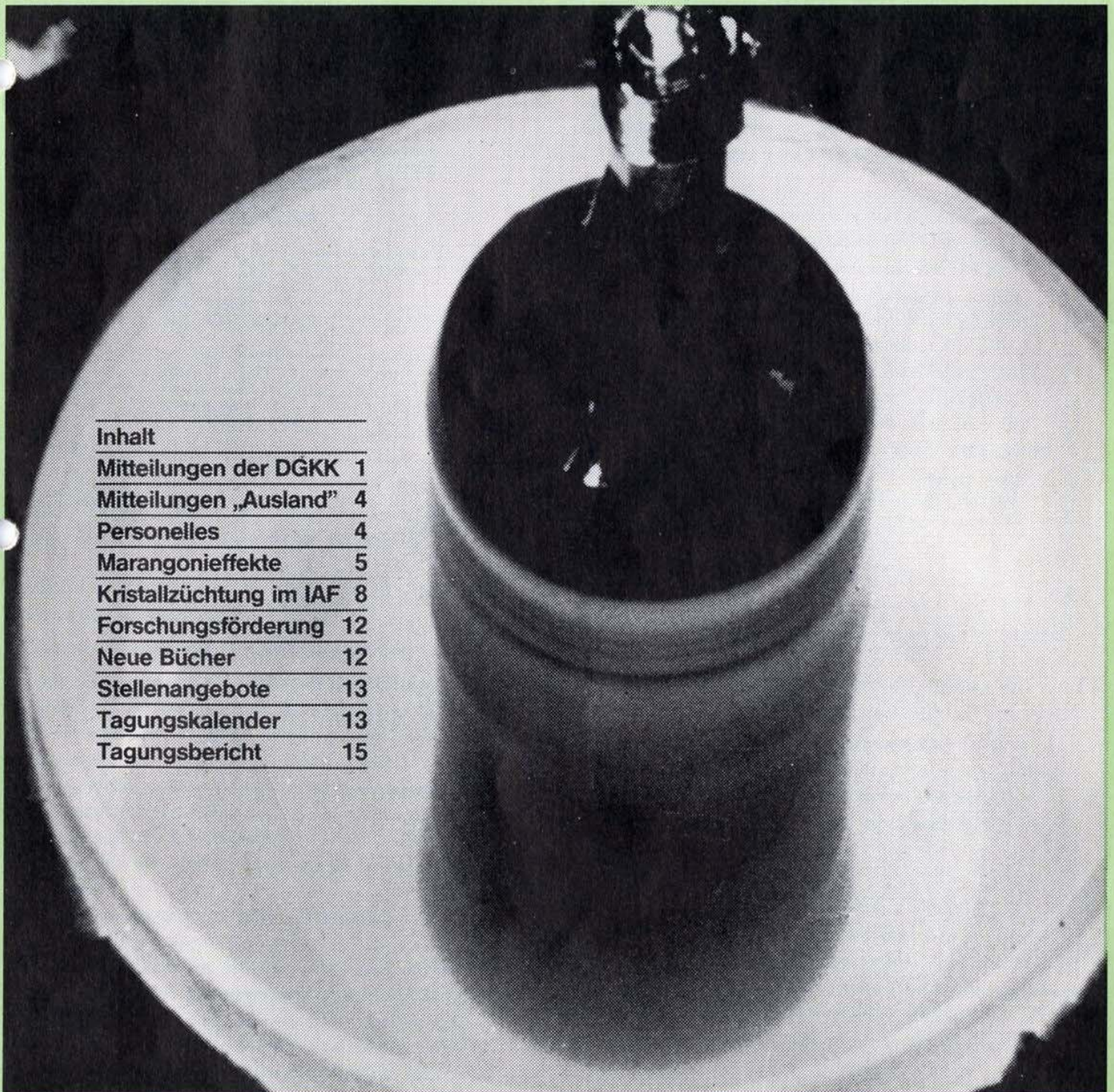


Inhalt

Mitteilungen der DGKK	1
Mitteilungen „Ausland“	4
Personelles	4
Marangonieffekte	5
Kristallzüchtung im IAF	8
Forschungsförderung	12
Neue Bücher	12
Stellenangebote	13
Tagungskalender	13
Tagungsbericht	15



VORSTAND DER DGKK

1. Vorsitzender

Dr. Herbert Jacob
Wacker-Chemitronic, Postfach 1140
8263 Burghausen
Tel. 08677/83-3868

2. Vorsitzender

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

Schriftführer

Dr. Roland Diehl
Fraunhofer-Institut für Angewandte
Festkörperphysik, Eckerstraße 4
7800 Freiburg
Tel. 0761/2714-286

Schatzmeister

Dr. Christa Grabmaier
Siemens AG ZFuE, Otto-Hahn-Ring 6
8000 München 83
Tel. 089/636-2696

Beisitzer

Prof. Dr. Heiner Müller-Krumbhaar
Institut für Festkörperforschung
der KFA Jülich, Postfach 1913
5170 Jülich
Tel. 02461/61-3428

Priv. Doz. Dr. Dietrich Schwabe
I. Phys. Inst. d. Univ. Gießen
Heinrich-Buff-Ring 16
6300 Gießen
Tel. 0641/702-2715

Dr. Franz Wallrafen
Mineral. Inst. d. Univ. Bonn
Poppelsdorfer Schloß
5300 Bonn 1
Tel. 0228/73-2961

MITTEILUNGEN DER DGKK

Tagesordnung der DGKK-Mitgliederversammlung 1983

Anläßlich der ICCG-7 wird die diesjährige Mitgliederversammlung der DGKK am

Montag, dem 12. September 1983 um 18.00 Uhr

in der Schwabenlandhalle im Fellbach bei Stuttgart stattfinden. Auf der DGKK-Vorstandssitzung vom 25. Februar 1983 wurde folgende vorläufige Tagesordnung beschlossen:

- 1.: Begrüßung; Feststellung der Beschlußfähigkeit; Rechenschaftsbericht des Vorsitzenden
- 2.: Bericht des Schriftführers
- 3.: Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer
- 4.: Entlastung des Vorstandes (Abstimmung)
- 5.: Neuwahl des Vorstandes
- 6.: Beschluß über die Höhe des Jahresbeitrags 1984
- 7.: Beschluß über die Jahreshauptversammlung 1984
- 8.: Diskussion über die Jahreshauptversammlung 1985
- 9.: Diskussion über die Jahreshauptversammlung 1986
- 10.: Abstimmung über eine Namensänderung der DGKK
- 11.: Verschiedenes

"Chairman's Corner":

Liebe Mitglieder,

die Bildung fachspezifischer Ausschüsse und die Organisation von Betriebsbesichtigungen standen mit an der Spitze der Wunschliste unserer vorjährigen Umfrage. Wir haben uns überlegt, beides in der Form des fachspezifischen Symposiums miteinander zu verbinden, um Reisekosten und Zeitaufwand niedrig zu halten. Auf Anregung von Herrn Räuber, der auch die wissenschaftliche Betreuung übernahm, kam nun im Januar ein mit einer Werksbesichtigung verbundenes Symposium über die Epitaxie von III/V-Verbindungen zustande. An dieser Stelle sei Herrn Räuber nochmals herzlich für seine Mühe gedankt. Die unerwartet hohe Teilnehmerzahl an diesem Symposium und ein durchweg positives Echo geben uns den Mut, diesen Versuch fortzusetzen. Das nächste Symposium wird voraussichtlich im Januar 1984 stattfinden und den Ausgangsmaterialien zur Kristallzüchtung gewidmet sein. Wir sind dabei, für Tagungsort und Werksbesichtigung eine einschlägige Firma zu gewinnen.

Ein anderer Punkt der Wunschliste betraf den Namen unserer Gesellschaft. Eine (einfache) Mehrheit hatte für eine Namensänderung plädiert. Satzungsgemäß muß darüber in der Mitgliederversammlung abgestimmt werden. Der Vorstand verhält sich neutral, er empfiehlt jedoch - falls die notwendige Dreiviertelmehrheit für eine Namensänderung zustande kommt - die Bezeichnung "Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum" anzunehmen. Nachdem die Kristallzüchtung aus einer Kunst zu einer Wissenschaft geworden ist, wird vielfach "Kristallwachstum" als theorie- und praxisumfassender Begriff verstanden und kommt damit dem "crystal growth" am nächsten.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr Herbert Jacob

Anträge auf Erweiterung der Tagesordnung sind dem Vorstand rechtzeitig zuzuleiten.

Da die wissenschaftlichen Sitzungen der ICCG-7 bis 18 Uhr dauern und bereits um 20 Uhr eine Filmsitzung geplant ist, muß die Versammlung zügig ablaufen. Den Mitgliedern wird vor Ort Gelegenheit zu einem Imbiß gegeben.

Neuwahl des Vorstandes der DGKK

Im September 1983 läuft satzungsgemäß die Amtszeit der Vorstandsmitglieder Müller-Vogt und Wallrafen ab. Beide werden aus dem DGKK-Vorstand ausscheiden. Frau Grabmaier sowie die Herren Jacob, Diehl, Schwabe und Müller-Krumbhaar stehen für eine weitere Amtsperiode zur Verfügung.

Herr Schwabe hat sich bereiterklärt, als Nachfolger

REDAKTION

- Dr. Roland Diehl (Schriftführer) Tel. 0761/2714-286
- Mitteilungen der DGKK
 - Informationen von ausländischen Schwesterorganisationen
 - Personelles (Berufungen, Auszeichnungen, etc.)
 - Tagungskalender
 - Leserbriefe
 - Stellenangebote, Stellengesuche
 - Verschiedenes
- Dr. Dietrich Schwabe (Beisitzer) Tel. 0641/702-2715
- Institutionen mit Kristallzuchtungsaktivitäten
 - Apparaturen, Ersatzteile
 - Computerprogramme
 - Kniffe und Tips
- Dr. Klaus-Werner Benz, Tel. 0711/685-5110
- Tagungsberichte,
 - Übersichtsartikel
 - Buchankündigungen, Buchbesprechungen.
- Schlußredaktion und Drucklegung durch den Schriftführer.

von Herrn Müller-Vogt als stellvertretender DGKK-Vorsitzender zu kandidieren. Der Vorstand schlägt die Herren Georg Müller (Institut für Werkstoffwissenschaften IV, Univ. Erlangen) und Rolf Laurien (Philips Forschungslaboratorium Hamburg) als Kandidaten für den erweiterten Vorstand vor; beide haben ihr Einverständnis für eine Kandidatur gegeben.

Im Hinblick auf die Durchführung der bevorstehenden Neuwahl des Vorstandes sei auf den Paragraphen 8 der DGKK-Satzung hingewiesen:

"Die Vorstandsmitglieder werden von der Mitgliederversammlung in geheimer Abstimmung auf die Dauer von zwei Jahren gewählt.

Der Schriftführer und der Schatzmeister können ohne Unterbrechung mehrmals wiedergewählt werden, die übrigen Mitglieder des Vorstandes nur einmal. Jedoch kann jedes Mitglied unbeschadet seiner vorherigen Mitgliedschaft im Vorstand zum Vorsitzenden gewählt werden, es sei denn, das Mitglied hatte unmittelbar vorher das Amt des Vorsitzenden vier Jahre inne. Vorschläge für die Wahl der Vorstandsmitglieder müssen mindestens eine Stunde vor Beginn der Mitgliederversammlung beim Vorstand schriftlich mit mindestens fünf Unterschriften von Mitgliedern eingereicht werden. Kein Mitglied ist an die Wahlvorschläge mit seiner Stimmabgabe gebunden."

DGKK-Jahrestagungen 1984 und 1985

Die Jahrestagung 1984 wird in Aachen stattfinden. Als geeigneter Termin erscheint der 21. bis 23. März 1984, der vorläufig festgesetzt wird. Dieser Tagung soll ein Fachkolloquium mit dem Schwerpunktthema "Kristallcharakterisierung" vorangestellt werden. Während der Tagung wird Gelegenheit zu einer Betriebsbesichtigung der KFA Jülich geboten.

Der Vorstand wird der nächsten Mitgliederversammlung empfehlen, die Jahrestagung 1985 zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft für Kristallographie (AGKr) in Köln zu veranstalten. Hierüber soll in Stuttgart abgestimmt werden.

Liste über Kristallzuchtungsaktivitäten in der Bundesrepublik Deutschland

Der Vorstand beabsichtigt, eine neue Liste über Kristallzuchtungsaktivitäten und verfügbare Kristalle im Bundesgebiet aufzulegen. Aufnahme in die Liste sollen ausschließlich Institutionen mit Angabe von Kontaktpersonen finden. Um einen Überblick über den zu erwartenden Arbeitsumfang zu gewinnen, werden Interessenten, die in die Liste aufgenommen werden wollen, gebeten, dies durch Zurücksenden des beiliegenden Formulars an den Schriftführer kundzutun. Daraufhin erfolgt der Versand eines Fragebogens mit der Bitte um Bearbeitung.

Ausstellung anlässlich der ICCG-7

Firmen, die beabsichtigen, während der ICCG-7 vom 12. bis 16. September 1983 in Stuttgart Geräte, Apparaturen, Kristalle, Bücher etc. auszustellen, werden gebeten, sich mit

Herrn Dr. Klaus Ploog
MPI für Festkörperforschung
Heisenbergstraße 1
700 Stuttgart
Tel. 0711/6860 - 383/662

in Verbindung zu setzen.

