eine Züchtungstechnologie auf dieser Grundlage entwickeln lässt. Diese Arbeiten wurden 1969 abgeschlossen. Ich konnte noch meine Dissertationsschrift beenden, verließ 1970 das Werk und begann eine Arbeit mit den gleichen Arbeitszielen an neu zu entwickelnden Anlagen an einer Einrichtung der AdW⁴ der DDR, promovierte im Januar 1971 an der Bergakademie Freiberg/Sa. mit der Arbeit, die ich im HFO angefertigt hatte.

⁴Akademie der Wissenschaften



Kristallcharakterisierung um 1970: „Abhängigkeit der Kristallisationsphasengrenze von der Versetzungsdichte und der Spulenform“. Aus: W. Schröder, Dissertation 1971, Bergakademie Freiberg

30 Kurze Zeit später stießen noch die Herren H.-J. Schilling und E. Wolf zu der Arbeitsgruppe in Berlin, beide promovierten anschließend. Die Silicium-Züchtungsarbeiten wurden nicht nur bis 1990 erfolgreich fortgesetzt, sondern sie wurden auch in dem neu gegründeten „Leibniz-Institut für Kristallzüchtung“ der Bundesrepublik mit einem vergrößerten Arbeitsspektrum weitergeführt. Hier fand zumindest eine Teltow/Stahnsdorfer Legende ihre erfolgreiche Weiterführung.

2. Verbindungshalbleiter 1960-1990 (Marina Seifert)

Parallel zu den Siliciumarbeiten wurden im IHT Untersuchungen zur Züchtung der III-V-Verbindungen GaAs, GaP, InP, InSb und InAs durchgeführt.

Dies waren Syntheseverfahren, speziell für GaAs und InP, und Züchtungsuntersuchungen nach dem Gradient-Freezing- und Zonenschmelzverfahren. Das GaAs-Synthese-Verfahren und die GaAs-Czochralski-(Cz)-Einkristallzüchtung wurden, wie später auch andere Techniken, zum VEB Spurenmetalle Freiberg/Sa. überführt.

Die Synthese und Einkristallzüchtung von GaAs erfolgte in geschlossenen Quarzampullen durch gerichtetes Erstarren (Zonenschmelzen, Bridgman-Verfahren) auf selbstgebauten Anlagen. Durch Umbau von Silicium-Züchtungsanlagen konnte auf das Cz- Liquid-Encapsulation-Verfahren umgestellt werden, wodurch die erreichbare Kristallgröße auf ein Vielfaches stieg.

Die theoretischen und experimentellen Grundlagen des tiegelfreien Zonenziehen und der LEC- Czochralski-Technik von GaAs

wurden erarbeitet.

Beim Czochralski-Verfahren wurde eine Verringerung der Versetzungsdichte durch Variation der Heizerkonstruktion und Heizblendenabdeckung erreicht. Die Durchmesserkonstanz gelang durch eine Wägetechnik.

Die Boroxidabdeckerschmelzen wurden labormäßig hergestellt. Der Kristalldurchmesser konnte erheblich vergrößert werden, so dass der Einsatz in der Bauelementefertigung möglich war. Von Bedeutung war auch die Entwicklung eines Kontrollverfahrens zur Analyse der Einflussfaktoren auf die Kristallqualität und die Ausbeute.

Für die später im VEB Berliner Werk für Fernsehelektronik (WFB) produzierten Infrarotdioden, Lumineszenzdioden und Laser wurden die entsprechenden Dotierungsverfahren (Te, Sn, bzw. Si) entwickelt und Einkristalle produziert. Bauelemente wie Optokoppler, Gunn-Elemente und UHF-Dioden wurden mit diesem Material im WFB in Versuchschargen hergestellt.

Aus den in erheblichen Mengen gezüchteten GaP-Kristallen (auf russischen bzw. englischen Anlagen) wurden ebenfalls im WFB Bauelemente produziert.

Verantwortlich für diese Kristallzüchtungsarbeiten waren u.a. Dr. Helmut Weiß und Dipl.-Met. Marina Seifert.

Frau Seifert übernahm 1992 den Aufbau der Arbeitsgruppe Verbindungshalbleiter im Institut für Kristallzüchtung und stand diesem Labor bis zu ihrem altersbedingten Ausscheiden 1997 vor.

Material-Technologie & Kristalle für Forschung, Entwicklung und Produktion

- ▲ Kristallzüchtungen von Metallen, Legierungen und Oxiden
- ▲ Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)
- ▲ Reinstmaterialien (99,9 – 99,99999 %)
- ▲ Substrate (SrTiO₃, MgO, YSZ, ZnO, Al₂O₃, etc.)
- ▲ Wafer (Si, Ge, ZnTe, GaAs und andere HL)
- ▲ Sputtertargets
- ▲ Optische Materialien (Fenster, Linsen, etc.)
- ▲ Auftragsforschung für Werkstoffe und Kristalle



MaTeck

Im Langenbroich 20
52428 Jülich

Tel.: 02461/9352-0

Fax: 02461/9352-11

eMail: info@mateck.de

Besuchen Sie uns im Internet (inkl. Online-Katalog):
www.mateck.de

Bericht über das Symposium „Triple Lines in Metals and Ceramics“

Wolfram Miller, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Vom 25.-28. Mai fand ein von Jean-Marc Chaix und Mitarbeitern organisiertes Symposium zu Ehren von Nicolas Eustathopoulos mit dem Titel „Triple lines in metals and ceramics“ statt. Benetzung von Oberflächen (also Tripellinien zwischen fester, flüssiger und gasförmiger Phase), das Forschungsgebiet von Nicolas, war ein Thema auf dem Symposium, aber es gibt natürlich auch andere Kombinationen, wie z.B. Tripellinien zwischen drei festen Phasen wie in polykristallinem Material. 24 eingeladene und 8 eingereichte Vorträge deckten die unterschiedlichen Gebiete von Tripellinien ab. Das Ganze fand in der abseits gelegenen École de Physique Les Houches in der Nähe von Chamonix in den französischen Alpen statt. Die École wurde 1951 gegründet und bietet seitdem eine ideale Atmosphäre für Schulen und Workshops.



