

INHALT

Mitteilungen der DGKK5
DGKK-Arbeitskreise6
Kristallzüchtung in Deutschland8

Tagungsberichte8
Übersichtsartikel 15
Mitteilungen anderer Gesellschaften27
Tagungskalender28

Redaktion

Chefredakteur	Dr. F. Wallrafen Mineralog. Institut 53115 Bonn Poppelsdorfer Schloß Tel. 0228/73-2961 -2761 Fax -2770
Übersichtsartikel	A. Cröll 0761/2034282
Kristallzüchtung in Deutschland	T. Boeck Inst. Kristallzüchtung 12489 B.-Adlershof Tel. 030-6392/3051
Tagungsberichte	W. Aßmus Tel. 069/798-3144 Fax -8520
Aktivitäten von und für junge Kristallwissenschaftler	C. Sussieck-Fornefeld 06221/56-2806
Stellenangebote und -gesuche Mitteilungen der DGKK	H. Walcher 0761/5159-358 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

TITELBILD:

Ein-Quasikristall des Systems Al-Cu-Fe entstanden in langsam erstarrter Schmelze. Flächennormale parallel zur 5-zähligen Achse (Kantenlänge ca. 30 µm)

M. Beyß, K. Urban, H. Wenzl, M. Wollgarten
Forschungszentrum Jülich,
Institut für Festkörperforschung

SATZ, DRUCK & WEITERVERARBEITUNG

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

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 Chemitronic
Postfach 1140
84479 Burghausen
Tel. 08677/83-2547, Fax 08677/83-5824

Schriftführer

Dr. H. Walcher
Fraunhofer-Institut für
Angewandte Festkörperphysik
Tullastr. 72
79108 Freiburg
Tel. 0761/5159-358, 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

Prof. Dr. J. Bohm
Trützscherstr. 14
12487 Berlin
Tel. 030/6353284

Dipl. Ing. H. Fenzl
Eupec GmbH SL
Frankfurter Ring
80807 München
Tel. 089/3500-2777, Fax 089/3500-2448

BANKVERBINDUNGEN

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

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

Editorial

Liebe Leser, die hervorragende DGKK-Tagung in Stuttgart liegt nun hinter uns, und wir sind sicherlich alle der Meinung, daß diese Tagung unter Leitung von Herrn Paus ausgezeichnet organisiert worden ist. Ihm und seinen Mitorganisatoren sei herzlichst gedankt.

Erfreulicherweise haben sich einige Kolleginnen und Kollegen unter der Verantwortung von Herrn Aßmus bereit gefunden, das wissenschaftliche Programm (Vorträge und Poster) der DGKK-Tagung nachzuarbeiten. Dies ist der Informationsservice, den das MB besonders für diejenigen erbringt, die an der Tagung nicht teilnehmen konnten. Die Redaktion bedankt sich für die Arbeit.

Durch den Einsatz und die Vermittlung von Herrn Boeck konnte ein hervorragender Übersichtsartikel der Herren R. Bergmann und J. H. Werner (MPI für Festkörperphysik, Stuttgart) gewonnen werden. Der Artikel 'Kristallzüchtung für die Photovoltaik – Forschung in Deutschland' stellt eine ausgezeichnete Übersicht über dieses Forschungsgebiet in Deutschland dar – er ist jedem Kristallzüchter zu empfehlen. Der Dank der Redaktion gilt den Autoren sowie Herrn Boeck, der sich schon lange um diesen Artikel bemüht hat.

Die Rubrik 'Kristallzüchtung in Deutschland' entfällt in diesem Heft. Für die Novemberausgabe hat sich Georg Müller (Erlangen) bereit erklärt, seine Aktivitäten vorzustellen.

Mit der November-Ausgabe des MB beende ich meine 5-jährige Tätigkeit als Chefredakteur. Ich möchte die Kolleginnen und Kollegen, die ein wenig Freude an redaktionellen Arbeiten haben, aufrufen, sich für die Arbeit in der Redaktion zur Verfügung zu stellen. Der Vorsitzende der DGKK, W. Schröder, würde sich über Ihren Anruf sicherlich freuen.

Ihr
F. Wallrafen

**"Erfahrung
ist eine herrliche Sache.
Mit ihrer Hilfe
erkennen wir einen Fehler
jedesmal wieder,
wenn wir ihn erneut begehen."**

Franklin P. Jones

**"Ein Ausschuß
ist eine Sackgasse,
in die man Ideen hineinlockt,
um ihnen still und heimlich
den Garaus zu machen."**

Sir Barnett Cocks

Notizen des Vorsitzenden

Mit der diesjährigen Jahrestagung der DGKK in Stuttgart, die von Professor Paus mit seinen Mannen so gelungen organisiert wurde, hat die Arbeit des neuen Vorstandes der DGKK richtig begonnen. Herrn Professor Wenzl und den anderen Vorstandsmitgliedern, die jetzt ausgeschieden sind, den Herren Dr. Jurisch, Dr. Aßmus, Frau Strohmeier, sei hier an dieser Stelle für ihr Engagement herzlich gedankt.

Die Jahrestagung wird in der freundlichen Stuttgarter Atmosphäre mit der sehr gelungenen Auswahl der Plenarvorträge, Kurzvorträge und Poster – auch auf Grund der angenehm kurzen Wege – in schöner Erinnerung bleiben. Für glücklich halte ich auch die Kombination von ca. 30 % Vorträgen und ca. 70 % Postern; kann man doch gerade an Postern kristallografische bzw. züchtungstechnische Probleme viel deutlicher darstellen und noch besser diskutieren.

Immerhin ging diesmal die Öffentlichkeit nicht ganz an uns vorbei: Das Deutschlandradio Köln brachte in seiner täglichen (!) Wissenschaftssendung (16.35-17.00 Uhr) am Freitag, dem 4. März 1994, eine kurze Kommentierung der Tagung mit kurzen Interviews einiger Wissenschaftler.

Vielleicht hatte man in Bonn den richtigen Kanal eingestellt und unsere Stimmen vernommen.

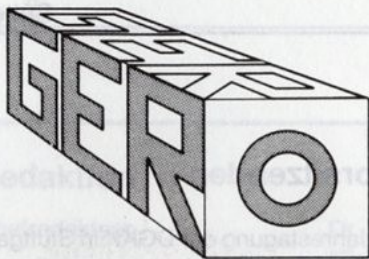
Wünschenswert wäre es schon, wenn es in dieser Zeit, die nur zwischen Wahlterminen zu verlaufen scheint, zu einem offenen und fruchtbaren Dialog Wissenschaftler – Politiker käme. Zukunftspapiere, Technologiestrategien und Forschungskonzeptionen existieren genug. Was nützt dies, wenn zur gleichen Zeit aber der Forschungssetz eingefroren oder gekürzt wird.

Wir hatten in Berlin kürzlich Besuch aus dem berühmten japanischen Forschungszentrum für Anorganische Materialien in Tsukuba und hörten voller Interesse, daß von der japanischen Administration ein antizyklischer Kurs gefahren wird: die Forschungseinrichtungen bekommen derzeit besonders viel Geld, um der auch in Japan an der Rezession leidenden Wirtschaft neue Ideen für eine neue Produktinvasion zu liefern. Ein richtiger Weg, dem man folgen sollte?! Ich meine, unbedingt, denke ich nur an die Gespräche mit vielen jungen Wissenschaftlern, die entweder schon arbeitslos sind oder dieses Schicksal vor sich sehen.

Zurück zur Tagung: Etwas betrüblich war natürlich auch in diesem Zusammenhang, wie wenig Vertreter aus der industriellen Forschung aktiv auftraten (außer den eingeladenen Vortragenden) oder anwesend waren, um die präsentierten Ergebnisse zu besichtigen. Man sollte die alte Regel nicht vergessen, die jeder Kristallzüchter gut kennt: das gelungene Ergebnis beginnt mit einem winzigen Keim.

Ich wünsche mir und der Gesellschaft trotz alledem mit verhaltenem Optimismus ein gutes Beginnen und Gelingen.

W. Schröder



GERO Hochtemperaturöfen GmbH

Monbachstraße 7

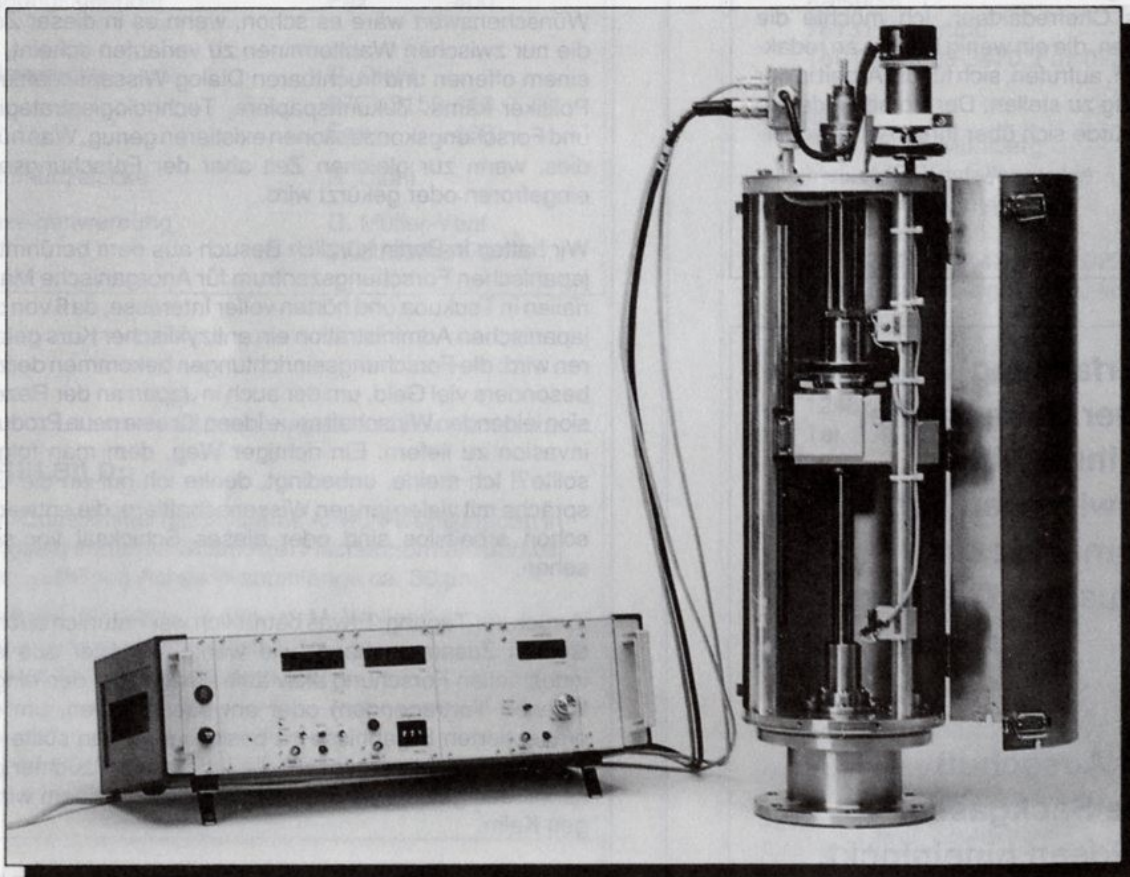
D-75242 Neuhausen

Telefon 0 72 34 / 61 36

Telefax 0 72 34 / 53 79

Lieferprogramm:

- Standardrohöfen bis 1800 °C
- Mehrzonenrohöfen bis 1800 °C
- Zehnzonenrohöfen bis 1500 °C
- SiC Rohr- und Kammeröfen bis 1500 °C
- Kammer- und Tiegelöfen bis 1800 °C
- Kalibrieröfen für Thermolemente und Pyrometer
- Vakuum und Schutzgasöfen bis 3000 °C
- Bewegungseinrichtungen für Öfen und Proben
- Zonenschmelzanlagen
- Kristallziehanlagen (Bridgman und Czochralski)
- Wärmerohre (heat pipes)
- Wassergekühlte Edelstahlflansche für Keramikrohre zum Arbeiten unter Vakuum und Schutzgas
- Mikrowellentrocken- und Aufschlußöfen
- Mikrowellenplasma-Sinteranlagen
- Mikrowellensendeanlagen
- Kalte Schwebeschmelztiegel
- Temperaturprofilemeßeinrichtungen
- Thyristorleistungssteller
- Diamantdrahtsägen zur Kristallpräparation
- Sonderofen- und -anlagenbau



Kristallziehvorrichtung KZV 90

Als Kristallziehkopf oder Tiegelhub- und -drehmechanismus an Czochralski-, Bridgman- oder ähnliche Anlagen anbaubar.

