

INHALT

Mitteilungen der DGKK

Zweiländer-Jahrestagung FGCGM 2001	4
Preisvorschläge erwünscht	9
Die DGKK im Internet	9

Berichte aus den Arbeitskreisen

Intermetallische Verbindungen	10
Kristalle für Laser und NLO	10
III-V-Halbleiter	14
Aufruf zum Kinetikseminar	15

Kristallzüchtung in Deutschland

Spektroskopische in-situ-Methoden	16
Siliziumgranulat für das EFG-Verfahren	24

Konferenzberichte

ACCGE-12 in Vail	32
International School ISCGT-2 in Japan	33
Kristallzüchtungsschule 2000	38
Besuch am Heimatort von Czochralski	40

Termine

Treffen der Arbeitskreise	41
Tagungskalender	42

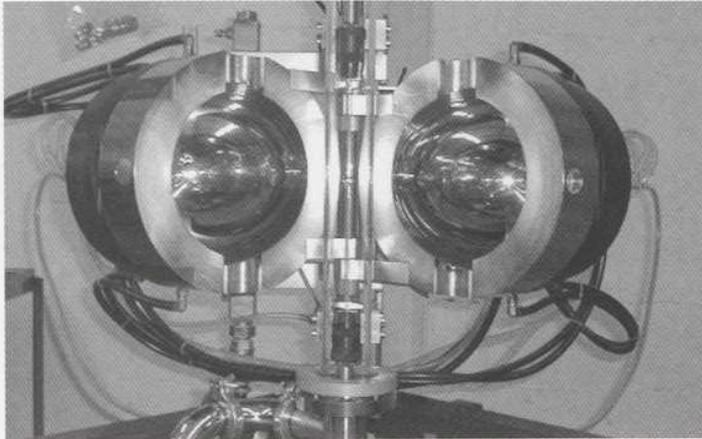
Die Inserenten des Hefts

43

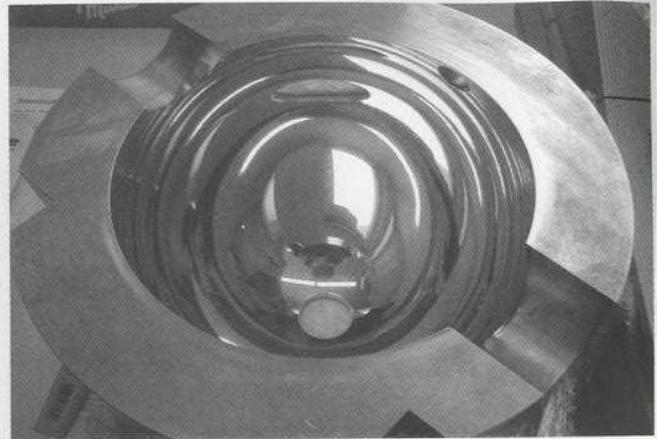
Register

Frühere Artikel	44
-----------------	----

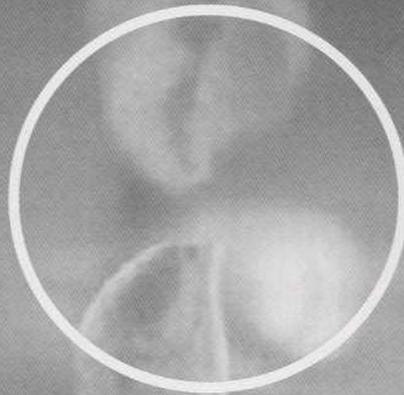
20 Jahre Erfahrung im Ofenbau - Gero Hochtemperaturöfen – Ihr Partner in der Kristallzuchtung



Zonenschmelzen in Spiegelöfen

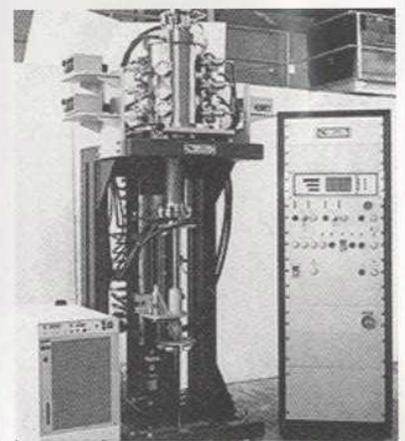


Kristallzuchtung in Sonderanlagen



SYSTEMLÖSUNGEN DURCH KOMPETENZ INNOVATIV UND SICHER – OFENPROGRAMM:

Schutzgasumluftöfen	bis 900°C
Wärmerohröfen, Heat Pipes	bis 1100°C
Retortenöfen und Wärmebehandlungsanlagen	bis 1250°C
MIM/CIM-Öfen	bis 1600°C
Keramikschmelzöfen	bis 1600°C
Vakuum- und Schutzgaslötöfen	bis 1600°C
Mikrowellentrocknungs- und Sinteranlagen	bis 1700°C
Rohröfen	bis 1800°C
Haubenöfen für Vakuum- und Schutzgasbetrieb	bis 2200°C
Czochralski- und Bridgman-Kristallziehenanlagen	bis 2200°C
Drucksinteröfen	bis 2200°C
Kalibrieröfen	bis 3000°C
Kammeröfen für Vakuum- und Schutzgasbetrieb	bis 3000°C

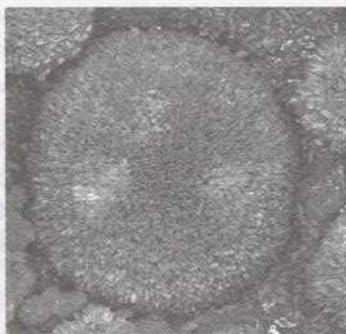


Kristallzuchtung -
nach Bridgman oder
Czochralski



GERO Hochtemperaturöfen GmbH
Monbachstr. 5-7, 75242 Neuhausen
Tel.: ++49-(0)7234-95220, Fax.: ++49-(0)7234-5379
Internet: www.gero-gmbh.de

Zum Titelbild



Entsprechend dem manchmal vergessenen vorletzten „K“ unseres Vereinsnamens hier die attraktive, sphärolithische Wuchsform eines Kupferpolymers. Das Foto wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Frau E. Dahlmann und stammt aus dem Kristall-Labor des Physikalischen Instituts in Frankfurt am Main.

Editorial

Liebe Kollegen, in Frankfurt, wo dieses Mitteilungsblatt entsteht, sind wir derzeit schon mitten in den Vorbereitungen unserer kommenden Jahrestagung, die wir zusammen mit unseren französischen Kollegen abhalten werden. Entsprechend nehmen die Ankündigungen zu dieser Tagung den größten Raum unter den eigentlichen Mitteilungen dieses Blatts ein. In Frankfurt ist es für „arme Naturwissenschaftler“ fast unmöglich, eine größere Konferenz abzuhalten, da wir bei der Suche nach Hotelraum mit den Messen und Banken konkurrieren müssen. Dabei hat man wenig Chancen gegen die Menschen, deren Wissensgebiet im Wesentlichen die Beschaffung von Geld ist. Daher haben wir beschlossen, etwas von der Stadt wegzugehen und für die Tagung einen Teil des Ausbildungszentrums der Lufthansa zu reservieren. Natürlich hoffen wir nun auch, daß Sie uns nicht im Stich lassen und möglichst zahlreich zur Tagung erscheinen. Es lohnt es sich bestimmt, da wir durch die Teilnahme unserer französischen Kollegen eine sehr interessante Verstärkung bekommen werden. Die Tatsache, daß unser Meeting eher europäischen, als nationalen Charakter haben wird, sollte auch für die industriellen Lieferanten von Ausrüstungen für die Kristallzüchtung interessant sein. Es ist zu hoffen, daß unsere Mitglieder aus den Industrieunternehmen sich selbst und gegebenenfalls auch anderen wichtigen Personen bewußt machen können, daß unsere bilaterale Jahrestagung ein attraktives Forum für Aussteller sein wird.

Abgesehen von den Mitteilungen denke ich, daß die Fachartikel dieses Hefts für Sie informativ und interessant sein werden. Herrn Kipp aus Braunschweig gebührt ein herzliches Dankeschön für die Beschreibung der dort angewandten interessanten und nicht alltäglichen Verfahren zur in situ-Charakterisierung von Kristallen und Herrn Boeck vom IKZ in Berlin für die Beschaffung dieses schönen Artikels. Auch diesmal war ich wieder sehr froh darüber, daß wir das Institut für Kristallzüchtung haben, aus deren Reihen Herr Rudolph und Herr Neubert nicht nur viel herumgekommen sind, sondern dabei wie immer nicht vergessen haben, Ihre dabei gewonnenen Erkenntnisse und Informationen auch den Fachkollegen aus der DGKK zur Verfügung zu stellen.

Dem Bericht von Herrn Neubert zufolge war ein wichtiges Thema auf der amerikanischen Kristallzüchtertagung ACCGE-12 die Herstellung von Solarsilizium. Dazu paßt ausgezeichnet unser Industriebeitrag über die Entwicklung eines Verfahrens zur kostengünstigeren Präparation des hierfür benötigten

hochreinen Ausgangsmaterials. Für diesen Bericht bedanke ich mich bei Herrn Dieter Nickl von der Firma Angewandte Solarenergie ASE GmbH in Alzenau.

Vielen Dank natürlich auch allen anderen Autoren dieses Hefts, die wieder einmal durch Ihre Berichte von Arbeitskreistreffen und Workshops mithelfen, unsere Vereinigung lebendig zu halten. Ich wünsche mir, daß auch die bisherigen „Wenigschreiber“ bei mir einmal solche Dankbarkeit auslösen werden.

Alles Gute und viel Erfolg bis zur Jahrestagung bei Frankfurt.

Ihr Franz Ritter

Notizen des Vorsitzenden

Liebe DGKK-Mitglieder,

fast hätte ich vergessen, Sie daran zu erinnern, daß Sie darüber nachdenken sollten, wer mein Nachfolger im Amt des DGKK-Vorsitzenden werden soll, denn bei unserer Tagung im März 2001 in Frankfurt werden Neuwahlen des Vorstandes stattfinden. Ich habe an die Neuwahlen vor allem deswegen kaum gedacht, weil mir meine Vorstandstätigkeit großen Spaß bereitet und mich bisher nicht mit unangenehmen Dingen belastet hat. Für alle diejenigen, die wegen einer Kandidatur angesprochen werden, darf ich hinzufügen, daß der zeitliche Aufwand sich in vernünftigen Grenzen hält. Alles in allem ein „schöner Job“, den man gerne für ein paar Jahre macht. Daß unsere Satzung eine weitere Wiederwahl nach dem Ende meiner Amtszeit am 31.12.2001 ausschließt, ist sicherlich gut, denn sonst wäre ich in Versuchung gekommen, noch einmal zu kandidieren. Klugerweise haben dem jedoch unsere Gründungsväter zu Recht einen Riegel vorgeschoben, um in die DGKK-Führung auch wieder frischen Wind und neue Ideen zu bringen.

Ich bitte Sie daher, mir (vertrauensvoll) die Namen von Personen zu nennen, die Sie sich als neuen DGKK-Vorsitzenden ab 2002 vorstellen können. Die erforderliche Überzeugungsarbeit werde ich dann schon selbst übernehmen – was nach meiner obigen Lobeshymne über dieses Amt nicht zu schwer fallen sollte.

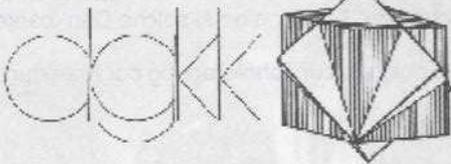
Zu diesen angenehmen Seiten gehört auch ein besonders eindrucksvolles Erlebnis, das ich vor einigen Wochen anlässlich eines internationalen Crystal Growth Workshops bei unseren befreundeten polnischen Kristallzüchtungskollegen in Warschau hatte. Die Organisatoren, insbesondere Frau Prof. Pajaczkowska, hatten eine Exkursion nach Kcynia organisiert – wer wie ich den Ort bisher nicht kannte, sollte sich ihn merken, es ist die Geburtsstadt und der Sommerwohnsitz von Jan Czochralski – ein kleiner verträumter Ort mit ca. 2.000 Einwohnern. Der Empfang unserer Delegation in der nach Czochralski benannten Schule durch Bürgermeister, Schuldirektorium, Blumenkinder und Blechmusik hat mich schon sehr bewegt. Aber auch die offizielle gemeinsame Niederlegung eines Blumenschmucks am Grab „unseres“ gemeinsamen polnisch-deutschen Kristallwissenschaftlers Jan Czochralski wird für mich eine bleibende Erinnerung sein – die ich eben nur dem Amt des DGKK-Vorsitzenden zu verdanken habe.

Ich freue mich auf das nächste Treffen mit Ihnen – spätestens im Frühjahr in Frankfurt, gemeinsam mit unseren französischen Kollegen, wo wir unter anderem die fachliche Organisation von ICCG14 2004 in Grenoble vorbereiten wollen.

Ihr Georg Müller

2. Mitteilungen der DGKK

Ankündigung zur gemeinsamen Jahrestagung:

	FGCGM 2001 French-German Crystal Growth Meeting March 6 & 7, 2001		groupe français de croissance crystalline
--	--	---	--

Veranstalter

Die Tagung wird gemeinsam veranstaltet von der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) und der Groupe Français de Croissance Cristalline (GFCC).
 Ausrichter der Tagung ist das Physikalische Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main.

Konferenzsprache

Die Konferenzsprache ist Englisch.

Veranstaltungsort

Die Tagung findet statt am Lufthansa-Ausbildungszentrum in Seeheim-Jugenheim. Die Unterbringung der Tagungsteilnehmer erfolgt am Tagungszentrum in Einzelzimmern, die laut Lufthansa „nur wenig Wünsche offenlassen“. Neben den für die Tagung notwendigen Einrichtungen gibt es am Ausbildungszentrum auch ein breites Angebot an Sport- und Freizeitmöglichkeiten. Auch wenn wir natürlich nur wenig Freizeit haben werden, mag für den einen oder anderen das Hallenbad interessant sein, das uns dort auch zur Verfügung steht. (Denken Sie an Badekleidung!)

Die Anschrift:

Lufthansa Training Center Seeheim
 Lufthansaring 1
 D-64342 Seeheim-Jugenheim

Tel.: 06257/ 80-0
 Fax.: 06257/ 85448
 E-Mail: qshpus@dlh.de
 WEB: www.lhbz.de

Tagungsvorsitz

Die Tagung wird gemeinsam geleitet von Wolf Aßmus (DGKK) und Bernard Billia (GFCC)

Prof. Dr. Wolf Aßmus
 Kristall- und Materialentwicklungslabor
 Physikalisches Institut
 Johann Wolfgang Goethe-Universität
 Robert-Mayer-Str. 2-4
 D-60054 Frankfurt am Main

tel: +49 (69) 798-23144
 fax: +49 (69) 798-28520
 email: assmus@physik.uni-frankfurt.de

Prof. Dr. Bernard Billia
 L2MP
 Faculte des Sciences de St. Jerome
 Universite d'Aix-Marseille III
 Case 151
 F-13397 Marseille cedex 20

tel: +33 / 491 28 81 14
 fax: +33 / 491 28 87 75
 email: bbillia@matop.u-3mrs.fr

Lokale Tagungsorganisation

		E-Mail	Fax	Tel.
Wolf Aßmus	Tagungsleitung	assmus@physik.uni-frankfurt.de	069/798-28520	069/798-23144
Christoph Gross	Finanzielles, WEB-Präsenz	c.gross@physik.uni-frankfurt.de	s.o.	069/798-28055
Franz Ritter		f.ritter@physik.uni-frankfurt.de	s.o.	069/798-28053
Hannah Döring	Konferenzsekretariat	fgcgm@physik.uni-frankfurt.de	069/798-22348	069/798-22504

mit der gemeinsamen Postanschrift:

Physikalisches Institut
 Johann Wolfgang Goethe-Universität
 Robert-Mayer-Str. 2-4
 D-60054 Frankfurt am Main

Zeitplanung

Montag	05.03.2001	Anreise, gemeinsames Abendessen
Dienstag	06.03.2001	Konferenz
Mittwoch	07.03.2001	Konferenz (Konferenzende ca. 17:30)
Donnerstag	08.03.2001	Abreise (für die Kollegen, die Ihre Rückreise am Mittwoch Abend nicht antreten können)

Programm

Das wissenschaftliche Programm der Tagung spiegelt die breit gefächerten Tätigkeitsfelder der beiden veranstaltenden Gesellschaften wieder und umfaßt Arbeiten zum Grundlagenverständnis ebenso wie von industriellen Anwendungen geprägte Entwicklungen zur Züchtungstechnologie.

Das Vortragsprogramm wird in acht Sitzungen zu je 90 Minuten untergliedert sein. Hier die Themen dieser Sitzungen und die für die Beitragsauswahl verantwortlichen Programmkomitees:

1. Crystal growth of biological macromolecules

Madeleine Ries, Paris
Marie-Claire Robert, Paris

2. Surfaces and interfaces

Margrit Hanbücken, Marseille
Horst P. Strunk, Erlangen-Nuremberg

3. Nucleation and nanocrystals

Claude Henry, Marseille
Wolfgang Neumann, Berlin

4. Epitaxy and MBE

Francois Arnaud d'Avitaya, Marseille
Michael Heuken, Aachen (Aixtron AG)
Ferdinand Scholz, Stuttgart

5. Bulk crystal growth

Günter Behr, Dresden
Thierry Duffar, Grenoble
Bernard Ferrand, Grenoble
Manfred Mühlberg, Cologne
Georg Müller, Erlangen-Nuremberg

6. Industrial crystallization

Jean-Paul Klein, Lyon
Joachim Ulrich, Halle
Stephane Veessler, Marseille

7. Simulation and kinetics

Georg Müller, Erlangen-Nuremberg
Peter Rudolph, Berlin

8. Microgravity

Klaus-Werner Benz, Freiburg
Jean-Paul Garandet, Grenoble

Autoren und Titel können in Kürze über die Internet-Seiten zur Konferenz erfahren werden. Die Plazierung der eingereichten Beiträge wird dort 2 bis drei Wochen vor der Konferenz bekanntgegeben.

Tagungsbeiträge

Vorträge

Die Zeitdauer der eingeladenen Vorträge beträgt 30 bis 45 Minuten je nach Zahl pro Sitzung. Für die eingereichten Vorträge sind jeweils 15 Minuten (12 Min. + 3 Min. Disk.) vorgesehen.

Es kann nicht garantiert werden, daß alle als Vorträge eingereichten Beiträge in den Vortragssitzungen berücksichtigt werden können. Darüber wird das Programmkomitee nach Anmeldeschluß (14. Januar 2001) entscheiden. Bitte geben Sie daher bei Ihrer Vortragsanmeldung mit an, ob Sie bereit sind, Ihren Beitrag notfalls auch mittels eines Posters zu präsentieren.

Poster

Der Posterbereich wird während der gesamten Konferenz zugänglich sein, die Poster können dort also während der gesamten Zeitdauer eingesehen und studiert werden. Daneben ist eine zweistündige Postersitzung vorgesehen, bei der die Autoren bei Ihren Postern für Diskussionen zur Verfügung stehen.

Konferenz-Buch

Die Tagungsteilnehmer werden die Abstracts zu sämtlichen Beiträgen in ihrem Konferenz-Büchlein abgedruckt finden.

Anmeldung zur Tagung und Übermittlung der Tagungsbeiträge

Für die Anmeldung zur Tagung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

Online-Anmeldung über die Tagungs-Homepage.

Indem Sie dort nacheinander die Verknüpfungen „Registration“ und „Online registration“ anwählen, gelangen Sie direkt zum Online-Anmeldeformular für die Tagung. Über dieses Formular können Sie uns auch direkt Ihr Abstract zu Ihrem Tagungsbeitrag übermitteln (als „anhängte Datei“).

Diese Art der Tagungsanmeldung ist den Organisatoren am liebsten, da sie Verwaltungsvorgänge vereinfacht.

Anmeldung über Fax.

Wir bitten Sie, für diese Form der Anmeldung nur das dafür vorgesehene Faxformular zu verwenden. Dieses können Sie sich über unsere Tagungs-Homepage herunterladen oder alternativ aus diesem Mitteilungsblatt herauskopieren oder notfalls auch ausschneiden. Bei dieser Art der Anmeldung ist das Abstract zu Ihrem eventuellen Tagungsbeitrag separat an das Tagungssekretariat zu schicken. Hier sind grundsätzlich alle Übermittlungswege zulässig, wir bitten Sie aber, uns das Abstract möglichst per E-Mail zuzusenden, da wir es dann viel leichter in das Tagungsbändchen einbinden können.

Sowohl die Anmeldung zur Tagung als auch Ihr Abstract sollten bei uns nicht später als am 14.1.2001 eintreffen.

Bitte vergessen Sie nicht: Die Konferenzsprache ist Englisch

Teilnahmegebühren

Die nachstehend aufgeführten Teilnahmegebühren umfassen die Konferenzgebühr, die Kosten für Übernachtung (zwei Nächte, Mo/Di und Di/Mi) und die Mahlzeiten während der Tagung.

Nichtstudentische Teilnehmerinnen bzw. Teilnehmer	EUR 255
Studentische Teilnehmerinnen bzw. Teilnehmer	EUR 180
Begleitpersonen (nur Unterbringung und Verpflegung)	EUR 135
Betreuungspersonal der Firmenstände(nur Unterbringung und Verpflegung)	EUR 135
Zusätzliche Übernachtung (Mi/Do, incl. Frühstück)	EUR 50
Zusatzgebühr bei Anmeldung nach dem 14.1.2001	EUR 25

Die hier aufgeführte zusätzliche Übernachtungsmöglichkeit ist für die Teilnehmer gedacht, die ihre Heimreise nicht mehr am Mi, 7.3. 2001 antreten können.

Wir bitten diejenigen Mitglieder, die ein besonders inniges Verhältnis zu unserer D-Mark haben, zu entschuldigen, daß die Teilnahmegebühren nur noch in glatten EURO ausgedrückt sind, aber bei der Organisation einer bilateralen Tagung ist eine gemeinsame Währung ein echter Vorteil und der Abschied von der Mark kommt ja sowieso bald.

Zahlungswege

Im Anmeldeformblatt sind als mögliche Zahlungswege die Banküberweisung und die Zahlung per Kreditkarte genannt.

Bei Zahlung per Banküberweisung soll der Auftraggeber gewährleisten, daß dem Tagungskonto die volle Teilnahmegebühr gutgeschrieben wird.

Für Zahlungen, die von Deutschland aus getätigt werden, ist diese Zahlungsart am günstigsten, da hier keine Abzüge durch Überweisungsgebühren entstehen. Wir bitten unsere Mitglieder, nach Möglichkeit diesen Zahlungsweg zu wählen und nur im Ausnahmefall die Zahlung per Kreditkarte zu leisten.

Die Zahlung per Kreditkarte ist als Ausweichmöglichkeit für den Fall gedacht, daß der Auftraggeber im Falle der Banküberweisung durch unzumutbar hohe Gebühren belastet würde. Dies mag für einige unserer französischen Kollegen der Fall sein.

Industrieausstellung

Begleitend zur Tagung wird in Nachbarschaft zum Vortragssaal eine Industrieausstellung stattfinden, bei der Technologie, Dienstleistungen und Publikationen zur Kristallzüchtung vorgestellt werden.

Die Konferenzorganisation bietet eine Reihe abgestufter Möglichkeiten zur Präsentation eines Unternehmens an, von der anwählbaren „Bannerwerbung“ innerhalb der Tagungs-Homepage bis zur vollen Repräsentation mit Ausstellungsstand und Anzeige im Konferenzband.

An der Industrieausstellung interessierte Unternehmen werden gebeten, Kontakt aufzunehmen mit

Frank Büllesfeld
Tel.: 069/798-22621
Fax.: 069/798-28520
E-Mail: buellesfeld@physik.uni-frankfurt.de

oder Roland Sterzel
Tel.: 069/798-23468
Fax.: 069/798-28520
E-Mail: sterzel@physik.uni-frankfurt.de

Die Postanschrift lautet jeweils:

Physikalisches Institut
Johann Wolfgang Goethe-Universität
Robert Mayer-Str. 2-4
D-60054 Frankfurt am Main

Achtung:

**Bitte besuchen Sie die WEB-site zur Jahrestagung und informieren Sie sich dort über den aktuellen Stand!
Entweder über die DGKK-Homepage**

<http://www.dgkk.de>

oder direkt unter

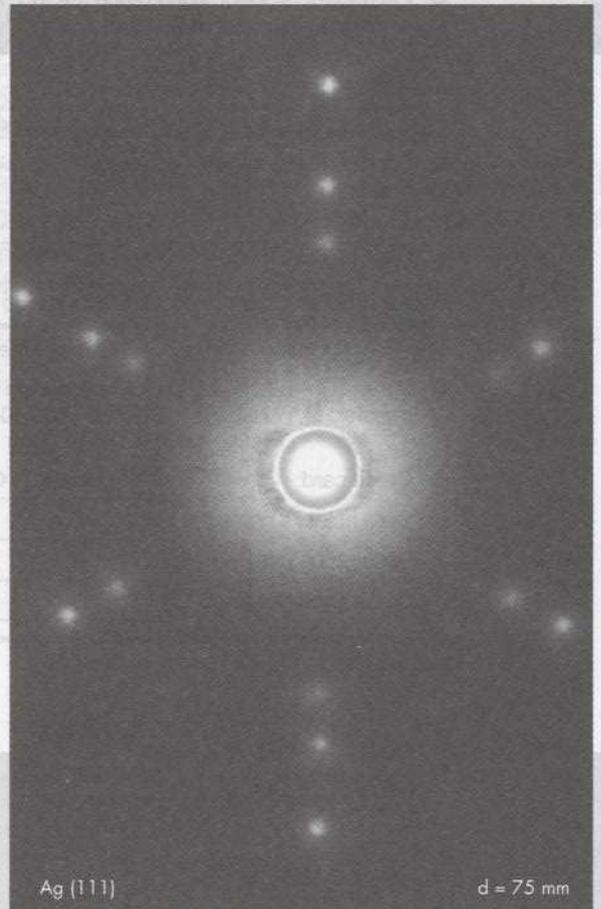
<http://www.rz.uni-frankfurt.de/fgcgm2001>

Material-Technologie & Kristalle GmbH für Forschung, Entwicklung und Produktion

- ▲ Kristallzüchtungen von Metallen und deren Legierungen
- ▲ Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)
- ▲ Reinstmaterialien (99,9 - 99,99999 %)
- ▲ Substrate (SrTiO₃, MgO, YSZ, NdGaO₃, Al₂O₃, etc.)
- ▲ Wafer (Si, Ge, ZnTe, GaAs und andere HL)
- ▲ Sputtertargets
- ▲ Auftragsforschung für Werkstoffe und Kristalle



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



Ag (111)

d = 75 mm

FGCGM 2001
 French German Crystal Growth Meeting
 Seeheim - Jugenheim, 6. & 7.3.2001



groupe
français de
croissance
cristalline



Registration form

Please fill out form and fax / send to:

Hannah Döring
 Conference Secretary FGCGM 2001
 Physikalisches Institut
 Johann Wolfgang Goethe - Universität
 Robert-Mayer-Str. 2-4
 D - 60054 Frankfurt am Main, Germany
 fax: +49 / 69 / 798-22348

Registration deadline: January 14, 2001

Please use online-registration, if possible.

