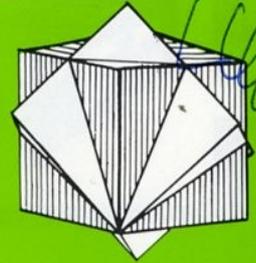
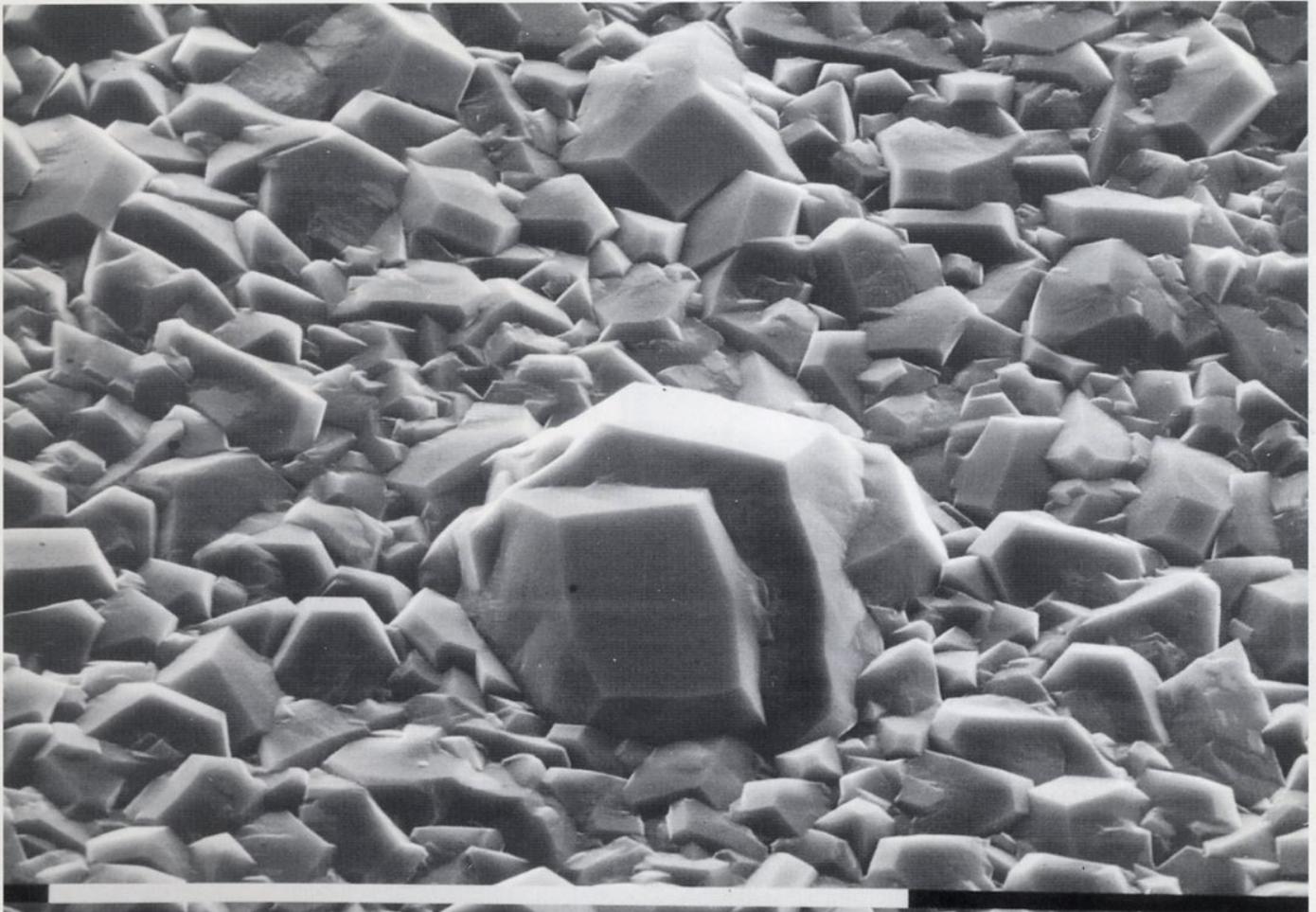


Mitteilungsblatt
Nr. 63 / Mai 1996



Deutsche Gesellschaft
für Kristallwachstum und
Kristallzüchtung e. V.



0.1 mm 25.0 kV 6.25E2 4606/18 LE/B142

INHALT

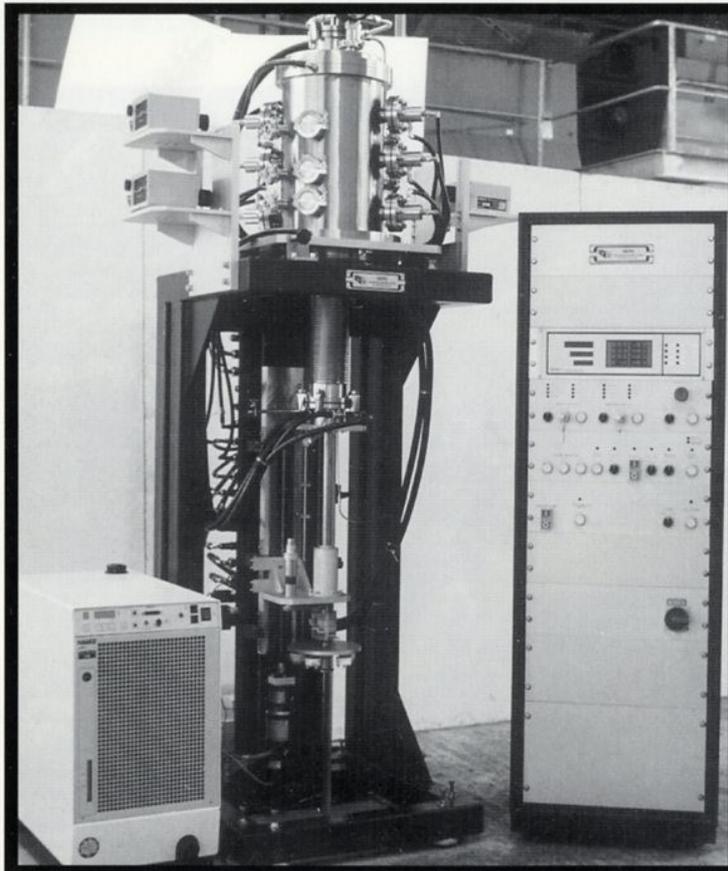
Mitteilungen der DGKK	4	Kristallzüchtung in Deutschland	10
		Übersichtsartikel	13
		Tagungskalender	24



GERO Hochtemperaturöfen GmbH

MONBACHSTRASSE 7
D-75242 Neuhausen
Tel. 0 72 34/6136 · Fax 0 72 34/53 79

IN DER ENTWICKLUNG IMMER EINEN SCHRITT
WEITER ALS DIE MODERNSTE TECHNIK



High Gradient Anlage bis 2200°C für gerichtete Erstarrung

MITTEILUNG

NABERTHERM und GERO:

Starke Partner für Kunden
technologisch anspruchsvoller
Öfen im In- und Ausland.

Ab dem 1.1.1996 haben wir die Fa.
Nabertherm GmbH Industrieofenbau
KG, Lilienthal, als Mitgesellschafter
in unsere Firma aufgenommen.
Gemeinsame Nutzung eines
weltweiten Vertriebsnetzes und
gemeinsame Entwicklungen eröffnen
uns neue Marktchancen.

Unser Lieferprogramm:

Rohröfen bis 1800 °C
Mehrzonenrohröfen bis 1800 °C
Zehnzonenöfen bis 1500 °C
Kalibrieröfen für TC und Pyrometer
Vakuum- und Schutzgasöfen bis 2 600 °C

Kristallziehanlagen und Zubehör
Wärmerohre (heat pipes)
Wassergekühlte Edelstahlflansche
Mikrowellensinteranlagen
Sonderofen- und Anlagenbau

Editorial

Liebe Leser,

1996 begeht die DGKK ihr 25-jähriges Jubiläum.

Ein langer und erfolgreicher Weg wurde seit der Gründung im Jahre 1970 zurückgelegt. Die Mitgliederzahl hat sich auf rd. 500 eingependelt, von denen eine ansehnliche Zahl an der Jahrestagung in Köln/Bonn teilgenommen hat. Optisch äußerst gelungen präsentierten sich die Vortragsveranstaltungen und die Poster in den Räumen der herrlichen Mineralogischen Sammlung in Köln. Am Donnerstagabend ging es dann nach Bonn zu einem gemeinsamen Abendessen im Poppelsdorfer Schloß. **Einen herzlichen Dank nochmals an die Veranstalter.**

Die Berichte von der Tagung können leider erst im Herbst erscheinen. Ich möchte jedoch die Gelegenheit benutzen, Hr. Aßmus und seinen "freiwilligen" Helfer herzlich für die Mitarbeit zu danken. Nur durch ihren Einsatz ist es möglich, die Ergebnisse von Tagungen einem großen Kreis zu vermitteln.

Die Entwicklung der DGKK wurde mit einem Vortrag von Prof. Nietzsche (gehalten von Hr. Walcher) vorgestellt. Wegen des plötzlichen Todes von Hr. Nietzsche können wir diesen Artikel erst im nächsten Heft bringen (in einer Bearbeitung von Hr. Walcher). Einen Artikel zur Entwicklung der Kristallzüchtung in den neuen Ländern vor der Vereinigung haben die Hrn. Rudolph, Reiche und Schröder beigeuert.

Den Hauptteil dieser Ausgabe nimmt ein Aufsatz von Hr. Klöß "Lichtmikroskopie für die Kristallzüchtung" (s.h. Titelbild MB 62) ein. Die vielfältigen Möglichkeiten, mit diesem relativ einfachen Instrument mannigfaltige Informationen zum Wachstum und zur Charakterisierung zu gewinnen und bis in Nanostrukturen vorzudringen, werden umfassend dargestellt.

Ihr
Hans Jürgen Fenzl

Notizen des Vorsitzenden

Es war eine überaus und über alles gelungene 26. Jahrestagung der DGKK in Köln und Bonn, die von der vereinten Mannschaft des Instituts für Kristallographie der Universität Köln und dem Labor für Kristallzüchtung der Universität Bonn organisiert wurde. Die Tagung, die zugleich auch des 25jährigen Gründungsjubiläums der DGKK gedachte, fand folgerichtig an zwei Orten statt: in Köln wurde gearbeitet, in Bonn gefeiert!

Einzige bittere Pille war, daß Prof. Nietzsche seinen Vortrag zur Geschichte der DGKK wegen Erkrankung nicht halten konnte.

Dem Organisationskomitee war es gelungen, neben hochaktuelle und interessante Ergebnisse bietenden Poster- und Kurzbeiträgen attraktive Übersichtsvorträge aus dem In- und Ausland zu präsentieren.

So konnten wir von Herrn Lang (Bristol, UK) hören, welches vortreffliche Jagdrevier (hunting ground) der Kristall für den Materialcharakterisierer ist. Nun verwandelt sich ja heute jede wissenschaftliche Agglomeration in eine Jagdgesellschaft, die Projekte in gemeinsamer Anstrengung einwerben muß, um zu leben.

Die gerade erschienene Stellungnahme des Wissenschaftsrates zur außeruniversitären Materialwissenschaft stellt, wenn auch nicht ein Jagdrevier, so doch eine Fundgrube für den dar, der sich über die Situation und Einschätzung zur Kristallzüchtung informieren will und neue, nicht nur zugkräftige, Arbeitsaufgaben sucht, sondern auch für mögliche Projektaufgaben Partner finden will. Es wird die Leistungsfähigkeit ausgewählter Einrichtungen bewertet, ihr Arbeitsspektrum dargestellt und schließlich werden Empfehlungen für die weitere Entwicklung der Institution gegeben.

Damit ist dies Papier zusammen mit der schon früher erschienenen Studie (1993/94) zur Situation der Materialforschung in den universitären Einrichtungen eine wertvolle Unterlage für die Formulierung neuer Aufgabenstellungen auch in unserem Arbeitsfeld.

Dies in Kürze, der Redaktionsschluß lag diesmal besonders früh.

Ihr
Winfried Schröder

Titelbild

Oberfläche einer polykristallinen CVD-Diamantschicht
Philips Forschungslabor Aachen

2. Mitteilungen der DGKK

Protokoll der DGKK-Jahreshauptversammlung 1996

Ort: Vortragssaal der Mineralogie
Zülpicher Str.
Köln

Zeit: Donnerstag, den 7. März 1996, 17:45 - 18:40 Uhr

Protokoll: H. Walcher

Teilnehmer:

Mitglieder:

Alex, V.; Altenburg, H.; Aßmus, W.; Becker, U.; Benz, K.; Bohaty, L.; Deppert, K.; Dold, P.; Dohnke, J.; Engel, A.; Fenzl, H.; Fiederle, M.; Fischer, K.; Follner, H.; Ganschow, S.; Gille, P.; Gyuro, I.; Hanke, G.; Hannig, C.; Herres, N.; Hesse, H.; Hofmann, D.; Hornung, M.; Jansen, H.; Kaiser, T.; Kanis, M.; Klapper, H.; Kloc, Ch.; Korth, J.; Lauck, R.; Lommel, B.; Lux, B.; Mateika, D.; Mühlberg, M.; Müller, G.; Müller, M.; Müller-Vogt, G.; Nabot, J.; Pankrath, R.; Paus, H.; Reiche, P.; Ritter, F.; Rudolph, P.; Scharl, S.; Schätzle, P.; Schenk, M.; Schmidt, H.; Schmidt, P.; Schönherr, E.; Schröder, W.; Schwabe, D.; Seidl, A.; Siegert, H.; Tolksdorf, W.; Tomm, Y.; Uecker, R.; Ueltzen, M.; Walcher, H.; Wiehl, L.; Woensdregt, C.; Wolf, E.; Wolf, Th.; Zulehner, W.;

Anzahl der Mitglieder: 63.

Gäste:

Matsumoto, K.; Schwirtenberg, G.; Racha, S.; Gross, Ch.; Barz, R.;

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlußfähigkeit

Herr Schröder begrüßt die Teilnehmer der Versammlung und stellt fest, daß mit 63 anwesenden Mitgliedern die Beschlußfähigkeit der Jahreshauptversammlung gegeben ist.

2. Bericht des Vorsitzenden

Herr Schröder berichtet über eine Studie "Empfehlungen zur Werkstoffwissenschaft" des Wissenschaftsrates.

In dieser Studie wird festgestellt, daß die Wirtschaft in Deutschland gezeichnet ist von Arbeitslosigkeit, Verlust von Wettbewerbspositionen und von der Unfähigkeit neue Techniken zu entwickeln. Es herrscht ein Defizit in den Spitzentechniken, die Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft ist zu gering, die Zahl der Patente ist zu niedrig, die Wirtschaft geht Risiken aus dem Weg, was sicherlich richtig ist, und verfolgt nur kurzfristige Programme. Ergebnisse der Forschung werden von der Industrie oft gar nicht genutzt und so sind z. B. bei diesen Tagungen oft nur sehr wenige Vertreter der Wirtschaft anwesend. Es wird gefordert, daß sich die Forschung der Themen annehmen soll, die für die Wirtschaft interessant sind.

Es wurden ausgewählte Institutionen der außeruniversitären Forschung und vor ca. 2 Jahren auch die universitären Einrichtungen bewertet. Die deutschen Einrichtungen zur Werkstoffforschung haben sehr großes Gewicht und sollen möglichst eng zusammenarbeiten. Das Gewicht liegt auf der Elektronik und den Halbleitermaterialien, wo insgesamt ein hoher Stand der Technik beherrscht wird.

Silizium als Halbleiter für die Photovoltaik soll wieder gefördert werden, das gerade jetzt, nachdem die Solarzellenproduktion in Deutschland wegen der mangelnden Förderung mehr oder weniger eingestellt wurde.

Herr Follner fragt, ob auch andere Materialien angesprochen wurden.

Herr G. Müller fragt nach oxidischen Materialien.

Über Oxide wird in dieser Studie nur sehr wenig berichtet, auch sind die Fördermittel hier sehr spärlich.

Wie sich die Gruppe der Verfasser dieser Studie zusammensetzt ist nicht bekannt. Die Verfasser scheinen aber nur ganz bestimmte Gesichtspunkte berücksichtigen zu haben.

Beide Bewertungen sind beim Wissenschaftsrat in Köln erhältlich.

Euro-Cryst: Herr Preisinger, die treibende Kraft in Österreich für dieses Projekt, war im vergangenen Jahr in Berlin zu Besuch am IKZ. Er ist mit alten Vorstellungen aufgetreten, hatte keine neuen Informationen in seine Ausführungen aufgenommen. So soll es in Deutschland keine GaAs-Entwicklung geben, beim SiC soll sich ebenfalls nichts bewegen, bei Si soll großer Schlupf bestehen. Diese Informationen sind von uns nie so weitergegeben worden. Es scheinen erheblich Verständigungsmängel zu existieren. Neben diesen Verständigungsschwierigkeiten ist die österreichische Regierung im Dezember aufgelöst worden und es standen Neuwahlen an. Darüber hinaus ging Herr Preisinger in den Ruhestand, weshalb das Projekt Euro-Cryst zuerst nicht weiter betrieben wurde. Durch die neue Regierung, die erst seit heute Morgen in Österreich besteht, kann sich wieder etwas bewegen. Es ist zu beachten, daß Euro-Cryst in erster Linie ein Österreichisches Projekt ist, das sich sicherlich um Europäische Mittel bemüht.

G. Müller hat an der Durchführbarkeitsstudie Euro-Cryst mitgearbeitet. Sie wurde Mitte letzten Jahres der Österreichischen Regierung übergeben. Durch die Regierungskrise rückten die Diskussionen in den Hintergrund. Herr Preisinger hat seit seiner Emeritierung keine führende Funktionen im Auftrag der Regierung. Herr G. Müller hat seit der Studie keine offizielle Funktionen mehr. Er weiß, daß inzwischen die Gespräche weitergegangen sind, und es ein Treffen auf Europäischer Ebene mit Herrn Bangemann gegeben hat, bei dem das Thema Euro-Cryst angesprochen wurde. Offensichtlich ist die Zukunft des Projekts im Augenblick nicht ganz eindeutig. Herr Müller steht auch weiterhin zu seiner schon vertretenen Meinung: Wenn Euro-Cryst zu einer Stärkung der europäischen Aktivitäten auf dem Gebiet der Massivkristallzüchtung, besonders auch der nationalen beiträgt, so sollte diese Einrichtung unterstützt werden. Dazu ist es aber notwendig, daß in den politischen Stellen der Bundesregierung, aber auch denen der Europäischen Gremien die Bedeutung der Material- und Werkstoffwissenschaften, sowie der Bereiche, die sich mit der Bereitstellung von einkristallinem Material beschäftigen, zunimmt. Euro-Cryst kann nur dann von allgemeinem Interesse sein, wenn sichergestellt ist, daß das wenige, was es überhaupt schon an Forschungsgeldern auf diesem Gebiet gibt, nicht noch weniger wird, sondern daß es zu einer Stärkung dieses Bereiches kommt. Durch bessere Koordination und Zusammenarbeit kann mit Hilfe eines derartigen Projekts ein Gegengewicht gegen das asiatische Übergewicht geschaffen werden.

Erinnerung an den DGKK-Preis: Dieser Preis ist in der Satzung vorgesehen und soll im nächsten Jahr wieder vergeben werden. Vorschläge bitte an das Preiskomitee einreichen. Es können auch Personen vorgeschlagen werden, die nicht Mitglied der DGKK sind. Nach Möglichkeit sollen es junge Wissenschaftler sein. Diplomanden oder Doktoranden, die wissenschaftlich oder technologisch bedeutende Arbeiten durchgeführt haben. Mit den Vorschlägen bitte eine kurze Betrachtung und Begründung einreichen. Der Preis soll vor allem auch der Nachwuchspflege dienen und Anreize bei jungen Forschern schaffen.

