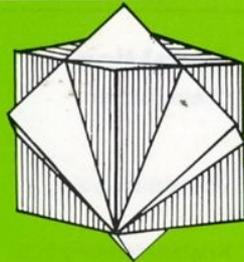
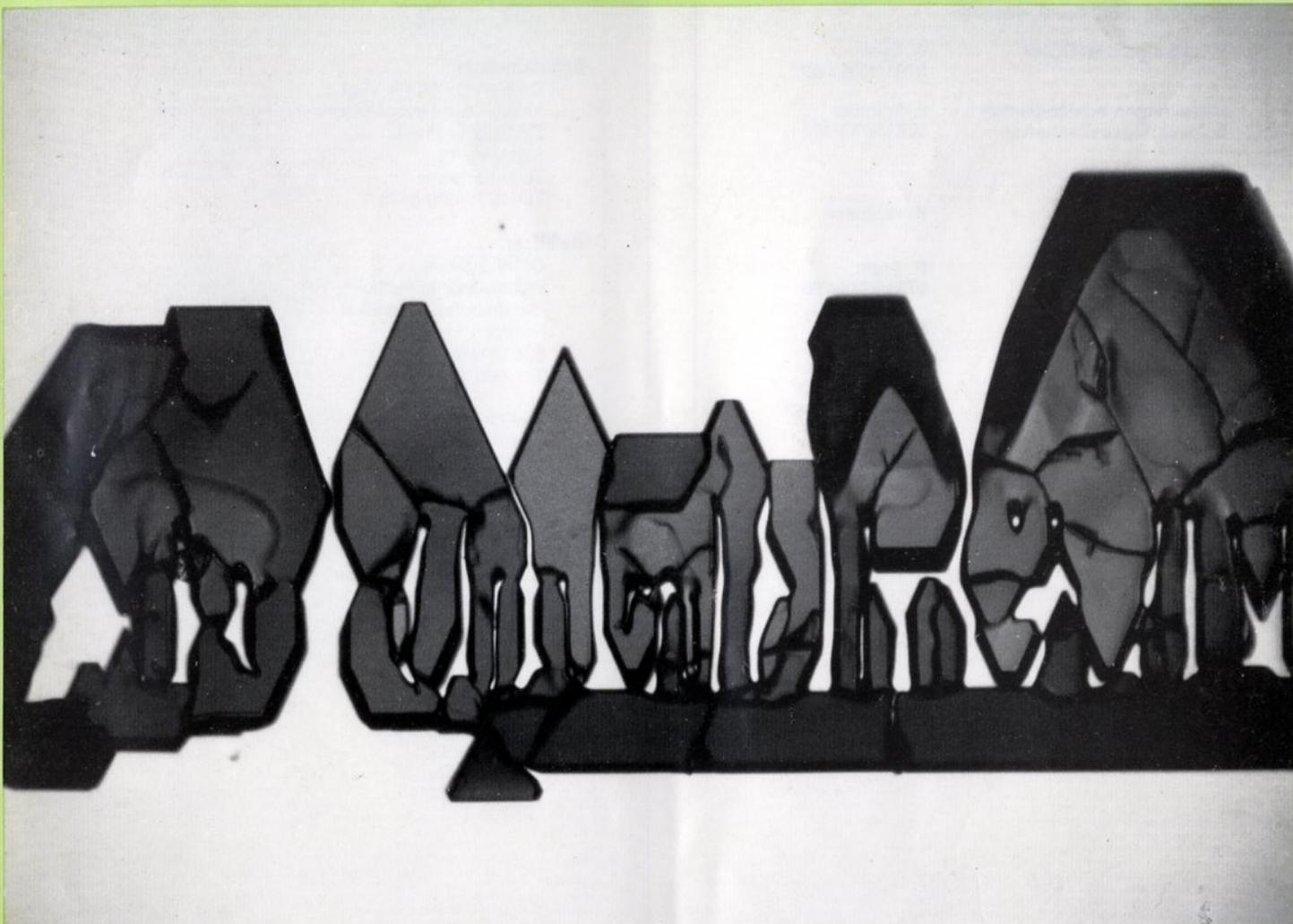


EINGEGANGEN
11. JAN. 1990

Mitteilungsblatt
Nr. 50 / Dezember 1989



Deutsche Gesellschaft
für Kristallwachstum und
Kristallzüchtung e. V.



Inhalt

Mitteilungen der DGKK3
 Museumsreife Kristallzüchtung7
 Kristallzüchtung in D:
 Kristalllabor Univ. Frankfurt9
 Kristalllabor Univ. Erlangen11

Tagungsberichte21
 Schmunzelecke30
 Tagungskalender31
 Mitteilungen anderer Gesellschaften32
 Personalien33

Redaktion

Chefredakteur	G. Müller 09131/85-7636 -7633 -7504 fax
Übersichtsartikel	F. Wallrafen 0228/732961
Kristallzüchtung in D	H. Walcher 0761/2714-370 H.-J. Sell 09131/857757
Tagungsberichte	D. Mateika 040/5493-553
Aktivitäten von und für junge Kristallwissenschaftler	C. Sussieck-Fornefeld 06221/56-2806
Mediothek	
Stellenangebote und -gesuche	
Mitteilungen der DGKK	A. Eyer 0761/40164-62
Mitteilungen ausländischer Schwestergesellschaften	J. Schmitz 0761/2714-370
Tagungskalender	
DGKK-Chronik	F. Wallrafen
Bücherecke	R. Diehl 0761/2714-286 H.-J. Sell
Schmunzelecke	R. Diehl
Anzeigenwerbung	G. Müller - Vogt 0721/608-3470

Vorstand der DGKK (ab 1990)**Vorsitzender**

Prof. Dr. H. Wenzl
Institut für Festkörperforschung der KFA
Postfach 1913
5170 Jülich 1
Tel. 02461/61-6664

Stellvertretender Vorsitzender

Prof. Dr. W. Tolksdorf
Philips GmbH Forschungslaboratorium
Vogt-Kölln-Str. 30
2000 Hamburg 54
Tel. 040/54931-548

Schriftführer

Dr. H. Walcher
Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik
Eckerstr. 4
7800 Freiburg
Tel. 0761/2714-370

Schatzmeister

Dr. German Müller-Vogt
Kristall- und Materiallabor der
Fakultät für Physik
Kaiserstr. 12
7500 Karlsruhe
Tel. 0721/608-3470

Beisitzer

Dr. W. Aßmus
Physikalisches Institut
der Universität Frankfurt
Postfach 11 19 32
6000 Frankfurt/M. 11
Tel. 069/798-3144

Dipl.-Phys. P. Speier
SEL-Forschungszentrum
ZT-FZWO
Lorenzstr. 10
7000 Stuttgart 40
Tel. 0711/821-5837

Dipl.-Geol. F. Strohmeier
Chemetal GmbH
Reuterweg 14
6000 Frankfurt/M. 1
Tel. 069/159-3072

SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG

bollmann druck GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 3
8502 Zirndorf bei Nürnberg

TITELBILD:

"Medieval Street"
Homoeptaxial sublimation growth of crystals of the "black"
modification of the organic donor : acceptor complex biphenylene :
pyromellitic-dianhydride ($C_{20}H_8 : C_{10}H_2O_6$). Bildbreite: 3mm.
Dieses Bild wurde in dem Wettbewerb für wissenschaftliche
Photographien, anlässlich der ICCG 9 in Sendai, prämiert.
Kristallzüchter und Preisträger: Prof. Norbert Karl, Phys. Inst.
Universität Stuttgart.

Editorial

Liebe Leser,

Mitteilungsblatt Nr. 50 — ein schönes Jubiläum für die DGKK und auch für die Redaktion. Das Mitteilungsblatt Nr. 1 erschien vor fast genau 20 Jahren, im August 1970, als einseitiges Rundschreiben des damaligen Vorsitzenden, Herrn Prof. Dr. Haus-sühl. Der Inhalt bestand aus der Einladung zur Mitgliederversammlung, die — damals etwas vornehmer als heute — im Palace Hotel in München abgehalten wurde, und der vorgesehenen Tagesordnung — an deren Inhalt sich bis heute kaum etwas geändert hat.

Heute können wir uns freuen über das Erscheinen dieser Jubiläumsausgabe. Und ich meine, wir dürfen auch ein bißchen stolz darauf sein, daß sich aus einem Blatt mit Mitteilungen der DGKK durch das Engagement unserer ehemaligen langjährigen Schrift-führer Armin Räuber und Roland Diehl sowie dem Redaktions-team in den letzten Jahren eine beachtete Zeitschrift entwickelt hat. Die gelegentlich von Schriftleitern anderer Gesellschaften geäußerte Bewunderung für die Fülle von Beiträgen möchte ich gern an unsere Mitglieder weitergeben und Sie bitten, in Zukunft meinen Nachfolger Franz Wallrafen genauso zu unterstützen und ihm die Arbeit zu erleichtern.

Die fünfzigste Ausgabe kommt übrigens nicht wegen des Jubi-läums etwas später, sondern weil die Unterlagen der nächsten DGKK-Jahrestagung in Frankfurt noch beigelegt werden sollten. Ich hoffe, daß sie noch so zeitig erscheint, daß meine guten Wünsche an Sie für ein frohes Weihnachtsfest und ein erfolgrei-ches Jahr rechtzeitig bei Ihnen eintreffen.

Ihr Georg Müller

Mitteilungen der DGKK

Bericht des Vorstands über die Jahre 1986 — 1989

Zusammensetzung des Vorstands

Vorsitzender
Prof. Dr. Klaus-W. Benz

Stellvertretender Vorsitzender
Dr. Ulrich Wiese

Schriftführer
Dr. Achim Eyer

Schatzmeister
Dr. German Müller-Vogt

Beisitzer
Dr. Roland Diehl
Dr. Georg Müller 1986/87
Dr. Cornelia Sussiek-Fornefeld
Dipl. Phys. Peter Speier 1988/89

Unsere Gesellschaft, die 1971 gegründet und beim Amtsgericht Köln eingetragen wurde, hat sich bis 1989 zu einer beachtlichen Größe entwickelt. Sie hat derzeit etwa 450 Mitglieder aus Industrie, Hochschule und Forschungsinstituten. Weit über die Hälfte der Mitglieder sind Physiker, Kristallographen und Mineralogen; ein weiteres Drittel etwa sind Chemiker und Ingenieure. Knapp 10 % der Mitglieder kommen aus dem meist europäischen Ausland.

Der Vorstand hat in seiner Amtszeit sehr wesentlich die wissenschaftliche Attraktivität unserer Gesellschaft weiterentwickelt. Hierzu zählen insbesondere der Ausbau der Fachsymposien, die Etablierung verschiedener Arbeitskreise sowie die Durchführung gemeinsamer

Tagungen und Symposien mit europäischen Partnergesellschaften. Im einzelnen wurden folgende Veranstaltungen durchgeführt bzw. mitorganisiert:

1. DGKK-Fachsymposien

- "Herstellung und Charakterisierung von massiven III-V Halbleiterkristallen", Erlangen, 17./18.3.1986
- "Oxidkristalle", Osnabrück, 17./18.3.1987
- "II-VI Halbleiter", Karlsruhe, März 1988
- In Zusammenarbeit mit der "Groupe Française de Croissance Cristalline" (GFCC):
"Photovoltaische Materialien", Badenweiler, 2. - 4.11.1988 (dieses Symposium soll in 2jährigem Abstand weitergeführt werden).

2. Internationale Tagungen bzw. Symposien

- 1. European Workshop on MOVPE, Aachen, 29.3. - 1.4.1987
- Gemeinsame Jahrestagung AICC/DGKK, Parma, 3. - 5.4.1989
- IV. International Conference on II-VI compounds, Berlin, 17. - 22.9.1989

3. Arbeitskreise

- "Epitaxie von III-V-Halbleitern". Dieser Arbeitskreis, der jeweils einmal jährlich Ende November stattfindet, erfreut sich zunehmender Beliebtheit, was an den jährlich steigenden Teilnehmerzahlen zu erkennen ist (ca. 80 - 100). Folgende Veranstaltungen wurden bisher durchgeführt:

24.11. und 25.11.1986 SEL-Forschungszentrum, Stuttgart

20.11. und 1.12.1987 Forschungsinstitut der Deutschen Bundes-

post am Fernmeldetechnischen Zentralamt, Darmstadt

28.11. und 29.11.1987 Firma Siemens, München

27.11. und 28.11.1989 RWTH, Aachen

— "Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs und InP-Kristallen". Diese Veranstaltung wurde halbjährlich im März (Beginn: 26. und 27.3.1987) und Oktober vom Institut für Werkstoffwissenschaften VI der Universität Erlangen-Nürnberg sowie von der Firma Siemens, Erlangen, erfolgreich durchgeführt.

Weitere Arbeitskreise, wie z. B. "II-VI-Halbleiter" und "Oxidkristalle" haben als Fachsymposien begonnen und sollen weitergeführt werden.

Im Bereich der Nachwuchsförderung wurde am 4.5.1987 ein Lehrerfortbildungsseminar "Kristallzüchtung an Schulen" zusammen mit dem Oberschulamt Freiburg durchgeführt. Im Rahmen einer Projektwoche am Schiller-Gymnasium Hannover (25. - 30.4.1987) wurde das Projekt "Kristallzüchtung, die Grundlage aller zukunftsweisenden

Werkstoffprobleme" angeboten. Die Veranstaltung wurde von den Schülern mit besonders starkem Interesse aufgenommen.

Eine Broschüre "Die Kristallzüchter als Materialwissenschaftler" (Arbeitskreis "Nachwuchsförderung") soll auf unsere Fachgebiete aufmerksam machen und speziell Studenten ausführlich über die Ausbildung und die Arbeitsmöglichkeiten informieren. Die Broschüre ist in Arbeit und soll demnächst verteilt werden.

Die DGKK hat in jüngster Zeit ihre Beziehungen zum Fachausschuß "Kristallisation" der Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) im VDI weiter ausgebaut. Auf einer Arbeitssitzung in Lüneburg (März 1989) wurde K. W. Benz als Nachfolger von Prof. Lacmann zum Stellvertretenden Obmann gewählt. K. W. Benz wurde außerdem in Sendai (ICCG9) für weitere 3 Jahre in das Executive-Committee der IOCG gewählt.

Der neu eingeführte Preis der DGKK wurde im Jahre 1986 in Erlangen an Frau Dr. E. Bauser und 1989 in Parma an Herrn Dr. D. Mateika überreicht.

K. W. Benz

Vorstellung des neuen Vorstandes

Liebe Mitglieder,

in der letzten Jahreshauptversammlung der DGKK kam der Gedanke auf, man könne doch eine Vorstellung neuer Vorstandsmitglieder in das Mitteilungsblatt aufnehmen. Hier sind sie also, die neuen Mitglieder des DGKK-Vorstandes:

Vorsitzender
Helmut Wenzl,

geboren 1934 in Auschwitz (Egerland), promovierte an der TH München der Festkörperkalorimetrie. Er ist seit 1971 in der Kernforschungsanlage Jülich und leitet dort das Institut für Festkörperforschung. Dortige Forschungsthemen sind Kristallzüchtung (Czochralski-, Bridgmanverfahren), Züchtung hochperfekter Metall- und Legierungskristalle (Cu, Ni, Al), Kristalle aus intermetallischen Verbindungen (Ni₃Al, TiFe), magnetische Halbleiterkristalle (EuO, EuS, EuTe), metallische und halbleitende Metallhydride (NbH, CeH₂), Halbleiter (Ge, Si, GaAs), Modellierung von Wärmetransport und Defekt-Thermochemie bei der Kristallzucht. Er hat eine Universitätsprofessur am Institut für Experimentalphysik der RWTH Aachen und hält Vorlesungen über spezielle Probleme bei der Kristallzüchtung.



Stellvertretender Vorsitzender
Wolfgang Tolksdorf,

geboren 1932 in Wiesbaden, promovierte 1961 in anorganischer Chemie an der J.-W.-Goethe-Universität. 1962 trat er in das Philips Forschungslaboratorium in Hamburg ein und arbeitet seitdem auf dem Gebiet ferrimagnetischer Oxide. Seit 1968 leitet er die Forschungsgruppe Materialtechnologie. Sein besonderes wissenschaftliches Interesse gilt der Herstellung und Charakterisierung von Einkristallen und Epitaxieschichten von Oxiden mit Granatstruktur und hexagonalen Ferriten.

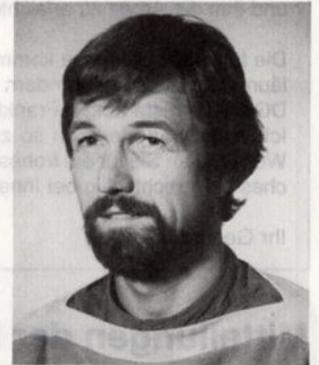
Seit 1972 hält er regelmäßig Vorlesungen an der Universität Hamburg und habilitierte 1976 für das Fach "Angewandte Mineralogie". 1979 erfolgte die Ernennung zum Professor durch den Senat der Freien und Hansestadt Hamburg.



Schriftführer

Herbert Walcher,

geboren 1949 in Mochenwangen, studierte Mineralogie-Kristallographie in Freiburg und promovierte 1982 über die Kristallzüchtung von CdTe unter Mikrogravitationsbedingungen. Seit 1982 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg beschäftigt, wo er an der Kristallzüchtung von HgCdTe arbeitet.



Beisitzer

Wolf Abmus,

geboren 1944 in Göttingen, studierte und promovierte in Festkörperphysik auf dem Gebiet der Elektron-Spin-Resonanz. Seit 1975 arbeitet er im Kristall- und Materialentwicklungslabor des Physikalischen Institutes der Universität Frankfurt. Die Arbeitsgebiete umfassen intermetallische Verbindungen, hochschmelzende Oxide, Fluoride, Hoch-T_c-Systeme, Strukturbildung und Materialcharakterisierung.



Frauke Strohmeier

Dem Studium der Geologie und Mineralogie an der Universität Frankfurt folgte 1983 die Anstellung bei der Firma Chemetal GmbH in Frankfurt. Ihre Arbeitsgebiete lagen im Bereich der chemischen Aufbereitung von Erzen und Erzkonzentraten. Anschließend war sie bei der Entwicklung einer Kristallziehanlage beteiligt und beschäftigte sich mit der Kristallzüchtung von GaAs. Seit 1988 arbeitet sie an der Charakterisierung von Epitaxieschichten, die im Hause hergestellt werden.



Peter Speier,

geboren 1958 in Freiburg, studierte Physik mit Schwerpunkt Halbleiter- und Laserphysik an der Universität Stuttgart. Er ist seit 1983 am SEL-Forschungszentrum in Stuttgart beschäftigt und arbeitet dort auf dem Gebiet der Epitaxie von III-V-Halbleitern auf InP-Substraten für die optische Nachrichtentechnik. Ab Anfang 1987 leitete er die Gruppe MOVPE im Bereich "Optoelektronische Komponenten". Mitte 1989 wurde er mit der Leitung des Bereichs "Epitaxie" am SEL-Alcatel-Forschungszentrum in Stuttgart betraut.

**DGKK-Veranstaltungen im März**

am Physikalischen Institut der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt, Robert-Mayer-Str. 2 - 4, 6000 Frankfurt

Fachsymposium "Hochtemperatur-Supraleiter"
5. - 7. März 1990**Arbeitskreis "Oxide"**

Treffen für alle Interessenten
7. März 1990, 12.00 Uhr

DGKK-Jahrestagung

7. - 9. März 1990
(Details siehe Beilage)

Nachruf**Prof. Dr. Hans-Jürgen Meyer †**

Am 14. September 1989 verstarb in Bonn unser langjähriges Mitglied, Prof. Dr. Hans-Jürgen Meyer, im Alter von 61 Jahren.

Geboren 1927 in Hamburg-Altona verbrachte er seine Schulzeit in Hamburg und Bayreuth und begann nach der Reifeprüfung 1946 mit dem Chemie-Studium an der Philosophisch-Theologischen Hochschule in Bamberg. 1949 wechselte er zur Technischen Hochschule in Darmstadt und schloß dort am 16.7.1953 das Chemiestudium mit dem Diplom-Examen ab.

In Darmstadt lernte er den Mineralogen und Kristallographen Prof. Dr. A. Neuhaus kennen, dem er nach dessen Berufung nach Bonn folgte, um sich der Mineralogie zu widmen.

Hier hat Herr Meyer dann am 2.8.1956 promoviert und sich am 30.5.1962 habilitiert. Nach mehrjähriger Assistentenzeit wurde er am 3.4.1964 zum Dozenten, am 12.5.1966 zum apl. Professor, am 7.6.1967 zum Wissenschaftlichen Rat und Professor und am 1.1.1980 zum Universitätsprofessor (C3) ernannt.

Durch sein Studium hat Herr Meyer eine ungewöhnlich gute physiko-chemische Ausbildung erhalten, zugleich aber auch die allgemeine Kristallographie und die moderne Strukturlehre gepflegt. Seine wissenschaftlichen Interessen und Arbeitsrichtungen lagen deshalb auch auf dem Gebiet der physikalisch-chemischen Kristallographie.

Seine Habilitationsschrift über den Vaterit, eine CaCO_3 -Modifikation, ist sowohl experimentell wie mineralsystematisch von besonderer Bedeutung. Es ist Herrn Meyer gelungen, Kristallite des Vaterits herzustellen, eine Strukturanalyse dieser Kristallite durchzuführen und damit die Existenz des Vaterits als eigene CaCO_3 -Modifikation zu sichern und die Zugehörigkeit zur Bastnäsit-Strukturgruppe nachzuweisen.

Ein zweiter Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Tätigkeit lag auf dem Gebiet der Hochdruck-Hochtemperatur-Synthesen, insbesondere von LiAl-Silikaten. Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben sich in mehreren von ihm betreuten Dissertationen niederschlagen.

In den letzten Jahrzehnten konzentrierten sich seine Arbeiten schließlich auf theoretische und experimentelle Untersuchungen der molekularen Prozesse beim Kristallwachstum, speziell von Alkalihalogeniden. Hier hat Herr Meyer, zusammen mit vielen Mitarbeitern, grundlegende Ergebnisse und Erkenntnisse erzielt und internationalen Ruf erworben. Die Sonderdrucke seiner letzten umfangreichen Veröffentlichung über kürzlich abgeschlossene Untersuchungsergebnisse erreichten ihn nicht mehr. Sie liefen einen Tag vor seinem Ableben ein.

Herr Meyer war ein erfolgreicher Hochschullehrer. Er betreute 15 Diplom- und Doktorarbeiten, veröffentlichte über 25 umfangreiche Publikationen, war Mitglied zahlreicher Fachvereinigungen und stand in engem wissenschaftlichen Kontakt mit zahlreichen Kollegen der Fakultät sowie des In- und Auslandes.

Wir verlieren mit Prof. Meyer einen hervorragenden Wissenschaftler, einen hilfsbereiten und geschätzten Kollegen, einen sorgenden Diplom- und Doktorvater und einen hochgeachteten Menschen mit ausgeprägtem Gerechtigkeitsinn.

In Trauer nehmen wir von ihm Abschied.

K. Recker

Prof. Recker in Ruhestand

Mit Ende des SS 1989 wurde Prof. Recker in den Ruhestand versetzt. Aus Anlaß der Vollendung seines 65. Lebensjahres wurde am 22. Juni 1989 im Mineralogischen Institut ein Kolloquium veranstaltet, auf dem der DGKK-Vorsitzende K. Benz den Festvortrag vor ca. 100 Gästen über "Kristallzüchtung unter reduzierten Schwerkraftbedingungen" hielt. Ein anschließender Empfang im Stucksaal des Poppelsdorfer Schlosses rundete diese festliche Veranstaltung ab. Hervorzuheben ist, daß viele Schüler und ehemalige Kollegen auch weite Anreisen an diesem Tag nicht gescheut haben, um den Jubilar zu ehren. Die weiteste Anreise hatte ein Gast aus Toulouse.

Die Grundlage der wissenschaftlichen Laufbahn von Prof. Recker bildeten das Studium der Physik in Aachen - durch Militärdienstzeit und Kriegsgefangenschaft von 1943 bis 1946 unterbrochen - und ein weiterführendes Studium in den Fächern Physik, Chemie und Mathematik in Bonn. Nach Ablegen des Staatsexamens in Chemie und

Mathematik wurde eine Dissertation über "Das anomale Mischsystem Natriumfluorid-Natriumdiuranat" begonnen und gleichzeitig das Studium der Mineralogie und Kristallographie in Angriff genommen. Nach der Promotion 1956 begann er mit dem Auf- und Ausbau der Abteilung für Kristallzüchtung und habilitierte sich im Jahre 1963 für das Fachgebiet Kristallographie-Mineralogie.

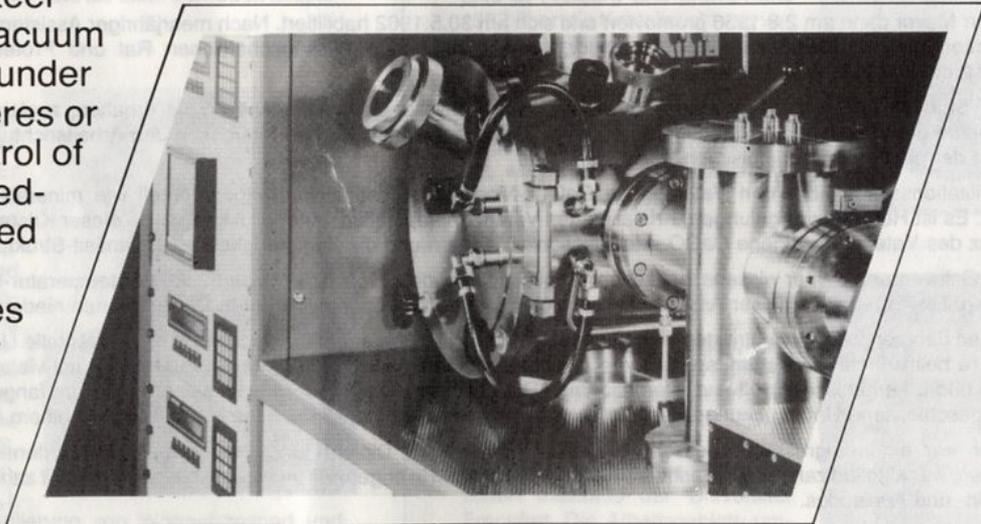
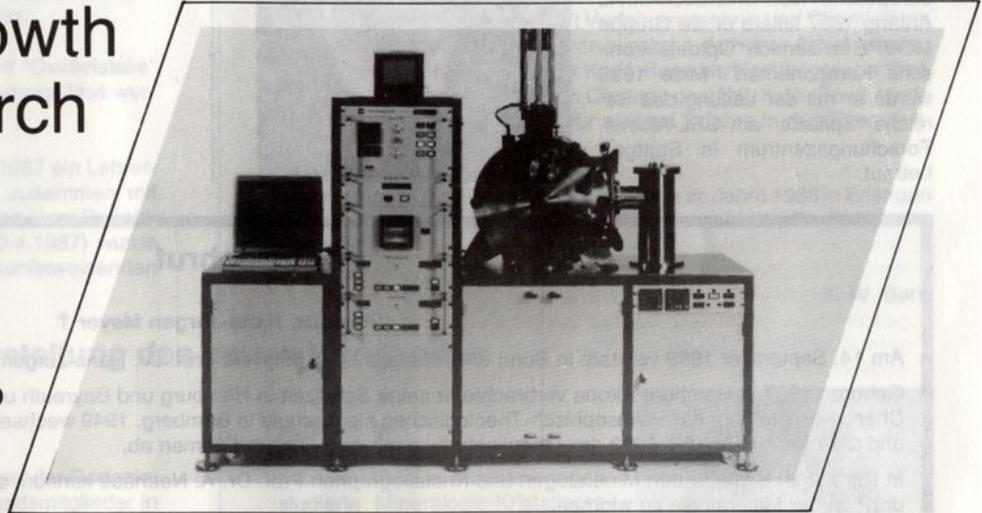
Eine besondere Vorliebe hatte er für die Lehre, die sich in einem beachtlichen Spektrum und einer großen Vielfalt äußerte (spezielle Mineralogie, Kristalloptik, Kristallwachstum und -züchtung, Absorptions-, Lumineszenz- und Infrarotspektroskopie, Edelsteinkunde sowie ein Spezialangebot für Exkursionen auf dem Gebiet der "Angewandten Mineralogie"). Sogar noch heute hält er per Lehrauftrag Vorlesungen und Übungen, um u. a. den Lehrbedarf, der durch zwei Pensionierungen und den Tod von Prof. Meyer entstanden ist, abzudecken.

Automatic CZ growth for optical materials ...

Single crystal growth system for research and industry

The Crystalox ADC/CGS – a versatile computer-controlled Czochralski system designed with a high degree of flexibility to enable the growth of a variety of materials.

A sealed stainless steel chamber and high vacuum facility allow growth under controlled atmospheres or vacuum. Digital control of the process after seed-on minimises the need for skilled operator attention and ensures dimensional stability and run-to-run reproducibility.



- High-quality crystal growth technology
- Digital automatic diameter control
- Comprehensive process control
- Closed-loop control from seed-on to tail-off
- Adaptable for various materials
- Crystal sizes up to 75 mm diameter
- Consistent reproducibility increases your yield and reduces your costs.

