

Inhalt

Mitteilungen der DGKK		Tagungsberichte	
Zweiländer Jahrestagung FGCGM2003 in Nancy .	4	ACCGE14 in Seattle	27
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2003	5	2 nd Asian Conf. on Cristal Growth in Seoul	30
Nachruf auf Hermann Neels	6	Erlanger Nitridtage	30
Aus den DGKK-Arbeitskreisen		12 th Workshop on Cryst. Si-Solar Cells (USA)	33
Epitaxie von III-V-Halbleitern	6	Ausländische Schwestergesellschaften	
Intermetallische Systeme	8	Berichtshefte der GFCC.....	35
Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik	10	Stellenannonce	
Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung..	11	Termine und Ankündigungen	
Nachwuchsförderung, Öffentlichkeitsarbeit		Czochralski-Kolloquium in Polen	36
Bericht von der Lat. Amer. Sommerschule	13	Termine der Arbeitskreise	36
Berliner Nächte der Wissenschaft	15	Tagungskalender	37
Interessantes zur Kristallzüchtung		Inserenten des Hefts	
Geschichte der III-V-Halbleiter – Ergänzungen	17	Schmunzelecke	39
Zn-Mg-RE-Quasikristalle – Ergebnisbericht	19	Frühere Artikel	40

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



Die Verarbeitung von Edelmetallen und Edelmetall-Legierungen nach dem neusten Stand der Technik sowie die stete Weiterentwicklung gemeinsam mit den Kunden stellen ständige Herausforderungen für die Business Unit Precious Metals Technology dar. In weiten Teilen der Industrie sind Edelmetalle durch ihre gute chemische Beständigkeit bei hohen Einsatztemperaturen unverzichtbar.

Unser Produktprogramm umfasst unter anderem:

Tiegel für die Kristallzucht

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

Spezielle Produkte nach Kundenwünschen

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

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

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

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

Neue Werkstoffgeneration

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

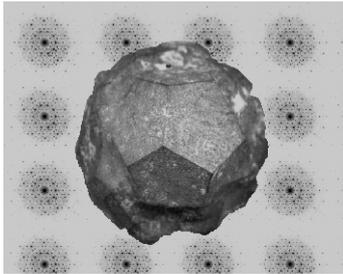
Über 150 Jahre Erfahrung rund um die Edelmetallverarbeitung stehen Ihnen in unserem Hause zur Verfügung! Nutzen Sie unser Know-how auch für Ihre speziellen Anforderungen und sprechen Sie uns an. Wir freuen uns auf Ihren Anruf.

W. C. Heraeus GmbH & Co. KG Engineered Materials Division **Business Unit**

Precious Metals Technology

Heraeusstr. 12 – 14
63450 Hanau, Deutschland
Telefon (0 61 81) 35-98 03
Telefax (0 61 81) 35-86 20
E-Mail: precious-metals-technology@heraeus.com
www.wc-heraeus.com/
precious-metals-technology

Zum Titelbild



Das Titelbild zeigt einen fci - ZnMgHo „Quasi -Einkristall“, gezüchtet aus einer Zn-Mg-Ho-Schmelze mit flüssiger Schmelzabdeckung (Liquid encapsulation) von Eckhard Uhrig, Physikalisches Institut, Frankfurt am Main. Zur Schmelzabdeckung wurde eine eutektische Mischung aus LiCl und KCl verwendet. Der Durchmesser des facettierten Bereichs beträgt nahezu 15mm!
Nähere Informationen im Übersichtsartikel im Inneren des Hefts.

Editorial

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

hier ist es wieder, unser kleines vorweihnachtliches Geschenk. Dabei gilt besonderem Maße das weihnachtliche Motto, daß geben seliger ist, als nehmen: Bestimmt ist meine Freude, wenn ich das Heftchen verschickt habe und es damit losgeworden bin, noch größer als Ihre, wenn Sie es Sie es in Ihrer Post finden.

Diesmal steht vieles im Zeichen der bevorstehenden gemeinsamen Jahrestagung in Nancy. Allerdings spielt in der Vorbereitung diese Zeitschrift nicht mehr die gleiche Rolle, wie früher: Es gibt hier kein Anmeldeformular mehr zum heraustrennen oder kopieren, da alle Anmeldungen zur kommenden Tagung nur elektronisch über die Tagungs-WEB-site möglich sind. Informationen zur Tagung finden Sie natürlich in diesem Heft sowie die Einladung zu unserer Jahreshauptversammlung. Bitte beachten Sie, daß es dabei auch wieder Wahlen gibt und daher ein zahlreiches Erscheinen unserer Mitglieder wichtig ist.

Beim Durchsehen dieser Ausgabe werden Sie bemerken, daß unser neues Redaktionsmitglied, Herr Friedrich, ganze Arbeit geleistet hat und es deshalb schöne, informative Tagungsberichte zu lesen gibt. Ich hoffe, sie helfen Herrn Friedrich auch weiterhin, diese Rubrik interessant zu gestalten, indem Sie ihm Berichte schicken, wenn Sie von interessanten Tagungen zurückkommen.

Bei unseren letzten Treffen hatten wir vereinbart, unsere Bemühungen zur Nachwuchsförderung und Nachwuchswerbung zu verstärken und unser Vorstandsmitglied Torsten Boeck hat dieses Vorhaben zu seinem persönlichen Anliegen gemacht. Daß hierzu gerade in der „Berliner Ecke“ etwas geschehen ist, sehen Sie am Beitrag der Studentin Anne Dennstedt, der von der DGKK die Teilnahme an einer internationalen Sommerschule ermöglicht wurde, und am Bericht von Herrn Klimm von der „Langen Nacht der Wissenschaften“ in Berlin, bei der sich das „Institut für Kristallzüchtung“ mit einem offenbar sehr attraktiven Programm beteiligt hat.

Zwar nicht primär zur Nachwuchsförderung, aber unter dem Gesichtspunkt der Werbung für unser Wissenschaftsgebiet wurde der DGKK-Preis für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Kristallzüchtung geschaffen. Hier warten der Vorstand und das Preiskomitee sehnlich auf gute Vorschläge. Natürlich kann man sich nicht selbst vorschlagen. Damit der Preis sinnvoll vergeben und zur Wissenschaftsförderung eingesetzt werden kann, ist gemeinnütziges Handeln erforderlich. Bitte raffen Sie sich dazu auf, indem Sie eine Wissenschaftlerin oder einen Wissenschaftler mit sehr guten Beiträgen zur Kristallzüchtung benennen!

Als spezielles Thema für den Fachaufsatz dieser Ausgabe wurden diesmal die Quasikristalle gewählt. Wie Sie schon am Titelbild sehen können, hat die im Rahmen eines Schwerpunktprogrammes geförderte Forschung auf diesem interessanten und immer noch neuartigen Gebiet zu ganz erstaunlichen Züchtungserfolgen geführt. Ich denke, Ihnen gefallen die großen fünfzähligen Facetten ebenso gut, wie mir.

Anhand der Geschichte der III-V-Halbleiter scheint sich so etwas wie eine Rubrik „Historisches zur Kristallzüchtung“ zu entwickeln, dank Herrn Seidl im vergangenen Heft und Herrn Jakobs in dieser Ausgabe. Beiträge dieser Art sind informativ, sehr angenehm zu lesen und ich hätte sie auch für künftige Ausgaben sehr gerne.

Schließlich enthält diese Ausgabe einen Nachruf auf Herrn Neels, der vor kurzem verstorben ist und mit der in Deutschland beheimateten Zeitschrift „Crystal Research and Technology“ bleibendes geschaffen hat.

Ich wünsche Ihnen schöne Feiertage, einen guten Start ins neue Jahr und freue mich auf das nächste Treffen.

Ihr Franz Ritter

Notizen des Vorsitzenden

Liebe DGKK Mitglieder

Die Fortschritte und die Erkenntnisse in unserer wissenschaftlichen Disziplin des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung laufen heute schnell und auf internationaler Ebene ab. Wir als DGKK haben uns der Unterstützung dieses Prozesses verschrieben.

Gemäß unserer Satzung und der Aufforderung unserer Mitglieder bei der letzten Hauptversammlung versuchen wir als DGKK hier zu unterstützen. Die Förderung von Tagungen, die Unterstützung von Reisen junger Kristallzüchter und auch der im nächsten Jahr zu vergebene DGGK Preis wird ein wertvoller Beitrag sein. Ich möchte diese Stelle auch nutzen, um erneut auf den mit EUR 2500 notierten Forschungspreis der DGKK aufmerksam machen. Wo sind die dynamischen jungen Wissenschaftler und deren Betreuer? Ein Beitrag bei der Jahrestagung in Nancy qualifiziert zur Teilnahme!

Unsere Jahrestagung am 11-13.3.3 in Nancy wird sicherlich zur Verbreitung des Interesses an Kristallen und der damit verbundenen Wissenschaft Ihren Beitrag liefern. Die Organisation läuft auf Hochtouren, und wir werden sicherlich aktuelle und spannende Beiträge erleben können. Ähnliches gilt für die Organisation der ICCG-14/ICVGE-12 im Jahr 2004 in Grenoble.

Anfang Januar wird der Vorstand in Aachen zu einer Sitzung zusammentreffen. Neue Ideen, Aufgaben, angestrebte Ziele und die Ereignisse des letzten Jahres werden diskutiert und das weitere Vorgehen abgesprochen. Die kollegiale und engagierte Art aller Beteiligten ist sicherlich ein Gewinn für unsere Sache.

Ich wünsche allen Mitgliedern Frohe Weihnachten und ein gutes und erfolgreiches Jahr 2004, sowie ein erfolgreiches Wachstum-wissenschaftlich und wirtschaftlich.

Für den Vorstand

Prof. Dr. Michael Heuken

MITTEILUNGEN DER DGKK

Informationen zur gemeinsamen Jahrestagung

Second French German Crystal Growth Meeting Nancy, March 10-13, 2003	
	

Hinweis der Redaktion:

Die Organisation der Tagung ist weit fortgeschritten und es gibt eine schöne WEB-site, sowohl zur Information über die Tagung, als auch zur Anmeldung:

<http://www.lcm3b.u-nancy.fr/FGCGM2003/>
(zu erreichen natürlich auch über www.dgkk.de)

Die Tagung wird gemeinsam veranstaltet von der Groupe Français de Croissance Cristalline (GFCC) und der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK)

Konferenzsprache

Die Konferenzsprache ist Englisch.

Veranstaltungsort

Die Tagung beginnt am Montag, 10.3. im "Palais des Congrès" im Stadtzentrum und wird dann von Dienstag bis Donnerstag 13.3. etwas außerhalb, in der "Faculté des Sciences" fortgesetzt.

Anmeldung zur Tagung, Unterbringung,

Die Anmeldung zur Tagung erfolgt ausschließlich elektronisch über ein Formular innerhalb der Konferenz-WEB-site. Über das gleiche Formular kann man auch das Gala-Dinner und eine Unterkunft buchen.

Die Preise sind für die Tagungsteilnahme:

EUR 140.- (vor 10.1.), EUR 180.- (nach 10.1.), Vollzahler

EUR 105.- (vor 10.1.), EUR 135.- (nach 10.1.) Studenten

Für das Gala-Dinner:

EUR 45.-

Zimmerpreise zwischen EUR 33.- und EUR 63.- (Einzel.)

und zwischen EUR 33.- und EUR 66.- (Doppelz.)

"Deadline" für Absendung des Anmeldeformulars: 3. März 03, bei Reservierungswunsch für Zimmer: 10. Feb. 03

Einreichen von Beiträgen

Auch das Einreichen von Beiträgen erfolgt ausschließlich elektronisch über E-Mail. Vortragsdauer jeweils 20 Min.

Alle übrigen Informationen bitte über die WEB-site einsehen!

--Anmeldeschluß für Beiträge: 15.12.2002--

Tagungsorganisation

Die Tagung wird gemeinsam geleitet von

André Aubry, Nancy, aubry@lcm3b.uhp-nancy.fr

Wolf Aßmus, Frankfurt/Main, assmus@physik.uni-frankfurt.de

Programmstruktur

Mittlerweile steht das „Gerüst“ des weitgefächerten, wissenschaftlichen Tagungsprogramms, gebildet durch die zu den einzelnen Themen eingeladenen Vorträge:

(Rechte Spalte: Mitglieder der Programmkomitees)

Opening lecture	
Philippe NOZIERES, ILL Grenoble: <i>Nanosciences and surface physics</i>	
Bulk crystal growth	
Jean Pierre CHAMINADE, ICMCB, Bordeaux: Growth of oxide and fluoride crystals for optical applications	Thierry Duffar Bernard Ferrand Wilfried v. Ammon, Manfred Mühlberg, Günter Behr,
Andris MUIZNIEKS, University of Hannover: <i>Mathematical modeling of industrial CZ and FZ silicon crystal growth processes with AC and DC magnetic fields</i>	
Nucleation and nanocrystals	
Gilles RENAUD, CEA, Grenoble: Real Time In Situ Investigations of the Structure and Morphology of Growing Nanostructures by Grazing Incidence Small Angle Wide Angle X-Ray Scattering	Claude Henry Wolfgang Neumann
Jochem URBAN, Fritz-Haber-Institute, Berlin: <i>Growth of Nanoparticles (1-10 nm) by Inert Gas Aggregation: Structural Characterisation by High Resolution Electron Microscopy</i>	
Simulation and kinetics	
Jörg NEUGEBAUER FHI Berlin: <i>Crystal growth simulations across length and time scales</i>	Georg Müller, (Simulation) Peter Rudolph, (Kinetik)
Andres SAUL CRMC2, Marseille: <i>Atomistic processes involved on semiconductors growth</i>	
Epitaxy and MBE	
André PERRIN, Rennes: <i>Stabilization of metastable phases via epitaxial growth controlled by substrate or sublayer atomic surface</i>	Francois Arnaud d'Avitaya, Michael Heuken, Ferdinand Scholz
Thomas ZETTLER, Berlin: <i>Benefits of optical in-situ measurements for MOCVD and MBE growth</i>	
Microgravity	
Peter DOLD, Kristallographisches Institut, Freiburg: <i>Controlled Heat and Mass Transport for Semiconductor Crystal Growth under Microgravity.</i>	Jean-Paul Garandet, Klaus-Werner Benz
Olivier MINSTER (to be confirmed), ESA	
Crystal growth of biological macromolecules	
Michael BERG, Institute of Physical High-Technology, Jena: <i>Crystallization of proteins in novel temperature-controlled microreactors</i>	Madeleine Ries, R. Hilgenfeld
Enrico STURA, CEA Saclay: <i>Scaffold methods for Protein Crystal Growth</i>	
Surfaces and interfaces	
Claude BERTOLINI, Lyon: <i>Surface Structure and Catalytic Activity of Thin Palladium Overlayers</i>	Margrit Hanbücken, Torsten Boeck
Eckehard SCHOELL, Berlin: <i>Kinetic Monte Carlo simulation of self-organized epitaxial growth of semiconductor nanostructures</i>	
Industrial crystallization	
Axel KOENIG, University Nuernberg-Erlangen: <i>Limits in purification of industrial melt crystallization processes</i>	Jean-Paul Klein, Stephane Veesler, Joachim Ulrich
Philippe MARCHAL, RHODIA: <i>The role of manufacturing processes on the crystal product quality</i>	
Topics in emergence	
Elizabeth BAUER-GROSSE, Nancy. <i>New crystallized compounds from amorphous films.</i> Marie-Paule PILENI, LM2N, Paris: <i>Mesoscopic assemblies made of nanocrystals.</i>	
Concluding remarks	
Raymond KERN, CRMC2, Marseille	

An alle Mitglieder

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

02.12.2002

Jahreshauptversammlung 2003 in Nancy

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur Jahreshauptversammlung 2003 ein, die anlässlich der gemeinsamen Jahrestagung der DGKK und der GFCC in Nancy stattfindet.

Zeit: Montag, 10.März 2003, 18:00

Ort: Nancy, Palais des Congrès, wo auch die Eröffnungssitzung und die Willkommensparty stattfinden.

weitere Informationen : <http://www.lcm3b.u-nancy.fr/FGCGM2003/>

Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlussfähigkeit
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Bericht des Schriftführers
4. Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer
5. Entlastung des Vorstandes
6. Wahl des Vorstandes für die Zeit vom 1.1.2004 - 31.12.2005
7. Diskussionen über Tagungen und Symposien:
 - DGKK Jahrestagung 2004
 - DGKK Jahrestagung 2005
 - DGKK Jahrestagung 2006
 - ICCG – 14 und ISSCG-12 in Grenoble / Berlin
8. Abschließende Diskussion und Beschluss über die Jahrestagung 2004
9. Diskussion über DGKK - Arbeitskreise
10. Verschiedenes

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

Wir möchten Sie bitten, Ihre Teilnahme an der Jahreshauptversammlung 2003 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen



Anke Lüdge
Schriftführerin DGKK

Nachruf

Hermann Neels 23.01.1913 - 05.11.2002

Am 5. November 2002 ist Hermann Neels im hohen Alter von fast 90 Jahren verstorben. Mit ihm verlieren die deutschen, und insbesondere die in der früheren DDR ausgebildeten, Kristallographen eine Art Vaterfigur.

Die Unterzeichner haben Hermann Neels Mitte der 60er Jahre am Institut für Mineralogie und Kristallographie der Leipziger Universität kennengelernt, dem er seit 1960 als Direktor vorstand. Gleichgültig, ob man als Student oder als junger Wissenschaftler mit dem Wunsch zu promovieren zu ihm kam, gleich im ersten Gespräch hat man die Wärme seiner Persönlichkeit und sein Engagement für die Kristallographie gespürt. Auch in den folgenden Jahren haben wir immer seine fördernde und fordernde Unterstützung erfahren. Als Leiter war Hermann Neels entwandend tolerant und als Hochschullehrer war wohl seine wichtigste Devise, jedem Studenten einer naturwissenschaftlichen Disziplin Interesse, gar Freude und Begeisterung an der Kristallographie zu vermitteln.

Unter seiner Leitung wurde am damaligen Leipziger Institut nicht nur die industrielle Vertragsforschung etabliert, sondern auch die materialwissenschaftliche Grundlagenforschung zu den Verbindungshalbleitern vorangetrieben, was in der Folgezeit zu einer Reihe von hübschen, noch heute zitierten Arbeiten, z.B. zu den I-III-VI₂-Halbleitern, geführt hat.

Will man die Persönlichkeit von Hermann Neels ehrlich und gerecht würdigen, so muß man erwähnen, daß er als erstes leidenschaftlicher Kristallograph und als zweites ein zutiefst kommunistischen Idealen anhängender Mensch war. Letzteres wurde ihm in der DDR leicht gemacht, aber er hat für diese Überzeugungen auch sehr schwere Zeitabschnitte in seinem Leben auf sich genommen.

Unsere heutige geschichtliche Erfahrung läßt uns manches anders beurteilen, bei uns bleibt aber Hochachtung für die lebenslange charakterfeste Haltung des Hermann Neels.

Seine eigentliche, bleibende Lebensleistung besteht zweifellos in der 1966 erfolgten Etablierung der Zeitschrift "Kristall und Technik" (später „Crystal Research and Technology“), die er nach dem frühen Tode W. Klebers 1970 über Jahrzehnte hinweg mit Unterstützung seiner Frau Regina praktisch allein geführt und herausgegeben hat. Der Titel der Zeitschrift war für Hermann Neels Devise seiner wissenschaftlichen Arbeit. Für uns junge Wissenschaftler war diese Zeitschrift ein besonders bequemes Publikationsorgan - hatten wir doch den Herausgeber im eigenen Institut - und so mancher Artikel trägt die Handschrift des Institutsdirektors, auch wenn sein Name in der Autorenleiste nicht zu finden ist. Auch nach seiner Emeritierung im Jahre 1978 hat Hermann Neels all seine Kraft und Freizeit in die Entwicklung "seiner" Zeitschrift gesteckt, bis er nach 30 Jahren Herausgeberschaft im hohen Alter von fast 85 Jahren Anfang 1997 die Arbeit in jüngere Hände legte. Die internationale Gemeinde der Kristallzüchter, besonders in den osteuropäischen Staaten und den Entwicklungsländern, ist sehr froh, daß es diese Zeitschrift gegeben hat und daß sie sich heute trotz der harten Konkurrenz fest etabliert hat. Das ist das ganz persönliche, in entsagungsvoller Einmann-Arbeit erworbene Verdienst von Hermann Neels.

Hermann Neels ist den meisten unserer heute aktiven Kollegen bewußt nicht mehr bekannt, in der Zeitschrift aber lebt sein Vermächtnis weiter. Seinen Schülern und ehemaligen Mitarbeitern wird er immer als der warmherzige und sich unauffällig einmischende Mentor der ersten selbständigen wissenschaftlichen Gehversuche in Erinnerung bleiben.

A. Tempel, Fachhochschule Lausitz

K. Jacobs, Institut für Kristallzüchtung Berlin

BERICHTE UND MITTEILUNGEN AUS DEN DGKK-ARBEITSKREISEN

16. DGKK-Workshop „Epitaxie von III/V-Halbleitern“, 6.-7. Dezember 2001, in Berlin

Bericht von **Norbert Grote**,
Heinrich Hertz Institut für Nachrichtentechnik, Berlin

Es ist nun schon seit 16 Jahren Tradition, dass sich immer Anfang Dezember die nationale Community der III-V-Materialtechnologien zu ihrem „Familientreffen“ versammelt, dem DGKK-Workshop „Epitaxie von III/V-Halbleitern“. Der jüngste Workshop in dieser Serie fand am 6. und 7. Dezember 2001 in Berlin statt. Für die Organisation war das dort ansässige Heinrich-Hertz-Institut verantwortlich; sie lag in den Händen von Dr. Norbert Grote, Dr. Harald Künzel und Frau Ulrike Knosp. Veranstaltet wurde die Tagung im Ludwig-Erhard-Haus, einem imposanten Gebäude nahe der Gedächtniskirche und des Kurfürstendamms, das Sitz der Berliner Industrie- und Handelskammer und der Berliner Börse ist, aber auch hervorragende Bedingungen für Tagungsveranstaltungen bietet. Hier fand auch kürzlich die Internationale MOVPE-Konferenz (IC MOVPE XI) statt; der DGKK-Workshop war gewissermaßen die Generalprobe.

160 Teilnehmer am Workshop dokumentierten die ungebrochene Attraktivität dieser Veranstaltung. In insgesamt 45 Vorträgen (Posterbeiträge waren wie üblich nicht vorgesehen) wurden die neuesten Ergebnisse deutscher Gruppen zur Herstellung, Eigenschaften und Anwendungen von Verbindungshalbleitern vorgestellt.

Nahezu das gesamte Spektrum der III/V-Halbleiter wurde behandelt, wobei der Schwerpunkt – neben den „klassischen“ Materialien GaAs und InP – wiederum bei den GaN-Verbindungen lag, die bekanntermaßen für kurzweilige optoelektronische Bauelemente (LED, Laser) eine überragende Bedeutung haben. Stickstoffhaltige Verbindungen – speziell in Form von GaInAsN – spielen aber auch für langwellige ($\lambda = 1,3 \mu\text{m}$) Laseranwendungen in der optischen Glasfaserübertragung eine zunehmend wichtige Rolle. GaInAsN bildet in GaAs-basierenden Bauelementen die aktive Schicht. So war ein Highlight die Mitteilung von Infineon, das dort 10 Gb/s-taugliche $1,3 \mu\text{m}$ -Vertikaldiodenlaser (VCSEL) realisiert werden konnten. Neben solchen N-haltigen Verbindungen werden auch weite GaAs-Mischkristalle grundlegend untersucht, die Elemente wie Bor und Mangan enthalten, letzteres im Hinblick auf magnetische Eigenschaften. Ein klarer Trend bei der III/V-Epitaxie ist die Anwendung optischer in-situ Messverfahren zur Wachstumskontrolle. Entsprechende Ergebnisse zu verschiedenen Materialsystemen wurden in mehreren Vorträgen berichtet und diskutiert. Das Berliner Start-up Unternehmen LayTec ist ein führender Hersteller solcher Systeme, die in enger Kooperation mit verschiedenen Forschungsgruppen entwickelt werden.

Überhaupt ist die Epitaxietechnologie schon lange kein rein akademisches Betätigungsfeld mehr. So war auch dieser DGKK-Workshop, wie in den Jahren zuvor, von einer technischen Ausstellung begleitet, an der sich 28 Firmen beteiligten. Den Firmen, die den Workshop darüber hinaus noch finanziell unterstützt haben, sei an dieser Stelle nochmals besonders gedankt.



NETZSCH

Laser-Flash-Apparatur LFA 427

Mit der Laser-Flash-Apparatur LFA 427 lassen sich die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit genauestens bestimmen.

Immer mehr Materialien finden im Hochtemperaturbereich Anwendung und somit ist die Kenntnis ihrer thermophysikalischen Eigenschaften, besonders der Wärmeleitfähigkeit λ (WLF), von größter Bedeutung.

Die NETZSCH LFA 427 ist ein modernes Analysegerät:

- benutzerfreundlich
- präzise
- sicher (Laserklasse 1)
- Messbereich: 0.001 ... 10cm²/s
- Temperaturbereich -70 ... 2000°C

Ihre Software beinhaltet die Kenntnisse und Erfahrungen, die durch Spezialisten in den letzten 30 Jahren in diesem Technologiebereich erarbeitet worden sind. Diese erlaubt sowohl manuelle als auch vollautomatische Steuerung des Versuchsablaufs und Auswertung der Messergebnisse.