Auszug aus der Satzung:

VII. Anhang (Preis der DGKK)

§ 1

Als Anerkennung für besondere wissenschaftliche und technische Leistungen auf dem Gebiet des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung kann die Deutsche Gesellschaft

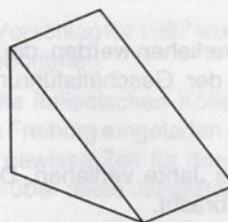
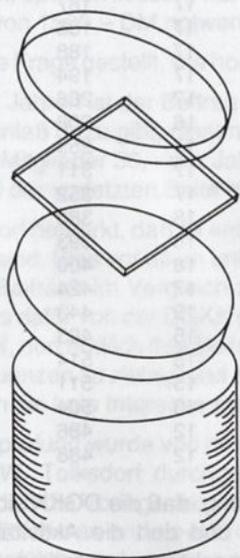
Für Forschung und Produktion

EINKRISTALLE

aus

METALL - LEGIERUNGEN - HALBLEITER
VERBINDUNGEN - OXIDE - HALOGENIDE
FENSTER - LINSEN - PRISMEN
SUBSTRATE - WAFER - STÄBE

Random - orientiert - präpariert



Präzisionskugeln
Halbzeug (blanks)
Rohkristalle (boules)

Sputtertargets
Seltene Erden

KRISTALLHANDEL KELPIN



69181 Leimen • Telefon 0 62 24/7 25 58 • Telefax 0 62 24/7 71 89

Für die Forschung

◆ Wafer und Substrate für die Epitaxie

Halbleiter, oxidische Materialien, Fluoride

- Si • Ge • II-VI • IV-VI
- SrTiO₃ • MgO • LaAlO₃ • NdGaO₃ • Al₂O₃
- BaF₂ • CaF₂ • MgF₂

◆ Reinstoffe, Verdampfungsquellen, Sputtertargets

- Cd • Se • Zn • Te • Si • Ge
- II-VI • IV-VI

◆ Kundenspezifische Dienstleistungen, Kristallkörper aller Geometrien und Orientierungen, Oberflächenpräparation



CRYSTAL GmbH
Ostendstr. 2-14
12459 Berlin
Tel.: (030) 69 53 87 - 0 Fax: (030) 6 35 04 36

Für die Analytik

◆ Optische Komponenten

Linsen, Fenster, Prismen für Anwendungen im IR-, VIS- und UV-Spektralbereich

- CaF₂ • MgF₂ • BaF₂
- Si • Ge • Al₂O₃
- ZnSe • ZnS • CdTe

ATR-Elemente

◆ Röntgenmonochromatoren

- Si • Ge • LiF

◆ Orts- und energieauflösende γ - und Röntgendetektoren im Energiebereich 3 – 300 keV

◆ Nichtlineare optische Kristalle

- DKDP • KDP • KTP • BBO • LiIO₃



CRYSTAL GmbH
Ostendstr. 2-14
12459 Berlin
Tel.: (030) 69 53 87 - 0 Fax: (030) 6 35 04 36

für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) den "Preis der DGKK" verleihen.

§ 2

Der Preis besteht aus einer Urkunde und einem Geldbetrag. Die Höhe des Betrages wird alle sechs Jahre auf der Mitgliederversammlung neu festgelegt.

§ 3

Der Preis wird an Personen vergeben, die sich durch besondere wissenschaftliche und technische Leistungen auf dem Gebiet des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung in der reinen und angewandten Forschung ausgezeichnet haben. Es sollen bevorzugt jüngere Wissenschaftler und Technologen ausgezeichnet werden. Der Preisträger muß nicht Mitglied der DGKK sein.

§ 4

Der Preis darf nicht für Verdienste verliehen werden, die in irgendeinem Zusammenhang mit der Geschäftsführung der DGKK stehen.

§ 5

Der Preis wird höchstens alle zwei Jahre verliehen. Die Mittel werden von der DGKK aufgebracht.

§ 6

Über die Vergabe entscheidet ein Dreiergremium, das alle sechs Jahre auf der Mitgliederversammlung gewählt wird. Eine Wiederwahl der Ausschußmitglieder ist nicht zulässig. Das Gremium darf nur aus solchen Mitgliedern bestehen, die bei der DGKK keine Vorstandsaufgaben wahrnehmen.

§ 7

Jedes Mitglied der DGKK ist berechtigt, dem Gremium Personen als potentielle Preisträger mit einer schriftlichen Begründung vorzuschlagen. Der Vorstand kann darüber hinaus Vorschläge, insbesondere auch von früheren Preisträgern anfordern. Er ist berechtigt, Gutachten über die Arbeiten der Vorgeschlagenen einzuholen. Sofern diese von Mitgliedern der DGKK angefordert werden, dürfen keine Honorare gezahlt werden. Die Beschlüsse über die Preisverleihung müssen einstimmig gefaßt werden.

§ 8

Die Verleihung erfolgt auf der Jahrestagung der DGKK. Der Preisträger ist zu einem Plenarvortrag über seine Arbeit einzuladen, in dessen Rahmen ihm der Preis mit einer Laudatio, die von einem Ausschußmitglied zu halten ist, übergeben wird. Die Preisverleihung wird in den Mitteilungen der DGKK und im Journal of Crystal Growth bekanntgegeben.

Das Preiskomitee besteht seit der HV 91 aus den Herren D. Mateika, K.-W. Benz, S. Haussühl.

ICCG XII in Jerusalem: Vorschlag von Hr. Asmuß Kristalle als besondere Sektion in das Programm aufnehmen!

3. Bericht des Schriftführers

Herr Walcher berichtet über die Entwicklung der Mitgliederzahlen seit März 1995.

Die Zahl der Mitglieder hat sich im vergangenen Jahr um 2 erhöht und beträgt nun 488. Dabei haben 11 Mitglieder ihren Austritt erklärt oder wurden aus dem Mitgliederverzeichnis gelöscht und 13 Mitglieder sind neu hinzugekommen.

Tabelle 1

Mitgliederentwicklung (Stand jeweils 1. März)

Jahr	Vollmitglieder	Studenten	Korporative	Gesamt	Veränderung
1971	87	14	9	110	110
1972	107	19	11	137	27
1973	121	19	13	153	16

1974	119	19	16	154	1
1975	132	22	16	170	16
1976	140	23	17	180	10
1977	144	26	17	187	7
1978	142	29	17	188	1
1979	143	28	17	188	0
1980	149	28	17	194	6
1981	160	29	17	206	12
1982	164	28	16	208	2
1983	200	42	17	259	51
1984	239	55	17	311	52
1985	270	65	17	352	41
1986	291	74	18	383	29
1987	297	78	18	393	10
1988	297	85	18	400	7
1989	317	90	17	424	24
1990	371	53	19	443	19
1991	422	46	15	483	40
1992	447	52	15	514	31
1993	452	44	15	511	-3
1994	451	40	13	504	-7
1995	444	30	12	486	-18
1996	447	29	12	488	2

In Den Haag kam die Anregung, daß die DGKK sich mit dem Internet beschäftigen sollte und dort die Aktivitäten einem breiten Kreis zugänglich gemacht werden sollten. Die Ideen, was über Internet alles machbar sein sollte, wollte ich gerne an Hand einer Ideensammlung erfahren. Hierzu wurde zusammen mit der Einladung zur Jahreshauptversammlung ein Aufruf versandt, in dem jeder aufgefordert wurde, seine Ideen, Gedanken zum Internet mitzuteilen. Leider war die Zahl der Rückmeldungen sehr niedrig, so daß zur Zeit noch keine genauen Vorstellungen über die Internetseite bestehen.

Unter Verschiedenes soll hierauf noch weiter eingegangen werden.

Zum Schluß möchte ich mich ganz herzlich bei denen bedanken, die mir die Arbeit dadurch erleichtern, daß sie Adressenänderungen mitteilen und mir meine Fehler verzeihen.

4. Bericht des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer

Herr Müller-Vogt legt die in Tabelle 2 zusammengestellten Zahlen vor.

Die finanzielle Situation der Gesellschaft ist weiterhin entspannt. Die Abbuchung für das Jahr 1996 ist noch nicht erfolgt und die ausstehenden Mitgliedsbeiträge belaufen sich im Augenblick auf insgesamt 24.000,- DM. Mitglieder mit mehr als 4 Beiträgen im Rückstand sind für 8000,- DM verantwortlich. **Der Vorstand hat beschlossen, daß alle diejenigen, die mit ihren Beiträgen im minus sind und nicht am Einzugsverfahren teilnehmen, einen Kontostand mitgeteilt bekommen. Diejenigen, die bis ca. Juni ihren Kontostand nicht ausgleichen, werden dann laut Satzung von der DGKK ausgeschlossen.** Dadurch werden weitere Mitglieder, die nicht mehr auffindbar sind, aus der Kartei entfernt. DM 17.000,- ergeben sich aus Mitgliedern, die mit bis zu 3 Beiträgen im Rückstand sind, einschließlich 1996, wovon noch ein erheblicher Teil durch den Einzug, bzw. durch die Überweisungen eingehen wird.

Tabelle 2

Kontostände zum letzten Kassenbericht:

Postscheckkonto	8.109,15 DM
Sparkasse	9.979,27 DM
Festgeldanlage	36.000,00 DM
Summe	54.088,42 DM

Kontostände zum diesjährigen Kassenbericht:

Postscheckkonto	9.024,95 DM
Sparkasse	3.049,94 DM
Festgeldanlage	36.000,00 DM
Summe	48.074,89 DM

Der II-VI-Workshop wurde dieses Mal in Zusammenarbeit mit der EMRS organisiert. Da die Spenden aus der deutschen Industrie sehr spärlich flossen, war eine Unterstützung seitens der DGKK von 1500,- DM notwendig.

Es wurde die Frage gestellt, wie hoch eigentlich der Beitrag ist.

Seit einigen Jahren ist der Beitrag stabil gehalten worden, da es keinen Anlaß dazu gibt, diesen zu erhöhen. Er beträgt für ordentliche Mitglieder 30,- pro Jahr, für Studenten 15,- DM. Es steht auf der vorletzten Seite des Mitteilungsheftes.

Herr Tolksdorf bemerkt, daß es erschreckend ist, wie hoch die Ausstände sind. Dies vor allem unter dem Gesichtspunkt, wie niedrig die Beiträge im Vergleich zu anderen Gesellschaften sind und was dafür von der DGKK geboten wird. Er fordert alle Kollegen auf, nun endlich ihre Beiträge zu bezahlen oder aber die Konsequenzen zu ziehen und aus der Gesellschaft auszutreten, wenn sie kein Interesse mehr haben.

Die Kassenprüfung wurde von den Mitgliedern Herrn J. Korth und Herrn W. Tolksdorf durchgeführt. Beide Kassenprüfer bemerken, daß die Vorlage der Kassenbelege ausgezeichnet und übersichtlich war, und sie sind der Meinung, daß die Kasse vorbildlich geführt worden sei und alles in Ordnung ist.

Herr D. Schwabe beantragt, daß die anwesenden stimmberechtigten Mitglieder dem Schatzmeister ihr Vertrauen aussprechen und ihn entlasten.

Die Entlastung des Schatzmeisters erfolgt einstimmig.

5. Entlastung des Vorstandes

Herr D. Schwabe bittet die anwesenden Mitglieder, den gesamten Vorstand zu entlasten.

Die Entlastung des Vorstandes erfolgt einstimmig.

6. Diskussionen und Beschlüsse über Tagungen und Symposien:

Die DGKK-Jahrestagung 1997 kann zusammen mit der italienischen Kristallzüchtergesellschaft vom 5.-7. März in Freiburg stattfinden.

Als Chairmen für das Programmkomitee hat sich Herr K.W. Benz vom Kristallographischen Institut der Universität zur Verfügung gestellt, Herr C. Paorici wird die italienische Seite betreuen. Die örtliche Organisation setzt sich aus den folgenden Personen zusammen: Herr Danilevski wird sich um die Vortragsräume an der Universität kümmern. Herr R. Diehl und Herr Walcher vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik werden den übrigen Teil der Tagungsorganisation übernehmen.

Die Einladungen sollen bis spätestens 30. September 1996 verschickt werden.

Anmeldungen für Vorträge und Poster bis zum 15. Januar 1997,

Anmeldungen zur Teilnahme an der Tagung bis 1. Februar 1997,

das endgültige Programm soll etwa am 15. Februar 1997 verschickt werden.

In Den Haag war darüber gesprochen worden, ob die Jahreshauptversammlung während der ICCG XII in Israel abgehalten werden kann. Dies erscheint dem Vorstand kein gangbarer Weg zu sein, da es den Mitgliedern der DGKK nicht zugemutet werden kann, wegen der Jahreshauptversammlung nach Jerusalem zu fahren. Es sollte recht bald jemand gefunden werden, der bereit ist, die Jahrestagung in zwei Jahren zu organisieren. Es wurden Erlangen oder Freiberg-Jena ins Gespräch gebracht.

Herr Bohaty schlug vor, vielleicht eine gemeinsame Tagung mit der DGK, der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie abzuhalten. Herr Klapper wird in der kommenden Woche bei der DGK Tagung in Marburg erkunden, ob auch von deren Seite an einer solchen Tagung Interesse besteht.

Für die Jahrestagung 1999 sollen die Möglichkeiten mit den Kollegen aus Großbritannien und Holland weiter verfolgt werden. Die Tagung könnte als 3-Ländertagung abgehalten werden und an einem Ort stattfinden, der für alle gut erreichbar ist. Es wurden Südengland oder Holland erwähnt.

8. Diskussion und Beschluß über die Jahrestagung 1997 in Freiburg:

Abstimmung über die DGKK-Jahrestagung in Freiburg zusammen mit der italienischen Kristallzüchtergesellschaft 1997:

Der Vorschlag für 1997 wurde einstimmig und ohne Enthaltung angenommen.

Da die italienischen Kollegen schon bald zur Tagung 1997 nach Freiburg eingeladen werden müssen und diese ebenfalls eine gewisse Zeit für deren Entscheidung benötigen, mußte auch über diese Jahrestagung abgestimmt werden.

Der Vorschlag für 1997 wurde einstimmig und ohne Enthaltung angenommen.

9. Diskussion über DGKK-Arbeitskreise

Aus Zeitgründen konnten die Beiträge der Arbeitskreisleiter nicht vorgestellt werden. An dieser Stelle sollen die Informationen weitergegeben werden, die

AK Röntgentopographie (Herr H. Klapper):

Die Herbstschule im vergangenen Jahr wurde vom 15.11. bis 18.11.1995 in Petzow/Werder (Havel) zusammen mit AG "Dynamische Interferenztheorie" abgehalten.

Besonders für Studenten, Doktoranden und Neueinsteiger wurden Beiträge mit folgenden Themen präsentiert:

- Anwendungen der dynamischen Röntgentheorie auf Schichtsysteme
- Diffuse Röntgenstreuung an Oberflächen und Schichtsystemen
- Röntgenstreuung an Oberflächen
- Planwellentopographie an dünnen Schichten
- Experimentielle Röntgenbeugungstechniken zur Charakterisierung von Grenzflächen und dünnen Schichten

Ein weiterer Bereich war für ausführlichere Beiträge reserviert, die zur Diskussion anregen sollen.

Außerdem wurden offene Diskussionsrunden zum Erfahrungsaustausch veranstaltet, wobei besonders die Themen

1. Neue apparative Lösungen
2. Nutzung verschiedener Software
3. Umgang mit hochauflösender Diffraktometrie

im Vordergrund standen.

Auf den "XVII Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography", der vom 8. bis 17. August 1996 in Seattle, Washington stattfinden wird, soll besonders hingewiesen werden. Abstracts sollten bis zum 15. Februar eingeschickt worden sein. Anmeldungen sind bis zum 1. Juni einzureichen.

"Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs- und InP-Kristallen" (Herr G. Müller)

stellte die folgenden Informationen zusammen:

Dieser Arbeitskreis findet seit 1978 jeweils zweimal im Jahr statt und erfreut sich eines recht stabilen Teilnehmerkreises. Es kommen in der Regel um 50 Personen, was die Möglichkeiten zu offenen Diskussionen und zu regem Informationsaustausch begünstigt. Als Tagungsorte haben sich Erlangen (jeweils im Oktober), sowie Göttingen (1993), Freiburg 1995, Freiberg (1995) und Berlin (1996) im Wechsel jeweils im März eingependelt. Die Leitung des Arbeitskreises hat Herr Prof. Dr. G. Müller übernommen und richtet den Arbeitskreis in Erlangen zusammen mit Herrn Prof. Dr. A. Winnacker aus, für die anderen Orte ist dies weniger festgelegt.

Im Berichtszeitraum fand das Treffen am 22. und 23. März 95 in Freiberg statt, wozu Prof. Buhrig von der Bergakademie und Herr Dr. Flade von FCM eingeladen haben. Das Herbsttreffen fand am 18. und 19. Oktober in Erlangen statt.

Für 1996 sind die folgenden Veranstaltungen geplant:

Am 17. und 18. April wird Herr Dr. Schröder am IKZ Berlin Gastgeber, im Oktober wieder Prof. Müller und Prof. Winnacker Universität Erlangen sein.

Die Ziele dieses Arbeitskreises sind Kenntnisse darüber zu erarbeiten, wie sich Kristallzüchtungsbedingungen von GaAs, InP und verwandter Materialien auf die Kristall- und Bauelementeigenschaften auswirken, die auf Substratscheiben dieser Materialien hergestellt wurden.

Typische Themen der jüngsten Veranstaltungen waren:

- LEC-Züchtung
- Numerische Modellierung der LEC-Züchtung
- Gremmelmaier-Verfahren und Vapour controlled LEC von GaAs
- VGF-Züchtung von GaAs und InP

- Numerische Modellierung der VGF-Züchtung
- elektronische Eigenschaften von s.i. und halbleitendem GaAs und InP
- Stöchiometriedefekte in GaAs
- Spektroskopie von Punktdefekten in GaAs und InP
- Spurenanalyse von Restverunreinigungen bzw. Dotierstoffen
- Auswirkungen von Temperprozessen auf Kristalleigenschaften
- Versetzungsbildung und Versetzungsnetzwerke
- Charakterisierung von Inhomogenitäten und Punktdefekten mit Rasterverfahren ("wafer mapping")

Der Arbeitskreis

Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik

findet nach den vergangenen organisatorischen Schwierigkeiten nun statt am

Beginn: Donnerstag, 26. September 1996, 14.00 Uhr

Ende: Freitag, 27. September 1996, 12.00 Uhr

im Institut für Kristallographie der Universität zu Köln.

Thema: Optische Grundcharakterisierung von (Ein)-Kristallen

Interessenten für die Teilnahme und für Vorträge melden sich bei:

Prof. Dr. Hans J. Paus

Universität Stuttgart

II. Physikalisches Institut

Pfaffenwaldring 57

70550 Stuttgart

Tel. 0711/685-5223, -5217

Fax: 0711/685-5285

E-Mail: Paus@physik.uni-stuttgart.de

oder Prof. M. Mühlberg

Universität zu Köln

Institut für Kristallographie

Zülpicher Str. 49 b

50674 Köln

Tel. 0221/470-4420, -3194

Fax: 0221/470-4963

E-Mail: muehlberg@kri.uni-koeln.de

Insbes. Vortragsvorschläge sind in den nächsten Wochen willkommen.

MgO
KTP
SrTiO₃
Laserkristalle
BGO
piezoelektrische
Quarze

**Fragen Sie uns,
wenn es um
Quarze und
Kristalle geht!**



Frank & Schulte GmbH

Alfredstr. 154

D-45131 Essen

Tel.: 02 01/45 06 - 0

Fax: 0201/45 06 - 1 11

Tx: 857 835 fus d

10. Verschiedenes

Herr Rudolph vom IKZ Berlin:

Im IKZ wird eine Schulung zum Kristallwachstum stattfinden. Jeder der Teilnehmer hat mit den Tagungsunterlagen ein Blatt erhalten, auf dem nähere Einzelheiten wiedergegeben sind. Daran anschließend wird zusammen mit den polnischen Kollegen der dortigen Gesellschaft für Kristallzüchtung eine Tagung in Jaszowiec (Beskiden) zu Substraten und dünnen Schichten für die Hochtemperatursupraleitung durchgeführt.