2. Mitteilungen der DGKK

Wegen Krankheit kann das Protokoll der Mitgliederversammlung in Stuttgart erst in der November-Ausgabe erscheinen. Die Redaktion bittet die Mitglieder um Verständnis.

Der Schriftführer gibt folgenden wichtigen Hinweis:

Aus Kostengründen werden ab September 1994 alle Korrespondenzadressen, die jetzt privat sind, auf die jeweilige Geschäftsadresse umgestellt, sofern dies für den Versand sinnvoll ist. Alle diejenigen Mitglieder, die das aus persönlichen Gründen nicht zulassen können, bitte ich, sich bei mir zu melden!

Dr. H. Walcher
FHG-IAF
Tullastraße 72
79108 Freiburg
Tel (0761) 5159-367
Fax (0761) 5159-400
EMAIL: walcher@iaf.fhg.de

Von unserem Mitglied P. Rudolf erreichte den Schriftführer ein Brief aus Japan, den wir gekürzt wiedergeben.

Sendai, 13. Februar 1994

Sehr geehrter Herr Doktor Walcher,

nun möchte ich mich endlich einmal für Ihre regelmäßigen DGKK-Sendungen bedanken. Ich verfolge nach wie vor mit großem Interesse die Kristallzuchtungsaktivitäten in Deutschland. Auch möchte ich Ihnen auf diesem Wege alles Gute im Neuen Jahr sowie Ihnen und den anderen Leitungsmitgliedern viel Erfolg in der DGKK-Tätigkeit wünschen. Das gilt besonders für den neuen Vorsitzenden, Herrn Dr. Schröder, und seinen Stellvertreter, Herrn Dr. Zulehner. Gern wäre ich zur nächsten DGKK-Tagung gekommen und hätte einige neuere Ergebnisse zur Kristallzuchtung hier in Japan vorgetragen. Mein Programm für dieses Frühjahr läßt jedoch dies leider nicht zu. Ich muß mehrere Vorlesungen und Vorträge auf Tagungen und in Firmen halten sowie die Zuchtungsaktivitäten mehrerer Materialien betreuen. Da wäre zunächst ZnSe (Hochdruckzuchtung aus der Schmelze mit dem vertikalen Bridgmanverfahren) zu nennen. Weiterhin entwickeln wir gerade eine Ziehmethode für homogene Ge-Si-Einkristalle. Des weiteren betreue ich die Computersimulation einer modifizierten InP-LE-Bridgmanmethode mit Keim gleichen Durchmessers wie der Kristall. Insgesamt kann man sagen, daß hier im Labor von Professor Fukuda interessante Vorlaufentwicklungen zur Kristallzuchtung durchgeführt werden. So wurde eine Ziehmethode für Mikro- und -fiber Kristalle mit sehr geringem Durchmesser ($< 500 \mu\text{m}$) entwickelt. Solche Einkristallstäbchen eignen sich besonders für Anwendungen in der nicht-linearen Optik, wie z.B. die Frequenzverdopplung „roter“ Laser in den „blauen“ Lichtbereich hinein. Die bisherigen Ergebnisse sind faszinierend.

Auch ist die Kooperation mit Firmen sehr eng und finanziell günstig fürs Labor. Die Risikobereitschaft der japanischen Firmen für neue Ideen ist ein völlig neues Erlebnis für mich. Ich arbeite zur Zeit mit mehreren Unternehmen zusammen und bin deshalb oft unterwegs, was mir natürlich auch Land, Menschen und Gebräuche viel näher bringt.

Meine derzeitige Lehrtätigkeit umfaßt Vorlesungen zum Kristallwachstum, Seminare und die Betreuung von Studenten und Doktoranden. Übrigens sind wir eine internationale Familie. Außer mir sind noch zwei Koreaner und ein junger Kollege aus Moskau hier.

Kürzlich waren wir ein verlängertes Wochenende zum alpinen Skisport in Zao und sitzen auch gern beim Karaoke zusammen.

Ich wünsche Ihnen und den anderen Züchtern viel Erfolg und Gesundheit.

Ihr Peter Rudolph Prof. Dr. P. Rudolph
Institut f. Materials Research
Tohoku University
Katahira 2-1-1, Aoba-ku

Sendai 980
Japan

Nachruf

Dr. Wigbert Gans, Gründungsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Kristallzuchtung und Kristallwachstum, ist am 15. August 1993 auf Ile de Batz (Bretagne) im Alter von 66 Jahren gestorben.

Wigbert Gans, geborener Ostpreuße, hatte 1946 bis 1950 in Berlin und anschließend an der Princeton Universität als Fulbright-Stipendiat Physik studiert. Es folgten 10 Assistentenjahre bei Iwan Stranski am Max-Volmer-Institut für Physikalische Chemie der TU Berlin. 1963 holte ihn Ottmar Knacke zunächst zur KFA Jülich und 1969 zur RWTH Aachen an seinen Lehrstuhl für Theoretische Hüttenkunde. Hier habilitierte sich Wigbert Gans 1973 und war bis zu seiner Pensionierung (und darüber hinaus) am Lehrstuhl tätig.

Er war ein brillanter Theoretiker und ein begeisterter Experimentator. In seiner Forschungstätigkeit verband er diese Begabungen mit seinem Interesse an der praktischen Anwendbarkeit von Grundlagenforschung. So entstanden seine Arbeiten zum Schmelzen und zum Fügen, zu Reibungs- und Prallvorgängen, zum Verschleißmechanismus feuerfester Steine und zur Auflösung von Haufwerken. Als Hochschullehrer hielt Wigbert Gans in Aachen 20 Jahre lang sehr engagiert Vorlesungen über Phasenbildung und -wachstum, über Festkörperreaktionen und über Thermodynamik der Petrologie. Besonders am Herzen lag ihm der Aufbau und die Betreuung eines physikalisch-chemischen Praktikums für die Studenten der Metallurgie und Werkstofftechnik. Darüber hinaus half er zahllosen Studierenden und Doktoranden theoretisch und experimentell „auf die Sprünge“, hatte stets Zeit für andere, war bei der Lösung kleiner und großer Probleme unentbehrlich und beliebt bei allen, die ihn kannten. Er wird uns sehr fehlen.

Dieter Neuschütz

Metallkundlerin

(Dipl.-Ing., promoviert)

38 J., sucht Position in der Forschung, Entwicklung oder im Verlagswesen.

Erfahrungen: Beryllium-Kristallzuchtung (Spiegelöfen), metallographische und röntgenographische Untersuchungen; Konstitution von Mehrstoffsystemen (Redaktions- und Autorentätigkeit).

Fremdsprachen: Englisch (gut), Französisch und Russisch (ausbaufähig).

Dr. S. Stiltz, Kniebisstr. 10, 71106 Magstadt,
Tel.: 07159/44038

3. DGKK-Arbeitskreise

3.1 DGKK-AK 'Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik' 1. 3. 94 – 2. 3. 94

Die Sitzung des Arbeitskreises fand im Vorfeld der diesjährigen DGKK-Jahrestagung in Stuttgart statt. Der beim letzten Treffen vereinbarte Schwerpunkt, dem der erste Nachmittag gewidmet wurde, war das sogenannte „Korkenzieherwachstum“, das häufig bei der Züchtung von hochschmelzenden Oxiden nach dem Czochralskiverfahren beobachtet wird.

L. Ackermann (Idar-Oberstein) stellte zur Einführung verschiedene Typen des Korkenzieherwachstums bei der Züchtung von Seltenerdgranaten vor und demonstrierte diese anhand von Kristallen und Photos. Als Ursachen sind insbesondere schlecht zentrierte Impfkristalle, ausgebeulte Tiegel, Ir-Partikel auf der Schmelzoberfläche und niedrige Temperaturgradienten zu nennen.

F. Ritter (Frankfurt) sprach über korkenzieherartiges Wachstum, das er bei der Züchtung von $Ba_2NaNb_5O_{15}$ -Einkristallen beobachtete und auf erhöhte Wärmeabstrahlung an radial wachsenden Kristallpartien in Kombination mit einer Durchmesserkontrolle nach der Wägemethode zurückführte. Als Abhilfe baute er ring- und rohrförmige Hitzeschilde im oberen Tiegelbereich und oberhalb des Tiegels ein.

Von E. Pfeifer (Jena) kam ein Vortrag über Entstehung von Korkenzieherwachstum und Wachstumsinstabilitäten bei der Züchtung von Ho,Tm,Cr:YSGG und eine Literaturrecherche dazu. Als mögliche Ursachen wurden hier asymmetrische Konvektion in der Schmelze, nicht exakt orientierte Impfkristalle, Änderungen der Oberflächenspannung durch Verunreinigung, Gradienten der Oberflächenspannung (Marangoni-Konvektion) sowie Ir-Partikel in der Schmelze angesehen.

Grundlage des Beitrags von F. Wallrafen (Bonn) war eine Publikation von Xia und Derby, die in Modellrechnungen die Form der Interface beim Cz-Verfahren in Abhängigkeit von Schmelzeigenschaften, Rotationsgeschwindigkeit und erstmals unter Berücksichtigung des Wärmetransports im Kristall durch Strahlung untersuchten. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen hinsichtlich des Korkenzieherwachstums wurden diskutiert.

Bei der Züchtung von $SrTiO_3$ wurde von H. Hesse (Osnabrück) ein nahezu horizontales Wachstum von runden Platten mit unten angesetzten Korkenziehern beobachtet. Problematisch bei dieser Substanz sind eine starke Lichtabsorption und die geringe Wärmeleitfähigkeit. Während der Züchtungen wurde ein Wechsel der Konvektionsrichtung in Abhängigkeit von der Kristalldicke beobachtet.

Auch bei H. Baller (Osnabrück) traten bei Züchtungen von $(Ba_{1-x}Sr_x)TiO_3$ in einem Widerstandsofen die Probleme eines bevorzugt radialen Wachstums zu Platten von 2 bis 3 mm Dicke auf. Abschätzungen des Wärmetransportes durch Strahlung ergaben einen Wärmefluß, der einem Temperaturgradienten von $150\text{ }^\circ\text{C/mm}$ entspräche.

Bei Züchtung von $Sr_{0.61}Ba_{0.39}Nb_2O_6$ zeigen sich nach R. Pankrath (Osnabrück) Vor- und Nachteile von stabilen Wachstumsflächen. Die Kristalle weisen eine starke Anisotropie der Wachstumsgeschwindigkeit auf, was dazu führt, daß facettierte Kristalle mit planer Wachstumsfront entstehen, eine Durchmesseränderung während des Wachstums jedoch nicht möglich ist.