**Want to know more about growing with Crystalox?
Call or write today.**



CRYSTALOX

U.K.
Crystalox Limited,
1 Limborough Road,
Wantage,
Oxfordshire, OX12 9AJ.
Tel: (235)-770044.
Fax: (235)-770111.
Telex: 838851.

U.S.A.
Crystalox Limited,
100 Brush Creek Road,
Suite 101, Santa Rosa,
California 95404-2709.
Tel: (707) 539 2508.
Fax: (707) 539 4808.
Telex: 988443.



Professor Recker beim Festkolloquium

Die Kristallzüchtung hat er im Institut im Laufe seiner Tätigkeit schwerpunktmäßig ausgebaut. Zur Blütezeit vor ca. 15 Jahren war die Abteilung für Kristallzüchtung mit 20 Mitarbeitern die größte

Arbeitsgruppe im Institut. Das Spektrum der Substanzgruppen in der Kristallzüchtung war breit:

- Alkali- und Erdalkalihalogenuide nach unterschiedlichen Synthesemethoden sowie die Untersuchung von Farbe, Lumineszenz und das Einbauverhalten von Dotierstoffen,
- II-VI-Halbleiter durch Dampfphasenzüchtung und chemische Transportreaktionen,
- nicht-linear optische Materialien für elektrooptische und akustooptische Anwendungen,

um nur einige Gruppen des Materialspektrums zu nennen.

Als Ergebnis seiner Forschungstätigkeiten liegen mehr als 150 Publikationen vor. Ebenfalls zu erwähnen ist die Kooperation mit vielen Kollegen im In- und Ausland, wo er häufig als Gast in wissenschaftlichen Einrichtungen begrüßt werden konnte.

Ferner war er einer der Mitbegründer der DGKK, Vorstandsmitglied von 1969 bis 1974 und von 1974 bis 1977 1. Vorsitzender der Gesellschaft.

Die DGKK wünscht einen gesunden und wohlverdienten Ruhestand. Daß er sich nicht so ohne weiteres zur Ruhe setzen wird, weiß der Verfasser. Die weitere Betreuung von Diplomanden und Doktoranden sowie sein Angebot an Spezialvorlesungen für die Studenten wird ihn sicher noch eine Weile zu den "Aktiven" gehören lassen. Sein Rat, der von uns immer geschätzt wird, ist uns sehr willkommen.

F. Wallrafen

Museumsreife Kristallzüchtung

Für Kristallzüchter ist ja "High-Tech" ein vertrauter, häufig gebrauchter Begriff, aber die jährlich 1,5 Millionen Besucher des Deutschen Museums in München erwarten dort eigentlich nicht Chips, sondern Herrn Faraday im Käfig, die historische Schachanlage oder nostalgische Dampflokomotiven. Aber schon bei der Modelleisenbahn entdeckt der neugierige Zuschauer Hinweise auf "High-Tech", nämlich bei der elektronischen Steuerung der Anlage, und spätestens in der Abteilung "Mikroelektronik" findet er seine Gegenwart im Schaukasten wieder.

Im Mai 1989 wurde diese neue, von Forschung und Industrie unterstützte Abteilung eröffnet, die dem Laien die ganze Bandbreite einer Basis- und Zukunftstechnologie verständlich macht, in der schon heute 3,5 Millionen Menschen beschäftigt sind. Die vor ca. zwei Jahren unter Mitarbeit eines Beirats der DGKK (Leitung: Dr. Jacob) aufgebaute Abteilung "Kristallzüchtung" ist - äußerlich im Design etwas umgestaltet und an die neue Ausstellung angepaßt, inhaltlich im wesentlichen kaum verändert - in die neue Sammlung integriert. Auf diese Weise erhält die Kristallzüchtung im Deutschen Museum nun erst das Gewicht, das sie als Ausgangsbasis für die Mikroelektronik tatsächlich längst hat.

Die 450 Exponate der in ihrer Art weltweit einzigartigen Dauerausstellung repräsentieren einen Wert von über einer Million Mark. Für einen Kristallzüchter, der sich von einem 1,5 m hohen Silicium-Einkristall nicht erschüttern läßt, ist dennoch die rasante Entwicklung in den

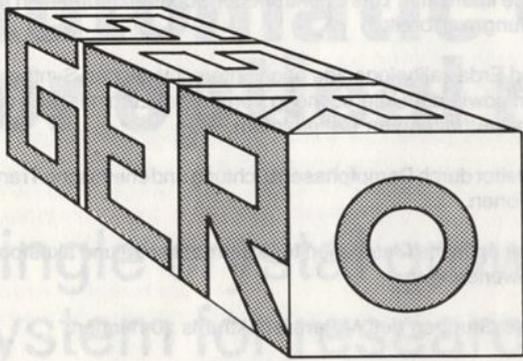
letzten 30 Jahren sehr beeindruckend, wenn sie auf so kleinem Raum im Zusammenhang dokumentiert wird. Neben wirtschaftspolitischen - Bayern hat die Nase vorn - und forschungspolitischen Erfolgen - die deutsche Spacelab-Mission 1985 - werden auch die Prozeßschritte dargestellt, die für Chips notwendig sind.

Elektronenröhre und Transistor als Vorgeschichte der Integrierten Schaltung beleuchten den historischen Aspekt; zu den Höhepunkten der Abteilung gehören ein Silicium-Radiotransistor aus dem Jahr 1955 und ein Modell der ersten "Integrierten Schaltung" von 1958, mit der das sogenannte "Silicium-Zeitalter" begann.

Der heutige Einsatz der Chips, die längst nicht nur Daten speichern, sondern auch in Mikroprozessoren und Sensoren unglaubliche Dienste tun, reicht von Haushaltsgeräten über Unterhaltungselektronik, Telekommunikation, Medizintechnik bis hin zu automatischen Fertigungsstraßen in der Industrie.

Den Laien dürften ein Sack mit 150 000 Transistoren, deren gesamte Leistung heute ein einziger zum Vergleich ausgestellter Chip erbringt, sowie ein leistungsstarker Miniroboter besonders beeindruckend. Der Fachmann wird mit leisem Stolz in der Stimme von seinen Beiträgen zu dieser Entwicklung sprechen und vielleicht doch etwas gerührt vom Hauch der Geschichte die Abteilung verlassen.

Hanne Müller

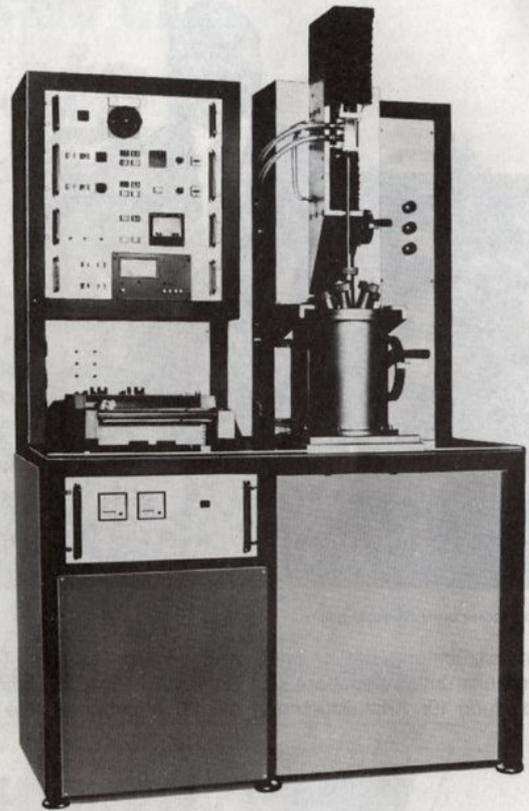


GERO Hochtemperaturöfen GmbH

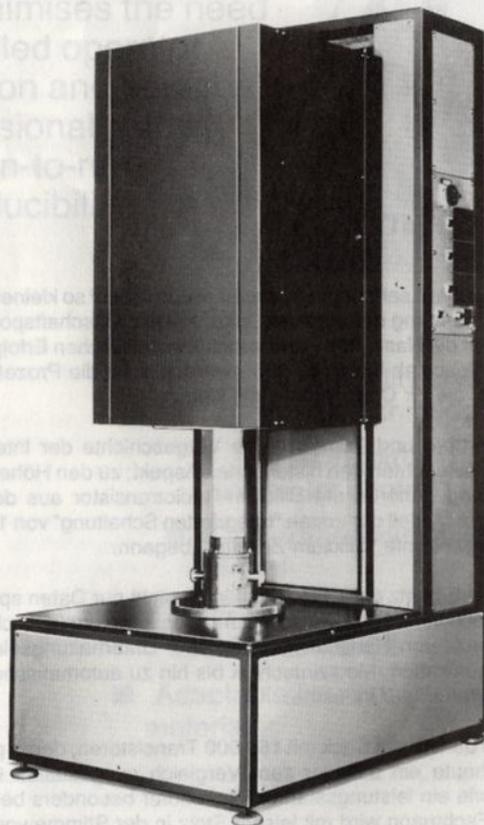
- Hochtemperaturöfen
- Anlagen zur thermischen Materialbehandlung und Kristallzucht
- Kristallzüchtungszubehör

GERO-Hochtemperaturöfen GmbH

Monbachstraße 7
D-7531 Neuhausen
Tel. 072 34/61 36
Telex 7 83 309 gero d



Labor-Czochralski Kristallziehanlage



Bridgman Kristallziehanlage

Lieferprogramm:

- Standard-Rohröfen bis 1100 °C
- Standard-Rohröfen bis 1300 °C
- Mehrzonen-Rohröfen bis 1100 °C bzw. 1300 °C
- Rohröfen ein- und mehrzonig bis 1700 °C
- Zehnzonen-Rohröfen bis 1300 °C für spezielle Temperaturprofile
- (z.B. für Epitaxie und Kristallzucht)
- SiC-Rohr- und Kammeröfen bis 1500 °C
- Kammer- und Tiegelöfen (auch mit pneumatischem Aushub) bis 1700 °C
- Pyrometer Kalibrieröfen bis 2300 °C
- Schutzgas- und Vakuumöfen bis 3000 °C
- Lichtbogenöfen und Schmelzanlagen
- Bewegungseinrichtungen für Öfen und Proben
- Zonenschmelzanlagen
- Kristallziehanlagen (Bridgman und Czochralski)
- Wärmerohre (heat pipes)
- Sonderöfen -und Anlagenbau
- Sämtliche Temperatur- und Motorregleinheiten
- X-Y-Schreiber (Ein- und Mehrkanal, auch mit Nullpunktunterdrückung)
- Diamantdrahtsägen zur Kristallpräparation

Kristall- und Materialentwicklungslabor des Physikalischen Instituts Universität Frankfurt

Das Kristall- und Materialentwicklungslabor entstand in der zweiten Hälfte der 60er Jahre aus dem Wunsch des Physikalischen Instituts der Frankfurter Universität und eines gerade gegründeten Sonderforschungsbereichs nach speziellen, vornehmlich einkristallinen Materialien für die Festkörperforschung, die kommerziell nicht erhältlich waren.

Die Herstellung von Proben im Auftrag anderer Arbeitsgruppen stellte in der Anfangszeit die Hauptaufgabe des hierfür eingerichteten "Kristall-Labors" dar und bildete auch die Grundlage für dessen Finanzierung. Inzwischen hat sich das Labor aus der Erfüllung dieser reinen Servicefunktion weitgehend "freigeschwommen" und kann heute das Arbeitsprogramm zu einem großen Teil nach den eigenen Forschungsinteressen ausrichten.

Diese gelten entsprechend der engen Verzahnung mit anderen in der Festkörperphysik arbeitenden Gruppen zu einem Teil den physikalischen Eigenschaften der synthetisierten Materialien, so daß sich das Kristall-Labor heute auch als Materialforschungslabor begreift. Das Hauptinteresse gilt nach wie vor der Herstellung von Einkristallen, wobei sowohl an hierfür grundlegenden Fragen des Kristallwachstums als auch an der Entwicklung und Verbesserung technischer Verfahren zur Einkristallzüchtung gearbeitet wird. Gliedert man nach den hergestellten Materialien, so ergeben sich die folgenden Arbeitsfelder:

Breiten Raum nimmt die Herstellung von Einkristallen intermetallischer Selten-Erd-Verbindungen ein. Die Motivation für die Beschäftigung mit dieser Materialklasse besteht in interessanten kollektiven Leitungsmechanismen, die zum Auftreten der sogenannten "schweren Fermionen" führen. Solche elektronisch hochkorrelierte metallische Materialien sind das Arbeitsgebiet eines Sonderforschungsbereiches, an dem die Hochschulen in Frankfurt, Darmstadt und Mainz beteiligt sind.

Da die meisten binären Systeme mit Ce inzwischen bereits intensiv untersucht sind, konzentrieren sich die Bemühungen zur Kristallzüchtung zur Zeit vor allem auf die elektronisch verwandten binären Yb-Systeme sowie die ternären Systeme mit Ce und Yb. Die Yb-Systeme sind im Vergleich zu den Ce-Systemen vor allem deshalb noch Neuland, da der hohe Dampfdruck der Yb-Komponente bei der Kristallzüchtung große Probleme bereitet. Unter den ternären Ce-Systemen hat sich das System Ce-Cu-Si wegen der ungewöhnlichen Eigenschaften der festen Phase CeCu_2Si_2 als besonders interessant erwiesen. Neben den Erscheinungen, die mit dem Auftreten der schweren Fermionen verbunden sind, findet hier außerdem noch trotz eines paramagnetischen Moments des Ce bei tiefen Temperaturen der Übergang zur Supraleitung statt.

Die Züchtung der Einkristalle erfolgt bei den genannten Systemen nach Methoden der Schmelzzüchtung. Das Problem der Wahl des Tiegelwerkstoffes stellt sich hier in ganz besonderer Weise, da einerseits das Ce stark mit den meisten in Frage kommenden Werkstoffen reagiert und andererseits sehr hohe Anforderungen an die Reinheit der Einkristalle gestellt werden. Daher wird im Frankfurter Kristall-Labor in diesem Projektbereich so weit wie möglich tiegelfreie Czochralski-Züchtung aus elektromagnetisch levitierten Schmelzen im Kaltschmelztiegel betrieben. Gegenwärtig wird an der Weiterentwicklung dieses Züchtungsverfahrens durch Kombination mit horizontalem Zonenschmelzen gearbeitet. Das Ziel ist, bei inkongruent erstarrenden Schmelzen oder Materialien mit hohem Dampfdruck zu einer verbesserten Wachstumskontrolle zu kommen. Bei CeCu_2Si_2 hat dieses kombinierte Verfahren bereits zu entscheidenden Verbesserungen geführt, so daß von diesem Material erstmals würfelförmige Einkristalle mit einer Kantenlänge von über einem Millimeter gewonnen werden konnten.

Ein hoher Dampfdruck führt bei Verwendung des Kaltschmelztiegels während der Züchtung zu großen Materialverlusten der entsprechenden Komponente und damit zu ungünstigen Konzentrationsverschiebungen. Daher wird versucht, alternative Methoden der Schmelzzü-

chtung für die Kristallzüchtung nutzbar zu machen, bei denen Heizung und Levitation voneinander entkoppelt sind und sich so bessere Möglichkeiten zur Einstellung eines Sättigungsdampfdrucks ergeben.

Da das Frankfurter Materialentwicklungslabor schon seit langer Zeit auf dem Gebiet der supraleitenden intermetallischen Verbindungen tätig ist, wurde auch die Züchtung von Einkristallen oxidischer Hoch- T_c -Supraleiter sogleich nach Entdeckung dieser Materialien in das Forschungsprogramm aufgenommen. Wegen der hier allgemein bekannten Problematik des Tiegelmaterials steht auch in diesem Bereich die Entwicklung tiegelfreier oder zumindest quasi-tiegelfreier Züchtungsmethoden im Vordergrund der Bemühungen. Einkristalle wurden bisher gezüchtet von La_2CuO_4 , $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, den Bi-Systemen sowie dem nicht supraleitenden La_2NiO_4 als Referenz-Material zu La_2CuO_4 .

Ein quasi-tiegelfreies Schmelzverfahren, welches im Frankfurter Labor sehr intensiv zur Kristallzüchtung aus hochschmelzenden oxidischen Systemen, aber auch ganz allgemein zur Präparation hochreiner Schmelzen genutzt wird, ist die Skull-Technik. Hier ergeben sich gute Anwendungsmöglichkeiten in der industriellen Materialentwicklung und -präparation, so daß die Arbeitsgruppe im Rahmen von Kooperationen intensiv an der Übertragung der im Labor gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen auf den Entwurf entsprechender industrieller Anlagen und Arbeitsabläufe mitwirkt. Mit besonderem Erfolg konnte die Skull-Technologie bisher angewandt werden bei ZrO_2 mit verschiedenen Dotierungen und Stabilisierungszusätzen, MgO sowie Fe_2SiO_4 .

Auch die Czochralski-Züchtung von oxidischen Materialien gehört zum Arbeitsprogramm der Frankfurter Gruppe. Hier interessiert bisher in erster Linie $\text{Ba}_0.5\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ (BNN) wegen seiner günstigen nichtlinear-optischen Eigenschaften, vor allem aber wegen des ungewöhnlichen Verhaltens der elektrischen Leitfähigkeit, die in Einkristallen aus diesem Material beobachtet werden kann. Bei der Wachstumssteuerung bereitet BNN große Probleme. Dieses Material war für das Kristall-Labor daher der Anlaß, sich eingehend mit modernen Methoden der automatischen Durchmesser-Kontrolle und Prozeß-Regelung zu befassen.

Ähnlich wie bei BNN werden auch bei der "Blauen Bronze" ($\text{K}_{0.3}\text{MoO}_3$) ungewöhnliche Effekte bei der elektrischen Leitung beobachtet, die hier mit der Entstehung von Ladungsdichtewellen bei tiefen Temperaturen zusammenhängen und für die Arbeitsgruppe einen Anlaß zur Züchtung von Einkristallen aus diesem Material darstellen. Die Züchtung erfolgt nach der Methode der Elektrokristallisation. Darin liegt aus Sicht des Frankfurter Labors ein besonderer Reiz, da dort diese isotherme Züchtungsmethode bislang nicht heimisch war, in ihr aber ein beträchtliches Potential vermutet wird.

Seit langem wird in Frankfurt auf dem Gebiet der Kristallzüchtung von Fluoriden gearbeitet. Diese Substanzgruppe ist sehr empfindlich gegenüber Sauerstoff und OH-Verunreinigungen, die Trübungen verursachen. Um Kristalle guter Qualität zu züchten, wurde eine Monel-Czochralski-Anlage aufgebaut, die das Arbeiten mit HF- und F_2 -Gas erlaubt. So konnte eine Reihe von Fluorid-Einkristallen (spez. Selten-Erd-Hexafluoride) gezüchtet werden, die für Anwendungen in der Laserspektroskopie geeignet waren.

Ein allgemeines, nicht materialspezifisches Forschungsvorhaben ist die experimentelle Untersuchung der Ausbildung charakteristischer morphologischer Strukturen der Wachstumsfront während der gerichteten Erstarrung. Solche Strukturbildungsvorgänge wurden bisher besonders ausführlich von metallurgischer Seite her studiert und konnten für flache Schichten niedrigschmelzender, transparenter Modellsubstanzen mit Hilfe einer zuerst von Jackson(1) beschriebenen Meßzelle in zahlreichen Labors auch in situ beobachtet werden. In der Frankfurter Kristallzüchtungs-Gruppe soll neben der Fortsetzung der Untersuchungen an solchen Modellsubstanzen diese klassische Versuchsanordnung so ausgebaut werden, daß auch die Kristallisation realer, vom Standpunkt der Einkristallzüchtung oder Materialentwicklung interessanter Schmelzen der direkten Beobachtung zugänglich wird. Dies erfordert die Entwicklung neuer Meßzellen, die höheren Temperaturen standhalten und von den Schmelzen nicht angegriffen werden.

Angestrebt wird dadurch einerseits eine bessere Vergleichbarkeit dieser Beobachtungen mit den in der Literatur vorliegenden Analysen von Gußteilen metallischer Legierungen und den Ergebnissen der Experimente zur Einkristall-Züchtung, die im Frankfurter Kristall-Labor durchgeführt werden.

Neben den Vorteilen, die sich dadurch für die Untersuchung der Strukturbildung bieten, könnten so die Modellexperimente zur Messung der von der jeweiligen Schmelze abhängigen kritischen Kombinationen von Parametern eingesetzt werden, bei denen es zu Instabilitäten des Erstarrungsvorganges kommt. Letztlich wird so ein Beitrag zur Vermeidung der als Wachstumsstreifen bekannten Kristallinhomogenitäten erwartet.

Zur Materialcharakterisierung verwendet die Arbeitsgruppe entsprechend der Zugehörigkeit zum Physikalischen Institut vornehmlich physikalische Methoden.

Die Untersuchung von Morphologie und Homogenität der hergestellten Proben erfolgt meist mit Methoden der Mikroskopie. Der Arbeitsgruppe stehen hierzu neben optischen Mikroskopen ein Raster-Elektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenanalyse und ein Ultraschall-Mikroskop zur Verfügung.

Mit der Laue-Technik werden Größe und Orientierung der einkristallinen Bereiche bestimmt. Ein Röntgen-Pulver-Diffraktometer mit einer Hochtemperaturkammer ermöglicht die Phasenanalyse und Gitterkonstantenbestimmung im Temperaturbereich zwischen 100 K und 3000 K.

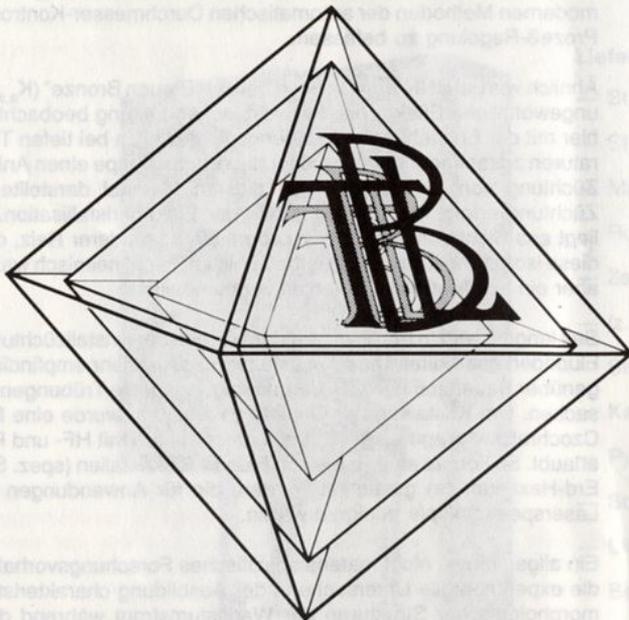
Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung erfolgt mit einem Sequenz-Röntgenspektrometer über die Analyse der nach Probenanregung ausgesandten Röntgen-Fluoreszenz-Strahlung.

Bei den Materialentwicklungsvorhaben der hier beschriebenen Arbeitsgruppe geht es zunehmend um komplizierte und noch weitgehend unerforschte Mehrstoffsysteme. Daher wird die Bestimmung von Phasendiagrammen immer mehr zu einer der Hauptaufgaben der Probencharakterisierung. Hierzu war die Ausstattung des Frankfurter Materialentwicklungslabors bislang noch ungenügend. Die oben beschriebenen Untersuchungsmethoden erlauben zwar eine weitgehende Charakterisierung fester Phasen bei vorgegebenen Werten der thermodynamischen Zustandsgrößen, es fehlte jedoch noch eine geeignete Möglichkeit zur Bestimmung der Lage der Stabilitätsgrenzen für die einzelnen Phasen auf der Temperaturskala.

Entscheidende Verbesserungen der Charakterisierungsmöglichkeiten erwartet die Kristallzüchtungsgruppe daher von der Verfügbarkeit einer DSC-TG Thermoanalyse-Apparatur, deren Anschaffung noch in diesem Jahr vorgesehen ist. Die in der Thermoanalyse gegebene Möglichkeit zur Bestimmung der Dynamik von Phasenumwandlungen soll das Aufsuchen kongruent schmelzender Zusammensetzungen erleichtern. Die Fähigkeit der Apparatur zur simultanen Thermo-gravimetrie soll beispielsweise bei den Hoch-T_c-Supraleitern zur genaueren Kontrolle von Beladungsvorgängen genutzt werden.

(1) K. A. Jackson, J. D. Hunt, Acta Metall. 13 (1965) 1212

F. Ritter



Einkristalle für Forschung und Industrie

Unsere Schwerpunkte sind:

- **Einkristall-Züchtung**
nach Czochralski-, Bridgman-, Zonenschmelzverfahren, aus der Gasphase (besonders II-VI-Photo-Halbleiter), durch chemischen Transport etc.
- **Auftragsforschung und Beratung**
Züchtung nicht kommerzieller Materialien, Verfahrensentwicklung, Dokumentation (Film, Video).
- **Kristallpräparation**
Orientieren, Sägen, Polieren, Funkenerosion, Orientieren auf ± 10 – 15 Minuten, Gammastrahl-Diffraktometrie.

Bitte fordern Sie unsere Lagerliste an; rufen Sie uns an, wir informieren Sie über unser Produktions- und Lieferprogramm.

Dr. Gerd Lamprecht

Technisches Büro für Kristallzüchtung
II-VI Monokristalle
Lehninger Straße 10-12
7531 Neuhausen
Telefon 07234/1007, Telex 783379

Kristalllabor an der Universität Erlangen - Nürnberg

Das Kristalllabor an der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg wurde 1975 als eine Abteilung des Lehrstuhls Werkstoffe der Elektrotechnik am Institut für Werkstoffwissenschaften gegründet und von dem Physiker Prof. Dr. G. Müller aufgebaut und geleitet. Offiziell wurde das Kristalllabor vom Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus 1979 eingerichtet. Dieses Kristalllabor sollte nicht - wie häufig an anderen Hochschulen üblich - Dienstleistungsaufgaben übernehmen, sondern soll einen Teil der Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls Werkstoffe der Elektrotechnik tragen. Deshalb orientieren sich die Arbeiten an grundlegenden Fragen der Kristallzüchtung, vor allem zur Herstellung defektarmer massiver Kristalle für die Halbleitertechnik.

Für diese bis heute aktuelle Zielsetzung werden die Zusammenhänge zwischen den bei der Kristallzüchtung ablaufenden physikalisch-chemischen Vorgängen untersucht, in ihren Zusammenhängen erfaßt und mit den Eigenschaften der gezüchteten Halbleiterkristalle in Verbindung gebracht. Experimentelles Arbeiten und numerische Berechnung führen zu Kristallzüchtungsmodellen, die anhand realer Kristallzüchtungsergebnisse getestet werden. Die "reale" Züchtung von massiven Kristallen - die Palette reicht in Erlangen von Si, InP, GaAs, InSb, GaSb, InSb-NiSb, $Ga_xIn_{1-x}As$, Ge_xSi_{1-x} bis HgJ_2 - gehört nicht nur zum Selbstverständnis eines Kristalllabors, sondern dient dazu, die wissenschaftlichen Zielsetzungen und Annahmen bei der Modellbildung laufend zu überprüfen.

Wegen der Einbindung in den Lehrstuhl trägt das Kristalllabor neben der Forschung auch einen wesentlichen Teil der Lehre und Ausbildung auf dem Gebiet Werkstoffe der Elektrotechnik. Dies geschieht durch Vorlesungen und Seminare über Kristallzüchtung, durch Versuche in den Fachpraktika (Zonenschmelzen und Czochralski-Verfahren) und durch Betreuung von Studienarbeiten (ca. 60), Diplomarbeiten (ca. 30) und Promotionsarbeiten (ca. 10) (s. Verzeichnis der Publikationen) aus dem Gebiet der Halbleiterkristallzüchtung.

Die Untersuchungen zu den unten aufgelisteten Forschungsschwerpunkten werden im wesentlichen von diesen Promotions- und Diplomarbeiten getragen. Die Finanzierung des Personal- und Sachaufwandes geschieht in erheblichem Umfang aus Drittmitteln, vor allem des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Volkswagen-Stiftung sowie der Siemens AG, mit der insbesondere auf dem für Erlangen traditionellen Gebiet der Verbindungshalbleiter eine enge Kooperation besteht.