Internetseite

Es haben sich verschiedene Institutionen dazu bereit erklärt, ihre Internetseiten mit Hinweisen auf die Kristallzüchtung und die DGKK zu erweitern. Dies sind das IKZ in Berlin, die Kollegen um Herrn Wenzl in Jülich, das Mineralogische Institut der Universität Köln und das Kristallographische Institut der Universität Freiburg. Diesem ersten Schritt werden weitere folgen müssen und der Vorstand möchte gerne Mitarbeiter dieser Institution dazu animieren, den Nukleus für einen Arbeitskreis zu bilden. Dieser Arbeitskreis könnte dann in enger Zusammenarbeit mit dem Vorstand ein Konzept erarbeiten, wie die DGKK den Einstieg ins Medienzeitalter gestalten sollte.

gez. W. Schröder
(Vorsitzender)

gez. W. Walcher
(Schriftführer)

Nationale Schule zur Kristallzüchtung

mit internationaler Beteiligung

vom 9.–13. September 1996
in Gosen bei Berlin

Veranstalter: Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
im Forschungsverbund Berlin e.V.

Schirmherrschaft: Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V.
(DGKK)

Schulungsvorstand: Dr. Ing. habil. W. Schröder (Vorsitzender)
Prof. P. Rudolfph (Wiss. Programm)
J. Warneke (Sekretär)

Rudower Chaussee 6
12489 Berlin
Germany
Tel.: 030 / 6392 3000
Fax: 030 / 6392 3003
e-mail: pr@ikz.fta-berlin.de
<http://www.ikz.fta-berlin.de>

Prof. Dr. rer. nat. Rudolf Nitsche

28.10.1922 † 01.04.1996

Wir trauern um einen der großen Pioniere der Kristallzüchtung in Deutschland. Am frühen Morgen des 1. April verschied nach längerer mit Geduld und Hoffnung getragener Krankheit im 73. Lebensjahr mein lieber Doktorvater Rudolf Nitsche. In Bad Godesberg geboren, begann er nach absolvierter Schulzeit und den Wirren des 2. Weltkriegs 1945 das Studium der Chemie an der Universität Heidelberg, wo man infolge der Schonung der Stadt durch die Alliierten noch einigermaßen geordnet studieren konnte, soweit es überhaupt so etwas wie Ordnung in den schweren Nachkriegsjahren gab. 1951 konnte er dennoch sein Studium mit einer Promotion im Fach Physikalische Chemie bei Klaus Schäfer abschließen. Fragen der chemischen Thermodynamik beschäftigten ihn in seinem weiteren wissenschaftlichen Leben. Konsequenz wandte er diese Disziplin gezielt auf die Züchtung von Einkristallen aus der Gasphase an. Seine auf diesem Gebiet überaus reichhaltigen, international anerkannten Erfahrungen und Kenntnisse faßte er 1966 in seiner Habilitationsschrift "Kristallzucht aus der Gasphase durch chemische Transportreaktionen" zusammen, die in den Fortschritten der Mineralogie 44 (1967) 231 veröffentlicht wurden. Zusammen mit Harald Schäfer aus Münster gilt Rudolf Nitsche als Mitbegründer der Kristallzüchtung durch Anwendung chemischer Transportreaktionen.

Nach den Jahren in Heidelberg ging er in die USA und begann seine berufliche Karriere beim US-Chemieriesen DuPont. Zurück in Deutschland arbeitete er im Siemens-Forschungslabor in Erlangen, bevor ihn dann sein Weg zu den RCA Laboratories nach Zürich führte. Hier verbrachte er von 1957 bis 1968 in der großen Zeit der Festkörperphysik und der Halbleitertechnologie eine sehr erfolgreiche Forschertätigkeit. Besonders die Chalkogenide und Pniktide hatten es ihm angetan, von denen er viele in komplexer Zusammensetzung erstmals als Einkristalle züchtete, die für festkörperphysikalische Charakterisierungen genügend groß waren. An einem Anwendungsbezug war er stets besonders interessiert.

1968 erreichte ihn der Ruf an das Kristallographische Institut der Universität Freiburg, das nach dem Wechsel von Siegfried

Haussühl nach Köln verwaist war. Er nahm diesen Ruf an und ging 1969 mit neuem Schaffensdrang an den Neuaufbau und die fachliche Neuorientierung des Instituts. Und hier kreuzten sich unsere Wege. Am 01.02.1969 begann ich als in Heidelberg frisch diplomierter "kristallographischer" Mineraloge meine Promotionszeit bei Rudolf Nitsche. Ich war sein erster Doktorand, dem noch sehr viele nachfolgen sollten. Zur Freiburger "Gründergeneration" gehörte damals außer mir noch Peter Buck, Claus-Dieter Carpentier und Volker Krämer. Als Ordinarius blieb Rudolf Nitsche bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1987 allseits hochgeschätzter Direktor des Instituts.

Rudolf Nitsche gehörte zu den Gründervätern unserer DGKK und hat sich große Verdienste um unsere Gesellschaft und überhaupt um die Kristallzüchtung in Deutschland erworben. Er erkannte schon früh, daß die Kristallzüchter eine Organisationsform benötigen zur Institutionalisierung der Kommunikation, als Präsentationsforum für die jungen Kristallzüchter und auch als Interessensvertretung. Seine Schaffenskraft hat er stets in den Dienst der Gesellschaft gestellt, dabei lange Jahre aktiv im Vorstand die Geschicke der DGKK mitgelenkt. Unvergessen ist das erste Kompendium "Information über Kristallzüchtung" über von DGKK-Mitgliedern hergestellte und verfügbare Einkristalle, das er 1972 zusammen mit Armin Räuber herausgegeben hat und das beide 1976 in aktualisierter Form noch einmal abfaßten.

Rudolf Nitsche war nie ein lauter Zeitgenosse. Zurückhaltend, in seiner Meinung dezidiert und in seiner Kritik manchmal beißend, hat er uns Jüngeren oft den Weg neu gewiesen. Entspannung fand er beim Wandern im Schwarzwald und beim Angeln, das er fast wissenschaftlich betrieb. Leider hat ihn das Schicksal nicht geschont. Bei einem Flugzeugabsturz kam seine geliebte Tochter Katharina ums Leben. Rudolf Nitsche hinterläßt seine Frau Hildegard und seine Kinder Carola und Stephan. Ihnen gilt unser besonderes Mitgefühl. Die Schar seiner vielen Doktoranden wird sich stets in Dankbarkeit an ihn erinnern.

Roland Diehl

4. Kristallzucht in Deutschland

Die Entwicklung der Kristallzucht unter Obhut der Arbeitsgruppe "Kristallisation" der VfK – eine historische Zusammenstellung vom Institut für Kristallzucht in Berlin

1. Einleitende Bemerkungen

Die Entwicklung und Förderung von Theorie und Praxis der Kristallzucht hat auch auf dem Gebiet der neuen Bundesländer eine weit zurückreichende Tradition. Sie ist in der Nachkriegszeit eng mit dem Wirken Max VOLMERS verbunden, dessen Theorie der Keimbildung und der Phasenübergänge bereits in den zwanziger Jahren begründet wurde. Er förderte dieses Gebiet auch in seiner Eigenschaft als einer der ersten Präsidenten der Deutschen Akademie der Wissenschaften (DAW). Experimentelle Erfahrungen bestanden zu dieser Zeit vor allem im Zeiss-Werk in Jena, speziell zur Zucht von Einkristallen aus der Schmelze und aus wässrigen Lösungen für den Einsatz in der Optik sowie in Bitterfeld zur Herstellung von Schmucksteinen nach dem Verneuil-Verfahren. Nach 1945 wurden diese Arbeiten weitergeführt und die Palette der Substanzen und Verfahren erweitert.

1963 wurde der Vorschlag unterbreitet, innerhalb der Klasse für Chemie, Geologie und Biologie der DAW eine Unterkommission Kristallzucht zu bilden. Die offizielle Gründung erfolgte am 23.04.1963. Erster Vorsitzender war Will KLEBER, Sekretär war Karl-Thomas WILKE. Nach fünfjährigem kontinuierlichen Wirken stellte die Kommission 1968 im Rahmen der Akademiereform ihre Arbeiten ein. Seitdem wurden bis zur deutschen Wiedervereinigung ihre Aufgaben von der VfK (Vereinigung für Kristallographie) wahrgenommen.

1971, also vor genau 25 Jahren, erfolgte auf Initiative von H. NEELS die Gründung der AG "Kristallisation" der VfK, deren Wirkungsfelder die Einkristallzucht und Erstarrungsvorgänge waren sowie der AG "industrielle Kristallisation", die sich mit Problemen der Massenkristallisation befaßte.

Die erste VfK-Tagung über einkristalline Materialien fand 1971 mit dem Rahmenthema "Halbleiterkristallographie" statt. Unter der Obhut der AG "Kristallisation" wurden nachfolgend 4 Jahrestagungen der VfK (1975, 1978, 1984, 1989), ca. 40 Rundtischgespräche und 7 Winterschulen zur Kristallzucht (von 1976 bis 1990) sowie 2 mehrtägige Seminare über Kristallbearbeitung (eines gemeinsam mit der damaligen CSSR) organisiert. Im September 1989 erfolgte die Aufnahme in die IOCG, nachdem H. BETHGE eine langjährige Einzelmitgliedschaft im Konzil der IOCG innehatte (er gehörte zu den Gründungsmitgliedern der IOCG 1966).



Abb. 1: Teilnehmerbild einer der ersten Schulen für Kristallzucht der VfK in Finken

Auf ihrer Leitungssitzung am 1. März 1990 beschloß die VfK den Anschluß der AG "Kristallisation" an die DGKK und rief zur Mitgliedschaft in dieser nun gesamtdeutschen Gesellschaft für Kristallzucht und Kristallwachstum auf.

2. Grundlagen des Kristallwachstums

Die erste gezielte Diplomarbeit zum Kristallwachstum wurde 1955 unter der wissenschaftlichen Leitung von W. KLEBER am damaligen Mineralogischen Institut der Berliner Humboldt-Universität verteidigt. Dieses Institut, das seine Wiege bei Christian Samuel Weiss hatte, entwickelte sich bis zur Wiedervereinigung zu einem Träger von Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Kristallzucht.

Anfang der sechziger Jahre wurden auch im Institut für Mineralogie und Petrographie der Karl-Marx-Universität Leipzig unter der Leitung von H. NEELS erste experimentelle Arbeiten zum Kristallwachstum begonnen (Seignettesalz, CaWO_4 , KNbO_3).

Ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung der Grundlagen des Kristallwachstums wurde von H. BETHGE und seinen Mitarbeitern am Institut für Elektronenmikroskopie der AdW (IFE) in Halle geleistet. International hoch anerkannt und vielfach zitiert sind die in den 60er Jahren erstmals mittels Elektronenmikroskopie nachgewiesenen Spiralstrukturen von Schraubenversetzungen auf NaCl. Auch die Kinetik der Stufenbewegung unter dem Einfluß von Oberflächen- und Randdiffusion konnte experimentell und theoretisch untersucht werden, wobei es gelang, die Diffusionsprozesse quantitativ zu erfassen.

Weitere Arbeiten zur Theorie des Kristallwachstums aus der Schmelze wurden am Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung (ZFW) in Dresden und an der Bergakademie Freiberg im Rahmen der Hochreinigung von Metallen durchgeführt. Das Physikalisch-Technische Institut in Jena lieferte wesentliche Beiträge zur Wachstumskinetik aus Schmelzlösungen, speziell an Granatkristallen. Es gelang, anschaulich die Orientierungsabhängigkeit des kinetischen Wachstumskoeffizienten und damit die Anisotropie der Wachstumsgeschwindigkeit an Kristallflächen unterschiedlicher atomarer Rauigkeit nachzuweisen.

Hervorgehoben werden soll der besondere Beitrag ehemaliger VfK-Mitglieder zur Grundlagenliteratur des Kristallwachstums. 1963 veröffentlichte K.-Th. WILKE eine erste Monographie zu den "Methoden der Kristallzucht". 1973 folgte die erste Ausgabe seines Kompendiums "Kristallzucht" – nach dessen Tode von J. BOHM unter Mitwirkung von P. GÖRNERT, M. JURISCH, M. RITSCHER, P. RUDOLPH und W. SCHRÖDER 1988 neu verfaßt und herausgegeben. P. GÖRNERT und F. VOIGT publizierten 1984 im Band 11 der "Current Topics" von E. Kaldis eine Zusammenfassung zu "High Temperature Solution Growth". Von H. KLEIN und E. BUHRIG wurde 1983 "Kristallisation aus der Schmelze" herausgegeben. Im gleichen Jahr verfaßten L. ICKERT und H.G. SCHNEIDER "Wachstum einkristalliner Schichten" und P. RUDOLPH eine Monographie zur "Profizucht". J. BOHM, A. LÜDGE und W. SCHRÖDER lieferten einen Beitrag über das "floating zone melting" in D.T.J. Hurle's "Handbook of Crystal Growth" (1994).

3. Experimentelle Aspekte der Kristallzucht

Metalle. Metallkristalle wurden bereits Mitte der fünfziger Jahre mit der Bridgman-Methode am damaligen Institut für Magnetische Werkstoffe der DAW in Jena gezüchtet. Die Hauptaktivitäten gehen auf das ZFW der AdW (ehemals Institut für Reinstoffe) in Dresden unter der damaligen Leitung von E. REXER zurück. Von 1959 – 1985 wurde die Reinst-

darstellung und Einkristallzüchtung von Metallen betrieben. Das führte unter anderem auch zu Geräteentwicklungen und dem Bau von tiegfremden Zonenschmelzanlagen, insbesondere für hochschmelzende Kristalle wie Niob, Wolfram und Molybdän. Von 1973 – 1980 erfolgten grundlegende Untersuchungen zu den supraleitenden A-15-Phasen.

Halbleiter. Erste Arbeiten der chemischen Reinstardarstellung von Silicium mit Hilfe eines Kreislaufverfahrens gehen auf das damalige Institut für Reinstoffe Dresden zurück. (Überführung der Reduktion von SiCl_4 mit Zink in die Industrie 1959/60).

Einen wesentlichen Anteil an den ersten Entwicklungsarbeiten zur Züchtung von Elementhalbleitern hatte das damalige Institut für Halbleitertechnik Teltow. Hier wurde Germanium um 1955 mit dem Schwimmtiegelverfahren gezogen. Die Si-Czochralski-Züchtung wurde 1957 aufgenommen und 1960/61 erstmals die Dünnhalstechnik (Dash-Verfahren) angewendet. Die Bedeutung von FZ-Silicium Kristallen für die Gleichrichterherstellung führte 1962–1963 zur Entwicklung entsprechender Anlagen in den damaligen Akademie-Werkstätten (spätere Bezeichnung ZWG, s.u.) in Berlin-Adlershof. Ende der 60er Jahre wurden damit erstmals versetzungsfreie Si-Einkristalle mit einem Durchmesser von zunächst etwa 20 mm im Zentralinstitut für Elektronenphysik (ZIE) und im Gleichrichterwerk Stahnsdorf b. Berlin hergestellt. Die Züchtung von Silicium unter Schutzgas erfolgte ab 1971 am Zentrum für Wissenschaftlichen Gerätebau (ZWG) der AdW und führte zu einer deutlichen Vergrößerung des Durchmessers der versetzungsfreien Kristalle. 1978 wurden mit der ZFA 70 3-Zoll-Durchmesser erreicht und 1986 mit der ZFA 80 100 mm. Diese Züchtungsanlagen wurden vom VEB Steremat "Hermann Schlimme" in Kooperation mit dem ZWG der AdW entwickelt und gebaut. 1979 wurde im ZWG der AdW das Technikum für Kristallzüchtung gegründet. Aus ihm ist das heutige Institut für Kristallzüchtung (IKZ) in Berlin hervorgegangen.

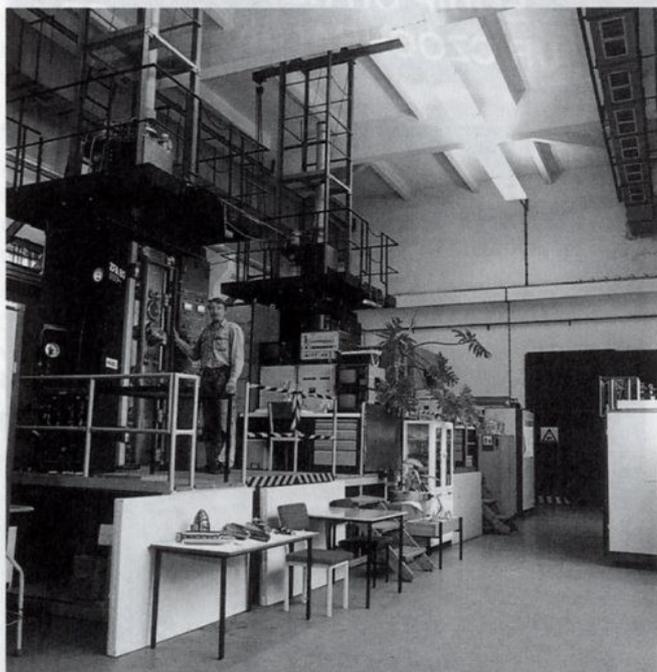


Abb. 2: Die Tradition der Kristallzüchtung in den neuen Bundesländern ist eng mit der Entwicklung von ZF-Anlagen für die Züchtung versetzungsfreier Siliciumkristalle im damaligen ZWG der AdW, heute im IKZ Berlin, in Kooperation mit Steremat Berlin verknüpft.

Mit der Synthese und der Kristallzüchtung von AIIIBV-Verbindungen beschäftigt sich frühzeitig das Institut für Nichteisenmetalle Freiberg und das Institut für Halbleitertechnik Teltow (später GWS Stahnsdorf). Hier wurde seit 1961 die Züchtung

von GaAs nach der horizontalen Bridgman-Technik und Anfang der 70er Jahre u.a. auch nach dem Zonenschmelzverfahren erprobt. 1975 begann die Produktion von CZ-GaAs, die Anfang der 80er Jahre an den VEB Spurenmetalle Freiberg überführt wurde, wo bereits früher mit der Silicium-Züchtung begonnen wurde. Nach der deutschen Wiedervereinigung wurde die Wacker-Technologie zur GaAs-Züchtung an die "Freiberger" übergeben. Heute hat die daraus erwachsene "Freiberger Compound Materials GmbH" sich eine beachtliche internationale Stellung erarbeitet.

Seit 1985 wurden am Technikum für Kristallzüchtung in Berlin InP-Kristalle unter Verwendung einer selbst entwickelten Hochdruckanlage gezüchtet.

Zur GaP-Epitaxie wurden erste Arbeiten Mitte der 60er Jahre im VEB Gleichrichterwerk Stahnsdorf bzw. an der Karl-Marx-Universität Leipzig im Rahmen der AG "AIIIBV-Halbleiter" der Sektion Physik und Chemie durchgeführt und entsprechende Anlagen für die Schichtabscheidung aus der flüssigen und Gasphase gebaut. Hier wurden die Grundlagen für den ersten (GaAl)As-Laser, der im Gerätebau zur Entfernungsmessung verwendet wurde, erarbeitet. Das MOCVD-Verfahren zur Schichtabscheidung wurde bereits 1970 für die GaAs-Epitaxie auf Ge-Substraten angewandt.

Etwa zur gleichen Zeit wurden auch die Forschungsarbeiten zur Epitaxie von AIIIBV-Verbindungen am Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie der AdW (ZOS) begonnen. Mitte der 80er Jahre entstanden im Technikum für Kristallzüchtung des ZWG der AdW die ersten rechnergesteuerten Epitaxieanlagen.

In den 70er Jahren wurden erste AlN-Schichten auf Saphirsubstraten an der TH Ilmenau und GaN-Schichten an der Karl-Marx-Universität Leipzig gezüchtet. An der Leipziger Universität gelangen 1985 auch die ersten AIIIBV-Superlattices aus 20 Schichten mit einer Schärfe der Heteroübergänge $< 10 \text{ \AA}$.