NETZSCH-Gerätebau GmbH
Wittelsbacherstraße 42
D-95100 Selb/Bayern
Telefon: 09287 881-0
Telefax: 09287 881144
at@ngb.netzsch.com
www.ngb.netzsch.com

-70° ... 2000°C

Thermische Analyse

Der DGKK-Workshop „Epitaxie von III/V-Halbleitern“ soll natürlich die Vertreter der beiden von ihrer technologischen Bedeutung her gleichrangigen Verfahren MOVPE und MBE gleichermaßen ansprechen. Dennoch war die MBE-Fraktion deutlich in der Minderheit, was wohl wesentlich darin begründet liegt, dass sich diese Community jährlich zu einer weiteren nationalen Tagung trifft, dem MBE-Workshop, der im Jahre 2001 nur wenige Wochen vor dem DGKK-Workshop ebenfalls in Berlin stattfand. In den „Jugendjahren“ der Epitaxie mag die Trennung nach Methoden sinnvoll gewesen sein, um verfahrensspezifische Probleme zu diskutieren. Heute, bei dem hohen Entwicklungsstand beider Epitaxierichtungen, stehen Materialergebnisse und Anwendungen im Mittelpunkt. Eine Konzentration auf einen nationalen Workshop wäre deshalb dringend anzuraten.

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

Arbeitskreistreffen am 7. und 8. Oktober an der Universität in Frankfurt am Main

Bericht von **Günter Behr**, IFW Dresden und **Franz Ritter**, Universität Frankfurt

Der Arbeitskreis, über dessen Treffen hier berichtet wird, gehört zu den kleineren Gruppierungen innerhalb der DGKK. Dies liegt größtenteils daran, daß die Interessenten an den hier präparierten Kristallen meistens nicht aus dem Kreis der industriellen Anwender, sondern aus dem Bereich der grundlagenorientierten Festkörperforschung kommen.

Der Blick auf die unten gegebene Tabelle zeigt, daß sich bei der Kristallzüchtung von Systemen mit interessanten Spin- und Ladungskorrelationen mit Dresden, Karlsruhe und dem bei diesem Treffen als Gastgeber fungierenden Frankfurt derzeit drei Schwerpunkte ausmachen lassen.

Wie die Beiträge zu diesem Treffen wieder einmal zeigten, wird die Kristallzüchtung auf diesem stark von den Interessen der Physiker geprägten Feld durch den manchmal etwas exotischen Charakter nicht weniger interessant. Die zu bearbeitenden Systeme stellen an die Züchtungsverfahren und an die technische Ausrüstung oft ganz spezielle Herausforderungen.

Dem entspricht auch das Thema der allgemeinen Diskussionsrunde, die es bei diesen Arbeitskreistreffen stets neben dem Vortragsteil gibt, die *„Kristallzüchtung unter erhöhtem Druck“*

Diese Thematik spielte eine große Rolle bei dem ersten der drei Vorträge aus dem IFW Dresden, der von Herrn Dr. Behr gehalten wurde:

Hier ging es um die *„Einkristallzüchtung von MgB₂ aus dem Flux“*.

Diese „einfach“ erscheinende binäre Verbindung ist interessant wegen ihrer vergleichsweise hohen Sprungtemperatur zur Supraleitung: T_c liegt nur knapp unter 40K.

Die besonderen Anforderungen liegen hier schon in den extremen Eigenschaften der Elemente Magnesium (hoher Dampfdruck) und Bor (hoher Schmelzpunkt) begründet.

Eine zentrale Rolle spielte daher die Auswahl eines geeigneten Flussmittels, welches die gängigen Anforderungen erfüllt. Besonders wichtig war dabei die Löslichkeit von Bor im Fluss. Als zweites Problem kristallisierte sich die Zersetzung von MgB₂ bei ca. 1000°C heraus. Diese Zersetzung kann mittels erhöhtem Mg Dampfdruck verhindert werden, was aus thermodynamischen Berechnungen des binären Mg – B

Zustandsdiagramms folgt. Deshalb wurde in geschlossenen Druckampullen gearbeitet.

Die Züchtungsergebnisse bestätigen die Richtigkeit der aus den Rechnungen gefolgerten Vorgehensweise: Die im Fluss gewachsenen MgB₂ Einkristalle haben Dimensionen von 200x200x20 µm³ und zeigen je nach Herstellungsregime unterschiedliche Sprungtemperaturen in den supraleitenden Zustand.

In Bezug auf das vereinbarte Motto unseres Treffens wurde von Herrn Dr. Behr in Deutlichkeit die wichtige Aussage herausgearbeitet, daß Zustandsdiagramme im Kontext der Partialdrucke Ihrer Komponenten zu betrachten sind.

Herr Dmitri Souptel (IFW Dresden) sprach zum Thema *„Homogeneity region and its influence on the growth process in the floating zone process of intermetallic and oxide compounds“*.

Für die intermetallische supraleitende Verbindung HoNi₂B₂C konnten z.B. einkristalline Proben alternativ mit einfachem supraleitenden Übergang, reentrant Supraleitung und mit normalleitendem Verhalten in Abhängigkeit von den Prozessparametern hergestellt werden. Die Konvektion in der Schmelze wurde als Ursache radialer Seigerung ermittelt. In DyNi₂B₂C Einkristallen verursacht die retrograde Löslichkeit plättchenförmige DyB₂C₂ Ausscheidungen.

In ihrem Vortrag zum Thema *„Einkristallzüchtung der intermetallischen Verbindung Nd₂Fe₁₄B mittels Tiegfremem Zonenschmelzen“* zeigte Frau Irina Mazilu (IFW Dresden) erste Ergebnisse zur Einkristallzüchtung von Nd₂Fe₁₄B mit dem Floating-Zone-Verfahren. Der Vorteil der Methode - Vermeidung von Verunreinigung aus dem Tiegel - kommt bei der hoch reaktiven Schmelze voll zum Tragen. Damit konnten Al-freie Einkristalle der magnetisch hochanisotropen Verbindung erhalten werden.

Herr Dr. Pfeleiderer aus dem Physikalischen Institut der Uni Karlsruhe berichtete von den Erfahrungen, einen Spiegelofen (CSI-System) zur Kristallzüchtung höchstreiner Seltenerd- und Übergangsmetallverbindungen einzusetzen. Wegen der hohen Anforderungen an die Probenreinheit werden die Züchtungsexperimente entweder unter UHV-Bedingungen durchgeführt, oder bei Materialien mit einem erhöhten Dampfdruck unter hohem Druck eines sehr reinen Inertgases. Die Probe befindet sich dabei in einem Arbeitsrohr aus Quarzglas. Wie Herr Dr. Pfeleiderer berichtete, traten zu Beginn entsprechender Versuche in Karlsruhe massive Oxidationsprobleme auf, die darauf hinwiesen, daß in der Anlage in Ihrem Anfangszustand die erforderliche Gasqualität nicht gewährleistet werden konnte.

Als wesentliche Ursache wurden nicht ausheizbare Dichtungen der Probenkammer ausgemacht, die durch ausreichend ausheizbare Metaldichtungen ersetzt wurden. Die Experimente zeigen, daß sich die Oxidationsprobleme vermindern ließen, die Arbeiten zur Verbesserung der Züchtungsanlage in Bezug auf die Atmosphärenreinheit dauern aber noch an. Herr Behr wies in diesem Zusammenhang darauf hin, daß die Spiegelöfen in Ihrer Grundkonzeption meist für den Betrieb an Luft ausgelegt seien, mit Blick auf die zahlreichen Nutzer aus der „Oxid-Community“. Dies erkläre den Konstruktionsaufwand zur Anpassung einer solchen Einrichtung an die Erfordernisse der Kristallzüchtung hochreiner leichtoxidierbarer Metalle.

Eine sehr schöne Bereicherung des Arbeitskreises gab es durch die Teilnahme der Wissenschaftler von Karlsruher „Institut für Transurane“.

Der Vortrag von Herrn Dr. Wastin mit den Teilen

a) *Presentation of the laboratory*; b) *recent results on transuranium systems*; c) *, introduction of the project „Actinide User laboratory“* vermittelte einen guten Eindruck von den

Aufgaben, den Arbeiten und den Möglichkeiten des Institutes. An dieser Einrichtung ist die Kristallzüchtung, die natürlich zur Gewinnung von Grundlagenkenntnissen über Transurane und deren Verbindungen sehr wichtig ist, wegen der besonderen Giftigkeit und der hohen Aktivität dieser Materialien vergleichsweise extremen Randbedingungen unterworfen: Es ist zu gewährleisten, daß die Proben jederzeit sicher umschlossen und ausreichend abgeschirmt sind. Daraus ergibt sich ein hohes Maß an Mechanisierung und Automatisierung für das Probenhandling und die Versuchsdurchführung. Die Experimente haben mit sehr kleinen Probenmengen auszukommen.

Die daraus gezüchteten Einkristalle haben andererseits so groß wie möglich zu sein.

Um diese widersprüchlichen Anforderungen einigermaßen erfüllen zu können, wären eigentlich gute Kenntnisse über die jeweils maßgeblichen Phasendiagramme nötig. Genau darüber liegen aber nahezu keine Informationen vor. Ein Transport der Materialien zu anderen Labors mit entsprechenden Einrichtungen ist in den letzten Jahren immer schwerer geworden. Das bedeutet, daß die entsprechenden Charakterisierungsmöglichkeiten mehr und mehr am Institut für Transurane selbst geschaffen werden müssen. Insbesondere äußerte Herr Dr. Wastin die Absicht, die thermoanalytischen Arbeiten zur Untersuchung von Phasendiagrammen zu intensivieren. In diesem Zusammenhang besteht ein Interesse zur Zusammenarbeit mit dem Frankfurter Kristall-Labor, wo für Thermoanalyseexperimente an Proben mit hohem Dampfdruck Apparaturen zur Probeneinkapselung unter Schutzgas entwickelt wurden.

Schließlich gab es von Seiten der gastgebenden Gruppe des Physikalischen Instituts der Uni Frankfurt einen aus zwei Teilen bestehenden Beitrag zu *Kristallzüchtung und strukturellen Aspekten bei Quasikristallen u. verwandten Phasen im System Zn-Mg-SE*. Der Kristallzüchtungsteil dieses Vortrages wurde von Herrn Dr. Sterzel gegeben, der dieses entsprechende Züchtungsprojekt zusammen mit Herr Uhrig sehr erfolgreich am Physikalischen Institut betreibt. (siehe hierzu den Übersichtsartikel, in diesem Heft). Herr Dr. Brühne stellte im "Strukturteil" dieses Beitrags neuartige Strategien vor, zu Strukturmodellen für die heute immer noch nicht befriedigend beschreibbaren Phasen des oben genannten Systems zu kommen.

Es versteht sich von selbst, daß die Diskussion der vielen wissenschaftlichen Fragen bei diesem Treffen in Frankfurt nicht nur im Tagungsraum des Physikalischen Instituts stattfand, sondern am Abend des ersten Tages in einer Apfelweinwirtschaft im südlichen Stadtteil Sachsenhausen fortgesetzt wurde, wo es natürlich zu thematischen Erweiterungen um weitere wichtige Bereiche des Lebens kam. Am zweiten Tag des Arbeitskreistreffens wurden die Labors des Frankfurter Kristall-Labors besichtigt. Das Interesse galt dabei in erster Linie den Einrichtungen zur Kristallzüchtung unter erhöhtem bis hohem Druck. Um sich Phasen zu erschließen, die sich unter letzteren Bedingungen bilden, wurde in den vergangenen Jahren unter Leitung von Herrn Dr. Gross im Frankfurter Labor eine Anlage zur Züchtung unter Drucken von typischerweise 2-6 MPa aufgebaut.

Bei der Diskussion zu Fragen, welche Rolle der Zustandsgröße Druck bei der Kristallzüchtung zukommt, wurde nochmals der von Herrn Dr. Behr in seinem Vortrag bereits angesprochene Einfluss des Partialdruckes auf das Zustandsdiagramm aufgegriffen. Am Beispiel von MgB_2 konnte durch thermodynamische Rechnungen der entsprechende Einfluss des Magnesiumpartialdruckes gezeigt werden.

Bei der weiteren Diskussion über Anwendung von Druck in der Einkristallzüchtung blieben durchaus noch Fragen offen, die geklärt werden müssen. Dies betrifft insbesondere die Wechselwirkung zwischen Druck eines Inertgases und Komponentenpartialdruck im Innern einer Schmelze....

Das nächste Treffen des Arbeitskreises wird 2003 wieder im Frühherbst stattfinden. Der Tagungsort soll Karlsruhe sein. Herr Dr. Wastin stellte in Aussicht, daß das Institut für Transurane Gastgeber sein könnte.

Kontaktadresse zu diesem Arbeitskreis:

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

Eine Literaturstelle zur Züchtung von MgB_2 :

D. Souptel, G. Behr, W. Löser, M. Zinkevich, W. Kopylov
Crystal growth of MgB_2 from Mg-Cu-B melt flux and superconductive properties
J. Alloys and Compounds, in Druck

Institution	Teilnehmer	Vortrag
IFW Dresden	Günther Behr	Einkristallzüchtung von MgB_2 aus dem Flux
	Irina Mazilu	Einkristallzüchtung der intermetall. Verbindung $Nd_2Fe_{14}B$ durch tiegelfreies Zonenschmelzen
	Dimitri Souptel	Homogenous region and its influence on the growth process in the floating zone process of intermetallic and oxide compounds
Universität Karlsruhe	Christian Pfeleiderer u. Tobias Görlach	Erfahrungen mit dem Einsatz des Spiegelofens zur Kristallzüchtung intermetallischer Verbindungen
Institut für Transurane Karlsruhe	Franck Wastin u. Pascal Boulet	a) Presentation of the laboratory; b) recent results on transuranium systems; c) , introduction of the project „Actinide User laboratory“
Forsch.-Zentrum Karlsruhe	Thomas Wolf	
Universität Frankfurt/Main	Angehörige des Kristall-Labors Vorträge: Stefan Brühne u. Roland Sterzel	Kristallzüchtung und strukturelle Aspekte zu Quasikristallen u. verwandten Phasen im System Zn-Mg-SE (Zwei Beiträge)

AK Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik

Arbeitskreistreffen am 26. und 27. September 2002 an der Universität Bonn

Bericht von **Manfred Mühlberg**, Universität zu Köln

Die diesjährige Tagung des Arbeitskreises **Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik** fand am 26. und 27. September 2002 turnusgemäß am Mineralogischen Institut der Universität Bonn statt. Mit 38 Teilnehmern fand die Tagung wiederum eine stabil hohe Resonanz. Erfreulich ist auch, dass zum erstenmal das Kristalllabor aus Erlangen mit zwei Beiträgen vertreten war.

Leider werden mit dem diesjährigen Ausscheiden von Prof. Klapper (und im nächsten Jahr) Dr. Franz Wallrafen die langjährigen Kristallzuchtaktivitäten in Bonn wohl ganz eingestellt werden. Damit fällt dann Bonn als Tagungsort aus. Prof. Schwabe stellte uns für das Jahr 2004 eine „schlossähnliche“ Tagungsstätte bei Gießen in Aussicht. Im nächsten Jahr wird die Arbeitskreistagung wieder in Köln stattfinden.

Die Teilnehmer im Überblick:

K. Petermann, V. Peters (Uni Hamburg),
P. Reiche, R. Uecker, D. Klimm, H. Wilke, R. Bertram, M. Rabe, M. Bernhagen (IKZ Berlin),
H. Hesse, R. Pankrath, M. Ulex (Uni Osnabrück),
M. Burianek, P. Held, M. Eßer, R. Emmerich, A. Goriounova,
N. Machianova, J. Stade, S. Podlojenov, M. Mühlberg (Uni Köln),
V. Wirth (wkl-Lasertechnik, Frechen),
B. Hildmann (DLR Köln-Porz),
H. Klapper, F. Wallrafen, E. Hägele (Uni Bonn),
R. Backofen, A. Voigt (Caesar Bonn),
R. Leckebusch (Bonn),
T. Aichele (Innovent Jena),
K. Pöhl (Schott Lithotec Jena),
D. Schwabe (Uni Giessen),
J. Friedrich, A. Molchanov (Kristalllabor Erlangen),
K. Dupré (FEE Idar-Oberstein)
M. Volnianskii (Uni Dnepropetrowsk/Ukraine)

Folgende Vorträge wurden auf der Arbeitstagung gehalten. Die Abstracts sind auf der Internetseite www.kristallographie.uni-koeln.de/ak-oxid2002.html nachzulesen.

- **J. Friedrich, M. Hainke, J. Pullen*, J. L. Lefaucœur* und G. Mueller**
(Kristalllabor, FhG - Institut für Integrierte Schaltungen Erlangen; * Photonic Materials, Glasgow):
Thermal modeling of oxide crystal growth and its validation by well defined experiments.
- **A. Molchanov, O. Graebner, G. Wehrhan*, J. Friedrich und G. Mueller**
(Kristalllabor, FhG - Institut für Integrierte Schaltungen Erlangen; * Schott Lithotec AG Jena):
In-situ Temperaturmessungen in CaF₂ zur Verifikation von numerischen Modellen.
- **T. Aichele und P. Goernert (INNOVENT Jena):**
Untersuchungen zur Kristallzucht von Kalium-Molybdänoxidbronzen.

- **R. Uecker (IKZ Berlin):**
Zusammenhang zwischen Ti-Gehalt und Struktur in (1-x)Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3}O₃)-x(PbTiO₃)-Kristallen nahe der morphotropen Phasengrenze.
- **M. Volnianskii (Dnepropetrowsk National University, Ukraine):**
Czochralski growth and dielectric properties of ferroelectric LiNaGe₄O₉ - Li₂Ge₄O₉ single crystals.
- **R. Bertram (IKZ Berlin):**
Kristallanalyse mit ICP-Optische Emissionsspektrometrie.
- **D. Schwabe, A. Polity, L. Ackermann*, K. Dupré***
(Universität Giessen, *FEE Idar-Oberstein):
Messung der Transmission von Kristallen bei Temperaturen bis 1600° C.
- **K. Petermann (Universität Hamburg):**
Kristallzucht, Spektroskopie und Lasereigenschaften von Yb₃Al₅O₁₂.
- **G. Wehrhan, L. Parthier, J. Stäblein, K. Pöhl (Schott Lithotec AG):**
Influence of realstructure defects on optical homogeneity of CaF₂ single crystals produced for high performance VUV microlithography.

Der erste Tagungstag fand in gemütlicher Runde nun schon in bewährter Form im alten Bonner Gasthaus „Zum Bären“ seinen Abschluss. Alle Mitglieder des Arbeitskreises möchten ganz herzlich Dr. Franz Wallrafen für die langjährige aktive Mitarbeit im Arbeitskreis und natürlich für die diesjährige Organisation in Bonn danken.



Tagungsteilnehmer beim AK-Treffen
"Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik"
am 26./27.09.2002 in Bonn



AK „Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung“

2. Workshop am 10. und 11. Oktober 2002 in Memmelsdorf bei Bamberg

Bericht von

Peter Dold (Kristallographisches Institut, Universität Freiburg)

Stefan Eichler (FCM GmbH, Freiburg)

Albrecht Seidl (RWE Solar GmbH, Alzenau)

Die Aufgabe des Arbeitskreises liegt zum einen im Austausch von Informationen und Hilfestellungen für primär experimentell arbeitende Wissenschaftler und Arbeitsgruppen, denen hierdurch der Einstieg in die Modellierung von Züchtungsprozessen erleichtert werden soll. Zum anderen soll ein Diskussionsforum geschaffen werden, wo aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen und Forschungsthemen behandelt werden und neue mathematische und numerische Ansätze vorgestellt werden. Die Einbindung und die Präsenz von Softwareanbietern gewährleistet die Möglichkeit, Probleme und Verbesserungswünsche direkt zu besprechen.

Zum 2. Workshop des Arbeitskreises kamen 60 Teilnehmer, verteilt auf 11 Firmen, 7 Forschungsinstitute und 13 Universitätsinstitute zwischen Kiel und Trient. Neben allgemeinen Beiträgen zur Simulation von Kristallzüchtungsprozessen gab es zwei Schwerpunktthemen: State of the Art von Simulationssoftware sowie die Defektbildung bei der Volumenkristallisation.

Zum ersten Schwerpunkt gab es einen Übersichtsvortrag von Bernd Fischer (FhG IIS-B, Erlangen): „Numerische Simulation von Kristallzüchtungsprozessen: State of the Art 2002“. Anhand von Beispielen aus dem Erlanger Kristalllabor wurde die Bedeutung der numerischen Simulation für die Kristallzüchtung verdeutlicht, gleichzeitig ein Überblick über den erreichten Stand gegeben sowie die aktuellen Herausforderungen und Schwerpunkte für die weitere Entwicklung der Simulation aufgezeigt. Was diese weitere Entwicklung betrifft, so geht der Trend ganz klar in Richtung 3D sowie der Ausweitung der simulierten Effekte über reine Wärmeflussfragestellungen hinaus hin zu komplexen Stofftransportproblemen und zur Defektdynamik, dies alles am besten gekoppelt und zeitabhängig. Den Konstrukteuren von Züchtungsanlagen gefällt auch die Idee der inversen Simulation, d. h. man gibt z. B. ein gewünschtes Temperaturfeld vor und erhält als Ergebnis die Ansteuerung einer Mehrreizeranordnung. Oder, leicht visionär angehaucht, man definiert die Eigenschaften des zu züchtenden Kristalls und erhält als Simulationsergebnis die optimierte Züchtungsanlage inklusive Prozessführung.

Ein derzeit noch nicht befriedigend gelöstes Problem stellt die Behandlung von semitransparenten Medien und Schmelzen dar, wie von A. Molchanov (FhG IIS-B, Erlangen) am Beispiel von CaF_2 dargelegt wurde.



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

Auf diesem Gebiet werden in Zukunft sicher verstärkte Aktivitäten und verbesserte Modelle notwendig sein, die über derzeit verwendeten Modelle hinausgehen.

Angewandte Simulation im eigentlichen Sinne, d.h. Simulationen unter Berücksichtigung der realen Randbedingungen der Produktion, stellte Martin Bruder (AEG Infrarotmodule) vor: auch wenn die Ursachen der Defektbildung bei der Bridgmanzüchtung von (Cd,Zn)Te (primär Zwillingsbildung und Korngrenzenwachstum) nach wie vor nicht zufriedenstellend erklärbar sind, lieferte die Verbesserung des Temperaturfeldes aufgrund von numerischen Simulationen eine Erhöhung der Materialausbeute.

Zum zweiten Schwerpunkt gab es zwei Vortragsitzungen, jeweils durch einen Übersichtsvortrag eingeleitet. Die erste „Defektsitzung“ fasste Beiträge aus dem Gebiet der GaAs-Kristallzüchtung zusammen und wurde von Hartmut Leipner (Universität Halle) eingeleitet: „Generation, Dynamik und Konfiguration von Versetzungsstrukturen“. Das etablierte Alexander-Haasen-Modell wurde ausführlich dargestellt; leider blieb für darüber hinausgehende Ansätze, z. B. für die Beschreibung des Hochtemperatur-Kriechens oder für die Ausbildung von Versetzungsagglomerationen und Versetzungsnetzwerken, zu wenig Zeit. Die von Stefan Eichler (FCM GmbH, Freiberg) gezeigten Versetzungsstrukturen aus dem Bereich der GaAs-Kristallzüchtung (LEC- und VGF-Verfahren) lassen sich jedenfalls mit der Beschränkung auf die Versetzungsbewegung innerhalb der Gleitsysteme kaum erklären.

Bei der zweiten Defektsitzung ging es um Silicium, und zwar sowohl aus dem Bereich der Czochralski-Züchtung als auch aus dem multikristallinen Solar-Bereich, eingeleitet von Walter Häckl (Wacker Siltronic AG, Burghausen): „Numerische Simulation von Punkt- und Bulkdefekten in einkristallinem Silicium“. Besonders erwähnenswert hier der gleich darauf folgende Beitrag von C. Weichmann (Forschungszentrum caesar, Bonn), in welchem es um die zeitabhängige Simulation der Entwicklung derartiger Defekte ging.

Der Beitrag von Dieter Franke (Access e.V., Aachen) knüpfte an Herrn Leipners Übersichtsvortrag an und demonstrierte die Modellierung der Versetzungsmultiplikation bei der gerichteten Erstarrung von multikristallinem Solar-Silicium auf der Basis des Alexander-Haasen-Modells.

Weitere Vortragsitzungen versammelten Beiträge zu „Numerische Methoden“ sowie „Magnetfelder und 3D“. Die stetig wachsenden Rechnerkapazitäten sowie die immer weiter verfeinerten numerischen Methoden erlauben zunehmend 3D-Simulationen, was sehr erfreulich ist, da in der Realität die Züchtungsgeometrien eben doch meist nicht axialsymmetrisch sind oder die berechneten Effekte (insbesondere die Konvektion von Schmelzen oder Prozeßgasen) keinesfalls den vorgegebenen vereinfachenden Symmetrien folgen. In der anschließenden Diskussion zu dieser Thematik wurde deutlich, dass man 3D-Programmentwicklung durchaus schon zu einem Zeitpunkt angehen sollte, da die Rechnerkapazitäten noch nicht ausreichen – nur so liegen die nötigen Tools dann auch vor, wenn man sie nutzen kann. Bis dahin wird man sich noch viel mit gekoppelten 2D-3D-Rechnungen behelfen müssen. Hierfür wurde angeregt, sich Gedanken für mehr Standardisierung beim erforderlichen Datenaustausch zu machen, um verschiedene Programme einfacher miteinander koppeln zu können.