In den folgenden Abschnitten werden nun die hauptsächlichen Forschungsschwerpunkte dargestellt, nämlich:

1. Experimentelle und numerische Modellierung der Kristallzüchtung
2. Züchtung von InP-Substratkristallen für die Optoelektronik
3. Einfluß der Schwerkraft auf das Kristallwachstum
4. Züchtung von massiven Mischkristallen
5. Flüssigphasenepitaxie und Segregation bei Heterostrukturen

1. Experimentelle und numerische Modellierung der Kristallzüchtung

Die für die Technik maßgeblichen Kristallzüchtungsverfahren, insbesondere für Halbleiter, beruhen durchweg auf einer Kristallisation aus Schmelzen. Die dabei ablaufenden Vorgänge, ihre physikalische

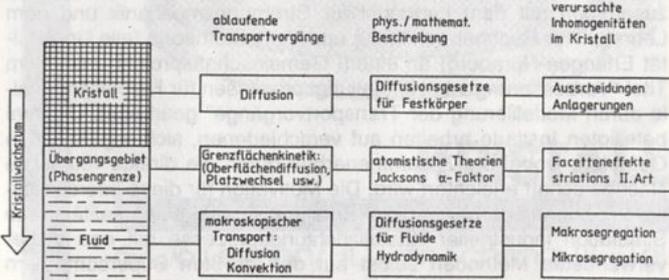


Abb. 1.1: Schematische Darstellung des Kristallwachstums mit den ablaufenden Transportvorgängen, deren physikalisch-mathematischer Beschreibung und den damit in Zusammenhang stehenden Inhomogenitäten im Kristall.

bzw. mathematische Beschreibung sowie damit korrelierte Problem-bereiche bezüglich der Kristallperfektion sind in Abb. 1.1 schematisch dargestellt. Da für viele Fälle gilt, daß das Kristallwachstum durch die Wärme- und Teilchenflüsse *bestimmt* wird, spielen die Strömungsmechanik und deren Formalismus (z.B. dimensionslose Kennzahlen) eine überragende Rolle bei der Modellierung derjenigen Kristalleigenschaften, die durch die Zusammensetzung im mikroskopischen und makroskopischen Maßstab gegeben sind (Mikro- und Makrosegregation). Hingegen wird die Entstehung kristallographischer Defekte häufig durch Vorgänge im gewachsenen Kristall bestimmt, insbesondere durch Temperatur- und Spannungsfelder.

Die Modellierung der Kristallzüchtung wird daher am Kristalllabor entsprechend Abb. 1.1 mit zwei Teilmodellen gemacht: einer Beschreibung der Vorgänge im bereits gewachsenen Kristall als elastischem und plastischem Körper mit Methoden der Kontinuumsmechanik (Abschnitt 1.1), zum zweiten mit einer Beschreibung der Strömungsvorgänge in der Schmelze im Formalismus der Strömungsmechanik (Abschnitt 1.2).

1.1. Modellierung der Versetzungsbildung bei der Züchtung von InP nach dem Czochralski-Verfahren

Das Ziel ist die quantitative Beschreibung des Zusammenhangs der Versetzungsdichte mit den zeitabhängigen thermischen Randbedingungen, der Ziehgeschwindigkeit und der spezifischen Materialeigenschaften des Halbleiterkristalls. Das Modell geht von der Existenz thermoelastisch berechneter Spannungen im Kristall aus und berücksichtigt deren Abbau durch Multiplikation und Bewegung von Versetzungen nach einem aus der Literatur bekannten Modell von Alexander und Haasen. Die für dieses Modell benötigten Materialkennwerte werden für InP durch Verformungsversuche (bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit und konstanter Last) am benachbarten Lehrstuhl "Allgemeine Werkstoffwissenschaften" (Prof. W. Blum, Prof. B. Reppich) ermittelt.

Das dafür am Kristalllabor entwickelte neue Modell zur quantitativen Beschreibung der Versetzungsbildung gibt erstmals die experimentell gefundenen Werte von Versetzungsdichten in Kristallen absolut richtig für unterschiedliche Züchtungsbedingungen wieder (Abb. 1.2). Es ermöglicht darüber hinaus eine quantitative Analyse des Züchtungsvorganges im Hinblick auf die Minimierung der Versetzungsbildung im Sinne einer Prozeßmodellierung. Beides ist mit dem bisher in der Literatur verwendeten Modell von Jordan, das auf der Verwendung eines "Critical Resolved Shear Stress" basiert, nicht möglich.

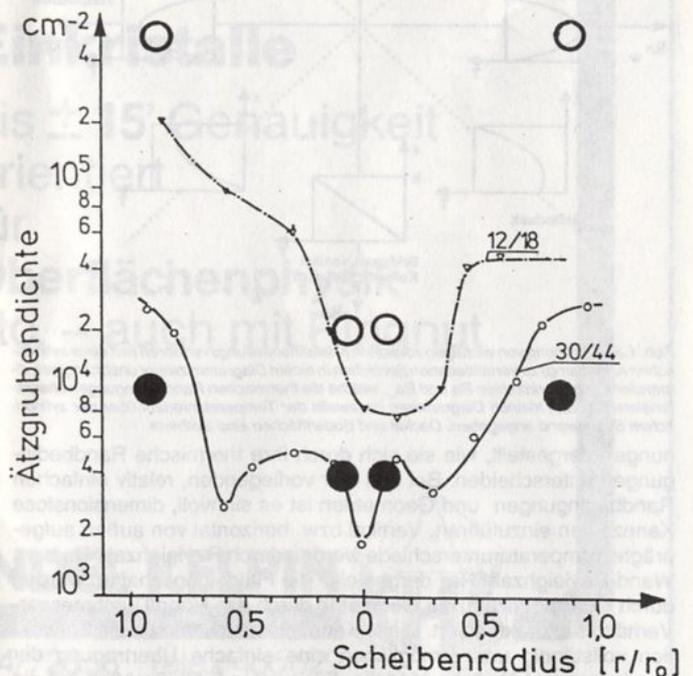


Abb. 1.2: Vergleich der berechneten Versetzungsdichten von InP-Kristallen (volle und leere große Kreise) mit den gemessenen Werten für zwei unterschiedliche Züchtungsbedingungen beim LEC-Verfahren. Aufgetragen ist die Ätzgrubendichte über dem Scheibendurchmesser (1').

1.2 Modellierung von Strömungsvorgängen

Eine der wesentlichen Ursachen von strömungsbedingten Einflüssen auf die Kristalleigenschaften ist die in Schmelzen auftretende Auftriebskonvektion. Dazu kommen bei freien Schmelzoberflächen die Thermokapillarkonvektion und die erzeugene Konvektion durch Drehbewegungen von Keim und Tiegel.

Während die makroskopischen Inhomogenitäten von Kristallen hauptsächlich mit dem räumlichen Verlauf von Strömungszuständen und deren Transportrate im Zusammenhang stehen, werden mikroskopische Inhomogenitäten (häufig "striations" genannt) durch die Zeitabhängigkeit (ggf. Turbulenz) der Strömung verursacht.

Zur Untersuchung der Strömungszustände werden im Kristalllabor zwei Wege beschritten: zum einen die experimentelle Bestimmung der Fluidbewegung über die Messung des Temperaturfeldes in Modellanordnungen, zum anderen die numerische Berechnung des Strömungsfeldes mit Finiten Differenzen- bzw. Finiten Volumenverfahren.

1.2.1 Numerische Modellbildung

Es werden zur Zeit zwei verschiedene numerische Verfahren zur Strömungsberechnung eingesetzt. Ihr gemeinsames Merkmal ist die Lösung der zeitabhängigen partiellen Differentialgleichungen für die Erhaltung von Masse (Kontinuitätsgleichung), Impuls (Navier-Stokes-Gleichungen) und Temperatur (Energieerhaltungsgleichung). Das erste Programm verwendet Zentraldifferenzen und implizite Zeitintegration in einem dreidimensionalen Finiten Differenzenverfahren mit äquidistantem Gitter. Die Geometrie ist dabei auf streng zylindrische Schmelzvolumina beschränkt. Es wird die Boussinesq-Approximation verwendet. Durch unterschiedliche Randbedingungen für Temperatur und Geschwindigkeit läßt sich die Auftriebskonvektion in verschiedenen Kristallzüchtungsanordnungen simulieren. In Abb. 1.3. ist eine Übersicht über verschiedene Züchtungsanord-

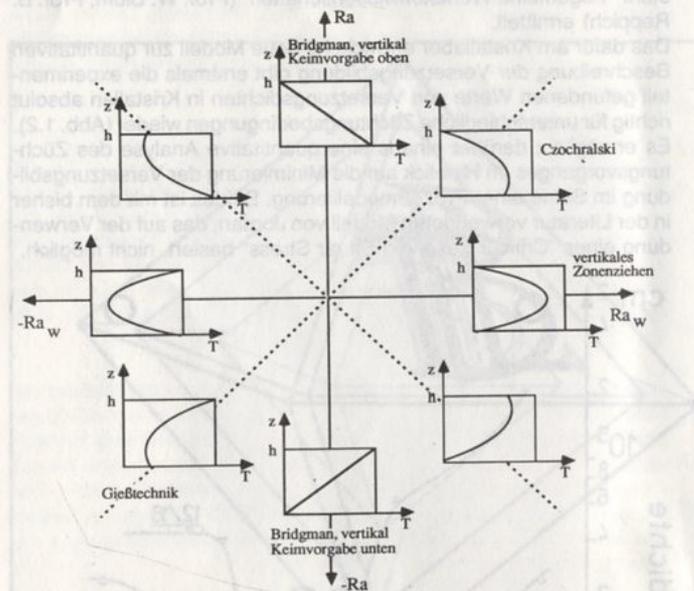


Abb. 1.3: Zuordnung von wichtigen vertikalen Kristallherstellungsverfahren (mit einer zylindrischen Anordnung) zu verschiedenen Bereichen in einem Diagramm zweier unabhängiger, dimensionsloser Kennzahlen Ra und Ra_w , welche die thermischen Randbedingungen charakterisieren. In den kleinen Diagrammen ist jeweils der Temperaturverlauf über der zylindrischen Seitenwand angegeben. Deckel und Bodenflächen sind isotherm.

nungen dargestellt, wie sie sich durch ihre thermische Randbedingungen unterscheiden. Bei den hier vorliegenden, relativ einfachen Randbedingungen und Geometrien ist es sinnvoll, dimensionslose Kennzahlen einzuführen. Vertikal bzw. horizontal von außen aufgetragene Temperaturunterschiede werden durch Rayleighzahl Ra bzw. Wand-Rayleighzahl Ra_w dargestellt, die Fluideigenschaften werden durch die Prandtlzahl, die Geometrie durch das Höhe/Durchmesser-Verhältnis charakterisiert. Diese Kennzahlen bestimmen die Konvektion vollständig und ermöglichen eine einfache Übertragung der Ergebnisse auf ähnliche Modelle. Für andere Einflußgrößen auf die Strömung (z.B. Magnetfeld) müssen weitere Kennzahlen eingeführt werden. Mit diesem Programm werden vorzugsweise nichtachsensymmetrische Einflüsse auf die Strömungskonfigurationen und de-

ren Stabilitätsverhalten untersucht. Als Beispiele seien erwähnt: nichtaxialsymmetrische Randtemperaturverteilungen, wie sie auch in realen Kristallzüchtungsanordnungen auf Grund von Heizerunsymmetrien auftreten können, oder nichtaxiale ("horizontale") Magnetfelder.

Das zweite numerische Verfahren verwendet eine auswählbare Mischung von Zentral- und "Upwind"-Differenzen für die räumliche Diskretisierung und implizite Zeitintegration in einem zweidimensionalen Finiten Volumenverfahren mit nichtäquidistantem Gitter. Die Geometrie des (axialsymmetrischen) Lösungsvolumens ist dabei beliebig. Auch die Boussinesq-Approximation muß nicht mehr angewendet werden. Mit zunehmender Komplexität des Modells verliert das Konzept der Kennzahlen zunehmend an Bedeutung. Statt dessen wird mit den realen dimensionsbehafteten Größen gerechnet. Zur Zeit wird mit diesem Programm die Konvektion bei der LEC Züchtung von InP unter dem Einfluß eines vertikalen Magnetfeldes untersucht. Hier können z.B. die Geometrie der Phasengrenze mit dem Schmelzmeniskus und des verwendeten Tiegels als auch die Boroxidabdeckung der Schmelze berücksichtigt werden (Abb. 1.4).

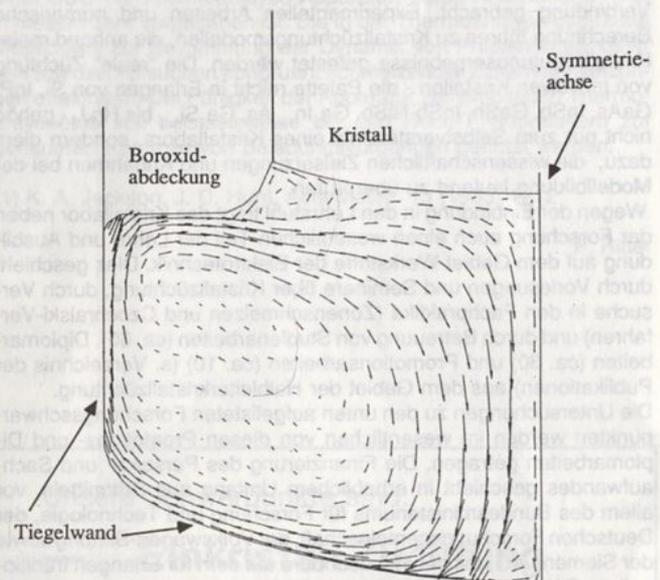


Abb. 1.4: Ergebnis einer numerischen Simulation der lokalen Strömungsgeschwindigkeiten in einem vertikalen Schnitt durch ein axialsymmetrisches Modell des am Institut angewendeten Czochralski-Verfahrens mit abgedeckter Schmelze (LEC)

Es wird außerdem an der Modellierung des vertikalen Bridgman-Verfahrens unter Einbeziehung des Stofftransportes und der bewegten, "deformierbaren" Phasengrenze (Stefan-Problem) gearbeitet. Aus Rechenzeitgründen liegen typische Gittergrößen bei $12 \times 16 \times 24$ Punkten in der dreidimensionalen Berechnung und 80×80 Gitterpunkte im zweidimensionalen Fall. Damit lassen sich nur die Grundstrukturen von Strömungen und deren Übergang von stationärem zu zeitabhängigem Verhalten erfassen, was aber in der Kristallzüchtung (insbesondere beim Problem der Entstehung von Dotierungsstreifen, genannt "striations") schon von großem Interesse ist. Die vollständige Berechnung turbulenter Strömungen, wie sie die Navier-Stokes-Gleichungen prinzipiell auch erlauben würden, ist beim gegenwärtigen Stand der Rechnertechnik auf absehbare Zeit nicht möglich.

Es wird jedoch nach Wegen gesucht, um die Rechenleistung bestehender und künftiger Rechner besser für die genannten Aufgaben der numerischen Modellierung auszunutzen. Dazu wird seit Mitte 1989 zusammen mit dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik und dem Lehrstuhl für Rechnerarchitektur und Verkehrstheorie (alle Universität Erlangen-Nürnberg) an einem Gemeinschaftsprojekt unter dem Titel "Verbesserung von Herstellungsprozessen für Halbleiterkristalle durch Modellierung der Transportvorgänge" gearbeitet. Die drei beteiligten Institute arbeiten auf verschiedenen, sich ergänzenden Gebieten, wobei die Zusammenarbeit durch die direkte räumliche Nachbarschaft erleichtert wird. Die Motivation für diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ist die Erkenntnis, daß eine realitätsnahe Simulation industrieller Kristallzüchtungsprozesse mit den bisher verwendeten Methoden selbst auf den größten Supercomputern noch zu zeitaufwendig ist. Im Rahmen dieses Projektes soll nun das Zusammenspiel von Modellbildung, Programmstrukturen, Rechnerstrukturen und Algorithmen untersucht werden, um hier Auswege

aufzeigen zu können. Ansätze hierzu sind die Anwendung von Mehrgitterverfahren, welche eine sehr hohe Konvergenzrate aufweisen, und die Entwicklung von parallelen Rechenverfahren, bei denen mehrere Prozessoren gleichzeitig an einem Problem arbeiten und so die Rechengeschwindigkeit deutlich steigern können. Am Institut für Rechnerarchitektur und Verkehrswesen steht hierfür bereits ein Parallelrechner vom Typ DAP zur Verfügung, auf dem auch bereits Strömungsberechnungen durchgeführt werden, an den beiden anderen Lehrstühlen wird mit Transputern gearbeitet. Diese beiden Systeme repräsentieren zwei unterschiedliche Ansätze: Der DAP besitzt eine relativ große Zahl (1032 bei dem hiesigen Modell) von sehr einfachen Prozessoren, welche gleichzeitig identische Instruktionen, aber mit unterschiedlichen Daten, ausführen (SIMD-Prinzip: Single Instruction Multiple Data). Bei den Transputern handelt es sich um zwar teurere, aber dafür sehr leistungsfähige Prozessoren, die variabel miteinander verknüpft werden und gleichzeitig, aber praktisch unabhängig voneinander, unterschiedliche Programme ausführen können und nur hin und wieder zum Zwecke des Austausches von Daten miteinander synchronisiert werden müssen (MIMD: Multiple Instruction Multiple Data). Daraus ergibt sich, daß für diese beiden Systeme unterschiedliche Verfahren oder Algorithmen optimal sein können; dies ist ein weiterer wichtiger Untersuchungsgegenstand in diesem Gemeinschaftsprojekt.

1.2.2 Experimentelle Modellbildung

Die Bestimmung der Strömungskonfiguration im experimentellen Modell dient insbesondere zur Überprüfung der Ergebnisse der numerischen Modellierung. Im Gegensatz zu realen Kristallzüchtungsexperimenten können hier genau definierte Randbedingungen eingestellt werden. Ein Beispiel für eine Meßzelle, die die Temperaturbedingungen beim Zonenschmelzverfahren annähert, ist in Abb. 1.5 dargestellt. Boden- und Deckelplatte der Meßzelle werden mittels Wasserbadthermostat auf konstanter Temperatur gehalten, ein zweiter Thermostat heizt die Zylinderwand durch einen Ringkanal auf halber

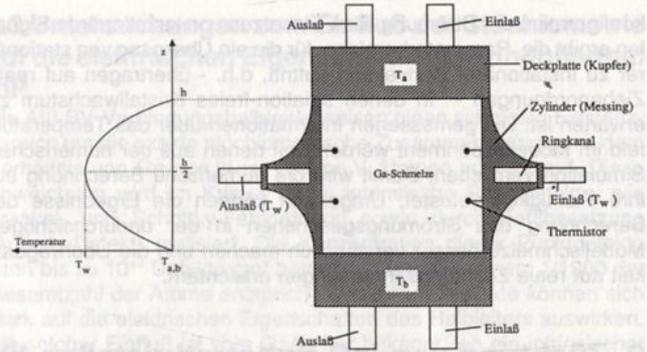
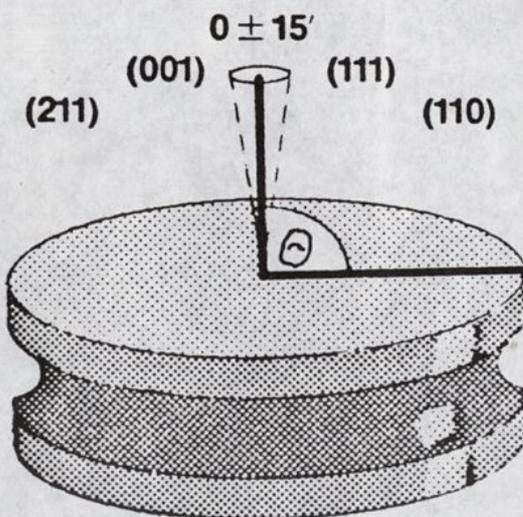


Abb. 1.5: Vertikaler Schnitt durch eine Meßzelle zur Simulation des vertikalen Zonenschmelzverfahrens.

Zylinderhöhe. Durch die speziell geformte Zylinderwand ergibt sich entlang der Zylinderinnenseite das links skizzierte Temperaturprofil. Die Lage von acht Thermistoren zur Bestimmung des Temperaturfeldes in der Schmelze ist angedeutet. Aus den eingestellten Temperaturen T_a , T_b und T_w lassen sich die Kennzahlen Ra und Ra_w bestimmen.

Die Bestimmung der Strömungszustände geschieht indirekt über die Messung der dazugehörigen Temperaturfelder, weil die Undurchsichtigkeit der Modellschmelze Gallium optische Beobachtungsmethoden ausschließt. Flüssiges Gallium besitzt ähnliche Stoffkonstanten wie Halbleiterschmelzen, ist aber wegen seines niedrigen Schmelzpunktes und seiner Ungiftigkeit besser in Modellexperimenten einzusetzen. Die Temperaturmessung geschieht mittels mehrerer (typisch: 8-16) Thermoelemente oder Thermistoren, die in das Schmelzvolumen hineinragen. Die Aufzeichnung der gemessenen Temperatursignale erfolgt auf Vielkanallinienschreibern oder PC-gesteuerten Meßdatenerfassungssystemen. Die gemessenen Temperaturdifferenzen der Meßstellen untereinander liefern Hinweise auf die Grund-

Für Forschung und Produktion



Einkristalle

bis $\pm 15'$ Genauigkeit orientiert für Oberflächenphysik etc. – auch mit Ringnut

KRISTALLHANDEL KELPIN



6906 Leimen/HD · Im Schilling 18 · Tel. 06224/72558 · Telex 466629

konfiguration der Strömung. Das Einsetzen von instationären Signalen ergibt die Parameterbereiche, für die ein Übergang von stationärer zu instationärer Konvektion auftritt, d.h. - übertragen auf reale Ziehanordnungen - in denen striation-freies Kristallwachstum zu erwarten ist. Die gemessenen Informationen über das Temperaturfeld im Modellexperiment werden mit denen aus der numerischen Simulation verglichen. Damit wird die numerische Berechnung auf ihre Richtigkeit getestet. Umgekehrt können die Ergebnisse der Berechnung das Strömungsgeschehen in der undurchsichtigen Modellschmelze besser verständlich machen und die Übertragbarkeit auf reale Züchtungsanordnungen erleichtern.

2. Züchtung von InP-Substratkristallen für die Optoelektronik

Die optische Nachrichtentechnik basiert auf der Verwendung von verlustarmen Wellenleitern (dotierte SiO_2 -Glasfasern) deren günstigste Eigenschaften für die Signalausbreitung im Wellenlängenbereich zwischen 1.3 und 1.6 μm liegen. Optoelektronische Bauelemente für diesen Wellenlängenbereich, wie z.B. der Halbleiterlaser, bestehen aus dünnen Schichten des Mischkristallsystems $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ und können daher nur epitaktisch hergestellt werden. InP-Volumenkristalle sind das einzige Substratmaterial, auf dem diese quaternären Schichten gitterangepaßt abgeschieden werden können. Daher ist eine wesentliche Grundvoraussetzung für die Entwicklung leistungsfähiger Bauelemente für die optische Nachrichtentechnik, insbesondere für die integrierte Optik, die Verfügbarkeit von InP-Kristallen mit niedrigen Defektdichten. Allerdings muß man die derzeitige Qualität der massiven InP-Kristalle im Vergleich zu Elementhalbleitern (Si, Ge) und dem anderen wichtigen III-V-Halbleiter GaAs als mäßig bezeichnen. Die Hauptschwierigkeiten bei der Herstellung defektarmer InP-Kristalle liegen vor allem in dem hohen Dissoziationsdampfdruck am Schmelzpunkt (27 bar), dem niedrigen Verformungswiderstand bei der Bildung von Versetzungen, den im Vergleich zu Elementhalbleitern wesentlich vielfältigeren Möglichkeiten für die Fehlbesetzung von Gitterplätzen und der starken Tendenz

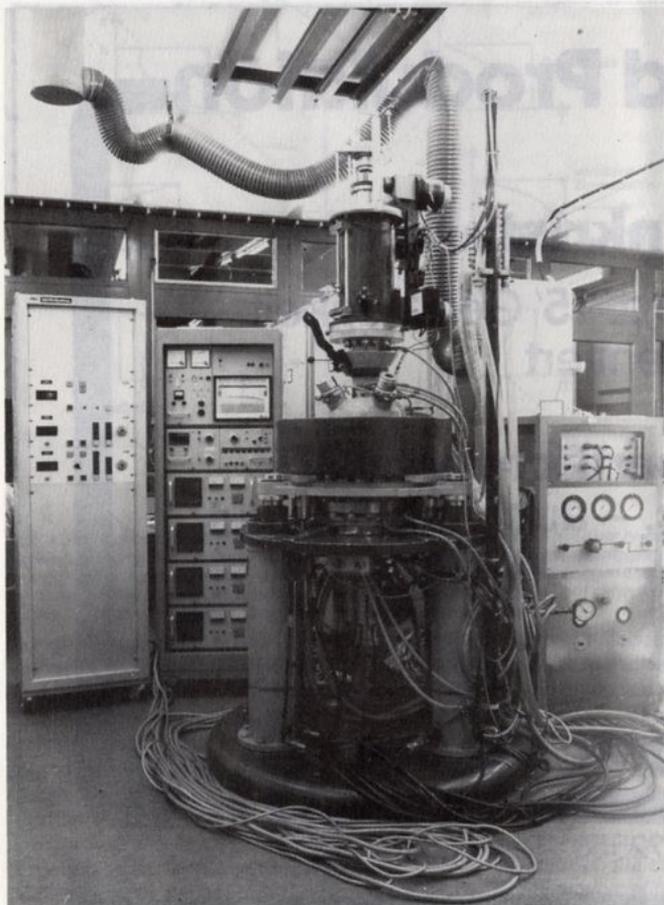


Abb. 2.1: LEC-Züchtungsanlage zur Herstellung von InP-Kristallen

zur Zwillingsbildung. Weiterhin können die für die Optoelektronik notwendigen hochohmigen (semiisolierenden) InP-Substratkristalle nur durch Fremstoffdotierung z.B. Fe bzw. Ti hergestellt werden, welches zum Auftreten von Inhomogenitäten (Striations, radiale und axiale Segregationseffekte) und Verschleppung des Dotierstoffes in angrenzende epitaktische Schichten führt.

Untersuchungen zur Züchtung von InP-Kristallen, mit dem Ziel diese angeführten Defekte zu reduzieren und den Kristallzuchtungsprozeß zu optimieren, stellen einen Schwerpunkt der Arbeiten des Kristalllabors dar.

2.1 Züchtung von InP-Kristallen mit dem LEC-Verfahren

Als Züchtungsverfahren wird bisher das in der Industrie übliche LEC (Liquid Encapsulated Czochralski) Verfahren verwendet. Bei dieser Variante des Czochralski-Verfahrens wird die Schmelze durch eine flüssige Schmelzschuttschicht (Boroxid) abgedeckt. Die gesamte Züchtungsanordnung befindet sich in einem Autoklaven, in dem durch eine Inertgasbeschickung ein über dem Dissoziationsdampfdruck (27 bar bei der Schmelztemperatur des InP von 1062°C) liegender Druck eingestellt wird, um das Abdampfen des Phosphors aus der Schmelze zu verhindern. Der Kristall wird wie beim ursprünglichen Czochralski-Verfahren an einer rotierenden Ziehstange mit Hilfe eines Keimes aus der Schmelze gezogen. Zur Züchtung der InP-

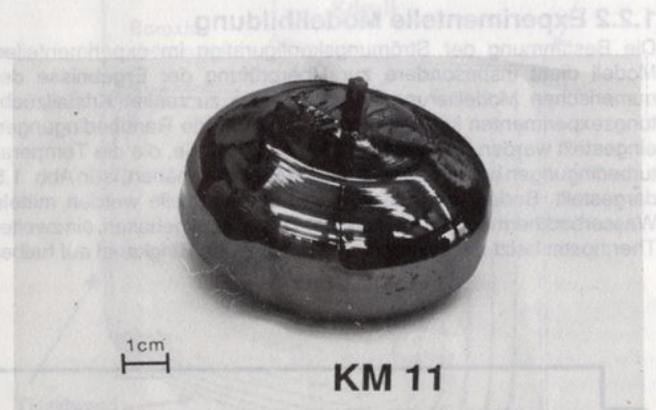


Abb. 2.2: 3"-InP-Kristall (undotiert, Wachstumsrichtung (100), hergestellt nach dem LEC-Verfahren)

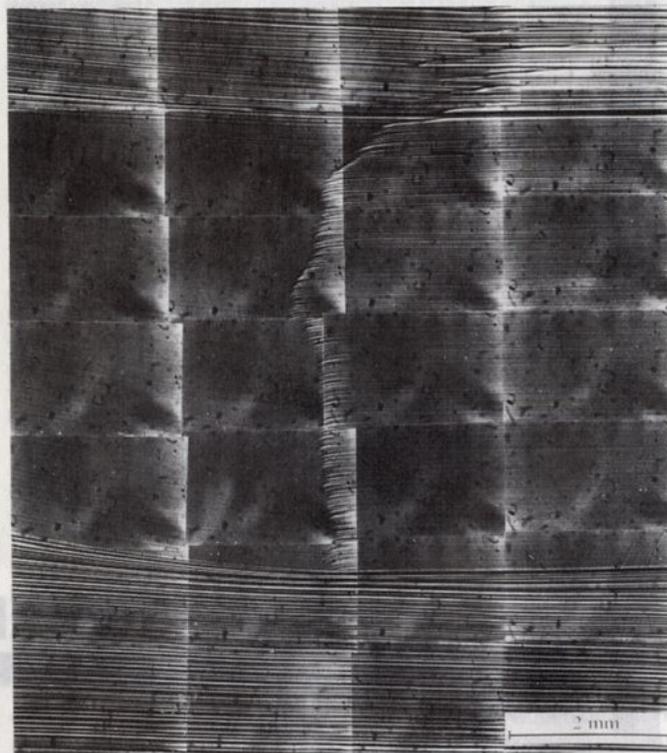


Abb. 2.3: Axialer Schnitt durch einen Zn-dotierten InP-Kristall, gezüchtet ohne Magnetfeld (oberer und unterer Teil des Bildes). Der Mittelteil der gezeigten Probe ist unter Magnetfeldeinfluß mit einer Induktion von 0,2 Tesla gewachsen.