Zu den Beiträgen ergaben sich lebhafte Diskussionen, die auch während und nach dem gemeinsamen Abendessen fortgesetzt wurden.

Die Vorträge des folgenden Vormittags waren nicht mehr von einem Schwerpunkt geprägt. R. Geray (Esslingen) berichtete

Wir ziehen uns den Schuh an, der Sie drücken könnte !

Wenn es um Anlagen für die Kristallzüchtung, um spezielle thermische Prozesse und Präzisions-Steuerungsaufgaben für diese Bereiche geht, sind wir Ihr kompetenter Partner.

Wir konstruieren Anlagen für die Kristallzüchtung ...

Wir kennen uns aus in Sachen Zonenschmelzanlagen und Anlagen für die allgemeine Wärmebehandlung von Feststoffen und Gasen unter Vakuum, Schutzgas oder oxidierender Atmosphäre ...

Wir entwickeln komplexe Baugruppen mit hohem mechanischem Anteil zur Steuerung von Prozeßbewegungen und Erfassung von Temperaturprofilen ...

Unsere Spezialitäten sind Verschußflansche für Prozeßrohre und kundenspezifisch spezialisierte Baugruppen für die Vakuumtechnik ...

Wir modernisieren bestehende Anlagen oder rüsten sie nach Ihren Wünschen um ...

Zur präzisen Regelung von Mehrzonenöfen und Bridgmananlagen empfehlen wir unser zukunftsorientiertes PC-Programm Processor Controlled Dynamic Gradient (PCDG).

Die preiswerte Basisversion mit bereits 8 Kanälen ist beliebig erweiterbar bis hin zur vollständigen Prozeßautomatisierung.

Fordern Sie unsere kostenlose Demo-Diskette an !

Wir führen ein großes Programm an Standardrohröfen, freistrahlend, bis $1300\text{ }^\circ\text{C}$ mit Innendurchmessern von 40-200 mm. Die aufklappbare Ausführung bis $1100\text{ }^\circ\text{C}$ gibt es in Durchmessern von 70-400 mm.

Fordern Sie unsere INFO an !

INNOVATIVE PHYSIKALISCHE TECHNOLOGIEN

IPT

über seine Erfahrungen mit der Züchtung von Cr:Forsterit-Kristallen in einem Spiegelofen. Diese Methode hat gegenüber dem Czochralski-Verfahren den Vorteil, daß ohne Rücksicht auf das Tiegelmateriale der O_2 -Partialdruck auf 2 bis 3 bar erhöht werden kann und dadurch vermehrt das laseraktive Cr^{4+} entsteht und im Kristall eingebaut wird. Problematisch sind die hohen Temperaturgradienten im Kristall (Abhilfe durch Nachheizer) und Nichtstöchiometrien durch Abdampfen von Cr und Si.

Ein Vortrag über das neue Lasermaterial $LiMnAlF_6:Cr^{3+}$ kam von F. Richter (Stuttgart). Dieses Material kann bei verschiedenen Wellenlängen angeregt werden und zeigt u. a. eine effiziente Energieübertragung von den Mn^{2+} -Ionen auf das Laserion.

Zum Abschluß des AK-Treffens sprach W. Hüben (Schwendi) über die Züchtung von $KTiOPO_4$ (KTP) aus einem Phosphat-Flux und die dabei auftretenden Probleme mit der Auswahl einer geeigneten Flux-Zusammensetzung, mit Zwillingbildungen (beseitigt durch Auswahl geeigneter Impfkristalle) und schwankender Erstarrungsgeschwindigkeit.

In der sich anschließenden Diskussion zur Weiterentwicklung des Arbeitskreises wurde u. a. ein rechtzeitiges Einreichen von kurzen Abstracts der Vortragenden beim jeweiligen Veranstalter gewünscht. Hier sollte auch möglichst eine Literaturliste hinzugefügt werden. Mehrheitlich wurden AK-Treffen mit einem Nachmittag und dem folgenden Vormittag befürwortet, da dann genügend Zeit für An- und Abreise und ein gemeinsamer Abend zur Verfügung stehen. Das nächste Treffen des AK Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik soll am 6./7. Oktober 1994 bei Herrn Reiche am IKZ in Berlin stattfinden, Thema: Konstitutionelle Unterkühlung bei der Czochralski-Züchtung.

Teilnehmer in Stuttgart waren: M. Göbbels (Univ. Aachen); A. Coprez, J. Hulliger (Univ. Bern); F. Wallrafen, K. Dupré (Univ. Bonn); R. Geray (Esslingen); W. Aßmus, B. Lommel, F. Riltter (Univ. Frankfurt/Main); D. Schwabe (Univ. Giessen); M. Luhn, L. Ackermann (FEE, Idar-Oberstein); E. Pfeifer (CZ Jena); H. Hesse, R. Pankrath, F. Mersch, F. Baller (Univ. Osnabrück); W. Tolksdorf (Ranstadt); A. Kult, N. Michel, W. Hüben (HAM, Schwendi); U. Brauch, U. Becker (DLR Stuttgart); F. Richter, H. Paus (Univ. Stuttgart); A. Leutz, A. Glixner, C. Gaining, R. Jooss, J. Läger (Univ. Ulm); A. Kurtze (Swarovski, Wattens), P. Reiche, R. Uecker (IKZ Berlin).

Klaus Dupré

Der Arbeitskreis **'Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik'** veranstaltet sein nächstes Treffen am Institut für Kristallzüchtung in Berlin.

Beginn: Donnerstag, 6. Oktober 1994 (mittags)
Ende: Freitag, 7. Oktober 1994 (mittags)

Thema: **Konstitutionelle Unterkühlung bei der Czochralski-Züchtung**

Interessenten melden sich bitte bei:
Prof. H. Paus
2. Physikalisches Institut
Pfaffenwaldring 57
70550 Stuttgart
Tel. 0711/685-5223
Fax 0711/685-5285

3.2 Arbeitskreis Röntgentopographie

Die Sitzung des Arbeitskreises wurde wieder gemeinsam mit der AG „Realstruktur und dynamische Interferenztheorie“ der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie durchgeführt. Sie wurde von Herrn Prof. H.-R. Höche, dem Leiter der AG, organisiert und fand 27. – 30. Sept. 1993 im Berghotel „Glückauf“ in Güntersberge (Ostharz) statt. Einer alten Tradition der AG „Realstruktur...“ folgend war das Treffen als eine Herbstschule zum Thema „Röntgenoptik“ konzipiert. Während der insgesamt 3,5 Tage dauernden Sitzung wurden – neben den angemeldeten wissenschaftlichen Vorträgen – von eingeladenen Spezialisten Vorlesungen sowohl über die Grundlagen als auch über die neuesten Entwicklungen und Anwendungen der Röntgenoptik präsentiert.

Etwa 50 Teilnehmer waren der Einladung nach Güntersberge gefolgt. Das vielseitige Programm umfaßte 23 Vorträge und Vorlesungen. Unter der Thematik „Röntgenoptik“ wurden die folgenden Vorträge gehalten: Röntgenoptik des Zweistrahl-falles (Höche, Halle); Strahlausbreitung im perfekten Kristall (Köhler, Berlin); Röntgenoptik mit gekrümmten Kristallen I/II (Förster/ Uschmann, Jena); Kristalle für die Röntgenspektroskopie (Werhan/ Hölzer, Jena); Totalreflexion (Klemradt, Jülich); Reflektierende optische Komponenten im Röntgenbereich (Becker, Oberkochen); Polarisationsoptik mittels Zweistrahlinterferenzen (Höche/Höfer, Halle); Kollimatorsysteme zur Einkristalldiffraktometrie (Berger, Berlin); Dichroismus im Röntgenbereich (Kirkel, Würzburg); Spaltbeugung im Röntgenbereich (Eisenschmidt/ Leitenberger, Halle).

Vier Vorträge waren den Mehrstrahlfällen gewidmet: Mehrstrahlfälle (Hümmer, Karlsruhe), Strukturuntersuchungen mit Mehrstrahlfällen (Weckert, Karlsruhe), Polarisationsphänomene (Schwegle, Karlsruhe), Dreistrahl-Interferometer (Rautenstrauch, Hamburg). Auch die hochauflösende Röntgendiffraktometrie und die Diffraktometrie an epitaktischen Schichten waren in zwei Übersichtsvorträgen vertreten (beide von Schuster, München). Ein Beitrag behandelte die röntgenographische In-Situ-Untersuchungen des Relaxationsverhaltens von Si/Ge-Schichten (Zaumseil, Frankfurt/O.).

Zwei Autoren berichteten über den Stand der Synchrotronstrahlungstopographie an der European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble: Die schweizerisch-norwegische Beamline an der ESRF (Weber, Lausanne); Topographie an der ESRF – erste experimentelle Ergebnisse und Projekte (Härtwig, Grenoble). Die diffuse Röntgenstreuung an lamellaren Strukturen wurde von Pietsch, Potsdam, behandelt. Das Vortragsprogramm wurde mit einem Übersichtsvortrag über Neutronen-Doppelkristalldiffraktometrie (Treimer, Berlin) abgeschlossen.

Die Tagung fand in einer freundschaftlich-familiären Atmosphäre statt. Gerade die Beschränkung auf eine relativ kleine Zahl engagierter Teilnehmer, die sich an der Schmalseite eines großen Speisesaales im Halbkreis um die Sprecher gruppierte, wirkte anregend für Gespräche und Diskussionen. Auch die Kombination von Übernachtungs- und Tagungsstätte in einem Hause förderte den Dialog und den Gedankenaustausch. Die Verbindung einer Tagung mit einem Schulprogramm über ein spezielles Teilgebiet aus dem Interessenbereich der Arbeitskreise wurde von den Teilnehmern als sehr positiv empfunden und zur Wiederholung empfohlen.

Am Ende der Tagung wurde beschlossen, von dieser Sitzung und Herbstschule einen Proceedings-Band herauszugeben. Weiterhin haben die beiden Arbeitskreise vereinbart, derartige Schultagungen alle zwei Jahre im Wechsel mit dem „European Symposium on X-Ray Topography and High-Resolution

"Diffraction" durchzuführen. Das nächste **European Symposium** wird am

5. – 7. September 1994

in Gosen bei Berlin als Satelliten-Tagung zum „XV. European Crystallographic Meeting“ (ECM-XV in Dresden, 28. 8. – 2. 9. 1994) stattfinden (siehe Tagungskalender in diesem Heft).

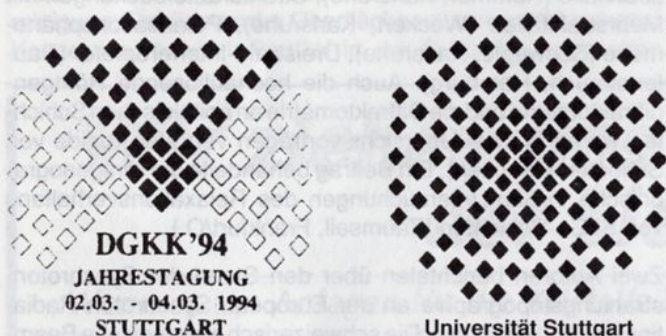
H.-R. Höche, H. Klapper

4. Kristallzüchtung in Deutschland

Wegen des umfangreichen Übersichtsartikels (Nr. 6) entfällt in dieser Ausgabe der entsprechende Artikel. In der November-Ausgabe (Nr. 60) erscheint ein Artikel aus dem Erlanger Kristallzüchtungslabor von Georg Müller unter dieser Rubrik.