Die Teilnehmer des Symposiums vor der Bergkulisse. Foto: Prof. A. Mortensen.

Ein aktuelles Forschungsthema bei Tripellinien im Festkörper, also einer Grenzlinie zwischen drei Körnern, ist, inwieweit Tripellinien eigene physikalische Eigenschaften haben und nicht nur das Zusammentreffen von zwei Grenzflächen sind. Aktuelle Experimente in der Gruppe von Prof. Gottstein in Aachen lassen sich nur erklären, wenn man den Tripellinien einen eigenen kinetischen Koeffizienten zuordnet (Gottstein & Shvindlerman, *Acta Mater.* 50 (2002), 703). In dieser Gruppe wurde auch eine Messung zur Linienenergie der Tripellinie erdacht und durchgeführt. Dazu wurde ein geeignetes Gebiet mit drei Körnern auf einem Kupferblock ausgewählt und glatt poliert. Anschließend wurde das Sample auf über 1000°C erhitzt, damit sich die Gleichgewichtswinkel gemäß der Oberflächenenergien einstellen. Diese Winkel sind mit AFM vermessen worden, woraus sich eine Energie von $\gamma_l = (6.0 \pm 3.0 \times 10^{-9} \text{ J/m})$ ergab (Zhao *et al.* *Acta Mater.* 58 (2010), 5646). Auf jeden Fall besteht hier noch weitergehender Forschungsbedarf, um die experimentell beobachteten Kornveränderungen besser verstehen zu können. Dieses gilt aber hauptsächlich für metallische Materialien und weniger für Halbleiter-Materialien. Aufgrund der starken Anisotropie der Grenzflächenenergien ist die Mobilität von Korngrenzen bei letzteren sehr gering. Hier ist es eher die Facettierung und Unterkühlung an der flüssig-fest Phasengrenze, die in ihren Einzelheiten noch nicht verstanden ist. Im Zusammenhang mit multi-kristallinem Silicium für die Solarindustrie sind diese Fragestellungen von großem Interesse, und Thierry Duffar stellte ein Modell für die Zwillingbildung an Facetten vor (*Sripta Mater* 62 (2010), 955). Er betrachtete die Energie für die Nukleation von zweidimensionalen Keimen auf {111}-Flächen, einmal regulär und einmal verzwilligt. Im Normalfall ist die Wahrscheinlich-

keit zu gering, um die beobachtete Anzahl von Zwillingen in erstarrten Silicium-Blöcken erklären zu können. Bei einem Winkel von 132° zwischen der {111}-Fläche und der Korngrenze kann sich dort ein Keim mit einer {111}-Seitenfläche bilden, so dass die Oberflächenenergie des Keimes kleiner ist (eingesetzte Werte sind $\sigma_{SL}^{111} = 0.257 \text{ Jm}^{-2} < \sigma_{SL} = 0.273 \text{ Jm}^{-2}$). Mit diesem Ansatz ergibt sich statistisch etwa ein Zwillingskeim alle 3 cm, was den experimentellen Beobachtungen im wesentlichen entspricht.

Natürlich gab es auch zum Thema der Benetzung interessante Vorträge. Die Methode, einen Tropfen der betrachteten Flüssigkeit auf das entsprechende Substrat hinabfallen zu lassen und die Ausbreitung des Tropfens mit einer Hochgeschwindigkeitskamera zu verfolgen, ist inzwischen ein Standard geworden. Ein Gleichgewichtszustand, d.h. der Gleichgewichtswinkel zwischen der Festkörperoberfläche und der Flüssigkeit stellt sich dabei im Millisekundenbereich ein. Wird das Substrat angelöst, dauert der Vorgang länger und wenn Reaktionen stattfinden, kann sich der Winkel über sehr lange Zeit ändern. Auch hier gab es ein Beispiel aus der Welt der Blockerstarung von Silicium. Die Gruppe von Nicolas Eustathopoulos hat verschiedene Experimente zur Benetzung von Graphit und Si_3N_4 beschichteten Tiegeln durchgeführt. In beiden Fällen zeigte sich eine Änderung des Kontaktwinkels über sehr lange Zeit (mehrere Minuten), was auf eine Oberflächenreaktion zurückzuführen ist. Graphit wird von Silicium nicht benetzt (Kontaktwinkel $> 90^\circ$). Erst wenn eine Oberflächenreaktion von Si und C zu SiC stattgefunden hat, wird die Oberfläche von Si benetzt. Dann kann Si in die Poren vom Graphit eindringen und das Material infiltrieren (Eustathopoulos *et al.* *Scripta Mater.* 62 (2010), 966). Komplizierter sind die Verhältnisse bei Si_3N_4 -beschichteten Quarztiegeln. Die Si_3N_4 -Schicht oxidiert während des Sinteringsprozesses. Im einzelnen wurde dieses von Brynjulfsen *et al.* untersucht (*J. Crystal Growth* 312 (2010), 2404).

Noch nicht eindeutig beantwortet ist die Frage, welche Reaktion abläuft $\text{Si}_3\text{N}_4 + 3\text{O}_2 \rightarrow 3\text{SiO}_2 + 2\text{N}_2$ oder $\text{Si}_3\text{N}_4 + 3/4\text{O}_2 \rightarrow 3\text{Si}_2\text{N}_2\text{O} + 1/2\text{N}_2$. In jedem Fall ist die beim Sinteringsprozess entstandene Schicht durch Si nicht benetzbar. Durch Reaktion mit dem flüssigen Silicium wird die



Nicolas Eustathopoulos bei seinem Vortrag „Yes“ bezieht sich auf die Frage, ob Tripellinien für die Infiltration relevant sind. Foto: Prof. A. Mortensen.

32 Oxidschicht abgebaut und die Oberfläche wird benetzt (Drevet *et al.*, Solar Energy & Solar Cells 94 (2010), 425). Die Infiltration in die Si_3N_4 -Beschichtung ist wesentlich langsamer als diejenige in Graphit.