Zuschuß für bedürftige DGKK-Mitglieder zur ICCG-7

Der Vorstand hat sich dafür ausgesprochen, bedürftigen Mitgliedern aus Mitteln der DGKK einen Kostenzuschuß zur Verfügung zu stellen, um ihnen die Teilnahme an der ICCG-7 zu ermöglichen. Dieser Zuschuß beträgt maximal DM 500,-, bestehend aus der Tagungsgebühr von DM 240,- und einem Aufenthaltskostenzuschuß von DM 260,-. Antragsberechtigt ist jede Person, die

- Mitglied der DGKK ist,
- keine Planstelle besitzt und
- Autor oder Koautor eines für Stuttgart angemeldeten Beitrags ist.

Formlose Anträge sind bis 30. Juni 1983 an den DGKK-Schatzmeister zu richten.

Antragsteller werden gebeten, dem Antrag beizufügen

- eine Kopie der Vortragskurzfassung
- eine Empfehlung des Vorgesetzten mit Bescheinigung des Beschäftigungsverhältnisses und
- eine Erklärung, daß die Finanzierung der Tagungskosten von dritter Seite nicht zu erwarten ist.

Sollte sie dennoch erfolgen, so verpflichtet sich der Antragsteller schriftlich, den Differenzbetrag an die DGKK zurückzuüberweisen. Für den Fall, daß die Höhe der insgesamt beantragten Zuschüsse die vorhandenen Mittel übersteigt, behält sich der Vorstand die Auswahl vor.

Redaktionsstab für das DGKK-Mitteilungsblatt

Dem Wunsch der Mehrzahl der DGKK-Mitglieder entsprechend, soll das Mitteilungsblatt mehr journalistisch gestaltet werden. Dieser Gestaltung sind natürlich Grenzen bezüglich Zeitaufwand und Kosten gesetzt. Im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten sollen zukünftige Mitteilungsblätter inhaltlich die im Redaktionskasten angegebenen Themenbereiche umfassen, die von den dort genannten Mitarbeitern des Redaktionsstabs betreut werden. Beiträge zu diesen Themenbereichen sind jederzeit erwünscht und dem zuständigen Redakteur zuzuleiten. Die Redakteure werden ihrerseits versuchen, durch persönliches Ansprechen geeigneter Kollegen Beiträge zu den von ihnen betreuten Themenbereichen zu erhalten.

Zum Themenbereich "Übersichtsartikel" werden leichtverständliche Einführungen in ein klar und eng umrissenes Fachgebiet gewünscht. Zielgruppe sind die Nichtfachleute auf diesem Gebiet. Als Katalysator für weitere Aktivitäten hat Herr Schwabe für diese Ausgabe einen exemplarischen Artikel über Marangoni-Effekte verfaßt.

Für die Rubrik "Institutionen mit Kristallzuchtungsaktivitäten" werden Beiträge über Kristallzuchtungsarbeiten in Laboratorien und Produktionsanlagen aus Industrie, Hochschule und Nichthochschule erwartet. Als Anregung und Beispiel für den interessierten Leser stellt Herr Diehl in dieser Ausgabe das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik vor.

Die Redaktion ist der Meinung, daß ausrangierte (aber noch voll funktionsfähige) Geräte und Apparaturen mit entsprechenden Ersatzteilen Interessenten unter den DGKK-Mitgliedern finden könnten. Anbieter und Interessenten wenden sich bitte an Herrn Schwabe, ebenso alle Mitglieder, die Kniffe und Tips verraten oder brauchen können, um sich das Kristallzüchterleben zu erleichtern. Für Hinweise auf verfügbare Computerprogramme ist die Redaktion ebenfalls dankbar.

Tagungsbesuchende Mitglieder werden gebeten, dem zuständigen Redakteur für das Mitteilungsblatt einen Tagungsbericht zuzuleiten. Es empfiehlt sich, Herrn Benz bereits vor dem Tagungsbesuch zu kontaktieren. Hinweise auf wichtige Buchneuerscheinungen werden dankbar angenommen. An Mitglieder, die sich über den Inhalt neuer Fachbücher genauer informiert haben, ergeht die Bitte, ihre Eindrücke in Form einer kurzen Buchbesprechung für das Mitteilungsblatt zu Papier zu bringen.

Mitgliederübersicht

Durch den bereits längere Zeit zurückliegenden Unfalltod von Dr. Heyer (FU Berlin) und durch Austritt hat die DGKK 6 Mitglieder verloren. Infolge verstärkter Werbeanstrengungen konnten 22 neue Mitglieder gewonnen werden. Damit hat die DGKK derzeit 222 Mitglieder.

Wegen Erreichen des Pensionierungsalters haben Frau Prof. Pernoll (FU Berlin), Herr Josef von Ivanits (München), Herr Prof. Dr. Knoll (FU Berlin) und Herr Prof. Dr. Ulmer (Univ. Karlsruhe) die DGKK-Mitgliedschaft niedergelegt. Die DGKK dankt ihnen für ihre langjährige Mitgliedschaft und wünscht ihnen in ihrem neuen Lebensabschnitt alles Gute, Gesundheit und Wohlergehen. Aus beruflichen Gründen hat Herr Dr. Heide seinen Austritt erklärt.

Als neue Mitglieder begrüßen wir:

Herrn Dipl. Min. Hans-Jürgen Adler,
Institut für Mineralogie und Min. Rohstoffe,
Clausthal-Zellerfeld

Herrn Dipl. Min. Johannes Bethke,
Institut für Kristallographie, RWTH Aachen

Herrn Dipl. Ing. (FU) M. Beyß, IFF der KFA Jülich,
Herrn Stud. Erkan Ersoy, IFF der KFA Jülich

Herrn Franz Friedrich,
Fraunhofer-Inst.f.Solare Energiesysteme, Freiburg.

Herrn Dr. Klaus Gillessen,
TELEFUNKEN electronic, Heilbronn

Herrn Dr. Rainer Göbel,
Forschungsinstitut der DP, Darmstadt

Herrn cand.min. Detlev Götz,
Institut f. Kristallographie, RWTH Aachen

Herrn Dr. Bernward Gohla, SEL, Stuttgart

Herrn Dipl.-Min. Helm. Hirth,
Fraunhofer-Inst.f.Solare Energiesysteme, Freiburg

Herrn Dr. Leon Kaufmann, Univ.-GHS Duisburg

Herrn cand.min. Arne Kröll
Krist. Institut d. Universität Freiburg

Herrn Dr. Eckart Kuphal,
Forschungsinstitut d. DP, Darmstadt

Herrn Dr. Horst Maier,
TELEFUNKEN electronic, Heilbronn

Herrn Dr. Matija Mihelcic, IFF der KFA Jülich
Frau stud. Christine Nacke, FH Münster

Herrn Dipl. Ing. Gerhard Schemmel, SEL, Stuttgart

Herrn Dipl.-Min. Helmut Schmidt, Nürnberg

Herr Dr. Norbert Stath, Siemens AG, Regensburg

Herrn Dr. Erich Tomzig,
Wacker-Chemitronic, Burghausen

Herrn Dipl.-Ing. Joh.Völkl,
Institut f.Werkstoffwiss., Universität Erlangen

Herrn Dr. Jean-Marie Welter, IFF der KFA Jülich

Mitgliederwerbung

Es gibt immer noch zahlreiche Kristallzüchter-Kolleginnen und -Kollegen, die noch nicht hinreichend über die DGKK informiert sind. Daher ergeht an alle Mitglieder die Bitte, im Kollegenkreis für die Mitgliedschaft in der DGKK zu werben. Nur so läßt sich eine dauerhafte und notwendige Lebendigkeit der Gesellschaft erhalten. Zur Unterstützung Ihrer Bemühungen wird zukünftig ein Aufnahmeformular fester Bestandteil des Mitteilungsblattes sein.

Mitgliederbeitrag

Diesem Mitteilungsblatt liegt eine persönliche Beitragsrechnung mit Zahlkarte bei. Der Vorstand bittet alle Mitglieder, die mit Jahresbeiträgen im Rückstand sind, die kleine Formalität der Beitragsentrichtung möglichst bald zu erledigen.

Who's Who in Science in Europe

Mitglieder, die in diesem "biographical guide to scientists in agriculture, engineering, medicine, and the natural and applied sciences" aufgenommen werden wollen, werden gebeten, vom Schriftführer das entsprechende Formblatt anzufordern. Die Eintragung ist kostenlos.

Einkristalle von Sb₂S₃

Unserem Mitglied Gerd Lamprecht ist es kürzlich gelungen, größere Einkristalle (cm-Bereich) des schwierig zu züchtenden Materials Sb₂S₃ herzustellen. Interessenten wenden sich bitte an

Dr. Gerd Lamprecht
Parkstraße 16, 7251 Heimsheim
Tel. 07033/33604

MITTEILUNGEN OBER AUSLÄNDISCHE SCHWESTERORGANISATIONEN

Zum neuen Vorsitzenden der British Association for Crystal Growth (BACG) wurde Dr. Keith Barraclough (RSRE, Malvern) gewählt. Derzeit sind im BACG-Vorstand tätig:

Chairman: Dr. Keith Barraclough
Secretary: Dr. Ian Saunders
Treasurer: Dr. B.W. Straughan
Editor of
Newsletter: Dr. M.T. Sprackling

Der Kontaktgroep vor Kristalgroei Nederland (KKN) stehen für 1983 vor:

Chairman: W. Nijman, Philips Int. Coop. Research
Nat. Lab WB5, Prof. Holstlaan,
5600 MD Eindhoven
Secretary: Dr. G.M. van Rosmalen, University of
Technology
Department of chemistry,
De Vries van Heystplantsoen 2, 2628 RZ Delft
Treasurer: Dr. B.G. Wienk, Akzo Tout Chemie Ned. B.V.
Boortorenweg 20, Hengelo (O)
Secretary of INFO Newsletters: Dr. C.F. Woensdregt,
Institute of Earth Sciences, Postbus 80021,
3508 TA Utrecht
Members: Dr. G.J. Arkenhout, Dr. G.J. Giling,
Dr. J.M. Robertson

Die KKN konnte kürzlich ihr 10-jähriges Bestehen feiern. Die DGKK gratuliert ihrer holländischen Schwesterorganisation herzlich zu diesem runden Geburtstag, wünscht ihr auch für das nächste Jahrzehnt Wachstum und Erfolg und hofft auf weitere gute Zusammenarbeit, die in der Vergangenheit bereits durch mehrere gemeinsame Tagungen ihren Ausdruck fand.

Infolge eines Mißverständnisses wurden Kopien des "Third Inventory of Crystal Growth" der holländischen Kollegen durch die DGKK verteilt. Da die KKN für die Liste ein Copyright hält, sind Kopien zukünftig direkt beim Treasurer, Dr. B.G. Wienk, anzufordern.

Die American Association for Crystal Growth (AACG) verleiht alle drei Jahre zwei wissenschaftliche Preise. Die AACG ruft zur Einreichung von Bewerbungen hierfür auf. Dazu schreibt Dr. R.A. Laudise:

"The American Association for Crystal Growth sponsors two awards which are given triennially and will be presented next at the AACG National Meeting in Atlantic City, New Jersey, July 15 - 20, 1984. The Awards Committee solicits nominations for these awards.

AACG International Crystal Growth Award

This award is presented for outstanding contributions to the field of crystal growth through technical achievements, publications and presentations and their impact on science and technology in crystal growth worldwide. The award may be given for either theoretical or experimental contributions. Individuals anywhere in the world are eligible. (The award consists of a certificate, a medal and a cash honorarium of \$3,000.) Previous winners were Sir Charles Frank, United Kingdom, and R.A. Laudise, U.S.A.

AACG Young Author Award

The award will be given for significant contributions to the field of crystal growth, with emphasis on contributions made after a formal thesis. The recipient shall not be more than 35 years old at the deadline for nominations. Contribution(s) should be defined by publications in accredited journals. (The award will consist of a \$1,000 honorarium and a framed citation. Travel expenses to the conference will be considered on an individual-need basis. The recipient will be invited to give a presentation on the subject of the most significant contribution at the award ceremony.) Only research performed in the U.S.A. will be considered for the award; however, the recipient need not be a citizen of the U.S.A. to be eligible.

Nominations for these awards should be sent with appropriate documentation before September 1, 1983 to the Awards Committee Chairman: Dr. R.A. Laudise, Bell Laboratories, 600 Mountain Avenue, Murray Hill, New Jersey 07974, U.S.A.

Das diesjährige Jahreskolloquium der Groupe Francaise de la Croissance Cristalline (GFCC) fand am 16. und 17. März im Centre d' Etudes Nucleaires in Grenoble statt. Das Kolloquium wurde gemeinsam von den Komitees "Transport", "Charakterisierung", "Gasphase" und "Molekularstrahlen" organisiert. Das Programm der Veranstaltung kann vom DGKK-Schriftführer angefordert werden. Präsident und Sekretär der GFCC wurden im letzten Mitteilungsblatt namentlich vorgestellt. Schatzmeister ist Herr J. Gastaldi.