5. Tagungsberichte

Bevor die Redakteure mit ihren Beiträgen zu den wissenschaftlichen Ergebnissen zu Wort kommen, möchte ich die Gelegenheit wahrnehmen, meinen herzlichen Dank für die ausgezeichnete Organisation der Tagung und des Begleitprogramms auszusprechen. Den zukünftigen Veranstaltern der DGKK-Tagung wird es schwerfallen auch nur annähernd gleichzuziehen. Sehr gelungen fand ich die Preisverleihung für die besten Poster. Das Logo der Tagung



hat viel Aufmerksamkeit erregt. Was verbirgt sich dahinter? Lassen wir zunächst den Leiter der Tagung Herrn Paus zu Worte kommen.

F. Wallrafen

Das Logo ist abgeleitet von dem der Universität Stuttgart. Was für viele – mich selbst eingeschlossen – wie ein zwar geordneter, aber trotzdem etwas geistlos wirkender Punktehaufen aussieht, will in Wirklichkeit etwas vermitteln: Es ist von den Erfindern als ein Kennzeichen (Logo) für die Universität gedacht, das sich von den in Handel und Industrie üblichen Markenzeichen abhebt. Es soll ein Symbol sein für die Universität als einer pluralistischen Einheit einer Vielzahl von Institutionen, Menschen und Meinungen. Es soll darstellen, daß die Universität ein Brennpunkt ist mit einer großen Ausstrahlungskraft nach außen.

Auch die DGKK ist eine solche pluralistische Einheit. Die Gesellschaft bietet ein Dach für eine Vielzahl von Materialien und Menschen, die diese Materialien hantieren und erforschen. Ein Wesenszug der DGKK ist diese Vielfalt, die sie einerseits so attraktiv macht, die aber andererseits auch die Ursache ist für eine Vielzahl von Problemen, die man z. B. dann erkennt, wenn man eine Jahrestagung wie diese organisieren will.

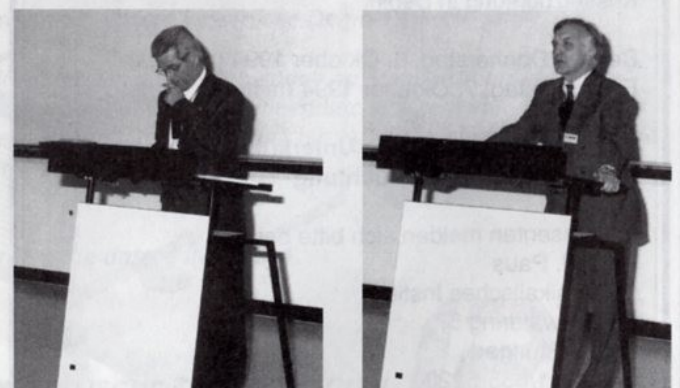
Das Logo der Tagung ist zwar von dem der Universität abgeleitet, aber keineswegs einfach gestohlen worden. Vielmehr kam der erste Vorschlag dazu von der Pressestelle der Universität selbst. Grundidee: Es sollte etwas geschaffen werden, worin sich die Kristallzüchter und Materialwissenschaftler irgendwie wiedererkennen können, das aber nicht so unmittelbar bildlich an Kristalle anknüpft. Es sollte z. B. nicht ein Stuttgarter Rößle mit kristallinen Hufen oder eine Kirche in Kristallform oder der Stuttgarter Fernsehturm als dendritisch gewachsener Kristall sein. Es sollte vielmehr ein Symbol sein für die Konzentration der Vielfalt in einer Konferenz wie dieser. Die dunklen und hellen Punkte sollen andeuten: Viele Wissenschaftler kommen zusammen und gehen mit neuen Erfahrungen und neuen Plänen wieder weg. Symbolisch sollen die dunklen und hellen Punkte aber auch die Materialien wiedergeben, die in den Labors durch die Hände der Kristallzüchter gehen und geläutert in reinerer Form in die Welt geschickt werden.

Das Logo soll auch – bewußt angelehnt an das der Universität – zum Ausdruck bringen, daß diese Universität uns, der DGKK-Jahrestagung ein Dach gegeben hat, unter dem wir uns treffen konnten. Die Darstellung dieser Symbolik ist, auch dies soll vermerkt werden, gelungen, ohne die Symmetrie des Universitätslogos im geringsten zu verletzen.

H. Paus

Die Aufforderung der Tagungsleitung zur Interpretation fand regen Widerhall. Hier einige Auszüge

- Der Kristall als Pfau
- Der direkte Weg für Kristallzüchter u.a. führt zur DGKK
- Die DGKK unter dem Dach der Universität Stuttgart
- Bausteine an der Phasengrenze – ratlos!
- Viele Teile auf dem Weg zum Einkristall
- Schwarz emittierender Laser
- Der explodierende quasi-3-dimensionale Kristall? ... oder das Auseinanderdiffundieren der Bausteine/Fachaussschüsse/Spezialinteressen? – – Der Versuch, durch eine ‚Kernveranstaltung‘ die Bausteine der DGKK zusammenzuhalten. Die Ambivalenz des Notwendigen!!
- Kristallkern mit heterogenem Substrat (der DGKK) und Korngrenze
- Kristallspalter festgefahren (‘wer zieht mich aus der Klemme?’)
- Kondensation von Forschungsergebnissen mit der >DGKK als Kern



Herr Paus und Herr Queiser bei der Eröffnung der DGKK-Jahrestagung 1994



Gut besucht waren die Vorträge an den drei Tagen



Die Kaffee-Pausen boten einerseits entspannte Unterhaltungen



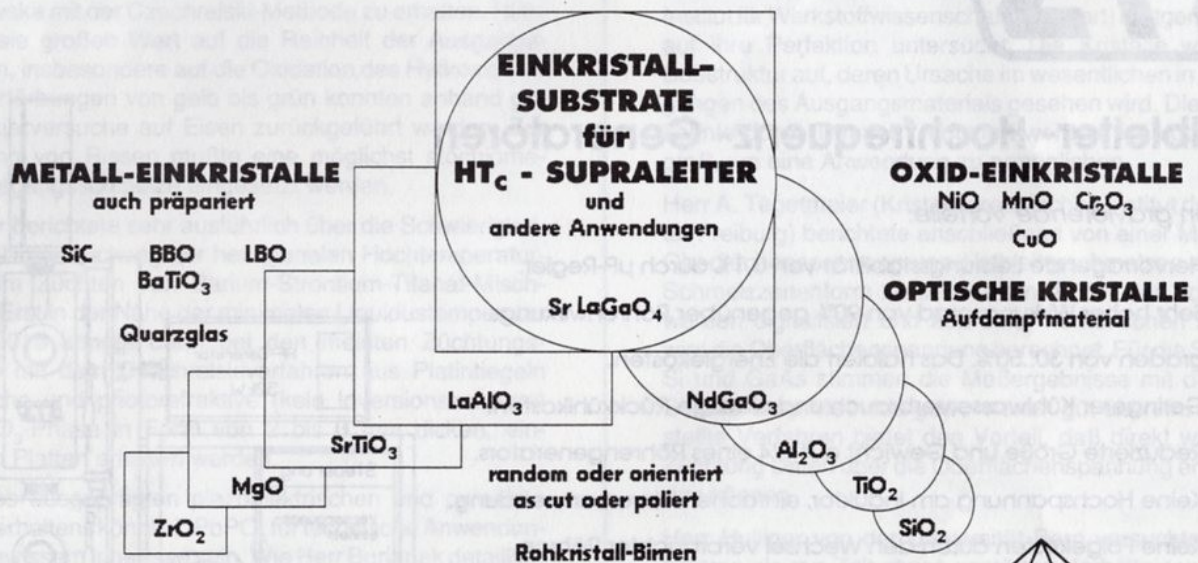
– aber auch intensive Diskussionen (H. Paus, W. Schröder, P. Reiche)

K. J. Ebeling von der Universität Ulm und D. Hommel von der Universität Würzburg stellten in ihren Plenarvorträgen den Entwicklungsstand und die eigenen Arbeiten auf dem Gebiet von Laserdioden der Systeme AlGaAs-GaAs bzw. Cd_xZn_{1-x}Se-ZnS_xSe_{1-x} vor.

Bei beiden Systemen werden die erforderlichen Schichtstrukturen mittels MBE hergestellt.

Im Falle der von Herrn Ebeling beschriebenen Dioden auf GaAs-Basis werden die Züchtungsabläufe mittlerweile sehr gut beherrscht. So können aus insgesamt ca. 100 epitaktisch aufgewachsenen Schichten bestehende Diodenlaser mit integrierten, ausgefeilten Resonatorstrukturen präpariert werden.

Für Forschung und Produktion



KRISTALLHANDEL KELPIN

69181 Leimen · Tel.: 0 62 24/7 25 58 · Telex 46 66 29 · Telefax 0 62 24/7 71 89



Ein eindrucksvolles Ergebnis ist die von Herrn Ebeling vorgestellte Laserdiode mit Vertikalresonator (VCSEL). Die aktive Zone wird von InGaAs-Quantumwells gebildet, als Laserspiegel dienen $\lambda/4$ -Schichtpaare aus GaAs und AlAs, die als Bragg-Reflektoren wirken. Die Abstandsschichten zwischen der aktiven Zone und den Spiegeln bestehen aus AlGaAs und AlAs.

Die Strahlqualitäten solcher VCSEL sind so gut, daß Wirkungsgrade für die Einkopplung in Monomodefasern von bis zu 80% erreicht wurden. Die guten Eigenschaften der Einzellemente ermöglichen nun die Realisierung von Laserarrays, wodurch sich natürlich eine Fülle von denkbaren Anwendungen ergibt. Die bislang verfügbaren Vertikallaserdioden emittieren im nahen Infrarot, doch hält es Herr Ebeling in seiner Einschätzung der zukünftigen Entwicklung für möglich, daß über die Präparation von strained quantum wells auch VCSEL's für den blauen oder gar ultravioletten Spektralbereich realisiert werden können.

Nicht minder interessant war die von Herrn Hommel gegebene Darstellung des Entwicklungsstands bei den II-VI-Halbleiterslasern für den blau-grünen Spektralbereich auf der Basis von ZnSe und ZnS.

Die Herstellung erfolgt auch hier durch Molekularstrahlepitaxie. Nur durch dieses fern vom thermodynamischen Gleichgewicht arbeitende moderne Epitaxieverfahren ist es bislang möglich, in diesem Materialsystem sowohl n- als auch p- Dotierungen zu erreichen. Die n-Dotierung erfolgt durch Al, Ga oder Indium auf dem Zn-Platz oder was effektiver ist, durch Cl auf dem Se-Platz. Die wesentlich problematischere p-Dotierung kann durch Li oder Na auf dem Zn-Platz bzw. N, P oder As auf dem Se-Platz geschehen, wobei nur N einen effektiven Akzeptor darstellt.

Ein Teil der Kurzvorträge befaßte sich mit verfahrenstechnischen Fragen.

U. Voland berichtete, daß durch eine geeignete Temperung oberhalb von 1100°C sich bei nach der Vertical-Gradient-Freeze-Technik gezüchtetem GaAs eine Umverteilung der As-Ausscheidungen und, damit verbunden, eine Homogenisierung der elektrischen Eigenschaften erreichen läßt.

D. Ottenwälder untersuchte die Frage nach dem Einfluß der Indium-Quelle auf Wachstumsprozeß und Züchtungsergebnis bei der Niederdruck-MOVPE von InP/GaInAs-Strukturen. Verglichen wurden die Quellen TMIIn (Trimethylindium) und DADI (Dimethyl-aminopropyl-Dimethylindium), wobei sich die Verwendung der Quelle DADI als vorteilhaft hinsichtlich der Schichthomogenität und unerwünschten Keimbildung auf den Masken erwies.