Wie schon beim ersten Workshop wurde ein fränkischer Brauereigasthof als Tagungsort gewählt, diesmal der Gasthof „Drei Kronen“ in Memmelsdorf bei Bamberg. Die Auswahl an vor Ort produzierten Bierspezialitäten (insbesondere das leicht rauchige „Stöffla“), die allgemein perfekte Bewirtung sowie die gemütliche Atmosphäre förderten Kennenlernen und Informationsaustausch wie erwartet.

Die einzelnen Vorträge (die Vortragsfolien) sind, soweit es die Vortragenden mittragen, auf der DGKK-Homepage unter der Rubrik „Rückblicke“ einsehbar.

Für den 3. Workshop des Arbeitskreises wurde als Termin April 2004 festgehalten. Ort und genaues Datum wird rechtzeitig bekanntgegeben werden; auf Wunsch der meisten Teilnehmer wird wieder ein ähnlicher Rahmen in der gleichen Gegend ausgewählt werden.



Blick in den Tagungsraum in Memmelsdorf: Numerik-Entwickler und Numerik-Anwenderunter sich!

NACHWUCHSFÖRDERUNG, ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Latin-American Summer School on Crystal Growth

Bericht von **Anne Dennstedt**, TU Berlin

Ich bin Studentin am Institut für Allgemeine und Angewandte Mineralogie der TU Berlin. Ich habe geplant, im Bereich der Kristallzüchtung mein Diplom zu schreiben. Im Rahmen meines Praktikums am IKZ erfuhr ich von der LATIN-AMERICAN SUMMER SCHOOL ON CRYSTAL GROWTH.

Dank der Unterstützung der DGKK wurde es mir ermöglicht, an der LATIN-AMERICAN SUMMER SCHOOL ON CRYSTAL GROWTH vom 3. bis 7. Juli 2002 in Cercedilla/ Spanien teilzunehmen. Tagungsort war die Residencia Lucas Olazabal der Universidad Politecnica de Madrid. Die Residencia ist ein Neubau mit einem Tagungsraum, mehreren Seminarräumen, ca. 70 Einzelzimmern sowie einem Speiseraum und einem Sozialraum. Bemerkenswert ist ihre idyllische Lage direkt im Wald der Sierra de Guadarrama ca. 60km nordwestlich von Madrid und 1300 Meter hoch gelegen.

Die Organisation und Durchführung oblag Prof. Ernesto Diéguez und Dr. Veronica Bermudez von der Universidad Autónoma de Madrid.

Das multikulturelle Teilnehmerfeld setzte sich aus 13 Lehrern und 30 Studenten verschiedener materialwissenschaftlich orientierter Studienrichtungen zusammen. Neben den vielen spanischen Teilnehmern waren Lehrer und Studenten aus Argentinien, Frankreich, Indien, Italien, Kuba, Portugal, Serbien, Uruguay, USA und Deutschland nach Cercedilla gereist.

Das Programm umfasste 13 Vorträge (siehe Tabelle) und die Präsentation von 13 Postern der Studenten. Die Themen der Vorträge waren breit gefächert: sowohl Grundlagenwissen wurde vermittelt als auch von laufenden Forschungsvorhaben berichtet.

Im folgenden möchte ich von einigen ausgewählten Vorträgen eine kurze Zusammenfassung geben.

J. Carlos Rojo von der Crystal IS, Inc. aus Latham, NY, USA sprach über III-Nitride mit breiter Bandlücke, die die optoelektronischen und elektronischen Technologien z.B. im Gebiet der Hochleistungsmikrowellengeräte dramatisch umgestalten könnten. Die Herstellungsverfahren für qualitative hochwertige Bulk-Nitridsubstrate, die eine Homoepitaxie von Nitridschichten ermöglichen würden, sind noch nicht ausgereift. Da Nitride aufgrund der benötigten Druck- und Temperaturbedingungen nicht aus der Schmelze gezogen werden können, muss man auf andere Verfahren ausweichen. Das Sublimierungsverfahren hat gezeigt, dass qualitativ gute AlN-Kristalle hergestellt werden können, jedoch deren Abmessungen noch vergrößert werden müssen.

Thierry Duffar von EPM-Madylam in Grenoble, Frankreich vermittelte Grundlagenwissen aus den Gebieten des Wärmetransports, der chemischen Segregation und der Defektbildung. Anschließend zeigte er, wie Berechnungen genutzt werden können, um die Wachstumsparameter zu optimieren. Eine volle Übereinstimmung mit den praktischen Ergebnissen leidet zum Teil noch unter Modellierungsschwierigkeiten (z. B. Konvektion in voluminösen Schmelzen) sowie bezüglich der Leistungsbeschränkung der Computer.



Bild1:Teilnehmer der Sommerschule vor dem Schulungsheim (Berichterstatterin: 3.v.l.,untere Reihe)



Bild 2: Diskussionsrunden zwischen den Schulungsteilnehmern

O. Vigil von der Universidad de la Habana aus Kuba sprach über die Herstellung von Dünnschichten, die für Solarzellen genutzt werden können. Dazu stellte er folgende Züchtungsverfahren vor: Chemical Bath Deposition (CBD), Spray Pyrolysis (SP), Contained Space Vacuum Transport (CSV), Sputtering und die Laser-Ablation (LA). Nach der Beschreibung der Dünnschichtcharakterisierung durch XRD und Photolumineszenz wurde darauf hingewiesen, dass die Verfahren des CBD, SP und CSV besonders kostengünstig sind und deshalb auch in den kubanischen und südamerikanischen Laboren installiert und betrieben werden können.

Ernesto Diéguez erläuterte die für eine Simulation notwendigen Grundlagen der Hydrodynamik, bevor er Computersimulationen der Bridgman- und der Czochralski-Methode anhand von Beispielen vorstellte.

Luisa González vom Instituto de Microelectrónica de Madrid erklärte, dass die Molekularstrahlepitaxie besonders für die Herstellung von Nanostrukturen geeignet ist. Der Grund dafür ist, dass die Schichtdicke der Strukturen in der Größenordnung von einzelnen Atomlagen gesteuert werden kann. Nach einer kurzen Übersicht über das MBE-Verfahren berichtete sie über die jüngsten Versuche und Ergebnisse zum Wachstum von III-V-Halbleiternanostrukturen in ihrem Labor.

Francisco Diaz von der Virgili-Universität (Spanien) zeigte beeindruckend, wie wichtig es ist, für eine erfolgreiche Kristallzüchtung (hier von optischen Materialien nach der HTSG (high temperature solution growth)) die physico-chemischen Parameter der Lösung zu kennen. Er führt Messungen solcher Größen (Viskosität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit etc.) in seinem Labor durch.

Im Rahmen der Posterpräsentation wurden von den Studenten interessante Arbeiten vorgestellt, wie zum Beispiel Defektanalyse mit der Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) aus Indien, Untersuchungen von Morphologiedefekten von GaSb-Filmen hergestellt mit der LPE-Technik aus Spanien oder TEM-analyse Überstrukturen in sehr dünnen Halbleiter-Mischkristallschichten aus Argentinien.

Die reichlich vorhandenen Pausen zwischen den Vorträgen gaben viele Gelegenheiten für Gespräche und zum gegenseitigen Kennenlernen. Durch die einsame Lage des Hauses war ein großer Zusammenhalt gegeben. So konnte ich viele interessante Kontakte knüpfen.

Für das Zustandekommen dieser für mich unvergesslichen, ersten internationalen Weiterbildung bedanke ich mich besonders bei Frau Dr. A. Lüdge und Prof. P. Rudolph (beide IKZ).



Bild3: Studenten im Pausengespräch

Das Programm:

D. Aquilano (Italien):	Fundamental Aspects of Equilibrium and Crystallisation Kinetics
F. Diaz (Spanien):	Crystal Growth of Optical Materials by TSSG
X. de la Fuente (Spanien):	Laser Induced Directional Solidification of Single Phase and Eutectic Metal Oxides
F. Duffar (Frankreich):	Bulk Crystal Growth Process Engineering
V. Muñoz (Spanien):	Methods for the Crystal Growth under the Melting Point
E. Diéguez (Spanien):	Advantages of Computer Simulation on the Growth of Crystals through Bridgman and Czochralski methods
J. C. Rojo (USA):	Crystal Growth of Wide Bandgap III-Nitrides
P. Rudolph (Deutschland):	The Role of Stoichiometry for Crystal Growth
O. Vigil (Kuba):	Growth of Thin Films to be used as Solar Cells
L. Fornaro (Uruguay):	Growth and Characterization of Films of Compound Semiconductors for X-ray Digital Imaging
H. Canepa (Argentinien):	Isothermal Vapor Phase Epitaxy of HgCdTe, a Semiconductor of IR Detectors
A. P. Goncalves (Portugal):	Crystal Growth of Intermetallic Compounds with f Elements
L. Gonzalez (Spanien):	Molecular Beam Epitaxy Growth of III-V Semiconductor Nanostructures

„Lange Nacht der Wissenschaften“ in Berlin

Detlef Klimm, Institut für Kristallzüchtung (IKZ) Berlin

Klagen über das geringe Interesse und den darauf basierenden geringen Kenntnisstand der Öffentlichkeit auf naturwissenschaftlichem und technischen Gebiet sind wohl fast jedem von uns schon einmal über die Lippen gekommen. Und nicht ganz zu unrecht; denn in einer beliebten Fernseh-(Quiz-) Sendung gab es auf die Frage, ob Luftsauerstoff A) ein, B) zwei, C) drei oder D) vier Atome enthält, schon einmal 125.000 DM zu gewinnen. (Die wurden natürlich nicht gewonnen, weil die Frage zu schwierig und alle Joker schon weg waren!) Die „trockenen“ Naturwissenschaften haben, scheint es, keinen guten Ruf. Dies zu beklagen ist das eine. Zu versuchen, diesen Zustand schrittweise zu ändern, das andere.



Mit gewisser Skepsis reagierten im vergangenen Jahr viele Mitarbeiter naturwissenschaftlicher und mathematischer Institute in Berlin auf eine Initiative, die unter dem Namen „Lange Nacht der Wissenschaften“ versuchte, Inhalte und Ziele wissenschaftlicher Arbeit einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln. Trotzdem wurden in über 80 wissenschaftlichen Institutionen der Stadt Ausstellungen und Führungen mit viel Liebe vorbereitet. Um Wissenschaft als integren Bestandteil menschlicher Kultur begreiflich zu machen, waren auch Lesungen, Konzerte und sogar eine „Tango-Nacht“ im Programm vorgesehen.

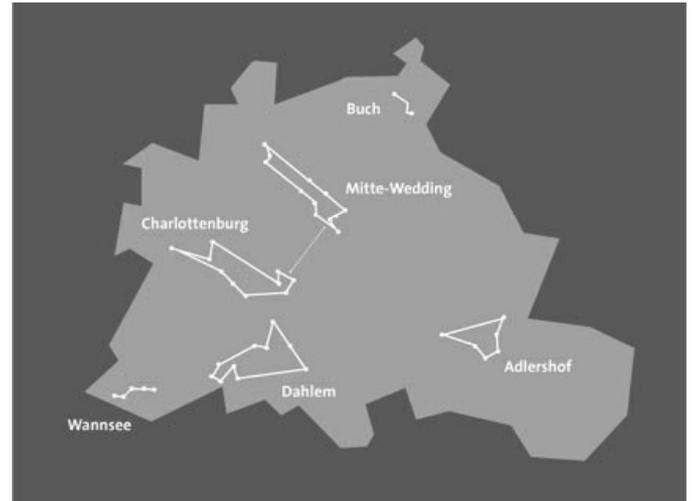
Niemand wusste so recht im voraus, ob die Resonanz des Publikums den großen personellen und auch nicht ganz unerheblichen finanziellen Aufwand rechtfertigen würden. Viele blickten daher mit etwas banger Erwartung der Nacht vom 15. auf den 16. September 2001 entgegen, in der die Show von 18:00 bis 02:00 Uhr über die Bühne gehen sollte. Zu allem Unglück wurden die Vorbereitungen noch von den schrecklichen Attentaten des 11. September in den USA überschattet. Ob der Schock dem Informations- und Unterhaltungsbedürfnis des Publikums nicht einen Schlag versetzen würde? Aus Rücksicht mit den Opfern und Hinterbliebenen sowie dem lähmenden Entsetzen der Öffentlichkeit entsprechend, wurden Veranstaltungen mit gar zu lebensfrohen Inhalten kurzfristig aus dem Programm gestrichen -- statt dessen fanden Diskussions-Veranstaltungen (unter anderem in der Humboldt-Universität Unter den Linden „Wissenschaft in der Verantwortung“) statt.

Am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Berlin-Adlershof rüsteten sich die teilnehmenden Institute (unter ihnen auch das IKZ) jedenfalls unbeirrt für die erhofften Besucherscharen -- und wurden nicht enttäuscht. Größter Publikumsmagnet war der Elektronenspeicherring BESSY II; aber auf Platz 2 folgte mit ca. 1700 Besuchern (!) das IKZ. Dieses hohe Publikumsinteresse freute uns natürlich sehr -- es stellte aber gleichzeitig eine beträchtliche logistische Herausforderung dar.

In diesem Jahr wurde die Lange Nacht der Wissenschaften in Berlin zum zweiten mal veranstaltet. Nach den Erfahrungen des erfolgreichen letzten Jahres waren unsere Erwartungen in Bezug auf Publikumsresonanz schon deutlich höher

geschraubt. Aber es gab auch Befürchtungen, dass die meisten Interessierten ihre Neugier schon im vorigen Jahr gestillt haben könnten. Von Seiten der Organisatoren war jedenfalls alles getan worden, um an den Erfolg des letzten Jahres anschließen zu können:

- wissenschaftliche Einrichtungen an 6 Standorten in Berlin und Potsdam standen dem Publikum offen.
- Mit Tickets für 10 EUR (ermäßigt: 6 EUR) waren Zutritt zu allen Instituten sowie Benutzung der öffentlichen Verkehrsmittel möglich.
- Zwischen den Instituten an den jeweiligen Standorten (siehe Grafik) fuhr Shuttle-Busse, deren Benutzung im Preis der Tickets eingeschlossen war.



Was hatte das IKZ sich ausgedacht?

- Stündlich fanden vor vollem Hörsaal Vorträge statt: „Kunst und Wissenschaft der Kristallzüchtung“, „Vom Edelstein zum Laserstab“, „Kristalle für blaues Licht“, „Vom Sand zum Siliciumkristall -- dem Stoff aus dem Computer gemacht werden“.
- Auf Großmonitoren wurden Züchtungsexperimente direkt übertragen sowie die Ergebnisse numerischer Simulationen grafisch dargestellt.
- Gut kam alles an, was eigenes Tun oder unmittelbare Betrachtung ermöglichte: Wie lassen sich Kristalle sägen und polieren? Wie sehen Kristalloberflächen in starker Vergrößerung (AFM) aus?
- Dicht belagert war ein Stand, auf dem die Züchtung von $KAl_{1-x}Cr_x(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (Alaun) aus wässriger Lösung gezeigt wurde. Dazu konnten dort auch gleich noch ein kleines Tütchen Substanz (ohne Chrom, wegen der Giftigkeit) und eine Anleitung zum Selbstmachen erstanden werden. Die Nachfrage war kaum zu befriedigen!
- Den stärksten Andrang erlebten jedoch die Führungen durch das Institut mit den Stationen Czochralski Dielektrika → Float Zone Si → Czochralski Halbleiter → Bearbeitung, die alle 20 min für Gruppen von 15 ... 20 Personen angeboten wurden. Die Nachfrage überstieg unsere Kapazität deutlich, so dass ab ca. 22:00 Uhr leider keine freien Plätze mehr angeboten werden konnten.

War die 2. „Lange Nacht der Wissenschaften“ ein Erfolg?

Wir glauben, ein Blick auf die offiziellen Besucher-Zahlen (siehe Tabelle) beantwortet diese Frage schnell. über 70000 Teilnehmer wurden insgesamt gezählt und auch das IKZ erwies sich wieder als ein Publikumsmagnet.

BESSY II	3646
Deutsches Inst. f. Luft- u. Raumfahrt	2893
Institut für Kristallzüchtung	2492
Ferdinand-Braun-Institut	603
Hahn-Meitner-Institut	1640
Max-Born-Institut	1977

Quelle: www.lange-nacht-der-wissenschaften.de/news/

Was könnte verbessert werden?

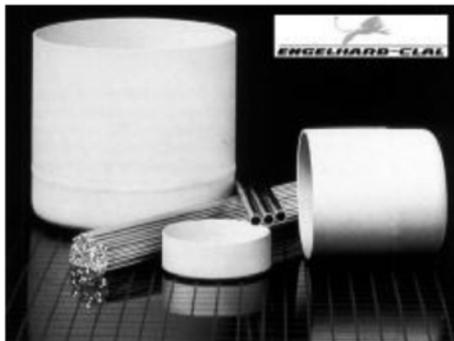
(Die 3. „Lange Nacht der Wissenschaften“ ist bereits für den 14.-15. Juni 2003 geplant.) Es ist etwas frustrierend, etlichen an einer Führung interessierten Besuchern eine Absage erteilen zu müssen; aber unsere Kapazität war schlicht überschritten. Ein gewisser Ausgleich war sicherlich dadurch gegeben, dass viel Sehenswertes (z. B. die Live-übertragung der Czochralski-Züchtung von SrLaAlO_4 , visualisierte numerische Simulationen sowie Technik und Proben der Kristallbearbeitung) gleich im Eingangsbereich unter unserem großen Glasdach gezeigt wurde; aber der Drang, „Laborluft“ zu schnuppern, war doch sehr stark. Vielleicht könnte wenigstens eines der Labors direkt zugänglich gemacht, so dass eine größere Zahl von Besuchern durch dort ständig anwesende Kollegen Erklärungen erhalten kann. Alternativ wäre auch eine Aufspaltung in vielleicht 2 parallel durchzuführende Besichtigungen verschiedener Labors denkbar. Leicht ist aber beides nicht zu realisieren; denn die Zahl der Kollegen, die die notwendigen Erläuterungen geben können, ist leider nicht unbegrenzt. Auf jeden Fall sollte weiter versucht werden, zusätzliche „Wissenschaft zum Anfassen“ im Eingangsbereich zu installieren -- hohe Anschaulichkeit wird vom Publikum nach unseren Erfahrungen sehr honoriert. Erste neue Ideen für 2003 werden auch schon diskutiert; aber mehr verraten wir hier nicht.

**EDELMETALL IST UNSER GESCHÄFT****Laborausrüstung:**

Platin- und Iridiumtiegel für die Einkristallzüchtung

Platin- und Platin/Gold-Tiegel für RFA

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



Iridium crucibles, wire and tubing for crystal growth applications.

Temperaturmessung:

Thermodrähte, Thermoelemente, mineralisierte flexible Thermoelemente (ENCLAD)

Fabrikationsteile:

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

Hochreine Materialien für die Vakuumbdampfung

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

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

www.engelhard-clal.de info@engelhard-clal.de

INTERESSANTES ZUR KRISTALLZÜCHTUNG

Einige Ergänzungen zur Geschichte der III-V-Halbleiter

Prof. Dr. K. Jacobs, Institut für Kristallzüchtung Berlin

Im Heft 75/2002 (Juni 2002) des DGKK-Mitteilungsblattes erschien ein interessanter Beitrag von A. Seidl zur Geschichte der III-V-Halbleiter. Damit ist hoffentlich einen verdienstvoller Anfang für weitere historische Beiträge gelegt.

Die Beschäftigung mit der Geschichte ist meist erbaulich und manchmal sogar nützlich. Manche fundamentale Arbeit fasziniert durch ihre einfachen Grundgedanken und die Klarheit ihrer Darstellung. Man lese z. B. einmal die Originalarbeiten BOHRs, in denen er sein Atommodell entwickelt!

Von dieser Klarheit können wir durchaus heute noch lernen. In vielen jetzt geschriebenen Arbeiten, gleich ob Qualifizierungsarbeit oder Publikation, scheint der Grundgedanke, welches Problem eigentlich mit welchen zu seiner Lösung adäquaten Mitteln angegangen werden soll, abhanden gekommen (vielleicht ist er auch gar nicht formulierbar) und es handelt sich lediglich um eine Art "Tätigkeitsberichte". Liest man hingegen z.B. auch WELKERS von A. Seidl zitierte Publikation, so wird man die Klarheit und Schönheit der Überlegungen spüren! Auch gehört es zur guten wissenschaftliche Praxis, die wissenschaftlichen Leistungen der Vorgänger sorgfältig zu recherchieren und zu würdigen.

Ich fände es daher gut, wenn weitere Artikel zur Wissenschaftsgeschichte in diesem Blatt erschienen.

Dem erwähnten Aufsatz von Albrecht Seidl zur Geschichte der III-V-Halbleiter möchte ich einige Ergänzungen hinzufügen.

Trotz ihrer Stabilität kommt keine der A(III)-B(V)-Verbindungen in der Natur vor. Als allererste Arbeit zu einer III-V-Verbindung habe ich eine Publikation von WRIGHT aus dem Jahre 1892 gefunden. (Allerdings macht mich Prof. Werner Seifert von der Universität Lund, Schweden, darauf aufmerksam, dass Friedrich WÖHLER bereits im Jahre 1827 eine Arbeit zu AIP und AIAs publiziert hat. Leider konnten wir beide dieser Arbeit bisher nicht habhaft werden). In der WRIGHTschen Arbeit wird die Darstellung von AISb beschrieben. 1899 erschien eine Arbeit, in der die Synthese von AIN durch Reaktion der Elemente im Lichtbogen beschrieben ist (ARONS). 1907 wurde von FICHTER eine andere, mildere Synthesevariante publiziert. Im Jahre 1910 erschienen Arbeiten zur Synthese von InN (FISCHER und SCHRÖTER) und InP (THIEL und KOELSCH). In diesen ersten Publikationen zu den III-V-Verbindungen, etwa bis 1925, ging es meist um Synthesewege für die pulverförmigen Verbindungen.

Der Begriff "Halbleiter" wurde im Jahre 1911 von KÖNIGSBERGER und WEISS eingeführt. Wohl waren zu dieser Zeit einige typische halbleiterphysikalische Effekte schon lange bekannt. Aber dieser Begriff wurde damals noch rein phänomenologisch, wirklich nur anhand der Größe der elektrischen Leitfähigkeit, definiert. So findet man noch in den dreissiger Jahren des vorigen Jahrhunderts in Nachschlagewerken z.B. nassen Bindfaden oder feuchten Beton als Halbleiter! Und natürlich wurden damals die III-V-Verbindungen nicht unter unserem heutigen Blickwinkel bezüglich ihrer halbleitenden Eigenschaften untersucht.

Im Jahre 1926 publizierte V. M. GOLDSCHMIDT, der den meisten sicher mit seiner Methode zur Bestimmung von Ionenradien bekannt ist, die ersten Werte von Gitterkonstanten der III-V-Verbindungen. Für GaAs wird von ihm bereits ein Wert von $a_0 = 5.653 \text{ \AA}$ angegeben. Weitere Strukturdaten von verschiedenen III-V-Verbindungen aus jener Zeit wurden von

FRIEDRICH und IANDELLI publiziert. Aus jenen Jahren soll noch ein weiterer berühmter Name genannt werden: G. NATTA ist Koautor einer Publikation aus dem Jahre 1928, in der AIAs zum ersten Mal auftaucht. NATTA erhielt 1963 den Nobelpreis für Chemie für seine Entdeckung der aluminiumorganischen Verbindungen als Katalysatoren für die Niederdrucksynthese von Polymeren.

Im Jahr 1926 erschien auch eine Arbeit, die für WELKERS Suche nach neuen Halbleitermaterialien von entscheidender Bedeutung ist; diese wird von WELKER auch in seiner berühmten Publikation von 1952 in der Zeitschrift für Naturforschung, wenn auch nur beiläufig, zitiert. Im Grunde genommen nimmt diese Arbeit von H. GRIMM und dem berühmten Atomphysiker ARNOLD SOMMERFELD eine entscheidende Überlegung WELKERS bereits vorweg. Denn darin ist die heute so bezeichnete GRIMM-SOMMERFELD Regel entwickelt, nach der eine binäre Verbindung aus Elementen der (N-k)-ten und der (N+k)-ten Hauptgruppe weitgehend ähnliche Eigenschaften wie ein Element der N-ten Hauptgruppe besitzt.

Welker gilt als der "Vater" der III-V-Halbleiter. Aber man muß erwähnen, daß etwa gleichzeitig mit WELKERS Publikationen, oder sogar etwas eher, in der damaligen Sowjetunion die halbleitenden Eigenschaften von III-V-Verbindungen untersucht wurden. Bereits im Jahre 1951 erschien im "Zhurnal tekhnicheskoi fiziki" eine Arbeit von A. REGEL, in der die Ergebnisse von Messungen der halbleitenden Eigenschaften von InSb dargestellt sind. Andere relativ bekannte russische Wissenschaftler, unter deren Leitung oder wesentlicher Beteiligung seit Anfang der fünfziger Jahre die III-V-Verbindungen bezüglich ihrer Halbleitereigenschaften intensiv untersucht wurden, sind D. N. NASLEDOV und N. A. GORYUNOVA (Dissertation zu diamantähnlichen Halbleitern 1951). Die lange Tradition der Beschäftigung mit den III-V-Halbleitern im heutigen St. Petersburg, vor allem im Physikalisch-technischen Institut "A. F. Joffe", führte schließlich bis zur Verleihung des Physik-Nobelpreises an dessen Direktor Zh. I. ALFEROV im Jahre 2000.