Bereits 1955 wurden die ersten Versuche zur Abscheidung von CdS aus der Gasphase am ZIE der AdW begonnen und später auf ZnS, ZnSe und deren Mischkristalle im Rahmen der Leuchtstoffforschung ausgedehnt. Ab 1971 wurden epitaktische Schichten von ZnS und ZnSe hergestellt.

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ und CdTe Kristalle und Schichten wurden seit 1984 am Bereich Kristallographie der Humboldt-Universität Berlin gezüchtet.

Entwicklungen von Peltier-Kühlelementen wurden frühzeitig an der Sektion Physik der Martin-Luther-Universität Halle auf der Grundlage selbstgezüchteter $\text{A}_2\text{VB}_3\text{VI}$ -Einkristalle begonnen.

Erste Kristallzüchtungsversuche unter Mikrogravitation führte die Berliner Humboldt-Universität während des Weltraumfluges von Sigmund Jähn in der Orbitalstation "Salut 6" im September 1977 durch.

Oxide. Wesentlicher Träger der Züchtung optischer Kristalle waren das Kombinat VEB Carl Zeiss Jena und Aktivitäten zur Oxid-Kristallzüchtung in verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen der DAW. Anfang der 60er Jahre wurde eine Produktionsstätte von CZ Jena in Eisenberg für die Kyropoulos-Züchtung von NaCl, KBr und LiF, die Bridgman-Züchtung von KRS 5 (Tl(BrJ)) und Stockbarger-Züchtung von Kalziumfluoriden eingeweiht. Im Jahr 1982 wurde die Czochralski-Züchtung von PbMoO_4 -Kristallen für akusto-optische Anwendungen und von YAG:Ce als Elektronendetektormedium in die Produktion überführt. Die große technische Hydrothermal-Synthese von Quarzkristallen wurde im Jahre 1976 gestartet.

Seit 1980 wurde auch die Züchtung optischer Kristalle im VEB Bauelemente Teltow aufgenommen. Es wurden ausschließlich LiNbO_3 -Kristalle für Anwendungen in der AOW-Technik hergestellt.

MaTeck

Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13
D-52428 Jülich

Telefon: 02461 - 690 740

Telefax: 02461 - 690 749

e-mail: Mateck.Schlich @ T-Online.De

Unser Leistungsangebot:

● Kristallzüchtungen von Metallen
und deren Legierungen

● Kristallpräparation (Formgebung,
Polieren und Orientieren)

● Reinstmaterialien (99,9 - 99,9999 %)

● Substrate, Wafer, Targets
(SrTiO₃, MgO, YSZ, NdGaO₃, Al₂O₃, etc)

● Auftragsforschung
für Werkstoffe und Kristalle

Material-Technologie & Kristalle

für FORSCHUNG, ENTWICKLUNG und PRODUKTION

Cyberstar

SCIENTIFIC & INDUSTRIAL INSTRUMENTS

▼ *The outstanding elements which make the reputation of Cyberstar are now available to equip your new puller frame or to retrofit an old machine of all makes.*

MAIN FEATURES ARE:

■ DIRECT DRIVE CRYSTAL TRANSLATION & ROTATION UNITS.

- Direct drive, vibration free units.
- Torque motors and electronics.

■ WEIGHING DEVICE FOR DIAMETER CONTROL.

- High sensitivity and resolution.
- High thermal stability.

■ CONTROL CONSOLE INCLUDING: ELECTRONICS, COMPUTER AND SOFTWARE.

■ READY TO BE LINKED TO YOUR RF GENERATOR OR FURNACE POWER STAGE.

▼ CRYSTAL GROWTH EQUIPMENTS OF ANY SIZE.

- Czochralski oxide pullers.
- Bridgman-Stockbarger furnaces.
- Images furnaces (infrared heating).

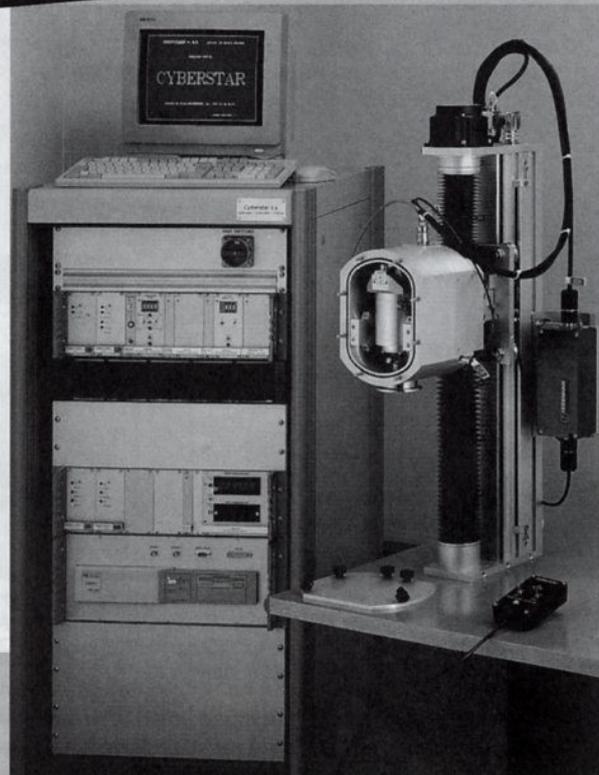
Fax or call for more information:

Cyberstar s.a.

Parc Sud Galaxie - BP 344 - 38435 Echirolles cedex - France (Grenoble)

Tel.: (33) 76 40 35 91 - Facs: (33) 76 40 39 26

**EQUIP OR RETROFIT
YOUR CZOCHRALSKI PULLER.**



Auch die Vorlaufforschung zur Züchtung oxidischer Kristalle hat eine lange Tradition. Kurz nach der Erfindung des Lasers im Jahre 1960, wurde 1962 eine Arbeitsgruppe unter R. MUELLER für die Züchtung von Rubin-Kristallen nach dem Verneuil-Verfahren im Institut für Gerätebau der DAW gegründet, die entscheidenden Anteil am ersten Rubin-Laser 1963 in der damaligen DDR hatte.

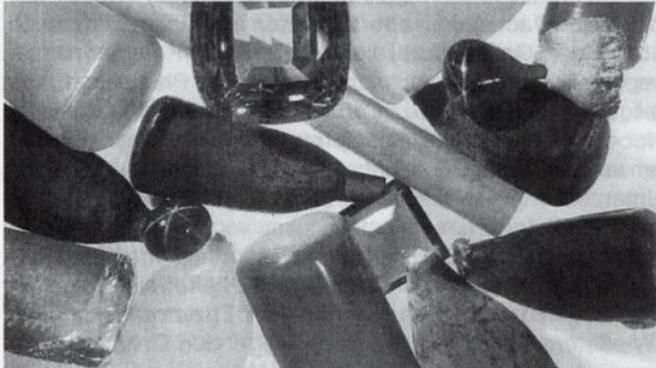


Abb. 3: Verneuil-Kristalle für die Schmucksteinherstellung aus dem ehemaligen VEB Chemiekombinat Bitterfeld

Ab 1964 wurde mit einer breiten Züchtung oxidischer Kristalle (Rubin, Spinell u.a) im 11. Physikalisch-Technischen-Institut der DAW in Berlin begonnen. Erster Leiter war K.-Th. WILKE. Später gehörte diese Gruppe zum inzwischen gegründeten Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie der AdW (ZOS). Hier wurde auch eine Czochralski-Anlage vom Typ KC 70 gemeinsam mit dem ZWG, dem VEB Steremat Berlin und dem Kombinat VEB Carl Zeiss Jena entwickelt. Viele dieser Erfahrungen sind in das seit Januar 1992 gegründete Institut für Kristallzüchtung in Berlin eingeflossen und werden hier aktiv in einer Arbeitsgruppe für Oxidzüchtung fortgeführt.

Ein weiteres Zentrum für Grundlagenforschung entwickelte sich im Institut für Magnetische Werkstoffe der ADW in Jena, wo 1964 die Untersuchungen zur Züchtung von Spinellen, und 1971 von Granaten aus der Schmelzlösung begonnen wurden.

4. Zusammenfassung

Auf dem Gebiet der neuen Bundesländer wurde eine langjährige wissenschaftliche und praktische Arbeit auf dem Gebiet der Kristallzüchtung geleistet, die sich würdig in die Tätigkeit des vereinten Deutschlands einreicht.

Insbesondere die AG "Kristallisation" der VfK, gegründet vor 25 Jahren, stellte ein reges Obdach für die Förderung des wissenschaftlichen Erfahrungsaustausches und der Weiterbildung der Kristallzüchter dar. Viele ehemalige Spezialisten



Abb. 4: Erster Spatenstich für den Neubau des IKZ in Berlin-Adlershof am 15. 11. 1995 durch die Herren Bachelier (Bonn), Prof. Thies (Berlin), Knifka (WISTA) und Dr. Schröder (Direktor des IKZ)

dieser Arbeitsgruppe sind heute Mitglieder der DGKK, einer Gesellschaft, die einen hervorragenden Beitrag für eine gelungene Wiedervereinigung deutscher Forscher leistet.

Es ist besonders erfreulich, daß im 25. Jahr des Bestehens der DGKK, die langjährige VfK-Tradition einer Schule für Kristallzüchtung nun vom Institut für Kristallzüchtung Berlin unter Schirmherrschaft der DGKK für alle Züchter Deutschlands gemeinsam wiederbelebt und fortgeführt wird.

P. Rudolph, P. Reiche, W. Schröder (alle IKZ Berlin)

6. Übersichtsartikel

Lichtmikroskopie für die Kristallzüchtung – Kontrastverfahren und Spannungsoptik

Gert H. Klöß

Institut für Mineralogie, Kristallographie
und Materialwissenschaft der Universität Leipzig
Scharnhorststr. 20, D-04275 Leipzig¹

1. Einleitung
2. Historischer Abriß
3. Klassifizierung lichtmikroskopischer Methoden
4. Zur Frage des Auflösungsvermögens
5. Polarisationsmikroskopie und Spannungsoptik
6. Kontrastverfahren
 - 6.1. Phasenkontrast
 - 6.2. Dunkelfeld
 - 6.3. Differentieller Interferenzkontrast
7. Interferenzmikroskopie
8. Grenzen und Perspektiven der Lichtmikroskopie
9. Literatur

1. Einleitung

In seiner 400jährigen Geschichte hat sich das Lichtmikroskop einen festen Stamplatz in Wissenschaft und Technik erobert. Man wird wohl kaum ein Institut finden können, in dem Kristalle den Gegenstand der Forschung bilden und das gleichzeitig ohne Lichtmikroskope auskommt. Gleichwohl sind diese vielerorts als eher unscheinbare Routineinstrumente im Einsatz. Dessenungeachtet brachten die vergangenen fünfzehn Jahre gleich "mehrere Revolutionen" in der Mikroskopie /1/. Dazu zählen

- die Kopplung von Mikroskop und Computer;
- die allmähliche Ablösung der Dunkelkammer durch den hochauflösenden (Farb-)Drucker, sowohl bei Präsentation wie Archivierung und
- die rastersondenmikroskopischen Methoden.

Folgerichtig findet sich in der Fachliteratur ein ganzes Bündel neuer bzw. wiederentdeckter mikroskopischer Techniken. In der Vergangenheit war die Pflege bestimmter Mikroskopierverfahren zumeist bei einer wissenschaftlichen Teildisziplin aufgehoben. So z.B.:

Mineralogie	– Durchlicht-Polarisationsmikroskopie
Erzpetrographie	– Auflicht-Polarisationsmikroskopie
Metallographie	– Auflichtmikroskopie
Metrologie	– Interferometrie
Biologie/Medizin	– Phasenkontrast und Fluoreszenzmikroskopie
Technische Mechanik	– Spannungsoptik.

¹ Wesentliche Teile der hier vorgestellten eigenenen Ergebnisse sind während eines bislang zweijährigen Gastaufenthaltes am Kristallographischen Institut der Universität Freiburg entstanden.

Natürlich ist eine derart strenge Zuordnung nicht ohne Willkür vorzunehmen und sicher übertrieben. Sie weist jedoch auf das Problem hin, daß in zahlreichen Labors die Möglichkeiten der vorhandenen Lichtmikroskope in hohem Maße ungenutzt bleiben und unterschätzt werden. Zwar sind in knapp der Hälfte aller Originalarbeiten mit dem Schwerpunkt Kristallzüchtung, die in den letzten drei Jahrzehnten in Crystal Research and Technology erschienen, Mikrofotos Bestandteil der Publikation; bei genauerem Hinschauen kommen jedoch deutliche Monopole zum Vorschein. So sind lediglich 1/6 der Fotos im Durchlicht aufgenommen, 5/6 hingegen im Auflicht. Absolute Dominanz besitzen Übersichtsaufnahmen von Züchtungserfolgen, die mittels Stereomikroskop oder Makroskop im Hellfeld-Auflicht entstanden. Sie machen fast genau die Hälfte aus. Mit einem signifikanten Anteil von je ca. 10% können darüberhinaus allein DIK (differentieller Interferenzkontrast) und Ätzbilder als weit verbreitet angesehen werden. Zahlreiche erfolgversprechende Spezialtechniken erscheinen praktisch als bedeutungslos (z.B. Makyoh, Spindeltisch, Phasenkontrast). In anderen Fachperiodika (J. of Crystal Growth) ergibt die Recherche ganz ähnliche Ergebnisse. Dabei liegen die Vorteile der Lichtmikroskopie auf der Hand und gelten für alle Verfahren:

- (abgesehen von einer evtl. Politur) zerstörungsfreie und schnelle Untersuchung
- relativ geringe Gerätekosten, geringer Platz- und Energiebedarf
- leicht reproduzierbare, interpretations- wie präsentationsfreundliche Ergebnisse
- Anwendung auf mikroskopische bis makroskopische Proben volumina.

Mit den folgenden Zeilen sollen zwei meines Erachtens für die Charakterisierung künstlich hergestellter Kristalle wichtige Methoden vorgestellt werden: die polarisationsmikroskopische Spannungsoptik und die Gruppe der Kontrastverfahren. Die gewählten Beispiele konzentrieren sich auf Arbeiten an Element-, II-VI-, III-V- und I-III-VI₂-Halbleitern.

2. Historischer Abriss

Lange Zeit galt die maximal erreichbare Vergrößerung als das entscheidende Gütekriterium eines Lichtmikroskops. Mit einfachen Lupenmikroskopen erreichte A. van Leeuwenhoek ab 1673 270fache und J. Wilson ab 1702 400fache Vergrößerungen. Erst Ernst Abbe (1840 bis 1905) zeigte in seinen Arbeiten zur Theorie der Bildentstehung, daß die absolute Leistungsgrenze der mikroskopischen Abbildung nur von Objektivapertur und Lichtwellenlänge abhängt. Die resultierende Auflösungsgrenze von etwa 0,2 µm grenzt den Arbeitsbereich von Licht- und Elektronenmikroskopie ab. Mit ihrer Einführung bedrängten Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Rasterelektronenmikroskopie (SEM) folgerichtig die Dominanz der Lichtmikroskope. Hohe Tiefenschärfe, geringer Präparationsaufwand und die Möglichkeit auch kleiner Vergrößerungen ließen die SEM zur Routinemethode in der präparativen Kristallographie werden.

Erst in den letzten Jahrzehnten besann man sich wieder auf lichtoptische Kontrastverfahren, die Strukturen weit im submikroskopischen Bereich (< 0,2 µm) erkennbar und ausmeßbar (jedoch nicht abbildbar!) machen. H. Siedentopf und R. Zsigmondy entwickelten 1902 (!) in Jena die sogenannte Spaltultramikroskopie /2/, eine Variante des seitlichen Dunkel-felds, die Einschlüsse in Festkörpern mit einem Durchmesser von 3 nm sichtbar machen kann. Beide Entdecker wurden für deren Anwendung in der Kolloidchemie mit dem Chemie-Nobelpreis 1925 geehrt. Seit den achtziger Jahren ist dieses Verfahren den Kristallzüchtern als **LST** (light scattering tomography, mitunter auch laser scanning tomography) be-

kannt. Die zweite Gerätegruppe, die Strukturen im Nanometerbereich ausmessen läßt, ist die der Interferenzmikroskope. Bereits 1893 baute der Niederländer J.A. Sirks ein erstes solches Mikroskop. Lau und Krug /3/ gelang in den fünfziger Jahren mittels Äquidensitometrie die Ausmessung von Streifenauslenkungen $< \lambda/1000$ (Das entspricht im Auflicht einer Höhendifferenz von $< 2,8 \text{ \AA}$). Heute wird am häufigsten der differentielle Nomarski-Interferenzkontrast (**NDIC**) benutzt, um Wachstums- oder Ätzzustufen im Nanometerbereich abzubilden. Geht man auf die Geschichte der Kontrastmikroskopie ein, kommt man nicht umhin, die Phasenkontrastmikroskopie (**PCM**) /4/ zu erwähnen. Mit ihr ist der zweite Nobelpreis (F. Zernike, Nobelpreis für Physik 1953), der Arbeiten auf dem Gebiet der Lichtmikroskopie ehrt, verbunden. Zur Untersuchung von Gewebeproben längst Standard geworden, fand der Phasenkontrast erst vor zehn Jahren das Interesse der III-V-Bulkzüchter. Lokale Inhomogenitäten der Brechzahl im Bereich der Cottrell-Wolke ließen sich im nahen Infrarot (**NIR**) eindrucksvoll detektieren. Zu den eher kuriosen "Wiederentdeckungen" der zurückliegenden Dekade ist die "magic mirror method" (**MMM**) zu zählen, von japanischen Autoren auch Makyoh genannt. Seit 3500 Jahren in Ostasien im religiösen Gebrauch /5/, blieb ihre Eignung zur Inspektion der Ebenheit von Wafern lange verborgen.

Bereits 1834 baute H.F. Talbot das erste Polarisationsmikroskop. Damit war eine neue mikroskopische Arbeitsrichtung geboren, die in Mineralogie, Metallographie und Geologie wichtiges Diagnosemittel wurde. Noch im vergangenen Jahrhundert konnte der auf der Maxwell'schen Theorie basierende Formelapparat der Kristalloptik im wesentlichen erstellt werden (vgl. z.B. /6/). Für Kristallzüchter, die in der Regel wissen sollten, welche Substanz das Ziel ihres Versuchs ist, zielt die Anwendung der Polarisationsmikroskopie in eine etwas andere Richtung als bei den Mineralogen. Neben der Orientierungsbestimmung steht die Prüfung der Kristallperfektion (Zwillinge, Einphasigkeit, Versetzungen, chemische Homogenität) im Vordergrund. Obwohl die Methoden der Spannungsoptik lange bekannt waren (z.B. in /7-9/), wurde der Effekt der Spannungsdoppelbrechung erst Ende der 50er Jahre in der Halbleiterforschung angewendet. Zunächst gelang es, in Silicium Spannungsfelder einzelner Versetzungen quantitativ zu beschreiben /10, 11/. Dann wies 1959 Lederhandler /12/ weitreichende symmetrische Spannungsfelder in Czochralski-gezogenem Silicium nach und konnte diese auf thermische Gradienten oder Oberflächenbehandlungen zurückführen. Damit gewann die Mikroskopie im NIR praktische Relevanz, was die Produktion immer leistungsfähigerer Bildwandler nach sich zog.

Ständig sinkende Preise, im Verbund mit steigender Speicherkapazität und Pixelzahl, ermöglichen heute den direkten Anschluß des Computers an das Mikroskop auch am Routine- und Praktikumsmeßplatz. Die Aufnahme mikroskopischer Bilder auf Film wird in Zukunft eher die Ausnahme sein. In besonderem Maße wächst die Zahl der rasterelektronischen Verfahren. Nur vier Jahre vergingen, bis auf die Entwicklung des Raster-Tunnel-Mikroskops (**STM**) im Jahre 1980 die des Optischen Raster-Nahfeld-Mikroskops (**SNOM**) folgte /13, 14/. Durch den Verzicht auf Linsen und Blenden im Strahlengang sind im optischen Nahfeld laterale Auflösungen weit unterhalb der Wellenlänge des benutzten Lichts ($< \lambda/20$) möglich, da Beugungsscheibchen nicht begrenzend wirken. Auf den Übersichtsartikel in /15/ sei hingewiesen.