P. Gille analysierte die Wirkungsweise der von Ostrogorski angewendeten Submerged Heater Methode (SHM) zur Züchtung dotierter Einkristalle nach dem Bridgman-Verfahren. Herr Gille konnte zeigen, daß die SH-Methode mit dem Zonenschmelzverfahren verglichen werden kann und daß die für das letztere Verfahren entwickelten theoretischen Beschreibungen auch auf die SH-Methode angewendet werden können.

In den weiteren Vorträgen ging es um $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -Kristalle.

Herr Gerhardt vom IKZ Berlin untersuchte die Homogenität solcher Proben über IR-Transmissionsmessungen. Die hiermit gewonnenen Daten charakterisieren das gesamte Volumen und nicht nur die Oberfläche. Deutlich erkennbar sind Striations, Mikroinhomogenitäten und Versetzungen.

Das Wachstum von $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -Mischkristallen wurde von Herrn Kürten beschrieben. Die Züchtung solcher Kristalle gelang sowohl auf der Si-reichen Seite (bis 20% Ge), als auch auf der Ge-reichen Seite (bis 10% Si) des Phasendiagramms. Mit



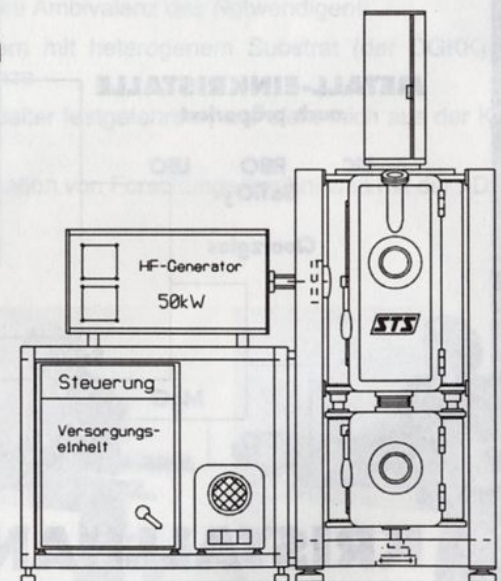
SYSTEMTECHNIK SKORNA

Halbleiter- Hochfrequenz- Generatoren

bieten gravierende Vorteile:

- ▶ Hervorragende Leistungsstabilität von 0,1% durch μP -Regler.
- ▶ Sehr hoher Wirkungsgrad von 90% gegenüber Röhrenwirkungsgraden von 30..50%. Das halbiert die Energiekosten.
- ▶ Geringerer Kühlwasserverbrauch und niedrige Rückkühlkosten.
- ▶ Reduzierte Größe und Gewicht auf 1/4 eines Röhrengenerators.
- ▶ Keine Hochspannung am Induktor, einfache Vakuumanwendung.
- ▶ Keine Folgekosten durch den Wechsel verbrauchter Röhren.
- ▶ Serielle RS232 Schnittstelle zur Prozeßsteuerung durch PC.

- Leistung: 3..100 kW
- Frequenz: 20..400kHz



Systemtechnik Skorna
Eschenfelden 93
92275 Hirschbach

Tel: 09665-8144
Fax: 09665-8188

oder

Systemtechnik Skorna
Max-Reger-Straße 1-3
92237 Sulzbach-Rosenberg

Tel: 09661-9443
Fax: 09661-9962

EDX-Messungen und röntgenographischen Methoden wurden diese Kristalle hinsichtlich Mikroseggregation, Mosaikstruktur und Zwillingbildung untersucht.

Der letzte Vortrag am Mittwoch Nachmittag befaßte sich mit der berührungslosen Untersuchung von Dotierungsinhomogenitäten in Silizium-Kristallen über ein Photoscanning-Verfahren. Mit der vorgestellten Methode konnten die Striationsmuster in den untersuchten Kristallen prägnant dargestellt werden. Ziel dieser Messungen ist die hochpräzise Bestimmung der Wachstumsphasengrenze. Ein Vorteil des Photoscanning-Verfahrens ist unter anderem der relativ geringe Anspruch an die Qualität der Probenoberfläche.

W. Aßmus / F. Ritter

Mit großer Lebendigkeit wurde von Herrn Wittmann dem Auditorium die neue Festkörperfamilie der Quasikristalle (QK) vorgestellt. Quasikristalle treten bei bestimmten Aluminiumlegierungen auf und zeichnen sich durch hochgeordnete Strukturen aus, die nur in bestimmten Richtungen (z. B.: $\text{Al}_{62}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{20}\text{Si}_3$ periodisch in eine Richtung, dekadonale Struktur, 2 D QK) oder auch in keiner Richtung (z. B.: $\text{Al}_{85-x}\text{Cu}_x\text{Ru}_{15}$, $15 < x < 20$, ikosaedrische Punktgruppe, 3 D QK) durch eine Translation zur Deckung gebracht werden können. Ausführlich wurden die bis jetzt bekannten QK-Strukturen und ihre theoretische Konstruktion erläutert. Darüber hinaus wurden charakteristische Beispiele von Quasikristallen, deren Stabilität und Herstellung eingehend erörtert. Auch wurde auf die hohe Anisotropie der Transporteigenschaften einiger Quasikristalle hingewiesen.

Zur großen Freude eines praktizierenden Kristallzüchters teilte Herr Göbbels detailliert seine Erfahrungen in der Züchtung von reinen und dotierten $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ -Granatkristallen nach dem Zonenschmelzverfahren mit einem Spiegelofen mit. Besondere Zuwendung fand der Einfluß der Anordnung und Geometrie von Wärmeschutzschildern sowie der Stabrotation auf die Form der Phasengrenzfläche.

Möglichst chemisch reine LaSrAlO_4 Kristalle versuchte Frau Pajaczkowska mit der Czochralski-Methode zu erhalten. Hierbei legte sie großen Wert auf die Reinheit der Ausgangsmaterialien, insbesondere auf die Oxidation des Hydroxids im La_2O_3 . Verfärbungen von gelb bis grün konnten anhand gezielter Dotierversuche auf Eisen zurückgeführt werden. Zur Vermeidung von Rissen mußte eine möglichst stöchiometrische Ausgangsschmelze eingesetzt werden.

Herr Baller berichtete sehr ausführlich über die Schwierigkeiten in der Unterdrückung der hexagonalen Hochtemperaturphase beim Züchten von Barium-Strontium-Titanat-Mischkristallen. Erst in der Nähe der minimalen Liquidustemperatur für $x \approx 0.015$ konnte dann bei den meisten Züchtungsversuchen mit dem Czochralski-Verfahren aus Platintiegeln die kubische und photorefraktive (kein Inversionszentrum) $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ -Phase in Form von 2 bis 3 mm dicken, einkristallinen Platten erhalten werden.

Wegen des ausgeprägten piezoelektrischen und pyroelektrischen Verhaltens könnte LiPbPO_4 für technische Anwendungen von gewissem Interesse sein. Wie Herr Burianek detailliert darlegte, war das Züchten von LiPbPO_4 -Kristallen infolge des peritektischen Zerfalls (890°C , Liquidustemperatur = 920°C) grundsätzlich erschwert. Die Kristallzüchtung wurde nach dem Czochralskiprinzip mit Schmelzen ausgeführt, deren Liquidustemperatur durch $\text{Bi}(\text{PO}_3)_3$ Zusatz erniedrigt war. Kleine Zuggeschwindigkeiten ($< 0.3 \text{ mm/h}$) und 4.5 Mol% $\text{Bi}(\text{PO}_3)_3$ Zusatz erbrachten etwa 35 mm lange, klare Einkristalle ohne $\text{Pb}_3\text{Bi}(\text{PO}_4)_3$ Ausscheidungen.

E. Schönherr

Die Vorträge nach der Mittagspause beschäftigten sich vorwiegend mit der Züchtung von Metallen und Halbleitern aus der flüssigen Phase.

In einem sehr ansprechenden Vortrag stellte Herr K. Maier vom Institut für Strahlen- und Kernphysik der Universität Bonn die Herstellung und Anwendung von Schwermetallkristallen wie Wolfram und Tantal vor. Bei dem zur Züchtung verwendeten modifizierten Zonenschmelzverfahren erfolgt der Energieübertrag durch Elektronenbeschuß aus einer Ringkathode. Die zunächst wegen instabiler Wachstumsparameter auftretenden Probleme konnten durch eine Glättung des Heizstromes gelöst werden. Die gezüchteten Wo-Einkristalle wiesen Bereiche auf, die für den Einsatz als Detektoren für hochenergetische Elektronen und für Photonen aus der Höhenstrahlung oder als Targets für die Paarproduktion geeignet sind. Die physikalischen Grundlagen dieser Anwendungen wurden dem Zuhörer dabei leicht verständlich nahegebracht.

Die anschließenden beiden Vorträge hatten die Züchtung von Einkristallen aus Materialien, deren Eigenschaften röntgenoptische Anwendungen ermöglichen, zum Thema.

Über erste Schritte zur Züchtung von Deltakristallen berichtete Herr M. Schenk (Humboldt-Universität zu Berlin). Deltakristalle besitzen einen sich über die Kristalllänge stetig ändernden Gitterparameter, was sie für die Röntgenoptik interessant macht. Aufgrund der vollständigen Mischbarkeit im Festen und im Flüssigen läßt sich im quasibinären System GaSb-InSb durch Züchtung mit der Gradienten-Projektionsmethode die gewünschte Gitterparameteränderung durch Änderung der Zusammensetzung erreichen. Bis jetzt konnte nur polykristallines Material erhalten werden, aber es bleibt zu hoffen, daß, wie bei Gasphasenzüchtungen von gradierten Kristallen aus II-VI Materialien, Einkristalle hergestellt werden können.

Aufgrund ihrer günstigen Verhältnisse von Streu- zu Absorptionsvermögen sind Einkristalle aus Elementen mit kleiner Ordnungszahl wie z. B. Beryllium sehr effizient als Röntgenmonochromatoren. Kristalle, die tiegelfrei im Spiegelofen gezüchtet wurden, hat Frau U. Scholz (MPI für Metallforschung, Institut für Werkstoffwissenschaft, Stuttgart) röntgenographisch auf ihre Perfektion untersucht. Die Kristalle wiesen eine Substruktur auf, deren Ursache im wesentlichen in Verunreinigungen des Ausgangsmaterials gesehen wird. Die Defektrate konnte durch Tempern reduziert werden, ist jedoch noch zu groß, um eine Anwendung zu ermöglichen.

Herr A. Tegetmaier (Kristallographisches Institut der Universität Freiburg) berichtete anschließend von einer Methode, die Oberflächenspannung von Halbleiterschmelzen anhand der Schmelzzonenform zu bestimmen. Bilder der Schmelzzone werden digitalisiert und aus einer numerischen Anpassung wird die Oberflächenspannung berechnet. Für die Substanzen Si und GaAs stimmen die Meßergebnisse mit den aus der Sessile-Drop-Methode gewonnenen gut überein. Das vorgestellte Verfahren bietet den Vorteil, daß direkt während der Züchtung Daten über die Oberflächenspannung erhalten werden können.

Herr Hulliger von der Universität Bern versuchte in seinem Vortrag ein zur Zeit etwas gestörtes Verhältnis von "Chemie und Kristallzüchtung" nachzuweisen. Als Beleg führte er z. B. die sehr geringe Zahl von Veröffentlichungen in chemischen Fachzeitschriften an, bei denen Begriffe wie "Kristallzüchtung" im Titel auftauchen – sicherlich eine fragwürdige Beurteilungsgrundlage. Hulliger selbst sprach sich für eine Aufnahme der Grundlagen der Kristallzüchtung in chemische Lehrbücher und Vorlesungen und für eine Übernahme von Standardzüchtungsverfahren seitens der Chemiker aus. Auf einer chemischen Fachtagung hätte ein entsprechender Appell vermut-

CRYSTAL

• Kristallpräparation

Orientieren, Sägen
Polieren
II-VI Substrate
IV-VI Substrate
Hoch-Tc Substrate
Keimkristalle
Sputtertargets
Planoptik
(Prismen, Fenster, Filter, ...)