Zum Abschluss gab es eine Diskussion zu den aktuellen Fragen. Dabei wurden folgende Punkte zusammengetragen:

- Existenz, Bestimmung durch Experimente und Simulation.
- Tripellinien in Phasenfeld-Simulationen.

- Adsorption an Tripellinien: Messungen, Charakteristika.
- Welche sind die bestimmenden Kräfte (van-der-Waals, chemische Wechselwirkung, Spiegelkräfte, ...).
- Spannungsfeld um die Tripellinien, insbesondere wenn sie facettiert sind.

Ein Großteil der Beiträge ist im Heft 62 von Scripta Materialia (Juni 2010) erschienen.

DGKK-Nachwuchs

Abgeschlossene Promotionen an der LMU München

Peter Gille, Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München

Birgitta Bauer: „Einkristallzüchtung und Charakterisierung Al-reicher komplexer metallischer Phasen in Al-Cr-Fe und benachbarten Systemen“

Mit der erfolgreichen Verteidigung am 25. Juni 2010 wurde an der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München die Promotion von Frau Dipl.-Min. Birgitta Bauer abgeschlossen. Birgitta Bauer hat die Dissertation in der Kristallzüchtungsgruppe des Departments für Geo- und Umweltwissenschaften, Sektion Kristallographie angefertigt. Die Arbeiten waren eingebettet in eine mehrjährige Kooperation mit zahlreichen europäischen Partnern innerhalb des Network of Excellence Complex Metallic Alloys.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zu Phasendiagrammen und Kristallisationsbedingungen konzentrierten sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Systeme Al-Cr-Fe, Al-Cr-Ni und Al-Fe-Ni. Der für die Züchtung relevante Al-reiche Teil der ternären Phasendiagramme wurde studiert und die Einkristallzüchtung nach der Czochralski-Methode erreicht. Es wurden die Al-reichen Phasen Al_4Cr , $\text{Al}_4(\text{Cr,Fe})$, $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Cr})_4$, $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ und $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Ni})_4$ gezüchtet und charakterisiert. Die Al-reichen Phasen im System Al-Cr-Ni wurden im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht.

Die Kristallzüchtung der Cr-haltigen Phasen erwies sich als wesentlich schwieriger, als nach Erfahrungen mit vergleichbaren Systemen erwartet werden konnte. Die sehr große Sauerstoffaffinität dieser Materialien bereitete in den verschiedenen Stadien der Synthese und Kristallzüchtung große Probleme. Alle eingesetzten Materialien wie Keimkristall und synthetisierte Quellen, waren zu Beginn mit einem stabilen Oxidfilm überzogen, der unter in-situ Bedingungen beseitigt werden musste. Dafür wurden Präparationsvorschriften erarbeitet, deren Anwendung schließlich die Czochralski-Züchtung großer Einkristalle der Cr-haltigen Phasen erlaubte.

Durch die systematische Variation des Cr/Fe-Verhältnisses in der Zusammensetzung der Ausgangsschmelzen und die Untersuchung der jeweils mit der flüssigen Phase im Gleichgewicht stehenden festen Phasen bezüglich Zusammensetzung und Struktur war es möglich, den Al-reichen Teil des aus der Literatur [Palm] bekannten isothermen Schnitts des Phasendiagramms Al-Cr-Fe zu modifizieren. So zerfällt das Existenzgebiet der Phase $\text{Al}_4(\text{Cr,Fe})$, welche nach Palm eine ternäre Erweiterung der binären Phase Al_4Cr ist, in vier Gebiete strukturell unterschiedlicher Phasen. Die binäre Phase Al_4Cr kristallisiert in der hexagonalen Raumgruppe $P6_3/mmc$ und kann maximal 1 at.%

Fe in der Struktur lösen ($\mu\text{-Al}_4(\text{Cr,Fe})$). Fe-reichere Legierungen kristallisieren dagegen in der Raumgruppe $Cmcm$ (2 at.% Fe) bzw. $Immm$ (ab 3 at.% Fe) und werden als ϵ - bzw. $o\text{-Al}_4(\text{Cr,Fe})$ bezeichnet. Die Struktur der Kristalle nahe der maximalen Fe-Löslichkeit von ca. 7 at.% wurde im Rahmen dieser Arbeit in der Raumgruppe $\bar{R}3$ mit $a = 17.7228(3)$ Å und $c = 80.681(2)$ Å gelöst und wird als $H\text{-Al}_4(\text{Cr,Fe})$ -Phase bezeichnet. Es wurden insgesamt 83 unabhängige Atompositionen (63 Al und 20 Cr bzw. Fe) gefunden. Die Elementarzelle beinhaltet im Mittel 1.388,84 Atome. Bei der Verfeinerung wurde nicht zwischen Fe und Cr unterschieden, da es sich um ein Röntgeneinkristallbeugungsexperiment handelte. Die Struktur zeichnet sich durch eine Stapelfolge ebener und gewellter Schichten entlang \bar{C} aus. Innerhalb der ebenen Schichten zeigen sich typische Strukturelemente, wie sie auch in anderen intermetallischen Phasen, wie z.B. Al_4Mn oder $o\text{-Al}_4(\text{Cr,Fe})$ zu finden sind.

Die Struktur der binären Phase $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ und ihrer ternären Erweiterungen $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Cr})_4$ und $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Ni})_4$ wird in der Literatur als monoklin ($C2/m$) beschrieben, was die Röntgenbeugungsexperimente bestätigten. Die im System Al-Cr-Ni gezüchteten Kristalle sind abhängig von ihrem jeweiligen Ni-Gehalt isostrukturell zu den entsprechenden Phasen im System Al-Cr-Fe.