Trotz dieser sehr frühen russischen Arbeiten zu den III-V-Halbleitern, die schon vor WELKERS Arbeiten begannen und publiziert wurden, ist es berechtigt, WELKER als den eigentlichen Vater der III-V-Halbleiter zu sehen. Denn er hat nicht, mehr oder weniger zufallsbestimmt, einzelne Verbindungen isoliert untersucht sondern, ausgehend von kristallchemischen Gesichtspunkten und grundlegenden physikalischen Überlegungen, die Gruppe der III-V-Verbindungen als eine Materialklasse erkannt, in der sich interessante halbleitende Materialien finden lassen sollten, die Ge und Si in ihren Halbleitereigenschaften ergänzen und weitere Anwendungsmöglichkeiten erschließen könnten.

Literatur:

- WÖHLER, F.: Poggendorffs Ann. 11 (1827) 146
 WRIGHT, C. R. A.: J. Soc. Chem. Ind. Rev. 11 (1892) 493; Chem. Ztg. 16 (1892) 780
 ARONS, L.: Naturw. Rdsch. 14 (1899) 453
 FICHTER, F.: Z. anorg. Chem. 54 (1907) 322
 FISCHER, F. und F. SCHRÖTER: Ber. Dt. Chem. Ges. 43 (1910) 1469, 1470
 HIEL, A. und H. KOELSCH: Z. anorg. Chemie 65/66 (1910) 288
 KÖNIGSBERGER, J. und J. WEISS: Ann. Phys. 35 (1911) 1
 GOLDSCHMIDT, V. M.: Skr. Akad. Scand., Math-Nat. Kl. 8 (1926) 22, 33, 34, 36, 110
 FRIEDRICH, E.: Z. Phys. 31 (1925) 813
 IANDELLI, A.: Gazz. Chim. Ital. 71 (1941) 58
 NATTA, G. und L. PASSELINI: Gazz. Chim. 58 (1928) 458
 GRIMM, H. G. und A. SOMMERFELD: Z. Physik 36 (1926) 36
 WELKER, H.: Z. Naturforsch. 7a (1952) 744
 REGEL, A. R.: Zh. Tekh. Fiz. 21 (1951) 237
 GORYUNOVA, N. A.: "Diamantähnliche Halbleiter", Teubner-Verlag Leipzig 1972 (Übersetzung aus dem Russischen)



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 Phosphide

Semi-insulating : Fe doped

n-type : S, Sn or undoped

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

✓ Gallium Antimonide

n-type : Te doped

p-type : Zn or undoped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Indium Arsenide

n-type : S or undoped

p-type : Zn doped

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Gallium Phosphide

Polycrystalline ingots, slices or granules

✓ Zinc Germanium Diphosphide

Polycrystalline ingots for non-linear optical applications

✓ High purity MBE source material

✓ High purity indium metal

✓ 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

Preparation of Zn-Mg-RE quasicrystals and related compounds (RE = Y, Ho, Er, Dy)

R. Sterzel, E. Uhrig, E. Dahlmann, A. Langsdorf,
and W. Assmus

Physikalisches Institut,
J.W. Goethe-Universität Frankfurt
Robert-Mayer-Str. 2-4
D-60054 Frankfurt

Introduction

In 1993 Luo et al. (Luo:1993) found an icosahedral quasicrystalline phase in the Zn-Mg-Y, RE system (RE = rare earth elements Ho, Er, Gd, Tb and Dy). One year later this phase was identified as stable well ordered face centered icosahedral (fci) by Niikura et al. (Niikura:1994a, Niikura:1994b, Tsai:1994). The observed microcrystals grew from a melt with the composition $Zn_{50}Mg_{42}RE_8$, which was believed to be also the composition of the fci phase. This fci phase shows dodecahedral morphology, but the growth of large fci single crystals is impossible from a melt with composition $Zn_{50}Mg_{42}RE_8$. These quasicrystals are considered to belong to the Frank-Kasper type, which is characterized by an electron per atom ratio of 2.1 (Elser:1985a, Henley:1986). Their structure is built of Bergman clusters (Bergman:1957), which are formed by dense stacking of tetrahedra, relating them to the Frank-Kasper phases (Frank:1958). Three quasicrystalline phases have been found. A fci (Niikura:1994a), a simple icosahedral / primitive icosahedral (si) (Niikura:1994b) and later a decagonal (d) structure (Sato:1998a) have been described.

The quasiperiodic symmetry of the si quasicrystal can be described by the projection of a six-dimensional primitive, hypercubic, periodic lattice into three-dimensional real space. The lattice vector of an icosahedral quasicrystal therefore needs six Miller-indices. A nice overview about the cut-projection method and quasicrystals in general is given by Stephens et al. (Stephens:1991). The fci lattice is considered as a six-dimensional NaCl-type superstructure of the si lattice with twice the lattice constant (Calvayrac:1989). The indices of the reflections of a fci lattice are all even or all odd. To make it easier to compare the si and the fci lattice, the fci lattice is indexed like a si lattice with the same lattice constant. In this case the fci lattice has the same reflections as the si lattice, but additional 1/2-reflections with low intensities and all indices odd appear in the diffraction patterns. The Elser method is used for indexing diffraction patterns (Elser:1985b).

Crystalline structures which are related to the quasicrystalline phases were found as well. A rhombohedral phase in the Zn-Mg-Y, RE system (RE = Tb, Dy, Gd) is observed by Fisher et al. (Fisher:1998). The crystal structure of a hexagonal phase and its relation to the icosahedral (i)-phase in the Zn-Mg-Y alloy is discussed by Singh et al. (Singh:1998) and Takakura et al. (Takakura:1998). The hexagonal $MgZn_2$ structure can be regarded as an approximant for i-Zn-Mg-Y,RE phases (Tamura:1996). An approximant generally is a crystalline structure which is related to the structure of a quasicrystal. Rational approximants, obtained via rational projection from the hypercubic lattice have not been observed in the Zn-Mg-Y, RE system, so far. The local order of an approximant is believed to be similar to structural elements existing in quasicrystals, for details see Goldman:1993 and Tamura:1997.

It is shown how fci, si and decagonal quasicrystals can be prepared in the Zn-Mg-Y,RE (RE = Ho, Er, Dy) system. The phase-diagram investigations enabled us and others to grow

large fci Zn-Mg-Y,RE single crystals from the melt. Preparation-techniques to obtain polycrystalline samples of the si, decagonal and hexagonal phases related to the icosahedral phase are presented. In addition a new well ordered si phase and a cubic phase in the Zn-Mg-Er system closely related to the icosahedral phases in this system are presented.

Preparation methods

Single Crystal Growth

Basically, two methods were used to prepare samples: slow cooling for the growth of single crystals and rapid cooling and annealing for single-phased but polycrystalline material. The single crystals in the Zn-Mg-RE systems are grown by the liquid encapsulated top seeded solution growth method.

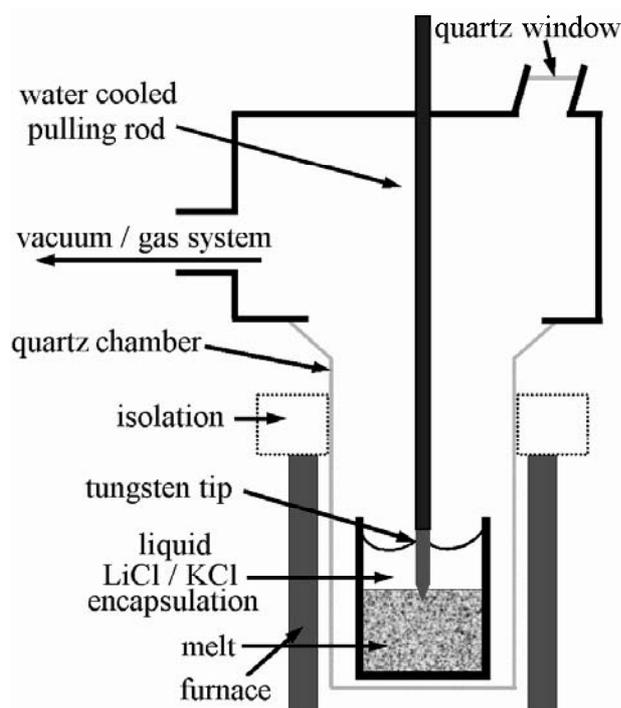


Fig 1: Cross section of the liquid encapsulated top seeded solution growth (LETSSG) equipment used for single crystal growth.

The material for the liquid encapsulation is an eutectic LiCl/KCl mixture. It prevents metallic Mg and Zn to evaporate from the melt due to their high vapor pressures at growth temperature. The elements and the salt are molten in an Al_2O_3 crucible. Processing is performed under Argon atmosphere to prevent oxidation of the metals. A water cooled tungsten tip is placed into the top of the melt. The temperature of the melt is reduced slowly to offer enough time for the diffusion processes of material and latent heat transport. Crystallization starts at the cooled tungsten tip, therefore often only one single grain grows. Before the whole melt is solidified the crystal can be drawn out of the melt (figure 3) (Langsdorf:1998 and Langsdorf:1999). Another possibility to grow smaller single crystals is to slowly cool the melt in tantalum tubes, which were sealed under argon. Some grains start to grow at the walls of the tantalum tube, and have to be separated after solidification.

The prerequisite to grow crystals from a melt is the knowledge of the primary solidification area. The primary solidification area is the composition region where a melt is in equilibrium with a specific solid phase.

Preparation of polycrystalline samples

Rapid cooling and annealing does not produce single crystals, but leads to single-phased polycrystalline material of phases which do not form from the melt. The elements are mixed in the ratio of the composition of the desired phase. The elements are molten and quenched to a temperature, where the melt is solidified. The aim is to prevent segregation of the melt. A frozen melt would be in an ideal initial condition for the following annealing. During the annealing the quenched material is kept for a certain time at a temperature at which only the structure of the wanted phase is stable. Therefore the desired phase is created during the annealing, resulting in a single-phased sample. Diffusion in the solid phases enables the atoms to find the ideal positions. In most cases there is no ideal frozen melt and a certain segregation occurs during solidification. If the phase with the lowest solidification temperature (Mg_7Zn_3 -eutectic in the case of Zn-Mg-Y, RE alloys) melts below the temperature needed for the desired phase the annealing in fact is a liquid phase annealing. A segregation of the melt resulting in a material with mixed phases increases the time needed for annealing. Four different methods were used for rapid cooling:

- Fast-cooling: The melt is cooled in a furnace under Argon atmosphere with the maximum cooling rate of the furnace.
- Water-quenching: A tantalum tube closed under Argon atmosphere and containing the melt is dropped into water.
- Melt-spinning: The melt is sprayed on a spinning copper wheel. This technique increases the cooling rate, because the heat is directly drawn from the melt not through the walls of a crucible.
- Splat-cooling: The prereacted alloy is cut into pieces of about 7 mm in diameter and length. These pieces are levitated and melted in a coil by radio-frequency (RF) electromagnetic field in helium atmosphere. When the power supply for the RF coil is switched off, the melt drops through the coil triggering a light sensor. After an appropriate delay two polished copper plates splat the melt. This technique reaches the highest cooling rates, but produces only small quantities of a sample.

Face centered icosahedral quasicrystals

The primary solidification area of the fci Zn-Mg-Y quasicrystal (figure 2) is found by a combination of differential thermal analysis (DTA), x-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) in combination with energy dispersive x-ray analysis (EDX) and wavelength dispersive x-ray analysis (WDX). The temperatures of a solidification sequence of a specific starting composition is determined by DTA. The closed tantalum crucibles in which the experiments are performed are cross-sectioned parallel to the growth direction by spark cutting. One part of the crucible is polished and investigated by SEM. The SEM images show phase contrast in the back-scattered electron mode. The more yttrium a phase contains, the brighter it appears in the SEM image. Experiences show that in the region of the ternary Zn-Mg-Y phase diagram with low yttrium-contents one can estimate: The more yttrium a phase contains, the higher is its solidification temperature. The composition of the phases are measured by WDX. Each phase can be correlated with a solidification temperature. In addition information about the structures of the phases is gained by XRD. This method determines the primary solidification area of the fci Zn-Mg-Y quasicrystal and the ideal starting composition of the melt $Zn_{46}Mg_{51}Y_3$ for single crystal growth (first composition within the primary solidification area on *section b* in figure 2) (Langsdorf:1997a). Fci Zn-Mg-Y-single crystals with a diameter up to 1.4 cm were grown by LETSSG-method (Langsdorf:1997b, Langsdorf:1998), by Bridgman-growth (Sato:1998b) and by Flux-growth (Fisher:1998). Fisher et al. also showed that the primary solidification area of fci Zn-Mg-Y can be expanded to other Zn-Mg- RE systems (RE = Er, Ho,

Dy and Tb). The single crystals have compositions close to $Zn_{60}Mg_{30}RE_{10}$ (Langsdorf:1999).

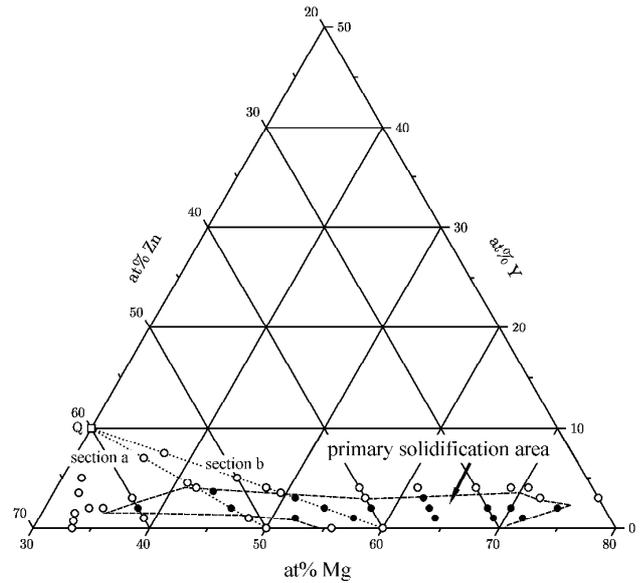


Fig 2 :Ternary Zn-Mg-Y phase diagram: The primary solidification area includes compositions from which the fci-phase can be grown from the melt. QC represents the average stoichiometry of the growing fci $Zn_6Mg_3Y_1$ quasicrystal. Section b shows the way how the composition of the melt shifts during the growth of fci Zn-Mg-Y single crystals with the ideal starting composition $Zn_{46}Mg_{51}Y_3$.

A sample grown by the Bridgman-technique which showed that the Y-concentration of a growing fci Zn-Mg-Y decreases from 11 at % to 5 at % during solidification. The change of the melt composition is represented by *section b* in figure 2. A continuous structural phase transition from well ordered fci to si with strong diffuse scattering is found by selected area electron diffraction (SAED) in a transmission electron microscope (TEM) (Rodewald:1997). Later it was considered that the structure of the si quasicrystal (si $Zn_{60}Mg_{35}Ho_5$) can be regarded as a disordered icosahedral quasicrystal which exhibits diffuse scattering because of fci domains (Ishimasa:2000a and Ishimasa:2000b), resulting from an entropy stabilization of the si phase (Shimizu:1998).

The LETSSG-method is also sufficient to grow fci Zn-Mg-Ho (Sterzel:2000a) and fci Zn-Mg-Er single crystals (figure 3). In contrast to the Al-containing quasicrystals, like i-Al-Pd-Mn, no disorder in i-Zn-Mg-Y quasicrystals grown by the LETSSG-method can be gathered from the diffuse scattering observed in single crystal diffraction experiments (Estermann:2000). The good quality of the fci single crystals grown by this method can also be seen in ultrasonic experiments. Ten or more clearcut echoes of a longitudinal sound wave can be observed easily (Sterzel:2000b). Calculated from the measured longitudinal and transversal sound velocities at $T = 77$ K fci

Zn-Mg-Y has elastic constants of $c_{long} = 1.26 \cdot 10^{11} \text{ J/m}^3$ and $c_{trans} = 4.65 \cdot 10^{10} \text{ J/m}^3$, which is comparable to MgZn2. Temperature dependent data and further discussion can be found in Sterzel:2000b. Optical properties of the grown single crystals and etching experiments have been performed (Karpus:2000, Babonas:2001, Suchodolskis:2002).

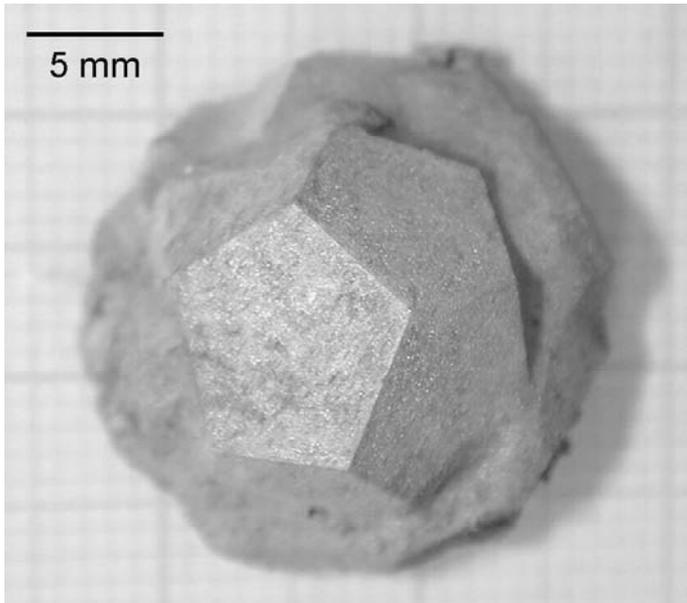


Fig 3: Facetted fci Zn-Mg-Ho single crystal with about 1.4 cm diameter on millimeter graph paper

By careful analysis of the Bridgman-grown sample and evaluation of the DTA-experiments it is possible to reproduce the liquidus and solidus lines for the growth of the fci Zn-Mg-Y, RE quasicrystals. Because of the fact that the yttrium-concentration in the growing crystal reduces while growing, the history of the crystal growth can be extracted from an exact measurement of the yttrium-gradient in the single-crystal. The higher the amount of yttrium is in a specific part of the sample, the earlier this part is grown. This method is able to reproduce the growth of a fci Zn-Mg-Y single-crystal (Sterzel:2001).

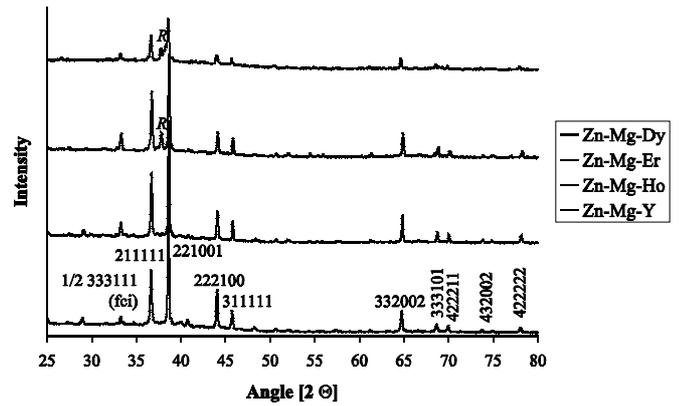


Fig 4: XRD patterns (Cu-K α radiation) of polycrystalline fci Zn-Mg- RE} samples: One additional reflection (marked R) can be seen in the Zn-Mg-Er and Zn-Mg-Dy sample.

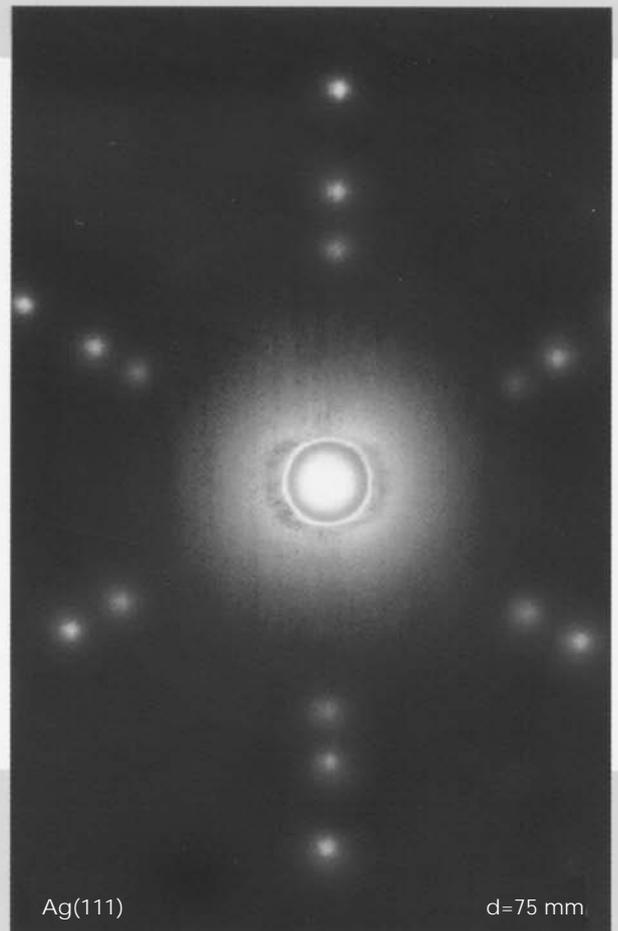
Single-phased polycrystalline material from fci Zn-Mg-Y, RE (RE = Er, Ho, Dy) can be prepared by fast-cooling melts with the compositions Zn₆₀Mg₃₀RE₁₀ from 850°C, where the Y and RE dissolve in the Zn-Mg melt within three hours, and annealing at 550°C for 180 h (Sterzel:2000a). The XRD patterns are measured by Cu-K α radiation, the K α_2 - lines and the background are subtracted. The XRD patterns of the in this way prepared samples (figure 4) can be indexed using an fci lattice. The ones from of the Zn-Mg-Er and Zn-Mg-Dy samples show an additional reflection with a d-value of 0.2377 nm. This reflection is caused by a crystalline approximant phase which is described in a following chapter as cubic R-phase. The formation of this phase can be avoided by applying the water-quenching method for the Zn-Mg-Er alloy.

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)



Simple icosahedral quasicrystals

Besides the disordered (Ishimasa:2000a and Ishimasa:2000b) si phase $Zn_{60}Mg_{35}RE_5$ (Niikura:1994b) exists a well ordered si phase (Sterzel:2002b) in the Zn-Mg-Er system. The pure metals 63 at% Zn, 24 at% Mg and 13 at% Er are placed in a tantalum tube, which is sealed under argon in order to prevent oxidation and evaporation of the metals. The tantalum tube is heated in an argon atmosphere to 850°C where the Er dissolves in the Zn-Mg melt. Then the melt is cooled down to room temperature to achieve an alloy that is homogeneous from a macroscopic point of view. The alloy is cut into pieces of about 7 mm in diameter and length, which are levitated and melted in a coil by radio-frequency (RF) electromagnetic field in a helium atmosphere. When the piece is molten the melt is splat-cooled. The result is a 0.1 mm thin splat. The splat is then placed in a quartz glass tube which has been sealed under argon atmosphere. The sample is annealed for 500 h at 500°C. At this temperature Mg evaporates from the splat and reacts with the quartz glass, making it brittle. To prevent the quartz glass from breaking at high temperatures 4 mm walls are found to be sufficient. In view of the small thickness of the thin splat and the high thermal diffusivity of the small Mg atoms, the composition is expected to be constant throughout the sample after the heat treatment.

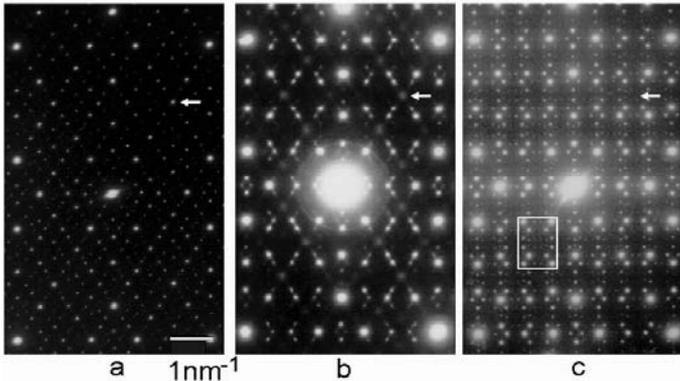


Fig 5: SAED patterns of icosahedral ZnMgRE quasicrystals. The incident beam is parallel to a twofold axis of an fci $Zn_{61}Mg_{28}Er_{11}$ quasicrystal (a). (b) shows the transition from fci to disordered si at a composition of about $Zn_{60}Mg_{33}Y_7$, while si $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ quasicrystal is shown in (c).

One part of the annealed splat was polished and investigated by SEM, where only a few inclusions could be detected in an otherwise homogeneous sample. The main phase had a composition of $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ determined by WDX. Therefore nearly 50% of the Mg had been absorbed by the quartz glass. A SAED investigation of the inclusions, which were too small to be measured accurately by WDX in the SEM, showed that at least one of the inclusions is hexagonal A- $Zn_{66}Mg_{16}Er_{18}$. The composition was determined by EDX with an error of 5 at%.