PERSONELLES

Hans J. Scheel, langjähriger Mitarbeiter des IBM-Forschungslaboratoriums in Rüschlikon/CH hat eine Professur an der Universität von Sao Paulo/Brasilien angetreten. Seine neue Adresse:

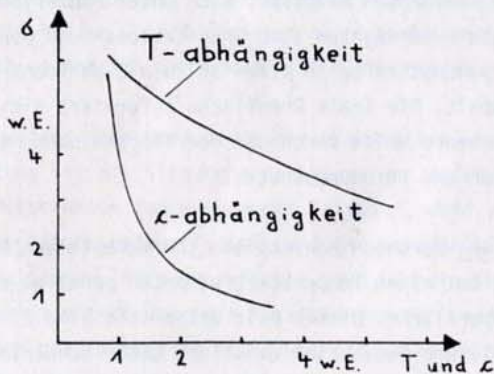
Dept. of Physics and Materials Science,
Inst. of Physics and Chemistry of Sao Carlos,
University of Sao Paulo, Caixa Postal 369,
13560 Sao Carlos S.P./Brasil

Zu spät für eine Bekanntgabe im vorigen Mitteilungsblatt erreichte uns eine traurige Nachricht: William G. Pfann, Vater der Zonenschmelztechnik, verstarb am 26. Oktober 1982 im Alter von 65 Jahren. Herr Pfann wurde 1917 in New York City geboren. 1935 ging er zu den Bell Laboratories, die er am 1. Oktober 1982 aus Altersgründen verließ. Er war einer der Pioniere bei der Entwicklung des ersten arbeitsfähigen Transistors. 1951 erfand und entwickelte er einen Prozeß, fortan "Zonenschmelzen" genannt, mit welchem es möglich ist, Halbleitermaterialien mit extremer Reinheit herzustellen. Dies bildete die Grundlage für die großindustrielle Produktion von diskreten Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen. Herr Pfann hielt 65 Patente über Zonenschmelzen, Halbleiterbauelemente und Kristallzüchtungstechniken. Für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Materialforschung wurde er vielfach ausgezeichnet. William G. Pfann war einer der ganz Großen auf dem Gebiet unserer noch jungen Wissenschaft. Allen Kristalleuten wird sein Name unvergeßlich bleiben.

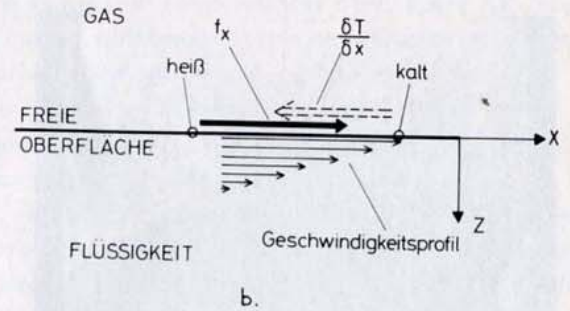
EINE ÜBERSICHT ÜBER . . .
Marangonieffekte

Die Grenzflächenenergie σ oder Oberflächenspannung ist für die Kristallzüchter eine bekannte und wichtige Größe. Für den kritischen Radius bei der Keimbildung spielt die Grenzflächenenergie σ der festen kristallinen Phase gegen die angrenzenden Medien (Ausgangsphase, Gefäßwand, Fremdteilchen) eine wesentliche Rolle. Hier soll von einem anderen Effekt der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten die Rede sein, der bei einigen Techniken der Kristallzüchtung aus der Schmelze indirekt von Bedeutung ist.

Die Abhängigkeit der Oberflächenspannung σ einer Flüssigkeit/Gas-Grenzfläche von der Temperatur ($\partial\sigma/\partial T$) oder einer Konzentration ($\partial\sigma/\partial c$), führt zu Marangonieffekten (Bild 1a, 1b). Marangonieffekte sind Konvektionserscheinungen und damit zusammenhängende Phänomene, die durch Oberflächenspannungsgradienten in einer freien Flüssigkeitsoberfläche zustande kommen.



d.



b.

Bild 1a: Die Oberflächenspannung σ einer normalen Flüssigkeit (oder Schmelze) nimmt mit der Temperatur ab. Die Oberflächenspannung wird außerdem durch Verunreinigungen meistens stark erniedrigt (Beispiel: Wasser mit Waschmittel). Die Konzentrationsabhängigkeit $\partial\sigma/\partial c$ der Oberflächenspannung ist oft stärker als die der Temperaturabhängigkeit $\partial\sigma/\partial T$ (Beispiel: Alkohol erniedrigt die Oberflächenspannung von Wasser stark).

Bild 1b: Zum Prinzip der thermischen Marangonikonvektion stellen wir uns die freie Oberfläche einer Schmelze vor, bei der durch die Heizbedingungen ein Bereich der Oberfläche heißer ist als der andere. Weil die Oberflächenspannung temperaturabhängig ist, bewirkt der Temperaturunterschied einen Oberflächenspannungsunterschied (Oberflächenspannungsgradienten). Dieser Oberflächenspannungsgradient treibt die Oberfläche vom Gebiet kleiner Spannung (heiß) zum Gebiet größerer Spannung (kalt), so wie sich beim Spannen einer Trommel deren Fell bewegt. Wegen der Viskosität der Schmelze wird die Bewegung der Oberfläche auf tiefer liegende Schichten übertragen, und es entsteht Konvektion. Solange der Temperaturunterschied aufrechterhalten wird, hält auch die Strömung an.

Ein wesentliches Merkmal der Marangonikonvektion ist der steile Abfall der Strömungsgeschwindigkeit zum Volumen hin, weil der Antrieb nur in der freien Oberfläche sitzt. Ein Beispiel für Marangonikonvektion in einer NaNO_3 -Schmelze zwischen einer heißen und einer kalten Wand zeigt Bild 2. Es wurde ein schmaler vertikaler Lichtschnitt durch die rechteckige Küvette fotografiert, der das zweidimensionale Stromlinienfeld zeigt. An der Strichlänge der Schwebeteilchen erkennt man außerdem die vergleichsweise große Strömungsgeschwindigkeit (von links nach rechts) in der Nähe der freien Oberfläche.

In ganz einfachen Experimenten kann man die Marangonikonvektion auch zu Hause demonstrieren. Man beobachte z.B. eine brennende offene Kerze mit einem möglichst groß aufgeschmolzenen Wachssee. Zerriebene Streichholzkohle ergibt feine Schwebeteilchen, die die Strömung im flüssigen Wachs markieren (Bild 3a). An der Wachs Oberfläche ist schnelle Strömung weg vom heißen Docht zu erkennen (etwa 1 cm s^{-1}); im Volumen tiefer strömt das Wachs aus Kontinuitätsgründen zurück (etwa 2 mm s^{-1}).

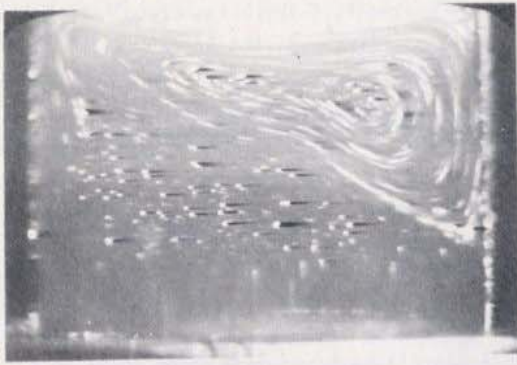


Bild 2: Marangonikonvektion im rechteckigen NaNO_3 -Schmelzvolumen ($L=20\text{mm}$, $H=12\text{mm}$, $T=20\text{mm}$) in einer Quarzküvette mit einer 380°C heißen linken und einer 330°C "kalten" rechten Wand (Graphitheizblöcke). Vertikaler, 1 mm breiter Lichtschnitt; Belichtungszeit = 1/8 s.

Es dürfte wirklich nur der Temperaturgradient durch die Kerzenflamme sein, der die Marangonikonvektion antreibt, und nicht chemische Prozesse durch die Flamme, denn der Versuch gelingt ebenso mit einem in Wachs getauchten LötKolben.

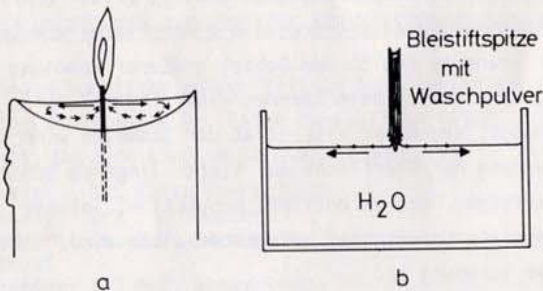


Bild 3: a) Marangonikonvektion im Wachs einer brennenden Kerze
b) Marangonikonvektion in Wasser, das lokal mit Waschlösung entspannt wird.

Oder man nehme eine Schüssel (oder Becherglas) mit frischem Leitungswasser und tauche in ihre Mitte eine Bleistiftspitze, an der einige Waschlösungsverkrümel hängen (Bild 3b). Im ersten Moment nach dem Eintauchen werden die Waschlösungsverkrümel (die die Oberflächenspannung des Wassers erniedrigen und gleichzeitig die Strömung sichtbar machen) an der Oberfläche wie an Gummifäden von der Bleistiftspitze zum Schüsselrand gezogen. Und schon im zweiten Moment hört die Bewegung auf, weil das Waschlösungsver die Oberflächenspannung gleichmäßig erniedrigt hat, d.h. daß der Oberflächengradient in diesem Falle nicht über längere Zeit aufrechterhalten wird. Ein Overheadprojektor kann die Wasseroberfläche und die Marangonikonvektion in ihr für ein Auditorium sichtbar machen.

Man muß dafür sorgen, daß keine Waschlösungsverkrümel vorher in's Wasser fallen und daß die Oberfläche "frisch" ist (z.B. vorher umrühren oder das Wasser frisch einfüllen).

Beobachtet man einen Tropfen verdunstenden Alkohols (z.B. mit Holzkohlenstaub versetzt) unterm Mikroskop, so sieht man schnelle Bewegungen, die dadurch hervorgerufen werden, daß die Verdunstungswärme für starke Temperaturgradienten an der Oberfläche des Tropfens sorgt. Die Konzentrationsgradienten könnten noch entscheidender sein. Beim verdunstenden Tropfen stehen die Temperatur- und Konzentrationsgradienten primär senkrecht zur freien Oberfläche. Aber durch die Strömung werden sekundäre Gradienten entlang der Oberfläche aufgebaut (Bild 4a).

Die thermischen Marangoniefekte sind oft schwächer als die chemischen; sie haben aber den Vorteil, daß man sie stationär beobachten kann, weil man einen Temperaturgradienten beliebig lange konstant halten kann, was für Konzentrationsgradienten kaum gelingt. Betrachten wir die thermischen Marangoniefekte, so sind für die thermischen Randbedingungen zwei idealisierte Fälle denkbar (Bild 4).

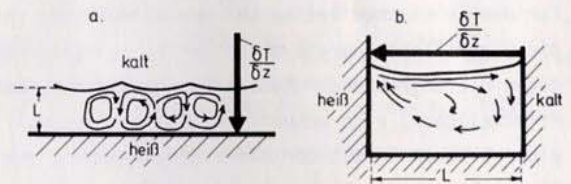


Bild 4a: Marangonikonvektion bei einem Temperaturgradienten, der senkrecht zur freien Oberfläche angelegt wurde. Die Strömung erhält die sekundären Temperaturgradienten aufrecht. Unterm Aufstrom ist die Oberfläche heißer (H) als unterm Abstrom (K). Es bildet sich ein (Benard) Muster von hexagonalen Zellen aus, wobei der Aufstrom normalerweise im Zentrum der Zelle liegt. Diese Konvektion existiert auch unter Schwerelosigkeit. In Laborexperimenten sind Gravitations- und Oberflächenspannungskräfte in einem solchen Experiment innig gekoppelt. Die freie Oberfläche deformiert sich in der angegebenen Weise durch die Oberflächenspannungsgradienten und Strömungsdrucke.

Bild 4b: Marangonikonvektion (thermokalillare Konvektion) bei einem Temperaturgradienten parallel zur freien Oberfläche. Dieses Bild entspricht Bild 2. Die thermokalillare Konvektion existiert unter Schwerelosigkeit. Im Laborexperiment wird sie um so bedeutender gegenüber der gravitationsbedingten Konvektion, je geringer die Flüssigkeitshöhe ist.

Der Temperaturgradient kann senkrecht oder parallel zur freien Oberfläche verlaufen. Steht der Temperaturgradient senkrecht zur Oberfläche, ist zunächst nicht einzusehen, warum Oberflächenspannungsgradienten in der Oberfläche (Temperaturgradienten in der Oberfläche) auftreten sollten. Dazu ist eine Störung nötig, die eine kleine Bewegung verursacht und damit das System aus einem labilen Gleichgewicht bringt, denn solch eine kleine Bewegung erzeugt Temperaturgradienten in der Oberfläche, die sich aufgrund der einsetzenden Konvektion verstärken und aufrechterhalten können. Damit die Störung nicht gedämpft wird und abklingt, muß der senkrecht zur Oberfläche vorgegebene Temperaturgradient eine gewisse Größe überschreiten (genauer, die Marangonizahl $Ma = \left| \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right| \cdot \frac{\Delta T \cdot L}{\chi \cdot \eta}$ muß etwa 70 überschreiten, wobei σ die Oberflächenspannung, $\frac{\partial \sigma}{\partial T}$ die entsprechende Temperaturabhängigkeit, χ die thermische Diffusivität, η die dynamische Viskosität, ΔT der angelegte Temperatursprung und L die Flüssigkeitsschichtdicke bezeichnet). Ma ist die in der Literatur übliche Kennzahl für dieses Problem, und die kritische Marangonizahl für den Einsatz der Strömung $Ma_1^c \sim 70$ gilt nur unter der unrealistischen Annahme, daß die Oberfläche sich nicht gleichzeitig verformt (Bild 4a).