In der binären Phase $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ und ihren ternären Erweiterungen $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Cr})_4$ und $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Ni})_4$ zeigten sich im letzten Drittel der nach dem Czochralski-Verfahren gezüchteten Kristalle Lösungsmiteinschlüsse, die auch durch eine Reduzierung der Wachstumsgeschwindigkeit von 0,1 mm/h auf 0,05 mm/h nicht verhindert werden konnten. Dies ist auf die vergleichsweise schlechte Löslichkeit von $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ in der Al-reichen Lösung bei $T \approx 1000^\circ\text{C}$ zurückzuführen. Bei der Züchtung reicht der Materialtransport nicht aus, um das vor der Phasengrenze angereicherte Aluminium abzutransportieren. Der Züchtungsbeginn bei höheren Temperaturen ist zur Lösung dieses Problems ein vielversprechender Ansatz, wie bei der Züchtung der binären Phase $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ bereits gezeigt werden konnte.

An den Kristallen der Al-reichen Phasen im System Al-Cr-Fe auftretende Facetten am Kristallmantel, die bereits zu Beginn der Züchtung ein Urteil erlauben, ob der Kristall einkristallin wächst oder nicht, konnten mit Hilfe eines Reflexionsgoniometers vermessen und indiziert werden. Die Deutlichkeit der Facettenbildung und ihre Orientierung hängen von der Ziehrichtung

ab. Da sich bei der Züchtung aus einer Al-reichen Lösung im Verlauf der Züchtung die Liquidustemperatur ständig verringert, kann die ausgeprägte Facettierung am Ende eines Kristalls der Phase $\text{Al}_{13}(\text{Fe},\text{Cr})_4$ auf einen Übergang von atomar rauem in atomar glattes Wachstum zurückgeführt werden.

Die Kristalle der Phase $\text{o-Al}_4(\text{Cr},\text{Fe})$ zeigten trotz der sehr geringen Ziehgeschwindigkeiten im Bereich von 0,05 mm/h bis 0,15 mm/h und einem annähernd rotationssymmetrischen Temperaturprofil eine ausgeprägte Wachstumsanisotropie, die sich in deutlich ovalen Querschnitten bemerkbar machte. Diese Wachstumsanisotropie zeigte sich auch bereits bei der Züchtung dekadonaler Quasikristalle im System Al-Co-Ni, welche parallel der quasiperiodischen Richtungen auf ein kinetisch gehemmtes Wachstum zurückgeführt wurde. Die Frage, ob die Quasiperiodizität, d.h. die fehlende Periodizität oder die lokale Atomanordnung für das langsamere Wachstum parallel der quasiperiodischen Richtungen verantwortlich ist, blieb zunächst offen. $\text{o-Al}_4(\text{Cr},\text{Fe})$ wird auch als Approximant des dekadonalen Quasikristalls im gleichen System bezeichnet. Die Struktur dieser Phase zeichnet sich entlang \vec{a} durch eine Stapelfolge von gewellten und ebenen Schichten aus. Die gleiche Stapelfolge findet sich in der periodischen Richtung in dekadonalen Quasikristallen. Da sich auch in der periodischen Phase die größte Wachstumsgeschwindigkeit parallel der Stapelrichtung zeigte, liegt der Schluss nahe, dass nicht die Quasiperiodizität, sondern die lokale Atomanordnung für das kinetisch gehemmte Wachstum verantwortlich ist.

Zur Charakterisierung der züchtungsbedingten Realstruktur wurden Kristalle der orthorhombischen Phase $\text{o-Al}_4(\text{Cr},\text{Fe})$ mit Hilfe der Lang-Röntgentopographie untersucht. Die untersuchten Kristallscheiben waren senkrecht bzw. parallel zur Wachstumsrichtung orientiert. Wegen der unterschiedlichen Vertikal- und Horizontaldivergenz der benutzten Messanordnung wurden jeweils zwei Aufnahmen angefertigt und dafür Reflexe von Netzebenen benutzt, deren Flächennormalen senkrecht aufeinander stehen. Deutlich sichtbar sind in den Topogrammen Kristallbereiche, deren Verkippung größer ist als die apparative Divergenz, und die aus diesem Grund nicht zur Abbildung auf dem Film kommen. Dennoch zeigten die untersuchten Proben eine relativ hohe strukturelle Perfektion, da es möglich war, die gesamte Kristallscheibe abzubilden. Deswegen kann man davon ausgehen, dass die Verkippungen im Kristall geringer sind als die vertikale Divergenz der Strahlung ($< 1^\circ$).

Die Struktur von $\text{o-Al}_4(\text{Cr},\text{Fe})$ wurde mittels Röntgen- und erst-

mals auch mittels Neutronenbeugung untersucht, um die Besetzung der Übergangsmetall-Atompositionen eindeutig zu bestimmen, was mit früheren Röntgenbeugungsexperimenten nicht möglich war. Aus beiden Messungen lassen sich die Cr- und Fe-Atome eindeutig verschiedenen Positionen in der Struktur zuordnen. Cr besetzt die Positionen in der Struktur fast zu 100 %, während die Positionen, die durch Fe eingenommen werden, nicht voll besetzt sind. Zusätzliche Reflexe und diffuse Streuung bei $k = n/2$ ($n = \text{ungerade}$) parallel I verdoppeln die Gitterkonstante b und deuten auf lokale Defekte senkrecht zum Gittervektor \vec{C} hin. Eine detaillierte Analyse der Überstrukturreflexe und der diffusen Streuung parallel I konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, soll aber weiter verfolgt werden.

Die Untersuchungen zur Struktur der existierenden Phasen in Cr-haltigen Al-reichen Legierungen und ihre Einkristallzüchtung sind die Grundlage für experimentelle Studien zur Korrosionsbeständigkeit derartiger Legierungssysteme. Auf der Basis der im Rahmen dieser Arbeit gezüchteten Proben konnte inzwischen bereits gezeigt werden, dass auf der Oberfläche dieser Phase gebildete Oxidschichten in einem großen pH-Bereich ($\text{pH} = 0 - 14$) und damit sogar unter Bedingungen, die für herkömmliche Stähle ($\text{FeCr}_{17.5}$) schädlich sind, stabil sind. Weitere Untersuchungen der Korrosionsbedingungen in Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur an unterschiedlich orientierten Proben sind Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.