Dieser Überblick zur Geschichte spezieller lichtmikroskopischer Verfahren erhebt keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit. Es sollte lediglich gezeigt werden, daß gerade die materialwissenschaftliche Forschung in der jüngeren Vergangenheit von der zunehmenden methodischen Breite der

Lichtmikroskopie profitierte. Dies ist häufiger als in anderen experimentellen Gebieten mit einem Rückgriff auf klassische Arbeiten verbunden, deren Kombination mit der computergestützten Bildanalyse neue Bildwelten eröffnet.

3. Klassifizierung lichtmikroskopischer Verfahren

Überraschenderweise sucht man in gängigen Standardwerken (z.B. /16, 17/) vergebens nach einer Definition des Begriffs Mikroskopie. Die Royal Microscopical Society /18/ bezeichnet ein Mikroskop als ein Instrument, mit dem Details sichtbar gemacht werden, die dem bloßen Auge verborgen bleiben. Nach dieser Definition sind alle Verfahren, die Eigenschaften eines Objektes mit einer Ortsauflösung < 0,1 mm bildhaft darstellen, Mikroskopie. Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß der Begriff Mikroskopie näher bestimmt werden. Meist geschieht das durch die Verwendung von Präfixen, die die benutzte "Strahlung" näher bezeichnen (Röntgen-, Elektronen-, Akusto-, ...M.). Lichtmikroskopie ist in der Regel an die Verwendung von Linsen gebunden, die nur im Spektralbereich von 125 bis 2500 nm transparent sind. Der notwendige Gang ins Vakuum bei λ < 185 nm bzw. die störende Wärmestrahlung im Infraroten setzen ebenfalls Grenzen. Drei Arbeitsbereiche sind zu unterscheiden:

- Ultraviolettmikroskopie (UV-LM): 185 - 400 nm
- Mikroskopie im sichtbaren Licht (VIS-LM): 400 - 700 nm
- Mikroskopie im nahen Infrarot (NIR-LM): 700 - 2000 nm.

Da zahlreiche Halbleiter aufgrund ihres Bandabstandes erst im NIR transparent sind (u.a. Si, CdTe, InP, GaAs, CuInSe₂) hat die letzte Gruppe großes Gewicht bekommen. Zur Übersicht seien /19, 20/ empfohlen.

Die in der Mineralogie klassische Unterteilung in Auflicht- und Durchlichtmikroskopie ist hinsichtlich der Erklärung der Bildkontraste eher unwesentlich; bei der Probenpräparation sind die Unterschiede deutlich (Dünnschliff ↔ Anschliff). In den meisten Nachschlagewerken werden die lichtmikroskopischen Methoden nach der Kontrastursache gegliedert. Die einfachste Variante ist dabei die Hellfeldmikroskopie, deren Bilder nur durch Absorption in bzw. Reflexion an der Probe entstehen. Diese sowie die abtastenden Verfahren (Laser-Scan-Mikroskopie, Nanosondenmikroskopie), Fluoreszenzmikroskopie und Mikrologographie sollen nicht Gegenstand der vorliegenden Übersicht sein.

4. Zur Frage des Auflösungsvermögens

Nach der Abbe'schen Beugungstheorie ist die Auflösung eines Mikroskops durch den Radius des Beugungsscheibchens (Rayleigh-Kriterium) gegeben:

$$r = \frac{1,22 \lambda}{2 A} \tag{1}$$

wobei λ die Lichtwellenlänge und A die numerische Apertur sind.

Tabelle 1: Laterales Auflösungsvermögen typischer Grenzfälle

Mikroskopierparameter	Vakuumwellenlänge λ in µm	Numerische Apertur A	Auflösung in µm
UV, Immersion, Obj. 100x	0,20	1,40	0,09
VIS (violett), Imm., 100x	0,40	1,40	0,17
VIS (Schwerpunkt), Imm., 100x	0,55	1,40	0,24
VIS (Schwerpunkt), trocken, 100x	0,55	0,95	0,35
NIR (GaAs, CdTe), Imm., 100x	0,90	1,40	0,39
NIR (Si), trocken, 50x	1,40	0,60	1,42
VIS-Stereomikroskop, 5x	0,55	0,10	3,36
NIR-Makroskop, 3,2x	0,90	0,06	9,15
menschliches Auge	0,55	-	72,5

Wie Tabelle 1 zeigt, variiert das Auflösungsvermögen eines Lichtmikroskops je nach Wahl des Spektralbereichs, der numerischen Apertur A und der Immersion um den Faktor 100. Den in Zeile 3 angegebenen Wert von 0,24 µm wird man häufig in Mikroskopierbüchern finden, da er sich auf den Normalfall (weißes Licht) bezieht. Die Benutzung von Immersionsmitteln steigert das Auflösungsvermögen um das 1,5fache. Übersichtsaufnahmen mittels Stereomikroskop bzw. Makroskop, eine der für Kristallzüchter relevantesten Anliegen (s. Kap. 1), werden bei sehr kleinen numerischen Aperturen aufgenommen. Folglich können Strukturen kleiner 3 µm nicht getrennt werden.

Um dennoch Strukturen mit Ausdehnungen unterhalb der in Tab. 1 angegebenen wahrnehmen zu können, bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Die Erkennbarkeitsgrenze (zum Begriff s. /17/) kleiner Objekte liegt u. U. wesentlich unterhalb der Auflösungsgrenze. So ist z.B. die Erkennbarkeit einer hellen Linie auf dunklem Grund unabhängig von deren Breite und hängt allein von der Leuchtdichte ab. Dies wird in der Dunkelfeldmikroskopie (u.a. LST) genutzt. In /17/ sind einige Erkennbarkeitsbeziehungen abgeleitet. Ein Nachteil ist jedoch, daß die Strukturen objektunähnlich "abgebildet" werden. Nur mit großem Aufwand kann man aus der Helligkeit auf die Größe und aus der räumlichen Verteilung des Lichtflecks auf die Geometrie des Teilchens rückschließen.
2. Elektronische Nachbearbeitung der über TV-Adapter aufgenommenen Bilder, z.B. durch Abzug des diffusen Streuuntergrundes (AVEC-DIC /21/, Nachweis von 25-nm-Mikrotubuli) oder durch Filterung der Fouriertransformierten und Rücktransformation (wie in der hochauflösenden TEM üblich). Auch bei diesen Verfahren müssen die Bilder mit Vorsicht interpretiert werden, da nicht mit Objektähnlichkeit gerechnet werden kann.
3. In der Interferenzmikroskopie können Gangunterschiede hochpräzise gemessen werden, vertikale Strukturen sind nahezu atomar auflösbar.
4. Unterschreiten der Auflösungsgrenze durch Nutzung des optischen Nahfeldeffektes (SNOM) .

Alles Mühen um die Darstellung kleinster Objektdetails bleibt unbelohnt, wenn bei der Bildaufnahme, -archivierung und -präsentation Information und Auflösung verlorengehen. Setzt man die Fläche eines Bildpunkts mit $A_p = 0,5 \sqrt{3} x r^2$ (Sechseckparkettierung) und den Durchmesser des Objektfeldes mit $d = F / (V_{Obj} \times V_{Tubus})$ /16/ an, dann beträgt die Zahl der im Lichtmikroskop aufgelösten Bildpunkte

$$N_p = \frac{A_F}{A_p} = 2,44 \left(\frac{A F}{\lambda V_{Obj} V_{Tubus}} \right)^2 \tag{2}$$

mit A_F -Objektfeldfläche, V_{Obj} -Objektivvergrößerung, V_{Tubus} -Tubusfaktor, A-numerische Apertur und F-Okularfeldzahl. Für Großfeldokulare (ab F=25 mm) schwankt N_p zwischen $1,8 \times 10^6$ ($V_{Obj}=3,2$) und $1,0 \times 10^6$ ($V_{Obj}=100$). Bei elektronischer Archivierung beträgt der Speicherbedarf für ein Pixel je nach Bildart 1 Byte (Graubild) bis 3 Byte (24-Bit-Farbtiefe, 16 Millionen Farben). Da meist nur Rechteckausschnitte des Bildfeldes mit ca. 0,5 A_F aufgenommen werden, entstehen Datenfiles zwischen 0,5 und 2,7 MByte. Die Möglichkeiten moderner Computerperipherie genügen diesen Ansprüchen bereits in vielen Fällen oder übersteigen diese sogar. Abb. 1 entstand, indem eine KOH-geätzte 2"-GaAs-Scheibe direkt auf einen Flachbettscanner gelegt wurde. Bei der gewählten Auflösung von 1500 dpi wuchs das Datenfile auf 10 MByte; der Informationsgehalt des Bildes übersteigt den einer entsprechenden Aufnahme im Stereomikroskop um eine Größenordnung. Erst eine Nachvergrößerung auf das Format

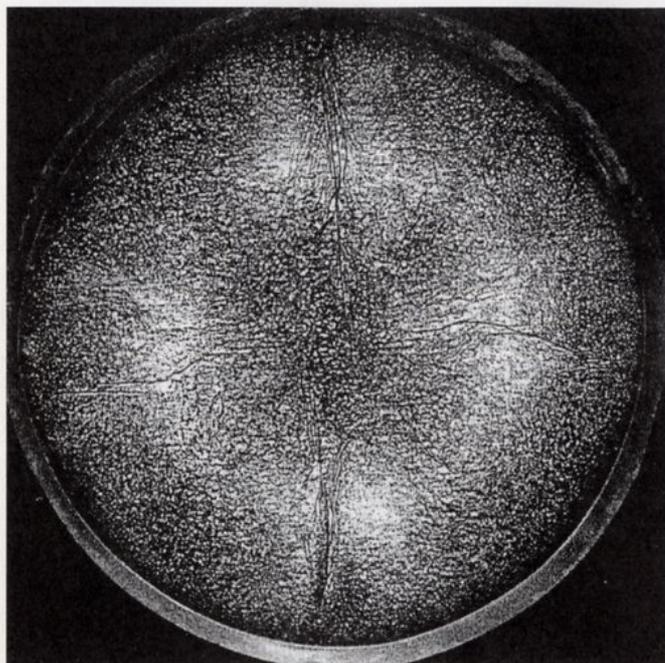


Abb. 1: Dunkelfeldnegativ einer KOH-geätzten 2"- (001)-GaAs:Te-Scheibe. Die Aufnahme entstand ohne Mikroskop durch Auflegen der Probe auf den Scanner. Man erkennt deutlich das "W-Profil" der Ätzgrubenverteilung, versetzungsarme Bereiche zwischen Rand und Probenmitte sowie die linienförmigen Kontraste entlang <110>.

30 cm x 30 cm bringt alle Details zum Vorschein, da dann die Auflösung des Auges (ca. 250 dpi) erreicht wird. Letztere stellt auch das nötige Maß für die Druckerausgabe dar. Wäre die Vorlage formatfüllend (DIN A4) gewesen, entstünde ein Graubild-File mit 216 MByte! Eine Alternative zur Speicherung auf 1,44-MByte-Disketten wird unumgänglich.

Bei der Bildaufnahme verschenken CCD-Kameras mit 512 x 512 Pixeln Information ($N_p=0,26 \times 10^6$); solche mit 2700 x 3600 Pixeln (zu haben für < 10 TDM) sind optimal auf die Ausgabe auf A4-Format zugeschnitten. Um die verschiedenen Wiedergabemedien vergleichen zu können, sei die folgende Relation gegeben /22/:

$$2 \text{ Pixel} = 1 \text{ optische Linie} = 2\sqrt{2} \text{ TV-Linien} \quad (3)$$

Dabei wird berücksichtigt, daß 2 dunkle Linien nur separat wahrgenommen werden können, wenn sie durch einen entsprechenden hellen Zwischenraum getrennt sind. Farbdiafilme lösen leicht 40 Linien pro Millimeter (1pmm) auf, dem entsprechen im Kleinbildformat horizontal 1440 und vertikal 960 Linien bzw. eine Bildpunktzahl von $N_p=6,4 \times 10^6$. SW-Hochkontrastfilme erreichen bis zu 1000 1pmm. Monitore und Vidikons sollten nach /22/ 1500 TV-Zeilen haben, um die nach Gleichung (2) bestimmte Mikroskopleistung in allen Fällen verlustfrei abzubilden.

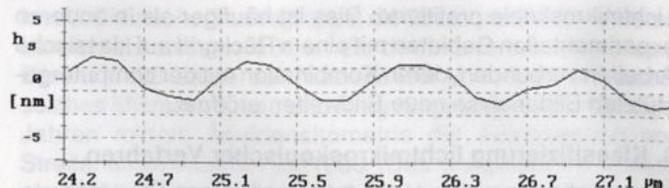
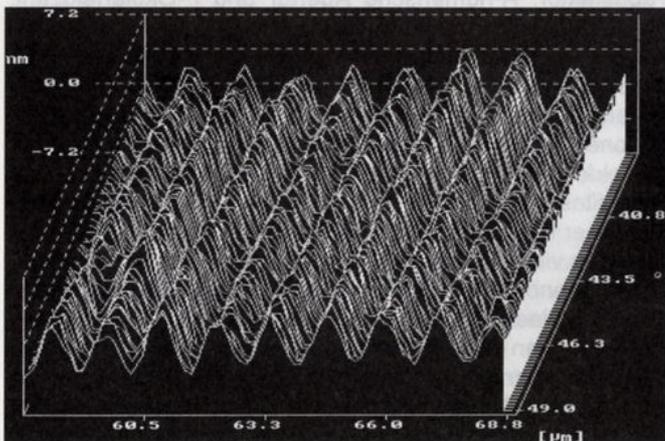


Abb. 2: Nanoätzstrukturen an Rotationsstreifen in $\mu\text{g-InP:S}$ (Züchtung und Präparation s. Danilewsky & Benz /58/): a) Interferenzmikroskopisches Oberflächentopogramm (Objektiv 100x, Ölimmersion, ZEISS-System Jenamap); b) Ätzprofil aus a) entlang [111]. Die peak-to-valley-Abstände können sowohl lateral ($0,4 \mu\text{m}$) als auch vertikal ($< 4 \text{ nm}$) reproduzierbar ausgemessen werden. AFM-Messungen bestätigen die Werte.

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel, bei dem mittels Shearing-Interferenzmikroskopie an einer Probe Strukturen, die lateral wie vertikal der Auflösungsgrenze der Lichtmikroskopie nahekommen, sichtbar gemacht werden.

5. Polarisationsmikroskopie und Spannungsoptik

Alle nichtkubischen Kristalle besitzen eine natürliche Doppelbrechung, d.h. sie sind optisch anisotrop. Das optische Hauptachsensystem der Indikatrix ist auf typische Weise mit der Kristallklasse verknüpft. In der Mineralogie nutzt man das zur Phasenanalyse und Kristallorientierung. Abb. 3 zeigt die An-

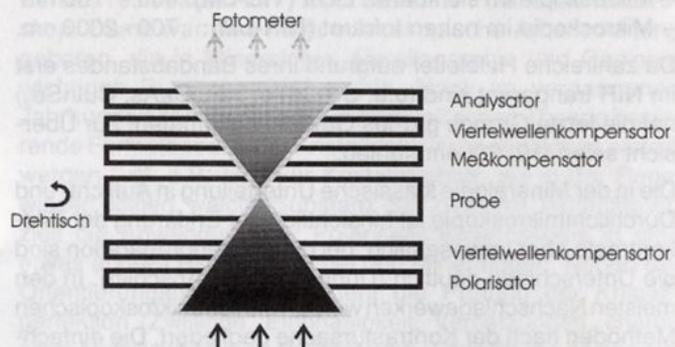


Abb. 3: Schema eines spannungsoptischen Meßplatzes.

ordnung der für einen polarisationsmikroskopischen Meßplatz wesentlichen Bauteile. Die wichtigste Formel der Kristalloptik gilt für den Fall senkrecht zueinander stehender Schwingungsrichtungen der beiden Polarisatoren. Sie gibt nach Fresnel die resultierende, den Analysator verlassende Lichtintensität an:

$$I_{\perp} = I_0 \sin^2 2\psi \sin^2 \pi \frac{\Gamma}{\lambda} \quad (4)$$

Zwei Variable bestimmen die Intensität I_{\perp} : das Azimut ψ der Kristallplatte zu den Polarisatoren und der Gangunterschied $\Gamma = \Delta d = d (n_z' - n_x')$. Dabei sind d die Plattendicke, Δ die Doppelbrechung und $(n_z' - n_x')$ die maximale Brechzahldifferenz im Kristallschnitt. Eine häufige Fragestellung, die schnelle Orientierung eines gewachsenen Kristalls, um ihn gezielt präparieren zu können, läßt sich mit Hilfe der Sinusterme in (4) auf elegante Weise lösen.

Man sucht Auslöschungsstellungen. Im Anwendungsbeispiel von Abb. 4 wird ausgenutzt, daß Zwilling und Matrix in AgGaS_2 durch {112}-Grenzflächen voneinander getrennt sind. Ein Spindeltisch gestattet die Verkipfung der Kristallplatte gegen die Mikroskopachse bis eine Zwillingsachse in der Bildebene liegt. Das Vorgehen erfolgt analog zu den Universal-drehtischmethoden /23/.

Kubische Kristalle und Gläser sind optisch isotrop (einfachbrechend), der zweite Sinusterm in (4) ist Null. Kristallbaufehler erzeugen jedoch praktisch in allen Fällen mechanische Spannungen. Die damit verbundene Verzerrung führt zu optischer Anisotropie, man beobachtet Spannungsdoppelbre-

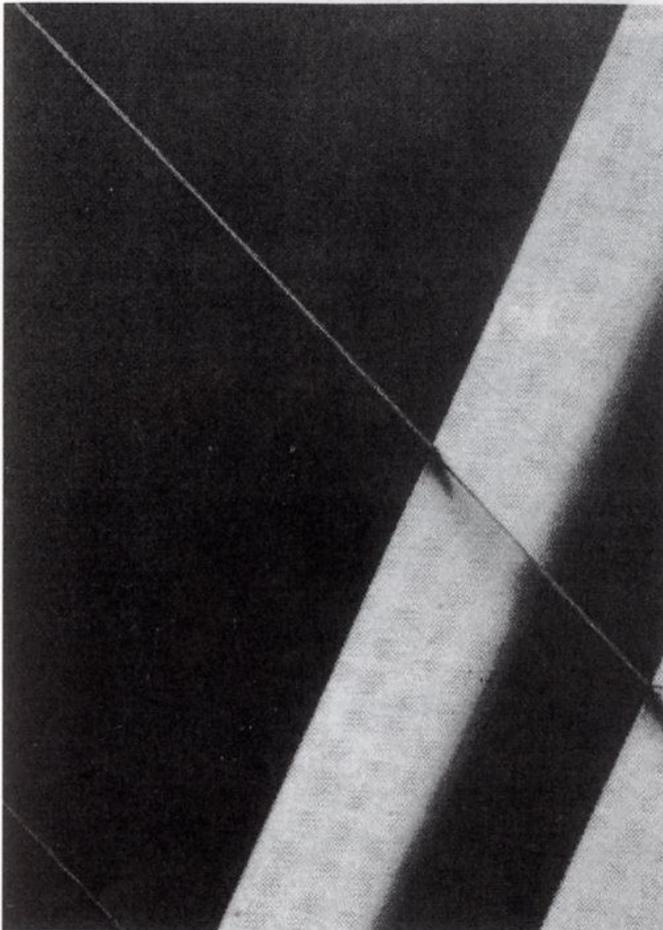


Abb. 4: Parallelverzwillingungen in AgGaS₂ nach {112} (Züchtung und Präparation s. Treser & Krämer /68/): Am Spindeltisch wurde der Kristall orientiert. Die beiden Zwillinge mit Normale senkrecht zur Bildebene haben einen Abstand von 2 mm. Die Matrix ist in Auslöschungstellung.

chung. Der Gangunterschied wird von der Hauptspannungsdifferenz $\Delta\sigma$ und den piezooptischen Konstanten (in isotroper Näherung $\Pi_{11}-\Pi_{12}$) bestimmt:

$$\Gamma = d \frac{n^3}{2} \Delta\sigma (\Pi_{11} - \Pi_{12}) \quad (5)$$

Anders als bei homogenen Einkristalldünnschliffen ist dann die Lage und Form der Indikatrix ortsabhängig. Seit langem wird das zum Nachweis von Einzelversetzungen in Halbleiterkristallen genutzt /10, 11, 24/. Besonders bei senkrecht ausstoßender Versetzungslinie \vec{s} gelingt anhand der typischen Rosettenkontraste des lokalen Spannungsfeldes die Bestimmung des Burgers-Vektors /25-29/. Wesentlich schwächere Kontraste liefern Versetzungen mit \vec{s} senkrecht zur Mikroskopachse /30-33/. Jedoch zeigen bei weitem nicht alle Versetzungen hinreichenden Bildkontrast (z.B. Schraubenversetzungen). Wichtige Voraussetzung für die Abbildbarkeit ist eine geeignete Überlagerung mit Untergrundspannungen und Dekorationsfeldern /34, 35/. Kräftige Kontraste liefern einzelne Gleitbänder /32/, vor allem aber Fehlpassungsnetzwerke in Epitaxieschichten /36, 37/.