Liegt der Temperaturgradient parallel zur freien Oberfläche, dann setzt die Marangonikonvektion bereits für beliebig kleine Temperaturdifferenzen (Marangonizahlen) ein. Es gilt $Ma_1^c = 0$ für diesen Fall, wobei Ma wie vorher mit einer Länge L parallel oder senkrecht zur Oberfläche definiert ist. Zum Unterschied beider Fälle wird die Marangonikonvektion bei Temperaturgradienten parallel zur freien Oberfläche thermokapillare Konvektion genannt.

In praktischen Fällen ist der Temperaturgradient zur Oberfläche geneigt, so daß mit komplizierten Überlagerung von Zellen mit einer großräumigen Strömung gerechnet werden muß. Marangonieeffekte sind z.B. in folgenden technischen Gebieten wichtig: bei der Verdampfung, bei der flüssig - flüssig - Extraktion (dort auch Grenzflächenturbulenz genannt), beim Spreiten von Flüssigkeitsfilmen, bei der Ausbreitung von Flammen über brennbaren Flüssigkeiten, beim Blasensieden und bei Blasenbewegung. Bei der Kristallzüchtung aus Schmelzen mit freier Oberfläche sind die thermokapillaren Kräfte am Antrieb der Konvektion mitbeteiligt.

Eine wesentliche Komponente der "Kunst" der Kristallzüchtung ist die Steuerung der Wärme und Materialflüsse von Mutterphase zum wachsenden Kristall, denn es gilt, die Wachstumsgeschwindigkeit und die Homogenität zu kontrollieren. Marangonieeffekte sind für die Kristallzüchter indirekt über die Auswirkungen der Konvektion auf den gezüchteten Kristall wichtig. Allgemein interessieren zeitliche Wachstumsschwankungen (Dotierungs-

bänder oder Striations), von denen einige auf zeitabhängige Konvektion zurückzuführen sind, sowie z.B. radiale Dotierungsinhomogenitäten beim Czochralskiziehen. Die Marangonikonvektion kann zu lokalen Inhomogenitäten der Strömungen beitragen und damit z.B. zu radialen Inhomogenitäten. Außerdem ist ein zeitabhängiger Strömungszustand in Schwebезonen (floating zones) bekannt, der zu Striations führen könnte. Besonders wichtig wird die Marangonikonvektion bei Kristallzüchtungsexperimenten unter Schwerelosigkeit (z.B. beim Versuch, Silizium im Freiburger Spiegelofen nach der Floating Zone Methode zu ziehen); - die Marangonikonvektion ist ein schwerkraftunabhängiges Phänomen und als Konvektionstransport dem diffusiven Transport von Verunreinigungen um Größenordnungen überlegen. Bei einem so reaktiven Material wie Silizium ist allerdings noch nicht klar, ob sich auf der Schmelze nicht eine feste Haut bildet, die die Oberflächenspannungseffekte unterdrückt.

Neuere Rechnungen und Experimente haben gezeigt, daß die thermische Marangonikonvektion auch im normalen Kristallzüchtungslabor (unter Schwerkraft) neben der schwerkraftgetriebenen natürlichen Konvektion wichtig sein kann. Sie ist um so wichtiger, je größer das Verhältnis von freier Oberfläche zu Volumen ist; also beim floating-zone-Verfahren, beim Ziehen von Siliziumbändern (Ribbons), beim Verneuil-Verfahren und auch beim Czochralskiverfahren in nicht zu großen Tiegel (Dimension: einige Zentimeter). Die großen freien Oberflächen bei relativ kleinen Schmelzvolumina, zusammen mit den extremen Temperatur- und Konzentrationsgradienten, sind ganz speziell Eigenschaften von Schmelzen, die bei der Kristallzüchtung starke Marangonieeffekte erwarten lassen.

Für besinnliche Stunden kann das Studium des folgenden Marangonieeffekts empfohlen werden: gießen Sie sich ein Glas schweren Rotwein ein, trinken Sie einen kräftigen Schluck und beobachten Sie dann den Rotweinfilm, der von der Glaswand zum Rotweinrest fließt: der Rotweinfilm kondensiert zu Tropfen, die nach unten fließen und in den Rotweinrest abtropfen; es bilden sich aber immer neue Tropfen, die nicht aus dem ursprünglichen Rotweinfilm stammen!

Dietrich Schwabe,

I. Phys. Institut, Justus-Liebig Universität Gießen

KRISTALLZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND; z.B. im
Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik
(IAF) in Freiburg/Breisgau

1.: Überblick

Das IAF wurde 1959 als Institut für Elektrowerkstoffe gegründet und ist eines der ältesten Forschungsinstitute der Fraunhofer-Gesellschaft. Eine Neuorientierung der Aufgabenfelder hatte eine Umbenennung in den heutigen Institutsnamen zur Folge.

Die Mitarbeiter des Instituts (derzeit 116, davon 45 Wissenschaftler) führen experimentelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Festkörperphysik von Nichtmetallen durch. Von besonderem Interesse sind dabei Werkstoffe mit erwiesener oder potentieller Bedeutung für die Anwendung in der

- Elektronik (z.B. Si, GaAs),
- Optoelektronik (z.B. GaAs, GaP, AgGaS₂, FeBO₃),
- Mikrowellentechnik (z.B. GaAs, InP),
- Infrarottechnik (z.B. Hg_{1-x}Cd_xTe, Si) und
- Anzeigentechnik (z.B. Flüssigkristalle, WO₃).

Mit diesen Werkstoffen werden neuartige Bauelemente und Komponenten (z.B. Mikrowellensender, Infrarotdetektoren, Flüssigkristalldisplays, akustische Oberflächenwellen-Filter) entwickelt, wobei die Entwicklung in der Regel auch grundlegende Fragen der Werkstoffpräparation und -charakterisierung einschließt. Entwicklungsziel ist die Herstellung von Labormustern und gelegentlich auch von Kleinserien von Bauelementen. Weiterhin umfassen die FuE-Aktivitäten im IAF auch die Erarbeitung und Verbesserung neuer Prozeßtechnologien (z.B. Plasmaätzen, MBE bei gleichzeitiger Ionenimplantation).

Neben diesen "Hardware"-Aufgaben hat das Institut eine Reihe von "Software"-Aufgaben wie z.B. Beratungs- und Gutachtertätigkeiten, Koordinierung von Ringversuchen, Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien, wissenschaftliche Begleitung öffentlich geförderter Projekte in der Industrie sowie die Erstellung von Trendprognosen.

Die Aufgabenfelder des IAF gliedern sich in

- Festkörperphysikalische Grundlagen,
- Festkörperwerkstoffe,
- Halbleitertechnologie,
- Infrarotbauelemente,
- Mikrowellenbauelemente und
- Anzeigenbauelemente.

Diesen Aufgabenfeldern entsprechend ist das Institut in 6 Abteilungen strukturiert.

Im Hause sind eine Vielzahl von Geräten, Meßsystemen sowie Analytik- und Technologieanlagen im Einsatz. Im Einzelnen sind dies Anlagen für

- Präparation von Kristallen und (epitaktischen) Schichten
 - o UHV-Molekularstrahlepitaxie mit peripheren Analysegeräten,
 - o UHV-Molekularstrahlepitaxie bei gleichzeitiger Ionenimplantation,
 - o gerichtetes Erstarren (Bridgman horizontal und vertikal),
 - o Ziehen aus der Schmelze (Czochralski),
 - o Kristallzüchtung aus der Gasphase,
 - o Flüssigphasenepitaxie,
 - o Lösungszonenzüchtung
- Dotieren, Beschichten und Kontaktieren von Werkstoffen
 - o Ionenimplantation,
 - o Diffusions- und Temperöfen,
 - o Aufdampfen (thermisch und mit Elektronenstrahl),
 - o Bonding,
 - o Sputtern
 - o Hochfrequenzplasmaabscheidung
- Photolack-, Masken- und Ätztechnik
 - o Photolackbeschichtung,
 - o Komplette Maskentechnik, Projektionsbelichtung, Elektronenstrahlbelichtung
 - o Ätzlabors
 - o Plasmaätzung
 - o Sprüh-Ätzverfahren
- Meßtechnik
 - o Tieftemperatur-Infrarotabsorption, verschiedene sichtbare und IR-Spektrometer,
 - o Tieftemperatur-Lumineszenz (Laser-Anregung), Fluoreszenz-Spektrometer
 - o Tieftemperatur-Hall-Effekt-Anlagen
 - o Elektronen-Spinresonanz (ESR)
 - o Ferromagnetische Resonanz
 - o Brillouin-Spektrometer (Laserlicht-Streuung)
 - o Differential-Kalorimeter, kalorimetrische IR-Absorptionsmessung
 - o CO₂-Laser-Meßsysteme für IR-Materialien, Laser-Interferometrie
 - o IR-Laser-Systeme, nichtlinear-optische Frequenzmischung
 - o IR-Detektor-Meßsysteme (spektrale Empfindlichkeit, Detektivität)
 - o Rechnergesteuerte IV- und CV-Meßsysteme mit Tieftemperatur-Einheit
 - o DLTS-Meßsystem
 - o Millimeterwellen-Meßsysteme (Frequenz und Leistung, 33-50 GHz und 75-110 GHz)
 - o Meßsystem für elastische Konstanten in Flüssigkristallen

Analytik

- o UHV-Oberflächenanalytik mit XPS, UPS, Auger, LEED
- o Röntgenbeugungstechnik
- o Raster-Elektronenmikroskop mit zusätzlichen Analyse-Einheiten (Mikrosonde, Potentialkontrast, Kathodolumineszenz, EBIC Electron Beam Induced Current-Zusatz mit Tieftemperatureinheit)
- o Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS)

Gerätetechnik

- o Projektionssystem mit Flüssigkristall-Lichtventil
- o Laser-Testköpfe für Entfernungsmesser
- o Millimeterwellen-Radiometer für 90 GHz.

2. Kristallzuchtaktivitäten

I-III-VI₂-Verbindungen (Chalkopyrite)

Für Spektroskopie und ESR-Messungen wurden eine Reihe von I-III-VI₂) (I: Cu, Ag; III: Al, Ga, In; IV: S, Se)-Verbindungen aus den Elementen synthetisiert und in Form von Einkristallen mit Volumina von mehreren mm³ durch chemischen Transport in evakuierten Quarzampullen gezüchtet. Transport erfolgte in Zweizonenöfen von heiß nach kalt bei Temperaturen im Bereich 650 bis 1050°C.

Besonderes Interesse erlangten die Verbindungen AgGaS₂ (gelb) und AgGaSe₂ (tiefrot). Als tetragonale Überstrukturen der Zinkblende zeichnen sie sich durch ihre nicht-linear-optische Eigenschaften bei hoher Licht- und Doppelbrechung sowie ihre Transparenz im IR bis jenseits 10,6 μm (stärkste CO₂-Laserlinie) aus.

Im AgGaS₂ konnten erfolgreich die Aufkonversion von IR-Strahlung durch nichtlinear-optische Frequenzmischung zum IR-Strahlungsnachweis realisiert werden. Hierzu werden Einkristalle hoher optischer Qualität und ausreichender Größe (einige cm³) benötigt. Im IAF erfolgt die Züchtung von AgGaS₂-Einkristallen durch gerichtetes Erstarren in einer vertikalen Bridgman-Anordnung. Das Ausgangsmaterial hierzu wird aus den Elementen synthetisiert. Dabei befinden sich die Metalle im Verhältnis 1:1 in der ca. 1000°C heißen Zone einer evakuierten Quarzampulle, der Schwefel mit leichtem Überschub in der mit ca. 500°C weniger heißen Zone. Die Reaktion zu stöchiometrischem Material ist nach wenigen Tagen abgeschlossen. Das Material wird gepulvert und in die Züchtungsampulle aus Quarz eingefüllt. Probleme bei der Kristallzucht erwachsen dadurch, daß sich die Kristalle bei der Abkühlung in c-Richtung ausdehnen und in a-Richtung kontrahieren. Deshalb besteht einmal die Gefahr, daß die Züchtungsampulle bei der Abkühlung reißt, zum anderen bilden sich im Kristall infolge der auftretenden Spannungen Zwillingslamellen. Weitere Schwierigkeiten bereitet die feste Haftung der Kristalle an der Quarzwand. Die Probleme konnten durch Vorgabe von Keimkristallen mit c-Richtung parallel zur

Ampullenachse und durch Beschichtung der Quarzampulle mit Graphit gelöst werden. Die Züchtungsampulle wird mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/Tag durch einen Temperaturgradienten von 80°C/cm im feststehenden Zweizonenofen (oben 1040°C, unten 800°C, Schmelzpunkt 980°C) abgesenkt. Es werden Einkristalle mit Abmessungen von 1,5 und 10 cm hergestellt. Sie sind nach dem Züchtungsvorgang trüb. Durch einen 6- bis 8-wöchigen Temperprozeß werden sie optisch klar.

(G. Brandt, V. Krämer:
Phase Investigations in the Silver-Gallium-Sulphur System;
Mat. Res. Bull 11 (1976) 1381
P. Koidl, W. Jantz:
Nachweis infraroter Strahlung durch Frequenzmischung
FHG-Berichte 3-79 (1979) 9)

InPS₄

Als weiterer nichtlinear-optischer Kristall ist der tetragonale ZnS-Abkömmling InPS₄ in der Untersuchung. Der nutzbare Transmissionsbereich erstreckt sich von 0,45 bis 8 μm. Einkristalle werden durch chemischen Transport mit Jod bei Temperaturen um 600°C gezüchtet. Ziel sind Kristallvolumina von 1 cm³.