Kristalle steht am Kristalllabor eine Hochdruck-Czochralski-Anlage der Firma Siemens AG zur Verfügung (Abb.2.1). Die Kontrolle des Züchtungsprozesses erfolgt visuell, doch wird zur Zeit eine Wägeeinrichtung des Tiegels installiert, die in Zukunft zur rechnergestützten Durchmesserkontrolle herangezogen werden soll. Abbildung 2.2 zeigt einen am Kristalllabor gezüchteten undotierten InP-Kristall (Durchmesser 75 mm, Länge 70 mm, Wachstumsrichtung (100)).

Neben der Optimierung der thermischen Bedingungen zur Reduzierung der Versetzungsdichte stehen Untersuchungen zum Einfluß vertikaler Magnetfelder auf den Dotierstoffeinbau in InP-Kristallen im Vordergrund der wissenschaftlichen Arbeiten. Der Autoklav der LEC-Anlage wird von einem Ringmagneten umschlossen, mit dem in der InP-Schmelze eine magnetische Induktion von maximal 0,2 Tesla erzeugt werden kann. Durch den dämpfenden Einfluß des Magnetfeldes auf die Konvektion in der Schmelze können Mikroinhomogenitäten, sogenannte "striations", teilweise eliminiert werden (Abb. 2.3). Variiert man während eines Kristallzüchtungsexperimentes die magnetische Induktion zeitlich auf geeignete Weise, so wird die axiale Homogenität verbessert.

Eine drastische Reduzierung der Versetzungsdichte in niedrig dotierten InP-Kristallen, wie sie für die integrierte Optik benötigt werden (von momentan $50\,000\text{ cm}^{-2}$ auf $500\text{--}1000\text{ cm}^{-2}$), ist aber mit dem LEC-Verfahren nicht zu erwarten. Die ungünstigen thermischen Bedingungen während des LEC-Züchtungsprozesses (zu große radiale Temperaturgradienten) können durch Maßnahmen zur Optimierung des Züchtungsaufbaus, wie Installation von Zusatzheizern und Erhöhung der Boroxidschicht, nur teilweise verbessert werden.

2.2 Züchtung von InP-Kristallen mit dem vertikalen Bridgmanverfahren

Seit einigen Jahren werden am Kristalllabor Grundlagenuntersuchungen durchgeführt, um mit dem vertikalen Bridgmanverfahren Verbesserungen der Kristallqualität bei III-V-Kristallen zu erreichen. Durch die stabile Schichtung der Schmelze bezüglich Auftriebskonvektion und die prinzipiell niedrigeren radialen Temperaturgradienten sind geringere Defektdichten in den gezüchteten Kristallen zu erwarten. Aus diesem Grund wurde eine neuartige vertikale Bridgmananlage entwickelt, mit der es in Zukunft möglich ist, InP-Kristalle mit einem Durchmesser von 50 mm zu züchten. In dieser Ofenanlage erfolgt das Kristallwachstum durch eine Verschiebung des Temperaturprofils ohne mechanische Ofentranslation. Dieser Vorgang erfolgt rein elektronisch, indem 20 Heizzonen separat über einen Rechner angesteuert werden. Abbildung 2.4 zeigt den neuentwickelten VB-Ofen mit Steueranlage. Zur Zeit werden Versuche mit der Zielsetzung

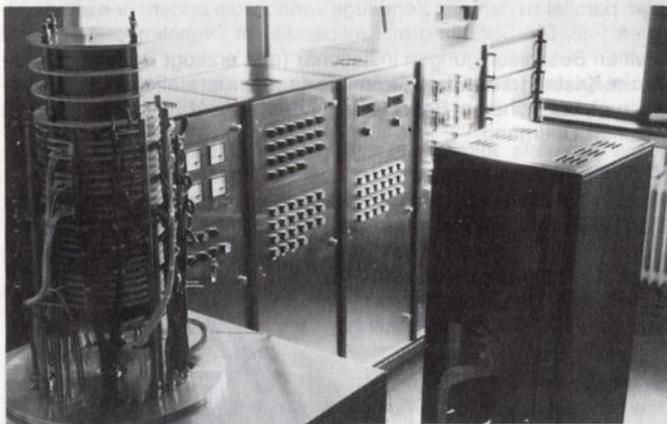


Abb. 2.4: Multizonenofenanlage mit Ofensteuerung (Höhe des Ofens: 70 cm) zur Züchtung von InP-Kristallen nach dem vertikalen Bridgman-Verfahren (VB). Gemeinsame Entwicklung in Zusammenarbeit mit der Firma Linn High Therm.

durchgeführt, die Stellgrößen der Ofensteuerung mit der Lage und Form der Isothermen im wachsenden Kristall zu korrelieren. Die Möglichkeit der definierten Kontrolle der thermischen Randbedingungen beim Bridgmanverfahren soll zukünftig auch zur Untersuchung von Stöchiometrieinflüssen auf elektrische Eigenschaften von InP genutzt werden.

2.3 Untersuchungen zum Einfluß der Stöchiometrie auf die elektrischen Eigenschaften von undotiertem InP

Die III-V-Verbindungshalbleiter weisen einen schmalen Existenzbereich um die exakte stöchiometrische Zusammensetzung mit dem Verhältnis von Gruppe III zu Gruppe V Atomen von 1:1 auf. Diese Abweichung wird im Kristall durch intrinsische Punktdefekte, wie Frenkel- und Schottky-Fehlordnung sowie durch Fehlbesetzung (Antisite-Defekt) realisiert. Die Konzentration dieser Punktdefekte kann bis zu 10^{19} Defekte/cm³ betragen, was etwa einem 1/1000 der Gesamtzahl der Atome entspricht. Diese Punktdefekte können sich stark auf die elektrischen Eigenschaften des Halbleiters auswirken. Ein solcher Einfluß ist vom GaAs her bekannt, wo ein intrinsischer Antisite-Defekt, bei dem ein Arsen-Atom auf einem Gallium-Platz sitzt, für die hochohmigen Eigenschaften verantwortlich gemacht wird.

Am Kristalllabor ist es gelungen, nominell undotiertes InP durch Tempern unter Phosphor Atmosphäre in den semiisolierenden (s.i.) Zustand überzuführen. Der Mechanismus, der zum s.i. Verhalten führt, ist noch nicht geklärt. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch eine möglichst geringe Restverunreinigungskonzentration des InP-Ausgangsmaterials. Es wird derzeit untersucht, ob sich der hochohmige Zustand durch eine entsprechende Prozeßführung (Stöchiometrie-kontrolle) schon während des Kristallzüchtungsprozesses einstellen läßt. Bei Verfahren mit freiliegender Schmelzoberfläche (HB, VB, FZ) kann, im Gegensatz zum LEC-Verfahren, durch Vorgabe des Phosphordruckes über der Schmelze die Zusammensetzung der Kristalle beeinflusst werden.

Da sich die Hochdruck-VB-Anlage mit Mehrzonenheizer noch in der Testphase befindet, werden derzeit mit dem technologisch einfacheren horizontalen Bridgman-Verfahren (HB) InP-Kristalle unter variiertem Phosphordruck gezüchtet.

3. Einfluß der Schwerkraft auf das Kristallwachstum

Die Schwerkraft wird normalerweise in Experimenten und bei theoretischen Überlegungen zur Kristallzüchtung als gegebene Naturkonstante $g = 9,81\text{ m/s}^2$ angesehen. Technisch ist es jedoch möglich, durch Verwendung von Zentrifugen oder an Bord von Raketen und Raumlabors die wirksame Schwerebeschleunigung vom Millionfachen bis herab zu nahezu einigen Millionstel ("Mikrogravitation") von g zu variieren. Da die Schwerkraft sich einmal über den Auftrieb in Flüssigkeiten auf Transportvorgänge beim Kristallwachstum und zum anderen über den hydrostatischen Druck auf die Prozeßführung auswirkt, ist ihre Variation interessant. Es können dabei Transport- und Wachstumstheorien überprüft und gegebenenfalls günstigere Randbedingungen für das Kristallwachstum gefunden werden. Der Wegfall des hydrostatischen Druckes unter Mikrogravitation ermöglicht insbesondere die Anwendung des tiegelfreien Zonenverfahrens für praktisch alle Substanzen.

Am Kristalllabor wurde dazu eine Zentrifugenanlage aufgebaut, mit der Kristallzüchtung nach dem Bridgman- und Zonenverfahren bis zu 10 g betrieben werden kann (Abb. 3.1). Außerdem werden Mikrogravitationsexperimente bei unbemannten Raketenflügen (deutsches TEXUS-Programm) und im Rahmen des Spacelabprogramms (FSLP, D1, D2) durchgeführt.

Beispiele für die Ergebnisse solcher Untersuchungen werden im folgenden vorgestellt.

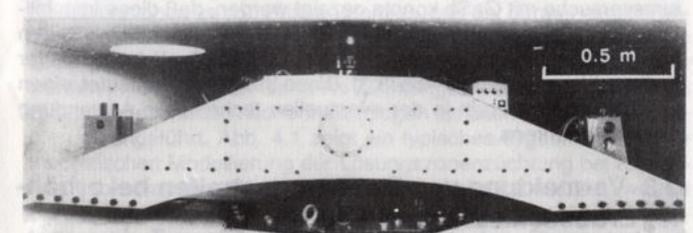


Abb. 3.1: Zentrifugenanlage zur Durchführung von Kristallzüchtungsexperimenten bei erhöhter Schwerkraft.

3.1 Schwerkräfteinfluß auf das Gefüge beim gerichteten Erstarren des InSb-NiSb-Eutektikums

Der Hintergrund für die Untersuchungen am InSb-NiSb Eutektikum - angeregt durch den früheren Inhaber des Lehrstuhls Werkstoffe der Elektrotechnik, Prof. Dr. Herbert Weiß - ist die Frage nach der Gültigkeit des Modells von Hunt und Jackson für die Gefügeausbildung bei der gerichteten Erstarrung von Eutektika. Nach deren Theorie sollte eine umgekehrte Proportionalität zwischen dem mittleren Abstand λ der ausgeschiedenen Phase (hier: einkristalline NiSb-Nadeln) und der Wachstumsgeschwindigkeit v gelten. Da die Theorie auf einem rein diffusiven Transport beruht, kann sie genaunommen nur unter Schwerelosigkeit quantitativ überprüft werden. Zum anderen ist von allgemeinem Interesse, wie groß der Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbildung des Gefüges, d.h. auf λ ist. Das Ergebnis, welches Experimente bei erhöhter Schwerkraft (Zentrifuge) und aus Weltraummissionen (1. Spacelab-Mission FSLP 1983, ballistischer Raketenflug TEXUS 10/1984 und 1. deutsche Spacelab-Mission D1 1985) beinhaltet, ist in Abb. 3.2 zusammengefaßt. Eine Erweiterung der Theorie von Hunt und Jackson ermöglicht eine quantitative Erklärung der Ergebnisse.

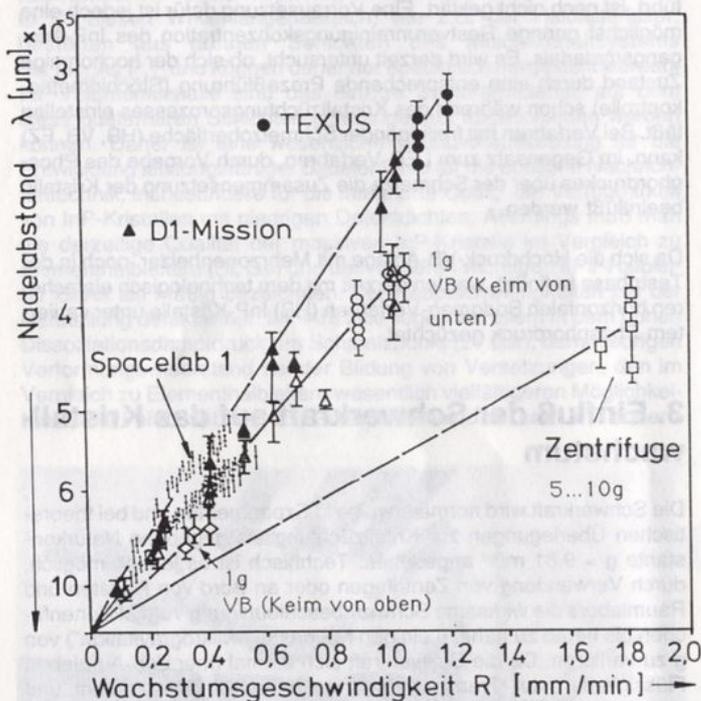


Abb. 3.2: Mittlerer Abstand der NiSb-Nadeln nach dem gerichteten Erstarren des InSb-NiSb Eutektikums bei unterschiedlichem Schwerkräfteinfluß.

3.2. Erhöhung der Wachstumsrate bei der Lösungs-zonenzüchtung (THM) unter erhöhter Schwerkraft

Die Züchtung von Halbleiterkristallen wie z.B. GaAs, InP, GaSb usw. mit dem Lösungs-zonenverfahren (THM) hat einige Vorteile, die aus der erheblich reduzierten Wachstumstemperatur folgen (vergleichbar mit Flüssigphasenepitaxie). Dem steht jedoch der für die Herstellung größerer Kristalle erhebliche Nachteil einer sehr niedrigen Wachstumsgeschwindigkeit von einigen Millimetern pro Tag gegenüber. Überschreitet die Ziehrate des Zonenheizers diesen Wert, bilden sich morphologische Instabilitäten der Wachstumsphasengrenze und damit Lösungsmittelschlüsse im Kristall. Durch Wachstumsversuche mit GaSb konnte gezeigt werden, daß diese Instabilitäten bei 20facher Erdbeschleunigung erst bei wesentlich höheren (etwa Faktor 10) Ziehgeschwindigkeiten auftreten als bei normaler Erdbeschleunigung (vgl. Abb. 3.3). Diese Steigerung bedeutet einen erheblichen Fortschritt in der eventuellen technischen Anwendung dieses Verfahrens.

3.3 Vermeidung von Dotierungsstreifen bei erhöhter Erdbeschleunigung

Aus der Kenntnis der hydrodynamischen Vorgänge beim Kristallwachstum aus Schmelzen zieht man normalerweise den Schluß, daß turbulente Auftriebskonvektion als Ursache für das Auftreten von Dotierungsstreifen unter reduzierter Schwerkraft entfallen sollte. Dies

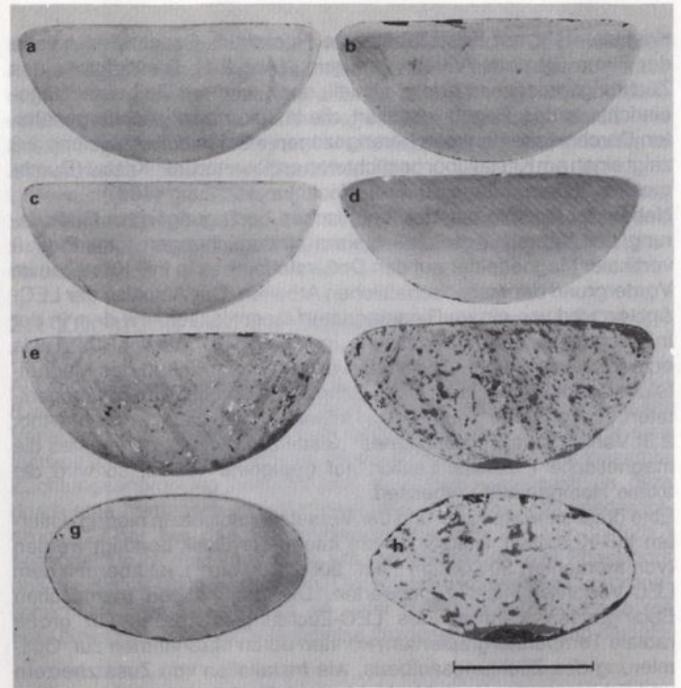


Abb. 3.3: Querschnitte von GaSb-Kristallen, die mit der Lösungs-zonenzüchtung bei unterschiedlichen Ziehgeschwindigkeiten auf einer Zentrifuge bei 20 G gezüchtet werden. 5,6 mm/Tag (a); 9,1 (b); 10,7 (c); 14 (d); 20 (e) und 30 (f); (g) und (h) sind Vergleichskristalle bei normaler Erdbeschleunigung (1 G) mit Ziehraten von 1,5 (g) und 4,9 (h) mm/Tag. Der Maßstab bedeutet 5 mm.

wird auch durch Weltraumexperimente bestätigt. Am Kristalllabor wurde jedoch bereits in den siebziger Jahren der umgekehrte Effekt entdeckt, daß solche durch zeitabhängige Auftriebskonvektion verursachten Dotierungsstreifen bei erhöhter Schwerkraft auf einer Zentrifuge vermieden werden können. Dieser Effekt, zunächst unverständlich, der sowohl beim Bridgman-Verfahren (Abb. 3.4) wie auch beim Zonenschmelzen nachgewiesen wurde, konnte nun mit Hilfe der vorne beschriebenen numerischen Modellierung aufgeklärt werden. Dazu wurde in die Transportgleichungen (Navier-Stokes) ein weiterer Term eingeführt, der die Coriolis-Kraft auf der Zentrifuge berücksichtigt. Damit ergeben sich zwei Lösungen der Differentialgleichung für die Verläufe der Konvektionsströmungen, deren Auswahl (in der Rechnung und im Experiment) durch die Anfangsbedingungen erfolgt. Die eine Lösung beschreibt eine Konvektionsrolle, deren Drehsinn parallel zu dem der Zentrifuge verläuft, die andere den antiparallelen Fall. Die Strömung mit antiparallelem Drehsinn ist schon bei kleinen Beschleunigungen instationär (und erzeugt Dotierungsstreifen im Kristall); die andere Strömung dagegen ist stationär und tritt bevorzugt bei höheren Beschleunigungen auf. Abb. 3.4 zeigt einen solchen Übergang.

acceleration b
2.5 x 9.81 m/s²

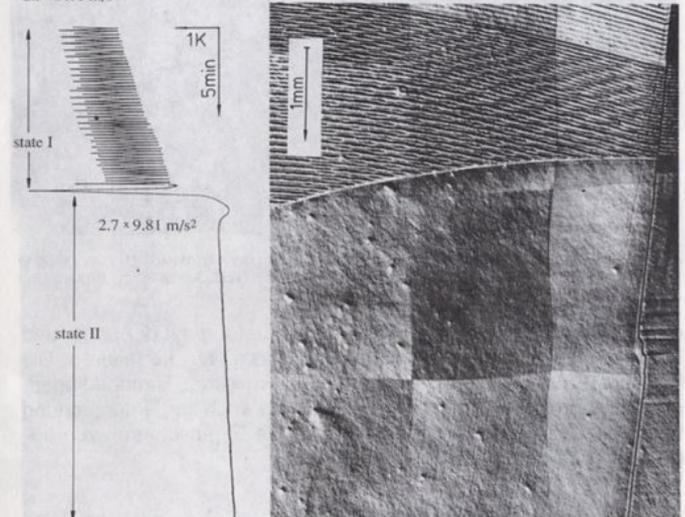


Abb. 3.4: Längsschnitt durch einen nach dem vertikalen Bridgman-Verfahren mit Keimvorgabe von oben auf einer Zentrifuge gezüchteten InSb-Kristall. Der obere Teil (2,3 fache Erdbeschleunigung) weist striations auf, die nach Erhöhung der Beschleunigung auf 2,7 g verschwinden.

3.4 Züchtung von GaAs-Kristallen mit dem "floating zone"-Verfahren unter Mikrogravitation

Das Interesse für die Züchtung von GaAs mit dem "floating zone"-Verfahren (FZ) basiert auf den prinzipiellen Vorteilen, die man aus einem tiegelfreien Prozeß mit einem definierten As-Dampfdruck über der Schmelzoberfläche wegen der entfallenden Wachstumsstörungen und Verunreinigungen durch einen Tiegel erwarten kann. Auf der Erde kann dieses Verfahren wegen der hohen Dichte von GaAs nur mit Zonendimensionen von maximal 5-8 mm Durchmesser durchgeführt werden, was viel zu wenig ist, um den Züchtungsprozeß quantitativ zu untersuchen oder gegebenenfalls technisch ausnutzen zu können. Die Mikrogravitation bietet dagegen die Möglichkeit zu aussagefähigen Modellversuchen bei größeren Dimensionen. Den genannten Vorteilen dieses Verfahrens stehen jedoch prinzipielle Probleme gegenüber, insbesondere thermische Spannungen, die aus der radialen Wärmezufuhr resultieren, sowie die aus der großen freien Schmelzoberfläche folgende Kapillarkonvektion (MARANGONI-Effekt). Während das Spannungsproblem mit dem im Abschnitt 1 vorgestellten Modell behandelt werden kann, wurde für die Kapillarkonvektion von GaAs das numerische Modell erweitert, das vorne für die Auftriebskonvektion vorgestellt wurde. Als die wichtigste experimentelle Teilaufgabe mußte nun die Oberflächenspannung der GaAs-Schmelze in Abhängigkeit von der Temperatur und vom As-Dampfdruck gemessen werden, denn deren Temperaturabhängigkeit verursacht die Thermokapillarkonvektion. Genauere Kenntnisse über diese Konvektionsart sind auch für die terrestrische GaAs-Kristallzüchtung von Bedeutung, und zwar für Prozesse, bei denen freie Flüssigkeitsoberflächen auftreten (z.B. horizontales Bridgman-Verfahren, Gremmelmeier-Verfahren). Da diese Daten über die Oberflächenspannung für GaAs in der Literatur bisher nicht vorliegen, werden sie derzeit in unserem Labor nach der "Methode des sitzenden Tropfens" bestimmt. Abb. 3.5 zeigt einen solchen GaAs-

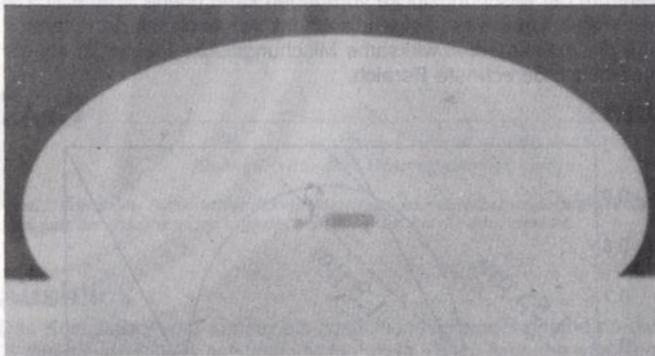


Abb. 3.5: GaAs-Schmelztropfen unter kontrollierter As-Atmosphäre zur Messung der Oberflächenspannung von GaAs.

Schmelztropfen. Die Form des Tropfens ergibt sich aus einem Gleichgewicht zwischen Oberflächenspannung und Schwerkraft. Der Wert der Oberflächenspannung für flüssiges undotiertes GaAs am Schmelzpunkt unter einem As-Dampfdruck von 0,9 bar beträgt nach unseren Messungen 480 ± 20 mN/m.

Durch eine dreidimensionale und zeitabhängige numerische Simulation der Strömung konnte die kritische Marangoni-Zahl Ma^c , die den Übergang von stationärer zu instationärer Konvektion beschreibt, mit $Ma^c = 600$ ermittelt werden.

Nach den bisherigen Modellrechnungen muß bei größeren Zonendimensionen mit instationärer Marangoni-Konvektion gerechnet werden. Als eine Möglichkeit zur Laminarisierung dieser Strömungen werden magnetische Gleichfelder untersucht, die nach Modellrechnungen eine erhebliche Erhöhung von Ma^c zulassen (Abb. 3.6).

Die Zielsetzung der Weltraumexperimente, die in Zusammenarbeit mit den Siemens-Forschungslaboratorien vorbereitet werden, besteht also zum einen in der Demonstration der technischen Durchführbarkeit des FZ-Verfahrens unter Weltraumbedingungen, wobei die Überwachung, Steuerung und Kontrolle durch den Kristallzüchter vom Boden aus angestrebt und bereits erprobt werden. Zum zweiten sollen die Experimente dazu dienen, um unser Modell zur Beschreibung der Marangoni-Konvektion bei GaAs-FZs quantitativ zu überprüfen. Dazu wurden bisher 1988 und 1989 Vorversuche mit GaAs-FZs bei ballistischen Raketenflügen im TEXUS-Programm durchgeführt. In der für 1992 geplanten 2. deutschen Spacelab-Mission D2 ist dann eine Versuchsserie mit GaAs-Kristallen von 20 mm Durch-

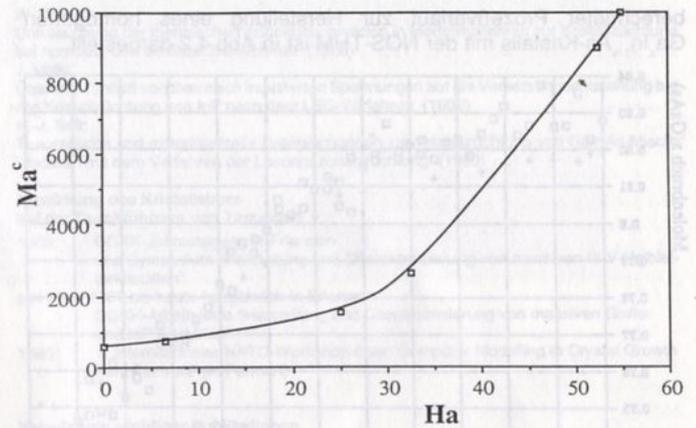


Abb. 3.6: Berechnete Zunahme der kritischen Marangoni-Zahl Ma^c für den Übergang von stationärer zu zeitabhängiger Thermokapillarkonvektion mit zunehmendem axialen Magnetfeld. Die Hartmann-Zahl Ha ist proportional zum Quadrat der magnetischen Induktion B ; z. B. $Ma^c = 9000$ entspricht $B = 1,6$ Tesla für eine GaAs-Zone von 20 mm Höhe und Durchmesser bei etwa 30 K Temperaturunterschied entlang der freien Oberfläche.

messer vorgesehen, bei der die Versuchsbedingungen einschließlich des As-Dampfdruckes variiert werden. Bei all diesen Versuchen befindet sich das GaAs sowie das As-Reservoir in einer Glasampulle, die in einem Ellipsoid-Spiegelofen mit einer Halogenlampe beheizt wird.

4. Züchtung von massiven Mischkristallen

III-V-Mischkristalle sind wegen der Möglichkeit zur maßgeschneiderten Einstellung von Stoffparametern (elektronische, optische und optoelektronische Eigenschaften) für spezielle Bauelemente (Laser, Photodioden, optische Wellenleiter, etc.) von technischem Interesse. Normalerweise läßt man diese Mischkristalle gitterangepaßt epitaktisch auf einer binären III-V-Verbindung aufwachsen. Darüber hinaus besteht aber auch ein Bedarf an massiven Mischkristallen, sei es für die Untersuchung von Stoffeigenschaften oder als Substratmaterial mit einem einstellbaren Gitterparameter. Wegen der auftretenden Segregation bei der Kristallzüchtung ist jedoch die Herstellung homogener massiver Mischkristalle schwierig - aus der Sicht des Kristallzüchters jedoch sehr interessant. Seit 1983 werden deshalb im Kristalllabor Möglichkeiten zur Herstellung homogener, ternärer Mischkristalle theoretisch als auch experimentell untersucht, die im folgenden beschrieben sind. Dabei wurde als Stoffsystem GaInAs ausgewählt, weil sich damit der zugängliche Bereich des für die optische Nachrichtentechnik interessanten quaternären Systems GaInAsP in Form von Epitaxieschichten auf GaInAs-Substraten (siehe Abschnitt 4.1) wesentlich erweitern ließe.

4.1 Das Lösungszonenv erfahren zur Herstellung homogener, ternärer Mischkristalle

Das Lösungszonenv erfahren (vom Aufbau her dem Zonenschmelzen sehr ähnlich) ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Kristall aus einer Lösung wächst, während gleichzeitig festes Vorratsmaterial zum Wachstum dieses Kristalls aufgelöst wird. Diese Lösungszone wird durch die Bewegung eines Ringheizers praktisch durch einen Vorratskristall "transportiert". Man kann es sich so vorstellen, daß durch die Bewegung des Heizers die Temperatur an der Phasengrenze in Bewegungsrichtung erhöht und an der anderen entsprechend erniedrigt wird. Aufgrund des Phasendiagrammes verändern sich die Konzentrationen an den Phasengrenzen, und der daraus resultierende Konzentrationsunterschied führt zum Stofftransport durch die Lösungszone und damit zum Wachstum des Kristalls. Im Kristalllabor werden im Stoffsystem Ga-In-As Züchtungsexperimente sowohl mit widerstandsbeheizten Zonenheizanlagen als auch in einem Spiegelofen durchgeführt. Abb. 4.1 zeigt ein typisches Ergebnis. Mit einer theoretischen Modellierung der Lösungszonenzüchtung bei rein diffusionsbestimmtem Stofftransport konnte gezeigt werden, welche Parameterveränderung (Zonenbreite, Ziehgeschwindigkeit, Zonen-temperatur, Temperaturdifferenz zwischen den Phasengrenzen) während der Züchtung erforderlich wären, um einen homogenen Mischkristall mit der Lösungszonenzüchtung herstellen zu können (genannt NOS-THM, Non-Steady-Travelling-Heater-Method). Ein

berechneter Prozeßverlauf zur Herstellung eines homogenen $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ -Kristalls mit der NOS-THM ist in Abb.4.2 dargestellt.