Eine zweite wichtige Anwendung der Spannungsoptik ist die quantitative Bestimmung im Kristall eingefrorener weitreichender Spannungsfelder. Auslöschungen durch Nullstellen des ersten Sinustermes in (4) führen zu Isoklinen, den Orten gleicher Hauptspannungsrichtung. Die Orte mit gleicher Hauptspannungsdifferenz $\Delta\sigma$ nennt man Isochromaten. Entlang einer Isochromate ist der zweite Sinusterm in (4) konstant. Um beide Linienscharen trennen zu können, werden durch zwei $\lambda/4$ -Kompensatoren (Abb. 3, s. /7-9/) die Isoklinen unterdrückt. Ziel der Bildauswertung ist es, für jeden Bildpunkt den

Indikatrixschnitt auszumessen. Das ist ein sehr mühsames Unterfangen. Punkt für Punkt muß zunächst die Richtung der Indikatrixlängsachse und anschließend mittels Meßkompensator $\Delta\sigma$ bestimmt werden. Für hinreichend kleine

$$\Delta\sigma \leq \frac{\lambda}{d n^3 (\Pi_{11} - \Pi_{12})} \quad (6)$$

was bei Halbleiterscheiben in der Regel gilt, vereinfacht sich die Prozedur nach /38/ erheblich. Es genügt, mittels Bildverarbeitungssystem eine mittlere Intensität

$$\langle I^* \rangle = I_0 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sin^2(2\Psi_j) \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} d \frac{n^3}{2} \Delta\sigma (\Pi_{11} - \Pi_{12})\right); \Psi = \frac{j}{m} \cdot \frac{\pi}{2} + \Psi_0 \quad (7)$$

durch pixelgetreue Superposition von m Teilbildern zu ermitteln. Man erhält in einem Schritt ein Mapping der Größe der Hauptspannungsdifferenzen des gesamten Bildfeldes. Wegen

$$\Delta\sigma \propto \arcsin \sqrt{\frac{2\langle I^* \rangle}{I_0}} \quad (8)$$

muß lediglich eine Eichung der Intensität bzgl. der Grauwerte vorgenommen werden. Die Anordnung nach Abb. 5 vereinfacht sich erheblich, $\lambda/4$ - und Meßkompensatoren sind unnötig.

In der Literatur findet man zahlreiche spannungsoptische Abbildungen von Kristallschnitten quer zur Wachstumsrichtung (u.a. Si /12, 39/, GaP /40, 41/). Die eingefrorenen Spannungsfelder spiegeln in der Regel die Symmetrie der Züchtungsrichtung wieder (z.B. 3, 4). Abweichungen davon weisen auf asymmetrische Temperaturfelder hin. Der Betrag dieser Restspannungen wird stark vom Zeitregime der Züchtung beeinflusst. Restspannungsfelder in Kristalllängsschnitten werden unverständlicherweise seltener vermessen. Sie sind weniger symmetrisch, liefern aber dennoch ein besseres Abbild des Gelingens (oder Mißlingens) im zeitlichen Ablauf eines Züchtungsversuchs (Si /12/, GaP /42/, CdTe /38/).

6. Kontrastverfahren

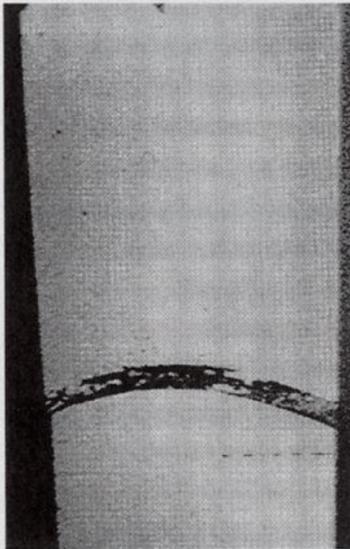
Zahlreiche Kristallbaufehler bleiben im Hellfeld unsichtbar, weil sie keine wahrnehmbaren Intensitätsunterschiede hervorrufen. Kontrastverfahren bewirken eine Erhöhung der Differenz zwischen der Lichtintensität des Objekts und der des Umfeldes. Die Kontraststeigerung kann auf ganz verschiedene Weise erzeugt werden. Die wichtigsten Methoden sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

6.1. Phasenkontrast

Phasenobjekte, d.h. solche die nur die Phase, aber nicht die Amplitude des Lichts verändern, erscheinen dem menschlichen Auge unsichtbar. Brechzahlgradienten sind jedoch eine durchaus häufige Folge einer Störung des perfekten Kristalls. Man muß deshalb den Trick der Phasenkontrastmikroskopie, die Umwandlung von Phasen- in Amplitudendifferenzen, anwenden, um derartige Objektstrukturen sichtbar zu machen. Abb. 6 gibt das Prinzip des Verfahrens schematisch wieder. Im NIR fand die Phasenkontrastmikroskopie (PCM) erst spät Anerkennung /43, 44/. Sonnenberg und Altmann /20/ diskutieren an GaAs ausführlich die Möglichkeit, lokale isotrope Änderungen der Brechzahl mit der Konzentration freier Ladungsträger zu korrelieren. In Abb. 7 ist ein Versetzungsnetzwerk mittels PCM abgebildet. Interessanterweise besitzen nur die as-grown Versetzungen ausreichend Kontrast, während die durch plastische Deformation entstandenen unsichtbar bleiben. Nachteil der PCM ist, daß im Gegensatz zur Interferenzmikroskopie die Phasendifferenzen nur abgeschätzt, nicht aber gemessen werden können.

Eine andere Variante, um Brechzahlchwankungen nachzuweisen, ist die bewußte Defokussierung im Durchlicht-Hell-

IR- Hellfeld



3 mm

Gasphasenkristall

Phasengrenze

Bridgmankeim

gekreuzte Nicols

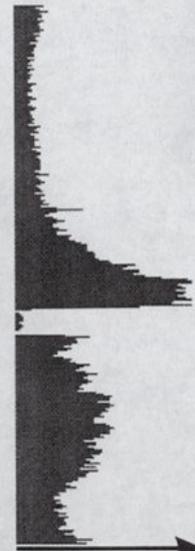
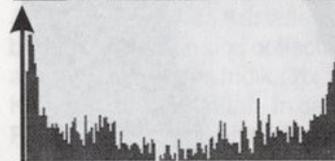
< I⁺ >< I⁺ >

Abb. 5: Gegenüberstellung von NIR-Durchlichtaufnahmen eines CdTe-Längsschnittes (nach /38/). Die höhere Aussagekraft der durch Superposition von 6 Teilbildern ($\Delta\psi$ je 15°) entstandenen spannungsoptischen Aufnahme (rechts) ist offensichtlich.

**ENGELHARD-CLAL**

Für die Einkristallzüchtung:
Tiegel aus Platinwerkstoffen,
Iridiumtiegel verschiedenster Abmessungen
und aus Elektro-Forming nahtlos

Temperaturmesstechnik:
Thermodrähte/Elemente für Hochtemperatur,
Mantelthermoelemente, Messwiderstände

Laborgeräte aus Platinlegierungen:
in Standardabmessungen und nach
Kundenspezifikation,
Platingeräte für die RFA

Edelmetallhalbzeuge:
Bleche, Bänder, Rohre, Draht.
Sonderlegierungen,
Platin Feinkornwerkstoffe

ENGELHARD-CLAL

Engelhard-CLAL Deutschland GmbH
Lise-Meitner-Straße 7, 63303 Dreieich
Tel. (06103) 9345-0, Fax (06103) 34787

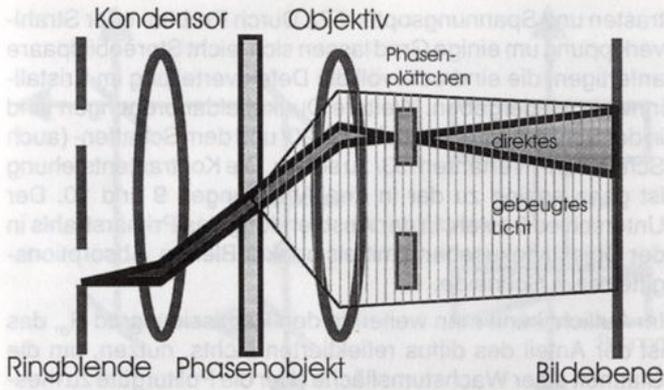


Abb. 6: Prinzipskizze des Phasenkontrastverfahrens nach Zernike /4/.

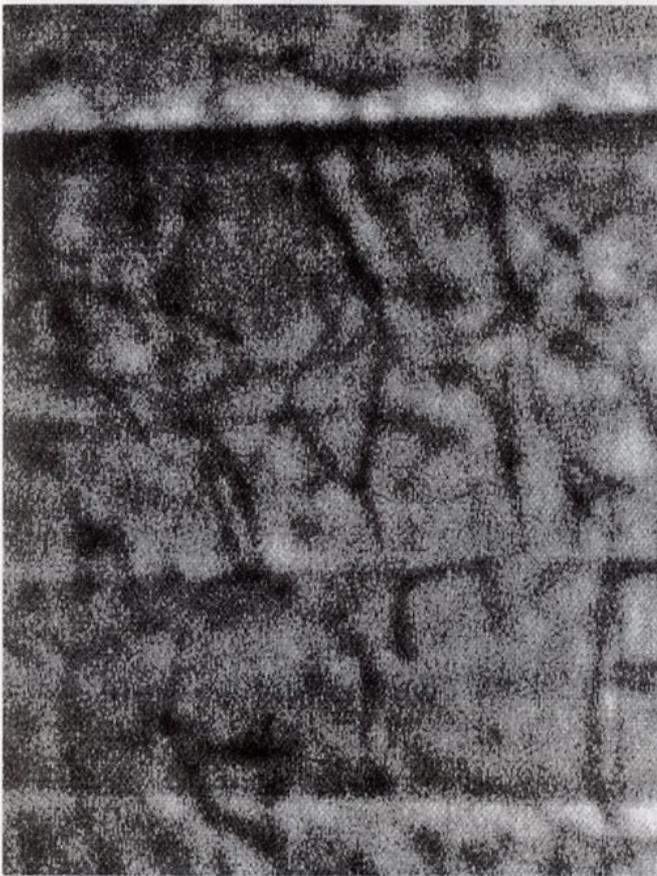


Abb. 7: GaAs:Te-Versetzungsnetzwerk im positiven Phasenkontrast (Bildbreite: 600 μm) einer bei 450 °C mittels Vierpunktbiegung plastisch deformierten Probe. Der dunkle Kontrast auf hellem Grund ist ein Maß für die im Vergleich zur Matrix höhere Brechzahl im Inneren der "Cottrell-Wolke" der asgrow-Versetzungen. Die senkrechten hell-dunkel bzw. dunkel-hellen Linienkontraste zeigen deformationsinduzierte (111)- und (111)-Gleitstufen.

feld (s. auch /20/). Die Auslöschung der Versetzung in Abbildung 8b beweist das Vorliegen reinen Phasenkontrasts im Diffusionsschlauch um die Versetzung. Absorption durch Fremdatome ist nicht nachweisbar. Versetzungen, die schräg zur Oberfläche liegen, wechseln ihren Kontrast von hell-dunkel-hell zu dunkel-hell-dunkel. Abbildung 9 erklärt die Kontrastentstehung. Das Auflichtanalogon zu dieser Technik ist das Makyoh-Verfahren (Abb. 10). Damit gelingt es, ganze Scheiben beliebigen Durchmessers zu inspizieren. Insbesondere die Poliergüte als auch kleinste Durchbiegungen (Nanometer-Höhendifferenz auf Zentimeter-Länge) sind Untersuchungsgegenstand /45/.

6.2. Dunkelfeld

In der Dunkelfeldmikroskopie sorgt man durch geeignete Strahlführung dafür, daß das direkte Licht nicht zur Bildent-

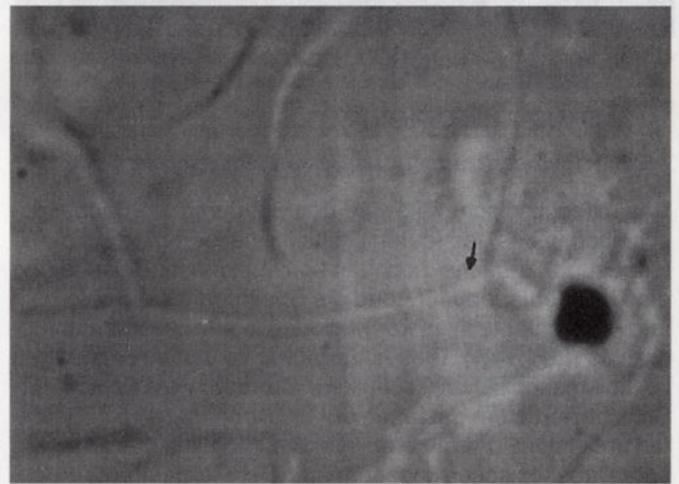
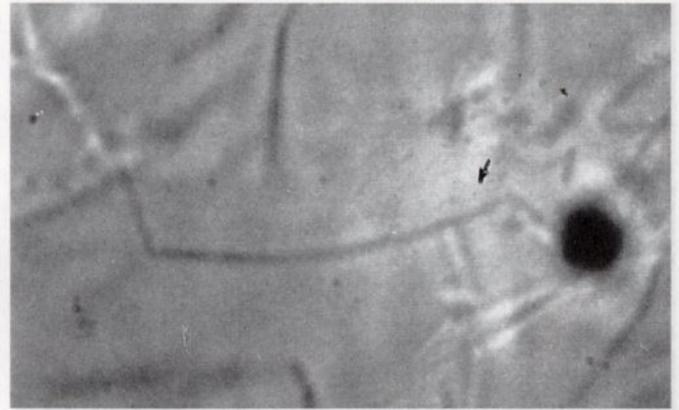


Abb. 8: Versetzungskontrastierung in GaAs:Te durch Defokussieren im NIR-Hellfeld (Bildbreite: 150 μm): b) markierte Versetzung im Fokus; a) um 14 μm vom Objektiv weg fokussiert; c) um 14 μm zum Objektiv hin fokussiert.

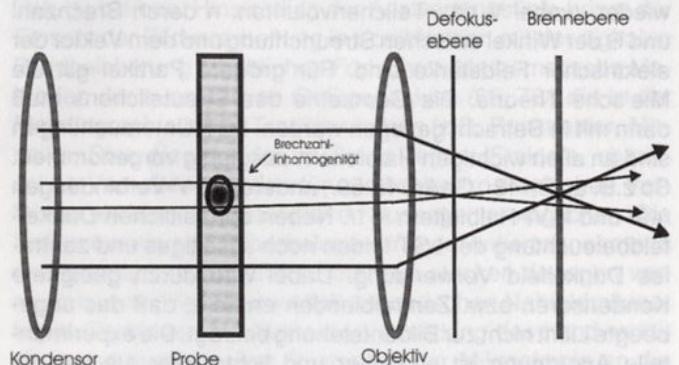


Abb. 9: Abbildung von Brechzahl-inhomogenitäten im Defokus (schematisch).

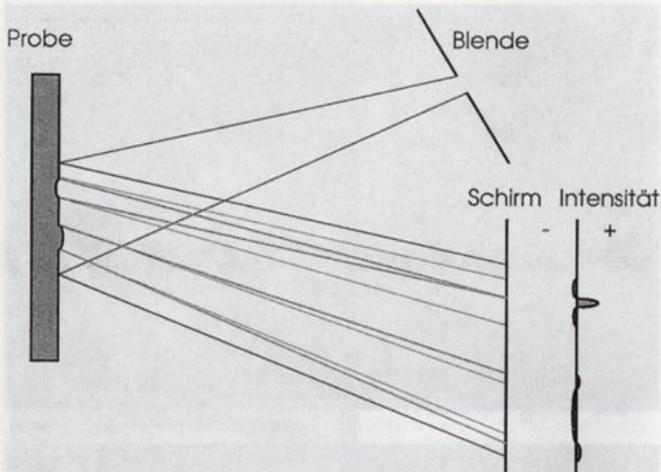


Abb. 10: Prinzipskizze zum Makyoh-(MMM-) Verfahren

stehung beiträgt. Klassische Anordnungen sind das schräge Auflicht aus der Anfangszeit der Lichtmikroskopie und die Spaltultramikroskopie (s. Abschnitt 2; Prinzipskizze in Abb. 11).

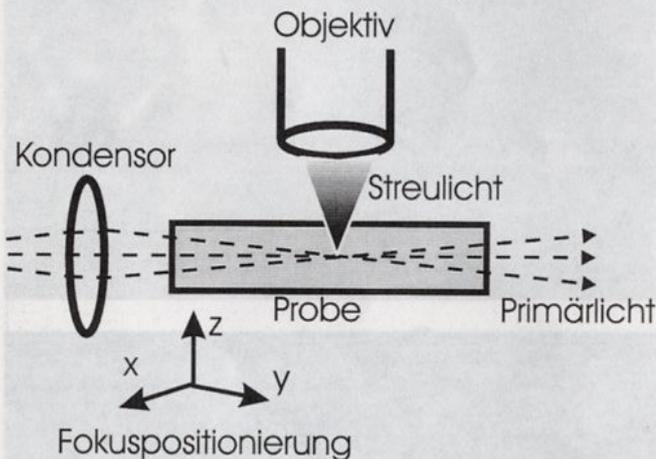


Abb. 11: Prinzipskizze zur Spaltultramikroskopie (heute: LST).

Das mikroskopische Bild wird geprägt durch die Beugungsscheibchen des gestreuten Lichts als helle Punkte auf dunklem Grund. Zunächst noch mit konventioneller Beleuchtung am GaP betrieben /46/, fand die Spaltultramikroskopie bald ihre konsequente Weiterentwicklung in der Laserstreutomographie (LST, /47/). Dieses Verfahren ist eines von wenigen lichtmikroskopischen Techniken, daß durch ein Schicht-für-Schicht-Abrastern gestattet, die Ortskoordinaten von Defekten dreidimensional zu erfassen. Die Intensität des an einem submikroskopischen kugelförmigen Partikel gestreuten Lichtes I_{sc} gibt die Rayleigh'sche Theorie mit

$$I_{sc}(\theta) \propto \frac{1}{\lambda^4} V^2 \sin^2 \theta \left[3 \frac{\pi}{4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right) \right]^2 \quad (9)$$

wieder, wobei V das Teilchenvolumen, n deren Brechzahl und θ der Winkel zwischen Streurichtung und dem Vektor der elektrischer Feldstärke sind. Für größere Partikel gilt die Mie'sche Theorie. Die Geometrie des Streuteilchens muß dann mit in Betracht gezogen werden. LST-Untersuchungen sind an allen wichtigen Halbleitern ausgiebig vorgenommen. So z.B. an Si /48/, GaAs /48-50/, anderen III-V-Verbindungen /49/ und II-VI-Halbleitern /51/. Neben der seitlichen Dunkel-feldbeleuchtung der LST finden noch allseitiges und zentrales Dunkel-feld Verwendung. Dabei wird durch geeignete Kondensoren bzw. Zentralblenden erreicht, daß das ungebeugte Licht nicht zur Bildentstehung beiträgt. Die experimentelle Anordnung ist einfacher und lichtstärker als bei der Laserstreutomographie. Sie gestattet den unmittelbaren, bild-ausschnittgetreuen Vergleich mit Hellfeld-Absorptionskon-

trasten und Spannungsoptik /52/. Durch Proben- oder Strahl-Verkippung um einige Grad lassen sich leicht Stereobildpaare anfertigen, die eindrucksvoll die Defektverteilung im Kristallinneren wiedergeben. Weitere Dunkel-feldanordnungen sind in der Schlierenmikroskopie /17, 20/ und dem Schatten- (auch Schneiden-) Verfahren /53/ zu sehen. Die Kontrastentstehung ist ganz analog zu der in den Abbildungen 9 und 10. Der Unterschied besteht in der Ausblendung des Primärstrahls in der Objektivfokusebene mittels opaker Blende, Absorptionsgitter bzw. Schneide.