For additional information see:
www.rz.uni-frankfurt.de/fgcgm2001
 or email to: fgcgm@rz.uni-frankfurt.de

Please use one form per person.

I would like to register for the FGCGM 2001:

Title/s, first, last name:			
Lab, Group:			
Institute, Department:			
University, Company:			
Postbox, Street:			
Postal code, City:		Country:	
Tel.		fax:	
email:			
web:			

Please tick the appropriate field:

- | | | |
|---|---------|------------|
| <input type="radio"/> Participant (non-student; conference fee incl. lodging & meals 5.-7.3.01) | EUR 255 | Total EUR: |
| <input type="radio"/> Participant (student; conference fee incl. lodging & meals 5.-7.3.01) | EUR 180 | |
| <input type="radio"/> Accompanying person (lodging and meals only) | EUR 135 | |
| <input type="radio"/> Sales representative (lodging and meals only) | EUR 135 | |
| <input type="checkbox"/> Additional night (7.-8.3.2001) | EUR 50 | |

I would like to submit the following contribution: (*Speaker / first author only, underline speaker.*)

- Short Talk (12 min), if not possible, I would present results as a poster instead: Yes No
 Poster

Title: _____
 Authors: _____

Please send abstract per email, fax or mail to the address given above, but not later than 14.1.2001.

Payment: (Please choose one of the two methods, after reading www.rz.uni-frankfurt.de/fgcgm2001 !)

- Bank transfer: Commerzbank Frankfurt am Main, Account holder: Christoph Gross, Account No. 77 88 77 1, BLZ: 500 400 00, Swift-Code: COBADEFF, keyword: FGCGM 2001
 Please make sure that bank transaction fees do not reduce the amount of payment !
- Credit card: Eurocard Mastercard Diner's Visa American Express
- Card holder's name: _____
 Expiry date (mm/yy) _____
 Credit Card Number: _____

Signature

place, date

signature

Preisvorschläge erwünscht

Liebe Mitglieder,

im nächsten Jahr findet die IOCG 13 in Kyoto statt. Dort werden Crystal Growth Awards vergeben. Prof. Müller bittet alle Mitglieder, über geeignete Vorschläge nachzudenken und diese ihm mitzuteilen an seine Adresse:

Prof.Dr.Georg Mueller
Crystal Laboratory
Dpt.of Materials Science(WW6)
University Erlangen-Nuremberg
Martensstrasse 7
D91058 ERLANGEN / Germany

e-mail: georg.mueller@ww.uni-erlangen.de
homepage: <http://www6.ww.uni-erlangen.de/CGL>
phone : ++49(0)9131 852 7636
fax : ++49(0)9131 852 8495

Hier zur Information der **call for nominations** des Vorsitzenden der IOCG, Prof. Nishinaga aus Japan.

Viel Spass beim Nachdenken,

Anke Lüdge
Schriftführerin der DGKK

IOCG CRYSTAL GROWTH AWARDS

CALL FOR NOMINATIONS

The International Organization for Crystal Growth sponsors two triennial prizes.

These are the

IOCG Frank Prize, presented for significant contributions in aspects of crystal growth, and the

IOCG Laudise Prize, presented for significant contributions in technological aspects of crystal growth.

Both awards are made for outstanding contributions to the field of crystal growth through technical achievements, publications and presentations and through their impact world wide on science and technology. The awards consist of a commemorative item plus an invitation to present the work, which is the subject of the award, at the relevant ICCG.

The awards were first made at ICCG-9 to A.A.Chernov (Frank Prize) and J.Nishizawa (Laudise Prize).

At ICCG-10 the awards were made to R.F.Sekerka (Frank Prize) and V.V. Osiko and J.F.Wenckus (joint Laudise Prize), at ICCG-11 to P.Bennema (Frank Prize) and R.S.Feigelson (Laudise Prize) and at ICCG-12 to K.A.Jackson(Frank Prize) and I.Akasaki(Laudise Prize).

The next awards will be made during ICCG-13/ICVGE-11 in Kyoto, Japan, 30 July - 4 Aug., 2001.

Nominations for these awards, together with supporting documentation (six copies) should be sent before 15 November 2000 to the IOCG Awards Chairperson, Professor T. Nishinaga for consideration by the IOCG awards Committee.

The nominations should contain details of the candidate's title, position, age, postal address, curriculum vitae, list of publications, and a citation which describes his/her work and

its relevance to the field of crystal growth. It should be made clear for which prize the submission is being made. Nominations can be made by National Associations for Crystal Growth or by individuals, but not by the candidates themselves. The person or persons making the nominations should append their own name, title, address, e-mail address and position, as well as their signature.

Professor T. Nishinaga, President of IOCG
Department of Materials Science and Engineering, The Faculty of Science and Technology, Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi, Tenpaku-ku, Nagoya 468-8502, JAPAN
tel: +81-52-832-1151 ext 5243
fax: +81-52-832-1172
e-mail: nishinag@meijo-u.ac.jp

(previous affiliation of Prof. T. Nishinaga: Department of Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, JAPAN)

Die DGKK im Internet

Die WEB-Seite unserer Gesellschaft wird in Berlin von Herrn Uwe Rehse gestaltet und technischerseits betreut.

Die redaktionelle Verantwortung liegt bei Herrn Dr. Walcher aus Freiburg

Ein „Anklicken“ und „Ausprobieren“ dieser Seite wird dringend empfohlen. Das Medium Internet eignet sich besonders zur Versorgung unserer Mitglieder mit aktuellen Informationen. Beispielsweise ist der Tagungskalender dort besonders angenehm zu bedienen, da er direkten Zugriff auf die den einzelnen Tagungen zugeordneten E-Mail-Adressen und WEB-Seiten bietet.

**Besuchen Sie die Internet-Seiten der DGKK!
Dort finden Sie Links auf alle interessantesten
Internet-Angebote unserer Gesellschaft.
Hier die sehr leicht zu merkende Adresse:
<http://www.dgkk.de>**

3. Berichte aus den Arbeitskreisen

Intermetallische Verbindungen

Arbeitskreistagung am 28. und 29. September 2000 in Karlsruhe

Bericht von **Günther Behr, IFW Dresden**

Am 28. und 29. September 2000 fand am Physikalischen Institut der Universität Karlsruhe das 4. Treffen des Arbeitskreises "Intermetallische Verbindungen" der DGKK statt. Ziel des Arbeitskreises ist es, den informellen Erfahrungsaustausch zu Fragen der Zucht intermetallischer Verbindungen zu fördern. Das Treffen wurde von ca. 15 Vertretern aus ganz Deutschland und interessierten Mitarbeitern der Universität Karlsruhe besucht.

Einleitend wurde vom diesjährigen Ausrichter des Treffens, Herrn Dr. Pfeleiderer, über neue Herausforderungen an die Kristallzucht berichtet. Im Mittelpunkt des Interesses stehen gegenwärtig die Entdeckung von exotischen Grundzustandseigenschaften in Seltenerd- und Übergangsmetallverbindungen bei tiefen Temperaturen, die auf ein Zusammenspiel von Supraleitung und Magnetismus, begleitet von ungewöhnlichen metallischen und magnetischen Zuständen hinweisen. Von besonderem Interesse ist hierbei in den letzten Jahren das Wechselspiel von schwacher Unordnung und geringsten Mengen an Verunreinigungen mit möglichen neuen intrinsischen Mechanismen. Die mit einer Klärung verbundenen Herausforderungen richten sich zunächst an die Verminderung von Unordnung und Störstellen bei der Zucht von intermetallischen Verbindungen. Vor allen Dingen jedoch ist die Suche nach neuen Charakterisierungsmethoden gefordert sowie einem engeren Informationsaustausch zwischen Probenherstellung und physikalischer Untersuchung.

Herr Dr. Behr des IFW Dresden gab einen Überblick über die Installation von zwei neuen Spiegelöfen. Erste Erfahrungen zeigen, dass das optisch beheizte Zonenschmelzverfahren in der Zucht intermetallischer Verbindungen, hier am Beispiel von Borokarbidverbindungen, im Vergleich zur induktiven Heizung zu verbesserten Ergebnissen führt. Ein wichtiges technisches Problem besteht dabei gegenwärtig in der korrekten Temperaturmessung der Schmelzzone beim optisch beheizten Verfahren. Das Zusammenspiel von Heizmethode und Schmelzonenform wurde anhand numerischer Simulationen für optisch und induktiv beheizte Systeme diskutiert. Herr Prof. Assmuss der Universität Frankfurt berichtete über Fortschritte in der Bestimmung der metallurgischen Phasendiagramme von CeCu_2Si_2 und YbInCu_4 , die stellvertretend für ternäre Seltenerdverbindungen mit hohen Partialdampfdrücken und ungünstigem Kristallisationsverhalten stehen. Von besonderem Interesse ist zudem in letzter Zeit die Verwendung eines in Frankfurt entwickelten, mit Laser beheizten Ofens. Frau Dr. Probst berichtete zum Abschluss des ersten Teils des Programms kurz über die an der Universität Konstanz verfügbaren Techniken.

Im zweiten Teil des Programms, der stärker auf spezielle, technische Probleme in der Zucht intermetallischer Verbindungen einging, berichtete Herr Dr. Müller-Vogt des Kristall- und Material-Labors der Universität Karlsruhe von ersten Arbeiten an der Boridverbindung CrB_2 . Hier ergeben sich die gegenwärtigen Grenzen der erreichbaren Probenreinheit aus der Kombination von hohem Schmelzpunkt oberhalb 2000°C und den dafür verfügbaren Tiegelmaterialeien. Herr Dr. Krug von Nidda der Universität Augsburg wies in

seinem Beitrag zu $\text{Gd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ auf das große Interesse an Untersuchungen der Tieftemperatureigenschaften in der Grundlagenforschung und der dazu im Vergleich disproportionalen, minimalen Verfügbarkeit von Proben hin. Dies zeigte erneut, dass die Einkristallzucht der interessierenden Verbindungen von zentraler Bedeutung für den Fortschritt eines Arbeitsgebiets ist, das seit vielen Jahrzehnten für neue Impulse sorgt. Herr Dr. Löser des IFW Dresden berichtete im letzten Beitrag des Treffens am Beispiel von Borokarbidverbindungen über Erfolg und Grenzen des elektrischen Restwiderstands nahe dem absoluten Temperaturnullpunkt als Maß der Probenqualität. Damit wurde zum Abschluss nochmals an den Wunsch nach intensiveren Bemühungen um die Charakterisierungsmethoden erinnert. Der Erfahrungsaustausch klang bei einer gemütlichen Nachsitzung und einer Laborbesichtigung am Freitagmorgen aus.

Das nächste Treffen soll Ende September 2001 in Dresden stattfinden. Kontaktperson ist Herr Dr. Behr, IFW Dresden, Tel.: 0351-4659404, Fax: 0351-4659480, e-mail: behr@ifw-dresden.de. Interessierte Fachkollegen sind herzlich willkommen, am nächsten Treffen teilzunehmen und sich an der Lösungsfindung der berichteten Herausforderungen und neuer Fragestellungen zu beteiligen.

Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik

Arbeitskreistagung am 28. und 29. September 2000 in Bonn

Bericht von **Manfred Mühlberg, Universität Köln**

Die Tagung des Arbeitskreises **Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik** fand am 28. und 29. September 2000 turnusgemäß im Mineralogischen Institut in Bonn statt. Erneut fand diese Tagung mit 37 Teilnehmern eine erfreulich große Resonanz.

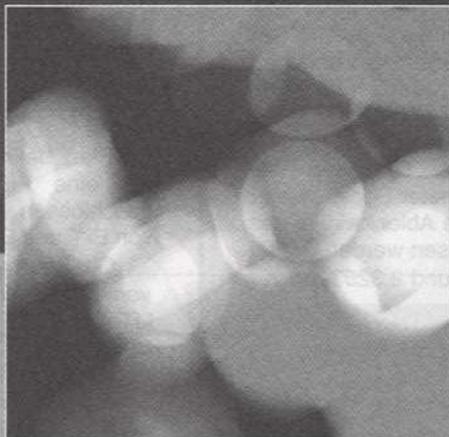
Die Teilnehmer im Überblick:

K. Petermann, V. Peters, H. Schleife (Uni Hamburg), Ch. Bäumer, H. Hesse, R. Pankrath, H. Vogt (Uni Osnabrück), R. Bertram, St. Ganschow, D. Klimm, H. Wilke (IKZ Berlin), P. Becker, L. Bohatý, M. Burianek, R. Emmerich, A. Goriounova, P. Held, N. Machianova, M. Mühlberg, S. Podlojenov, Ch. Poetsch, M. Reuß, J. Stade, A. Thöne, V. Wirth (Uni Köln) B. Hildmann (DLR Köln-Porz), E. Hägele, H. Klapper, K. Recker, F. Wallrafen (Uni Bonn), B.-G. Wang (Caesar Bonn), D. Schwabe (Uni Giessen), L. Parthier, G. Wehrhan (Schott-ML Jena), L. Ackermann, K. Dupré (FEE Idar Oberstein), I. Dohnke (Uni Bern)

Im folgenden werden kurz die Themeninhalte in chronologischer Reihenfolge wiedergegeben:

Prof. Klapper (Uni Bonn) gab in seinem Vortrag „*Schnelle Züchtung von Kristallen aus wässrigen Lösungen: Motivation, Methodik, Realstruktur*“ einen Überblick über den erreichten Stand dieser Methode, mit der am Lawrence Livermore Lab. KDP-Einkristalle bis 58 cm (!) Kantenlänge in wenigen Wochen gezüchtet werden (s.a. www.llnl.gov).

Freiberger



Worldwide Customer Support

North America

Freiberger Compound Materials USA, Inc.
4259 West Swamp Road
Doylestown, PA 18901
Phone (+1) 215 345 6445
Fax (+1) 215 345 6298
E-mail: fcmusa@aol.com

Western Europe

except Germany, Austria
Groupe Arnaud
Dr. Elie Prudhommeaux
68, Av. du General Michel Bizot
F-75012 Paris
Phone (+33) 1 44 73 10 70
Fax (+33) 1 44 73 10 53
E-mail: Elie.Prudhommeaux@a-arnaud.fr

Korea

Seokyo Commerce Co. Ltd.
J. H. Jung
Baekje Bldg. #201, 980-29,
Bang Bae Dong
Seochoku Seoul
137-060, Korea
Phone (+82) 25 97 39 61
Fax (+82) 25 97 39 64
E-mail: seokyo@netsgo.com

Japan

Pechiney Japon
Kazunori Anzai
29 Fl. Shinjuku Mitsui Bldg.
2-1-1 Nishi Shinjuku
Shinjuku-ku, Tokyo 163-04
Phone (+81) 3 33 49-67 05
Fax (+81) 3 33 49-67 78
E-mail: K.anzai@pechiney.co.jp

Taiwan

V-TEK Co. Ltd.
Albert Hong
No. 205 Kaotsui Rd.
R.O.C. Hsinchu, Taiwan
Phone (+8 86) 35 77 73 62
Fax (+8 86) 35 77 73 35
E-mail: vtc01@ms12.hinet.net

- Semi-insulating
VGF and LEC wafers up to 6"
- Semi-conducting
VGF and LEC wafers up to 4"
- Comprehensive crystal and
wafer characterization
- Bulk material with extremely
low residual impurity
concentration
- High uniformity of electrical
parameters for ion-implantation
- Excellent surface quality for
epitaxial growth
- Laser-marking options

Gallium Arsenide substrates for micro- and optoelectronics

Freiberger Compound Materials GmbH

Am Junger Löwe Schacht 5

D-09599 Freiberg, Germany

Phone (+49) 3731 2 80-0

Fax (+49) 3731 2 80-1 06

E-mail info@fcm-germany.com

www.fcm-germany.com



In alliance with the future

Am Mineralogischen Institut der Uni Bonn existieren auch mehrere Laborapparaturen zur „schnellen Kristallisation“, mit denen erfolgreich verschiedene Alaune, NaClO_3 und Tutton'sche Salze mit Kantenlängen bis 80 mm gezüchtet werden können.

Die Methode nutzt die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit aus; in der Regel beginnt man bei 75°C . Der Keimkristall befindet sich auf einer Unterlage, die beschleunigt mit Haltezeiten von wenigen Sekunden gedreht wird. So wird ein Höchstmaß an Durchmischung der Lösung erreicht. Weitere experimentelle Parameter: Abkühlrate 0,5 - 4 K/d; KDP wächst dabei mit ca. 4 cm/d (!). Prof. Klapper gab anhand von röntgentopographischen Aufnahmen einen Überblick über die Defektstrukturen in diesen Kristallen, die im wesentlichen nach dem Abklingen der Versetzungsstrukturen beim Anwachsvorgang versetzungsfrei sind.

Herr Dr. Wirth (Uni Köln) faßte in sehr übersichtlicher Form die „Basischarakterisierung optischer Materialien: Messung von Brechwerten, Doppelbrechung und deren Temperaturverhalten“ zusammen. Präzisionsmessungen von Brechwerten bilden die Grundlage für fast alle weiterführenden optischen Messungen und die Bestimmung spezieller Tensoren der Elektrooptik, Frequenzverdopplung und Elasto-/ Piezooptik.

Werden die Brechwerte auch noch bei unterschiedlichen Lichtwellenlängen gemessen (Dispersion), so kann die Phasen Anpassungsrichtung für die Frequenzverdopplung aus diesen Daten gewonnen werden. Diese hieraus gewonnenen Phasen Anpassungsbedingungen bilden ein Kriterium für einen späteren Einsatz dieses Materials zur Frequenzvervielfachung.

Zur Messung von Brechwerten und ihrer Dispersion bei Raumtemperatur wird in Köln ein Goniometer-Spektrometer der Firma MÖLLER-WEDEL verwendet. Die Ablenkwinkel des Lichtstrahls können bis auf $2''$ genau gemessen werden, wobei 15 diskrete Wellenlängen zwischen 0,2537 und 2,3253 μm zur Verfügung stehen.



Bild 1: Blick in den Bonner Hörsaal während des AK-Treffens

Die Temperaturabhängigkeit einzelner Brechwerte wird mit einem JAMIN-Interferometer gemessen. Hierbei wird das Durchwandern des Interferenzstreifenbildes bei Temperaturänderungen am Kristall beobachtet. Bei Kenntnis der thermischen Ausdehnung kann aus der Anzahl gewanderter Streifen die Temperaturänderung des Brechwertes bestimmt werden.

Für Präzisionsmessungen des Temperaturverlaufs der Doppelbrechung kommen ellipsometrische Kompensator-Techniken (SÉNARMONT- Kompensator) zum Einsatz. Linear polarisiertes Licht durchstrahlt definiert eine doppelbrechende Kristallplatte, so daß elliptisch polarisiertes Licht entsteht. Aus

Messung seiner Elliptizität und deren Änderung kann bei Kenntnis der thermischen Ausdehnung die Änderung der Doppelbrechung mit der Temperatur bestimmt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind einige Charakteristika der unterschiedlichen Meßverfahren zusammengefaßt:

	n	dn/dT	$d(n,n)/dT$
Meßverfahren	Goniometer	Interferometer	Ellipsometer
Präparat	Prisma	Quader (Platte)	Quader (Platte)
Kristalle	alle	alle	doppelbrechend
Bestimmung	absolut	relativ	relativ
		Bezugswert	Bezugswert
Meßwerte	diskret	diskret	kontinuierlich
	abgleichen	automatisch	automatisch
Genauigkeit	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$

Herr Vogt (Uni Osnabrück) widmete sich in seinem Beitrag der „Phasenbreite bei Kristallen mit Sillenitstruktur“. $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ -Einkristalle wurden nach dem Czochralski-Verfahren aus Schmelzen gezüchtet, die 9; 10,5; 14,3; 18 und 20 Mol-% GeO_2 enthielten (die exakte stöchiometrische Zusammensetzung entspricht 14,3 Mol-% GeO_2). Je geringer der GeO_2 -Anteil war, desto dunkler waren die Kristalle gefärbt, und gleichzeitig wurde der core-Bereich in den Einkristallen deutlicher. Bei 20 Mol-% GeO_2 wurde kein dunkler core-Bereich mehr beobachtet. Aus der Bestimmung der effektiven Störstellendichte mit holographischen Verfahren wurde abgeschätzt, daß bei Kristallen, die aus einer Schmelze mit 18 Mol-% GeO_2 gezüchtet wurden, 24-60 ppm Bi sich auf einem Ge-Platz befinden, bei 9 Mol-% sind es 150-210 ppm, so daß auf eine Phasenbreite zwischen 0,01 und 0,03 Mol-% geschlossen werden konnte, die durch ändernde Verhältnisse von Bi^{3+} und Bi^{4+} realisiert wird.

Ch. Bäumer (Uni Osnabrück) berichtete über die „Züchtung von LiTaO_3 -Kristallen in einer widerstandsbeheizten Anlage“. LiTaO_3 (PSG 3m) schmilzt bei 1650°C kongruent, und die Curie-Temperatur der untersuchten Kristalle liegt in Abhängigkeit von Li-Gehalt zwischen 580 und 690°C . Fe- und Zn-dotierte Einkristalle wurden nach der Czochralski-Methode gezüchtet. Nachdem eine Tiegelbodenheizung zu keiner Erhöhung des axialen Temperaturgradienten führte, konnte dies durch Absenken des Nachheizers erreicht werden. Bei Werten von $G \sim 10$ K/cm wurden mit $V = 0,5$ mm/h Kristalle mit Durchmessern zwischen 15 und 17,4 mm gezüchtet. Die Zusammensetzung der Kristalle wird nicht nur durch die Ausgangsschmelze, sondern auch durch ein partielles Abdampfen des Li bestimmt, so daß die Kristalle einen axialen Li-Gradienten aufweisen können.

Frau Dr. Dohnke (Uni Bern) stellte Ergebnisse zu „Herstellung und Charakterisierung von kristallinen Wellenleitern in Fluorid-Laserkristallen“ vor.

Kristalline Wellenleiter besitzen im Vergleich zu Laserkristallen und Gläsern zahlreiche Vorteile hinsichtlich ihrer Lasereigenschaften wie z.B. der Verringerung der Schwellenwerte und der Möglichkeit einer Miniaturisierung von Laserquellen. Die „Wafer“-Technologie umfaßt eine Vielzahl von Verfahren, mit denen zwei- und eindimensionale Wellenleiter hergestellt werden können. Hierzu gehören die Diffusions-, Implantations- und Sputtertechniken sowie Epitaxie-Verfahren wie die Molekularstrahl-, metallorganische Dampfphasen- oder die Flüssigphasenepitaxie. Das Doppelfluorid LiYF_4 , dotiert mit Seltenen Erden zeigt zahlreiche „up-conversion“ Eigenschaften, die für Laseranwendungen bei verschiedenen Wellenlängen geeignet sind.

Die Züchtung von LiYF_4 Kristalle erfolgte mit dem Gradienten-Verfahren in stationären Tiegeln (VGF) mit [100], [001] und [110] Keimorientierungen, aus denen Substrate präpariert

wurden. Undotiert gewachsene Kristalle ($\varnothing = 15 \text{ mm}$, $L = 100 \text{ mm}$) waren frei von Großwinkelkorngrenzen. Eine charakteristische Verteilung von Kleinwinkelkorngrenzen wurde mittels selektiven Ätzens festgestellt. Lichtmikroskopische Untersuchungen zeigten keine Einschlüsse.

Erste Versuche zur Herstellung eines Wellenleiters mittels hochenergetischer He^+ -Implantation ergaben, daß die Implantationsenergien und die Temperparameter optimiert werden müssen.

Mit Lanthaniden dotierte LiYF_4 Schichten wurden durch Flüssigphasenepitaxie (Einbautechnik) aus LiF-reichen Schmelzlösungen gewachsen. Die Herstellung eines ersten LiYF_4 :Nd Wellenleiterlasers gelang mittels mechanischer Präparation. Zwei Verfahren wurden zur Strukturierung der LiYF_4 Substrate entwickelt. Durch Ionenstrahlätzen konnten $5 \mu\text{m}$ breite Wellenleiter hergestellt werden. Wenige μm breite Strukturen wurden mittels chemischem Ätzens erhalten, deren Oberflächenrauigkeit durch eine thermische Vorbehandlung der LiYF_4 Kristalle deutlich verbessert werden konnte.

Für das Wachstum von LiYF_4 Schichten mit Dicken $\sim 5 \mu\text{m}$ ist eine Optimierung des Fluxes notwendig. Schmelzlösungen, bestehend aus LiCl - LiF - YF_3 , werden derzeit getestet.

Herr Ganschow (IKZ Berlin) sprach über die „Züchtung und Zusammensetzung von TAG-Einkristallen“. Aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften (optisch isotrop, ausgezeichnete Transparenz und hohe Verdetkonstante) ist Terbium-Aluminium-Granat ($\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, TAG) eines der aussichtsreichsten Materialien für die Anwendung als Faraday-Rotor in optischen Isolatoren für den sichtbaren und nahen infraroten Wellenlängenbereich. Die Züchtung von

Einkristallen ist jedoch durch die peritektische Zersetzung bei etwa 1860°C äußerst kompliziert, so daß bislang nur aus Schmelzlösungen gezüchtete Kristalle verfügbar waren.

Es wurden TAG-Kristalle nach der „micro pulling down“ Methode aus stöchiometrischen und aluminiumoxidreichen Schmelzen gezüchtet. Die aus Schmelzen nahe der stöchiometrischen gezogenen Kristalle enthielten merkliche, mit zunehmender Aluminiumoxidkonzentration in der Schmelze abnehmende Mengen des Perowskits TbAlO_3 (TAP). Gemäß der Abschätzung der Mengenanteile von TAP in den Kristallen lassen sich perowskitfreie Kristalle aus Schmelzen mit Terbiumoxidkonzentrationen unter $32,11 \text{ mol}\%$ züchten.

Dieses Ergebnis konnte in den Folgeversuchen mit aluminiumoxidreichen Ausgangsschmelzen bestätigt werden. Jedoch enthielten diese Kristalle neben einem nahezu ungestörten Kern im Randbereich zahlreiche Einschlüsse des binären Eutektikums $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TAG}$ als Folge der Segregation zwischen flüssiger und fester Phase.

Die Zusammensetzung der festen Granatphase wurde an ungestörten Bereichen der aus einer Schmelze mit $31,7 \text{ mol}\%$ Terbiumoxid gezüchteten Kristalls mittels EDX sowie ICP-MS bestimmt. Beide Methoden ergaben ein höheres $[\text{Tb}^{3+}]/[\text{Al}^{3+}]$ -Verhältnis als das stöchiometrische 3:5. Bemerkenswert ist dabei, daß insbesondere die ICP-Messungen Stöchiometrieabweichungen ergaben, die weit über denen vergleichbarer Systeme (Seltenerd-Gallium-Granate) liegen. Andererseits lassen sich einige physikalische Eigenschaften, insbesondere die außergewöhnlich hohe Verdetkonstante des TAG, mit dieser starken Abweichung recht gut erklären.