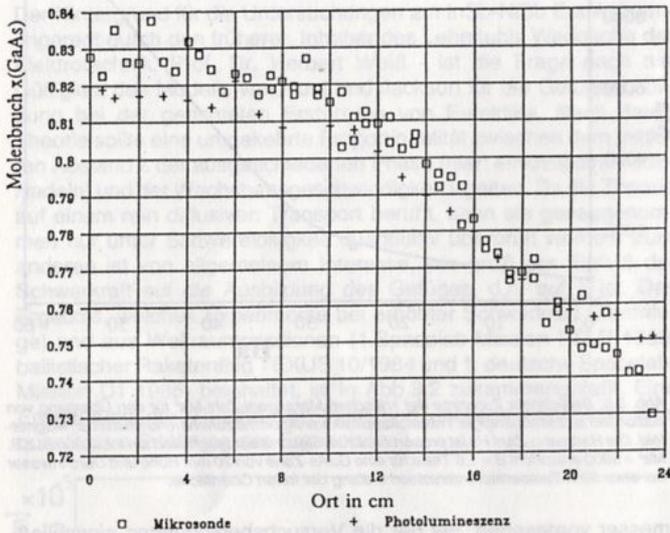


Abb. 4.1: Axialer Verlauf der Zusammensetzung in einem GaInAs -Mischkristall, gezüchtet mit dem Lösungszoneverfahren mit inhomogenem Vorratskristall.

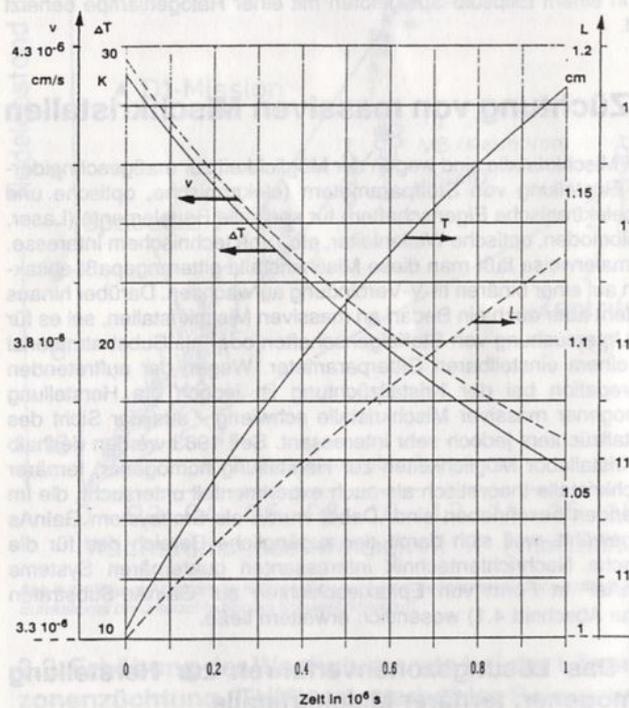


Abb. 4.2: Geforderte Parameteränderungen für das Wachstum eines homogenen Mischkristalls (In diesem Beispiel wurde ein Unterschied in der Zusammensetzung zwischen Keim- und Vorratskristall von $\Delta x = 0,1$ angenommen.)

4.2 Gerichtete Erstarrung von Mischkristallschmelzen

Die gerichtete Erstarrung von Mischkristallschmelzen wird aus zweierlei Gründen untersucht. Einmal soll damit homogenes, polykristallines Vorratsmaterial für die Lösungszonezüchtung hergestellt werden. Dies erfolgt bei möglichst hoher Erstarrungsgeschwindigkeit und führt damit nicht zu Einkristallen. Zum anderen wird im Hinblick auf eine Einkristallherstellung nach dem Bridgmanverfahren die Segregation der Komponenten in Abhängigkeit von den Transportbedingungen in der flüssigen Phase untersucht. Es zeigt sich, daß Mischkristalle hier wesentlich empfindlicher reagieren, als man es bei der Züchtung binärer, dotierter III-V-Verbindungen findet.

5. Flüssigphasenepitaxie und Segregation bei Heterostrukturen

Mit der Übernahme des Lehrstuhls durch Prof. K.-H. Zschauer im Jahre 1983 wurden neue Arbeitsgebiete eingeführt, die thematisch enge Beziehung zur Kristallzüchtung haben und deshalb nach dessen Tod im Jahre 1988 am Kristalllabor weitergeführt wurden. Waren vorher ausschließlich massive Kristalle und die Transportvorgänge in der Schmelze Gegenstand der Arbeiten des Kristalllabors, so wurden in dieser zunächst eigenständigen Arbeitsgruppe die Probleme um das Wachstum von und die Diffusion in Heterostrukturen untersucht.

5.1 Untersuchung der Mischungslücke im System GaInAsP mit der Flüssigphasenepitaxie

Theoretische Untersuchungen in der Literatur zeigen, daß bei III-V-Mischkristallsystemen Mischungslücken im festen Zustand zu erwarten sind. Bei der Epitaxie des für die optische Nachrichtentechnik wichtigen quaternären Stoffsystems GaInAsP liegt man für technisch relevante Prozesse im Einflußbereich der Mischungslücke, die sich durch Verschlechterung der elektrischen und optischen Stoffeigenschaften bemerkbar macht. Da die theoretischen Ergebnisse relativ ungenau sind, besteht Bedarf an genaueren experimentellen Daten über die tatsächliche Ausdehnung der Mischungslücke. Dafür wird die Flüssigphasenepitaxie ausgewählt, weil hier das Wachstum nahe am thermodynamischen Gleichgewicht stattfindet und damit Effekte, die auf eine Mischungslücke hinweisen, deutlich sichtbar werden sollten. Der Bereich, der mit Epitaxieverfahren zugänglich ist, beschränkt sich wegen der geforderten Gitteranpassung auf binäre Substrate mit geeignetem Gitterparameter. Im behandelten Stoffsystem sind dies InP und GaAs . Besonders günstig ist das Wachstum auch auf $\text{Ga}_{0,8}\text{In}_{0,2}\text{As}$ -Mischkristallsubstraten, da man hier in das Zentrum der Mischungslücke vordringen kann (siehe Abb. 5.1). Die bisherigen Ergebnisse zeigen, auch im Vergleich mit der Literatur, daß die experimentell wirksame Mischungslücke kleiner ist als der theoretisch berechnete Bereich.

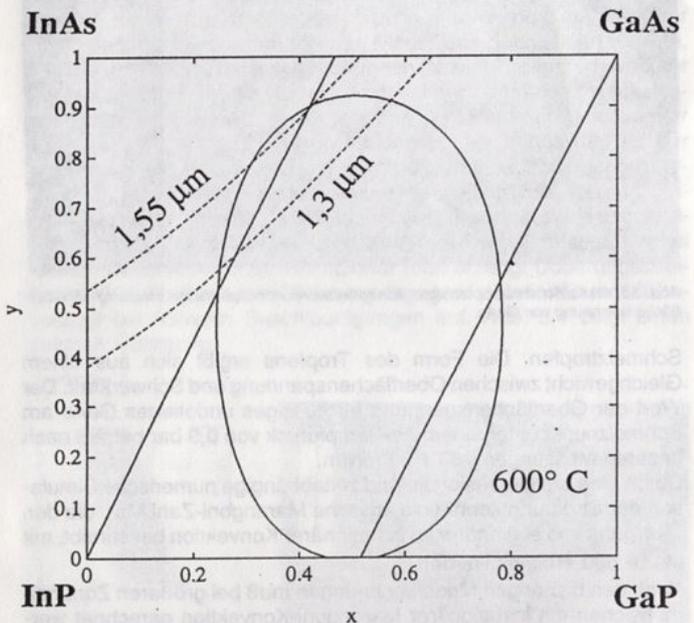


Abb. 5.1: Mischungslücke im quaternären System $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$. Eingezeichnet ist die Isotherme für spinodale Entmischung bei 600°C . Die Darstellung enthält außerdem die Linien gleichen Gitterparameters angepaßt auf InP und GaAs sowie Linien gleichen Bandabstandes, umgerechnet in Emissionswellenlängen für die in der optischen Nachrichtenübertragung benötigten Halbleiterslaser.

5.2 Segregation von Dotierstoffen in Heterostrukturen im System GaInAsP/InP

Mit dem Einsatz von III-V-Halbleitern in der Halbleitertechnik wurde aufgrund der weitgehenden Mischbarkeit der Aufbau von Heterostrukturen möglich, d.h. von Strukturen, deren einzelne Bereiche sich nicht nur wie bei der Ge- und Si-Technologie in der Dotierung unterscheiden, sondern aus unterschiedlichen Halbleitern bestehen. Dabei treten aber neben anderen auch neue Probleme bei der Dotierung auf. Zum einen können das chemische Potential und der

Diffusionskoeffizient des Dotierstoffes von der chemischen Zusammensetzung, dem Gitterparameter und der Lage des Fermi-niveaus des jeweiligen Halbleiters abhängen, zum anderen kann der Dotierstoff selbst die genannten Eigenschaften z.B. über das Fermi-niveau beeinflussen. Technisch relevante Auswirkungen sind zum Beispiel die Siliziumverschleppung bei der Gasphasenepitaxie (MOVPE), die durch Dotierstoffe angeregte Vermischung der einzelnen Ebenen in Übergitterstrukturen und die Segregation beim Einbau von Dotierstoffen bei der Flüssigphasenepitaxie. Die letztgenannte Problematik wird in einer Arbeit anhand der Dotierung von quaternären und ternären Epitaxieschichten auf InP durch Diffusion von Zink experimentell und theoretisch untersucht. Die Diffusion von Zink erfolgt aus einer festen Quelle auf der Oberfläche der Heterostruktur durch kurzzeitiges Erhitzen der Probe für eine Zeit von wenigen Sekunden bis Minuten auf etwa 600°C. Für die quantitative Bestimmung der Dotierstoffverteilung ist das Kristalllabor auf SIMS-Messungen außer Haus angewiesen, qualitative einfachere Messungen erfolgen im Hause durch schichtweises Abtragen und Widerstandsmessung. Der theoretische Teil dieser Arbeit behandelt die Verteilung des Dotierstoffes durch die Lösung der Poisson-Gleichung mit einem ortsabhängigen chemischen Potential unter Berücksichtigung der ortsabhängigen Lage der Energiebänder und Bandsprünge beim Heteroübergang (Abb.5.2).

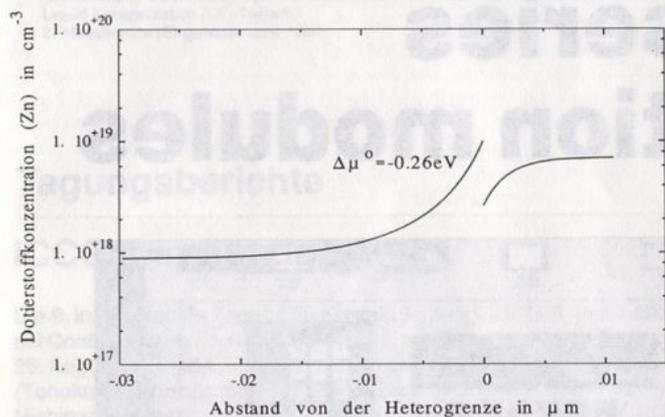


Abb.5.2: Berechnete Dotierstoffverteilung in der Nähe eines Heteroüberganges unter Berücksichtigung der ortsabhängigen Lage der Energiebänder und der Bandsversätze.

Ausblick

Das Kristalllabor wird künftig als zusätzliches Forschungsthema die Züchtung von Siliciumkristallen aufnehmen. Diese Aufgabe resultiert aus der Überlegung, daß für künftige höchstintegrierte Bauelemente der Mikroelektronik, wie die Speicherbausteine der Mega- bis Giga-bit- Generationen, erheblich gesteigerte Anforderungen an die Eigenschaften der Siliciumkristalle gestellt werden. Dies betrifft die mikroskopische wie makroskopische Homogenität, den in engen Konzentrationsbereichen definierten Sauerstoffeinbau, aber auch zum anderen eine weitere Durchmesservergrößerung, die Einhaltung des versetzungsfreien Zustandes und die Reduktion von Verspannungen. Aus diesem großen Katalog von neuen Herausforderungen und Aufgaben für die Kristallzüchtungsindustrie und die Anlagenhersteller kann das Kristalllabor einige der Forschungsaufgaben übernehmen, bei denen auf bisherige Erfahrungen zurückgegriffen werden kann. Dies betrifft sowohl die Prozeßmodellierung mit numerischen Verfahren als auch experimentelle Untersuchungen zum Einfluß von Parametervariationen. Die Durchführung dieser Untersuchungen erfolgt weitgehend im Rahmen des Europäischen Programmes JESSI (Joint European Submicron Silicon) in enger Zusammenarbeit mit der Industrie.

G. Müller und H.-J. Sell

Dissertationen am Kristalllabor

- E. Tomzig:
HgJ₂ - Einkristalle als Material für Gamma- und Röntgendetektoren (1979)
- P. Kyr:
Über den Einfluß des konvektiven Wärme- und Stofftransportes auf die gerichtete Erstarrung des InSb-NiSb Eutektikums (1985)
- R. A. Stein:
Über die Lösungszonezüchtung von GaAs- und InP-Einkristallen und deren Charakterisierung mit besonderer Berücksichtigung der Eigendefekte in GaAs (1986)
- G. Neumann:
Berechnung der thermischen Auftriebskonvektion in Modellsystemen zur Kristallzüchtung (1986)

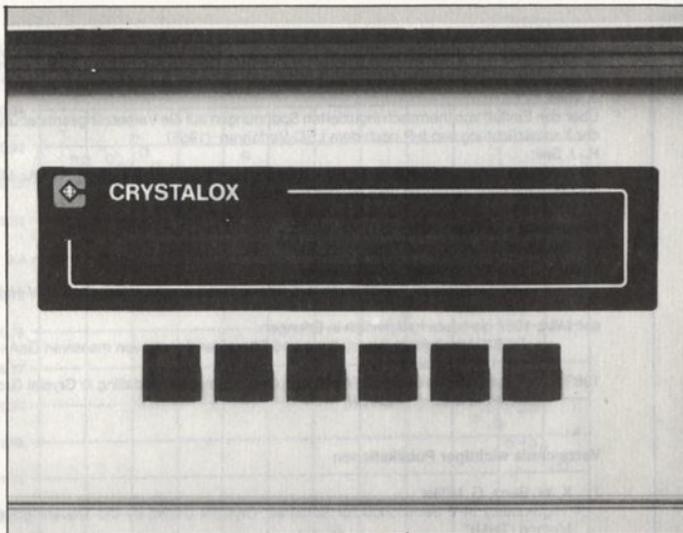
- W. Weber:
Untersuchung der thermischen Auftriebskonvektion in Modellsystemen zur Kristallzüchtung bei normaler und erhöhter Schwerkraft (1988)
- J. Völkl:
Über den Einfluß von thermisch induzierten Spannungen auf die Versetzungsehtstellung bei der Kristallzüchtung von InP nach dem LEC-Verfahren (1988)
- H.-J. Sell:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Kristallzüchtung von GaInAs-Mischkristallen mit dem Verfahren der Lösungszonezüchtung (1989)

Mitwirkung des Kristalllabors bei der Durchführung von Tagungen

- 1986: DGKK-Jahrestagung in Erlangen und Symposium "Herstellung und Charakterisierung von massiven III-V-Halbleiterkristallen"
- seit März 1987 bis heute halbjährlich in Erlangen: DGKK-Arbeitskreis "Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs- und InP-Kristallen"
- 1989: 1. Internationaler NATO-Workshop über "Computer Modelling in Crystal Growth from the Melt" (in Parma/1)

Verzeichnis wichtiger Publikationen

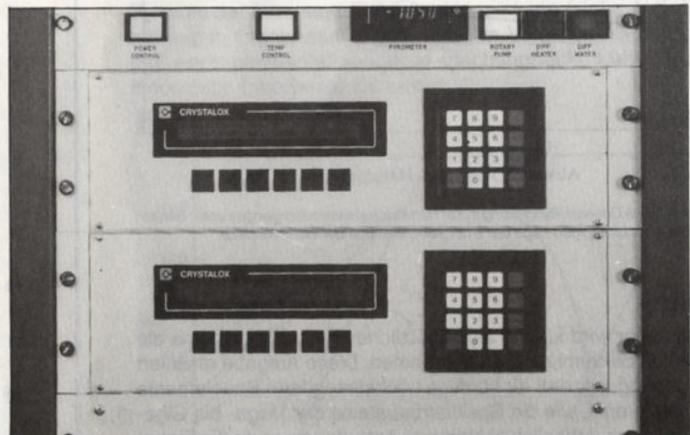
- K. W. Benz, G. Müller
"High-quality III-V Semiconductor Substrate Crystals Grown by the Travelling Heater Method (THM)"
Inst. Phys. Conf. Ser. No 45 (1979) 154-162
- K. W. Benz, G. Müller
"GaSb and InSb Crystals Grown by Vertical and Horizontal Travelling Heater Method"
J. Crystal Growth 46 (1979) 35-42
- G. Müller, E. Schmidt, P. Kyr
"Investigation of Convection in Melts and Crystal Growth Under Large Inertial Accelerations"
J. Crystal Growth 49 (1980) 387-395
- G. Müller
"Konvektive Transportvorgänge bei der Materialherstellung aus Schmelzen mit kleiner Prandtlzahl"
Z. Flugwiss. Weltraumforsch. 5 (1981) 1-8
- P. Kyr, G. Müller
"Entwicklung eines Experimentkonzepts zur gerichteten Erstarrung des InSb-NiSb-Eutektikums im Weltraum"
Z. Flugwiss. Weltraumforsch. 6 (1982) 152-159
- G. Müller, G. Neumann
"Suppression of Doping Striations in Zone Melting of InSb by Enhanced Convection on a Centrifuge"
J. Crystal Growth 59 (1982) 548-556
- G. Müller, G. Neumann
"Investigation of Convective Flows in Model Systems of Directional Solidification Configurations"
Proc. of the 4. Europ. Symposium on Materials Sciences under Microgravity, Madrid 5.-8. April 1983, ESA-SP-191, pp. 285-294
- G. Müller, G. Neumann
"Tenfold Growth Rates in the Travelling Heater Method of GaSb Crystals by Forced Convection on a Centrifuge"
J. Crystal Growth 63 (1983) 58-66
- G. Müller, J. Pfannenmüller, E. Tomzig, J. Völkl, F. Köhl
"Sources of Silicon Contamination in LEC-Grown InP Crystals"
J. Crystal Growth 64 (1983) 37-39
- G. Müller, J. Völkl and E. Tomzig
"Thermal Analysis of LEC InP Growth"
J. Crystal Growth 64 (1983) 40-47
- F. Rosenberger and G. Müller
"Interfacial Transport in Crystal Growth, a Parametric Comparison of Convective Effects"
J. Crystal Growth 65 (1983) 91-104
- G. Müller, G. Neumann and W. Weber
"Natural Convection in Vertical Bridgman Configurations"
J. Crystal Growth 70 (1984) 78-94
- G. Müller, G. Kyr
"Directional Solidification of the InSb-NiSb Eutectic"
Proc. 5. Europ. Symp. Materials Sciences Under Microgravity, Schloß Elmau, 5.-7. Nov. 1984, ESA-SP 222, pp. 141-146
- G. Müller, R. Rupp, J. Völkl, H. Wolf and W. Blum
"Deformation Behaviour and Dislocation Formation in Undoped and Doped (Zn, S) InP Crystals"
J. Crystal Growth 71 (1985) 771-781
- G. Müller
"Über die Entstehung von Inhomogenitäten in Halbleiterkristallen bei der Herstellung aus Schmelzen" (Habilitationsschrift)
Selisch Fachbuch-Verlag, Langensendelbach 1986
- J. Völkl, G. Müller and W. Blum
"Analysis of Generation and Movement of Dislocations in InP by a Study of the Deformation Behaviour"
J. Crystal Growth 83 (1987) 383-390
- G. Müller, G. Neumann and H. Matz
"A Two-Raleigh-Number Model of Buoyancy-Driven Convection in Vertical Melt Growth Configurations"
J. Crystal Growth 84 (1987) 33-49
- J. Völkl, G. Müller
"Analysis of Thermally Induced Stress in the LEC Growth of InP Crystals"
Proc. Europ. Materials Research Soc. Conf., Strasbourg, 2.-5. June 1987
Les Editions de Physique, Vol. XVI (1987) 141-150
- G. Müller, P. Kyr
"Directional Solidification of InSb-NiSb Eutectic"
Proc. of the Symp. on the Scientific Results of the German Spacelab Mission D1, 27.-29. Aug. 1986 in Norderney, ISBN 3-89 100-013-8 (1987) 246-259
- G. Müller
"Non-Uniformity of the InP Substrate Crystals" (invited)
Proc. Europ. Materials Research Soc. Conf., Strasbourg, 2.-5. June 1987
Les Editions de Physique, Vol XVI, Les Ulis (1987) 117-130
- D. Hofmann, F. Mosel, G. Müller
"Influence of a Vertical Magnetic Field on the LEC Growth and Properties of 3 inch s.i. InP-Crystals"
Proc. of the 5th Conf. on Semi-Insulating III-V Materials, Malmö/1988,
Eds. G. Grossmann and L. Lebedo (Hilger, Bristol, 1988) 429-434



- Czochralski growth
- Bridgman growth
- Top seeded solution growth
- Flux growth
- Fibre growth
- Zone refining

Crystalox 4000 series translation/rotation modules

..... wherever precision rotation and translation are required Crystalox has the answer. The 4000 Series rotation/translation modules. The DPH4000 digital pulling head and CRT4000 crucible rotation/translation unit provide



- Front panel menu control
- Remote computer control via RS422 interface
- Wide dynamic speed ranges
0.01 mm/hr to 999.9 mm/min,
or 0.001 to 99.9 rpm
- Digital position indication
- Accelerated crucible rotation

- Low backlash, ensuring high precision
- Water-cooled shaft
- Vacuum compatibility
- Axial thermocouple facility

Want to know more about the 4000 series? Call or write today.



U.K.
Crystalox Limited,
1 Limbrough Road,
Wantage,
Oxfordshire, OX12 9AJ.
Tel: (235) - 770044.
Fax: (235) - 770111.
Telex: 838851.

U.S.A.
Crystalox Limited,
100 Brush Creek Road,
Suite 101, Santa Rosa,
California 95404 - 2709.
Tel: (707) 539 2508.
Fax: (707) 539 4808.
Telex: 988443.

- 22 H. Völkl, G. Müller
"Dynamical Model of Dislocation Formation During LEC-Growth of InP"
(wie 21), 489-494
- 23 D. Hofmann, G. Müller, N. Streckfuß
"Semi-Insulating Electrical Properties of Undoped InP after Heat Treatment in a Phosphorus Atmosphere"
Applied Physics A, 48 (1989) 315-319
- 24 J. Völkl, G. Müller
"A new Model for the Calculation of Dislocation Formation in Semiconductor Melt Growth by Taking into Account the Dynamics of Plastic Deformation"
J. Crystal Growth 97 (1989) 136
- 25 R. Rupp, G. Müller, G. Neumann
"Three-Dimensional Time Dependent Modelling of the Marangoni Convection in Zone Melting Configurations for GaAs"
J. Crystal Growth 97 (1989) 34
- 26 J. Baumgartl, W. Budweiser, G. Müller and G. Neumann
"Studies of Buoyancy Driven Convection in a Vertical Cylinder with Parabolic Temperature Profile"
J. Crystal Growth 97 (1989) 9
- 27 H.J. Sell and G. Müller
"Numerical Modelling of the Growth and Composition of Ga_{1-x}In_xAs Bulk Mixed Crystals by the Travelling Heater Method"
J. Crystal Growth 97 (1989) 194
- 28 G. Müller
"A Comparative Study of Crystal Growth Phenomena under Reduced and Enhanced Gravity"
J. Crystal Growth (1989) accepted
- 29 W. Weber, G. Neumann, G. Müller
"Stabilizing Influence of the Coriolis Force During Melt Growth on a Centrifuge"
J. Crystal Growth (accepted 1989)
- 30 B. Reppich, K. Rieger, G. Müller
"Dynamische Verformung von InP-Einkristallen bei höchsten Temperaturen mittels Liquid-Encapsulation (LE)-Technik"
Z. Metallkunde (Eingereicht Juni 1989)

Tagungsberichte

ICCG-9 in Sendai

Die 9. internationale Tagung für Kristallzüchtung, ICCG-9 (International Conference on Crystal Growth), fand am Sonntag, 20., bis Freitag, 25. August, in Sendai, Japan, unter der Leitung von Prof. I. Sunagawa (Tohoku Universität Sendai) statt. General-Sekretär war Prof. T. Nishinaga von der Universität Tokio. Dies war die zweite ICCG-Tagung in Japan, die Teilnehmerzahl betrug 1024. Sieht man von der Tagung ICCG-6 1980 in Moskau ab, bei der 900 russische Wissenschaftler drei Viertel der Teilnehmer ausmachten, war dies die Tagung mit den meisten Teilnehmern. Gegenüber ICCG-4 1974 in Tokio, der ersten Tagung in Japan, war dies eine Steigerung von 35 %, wobei der Anteil der Teilnehmer aus Japan als Gastland sogar deutlich niedriger lag.

In der Tabelle sind die Zahlen der Tagungen für den Zeitraum von 15 Jahren zusammengestellt. Nach dem Gastland ist der Anteil der



Prof. Karl erhält einen Preis für das beste Foto von Kristallen aus der Hand von Prof. Sunagawa

Westeuropäer mit Abstand der größte (Ausnahme: ICCG-6), nur fällt bei den beiden europäischen Tagungen der Anteil der Teilnehmer aus Westeuropa als Gastland deutlich ab. Der Anteil der Teilnehmer aus der Bundesrepublik war beachtlich hoch. Bei den Zahlen wurden die Teilnehmerlisten ausgewertet; dabei wurden auch Teilnehmer mitgezählt, die nicht erschienen waren, was besonders die Zahlen für die USSR und Indien verfälscht.

Entsprechend der vielen Teilnehmer bei ICCG-9 war die Organisation eine sehr schwierige Aufgabe, die durch den Einsatz von vielen fleißigen Mitarbeitern und neuen Ideen gut bewältigt worden ist. Um die Fülle von 830 Beiträgen unterzubringen, waren 5 Parallelsitzungen nötig. Vier Vortragsräume waren im Hotel Sendai Plaza, einer im Sendai Shoko-Kaigisho.

Ein völliges Novum war die Art der Vorträge. Es gab 70 eingeladene Vorträge mit meistens 30 Minuten Redezeit und anschließender Diskussion. Etwa ein Drittel dieser Vorträge war aus Japan, ein Drittel aus USA und ein Viertel aus Westeuropa. Die angemeldeten Beiträge wurden in Form von Kurzvorträgen, à 5 Minuten abgewickelt, ohne Diskussionszeit. Dazu standen je 2 Vortragsplätze pro Saal zur Verfügung, so daß kein Zeitverlust beim Rednerwechsel auftrat. Die Nummer des Vortrags, das Thema und die Autoren wurden während des Vortrags auf eine separate Leinwand mit einem computergesteuerten Tageslichtprojektor projiziert, der nach 4 Minuten auf eine invertierte Projektionsform umschaltete.

In den Sitzungen, die ich besucht habe, wurde die Redezeit sehr gut eingehalten, wesentlich besser als bei den bisher üblichen 10 Minuten Rededauer mit 5 Minuten Diskussionszeit. Die Diskussion konnte danach bei den jeweiligen Posterausstellungen stattfinden. Auch für die eingeladenen Vorträge standen Posterflächen zur Verfügung. So konnte man sich Informationen auch von solchen Beiträgen verschaffen, die man wegen der vielen Parallelsitzungen sonst verpaßt hätte.

Es gab eine beachtliche Anzahl von Teilnehmern, die nur ein Poster ausstellten und keinen Kurzvortrag hielten. Dies galt insbesondere für "last minute contributions". Leider waren die fünf Ausstellungsräume für Poster nicht ganz nahe beieinander. Jeweils mittags und abends mußten die Posterflächen freigemacht werden.

Die offizielle Ausstellungszeit war nur 1,5 Stunden, was bei der Fülle der Beiträge eine sehr kritische, individuelle Auswahl verlangte. Da jeder angemeldete Teilnehmer das Programm mit den Beitragstiteln und -zeiten rechtzeitig vorher zugeschickt bekommen hatte, konnte man die Vorauswahl in Ruhe vornehmen. Dies war auch sehr zu empfehlen, da die Numerierung und die Zuordnung der Ausstellungsräume recht kompliziert waren.