Monokliner $\text{Al}_{76.7}\text{Cr}_{0.5}\text{Fe}_{22.8}$ -Einkristall gezogen nach dem Czochralski-Verfahren aus Al-reicher Lösung der Ausgangszusammensetzung $\text{Al}_{91}\text{Cr}_1\text{Fe}_8$. (Ziehrichtung senkrecht (001), Ziehgeschwindigkeit 0,05 mm/h, Starttemperatur 1020°C)
Foto: B. Bauer

Abgeschlossene Promotionen am IKZ Berlin

Robert Heimburger: Solution growth of microcrystalline silicon on amorphous substrates

Für seine Promotion befasste sich Herr Robert Heimburger in der Themengruppe Si/Ge-Nanokristalle am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung mit der Lösungszüchtung von polykristallinem Silicium auf Glas bei niedrigen Temperaturen. Die Arbeiten finden ihre Motivation in der Anwendung des gezüchteten Materials als Absorberschicht für kostengünstige Solarzellen. Da Glas ein amorphes Material ist, können konventionelle Epitaxietechniken nicht unverändert angewendet werden. Ziel der Arbeiten ist es, dieses grundlegende Problem durch eine spezielle Realisierung des Saatschichtkonzepts zu lösen. Hierbei erfolgt zunächst das

Aufwachsen von Keimkristallen, welche anschließend epitaktisch ausgewachsen werden. Der untersuchte Wachstumsprozess lässt sich also in zwei Schritte aufteilen. Zunächst wurden separierte Silicium-Saatschichtkristalle auf leitfähig beschichteten Glassubstraten durch Anwendung des Vapor-Liquid-Solid Verfahrens abgeschieden. Hierzu wird zunächst ein metallisches Lösungsmittel aufgebracht, welches bei Temperaturen oberhalb seines Schmelzpunktes separierte Tröpfchen bildet. Im Rahmen der Arbeit kam hierfür Indium zum Einsatz. Durch anschließendes Aufdampfen von Silicium können innerhalb der Lösungsmit-

34 teltröpfchen gezielt einzelne Mikrokristallite gewachsen werden. Die so erzeugten Saatkristallite werden anschließend in einer speziell angepassten Apparatur mittels stationärer Lösungszüchtung vergrößert. Bei der Apparatur handelt es sich um einen Prototypen im Labormaßstab, der am IKZ in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller Roth & Rau GmbH entwickelt wurde. Im Wesentlichen besteht die Züchtungsanlage aus einer vertikalen Anordnung eines Sättigungssubstrates und des Lösungsmittels, welche sich in einem Graphittiegel befindet (vergl. Abb. 1).

Das Züchtungssubstrat wird von oben in die auf eine Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes des Substratmaterials erwärmte Züchtungslösung eingebracht. Durch eine geeignete Heizanordnung kann ein Temperaturgradient zwischen dem Nährsubstrat am Boden und dem Züchtungssubstrat derart eingestellt werden, dass gleichzeitig eine ausreichende Übersättigung der Nährlösung sowie konvektiver Stofftransport zum oberen Substrat realisiert wird.

Neben der Untersuchung des Züchtungsprozesses und dessen physikalischer Hintergründe stand die Charakterisierung des abgeschiedenen Materials bezüglich Kristallinität, Orientierung und Reinheit im Vordergrund. Ausgewachsene Kristallite zeigen eine deutliche {111}-Facettierung.

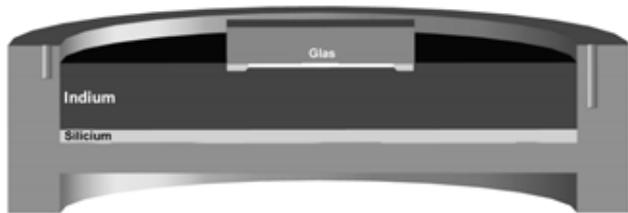


Abb. 1: Schema des Tiegels zur Lösungszüchtung im stationären Temperaturgradienten. Foto: IKZ

Die Ausdehnung einzelner Facetten beträgt bis zu 200 μm . Oftmals bestehen einzelne Körner aus mindestens zwei Zwillings-

domänen, wie in Abbildung 2 gezeigt ist. Das Auftreten einer Facettierung sowie das Vorhandensein von einspringenden Kanten an Zwillingskorngrenzen sind Voraussetzungen für einen speziellen Wachstumsmechanismus, welcher hohe Wachstumsraten selbst bei geringer Übersättigung ermöglicht. Die Entstehung skelettartiger Morphologien wurde mit dem Auftreten von Konzentrationsinhomogenitäten innerhalb der Diffusionsgrenzschicht vor der Phasengrenze erklärt. Diese führen zu ungenügender Übersättigung im Zentrum einzelner Facetten und somit zum Auftreten einer morphologischen Instabilität.

Die prinzipielle Anwendbarkeit des Prozesses zur Abscheidung von mikrokristallinem Silicium auf Glas konnte nachgewiesen werden. Allerdings verblieben Limitierungen bezüglich des erreichbaren Bedeckungsgrades sowie der Größe unter stabilen Bedingungen gewachsener Silicium Kristallite. Ein derzeitiger Forschungsschwerpunkt der Themengruppe Si/Ge-Nanokristalle widmet sich daher der weiteren Verbesserung der Saatschichten, welche das anschließende epitaktische Wachstum zu einer großkörnigen Schichtstruktur ermöglichen.

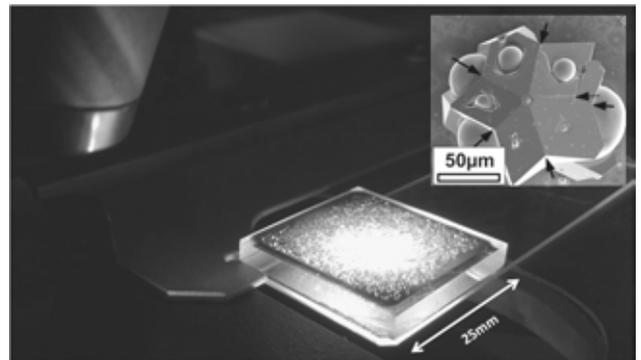


Abb. 2: Im stationären Temperaturgradienten auf Glas gewachsene Si-Kristallite mit REM-Vergrößerung einer Verzwilligung. Foto: IKZ

Weitere abgeschlossene Promotionen am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) waren:

Herr Tobias Schulz	Defect Analysis of Aluminumnitride	Technische Universität Berlin
Frau Rasuole Lukose	Liquid-Delivery Metal-Organic Chemical Vapour Deposition of Perovskites and Perovskite-Like Compounds	Humboldt-Universität zu Berlin
Herr Hannes Guhl	Density functional theory study of oxygen and water adsorption on (001) SrTiO ₃	Humboldt-Universität zu Berlin

Die Zusammenfassung dieser Arbeiten wird im nächsten Heft erscheinen.