Cyberstar

SCIENTIFIC & INDUSTRIAL INSTRUMENTS

■ CZOCHRALSKI OXIDE PULLERS

- From the micro-puller (capability: 300 g) up to the industrial puller (capability: 100 kg).
- Operating pressure: from vacuum up to 2 bars (absolute pressure).
- Full automation with automatic diameter control (Windows version)

■ CZOCHRALSKI II - VI AND III - V CRYSTALS

- Up to 4 inches in diameter.
- Operating pressure up to 100 bars.
- Full automation of the process.

BRIDGMAN - STOCKBARGER FURNACES

■ IMAGES FURNACES

- (Xenon, halogen and laser heating).

■ CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS BUILDING ELEMENTS:

- Pulling head (translation, rotation, weighing units and software).
- Direct drive, vibration free translation/rotation units.
- Torque mode motors and electronics.
- Weighing device and rotation unit.
- Vacuum tight, water cooled chambers, water cooled pulling rod, seed orientation device, magnetic rotating seal, glass to metal coaxial feedthrough.

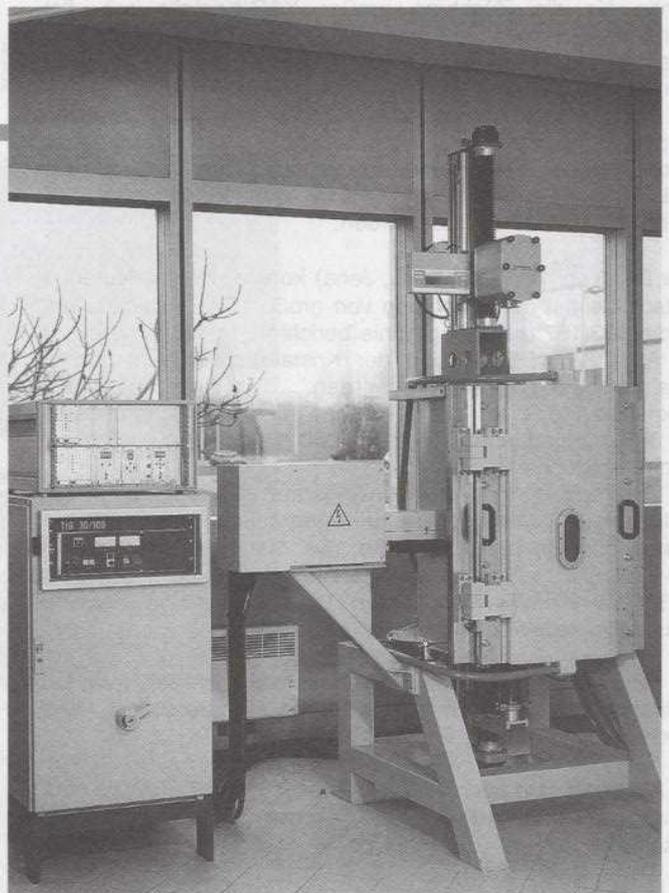
■ MAIN CUSTOMERS OVER THE WORLD

- USA, Europe, Asia.

Cyberstar

Call for more information

Parc Sud Galaxie - BP 344 - 38435 Echirolles cedex - France
Tel: 33 4 76 40 35 91 - Fax 33 4 76 40 39 26
E-mail: cyberstar@dial.oleane.com - Website: www.cyberstar.fr



Herr Prof. Schwabe (Uni Gießen) unternahm einen „Experimentellen Vergleich der Konvektionsstrukturen in Czochralski-Geometrie unter Schwerelosigkeit und im Labor“. Bei der Züchtung von oxidischen Kristallen nach Czochralski kann man oft ein speichenförmiges Konvektionsmuster auf der freien Schmelzoberfläche beobachten. Bei den vorgestellten Experimenten geht es unter anderem um die Frage, ob und wie die thermokapillare Konvektion (durch Oberflächenspannungsdifferenzen angetriebene Konvektion) an diesem „spokes pattern“ beteiligt ist. Es gibt aber neben dem stationären dreidimensionalen spokes pattern (3 DSI) noch Temperaturosillationen im Tiegel, die durch rotierende Strukturen bzw. azimuthal laufende Wellen hervorgerufen werden. Diese treten unter Schwerelosigkeit und unter normaler Schwere auf.

Erste Ergebnisse eines Experiments (MAGIA) auf dem russischen Satelliten Foton 12 wurden vorgestellt sowie einige Versuche im Labor, um die Erkenntnisse auf realere Züchtungssituation zu übertragen.

Herr Dr. Wilke (IKZ Berlin) berichtete über „Besonderheiten bei der Züchtung großer YAG-Kristalle: Eine numerische Analyse“. Bei der Züchtung von Kristallen nach dem Czochralski-Verfahren spielen die hydrodynamischen Transportvorgänge eine wichtige Rolle. Der damit verbundene Stoff- und Wärmetransport beeinflusst maßgeblich die Qualität der gezüchteten Einkristalle. Die Triebkräfte der Konvektion in der Schmelze sind in der Regel thermisch bedingte Dichteunterschiede, Thermokapillarität an der freien Schmelzoberfläche und Rotation des Kristalls. Änderungen des Volumens der Schmelze wirken sich unmittelbar auf das Zusammenspiel dieser Kräfte aus. Bei Kristallen mit großem Durchmesser dominiert die als „bulk“-Phänomen bekannte Dichtekonvektion. Trotzdem genügt ein kleiner, kräftiger Wirbel, hervorgerufen durch die Kristallrotation, um die Form der Phasengrenze Kristall-Schmelze zu kontrollieren. Dies ist wichtig für die Züchtung großer YAG-Kristalle mit „flat interface“. Als Ergebnis einer numerischen Parameteridentifikation mittels einer Finite-Elemente-Methode kann eine Zuordnung zwischen Füllstandshöhe der Schmelze und notwendiger Rotationsrate für „flat interface“ gefunden werden. Verschiedene Anordnungen der Nachheizer (Abdeckbleche) können ebenfalls simuliert werden. Durch die veränderte Wärmestrahlung kann der Züchtungsprozess ebenfalls gezielt beeinflusst werden.

Herr Dr. Wehrhan (Schott-ML, Jena) konnte über bedeutende Fortschritte bei der „Züchtung von großen CaF_2 -Einkristallen“ für die 193/157 nm Lithographie berichten. Im letzten Jahr ist die Anzahl und Dimension der Kristallzüchtungsanlagen in Jena beträchtlich erhöht worden. Z.Zt. werden CaF_2 -Einkristalle (i.d.R. in [111]-Richtung) mit einem Durchmesser von 385 mm und einer Länge von 250 mm (100 kg !) in ca. 12 Wochen gezüchtet.

Die Anstrengungen sind insbes. darauf gerichtet, durch die Reduzierung der radialen Temperaturgradienten eine extreme Homogenität im Brechungsindex ($\Delta n < 10^{-6}$) zu erhalten, so daß Gangunterschiede durch Spannungsdoppelbrechung nicht größer als 1 nm/cm sein dürfen. Die Kristalle sind teilweise einkristallin, teilweise enthalten sie Korngrenzen.

Die Mitglieder des Arbeitskreises bedanken sich bei Herrn Dr. Wallrafen für die organisatorische Vorbereitung und Durchführung in Bonn.

Die Abstracts sind auch im Internet unter www.uni-koeln.de/math-nat-fak/Kristall/ak_oxid2000.html einsehbar.

Die nächste AK-Tagung wird im September 2001 vereinbarungsgemäß wieder in Köln stattfinden (s. MB Mai 2001).

III-V – Halbleiter

Herbsttreffen des Arbeitskreises in Freiberg

Bericht von U. Sahr u. B. Birkmann, Kristalllabor Erlangen

Auch dieses Jahr fand wieder das Herbsttreffen des DGKK-III/V-Arbeitskreises in Freiberg statt. Die Veranstalter, die DGKK, die TU Bergakademie Freiberg und die Freiburger Compound Materials GmbH stellten ein Programm mit über 15 interessanten Beiträgen zusammen.

Der Einführungsvortrag von R. Diehl über „Die 90er Jahre - Dekade des GaAs“ faßte die Entwicklung bei GaAs in den letzten zehn Jahren zusammen. Hr. Diehl sprach von dem sogenannten „Eishockeyschläger-Effekt“, der sich hier bemerkbar macht, d.h. die Nachfrage nach GaAs stieg zunächst langsam und erlebte dann, durch das rapide Wachstum u.a. in der Kommunikationselektronik, einen starken Anstieg, so daß die Wachstumskurve einem Eishockeyschläger gleicht. Er wies daraufhin, daß erst die jahrelange Forschung auf diesem Gebiet den jetzigen Boom ermöglichte.

Der anschließende sehr interessante Vortrag von A. Seidl über die „Züchtung erster 200mm-GaAs-Kristalle mit dem LEC-Verfahren“ machte deutlich, welche Probleme bei einer Durchmesserergrößerung bei der LEC-Kristallzüchtung auftreten. Eine besondere Schwierigkeit ist dabei die Konvektion in der Schmelze, die bei großen Schmelzvolumina zunehmend problematisch wird. Hr. Birkmann konnte in seinem Vortrag über die „Optimierung der Tiegelstütze für die VGF-Kristallzüchtung von Si-dotiertem GaAs (3“)“ den Vorteil der numerischen Modellierung bei der Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen zeigen. Der Vortrag „Partiell wandfreie Züchtung nach dem detached Bridgman-Verfahren: Voraussetzungen und Möglichkeiten“ von A. Cröll stellte eine der ausgefalleneren Varianten der Kristallzüchtung vor. Gerade für Substanzen, die bei Kontakt mit der Tiegelwand mit Fehlwachstum reagieren, eröffnen sich hier neue Perspektiven.

Nach zahlreichen Beiträgen über GaAs gab es auch von D. Hofmann aus Erlangen und Hr. Rost Berichte über die SiC-Kristallzüchtung. Auch beim SiC werden nun große Anstrengungen unternommen dieses Material im semiisolierenden Zustand herzustellen. Hr. Sahr vom Kristalllabor Erlangen lieferte einen Beitrag über die 2° -InP Züchtung mit dem VGF-Verfahren und konnte über die Züchtung eines Einkristalles berichten.

Der Abend des ersten Tages endete mit einem Sächsisch-Erzgebirgischem Buffet, das von der Freiburger Compound Materials GmbH gesponsert wurde. Bis spät in die Nacht wurde noch über das Gehörte diskutiert sowie alte Bekanntschaften gepflegt.

Am zweiten Tag des Arbeitskreises wurde hauptsächlich über die Charakterisierung gesprochen. A. Knauer diskutierte in seinem Vortrag den Einfluß von Substrateigenschaften auf verschiedene GaAs-Bauelemente. Während für HBT's noch kein Einfluß der Versetzungsdichte auf die Funktion nachgewiesen ist, können bei der Herstellung von Laserbarren bereits einzelne Versetzungen zum Ausfall des Bauelements führen. Hier ist es notwendig, Substrate mit versetzungsfreien Gebieten, bzw. versetzungsfreie Substrate einzusetzen. Anschließend Beiträge behandelten Leerstellen, Punktdefekte und Komplexe in GaAs. Langsam zeichnet sich auch ein Verständnis des Kompensationsmechanismus in Si-dotiertem GaAs ab. So zeigte Herr Gebauer (Halle), daß für

hoch n-dotiertes GaAs die Galliumleerstelle der häufigste Defekt ist. Die Leerstellenkonzentrationen konnten von ihm mittels Positronenannihilation gemessen werden. Herr Kretzer (Freiburg) konnte ein Kompensationsmodell aufstellen, das auf LVM-Daten beruhte und über einen weiten Konzentrationsbereich den Zusammenhang zwischen Ladungsträgerkonzentration und Siliziumkonzentration quantitativ beschreibt. Herr Wiedemann (Frankfurt) zeigte mittels SSMS, daß sich der Si-Einbau (Donator) bei der VGF-Züchtung quantitativ durch die Scheilsche Gleichung beschreiben läßt, während dies aufgrund von Defektreaktionen für die Ladungsträgerkonzentration nicht zutrifft. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß es viel neues und interessantes zu hören gab, und die Teilnahme sich gelohnt hat. Damit ergeht auch eine herzliche Einladung zum nächsten Arbeitskreistreffen im Frühjahr 2001 in Berlin am Institut für Kristallzüchtung (IKZ).

Arbeitskreis Kinetik

Aufruf zum „Kinetikseminar“

Von Peter Rudolph, Institut für Kristallzüchtung Berlin

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen, nachdem unser erstes Kinetikseminar so erfolgreich war, haben wir den DGKK-Arbeitskreis "Kinetik" gegründet. Wir wollen uns einmal im Jahr zusammenfinden und über neue Erkenntnisse diskutieren.

Das nächste Treffen ist für den 22. - 23. Februar 2001 an der Universität Erlangen vorgesehen. Die Vorträge sollen am Do, dem 22. 02. gegen 13:00 Uhr beginnen.

Am Abend wollen wir uns wieder zu einem geselligen Beisammensein zusammenfinden. Am Freitag Vormittag führen wir die Vorträge fort und schließen die Veranstaltung gegen 13:00 Uhr.

Für Unterkunft und Fahrkosten muss jeder Teilnehmer selbst aufkommen. Für die Übernachtung empfiehlt es sich, eine Zimmerbestellung in einem der zahlreichen Hotels im Umkreis des Erlanger Universitätsgeländes vorzunehmen.

Verkehrsverein Erlangen, Rathausplatz 1, 91052 Erlangen,
Tel: 09131-8951-0, Fax: hinten -51,
e-mail: tourist@stadt.erlangen.de,
Home page: www.erlangen.de,
die Hotel-/pensionsliste unter click City-Tourist-Info.

Die örtliche Organisation der Veranstaltung liegt in den Händen von Prof. Dr. H. Strunk.

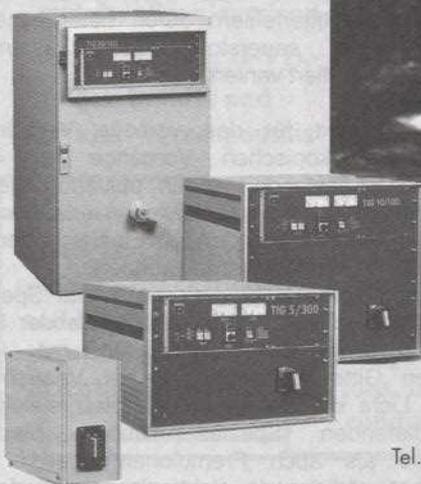
Ein besonderes Anliegen ist wiederum die Zusammenführung von Physikern und Kristallzüchtern. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie und Ihre Kollegen und Studenten am zweiten Kinetikseminar teilnehmen. Natürlich sind Vorträge aus dem eigenen Arbeitsgebiet besonders willkommen. Wie bereits beim ersten Seminar, wollen wir die Vorträge wieder in die folgenden Schwerpunkte einteilen:

- Theorie des Kristallwachstums aus atomistischer Sicht
- In-situ-Studium kinetischer Prozesse
- Wachstumsmoden bei der Epitaxie
- Kinetische Vorgänge bei der Züchtung von Volumenkristallen.

Neben Metallen, Halbleitern und Dielektrika sollen auch wieder biologische und organische Kristallmaterialien behandelt werden.

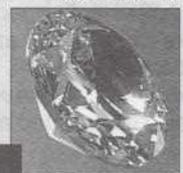
Generatoren für die Induktionserwärmung

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



Anwendungsbeispiele:

Kristallziehen



Glühen



Schmieden

Qualität hat einen Namen:

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



Die Kollegen aus den Niederlanden (Prof. J.P. van der Eerden) werden wieder aktiv teilnehmen und das dritte Seminar 2002 organisieren.

Bitte teilen Sie Ihre Zusage und Vortragsanmeldungen einem der unten aufgezählten Kollegen mit.
Vorschläge fuer weitere Themen sind ebenfalls erwünscht.

Wir wünschen uns allen wieder einen guten Erfolg.

Prof. Dr. H. Strunk
Universitaet Erlangen
Inst. fuer Mikrocharakterisierung
strunk@ww.uni-erlangen.de
Tel +49-9131-85-28601
Fax +49-9131-85-28602

Prof. Dr. H. Mueller-Krumbhaar
KFK Juelich, Theorie 3
h.mueller-krumbhaar@fz-juelich.de
Tel +49-2461-61-3428
Fax +49-2461-61-2620

Prof. Dr. P. Rudolph
IKZ Berlin
rudolph@ikz-berlin.de
Tel +49-30-6392-3034
Fax +49-30-6392-3003

4. Kristallzüchtung in Deutschland

Spektroskopische in-situ Methoden zur Untersuchung von Kristalleigenschaften an der TU-Braunschweig

Stephan Kipp, Klaus Dieter Becker

Institut für Physikalische und Theoretische Chemie,
Technische Universität Braunschweig, Hans-Sommer-Str. 10,
D-38106 Braunschweig

Zusammenfassung

Dieser Artikel soll einen Überblick über die in der Abteilung "Festkörperchemie" am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der TU-Braunschweig eingesetzten Techniken zur Charakterisierung der Eigenschaften von Kristallen, Gläsern und amorphen Festkörpern geben.

Neben den klassischen ex-situ Messmethoden, wie der optischen Mikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie mit Röntgenfluoreszenzanalyse, Rastersondenmikroskopie und Röntgenmethoden, werden insbesondere solche spektroskopischen Techniken verwendet, die in-situ, d.h. bei hohen Temperaturen und definierten Sauerstoffpartialdrücken eingesetzt werden können. Als Schwerpunkt sind dies in Braunschweig die UV-VIS-NIR-, die Mössbauer- und die ESR-Spektroskopie.

Mit Hilfe dieser spektroskopischen in-situ Methoden ist es möglich, die Dynamik und Fehlordnung am "lebenden Kristall" zu verfolgen und sichtbar zu machen.

Spectroscopic in-situ methods for the determination of crystal properties

Abstract

This paper gives an overview of the experimental techniques used for the characterization of crystals, glasses and amorphous solids by the Solid State Chemistry Group at the Institute of Physical and Theoretical Chemistry at the University of Braunschweig.

In addition to the classic ex-situ techniques, such as optical microscopy, scanning electron microscopy with X-ray fluorescence spectroscopy, scanning probe microscopy and X-ray diffraction, spectroscopic techniques which can be used in-situ at elevated temperatures and well defined oxygen partial pressures are of particular interest, i.e. UV-VIS-NIR-, Mössbauer- and ESR-Spectroscopy.

Spectroscopic in-situ methods provide the means to observe the "living crystal" and to obtain information about atomic dynamics and lattice disorder.

1 Einleitung

Viele der im Zusammenhang mit der Reaktivität von Festkörpern interessierenden Eigenschaften und Vorgänge lassen sich nur sinnvoll detektieren, wenn die zu untersuchenden Materialien auf Temperaturen weit oberhalb Raumtemperatur gebracht werden. Erst dann beginnen die hier vorgestellten Verbindungen zu "leben". So erreicht z. B. der Diffusionskoeffizient der Eisenionen in FeO bei 1100°C Werte von $10^7 \text{ cm}^2/\text{s}$ [1]. Unter Berücksichtigung der Gitterkonstanten [2] kann man hieraus die Sprungfrequenz der Eisenionen zu etwa $6.5 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ abschätzen. Dies bedeutet, dass bei dieser Temperatur jedes Kation in FeO im Mittel pro Sekunde etwa 650 millionenmal seinen Platz wechselt. Trotzdem bewahrt der Kristall auch unter diesen Bedingungen seine NaCl-Struktur. Dieses Beispiel zeigt, dass Kristalle bei hohen Temperaturen oft nichts mit den starren Kristallmodellen gemein haben, die unsere Anschauungen üblicherweise prägen. Bei hohen Temperaturen können Gitterbausteine extreme Dynamik aufweisen; in speziellen Fällen, wie z.B. bei AgI oder Ag_2S , kann man sogar mit gutem Grund vom Schmelzen des Silberteiligitters sprechen.

Die Diffusion in Festkörpern wird massgeblich durch die vorherrschende atomare Fehlordnung bestimmt. Ihr Ausmass kann durch Equilibrierung mit externen Phasen eingestellt und kontrolliert werden. Aus praktischen Erwägungen sind hierfür die flüchtigen Komponenten der betreffenden Festkörper besonders geeignet. Im Fall von Oxiden kann die Konzentration von Gitterfehlern durch heterogene fest-gas Gleichgewichte mit sauerstoffhaltigen Gasatmosphären eingestellt und kontrolliert variiert werden.

Ein wichtiger Aspekt für das vertiefte Verständnis der ablaufenden mikroskopischen Vorgänge ist, dass die spektroskopischen Methoden neben pulverförmigen Proben auch die Untersuchung von Einkristallen erlauben, so dass viele der interessierenden Eigenschaften auch richtungsspezifisch ermittelt werden können.

Die nachfolgend vorgestellte optische in-situ Spektroskopie erlaubt die Untersuchung optisch absorbierender Spezies in Kristallen. Im Fall von Einkristallen mit komplexen nichtkubischen Gitterstrukturen und bei Verwendung von polarisiertem Licht ist dies sogar gitterplatzselektiv möglich. Die absorbierenden Spezies können hier sowohl Gitterbausteine als auch Fremdionen oder in geringen Konzentrationen vorliegende elektronische Gitterfehler sein. Dagegen ist es für die ESR-Spektroskopie meist erforderlich,

geeignete lokale Sonden in hoher Verdünnung in die zu untersuchenden Materialien einzubringen. Während ESR-Untersuchungen an Einkristallen durchaus üblich sind, werden Mössbauer Untersuchungen in der Regel an Pulvern ausgeführt.

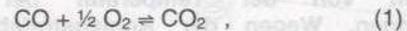
Als weitere für die Untersuchung der Reaktivität von Festkörpern eingesetzte Methoden sind noch die Thermogravimetrie, die γ -Spektroskopie von radioaktiven Tracern und die elektrische Leitfähigkeit zu nennen. Die Thermogravimetrie erlaubt es, mit grosser Genauigkeit Gewichtsveränderungen, beispielsweise bei Oxidations- und Reduktionsprozessen, zu verfolgen und ihre Reaktionskinetik zu ermitteln. Die Radiotracer-technik liefert unter Verwendung der entsprechenden radioaktiven Isotope Aussagen über die Diffusionseigenschaften der jeweiligen Substanzen. Während die Diffusionsmessung den Transport von Masse erfasst, detektiert die elektrische Leitfähigkeit den Ladungstransport im Festkörper. An Grossforschungseinrichtungen wurden und werden zudem EXAFS- und Neutronenstreuexperimente sowie Experimente zur nuklearen Vorwärtsstreuung (NFS) unter in-situ Bedingungen durchgeführt.

2 Experimentelle Aufbauten

Die spektroskopischen in-situ Methoden besitzen alle den gleichen prinzipiellen Aufbau, der in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellt wird. In allen Fällen wird die zu untersuchende Probe einer analysierenden Strahlung (UV-VIS-, Mössbauer- oder Mikrowellenstrahlung) ausgesetzt, die Probe und Probenraum durchdringt. Der Probenraum kann entsprechend den Zielstellungen geheizt und mit dem gewünschten Messgas gespült werden. Im Fall der optischen

und der Mössbauer-Spektroskopie, sowie bei EXAFS- und NFS-Messungen werden die Messzellen elektrisch beheizt und besitzen eine externe Wasserkühlung, so dass ihre Aussentemperaturen Raumtemperatur nicht wesentlich überschreiten. Im Fall der ESR Spektroskopie wird der Probenraum extern durch einen heissen Gasstrom temperiert. Die gewünschten Sauerstoffpartialdrücke werden durch Verwendung von definierten Gasmischungen eingestellt, die mit Hilfe von präzisen Gasmischern hergestellt werden (Massendurchflussregler und Steuergerät, MKS Instruments).

Der Sauerstoffaktivitätsbereich von $\lg a(\text{O}_2) = 0 \dots -5$ ist sehr einfach durch Mischung von Sauerstoff und Stickstoff zugänglich. Dabei ist die Sauerstoffaktivität hier und im folgenden definiert als $a(\text{O}_2) = p(\text{O}_2)/p(\text{O}_2)^0$ mit $p(\text{O}_2)^0 = 1 \text{ atm}$. Sauerstoffärmere Atmosphären werden dagegen durch puffernde Gasgleichgewichte, z.B. durch Mischungen von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, erzeugt. Der Sauerstoffpartialdruck stellt sich hier entsprechend der Reaktion



mit einer temperaturabhängigen Gleichgewichtskonstanten ein. Der durch CO/CO_2 -Mischungen zugängliche Sauerstoffaktivitätsbereich, ist in Abb. 2 in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Wie ersichtlich, existiert bei niedrigeren Temperaturen ein nicht zugänglicher Bereich, der z.B. bei 700°C zwischen $\lg a(\text{O}_2) = -5$ und $\lg a(\text{O}_2) = -15$ liegt.



T B L - Kelpin

Dr. Gerd Lamprecht
former Kristallhandel Kelpin

Single Crystals for Research and Industry



TBL.Lamprecht@t-online.de :

single crystals

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

sputter targets and evaporation sources (elements and compounds)

optical compounds:

windows, lenses, prisms, rods
blanks: CaF_2 , MgF_2 , BaF_2 , LiF , KBr , CsBr , CsI , Ge , Si , KRS-5/6 , LaF_3 , CeF_3 and others

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

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

single crystal substrates

Si , Ge , III-V and II-VI compounds
 SrTiO_3 , MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 , LaAlO_3 , NdGaO_3 , YAlO_3 , SrLaAlO_3 , MgAl_2O_4 , SiO_2 , LiNbO_3 , SiC , ZnO , NiO , MnO , CoO , Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , BaTiO_3 , CaF_2 , MgF_2 and others

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

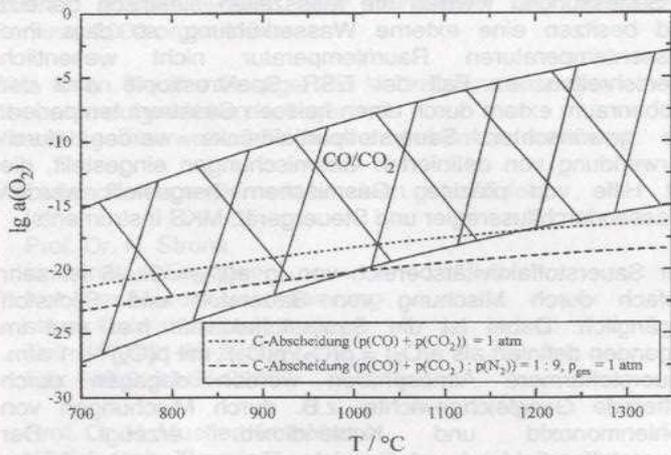


Bild 2: Zugänglicher Sauerstoffaktivitätsbereich in Abhängigkeit von der Temperatur bei CO/CO_2 -Gasmischungen. Wegen der Kohlenstoffabscheidung kann nur oberhalb der unterbrochen gezeichneten Linien gearbeitet werden.