• Einkristalle

THM
Bridgman
Crystal 1/2
IV-VI
Metalle

**Herstellung und
Vertrieb von
Reinstoffen,
Einkristallen
und Planoptik**

• Reinstoffe

Zn, Cd, Hg
Sn, Pb
Se, Te
Mn
und deren binäre und
ternäre Verbindungen

CRYSTAL GmbH

Ostendstraße 1-14 12459 Berlin

Tel. (030) 63 83 29 63

Fax (030) 63 83 36 96

lich eine größere Resonanz erfahren. Er übersieht bei seiner Kritik die Möglichkeit, daß in der Überlassung der Herstellung an die eigentlichen Kristallzüchter auch eine Würdigung dieser Wissenschaftlergruppe als Vertreter einer inzwischen als eigenständig anerkannten Spezialdisziplin zum Ausdruck kommt.

P. Bräuner, M. Kläser, H. Müller, E. Weigel, F. Viehweg

Am Freitag war trotz des open-end-dinners am Vorabend nahezu kein Teilnehmerschwund festzustellen – der vielversprechende und vor allem wirklich aktuelle Beitrag von Herrn Sahn über Einkristallturbinenschaukeln war ganz am Ende der Tagung gut plaziert.

Zunächst jedoch gab Herr Hartmann vom IKZ eine vergleichende Übersicht zur Kristallzüchtung breittückiger II-VI-Verbindungen, im wesentlichen zu ZnSe. Obwohl der bekannte Gasphasenzüchter selbstverständlich "die eigene Methode als die beste" vertrat, bemühte er sich doch "sich an die Realitäten zu halten", was ihm auch gelang. Für "große" Kristalle zur Bereitstellung von Substraten kommt man an der Hochdruckschmelzzüchtung wohl nicht vorbei. Neuere japanische Arbeiten zeigen, daß mit speziellen doppelwandigen Tiegeln sowohl das Abdampfen des ZnSe durch den Graphit als auch die Zwillings- und sonstige Defektbildung günstig zu beeinflussen sind. Nach Hartmanns Ansicht sollte man aber auch nicht vergessen, wie es die Natur macht, nämlich mittels Hydrothermalsynthese bei Drücken bis 1300 bar. Allerdings züchtet die Natur nicht im Labor. Er selbst bevorzugt die Gasphasenzüchtung über Sublimation oder chemischen Transport (z. B. mit Iod als Trägergas); die frei in die Ampulle wachsenden, facettierten Kristalle sind wesentlich defektfreier und nicht zuletzt einfach schöner als die Ergebnisse der Hochdruckschmelzzüchtungen; aber, wie auch die Diskussion

deutlich machte, die Epitaktiker und "Bauelementeute" wollen nun einmal Substrate.

Herr Schwabe (Gießen) entfernte sich daraufhin in jeder Hinsicht von den Niederungen realer Kristallzüchtung und präsentierte einige Modellexperimente zur Marangoni-Konvektion unter Schwerelosigkeit, die während des Flugs der MAXUS-1b-Rakete im Herbst 92 stattfanden. Einer Küvette mit Silikonöl wurde ein horizontaler Temperaturgradient aufgeprägt. Während unter normaler Erdanziehung die thermokapillaren Kräfte nur den oberflächennahen Bereich dominieren, wird unter Schwerelosigkeit das gesamte Volumen davon erfaßt. Es war sicher notwendig "für die Jüngeren unter uns" darzustellen, "was Marangoni-Konvektion überhaupt ist", wobei er wohl weniger an das Lebensalter der Zuhörer dachte. Spätestens nach dem eindrucksvollen Film ("sehen Sie, wie die Teilchen an der Oberfläche abzocken?") war der prinzipielle Mechanismus hoffentlich allen klar. Anstelle eines Hinweises auf das Czochralski-Verfahren, wo die Marangoni-Konvektion von untergeordneter Bedeutung ist, wäre eine Erwähnung der ebenfalls bei MAXUS durchgeführten Zonenziehversuche mit GaAs angebracht gewesen, sowie ein Hinweis auf die Kristallzüchtungsexperimente während der D2-Mission. Jedenfalls zeigten die Fragen nach dem tatsächlichen Einfluß des Marangonieffektes und nach Kristallzüchtung unter Schwerelosigkeit, wie wenig bekannt die μg -Experimente selbst innerhalb der DGKK sind.

Während Herr Schwabe die Konvektion noch zweidimensional darstellen konnte, war beim Vortrag von Herrn Piechotka (Zürich) über die Bildung von Wachstumsstreifen in $\alpha\text{-H}_9\text{F}_2$ -Einkristallen die dreidimensionale Vorstellungskraft gefordert. Bei der Züchtung aus der Gasphase muß die Unterkühlung zur Einstellung einer konstanten Wachstumsrate ständig erhöht

werden. Die dabei auftretenden Wachstumsstreifen lassen sich mit Instabilitäten des Stofftransportes in der Gasphase erklären. Eher nebenbei, auf Nachfrage, erwähnte Herr Piechotka das leistungsstarke Videosystem mit einer Auflösung von 14 μm , womit das Facettenwachstum beobachtet und deren Wachstumsrate bestimmt wurde.

Um Oberflächen ging es auch beim Vortrag von Herrn Haag (Bonn) über die MBE von Erdalkalifluoriden auf LiF. Hier zeigte sich u.a. wieder einmal die Stärke der Atomkraft-Mikroskopie: die Oberflächen wurden an der freien Atmosphäre untersucht, trotzdem bildet die Spitze des AKM unter dem anhaftenden "Oberflächenschlamm" das Inselwachstum ab.

Dank des Strukturdarstellungsprogramms SCHAKAL war das von Frau Brückner (Freiburg) vorgetragene LiInS_2 -Züchtungs- und Charakterisierungsprotokoll ebenfalls recht anschaulich. Dieses sehr nützliche, in Freiburg entwickelte Programm ist offenbar noch nicht überall bekannt, wie ein Peak im Geräuschpegel deutlich anzeigt.

Den Abschluß des Tages und der Tagung bildete schließlich der Vortrag von Herrn Sahm (Aachen) über den Stand der Technik und die Entwicklung von Einkristallturbinenschaufeln. Dabei werden die größten Anforderungen bezüglich der Festigkeit für Flugzeugtriebwerke gestellt. Nach Herrn Sahms Meinung hat hier "die militärische Rüstung ausnahmsweise in eine Richtung gewirkt, die annehmbar erscheint"; auch in der klassischen Kristallzucht sollte die Frage nach verantwortbarer Forschung vielleicht häufiger anklingen. Die Zuhörer wurden bei der Vorstellung der Herstellungsverfahren sicher sehr an das vertikale Bridgmanverfahren mit allen seinen Varianten erinnert; so ist die "autonome gerichtete Erstarrung" anderswo als "vertical gradient freeze" bekannt. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der Erstarrungsgeschwindigkeit bzw. im Temperaturgradienten an der Wachstumsfront; schließlich soll das Wachstum dendritisch erfolgen. Dies ist letztlich auch der Grund, warum die numerische Simulation trotz äußerst komplexer, dreidimensionaler Geometrien so realitätsnahe Temperaturverteilungen liefert; die Verwendung der derzeit leistungsstärksten Vektorrechner ist allerdings Voraussetzung. Daß diese dendritisch erstarrten "Einkristalle" stark gestört sein müssen, ist offensichtlich, leider lagen hierzu keine Ergebnisse (z. B. rocking curves) vor. So gesehen war die Frage, warum eingesetzte Formteile einkristallin "umspült" werden können, sehr berechtigt. Was passiert, wenn nach der Auftrennung der Wachstumsfront zwei Fronten wieder zusammentreffen? Kann man hier wirklich mit Fernordnung argumentieren? Meines Erachtens wurde die Frage nach der "Einkristallinität" nicht geklärt. Auch bei der Defektbildung muß sich der Kristallzüchter an neue Begriffe gewöhnen: "Sliver", "Freckles" und "Zebras" bedrohen das "einkristalline Gefüge"(!). Nach Herrn Sahms Ausführungen ist auch das Ende der Einkristallturbinenschaufeln bereits wieder in Sicht: höchste Temperaturen lassen sich auch mit "exotischen" intermetallischen Legierungen nicht bewältigen. Die Zukunft führt hier offenbar zu den Keramiken.

A. Seidl

Die Poster befanden sich im Vorraum des Hörsaals und waren während der gesamten Konferenz zugänglich. So fand ein reger Gedankenaustausch nicht nur während der eigentlichen Posterpräsentation, sondern auch während aller Kaffeepausen statt. Die Poster behandelten ein großes Spektrum an Materialien, Herstellungsverfahren und Charakterisierungs-

methoden, so daß es hier nur möglich ist, einen kurzen summarischen Überblick zu geben. Viele Poster zeigten Ergebnisse der Züchtung und Charakterisierung von oxidischen und fluoridischen Laserkristallen und von Kristallen mit interessanten nichtlinearen Eigenschaften. Die Kristallzucht erfolgte über automatisierte Czochralski-Ziehanlagen und Spiegelöfen, aber auch über konventionelle Techniken.

Auch mit den Materialien und Techniken, die zur Herstellung von Laserdioden Verwendung finden, beschäftigten sich mehrere Beiträge. Als Herstellungsverfahren diente hier die Molekularstrahlepitaxie, die darüber hinaus auch bei der Präparation anderer II-VI-Verbindungen eine große Rolle spielte. Die Einkristallzucht weiterer binärer und ternärer Halbleiter z. B. für Solarzellen und Gassensoren mittels CVD und dem Bridgman-Verfahren wurde vorgestellt. Ladungsträgermobilitäten wurden spektroskopisch bestimmt.

Zur Herstellung klassischer Halbleiter wie Si und GaAs wurden das Bridgman- und das Floating Zone-Verfahren verwendet. Besonders muß die LPE-Zentrifuge erwähnt werden, mit der 20 μm dicke Schichten von 100 mm Durchmesser mit einer Dickenhomogenität besser 5 % hergestellt wurden. Bei diesen Materialklassen beschäftigten sich viele Beiträge mit breitbandiger Materialcharakterisierung. Besonders eindrucksvoll waren die Untersuchungen zur Mikrotopologie und den Nanostufen an Halbleiteroberflächen.

Allgemein fiel die ständig wachsende Zahl von Arbeiten auf, die sich mit numerischen Berechnungen und Simulationen befassen. So gab es z. B. Arbeiten zu den Themen: Zusatztransport in der Scherzelle, Strömungen, Konvektionsdynamik, Temperaturprofil, Phasengrenze und Verteilungskoeffizienten bei verschiedenen Züchtungsverfahren wie Czochralski, Bridgman, MOVPE und CVD. Die Regelung von Mehrzonenöfen und die Optimierung von Temperaturfeldern durch Magnetfelder wurde diskutiert.

Untersucht wurden auch weitere Gebiete, die für Züchtung und Wachstum wichtig sind, wie z. B. Segregationsanalyse, Wachstumskinetik aus Lösungen, Strukturbildung bei fest/fest Phasenumwandlungen, Phasenübergänge bei Bleihalogeniden, die Charakterisierung mittels Gammadifraktometrie und Spurenanalyse mit AAS.