Figure 5 compares the SAED patterns of si $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ (c) and fci $Zn_{61}Mg_{28}Er_{11}$ quasicrystals (a) prepared by rapid cooling and annealing (Sterzel:2000a), with a SAED pattern of an si $Zn_{60}Mg_{33}Y_7$ quasicrystal (Niikura:1994a) showing diffuse reflections at fci superstructure positions (Rodewald:1997, Ishimasa:2000a) (b). The incident beam is parallel to a 2-fold axis and therefore the patterns contain all principal symmetry axes. All the SAED patterns can be indexed by the six-dimensional hypercubic superlattice as icosahedral quasicrystals using the Elser method (Elser:1985b). One of the positions of the fci superstructure reflections is marked in figure 5 by white arrows. In figure 5a the fci reflection is sharp. The fci reflection is more diffuse in si $Zn_{60}Mg_{33}Y_7$ (figure 5b) and vanishes completely in si $Zn_{60}Mg_{34}Y_6$. The SAED pattern

of $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ shows no reflections of the fci superstructure (figure 5 (c)), but has eight additional reflections located around the positions where fci reflections appear in the SAED pattern of fci $Zn_{61}Mg_{28}Er_{11}$ (figure 6 (a)).

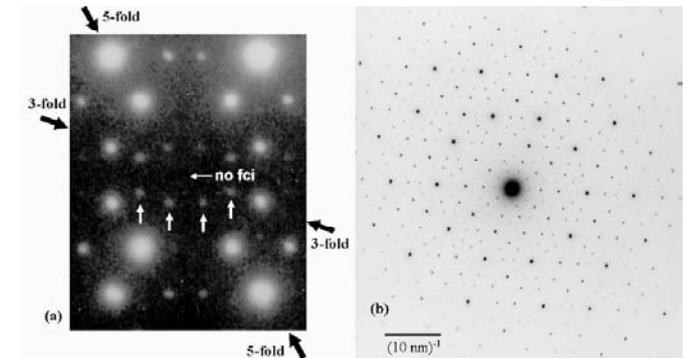


Fig.6: (a): Magnification of the marked box in figure 5c (SAED pattern of the si $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ quasicrystal). The incident beam is parallel to a 2-fold axis, the lines of reflections which are directed to the 3-fold and the 5-fold axes direction are marked beside the pattern with black arrows. The extra reflections are marked by vertical white arrows. (b): SAED pattern of the 5-fold axis. The sharpness and the positions of the ideal alignment show the high structural order of the sample.

The reflections are arranged on lines parallel to the 3-fold and 5-fold axis, which cross at the positions of the fci reflections (Figure 6 (a)), and therefore do not reduce the icosahedral symmetry. The first six reflections along the 5-fold axes in figure 5 (c) have τ^3 -partner reflections in the SAED pattern, but not all reflections have τ -partners. As SAED patterns of centered icosahedral lattices are invariant under scaling by τ , an si lattice can be assumed for $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$. An SAED pattern with the incident beam parallel to a 5-fold axis (figure 6 (b)) demonstrates the icosahedral symmetry. Such SAED patterns do not contain 2- and 3-fold symmetry axes; they are therefore inadequate to distinguish between si and fci lattices. The sharpness and the ideal positions of the reflections in this SAED pattern show the high quality of the structure - comparable to the best fci $Zn_6Mg_3RE_1$ samples. Twinning can be excluded because no such pseudosymmetries could be found. Microdomain structures as found in si $Zn_{60}Mg_{35}Ho_5$ (Ishimasa:2000a) could not be observed by high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM) in si $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ (Figure 7).

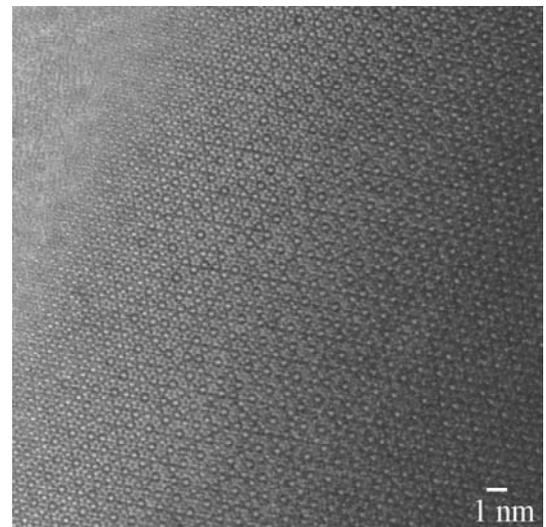


Fig.7: HRTEM image of si $Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ shows no microdomain structures

The quasilattice constant of $si\ Zn_{75}Mg_{14}Er_{11}$ calculated from XRD data is 5.13\AA , which is 0.05\AA smaller than the quasilattice constant (5.18\AA) of fci $Zn_{61}Mg_{28}Er_{11}$ and $si\ Zn_{60}Mg_{34}Y_6$. A more detailed analysis of the electron and x-ray diffraction data can be found in Sterzel:2002b.

Decagonal quasicrystals

The decagonal phase first observed in the Zn-Mg-Dy system (Sato:1998a) is much more difficult to obtain in the Zn-Mg-Y system, where it only appears as a minority phase in polycrystalline mixtures of phases. All efforts to obtain a single-phase sample of decagonal Zn-Mg-Y have failed, because no primary solidification exists in the investigated regions of the Zn-Mg-Y ternary phase diagram. Instead two phases (P and K) with shifting stoichiometries and the structure of the $MgZn_2$ Laves-phase solidify (figure 8) (Sterzel:2000a). Therefore melt-spinning and annealing might be a promising route for the preparation of decagonal $Zn_{58}Mg_{40}Y_2$.

The starting alloy with composition $Zn_{58}Mg_{40}Y_2$ is synthesized by melting the elements in closed tantalum tubes under argon atmosphere. The solidificated ingots are then melt spun under Ar gas on a copper wheel with a surface speed of 32 m s^{-1} . Fast cooling prevents segregation of the metals during solidification. Differential thermal analysis (DTA) of the melt-spun material shows no differences to that obtained by fast-cooling in the DTA-furnace. An x-ray powder pattern of the quenched material shows reflections, that prove the presence of periodic crystalline phases (figure 9).

The size of the melt spun phases (P- and K-phases in figure 8) in the material is small. Smaller microstructures in the alloy are easier to transform into the decagonal phase by solid-state reaction, because only small distances have to be traversed by the diffusing atoms in the solid.

When larger structures are annealed, the decagonal phase forms only on the surfaces of the reacting solids. The cooling sequence of the $Zn_{58}Mg_{40}Y_2$ ingot was investigated by DTA followed by SEM and WDX. The measurements show the solidification of fci $Zn_{65}Mg_{27}Y_8$ at 575°C , followed by crystalline P- $Zn_{62}Mg_{35}Y_3$ and K- $Zn_{58}Mg_{41}Y_1$ at 560°C (Sterzel:2000a), and ending with $MgZn_2$ (365°C) and Mg_7Zn_3 -eutectic (330°C). P- and K-Zn-Mg-Y probably have the hexagonal $MgZn_2$ structure and solidify in wide composition ranges (figure 8).

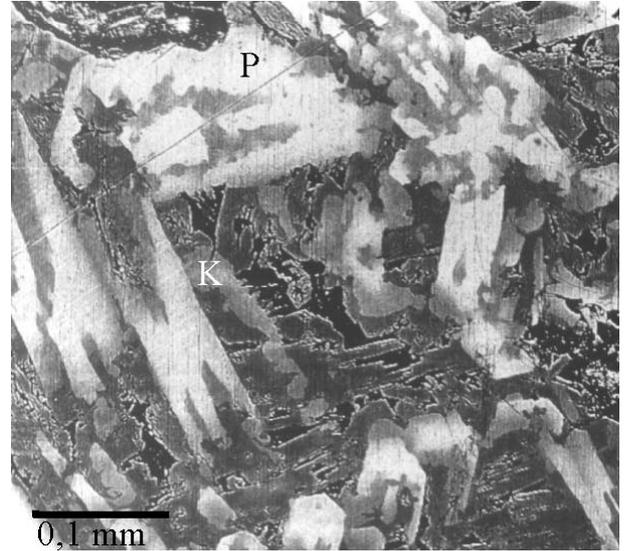


Fig. 8: SEM image (back-scattered electrons) of a cross-section of a solidified melt with composition $Zn_{57.4}Mg_{41.1}Y_{1.5}$ from a DTA experiment showing the P- and K-phase with shifting compositions.

Generatoren für die Induktionserwärmung

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

Qualität hat einen Namen:

Anwendungsbeispiele:

- Kristallziehen
- Glühen
- Schmieden

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

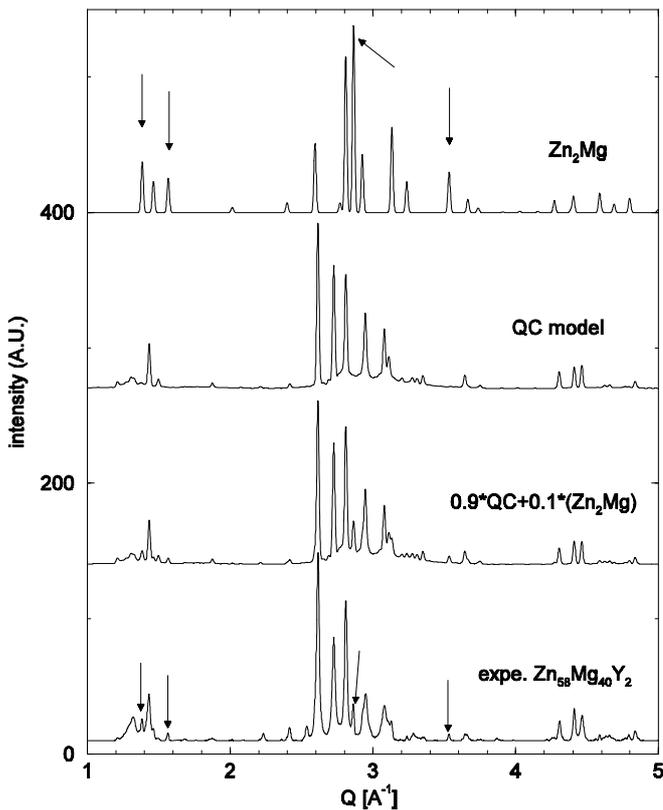


Fig.9: Simulated and experimental XRD patterns:
 1. simulated from the $MgZn_2$ -structure, 2. simulated from a structural model of the decagonal phase (QC model) (Mihalkovic:2002), 3. simulated from 90 % model of the decagonal phase with 10 % of $MgZn_2$. 4. experimental XRD pattern of the annealed, melt-spun material. The additional (arrowed) reflections can be explained by hexagonal $MgZn_2$ in the decagonal sample.

DTA investigation of a heating sequence of the melt-spun material shows a weak exothermal signal at 450°C and a stronger exothermal signal at 550°C. The first signal refers to the melting of the decagonal phase, and the latter to the melting of the P- and K-phases. In support of this, an XRD investigation of the melt-spun sample shows peaks similar to those in $MgZn_2$, which is also typical of the P- and K-phases. After quenching, the alloy was annealed for 170 h at 400°C in an argon atmosphere. The decagonal phase is the result of a solid-state reaction of the P- and K-phases at this temperature. The annealed samples have been characterized by XRD and SAED.

The XRD pattern can be indexed using a decagonal reciprocal lattice. Figure 9 shows simulated and experimental XRD patterns: The first (uppermost) is simulated from the $MgZn_2$ -structure, the arrowed reflections can also be found in the experimental (lowest) XRD pattern. The second is simulated from a structural model of the decagonal phase (Mihalkovic:2002). The third is simulated from 90 % model of the decagonal phase with 10 % of $MgZn_2$. The lowest is an experimental XRD pattern of the annealed, melt-spun material. The additional (arrowed) reflections and the excess intensity of some peaks of the experimental XRD pattern compared to the simulated spectrum from the d- $ZnMgY$ model can be explained by the presence of 10 % by volume of hexagonal $MgZn_2$ in the decagonal sample.

As the XRD pattern of the decagonal phase is very similar to that of binary Mg-Zn alloys, it is difficult to determine the amount of decagonal phase in these samples. SAED was therefore undertaken at various positions (figure 10).

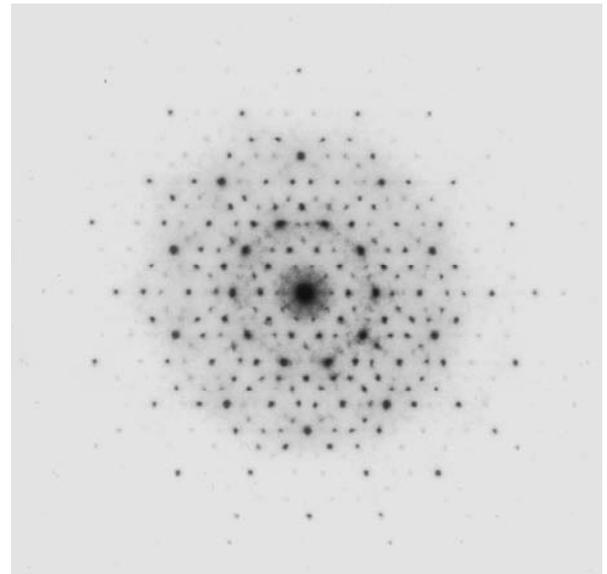


Fig. 10: SAED pattern perpendicular to the quasiperiodic tenfold plane. Tenfold rings and τ -scaling can be found throughout the diffraction pattern.

It is very easy to find decagonal rings at various positions within the sample, which showed that it consists mainly of decagonal $ZnMgY$ (figure 10). The lattice constants of the decagonal phase are $a_q = 4.592\text{\AA}$ and $c = 5.198\text{\AA}$, calculated from a physical space model, or $a_q = 4.485\text{\AA}$ and $c = 5.193\text{\AA}$ from a hyperspace model (Yamamoto:1996). The experimental XRD was best fitted in the physical space model by 90% of the decagonal phase, and 10% of the hexagonal $MgZn_2$ with slightly enlarged lattice parameters $a = 5.239\text{\AA}$ and $c = 8.592\text{\AA}$ (figure 9). Arrows point to peaks that reveal the presence of the $MgZn_2$ phase in figure 9. The sample is the first with decagonal $ZnMgY$ as a major phase. Therefore the melt-spinning and annealing technique appears to be very useful for preparing such samples. More details can be found in Sterzel:2002a.

Related crystalline compounds

The cubic R-phase was first observed in a sample with an average composition of 60 at% Zn, 30 at% Mg and 10 at% Er, where it appeared as an inclusion in a fcc Zn-Mg-Er sample. The composition of this inclusion was analysed by WDX to be $Zn_{63}Mg_{23}Er_{14}$. This is very close to the stoichiometry of the quasicrystal, which has a composition of 61.5 at% Zn, 27.5 at% Mg and 11.0 at% Er in that sample.

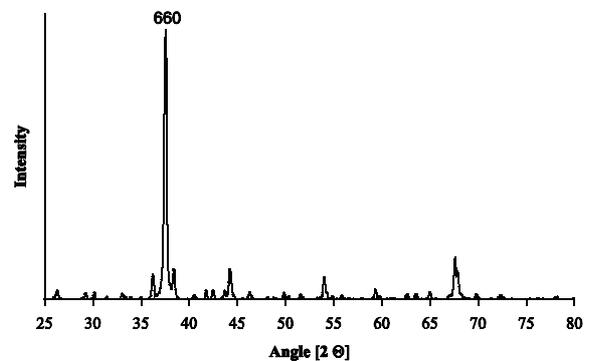


Fig. 11: The XRD pattern of the R-phase is governed by the strong 660-reflexion.

A nearly single-phase sample is prepared by fast-cooling of a melt with a composition of 63 at% Zn, 23 at% Mg and 14 at% Er. The material is heated in an Al_2O_3 crucible under argon in

order to prevent oxidation of the metals, which are encapsulated in a sealed quartz tube. The sample is first heated up to 850°C where the Er dissolves in the Zn-Mg melt. Afterwards the stoichiometric melt is cooled from 850°C to 550°C in about 10 minutes. The sample is annealed at that temperature for 170 h.

A face-centered cubic cell with $a_0 \approx 2$ nm is determined from electron diffraction patterns. Based on this cell parameter, the x-ray powder pattern (figure 11) could be indexed ($a_0 = 2.020$ nm), except for some weak lines from one or more unidentified secondary phases. The x-ray diffraction pattern is governed by a group of strong reflections with $d \approx 0.235$ nm. This is the region where the strongest lines in x-ray powder patterns of quasicrystals are found too.

The reflections of the cubic phase contributing to this group are 5 5 5, 6 6 0 and 2 2 8, the latter two having the same d -value.

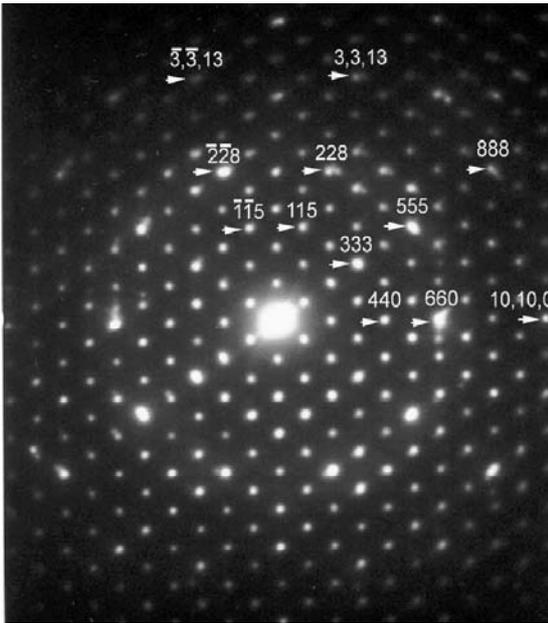


Fig. 12: The SAED pattern along the [110] zone axis shows decagonal arrangements and τ -inflation in good approximation.

Pseudo tenfold rings and τ -inflation in good approximation in a SEAD-pattern along the [110]-direction of the R-phase shows the strong relation between the R-phase and the icosahedral phases in the Zn-Mg-RE systems (figure 12). The space group of the R-phase is $F\bar{4}3m$ (Sterzel:2000c and Saitoh:2001), determined by SAED and convergent beam electron diffraction (CBED). The close relation between the R-phase and the icosahedral phase can be seen on HRTEM images and SAED patterns of both phases (Sterzel:2000c and Kounis:2001), though the structure of the R-phase contains no icosahedral clusters (Kounis:2001). After one year at room temperature half of the cubic R-phase sample transforms into a superlattice-ordered rhombohedral phase with lattice parameters $a_r = 2.47$ nm and $\alpha = 33.6^\circ$ (Saitoh:2001). The space-group of the rhombohedral M-phase is $R3m$, which is a subgroup of the space-group $F\bar{4}3m$ of the R-phase. No primary solidification area of the cubic R-phase or rhombohedral M-phase could be found by DTA and SEM.

Hexagonal A-Zn-Mg-Y is the peritectic phase of the fci phase, which means that fci $Zn_6Mg_3Y_1$ can be created by a peritectic reaction between the A-phase and the Zn-Mg-Y-melt. The A-phase can be grown from a melt with composition

62.5 at% Zn, 25 at% Mg and 12.5 at% Y, which was determined by DTA and SEM in combination with WDX.

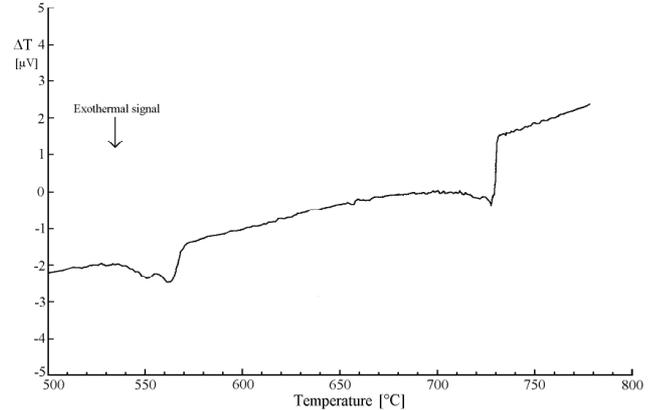


Fig. 13: A DTA-experiment of a melt with composition $Zn_{62.5}Mg_{25}Y_{12.5}$, cooled with a rate of 10°C per minute shows a wide temperature range between the first exothermal signal, which results from the solidification of A- $Zn_{70}Mg_{14}Y_{16}$, and the second exothermal signal, caused by solidification of fci $Zn_6Mg_3Y_1$.

Three exothermal signals can be seen in figure 13. The first at 740°C, the second at 570°C and the third at 560°C. After the DTA experiment a cross-section of the closed tantalum crucible is investigated by SEM. The sequence of solidification can be interpreted from the texture of the phases (the second phase encloses the primary phase) and from the Y-content (the more Y a phase contains the higher is its solidification temperature). The composition of the phases is determined by WDX. Large single crystals grow while the melt is cooled with a rate of 1°C/h from 740°C to 570°C in a tantalum tube closed under argon atmosphere. The average composition of the A-phase is $Zn_{70}Mg_{14}Y_{16}$. Single grains of hexagonal phases can be identified by investigating polished surfaces with a polarization microscope. An XRD pattern makes sure that the grown grains have the structure of hexagonal A- $Zn_{70}Mg_{14}Y_{16}$.

The preparation method of hexagonal Z- $Zn_{65}Mg_{28}Y_7$ is not described in the literature (Singh:1998, Takakura:1998). It can be prepared by water-quenching the stoichiometric melt and annealing the sample at 450°C for 580h. A composition of $Zn_{62}Mg_{31}Y_7$ is found by WDX in the SEM for the Z-phase. An XRD of the sample compared with a calculated XRD from the structural data of the Z-phase (Takakura:1998) shows good agreement. Only one additional reflection can be observed at $d=0.2356$ nm. Abe 1999 reported on a reversible solid state phase transition between the hexagonal Z-phase and the fci phase in a polycrystalline sample. This phase transition cannot be reproduced for single crystals. Presumably the observed transition is a peritectic reaction between the fci phase (Z-phase respectively) and the molten Zn-Mg alloys, which often can be found inside polycrystalline samples. Furthermore a solid state reaction would be very unlikely, because hexagonal space-groups ($P6_3/mmc$) containing a 6-fold axis are no subgroups of the $si Pm\bar{3}5$ or the fci $Fm\bar{3}5$ symmetry containing only 2-, 3- and 5-fold axes.

The hexagonal Laves-phase $MgZn_2$ can be prepared simply by solidification of a stoichiometric melt. If the melt is cooled slowly and a cooling point or a seed is placed in the melt a $MgZn_2$ single crystal grows.

Due to its 4-fold symmetry axis the space-group of the R-phase $F\bar{4}3m$ cannot be a sub-group of icosahedral point-groups. The same is true for any phase with hexagonal symmetry. Even though the structure of the R-phase and some hexagonal phases are closely related to the icosahedral phases in the Zn-Mg-RE system, neither the R-phase nor

other known phases in this system are **rational** approximants of the icosahedral phase. However, the fact that none of these related structures contains any icosahedral clusters is a striking difference between approximants in the Zn-Mg-RE system and approximants in other alloys. This could mean that large clusters are not an essential structural element of the Zn-Mg-RE quasicrystals. However, in a recent paper Kramer et al. gathered from combined neutron diffraction, XRD and HRTEM investigations five icosahedral shells in a fci Zn-Mg-Tb single crystal (Kramer:2002).

Summary

It is shown how face centered icosahedral, simple icosahedral, decagonal and hexagonal phases related to the quasicrystalline phases can be prepared in the Zn-Mg-RE (RE = Y, Ho, Er, Dy) system.

Dodecahedral faceted face centered icosahedral Zn-Mg-(Y, Ho, Er) single crystals of up to 14 mm in diameter have been grown from the melt by the liquid encapsulated top seeded solution growth method. The high quality of the grown crystals stands out in ultrasonic investigations and in the low amount of diffuse x-ray scattering in diffraction experiments. Furthermore a well ordered si phase and a cubic phase related to the icosahedral phase are presented. The single crystals and the polycrystalline materials obtained by the presented techniques were provided for measurements, performed by other groups and presented elsewhere.