Der nach Gleichung (1) verfügbare Bereich der Sauerstoffaktivität wird allerdings insbesondere bei niedrigen Temperaturen merklich eingeschränkt, da Kohlenmonoxid nach



disproportionieren kann (Boudouard-Gleichgewicht). Hierdurch kann es zu unerwünschten Kohlenstoffabscheidungen im Ofeninneren und auf der Probe kommen. Diese Einschränkung des zugänglichen $a(\text{O}_2)$ -Bereichs kann bis zu einem gewissen Grade durch Verdünnung mit Stickstoff vermindert werden, Abb. 2.

2.1 Optische Spektroskopie

Für die Aufnahme von optischen Spektren bei hohen Temperaturen ist eine spezielle Anordnung des Spektrometers erforderlich, vgl. Abb. 3. Es muss mit einem sogenannten "inversen Strahlengang" gearbeitet werden, da im Standardaufbau unmodulierte, thermische Strahlung auf den Detektor treffen würde, was den Detektor überlasten und die Messung verfälschen würde. Daher wurde ein kommerziell erhältliches Spektrometer (Lambda 9, Perkin Elmer) unter Beibehaltung seines Zweistrahlprinzips durch einen externen Strahlengang dergestalt modifiziert, dass sich die Sequenz:

Lichtquelle
 Probe / Ofen
 Monochromator
 Detektor

ergibt [3-5]. Ein weiterer positiver Effekt des externen Strahlengangs besteht darin, dass die Abmessungen der Hochtemperatur-Messzellen hier keinen wesentlichen Beschränkungen unterliegen. Inzwischen bietet die neueste Generation optischer Spektrometer (Lambda 900, Perkin Elmer) die inverse Strahlenführung als Option. Bei diesen Geräten kann die Messzelle infolge der grosszügigen Platzausstattung des Probenraums direkt in das Spektrometer eingebaut werden.

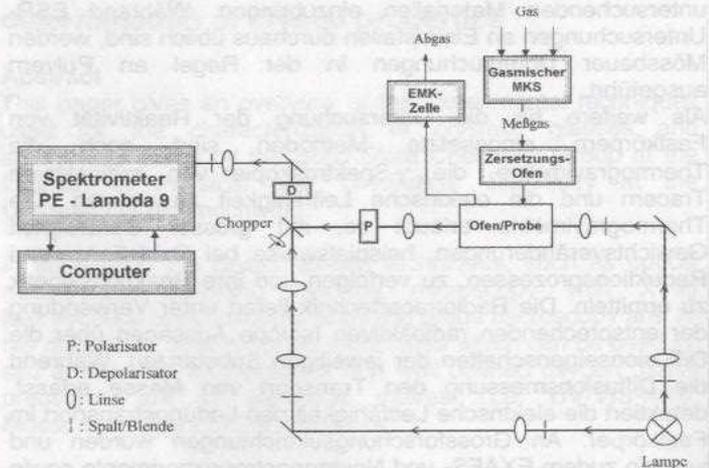


Bild 3: Optisches Spektrometer (UV-VIS-NIR) mit externem Strahlengang.

Die Messzelle muss den Anforderungen an Temperaturkonstanz und Maximaltemperatur genügen. Sie muss gasdicht sein, was bei Nutzung von CO/CO_2 -Gasmischungen aus Sicherheitsgründen kontinuierlich überwacht werden muss. Bei Verwendung dieser Gasmischung dürfen sich im Gasraum überdies keine eisen- oder nickelhaltige Materialien befinden, da sich andernfalls gasförmige Metallcarbonyle bilden können. Eine schematische Darstellung einer solchen Messzelle ist in Abb. 4 gezeigt [3].

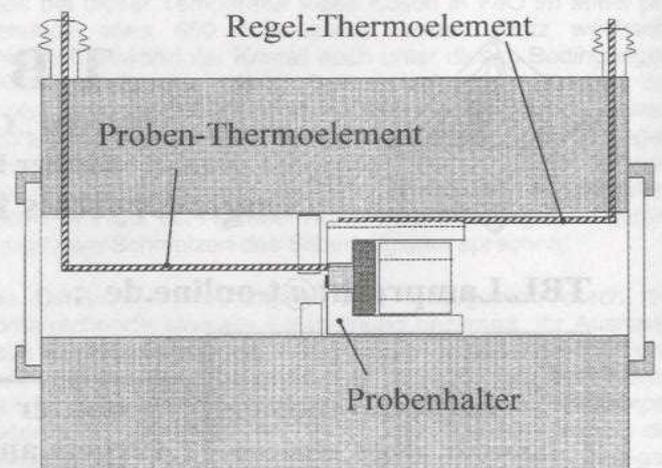


Bild 4: Messzelle für optische Spektroskopie: Gasdichter Hochtemperaturofen mit Probenhalter und Temperaturmessung.

2.2 Mössbauer-Spektroskopie

Mit den vorhandenen Aufbauten werden Mössbauer-Untersuchungen an Eisen, Zinn und Europium durchgeführt. Vorgestellt werden hier jedoch lediglich Ergebnisse zum Mössbauer-Isotop ^{57}Fe . Vom Prinzip entspricht der experimentelle Aufbau und die Ofenkonstruktion dem der optischen Spektroskopie. Zur Untersuchung pulverförmiger Materialien ist der Ofen jedoch senkrecht aufgebaut; das Spektrometer besteht aus Einzelkomponenten (Halder, Canberra). Für die verschiedenen Mössbauer-Isotope sind entsprechende Strahlungsquellen und -detektoren erforderlich.

Die Messungen erfolgen üblicherweise im Transmissionsmodus. Der abgefragte Energiebereich wird durch einen mechanischen Antrieb bestimmt, der die Mössbauer-Strahlungsquelle mit z.B. sinusförmig veränderter Geschwindigkeit auf die Probe zu oder von ihr weg bewegt. Die Energie der Mössbauer-Strahlung kann auf diese Weise infolge des Doppler-Effekts in einem definierten Bereich kontinuierlich variiert werden. Die Spektren enthalten Informationen über die lokalen Wechselwirkungen der ^{57}Fe -Atome/Ionen im Gitter. Sie lassen z.B. Rückschlüsse auf Ladungszustände, Koordination und lokale Magnetfelder zu. Entgegen der weitverbreiteten Einschätzung, dass die Mössbauer-Spektroskopie eine eher bei tiefen Temperaturen einsetzbare Methode sei, haben wir Messungen am Mössbauer-Isotop ^{57}Fe mit Maximaltemperaturen von 1400°C ausgeführt. Im Zusammenhang mit Messungen bei hohen Temperaturen ist besonders die Tatsache zu erwähnen, dass es bei schneller Diffusion der Mössbauer-Atome/Ionen zu quasi-elastischen Linienverbreiterungen kommen kann.

Mössbauer-Untersuchungen können nicht nur an regulären Eisen-Verbindungen durchgeführt werden. Oft können auch aussagekräftige Ergebnisse durch die Dotierung mit Eisen (z.B. selektive Kationensubstitution) erzielt werden. Bei Verwendung von angereicherterem Eisen können Dotierungen bis herab zu etwa 1 mol% ^{57}Fe untersucht werden.

2.3 ESR-Spektroskopie

ESR-Spektroskopie wird überwiegend bei Raumtemperatur eingesetzt. Extrem kurze elektronische Relaxationszeiten können jedoch auch Messungen bei tiefen Temperaturen bis herab zu wenigen Kelvin nötig machen. Doch gibt es auch in der Hochtemperatur-Festkörperchemie infolge der hohen Empfindlichkeit dieser Methode interessante Einsatzgebiete, zumal neben Messungen an Pulvern auch orientierungsabhängige Untersuchungen an Einkristallen möglich sind.

Für die nachfolgend vorgestellten Messungen wurde ein kommerzielles ESR-Spektrometer (EMX, Bruker) eingesetzt. Die Proben temperierung ist hier aufwendiger, da sowohl die Mikrowellenstrahlung als auch das externe Magnetfeld die Probe homogen erreichen muss, diese jedoch geheizt und unter einer definierten Gasatmosphäre untersucht werden soll (siehe Abb. 5). Die kommerzielle Heizvorrichtung aus Quarzglas wurde hierzu durch ein mit den erforderlichen Gasmischungen beschickbares Innenrohr modifiziert [6].

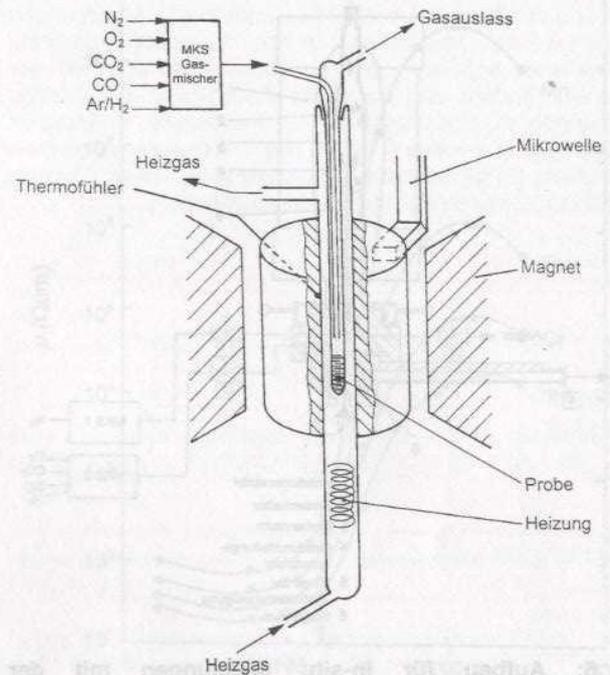


Bild 5: Temperier- und Messvorrichtung für die in-situ-ESR-Spektroskopie.

2.4 Thermoanalyse

Die Thermoanalyse ist keine spektroskopische Methode; sie soll hier aber kurz angesprochen werden, da eine Vielzahl von Festkörperreaktionen mittels der Thermogravimetrie (TGA) oder der Differenz-Thermo-Analyse (DTA) in-situ untersucht werden können. Der schematische Aufbau einer kommerziellen Thermowaage (STA 409, Netzsch) ist in Abb. 6 gezeigt.

Die TGA-Methode eignet sich immer dann, wenn flüchtige Komponenten an der ablaufenden Reaktion beteiligt sind, wodurch es zu Massenänderungen der Probe kommen kann. Mit der kombinierten DTA-Methode können auch Prozesse verfolgt werden, die mit einer Wärmetönung verbunden sind. Hierzu wird die Temperaturdifferenz zwischen der Probe und einer bekannten Vergleichssubstanz gemessen. Mit Hilfe von TGA und DTA können Phasendiagramme erstellt und Reaktions-/Umwandlungskinetiken ermittelt werden.

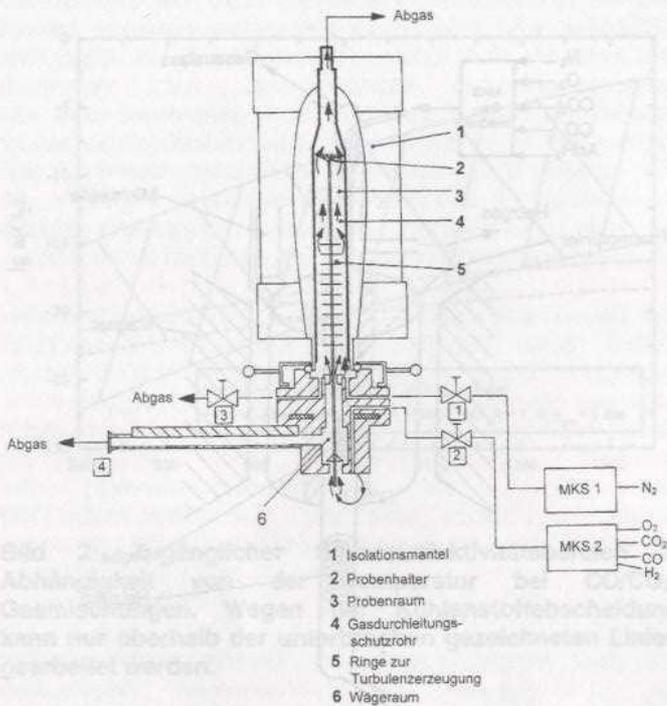


Bild 6: Aufbau für in-situ Messungen mit der Thermowaage (STA 409, Netzsch).

3 Stoffsysteme

In diesem Bericht werden drei Stoffsysteme angesprochen:

- 1) Eisenoxide, die sich hervorragend mittels der Fe-Mössbauer-Spektroskopie untersuchen lassen und zudem über mehrere stabile Oxide verfügen, deren Umwandlungskinetik ineinander sich mit Hilfe thermogravimetrischer Verfahren bestimmen lässt.
- 2) Bariumtitanat, BaTiO_3 , das mit dem PTCR-Effekt (Positive Temperature Coefficient of Resistance) einen der bemerkenswertesten, durch Gitterfehler verursachten Festkörper-Effekte aufweist: So ist bei einer Temperaturerhöhung um wenige 10K ein Anstieg des Widerstandes um bis zu 7 Größenordnungen zu beobachten.
- 3) Eisenhaltige Olivine, $(\text{Fe}_x\text{Mg}_{1-x})_2\text{SiO}_4$, besitzen komplexe optische Eigenschaften - wie von Kristallorientierung und Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes abhängige UV-VIS-Spektren. Ihr Eisengehalt und ihre Kationenverteilung sind für die Struktur und Eigenschaften des äusseren Erdmantels von Bedeutung.

4 Ausgewählte Ergebnisse

4.1 Thermogravimetrie an Wüstit

Betrachtet man das Eisen-Sauerstoff Phasendiagramm, Abb.7 (nach [7,8]), so erkennt man, dass beispielsweise bei einer konstanten Sauerstoffaktivität von $\lg a(\text{O}_2) = -13$ je nach Temperatur die Oxide Hämatit (Fe_2O_3 , RT...620°C), Magnetit (Fe_3O_4 , 620...1000°C) und Wüstit (FeO , 1000...1120°C) gebildet werden. Bei höheren Temperaturen ist metallisches Eisen die stabile Phase. Das (Gleichgewichts-) Phasendiagramm Fe-O ist wohlbekannt, nicht aber die Umwandlungsgeschwindigkeit der Phasen ineinander.

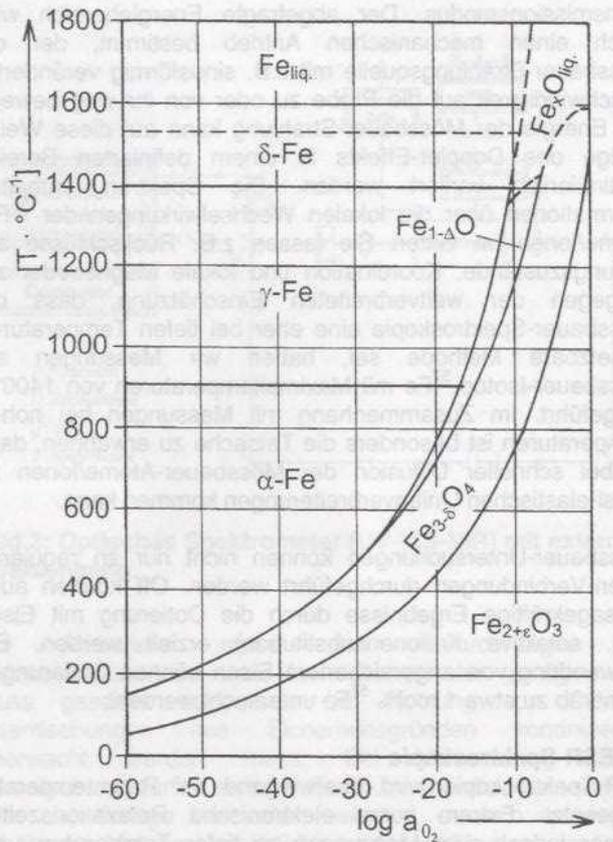


Bild 7: Phasendiagramm des Systems Eisen-Sauerstoff.

Eisenoxidpartikel stellen einen wesentlichen Bestandteil der Mineralbeimengungen von Rohkohle dar. Wegen ihrer vergleichsweise hohen Reaktivität ist die Umwandlungskinetik dieser Partikel im Zusammenhang mit der Verschlackung von Kohlekraftwerken von erheblicher Bedeutung und auch von wirtschaftlichem Interesse.

Abbildung 8 zeigt ein typisches TGA-Experiment. Ausgehend von Wüstit (FeO) wurde bei einer Sauerstoffaktivität von $\lg a(\text{O}_2) = -13$ eine Probe von Raumtemperatur mit maximaler Heizrate ($\approx 100^\circ\text{C}/\text{min}$) zunächst auf 750°C aufgeheizt und nach einer Wartezeit von etwa 10 min mit einer Heizrate von $50^\circ\text{C}/\text{min}$ bis auf 1300°C erwärmt. Die Sauerstoffaktivität wurde hierbei durch entsprechende Variation der Mischungsverhältnisse von CO und CO_2 beim Aufheizen weitestgehend konstant gehalten.

In Übereinstimmung mit dem Phasendiagramm wandelt sich FeO bei der Haltetemperatur von 750°C schliesslich vollständig in Magnetit (Fe_3O_4) um. Die weiter erwartete vollständige Umwandlung zu Hämatit wird nicht beobachtet; sie ist offenbar kinetisch behindert. Die Gewichtsabnahme ab ca. 1000°C führt zunächst zur Bildung von FeO und sodann mit steigenden Temperaturen zur vollständigen Reduktion der Probe zu metallischem Eisen. Aus der Analyse der Kurvenverläufe bei unterschiedlichen Heizraten kann ein Modell entwickelt werden, das die Umwandlungskinetik unter den gegebenen Bedingungen quantitativ beschreibt [9].

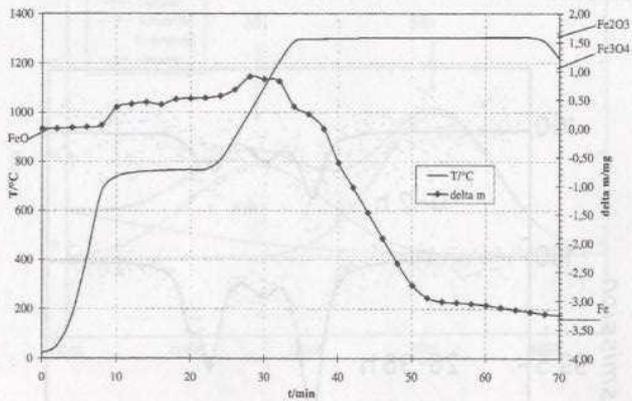


Bild 8: Thermogravimetrische Untersuchung der Umwandlung von FeO zunächst in Fe₂O₃ / Fe₃O₄ und anschließender Reduktion zu metallischem Eisen.

4.2 ESR-Spektroskopie

Bariumtitanat, BaTiO₃, ist als Material für thermoelektrische Bauelemente von Interesse. Grund ist der enorme Anstieg des elektrischen Widerstandes bei geringen Temperaturänderungen im Bereich der tetragonal-kubischen Phasenumwandlung bei etwa 140°C. Abbildung 9 zeigt diesen Effekt für verschiedene Dotierungen. Der grösste Effekt wird bei einer Dotierung mit Mangan erzielt [10].

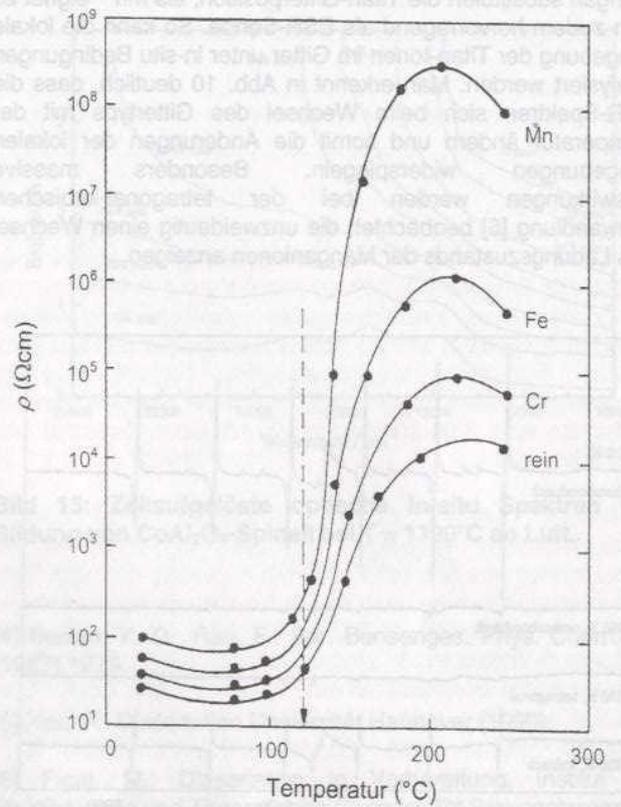


Bild 9: Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstands von BaTiO₃ für verschiedene Dotierungsmaterialien.

More than just optics



- fibre optics
- optical systems
- optoelectronics



- laser optics
- precision optics
- laser ceramics



- the international optical network

Laser ceramics

Laserkristalle

BaTiO₃

FRANK OPTIC PRODUCTS

Quarz

ZnSe

Al₂O₃-Keramik

Calcite

Saphir

KTP

CaF₂

BBO

KDP

Materialien · Komponenten · Baugruppen · Systeme

► FRANK OPTIC PRODUCTS
POB 1869
D-89008 Ulm
Phone +49 (0)30/63 92-62 47
Fax +49 (0)30/63 92-62 46
E-Mail frank@GMS.Teleport-Berlin.de

► Lieferanschrift:
Rudower Chaussee 29
D-12489 Berlin
Phone +49 (0)30/63 92-62 32
Fax +49 (0)30/63 92-62 45
www.keramik.de/frank-optic-products



Wir stellen aus:
Halle 5.1/2
Stand C 038
27.-30.06.2000
Messe Gelände
Frankfurt/Main

Mangan substituiert die Titan-Gitterposition; als Mn^{2+} eignet es sich zudem hervorragend als ESR-Sonde. So kann die lokale Umgebung der Titan-Ionen im Gitter unter in-situ Bedingungen analysiert werden. Man erkennt in Abb. 10 deutlich, dass die ESR-Spektren sich beim Wechsel des Gittertyps mit der Temperatur ändern und somit die Änderungen der lokalen Umgebungen widerspiegeln. Besonders massive Auswirkungen werden bei der tetragonal-kubischen Umwandlung [6] beobachtet, die unzweideutig einen Wechsel des Ladungszustands der Manganionen anzeigen.

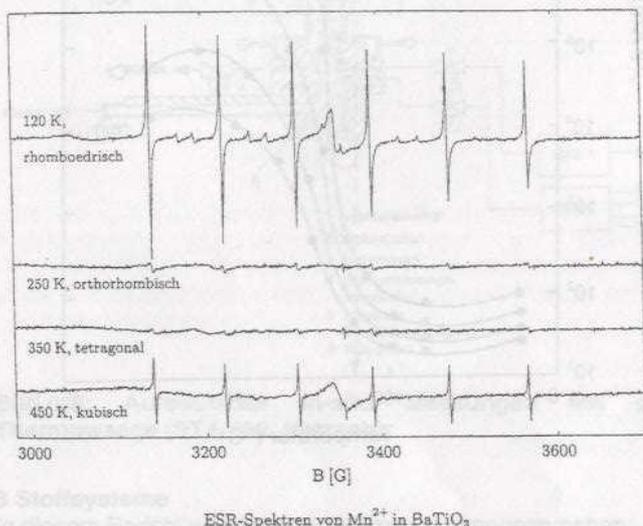
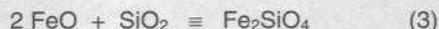


Bild 10: In-situ ESR-Spektren von Mn-dotiertem BaTiO₃ bei verschiedenen Temperaturen an Luft.

4.3 Mössbauer-Spektroskopie

Fayalit, Fe_2SiO_4 , ist das eisenhaltige Endglied der $(Mg,Fe)_2SiO_4$ -Olivine, die zu den häufigsten Mineralen der äusseren Erdkruste zählen. Verglichen mit der Relevanz dieser Verbindungen sind die für Olivine vorliegenden Kenntnisse über Transport/Diffusion und Gitterfehler bemerkenswert gering.

Abbildung 11 zeigt in-situ Mössbauer-Spektren der Bildungsreaktion von Fayalit nach



bei hohen Temperaturen. Es mag zunächst verwunderlich erscheinen, dass eine Reaktion, die sowohl im Produkt als auch im Edukt nur zweiwertiges Eisen enthält, überhaupt sinnvoll mit dieser Spektroskopie untersucht werden kann, da starke Signalüberlappungen zu erwarten sind. Doch genau das Gegenteil ist der Fall. Es zeigt sich, dass jede Hochtemperaturreaktion, an der Wüstit (FeO) beteiligt ist, hervorragend mit der Mössbauer-Spektroskopie untersucht werden kann, da FeO bei hohen Temperaturen praktisch "unsichtbar" ist. Grund hierfür ist die aussergewöhnlich schnelle Diffusion der Eisenionen in FeO , die eine enorme Verbreiterung der Absorptionslinie zur Folge hat („Diffusionsverbreiterung“). Bei $1000^\circ C$ kann die Linienbreite von ^{57}Fe in FeO zu $11 mm/s$ [11] abgeschätzt werden. Dagegen besteht das Mössbauerspektrum von Fayalit aus zwei Komponenten, die mit etwa $0,3 mm/s$ vergleichsweise schmal sind, siehe Abb. 10 [12,13]. Aus diesem Grund ist die Mössbauer-Spektroskopie bezüglich FeO praktisch "blind". Es wird lediglich das gebildete Produkt Fe_2SiO_4 erfasst, in dem die Diffusionsvorgänge der Eisenionen um Grössenordnungen

langsamer verlaufen, so dass hier keine Linienverbreiterungen auftreten.

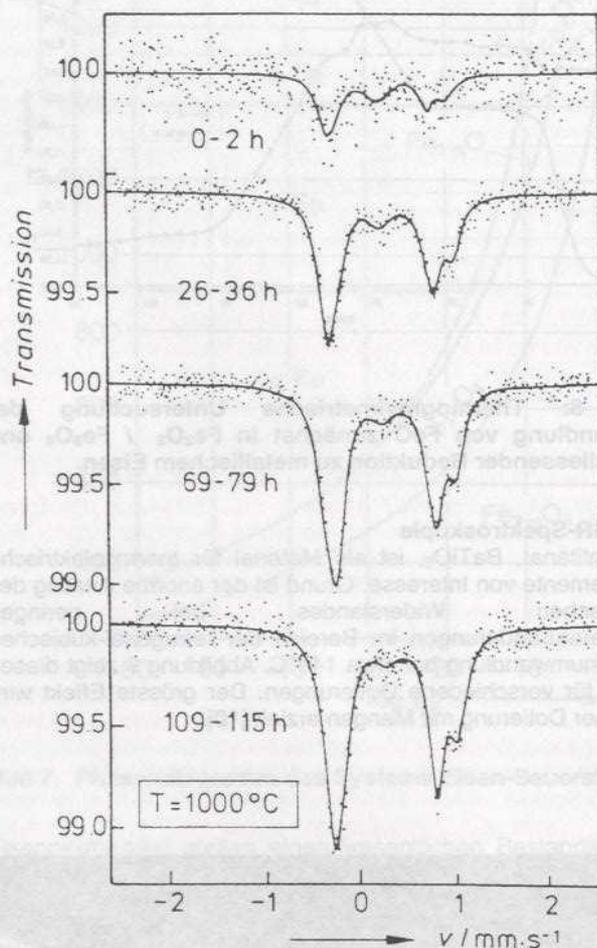


Bild 11: Zeitaufgelöste in-situ Mössbauer Spektren der Bildung von Fe_2SiO_4 bei $T = 1000^\circ C$, $lg a(O_2) = -14$.