(W. Jantz, P. Koidl, W. Wettleing:
Elastic, Optical, and Nonlinear Optical Properties of InPS₄, Appl. Phys. A.30 (1983) 109)

LiNbO₃

Einkristalle des trigonalen ferroelektrischen Lithiumniobats sind für vielfältige Anwendungen interessant. Aufgrund ihrer piezoelektrischen Eigenschaften eignen sie sich als akustische Oberflächenwellenfilter, wegen des photorefraktiven Effekts (lokale Variation von Licht- und Doppelbrechung bei Laserbestrahlung) als Material für optische holographische Speicher. Das Interesse im IAF konzentriert sich auf die nichtlinear-optischen Eigenschaften des LiNbO₃ (Transparenzbereich 0,35 bis 5,5 μm). Hierzu werden Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Die Charakterisierung der Kristalle durch Frequenzverdopplung von 1,06 μ Laserstrahlung ergibt aus der Temperaturabhängigkeit der Intensität der Harmonischen quantitative Information über Homogenität und Stöchiometrie der Kristalle. Neben diesen Studien an einkristallinen LiNbO₃-Kristallen werden ferroelektrische Domänenstapel untersucht.

LiNbO₃-Einkristalle werden nach dem Czochralski-Verfahren an Luft aus Platintiegeln gezogen (Schmelzpunkt des LiNbO₃ 1265°C). Bild 1 zeigt die Prinzipskizze der Apparatur (Hochfrequenzheizung mit ca. 300 kHz aus 12 kW-Generator, Rotation 20-30 U/min, Ziehgeschwindigkeit 4-6 mm/h, Temperaturkontrolle über Saphir-Lichtleiter).

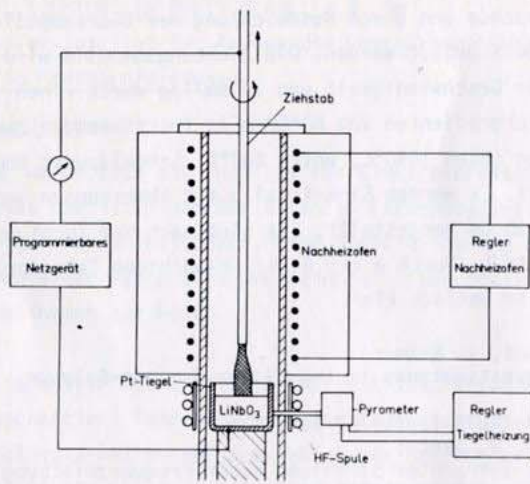


Bild 1: Prinzipskizze der Ziehapparatur zur Kristallzuchtung von LiNbO_3

Beim Abkühlen des Ferroelektrikums LiNbO_3 durch den Curie-Punkt (wenig unterhalb des Schmelzpunktes) bilden sich 180° -Domänen aus. Die Herstellung einkristalliner Kristalle erfordert das Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen Kristall und Schmelze. Eine Mindeststromdichte von 2 mA/cm^2 muß anliegen, wobei der Kristall positiv gegenüber der Schmelze gepolt wird. Durch Änderung der Stromdichte lassen sich Stöchiometrie und Domänenstruktur der Kristalle sowie der Verteilungskoeffizient von Dotierelementen beeinflussen. Sehr wesentlich für das Erreichen guter Kristallqualitäten ist ein Nachheizofen über dem Tiegel. Damit läßt sich

- ein günstiger Temperaturgradient beim Ziehen einstellen,
- der Kristall zur Vermeidung des Zerspringens nach dem Ziehen tempern und langsam abkühlen (von 1050°C mit $50^\circ/\text{h}$),
- bei Kristalltemperaturen oberhalb 1000°C eine gute Leitfähigkeit für die Polarisation der Kristalle erhalten.

Mit der gleichen Anordnung werden auch Einkristalle von LiTaO_3 (Schmelzpunkt 1650°C) aus Platin-Rhodium-Tiegeln gezogen.

(A. Feisst, A. Räuber:
The Influence of Growth Parameters and Electric Fields on the Distribution Coefficient of Chromium in LiNbO_3 ;
J. Crystal Growth (1983) im Druck)

FeBO_3

Das trigonale Eisenborat FeBO_3 (Kalzitstruktur) ist eines der extrem seltenen Materialien mit teilweiser Transparenz im Sichtbaren (Farbe der Kristalle grün) und spontaner Magnetisierung bei Zimmertemperatur. Es

eignet sich daher für magneto-optische Anwendungen (Lichtmodulation durch magnetische Felder). Weiterhin interessant sind seine magnetoelastischen Eigenschaften. So läßt sich die Schallgeschwindigkeit in FeBO_3 durch ein äußeres Magnetfeld von wenigen Gauss um den Faktor 2 verändern. Von Bedeutung ist auch die Hyperschallerzeugung in FeBO_3 aus Mikrowellen durch parametrischen Zerfall der Ferromagnetischen Resonanz. Damit hat man prinzipiell eine abstimmbare Hyperschallquelle (GHz-Bereich) für die akustische Mikroskopie zur Verfügung.

Im IAF werden FeBO_3 -Einkristalle mit Kristallvolumina bis 1 cm^3 aus der Gasphase in Quarzampullen gezüchtet. Aus dem gründlichen Studium der chemischen Thermodynamik des Systems Fe/B/O/H/Cl ergab sich folgende Versuchsführung (Bild 2): Die binären Oxidkomponenten Fe_2O_3 und B_2O_3 (vorher entwässert) werden in separaten Booten in die Ampulle eingeführt. Nach dem Evakuieren wird HCl eingelassen ($0,5 \text{ atm}$ bei 25°C) und abgeschmolzen. Durch die vorwiegende Reaktion des HCl mit Fe_2O_3 entsteht H_2O , das vorwiegend mit B_2O_3 reagiert. Es bilden sich die für die Abscheidung von FeBO_3 erforderlichen gasförmigen Spezies mit genügend hohen Partialdrücken. Die Kristalle wachsen isotherm im ursprünglichen Fe_2O_3 -Boot. Der Vorgang ist ein sich selbst unterhaltender CDV-Prozeß, der von der Differenz im chemischen Potential zwischen FeBO_3 und seinen Oxidkomponenten angetrieben wird. Bei Temperaturen unterhalb 820°C wachsen FeBO_3 -Kristalle bei höheren Temperaturen Fe_3BO_6 -Kristalle.

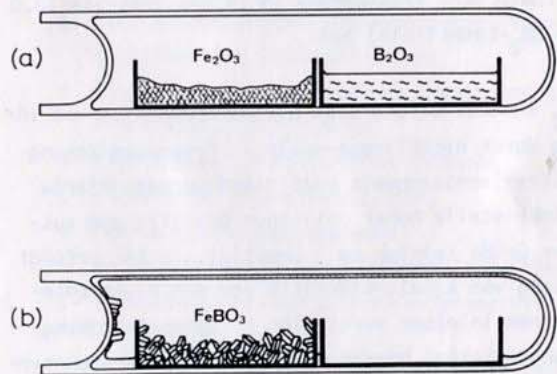


Bild 2: Quarzampulle ($\phi = 3-4 \text{ cm}$, Länge $15-18 \text{ cm}$) zur Zucht von FeBO_3 -Kristallen
(a) vor und (b) nach dem Züchtungsexperiment

(R. Diehl, W. Jantz, B. Noläng, W. Wetzling:
Growth and Properties of Iron Borate, FeBO_3
Current Topics in Materials Science, im Druck)

Quecksilber-Cadmium-Tellurid

Mischkristalle von $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (MCT) sind als hochempfindliche Strahlungsempfänger für die IR-Spektralbereiche 3 bis $5\ \mu\text{m}$ und 8 bis $12\ \mu\text{m}$ (2. und 3. atmosphärisches Fenster) von großer technischer Bedeutung. Dies gilt für vielfältige Anwendungen z.B. in Astronomie, Archäologie, Medizin, Bauwesen, Feuerbekämpfung und atmosphärischer Schadstoffanalyse. Gerade im zivilen Bereich wird in der Zukunft ein großer Markt für die Infrarottechnik gesehen. Ziel der Entwicklung sind integrierte Schaltkreise mit IR-Detektoren und Signalverarbeitungsstrukturen in der Bildebene von Wärmebildkameras. Aus einer Reihe von Gründen ist MCT als IR-Detektormaterial vorteilhaft wie z.B.: die Grenzwellenlänge (= Bandabstand) ist über den x-Wert zwischen 1 und $14\ \mu\text{m}$ einstellbar; hochisolierende Eigenoxide machen MCT für MIS (Metal-Insulator-Semiconductor)-Bauelemente geeignet; Hybridstrukturen mit Silizium sind möglich, da die thermische Ausdehnung beider Materialien sehr ähnlich ist. Hinsichtlich der Qualität von MCT-Kristallen für IR-Detektoren mit integrierter Signalverarbeitung im 3. atmosphärischen Fenster ($x = 0,2$) wird eine Homogenität $\Delta x \leq 0,005$ (2,5%) und eine extreme Reinheit (Punktdefektkonzentration $n \leq 3 \times 10^{14}\ \text{cm}^{-3}$, $p \leq 5 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$) gefordert.

Bei der Materialpräparation scheint derzeit die Flüssigphasenepitaxie von $\text{Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$ favorisiert. Im IAF befindet sich eine entsprechende Anlage im Aufbau. Kernstück ist ein Slidersystem zur Sättigung der Tellurlösung und Abscheidung der Filme auf CdTe-Substraten. Die Beschaffung von gutem Substratmaterial ist problematisch. Daher werden im Hause die Voraussetzungen für eine kleine Produktion von CdTe-Einkristallen geschaffen.

Die FuE-Arbeiten werden begleitet durch ein Projekt, das im Rahmen des Spacelab-Programms des BMFT vorbereitet wird. Es geht hierbei um die Züchtung homogener, hochreiner MCT-Einkristalle nach dem THM-Verfahren mit wandernder Tellur-Lösungszone (eine Kristallisation homogenen Materials aus der Schmelze ist wegen der weit auseinander klaffenden Liquidus- und Soliduskurven nicht möglich). Die Kristallzüchtung ist an einen Spiegelofen adaptiert (Bild 3). Zur Erzeugung eines adäquaten Temperaturprofils wird z.Z. mit Strahlungsabsorptionshülzen experimentiert. Problematisch sind die hohen Sicherheitsanforderungen, die die Spacelab-Missionen vorschreiben. Ziel der Experimente im IAF ist die Erarbeitung einer reproduzierbaren Technologie zur THM-Züchtung von $\text{Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$ -Einkristallen unter Mikrogravitationsbedingungen.

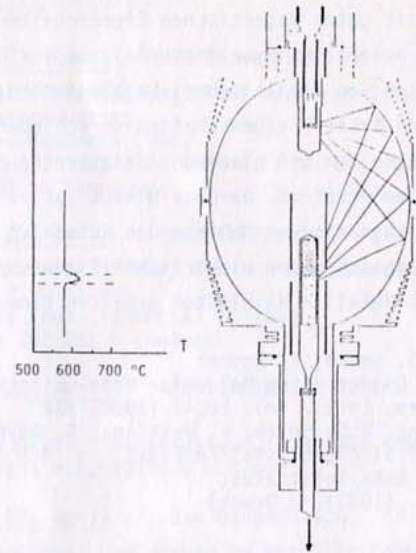


Bild 3: Skizze der Monoellipsoid-Spiegelheizanlage mit Gradientenzusatz und idealisiertem Temperaturprofil. Der Gradientenzusatz dient zur Vermeidung von Wärmesenken im Ampullenraum, die Kondensationsfallen für Hg bilden können.

(J. Baars: New Aspects of the Material and Device Technology of Intrinsic Infrared Detectors; Lecture Notes in Physics 152 (1982) 280
H. Walcher, R. Diehl, J. Baars: Cadmium-Quecksilber-Tellurid: Technische Bedeutung und μg -Relevanz der Kristallzüchtung; Status-Seminar Spacelab-Nutzung, Stuttgart 1982, 77)

Molekularstrahlepitaxie

Millimeterwellen (30 bis 300 GHz) und Submillimeterwellen (300 bis 3000 GHz) werden - im Gegensatz zur IR-Strahlung - von Schlechtwetterbedingungen wie Schneefall, Wolken, Nebel, Rauch oder Staub kaum beeinflusst, so daß der genannte Frequenzbereich für das technische "Sehen" immer mehr an Bedeutung gewinnt. Im IAF werden geeignete Halbleitermaterialien, Bauelemente und Komponenten für Millimeterwellensysteme entwickelt und untersucht. Das hierfür wichtigste Material ist GaAs. Zur Herstellung dünner GaAs-Schichten ($0,1$ bis $2\ \mu\text{m}$) für Millimeterwellensender und -empfänger hat sich die MBE als außerordentlich geeignet erwiesen. Im Institut ist eine MBE-Anlage in Betrieb, eine weitere befindet sich im Aufbau.