Abgeschlossene Promotionen am IISB Erlangen

Herr Christian Reimer	Einbau von O, N und C bei der gerichteten Erstarrung von multikristallinem Silicium für die Photovoltaik	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
-----------------------	--	---

Auf Seite 23 finden Sie einen zusammenfassenden Artikel zu dieser Promotion.

Masterarbeit Tomash Fizia oder Nachwuchs aus Europa

Dietmar Siche, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) und Brandenburgisch-Technische Universität Cottbus

Bekanntermaßen wird es immer schwieriger, motivierten Nachwuchs für natur-, ingenieur- und materialwissenschaftliche Disziplinen zu finden. Das betrifft u.a. die Physik, Elektrotechnik und Elektronik und ganz besonders die Kristallzüchtung. An der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus ist

dieser Mangel besonders gravierend, da sich die BTU zwischen den Einzugsgebieten der Berliner, Potsdamer und Dresdner Universitäten befindet und nicht allen potentiellen Studienbewerbern klar ist, welche Vorteile sich aus einer fast individuellen Betreuung in familiärer Atmosphäre ergeben. Dagegen kann die

BTU Nutzen aus ihrer Nähe zu Polen ziehen. So hatte Herr Prof. Schmeißer (Lehrstuhl Angewandte Physik/Sensorik der Fakultät 1) die Idee, das Projekt „Montagsmaster“, den Internationalen Masterstudiengang "Physics of Semiconductor Technologies", zu initiieren. Dieses Projekt wird gefördert durch das Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Familie aus Mitteln des europäischen Sozialfonds und des Landes Brandenburg. Es bietet Masterstudenten aus Polen, die in einer fachverwandten Richtung studieren, die Möglichkeit, in einem zweijährigen Montagskurs einen zweiten, EU-weit anerkannten Abschluss zu erwerben. Aber auch Leute aus deutschen Institutionen mit Bachelor-Abschluss haben diese Möglichkeit bereits genutzt, um sich weiter zu qualifizieren.

Im Sommersemester 2008 lernte ich in der Vorlesung „Crystal growth and selected applications“ sieben Studenten der Wroclauer Technischen Universität kennen, die montags noch halb in der Nacht aufstanden, um mit zwei PKWs nach Cottbus zu kommen und ihren Arbeitstag bereits um 7:30 Uhr mit theoretischer Halbleiterphysik bei Prof. Seibold zu beginnen. Um 9:15 Uhr folgte Kristallzüchtung und so ging es weiter bis ca. 19:00 Uhr und noch am Abend wieder nach Hause.

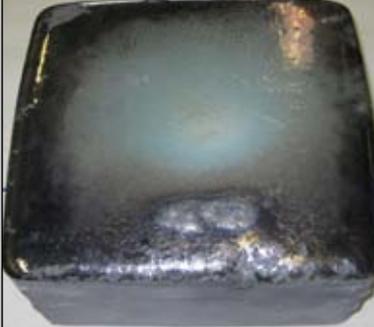
Tomasz Fizia war einer dieser Studenten, und zu unserem Glück entschloss er sich, seine Masterarbeit im IKZ durchzuführen. Stolz zeigte er uns seine Wroclauer Masterurkunde vom Sommer 2009, wo er an der Fakultät für Mikrosysteme, Elektronik und Photonik der Wroclaw Universität für Technologie Master für Elektrotechnik und Telekommunikation wurde. Zum Glück war diese Ausbildung sehr technologisch und festkörperphysikalisch

orientiert.

Vom 02.11.09 bis 30.09.10 arbeitete Herr Fizia in der Themen-Gruppe GaN, wo er herzlich aufgenommen und von allen unterstützt wurde. Wegen der Sprachbarriere war das für die Techniker nicht immer leicht, aber Tomek, wie er der Einfachheit halber genannt werden wollte, arbeitete sich nicht nur fachlich zügig in die neue Materie ein, er lernte auch schnell den Labormix aus englischer und deutscher Sprache zu verstehen. Und er hatte natürlich jederzeit die drei Wissenschaftler der Gruppe, insbesondere Herrn Dr. S. Lehmann, als Ansprechpartner zur Verfügung. So war er sehr bald in der Lage, dutzende Experimente zur Optimierung der Ga-Verdampfung durchzuführen und auszuwerten. Er erwies als ein sehr flexibler, effektiv arbeitender Wissenschaftler, der sich gut in die Gruppe einfügte. Tomek leistete entscheidende Beiträge zur Entwicklung einer stabilen Ga-Quelle für die Züchtung von GaN aus der Gasphase. Mit dem Stipendium aus dem BTU-Projekt und der großzügigen Finanzierung seiner Unterkunft im Adlershofer Gästehaus durch das IKZ hatte er auch die materielle Basis für seine Arbeit „Study of the gallium evaporation in the GaN growth system“, die er am 27.08.2010 abgab und am 20.09.2010 in Cottbus erfolgreich verteidigte. Leider wollte Tomek aus persönlichen Gründen - seine langjährige Partnerin konnte sich kein mehrjähriges Leben in Berlin vorstellen - nicht als Doktorand bleiben. Er kehrte Anfang Oktober nach Wroclaw zurück um dort eine Arbeitsstelle zu suchen. Man kann gespannt sein wie sein weiterer Lebensweg verläuft und ob er irgendwann zur Wissenschaft, vielleicht sogar zur Kristallzüchtung zurückfindet.