4.4 Optische Spektroskopie

Im vorangehenden Abschnitt 4.3 wurde bereits über Fayalit berichtet. Die Verbindung kristallisiert in der Olivinstruktur, in der den Eisenionen zwei unterschiedliche, oktaedrisch koordinierte Positionen im Gitter zur Verfügung stehen, die üblicherweise mit M1 und M2 bezeichnet werden. Im Mössbauer-Spektrum, Abb. 11, machen sich diese beiden nicht-äquivalenten Gitterlagen durch zwei Dubletts bemerkbar. Aufgrund der unterschiedlichen Symmetrie dieser Gitterplätze kann an Einkristallen und bei Verwendung von polarisiertem Licht eine gitterplatzselektive Spektroskopie betrieben werden. Abbildung 12 zeigt die prinzipielle Möglichkeit zu Messungen dieser Art. Detaillierte in-situ Studien zur orientierungsabhängigen Kinetik von Redoxvorgängen in Fayalit finden sich in [3, 14].

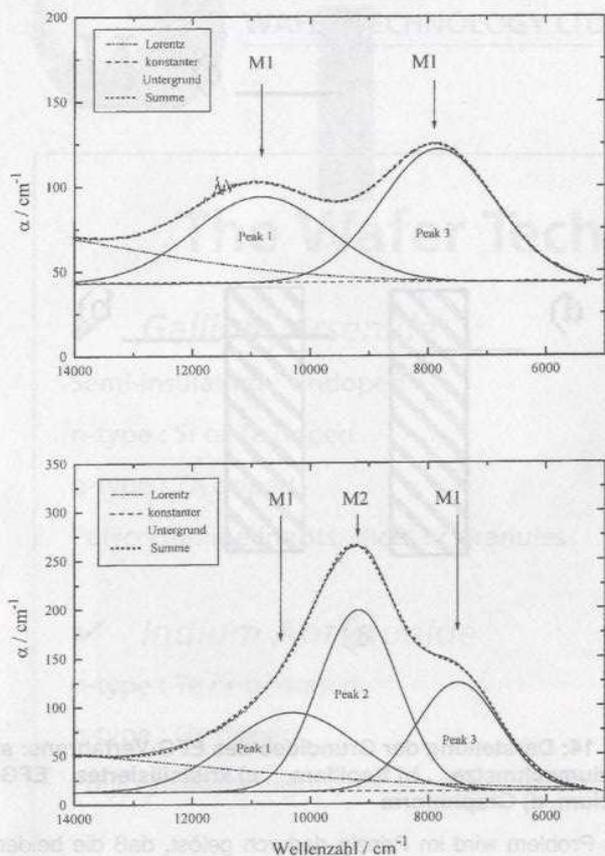


Bild 12: Polarisierte optische Spektren eines Fayalite-Einkristalles bei Raumtemperatur. Oben: E-Spektrum (M1-Position), unten: -Spektrum (M1- und M2-Position).

Als ein Beispiel für die zeitaufgelöste optische in-situ Spektroskopie soll die klassische Festkörperreaktion [15,16] der Bildung von CoAl_2O_4 nach der Reaktionsgleichung



vorgestellt werden, Abb. 13. Man erkennt, dass das Edukt (CoO) im Gegensatz zum Produkt keine Feinstruktur im Spektrum aufweist, wodurch die Ermittlung der Reaktionskinetik auf einfache Weise möglich ist, die sich bei diesem Beispiel auch in Abhängigkeit von der Orientierung der Al_2O_3 -Einkristalle bestimmen lässt [17-20].

Danksagung

Die vorgestellten Forschungsarbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Fonds der Chemischen Industrie gefördert. Die Ergebnisse entstammen den Promotionsschriften der in der Gruppe tätigen Doktoranden.

Literatur

[1] Chen, W. K., Peterson, N. L.: J. Phys. Chem. Sol. **36** (1975) 1097 und **41** (1980) 335.
 [2] Handbook of Chemistry and Physics, CRC Academic Press (1996-1997) 4-147.
 [3] Ullrich, K.: "Optische in-situ Spektroskopie an Olivinen: Temperaturabhängigkeit der Spektren, elektronische Defekte und Defektkinetik", Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld (2000), ISBN 3-89720-362-6

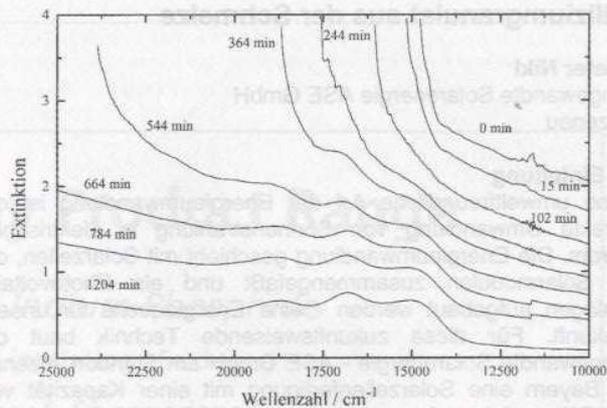


Bild 13: Zeitaufgelöste optische in-situ Spektren der Bildung von CoAl_2O_4 -Spinell bei $T = 1190^\circ\text{C}$ an Luft.

[4] Becker, K. D., Rau, F.: Ber. Bunsenges. Phys. Chem. **91** (1987) 1279.
 [5] Rau, F.: Dissertation Universität Hannover (1990).
 [6] Figaj, M.: Dissertation in Vorbereitung, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, TU-Braunschweig.
 [7] Dieckmann, R.: "Phasen und Gleichgewichte im System Eisen-Sauerstoff" in „Metallurgie, Teil I: Eisenerzeugung“, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, **1** (1982) 1.
 [8] Giddings, R. A., Gordon, R. S.: J. Am. Ceram. Soc. **56** (1973) 111.
 [9] TA-kin, Version 3.3, Bedienungshandbuch "Kinetische Analyse von thermischen Experimenten"
 [10] Ueoká, Ferroelectrics **7** (1974) 351.
 [11] Anand, A., Mullen, J. G.: Phys. Rev. B **8** (1973) 3112.
 [12] Becker, K. D., Dreher, S., Wißmann, S.: Ber. Bunsenges. Phys. Chem. **96** (1992) 1178.
 [13] Becker, K. D.: Phil. Mag. A **68** (1993) 767.
 [14] Ullrich, K., Becker, K. D.: in Vorbereitung.
 [15] Carter, C. B., Schmalzried, H.: Phil Mag. A **52** (1985) 207.
 [16] Pratt, G. W., Coelho, R.: Phys. Rev. **116** (1959) 281.
 [17] Becker, K. D.; Rau, F.: Sol. State Ionics **28-30** (1988)1290.
 [18] Becker, K. D.: Sol. State Ionics **39** (1990) 27.
 [19] He, T.: Dissertation Universität Hannover (1993).
 [20] He, T., Becker, K. D. Sol. State Ionics **101-103** (1997) 337.

Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat aus der Schmelze

Dieter Nikl

Angewandte Solarenergie ASE GmbH
Alzenau

1. Einleitung

Eine umweltfreundliche Art der Energieumwandlung ist die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrischen Strom. Die Energieumwandlung geschieht mit Solarzellen, die in Solarmodulen zusammengefaßt und als Photovoltaik-Anlagen aufgebaut werden - eine Energiequelle für unsere Zukunft. Für diese zukunftsweisende Technik baut die Angewandte Solarenergie - ASE GmbH am Standort Alzenau in Bayern eine Solarzellenfertigung mit einer Kapazität von 13MW pro Jahr auf.

Solarzellen werden heute überwiegend aus dünnen Siliziumscheiben gefertigt. Die Siliziumscheiben werden konventionell aus Silizium-Einkristallen gesägt, die nach dem Czochralski-Verfahren aus der Schmelze gezogen werden, und aus polykristallinen Silizium-Blöcken, die ähnlich dem Bridgman-Verfahren in einer Kokille durch kontrollierte Erstarrung der Schmelze erhalten werden. Beim Sägen geht Material von den vorher aufwendig hergestellten Silizium-Kristallen verloren. Beim EFG-Verfahren (Edge-defined Film-fed Growth) werden dagegen Silizium-Folien mit einer Dicke von ca. 350µm direkt aus einer Siliziumschmelze gezogen. Diese Fertigung von Siliziumscheiben wird bei der ASE Americas, Inc., Billerica (USA), einer 100% Tochtergesellschaft der Angewandten Solarenergie - ASE GmbH, betrieben.

Als Ausgangsmaterial für das EFG-Verfahren wird kugelförmiges Siliziumgranulat bestimmter Größenverteilung und Reinheit eingesetzt, das derzeit im industriellen Maßstab nur aus der Gasphase gewonnen werden kann. Ziel eines Entwicklungsprogrammes war es daher es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem kugelförmiges Siliziumgranulat aus der Schmelze hergestellt werden kann. Damit wäre die Möglichkeit geschaffen, einerseits in der Elektroindustrie anfallende Siliziumreste für den EFG-Prozeß zu erschließen und andererseits durch die Aufarbeitung in der EFG-Herstellung anfallender Siliziumreste eine nahezu vollständige Verwertung des Siliziums in dem bei ASE betriebenen Herstellverfahren zu erzielen.

2. EFG- Verfahren (Edge-defined Film-fed Growth)

Grundgedanke des EFG-Verfahrens ist es, die gewünschte dünne Siliziumscheibe (Silizium-Wafer) nicht aus großen massiven Kristallen herauszuschneiden, sondern direkt aus der Schmelze zu ziehen. Das Herstellungsprinzip (Abb. 14) beruht darauf, daß in eine Siliziumschmelze eine Graphitform (engl.: die) mit einem Spalt von 1 mm bis 5 mm Breite und mehreren cm in der Länge getaucht wird. Durch Kapillarkräfte steigt flüssiges Silizium nach oben zur Öffnung des Spaltes. Dort wird ein Keim aus einer dünnen Siliziumscheibe angeschmolzen und mit einer Ziehvorrichtung nach oben gezogen.

Zwischen der Phasengrenze flüssig - fest und der Oberseite der Graphitform entsteht ein Meniskus aus flüssigem Silizium. Die Dicke der Siliziumscheibe wird durch die Form und Abmessungen der Spitze der Graphitform (engl.: die tip), der Ziehgeschwindigkeit und der Temperatur bestimmt. Das Kristallwachstum an der kurzen Seite (mm) und der langen Seite (cm) der Phasengrenze verhält sich stark unterschiedlich, was sehr schwer zu kontrollieren ist.

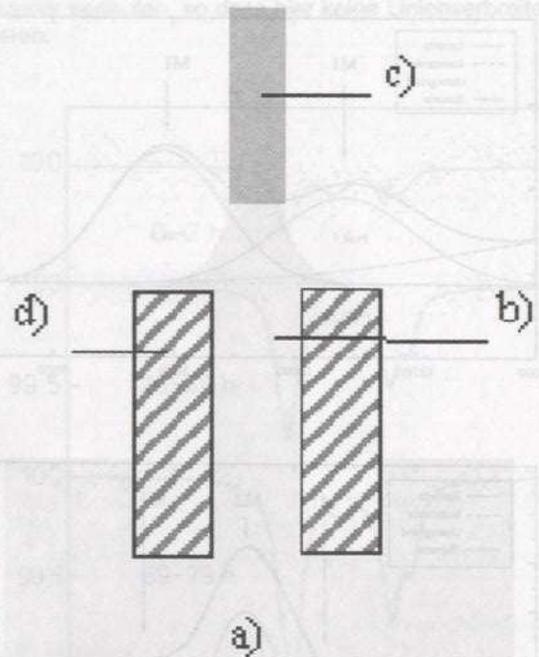


Bild 14: Darstellung der Grundidee des EFG-Verfahrens: a) Siliziumschmelze, b) Kapillare, c) kristallisiertes EFG-Silizium, d) Graphitform

Das Problem wird im Prinzip dadurch gelöst, daß die beiden kurzen Seiten zusammengeführt werden und somit nicht mehr vorhanden sind. Dieser Ansatz ist als geschlossene achteckige Form realisiert und wird in der Fertigung eingesetzt.

Es werden octagonförmige Rohre mit 350 µm Dicke und mit 10 cm breiten flachen Seiten gefertigt (Abb. 15), aus denen mit einem Laser 10 cm x 10 cm große Siliziumscheibe herausgeschnitten werden. Bei acht Seiten und einer Länge der gezogenen octagonförmigen Rohre von mehreren Metern erhält man einige hundert Siliziumscheiben je Rohr.

Die Ziehgeschwindigkeit beträgt 1 bis 2 cm/min. Bei hohen Ziehgeschwindigkeiten sind entsprechend hohe Temperaturgradienten erforderlich. Dies kann zu plastischen Verformungen, Verspannungen und Versetzungen der Scheiben führen. Die Kristallkörner der EFG-Siliziumscheiben sind von länglicher Form mit einer Breite bis 2 cm. Die Kristallorientierung der Oberfläche der EFG-Scheiben hat bevorzugt die <110>-Richtung. Das Material besitzt eine große Anzahl von Kristallzwillingen, die in der Regel elektrisch inaktiv sind, einige Korngrenzen und unter Umständen auch inhomogen verteilte Versetzungen.



The Wafer Technology Product Range

✓ Gallium Arsenide

Semi-insulating : Undoped

n-type : Si or Te doped

p-type : Zn doped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Indium Antimonide

n-type : Te or undoped

p-type : Ge doped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Indium Arsenide

n-type : S or undoped

p-type : Zn doped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Zinc Germanium Diphosphide

Polycrystalline ingots for non-linear optical applications

✓ High purity indium metal

✓ Indium Phosphide

Semi-insulating : Fe doped

n-type : S, Sn or undoped

p-type: Zn doped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Gallium Antimonide

n-type : Te doped

p-type : Zn or undoped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Gallium Phosphide

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ High purity MBE source material

✓ High purity gallium metal

✓ SiC wafers

"The Universal Choice"

For more information on any of the products visit the Wafer Technology web site at <http://www.wafertech.co.uk>.

Wafer Technology's quality system is approved to BS EN ISO9002:1994

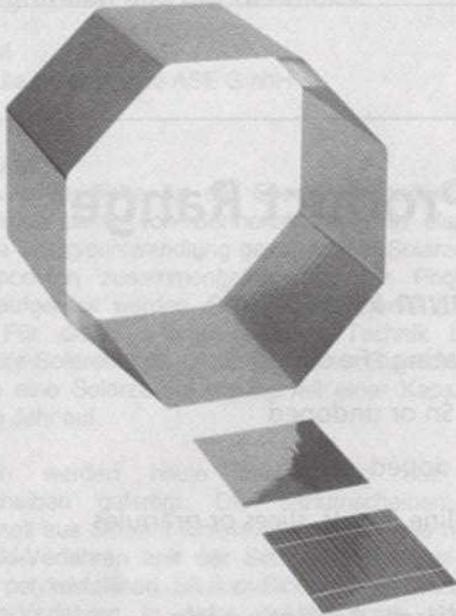


Bild 15: Octagonförmiges Siliziumrohr mit herausgeschnittenem Wafer und Solarzelle.

Für die industrielle Fertigung wurde das EFG-Verfahren bis zum kontinuierlichen Betrieb weiter entwickelt. Hierbei wird gleichzeitig das octagonförmige Siliziumrohr nach oben gezogen und festes Silizium-Ausgangsmaterial dem Schmelztiegel zugeführt. Zum einen wird dadurch die Füllhöhe der Schmelze konstant gehalten, zum anderen wird nur unterbrochen durch Abtrennen des Rohres und neues Anschmelzen des Keimes fortlaufend EFG-Material gefertigt, ohne die Anlage abkühlen zu müssen. Für den kontinuierlichen Betrieb wird kugelförmiges Siliziumgranulat mit einem Durchmesser im Millimeterbereich eingesetzt. Literatur [1], [2]

3. Stand der Technik

Im allgemeinen können kugelförmige Partikel abhängig von ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften und den Eigenschaften des Ausgangsmaterials aus dem gasförmigen, festen oder flüssigen Zustand gewonnen werden. Zur Zeit gibt es kein Verfahren, mit dem im industriellen Maßstab festes Siliziummaterial in kugelförmige Siliziumpartikel umgeschmolzen und zur Herstellung von Solarzellen eingesetzt werden kann.

3.2 Verfahren zur Herstellung kugelförmiger Partikel aus der Schmelze

Für das Verfahren zur Herstellung von kugelförmigen Partikeln aus der Schmelze wird ein Prozeßschritt benötigt, der aus der Schmelze einzelne flüssige Gebilde abtrennt, die unter dem Einfluß der Oberflächenspannung Tropfen bilden. In einem anschließenden Prozeßschritt müssen diese flüssigen Tropfen in einen festen Zustand übergehen. Für die Bildung von Tropfen gibt es

- das **Gießverfahren**. Hier wird aus einem Behälter die Flüssigkeit einfach ausgegossen, aus der sich unkontrolliert Partikel formen, oder in Formen gegossen.
- das Verfahren der **Schwerkraftvertropfung**. Aus Düsen, die am Boden des Tiegels angebracht sind, tritt unter dem Einfluß der Schwerkraft die Flüssigkeit aus und bildet Tropfen.

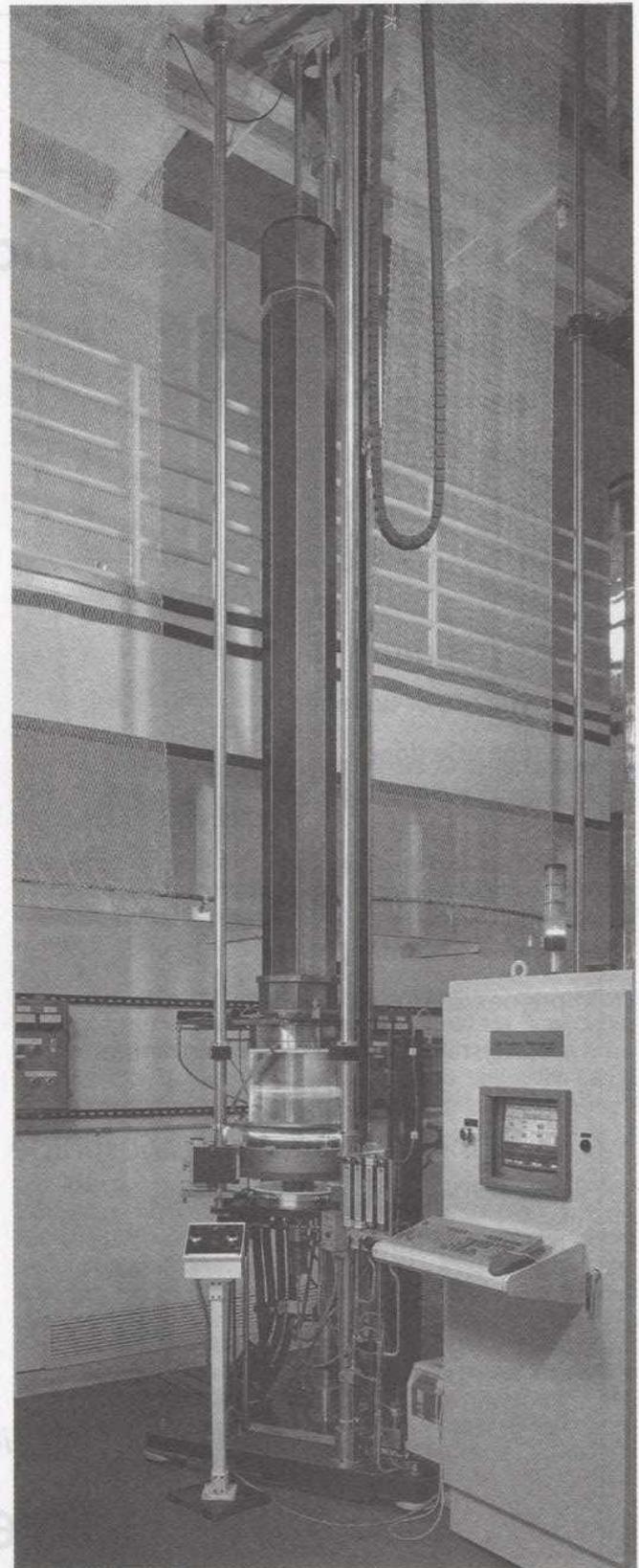


Bild 16: Automatisierte EFG-Ziehanlage für die industrielle Fertigung von EFG-Wafern.

- das **Sprühverfahren**. Die Flüssigkeit wird unter Druck über Düsen versprüht.
- die **Rotationszerstäubung**. Flüssigkeit, die auf einer rotierenden Scheibe aufgebracht wird, wird über die Fliehkräfte vom Rand weggeschleudert und in Tropfen zerteilt.

- die **Vibrationsvertropfung**. Hier wird zur Herstellung von kugelförmigen Granulaten das Ausgangsmaterial geschmolzen und über eine Düse ausgetragen. Das ausströmende Material wird mit einer harmonischen Schwingung überlagert, so daß es zu einer definierten Unterbrechung des Strahles und Bildung von gleichmäßigen Tropfen kommt.

Eine weitere Möglichkeit kugelförmige Partikel herzustellen besteht darin, einzelne vorher zerkleinerte Partikel zu schmelzen, die dann unter dem Einfluß der Oberflächenspannung einzelne kugelförmige Körper bilden.

3.3 Materialeigenschaften des Siliziums

Für die Herstellung kugelförmiger Siliziumpartikel aus der Schmelze ist es notwendig, bestimmte Materialeigenschaften des Siliziums zu kennen. Weiterhin muß Siliziummaterial, das für die Herstellung von Silizium-Wafern eingesetzt werden soll, bestimmte Anforderungen erfüllen. Daten zu den Materialeigenschaften und Anforderungen werden im folgenden aufgeführt.

• Materialeigenschaften

Schmelztemperatur	1410°C
Schmelzwärme / Kristallisationswärme	1640x10 ³ J/kg
spezifische Wärme bei 20°C	0,703x10 ³ J/(kg*K)
spezifische Dichte (fest)	2300 kg/m ³
spezifische Dichte (flüssig)	2500 kg/m ³
Oberflächenspannung	0,750 N/m
Viskosität	niedrig

• Anforderungen

Verunreinigungskonzentration

Sauerstoff (O)	< 10 ¹⁷ Teilchen/cm ³
Kohlenstoff (C)	< 10 ¹⁸ Teilchen/cm ³
andere Elemente	< 10 ¹⁵ Teilchen/cm ³

Dotierung

Typ	p-leitend
Dotierstoff	Bor, Aluminium
elektrischer Widerstand	1 Ωcm bis 3 Ωcm

3.4 Materialverträglichkeit von Werkstoffen mit Silizium

Außer durch die hohe Schmelztemperatur des Siliziums von 1410°C reduziert sich die Zahl der Materialien, die als Werkstoffe in Kontakt mit flüssigem Silizium einsetzbar sind. Aufgrund der Löslichkeit aller Materialien in Silizium, was zu einer Verunreinigung des Siliziums führt, sind nur wenige Materialien als Schmelztiegel für Silizium geeignet. Dies sind Werkstoffe, die eine geringe Löslichkeit in Silizium besitzen und die photovoltaischen Eigenschaften des Siliziums unwesentlich beeinflussen. Die Werkstoffe selbst müssen eine niedrige Verunreinigungskonzentration besitzen, um das Silizium nicht unzulässig zu verunreinigen. Tiegelmateriale, die für die Herstellung von Silizium-Einkristallen und -Polykristallen eingesetzt werden, sind Graphit (C), Quarz (SiO₂) und Siliziumnitrid (Si₃N₄). Quarz ist bei der Schmelztemperatur von Silizium so weich, daß ein Stütztiegel - meist aus Graphit - benötigt wird. Alternativ dazu werden Graphittiegel mit Schutzschichten aus Siliziumcarbid (SiC), Siliziumnitrid (Si₃N₄) und Pyrokohlenstoff (PyC) versehen.

4. Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat

4.1 Erprobung von Verfahren

Zur Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat wurde die folgenden Verfahren getestet:

- Umschmelzen einzelner 1 mm bis 5 mm großer Siliziumpartikel mit einer Argon-Ionen-Entladung (Argon-Arc-Furnace)
- Umschmelzen einzelner 1 mm bis 5 mm großer Siliziumpartikel mit einer Strahlungsheizung auf einer "kalten" Unterlage
- Umschmelzen einzelner 1 mm bis 5 mm großer Siliziumpartikel in einem Heißwandofen
- Austrag von flüssigem Silizium aus einem Tiegel ähnlich dem Verfahren der Vibrationsvertropfung

- Argon-Ionen-Entladung

In einer Argon-Ionen-Entladung (Argon-Arc-Furnace) werden Argon-Atome ionisiert und in einem elektrischen Feld beschleunigt. Beim Auftreffen der Argon-Ionen auf Materie wird die kinetische Energie der Ionen in thermische Energie umgewandelt. Die erreichbare Temperatur ist abhängig von der Anzahl der Argon-Ionen, was proportional der Stromstärke ist, und der Größe des Materials.

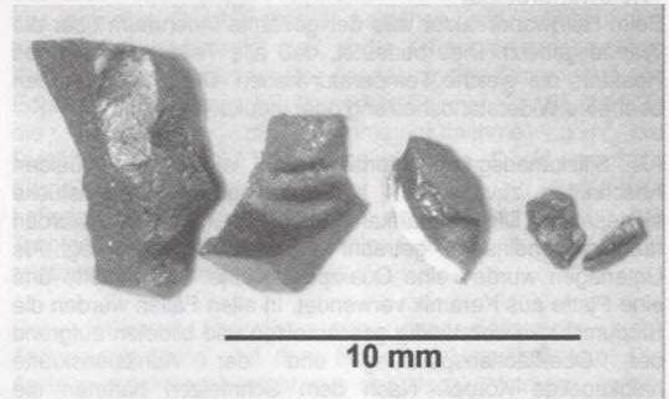


Bild 17: Zerkleinerte Siliziumstücke vor dem Umschmelzen.

Zur Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat wurde Siliziummaterial in 1 mm bis 5 mm große Stücke (**Abb.17**) mechanisch zerkleinert. Die einzelnen scharfkantigen Siliziumstücke wurden räumlich voneinander getrennt auf eine wassergekühlte Kupferplatte gelegt, und mit Hilfe einer Argon-Ionen-Entladung einzeln geschmolzen. Unter dem Einfluß der Oberflächenspannung bilden sich einzelne kugelförmige flüssige Körper aus, die beim Erstarren eine Tropfenform bilden (**Abb.18**).