Ein weiteres Forschungsprojekt im IAF befaßt sich mit der Untersuchung mittels MBE abgeschiedener ferromagnetischer Eisenfilme auf GaAs-Substraten. Die Eisenschichten werden bei Substrattemperaturen um 180°C auf semiisolierenden (100)- und (110)-orientierten GaAs-Substraten mit Aufwachsrate zwischen 100 und $400\ \text{\AA}/\text{h}$ abgeschieden. Aufgrund der guten Übereinstimmung der Gitterkonstanten von Fe und GaAs erhält man einkristal-

line Schichten mit guten magnetischen Eigenschaften. Damit steht ein neuartiges Hybridmaterial zur Verfügung, dessen Kombination von metallischen, halbleitenden und ferromagnetischen Materialeigenschaften verschiedene Anwendungsmöglichkeiten bei planaren integrierten Mikrowellenbauelementen eröffnet. Darüber hinaus ist zu hoffen, daß man mittels magnetischer Meßmethoden Aufschluß über die kristallographischen und elektrischen Eigenschaften der Grenzschicht Metall - Halbleiter erhalten kann.

(W.H. Haydl, R.S. Smith, R. Bosch:
50-110 GHz Gunn Diodes Using Molecular Beam Epitaxy
IEEE Electron Dev. Lett., Vol. EDL-I (1980) 224
W. Jantz, G. Rupp, R.S. Smith, W. Wetzling, G. Bayreuther:
Investigation of Single Crystal Fe Films
Grown by MBE on GaAs Substrates;
IEEE Trans. Mag. (1983) im Druck)

3. Materialcharakterisierung

Neben der Materialpräparation widmen sich umfangreiche Arbeiten im IAF auch der Materialcharakterisierung. Hier ist besonders die Analyse tiefer Störstellen in III-V-Halbleiterkristallen durch optische Spektroskopie und ESR hervorzuheben. Die Qualität des Halbleitermaterials und der daraus hergestellten Bauelemente wird durch tiefe Störstellen (Defekte im Kristallgitter mit elektrisch aktiven Energieniveaus tief in der Bandlücke des Halbleiters) meist negativ beeinflusst. Sie sind z.B. nichtstrahlende Rekombinationszentren, die die Lichtausbeute von Leuchtdioden begrenzen. Ein für einen binären Halbleiter fundamentaler Gitterdefekt wurde im IAF erstmals im GaP entdeckt: der sog. Antisite-Defekt - ein Phosphoratom auf Galliumplatz. Ein entsprechender Defekt wurde auch im GaAs nachgewiesen. Eine Reihe von Indizien deutet darauf hin, daß er oder ein eng verwandter Defekt für die semiisolierenden Eigenschaften von aus Bornitridtiegeln gezogenen, undotiertem GaAs verantwortlich ist. Für die Technologie von integrierten Schaltkreisen auf GaAs-Basis gewinnt undotiertes, semiisolierendes GaAs zunehmend an Bedeutung.

(U. Kaufmann, J. Schneider, R. Wörner, T.A. Kennedy, N.D. Wilsey: The Deep Double Donor P_{Ga} in GaP, J. Phys. C.:Solid State Phys. 14 (1981) L951)

Roland Diehl, Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik, 7800 Freiburg

ZUKÜNFTIGER SCHWERPUNKT DER FORSCHUNGSFÖRDERUNG IM BMFT Materialforschung und neue Werkstoffe

Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Dr. Heinz Riesenhuber, weist der Materialforschung und der Entwicklung neuer Werkstoffe eine technologische Schlüsselrolle zu. "Die Anforderungen an die Qualität und Belastbarkeit industrieller Produkte steigen ständig. Wir werden unsere Marktanteile weder sichern noch neue hinzugewinnen, wenn wir die hohen technischen Ansprüche

nicht erfüllen", erklärte der Minister. Geeignete Materialien zu wirtschaftlich verträglichen Kosten zu finden, werde schon jetzt zunehmend ein Engpaß für technologische Entwicklungen.

"Damit die deutsche Industrie in diesem wichtigen Feld nicht den Anschluß verliert, nicht in zu starkem Maße importabhängig wird und wettbewerbsfähig bleibt, will ich die notwendigen Rahmenbedingungen und erforderlichen Hilfen für erfolgreiche materialwissenschaftliche Forschung und Entwicklung schaffen. Daher habe ich die Fachleute im BMFT beauftragt, gemeinsam mit Wissenschaft und Industrie die aktuelle Lage zu analysieren, Vergleiche zu anderen Industrienationen anzustellen und Vorschläge für forschungs- und technologiepolitische Maßnahmen auszuarbeiten", erklärte Heinz Riesenhuber. Vielfach zeige sich, daß der technische Fortschritt in Zukunftsindustrien wie zum Beispiel der Luft- und Raumfahrt, der Energiewirtschaft, aber auch der Chemie behindert und verzögert werde, weil geeignete Werkstoffe nicht rechtzeitig zur Verfügung stünden. Industrielle Anstrengungen und staatliche Förderung der Materialforschung hätten in vergleichbaren Industrieländern stark zugenommen. "Hier können wir uns nicht auf dem erreichten Niveau ausruhen. Es gilt, einen Spitzenplatz im internationalen Wettbewerb zu halten und, wo nötig, zu erreichen", betonte Heinz Riesenhuber zu den Zielen seiner neuen Initiative. Er hat dazu im Haushalt entsprechende Akzente gesetzt und will auch Beiträge zur Materialforschung aus Fördermaßnahmen anderer Programme des BMFT stärker zum Tragen bringen.

(Aus BMFT-Journal Nr. 2, März 1983)

x x

SCHMUNZELECKE

Chef: Wie heißen Sie?
Mitarbeiter: Schulze ohne "k"!
Chef: Aber Schulze schreibt man doch garnicht mit "k"!
Mitarbeiter: Das habe ich doch gerade gesagt!

x x

NEUE BÜCHER (1982):

North-Holland Publishing Company stellt vor:
INDUSTRIAL CRYSTALLIZATION '81
Proceedings of the 8th Symposium on Industrial Crystallization, Budapest/Ungarn, 18. - 13.09.1981
herausgegeben von S.J. Jacic und E.J. de Jong,
394 S., US\$ 63,75
CURRENT TOPICS IN MATERIAL SCIENCE
Band 10, herausgegeben von E. Kaldis
516 S., US\$ 106.50
Inhalt: Preface. Chapters. 1. Diataxy (graphoepitaxy) and other approaches to oriented crystallization on amorphous substrates (E.I. Givargizov, N.N. Sheftal

and V.I. Clykov). 2. SbSI and other ferroelectric $A^vB^{vi}C^{vii}$ materials (E.I. Gerzanich et al.). 3. Nonstoichiometry of inorganic solids (W. Albers). 4. Spectroscopy, structure and bonding of high-temperature metal halide vapor complexes (G.N. Papatheodorou). 5. Gem materials, natural and artificial (I. Sunagawa). Subject Index. Materials Index. Cumulative Indices volumes 1-10.

MATERIALS PROCESSING IN THE REDUCED GRAVITY OF SPACE
Proceedings of the Materials Research Society Meeting,
Boston 1981,
herausgegeben von G.E. Rindone
676 S., US\$ 85.-

FERROMAGNETIC MATERIALS
A Handbook on the Properties of Magnetically Ordered
Substances Band 3,
herausgegeben von E.P. Wohlfarth
836 S., US\$ 159.50

STELLENANGEBOTE

Im Chemical Engineering Department des Institute of Science and Technology (University of Manchester/U.K.) ist eine Postdoc-Forschungsassistentenstelle vakant. Der zukünftige Mitarbeiter wird Forschungsarbeiten über "Metastable Phase Formation in Crystallization Processes" durchführen, die unter der Leitung von Professor J. Garside stehen. Kandidaten sollten einen akademischen Grad in Chemie oder Chemieingenieurwesen vorweisen können. Forschungspraxis in Kristallzüchtung oder Kristallographie wäre von Vorteil. Die Anstellung ist auf 3 Jahre befristet. Das Anfangsgehalt liegt zwischen £6375 und 7225, je nach Alter und Erfahrung. Anfragen bzw. Bewerbungen mit Lebenslauf und zwei Referenzadressen sind zu richten an:

Prof. J. Garside
Chemical Engineering Dept., UMIST,
P.O. Box 88, Manchester M 60 1QD
Tel. 061/236 3311 ext. 2106

Eine nähere Beschreibung des Forschungsprojekts ist beim DGKK-Schriftführer erhältlich.

Eine größere Raumfahrtgesellschaft in Südkalifornien sucht einen Mitarbeiter für Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Flüssigphasenepitaxie von Quecksilber-Cadmium-Tellurid. Erfahrungen im Design von Graphitbooten, mit Vacuumanlagen, Öfen, Temperaturreglern und -programmgebern sowie in der Materialpräparation wären hilfreich. Es wird verantwortliche Mitarbeit bei Entwurf und Ausführung von Experimenten zur Abscheidung dünner photovoltaischer Filme erwartet. Einzelheiten sind zu erfahren von:

C. James Reuter
Finnegan & White Inc.
951 Mateo Island Boulevard,
San Mateo, CA 94404, U.S.A.
Tel. 415/571-0181

TAGUNGSKALENDER

11. - 13. April Eindhoven/Holland
INFO-83. International Conference on Insulating Films on Semiconductors
Philips Research Labs.
Prof. Holstlaan Bldg. WAG-1, P.O. Box 80.000
NL-5600 JA Eindhoven

18. - 21. April Warwick/England
6th Interdisciplinary Surface Conference - ISSC - 6
Dr. P.J. Dobson
Physics Dept., Imperial College
London SW7-2BZ - England

18. - 22. April Philadelphia/ U.S.A.
Intermag
Dr. W. Doyle, Sperry Univac, P.O. Box 500
Blue Bell P.A. 19424 - U.S.A.

18. - 22. April San Diego/U.S.A.
International Conference on Metallic Coatings
H.A. Beale, 1307 Windham Road, Columbus, OH 43220, U.S.A.

08. - 13. Mai San Francisco/U.S.A.
163rd Meeting Electrochemical Society
Electrochemical Society Inc., 10. South Main Street
Pennington, N.J. 08534 - U.S.A.

17. - 19. Mai Baltimore/U.S.A.
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 83)
J. Quinn, OSA, 1816 Jefferson Place N.W.
Washington D.C. 20026, U.S.A.

23. - 27. Mai Pont-a-Mousson/Frankreich
Third International Conference on Graphite Intercalation Compounds
D. Guerard, Lab. de Chim. Mineral. Appl.
Université Nancy I, B.P. 239
F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy

23. - 27. Mai Tempe (Arizona)/U.S.A.
6th. Int. Conf. on Ion Beam Analysis
Prof. I.S.T. Isong, Dept. of Physics, Arizona State University, Tempe AZ 85287 U.S.A.

31. Mai - 02. Juni Eindhoven/Holland
Euro CVD IV
G. Verspui, Philips Centre for Technology,
Building SAQ
NL-5600 MD Eindhoven

31. Mai - 03. Juni Stanford Sierra Camp/U.S.A.
AACG/West Conference on Crystal Growth
L. van den Berg, EG&G, 130 Robin Hill Road
Galeta CA 93017 U.S.A.

01. - 03. Juni NBS, Gaithersburg/U.S.A.
IEEE Int. Symposium on Applications of Ferroelectricity
Dr. R.C. Pohanka, ONR Code 431
800 N. Quincy St., Arlington, VA 22217, U.S.A.

06. - 09. Juni Albuquerque/U.S.A.
14th International IEEE Power Electronics Specialists Conference
Dr. W.M. Portnoy
Dept. of Electrical Engineering
Texas Tech University
Lubbock, Texas 79409, U.S.A.