Außerdem wurde die Züchtung der Superlegierung NiAl, des Mischkristallsystems $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$, die Herstellung von HgI_2 , Siliziumcarbidnitrid und ZrO_2 -Nanokristallen, von GaPO_4 und $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$ aus der Lösung sowie von $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$ mittels Elektrokristallisation vorgestellt.

Mehrere Beiträge beschäftigten sich mit der Herstellung von schmelztexturiertem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ mittels LPE, Spiegelöfen, Mehrzonenöfen und Strom. Interessant waren des weiteren die Diskussion des Sauerstoffdiffusionsprozesses, die Strukturbildung von $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ und die Einkristallzucht von BaCuO_2 .

Als Vertreter ungewöhnlicher Materialklassen wurden durch modifizierte Gasphasenabscheidung hergestellte C_{60} - und C_{70} -Einkristalle sowie mittels Czochralski gezüchtete Ein-Quasikristalle vorgestellt.

Jeder Teilnehmer konnte mit seiner Stimme das 'schönste' Poster auswählen. Bei der Wahl fiel eine interessante Korrelation zwischen der Posterschönheit und der Teilnehmeranzahl der jeweiligen präsentierenden Arbeitsgruppe auf. Zufall?

B. Lommel

Geometrisch präzise

Oberflächenpräparation in Vollendung mit LOGITECH Geräte-Systemen

Erreichbare Ergebnisse:

- Planparallelität von
 < 2 Bogenminuten
- Dickenabweichung $\pm 1 \mu\text{m}$
- Planheit bis zu $\lambda / 10$
- Mikrorauigkeit < 1 nm RMS

Anwendungsbereiche für LOGITECH Präparations- systeme:

- Optik
- Elektro-Optik
- Halbleitertechnik
- Werkstoffentwicklung
- Technische Keramik
- Polymertechnologie



Interessiert? Nehmen Sie Kontakt mit uns auf!



Struers

Struers GmbH
Produktbereich LOGITECH
Albert-Einstein-Straße 5
40699 Erkrath
Telefon (02 11) 20 03-35
Telefax (02 11) 20 03-99

6. Übersichtsartikel

Kristallzüchtung für die Photovoltaik – Forschung in Deutschland

Ralf Bergmann und Jürgen H. Werner
Max Planck Institut für Festkörperforschung,
Heisenbergstr. 1, D-70569 Stuttgart

1. Einleitung	15
2. Überblick über photovoltaisch relevante Materialsysteme	15
3. Silizium für photovoltaische Anwendungen	17
3.1. Volumenkristallisation von polykristallinem Silizium	17
3.2. Bänderziehverfahren zur Herstellung von polykristallinem Silizium	17
3.3. Kristalline Silizium-Dünnschicht- Solarzellen auf Silizium und Fremdsubstraten ..	19
3.4. Amorphes Silizium	20
4. Verbindungshalbleiter	21
4.1. III-V-Verbindungen	21
4.2. Cadmium-Tellurid	22
4.3. Kupfer-Indium-Diselenid und verwandte Materialien	22
5. Alternative Materialien im Frühstadium	22
5.1. Pyrit	22
5.2. Eisendisilizid	23
5.3. Andere anorganische Halbleiter	23
5.4. Organische Halbleiter	24
6. Fragestellungen und Perspektiven für die Zukunft	24
Danksagung	25
Literatur	25

1. Einleitung

In den letzten 10 Jahren hat die Photovoltaik, nach einer Phase der Stagnation, bedeutende Fortschritte erzielt [1]. Heute wird an einer Reihe von Materialsystemen für die photovoltaische Nutzung gearbeitet. Der Kristallzüchtung kommt dabei durch die Herstellung entsprechender Einkristalle oder polykristalliner Schichten eine zentrale Bedeutung zu. Der vorliegende Artikel beschreibt aktuelle Forschungsthemen im Bereich der Kristall-

züchtung für die Photovoltaik in Deutschland. Unter dem Begriff 'Kristallzüchtung' verstehen wir hier sowohl Volumen-Kristallisationsverfahren als auch Abscheideverfahren zur Herstellung von kristallinen Materialien in Form von Filmen. Nach einem Überblick über die photovoltaisch relevanten Materialien behandeln wir, geordnet nach Materialsystemen, die Forschungsaktivitäten in Deutschland. Eine Zusammenfassung der vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Projekte gibt der 'Statusreport Photovoltaik 1993' [2].

2. Überblick über photovoltaisch relevante Materialsysteme

Für die Herstellung von Solarzellen sind derzeit drei Halbleitermaterialien von kommerzieller Bedeutung: Mono- oder polykristallines Silizium (α -Si), amorphes Silizium (α -Si) und Cadmium-Tellurid (CdTe). Beim Kupfer-Indium-Diselenid (CuInSe₂, abgekürzt CIS) sind kürzlich signifikante Fortschritte erzielt worden. Für teure, hocheffiziente Weltraumzellen sind auch verschiedene III-V Verbindungshalbleiter, insbesondere das GaAs interessant. Dieses Material findet aber wegen seiner hohen Herstellungskosten nur gewisse Nischenanwendungen, wie z. B. bei der Energieversorgung von Satelliten und in Konzentratorsystemen. Tandemzellen auf der Basis von GaAs (z.B. GaAlAs/GaAs, GaInP/GaAs) sind Gegenstand intensiver Forschung zur weiteren Erhöhung der Wirkungsgrade. Bei Solarzellen aus amorphem Si wird durch die Einführung von Mehrschichten sowie den Einsatz von SiGe-Legierungen (z. B. α -Si/ α -SiGe) eine Reduzierung der lichtinduzierten Degradation erreicht. Die Entwicklung *kristalliner Si*-Dünnschicht-Solarzellen ist noch weitgehend im Frühstadium. Bisher befindet sich nur ein Prozeß, die Abscheidung von kristallinem Si auf einem Keramikmaterial, im Stadium der Pilot-Produktion [3]. Die ökonomischen Randbedingungen der Photovoltaik sowie europäische und weltweite Forschungsanstrengungen wurden in einem Übersichtsartikel von Claverie beschrieben [4].

Neben den bisher genannten Materialien wird eine Reihe weiterer Materialien im Labormaßstab erforscht. Es handelt sich dabei um Chalkopyrit-Halbleiter wie z.B. das Cu(In,Ga)Se₂, CuInS₂ oder auch unkonventionelle Halbleitersysteme wie FeS₂, β -FeSi₂, Schichtgitterhalbleiter (z. B. WS₂, WSe₂) und neuerdings organische Halbleiter.

Tabelle 1: Wirkungsgrade und Marktanteile von Solarzellen basierend auf verschiedenen Halbleitermaterialien. Zusammenstellung aus Refs. [5, 6, 7, 8]. Bei den angegebenen Wirkungsgraden handelt es sich um Labor-Bestwerte. Typische Wirkungsgrade z. B. von kommerziell erhältlichen Solarzellenmodulen aus kristallinem Silizium betragen i. a. weniger als 15 %.

Material	Labormuster Wirkungsgrad [%]	Sub-Modul Wirkungsgrad [%]	Modul Wirkungsgrad [%]	MW verkauft 1992
kristallines Si	23.1 (4 cm ²)		20.8 (743 cm ²)	42
Dünnschicht krist. Si	14.9 (1 cm ²)		10 (225 cm ²)	--
amorphes Si	12.7* (1 cm ²)	12 (100 cm ²)	6.8 (4939 cm ²)	14.8
CdTe	15.8 (1.05 cm ²)	9.8 (63.6 cm ²)	8.1 (838 cm ²)	1
CuInSe ₂	16.9 (0.33 cm ²)		11.1 (938 cm ²)	--
GaAs	25.1 (3.9 cm ²)	21 (16 cm ²)	--	

* unstabilisiert

Die Auswahl bisher für Solarzellen erforschter und eingesetzter Halbleiter ist nicht das Ergebnis einer auf die Photovoltaik zugeschnittenen Materialforschung, sondern vielmehr historisch bedingt. Silizium und GaAs für Solarzellen sind ein Beiprodukt der Entwicklungen der Mikroelektronik, bei anderen Halbleitern wie z. B. CdTe und CuInSe₂ wurden

zufällig recht früh hohe Wirkungsgrade erreicht. Die Materialforschung in der Photovoltaik orientiert sich zudem oft leider nicht an physikalisch-technischen und ökologischen oder ökonomischen Kriterien [9], sondern zum Teil an persönlichen Vorlieben oder auch an überholten Aussagen.

So herrscht in der Literatur immer noch eine gewisse Verwirrung bezüglich der Wahl der optimalen Energielücke für das Halbleitermaterial. Auf Grund älterer semi-empirischer Arbeiten [10, 11] wird häufig die Behauptung aufgestellt, daß das CdTe oder das CuInS_2 wegen ihrer Bandlücken um 1.5 eV ideale Photovoltaik-Materialien seien [12]. Die Berechnungen [10, 11], die dieser Aussage zugrunde liegen, benutzen allerdings Materialparameter, die dem Stand der Si-Technologie vor fast 40 Jahren entsprechen. Parameter für andere Halbleiter wurden daraus durch Skalierung mit dem Wert der Bandlücke abgeleitet. Allein die experimentellen Wirkungsgrade, die bei Si-Solarzellen inzwischen erreicht wurden, zeigen aber, daß die damaligen Berechnungen des maximalen Wirkungsgrades als Funktion der Bandlücke bereits für das Si selbst nicht mehr relevant sind. Erst recht sind diese oberen Wirkungsgradgrenzen für andere Materialien nicht mehr gültig. Auf dieser Herleitung beruhende Berechnungen zeigen einen maximalen Solarzellenwirkungsgrad von 25 % bei der Bandlücke von 1.45 eV, dem Wert der Bandlücke des CdTe.

Die Berechnung von Obergrenzen für den Wirkungsgrad von Solarzellen sollte sich an fundamentalen Gesichtspunkten orientieren. Einen geeigneten Ansatz dazu bietet die Begrenzung des Solarzellenwirkungsgrades aufgrund der *thermodynamisch* unvermeidlichen strahlenden Rekombination. Dieser Ansatz wurde bereits vor über dreißig Jahren von Shockley und Queisser [13] beschrieben. Wenn man die Sonne als schwarzen Strahler modelliert, findet man, daß Solarzellenmaterialien, die allein durch strahlende Rekombination in ihrem Wirkungsgrad beschränkt sind, maximal einen Wirkungsgrad von knapp 30 % erreichen können, wobei die optimale Bandlücke bei 1.26 eV liegt; dieses Maximum ist relativ flach. Überträgt man die Rechnung von Shockley und

Queisser auf das auf der Erdoberfläche relevante Sonnenspektrum AM1.5, so ergeben sich zwei annähernd gleich hohe Wirkungsgradmaxima von etwa 33 % nahe der Bandlückenwerte des Si und des GaAs [14].

Eine relevante Aussage über praktisch erreichbare Wirkungsgrade – und damit über einen Vergleich verschiedener Materialien – läßt sich jedoch nur dann machen, wenn die dominierenden Rekombinationsmechanismen- und parameter des betreffenden Materials bekannt sind. Beim Silizium weiß man zum Beispiel, daß nicht etwa die thermodynamisch unvermeidliche strahlende Rekombination, sondern die material-spezifische Auger-Rekombination den Wirkungsgrad auf etwa 28 bis 29 % begrenzt; bei den meisten anderen Halbleitern sind die Auger-Koeffizienten jedoch nicht einmal bekannt. Es erscheint deshalb auch nicht hinreichend fundiert, allein aufgrund einer thermodynamischen Betrachtung des skalaren Bandlückenwertes einen bestimmten Halbleiter für Solarzellen zu favorisieren. Es sind eher solche Anstrengungen zu begrüßen, die durch eine gründliche Charakterisierung material-spezifischer Eigenschaften das Wirkungsgradpotential eines Materials in einkristalliner, vor allem aber in polykristalliner Form ausloten, wobei der genaue Wert der fundamentalen Bandlücke relativ gleichgültig ist. Um maximale Wirkungsgrade von 30% unter AM1.5-Einstrahlung zu erreichen, ist theoretisch *jeder* Halbleiter mit einer Bandlücke zwischen 0.93 und 1.65 eV passend, wenn man nur die strahlende Rekombination als Verlustmechanismus annimmt.