PV-Silicium



Draht- und Bandsägen

Tel.: 03375 217525

Fax: 03375 507675

www.vario-silicon.de

mail: vario@gmx.com

**D-15745 Wildau
Freiheitstr. 124 - 126**

Halbleiter und Oxide



Feinschleifen und Polieren



Schnell, präzise und flexibel - Sonderproben für Forschung und Entwicklung

36 Über die DGKK

Die Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) ist eine gemeinnützige Organisation zur Förderung der Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung. Sie vertritt die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene.

Vorsitzender

Prof. Dr. Peter Rudolph
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Max-Born-Str. 2
12489 Berlin
Tel.: 030 / 6392 3034
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: rudolph@ikz-berlin.de

Stellvertretender Vorsitzender

Prof. Dr. Peter Wellmann
Institut für Werkstoffwissenschaften 6
Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstr. 7
91058 Erlangen
Tel.: 09131 / 85 27635
Fax: 09131 / 85 28495
E-Mail: peter.wellmann@ww.uni-erlangen.de

Schriftführerin

Dr. Christiane Frank-Rotsch
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Max-Born-Str.2
12489 Berlin
Tel.: 030 / 6392 3031
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: frank@ikz-berlin.de

Schatzmeister

Prof. Dr. Manfred Mühlberg
Institut für Kristallographie der
Universität zu Köln
Greinstr. 6
50939 Köln
Tel.: 0221 / 470 4420
Fax: 0221 / 470 4963
E-Mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

Redaktion:

Dr. Wolfram Miller
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3074
Fax: 030 / 6392 3003
Uwe Rehse
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3070
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: redaktion@dgkk.de

Internetauftritt:

Dr. Andreas Danilewsky
Kristallographisches Institut
Albert-Ludwigs-Universität
Tel.: 0761 / 203 6450
Fax: 0761 / 203 6434
E-Mail: a.danilewsky@krist.uni-freiburg.de
Sabine Bergmann
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3093
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: webmaster@dgkk.de
WWW: <http://www.dgkk.de>

Die DGKK ist Mitglied der Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik e.V. (BV MatWerk).

Die DGKK veranstaltet jährlich die Deutsche Kristallzüchtungstagung, gibt zweimal jährlich das DGKK-Mitteilungsblatt heraus und unterhält eine Web-Seite (www.dgkk.de). Die Arbeit der Gesellschaft ist in Arbeitskreisen organisiert.

Beisitzer

Dr. Klaus Dupré
FEE GmbH
Struthstr. 2
55743 Idar-Oberstein
Tel.: 06781 / 21191
Fax: 06781 / 70353
E-Mail: dupre@fee-io.de

Dr. Bernhard Freudenberg
Solarworld Innovations GmbH
Berthelsdorfer Straße 111 A
09599 Freiberg
Tel.: 03731 / 301-4387
Fax: 03731 / 301-1690
E-Mail: bernhard.freudenberg@sw-innovations.de

Prof. Dr. Peter Gille
Ludwig-Maximilians-Universität München
Department für Geo- u. Umweltwissenschaften
Sektion Kristallographie
Theresienstr.41
80333 München
Tel.: 089 / 2180-4355
Fax: 089 / 2180-4334
E-Mail: peter.gille@lrz.uni-muenchen.de

Bankverbindung:

Sparkasse Karlsruhe
Kto.-Nr.: 104 306 19
BLZ: 660 501 01
IBAN DE84 6605 0101 0100 1043 0619
SWIFT-BIC: KARSDE66

Mitteilungen der DGKK, Stellenangebote, Stellengesuche:

Dr. Christiane Frank-Rotsch
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3031
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: frank@ikz-berlin.de

Anzeigen:

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

Mitgliedschaft:

Der Mitgliedsbeitrag kostet zur Zeit im Jahr 20 € und für Studenten ermäßigt 10 €. Beiträge für juristische Personen erhalten Sie auf Anfrage. Das Aufnahmeformular finden Sie auf der letzten Seite in diesem Heft. Sie können sich aber auch über die Internetseite der DGKK online anmelden. Dort finden Sie auch die DGKK Stichwortliste.

Arbeitskreise

Arbeitskreis

„Herstellung und Charakterisierung von Massiven Halbleiterkristallen“

Sprecher: Prof. Dr. Peter Wellmann
 Institut für Werkstoffwissenschaften VI
 Universität Erlangen-Nürnberg
 Martensstr. 7
 91058 Erlangen
 Tel.: +49 (0)9131 85 27635
 Fax: +49 (0)9131 85 28495
 Email: peter.wellmann@ww.uni-erlangen.de

Arbeitskreis

„Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen“

Interimssprecher: Dr. Wolfgang Löser
 Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden
 Tel.: +49 (0)351 4659 647
 Fax.: +49 (0)351 4659 480
 E-Mail: w.loeser@ifw-dresden.de

Arbeitskreis

„Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik“

Sprecher: Prof. Dr. Manfred Mühlberg
 Institut für Kristallographie der Universität zu Köln
 Zülpicher Str. 49b
 D-50674 Köln
 Tel.: +49 (0)221 470 4420
 Fax.: +49 (0)221 470 4963
 E-mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

Arbeitskreis

„Epitaxie von III-V-Halbleitern“

Sprecher: Prof. Dr. Michael Heuken
 Aixtron AG Aachen
 52134 Herzogenrath, Kaiserstr. 98
 Tel.: +49 (0)241 8909 154
 Fax: +49 (0)241 8909 149
 Email: m.heuken@aixtron.com

Arbeitskreis

„Kinetik“

Sprecher: Dr. Wolfram Miller
 Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
 Max-Born-Straße 2
 12489 Berlin
 Tel.: +49 (0)30 6392 3074
 Fax.: +49 (0)30 6392 3003
 E-Mail: miller@ikz-berlin.de

Arbeitskreis

„Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung“

Sprecher: Dr. Albrecht Seidl
 Wacker SCHOTT Solar GmbH
 Industriestr. 13
 63755 Alzenau, Germany
 Tel: +49 (0)6023 91 1406
 Fax: +49 (0)6023 91 1801
 E-mail: albrecht.seidl@wackerschott.com