- Strahlungsheizung

Die Energiequelle bei einer Strahlungsheizung sind Hochleistungslampen (bis zu 6000 W). Die Energie wird über Strahlung auf einen Körper übertragen, der diese absorbiert und in Wärme umwandelt. Die erreichbare Temperatur ist abhängig von der Leistung der Lampen, dem Absorptionsvermögen des Körpers und der absorbierenden Fläche. Je höher das Absorptionsvermögen des Körpers und je größer die Fläche desto höher ist die Temperatur.

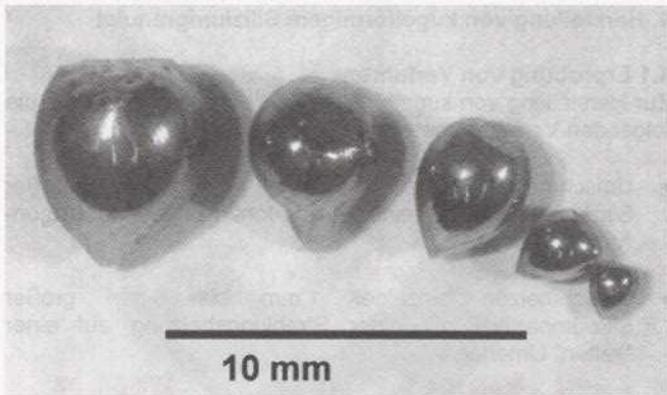


Bild 18: Tropfenförmige Siliziumpartikel nach dem Umschmelzen mit der Argon-Ionen-Entladung.

Das in 1 mm bis 5 mm große Stücke mechanisch zerkleinerte Siliziummaterial wurde räumlich voneinander getrennt auf eine Quarzplatte gelegt. Die Strahlungsenergie wurde den Siliziumstücken gemeinsam von oben zugeführt. Die Temperatur der Quarzplatte lag bei ca. 1000°C. Während die Oberseite der Siliziumstücke schmolz, blieb der auf der Quarzplatte aufliegende Bereich fest. Unter dem Einfluß der Oberflächenspannung bildete der flüssige Teil einen halbkugeligen Körper aus, der nach dem Erstarren pyramidenförmig ist.

- Heißwandreaktor

Beim Heißwandreaktor wird der gesamte Innenraum über die Wände geheizt. Dies bedeutet, daß alle Teile innerhalb des Reaktors die gleiche Temperatur haben. Die Wände werden über eine Widerstandsheizung oder induktiv erwärmt.

Als Siliziumausgangsmaterial wurde wie in den beiden Abschnitten zuvor 1 mm bis 5 mm große Siliziumstücke eingesetzt. Die scharfkantigen Siliziumpartikel wurden räumlich voneinander getrennt auf eine Unterlage gelegt. Als Unterlagen wurde eine Quarzplatte, eine Graphitplatte und eine Platte aus Keramik verwendet. In allen Fällen wurden die Siliziumstücke vollständig geschmolzen und bildeten aufgrund der Oberflächenspannung und der Adhäsionskräfte halbkugelige Körper. Nach dem Schmelzen hafteten die Siliziumpartikel an den Unterlagen fest.

- Vibrationsvertropfung

Bei dem Verfahren der Vibrationsvertropfung wird Material in einem Tiegel geschmolzen. Die Schmelze tritt an einer Düse als gleichförmiger Strahl aus. Die Düse wird in eine harmonische Schwingung versetzt, so daß es zu einer Unterbrechung des Strahles und Bildung von Tröpfchen kommt. Die Tropfenbildung ist abhängig vom Düsendurchmesser und der Strömungsgeschwindigkeit sowie der Amplitude und Frequenz der angelegten Schwingung.

Silizium wurde in einem Tiegel aus Graphit, an dessen Boden eine Düse angebracht war, geschmolzen. Das flüssige Silizium trat an der Düse aus und wurde in einem mit Wasser gefüllten Gefäß aufgefangen und abgekühlt. Unter dem Einfluß der Oberflächenspannung bildeten sich kugelförmige flüssige Körper aus, an deren Oberfläche sich beim Erstarren Auswüchse aus Silizium bildeten. Andere Siliziumpartikel spalteten beim Erstarren in zwei Halbkugeln auf (**Abb.19**).

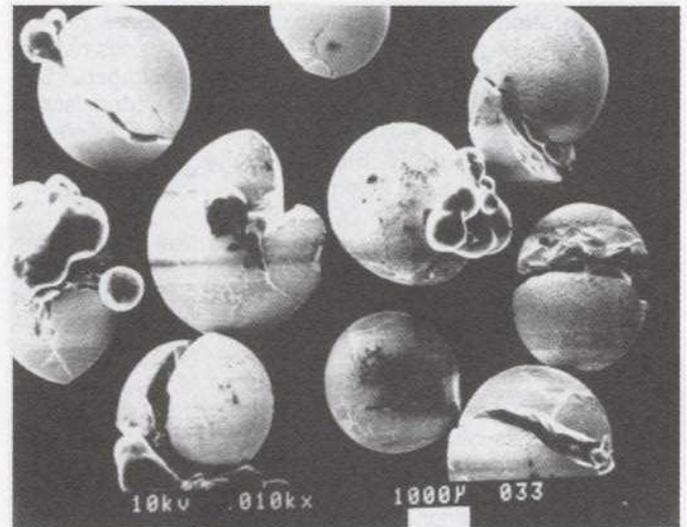


Bild 19: Halbkugeln und Kügelchen mit Auswüchsen, hergestellt durch den Austrag von flüssigem Silizium aus einer Düse, Abkühlung in Wasser.

4.2 Materialuntersuchungen zur Verträglichkeit von Silizium mit Werkstoffen

Als Material für Teile, die direkt mit flüssigem Silizium in Berührung kommen, wurde Graphit, mit Pyrokohlenstoff beschichteter Graphit und mit Siliziumcarbid beschichteter Graphit untersucht. Zunächst wurde getestet, ob die Werkstoffe bis zu Temperaturen von 1500°C eingesetzt werden können. Danach wurden die Reaktionen zwischen flüssigem Silizium und den Werkstoffen untersucht.

Aufgrund der Porosität Graphit dringt Silizium bis in eine Tiefe von ca. 1 mm in den Graphit ein. An der Grenzschicht zwischen Graphit und Silizium bildet sich Siliziumcarbid. Das in Graphit eingedrungene Silizium reagiert ebenfalls zu Siliziumcarbid (**Abb.20**).

In Graphit, der mit Pyrokohlenstoff beschichtet ist, dringt kein Silizium ein, da die Schicht aus Pyrokohlenstoff nicht porös ist und damit den Graphit dicht umschließt. Die Bildung von Siliziumcarbid an der Grenzschicht von Pyrokohlenstoff und Silizium ist im Vergleich zu Graphit deutlich geringer (**Abb.21**). Eine Schicht aus Siliziumcarbid als Schutzschicht verhindert das Eindringen von flüssigem Silizium in den Graphit, und es zeigen sich keine sichtbaren Reaktionen von Silizium an der Grenzschicht zum Siliziumcarbid (**Abb.22**).

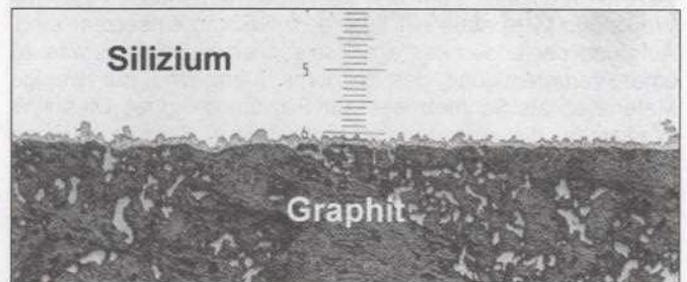


Bild 20: Grenzschicht Graphit - Silizium und Siliziumcarbid, das durch den Kontakt von flüssigem Silizium mit Graphit entstanden ist (1 Skalenteil = 10 µm).

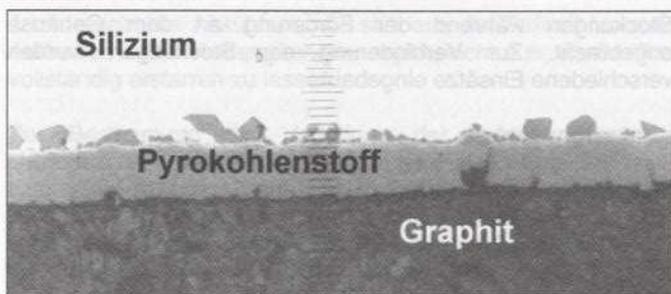


Bild 21: Grenzschicht zwischen mit Pyrokohlenstoff beschichtetem Graphit und Silizium (1 Skalenteil = 5 µm).

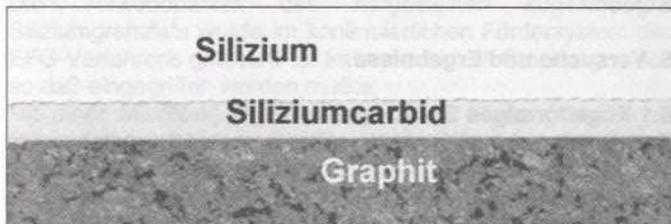


Bild 22: Grenzschicht zwischen Siliziumcarbid beschichtetem Graphit und Silizium (Siliziumcarbid-Schichtdicke 50µm).

5. Auslegung und Aufbau einer Vertropfungsanlage

5.1 Auslegung

Aufbauend auf die Ergebnisse und Erkenntnisse von Absatz 4. wurde die Entscheidung getroffen, eine Anlage zur Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat aufzubauen. Für den Bau der Anlage wurde das Verfahren der Vibrationsvertropfung und als Material, das Kontakt zu flüssigem Silizium hat, reiner Graphit mit einer hohen Dichte ausgewählt.

Neben den in den Versuchen erlangten Kenntnissen wurde in der Konzeption und Auslegung für die Vertropfungsanlage die benötigten Mengen an Siliziumausgangsmaterial pro Versuch, die Temperaturen und die Leistung zum Schmelzen von Silizium, die Anpassung des Vibrationsverfahrens an die Anlage, die Kühlung der Siliziumpartikel und die Reinheitsanforderungen an Materialien und Atmosphäre berücksichtigt.

Da die Schmelztemperatur von Silizium bei 1410°C liegt, wurde die mindestens erreichbare Betriebstemperatur des Hochtemperaturofens auf 1500°C festgelegt. Die Leistungsaufnahme des Hochtemperaturofens richtet sich in erster Linie nach den Energieverlusten und nicht nach der notwendigen Energie zum Schmelzen von Silizium. Energieverluste entstehen durch die Wärmeabgabe an die Umgebung. Eine gute Wärmeisolation reduziert die Verluste, erhöht jedoch die Ansprechzeiten auf Temperaturwechsel. Die Leistungsaufnahme wurde für eine gute Ansprechzeit auf Temperaturwechsel bei minimal notwendiger Wärmeisolation ausgelegt. Weiterhin war zu berücksichtigen, daß der Ofen eine durch das Verfahren vorgegebene Austrittsöffnung für die heißen Siliziumtropfen hat.

Die Abführung der Schmelzwärme, die beim Übergang der Kristallisation frei wird, ist von besonderer Bedeutung, da erst hierdurch feste Siliziumpartikel entstehen. Da die Reinheitsanforderungen an das Silizium sehr hoch sind, wurde die Kühlung so ausgelegt, daß Verunreinigungen vermieden werden. Für die Vertropfungsanlage wurde eine „Gaskühlung“ mit Argon gewählt. Die herabfallenden flüssigen Siliziumtropfen werden in einem Fallkanal mit einem Gasgegenstrom bis zur ihrer Verfestigung gekühlt.

Die Energieabgabe erfolgt über Wärmeleitung und Wärmestrahlung. Nach dem Gesetz von Stefan Boltzmann ist die Emission der Strahlungsleistung proportional der vierten Potenz der Temperatur. Bei den Temperaturen von 1410°C erfolgt die Abgabe der Schmelzwärme hauptsächlich über Wärmestrahlung. Abhängig von dem Volumen ($-r^3$) und der abstrahlenden Oberfläche ($-r^2$) der flüssigen Siliziumtropfen wird eine bestimmte Zeit benötigt, um die enthaltene Schmelzwärme über Strahlungsleistung abzuführen, so daß die Partikel beim Auftreffen fest sind. Die notwendige Zeit bis zur ihrer Erstarrung und dem Auftreffen in den Auffangbehälter bestimmt die Auslegung für die Höhe der Fallstrecke und für die Geschwindigkeit des Gasgegenstromes.

5.2 Aufbau der Anlage

Die Vertropfungsanlage für die Herstellung von kugelförmigem Siliziumgranulat hat eine Gesamthöhe von über 10 m und wird von einem begehbaren Stahlgerüst gehalten. Sie besteht aus:

- dem Hochtemperaturofen,
- dem Fallkanal mit dem Schutzgas-Umwälzsystem und der Auffangvorrichtung,
- der Meß-, Steuer- und Regeleinheit

Der Hochtemperaturofen ist zylindrisch aufgebaut und besteht aus drei Heizzonen, die übereinander angeordnet sind und aus je einem Graphitheizleiter bestehen, aus Schutzrohren, die aus Graphit gefertigt sind, und aus flexiblen graphitischen Werkstoffen zur Isolation. Der doppelwandige Ofenmantel aus Edelstahl ist wassergekühlt und enthält mehrere Stützen für die Stromzufuhr, die Pyrometeraufnahme und die Durchführung für die Vibrationseinrichtung. Direkt unterhalb des Hochtemperaturofens beim Übergang zur Fallstrecke befindet sich ein Schauglas zur Beobachtung der Tropfenbildung und Tropfenfolge des aus der Düse austretenden flüssigen Siliziums.

Der Fallkanal besteht aus der Fallstrecke, der Auffangvorrichtung und dem Schutzgas-Umwälzsystem. Die Auffangvorrichtung besteht aus der Nachkühlstrecke, in der die erstarrten aber noch heißen kugelförmigen Siliziumpartikel weiter abgekühlt werden, und einem Sammelbehälter. Das Schutzgas-Umwälzsystem umfaßt einen Rekuperativ-Wärmetauscher, einen Radial-Ventilator sowie Absperrklappen und verbindende Rohrleitungen. Mit dieser Ausrüstung kann die Gasgeschwindigkeit im Fallkanal variabel eingestellt und das Schutzgas gekühlt werden. Der Hochtemperaturofen und der Fallkanal sind gemeinsam evakuier- und inertisierbar.

Die Verbindung zur Fallstrecke und dem Schutzgas-Umwälzsystem bilden der Gassammler und der Gasverteiler, der unterhalb der Nachkühlstrecke angeordnet ist. Dieser hat die Aufgabe, die Siliziumpartikel aus dem Schutzgasstrom zu entfernen und sie einem Sammelbehälter zuzuführen. Der Gassammler als oberer Abschluß des Fallkanals bringt die aus dem Ofen herabfallenden Partikel mit dem aufsteigenden Schutzgasstrom zusammen.



Bild 23: Vertropfungsanlage in Betrieb, Fallkanal mit Siliziumtropfen.

Der Betrieb der Vertropfungsanlage erfolgt von einem zentralen Leitstand aus. Die Meß-, Steuer- und Regeleinheit für die Hochtemperaturofen besteht aus einem x-t-Schreiber, einer SPS-Steuerung und einem PC. Die Datenaufzeichnung erfolgt über einen x-t-Schreiber und einem Daten-Logger-Programm. Die Regelung und Steuerung kann automatisch über den PC oder halbautomatisch über eine SPS-Steuerung und Handschaltungen erfolgen. Die drei Heizzonen des Hochtemperaturofens sind unabhängig voneinander steuer- und regelbar.

5.3 Ausbau der Vertropfungsanlage für einen kontinuierlichen Betrieb

- Zuführungssystem

Das Zuführungssystem ist seitlich am Hochtemperaturofen angeschlossen. Es besteht aus einem Aufbau, der die Zuführung des Siliziumausgangsmaterials und den Eintrag in den Schmelztiegel übernimmt, und einer Vorrichtung, die das Ausgangsmaterial dosiert und gleichzeitig zur Zuführung fördert.

In Vorversuchen wurden zunächst Förder- und Dosierungsmechanismen mit Silizium-Waferbruch getestet und die geeignetsten ausgewählt. Dosierte und gefördert wird das Material über eine Rinne, die sich in einem evakuierbaren Gehäuse, das die Funktion einer Schleuse übernimmt, befindet. Stockungen entstanden vornehmlich bei Waferbruch, da dieser sich durch seine plättchenartige Form wie Schiefer aufschichtet und Brücken bildet, die die Förderung behindert. Nachträglich wurde ein Schauglas zur Beobachtung der Materialförderung und ein Manipulator zur Behebung von

Stockungen während der Förderung an dem Gehäuse angebracht. Zur Verhinderung der Stockungen wurden verschiedene Einsätze eingebaut.

- Entnahmesystem

Das Entnahmesystem ist unter dem Gassammler am Ende des Fallkanals befestigt. Da das erstarrte und jetzt kugelförmige Siliziumgranulat gut rieselfähig ist, ist eine aktive Förderung und Dosierung nicht notwendig. Für die Entnahme des erstarrten kugelförmigen Siliziumgranulats während der laufenden Vibrationsvertropfung wurde ein System mit einer Rohrweiche zur Umleitung des rieselnden Granulats in zwei auswechselbare Auffangbehälter aufgebaut. Die beiden Behälter können über Ventile vom Entnahmesystem getrennt werden.

6. Versuche und Ergebnisse

6.1 Kugelförmiges Siliziumgranulat

Es wurde kugelförmiges Siliziumgranulat mit einem Durchmesser von 0,5 mm bis 2 mm hergestellt. Alle erstarrten kugelförmigen Siliziumpartikel weisen an ihrer Oberfläche einen Auswuchs auf, der durch die Volumenzunahme (Dichteänderung) des Siliciums beim Übergang von flüssig ($2,5 \text{ g/cm}^3$) nach fest ($2,3 \text{ g/cm}^3$) entsteht. Dieser Effekt ist bei allen Größen des Siliziumgranulats zu beobachten (**Abb.24**).

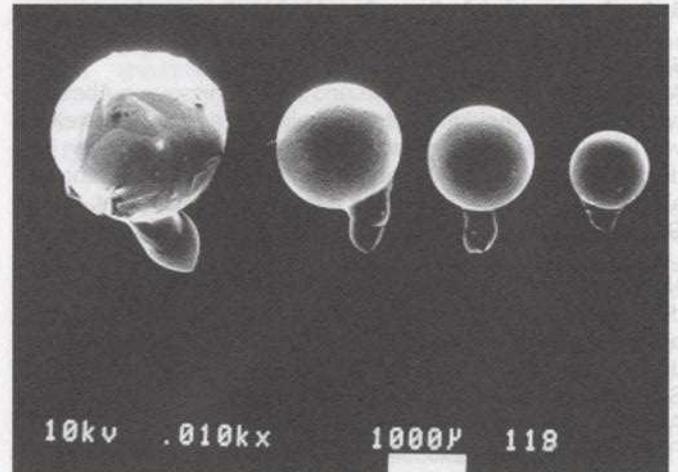


Bild 24: Kugelförmiges Siliziumgranulat mit Auswuchs hergestellt durch das Verfahren der Vibrationsvertropfung und Kühlung im Gasgegenstrom.

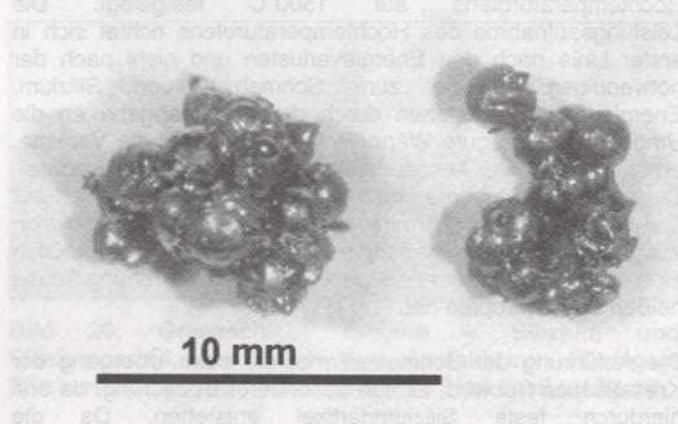


Bild 25: Agglomerat aus mehreren kugelförmigen Siliziumpartikeln.

Siliziumgranulat mit einem Durchmesser größer 2 mm bildet Agglomerate aus mehreren kugelförmigen Siliziumpartikeln (**Abb.25**). Für Siliziumpartikel mit einem Durchmesser größer

Aufgrund des unzureichenden optischen Eindrucks wurden daraus keine Solarzellen gefertigt. Mit aus Feingranulat hergestelltem kugelförmigem Siliziumgranulat wurden Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 14,38 % gefertigt. Mit Waferbruch wurde im Mittel ein Wirkungsgrad von 13,95 % erreicht. (Vergleich: Mittelwert der Produktion 14,21 %).

7. Schlußbemerkungen

Die Wirkungsgrade von 13,9 % bis 14,4%, die mit Wafern erreicht wurden, die aus kugelförmigem Siliziumgranulat nach dem Verfahren der Vibrationsvertopfung aus der Schmelze hergestellt worden waren, und die Demonstration eines kontinuierlichen Versuchsbetriebes sind von entscheidender Bedeutung. Hiermit wurde gezeigt, daß Ersatz für das im industriellen Maßstab aus der Gasphase hergestellte Siliziumgranulat, das für den EFG-Prozeß geeignet ist, mit der Weiterentwicklung des Verfahrens in einen wirtschaftlich verwertbaren Herstellungsprozeß bereitgestellt werden kann. Daneben wurde durch die Rückführung von umgescholzenen Waferbruch in den EFG-Prozeß das Potential der Vibrationsvertopfung aus der Schmelze zum Recycling von Silizium gezeigt.

Unterstützung

Die Versuche zur Argon-Ionen-Entladung wurden am Physikalischen Institut der Johann-Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Main durchgeführt.

Die Versuche zur Strahlungsheizung wurden am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg im Breisgau durchgeführt.

Das Entwicklungsvorhaben (Nr. 07 05 / 893 75 / 152 / 96 / 38 / 97 und Nr. 07 05 / 893 75 / 74 / 99 / 588 / 2000) wurde im Rahmen der Förderung von Maßnahmen zur rationelleren Energiegewinnung und -verwendung aus Mitteln des **Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie** gefördert. Projektbetreuung: Innovationsberatungsstelle Südbayern.

Literatur

- [1] S. Rajendran, M. Larrousse, B. R. Bathey, J. P. Kalejs, *Journal of Crystal Growth* 128 (1993) 338
- [2] M. J. Kardauskas, M.D. Rosenblum, B. H. Mackintosh, J. P. Kalejs, 25th PVSC (1996), Washington, D. C., 383

5. Konferenzberichte

„Twelfth American Conference on Crystal Growth and Epitaxy“

vom 13. – 18. 8. 2000 in Vail, Colorado

Anmerkungen von **Dr. M. Neubert, IKZ Berlin**

Bei dieser Konferenz handelt es sich um eine größere Veranstaltung, die sowohl von der Ausgestaltung her, als auch inhaltlich mit einer internationalen Konferenz vergleichbar ist. Letzteres sieht man schon daran, daß die Vorträge eine Woche lang in drei Parallelsitzungen abgehalten wurden. Die internationale Beteiligung unter den Vortragenden war hoch. Im Gegensatz zu der nahezu perfekten Organisation stand die teilweise schlechte Disziplin der Vortragenden. Viele Vorträge wurden kurzfristig gestrichen (am Freitag – dem letzten Konferenztag - nahezu 30%). Unglücklicherweise ließ man

die Vorträge nicht einfach ausfallen, sondern änderte kurzfristig immer wieder die Vortragsfolge. Saß man gerade in einer der Parallelsitzungen, bekam man dies natürlich nicht mit und verpaßte somit den einen oder anderen interessanten Vortrag.

Mein hauptsächlichstes Interesse bei dieser Konferenz galt naturgemäß den Beiträgen zur Massivkristallzüchtung. Erwähnenswert halte ich die im folgenden aufgelisteten Vorträge, wobei ich weder mit der Auswahl, noch der Reihenfolge irgendeine Wertung vornehmen möchte.

A. Seidl von FCM stellte erste Ergebnisse zur 8" (200mm) GaAs-Züchtung vor. Es wurde gezeigt, daß diese Kristalle im Großen und Ganzen ähnliche strukturelle sowie elektrische Eigenschaften aufweisen, wie das Standard 150mm Material. Eine Einführung in die Produktion steht derzeit aber in keiner Weise zur Debatte, da es bei den Bauelementeproduzenten im Moment keinerlei 200mm Prozessierungsequipment gibt. Weiterhin wurden Experimente zur gezielten Beeinflussung des axialen Temperaturgradienten in LEC-Anlagen vorgestellt, die wegweisend für die 6"-Entwicklung der vergangenen Jahre waren.

Erwähnenswert aus der III-V-Branche ist der Beitrag von W. A. Bonner (Crystallog Inc.) über (kleine) Fortschritte bei der Züchtung ternärer Mischkristalle. Hauptprobleme sind hier nach wie vor das Zusammenbrechen des einkristallinen Wachstums wegen konstitutioneller Unterkühlung sowie die Nachchargierung der Schmelze, um die Kristalle mit konstanten Zusammensetzungen züchten zu können. Nachgedacht wird derzeit über eine Nachchargiertechnik aus der Gasphase (zumindest von Komponenten mit entsprechend hohen Dampfdrücken). Dies wird, allerdings zum Zwecke der Synthese des binären Halbleiters InP, seit Jahren sehr erfolgreich praktiziert. Zu diesem Thema sprach W. M. Higgins von M/A-COM, der eine verbesserte Variante dieser Technik präsentierte. Die Verbesserungen betrafen vor allem die Kontrolle der Stöchiometrie (oder besser: die Herstellung einer nahezu stöchiometrischen Zusammensetzung der Schmelze) sowie die bessere Beherrschung des Phosphor-Dampfdruckes (Auftreten unterschiedlicher Phosphormodifikationen und -Clustergrößen).

C. M. Balkas (Sterling Semiconductor) stellte jüngste Entwicklungen zu großen SiC bulk-Kristallen mit Durchmessern von 2" bis zu 3" vor. Der Vortragende äußerte am Schluß seines Vortrages die Ansicht, daß die Bauelementeindustrie SiC mittlerweile als eine ernstzunehmende Alternative zu Saphir als Substratmaterial akzeptieren würde. Diese These wurde aus dem Publikum allerdings heftig angegriffen, vor allem mit Kostenargumenten, worauf der Vortragende nicht befriedigend reagieren konnte (oder wollte). Die These stand allerdings auch bei späteren Diskussionen noch im Raum und sollte deshalb nicht achtlos beiseite geschoben werden.