Im Auflicht kann man weiterhin den Remissionsgrad R_d , das ist der Anteil des diffus reflektierten Lichts, nutzen, um die Glattheit einer Wachstumsfläche oder die Politurgüte zu messen. An versetzungsgeätzten Oberflächen läßt sich eine einfache Proportionalität zwischen R_d und der Ätzgrubendichte δ_{EPD} angeben /54/. Ähnlich ist Abbildung 12 zu interpretieren.

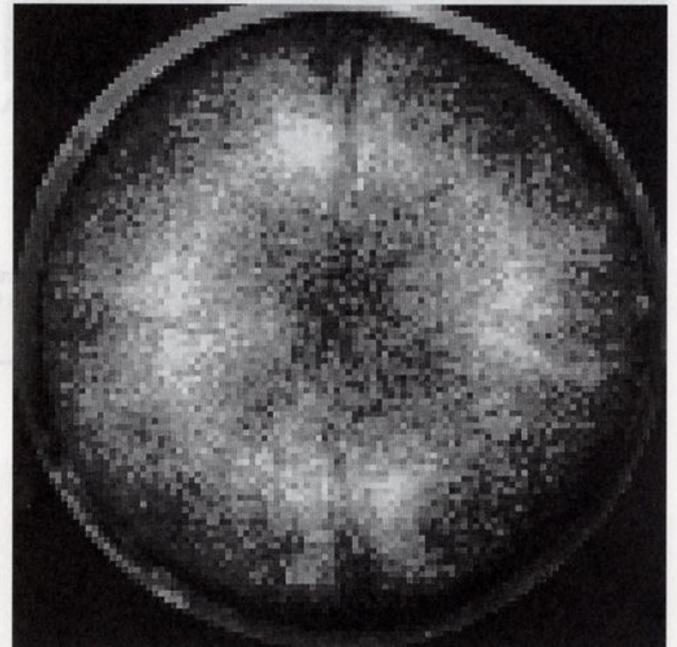


Abb. 12: Mapping der Versetzungsdichte (EPD) auf (001)-GaAs durch 30-Pixel-Mosaikfilterung von Abb. 1.

Die Ausleuchtung des zugrundeliegenden Scannerbildes (Abb. 1) entspricht schrägem Auflicht, der ältesten Dunkel-feldvariante. Allein durch die Anwendung eines n^2 -Pixel-Mosaikfilters, der die Intensität von n^2 -Pixeln mittelt, gelingt ein Mapping der lokalen Versetzungsdichte. Die Grauwerte müssen lediglich gegen δ_{EPD} geeicht werden.

Ist eine Oberfläche strukturiert, so können die geeigneten Flächen (Vizinalflächen, Lösungsformen, Gleitstufen) mittels lichtoptischer Reflexionsdiffraktometrie kristallographisch indiziert werden. Die experimentelle Anordnung entspricht der Laue-Rückstrahlgeometrie aus der Röntgenbeugung und ist im Prinzip ebenfalls eine Dunkel-feldmethode.

6.3. Differentieller Interferenzkontrast

Die Anzahl der Interferometertypen und der daraus abgeleiteten Mikroskopvarianten ist sehr groß. Die wesentlichen Besonderheiten sind in /55, 16, 17/ detaillierter beschrieben. Man kann zwei Gruppen unterscheiden: Interferometeranordnungen mit bzw. ohne Beeinflussung des Referenzstrahls durch das Objekt (Abb. 13). Für die meisten Anwender ist ein Spezialfall der zweiten Gruppe am interessantesten, der differentielle Interferenzkontrast nach Nomarski (NDIC). Dabei entspricht die laterale Aufspaltung der beiden Teilstrahlengänge in etwa dem Auflösungsvermögen des Objektivs. Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens wurde unlängst eindrucksvoll in einer Arbeit von Weishart et al. gezeigt /56/. Es gelang,

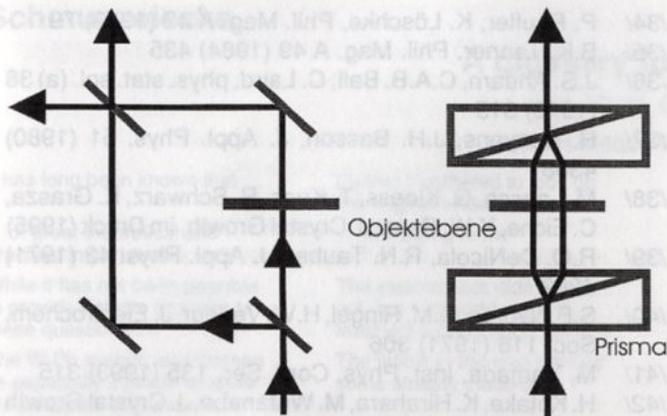


Abb. 13: Prinzipskizze zur Interferenzmikroskopie: Mach-Zehnder-Interferometer mit Referenzstrahl ohne Probenkontakt (links) bzw. Shearing-Verfahren mit Selbstreferenz (rechts).

Monostufen auf der Oberfläche von GaAs-LPE-Schichten mit einer Höhe von nur 2,83 Å (!) abzubilden. Gern wird der Interferenzkontrast bei der Analyse von Striations eingesetzt (z.B. /57-59/). Mikrodefekte, die durch DSL-Fotoätzen (diluted Sirtl-like) "entwickelt" wurden, liefern im NDIC plastische Reliefbilder /60-62/.

Wichtigste Aufgabe des differentiellen Interferenzkontrasts ist die kontrastreiche Darstellung von Phasenobjekten. Der die Interferenzfarbverschiebung verursachende Gangunterschied Γ kann aber auch zu Messungen der Neigung ϵ von Oberflächenstufen herangezogen werden. Man muß dazu die Aufspaltungsweite a , die konstant (NDIC) oder variabel (Shearing-DIC) sein kann, kennen /63/:

$$\tan \epsilon = \frac{\Gamma}{2 a} \quad (10)$$

7. Interferenzmikroskopie

Anliegen der Interferenzmikroskopie ist die Durchführung genauer Gangunterschiedsmessungen. Dazu ist es notwendig, die Aufspaltungsweite der beiden Teilbilder hinreichend groß zu wählen. Der Übergang vom differentiellen Interferenzkontrast zur Interferenzmikroskopie ist fließend und vom Profil abhängig /63/. Im Auflicht berechnet sich die Höhe h von Oberflächenstufen für opake Objekte an Luft zu

$$h = \frac{\Gamma - \Gamma_P}{2} \quad (11)$$

(Γ_P -Phasensprungdifferenz zwischen rechtem und linkem Strahl bei der Reflexion). Die erreichbare Meßgenauigkeit liegt bei etwas unter einem Nanometer (s. Abb. s. 2 und 14, sowie /64, 65/). Erhält man im NDIC bei der Untersuchung von Wachstumsstreifen deren Abstände, so liefert das Interferenzmikroskop zusätzlich Angaben zu deren Höhe. Die nach DIN definierten Rauigkeiten $r_{q,a,d,\dots}$ sind ein weiterer wichtiger Ergebnisparameter einer Linien- oder Flächenprofilanalyse. Die r -Werte korrelieren mit der Homogenität des Dotierstoffeinbaus und sind mit elektrischen Widerstandsmessungen eichbar (Abb. 14, /64/). Besonderer Vorzug der Shearing-Verfahren ist die durch die Selbstreferenz bedingte Erschütterungsunempfindlichkeit. Anders als bei der Kraft- und Tunnelmikroskopie (AFM, STM) benötigt man keine Vorrichtungen zur Schwingungsdämpfung. Es wird möglich, Probendeformationen im Heiztisch bei bis zu 500 °C mit obengenannter Genauigkeit in situ zu verfolgen. Das gleiche gilt für in-situ-Beobachtungen von Wachstums- bzw. Lösungsprozessen.

Messungen im Durchlicht genügen der Gleichung:

$$\Gamma = d \Delta n \quad (12)$$

Mißt man den Gangunterschied, Γ dann können bei konstanter Probendicke Brechzahlhomogenitäten $\Delta n < 10^{-6}$ be-

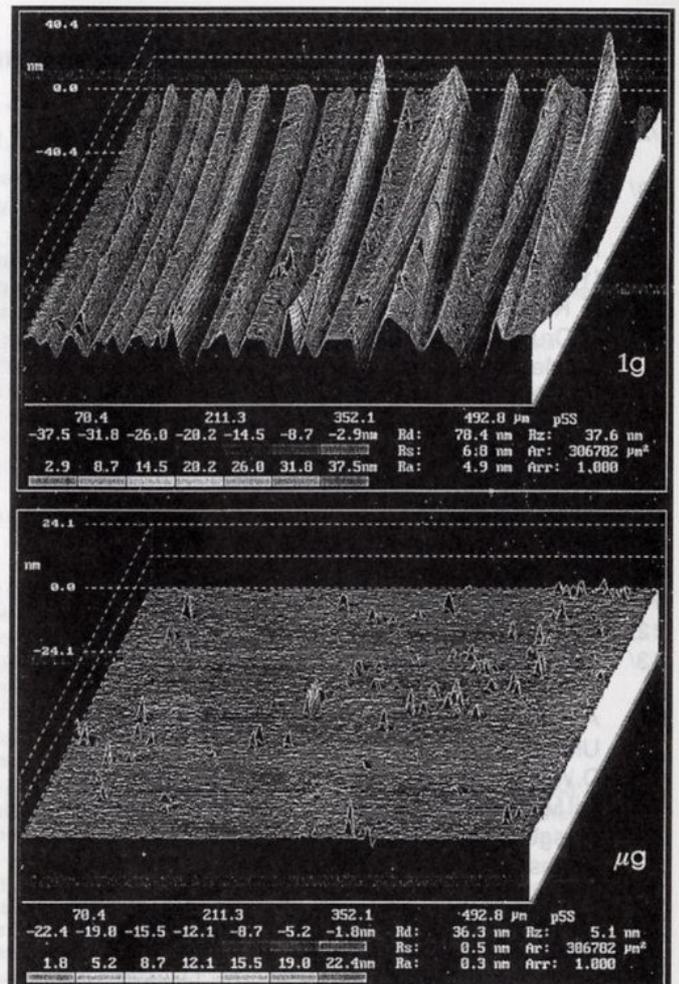


Abb. 14: Rauigkeiten angeätzter Oberflächen in 1g- bzw. 1µg-FZ-Si:Sb (nach /64, 59/). Die arithmetische Flächenrauigkeit des µg-Kristalls liegt mit $R_a=0,3$ nm in der Größenordnung einer halben Gitterkonstante. Inhomogenitäten des Dotierstoffeinbaus sind in diesem Kristall so gering, daß sie sich dem Nachweis durch Ätzen entziehen.

stimmt werden. Andernfalls, bei konstanter Brechzahl in der Probe, sind Dickenschwankungen mit hoher Genauigkeit ausmeßbar.

Weisen Kristalle periodische Strukturen geeigneter Abstände (Dotierungsstreifen, Epitaxieschichten) auf, dann lassen sich bei schräger Beleuchtung ganz analog zu Keilinterferenzen oder Newton-Ringen direkt an der Probe Interferenzmuster beobachten. Dabei kann sowohl im Durchwie Auflicht gearbeitet werden /67, 68/.

8. Grenzen und Perspektiven der Lichtmikroskopie

Wesentlicher Nachteil der Lichtmikroskopie wird auch in Zukunft das mangelnde laterale Auflösungsvermögen (s. Tab. 1) bleiben. Hinsichtlich der Auswertungstiefe bringt der Einsatz der Bildverarbeitung in Kombination mit der digitalen Bildspeicherung erheblichen Fortschritt. Mathematische Methoden der quantitativen Gefügeanalyse /69, 70/, die in der Metallographie lange Tradition haben (z.B. Punktfelder, Mosaik, Stereologie) oder im Trend liegen (Fraktale, chaotisches Verhalten) werden für alle lichtmikroskopischen Verfahren ein Mehr an quantitativen Aussagen ermöglichen. Die Dokumentation auf Silberhalogenidfilmen verliert zunehmend an Bedeutung. Ungeahnte Potenzen stecken dagegen vermutlich in der Variantenvielfalt der optischen Nahfeldmikroskopie. Problematisch bleibt die Vermittlung des handwerklichen und theoretischen Rüstzeugs der Mikroskopie an die Studenten. Aus heutiger Sicht ungerechtfertigte methodische Einseitigkeiten (s. Einleitung) bestehen fort.

9. Literatur

- /1/ G. von Randow, Die scharfen Augen des Ehepaars Mandelkow, *Die Zeit* 16 (1994) 43
- /2/ H. Siedentopf, R. Zsigmondy, *Annal. d. Physik* 10 (1903) 1
- /3/ E. Lau, W. Krug, *Die Äquidensitometrie*, Akademie-Verlag, Berlin 1957
- /4/ F. Zernike, *Z. Phys.* 36 (1935) 848; *Z. Techn. Phys.* 16 (1935) 454
- /5/ K. Kugimiya, *J. Crystal Growth* 103 (1990) 420
- /6/ P. Drude, *Theorie des Lichtes für durchsichtige ruhende Medien*. In: *Hdb. d. Physik*, 2. Aufl., Bd. 6 (Optik), Kap. XXXIII, Verl. J. A. Barth, Leipzig 1906
- /7/ L. Föppl, H. Neuber, *Festigkeitslehre mittels Spannungsoptik*, München u. Berlin 1935
- /8/ L.N.G. Filon, *A Manual of Photoelasticity for Engineers*, Cambridge 1936
- /9/ G. Mesmer, *Spannungsoptik*, Berlin 1939
- /10/ W.L. Bond, J. Andrus, *Phys. Rev.* 101 (1956) 1211
- /11/ R. Bullough, *Phys. Rev.* 110 (1958) 620
- /12/ S.R. Lederhandler, *J. Appl. Phys.* 30 (1959) 1631
- /13/ D.W. Pohl, W. Denk, M. Lanz, *Appl. Phys. Letters* 44 (1984) 651
- /14/ A. Lewis, M. Isaacson, A. Harootunian, A. Murray, *Ultramicroscopy* 13 (1984) 227
- /15/ D.W. Pohl, *Nano-optics and Scanning Near-Field Optical Microscopy*. In: R. Wiesendanger, H.-J. Güntherodt (Hrsgb.), *Scanning Tunneling Microscopy II*, Springer Series in Surface Science 28, Kap. 7, Springer, Berlin 1992
- /16/ H. Beyer, H. Riesenberger, *Handbuch der Mikroskopie*, Verlag Technik, Berlin 1988
- /17/ G. Göke, *Moderne Methoden der Lichtmikroskopie*, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1988
- /18/ S. Bradbury, P.J. Evennett, H. Haselmann, H. Piller, *RMS Dictionary of Light Microscopy*, *Microscopy Handbooks* 15, Oxford University Press, Oxford 1989
- /19/ D.J. Stirling, M.R. Brozel, *Infrared Microscopy*. In: M. Grasserbauer, H.W. Werner (Hrsgb.), *Analysis of Micro-electronic Materials and Devices*, Kap. 4.5, John Wiley & Sons, New York 1991
- /20/ K. Sonnenberg, A. Altmann, *Near Infrared Microscopy a simple but effective technique to analyze microdefects in GaAs*, *Ber. d. KFA*, Nr. 2939, Jülich 1994
- /21/ R.D. Allen, N. Strömberg, J.L. Travis, *Cell Motility* 1 (1981) 291
- /22/ S.F. Ray, *Applied photographic optics: imaging systems for photography, film and video*, Kap. 16, Focal Press, London 1988
- /23/ G.M. Sarantschina, *Die Fedorow-Methode*, Verlag Technik, Berlin 1963
- /24/ V.L. Indenbom, M.A. Chernysheva, *Doklady Akad. Nauk SSSR* 111 (1956) 596
- /25/ V.I. Nikitenko, L.M. Dedukh, *phys. stat. sol. (a)* 3 (1970) 383
- /26/ F. Lihl, J. Tomiser, P. Skalicky, M. Küster, *Z. angew. Physik* 32 (1971) 287
- /27/ D.A. Jenkins, J.J. Hren, *Phil. Mag.* 33 (1976) 173
- /28/ H. Booyens, J.H. Basson, *J. Appl. Phys.* 51 (1980) 4375
- /29/ Z. Laczik, P. Török, G.R. Booker, R. Falster, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 117-10 (1991) 785
- /30/ D.J. Fathers, B.K. Tanner, *Phil. Mag.* 28 (1973) 749
- /31/ J.W. Matthews, T.S. Plaskett, *phys. stat. sol. (a)* 37 (1976) 499; *J. Mater. Sc.* 13 (1978) 2029
- /32/ J. Hilgarth, *J. Mater. Sc.* 13 (1978) 2697
- /33/ K. Löschke, P. Paufler, *Phil. Mag. A* 46 (1982) 699
- /34/ P. Paufler, K. Löschke, *Phil. Mag. A* 47 (1983) 79
- /35/ B.K. Tanner, *Phil. Mag. A* 49 (1984) 435
- /36/ J.S. Ahearn, C.A.B. Ball, C. Laird, *phys. stat. sol. (a)* 38 (1976) 315
- /37/ H. Booyens, J.H. Basson, *J. Appl. Phys.* 51 (1980) 4368
- /38/ M. Laasch, G. Kloess, T. Kunz, R. Schwarz, K. Graszka, C. Eiche, K.W. Benz, *J. Crystal Growth*, im Druck (1995)
- /39/ R.O. DeNicola, R.N. Tauber, *J. Appl. Phys.* 42 (1971) 4262
- /40/ S.F. Nygren, C.M. Ringel, H.W. Verleur, *J. Electrochem. Soc.* 118 (1971) 306
- /41/ M. Yamada, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 135 (1993) 315
- /42/ H. Kotake, K. Hirahara, M. Watanabe, *J. Crystal Growth* 50 (1980) 743
- /43/ P.C. Montgomery, J.P. Fillard, *Electron. Letters* 25 (1989) 89
- /44/ J.L. Weyher, P.C. Montgomery, *J. Crystal Growth* 106 (1990) 476
- /45/ S. Hahn, K. Kugimiya, M. Yamashita, P.R. Blaustein, K. Takahashi, *J. Crystal Growth* 103 (1990) 423
- /46/ M. Tajima, T. Iizuka, *Jap. J. Appl. Phys.* 15 (1976) 651
- /47/ K. Moriya, T. Ogawa, *J. Crystal Growth* 44 (1978) 53; 58 (1982) 115; 60 (1982) 1
- /48/ K. Moriya, T. Ogawa, *Jap. J. Appl. Phys.* 22 (1983) L207
- /49/ T. Ogawa, in: *Mat. Sc. Monographs* 31, Elsevier, Amsterdam 1985, 1
- /50/ K. Moriya, in: *Mat. Sc. Monographs* 31, Elsevier, Amsterdam 1985, 27
- /51/ R. Triboulet, A. Durand, P. Gall, J. Bonnafé, J.P. Fillard, S.K. Krawczyk, *J. Crystal Growth* 117 (1992) 227
- /52/ K. Löschke, A. Tempel, *Kristall u. Technik* 15 (1980) 55
- /53/ R. Baehr, H. Seyfarth, *Kristall u. Technik* 9 (1974) 1123
- /54/ B.L. Sopori, *Appl. Optics* 27 (1988) 4676; *J. Electrochem. Soc.* 135 (1988) 2601
- /55/ H. Beyer, *Theorie und Praxis der Interferenzmikroskopie*, Akad. Verlagsges. Geest & Portig, Leipzig 1974
- /56/ H. Weishart, E. Bauser, M. Konuma, H.-J. Queisser, *J. Crystal Growth* 137 (1994) 335
- /57/ A.F. Witt, H.C. Gatos, *J. Electrochem. Soc.* 113 (1966) 808
- /58/ A.N. Danilewsky, K.W. Benz, *J. Crystal Growth* 97 (1989) 571
- /59/ A. Cröll, P. Dold, K.W. Benz, *J. Crystal Growth* 137 (1994) 95
- /60/ J.L. Weyher, J. van de Ven, *J. Crystal Growth* 63 (1983) 285
- /61/ G. Frigerio, C. Mucchino, J.L. Weyher, L. Zanotti, C. Paorici, *J. Crystal Growth* 99 (1990) 685
- /62/ C. Frigeri, J.L. Weyher, L. Zanotti, *J. Electrochem. Soc.* 136 (1989) 262
- /63/ G. Klöß, B. Solcher, P. Paufler, *Wiss. Ztschr. Univ. Leipzig* 39, 4 (1990) 346
- /64/ G. Kloess, A. Cröll, K.W. Benz, *J. Crystal Growth*, im Druck (1995)
- /65/ P.C. Montgomery, D. Montaner, D. Benhaddou, P. Vabre, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 135 (1993) 243
- /66/ L. Taijing, T. Ogawa, K. Toyoda, N. Nango, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 135 (1993) 267
- /67/ J. Donecker, *Proc. ICCG XI*, P 106.11, 679, Den Haag 1995
- /68/ E. Treser, V. Krämer, *J. Crystal Growth* 128 (1993) 664
- /69/ J. Ohser, U. Lorz, *Quantitative Gefügeanalyse*, Freiburger Forschungshefte, B 276, Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart 1994
- /70/ D. Stoyan, H. Stoyan, *Fraktale, Formen, Punktfelder*, Akademie-Verlag, Berlin 1992