Am Sonntagnachmittag hielt die Japanische Gesellschaft für Kristallwachstum eine Vortragsveranstaltung ab, zu der auch Gäste willkommen waren. Dabei wurden die Arbeiten von Dr. Koichi Kakimoto und Dr. Takeoshi Hibiya von NEC durch die Verleihung eines Preises der Gesellschaft gewürdigt. Die Arbeiten befassen sich mit in-situ-Beobachtungen und Konvektionsbewegungen in Si, GaAs, InP und der



Matsushima Party

darübergelagerten B_2O_3 -Schmelze mit W-Partikeln und Röntgenradiographischen Methoden. Dr. Koichi Kakimoto hielt darüber einen sehr interessanten Vortrag, und zwar mit Rücksicht auf die internationalen Gäste in Englisch.

Der wissenschaftliche Teil der Tagung begann am Montagmorgen mit einem Plenarvortrag von Prof. A. A. Chernov aus dem Institut für Kristallographie der Wissenschaftlichen Akademie der USSR, Moskau, über neuere Entwicklungen bei der Kinetik an der Grenzschicht bei Züchtungen aus der Schmelze und aus Lösungen.

Für die einzelnen Beiträge verweise ich auf die Tagungsberichte, die im "Journal of Crystal Growth" erscheinen werden. Hier nur einige subjektive Kommentare:

Etwas zu breiter Raum wurde der Kristallzüchtung von supraleitenden Oxiden mit hoher Sprungtemperatur eingeräumt. Die Probleme sind hier sehr groß durch die Menge an Strukturen, inkongruentes Schmelzen, aggressive, schmelzflüssige Lösungen, Zwillingsbildung und Sauerstoffgehalt in dem Kristall.

Ebenfalls schien mir die Bedeutung von Kristallwachstum unter stark reduzierter Gravitationsfeldstärke zu betont. Hier möchte ich Prof. F. Rosenberger, University of Alabama, USA, erwähnen, der in seinem brillanten, selbst für den Außenstehenden durchaus zugänglichen Vortrag folgende bemerkenswerte Aussage machte. Pulsartige Restgravitation von 10^{-3} g wirkt sich wegen der langen Dämpfungszeiten ($\approx 0,6$ h) deutlich nachteilig auf den Einbau von Dotierstoffen aus.

Sehr eindrucksvoll waren für mich die Vorträge und Poster über die Züchtung von großen Halbleiter-Kristallen von Prof. T. Fukuda, Tohoku Univ. Sendai, Dr. E. M. Monberg, AT & T Bell Lab., Murray Hill, NJ/USA und Dr. R. N. Thomas, Westinghouse R & D Center Pittsburg, PA/USA.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich auf die Kristallausstellungen hinweisen, in denen große Halbleiterkristalle wie Si (200 mm), GaAs und InP von beeindruckender gerader äußerer Form zu sehen waren. Daneben gab es große Kristalle und fertige Bauteile von MgO , $KTiPO_5$, β - BaB_2O_4 , $Nd_xY_{3-x}AlO_{12}$ ($0 < x < 0,012$), $PbMO_4$, $Bi_{12}GeO_{20}$ und TeO_2 .

Für mich besonders eindrucksvoll waren dicke ($> 0,4$ mm), mit Bismut substituierte Yttrium-Eisen-Granat-Schichten ($\phi > 5$ cm), die durch Flüssigphasenepitaxie (LPE) hergestellt worden waren. Durch Wegschleifen des Substrates und Polieren werden 45° -Faraday-Rotatoren für $1,55\mu m$ Wellenlänge hergestellt und kommerziell angeboten (Tokin, Sumitomo). Damit ist man mit der Epitaxie aus schmelzflüssiger Lösung in die Dimension der "Bulk-Kristallisation" vorgedrungen. Auch $0,1$ mm dicke $Y_3Fe_5O_{12}$ -Schichten auf $3''$ Substraten waren ausgestellt für SAW-Anwendungen (Surface Acoustic Waves).

Beachtlich war auch der Vortrag von Prof. Takatomo Sasaki, Osaka, über die Herstellung großer Kristalle aus Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), aus denen Platten von 40×40 cm Abmessungen für Laser-Fusion-Anwendungen geschnitten werden. Solche Kristalle waren auch ausgestellt.

Sehr schöne Übersichtsvorträge konnte ich hören über II-VI-Halbleiterkristalle (Dr. B. Fitzpatrick, Philips Lab., Briarcliff Manor, NY/USA),

Kristalle für nichtlineare Optik zur Frequenzverdoppelung (Prof. M. M. Feyer, Stanford, CA/USA) und Kristallzüchtung von Drei- und Vielstoffverbindungen (Prof. B. S. Feigelson, Stanford, CA/USA). Da Prof. Lang nicht anwesend sein konnte, hielt Prof. I. Sunagawa, Tohoku Sendai, einen anschaulichen Vortrag über das Wachstum und die Morphologie von Diamantkristallen unter stabilen und metastabilen Bedingungen. Ihm folgte der Vortrag von Dr. B. V. Spitzyn, Institut für Physikalische Chemie der Wissenschaftlichen Akademie der USSR, Moskau, über die Epitaxie von Diamantschichten aus der Dampfphase bei niedrigen Drücken.

Am Mittwochnachmittag fand eine Exkursion zur schönen Matsushima Bucht statt, die nach einer sonnigen Busfahrt leider etwas unter dem dort einsetzenden Regen litt. Aber gerade der warme Regen machte auf die Zweckmäßigkeit der Holzkonstruktionen der Tempel aufmerksam. Entschädigt wurden die Teilnehmer bei einer "heart warming party" am milden Abend im Garten des feudalen Hotels Ichinovo mit Sicht auf die Bucht mit den vielen hübschen kleinen, Kiefernbewachsenen Inseln. Japanische Tänze, Volkslieder, Trommelparade, Sketche, unter anderem mit einem Riesen-Drachen, und natürlich wunderschöne buntgekleidete Tänzerinnen und Tänzer sorgten für Unterhaltung. Kontaktaufnahme zu unbekannten Tagungsteilnehmern war unter diesen Umständen kein Problem.

Ein weiterer gesellschaftlicher Höhepunkt war das Konferenz-Dinner am Donnerstag, 24. August. Das Essen war ganz im westlichen Stil, ebenso der Sendaier gemischte Chor "Green Wood", der für das musikalische Rahmenprogramm sorgte, - schöne Kimonos hätten mir bei dem Chor besser gefallen. Lediglich zwei japanische Holzpuppen (kokeshi) je Tisch sorgten für etwas Lokalkolorit. Im Mittelpunkt standen einige Auszeichnungen. So erhielten Prof. Chernov den Franck-Preis und Prof. Jun-ichi Nishizawa (Tohoku Univ. Sendai) den Laudise-Preis des ICCG 1989 als Anerkennung für ihre Arbeiten. Es wurden auch Preise für die schönsten Kristallfotografien verteilt, unter anderem an Prof. R. Feigelson, Stanford, CA/USA, und an Prof. N. Karl, Stuttgart.

Vor dem Dinner hatte die ICCG-Vollversammlung stattgefunden unter der Leitung der Professoren Kern, Sekerka und Kaldis. Dabei wurden 5 zusätzliche Wissenschaftler in den ICCG-Council gewählt: Dr. S. Kimura, Japan, Prof. D. Nenow, Bulgarien, Prof. P. Bennema, Niederlande, Prof. O. N. Mesquita, Brasilien, und Prof. N. Ming, PR China. Außerdem wurde beschlossen, daß die nächste Tagung, ICCG-10, vom 16. bis 22. August 1992 in San Diego, CA/USA, unter der Leitung von Dr. W. A. Bonner und Dr. J. F. Wenckus stattfinden wird.

Auf der Schlußsitzung am Freitag, 25. August, kam der Dank und die Anerkennung für die gut gelungene Organisation der Tagung in Sendai zum Ausdruck. Es wurde aber auch auf die hohen Kosten der Tagung hingewiesen, die bei weitem nicht durch den Tagungsbeitrag gedeckt wurden. Bei dieser Gelegenheit wurde auch gesagt, daß 31 jungen Wissenschaftlern Reiseunterstützung gewährt worden ist. Dr. Bonner sagte, daß es schwer sein wird für ICCG-10, in Perfektion und Erlebnisreichtum mit ICCG-9 zu konkurrieren; aber die AACG will diese Aufgabe zuversichtlich angehen.

W. Tolksdorf



Conference Dinner

Saphir ein außergewöhnlicher Werkstoff für Anwendungen bei höchsten Temperaturen

Seit 01. 10. 1989 vertreibt Linn High Therm, bekannt als Hochtemperatur- und Laborofenhersteller sowie Produzent von Probenvorbereitungs- und Induktionserwärmungsanlagen, exklusiv Saphir-Profilteile.

Synthetischer Saphir (monokristallines Al_2O_3) besitzt im Vergleich zu polykristallinem Al_2O_3 gleicher Reinheit hervorragende mechanische und thermische Eigenschaften.

Im Gegensatz zum Verneuil-Verfahren werden die von Linn High Therm angebotenen Profilteile durch Matrizen oder Formen vertikal aus der Schmelze gezogen. Hierdurch ist in einer großen Vielfalt die endgültige Formgebung (z.B. Rohre) bereits während des Ziehprozesses möglich.

Die wichtigsten Eigenschaften sind:

Al_2O_3 -Gehalt (Reinheit) :	99,99 %
Dichte :	3,97 g/cm ³
Betriebstemperatur :	max. 2000 °C
Wärmeleitfähigkeit :	0,01 cal/sec x cm ³ x °C
Dielektrizitätskonstante :	10
Durchschlagfestigkeit :	4 x 10 ⁵ V/cm

spezifischer elektrischer Widerstand	
bei 500 °C :	10 ¹¹ Ohm x cm
bei 2000 °C :	10 ³ Ohm x cm
Druckfestigkeit bei 20 °C :	2500 N/mm ²
Zugfestigkeit bei 20 °C :	500 N/mm ²
bei 1000 °C :	360 N/mm ²
Härte (Mohs) bei 20 °C :	9,0

Saphir ist sehr beständig gegen Schmelzen aller Art, Dämpfe von Alkalimetallen, Säuren, Laugen und fluorhaltige Stoffe. Es besitzt außerdem eine hervorragende Strahlenbeständigkeit.

Das Fehlen einer durchgehenden Mikroporosität macht Saphir bis zu sehr hohen Temperaturen für Gase undurchlässig.

Anwendungen:

- Brennerrohre für Natriumhochdrucklampen, Laser-Pumplichtröhren,
- Ofeneinsatzrohre, Tiegel, Schiffchen, Brennhilfsmittel, mechanische Stützelemente für faserisolierte Hochtemperaturöfen,
- Thermoelementschutzrohre und Mehrloch-Thermoelementführungsrohrchen, Dilatomerteile,
- Substrate für Bauelemente, stromführende Isolierbuchsen, Sensorteile,
- Führungsteile im Maschinenbau, Ziehdüsen, Fadenführer usw.

Ort: Schloß Theuern, 8451 Theuern bei Amberg am Autobahnende A 6

Tag: 25. 01. 1990, Beginn 9.00 Uhr, Ende 22.00 Uhr

Kosten: DM 200,- + MWSt (incl. außergewöhnlichem Buffet)

Symposiumsschwerpunkte: Saphir-Eigenschaften
Saphir-Anwendungen
Liefermöglichkeiten
Marketing
Preise

Teile aller Abmessungen und Formen werden vorgeführt.

Wegen der begrenzten Teilnehmerzahl wird um rechtzeitige Anmeldung gebeten bei:

Linn High Therm GmbH

Frau Zeltner

Heinrich-Hertz-Platz 1

8459 Eschenfelden

Telefon 0 96 65 / 1721-5, Fax 0 96 65 / 17 20

Bitte auch mitteilen, ob bzw. von - bis Zimmerreservierungen benötigt werden.

Teilnehmer

Land	ICCG-9	ICCG-8	ICCG-7	ICCG-6	ICCG-5	ICCG-4
Jahr	1989	1986	1983	1980	1977	1974
Ort	Sendai	York	Stuttg.	Moskau	Boston	Tokio
Anzahl	1024	433	637	1206	500	774
Plenarvortr.	5	4	5	13	9	4
Eingel. Vortr.	70	10	38	30	23	17
Parallelsitzg	5	2	3	2	3	3
Kurzfassungen	830	¹⁾ 430	¹⁾ 400	600	¹⁾ 265	¹⁾ 320
Tagungsband	250	²⁾ 140	²⁾ 93	²⁾ 143	²⁾ 92	²⁾ 132
Anteile in %						
Japan	67,0	8,3	7,4	4,2	5,4	71,6
USA	5,0	13,9	12,6	0,7	63,8	7,4
Westeuropa	13,1	²⁾ 58,8	60,5	8,1	19,4	13,4
(BRD)	(3,6)	(15,7)	(33,5)	(2,3)	(6,8)	(3,2)
USSR	7,4	1,6	3,2	74,2	3,4	3,0
Osteuropa	1,4	7,8	10,0	12,0		2,2
Indien	0,9	0,9	0,8	0,3		0,4
Israel	0,8	3,5	2,1	0,1		0,7
Korea	1,3	0,2				
PRC	2,3	2,8	1,9	0,3		
Sonstige	0,8	2,2	1,5	0,1	8	1,3
Σ	100	100	100	100	100	100

1) wirklich vorgetragen

2) nach "standard refereeing"

3) GB: 24,5 %

ICCG-9 in Sendai, eine Tagung, die mir für die nächste Zeit in Erinnerung bleiben wird.

So viele technische Geräte wie aus dem Land der aufgehenden Sonne an unseren Arbeitsplätzen oder in unseren Haushalten auch haben, so wenig wissen wir über die Menschen dieser Region. Wir haben schon mit Japanern gesprochen, wir haben viel über ihre Höflichkeit gehört und über ihren Fleiß, und doch ist es etwas anderes, wenn man in diesem Land die Menschen erlebt; und vor allem: Jeder von uns erlebt sie auf seine Weise!

Es ist wohl nicht übertrieben, wenn ich die ICCG-9 als eine Tagung der Superlative bezeichne (verglichen mit anderen Kristallzüchtungs-Tagungen). Ca. 1000 Teilnehmer und ebenso viele Beiträge, fünf parallele Vortragsreihen und vier Posterräume. Dazu einen großen kommerziellen Ausstellungsraum. Nicht weniger erwähnenswert war das Begleitprogramm mit dem Empfang am ersten Abend, der Exkursion nach Matsushima mit den Darbietungen der Trommler, der Drachentänzer und dem "Privatfeuerwerk" und, am Ende der Tagung, dem Konferenz-Abendessen. Es muß einfach gesagt werden: Die örtliche Organisation hat hervorragendes geleistet. Wenn das eine oder andere nicht so funktionierte wie es gedacht war, so liegt das in der Natur der Dinge: Jeder macht Fehler.

Auch das sollte erwähnt werden: Die "Gemeinde der Kristallzüchter" hat ab und zu bewiesen, daß sie weiß, wie man sich eigentlich nicht benehmen sollte. Da bemüht sich eine Gruppe von Cotospielerinnen, uns mit traditioneller japanischer Musik zu erfreuen, da begrüßt uns der Bürgermeister von Sendai persönlich, da wird eine Tischrede gehalten, oder es singt der Chor der Universität, da werden Darbietungen geboten, und trotzdem verstummen die so Gelehrten nicht mal für eine Viertelstunde, um den Darbietenden die verdiente Aufmerksamkeit zu schenken. Traurig aber wahr!

Mit den ca. 830 Beiträgen in bis zu fünf parallelen Vortragsreihen und den vier verschiedenen Posterräumen war es für die Tagungsteilnehmer manchmal nicht einfach, die Vorträge zu hören oder die entsprechenden Poster zu finden, für die sie sich interessierten. Die Tagungsunterlagen waren aber so perfekt erstellt, daß jede gewünschte Information an irgendeiner Stelle zu finden war. Auch war die The-

menvielfalt so groß, daß man reichlich oft vor der Qual der Wahl stand und manches Mal einsehen mußte, daß nur noch eine persönliche Teilung aus dem Dilemma geholfen hätte.

Besonders wichtig erscheint mir das material- und systemübergreifende Gebiet "International Semiconductor Measurement Standards" das von R. I. Scace NIST (USA) vorgestellt wurde. Wie schön wäre es, wenn wir wüßten, wie die herrlichen Meßwerte irgendeiner physikalischen Meßgröße in einer Veröffentlichung zustande kamen. In vielen Bereichen haben sich international anerkannte Meßverfahren nach definierten Vorschriften durchgesetzt und ähnliches soll nach dem Wunsch vieler auch in diesem Bereich erreicht werden. Hier sind jetzt die Japaner mit viel Energie und Material dabei, um die nötigsten Lücken zu schließen. Da heute vor allem Substratmaterial nach zuverlässigen Kriterien spezifiziert sein muß, damit Vergleiche angestellt werden können, ist hier ein baldiger Erfolg wünschenswert.

H. Walcher

ISSCG-7 in Zao, Yamagata, Japan

Die 7. internationale Sommerschule für Kristallwachstum ISSCG-7 (International Summer School on Crystal Growth) fand vom Samstag 26. bis zum Donnerstag 31. August 1989 im Hotel Zao, Zao Onsen, Yamagata, Japan, statt.

Es gab 125 wissenschaftliche Teilnehmer und 15 Familienangehörige, 16 Lektoren hielten 22 Vorträge. Insgesamt 31 Poster wurden, verteilt auf drei Abende, ausgestellt; sie stellten ein ausgezeichnetes Stimulanz zu Diskussionen dar. Im Gegensatz zur ICCG-9, bei der das Programm sehr gedrängt und voller Hektik war, herrschte bei der ISSCG-7 eine gelassene, freundliche Atmosphäre, die auch kontroverse Diskussionen ermöglichte. So hatten die Vorträge eigentlich weniger den Charakter von Lehrveranstaltungen, sondern näherten sich mehr einer Expertendiskussion, bei der zunächst klare Aussagen durch kritische Betrachtung von einem anderen Blickpunkt her in Frage gestellt wurden. Das war lebendig und machte Spaß. Vor allem den vielen jüngeren Teilnehmern wurde deutlich, daß sich kritische Aufmerksamkeit lohnt. So mußte sich Prof. K. W. Benz (Freiburg) nach dem Sinn von Züchtungsexperimenten im Weltraum fragen lassen, und Prof. S. Balibar (ENS, Paris) stieß mit seiner Definition von glatten und rauhen Kristallflächen auf Widerspruch. Prof. A. A. Chernov (Moskau) hatte mit drei Vorträgen natürlich viel mehr Zeit als bei der ICCG-9, seine weiterentwickelte Vorstellung von den Vorgängen an der fest-flüssig Grenzfläche darzustellen. Einen sehr schönen Vortrag hielt Prof. B. A. Joyce (Imperial College, London) über MBE (Molecular Beam Epitaxy); leider spielte die Technik nicht mit: seine in England aufgezeichnete VHS-Videokassette ließ sich mit den japanischen Geräten nicht abspielen. Da war Dr. S. Iijima (NEC, Kawasaki, Japan) im Vorteil, der seine Beobachtungen über strukturelle Fluktuationen von "Mikrocluster" und an Oberflächen mit dem hochauflösenden Transmissionsmikroskop durch Videoaufnahmen vorstellen konnte, was sehr beeindruckend war. Prof. F. Rosenberger (Univ. Alabama, Huntsville, USA) ließ es sich nicht nehmen, seinen Vortrag über morphologische Entwicklung von aus der Dampfphase wachsenden Kristallen in seinem mit stilisierten Schneeflocken bedeckten Yukata zu halten. Er erhielt dafür einen solchen als Geschenk.

W. Tolksdorf



ISSCG-7

"The progress in theories and experiments on crystal growth - from chaos to cosmos".

Man kann im Nachhinein darüber philosophieren, welcher Fortschritt denn da gemeint war:

- Fortschritt in der Theorie,
- Fortschritt in der Kristallzucht,
- Fortschritt im Zusammenspiel von beiden.

In allen drei Gebieten ist es möglich, vom Chaos in den Cosmos zu gelangen, nur einfach ist es wirklich nicht.

Der eine oder andere mag sich an die "International School of Crystallography" 1987 in Erice erinnern. Herr Arend hatte es damals geschafft, Theoretiker und Praktiker in einem Mischungsverhältnis zusammenzubringen, bei dem keine "Entmischung" stattfand. Im Gegenteil, beide Seiten bemühten sich redlich, Gemeinsamkeiten zu finden. Das heißt nicht, daß es nicht heftige Diskussionen gegeben hatte. Es entstand dadurch aber keine zwei Lager. Etwas anders war es meiner Meinung nach in Zao. Hier prallten die beiden Seiten mit Vehemenz aufeinander, wodurch eine Verständigung sehr erschwert wurde. Vor allem für diejenigen, die nicht so tief eingeweiht sind, war es oft schwierig, den Wortgefechten einiger weniger zu folgen. "Ich habe den Eindruck, daß die Theoretiker sehr viele Parameter bei ihren Rechnungen benutzen, die wir Kristallzüchter bei unseren Experimenten gar nicht beeinflussen können und die unsere Möglichkeiten bei weitem überschreiten." Das Miteinander hat leider noch erhebliche Lücken, da die Praktiker oft zu wenig Theoretiker und die Theoretiker zu wenig Praktiker sind. Das Thema wanderte durch diese Schwierigkeiten immer wieder an den Rand unseres Blickfeldes, was ich bedauerte. Ein wesentlicher Punkt war für mich der Versuch, den Franz Rosenberger unternommen hat. Er machte ganz am Anfang den Unterschied zwischen "Diffusion Layer", und "Transition Layer" deutlich und bat alle Anwesenden zu beachten, daß diese Worte zwar häufig für ein und dasselbe verwendet werden, daß aber zwischen dem Wortsinn dieser Ausdrücke Welten liegen. Er erzielte leider nur einen Teilerfolg, da sich nicht alle an die eindeutige Definition hielten, und so war häufig nicht ganz klar, über was denn nun gerade gesprochen wurde. Da viele Vorträge mit diesen Bereichen zu tun hatten, war das um so bedauerlicher. Damit habe ich auch schon ein Hauptthema der Sommerschule angedeutet: Was geschieht an der Phasengrenzfläche der Wachstumsfront während des Züchtungsprozesses?

Die Vorträge von J. Bilgram, A. A. Chernov, S. Balibar, S. Iijima und F. Rosenberger waren mit dieser Thematik sehr eng verflochten und zeigten auch die enormen Schwierigkeiten auf, die einem bei den Betrachtungen der Phasengrenzflächen im atomaren Größenmaßstab begegnen. Der Vortrag von B. A. Joyce war ein guter Überblick über den Stand der MBE und MOMBE von III-V Verbindungen. Er ging auch auf die chemischen Reaktionsmechanismen ein, die beim Wachstum von GaAs an der Oberfläche des Substrats wirksam sind und wie mit Hilfe von RHEED Veränderungen der wachsenden Grenzfläche verfolgt werden können. S. Iijima zeigte in einem Film TEM-Aufnahmen von Veränderungen in Mikro-Clustern. Man konnte direkt verfolgen, wie sich diese Cluster verändern, auflösen und wieder neu bilden. Die Vorstellung von fester, also wohlgeordneter Materie wird (besonders bei erhöhten Temperaturen) dabei reichlich "weich".

Der Vortrag von A. Baronnet brachte etwas Abwechslung mit sich, da er das Kristallwachstum in der Natur beschrieb. Er versuchte gleichzeitig zu verdeutlichen, wie mit Simulationsexperimenten im Labor Parameter bestimmt werden können, die bei diesen Wachstumsprozessen in der Natur herrschen. Was uns alle erstaunen sollte, ist die Reinheit (für Halbleiterkristalle reicht sie allerdings nicht aus), in der einige Minerale kristallisieren, obwohl sie in einer Umgebung entstehen, in der das halbe Periodensystem anwesend ist. Ein weiterer Aspekt ist die Zeit, in der diese Art von Kristallwachstum vor sich geht. Hier wird meist nicht in Stunden oder auch Wochen gedacht, sondern viel mehr in geologischen Zeiträumen.

H. Walcher

Konnichiwa - ein (unwissenschaftlicher) Bericht über die ISSCG-7

Am Samstag, den 26. August 1989 starteten 3 Busse mit 125 Teilnehmern an der Summer School vom Hotel Plaza in Sendai zum 60 km entfernten, 800 m hoch gelegenen Wintersportort Zao Onsen bei Yamagata - alle ein wenig gespannt, was einen dort erwartet.

Der erste Stop fand in der 'Nikka Malt Whisky Distillery' statt, wo nach einer Betriebsbesichtigung den Produkten der Distillery ohne Mengenbeschränkung und kostenlos zugesprochen werden konnte. Mir persönlich hat der Apfelschnaps mit seinem etwas fremdartigen Flair besser geschmeckt, als der Whisky, der allerdings keinem Vergleich mit dem McDaniels 'Old No. 7', den Bill Bonner (Vorsitzender der amerikanischen Kristallzüchtergesellschaft) einigen von uns in Zao präsentierte, standhalten konnte.

Die Fahrt führte uns dann weiter (immer schön die Busse in der Reihenfolge 1-2-3 — da wurden keine Mühen gescheut und so lange rangiert bis Nr. 1 auch wirklich vorne war) zur Tempelanlage Yamadera. Um diese buddhistischen Tempel genau anschauen zu können, blieb einem der 120 m hohe Aufstieg über Treppen und schmale Wege nicht erspart. Für einige war das wohl zuviel - oder war es zuviel Whisky? Wer aber wirklich nach oben gestiegen war, wurde durch die wegen ihrer Schlichtheit beeindruckend wirkenden Tempelanlagen sowie durch einen herrlichen Blick auf eine reizvolle Vulkanlandschaft belohnt. Pünktliche Abfahrt war selbstverständlich.

Am Hotel Zao wurden wir von der Hotelbelegschaft mit einem großen Transparent ISSCG-7 sehr herzlich begrüßt. Die Art des Hotels wurde uns erst klar, als wir in den Zimmern, die mit 3 Personen - bei japanischen Teilnehmern mit 6 Personen - belegt wurden, keine Betten, sondern nur Tatamis auf dem Fußboden vorfanden. Wir waren also in einem echt japanischen Hotel - einem Ryokan - untergebracht. Abends legte das Hotelpersonal Futons und Überdecke auf die Tatamis. Allerdings ist es in meinem Zimmer nie vorgekommen, daß das Bett an der gleichen Stelle aufgebaut wurde. Die Nächte auf dem Fußboden hatten den Vorteil, daß man nicht aus dem



Sayonara — Party Zao, 30. August 1989



MR Semicon GmbH
Villenstr. 2
D-8082 Grafrath

Tel. 0 81 44 — 76 56
Fax 0 81 44 — 78 57

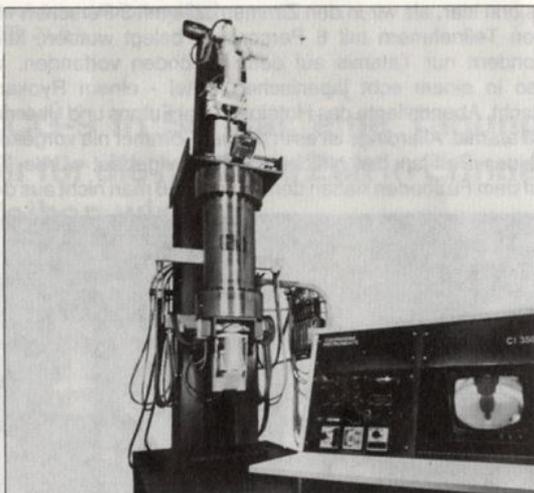
MR Semicon
Limited

An SGC (Holdings) Ltd
Subsidiary Company

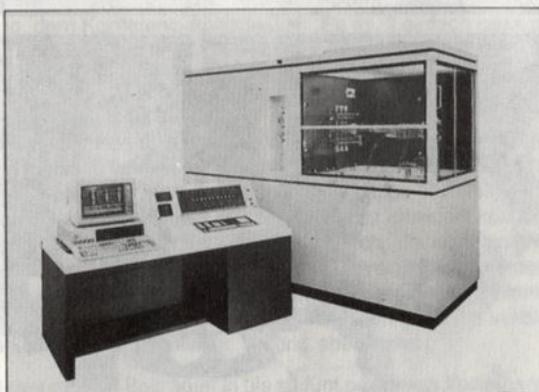
Melbourn Science Park, Melbourn, Royston, Herts SG8 6EJ
Tel (0763) 262095 Telex 817595 Fax (0763) 261913

MR Semicon GmbH vormals Metals Research GmbH

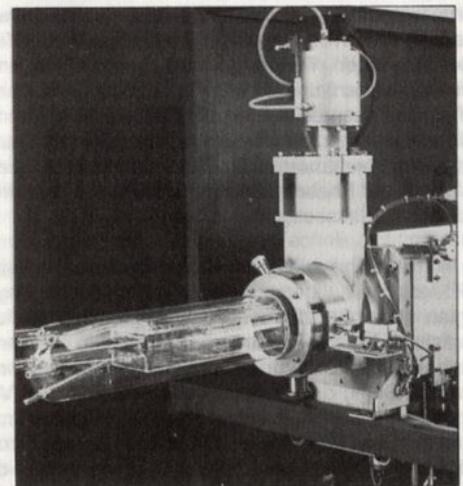
Wir sind wieder ein eigenständiges Unternehmen mit einer deutschen Tochterfirma. Die Tradition der MR Metals Research verpflichtet uns zu besonderen Anstrengungen. Ein hochqualifizierter und motivierter Mitarbeiterstamm ermöglicht es uns, auf Kundenwünsche gezielt einzugehen. Wir übernehmen auch den Kundendienst und die Ersatzteilversorgung von Anlagen, die von Metals Research oder Cambridge Instruments geliefert wurden. In unserem Stammwerk unterhalten wir von Wissenschaftlern betreute Anwendungslabors, in denen wir mit Anwendern Problemlösungen erarbeiten sowie Kunden in die Handhabung ihrer neuen Anlagen einweisen. Es ist unsere Stärke, auf Ihre Wünsche einzugehen.