V. Prasad (State University of New York) stellte eine interessante Studie vor, die zum Gegenstand hatte, den Einfluß von Tiegel- und Kristallrotation auf die Form der Phasengrenze bei der Czochralski-Züchtung verallgemeinernd zu beschreiben. Zu diesem Zwecke dienten Modellexperimente im System Wasser / Eis. Die vorgestellten Ergebnisse decken sich ausgesprochen gut mit unseren experimentellen Erfahrungen bei der VCz-Züchtung.

Eines der Highlights der Konferenz war ein Vortrag von C. P. Khattak (Crystal Systems Inc.) über die Züchtung der bisher größten Saphir-Kristalle der Welt. Vorgestellt wurden Ergebnisse zu Kristalldurchmessern bis 340mm (65kg Gewicht). Die optische Qualität dieser Kristalle läßt nichts zu wünschen übrig. Geplant ist, die Kristalldurchmesser bis auf 750mm zu erhöhen. Gezüchtet werden diese Kristalle nach der sog. „Heat-Exchange“ Methode. Im Prinzip handelt es sich dabei um ein modifiziertes Vertikales Bridgman-Verfahren. Der wesentliche Unterschied zu Letzterem liegt aber darin

begründet, daß die Kristalle bis zuletzt ohne Wandkontakt mit dem Tiegel wachsen, was es so interessant macht. Der Trick, große Kristalldurchmesser zu erhalten liegt darin begründet, den Wärmefluß durch den Kristall (wie allgemein üblich) nahezu ausschließlich axial zu führen und diese Dimension (die dann verantwortlich für thermoelastische Verspannungen ist) möglichst klein gegenüber dem Durchmesser zu halten. Das geht so weit, daß die für technische Anwendungen interessante <0001>-Richtung nicht in die Achse des Kristalls, sondern 90° dazu in die Scheibenebene gelegt wird und ggf. benötigte lange <0001>-Stäbe liegend aus der Scheibe heraus gebohrt werden.

Siemens Solar Industries (USA) stellte ein „Batch Recharging“ System für die Züchtung von Czochralski Solarsilizium vor. Ohne den Ofen abzukühlen wird der gezogene Kristall entfernt und der Tiegel in situ neu mit Si-Granulat gefüllt. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigte, dass hierdurch eine beträchtliche Kosten- und Energiereduktion möglich ist, sich der Effekt aber nach ca. 7 Zyklen erschöpft. Das Verfahren wird am Standort der Firma in den USA bereits für die Produktion genutzt.

Beachtenswert, was die Massenproduktion von Solarsilizium betrifft, war ein weiterer Vortrag von V. Prasad. Dieser knüpfte an die verblüffenden Erfolge, die vor einigen Jahren bei der Züchtung oktogonaler, sehr dünner Poly-Silizium-Rohre für die Solarzellenherstellung gemacht wurden, an. Hierbei handelte es sich allerdings um hauchdünne (100µm) polykristalline, zylindrische Si-Rohre mit 0.5m ! Durchmesser, gezogen an Graphitrohren als Keim. Die Rohre werden nach der Züchtung aufgeschnitten und zu Solarzellen verarbeitet. Neben der Darstellung dieser schon phantastischen Ergebnisse wurde die baldige Präsentation von Rohren mit Durchmessern von 1m angekündigt. Verblüffter Kommentar aus dem Auditorium: (Prof. Mullin): „Technology is not predictable!“.

Ein weiterer Vortrag (von Herrn Chandra) in dieser Session war einer, meiner Ansicht nach überraschend einfachen, geometrischen Überlegung gewidmet. Bisher werden die polykristallinen Ausgangsstäbe für die Si-Kristallzüchtung nach dem Siemens-Verfahren durch Gasphasenabscheidung an dünnen Si-Stäben (ca. 10mm Durchmesser) hergestellt. Viel günstiger ist es jedoch, gleiches an Rohren zu machen, wegen der beträchtlich größeren Oberfläche. Ein solches Verfahren wurde im Labormaßstab getestet. Man erwartet davon eine signifikante Verringerung der Herstellungskosten für Poly-Stäbe.

Ein weiterer interessanter Beitrag zur Massivkristallzüchtung kam aus dem Labor von T. Fukuda (Tohoku University), der neue Materialien für optische Anwendungen im UV-Bereich vorstellte. Es wurden LICAF Kristalle mit rekordverdächtigen optischen Eigenschaften präsentiert. Wichtige Herausforderer für LICAF sind $KMgF_3$ und $BaLiF_3$, deren optische und Wachstumseigenschaften untersucht wurden.

„Second International School on Crystal Growth Technology - ISCGT-2“

vom 24. bis 29. August 2000 in Zao (Japan).

Bericht von P. Rudolph, IKZ Berlin

Nachdem im Jahre 1998 in Beatenberg (Schweiz) eine erste internationale Schule mit dem Schwerpunkt Technologie der Kristallzüchtung erfolgreich durchgeführt wurde und die sehr rührigen Begründer dieser Veranstaltung H. Scheel (EPF Lausanne/Schweiz) und T. Fukuda (Tohoku Universität Sendai/Japan) von allen Teilnehmern ermutigt wurden, im Zweijahresrhythmus weiterzumachen (siehe MB Nr.68,1999,S.21), fand nun in diesem Sommer die Fortsetzung im Miyagi Royal Hotel inmitten des Zao-Massivs, nicht weit von Sendai, statt. 131 Teilnehmer (mit ca. 10 Begleitpersonen)

aus insgesamt 17 Ländern (darunter 69 aus Japan, 19 Süd-Korea, 13 USA, 7 Deutschland, 4 Frankreich, 4 Taiwan, 3 Ukraine) hatten sich eingefunden. Wie schon zur ersten Schule, und dies war so gewollt, stellte die Industrie einen wesentlichen Teilnehmerkreis (z.B. Shin-Etsu Handotai, Hitachi Cable, Mitsubishi Materials, Toshiba Ceramics, Motorola, US Air Force Res. Lab., AstroPower Inc., LG Silicon Inc., Wacker Siltronic AG, Freiburger Compound Materials, Schott ML GmbH). Auch waren Vertreter zahlreicher namhafter Forschungsinstitute und Universitäten vertreten. Neben den äußerst beflissenen und gastfreundlichen Veranstaltern aus der Tohoku Universität Sendai seien beispielsweise die folgenden Einrichtungen genannt: University of Tokyo, Shonan Institute of Technology, Lincoln Lab. MIT, State Univ. of New York, Hanyang Universität of Korea, National Tsing Hua Univ. Taiwan, Helsinki University, Institute for Single Crystals Kharkov, Universität Erlangen, IKZ Berlin. Elf japanische Sponsoren, allen voran das „161. Committee of Japan Society for Promotion of Science“, zeichneten für die finanzielle Absicherung. Insgesamt wurden 29 Vorlesungen gehalten. Ein Abend wurde unter Leitung von H. Scheel dazu genutzt, über den internationalen Stand der Kristallzüchtung und deren weitere Entwicklung kritisch zu diskutieren und sich für eine unbedingt zu verbessernde Förderung auszusprechen.

Die insgesamt straffe wissenschaftliche und meisterlich organisatorische Szenerie wurde durch zwei Halbtagsausflüge aufgelockert: einer Betriebsbesichtigung bei Shin-Etsu Handotai im 1992 eröffneten supermodernen Werk von Shirakawa (mit Blick in eine der Czochralski-Züchtungshallen für 300 mm Silicium) und einer Busrundfahrt zu den berühmtesten touristischen Sehenswürdigkeiten der Yamagata Präfektur - dem märchenhaften grün-blauen Kratersee „Okama“ an der 1841 m hohen Kumano-Spitze sowie dem Yamadera („Risshakuji“)-Tempel, größtes Heiligtum der Tendai-Sekte in Nordjapan aus dem 9. Jh., das allerdings nur über eine tausendstufige in Tuffstein geschlagene Treppe zu erklimmen war.



Bild 27: Schulungsteilnehmer im Besuchersaal von Shin-Etsu Handotai.

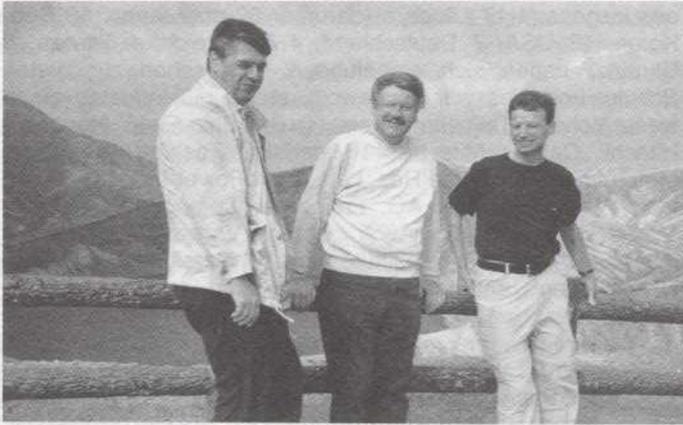


Bild 28: Schulungsausflug. Industrie und Forschung vereint am Okama-Kratersee im Zao-Massiv. V.l.n.r.: B. Weinert (Freiberger CM GmbH), P. Rudolph (IKZ Berlin), E. Dornberger (Wacker-Siltronic AG Burghausen).



Bild 29: Schulungsausflug. Nach Besteigung der tausendstufigen Tempeltreppe hinauf zum Rishhakuji-Schrein bei ca. 30 °C und 90 % Luftfeuchtigkeit. V.l.n.r.: P. Capper (BAE Systems IR Ltd. Southampton), B. Weinert (Freiberger CM GmbH), L. Lytvynov (Inst. of Single Crystals Kharkov), C.P. Khattak (Crystal Systems Inc. Salem, MA), V.V. Voronkov (Inst. of Rare Metals Moscow), J.M. Parsey Jr. (Motorola Tempe, AZ), K.J. Bachmann (North Caroline State Univ. Raleigh, NC).

Spätestens hier, allerdings bei Temperaturen um 30 °C und einer Luftfeuchtigkeit um 90 %, wurden Erinnerungen an die „Gratwanderung“ während der ersten Schule in den Berner Alpen wach. Der Abend des Abschlusstages wurde geschickt dazu genutzt, die scheidenden Schulungslehrer mit den gerade angereisten Teilnehmern der am nächsten Tag in Sendai beginnenden 1st Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-1) auf einer „Sunset Cruise“ in der Matsushima Bucht (leider wurde sie meteorologisch zur Gewitterkreuzfahrt) für ein paar Stunden zusammenzuführen. Neben den sehr interessanten Schulungsvorträgen trugen auch diese Veranstaltungen zu einem besseren gegenseitigen Kennenlernen bei und regten viele zusätzliche Fachgesprächen zwischen universitären und industriellen Forschern auf den Gebieten der Kristallzüchtung, -bearbeitung und -analyse sowie Bauelementeentwicklung an.



Bild 30: Beim gemeinsamen Abendessen T. Fukuda (IMR Tohoku Univ.) mit Gattin und G. Wehrhan (Schott ML GmbH) mit Gattin (v.l.n.r.).

Beiden Chairmen, H. Scheel und T. Fukuda, gebührt erneut der große Dank für diese exzellente Schule, die wohl wie kein anderes Meeting auf unserem Gebiet Industrie und Forschung, Technologie und Grundlagen so eng zusammenführt. Es ist vorgesehen, im Jahre 2002 eine dritte Fortsetzung in den USA zu veranstalten. Ab dann soll sie jedoch die treffendere Bezeichnung eines „Workshops of Experts of Crystal Growth Technology“ erhalten. Damit wird einerseits der veranstaltungstragende Informationsaustausch zwischen den anwesenden profilierten Spezialisten besser ausgedrückt und andererseits der gewünschte Interessentenkreis aus der Industrie noch zwingender angesprochen.

Im Folgenden sollen einige Schwerpunkte der ISCGT-2 aus Sicht des Berichterstatters (bulk-Züchtung) vermittelt werden. Das 771 Seiten umfassende (!) „Book of Lecture Notes“ mit erweiterten Abstracts und Kopien der Vortragsfolien steht bei den deutschen Teilnehmern E. Dornberger/Wacker Burghausen, G. Müller/Univ. Erlangen, P. Rudolph/IKZ Berlin, A. Voigt/Res. Center Caesar Bonn, G. Wehrhan/Schott Jena und B. Weinert/Freiberger CM ganz sicher für eine Einsicht zur Verfügung. Vielleicht sind sogar noch einige Exemplare beim Editor T. Fukuda/Tohoku Univ. Sendai erhältlich?

In seiner Begrüßungsrede nannte T. Fukuda die folgenden Jahresmarktzyffern des weltweit größten Kristallproduzenten Japan: Silicium 5000t/6000 Mio USD, Quarz 1600t/4500 Mio USD, GaAs 94t/424 Mio USD, LiTaO₃ 55t/1300 Mio USD, GaP 27t/200 Mio USD. Als Forschungsschwerpunkte zählte er auf: SiC, GaN, CaF₂, das Auffinden neuer oxidischer Materialien für Hochleistungslaser und Alternativsubstrate, die Klärung und Kontrolle von Punktdefekten in Halbleitern. Genauso wie H. Scheel, der den Eröffnungsvortrag hielt, wünschte er sich die Einrichtung von Lehrstühlen für Kristallzüchtung an den technisch ausgerichteten Universitäten, um diesem High-Tech-Feld den dringenden Nachwuchs zu sichern. An Hand von Entwicklungsschwerpunkten der modernen Kristallzüchtung betonte H. Scheel die notwendige Universalität und Multidisziplinarität, die es gelte speziell an solchen wünschenswerten „Centers of Excellence“ auszubilden, was seinerseits leider der Grund dafür sei, daß sich bis heute keine Fakultät so recht verantwortlich fühle. Es müsse noch viel mehr Öffentlichkeitsarbeit von den aktiven Kristallzüchtern geleistet werden. Die Industrie brauche dringend solche Spezialisten.



Bild 31: Im Pausengespräch (v.l.n.r.) H. Scheel (EPF Lausanne), B.H.T. Chai (Univ. of Central Florida), C.A. Wang (Lincoln Lab. MIT), D.F. Bliss (US Air Force Res. Lab.), V. Prasad (State Univ. New York)

T. Abe (Shin-Etsu Handotai/Japan) zeigte Möglichkeiten und neue Forschungswege zur Erzielung hochreiner Siliciumkristalle auf, um auch in das Gebiet der höchstfrequenten Mikroelektronik einzudringen (sein Vortragstitel „High-resistivity silicon for RF applications substituting GaAs“ war geradezu herausfordernd gegenüber dem hier dominierenden Material formuliert). Als Züchtungsmethoden kommen das FZ-Verfahren für 200 mm Durchmesser (in Entwicklung) und die Czochralski-Technik (mit Magnetfeld) in Frage. Zielrichtung ist die Einstellung kontrolliert niedriger Sauerstoff- (< 6 ppm), Bor- (< $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$) und Phosphorkonzentrationen. Nach kontrollierter Mikroausscheidung des Restsauerstoffes in hoher Verteilungshomogenität mittels eines drei- bis vierstufigen Temperprogrammes unter Stickstoff (650 und 800 °C-Schritte) und trockenem Sauerstoff (1000 °C) werden bereits Widerstände über 1 k Ω erzielt. Die Wafer solcher Kristalle besitzen einen erhöhten CRSS-Wert und zeigen prinzipiell ein besseres Verhalten bei Hochtemperatur-Nachfolgeprozessen. Ob man aber mit Si jemals einen solch breiten Widerstandsbereich zwischen k Ω bis G Ω so präzise und wirtschaftlich lohnend wie mit GaAs beherrschen wird, lies der Vortrag offen.

E. Dornberger (Wacker Siltronic AG/Germany) und V.V. Voronkov (IRM Moscow/Russia, z.Z. MEMC) gaben einen umfassenden Einblick in die intrinsische Punktdefektdynamik und den bereits sehr hohen Stand der Beherrschung der Punktdefekte in versetzungsreichem Silicium. Entscheidend für den Einbau einer bestimmten Konzentration von Vakanzen oder Interstitials ist die V/G-Relation während des Wachstums der Kristalle (V - Ziehrate, G - axialer Temperaturgradient). Ein kritischer V/G-Wert ($1.34 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Kmin}$) führt zur Annihilation der Defekte. Wird er überschritten, werden vakanzeninduzierte Defekte (voids) überwiegen, darunter dominieren Interstitialbaufehler (swirls, dislocation loops). Dieser experimentelle Fakt, theoretisch begründet von Voronkov, erfordert unter Berücksichtigung der radialen Temperaturgradienten ein diffiziles Temperatur-Halte-Programm, zumal sich die Punktdefekte zu Präzipitaten und Mikrohohlräumen clustern können, was allerdings die Produktionszeit der Kristalle merklich erhöht. E. Dornberger sieht als eine ökonomisch günstigere Alternative die epitaktische Oberflächenveredlung (0,5 μm) schnell abgekühlter (punktdefektbehafteter) 300-mm-Wafer („flash“ wafer bzw. „perfect-silicon-on-top“ Konzept).

Beachtliche Fortschritte bei der Herstellung multikristallinen bulk-Siliciums für photovoltaische Anwendungen wurden von C.P. Khattak (Crystal Systems/USA) und T. Surek (National

Renewable Energy Lab./USA) vorgetragen. Mit der Heat Exchanger Method (HEM) werden bis zu 240 kg-schwere Si-Blöcke gerichtet erstarrt und in $100 \times 100 \text{ mm}^2$ Wafer zerlegt. Die Solarzelleneffizienz beträgt 16 %. Surek berichtete von EFG-gezüchteten 150 μm -dicken Si-Rohren (ASE Americas) mit Durchmessern von 50 cm (der Übergang zu 1m ist vorgesehen !), die sodann mit Laserstrahlen in leicht gewölbte Wafer zertrennt werden. In seiner mitreisenden Vorlesung zeichnete Surek ein hoffnungsvolles Zukunftsbild für die Solarenergie. Schließlich würde eine mit Solarzellen abgedeckte Wüstenfläche von 100×100 Quadratmeilen den gesamten Energiebedarf der USA produzieren können ...

T. Inada (Japan) informierte über den derzeitigen Stand der Züchtung und Wafertechnologie von GaAs und InP bei Hitachi Cable, ein Produzent, der auf dem Gebiet des semiisolierenden GaAs im letzten Jahr wieder in die Weltmarktspitze vordrang und hinter den „Freiberger“ (FCM) aus Deutschland die zweite Stelle vor Litton Airtron/USA einnimmt. Dabei erwies sich das langjährig verfolgte technologische Konzept des Einsatzes großer Tiegeldurchmesser (12-16 Zoll; bis zu 50 kg Einwaagen) bei gleichzeitiger Drei-Heizer-Anordnung besonders für 6-Zoll-Kristalle als erfolgreich (die Schmelzoberfläche sinkt dabei nur langsam und die Wärme durchströmt den Kristall quasi-uniaxial). Das Drahtschneiden in 300 Wafer zugleich hat auch hier seinen Siegeszug angetreten.

D.F. Bliss (US Air Force Res. Lab./USA) verdeutlichte die großen Anstrengungen, die in Kooperation mit M/A-COM unternommen werden, um zu einer reproduzierbaren Produktion von 4-Zoll InP-Kristallen zu gelangen (InP-Schaltkreise zeichnen sich durch noch höhere Frequenzen als GaAs aus). Dazu wird die in-situ-Synthese-Züchtungstechnik eingesetzt, bei der in einem ersten Schritt die Verbindung durch in die Ga-Schmelze einströmendes Phosphorgas hergestellt wird. Unmittelbar daran schließt sich der Ziehvorgang an. Ein wesentlicher Vorteil sei die Einstellung der Stöchiometrie oder einer definierten Abweichung (P-reiche Schmelzen reduzieren die Zwillingbildung). Außerdem sei bei diesem modifizierten Czochralski-Verfahren gegenüber der VGF-Methode eine angestrebte <100>-Keimorientierung anwendbar. Das VCz-Verfahren wurde als weitere interessante Alternative für eine InP-Züchtung mit geringen Versetzungsdichten genannt.

O. Oda, der vor kurzem von Japan Energy Co. (Einstellung der Entwicklungsarbeiten zur bulk-Züchtung) in Richtung NGK Insulators/Japan wechselte, faßte die Ergebnisse zur VGF-Züchtung von InP (auch VCz), CdTe, (Cd,Zn)Te und ZnTe zusammen. Mit einer sehr hohen Temperaturkonstanz, Temperaturgradienten unter 10 K/cm und Wachstumsraten von 0.4 mm/h werden 80 mm lange 4-Zoll InP-Kristalle mit Versetzungsdichten von 300 - 3000 cm^{-2} erhalten. VGF-gezüchtete ZnTe-Kristalle (Durchmesser 80 mm; EPD um 2000 cm^{-2}) seien das beste Alternativmaterial für purgrüne LEDs. Oda schloß mit der Bemerkung: „VGF is the semiconductor technology of the 21st century ...“.

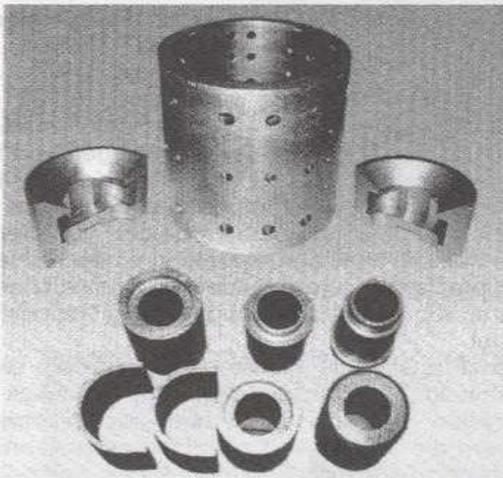
P. Capper (BAE System IR Limited/UK) zeigte am Beispiel von (Cd,Hg)Te-Detektoren eindrucksvoll, zu welchen beachtenswerten Ergebnissen eine geschlossene Material-Bauelemente-Technologie gelangt, wenn sie „in einer Hand“ über Jahre hinweg zielstrebig entwickelt wird. (Cd,Hg)Te-Kristalle erstaunlicher Perfektion und einem Durchmesser von 50 mm werden mit der vertikalen Bridgmanmethode aus der Schmelze (70 atm; Ampullenwandstärke 7 mm) kombiniert mit ACRT (beschleunigte Containerrotation) erhalten.

B.H.T. Chai (Univ. of Central Florida/USA) gab einen historischen und methodischen Überblick über Entwicklung und den heutigen Stand der GaN-Züchtung. Er erinnerte an die erste blaue Diode aus Mg-dotierten GaN aus dem Jahre 1972 (P. Maruska), die angeblich noch bis heute leuchte...Die

Calcarb C.B.C.F. Hartgraphitfilz

**Hochtemperatur - Wärmeisolationswerkstoff für höchste Ansprüche
in Kristallziehanlagen**

**Silicium - Einkristalle
Silicium - Polykristalle
GaAs - Einkristalle
optische Gläser**

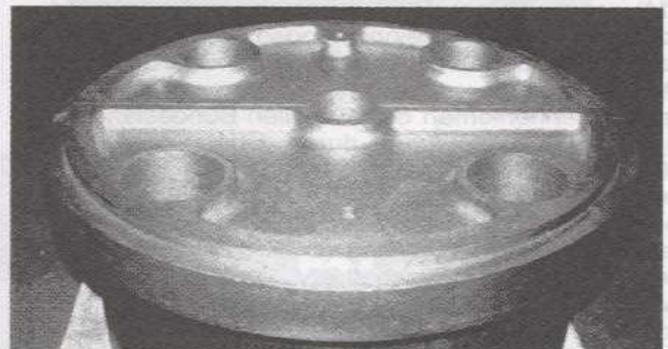


Produkteigenschaften:

**sehr homogener Werkstoff
beste thermische Isolationswerte
sehr geringe Feuchtigkeitsaufnahme
hohe Reinheit
vielseitige Beschichtungsmöglichkeiten
sehr gut bearbeitbar**

Vorteile im Einsatz:

**gleichmäßige Temperatur-
verteilung im Prozeßraum
komplexe Geometrien möglich
geringere Wandstärken
erhöhte Lebensdauer
einfacher Einbau
Kostensparnis**



Informationen und technische Beratung:

Sintec Keramik GmbH & Co. KG
Abt. Vertrieb, H.-G. Küster
Romantische Straße 18
D - 87642 Halblech
Tel.: 0049 - (0) 8368 - 910125
Fax: 0049 - (0) 8368 - 910130

Kristallzüchtungsschule 2000

vom 10. bis 16. September in Cottbus

Pressenotiz

von **Torsten Boeck** und **Thomas Teubner**,
Institut für Kristallzüchtung, Berlin

„Von der Physik des Kristallwachstums zum maßgeschneiderten Werkstoff, - zu diesem Thema fand vom 10. bis 16. September an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus die zweite nationale Schule für Kristallzüchtung statt. Organisiert wurde die Veranstaltung vom Berliner Institut für Kristallzüchtung (IKZ) in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Angewandte Physik - Sensorik am Institut für Physik und Chemie der BTU Cottbus, dem Lehrstuhl für Kristallographie der Humboldt-Universität zu Berlin und der Innovations for High Performance microelectronics GmbH (IHP), Frankfurt/Oder.

Mit der Wahl von Cottbus als Schulungsort wurden die materialwissenschaftlichen Ausbildungsmöglichkeiten an der BTU Cottbus einem großen Kreis von Interessenten bekanntgemacht. Einen Einblick in die Forschungslandschaft von Berlin und Brandenburg konnten die 80 Teilnehmer außerdem durch Exkursionen an drei Institute der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) gewinnen. Neben dem IKZ wurden das Ferdinand-Braun-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH) in Berlin sowie das IHP in Frankfurt/Oder besucht.

Die Schule trug der Tatsache Rechnung, daß es an deutschen Universitäten und Hochschulen zwar eine Reihe von Ausbildungsangeboten zur Kristallographie und zur Kristallzüchtung gibt, die aber in den unterschiedlichsten Studiengängen angesiedelt und damit häufig sehr speziell ausgerichtet sind. Mit 22 Lehrveranstaltungen bot die Veranstaltung den interessierten Studenten, Doktoranden und Nachwuchswissenschaftlern eine integrative Plattform für Wissensvermittlung und Diskussion. Ausgewiesene Fachleute von Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen Deutschlands haben sowohl grundlegende Modelle zum Kristallwachstum erläutert als auch Einblicke in die Umsetzung dieser Prinzipien in modernen Bauelementen z.B. in der Kommunikationstechnik gegeben.

Eine Podiumsdiskussion mit führenden Wissenschaftlern aus den Industrieforschungslabors der Wacker Siltronic AG, der Infineon GmbH und der Firma Freiburger Compound Materials GmbH (FCM) sowie Vertretern von universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen gab u.a. die Möglichkeit zur Information über Anforderungen und Chancen an künftige Arbeitsplätze.

Das gegenseitige Kennenlernen der aus allen Bundesländern angereisten jungen Leute wurde durch eine Spreewald-Kahntour gefördert.

An der Finanzierung der Kristallzüchtungsschule beteiligten sich neben dem IKZ die Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK), die Deutsche Materialwissenschaftliche Gesellschaft e.V. (DeMaWiG) sowie die Firmen Wacker Siltronic, Freiburger Compound Materials (FCM), Crystal Growing Systems, Roth & Rau Oberflächentechnik und Infineon Technologies Dresden.