Schmunzelecke

A glossary for research reports

C. D. GRAHAM, JR.

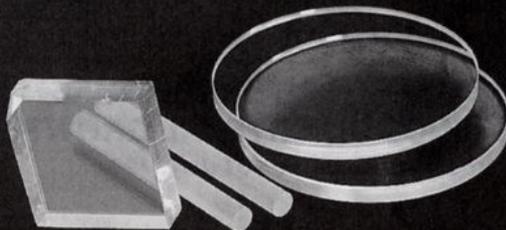
From Metal Progress 71, 75 (1957)

It has long been known that ...	I haven't bothered to look up the original reference	satisfactory	doubtful
... of great theoretical and practical importance	... interesting to me	fair	imaginary
While it has not been possible to provide definite answers to these questions ...	The experiments didn't work out, but I figured I could at least get a publication out of it	... as good as could be expected	non-existent
The W-Pb system was chosen as especially suitable to show the predicted behaviour ...	The fellow in the next lab had some already made up	These results will be reported at a later date	I might possibly get around to this sometime
High-purity ...	Composition unknown except for the exaggerated claims of the supplier	The most reliable values are those of Jones	He was a student of mine
Very high purity ...		It is suggested that ...	
Extremely high purity ...		It is believed that ...	I think
Super-purity ...		It may be that ...	
Spectroscopically pure ...		It is generally believed that ...	A couple of other guys think so too
A fiducial reference line ...	A scratch	It might be argued that ...	I have such a good answer to this objection that I shall now raise it
Three of the samples were chosen for detailed study ...	The results on the others didn't make sense and were ignored		I don't understand it
... accidentally strained during mounting	... dropped on the floor	It is clear that much additional work will be required before a complete understanding ...	Neither does anybody else
... handled with extreme care throughout the experiments	... not dropped on the floor	Unfortunately, a quantitative theory to account for these effects has not been formulated	Wrong
Typical results are shown ...	The best results are shown	Correct within an order of magnitude	
Although some detail has been lost in reproduction, it is clear from the original micrograph that ...	It is impossible to tell from the micrograph	It is to be hoped that this work will stimulate further work in the field	This paper isn't very good, but neither are any of the others in this miserable subject
Presumably at longer times ...	I didn't take time to find out	Thanks are due to Joe Glotz for assistance with the experiments and to John Doe for valuable discussions	Glotz did the work and Doe explained what it meant
The agreement with the predicted curve is excellent	fair		
good	poor		

Bremtar

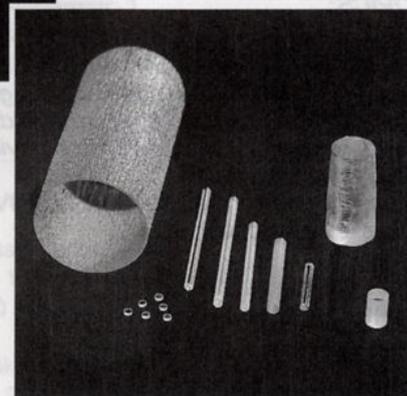
Lasertechnik Bremen GmbH

Fahrenheitstraße 1
 D-28359 Bremen
 Tel. 0421/2208-211
 Fax 0421/2208-232



- ▲ Nd:LSB;
Er:YSGG; Nd:YAG
für diodengepumpte
Festkörperlaser
- ▲ Nd:YAG-, Er:YAP-,
Er, Cr:YSGG-Laserstäbe
- ▲ undotierter YAG, Saphir,
Quarz, Ge, Si, KRS 5

**Laserkristalle und
 optische
 Komponenten**



TAGUNGSKALENDER

1996

9.-13. Juni Cardiff / U.K.
8th International Conference on MOVPE
G. Bland, Global Meeting Planning, GMP 22Plas Taliesin
Portway Village Marina, Penarth, South Glamorgan CF 64
1TN, Wales

9.-12. Juli Aix-en-Provence / F
5th International Conference on the Structure of Surfaces
(ICSOS-5)
Mme. Y. Deprez, CEA, DSM-DRECAM-SRSIM, Bt. 462,
Centre d'Etudes de Saclay, F-91191 Gif sur Yvette Cedex,
France

14.-19. Juli Liege / Belgien
9th International Conference on Superlattices, Microstructures
and Microdevices (ICSMM-9)
Prof. J.-P. Leburton, Univ. of Illinois, Beckman Institute, Urbana,
IL 61801 U.S.A.

21.-26. Juli Berlin / D
23rd International Conference on the Physics of Semiconductors
Dr. A. Hoffmann, Secretary, Institut für Festkörperphysik, PN
5-1, TU Berlin, Hardenbergstr. 36, 10623 Berlin, Germany

5.-9. August Malibu (CA) / U.S.A.
9th International Conference on Molecular Beam Epitaxy
D. Grider, MBE-IX Conference Office, 2060 Ave. Los Arboles,
Suite 342, Thousand Oaks, CA, U.S.A. 91362

8-17. August Seattle / U.S.A.
17th Congress and General Assembly of the International
Union of Crystallography (IUCr)
Prof. R. F. Bryan, Dept. of Chem., University of Virginia, Char-
lottesville, VA 22903, U.S.A.

Nationale Schule zur Kristallzüchtung

mit internationaler Beteiligung

vom 9.-13. September 1996
in Gosen bei Berlin

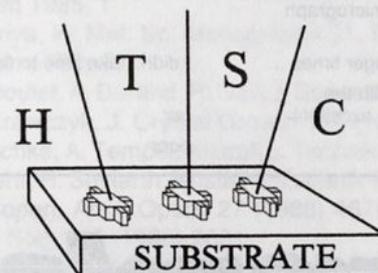
Veranstalter: Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
im Forschungsverbund Berlin e.V.

Schirmherrschaft: Deutsche Gesellschaft für Kristall-
wachstum und Kristallzüchtung e.V.
(DGKK)

Schulungsvorstand: Dr. Ing. habil. W. Schröder (Vorsitzender)
Prof. P. Rudolfph (Wiss. Programm)
J. Warneke (Sekretär)

Rudower Chaussee 6
12489 Berlin
Germany
Tel.: 030 / 6392 3000
Fax: 030 / 6392 3003
e-mail: pr@ikz.fta-berlin.de
http://www.ikz.fta-berlin.de

International Conference



on Substrate Crystals and HTSC
Films, ICSC-F '96,
Jaszowiec, Poland, September 16-20, 1996

ICCG 12

THE TWELFTH INTERNATIONAL
CONFERENCE ON CRYSTAL GROWTH

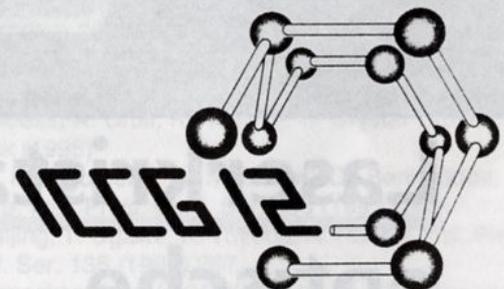
Jerusalem, Israel, 26 - 31 July, 1998

MAIN TOPICS:

- Fundamentals
- Bulk growth
- Epitaxy, thin films, coatings & vapour growth
- Modelling (simulations) & external fields
- Novel characterization methods & devices
- Biocrystallization
- High T_c Superconductors & diamonds
- Mass crystallization
- Specialties

FOR FURTHER INFORMATION:

ICCG 12
C/O International Travel & Congresses Ltd.
P.O. Box 29313, Tel Aviv 61292, Israel
Tel: +972-3-5102538, Fax: +972-3-5160604



Redaktion

Chefredakteur Hans Jürgen Fenzl
Siemens AG HL PES 43
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München
Tel. 089/636-46193
Fax -44236

Übersichtsartikel A. Cröll
0761/2036441

**Kristallzüchtung in
Deutschland** T. Boeck
Inst. Kristallzüchtung
12489 B.-Adlershof
Tel. 030-6392/3051

Tagungsberichte W. Aßmus
Tel. 069/7982-3144
Fax -8520

**Stellenangebote und -gesuche
Mitteilungen der DGKK** H. Walcher
0761/5159-347
Fax -400

**Mitteilungen ausländischer
Schwestergesellschaften
Tagungskalender** J. Schmitz
0761/5159-846
Fax -400

Bücherecke R. Diehl
0761/5159-416
Fax -400

Schmunzelecke R. Diehl

Anzeigenwerbung G. Müller-Vogt
0721/608-3470

Vorstand der DGKK**Vorsitzender**

Dr. W. Schröder
Institut für Kristallzüchtung
Rudower Chaussee 6
12489 Berlin
Tel. 030/6392-3000, Fax 030/6392-3003
Email: ur@dfnsl.WTZA-Berlin.de

Stellvertretender Vorsitzender

Dr. W. Zulehner
Wacker Siltronic GmbH
Postfach 1140
84489 Burghausen
Tel. 08677/83-2547, Fax 08677/83-5824

Schriftführer

Dr. H. Walcher
Fraunhofer-Institut für
Angewandte Festkörperphysik
Tullastr. 72
79108 Freiburg
Tel. 0761/5159-347 oder 597, Fax 0761/5159-400
Email: Walcher @ iaf. fhg. de

Schatzmeister

Dr. German Müller-Vogt
Kristall- und Materiallabor der
Fakultät für Physik
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe
Tel. 0721/608-3470, Fax 0721/697123

Beisitzer

Prof. Dr. M. Mühlberg
Institut für Kristallographie
Zülpicherstraße 49
50674 Köln
Tel. 0221/470-4420, Fax 0221/470-5151
Email: muehlberg@kri.uni-koeln.DE

Hans Jürgen Fenzl
Siemens AG HL PES 43
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München
Tel. 089/636-46193, Fax 089/636-44236

Dr. E. Schönherr
MPI für Festkörperforschung
Heisenbergstr. 1
70569 Stuttgart
Tel. 0711/689-1405, Fax 0711/689-1010

Hinweise für Beiträge**Redaktionsschluß MB 64:
1. Oktober 1996**

Bitte senden Sie Ihre Beiträge möglichst auf Diskette
(Format sekundär), die Druckerei kann diese direkt
weiterverarbeiten und Fehler beim Einscannen werden
vermieden. Außerdem ist dies viel kostengünstiger.

Abbildungen möglichst als Hochglanzabzüge.

Willkommen sind jederzeit auch attraktive Bilder ohne
Artikel für den Titel.

Besten Dank
Die Redaktion

SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG

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

BANKVERBINDUNGEN

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

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

DGKK - STICHWORTLISTE

KRISTALLHERSTELLUNG

ZÜCHTUNGSMETHODEN

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

MATERIALZUSAMMENSETZUNG

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

WACHSTUMSFORMEN

- 311 Massivkristalle
- 312 dünne Schichten, Membrane
- 313 Fasern
- 314 Massenkristallinat
- 321 Einkristalle
- 322 Polykristalle

- 323 amorphe Materialien, Gläser
- 324 Multischicht-Strukturen
- 325 Keramik, Verbundwerkstoffe
- 326 Biokristallinat
- 327 Flüssigkristalle
- 328 Polymere
- 329 andere Materialtypen

KRISTALLBEARBEITUNG

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

KRISTALLCHARAKTERISIERUNG

KRISTALLEIGENSCHAFTEN

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

MESSMETHODEN

- 610 chemische Analytik
 - 611 chemischer Aufschluß
 - 612 Ätzmethoden
 - 613 AAS, MS
 - 614 thermische Analyse
- 620 Mikroskopie
 - 621 lichtoptische Mikroskopie
 - 622 Elektronenmikroskopie
 - 623 Rastertunnel-Mikroskopie
 - 624 Lumineszenz-Topographie

- 630 Beugungsmethoden
 - 631 Röntgendiffraktometrie
 - 632 Röntgentopographie
 - 633 Gammadiffraktometrie
 - 634 Elektronenbeugung
 - 635 Neutronenbeugung

- 640 Spektroskopie, Spektrometrie
 - 641 UV-, VIS-, IR-, Fourier-
 - 642 Raman-, Brillouin-
 - 643 Kurzzeit-Spektroskopie
 - 644 NMR, ESR, ODMR
 - 645 RBS, Channeling
 - 646 SIMS, SNMS

- 650 Oberflächenanalyse
 - 651 LEED, AUGER
 - 652 UPS, XPS

- 660 Elektrische Charakterisierung
- 670 Andere Meßmethoden

MATHEMATISCHE BEHANDLUNG

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

ENTWICKLUNG / VERTRIEB / SERVICE

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

Der Schriftführer bittet darum, bei Antrag auf Mitgliedschaft nur diese Code-Nr. zu verwenden.

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 rund 500 Fachkollegen, die einer Gesellschaft angehören, deren Zweck es ist

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

DGKK-Schriftführer
Dr. H. Walcher
Fraunhofer-Gesellschaft
Inst. f. Angew. Festkörperphysik
Tullastraße 72
D-79108 Freiburg

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,—)

Antrag auf Mitgliedschaft / Änderung

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

- Art der Mitgliedschaft: ordentliches Mitglied
 studentisches Mitglied
 korporatives Mitglied

Gewünschter Beginn der Mitgliedschaft: _____

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

*) _____
(Firma, Institut, etc.)

(Straße, Haus-Nr.)

(PLZ, Ort) (Telefon)
(FAX) _____

Privatanschrift: _____
(Straße, Haus-Nr.)

*) _____
(PLZ, Ort) (Telefon)

Wissenschaftliche Interessen- und Erfahrungsgebiete (Stichworte):

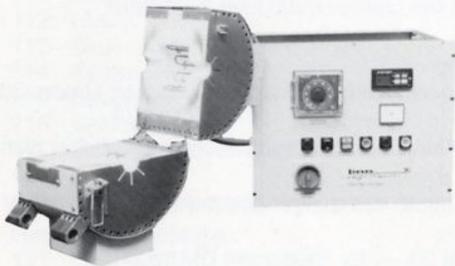
Tätigkeit und Erfahrung mit maximal 10 Stichwortnummern charakterisieren (s. Liste).

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

_____ den _____ (Unterschrift)

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

VORSPRUNG DURCH MODERNSTE TECHNIK



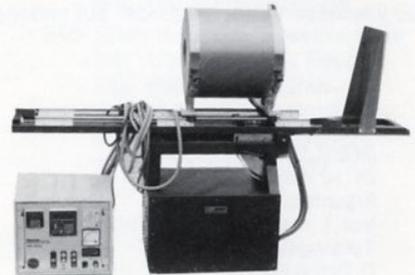
FuE-Rohröfen

kompakte Hochtemperatur-Rohröfen zum Einbau in Kristallziehanlagen. Temperaturbereiche: 1300° C, 1500° C und 1700° C optional bis 2300° C.



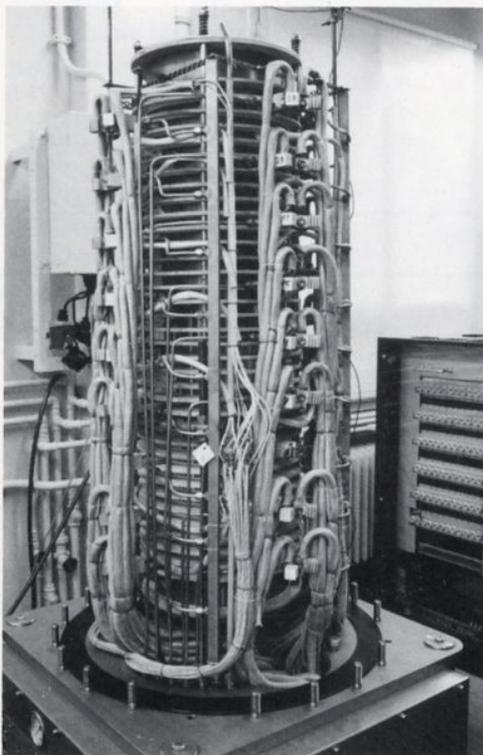
kostengünstige Heatpipes

zur Etablierung von hochisothermen Prozeßbedingungen. Temperaturbereiche: 350-550° C und 550-990° C; Standard; Innendurchm. 20-95 mm; Längen 200-1000 mm lieferbar; Sondermaße auf Anfrage.

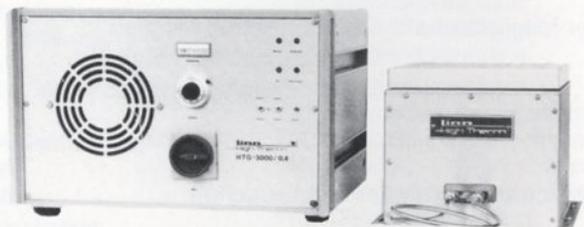


Rohröfen

um 90° kippbar, 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 Gerätegrößen.



ohne 50 bar Autoklav



Hochfrequenz-Generatoren

durch geringe Spulenspannung gut geeignet zum Einbau in **Schutzgas oder Vakuum-Anlagen**, mit Suszeptor als Substratheizer für Epitaxi, Erzeugung höchster Temperaturen zur Einkristallzucht, z.B. Oxidkristalle.

ohne Abb.

Safir-Formteile: Platten, Rohre bis Durchmesser 40 mm und Länge 1000 mm, sowie Tiegel. Verwendung u.a. als Thermoelement-Schutzrohr oder Bestandteil von Ziehgestängen.

Kristallzüchtungsanlagen

Computergesteuerte Hochdruck-Multizonenofenanlage mit bis zu 32 Heiz- und Kühlzonen in Kaltwandtechnik zur Herstellung von defektfreien III-V- und II-VI-Halbleiterekristallen nach dem Gradient-Freeze-Verfahren.

Sonderanlagen
nach
Kundenspezifikationen!

linn
High Therm

Heinrich-Hertz-Platz 1
D-92275 Hirschbach
Tel. 09665-9140-0
Fax 09665-1720