Bibliography

- Abe:1999 Abe, E. and Tsai, A. P., "Quasicrystal-Crystal Transformation in Zn-Mg-Rare-Earth Alloys", *Physical Review Letters* 83 (1999) 753-756
- Babonas:2001 Babonas, G.-J., Reza, A., Brucas, R., Assmus, W., Sterzel, R., Jasutis, V., Simkiene, I., Suchodolskis, A. and Karpus, V. "Light Figures and Intrinsic Defects in Zn-Mg-Y Quasicrystals", *Materials Science* 7 (2001) 87-90
- Bergman:1957 Bergman, G., Waugh, J. L. T. and Pauling, L., "The Crystal Structure of the Metallic Phase $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$ ", *Acta Crystallographica* 10 (1957) 254-258
- Calvayrac:1989 Calvayrac, Y., Devaud-Rzepski, J., Bessière, M., Lefebvre, S., Quivy, A. and Gratiat, D., "The nature of the topological disorder in the rapidly quenched $Al_{73}Mn_{21}Si_6$ icosahedral phase", *Philosophical Magazine B* 59 (1989) 439-450
- Elser:1985a Elser, V. and Henley, C. L., "Crystal and quasicrystal structures in Al-Mn-Si alloys", *Physical Review Letters* 55 (1985) 2883-2886
- Elser:1985b Elser, V., "Indexing problems in quasicrystal diffraction", *Physical Review B* 32 (1985) 4892-4898
- Estermann:2000 Estermann, M. A., Haibach, T., Steurer, W., Langsdorf, A. and Wahl, M., "Weak Bragg scattering in icosahedral Mg-Y-Zn", *Materials Science and Engineering A* 294-296 (2000) 237-241
- Fisher:1998 Fisher, I. R., Islam, Z., Panchula, A. F., Cheon, K. O., Kramer, M. J., Canfield, P. C. and Goldman, A. I., "Growth of large-grain R-Mg-Zn quasicrystals from the ternary melt (R = Y, Er, Ho, Dy and Tb)", *Philosophical Magazine B* 77 (1998) 1601-1615
- Frank:1958 Frank, F. C. and Kasper, J. S., "Complex Alloy Structures Regarded as Sphere Packings. "I. Definitions and Basic Principles", *Acta Crystallographica* 11 (1958) 184-190 and "II. Analysis and Classification of Representative Structures", *Acta Crystallographica* 12 (1959) 483-499
- Goldman:1993 Goldman, A. I. and Kelton, R. F., "Quasicrystals and crystalline approximants", *Review of Modern Physics* 65 (1993) 213-230
- Henley:1986 Henley, C. L. and Elser, V., "Quasicrystal structure of $(Al, Zn)_{49}Mg_{32}$ ", *Philosophical Magazine B* 53 (1986) 59-66
- Ishimasa:2000a Ishimasa, T. and Shimizu, T., "Microdomain Structure in the Disordered Zn-Mg-Ho Icosahedral Phase", *Japanese Journal of Applied Physics* 39 (2000) 1235-1240
- Ishimasa:2000b Ishimasa, T. and Shimizu, T., "Long-range and short-range F-type ordering in Zn-Mg-Ho icosahedral phase", *Materials Science and Engineering A* 294-296 (2000) 232-236
- Karpus:2000 Karpus, V., Babonas, G.-J., Reza, L., Assmus, W. and Sterzel, R., "Dispersion of dielectric function of i-ZnMgY quasicrystals" *Lithuanian Journal of Physics* 40 (2000) 118-123 und Karpus, V., Reza, A., Suchodolskis, A., Babonas, G.-J., Assmus, W., Sterzel, R., Kazlauskienė, V., Miškinis, J. and Miniotas, A., "Optical properties of surface layers of i-ZnMg(Y, Ho) quasicrystals" *Materials Science* 6 (2000) 148-152
- Kounis:2001 Kounis, A., Miehe, G., Saitoh, K., Fuess, H., Sterzel, R. and Assmus, W., "Structure analysis of a Zn-Mg-Er cubic phase (R-phase) and its relation to the icosahedral quasicrystal", *Philosophical Magazine Letters* 81 (2001) 395-403
- Kramer:2002 Kramer, M. J., Hong, S. T., Canfield, P. C., Fisher, R., Corbett, J. D., Zhu, Y. and Goldman, A. I., "The local atomic structure of R-Mg-Zn (R=Y, Gd, Dy and Tb)", *Journal of Alloys and Compounds* 342 (2002) 82-86
- Langsdorf:1997a Langsdorf, A., Ritter, F. and Assmus W., "Determination of the primary solidification area of the icosahedral phase in the ternary phase diagram of Zn-Mg-Y", *Philosophical Magazine Letters* 75 (1997) 381-387
- Langsdorf:1997b Langsdorf, A., Assmus, W., Babonas, G. J. and Reza, A., "Structural and optical properties of Bridgman-grown Zn-Mg-Y quasicrystals", *Lithuanian Journal of Physics* 37 (1997) 40-45
- Langsdorf:1998 Langsdorf, A. and Assmus W., "Growth of large single grains of the icosahedral quasicrystal ZnMgY", *Journal of Crystal Growth* 192 (1998) 152-156
- Langsdorf:1999 Langsdorf, A. and Assmus, W., "Crystal Growth of Large Icosahedral Zn-Mg-Y Single Grains by a Liquid Encapsulated Top Seeded Solution Growth Method", *Crystal Research and Technology* 34 (1999) 261-265
- Luo:1993 Luo, Z. P., Zhang, S., Tang, Y. and Zhao, D., "Quasicrystals in as-cast MgZnRE Alloys", *Scripta Metallurgica et Materialia* 28 (1993) 1513-1518
- Mihalkovic:2002 Mihalkovic, M., 2002, unpublished results
- Niikura:1994a Niikura, A., Tsai, A. P., Inoue, A. and Masumoto, T., "New Class of Amorphous and Icosahedral Phases in Zn-Mg-Rare-Earth Metal Alloys" *Japanese Journal of Applied Physics* 33 (1994) L1538-L1541
- Niikura:1994b Niikura, A., Tsai, A. P., Inoue, A. and Masumoto, T., "Stable Zn-Mg-rare-earth face-centred icosahedral alloys with pentagonal dodecahedral solidification morphology", *Philosophical Magazine Letters* 69 (1994) 351-355
- Rodewald:1997 Rodewald, M., Langsdorf, A., Assmus, W. and Fuess, H., "Structural investigation of icosahedral quasicrystals in the Zn-Mg-SE (SE=Y, Er) system", *Proceedings of the 6th International Conference on Quasicrystals* (1997) 51-54, World Scientific (Singapore)
- Saitoh:2001 Saitoh, K., Kounis, A., Miehe, G., Fuess, H., Sterzel, R. and Assmus, W., "Space-group Determination of Cubic and its Superlattice-Ordered Rhombohedral phases of $Zn_{63}Mg_{23}Er_{14}$ using the Convergent-Beam Electron Diffraction method", *Zeitschrift für Kristallographie* 216 (2001)1-4
- Sato:1998a Sato, T. J., Abe, E. and Tsai, A. P., "Composition and stability of decagonal quasicrystals in the Zn-Mg-rare-earth systems", *Philosophical Magazine Letters* 77 (1998) 213-219
- Sato:1998b Sato, T. J., Takakura, H. and Tsai, A. P., "Single Crystal Growth of the Icosahedral Zn-Mg-Ho Quasicrystal", *Japanese Journal of Applied Physics* 37 (1998) L663-L665

- Shimizu:1998 Shimizu, T. and Ishimasa, T., "Formation of F- and P-Type Icosahedral Quasicrystals in the Zn-Mg-Ho Alloy System", Japanese Journal of Applied Physics 37 (1998) L5691-L5696
- Singh:1998 Singh, A., Abe, E. and Tsai, A. P., "A hexagonal phase related to quasicrystalline phases in Zn-Mg-rare-earth system", Philosophical Magazine Letters 77 (1998) 95-103
- Stephens:1991 Stephens, P. W. and Goldman, A. I., "Die Struktur der Quasikristalle", Spektrum der Wissenschaft ("The structure of quasicrystals", Scientific American) Juni 6 (1991) 48-56
- Sterzel:2000a Sterzel, R., Dahlmann, E., Langsdorf, A. and Assmus, W., "Preparation of Zn-Mg-RE quasicrystals and related crystalline phases", Materials Science and Engineering A 294-296 (2000) 124-126
- Sterzel:2000b Sterzel, R., Hinkel, C., Haas, A., Langsdorf, A., Bruls, G. and Assmus, W., "Ultrasonic measurements on fcc Zn-Mg-Y single crystals", Europhysics Letters 49 (2000) 742-747
- Sterzel:2000c Sterzel, R., Assmus, W., Kounis, A., Miehe, G. and Fuess, H., "A cubic approximant in the Zn-Mg-Er alloy", Philosophical Magazine Letters 80 (2000) 239-247
- Sterzel:2001 Sterzel, R., Bruls, G., Kounis, A., Miehe, G., Saitoh, K., Fuess, H., Karpus, V., Babonas, G.-J., Reza, L. and Assmus, W., "Growth, Structure and Ultrasonic Investigations of Icosahedral Zn-Mg-Y Quasicrystals", MRS Symposium Proceedings 643 (2001) K1.4.1-K1.4.6
- Sterzel:2002a Sterzel, R., Assmus, W., Saitoh, K., Fuess, H., Mihalkovic, M. and Suck, J.-B., "Preparation of Decagonal ZnMgY", Philosophical Magazine Letters 82 (2002) 235-239
- Sterzel:2002b Sterzel, R., Gross, C., Kounis, A., Miehe, G., Fuess, H., Reutzel, S., Holland-Moritz, D. and Assmus, W., "A new well-ordered simple icosahedral quasicrystalline phase in the Zn-Mg-Er system", Philosophical Magazine Letters 82 (2002) 443-450
- Suchodolskis:2002 Suchodolskis, A., Babonas, G.-J., Jasutis, V., Karpus, V., Reza, A., Simkien, I., Assmus, W. and Sterzel R., "Faceted etch pits and light figures of i-ZnMgY quasicrystals", Philosophical Magazine Letters 82 (2002) 157-165
- Takakura:1998 Tsai, A. P., Niikura, A., Inoue, A., Masumoto, T., Nishida, K., Tsuda, K., and Tanaka, M., "Highly ordered structure of icosahedral quasicrystals in ZnMgRE (RE = rare earth metals) systems", Philosophical Magazine Letters 70 (1994) 169-175
- Yamamoto:1996 Yamamoto, A., "Crystallography of Quasiperiodic Crystals", Acta Crystallographica A 52 (1996) 509-560

Dieser Bericht entstand als Teil des Abschlußberichts des DFG-Schwerpunkts „Quasikristalle“

TAGUNGSBERICHTE

Fourteenth American Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ACCGE-14)

vom 04. – 09. August 2002 in Seattle, Washington, U.S.A.

Bericht von **Frank M. Kießling / Rainer Bertram**, IKZ Berlin

Diesmal fand die sehr gut organisierte Konferenz an der Westküste der U.S.A. in downtown Seattle statt. Die von der American Association for Crystal Growth ausgerichtete Konferenz ist die nationale Jahrestagung auf dem Gebiet der Kristallzüchtung in den U.S.A.. Dies spiegelte sich in der Liste der registrierten Konferenzteilnehmer wider. Mit über 70% der 226 Teilnehmer stellten die US-Amerikaner die größte Delegation. Die zweitgrößte Delegation wurde von den japanischen Kollegen mit 17 Teilnehmern gestellt und die benachbarten Nordamerikaner aus Kanada waren nur noch

mit 9 Teilnehmern vertreten. Die Europäer reisten mit 27 Teilnehmern aus 8 Ländern an. Die stärksten europäischen Delegationen kamen aus Großbritannien (9), Deutschland (8), Frankreich und Schweiz (jeweils 3). Die doch sehr hohen Reise- und Übernachtungskosten sind wohl der Grund für die begrenzte Zahl überseeischer Teilnehmer.

Dem Veranstalter ist es gelungen, eine organisatorisch und wissenschaftlich anspruchsvolle Konferenz durchzuführen. Zweifellos trugen die von R. S. Feigelson (Stanford University) geleiteten Plenarvorträge zum Symposium „50 Years of Progress in Crystal Growth“ zum gehobenen Standard bei. Die Liste der auserwählten und in ihrem Werdegang vorgestellten Redner umfaßte namhafte Wissenschaftler (G. Stringfellow, K. Jackson, P. Rudolph / D.T.J. Hurle, R. Sekerka, M. Glicksman, I. Sunagawa, A. Chernov, J.B. Mullin, M. Wargo / G. Witt, R.A. Brown, C. Brandle).

Die Vorträge reflektierten in den überwiegenden Darstellungen einen interessanten historischen Rückblick mit z.T. Originaldokumentation und Fotos. Den beeindruckendsten Vortragsstil präsentierte übrigens R. Sekerka mit seinem Beitrag „Morphology: From Sharp Interface to Phase Field Models“. Das gelungene Symposium war das Erlebnis schlecht hin, der leibhaftige Auftritt der Kristallzüchterlegenden.

Das umfangreiche Programm war gegliedert in täglich eine Plenarsitzung und sich anschließenden Themensitzungen. An zwei Abenden fanden Posterpräsentationen statt. Der internationale Veranstaltungscharakter wurde nicht zuletzt durch die präsentierte Produkt- und Leistungspalette der 21 Aussteller geprägt. Negativ anzumerken ist der Ausfall von mehr als einem Drittel der Posterbeiträge. Dies hatte aber den Vorteil, dass sich das Interesse für die anderen Poster erhöhte und mehr Zeit für Posterdiskussionen blieb. Auch ließ das Interesse an den Freitagsvorträgen vergleichsweise stark nach, da einige Teilnehmer ohnehin nur einen Besuch bis zum Freitagsmorgen geplant hatten. Es wurden täglich bis zu 4 Parallelsitzungen angeboten. Die Themensitzungen wurden jeweils mit mindestens einem eingeladenen Vortrag a 25 Minuten und 5 Minuten Diskussion (25+5) begonnen, gefolgt von 12+3 Beiträgen.

Zu jedem Themenkomplex gab es durchschnittlich 2 Sitzungen. Schwerpunkte der Veranstaltung waren aber mit jeweils 3 Sitzungen Fragestellungen der Epitaxie wie auch Züchtungsergebnisse und Diskussion der Anwendbarkeit nichtlinear optischer Materialien.

Die ebenfalls mit 3 Sitzungen durchgeführte Charakterisierung war dagegen ein Sammelsurium von Beiträgen unterschiedlichster Materialklassen, welche sich durch eine kürzere Beschreibung der Kristallzüchtung und detaillierterer Charakterisierung auszeichnete.

Eine Übersicht bietet die nach Kategorien gegliederte Tabelle unten auf dieser Seite, in der den Sitzungen entsprechende, schlagwortartige Schwerpunkte (in Klammern die Sitzungsanzahl) zugeordnet sind.

Der Trend, dass immer weniger Beiträge in der klassischen Kategorie Massivkristallzüchtung zu finden sind, ist nach Auffassung der Autoren auf die Eingruppierung in spezialisierte Sitzungen zurückzuführen. Die mit nur einer Sitzung veranschlagte Massivkristallzüchtung sollte daher nicht den Schluss erlauben, dass die Züchtung von Massivkristallen ohne Interesse wäre. Auszugsweise sollen einige Beiträge nachfolgend etwas näher vorgestellt werden.

Eine doch sehr unterschiedliche inhaltliche Herangehensweise ergab sich in der Sitzung „industriellen Kristallisation“. Herr Young (AXT, U.S.A.) setzte den Schwerpunkt auf die Darstellung der Firmenentwicklung unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten, bezogen auf das Produkt GaAs gezüchtet nach der Vertical Gradient Freeze Technology (VGF). Die Vorteile des VGF-GaAs gegenüber dem LEC-gezüchteten Material seien im Wesentlichen die geringere Versetzungsdichte und die geringere EL2-Konzentration. Diese geringere Defektdichte ist der Grund, dass sich das VGF-GaAs bei den Bauelementherstellern, welche epitaktische Aufwuchsprozesse durchführen wollen, mehr und mehr durchsetzt. Zur Zeit produziert AXT 6-inch VGF-GaAs Kristalle und entwickelt die 6-inch InP Züchtung für dieses Verfahren.

Herr Jurisch (FCM, Germany) dagegen stellte in einem sehr schönen Vortrag die wissenschaftlichen Fragestellungen bei der VGF-Züchtung von GaAs in den Mittelpunkt. Es wurde die Züchtung und charakteristische Eigenschaften von 200 mm semi-insulating (SI) GaAs mit denen der Produktion von 150 mm VGF-Standardmaterial verglichen. Um die SI-Eigenschaften des GaAs einzustellen, wird während der Züchtung bei Temperaturgradienten von 3-5 K/cm das chemische Potential von Kohlenstoff und Sauerstoff in der Züchtungsatmosphäre über den Stickstoffdruck und den CO-Partialdruck bei konstantem Gesamtdruck kontrolliert. Die durchschnittliche EL2-Konzentration in as-grown GaAs ist typisch um $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ und geringer als in wärmebehandeltem Material. Bei einer definierten Kohlenstoffkonzentration wird dadurch ein höherer elektrischer Widerstand als im Vergleich zu getemperten 150 mm Scheiben erreicht. Die durchschnittliche EPD beträgt in etwa $1 \times 10^4 \text{ cm}^2$ und ist in diesem Stadium der Entwicklung etwas höher als jene der 150 mm Standard VGF-wafer.

Die Produktion von optoelektronischen Komponenten und lichtemittierenden Dioden wächst mit einer jährlichen Rate von über 40 %. Basierend auf dieser Vorhersage beruhen die Entwicklungskonzepte der Firma AIXTRON (Germany). Die Anforderungen an die effektive Massenproduktion werden stetig höher. Herr Heuken präsentierte in seinem ersten von 2 aufeinanderfolgenden Vorträgen eindrucksvoll, wie der Stand der industriellen Realisierung von MOCVD Anordnungen ist. In den MOCVD-Anlagen ist der Betreiber inzwischen in der Lage, in Abhängigkeit von der Größe zwischen 24 (24 wafer x 2 inch) und 7 (x 6 inch) Substrate pro Trägerscheibe zeitgleich zu bedampfen. Der Wachstumsprozeß kann in-situ z.B. über

geeignete Reflektometer beobachtet werden. In seinem zweiten Vortrag stellte er Ergebnisse der MOCVD-Züchtung von (Al,Ga,In)N-basierten Strukturen vor. Numerische Modellrechnungen sind ein notwendiges Hilfsmittel für eine schnelle Züchtungsoptimierung. Die Eignung der Züchtungsanlagen wurden dabei anhand der Produktion von blau (470 nm) und grün (525 nm) emittierenden optoelektronischen Strukturen getestet. Als Substratmaterial wurde Silizium verwendet und die Gitterfehlpassung über geeignete Schichtdicken von AlN und GaN gepuffert. Die Standardabweichung der Wellenlängenverteilung über die Scheibe lag innerhalb von 1,7 nm für beide Strukturen.

Ganz andere Einblicke gewährten die Herren Shchetkoskiy (Engelhard, U.S.A.) und Mann (Advanced Ceramics, U.S.A.) in ihren eingeladenen Vorträgen. Beide präsentierten die Herstellung ihrer Produkte – zum einen die mineralogische Aufbereitung bis zur Abscheidung von Ir-Pt-Rh Formen auf einen Kohlenstoffkörper, zum anderen die Prozesse bis zum Erhalt von PBN-Tiegeln.

In der zweiten Sitzung über industrielle Kristallisation wurden der Stand und die Probleme der 300 mm Siliziumzüchtung dargestellt. Herr Stevenson (Kayex, U.S.A.) sprach über die Notwendigkeit von Wärme- und Gasflusssimulationen, um die geeigneten Dimensionen für das Heizer- und Züchtungssofendesign herauszufinden. Kristallzuchtungsanlagen einer Masse von 40 t, Standfestigkeit der Kieselglastiegel bei Schmelzeinwaagen von 300 – 400 kg und benötigte elektrische Leistungen von bis zu einem halben MW zum Betreiben der 3-Zonen Öfen / Magnetfelder führten in eine Welt, welche die gigantischen Ausmaße der industriellen Siliziumzüchtung sehr schön veranschaulichte.

Ein weites Forschungsgebiet scheint entsprechend der vorgestellten Beiträge auf dem Gebiet der neuen Materialien die nichtlinear optischen Materialien für den mittleren Infrarotbereich sowie den UV- und VUV-Bereich zu sein. Insbesondere besteht ein gesteigertes Interesse an 157 nm Lasern für die optische Lithographie, wobei ein Hauptproblem bei der Anwendung der 157nm-Laser-Technologie in der Entwicklung von geeigneten optischen Materialien für Linsen und andere optische Komponenten zu sehen ist.

Sitzung (Anzahl)		Thematische Schlagworte
Atomistic Modeling of Crystal Growth	(1)	Molecular Dynamics Simulations, Kinetic Monte Carlo Simulations
Bulk Growth and Model Simulations	(1)	Melt/crystal interface simulations, melt flow simulations
Characterization	(3)	
Epitaxy	(3)	Antimonides, Nitrides, GaAs/Si,
Fundamentals and Modeling	(2)	Phase Field Modeling
Industrial Crystallization	(2)	VGF – GaAs, InP; MOCVD – InGaN; Cz - Si
Microgravity	(2)	Germanium, GeSi, CdTe
Microstructured Pattern	(1)	Dendrites, Formation in directional solidification
Nano-Crystallization	(1)	Perovskite Oxides, Silicon/Silica – nanowires, -tubes, -structures
Nonlinear Optics	(3)	Borates, ZGP, Tantalates, BaMgF ₄ , BaZnF ₄ , Niobates, ZnSe
Opportunities for New Materials	(2)	Ferroelektrika, Piezoelectrics, Fluoride, AlN, IR & UV Materials
Oxides	(2)	Flüssigphasenepitaxy oxidischer Filme, Hydrothermale Synthese, Oscillators



ACCGE 14, August 4 – 9, 2002, Seattle, USA

Von links nach rechts: Edith D. Bourret-Courchesne, Peter Rudolph, Alexander A. Chernov, Kenneth A. Jackson, Michael J. Wargo, Robert S. Feigelson, J. Brian Mullin, Robert F. Sekerka, Martin E. Glicksman, Ichiro Sunagawa, Robert A. Brown, Gerald B. Stringfellow

Keszler (Oregon State Univ.) informierte über Bedeutung und Fortschritte bei der Züchtung von Borat-Kristallen, die aufgrund ihrer günstigen linearen und nichtlinearen Eigenschaften für die optische Frequenzwandlung eingesetzt werden. Ihre hohe Transparenz zu kurzen Wellenlängen macht diese Kristallklasse für die direkte second-harmonic generation (SHG) im UV- und VUV-Bereich sehr interessant. Hierzu auch ein Beitrag von Kimura (MEL, NIMS) zu den Barium Aluminium (Gallium) Boraten als aktive Kristalle für die SHG-Laser.

Sato (NEC TOKIN Corp.) berichtete über die Züchtung und optische Charakterisierung von Mg- und Ba-dotierten LiCaAlF_6 (LiCAF) Kristallen als ein neues Fenstermaterial für die VUV-Region. Für den mittleren IR-Bereich gab Vodopyanov (BlueLeaf-Picarro) eine Übersicht für NLO-Materialien (u.a. GaAs, GaSe); Schunemann (BAE Systems/IEWS) zeigte bei den nichtlinearen optischen Kristallen neue Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Chalcopyrite (hauptsächlich ZnGeP_2 und AgGaSe_2), wobei darauf hingewiesen wurde, daß auch neue Materialien mit höheren nichtlinearen Koeffizienten für diesen Anwendungszweck zu entwickeln sind. Als neues Material für Acusto-Optic Tunable Filter (AOTF) wurde Hg_2Cl_2 von Zhang (Northrop Grumman Corp., U.S.A.) vorgestellt.

Ausführlich wurde über Piezoelektrika der allgemeinen Zusammensetzung $[(1-x)\text{Pb}(\text{Me}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3 - x\text{PbTiO}_3)]$ (PMeNT; Me = Zn, Mg, Sc) berichtet. So gab Ye (Simon Fraser Univ., Kanada) einen umfangreichen Überblick über den Stand der Kristallzüchtung von Relaxor Ferroelectric Single Crystals. Zu dieser interessanten und international stark bearbeiteten

Problematik (neue Anwendungsgebiete im Vergleich zu den Keramiken u.a. in der Ultraschalldiagnostik aufgrund deutlich besserer piezoelektrischer Eigenschaften) wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen weitere Detailergebnisse vorgestellt. Der Schwerpunkt der internationalen Forschung liegt dabei deutlich bei PMNT (hier läßt sich bei der Züchtung die unerwünschte Pyrochlorbildung besser vermeiden).

So informierte Zawilski (Stanford Univ., U.S.A.) zur Züchtung von PMNT-Kristallen mittels vertikalem Bridgmanverfahren und deren Charakterisierung hinsichtlich der auftretenden Phasen (rhomboedrisch und tetragonal im Gebiet von 0.31 – 0.36 PT), sowie zur Problematik der Domainenstruktur (~50 nm). Bing (Simon Fraser Univ., Kanada) berichtete über Züchtung von PMNT (M=Mg) und PZNT (Z=Zn) mittels TSSG-Verfahren unter Berücksichtigung der Hochtemperatur-Phasendiagramme, sowie erste Versuche zur Züchtung von PSNT (S=Sc). Anhand von röntgenographischen Untersuchungen konnte der Zusammenhang zwischen Ti-Gehalt und Struktur im PZNT geklärt werden, so tritt neben den bekannten rhomboedrischen und tetragonalen Phasen auch eine monokline Phase auf, es gelang die Phasenbreite der Morphotropic Phase Boundary zu bestimmen (6 – 11 % Ti-Gehalt), die für die Anwendung dieser Kristalle von entscheidender Bedeutung ist (Bertram, IKZ, Berlin).

In der Sitzung Oxide wurde ausführlich über die Flüssigphasenepitaxy von oxidischen Filmen (z.B. Granat, Hochtemperatur Supraleitern, elektrooptischen Materialien) berichtet. So stellte z.B. Schlomm (Penn State Univ., U.S.A.) Ergebnisse zum Nano-Engineering perovskitischer Oxide

mittels Molecular Beam Epitaxy vor, wobei diese Technik zur Synthese dielektrischer, ferroelektrischer und ferromagnetischer Perovskite dient (z.B. PMN-PT/SrTiO₃/Si); der Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften dieser Materialien wird durch ab initio Rechnungen untersucht. Auch die bekannte Tatsache, daß die Atmosphäre bei der Züchtung oxidischer Materialein für die Kristallqualität von großer Bedeutung ist, wurde in Beiträgen von Watauchi (Hanyang Univ.) anhand des Einflusses des Sauerstoffdruckes auf die Rutil-Züchtung und Ardila (Univ. Santiago de Chile) am Beispiel des LiNbO₃ und Ca₃V₂O₈ Rechnung getragen.