Nach einhelliger Meinung der Schüler und Lehrer war die Veranstaltung mit ihrer inhaltlichen Brücke von der Kristallzüchtung über die Charakterisierung zum mikroelektronischen Bauelement ein voller Erfolg und sollte auch in den nächsten Jahren fortgesetzt werden.

Eindrücke von Schulungsteilnehmern,

übermittelt von

Monika Anton und Eva Dahlmann,

Universität Frankfurt/Main, sowie

Natalie Kaiser und Uwe Kerat,

Universität Freiburg

Die Kristallzüchterschule in Cottbus begann am Sonntag den 10.9.2000 mit der Anreise der Schulungsteilnehmer und einer Grillparty zum gegenseitigen Kennenlernen. Erst am nächsten Morgen begann das ausgefüllte fünftägige Schulungsprogramm.

Dem Geist einer Kristallzüchterschule folgend wurden in vielen schönen Vorträgen selbst Neueinsteigern die Kristallzüchtung nahegebracht. Das gut gegliederte und interessante Vortragsprogramm, begann mit einer gelungenen Einführung von Prof. Köhler, der mit

STM-in situ-Beobachtungen von Kristallwachstumsvorgängen, den Zuhörern das Wachstum der Kristalle anschaulich darstellte. Es folgten Vorträge über die thermodynamischen Grundlagen der Kristallzüchtung (Prof. Mühlberg), Anfangsstadien des Kristallwachstums (Prof. Jacobs) und dessen kinetische Betrachtung (Prof. Rudolph), Massivkristallzüchtung (Prof. Aßmus) sowie spezielle Züchtungsbeispiele (z.B. CdTe, vorgetragen von Dr. Fiederle), Epitaxieverfahren (Dr. Griesche, Prof. Kasper, Prof. Strunk) und die Entwicklung von fertigen Bauelementen (Prof. Pensl, Dr. Weyers, Prof. Schmeißer). Leider verfielen einige der Dozenten bei ihre Vorträge alsbald in einen Konferenzstil, was für entsprechend vorgebildete Spezialisten sicherlich interessant, für Kristallzüchtungsschüler jedoch nur bedingt geeignet ist.

Als Abendveranstaltung wurde unter anderem eine Kahnfahrt im Spreewald mit anschließendem Picknick angeboten, welche regen Anklang fand und den Vortragenden und Teilnehmern die Möglichkeit zum besseren Kennenlernen und zu persönlichen Gesprächen bot. Einen speziellen Dank an dieser Stelle an Herrn Prof. Schmeißer für die hervorragende Organisation dieser Tour.

Einen tieferen Einblick in die Welt der Kristallzüchtung konnte am Mittwoch bei den Besichtigungen der *Innovations for High Performance Microelectronics GmbH (IHP)*, des *Instituts für Kristallzüchtung (IKZ)* und des *Ferdinand Braun Instituts für Höchstfrequenztechnik (FBH)* gewonnen werden. Die im Anschluß stattfindende Podiumsdiskussion mit Vertretern der Industrie und verschiedener Institute aus der Halbleiterbranche bildete den Abschluß dieses abwechslungsreichen Tages. Sie hätte jedoch durch eine kontroversere Diskussion und die intensivere Einbeziehung des Publikums seitens des Moderators noch gewinnen können. Positiv bleibt in Erinnerung, daß einige aus dem Podium (Prof. Tränkle, Dr. von Ammon und Dr. Bialas) im Anschluß daran einem kleinen Kreis die Gelegenheit zu einer weiterführenden Diskussion in gemütlicher Runde geboten haben.

Alles in allem eine lehrreiche, interessante und schöne Veranstaltung für die wir uns besonders bei Torsten Boeck, Thomas Teubner sowie den anderen Organisatoren vom Institut für Kristallzüchtung und der BTU Cottbus recht herzlich bedanken möchten

Kristallzuchtungsschule 2000 in Cottbus

10. bis 16. September 2000



Einige der insgesamt 80 Teilnehmer der Schule



Gelernt wurde eine Menge im Hörsaal,



..., aber auch bei Diskussionen.



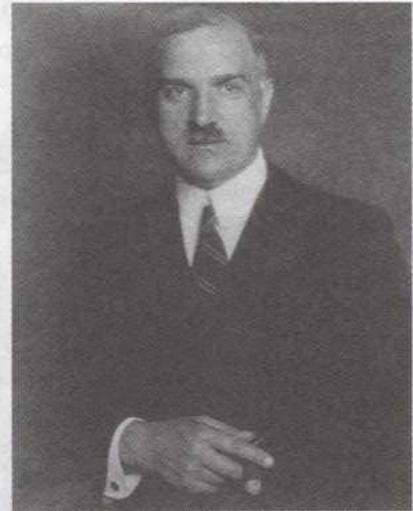
Wichtig waren auch die Vortragspausen. Hier gab es dann die Möglichkeit zum ungezwungenen Meinungs-austausch zwischen allen Teilnehmern, ob sie nun als Lehrende oder Lernende, aus der Hochschule, einem Forschungsinstitut oder aus der Industrie zu dieser Schule gekommen waren.

Besuch einer Delegation von Kristallzüchtern in Kcynia, dem Heimatort von J. Czochralski, am 7. Oktober 2000 im Rahmen des Workshop on New Materials for Electronic in Warschau 5.-7. 10. 2000

Fotografien übermittelt von Herrn P. Rudolph aus Berlin



J. Czochralski 1907 in Berlin
(In dieser Zeit Mitarbeiter bei der AEG)



Prof. J. Czochralski 1929 in Warschau
(Professor für Metallurgie am Polytechnischen Institut)



Die Kristallzüchterdelegation auf der Vortreppe der Jan-Czochralski-Schule in Kcynia



J. Czochralski's Sommerhaus in Kcynia im Oktober 2000



Frau Prof. A. Pajczkowska gemeinsam mit dem DGKK-Vorsitzenden, Herrn Prof. G. Müller am Grab von J. Czochralski

**International School
on
CRYSTAL GROWTH OF MATERIALS
FOR ENERGY PRODUCTION AND ENERGY-SAVING APPLICATIONS**

05-10 March 2001

**Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)
34100 Trieste, Italy**

Promoted by :

**Commission on Crystal Growth and Characterisation of
Crystal Growth Section of the Italian Crystallographic Association (SCC-AIC)
Italian Group for the Structure of Matter (GNSM-CNR)
"Abdus Salam" International Centre for Theoretical Physics (ICTP)**

Organised in collaboration with :

National Institute for the Physics of Matter - Italy (INFN)

<http://www.semiconductors.co.uk/cgm-epes.htm>

6. Termine

Nächste Treffen der Arbeitskreise

Arbeitskreis

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

Nächstes Treffen voraussichtlich am 21./22. März 2001
am Institut für Kristallzüchtung in Berlin

Kontakt über

Prof. Dr. G. Müller

Kristall-Labor

Institut für Werkstoffwissenschaften VI

Universität Erlangen-Nürnberg

Martensstr. 7

91058 Erlangen

Tel.: 09131-857636

Fax: 09131-858495

E-mail: georgmueller@ww.uni-erlangen.de

Arbeitskreis

"Intermetallische Verbindungen"

Nächstes Treffen geplant Ende September 2001 in Dresden

Kontakt über

Dr. Günter Behr

IFW Dresden

Tel.: 0351-4659404

Fax 4659480

E-Mail: behr@ifw-dresden.de

Arbeitskreis

"Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik"

Nächstes Treffen geplant im September 2001 in Köln, genaue
Daten werden im nächsten Frühjahrsheft bekanntgegeben.

Kontakt über

Prof. Dr. Manfred Mühlberg

Institut für Kristallographie

der Universität zu Köln

Zülpicher Str. 49b

D-50674 Köln

Tel.: 0221/470-4420;

FAX: 0221/470-4963

E-mail: M.Muehlberg@kri.uni-koeln.de

Arbeitskreis

"II-VI – Halbleiter"

Termin für nächstes Treffen bei Redaktionsschluß nicht
bekannt

Kontakt über

Dr. German Müller-Vogt

Kristall- und Materiallabor der

Fakultät für Physik

Kaiserstr. 12

76131 Karlsruhe

Tel.: 0721/608-3470

Fax.: 0721/608-7031

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

Arbeitskreis

"Epitaxie von III-V-Halbleitern"

Nächstes Treffen am 11./12. Dezember 2000 in Bad Dürkheim
Bericht darüber und Bekanntgabe des Folgetermins im
nächsten Frühjahrsheft.

Kontaktadresse bezüglich des aktuellen Treffens:

Prof. Fouckhard

Universität Kaiserslautern

Erwin Schrödinger Straße

67663 Kaiserslautern

Tel.: 06131-205-4145

Fax.: 06131-205-4147

Email: fouckhar@physik.uni-kl.de

siehe auch: www.physik.uni-kl.de/w_fouckh/DGKK

Workshop

"Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"

Termin: 14./15.02.2001

Alle aktuellen Hinweise hierzu sind zu finden auf der DGKK-Homepage unter

<http://www.dgkk.de/aktuelles.html>

Dort ist auch das Anmeldeformular abrufbar; auch Online-Anmeldung ist möglich.

Kontakt über

Dr. Albrecht Seidl

R&D Crystal Growth

Freiberger Compound Materials GmbH

Am Junger Löwe Schacht 5, 09599 Freiberg,
Germany

Phone: (+49)3731 280 211

Fax: (+49)3731 280 106

E-mail: seidl@fcm-germany.com**Tagungen****Tagungen****04 -08 December 2000**Int. Conf. on Processing and Manufacturing
of Advanced Materials

Las Vegas, USA

t.chandra@uow.edu.au**11 - 12 December 2000**

Epitaxie von III-V-Halbleitern

Arbeitskreis III-V-Epitaxie der DGKK

Bad Dürkheim, Germany

www.physik.uni-kl.de/w_fouchh/DGKK**07 - 10 January 2001**Workshop on Nanostructured Materials Made
from Self-Assembled Molecules and Particles

Hindas, Sweden

www.kck.chalmers.se**05 - 09 February 2001**Advanced Research Workshop on Semiconductor
Nanostructures

Blenheim, New Zealand

david.lookwood@nrc.ca**14 - 15 February 2001**

DGKK-Workshop

Angewandte Simulation in der
Kristallzüchtung

in Aufsess/Gasthof Sonnenhof

Kontakt: A. Seidl (FCM)

Tel: 03731-280-211

23 - 24 February 2001

Kinetikseminar

Arbeitskreis Kinetik der DGKK

Erlangen-Universität, Germany

strunk@ww.uni-erlangen.derudolph@ikz-berlin.de**26 - 28 February 2001**Int. Workshop on Preparation and Characterization
of Technologically Important Single Crystals

Nat. Phys. Lab New Delhi, India

www.pcsc.homepage.com**26 - 28 February 2001**

Compound Semiconductor Outlook 2001

Marked Trends and Forecasts

San Diego, USA

contact: Gorham Advanced Materials Inc.

www.goradv.com**05 - 07 March 2001**

German-French Crystal Growth Meeting

DGKK-Jahrestagung und -Wahlversammlung

Frankfurt a. M., Germany

assmus@physik.uni-frankfurt.de**05 - 10 March 2001**Int. School on Crystal Growth of Materials for Energy
Production and Energy-Saving Applications

promoted by the Int. Union on Crystallography (IUCr)

Trieste, Italy

fornari@maspec.bo.cnr.itwww.semiconductors.co.uk/cgm-epes.htm**11 - 15 March 2001**10th Biennial Workshop on Organometallic Vapour

Phase Epitaxy

San Diego, USA

www.tms.org/cms**12 - 15 March 2001**

9. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für

Kristallographie (DGK)

Universität Bayreuth

www.uni-bayreuth.de/dgk2001**19 - 22 March 2001**International Scientific Cooperation aboard MIR
Material Science in Space

in Lyon, France

contact: R. Kuhl (DLR)

Rainer.Kuhl@dlr.de**21 - 22 March 2001**

DGKK-Arbeitskreis Herstellung und

Charakterisierung von massiven

GaAs-, InP- und SiC-Einkristallen

in Berlin/IKZ

Kontakt: W. Schroeder (Direktor d. IKZ)

Tel: 030-6392 3001

16 - 20 April 2001

MRS Spring Meeting

San Francisco, USA

www.mrs.org/meetings/spring2001**06 - 11 May 2001**

Conf. on Lasers and Electro-Optics

and Quantum Electronics and Laser Science

Baltimore, USA

www.osa.org/mtg_conf

09 - 11 May 2001

6th Int. Conf. on Moving Boundaries -
Computational Modelling of Free and
Moving Boundary Problems
Lemnos, Greece
www.wessex.ac.uk

20 - 23 May 2001

Sixth Polish Conference on Crystal Growth
(PCCG-6) in Poznan, Poland
contact: Prof. Keshra Sangwal
sangwal@antenor.pol.lublin.pl

16 - 20 July 2001

4th Int. Conf. on Nitride Semiconductors
Denver, CO, USA
www.mrs.org

16 - 20 July 2001

21st International Conference on Defects in Semiconductors
Justus-Liebig-Universität Gießen
www.uni-giessen.de/icds21/

06 - 15 August 2001

XIX Congress and General Assembly of the
Int. Union of Crystallography (IUCr)
Jerusalem, Israel
www.iucr.org

26 - 31 August 2001

13th European Conf. on Chemical Vapour
Deposition (EUROCV13)
Athens, Greece
www.imel.demokritos.gr/EUROCV13

27 - 31 August 2001

Conf. on Recrystallization and Grain Growth
Aachen, Germany
ReX&GG@imm.rth-aachen.de

01 - 06 July 2001

Int. Conference on Materials for Advanced
Technologies (ICMAT 2001)
Symp. D: Crystallization and Interfacial
Processes
Symp. N: Materials for Opto-Electronics and
High Frequency Electronics Applications
Singapore
icmat2001@pacific.net.sg
www.mrs.org.sg/icmat2001

01 - 06 July 2001

Gordon Research Conferences
Thin Films and Crystal Growth Mechanisms
Williams College, New England, USA
contact: E. D. Williams
www.grc.uri.edu

23 - 28 July 2001

Int. School on Crystal Growth of IOCG (ISSCG-11)
in Japan

30 July - 04 August 2001

Int. Conference on Crystal Growth-13
ICCG-13/ICVGE-11
Doshisha Univ. Campus, Kyoto, Japan
abstracts deadline: 15 January 2001
proceedings manuscripts: 30 April 2001
http://iccg.doshisha.ac.jp

Die Inserenten dieses Hefts

Gero Hochtemperaturöfen GmbH..... 2
20 Jahre Erfahrung im Ofenbau-Ihr Partner in
der Kristallzüchtung

MaTeck.....7
Die Material-Technologie und Kristalle GmbH
Kompetenz in Kristallherstellung und -Präparation

Freiberger Compound Materials.....11

Cyberstar.....13
Seit langem bekannt als Hersteller hochentwickelter
Kristallzüchtungsanlagen

Hüttinger Elektronik GmbH.....15
Der Spezialist für Induktionserwärmung und
Plasmatechnologie

TBL-Kelpin..... 17
Der Nachfolger des Kristallhandel-Kelpin, mehr als 25
Jahre Erfahrung in Kristall-Handel und Technologie

Frank Optic Products.....21
Weltweit tätiger OEM-Zulieferer hochwertiger optischer
Komponenten,

Wafer Technology.....25

Engelhard.....31
Als Edelmetallspezialist mit seinen Laborgeräten eine
seit langem bekannte Adresse für die Kristallzüchter

Sintec Keramik GmbH.....37

Linn High Therm GmbH.....Umschlagseite, S.48

Ein Highlight des Herstellers von Öfen für das Labor:
Überdrucköfen für 100 bar bei 1800°C und Sauerstoff.

Liebe Inserenten:

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

Adresse hierfür: Dr. F. Ritter,

Robert Mayer-Str. 2-4

60054 Frankfurt am Main

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

Liebe Leser:

**Bitte beachten Sie die Seiten der inserierenden Firmen,
die unsere Arbeit meist schon seit Jahren unterstützen.**

7. Register bereits erschienener Artikel

Beschreibung von Kristallzuchtungsstandorten

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

Züchtungsverfahren, Züchtungsprojekte

Flüssigphasenelektroepitaxie	55
Liquid Encapsulated Cz.-Grown Semi-Insulating GaAs, Quality Status	54
Vertical Bridgman and Gradient Freeze Growth of III-V-Compound Semiconductors	53
Lithium-Niobat, Herstellung großer Einkristalle	42
Optical Heating for Zone Methods	65
Kristallzuchtung für die Photovoltaik	59
Gedanken zu Gegenwart und Zukunft der Photovoltaik	68
Kristallzuchtung unter reduzierten Schwerkraftbedingungen	49
Kristallzuchtung mit der Skull-Schmelz-Technik	67
Kristallzuchtung von SrPrGaO ₄	70

Charakterisierung, mikroskopische Untersuchungen, Grundlagen

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

Technisches

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

Historisches

Einkristallzuchtung vor 35 Jahren: Herstellung von GaAs mit dem Gremmelmeier-Verf.	57
Kristallzuchtung in der DDR	51
Kristallzuchtung unter Obhut der Arbeitsgruppe "Kristallisation" der Vfk (DDR)	63
Iwan N. Stranski	66
The Various Institutions of Crystal Growth (How did they all start?)	44
Walter Schottky, Anmerkungen zum 100. Geburtstag	44

Forschungsorganisation, Politik

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

Redaktion**Chefredakteur**

F. Ritter
 Physikalisches Institut der
 Uni Frankfurt am Main
 Robert Mayer Str. 2 - 4
 60054 Frankfurt /Main
 Tel.: 069/798 -28053
 Fax.: -28520
 E-Mail: F.Ritter@Physik.uni-frankfurt.de

**Übersichtsartikel,
Kristallzüchtung
in Deutschland**

T. Boeck
 IKZ Berlin
 Tel.: 030/6392-3051
 Fax.: -3003
 E-Mail: boeck@ikz-berlin.de

Tagungsberichte

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

Mitteilungen der DGKK

A. Lüdge
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392-3076
 Fax.: -3003
 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de

**Stellenangebote/
Stellengesuche**

A. Lüdge
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392-3076
 Fax.: -3003
 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de

**Mitteilungen von
Schwestergesellschaften**

F. Ritter
 Anschrift siehe oben

Tagungskalender

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

**Bücherecke
Schmunzelecke**

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

Anzeigenwerbung

G. Müller-Vogt
 Uni Karlsruhe
 Tel.: 0721/608-3470
 Fax.: /608-7031
 Email: kml@phys.uni-karlsruhe.de

Internet-Redaktion**Redaktionsleitung**

H. Walcher
 (Anschrift s. rechte Spalte)

Gestaltung der WEB-site

S. Bergmann und
 U. Rehse
 IKZ-Berlin
 Tel.: 030/6392-3093
 Fax.: -3003
 E-Mail: bergma@ikz-berlin.de
 für Frau Bergmann und
 Tel.: 030/6392-3070
 Fax.: -3003
 E-Mail: ur@ikz-berlin.de (f. Herrn Rehse)

Hinweise für Beiträge**Redaktionsschluß MB 73: 15. April 2001**

Bitte senden Sie Ihre Beiträge per E-Mail als angehängte Dateien.
 Willkommen sind jederzeit interessante Bilder für den Titel.

Besten Dank

SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG

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

Vorstand der DGKK**Vorsitzender**

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

Stellvertretender Vorsitzender

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

Schriftführer

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

Schatzmeister

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

Beisitzer

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

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

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

BANKVERBINDUNGEN

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

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

DGKK – STICHWORTLISTE

**KRISTALLHERSTELLUNG
ZÜCHTUNGSMETHODEN**

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

MATERIALZUSAMMENSETZUNG

- 210 Elemente
211 Graphit
212 Diamant, diamantartiger K.
213 Silizium
214 Germanium
215 Metalle
219 andere Elemente
- 220 Verbindungen
221 binäre Verbindungen
222 ternäre Verbindungen
223 multinäre Verbindungen
231 IV-IV
232 111-V
233 11-VI
234 Oxide, Ferroelektrika
235 metallische Legierungen
236 Supraleiter
237 Halogenide
238 organische Materialien
239 andere Verbindungen

WACHSTUMSFORMEN

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

KRISTALLBEARBEITUNG

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

**KRISTALLCHARAKTERISIERUNG
KRISTALLEIGENSCHAFTEN**

- 510 grundlegende Eigenschaften
511 Stöchiometrie
512 Phasenreinheit
513 Struktur, Symmetrie
514 Morphologie
515 Orientierungsverteilung
516 Phasenumwandlungen
- 520 Strukturdefekte / Struktureigenheiten
521 Punktdefekte, Dotierung
522 Versetzungen
523 planare Defekte, Verzwillingung
524 Korngrenzen
525 Einschlüsse, Ausscheidungen
526 Fehlordnungen
527 Überstrukturen
- 530 Mechanische Eigenschaften
531 Elastische Eigenschaften
532 Härte
533 Bruchmechanik
- 540 Thermische Eigenschaften
541 Wärmeausdehnung
542 kritische Punkte
- 550 Elektrische Eigenschaften
551 Leitfähigkeit
552 Ladungsträger-Eigenschaften
553 Ionenleitung
554 Supraleitung
- 560 Optische Eigenschaften
- 570 Magnetische Eigenschaften
- 580 Weitere Eigenschaften
581 Diffusion
582 Korrosion
583 Oberflächen-Rekonstruktion

MESSMETHODEN

- 610 chemische Analytik
611 chemischer Aufschluß
612 Ätzmethoden
613 AAS, MS
614 thermische Analyse
- 620 Mikroskopie
621 lichtoptische Mikroskopie
622 Elektronenmikroskopie
623 Rastertunnel-Mikroskopie
624 Lumineszenz-Topographie
- 630 Beugungsmethoden
631 Röntgendiffraktometrie
632 Röntgentopographie
633 Gammadiffraktometrie
634 Elektronenbeugung
635 Neutronenbeugung
- 640 Spektroskopie, Spektrometrie
641 UV-, VIS-, IR-, Fourier-
642 Raman-, Brillouin-
643 Kurzzeit-Spektroskopie
644 NMR, ESR, ODMR
645 RBS, Channeling
646 SIMS, SNMS
- 650 Oberflächenanalyse
651 LEED, AUGER
652 UPS, XPS
- 660 Elektrische Charakterisierung
- 670 Andere Meßmethoden

MATHEMATISCHE BEHANDLUNG

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

ENTWICKLUNG / VERTRIEB / SERVICE

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

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

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

Telefax: 030 / 6392-3003

Betr.: Verwendung der persönlichen Daten im Internet

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

Datum

Unterschrift

Name bitte in Druckschrift wiederholen

Seit Erstellung des Mitgliederverzeichnisses 1995 haben sich folgende Änderungen ergeben:

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

werden Sie Mitglied der DGKK!

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

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

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

Telefax: 030 / 6392-3003

Antrag auf Mitgliedschaft / Änderung

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

- Art der Mitgliedschaft: ordentliches Mitglied
 studentisches Mitglied
 korporatives Mitglied

Gewünschter Beginn der Mitgliedschaft: _____

Dienstanschrift

(Name) (Vorname) (Titel) (Beruf)

(Firma, Institut, etc.)

(Straße, Haus-Nr.)

(PLZ, Ort)

(Telefon) (FAX) E-mail

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

(Straße, Haus-Nr.)

(PLZ, Ort)

(Telefon) (FAX) E-mail

Wissenschaftliche Interessen- und Erfahrungsgebiete (Stichworte): _____

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

1.: 2.: 3.: 4.: 5.: 6.: 7.: 8.: 9.: 10.:

Verwendung der persönlichen Daten im Internet?

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

den

(Unterschrift)

VORSPRUNG

DURCH

TECHNOLOGIE



Hochdruckofen

Rubistar 100
FKH-70/80/120/1820-100
Für Edelsteinwarmbehandlung,
High Tech Keramiken, Pulvermetallurgie...
Für Betrieb an Luft, Vakuum 10^{-2} mbar.
Bis 100 bar Überdruck.
Max. Temperatur 1820 °C.
Betrieb an Argon und Stickstoff mit
reduzierter Temperatur.
Nutzraum ca. 0,6 l.
Wasserstoff bis 5 % möglich.
Druckbehälter wassergekühlt.



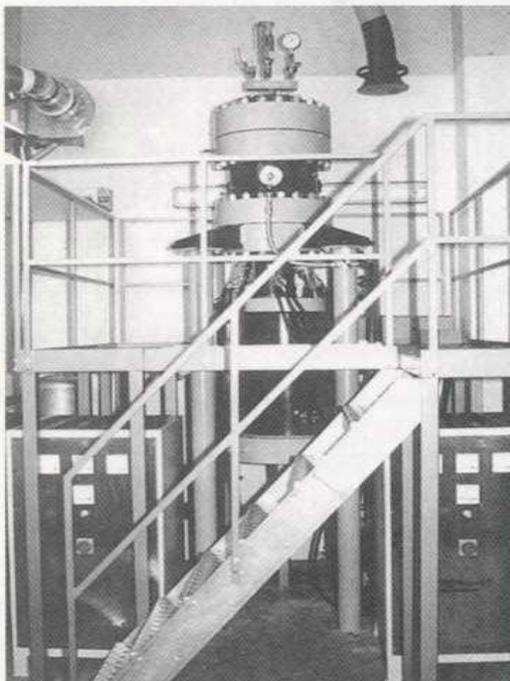
Rohrofen

FRH, verfahrbar, bis 1750 °C.
Bridgeman-Verfahren und
Zonenschmelzen unter
Schutzgas / Hochvakuum.



Induktionserwärmung Hochfrequenz-Halbleiter- Generatoren

HTG, zum Glühen, Schmelzen
oder Schwebeschmelzen.
HF-Ausgangsleistung 1,5 - 12 kW.
Arbeitsfrequenz bis 400 kHz.
Mittelfrequenz-Generatoren MFG
bis 30 kW. 2, 10, 20 kHz.



Hochdruckofen

für Kristallzucht und Edelsteinwarmbehandlung.
Nutzraumdurchmesser: 100 mm
Nutzraumhöhe: 120 mm
T: 2300 °C
P: 200 bar



Kaltwandofen

KKV-140/270/2000 zum Tempern, Sintern, Schmelzen.
Kristallzucht, Pulvermetallurgie, Keramik-, Nuklear-
industrie und Forschung, Entwicklung. Bis 2000 °C.
Schirmblechaufbau aus Wolfram und Molybdän mit
Wolfram-Mesh-Heizer. Ar, N₂, H₂ und Vakuum bis
 10^{-5} mbar. Nutzraum: Ø = 140 mm, h= 270 mm, 4,0 l.
Heizleistung: max 35 kVA.
Für Schutzgasatmosphären auch mit Wasserstoff:
Begasungseinheit, Sicherheitspaket,
Abfackelvorrichtung mit Flammüberwachung.
Temperaturregelung wahlweise über Thermolemente
Wolfram / Rhenium oder optisches Pyrometer.
Umfangreiches Optionsangebot.

Sonderanlagen
nach
Kundenspezifikation!

linn
High Therm



ISO 9001

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