07. - 10. Juni Paris/Frankreich
Int. Conference on Ellipsometry and other Optical Methods, for Surface and Thin Film Analysis
F. Abele, Laboratoire d'Optique des Solides
Université Pierre et Marie Curie
4 Place Jussieu, F-75230 Paris Cedex 05

12. - 16. Juni Skepperholma/Schweden
EUCHEM Conference on High Resolution
Electron Microscopy in Solid State Chemistry
P. Stenson, The Swedish Nat. Conf. f. Chem.
Upplandsgatan 6A, S-11123 Stockholm
22. - 24. Juni Burlington (VT)/U.S.A.
The Metallurgical Society of IAME
420 Commonwealth Drive, Warrendale PA 15086 U.S.A.
05. - 07. Juli Cambridge/England
Crystallization Processes in Condensed Phases
Far. Division Royal Soc. of Chemistry
Cambridge, England
17. - 27. Juli York/U.K.
Surface Science Summer School,
Organized by SERC, Prof. M. Prutton, Dept. of Physics
University of York, Heslington, York U.K.
25. - 27. Juli Port St. Lucie/U.S.A.
JPL Forum on High Speed Growth
of Crystals for Solar Cells and their Characterization
Mary Philips, JPL 4800 Oak Grove Drive 502/422
Pasadena, CA 91109, U.S.A.
25. - 28. Juli Montreal/Canada
6th International Symposium on Plasma Chemistry
Workshop in Sherbrooke 22-23rd.
01. - 10. August Brasilia/ Brasilien
International School on Teaching Crystallography for
Materials Science,
Prof. S. Caticha Ellis, Instituto de Fisica
UNICAMP-CP 1170, 13100 Campinas S.P. Brasil
06. - 09. August Snowmass (Colorado)/U.S.A.
2nd USA - French Cooperative Science Seminar on
Topography,
Prof. S. Weissman, Rutgers University
Mechanics and Materials Science Dept.
Piscataway, N.J. 08854 U.S.A.
07. - 10. August Snowmass (Colorado)/U.S.A.
Applications of X-ray Topographic Methods to
Materials Science,
Prof. S. Weissman, Dept. of Mechanics and Materials
Science, Rutgers University,
Piscataway, N.J. 08854 U.S.A.
08. - 12. August Liege/Belgien
8th European Crystallographic Meeting
ECM-8 Secretariat Universite de Liege au Sart Tilman
Laboratoire de Crystallographie, Institute de
Physique B5, B-4000 Liege, Belgien
18. - 19. August Colorado Springs/U.S.A.
Cryogenic Engineering Conf.
Int. Cryogenic Materials Conf.,
Linda L. Wise, Centennial Conferences,
1215 Mapleton, Boulder, CO 80302, U.S.A.
21. - 26. August
18th Inter-Society Energy Conference
W.R. Martini, Martini Engineering
2323 Harris, Richland, WA 99352, U.S.A.
28. August - 02. September Washington D.C./U.S.A.
Symposium on Crystal Growth from Solution
03. - 10. Sept. Davos/Schweiz
ISSCG 5-International Summer School on Crystal Growth
Prof. H. Arend, Secretary of ISSCG-5
Laboratory of Solid State Physics, Swiss Federal
Institute of Technology, Hönggerberg
CH-8093 Zürich, Schweiz
05. - 10. Sept. Buenos Aires und La Plata/Argent.
8th Iberoamericano Congress of Crystallography
Dr. M.A.R. de Benyacar, Avola de Libertador 8250
1429 Buenos Aires, Argentinien
07. - 09. Sept. Ferrara/Italien
MRM-83 International Conference on Magnetic Recording
Prof. A. Cecchetti, Instituto di Fisica
Universita de Ferrara, Via Paradizo 12
44100 Ferrara, Italien
12. - 16. Sept. Stuttgart/D
ICCG-7 International Conference on Crystal Growth
Dr. K.W. Benz, ICCG-7 Conference Secretariat
Pfaffenwaldring 57, D-7000 Stuttgart 80 F.R.G.
13. - 16. Sept. Canterbury/U.K.
13th European Solid State Device Research Conf. and
8th Symposium on Solid State Device Technology
The Meetings Officer, I. of Physics
47. Belgrave Square London SW1X 8QX - U.K.
19. - 21. Sept. Budapest/Ungarn
3rd Hungarian Conf. on Crystal Growth
HCCG-3 Eötvös Lorand Physical Society
Budapest Pf 240 H-1368 Ungarn
19. - 23. Sept. Nijmegen/Holland
Workshop of Theory of Surfaces and Growth of Crystals
Dr. J.R. van der Eerden, Univers. of Nijmegen,
RIM Laboratory of Solid State Chemistry,
Toernooiveld 6525 ED Nijmegen, Nederland
26. - 30. Sept. Torremolinos/Spanien
5th European Meeting on Ferroelectricity
Dr. E. Maurer, Instituto de Fisica de Materiales
C/Serrano 144, Madrid 6, Spanien
26. Sept. - 01. Okt. Madrid/Spanien
9th International Vacuum Congress and
5th Int. Conv. on Solid Surfaces,
IX IVC + V ICSS Secretary
Instituto de Fisica de Materiales (CSIC)
Serrano 155, Madrid, 6, Spanien
08. - 13. Okt. Washington/U.S.A.
The Electrochemical Society
The Electrochemical Society Inc. 10 South Main Street
Pennington N.J. 08534, U.S.A.
17. - 21. Okt. New Orleans/U.S.A.
Optical Society of America Annual Meeting
J. Quinn, OSA, 1816 Jefferson Place N.W.
Washington D.C. 20036 U.S.A.
21. - 23. Okt. Chester/England
BACG-AGC
Dr. I. Saunders, Physics Dept.
Lancaster University LA1 - 4Y3, England U.K.
23. - 26. Okt. Genf/ Schweiz
9th European Conference on Optical Communication
W.A. Steffen, Technical Centre PTT
CH-3000 Bern 29, Schweiz
24. - 26. Okt. London/England
2nd International Conference on Advanced Infrared
Detectors and Systems
Conference Services Dept. IEE, Savoy Place
London WC2R-OBL - U.K.
29. - 30. Okt. Cheshire/U.K.
Surface Science Cheshire U.K.
Dr. J.E. Englesfield, SERC Daresbury Laboratory
Warrington, Cheshire WA4-4AD, U.K.

22. - 24. Nov. Middlesex/U.K.

3rd Quantitative Surface Analysis Conference U.K.
Dr. C. Lea, Division of Materials Applications
N.P.L. Tiddington
Middlesex TW11-OLW, U.K.

1984

06. - 10. Febr. S. José/U.S.A.
Symposium on Semiconductor Processing
D.C. Gupta, Siliconix Inc. 2201 Laurewood Road
Santa Clara, CA 95054 - U.S.A.

März Aachen/D
Jahrestagung der DGKK

10. - 12. April Sheffield/England
2nd International Conference on Metal Organic
Vapour Phase Epitaxy
Dr. J.B. Mullin, RSRE St. Andrews Road
Great Malvern Worcs WR14-3PS - U.K.

10. - 12. April Anaheim/U.S.A.
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 84)
J. Quinn OSA, 1816 Jefferson Place N.W.
Washington D.C. 20036 - U.S.A.

06. - 11. Mai Cincinnati/U.S.A.
The Electrochemical Society
The Electrochemical Society Inc.
10 South Main Street
Pennington N.J. 08534 U.S.A.

15. - 20 Juli Atlantic City/U.S.A.
ACCG-6/ICVGE-6
Dr. W. Bonner, Bell Laboratories
Murray Hill, N.J. 07974 U.S.A.

30. Juli - 03. Aug. Palo Alto/U.S.A.
The Physics of VLSI
J. Meindl, Center for Integrated Systems, Stanford;
W. Spencer, Integrated Circuits Lab. Xerox PARC
Program Chairman: S. Keller, IBM Research
P.O. Box 218, Yorktown Heights, NY 10598

31. Juli - 03. Aug. Santa Cruz/U.S.A.
International Conference on Heavy Doping and the
Metal-Insulator Transition in Semiconductors
U.C. Santa Cruz, California, U.S.A.
R.W. Keyes, IBM Research, P.O. Box 218
Yorktown Heights, NY 10598

01. - 03. Aug. Salt Lake City (Utah)/U.S.A.
Topical Conference on Optical Effects in Amorphous
Semiconductors - University of Utah,
P. Craig Taylor, Physics Dept., N. Physics Bldg.,
U of Utah, Salt Lake City, UT 84112

02. - 03. Aug. Berkeley/U.S.A.
Spectroscopy of Shallow Centers in Semiconductors
A.K. Ramdas, Purdue University, West Lafayette,
Indiana 47907

06. - 10. Aug. San Francisco/U.S.A.
17th ICPS International Conference on the Physics
of Semiconductors
R.Z. Bachrach, Xerox Palo Alto Research Center
3333 Cayate Hills Rd., Palo Alto CA 94304 U.S.A.

13. - 16. Aug. Urbana (Illinois)/U.S.A.
International Conference on Superlattices,
Microstructures and Microdevices
J.D. Dow, Physics Dept., 1110 W. Green St.
U. of Illinois, Urbana, Illinois 61801

13. - 17. Aug. Uppsala/Schweden
ICTF-6. 6th Int. Conf. on Thin Films
Dr. Sören Berg, Institute of Technology,
Univ. Uppsala, Box 534, 75121 Uppsala, Schweden

13. - 17. Aug. Coronado (California)/U.S.A.

13th International Conference on Defects in
Semiconductors, Hotel del Coronado
L.C. Kimerling, Bell Labs,
Murray Hill, New Jersey 07974

09. - 18. Aug. Hamburg/D
XIII I.U. Congress on Crystallography
Prof. Dr. H. Saalfeld
Mineralog. - Petrogr. Institut, Univ. Hamburg
Grindelallee 48, 2000 Hamburg 12, F.R.G.

27. - 31. Aug. Sydney/Australien
3rd Int. Conf. Solid Films and Surfaces
Prof. Dr. Hanemann, School of Physics
University of N.S.W., P.O. Box 1
Kensington N.S.W. 2033, Australien

September Brasilien
IEEE Laser Conference

1986 York/England
ICCG-8

25. Electronic Materials Conference

Die diesjährige EMC vom 22. bis 24. Juni in
Burlington/Vermont (U.S.A.) ist in folgende Sitzungen
unterteilt:

- Compound Semiconductors (including integrated
optic materials, semi-insulating GaAs and
hetero-epitaxy)
- Rapid Thermal Processing (semiconductor
processing, activation, and damage annealing)
- Defects (semiconductors, insulators interfaces,
and impurity gettering)
- Organometallic VPE
- Molecular Beam Epitaxy (silicon and compound
semiconductors)
- Infrared Materials and Structures
- High Dielectric Constant Materials (nitrides,
oxynitrides, Ta₂O₅, TiO₂, titanites, etc.)
- Contacts and Interconnects in Silicon (silicides,
Schottky barriers, and metals)
- Contacts and Interconnects in Compound
Semiconductors (Schottky barriers, ohmic contacts)
- Small Dimension Lithographic Techniques
- Packaging Materials (including passivation,
capsulation, interconnects, and associated
processing)
- Low Temperature Processing (including plasma,
laser, electron beam, and uv-assisted deposition)

TAGUNGSBERICHT

DGKK-Fachkolloquium "Epitaxie von Halbleitern"
in Burghausen/Obb., am 27. und 28. Jan. 1983
Berichterstatter: Dr. Elisabeth Bauser,
MPI für Festkörperforschung
Tel. 0711/6860-389

I. Allgemeines

Den Themen-Schwerpunkt des Fachkolloquiums bildete die

Epitaxie von III-V-Halbleitern. Den technologisch wichtigen ternären und quarternären Mischsystemen galt, neben den III-V-Verbindungen, besonderes Interesse. Der gegenwärtige Entwicklungsstand sowohl in der Flüssigphasenepitaxie (LPE) als auch in der Gasphasenepitaxie (CVD für anorganische Ausgangsverbindungen, MOCVD für metallorganische Ausgangsverbindungen) zeichnete sich in den Einzelbeiträgen weitgehend ab. Die Frage der Eignung der verschiedenen Verfahren für die industrielle Fertigung wurde, bis in die Abschlusdiskussion hinein, immer wieder aufgegriffen. In je einer Diskussionsrunde wurde der Einfluß der Substrateigenschaften auf das Wachstum und die Qualität der Epitaxieschichten diskutiert sowie ein kritischer Vergleich der Verfahren LPE, CVD und MOCVD angestellt.

Die Organisation des Kolloquiums leitete Dr. H. Jacob, das Vortragsprogramm erstellte Dr. A. Räuber.

Die Teilnahme von mehr als 50 Fachleuten aus Industrie, Universitäten, Hochschulen und Forschungsinstituten bewies das große Interesse an dem Fachkolloquium.

II. Einzelberichte

Den Auftakt zum DGKK-Fachkolloquium gestaltete Dr. H. Jacob, Wacker-Chemitronic. Die Wahl für den Tagungsort war nicht von ungefähr auf die nette oberbayerische Grenzstadt Burghausen gefallen: fachlicher Anziehungspunkt ist dort der Sitz der Wacker-Chemitronic GmbH., die 1968 hervorgegangen ist aus dem Stammwerk Wacker-Chemie GmbH. Dr. Jacob schilderte die Geschichte und erfolgreiche Entwicklung der Wacker-Chemie seit 1916. Für die Entwicklung der Firmen, besonders der Chemitronic, ist die Herstellung von Reinstsilizium ein wichtiger Faktor. Reinstsilizium wird zunächst in polykristalliner Form gewonnen. Hier beträgt die Produktionskapazität der Chemitronic mit ca. $2 \cdot 10^3$ t/annum annähernd die Hälfte der Produktionskapazität der Welt. Das polykristalline Silizium wird z.T. weiterverarbeitet zu absolut versetzungsfreien Einkristallen von beeindruckenden Dimensionen, zonen- oder tiegelgezogen. Ein Großteil dieser Kristalle wird in Form fertig polierter Scheiben verkauft.

Die Hauptaufgabe der Heliotronic GmbH ist es zur Zeit, Silizium für Anwendungen in der Solartechnik kostengünstig herzustellen.

In einem Film, der auch den hübschen mittelalterlichen Stadtkern von Burghausen im Sonnenschein zeigte, wurde der Werdegang des Siliziums aus Sand zur fertig verpackten Einkristallscheibe gezeigt. Die einzelnen Stationen dieses Werdeganges konnten die Teilnehmer, von sachkundigen Betreuern begleitet, in einer anschließenden Werksführung besichtigen.

Vorträge

Über "Wachstumsprozesse und Oberflächenmorphologie von Flüssigphasen-Epitaxieschichten" berichtete E. Bauser (MPI-FKF Stuttgart). Die Epitaxieschichten wachsen durchweg lateral. Diese Beobachtung erklärt den starken Einfluß der Substrat-Orientierung auf die Wachstumskinetik. Ist z.B. die Wachstumsfläche eines Substrates parallel zu einer niedrig indizierten Gitterebene, so werden die nötigen Wachstumsstufen durch Versetzung erzeugt (Facettenwachstum). Daß neben "Schraubenversetzungen" (klass. Frank'sches Modell) auch "Stufenversetzungen" solche Wachstumsstufen liefern, zeigten elektronenmikroskopische Untersuchungen in Zusammenarbeit mit H. Strunk (MPI-MF Stuttgart). Bei fehlorientierten Substraten ($\neq 0,1$ Grad) erhält man zunächst facettenähnliches Wachstum, bei stärker fehlorientierten Substraten ($\geq 0,1$ Grad) das bekannte Terrassenwachstum mit unebenen Oberflächen der Schichten und zusätzlichen Fremdstoff-Inhomogenitäten (Striations vom Typ II).