Abschließend sollte nicht vergessen werden, auf die nächste Konferenz hinzuweisen. Die ACCGE-15 wird zusammen mit dem OMVPE Workshop und dem 3rd International Symposium on Laser and NLO Materials vom 20.- 24. Juli 2003 in Keystone, Colorado, U.S.A. ausgerichtet.

2nd Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology

Bericht von **Wolf Aßmus**, Universität Frankfurt

Die Konferenz fand vom 28.-31.8.02 in der Hanyang-Universität in Seoul/Korea statt. Träger der Konferenz waren "The Asian Soc. for Crystal Growth and Technology (ASCGT)", "The Korean Assoc. of Crystal Growth (KACG)", das "Ceramic Processing Research Center (CPRC)" der Hanyang Universität, "The Assoc. of Synth. Crystal Science and Techn. of Japan", "Japan Soc. for the Promotion of Science", "Taiwanese Assoc. for Crystal Growth (TACG)", und die "Chinese Crystal Growth and Materials Soc. (CCGMS)". Die Konferenz war primär als Diskussionsforum für asiatische "Kristall"-Wissenschaftler aus Korea, Japan, China, Taiwan und Indien geplant. Um aber einen breitbandigen Stand der Wissenschaft zu gewährleisten, wurden vom Organisationskomitee viele Wissenschaftler aus nicht asiatischen Ländern eingeladen; deshalb war die Konferenz eher eine mini-ICCG!

Schwerpunkthemen der Konferenz waren:

- 1) Silizium
- 2) Verbindungshalbleiter: III-V, Nitride, ii-VI
- 3) Oxide: Kristalle für die Nichtlineare Optik, Laser-Kristalle, Photorefraktive Kristalle
- 4) Oxide II: Piezoelektrische Kristalle, Quarz, Scintillatoren
- 5) Oxide III: Supraleiter, magnetische Materialien, Übungsmetalloxide
- 6) Neue Materialien und neue Technologie: Sol-Gel, Flux, Tiegel
- 7) Fluoride: UV-Laser-Material und Fenster
- 8) Metalle, Legierungen, Intermetallische Verbindungen, Boride, Carbide, Silicide, Diamant
- 9) Organische Verbindungen
- 10) Simulation

Diese Übersicht zeigt, welch breites Spektrum auf der Konferenz behandelt wurde; insbesondere hatten Anwendungen ein hohes Gewicht. In den Vorträgen auf durchweg sehr gutem Niveau zeigte sich der hervorragende Stand der Kristallwissenschaften in den asiatischen Ländern. Dabei fällt auf, dass die Kontakte zwischen den Anwendern in der Industrie und den Wissenschaftlern in den Universitäten viel enger sind, als bei uns. Die Veranstalter haben eine hervorragende Konferenz organisiert, insbesondere muß hier

der Hausherr (Hanyang-Universität) und jetzige Präsident der ASCGCT (Nachfolger von T. Fukuda in diesem Amt) K. H. Auh erwähnt werden. Die nächste Konferenz in dieser Reihe soll in zwei Jahren in Peking stattfinden. Hoffentlich sinkt hier nicht wieder die Teilnehmerzahl ab: Auf der ersten Konferenz im Jahr 2000 in Sendai gab es 800 Teilnehmer, jetzt in Korea 400. Hierin spiegelt sich auch die gegenwärtige wirtschaftliche Lage im asiatisch-pazifischen Raum, die auch auf die Kristallzüchter Einfluß hat. Insgesamt gesehen eine sehr gelungene Tagung für "everybody who loves crystals" – so lautete das Konferenzmotto. Das Konferenzende war ein sehr gelungenes Konferenz-Dinner, leider konnte der für den nächsten Tag geplante Ausflug wegen eines hereinbrechenden schweren Taifuns (der schwerste in Korea seit Jahren mit vielen Toten) nicht mehr stattfinden. Hoffentlich sind alle Teilnehmer gut nach Hause gekommen.

Erlanger Nitridtage

Erlangen im Zeichen des blauen Lasers und UMTS

Bericht von **Dr. Jochen Friedrich** über die Jahrestagung des FhG-IISB über Nitridhalbleiter am 10.10.02 in Erlangen und des BMBF Workshops GaN Elektronik am 11.10.02 in Erlangen

Zwei Tage lang diskutierten etwa 130 Experten aus der ganzen Welt am Erlanger Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) über den Status und die Zukunft der Gruppe III - Nitridhalbleiter. Die Fachwelt bescheinigt den Nitridhalbleitern ein enormes Anwendungspotential im Bereich der Optoelektronik für Leucht- und Laserdioden. Im Bereich der Kommunikationstechnologie sind im Zuge des UMTS Standards Nitridbauelemente als Mikrowellenverstärker vorgesehen. Um dieses Potential künftig auszuschöpfen, sind aber insbesondere große Anstrengungen zur Lösung der Substratfrage und zur Verbesserung der Schichtqualität zu unternehmen. Zum einen sind die Defektdichten bei den Siliziumkarbid Substraten weiter zu erniedrigen, die das thermische Management beim Betrieb der HF-Leistungsbaulemente sehr nachteilig beeinflussen. Zum anderen gilt es qualitativ hochwertige Nitridsubstrate zur Verfügung zu stellen, die eine deutliche Effizienzsteigerung der dann homoepitaktisch hergestellten Bauelemente (hier insbesondere der Laserdiode) erwarten lassen.

Anlässlich der 4. Jahrestagung des Fraunhofer Instituts IISB unter der Leitung von Prof. Heiner Ryssel lud das Erlanger Kristalllabor (Prof. Georg Müller) am 10. Oktober 2002 zu einer internationalen Tagung über Nitridhalbleiter ein. In den 12 Vorträgen (siehe Programm) und in der "Round Table Discussion" beleuchteten die Redner insbesondere die Material- und Substratproblematik bei der Herstellung von Nitridbauelementen sowie den Stand der Massivkristallzüchtung von Galliumnitrid. Gesponsert wurde die Veranstaltung vom Förderkreis Mikroelektronik der Region Erlangen - Nürnberg. Am nächsten Tag wurden im Rahmen des BMBF Workshops "GaN Elektronik" neue Projektideen diskutiert, die sich mit der Herstellung und Anwendung von Hochfrequenzleistungsbaulementen auf Nitridbasis befassen. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser zwei Erlanger Nitridtage sind im folgenden kurz zusammengefasst.

Optoelektronik

Die Bedeutung der Nitridhalbleiter für die Optoelektronik ist allgemein anerkannt. Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit von Nitridsubstraten werden die Nitridschichten sowohl auf Saphir als auch auf Siliziumkarbid Substraten abgeschieden.

Bei „normalen“ Leuchtdioden (LED) kann durch technologische Verbesserungen beim Chipdesign und im Front-End Bereich mit weiteren Effizienzsteigerungen gerechnet werden. Um neuartige Beleuchtungssysteme auf LED Basis sowohl im KFZ - als auch im Architekturbereich zu realisieren, sind „Ultra High Brightness“ LED's erforderlich. In diesem Bereich kann mit erheblichen Steigerungen der Leistungsfähigkeit dieser Bauelemente gerechnet werden, sofern diese homoepitaktisch auf Nitridsubstraten hergestellt werden könnten.

Bei der blauen Laserdiode spielt die Substratproblematik eine zentrale Rolle. Trotz bereits beeindruckender Fortschritte auf diesem Gebiet muss die Defektdichte in den Nitridschichten weiter reduziert werden. Dies ist möglich durch weitere Optimierung der Epitaxieprozesse (z.B. ELO-Techniken). Eine entscheidende Fortschritt wäre jedoch durch die Verwendung von Nitridsubstraten zu erreichen. Damit könnte die Lebensdauer der Laser Dioden so gesteigert werden, dass ein Einsatz in Konsumergeräten mittelfristig möglich wird.

Schließlich gilt es die Produktivität zu erhöhen, so dass der Preis für eine Laserdiode (zur Zeit über 1000US\$ bei einem japanischen Anbieter) deutlich gesenkt wird.

HF - Leistungselektronik

Zum Steuern von elektrischen Leistungen über 2GHz z.B. in der Kommunikationstechnologie (terrestrisch und extraterrestrisch) sind die Nitridhalbleiter aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften ebenfalls sehr gut geeignet. Das Marktvolumen, das hier Nitridbauelemente im Zuge von UMTS erobern könnten, wird ähnlich hoch wie für Indiumphosphid basierte Bauelemente eingeschätzt. Jedoch muss die Nitrid - Technologie hinsichtlich Waferdurchmesser mit der etablierten III-V Technologie kompatibel sein, d.h. mindestens 4" Durchmesser müssten erreicht werden.

Bezüglich der Verwendung von verschiedenen Substratmaterialien ergab sich folgendes Bild: Ein Einsatz von Saphir als Substratmaterial wird aufgrund der schlechten thermischen Wärmeleitfähigkeit als problematisch gesehen. Semiisolierendes Siliziumkarbid bietet wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit sehr gute Voraussetzungen. Abgesehen vom hohen Preis für die Siliziumkarbidsubstrate (einige 1000 US\$ für 4" semiisolierend) müssen aber die Defektdichten, die lokal das thermische Management im Betrieb der HF Bauelemente nachteilig beeinflussen, deutlich reduziert werden. Hochohmiges Silizium könnte mittelfristig eine interessante Alternative sein, die es weiterzuverfolgen gilt.

Probleme existieren auch bei der Lithographie, da hier die verspannten Schichten zu Belichtungsfehlern führen können.

Neben der Optoelektronik könnten Nitridbauelemente langfristig einen zweiten Massenmarkt im Bereich der KFZ Elektronik erobern, sofern der Nachweis erbracht wird, dass sie als echte Low Cost Anwendung zum intelligenten Motormanagement eingesetzt werden können. Heute belaufen sich die Stückzahlen entsprechender Zündsysteme auf 1 Mio. Stück pro Tag.

Massivkristallzüchtung, Nitridsubstrate

In den letzten Jahren wurden beachtliche Erfolge weltweit erzielt, um Massivkristalle bzw. frei stehende Substrate mithilfe der HVPE (Hybrid Vapor Phase Epitaxy) Methode herzustellen. Heute werden bereits erste Substrate, die mit HVPE hergestellt wurden, kommerziell angeboten. Bei kleinen Substratgrößen werden dabei durch Mehrfachprozessierung bzw. durch sogenannte ELO Prozesse (Epitaxial Lateral Overgrowth) Defektdichten erreicht, die um mehrere Größenordnungen unter denen liegen, die in einfach heteroepitaktisch abgeschiedenen Schichten beobachtet werden. Jedoch ist die Qualität von größeren Scheiben noch stark verbesserungsfähig. Hier gilt es, nicht nur den Herstellungsprozess der Substrate bzw. Kristalle an sich, sondern auch das sogenannte Wafering weiter zu optimieren. Zudem ist zur Zeit der Preis für kommerzielle Galliumnitrid-Substrate (z.B. 100mm² mehrere 1000 US\$) so hoch, dass hier starke Bedenken bezüglich der Akzeptanz auf dem Markt bestehen.

Die unter Höchstdruck (>10kbar) aus Gallium - haltigen Lösungen gezüchteten Kristalle sind bezüglich ihrer Qualität nach wie vor die besten verfügbaren Substrate. Hier gilt es aber abzuwarten, ob diese Methode in eine reproduzierbare und wirtschaftliche Produktion überführt werden kann. Deutliche Fortschritte gab es in den letzten Jahren auch bei der Entwicklung von Lösungszüchtungsprozessen, die bei niedrigeren, technisch einfacher zu handhabenden Drücken stattfinden. Die beispielsweise unter Verwendung von Natrium als Flussmittel bei Drücken < 100bar gezüchteten Galliumnitridkristalle haben bereits eine sehr gute Qualität. Jedoch sind hier noch die Größe (einige mm) und die Reproduzierbarkeit limitierende Faktoren für einen industriellen Einsatz dieses Verfahren.

Die Sublimationsmethode ist ebenfalls eine potentiell geeignete Methode, um Nitridkristalle herzustellen. Dies belegen die jüngsten Ergebnisse, die zeigen, dass innerhalb weniger Stunden Aluminiumnitridkristalle mit 1" Durchmesser und einer Länge von mehreren mm bei Temperaturen über 2000°C und Drücken < 1bar hergestellt werden können.

Programm der Jahrestagung

Development of electronic and opto-electronic GaN-devices based on materials research,
Prof. Wagner, FhG IAF, Freiburg, Germany

Potential of GaN in opto-electronics,
Dr. Härle, Osram-OS, Regensburg, Germany

Potential of GaN in RF power electronics,
Dr. Duchemin, Thales, Orsay, France

Crystallization of bulk GaN under pressure,
Dr. Romanowski, Unipress, Warsaw, Poland

GaN bulk growth from Na- containing fluxes,
Prof. Yamane, Tohoku University, Sendai, Japan

Growth of Gallium Nitride single crystal boules by HVPE,
Dr. Brandes, ATMI, Danbury, USA
Sublimation growth of AlN bulk crystals,
Dr. Epelbaum, University Erlangen, Erlangen, Germany

Kinetics during growth of bulk GaN and AlN crystals by the sublimation technique,
Dr. Makarov, STR GmbH, Richmond, USA

Dislocations in III-Nitrides - analysis of properties and mechanisms,
Prof. Strunk, University Erlangen, Erlangen, Germany

From ELO templates to low dislocation density free standing GaN,
Prof. Gibart, Lumilog, Vallauris, France

Multi-wafer HVPE for producing freestanding substrates,
Prof. Heuken, Aixtron, Aachen, Germany

Technology and performance of GaN based Power HFETs,
Dr. Würfl, FBH, Berlin, Germany

Die Erlanger Nitridtage



Zuhörer der Jahrestagung im fast gefüllten Hörsaal.



Dr. Härle von OSRAM OS demonstriert eindrucksvoll der Helligkeit von Leuchtdioden.



Dr. Ernst stellt den Förderkreis Mikroelektronik vor, der die Jahrestagung des IISB gesponsert hat.



Prof. Yamane von der Tohoku Universität zeigt die Fortschritte bei der Züchtung von GaN aus Natrium Gallium haltigen Lösungsmitteln.



Prof. Müller, Kristalllabor, Prof. Heuken, Aixtron und Vorsitzender der DGKK, Prof. Wagner, FhG-IAF und Dr. Dieter, PT-DLR, diskutieren in der Kaffeepause.



Prof. Heuken, Aixtron, berichtet über die Herstellung von Quasisubstraten.



Round Table Discussion mit Dr. Härle (Osram), Dr. Blanck (UMS), Dr. Duchemin (Thales), Prof. Müller (Kristalllabor, Moderator), Dr. Brandes (ATMI), Dr. Gibart (Lumilog).



Nachsitzung bei fränkischen Spezialitäten.

Insgesamt besteht aber der Eindruck, dass die Herstellung von Nitridmassivkristallen noch einige Jahre eine große Herausforderung für die Wissenschaftler sein wird und es viele wissenschaftliche und technologische Hürden zu meistern gilt, bis die optimale Technologie und Prozessbedingungen für die industrielle Herstellung von Nitridmassivkristallen gefunden sind.

Forschungslandschaft Deutschland

Das Thema Massivkristalle (Lösungszüchtung, Sublimationszüchtung) und deren Charakterisierung wird in Erlangen sowohl am Fraunhofer Institut IISB als auch am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen intensiv verfolgt. Bedauerlicherweise gibt es zur Zeit keine größeren Aktivitäten in Deutschland auf dem Gebiet der Quasisubstratherstellung mittels HVPE.

Eine zentrale Rolle bei der Bauelementeprozessierung und -technologie von Nitridschichten auf Saphir und Siliziumkarbidsubstraten kommt sowohl dem Fraunhofer Institut IAF in Freiburg als auch dem Ferdinand Braun Institut in Berlin zu. Hier ist die Infrastruktur für den gesamten Bauelementeprozess vorhanden, so dass Bauelemente in einem fast industriellen Umfeld gefertigt werden können. An der RWTH Aachen und am FZ Jülich wird mit großem Erfolg untersucht, inwieweit leistungsfähige Nitridbauelemente auf Siliziumsubstraten hergestellt werden können. Darüber hinaus wird an mehreren Universitäten wie z.B. Ulm, Stuttgart, München, Magdeburg, Paderborn, Braunschweig, Bremen, Berlin, Gießen, Ilmenau usw. intensiv an der Weiterentwicklung von nitridbasierten Bauelementen und deren Prozessierung und Charakterisierung geforscht.

Ermöglicht werden diese FuE Aktivitäten zum einen durch das bmb+f im Rahmen der Forschungsprogramms IT 2006. Darüber hinaus unterstützen einige Bundesländer die Forschungsaktivitäten sowie auch die DFG im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1032 (Gruppe III-Nitride und ihre Heterostrukturen).

Ansprechpartner:

Dr. Jochen Friedrich
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Bereich Bauelementetechnologie
Schottkystraße 10
91058 Erlangen
Telefon 0 91 31 / 7 61-3 44
Fax 0 91 31 / 7 61-3 12
<http://www.kristallabor.de>



12th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials and Processes

Ein kurzer Bericht aus DGKK-Perspektive

A. Seidl, RWE Solar GmbH

Der alljährlich vom US-amerikanischen NREL (National Renewable Energy Laboratory) ausgerichtete Workshop fand vom 11. bis 14. August 2002 in Breckenridge, Colorado statt (Programm: www.nrel.gov/silicon_workshop).

Mit dem diesjährigen Thema "Fundamental R&D in c-Si: Enabling Progress in Solar-Electric Technology" konzentrierte man sich auf die Herstellung von Solarzellen aus kristallinem Silicium (c-Si), welches den weitaus größten Anteil an der

weltweiten Solarzellenproduktion hat. In den vergangenen Jahren wuchs die Produktion von PV (Photovoltaik)-Modulen mit jährlichen Steigerungsraten von ca. 20%; allein 2001 wurden Module für insgesamt ca. 400 MW Leistung produziert, davon allein 80% auf der Basis von c-Si (mono- und multikristallin, letzteres überwiegend und anteilig weiter zunehmend).

Auf dem Workshop wurden alle Themen von der Siliciumbereitstellung über Kristallzüchtung und Materialcharakterisierung bis hin zu Zellfertigung und Modulproduktion angesprochen, wobei die enge Verzahnung aller Verarbeitungsschritte deutlich wurde.

Der optimale Zellfertigungsprozess hängt mehr oder weniger stark von den elektrischen, strukturellen und mechanischen Eigenschaften der jeweiligen Wafer ab, welche je nach Herstellungsverfahren sehr unterschiedlich sein können.

Etwa 1/3 der über 100 Teilnehmer kamen von außerhalb der USA, die meisten aus Japan, Deutschland und den Niederlanden, also aus Staaten mit ausgeprägtem "öffentlichen Engagement" auf dem PV-Sektor.

Das "Einflußgebiet" der DGKK ist sowohl durch renommierte PV-Forschungseinrichtungen (z. B. FhG-ISE Freiburg, ISF Hameln, ZAE Erlangen etc.) als auch durch umfangreiche Investitionen von Firmen (Deutsche Solar GmbH, RWE Solar GmbH, Shell Solar) durchaus stark strukturiert. Die mit der Waferherstellung für die Photovoltaik verbundenen Thematiken aus Kristallzüchtung und Kristallisation (ganz egal ob "mono" oder "multi") kamen in den vergangenen Jahren in der DGKK allerdings kaum vor. Was ja nicht so bleiben muß. Im folgenden einige auf dem Workshop angesprochene Thematiken mit Bezug zur Kristallzüchtung.

Das FZ-Verfahren (Float Zone), gekennzeichnet durch hohe kristalline Perfektion bei geringstem Sauerstoffgehalt, liefert zwar die Solarzellen mit den höchsten Wirkungsgraden, spielt aber kaum eine kommerzielle Rolle, da viel zu teuer. Solarzellen aus diesem Material sind jedoch oft eine Art Vergleichsstandard.

Das Cz-Verfahren (Czochralski) ist das übliche Verfahren, wenn es um monokristallines PV-Silicium geht. Ein insbesondere mit diesem Material verbundener Effekt ist die lichtinduzierte Degradation von Solarzellen. Dieser bereits in den 70er Jahren entdeckte Effekt beginnt zunehmend eine Rolle zu spielen, seit die Wirkungsgrade kommerzieller, großflächiger, monokristalliner Solarzellen in den Bereich von 20 % kommen.

Unter Sonneneinstrahlung (die im Betrieb ja schlecht zu vermeiden ist) sinkt der Wirkungsgrad solcher Solarzellen um 10 % und mehr ab (also von z. B. 20 % auf 18 %). Diesen Effekt findet man so deutlich aber nur bei Bor-Dotierung (das ist die Standard-Grunddotierung des Wafers) und hohem Sauerstoffgehalt. Letzteres ist prozessbedingt typisch für Cz-Material (auch für die meisten Verfahren der gerichteten Blockerstarrung im multikristallinen Bereich). Ursache ist ein sich thermisch aktiviert bildender Bor-Sauerstoff-Komplex, der ein sehr effektives Rekombinationszentrum darstellt.

Das MCz-Verfahren (Magnetic Czochralski) vermindert durch den unterdrückten O-Transport zur Phasengrenze den O-Gehalt des Materials deutlich und verhindert somit den Degradationseffekt. Das Verfahren verteuert aber die ohnehin schon teuren Cz-Wafer noch mehr. Galliumdotierung anstelle von Bor verhindert den Effekt ebenfalls (Ga ist wegen seiner Größe ziemlich unbeweglich und führt nicht zu derartigen Komplexen). Der vergleichsweise geringe

Segregationskoeffizient von Gallium führt aber zu axial inhomogenen Kristallen, was ebenfalls unerwünscht ist. Daher gehen Anstrengungen in Richtung einer zumindest teilweisen Passivierung des Defekts während der Prozessierung.

Eine Art "schnelles" Cz-Verfahren ist die Cz-Züchtung von sogenanntem "trikristallinen" Silicium (TriSi). Dabei teilt sich der Querschnitt des wachsenden Kristalls auf in 3 "Tortenstücke" mit $\langle 110 \rangle$ -Orientierung, getrennt durch Zwillingsgrenzflächen. Die $\langle 110 \rangle$ -Orientierung ermöglicht vergleichsweise hohe Ziehgeschwindigkeiten. Das Material hat eine hohe Versetzungsdichte von 10^5 bis 10^7 cm^{-2} ; da sich aber wegen der speziellen Orientierung mehrere Gleitsysteme gegenseitig auslöschen, kommt es nicht zum völligen Verlust der Struktur wie es beim "normalen" Cz-Prozess der Fall wäre. Die Versetzungen neigen zur Ausbildung großflächiger Agglomerationen, so daß die EPD sehr inhomogen über den Wafer verteilt sein kann.

Ein interessantes Verfahren für die Erzeugung von multikristallinem PV-Silicium ist das HEM-Verfahren (Heat Exchange Method), ein Verfahren der gerichteten Erstarrung mit sehr hoher Wärmeabfuhr nach unten über eine gekühlte Tiegelwelle. Bei diesem und auch verwandten Verfahren mit langsamer, gerichteter Erstarrung wird an immer ausgefeilteren Erstarrungs- und Abkühlregimes gearbeitet, sehr stark unterstützt durch Simulationen von Wärmefluss und Gefügebildung.

Beim RGS-Verfahren (Ribbon Growth on Substrate) wird ein Siliciumfilm auf einem vorgeheizten Graphitträger erstarrt und anschließend abgenommen (also ähnlich wie in einer Creperie). Die Graphitträger laufen um und werden immer wieder neu beschichtet. Das Verfahren ist u. a. deshalb so interessant,

weil die "Durchsatzrichtung" (der Träger wird horizontal durch die Maschine gezogen) unabhängig ist von der Erstarrungsrichtung (senkrecht zum Träger, nur die Waferdicke).

Auf diese Weise können theoretisch extrem hohe Durchsätze erreicht werden. Das Verfahren wurde bereits vor Jahren bei Bayer entwickelt und wird derzeit am Energieforschungszentrum der Niederlande in Petten (ECN) weiter entwickelt und erprobt mit dem Ziel der Kommerzialisierung des Verfahrens.

Ein alle Hersteller bewegendes Problem ist die Frage nach der weiteren Silicium-Verfügbarkeit, schließlich sind fast alle Substratproduzenten gerade dabei, ihre Produktionskapazitäten zu vervielfachen. Es wird in Kürze eine große Menge Silicium ausreichender Reinheit speziell für Solaranwendungen hergestellt werden müssen. Hierzu wurden neben bewährten Verfahren (Abscheidung von Silan bzw. Trichlorsilan) auch innovativere Konzepte vorgestellt, z. B. über eine carbothermische Reduktion unter Verwendung höchstmöglich gereinigter Ausgangsprodukte (Quarz und Kohlenstoff).

In diesem Zusammenhang wurde auch deutlich, daß es ganz vom Züchtungsverfahren (und natürlich auch vom Solarzellenfertigungsprozess) abhängt, welchen Grad an (insbesondere metallischen) Verunreinigungen man sich leisten kann oder will. So kann man bei allen Verfahren mit gerichteter Erstarrung einer großen Schmelze (z. B. Czochralski oder Bridgman) die kleinen Verteilungskoeffizienten der metallischen Verunreinigungen zur Reinigung großer Kristallbereiche nutzen.