III-V semiconductor production equipment



MOVPE reactor Quantax 200 series



LOAD-LOCK

- Throughput increased by a factor of four
- Fully automatic with integral IBM PC controller
- Prevents ingress of moisture and air into the cell, improving material quality, reproducibility and yield
- Pre-conditions substrates prior to loading
- Further enhances safety by minimising operator exposure to potentially hazardous materials.

Bett fallen konnte. Dies war besonders wichtig, wenn man den Abend zu lange in der 6. Etage bei Frei-Whisky und Frei-Bier verbracht hatte.

Bevor die 'Reception' am ersten Abend begann, setzte der große Regen ein, der auch den ganzen folgenden Sonntag andauerte. Dies wurde einfach hingenommen, da man ja 'Schule' hatte. Bei der Reception wurden wir vom Vertreter des Präfekten von Yamagata begrüßt und anschließend zu einem typisch japanischen Buffet eingeladen. Das war ein guter Einstieg in die Sommerschule, die unter der Leitung von Prof. Komatsu stand, der sich hingebungsvoll mit seinem Team um die Organisation kümmerte und alle Probleme, die an ihn herangetragen wurden, in souveräner Weise löste. Ich glaube im Namen aller teilnehmenden DGKK-Mitglieder sprechen zu dürfen, daß wir selten eine so perfekte Organisation erlebt haben.

Wie üblich war die erste 'Schulstunde' zu 100 % besucht, aber das änderte sich im Laufe der Woche je nach Interessenlage der Teilnehmer. Auf die einzelnen Vorträge soll hier nicht eingegangen werden (Ende 1989 werden dazu spezielle Proceedings erscheinen). Doch eine bemerkenswerte Tatsache möchte ich nicht unerwähnt lassen: Der Bulk-Züchter und der Wachstumsspezialist (die atomare oder molekulare Wachstumsschicht betrachtend) kommen nicht zusammen. An der 'Boundary-Layer' - oder wie von Franz Rosenberger vorgeschlagen - 'Transition Zone' scheiden sich die Geister. Es kam fast zu einem Streit der beiden Gruppen über die unterschiedliche Betrachtungsweise und Deutung der Vorgänge in dieser Schicht und ihre Auswirkungen auf das Wachstum. Von einigen führenden Köpfen der Wachstumstheoretiker wurde die Diskussion verbissen und mit einem fast kaum zu ertragenden Starrsinn geführt. Einer der Wachstumstheoretiker warf auf Grund einiger Zwischenfragen sogar im Vortrag seine zuvor dargelegte Theorie über den Haufen. Fazit: Es war sehr lehrreich - die Materie wie auch das Verhalten einiger Personen in den Diskussionen. Für mich gilt auch jetzt noch: 'Was ich weiß, ist ein Tropfen, was ich nicht weiß, ist ein Ozean'.

Das wieder zurückgekehrte sonnige Wetter ließ während der langen Mittagspausen viele Gelegenheiten zur Freizeitgestaltung. Bei einigen Teilnehmern war Tennisspielen angesagt, andere zogen Spaziergänge in der näheren Umgebung vor und wieder andere fuhren mit der Seilbahn auf die Berge, um von dort in einem einstündigen Fußmarsch zu einem einzigartigen Vulkansee (Okama) zu wandern, dessen Farbe je nach Sonneneinstrahlung sich von grün nach blau änderte (Deutung: fein dispers verteilte sulfidische Stoffteilchen?). Einer hat sogar im See gebadet. Dies erfuhr ich aus der Unterhaltung eines Japaners mit einem Amerikaner, der erzählte, daß ein 'verrückter Deutscher' im See geschwommen ist.

Im übrigen wurden die heißen Bäder im Hotel, die von einer heißen, natürlichen schwefelhaltigen Quelle im Ort versorgt wurden, häufig von den 'Schülern' frequentiert - Temperaturen bis 50°C und ein pH-Wert von 1 bis 2 (das entspricht einer 0.01 n H₂SO₄-Lösung). Nach einem solchen Bad liefen viele von uns nur noch im Yukata (Einheitskleidung im Hotel) herum. Auch die Vorträge wurden in dieser Kleidung besucht. Da ich meinen Yukata nur zum Schlafen benutzt habe, entzieht es sich meiner Kenntnis, ob einige Teilnehmer in den Vorträgen diese Kluft angezogen haben, damit sie besser schlafen oder intensiver zuhören konnten.

Die Abende waren von 19 bis 21 Uhr für Postersessions reserviert. Hier hatte man endlich Gelegenheit und Zeit, intensiv am Poster zu diskutieren. Am letzten Tag wurde den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, per Stimmzettel zwei Preisträger zu wählen:

- Wer hat die besten Zwischenfragen bei den Vorlesungen gestellt?
- Wer hat das beste Poster präsentiert?

Prof. Kern aus Frankreich erhielt den Preis für die besten Zwischenfragen. Der Preis für das herausragendste Poster ging an ein Mitglied der DGKK - Prof. Tolksdorf.

Am freien Nachmittag während der Sommerschule wurde von der Organisation die Besichtigung einer Nudelfabrik und einer Süßwarenfabrik in Yamagata ermöglicht. Auch dort lief alles so perfekt und pünktlich ab, wie wir es von der ICCG und ISSCG gewohnt waren. Yamagata - eine Stadt, in der nicht häufig Ausländer zu Besuch sind. Man war bemüht, den Ausländern Japan und speziell Yamagata von der besten Seite zu präsentieren - alles perfekt. Bei den Fabrikbesu-

chen mußten wir natürlich unsere Straßenschuhe ausziehen und in Pantoffeln schlüpfen, die in 'Reih und Glied' aufgereiht waren. Wir Besucher stellten beim Schuhwechsel unsere Schuhe wahllos zur Seite. Doch beim Verlassen der Gebäude waren alle Straßenschuhe - natürlich mit den Spitzen nach außen - ebenfalls in exakten Reihen angeordnet.

Die Sommerschule endete mit einer Sayonara-Party. Erlesene japanische Spezialitäten vom rohen Fisch (das ist wirklich eine Delikatesse) bis zu Yakitori-Spießen wurden gereicht. Dazu wurde der vom 'Mayor of Yamagata' gestifteter Sake (vom Faß) in viereckigen Holzgefäßen serviert. Auf diesen Holzgefäßen wurden dann fleißig Unterschriften gesammelt. Einem 'On-dit' zufolge sollen die letzten gegen 5 Uhr auf ihre Futons gefallen sein.

So pünktlich und präzise die Sommerschule begonnen hatte und verlaufen war, so endete sie mit der Rückfahrt nach Sendai, wo die meisten von uns den Shinkansen nach Tokyo bestiegen, um von dort aus ein schönes, ungewöhnliches und reizvolles Land mit dem Flugzeug zu verlassen.

Fazit: Eine überaus gelungene Summer School. Herzlichen Dank an Prof. Komatsu und sein Team für eine vorzügliche Organisation. Sayonara!

F. Wallrafen

International Conference on II-VI-Compounds

17. - 22. September 1989, Berlin (West)

Die vierte internationale Konferenz über II-VI-Verbindungen fand in diesem Jahr in Berlin (West) statt. Tagungsstätte war das Physik-Gebäude der Technischen Universität Berlin an der Hardenbergstraße. Mit etwa 350 Teilnehmern aus der ganzen Welt war die Konferenz gut besucht. Erfreulicherweise konnten viele Gäste aus den Ostblockstaaten begrüßt werden. Der Hauptanteil kam natürlich aus Deutschland, dicht gefolgt von Japanern, Franzosen und Briten.

Das Tagungsprogramm war folgendermaßen gegliedert: Vormittags und nachmittags standen Vorträge auf dem Programm. Über Mittag wurden die Poster ausgestellt. Neben den fachlichen Beiträgen wurden einige "social events" angeboten, wie der Willkommensempfang am Sonntagabend, ein Empfang durch den Berliner Senat im Reichstagsgebäude, eine Schifffahrt auf dem Wannensee als Konferenzexkursion und das Festbankett am Donnerstagabend. Außerdem bestand die Möglichkeit, verschiedene Berliner Institute (z. B. das Hahn-Meitner-Institut, BESSY) zu besichtigen. Den Organisatoren der Konferenz ist ein großes Lob auszusprechen. Für das herrlich warme und sonnige Altweibersommerwetter während der ganzen Woche waren sie zwar nicht verantwortlich, dafür aber für den reibungslosen Ablauf und die stets freundliche Atmosphäre. Außerhalb der Tagung gab es natürlich noch Berlin zu entdecken, das allein schon eine Reise wert ist, und mit den verschiedenartigsten Museen, Theatern, den unzähligen Kneipen und seinen sonstigen Sehenswürdigkeiten wohl jedem etwas zu bieten hat.

Doch nun zum Inhalt der II-VI-Tagung: Aufgezeigt wurden die momentanen Trends in der "II-VI-Welt".

Bei der Materialherstellung dominierte eindeutig die Epitaxie. Der "Favorit" unter den Verbindungen war das Cadmiumquecksilbertellurid (CMT), das als Infrarot-Detektor angewandt werden kann. Um aus der Fülle der Beiträge einige Beispiele herauszugreifen, seien die Arbeiten von J. F. Schetzina (North Carolina, USA) bzw. von R. N. Bicknell-Tassius (Würzburg) zur photo-assisted molecular beam epitaxy genannt; hierbei soll der Einbau von Dotierstoffen in II-VI-Halbleiter verstärkt werden. M. Ohishi et al. (Okayama, Japan) bestrahlten während der MBE-Züchtung von ZnSe/GaAs die Probe mit UV-Licht (325 nm), was die Beweglichkeit der Atome oder Moleküle auf der Probenoberfläche und damit die zweidimensionale Wachstumsgeschwindigkeit erhöhte. Bei der Züchtung von bulk material erhielten M. Azoulay et al. (Yavne, Israel) durch ein vertical gradient freeze-Verfahren mit <111>-orientierten Keimen reproduzierbar größere CdTe-Einkristalle. R. Triboulet (Meudon, Frankreich) stellte mit der "cold THM" ein Verfahren vor, bei dem mit technisch

geringem Aufwand die Synthese und Züchtung von CdTe in einem Schritt erfolgt. D. Sinerius et al. (Freiburg) züchteten in einem Monoellipsoid-Spiegelofen hochohmige CdTe-Kristalle aus der Gasphase. Es wurden die Züchtungsergebnisse in Verbindung mit elektrischen und optischen Messungen diskutiert. I. Hähner & M. Schenk (Ost-Berlin) beschrieben eine neue Ätze, die gleichermaßen für CdTe als Substrat und CMT geeignet ist.

Beim Komplex "Physikalische Eigenschaften" lagen die Schwerpunkte auf den optischen Eigenschaften, der Elektrolumineszenz, Verunreinigungen, Transport und Semimagnetika. Es seien exemplarisch einige Beiträge zitiert. Viele II-VI-Halbleiter weisen optische Nichtlinearitäten bei Einstrahlung von Licht mit Energie in der Nähe des Bandabstandes auf. In seinem Vortrag zeigte F. Henneberger (Ost-Berlin) die Anwendungsmöglichkeiten dieser Eigenschaften basierend auf Grundlagenforschung auf (u. a. Femtosekunden-Effekte und optische Bistabilität). Mit ultraschnellen optischen Nichtlinearitäten befaßte sich N. Peyghambarian (Tucson, USA), der Quantisierungseffekte in CdS- und CdSe-Kristalliten nachweisen konnte. A. Schmidt et al. (Kaiserslautern) stellten auf ihrem Poster eine Möglichkeit vor, mit optisch bistabilem CdS und ZnSe mit Spannungssignalen Licht zu modulieren und umgekehrt, was in optischen Computern Anwendung finden könnte. Der Karlsruher Gruppe um J. Rosenzweig gelang es, elektrische Feldverläufe in CdTe-Kristallen zu messen, die mit numerischen Simulationen im Einklang standen. Hallmessungen an chlordotiertem p-CdTe bei 200 - 400 K und an p-Hg_{1-x}Cd_xTe bei 4.2 - 300 K führten P. Höschl et al. (Prag, CSSR) durch. Ihnen gelang es, die Boltzmann-Transportgleichung zu lösen. Dabei wurden verschiedene Streumechanismen berücksichtigt. Bei Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te konnte der wechselnde Einfluß von Elektronen, schweren und leichten Löchern auf die Hall-Konstante und den spezifischen Widerstand in verschiedenen Temperaturbereichen beobachtet werden.

Etlche Arbeiten handelten von den Anwendungsmöglichkeiten der II-VI-Verbindungen etwa als Detektoren, Solarzellen, optische Modulatoren etc. Wieder seien nur stellvertretend einige Beispiele genannt. Die Poster von B. F. Boiko et al. (UdSSR) und V. F. Gremenok et al. (Minsk, UdSSR) befaßten sich mit Solarzellen aus polykristallinem CdTe bzw. CuInSe₂/CdTe. Die Integration von FETs mit CdTe-Detektoren beschrieben J. L. Filippozzi et al. (Frankreich). K. Akimoto et al. (Yokohama, Japan) stellten blaue LEDs vor, die sie aus Sauerstoff-dotierten ZnSe-Schichten auf einem GaAs-Substrat herstellten. Die Lebensdauer bei Zimmertemperatur betrug zwar nur wenige Stunden, bei 77 K jedoch über einen Tag. Dies sind interessante Ergebnisse, da blaue LEDs bisher nur aus SiC (und GaN, Anm. d. Red.) hergestellt werden können.

Eine kleine Anmerkung zum Schluß: Etwas enttäuschend war die Präsentation einiger Vorträge in nur schwer verständlichem Slang oder das Zeigen von vieler Folien.

Bleibt das Resümee zu ziehen: Alles in allem war der Besuch dieser Tagung sehr lohnend!

M. Schneider, P. Vennemann

Die in zweijährigem Zyklus stattfindende Tagung über II-VI-Verbindungen fand diesmal in der Technischen Universität Berlin in der Zeit vom 17. bis 22. September 1989 statt. 60 Vorträge und etwa 190 Posterbeiträge behandelten intensiv das weite Feld dieser Verbindungsklasse, wobei die Problemkreise Kristallwachstum, Epitaxie, Theorie, Verunreinigungen, Oberflächen, dünne Schichten, quantum wells, optische Eigenschaften, Semimagnetika, Transparenzeigenschaften, Elektrolumineszenz und II-VI-Anwendungen abgehandelt wurden. Das Rahmenprogramm bestand aus einem Empfang beim Senat von Berlin, einer Dampferexkursion auf der Havel sowie in einem festlichen Bankett im Hotel Steglitz. Bei allen diesen Zusammenkünften gab es reichlich Gelegenheit, persönlichen Kontakt und fachliche Diskussionen zu pflegen. Die Mehrzahl der Beiträge kam erwartungsgemäß aus Osteuropa und China (30 %), im Vergleich dazu BRD (17 %), UK (11 %), F (12 %), USA (10 %) und der Rest (8 %). Erfreulich war die hohe Zahl von Teilnehmern aus der DDR, wodurch eindrucksvoll das politische Tauwetter in unserer Zeit verdeutlicht wurde.

Herausragendes Thema der Tagung war die Herstellung dünner Schichten von II-VI-Verbindungen auf geeignete Substrate und ihre Charakterisierung. Schon im ersten Vortrag (J. B. Mullin, RSRE) wurde der hohe Qualitätsstand der durch MOVPE abgesetzten

HgCdTe-Schichten gezeigt, die jetzt schon geeignet sein sollen, Dioden Arrays herzustellen. Hoher Aufwand durch die Wahl geeigneter precursor wird getrieben, um die Abscheidetemperatur so weit herabzusetzen, damit die Ga-Diffusion aus dem CdTe-gepufferten GaAs minimalen Einfluß auf die Güte der Schichten nimmt. Die Röntgenbeugungsreflexe der aktiven Schichten wurden als schärfer beschrieben als von denen, die auf herkömmlichen durch Zn oder Se gehärteten CdTe-Substraten abgeschieden werden. Noch nicht gelöst scheinen jedoch nach J. Giess (RSRE, UK) die Probleme der hohen Zwillingsdichte in den HgCdTe-Schichten sowie das häufige Auftreten von hillocks auf den Schichtoberflächen. 11 Beiträge über CdTe-bulk-Züchtungen demonstrierten, daß diese und verwandte Verbindungen schon wegen ihrer kristallographischen und chemischen Verwandtschaft zum HgCdTe durchaus nicht aus dem Rennen sind. Das leidige Zwillingsproblem wurde durch THM-Züchtung bei niedriger Temperatur am System (Cd,Mn)Te gelöst durch R. Triboulet (F), der auch in einem Vortrag die große Bedeutung von Verunreinigungen bei der "kalten" THM-Zucht von CdTe und ZnTe zeigen konnte. Daß durchaus keine unüberbrückbare Welt zwischen den Anhängern der II-VI- und denen der III-V-Halbleiter bestehen muß, konnte eine französische Gruppe (J. C. Filippori) zeigen, der es gelang, CdTe-Photoleiter mit ihren hohen Absorptionskoeffizienten mit GaAlAs-Feldeffekttransistoren zu integrieren und so Perspektiven für zukünftige opto-elektronische Schaltkreise aufzuzeigen.

Probleme mit der Ausdiffusion von Substratkomponenten in die aufgetragenen Schichten wurden angeschnitten von R. L. Gunshor (USA) am System ZnSe auf GaAs und von J. O. McCaldin (USA) am System ZnTe auf verschiedenen III-V-Verbindungen. Zunehmende Bedeutung haben strained layer superlattices auf der Basis verschiedener II-VI-Verbindungen. Eine Gruppe um Parbrook (UK) demonstrierte eindrucksvoll die Eigenschaften dieser Schichten mit Hilfe von Photolumineszenz-Messungen. Auf die Möglichkeiten zum Aufbau eines optisch gepumpten blauen Lasers wurde von Y. Yamada (J) anhand von quantum-well-Strukturen aus ZnSe-ZnS hingewiesen und dabei die Bedeutung der Exzitonen bei dem Laserprozess gezeigt. Große Anstrengungen wurden gemacht, um mehr Klarheit in die technisch wichtige blaue Elektrolumineszenz des ZnSe zu bekommen und damit die Anwendungen auszudehnen. X. W. Fan (China) studierte die EL an bulk-Kristallen, während M. Kukimoto (J) sich mit der Selbstkompensation von MOVPE-Schichten dieser Verbindung beschäftigte. Aus der Vielzahl von Beiträgen zur Charakterisierung von II-VI-Verbindungen sei hier nur der Vortrag von Ramsteiner (BRD) hervorgehoben, der Strahlenschäden nach der Ionenimplantation von CdHgTe-Schichten mit Hilfe der Ramanstreuung auch für sehr niedrige Implantationsdosen nachweisen konnte.

G. Brandt

VIIth European Symposium on Materials and Fluid Sciences in Microgravity

Dieses Symposium, das von der europäischen Raumfahrtagentur ESA ausgerichtet wurde, fand vom 10.-15. September in Oxford statt. Während bei der letzten Tagung 1986 in Bordeaux durch die gleichzeitig stattfindende Messe "Technospace" das Symposium einen mehr industriell-technischen Rahmen hatte, war es in Oxford mehr wissenschaftlich ausgerichtet. Hierzu trug sicher auch die Atmosphäre der Stadt bei, die durch Universität und Colleges mit ihren zum Teil aus dem Mittelalter stammenden Gebäuden (in denen auch die Symposiumsteilnehmer untergebracht waren) geprägt ist. Mit fast 300 Teilnehmern aus 20 Nationen war die Tagung sehr gut besucht.

Das Symposium war in fünfzehn Sitzungen und zwei Poster Sessions unterteilt; drei Sitzungen waren speziell der Kristallzüchtung gewidmet (Vapour and Solution Growth, Melt Growth, Protein Growth). Allerdings gab es auch in den meisten anderen Sitzungen (z. B. Solidification, Convection and Diffusion, Morphological Stability, Marangoni Flows, Diagnostics and Facilities) Vorträge, die Probleme und Grundlagen der Kristallzüchtung behandelten. Die Sitzungen begannen meist mit ein oder zwei eingeladenen Vorträgen, die von mehreren Kurzvorträgen gefolgt waren. Die durch den Ausfall des Space Shuttle stark reduzierte Zahl an Flugmöglichkeiten in den



Zwei erfahrene II-VI-Züchter (R. Nitsche, H. Wiedemeier) in einer Vortragspause

letzten Jahren spiegelte sich auch in den Beiträgen wieder, deren überwiegender Teil sich auf Bodenesperimente und die Erarbeitung theoretischer Grundlagen (unter Einbeziehung numerischer Simulationsrechnungen) bezog. Ergebnisse neuerer μg -Experimente kamen daher hauptsächlich aus dem Gebiet der Fluid Sciences, wo auch in den kurzen μg -Zeiten, wie sie z. B. mit Parabelflügen (ca. 30 s) oder ballistischen Raketenflügen (TEXUS-Programm, ca. 6 min) möglich sind, Experimente durchgeführt werden konnten. Eine Ausnahme bildete das Gebiet der Proteinkristallzüchtung. Hier wurden bereits kurz nach Wiederaufnahme der Shuttle-Flüge wieder Züchtungsexperimente durchgeführt. Der Übersichtsvortrag von J. L. deLucas zeigte eindrucksvoll, daß bei mehreren Substanzen sowohl größere als auch - bezogen auf die Röntgenstrukturanalyse - qualitativ bessere Kristalle erhalten werden konnten. Außerdem trat unter μg zum Teil eine Änderung der Morphologie auf. Wie die Versuche von W. Litke während der ersten europäischen Spacelab-Mission die Möglichkeiten der Proteinkristallisation unter μg gezeigt haben, scheinen jetzt die amerikanischen Wissenschaftler größere Anstrengungen auf diesem Gebiet zu unternehmen, zumal sie offensichtlich von der amerikanischen Pharmaindustrie unterstützt werden. In einem weiteren Vortrag wurden erste Versuche zur Proteinkristallisation in einer unbemannten chinesischen Kapsel von der Firma Intospace vorgestellt. Diese Versuche sind allerdings erst im Anfangsstadium.

Der Übersichtsvortrag von S. Myerson zur Sitzung über Solution and Vapour Growth befaßte sich mit der Struktur von übersättigten Lösungen, v. a. mit der Theorie der Bildung von Molekülclustern vor der Phasengrenze. Die Messung von Diffusionskoeffizienten in übersättigten wäßrigen Lösungen zeigte eine Abnahme von D mit zunehmender Übersättigung und auch eine Abhängigkeit von der Standzeit der Lösung, was ein Indiz für die Bildung von Clustern ist. Weitere Vorträge in dieser Sitzung befaßten sich mit der Züchtung aus der Gasphase. M. Piechotka berichtete über die Züchtung von HgJ_2 ; dieses System soll auch bei einem zukünftigen μg -Experiment untersucht werden. Bei den Versuchen konnte bei konstanter Unterkühlung eine Abnahme der Wachstumsrate mit der Zeit bis zum völligen Stillstand des Wachstums beobachtet werden, was auf den wachsenden thermischen Widerstand des größer werdenden Kristalls zurückgeführt wurde. Um dieses Problem zu umgehen, wird eine Anordnung geplant, bei der die Temperatur des wachsenden Kristalls nicht an der Kristallhalterung, sondern mit einem Pyrometer an der Kristalloberfläche gemessen wird. H. Wiedemeier berichtete über Stöchiometriefehler und die ungleichmäßige Verteilung von Defekten bei der Gasphasenzüchtung von CdTe . Er zeigte, daß bereits kleine Abweichungen von der 1 : 1-Zusammensetzung im ppm-Bereich (wie sie sich z. B. durch die Unsicherheit bei den Atomgewichten von Cd und Te ergeben) zu einer starken Änderung der Transportrate führen können.

Die Sitzung über Züchtung aus der Schmelze wurde durch einen Übersichtsvortrag von G. Müller über die Einflüsse von verminderter Schwerkraft und Magnetfeldzüchtung auf Konvektionsströmungen in Schmelzzonen eröffnet. Die vorgestellten Experimente und numerischen Simulationsrechnungen gingen ausführlich auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Verfahren in Bezug auf den Einfluß auf Makro- und Mikroseggregation ein und es wurde gezeigt, daß z. B. für die Floating-Zone-Züchtung größerer homogener Verbindungshalbleiterkristalle eine Verbindung beider Methoden, d. h. Züchtung unter μg mit einem axialen Magnetfeld nötig sein könnte. Weitere

Beiträge in dieser Gruppe befaßten sich mit der Bridgman-Züchtung von Ge unter μg (D. Camel), der Züchtung von RbAg_4J_5 (L. Regel) und dem Einfluß des Benetzungswinkels zwischen Schmelze und Ampulle auf die Kristallqualität beim vertikalen Bridgmanverfahren (I. Harter).

Der Übersichtsvortrag von K. W. Benz zur Sitzung über Erstarrungsvorgänge befaßte sich ebenfalls mit der Bildung von Dotierstoffinhomogenitäten in Halbleiterkristallen. Das Hauptaugenmerk lag hier allerdings auf der Untersuchung der wachstumskinetisch verursachten Inhomogenitäten. Die Beobachtung von Wachstumsvorgängen war auch das Thema zweier eingeladener Vorträge zur Sitzung "Diagnostics and Facilities". C. Elbaum berichtete über Beobachtung von Phasengrenzen in undurchsichtigen Medien durch Ultraschall; aus der Laufzeit von Ultraschallpulsen werden Position und Verschiebung der Phasengrenze berechnet, während die Amplitude ein Maß für die Struktur der Oberfläche ist. Die Ausbildung von Instabilitäten der Phasengrenze (Zellularwachstum) läßt sich z. B. deutlich an der Amplitude der reflektierten Ultraschallsignale erkennen. K. Tsukamoto stellte ein Verfahren zur in-situ-Beobachtung des Wachstumsvorgangs bei der Züchtung aus der Lösung vor; hierbei werden gleichzeitig die Kristalloberfläche (mit einem Interferenzkontrastmikroskop) und die Lösung (mit einem Interferometer) beobachtet. Ein entsprechender Versuch soll auch bei einem Shuttle-Flug durchgeführt werden.

A. Cröll

DGKK - Workshop "Epitaxie von III-V-Halbleitern"

In Aachen fand am 29. und 28. November der 4. DGKK-Workshops über "Epitaxie von III-V-Halbleitern" statt. Durch die bewährte Praxis diese Arbeitskreise an einem Nachmittag und am darauffolgenden Vormittag abzuhalten, ergaben sich für alle Teilnehmer wieder angenehme Anreisebedingungen. Leider konnten (aus organisatorischen Gründen) nicht alle Arbeitsgruppen an einem Ort untergebracht werden, so daß zu gemeinsamen Veranstaltungen ein Bustransfer eingesetzt werden mußte. Durch die gute Organisation, die dieses Mal in Händen von Prof. K. Heime vom Institut für Halbleitertechnik der RWTH lag, konnten wir dennoch alle einen reibungslosen Ablauf des Arbeitskreises genießen.

Die Teilnehmerzahl lag bei etwas über 90 angemeldeten Besuchern, die sich jedoch ungleichmäßig auf die 3 gebildeten Arbeitskreise aufteilte. Wie beim letzten Treffen wurden 3 Diskussionsrunden (Diskussionsleiter; Teilnehmerzahl) gebildet, aus denen kurz berichtet werden soll:

- | | |
|--------------|--|
| 1. LPE | (Dr. Thulke, SiemensAG; ca.15) |
| 2. VPE/MOVPE | (Prof. Benz, Univ. Freiburg; ca.60) |
| 3. MBE/MOMBE | (Prof. Weimann, Walter-Schottky-Institut; ca.25) |

Epitaxie auf strukturierten Oberflächen war der erste Arbeitspunkt der LPE. Die besondere Eigenschaft, Strukturen glättend zu überwachen, wird immer mehr zu einem festen Standbein der LPE. Aktivitäten meldeten sich hier zur Epitaxie auf Mesa-Substrat-Strukturen für Heterobipolartransistoren und Laser, sowie zum Überwachen von passiven Wellenleitern.