Tagungskalender

2011

14.-18. März 2011

German Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG 2011)
 in Verbindung mit der Deutschen Kristallzüchtungstagung 2011
 Frankfurt(Oder) / Slubice
 Leitung: K.H. Küsters, M. Kamińska, E. Talik, D. Siche

31. März - 1. April 2011

Kinetikseminar
 Clausthal-Zellerfeld
 Leitung: Wolfram Miller, Harald Schmidt
 www.dgkk.de/kinetik

26.-30. Juni 2011

5th International Workshop on Crystal Growth Technology
 Berlin
 Leitung: Roberto Fornari
 iwcg5.ikz-berlin.de

26. Juni - 01. Juli 2011

5th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology
 Singapur
 Leitung: Xiang Yang Liu
 www.mrs.org.sg/icmat2011

31. Juli - 5. August 2011

18th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy
 (ACCGE-18)
 Monterey, California, USA
 Leitung: Edith Bourret Leitung: Edith Bourret, Tom Surek
 www.crystalgrowth.org/conferences.html

2012

3. Woche im Juni

European Conference on Crystal Growth (ECCG-4)
 Glasgow, UK
 Leitung: Kevin Roberts

2013

August

17th International Conference on Crystal Growth (ICCG-17)
 Warschau, Polen

Antrag auf Mitgliedschaft in der DGKK

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: _____

Name: _____ **Vorname:** _____

Titel: _____ **Beruf:** _____

Geburtsdatum: _____

Dienstanschrift (Firma, Institut, etc.):

Straße, Haus-Nr.: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Telefon: _____ Fax: _____ Email: _____

Privatanschrift :

Straße, Haus-Nr. : _____

PLZ: _____ Ort: _____

Telefon: _____ Fax: _____ Email: _____

Tätigkeit, Erfahrung charakterisieren

über die DGKK – Stichwortliste (Bitte maximal 10 Stichwortnummern angeben!)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

zusätzlich noch 3 Begriffe (,-getrennt): _____

Einverständnis zur Veröffentlichung der Daten (außer Privatdaten) über die Suchfunktion der DGKK-Homepage (<http://www.dgkk.de>) ja nein

Ort, Datum: **Unterschrift:**

Lastschriftverfahren

Hiermit ermächtige ich Sie widerruflich die von mir zu entrichtenden Zahlungen (Mitgliedsbeiträge DGKK) von folgender Bankverbindung durch Lastschrift einzuziehen:

Konto Nr. _____ **BLZ** _____

Bank _____

Datum: **Unterschrift:**

bitte per Post oder Fax an Frau Dr. Christiane Frank-Rotsch (DGKK-Schriftführerin)
 Leibniz-Institut für Kristallzüchtung • Max-Born-Straße 2 • **D-12489 Berlin**
 Telefax: 030 6392 3003

FURNACE TECHNOLOGY LEADERSHIP

DGKK-Mitteilungsblatt Nr. 91 / 2010

linn High Therm

info@linn.de

www.linn.de



Induction heating

High frequency generators up to 100 kW, 100 kHz - 27,12 MHz. **Medium frequency inverter** up to 1000 kW, 2 - 80 kHz.

Crystal growth system

Production of low defect SiC single crystals for high-performance, high-temperature electronics and optoelectronics. It allows for precisely defined process conditions (temperature, atmosphere) to grow up to 4" 4H and 6H SiC single crystals by physical vapour transport. System includes growth reactor, a high-stability induction heating unit (medium frequency 10 kHz/20 kW), process controller and a PC interface for monitoring and programming. Tmax 2300 °C.

Tube furnace

3 zone vertical tubular furnace for directional solidification of metals under vacuum / protective gas atmosphere e.g. argon and nitrogen. The furnace is mounted on a linear unit and is led above the sample. The furnace is connected with a cooling tube, suitable for liquid metal loading e.g. Galn. Tmax 1850 °C. Power: appr. 8 kW. Linear unit: 3,6 mm/h to 360 mm/h. Fast cooling: appr. 100 mm/s.



Horizontal zone melting system

for simultaneous purification of 6 Germanium ingots (length 600 mm, diameter 40 mm) in graphite boats. Production of semiconductor materials with a defined purity. Tmax: 1600 °C. Dim. of useful chamber: 6 quartz tubes, inner diameter 100 mm x 700 mm heated length. Max. induction heating power: appr. 50 kW, 25 - 30 kHz. Cleaning speed: 15 - 150 mm/h, back shift in < 2 min. Angle of inclination of the quartz tubes: 0 to 10°. Atmosphere: Nitrogen and Argon / vacuum at normal pressure.

Micro-Crystal growth system

Pulling of single crystalline fibers from the melt under inert gas or air. Fiber dimensions: $\varnothing = 0,2 - 2,0$ mm, $l_{max} = 250$ mm. Up to 5000 mg of starting material is molten in a platinum crucible (for high-melting compounds also Ir-, W-, Mo-crucibles) and crystal is pulled down through a capillary nozzle with a secondary heater around the nozzle.

Power supply:
Primary heater
80 W (max. 500 W),
secondary heater 30 W
(max. 200 W).



Tube furnace

for horizontal crystal growing processes. Resistance heated. Bridgman process and zone-melting under protective gas / vacuum. Adjustable 1 - 200 mm/h. Single or multi zone. Tmax 1750 °C. Alumina, Sapphire or metal tubes.



Special systems according to customer specifications!

Wir schaffen Verbindungen

Anorganika · Organika · Boronsäuren
Fluorchemikalien · Reine und reinste Elemente
Metalle und Legierungen in definierten Formen
und Reinheiten · Seltenerdmetalle, Oxide,
Fluoride für die Kristallzucht · Laborgeräte
aus Platin und Platinlegierungen · Nano-Pulver

**Produkte höchster Qualität.
Kürzeste Lieferzeiten. Exzellenter Service.
Zuverlässige und effiziente Zusammenarbeit.**