"Erfahrungen bei der Flüssigphasenepitaxie von GaAs, GaAlAs" und besonders von GaP teilte S. Leibenzeder (Siemens, Erlangen) mit. Er beschrieb ein Quarzboot, das sich bei der Fertigung von mehrfarbigen Lumineszenzdioden bewährt hat. Das Boot besteht aus 2 Teilen. An der Innenseite des plattenförmigen Oberteils werden die Substrate parallel zur Platte in Führungsleisten eingeschoben. Ein spaltförmiger Raum zwischen den Substraten und einer am Unterteil des Bootes befestigten Quarzplatte wird für die Epitaxie mit der Schmelze gefüllt. Dies geschieht durch Drehen des Tiegels, wobei sich die zunächst im unteren Teil des Tiegels liegende Schmelze in den Spalt einzieht. Das Schichtenwachstum läßt sich durch Zurückdrehen des Bootes, wobei die Lösung aus dem Spalt herausfließt, beenden. Bei ca. 5-maliger Verwendung der Schmelzen (Nachdotieren ist notwendig!) beträgt der Verbrauch an Gallium $0,5 \text{ g pro cm}^2$ Substratfläche mit Doppelpitaxie (Mehrfarben-LED mit pn-Übergang an der Substratober- und -unterseite). Ungestörte Wachstumsflächen erhält man durch Ablösen von ca. $30 - 40 \mu\text{m}$ vom Substrat unmittelbar vor jeder Epitaxie. Die Versetzungsdichte der Substratkristalle beeinflusst die Lumineszenzintensität der Dioden erheblich: eine Verringerung der Versetzungsdichte von $7 \cdot 10^5$ auf $7 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-2}$ erhöht die relative Lumineszenzintensität etwa um den Faktor 5.

K. Gillessen (Telefunken electronic) diskutierte die Eignung der "Flüssigphasenepitaxie als Fertigungsverfahren". Sie wird gegenwärtig noch vielfach im typischen Entwicklungsstadium des Laborverfahrens praktiziert. Zur Herstellung von Schichten und Schichtstrukturen für Strahlungsemitter-Bauelemente erweist sich die LPE im Vergleich zu anderen Verfahren überlegen. Gründe dafür sind: höhere Lebensdauer der Minoritäts-Ladungsträger

(bedingt durch höhere Reinheit der Schichten); Schichtwachstum unter Ga-reichen Bedingungen, dadurch wenige Ga-Leerstellen und geringe Dichte von Antisite-Defekten; die Möglichkeit der amphoteren Dotierung mit Si, z.B. bei GaAs und GaAlAs; das Erreichen hoher Quantenwirkungsgrade.

Bestätigt wird die These dadurch, daß momentan CVD-Prozesse durch LPE verdrängt werden bei GaP (Gründioden) und daß für Rotdioden GaAsP (CVD) vielfach durch GaAlAs (LPE) ersetzt wird. Die gegenwärtige Situation bei Halbleiterlasern: LPE und MOCVD liefern Bauelemente mit ähnlichen Schwellstromdichten. Bislang häufig vorhandene Qualitätsmängel der LPE-Schichten (terrasierte Oberflächen, Ungleichmäßigkeiten der Schichtdicke wie Keilförmigkeit, Randeffekte und lokal erhöhte Dicke durch unvollständige Schmelzabtrennung) lassen sich verbessern durch Begrenzung der Schmelzdicke, Vermeiden von Totvolumina der Schmelzen, genaue Wahl der Substratorientierung, homogene Temperaturverteilung, senkrechte Anordnung der Substrate, Vermeidung von Schmelztrennung, wenn möglich, und allgemein engere Toleranz aller Parameter.

Daß LPE wirtschaftlich durchführbar ist, wurde in einer Vergleichstabelle mit CVD und ca. 15 Bewertungspunkten gezeigt: Einigen Minuspunkten standen etwa ebensoviele Pluspunkte gegenüber. Bereits vollautomatisch arbeitende Eintauchanlagen mit 36 Zwei-Zoll-Scheiben pro Charge liefern eine weitere Bestätigung der Aussage.

"Das Phasendiagramm für das LPE-Wachstum von InGaAsP auf (100) InP" war Thema des Vortrags von E. Kuphal (FTZ Darmstadt). Sollen Schichtstrukturen für Bauelemente wie InGaAs MISFETs, ternäre Photowiderstände, quarternäre Laser ($\lambda = 1,3 \mu\text{m}$), Photodioden ($\lambda = 1,65 \mu\text{m}$) und Phototransistoren hergestellt werden, so ist die genaue Kenntnis des Phasendiagramms notwendig. Bislang ist dazu kein brauchbares analytisches PD veröffentlicht. Deshalb wurde ein "empirisches PD" erarbeitet. Dieses umfaßt 3 Polynome, mit denen sich alle Werte mit einer für den Praktiker ausreichenden Genauigkeit ermitteln lassen (relative Abweichung bei der Gitterkonstanten $\Delta a/a \leq 10^{-3}$). Die noch vorhandene Verspannungenergie bei kleiner Gitterfehlpassung genügt, um Mischungslücken wenigstens z.T. aufzuheben. Die Werte für die Aufstellung des PD lassen sich ermitteln mit der 2-Phasen Lösungsmethode oder mit der "supercooling"-Methode.

R. Trommer (Siemens München) beschrieb die "Herstellung von LPE-Schichten aus GaInAsP" für optoelektronische Bauelemente ($\lambda = 0,93 - 1,65 \mu\text{m}$). Für die Epitaxie diente ein Mehrkammerschiebeboot mit beweglichem Schieber. Unerwünschter Verlust an Phosphor aus InP-Substraten konnte dadurch verringert werden, daß eine SnInP-Schmelze, die viel Phosphor enthält, in einem Gefäß mit perforiertem Boden oberhalb des Substrates angebracht wurde. Wenn

nicht absichtlich dotiert wurde, waren die Schichten n-leitend ($10^{15} \leq n \leq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$). Als Dotierstoffe dienen Sn und Te (Donatoren) und Zn, Cd, Mg, Mn (Akzeptoren). Die Schichtdicken betragen bis etwa $3 \mu\text{m}$. Die Homogenität der Schichten, besonders für $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$, war gut.

Über die "Epitaxie von GaInAsP/InP Doppelheterostrukturen für Photodioden" berichtete G. Schemmel (SEL Stuttgart). Hier interessieren Bauelemente speziell im Wellenlängenbereich $1,37 - 1,42 \mu\text{m}$ für die Informationsübertragung. Durch geeignetes Ausheizen der Schmelzen ergaben sich Schichten hoher Reinheit, $N_D - N_A \approx 1,6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$; Ladungsträgerbeweglichkeiten bei 77 K wurden mit $13 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{V s}$ angegeben. Schichten mit Dicken bis zu $6 \mu\text{m}$ und glatten Oberflächen wuchsen aus stark übersättigten Lösungen bei rascher Abkühlung. Auf quarternären Schichten ließen sich sogar, nach Anlösen von ca. $0,1 \mu\text{m}$, auch InP-Schichten abscheiden.

"GaAsP Gasphasenepitaxie als Fertigungsverfahren" hieß der Beitrag von N. Stath (Siemens Regensburg). Für die GaAsP-Abscheidung wird das Thiethjen-Verfahren angewendet. Als Substrat für rot leuchtende Dioden verwendet man GaAs; darauf wird GaAsP mit einer solchen Zusammensetzung gezüchtet, daß das Material einen "direkten" Bandübergang aufweist. Der allmähliche Übergang vom Substrat zur Epitaxieschicht läßt sich mit Hilfe der Gasphasenepitaxie optimal gestalten. Als Substrat für orange und gelb leuchtende Dioden dient GaP, darauf züchtet man GaAsP mit indirektem Bandübergang. Die Wirtschaftlichkeit eines derartigen Epitaxieverfahrens wird beeinflusst durch zahlreiche Faktoren: z.B. durch den Gasphasen-Prozeß als solchen, den Epitaxie-Reaktor (Kapazität, Verfügbarkeit, Auslastung, Wartung, Zuverlässigkeit), Höhe der Investitionen, Qualität (Reinraum, Überwachung), Möglichkeiten zur Weiterentwicklung (mögliche Patente), Umweltprobleme, Einsatzmaterial (Kosten), Arbeitssicherheit. Die Reaktorkapazitäten betragen z.B. $400 - 1000 \text{ cm}^2$, die Abscheidetemperaturen $\approx 800^\circ\text{C}$, die Wachstumsraten $0,2$ bis $0,6 \mu\text{m}/\text{min}$. Der pn-Übergang wird durch Diffusion erzeugt. Wichtig ist, daß die Dioden optisch homogen sind (konstante Schichtdicke haben). Die Prüfung der Epitaxieschichten erfolgt zunächst visuell, dann werden die Photolumineszenz und die elektrischen Eigenschaften gemessen. Die Dioden durchlaufen einen Lichttest und Alterungstest; Durchbruchspannung und Abklingzeiten sind Meßparameter.

Über Arbeiten zur "GaAs MOCVD bei niederen Temperaturen" referierte H. Kräutle (RWTH Aachen) und beschrieb zunächst den Reaktionsmechanismus der MOCVD. Mit Vorteil verwendet man hier Reaktoren mit optischer Heizung (Spiegelöfen). Die Substrate liegen auf Graphit-Suszeptoren. Wachstumstemperaturen um 500°C sind ausreichend. Damit hat man z.B. die Möglichkeit, hochdotierte Schichten abzuschneiden, die als Kontakte wirken und nicht legiert

werden müssen. Für Zn als Dotierstoff erwiesen sich die Übergänge als steil, d.h. die Eindiffusion von Zn in das Material darunter ist gering. Auch mit Laser-Pulsen ergeben sich einkristalline Schichten. Bei Laserbeschuß mit 120 mJ/cm^2 ergaben sich glatte Schichten (mit allerdings hohem C-Gehalt). Höhere Laserleistungen bewirken rauhere Schichtoberflächen. Bei Wachstumstemperaturen zwischen 700 und 450°C waren die Wachstumsraten $0,2 \text{ } \mu\text{m}/\text{min}$ bis $1 \text{ nm}/\text{min}$. Bei $T \leq 550^\circ\text{C}$ ist der Zerfall von AsH_3 unvollständig. Bei $T \leq 500^\circ\text{C}$ erhält man semiisolierende Schichten. MOCVD eignet sich für die Herstellung dünner Vielfachschichten und lokales, laser-induziertes Wachstum.

Mit der "Epitaxie von InP mit MOCVD" befaßte sich K.W. Benz (Universität Stuttgart). Die bei MOCVD störende Polymerisation läßt sich weitgehend verhindern, wenn PH_3 erst kurz vor der erwünschten Reaktion zugemischt wird. Bei Temperaturen von 650°C betragen die Wachstumsraten etwa $1 \text{ } \mu\text{m}/\text{h}$. Es wird auch über Arbeiten bei reduzierten Drucken berichtet, z.B. bei 100 mbar .

Verwendet man sog. Addukte als Ausgangsgase, so ergeben sich Vorteile: Die Gase sind nicht selbstentzündlich und die Pyrolysereaktionen übersichtlich. Auch hier kann man parasitären Reaktionen wie der Polymerisation durch Anwendung von niedrigem Druck entgegenwirken. Mit den beschriebenen Verfahren werden gegenwärtig Laser (ternär und quarternär), extrem dünne Schichten ($\sim 4 \text{ nm}$) und Vielfachschichten mit gutem Erfolg hergestellt.

In dem Vortrag "Halogen-Gasphasenepitaxie bei niederen Drucken" von M. Heyen (RWTH Aachen) werden die Vorteile der Anwendung niederer Drucke aufgezeigt:

1. Die Homogenität der Schichten wird besser.
2. Die Wachstumsrate läßt sich mit dem H_2 -Druck steuern (lineare Beziehung)
3. Die Randüberhöhungen der Schichten sind geringer.
4. Es lassen sich sehr reine Schichten herstellen.

Die Bedingungen "Deposition" oder "Ätzen" kann man durch geeignete Wahl des HCl -Gas-Druckes im Bereich einiger Millibar einstellen. Einer der lohnendsten Vorteile der Niederdruck MOCVD ist die hervorragende Homogenität der Schichten, die durch elektrische Messungen nachgewiesen wurde.

In der Abschlußdiskussion wurde ein "Kritischer Vergleich der Verfahren LPE, VPE, MOCVD und der Niederdruckvarianten" angestellt: Keines der genannten Verfahren kann bisher die restlichen Verfahren vollständig ersetzen. Vielmehr bietet jedes dieser Verfahren spezifische Vorteile. Ist also gegenwärtig eines der Verfahren für eine bestimmte Anwendung auszuwählen, so gilt es, die jeweiligen Vorteile sorgfältig zu prüfen und gegeneinander abzuwiegen.

Sekretariat: Hella Preuninger
Druck: Rauscher Nachf., Freiburg