Aus der Prozeßtechnologie wurde über ein neues Tauchverfahren berichtet, mit dem es möglich ist, bis zu 100 Substratscheiben entsprechend einer Gesamtfläche von 4500cm^2 bewachsen zu lassen. Die Anwendung liegt im Bereich der IRED und LED.

Bei GaAs-Substraten ist ein Trend zu 3"-Scheiben zu verzeichnen. Erste gute Erfahrungen konnten dabei mit Kristallen aus dem vertikalen Bridgmanverfahren gemacht werden.

Aus der VPE/MOVPE-Sitzung ging hervor, daß Homogenität von Schichtdicken besser als 1% inzwischen Stand der Technik ist und man von einer Etablierung dieser Technik in der Fertigung sprechen kann. Wichtigster Trend auf diesem Gebiet ist ohne Zweifel der Ersatz bisheriger Precursor-Substanzen für die Ver-Komponenten, die alle sehr hohe Dampfdrucke hatten, durch solche mit niedrigerem Dampfdruck. Bei den derzeit noch verwendeten Substanzen handelt es sich um kleine Mischkyle mit hohem Dampfdruck, die außerdem nicht frei von Sauerstoff sind. Ziel ist es, Moleküle zu entwickeln, die viele chemische Variationen zulassen und eine Abnahme der Sauerstoffempfindlichkeit durch innermolekulare Absättigung. Momentan sind

die Dampfdrucke noch zu niedrig. Entscheidender Vorteil dieser neuen Substanzen ist das bessere Aufspaltungsverhalten im Reaktionsvorgang und die wesentlich reduzierte Gefahr bei der Handhabung.

Die besondere Eigenschaft der Molekularstrahlepitaxie extrem dünne Schichten bis hin zu atomaren Monolagen wachsen lassen zu können, schlägt sich sehr deutlich in allen Diskussionspunkten nieder. So lagen die Schwerpunkte des Erfahrungsaustausches im Hinblick auf Bauelemente bei der Herstellung von Epitaxieschichtstrukturen für HEMTs, Doppelbarrieren für resonantes Tunneln und Mikrowellendioden. Als etabliert von den Stoffsystemen kann man GaAs- und AlGaAs-Schichten sowie verspannte InGaAs- und InAlAs-Schichten auf GaAs sehen. Phosphorhaltige Systeme befinden sich noch in der Einführungsphase. Neueste Entwicklungen gehen in Richtung integrierte Schaltung mit Transistoren sowie die Anwendung eines fokussierten Ionenstrahls zum direkten Schreiben von Transistoren auf 2DEG-Basis. Probleme bereitet allgemein das Auftreten sogenannter ovaler Defekte, die mit einer Konzentration von 200...2000cm⁻² auf jeden Fall beunruhigend sind. Die Ursachen vermutet man im Substrat, wobei keine Einigkeit besteht, ob im Material selbst oder in der Oberflächenpräparation nach Verbesserungsmöglichkeiten zu suchen ist. InP-Substrate wurden übereinstimmend als problematisch und weit hinter dem Standard von GaAs liegend bezeichnet. Beklagt wurden auch die wenigen Lieferanten von InP aus dem europäischen Markt.

Programmpunkt des zweiten Tages waren die eingeladenen Vorträge. P. Zwicknagl (Siemens AG, München) trug vor zu dem Thema "AlGaAs-GaAs-Bipolartransistoren für hohe Arbeitsfrequenzen: Die Rolle der MOVPE". Ein besonderes Augenmerk erfordert demnach das Problem der Dotierung von Heterostrukturen. Danach folgten Vorträge von R.Lückerath (RWTH Aachen): "In-situ Untersuchung zur Reaktionskinetik des MOVPE-Prozesses", in dem über eine Spektralanalyse der Reaktionsprodukte bei der MOVPE im Reaktionsraum berichtet wurde, von J.-P. Reithmaier (Siemens AG, München): "Bestimmung des Bandkantensprungs in elastisch verspannten InGaAs/GaAs Mehrfachschichten" mit genauen Messungen des Bandkantensprungs und zum Abschluß K.Köhler (IAF, Freiburg): "Epitaxie von pulsdotierten Heterostrukturen für die Bauelementherstellung" mit neuesten Berichten über die Herstellung von Integrierten Schaltungen mit Epitaxieschichten aus der Molekularstrahlepitaxie.

In der allgemeinen Diskussion kamen wieder, wie auch letztes Jahr, Bedenken über zu große Diskussionsgruppen auf, die konkret die VPE/MOVPE-Gruppe betrafen. Es konnte jedoch in der Diskussion keine sofort übernehmbare Lösung gefunden werden. In jedem Fall kann der nächste Termin für 1990 eingeplant werden. Dieser Workshop findet am 26. und 27. November 1990 in Freiburg statt.

H.-J. Sell

Stellengesuch

Diplom-Mineralogin und Goldschmiedin

33 J., sucht Anfangsstelle; Diplomarbeit über Kristallzüchtung; Studienschwerpunkte Materialforschung und -prüfung; gute Englischkenntnisse, Grundkenntnisse in EDV und Französisch.

Heike Stephani
Hoferhofstraße 46 b
4000 Düsseldorf 30
Tel. (02 11) 41 03 64

Schmunzelecke

Sprüche und Ansichten aus dem Arbeitsleben

- Betrachten Sie mich nicht als Chef, sondern eher als Freund, der immer Recht hat.
- Jeder Mitarbeiter darf frei seine Meinung äußern. Er darf nur nicht annehmen, daß das keine Folgen für ihn hat.
- 10 von 100 Menschen haben keine Ahnung vom Prozentrechnen. Das sind fast 17 Prozent.
- Man weiß nicht, ob es besser wird, wenn es anders werden wird. Doch so viel ist gewiß, daß es anders werden muß, wenn es besser werden soll.
- Was ist Apathie? - Weiß ich nicht und interessiert mich auch nicht.
- Meine Ausbildung war kostenlos, Deine umsonst.
- Theorie ist, wenn man alles weiß und nichts klappt. Praxis ist, wenn alles klappt, aber man weiß nicht warum.
- Wer nur des Geldes wegen heiratet, muß es jeden Tag sauer verdienen.
- Durch Fehler wird man klug, darum ist einer nicht genug.

Tagungskalender

1990

22. - 26. Januar Berlin/DDR
Europhysics Study Conference on High T_c Superconductivity -
2nd International Symposium

Rudolf Herrmann, Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Physik,
Ber. Tieftemperaturphysik (08), Invalidenstr. 110, DDR-1040 Ber-
lin

25. Januar Theuern bei Amberg/Opf.
Saphir — ein außergewöhnlicher Werkstoff für die Anwendung bei
höchsten Temperaturen

Linn High Therm GmbH, Frau Zeltner, Heinrich-Herz-Platz 1, 8459
Eschenfelden, Tel. 0 96 65/17 21-5, Fax 17 20

5. - 9. März Frankfurt/D
DGKK - Symposium und Jahrestagung

Dr. W. Aßmus, Physikal. Institut der Universität, Robert-Mayer-
Str. 2 - 4, D-6000 Frankfurt

17. - 21. März San Diego (CA)/USA
SPIE Symp. on Advances in Semiconductors and Superconduc-
tors: Physics Toward Device Applications

Soc. Of Photo-Optical Instrumentation Engineers, POB 10, Belling-
ham WA 98227, USA

26. - 30. März Regensburg/D
Meeting des Arbeitskreises Festkörperphysik der DPG

— Dünne Schichten
P. Wissmann, Inst. f. Physikal. und Theoret. Chemie der Universi-
tät, Egerlandstr. 3, D-8520 Erlangen
— Dynamik und Statistische Physik
H. Büttner, Inst. f. Theoretische Physik der Universität, POB 10 12
71, D-8580 Bayreuth
— Halbleiterphysik
U. Rössler, Inst. f. Theoretische Physik der Universität, Universi-
tätsstr. 31, D-8400 Regensburg
— Magnetismus
H. Warlimont, Vakuumschmelze GmbH, Grüner Weg 37, D-6450
Hanau
— Metallphysik
G. Ibe, Leichtmetall-Forschungsinstitut der VAW AG, Georg-von-
Boeselager-Str. 25, D-5300 Bonn 1
— Molekülphysik
M. Schwoerer, Lehrstuhl f. Experimentalphysik II der Universität,
POB 30 08, D-8550 Bayreuth
— Oberflächenphysik
A. Goldmann, Fachbereich Physik der Universität/GH, Heinrich-
Plett-Str. 40, D-3500 Kassel
— Tiefe Temperaturen
B. Stritzker, Inst. f. Festkörperforschung KFA Jülich GmbH, POB
19 13, D-5170 Jülich
— Vakuumtechnik
G. Reich, Leybold AG, Bereich WVG 4, POB 51 07 60, D-5000 Köln

1. - 7. April Budapest/Ungarn
1st International Conference on Epitaxial Crystal Growth

Dr. Edmond Lendvay, EPI-1 Conference Chairman, Research In-
stitute for Technical Physics, Ujpest 1, POB 76, Budapest, Hungary

2. - 6. April Greenbelt (MD)/USA
Advances in Material Science and Applications of High Tempera-
ture Superconductors, L. H. Bennet, Nat. Inst. of Standards and
Tech., B 152, Materials Bldg., Gaithersburg, MD 20899

9. - 12. April Lisbon/Portugal
10. General Conf. of the Condensed Matter Div. of the EPS

Univ. do Porto, Faculdade de Ciencias, Lab. de Fisica, attn.: J. B.
Sousa, Rua Die Manuel II, P-4003 Porto Cedex, Portugal

18. - 20. April Erice/I
International School of Crystallography, 18th Course: Direct Me-
thods of Solving Crystal Structures

L. Riva di Sanseverino, Piazza Portan San Donato 1, I-40126 Bo-
logna, Italien

18. - 20. April York/U.K.
2nd Internat. Symposium: Fine Chemicals for the Electronics
Industry

Mrs. Elaine Wellingham, Conference Secretariat, Field End House,
Bude Close, Nailsea, Bristol BS19 2FQ

23. April - 15. Juni Triest/I
Spring College in Condensed Matter Physics: Physics of Low-Di-
mensional Semiconductor Structures

Int. Centre for Theoretical Physics, POB 5 86, I-34100 Trieste

9. - 11. Mai Garmisch-Partenkirchen/D
Conference on High Temperature Superconductors: Materials
Aspects

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde eV, Adenauerallee 21,
D-6370 Oberursel

Juni Beijing/China
Internat. Materials Research Conf. (C-MRS)

Chinese Society of Metals, attn.: Prof. T. Shaojie, 46 Dondsi
Dajie, Beijing, Peoples Republic of China

5. - 8. Juni Burg Schnellenberg bei Attendorn (Biggensee)/D
4. Sommerschule Microgravitation, Schwerpunkt "Einkristalle"

Dr. G. Otto, DLR, Institut für Raumsimulation, Linder Höhe, 5000
Köln 90
Prof. Dr. K. W. Benz, Kristallographisches Institut der Universität,
Hebelstr. 25, 7800 Freiburg

18. - 21./22. Juni Aachen/D
ICMOVPE zusammen mit CBE-Workshop

Prof. Dr. P. Balk und Prof. Dr. K. Heime

24. - 28. Juni Rimini/I
7th World Ceramics Congress

7th CIMTEC, Satellite Symposium 1, POB 1 74, I-48018 Faenza

15. - 20. Juli Vail (CO)/USA
Eighth American Conference on Crystal Growth

B. L. Sopori, ACCG-8 Secretariat, Solar Energy Research Institute
1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393, USA

16. - 18. Juli Toulouse/F
Powder Diffraction

J. Galy, Chimie de Coordination, CNRS, 205 rue. de Narbonne,
F-31400 Toulouse

19. - 28. Juli Bordeaux/F
15th General Assembly and International Congress of Crystallo-
graphy

Prof. M. Hospital, Laboratoire de Cristallographie et de Physique
Cristalline, Université de Bordeaux 1, 351 Cours de la Liberation,
F-33405, Talence

22. - 27. Juli Vancouver (BC)/Canada
13th International Liquid Conference

B. Bergersen, Dept. of Physics, Univ. of British Columbia, Vancouver, V6T 2A6

22. Juli - 3. August Castelvecchio Pascoli/I
NATO Advanced Study Institute on Diamond and Diamond-Like
Films and Coatings

Dr. C. J. Mcharque, Metals and Ceramic Division, Oak Ridge
National Laboratory, Building 4500-S, MS-6118, POB 20 08, Oak
Ridge, TN 37831-6118

6. - 10. August Thessaloniki/Greece
20th International Conference on Physics of Semiconductors

N. A. Economou, Physics Dept., Aristotele Univ. of Thessaloniki,
GR-54006 Thessaloniki

13. - 16. August Berlin/DDR
5th International Conference on Superlattices and Microstructures

P. Selbmann, Dept. of Physics, Humboldt University, Invalidenstr.
110, DDR-1040 Berlin

3. - 7. September Tübingen/D
Internat. Conf. on Science and Technology of Synthetic Metals
ICSM '90

Hermann Schier, MPI f. Festkörperforschung, Heisenbergstr. 1,
D-7000 Stuttgart 80

3. - 8. September Groningen/Niederlande
6. Eurotopical Conf.: Lattice Defects in Ionic Crystals

Rijksuniversiteit Groningen, Solid State Physics Lab., attn.: H. W.
den Hartog, 1, Melkweg, NL-9718 EP Groningen

4. - 8. September Amsterdam/Niederlande
8. General Conf. of the European Physical Society (EPS)

FOM - Institute for Atomic and Molecular Physics, attn.: Ms. L.
Roos, POB 4 18 83, NL-1009 DB Amsterdam Netherlands

4. - 6. September Oxford/U.K.
2nd Internat. Symposium: Organic Materials for Non-Linear Optics

Mrs. Elaine Wellingham, Conference Secretariat, Field End House,
Bude Close, Nailsea, Bristol BS19 2FQ

10. - 13. September Nottingham/U.K.
20. European Solid State Device Research Conference (ESS-
DERC-20)

Institute of Physics, Meeting Office, 47, Belgrave Sq., London,
SW1X8QX

17. - 19. September Newark (NJ)/USA
International Conference on Electronic Materials
— Superconducting Device Materials
— Materials for Optoelectronics
— Advanced thin Film Technology
— Diamond for Electronic and Optical Applications

ICEM-90, Materials Research Society, 9800 McKnight Road, Pitts-
burg, PA 15237, USA

18. - 20. September Garmisch-Partenkirchen/D
11. Symposium für industrielle Kristallisation

GVC-VDI, Postfach 1139, 4000 Düsseldorf

24. - 27. September St. Helier (Jersey)/U.K.
European Gallium Arsenide Conf.

Institute of Physics, Meeting Office, 47, Belgrave Sq., London,
SW1X8QX

30. Oktober - 2. November San Diego (CA)/USA
Conf. on Magnetism and Magnetic Materials

Courtesy Associates, Inc., 655 15th St., NW, Suite 300, Washing-
ton, DC 20005, USA

1991

8. - 12. April Exeter/U.K.
11th EPS General Conference of the Condensed Matter Division

Meeting Officer, The Institute of Physics, 47 Belgrave Square, Lon-
don SW1X 8QX, U.K.

5. - 11. Mai Budapest/Ungarn
3rd European Conference on Crystal Growth (ECCG-3)

E. Lendvay, Res. Institute for Technical Physics, Hungarian Aca-
demy of Sciences, POB 76, H-1325 Budapest

25. - 30. August Ljubljana/Jugoslawien
13th European Crystallographic Meeting (ECM-13)

L. Golic, Dept. of Chemistry and Chemical Technology, Edvard
Kardelj Univ., POB 5 37, YU-51001 Ljubljana, Jugoslawien

8. - 14. September Edinburgh/U.K.
International Conference on Magnetism

Institute of Physics, Meeting Officer, 47 Belgrave Square, London
SW1X 8QX, U.K.

Mitteilungen anderer Gesellschaften

AGKr

Von den AGKr-Nachrichten lag keine Ausgabe zur Rezension vor.

AACG

Den größten Teil der Märzangabe des Newsletters der AACG nahmen zwei Konferenzberichte ein, einer von der 8th Chinese Conference on Crystal Growth der zweite von der 5th International Conference on Molecular Beam Epitaxy. Der letztere ist ein Nachdruck aus einem Newsletter der Britischen Kristallzüchter. Zuvor gibt es einen Fachartikel von A. und Y. S. Horowitz über "The Growth of Semiconductors in Confined Vertical Crucibles". Das Heft wird von einem Tagungskalender, "News from the Regions" und "News from Abroad" abgerundet. In der Rubrik "News from Abroad" wird die Gemeinschaftstagung der DGKK mit der AICC angekündigt.

Den Mittelpunkt der Juliausgabe nimmt ein Gruppenfoto der Teilnehmer der elften Regionalkonferenz der AACG/West ein. Zum Foto gehört auch ein Konferenzbericht. Einen weiteren Schwerpunkt des Heftes bildet ein Aufruf, mögliche Preisträger für den AACG Crystal Growth Award zu nominieren. Den Abschluß bilden wieder "News from the Regions" und ein Tagungskalender.

BACG

Von der British Association on Crystal Growth liegen die Newsletter vom Mai und September 1989 vor. Peter Dryburgh, der neue Vorsitzende, begibt sich in den Chairman's Notes auf die Suche nach einem neuen Editor für den Newsletter. Es folgt ein Kurzbericht über die Jahrestagung 1988 der BACG in Strthclyde. Ein weiterer Schwerpunkt ist ein Nachruf auf Eric Alfred Dutton White und Barry Straughan, beide langjährige Mitglieder der BACG.

Den Schwerpunkt der Septemбераusgabe bilden drei Konferenzreports. Es wird berichtet über das BACG Meeting "Crystal Growth and Characterisation of Superconducting Oxides", über den von der BACG veranstalteten vierten "Photochemical Processing Workshop" und über den "First NATO Workshop on Computer Modelling in Crystal Growth from the Melt". Abgerundet wird das Heft von einem Tagungskalender und Tagungsankündigungen.

SGK

Den größten Teil von Heft 20 (Mai 1989) nehmen der Tagungskalender und ausführliche Tagungshinweise ein. Den Hauptteil von Heft 21 bestreiten ein Artikel von H. A. Hauptmann über "Science and Technology in the 20th Century" und die Ankündigung der Jahrestagung der SGK am 12. Oktober '89 in Fribourg. Heft 22 beschäftigt sich ausführlich mit der Jahrestagung, die unter dem Thema Surface Crystallography stehen soll.

Personalien

Neumitglieder

In der Reihenfolge ihres Beitritts begrüßen wir folgende Neumitglieder:

AKZO International Research GmbH
Dept SCT
Postfach 11 21
4530 Ibbenbüren
Tel. (0 54 59) 5 01 81 Mitgliedsnummer: 535 K Edat.: 18/04/89
Züchtung von Oxidkristallen, speziell Al₂O₃, SrTiO₃, andere Titanate, Gallate, Aluminate; Verneuil- und Cz- Kristallzüchtung.

Lodde, Winfried, Dipl.-Ing.
AKZO International Research
Dept. SCT
Postfach 11 21
4530 Ibbenbüren
Tel. (0 54 59) 5 01 81 Mitgliedsnummer: 536 M Edat.: 18/04/89
Züchtung von Titanaten und Monoxiden

Rüfer, W., Dr. Dipl.-Phys.
Wacker-Chemitronic
Postfach 11 40
8263 Burghausen
Tel. (0 86 77) 83 39 65 Mitgliedsnummer: 537 M Edat.: 18/05/89
Kristallzüchtung von Verbindungshalbleitern

Anagnostopoulos, Anton, Prof. Dr., Dipl.-Phys.
Aristoteles Universität
Festkörperphysik 313-1
GR-54006 Thessaloniki
Griechenland
Tel. (0030 31) 99 28 52 Mitgliedsnummer: 538 M Edat.: 20/06/89
Züchtung von Schichtkristallen der Zn-In-S-Gruppe, Elektrische und optische Charakterisierung

Strauss, Sabine, Studentin
AKZO IR GmbH
Postfach 11 21
4530 Ibbenbüren
Tel. (0 54 59) 5 01 81 Mitgliedsnummer 539 S Edat.: 13/07/89
Züchtung von Halogenid- und Oxid-Einkristallen, Charakterisierung

Cristal Lehrmittel GmbH
Bergstr. 11
5449 Schnellbach
Tel. (0 67 46) 5 12 Mitgliedsnummer: 540 K Edat.: 01/07/89

Droste, Martin, Student
FH Münster Abt. Steinfurt
Stegerwaldstr. 39
4430 Steinfurt
Tel. (0 25 51) 8 25 19 Mitgliedsnummer: 541 S Edat.: 25/07/89
Kristallzucht, Supraleitung, Sauerstoffanalytik

Zucht, Frank, Dipl.-Ing.
FH Münster, Abt. Steinfurt
Stegerwaldstr. 39
4430 Steinfurt
Tel. (0 25 51) 14 92 52 Mitgliedsnummer: 542 M Edat.: 25/07/89
Kristallzucht, Supraleitung, Sauerstoffanalytik

Veränderungen

Bei folgenden Mitgliedern haben sich wichtige Veränderungen ergeben:

Droste, Peter, Dipl.-Ing.
AKZO International Research
Dept. SCT
Postfach 11 21
4530 Ibbenbüren
Tel. (0 54 59) 5 01 81 Mitgliedsnummer: 195 M Edat.: 10/05/77
Züchtung, Charakterisierung und Anwendung oxidischer Einkristalle, speziell durch Verneuil-Verfahren und verwandte Prozesse, Druck-Verneuil-synthese von II-VI-Verbindungen

Munser, Norbert, Dipl.-Ing.
AKZO International Research
Postfach 11 21
4530 Ibbenbüren
Tel. (0 54 59) 5 01 81 Mitgliedsnummer: 415 M Edat.: 11/09/85
Züchtung von Alpha-Al₂O₃-Einkristallen

Scheel, Hans Jörg, Prof., Chemiker
Institute for Mikro- and Optoelectronics,
Dept. EPFL
CH-1015 Lausanne
Tel. (0041 21) 6 93-44 52 Mitgliedsnummer: 78 M Edat.:
Kristallzüchtungstechnol. spez. Kristallisation aus Hochtemperaturlösungen, Flüssigphasenepitaxie und Czochralski, Herst. extrem perfekter u. homog. Kristalle, Hydrodynamik, Charakterisierung

Danilewsky, Andreas, Dipl.-Min.
Kristallographisches Institut
Hebelstr. 25
7800 Freiburg
Tel. (07 61) 2 03-42 82 Mitgliedsnummer: 435 M Edat.: 21/02/86
Lösungszonenzüchtung von III-V-Halbleitern unter µg Charakterisierung

Steinborn, Wolfgang, Dr., Dipl.-Phys.
BMFT Referat 511
Postfach 20 02 40
5300 Bonn 2
Tel. (02 28) 59 24 96 Mitgliedsnummer: 339 M Edat.: 01/03/84
Züchtung von Halbleiterkristallen, schwerkraftbezogene Effekte bei der Kristallzüchtung, Grundsatzfragen der Raumfahrt

Kaufmann, Leon, Prof. Dr., Dipl.-Ing.
Technische Universität
Fakultät für Elektrotechnik
POB 5 13
NL-5600 MB Eindhoven
Tel. (0031 40) 47 33 71 Mitgliedsnummer: 276 M Edat.: 28/01/83
III-V-Verbindungshalbleiter, Mikrowellenbauelemente-Technologie

Probst, Ursula, Dr., Dipl.-Min.
PRAME
Aerospatiale
BP 11
F 33165 St. Medar-en-Jalles
Tel. Mitgliedsnummer: 351 M Edat.: 01/04/84
II-VI-Verbindungen

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

werden Sie Mitglied der DGKK!

Sie sind willkommen in einem Kreis von fast 400 Fachkollegen, die einer Gesellschaft angehören, deren Zweck ist

- Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet von Kristallwachstum und Kristallzüchtung zu fördern,
- über entsprechende Arbeiten und Ergebnisse durch Tagungen und Mitteilungen zu informieren,
- wissenschaftliche Kontakte unter den Mitgliedern und die Beziehung zu anderen wissenschaftlichen Gesellschaften zu fördern, sowie
- die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene im Sinne der Gemeinnützigkeit zu fördern.

Damit kann die Gesellschaft zu einer wesentlichen Unterstützung Ihrer beruflichen Aktivitäten beitragen. Zögern Sie daher nicht und senden Sie noch heute das ausgefüllte Anmeldeformular ab!

(Jahresbeitrag DM 30,-; für Studenten DM 15,-)

DGKK-Schriftführer
Dr. Herbert Walcher
Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik
Eckerstraße 4
D-7800 Freiburg

Antrag auf Mitgliedschaft

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

Art der Mitgliedschaft: ordentliches Mitglied
 studentisches Mitglied
 korporatives Mitglied

Gewünschter Beginn der Mitgliedschaft:

Dienstanschrift:
(Name) (Vorname) (Titel) (Beruf)

*)
(Firma, Institut, etc.)

.....
(Straße, Haus-Nr.)

.....
(Plz., Ort) (Tel.)

Privatanschrift:
(Straße, Haus-Nr.)

*)
(Plz., Ort) (Tel.)

Meine (Unsere) wissenschaftlichen Interessen- und Erfahrungsgebiete sind:

.....
.....
.....

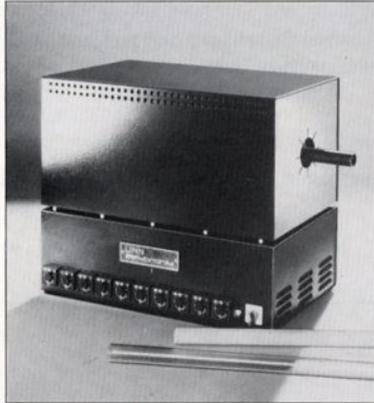
..... den

(Unterschrift)

*) bitte unbedingt ankreuzen, unter welcher Anschrift der Schriftwechsel geführt werden soll.

LINN - ELEKTRONIK

DAS UMFASSENDE PROGRAMM



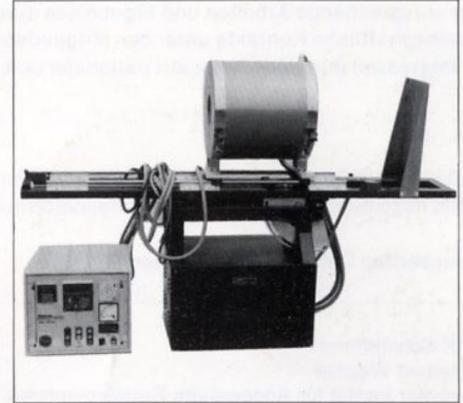
FuE-Rohröfen

zum thermischen Modellieren
20 (Halb)Zonen einzeln regelbar
Temperaturbereich bis 1300° C
Quarz-, Graphit, Keramik-
und Metallrohre
mehrere Rohrdurchmesser
100 % Faserisolierung



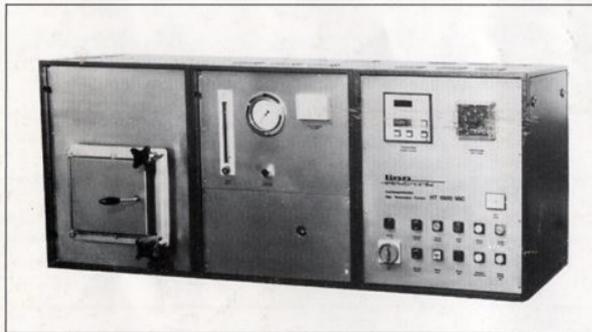
Mini-Spiegelöfen

kompakteste Abmessungen
mit Schutzgasbetrieb
2 x 150 Watt Strahler
Temperaturbereich bis 2000° C
Kontrolleuchten für Wasser-
mangel, Übertemperatur und
Schutzgas
auch größere Sonderanlagen



Rohröfen

um 90° klappbar, ermöglicht horizontalen
und vertikalen Betrieb
verfahrbar von 2 bis 200 mm/h
1 oder 3 beheizte Zonen
Temperaturbereich bis 1700° C (vertikal)
100 % Faserisolierung
verschiedene Größen



Hochtemperaturofen

vakuumdicht und schutzgasdicht
Kammervolumen 4, 26 und 52 Liter
für oxidierende und reduzierende Atmosphären
Temperaturbereich 1300° C, 1600° C und 1750° C
für alle Erwärmungsprozesse
100 % Faserisolierung
große Auswahl an Temperaturreglungen



Hochfrequenz-Generator

in Halbleitertechnik
zum induktivem Löten von z.B. Metall-Keramik-Verbin-
dungen
tiegelloses Schwebeschmelzen
HF-Ausgangsleistung 1,3 kW
sehr hoher Wirkungsgrad
äußerst kompakt B 470 x H 160 x T 400 mm
geringes Gewicht
bis 20 m absetzbarer HF-Generator als Option
weitere Generatoren bis 12 kW

linn

High Therm

Heinrich-Hertz-Platz 1 · Eschenfelden · D-8459 Hirschbach 1
Telefon (0 96 65) 17 21-23, Telex 63902 · Telefax (0 96 65) 17 20

Laboratory Furnaces
High-Frequency Heating
High-Temperature Technologies