Cyberstar

SCIENTIFIC & INDUSTRIAL INSTRUMENTS

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

■ HIGH PRESSURE CZOCHRALSKI PULLER FEATURES

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

■ CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS OF ANY SIZE

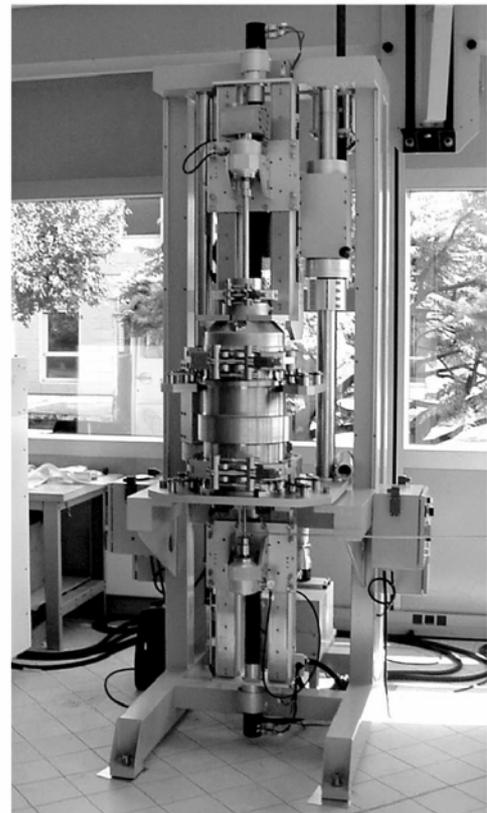
- Czochralski oxides pullers.
- Bridgman - Stockbarger furnaces.
- Mirror furnaces (Xenon, halogen, laser heatings).
- Crystal growth system (translation, rotation units, weighing device and Automatic Diameter Control software).

■ CATALOG OF PARTS FOR CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS

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

■ CUSTOMERS WORLDWIDE

USA, Europe, Asia.



Cyberstar

Call for more information

Parc Sud Galaxie - BP 344 - 38435 Echirolles cedex - France

Tel. 33 4 76 40 35 91 - Fax 33 4 76 40 39 26

E-mail: cyberstar@dial.oleane.com - Website: www.cyberstar.fr

Bei Nachchargierverfahren mit vergleichsweise sehr kleiner Schmelzzone wie den Bänderziehverfahren, z. B. dem kommerziell genutzten EFG-Verfahren (Edge Defined Film-Fed Growth) geht das nicht, so dass man hier mehr auf die Reinheit des Einsatzmaterials achten muss. Dafür haben diese Verfahren den Vorteil höchstmöglichen Materialumsatzes (kaum Schneideverluste).

Zuletzt noch einige grundlegende Erkenntnisse aus den Diskussionen.

Zum Thema der je nach Züchtungsprozess unterschiedlichen Wafereigenschaften:

"Up to now I thought silicon is silicon, but everybody is talking about something different."

Zum Thema, wieviel Verunreinigungen man sich leisten kann:

"If you have no lifetime problems, you are paying too much money for your feedstock."

Und schließlich noch zum Thema Bruchfestigkeit:

"Wafers never break, people break them."

BERICHTE AUSLÄNDISCHER SCHWESTERGESELLSCHAFTEN

Berichte Ausländischer Schwestergesellschaften

Die Hefte der GFCC von Mai und Oktober 2002

Die Hefte unserer französischen Schwestergesellschaft bestechen wieder einmal durch sehr schöne Überblicksartikel.

Im Mai-Heft widmet sich Philippe Nozières der rapide wachsenden Bedeutung der "Nanowissenschaften" und der Frage, welche Rolle dabei die Kristallzüchtung spielt. Herr Nozières zeigt die Faszination der "Nanophysik" mit ihren neuartigen Phänomenen auf und erläutert, warum die Eigenschaften eines Materialstücks sich grundlegend qualitativ ändern, wenn dessen Dimensionen hinreichend verkleinert werden. Es wird das raffinierte Instrumentarium beschrieben, welches zur Beobachtung, Charakterisierung und Beeinflussung von Nanostrukturen entwickelt wurde. Schließlich kommt dieser Artikel aber zum für die Kristallzüchtung versöhnlichen Schluss, daß hinsichtlich der Weiterentwicklung und Nutzung der Nanotechnologie der Beherrschung des Vorgangs zur Bildung kristalliner Oberflächen die entscheidende Bedeutung zukommt. Herr Nozières sieht hier eine Schlüsselrolle für die GFCC. In Nancy wird Herr Nozières zu dieser Thematik den Eröffnungsvortrag zur Konferenz halten, auf den wir uns schon freuen können.

In einem weiteren schönen Übersichtsartikel widmet sich Frau Maryline Guilloux-Viry der Abscheidung dünner Schichten durch Laserablation, beschreibt Entwicklung, Vor- und Nachteile des Verfahrens und zeigt auf, wo eine Verbesserung wünschenswert wäre.

Schließlich wird im Mai-Heft auch wieder eine Doktorarbeit vorgestellt. Es handelt sich um die Arbeit von Herrn Szkutnik zur Präparation geordneter Si(111)-Vizinflächen. Zu dieser Arbeit war auf der vorangegangenen gemeinsamen Konferenz FGCGM2001 bereits ein Posterbeitrag vorgestellt worden.

Der große Übersichtsartikel des Oktoberhefts stammt von Herrn Prof. Aubry aus Nancy, dem Gastgeber bei der kommenden gemeinsamen Jahrestagung. Der Artikel ist der Kristallisation biologischer Makromoleküle unter dem Einfluß

einen externen elektrischen Feldes gewidmet. Der Artikel enthält schöne Darstellungen experimenteller Anordnungen und ist sehr lesenswert.

In diesem Heft werden gleich drei Doktorarbeiten zu Themen der Materialentwicklung bzw. Kristallzüchtung präsentiert, die alle an der Universität d'Aix-Marseille angefertigt wurden. Die behandelten Themen sind die direkte Strukturierung elektronischer Bauelemente mittels Laser CVD (Didier Tonnau), die grundlegenden Mechanismen, die zur Umverteilung von Antimon während des Wachstums von Si/Si_{1-x}Ge_x-Heterostrukturen führen (Alain Portavoce) sowie die Beobachtung und Kontrolle der Keimbildung bei der Kristallisation pharmazeutischer Produkte (Laurent Lafferere).

Nach wie würde ich die in Frankreich offenbar erfolgreich etablierte Sitten, Dissertationen zur Kristallzüchtung den Fachkolleginnen und Kollegen über ein kleines Abstract im Mitteilungsblatt bekannt zu machen, gerne auch bei uns einbürgern. Vielleicht klappt es ja auch eines Tages.

Franz Ritter

Universität zu Köln - Institut für Kristallographie -

Im DFG-Graduiertenkolleg 549 – **Azentrische Kristalle** – ist für die zweite Förderperiode im Fach Kristallographie ab sofort eine

Doktorandenstelle

für zwei Jahre (mit der Option auf ein drittes Jahr) zu vergeben. Die Stelle ist mit einem Stipendium nach den Richtlinien der DFG für Graduiertenkollegs verbunden, das bei hervorragender Qualifikation erhöht werden kann.

Das Promotionsthema bezieht sich auf die Materialforschung an einkristallinen ferroelektrischen tetragonalen Wolframbronzen auf der Basis des Calcium-Barium-Niobats und beinhaltet die Einkristallzüchtung nach dem Czochralski-Verfahren, phasen- und thermoanalytische Untersuchungen sowie eine umfangreiche Materialcharakterisierung mit vorwiegend kristallphysikalischen Methoden.

Weitere Informationen, auch zu anderen Schwerpunkten des Graduiertenkollegs sind auf der Homepage

www.kristallographie.uni-koeln.de/grakol/index.html

enthalten.

Voraussetzung für die Aufnahme in das Graduiertenkolleg sind ein überdurchschnittlicher Abschluss in einem der Studiengänge Mineralogie, Physik, Chemie oder in einem anderen materialwissenschaftlich orientierten Studiengang sowie ein besonderes Interesse am Thema des Graduiertenkollegs. Bewerber(innen) mit einschlägigen Erfahrungen werden bevorzugt.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen sind zu richten an:

Prof. Dr. Manfred Mühlberg
Institut für Kristallographie der Universität zu Köln
Zülpicher Str. 49 b
50674 Köln
Tel. 0221/470-4420; Fax: 0221/470-4963
e-mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

TERMINE UND ANKÜNDIGUNGEN

Arbeitskreise, Adressen und Termine

Arbeitskreis

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

Nächstes Treffen bei Redaktionsschluß noch nicht bekannt.

Kontakt über
Prof. Dr. G. Müller
Kristall-Labor
Institut für Werkstoffwissenschaften VI
Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstr. 7
91058 Erlangen
Tel.: 09131/852 7636
Fax: 8495
E-mail: georgmueller@ww.uni-erlangen.de

Arbeitskreis

„Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen“

Nächstes Treffen vermutlich Anfang Oktober 2003 in Karlsruhe

Kontakt über
Dr. Günter Behr
IFW Dresden
Tel.: 0351/4659 404
Fax.: 480
E-Mail: behr@ifw-dresden.de

Arbeitskreis

„Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik“

Nächstes Treffen in Köln, vermutlich wieder im Frühherbst. Genauer Termin wird noch 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: 4963
E-mail: manfred.muehlberg@uni-koeln.de

Arbeitskreis

„II-VI – Halbleiter“

Termin für nächstes Treffen nicht bekannt

Kontakt über

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

Arbeitskreis

„Epitaxie von III-V-Halbleitern“

Nächstes Treffen am 12.12. und 13.12.02 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Kontakt über

Prof. Dr. A. Krost,
Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg
Alois.Krost@physik.uni-magdeburg.de



**INTERNATIONAL SESSION OF 50th
ANNIVERSARY OF THE EXPIRY OF
PROF. JAN CZOCHRALSKI
(1953 ÷ 2003)**



**TORUŃ and KCYNIA
April 26÷27, 2003**

The international meeting is organized to prof. Jan Czochralski memory, who has permanent position as a „father” of crystal growth method, Cz-method.

The scope of the meeting includes one day scientific session in Toruń (**April 26, Saturday**) and the second day devoted to prof. Jan Czochralski life in Kcynia (**April 27, Sunday**).

The scientific session in Toruń will be organized at Nicholas Copernicus University and includes all aspects of Czochralski method used to growth semiconductors (silicon, III-V), oxides and fluorides single crystals. The invited lectures and poster session are predicted.

The meeting is widely open to everybody who is interested in single crystals.



The more informations will be on the PTWK internet page:
Informations: www.ptwk.org.pl

Arbeitskreis

„Kinetik“

Nächstes Treffen 17.02.2003 - 18.02.2003 in Duisburg.

Kontakt über

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

Arbeitskreis

"Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung"

Nächstes Treffen April 2004. Bekanntgabe von Ort und
genauem Termin über die Internet-Seiten der DGKK.

Kontakt über

Dr. Albrecht Seidl
RWE Schott Solar GmbH
Industriestr. 13
63755 Alzenau, Germany
Tel: 49 (0)6023 91-1406
Fax: 49 (0)6023 91-1700
E-mail: albrecht.seidl@rwechottsolar.com

Tagungskalender

20 - 27 January 2003

Int. School on Crystal Growth of Technologically
Important Electronic Materials (ISCGTIEM)
in Mysore, India
www.semiconductors.co.uk/iscg-tiem/

17 - 18 February 2003

DGKK-AK "Kinetik"
in Duisburg, Germany
www.dgkk.de

10 - 13 March 2003

Second French-German Crystal Growth Meeting
(incl. DGKK-Jahrestagung)
in Nancy, France
www.lcm3b.u-nancy.fr/FGCGM2003
www.dgkk.de

20 - 22 March 2003

1st Int. Symposium on Point Defect and
Nonstoichiometry
in Sendai, Japan
www.material.tohoku.ac.jp/~denko/ispn2003.htm

24 - 26 March 2003

Modelling for Electromagnetic Process (MEP)
in Hannover, Germany
www.etp.uni-hannover.de/mep

21 - 25 April 2003

MRS Spring Meeting
in San Francisco, CA, USA
www.mrs.org/meetings/spring2003/

26 - 27 April 2003

Int. Forum on Czochralski Crystal Growth
in Torun and Kcynia, Poland
contact: Prof. A. Pajaczkowska
E-mail: pajacz_a@sp.itme.edu.pl

12 - 16 May 2003

International Conference on Indium Phosphide
and Related Materials (IPRM)
Santa Barbara, CA, United States
Contact: D. Bliss
david.bliss@hanscom.af.mil

19 - 22 May 2003

GaAs Mantech
Scottsdale, AZ, USA

ANNOUNCEMENT

International School on Crystal Growth of Technologically Important Electronic Materials (ISCGTIEM)

January 20 – 27, 2003, Mysore, India

Website: www.semiconductors.co.uk/iscg-tiem/

The International School on Crystal Growth of Technologically Important Electronic Materials (ISCGTIEM) will be held at the University of Mysore, Mysore, India, with the International participation during January 20-27.

The scope ISCGTIEM will be on the Progress in Science and Technology of Crystal Growth and Characterization, particularly of Electronic Materials. The school focuses on the relations between fundamental and applied crystal growth fields. The lecturers treat the subject as both introductory and applied giving the state of the art developments in crystal growth. Hence, no specialist's knowledge is necessary at the start. Because the school is aimed at both the beginner and experienced crystal growers, since the lecturers will introduce the historical flavour followed by the significant recent developments.

The main objective of this international school is to bring young crystal growers from the India and other 3rd world countries working on this fascinating and technologically important field and to train and expose them to the latest developments in crystal growth world wide through lectures by the most eminent crystal growers drawn from different countries.

The topics covered in ISCGTIEM are - Theory of Crystal Growth, Nucleation, Introduction, History; Fundamentals of Crystal Growth with examples: Snow Crystals, Protein Crystals, Biological Crystals; Various Techniques of Growing Crystals: Solution, Melt, Vapour, Growth of Simple Crystals, Solubility Studies; Modeling and Computer Simulation of the Crystal Growth Processes; Rapid Growth of Crystals from Solutions; Growth of Semiconductor Crystals; Growth of Opto-electronic Crystals; Growth of Non-Linear Optical Crystals – Organic and Inorganic; Crystal Growth under Microgravity; Characterization of Single Crystal Defects using various Modern Techniques.

Mysore is the most famous tourist center in India known for its Brindavan Gardens, Royal Palace, Chamundi Hill, Bird's Sanctuary, Jaganmohana Art Gallery, Sirangapattana – once capital of Mysore, Bandipur and Nagarahole National Forests, historical places like Belur, Halebeedu, and Shravanabelagala, etc.,. The University of Mysore is one of the oldest Universities in India.

For more details contact :

Prof.K. Byrappa
Chairman, ISCGTIEM

University of Mysore, DOS in Geology

P.B. No.21, Manasagangotri, Mysore – 570 006, India

Email: kbyrappa@rediffmail.com

byrappak@yahoo.com

25 - 30 May 2003

The Fifth Int. Conf. on Nitride Semiconductors (ICNS-5)
in Nara, Japan
<http://icns5.chem.tuat.ac.jp/>

01 - 06 Jun 2003

Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)
Baltimore, MD, USA

10 - 13 June 2003

E-MRS 2003 Spring Meeting
in Strasbourg, France
www-emrs.c-strasbourg.fr

25 - 28 June 2003

Int. Nano Ceramics/Crystals Forum and Int. Symposium on Intermetals
in Seoul, South Korea
chair. Prof. Auh, e-mail: ncf@hanyang.ac.kr

20 - 24 July 2003

ACCGE-15
15th American Conf. on Crystal Growth and Epitaxy
in Keystone, Colorado, USA
<http://www.crystalgrowth.org/conferences>

20 - 24 July 2003

3rd Int. Symp. on Nonlinear Optical Crystals (joint with ACCGE-15)
in Keystone, Colorado, USA
R. Feigelson, E-mail: feigel@soe.stanford.edu
<http://www.crystalgrowth.org/conferences>

22 - 26 September 2003

Fifth Int. Conf. On Single Crystal Growth and Heat Mass Transfer
in Obninsk, Russia
www.icsc.narod.ru

05 - 07 November 2003

4th Int. Workshop on Modeling in Crystal Growth
in Fukuoka, Japan
Prof. N. Imaishi, Prof. K. Kakimoto
e-mail : imaishi@cm.kyushu-u.ac.jp

09 - 13 December 2003

Int. School on Crystal Growth and Characterization in Rocha, Uruguay
Contact: Dr.Laura Fornaro
E-mail: lfornaro@fq.edu.uy

01 - 07 August 2004

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

09 - 13 August 2004

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

15 - 20 August 2004

3rd Int. Workshop on Crystal Growth Technology
contact: H.J. Scheel and T. Fukuda
E-mail: hans.scheel@bluewin.ch

DIE INSERENTEN DIESES HEFTS

Heraeus.....	2
Edelmetalle für Labor und Industrie	
Netzsch.....	7
Thermoanalytische Geräte höchster Präzision	
TBL-Kelpin.....	11
Der Nachfolger des Kristallhandel-Kelpin, mehr als 25 Jahre Erfahrung in Kristall-Handel und Technologie	
Engelhard-CIal.....	16
Spezialist für Edelmetalle, mit seinen Laborgeräten den Kristallzüchtern seit langem bekannt.	
Wafer Technology.....	18
MaTeck.....	21
Die Material-Technologie und Kristalle GmbH Kompetenz in Kristallherstellung und -Präparation	
Hüttinger-Elektronik GmbH.....	23
Der Spezialist für Induktionserwärmung und Plasmatechnologie	
Cyberstar.....	34
Seit langem bekannt als Hersteller hochentwickelter Kristallzüchtungsanlagen	
Linn High Therm GmbH.....	4.Umschlagseite, S.44

Liebe Inserenten:

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

Adresse hierfür: Dr. F. Ritter,

Robert Mayer-Str. 2-4

60054 Frankfurt am Main

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

Liebe Leser:

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

Schmunzeleck

Angebote und Anforderungen in Stellenanzeigen – und was sie wirklich bedeuten:

Wir zahlen ein wettbewerbsfähiges Gehalt –
Wir bleiben wettbewerbsfähig, indem wir Ihnen weniger als unsere Wettbewerber zahlen.

Stoßen Sie zu unserer schnellen Truppe –
Wir haben keine Zeit, Sie einzuarbeiten.

Wir pflegen eine informelle Arbeitsatmosphäre –
Wir zahlen Ihnen nicht genug, damit Sie sich ansprechend einkleiden können.

Sie sollten an termingerechtem Arbeiten orientiert sein -
An Ihrem ersten Arbeitstag sind Sie schon 6 Monate über dem Zeitplan.

Flexibilität bei der Arbeit ist für Sie kein Problem -
Überstunden jede Nacht und jedes Wochenende.

Ihre Pflichten variieren –
Jeder im Büro kann Sie herumkommandieren.

Sie sollten ein Auge für's Detail haben –
Wir haben keine Qualitätskontrolle.

Wir suchen Kandidaten mit großer Erfahrungsbereitschaft
Sie müssen 3 Leute ersetzen, die gerade gegangen sind.

Problemlösungsfähigkeit ist ein Muss –
Sie steigen bei einer Firma ein, bei der ständiges Chaos herrscht.

Führungsfähigkeit erforderlich –
Sie haben Vorgesetztenverantwortung ohne entsprechende Bezahlung und Beachtung.

Gute Kommunikationsfähigkeit erwünscht –
Die Firmenleitung kommuniziert, Sie hören zu, finden heraus was Sie will und tun es.

Sie sind karriereorientiert –
Weibliche Angestellte müssen kinderlos sein (und es bleiben).

Czochralskiballade

Die Schmelze ruht mit glattem Spiegel
flüssig und heiß im edlen Tiegel.
Ein Keimkristall, ohne Defekt,
hängt über ihr, lang ausgestreckt
und fühlt sich mit perfektem Gitter
so stolz und edel als ein Ritter.
Doch immer, wenn er niederguckt,
fühlt er von Liebe sich durchzuckt.
Der Schmelze Spiegel, still und klar,
den findet er so wunderbar.
Bereits als sanfter Pulverhügel
gefiel sie ihm schon garnicht übel.
Doch als ihr Schmelzen er gesehn,
war's um den Grundzustand gescheh'n.
Beim Puls akustischer Phononen,
in den erregten Elektronen,
ja in den höchsten Orbitalen
fühlet er der Liebe Qualen.
Nur, hoffnungslos ist sein Verlangen,
der Züchter läßt ihn grausam hangen
in seiner Liebe Schmerz.
Doch so ein Keim hat auch ein Herz,
und auf magnettelepatischen Wellen
wagt er's, die bange Frage zu stellen:
"Holde Schmelze, Dich mag ich leiden!
Sag'mal, wie wär's denn mit uns beiden?"
Dann wartet er voll Ungeduld
auf eine Antwort, die voll Huld.
Doch auf denselben Ätherwegen
scholl ihm kein liebes Wort entgegen.
Den Keim indessen kümmert's nicht,
daß nicht zu ihm die Schmelze spricht.
Das Wallen ihrer Konvektion
genügt für ihn als Antwort schon.
Erlegt sie aus in seinem Sinn
und schmilzt zu der Geliebten hin.
Als Brautgeschenk vom Haltestab
nimmt tropfend er ein Teil hinab
und stürzt sich in die holde Flut,
daß weithin spritzt die helle Glut.
So hat er einen Weg gefunden
mit dem der Abstand über wunden,
welchen der Züchter mit Bedacht
zur Schmelze hielt für angebracht.
Der Keim schmolz hin, vor Liebe heiß,
der Züchter schrie: "Verdammt Sch... (Mist)!"

Th Berthold

REGISTER BEREITS ERSCHIENENER ARTIKEL

Beschreibung von Kristallzuchtungsstandorten

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

Züchtungsverfahren, Züchtungsprojekte

Flüssigphasenelektroepitaxie	55
Liquid Encapsulated Cz.-Grown Semi-Insulating GaAs, Quality Status	54
Vertical Bridgman and Gradient Freeze Growth of III-V-Compound Semiconductors	53
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
Siliziumgranulat für das EFG-Verfahren	72
Kristallzuchtung unter reduzierten Schwerkraftbedingungen	49
Kristallzuchtung mit der Skull-Schmelz-Technik	67
Kristallzuchtung von SrPrGaO ₄	70
Kristallwachstum Biologischer Makromoleküle	73

Charakterisierung, mikroskopische Untersuchungen, Grundlagen

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

Technisches

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

Historisches

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

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	J. Friedrich Fraunhofer Institut IIS-B, Erlangen Tel.: 09131/761 -344 Fax.: -312 E-Mail: jochen.friedrich@iis-b-fhg.de
Mitteilungen der DGKK, Stellenangebote, Stellengesuche	A. Lüdge IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3076 Fax.: -3003 E-Mail: luedge@ikz-berlin.de
Mitteilungen von Schwestergesellschaften	F. Ritter Anschrift siehe oben
Tagungskalender	P. Rudolph IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3034 Fax.: -3003 E-Mail: rudolph@ikz-berlin.de
Schmunzelecke	R. Diehl IAF Freiburg Tel.: 0761/5159 -416 Fax.: -400
Anzeigenwerbung	M. Mühlberg, Anschrift siehe rechte Spalte
Internet-Redaktion	
Redaktionsleitung	H. Walcher Fraunhofer Institut für angewandte Festkörperphysik Tullastrasse 72 79108 Freiburg Tel.: 0761/5159-347 oder 597 Fax: -219 E-Mail: Walcher@iaf.fhg.de
Gestaltung der WEB-site	S. Bergmann IKZ-Berlin Tel.: 030/6392 -3093 Fax.: -3003 E-Mail: bergma@ikz-berlin.de WWW: http://www.ikz-berlin.de

Hinweise für Beiträge**Redaktionsschluß MB 77:
15. Mai 2003**

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

Besten Dank
Die Redaktion

Vorstand der DGKK**Vorsitzender**

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

Stellvertretender Vorsitzender

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

Schriftführerin

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

Schatzmeister

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

Beisitzer

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

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

Dr. Albrecht Seidl
RWE Schott Solar GmbH
Industriestr. 13
63755 Alzenau, Germany
Tel: 49 (0)6023 91-1406
Fax: 49 (0)6023 91-1700
E-mail: albrecht.seidl@rweschottsolar.com

BANKVERBINDUNGEN

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

DGKK – STICHWORTLISTE

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

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

LEADERSHIP THROUGH TECHNOLOGY



Crystal growing system

for the production of flawless SiC monocrystals for the High-Performance electronics, high-temperature electronics, and optical electronics industries. It executes precisely defined process-conditions (temperature field, gas atmosphere) to grow 2" 4H and 6H SiC mono crystals in a gas phase. The system is composed of an induction heated central graphite reactor, a high-stability current supply (medium frequency generator 10 kHz), a unit for process automation, and a PC interface for monitoring and programming. Tmax 2300 °C.



Induction heating

High frequency solid state generators
for soldering, melting or levitation melting.
HF-Output power 1,5 - 12 kW.
Operating frequency up to 400 kHz.
Medium frequency generators MFG
up to 100 kW. 1 - 20 kHz.



Tube furnace

for horizontal crystal drawing processes. Bridgman-process and zone-melting under protective gas / high vacuum. Adjustable 2 - 200 mm/h. One or multi zone. Tmax 1750 °C.



High temperature graphite Vac - Gas furnace

for materials research. Separate inner and outer chambers with individual gas options. Ar, N₂, H₂ and vacuum up to 10⁻⁴ mbar. 2100 / 1950 °C working temperature with gasanalyser.

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