Es erscheint insbesondere sinnvoll, die binären Verbindungen häufig vorkommender und ungiftiger Elemente zu untersuchen. Allerdings müssen sich alle diese 'alternativen' Materialien an dem schon weit entwickelten Silizium messen lassen, das nur den Nachteil der relativ geringen Lichtabsorption

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).

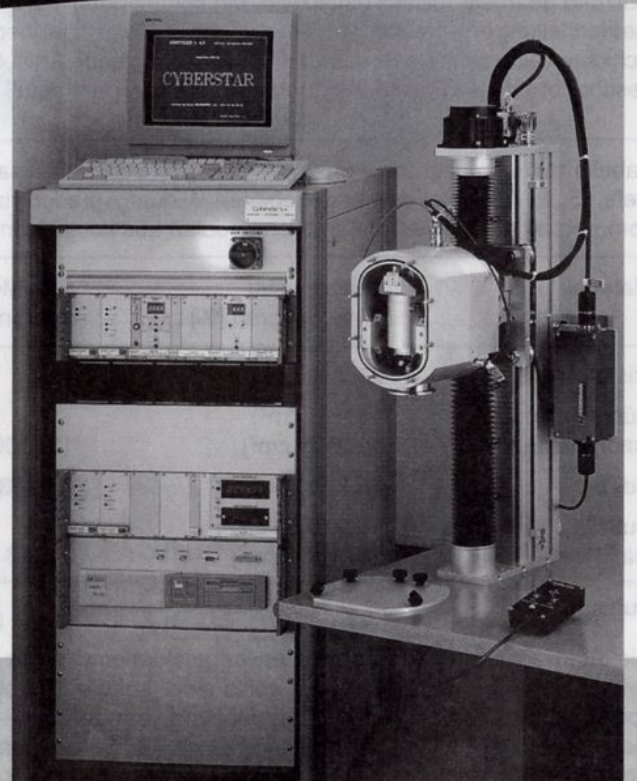
Fax or call for more information:

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.



aufgrund der indirekten fundamentalen Bandlücke hat und dessen experimentell erzielter Wirkungsgrad von 23 % recht nahe an der theoretischen Obergrenze liegt. Allein aufgrund eines passenden *skalaren Bandlückenwertes* läßt sich Forschung für andere Materialien jedenfalls kaum rechtfertigen, eher interessant erscheint es dagegen, solche Materialien zu untersuchen, die es aufgrund einer optimierten Bandstruktur erlauben [15], die bisher geltende Obergrenze von 33 % Wirkungsgrad (unter AM 1.5 Beleuchtung) bzw. 30 % (Sonne als schwarzer Strahler) zu durchbrechen.

3. Silizium für photovoltaische Anwendungen

3.1. Volumenkristallisation von polykristallinem Silizium

Tabelle 2: Übersicht über eine Auswahl von Blockkristallisationsverfahren. Für eine vollständige Übersicht siehe [16].

Firma	Technik	Blockdimensionen
Wacker	WICP (Wacker Ingot Casting Process) (SILSO)	43 x 43 x 28 cm ³ (120 kg)
Bayer AG	Kokillen-Guß und Bridgman-Verfahren	22 x 33 cm ² (Kokillen) 44 x 44 cm ² (Bridgman)
Osaka Titanium Co.	EMC (Electromagnetic Casting)	11.7 x 11.7cm ² , Länge ≈ 1 m

Die Firma *Wacker Chemitronic* arbeitet seit mehreren Jahren an der Optimierung ihres WICP (Wacker Ingot Casting Process) Siliziums, das unter dem Produktnamen SILSO verkauft wird [16]. Durch eine kontinuierliche Verbesserung des thermischen Profils bei der Blockkristallisation wird heute eine nahezu perfekte kolumnare Struktur des blockgegossenen Si erreicht. Wirkungsgrade kommerzieller Solarzellen liegen bei 13.8 % [18]. Entwicklungsarbeiten zur Blockkristallisation wurden in Zusammenarbeit mit dem *Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (FHG-ISE)* durchgeführt [19]. Mit diesem Entwicklungsmaterial wurde ein Spitzenwirkungsgrad von 15.2 % erzielt. Die Firma *Nukem* in Alzenau hat in Verbindung mit der *Universität Erlangen/Nürnberg* MIS-Solarzellen (Metal-Insulator-Si) mit einer Fläche von 10x10 cm² auf SILSO Material mit Wirkungsgraden über 13 % fabriziert [20]. Die *Deutsche Aerospace (DASA)*, ehemals AEG, in Wedel prozessiert aus SILSO Material Buried Contact Solarzellen von 13.6% Wirkungsgrad mit einer Fläche von 11.4 cm² [21].

Bei der *Bayer AG* in Krefeld werden zwei Si-Blockgußverfahren entwickelt. Es handelt sich dabei um das sog. Kokillenguß- und das Bridgman-Verfahren. Die Verfahren sind ebenfalls hinsichtlich der Planarität der Erstarrungsfront des Si-Blockes optimiert, um die Ausbildung eines kolumnaren Kornwachstums zu begünstigen [22]. Die Gruppe der *DASA* erreicht mit Solarzellen auf Bayer-Wafern Spitzenwirkungsgrade von 16.4% bei einer Solarzellenfläche von 98 cm² [5].

Rekordwirkungsgrade für Solarzellen aus Block-gegossenem Si wurden mit dem von Osaka Titanium Co., Japan, realisierten Electromagnetic Casting Prozeß gewonnen. Dieses Material zeichnet sich durch besondere Reinheit aus, da es tiegfrem im Magnetfeld gezogen wird. Am Georgia Inst. of Technology, Atlanta, USA, wurde ein Wirkungsgrad von 17.7% bei einer Zellenfläche von 1 cm² erreicht [23]. Mit dem gleichen Material erzielt die Firma Sharp einen Solarzellenwirkungsgrad von 17.2% bei einer Solarzellenfläche von 100 cm² [6]. Eine Übersicht über die besten Ergebnisse von Solarzellen mit blockgegossenem Si gibt Warabisako [24].

Der hohe Preis von Si-Wafern, die durch Sägen aus Czochralski- oder Floatzone-gezogenen einkristallinen Stäben hergestellt werden, steht einer großflächigen, kostengünstigen, terrestrischen Anwendung von Si-Solarzellen entgegen. Daher wird an Verfahren gearbeitet, die es ermöglichen, Silizium durch kontrollierte Erstarrung in Form von Blöcken zu kristallisieren. Das so gewonnene multikristalline Si mit Korngrößen bis in den Zentimeterbereich wird dann zu Wafern zersägt. Einen Überblick über die weltweiten Arbeiten auf dem Gebiet der Blockkristallisation und der entsprechenden Solarzellenergebnisse gibt Watanabe [16]. Eine Übersicht über die Kosten von Si-Wafern gibt Herzer [17]. Tabelle II zeigt eine Auswahl einiger Blockgußverfahren.

3.2. Bänderziehverfahren zur Herstellung von polykristallinem Silizium

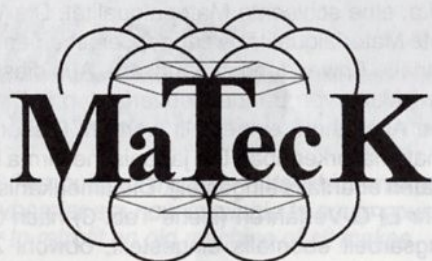
Um Kosten und Materialverluste des Sägens bei der Waferherstellung zu sparen, wurde eine Reihe von sog. Bänderziehverfahren entwickelt, die eine direkte Erzeugung von dünnen, multikristallinen Si-Bändern erlauben. Eine Übersicht über verschiedene Bänderziehverfahren gibt Eyer [25].

Wie aus Tab. 3 erkennbar ist, liefern schnelle Bänderziehverfahren i.a. eine schlechte Materialqualität. Die Verfahren, die eine gute Materialqualität erzeugen, erscheinen jedoch für eine industrielle Anwendung zu langsam. Aus diesem Grund ist die Entwicklung von Bänderziehverfahren in Deutschland bis auf eine Ausnahme eingestellt worden. Dieser Trend ist auch international erkennbar: Die japanische Firma Hoxan hat ihre Aktivitäten ebenfalls eingestellt. Die amerikanische Mobil Solar hat ihr EFG-Verfahren (siehe Tab. 3) nach 15 Jahren Entwicklungsarbeit ebenfalls eingestellt, obwohl Zellen mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 14% hergestellt wurden [26].

In Deutschland wurde an einer Reihe von Bänderziehverfahren gearbeitet: Vom *Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE)* in Freiburg stammt das sog. SSP-Verfahren (Silicon Sheet from Powder). Es handelt sich dabei um das einzige Bänderziehverfahren, das als Ausgangsmaterial nicht flüssiges Silizium sondern Si-Pulver verwendet. Dieses Verfahren wurde aus mehreren Gründen eingestellt: (i) Der Zonenschmelzprozeß läßt sich unter industriellen Produktionsbedingungen nur schwer kontrollieren, (ii) die Si-Scheiben hatten eine zu große Welligkeit und Dickeninhomogenität und (iii) das Verfahren erwies sich als zu langsam. Der Wirkungsgrad von Solarzellen aus diesem Verfahren betrug 13.5%. Das ISE arbeitete außerdem mit der Firma *Wacker* an der Entwicklung des RAFT-Prozesses mit (Ramp Assisted Foil-Casting Technique) [27]. Bei diesem Verfahren kristallisiert Si auf strukturierten, wiederverwertbaren Unterlagern (Rampen), die anschließend von der Si-Schicht abgetrennt und wiederverwertet werden können. Als besonders geeignet erwiesen sich dabei Graphit und Si als Rampen-Materialien. Es ergeben sich maximale Wirkungsgrade von 9.5 % bei Solarzellen, bei denen die Si-Schicht auf einer wiederverwertbaren Si-Unterlage kristallisiert wurde [28].

Tabelle 3: Übersicht über Si-Bänderziehverfahren, Auszug aus Ref.[25]. Bei allen Verfahren, mit Ausnahme des SSP-Verfahrens, bei dem Si-Pulver durch Aufschmelzen kristallisiert wird, werden Bänder oder Schichten aus einer Si-Schmelze kristallisiert.

Firma	Name des Verfahrens	Wachstums- methode	Produkt	Kristallstruktur	Durchsatz [cm ² /min]	Wirkungs- grad [%]
Wacker	RAFT (Ramp Assisted Foil Casting)	Erstarrung auf wiederverwendbarem Träger	Scheiben, 5x5 cm ² , 10x10 cm ²	kolumnare 1 mm ² Körner, Versetzungsdichte 10 ⁷ cm ⁻²	20000	≤10
Bayer	RGS (Ribbon Growth on Substrate)	Erstarrung auf wiederverwendbarem Träger	10 cm breite Scheiben	kolumnare, 1 mm ² Körner, Versetzungsdichte 10 ⁴ cm ⁻²	6000	?
Siemens	S-Web (Supported Web)	Erstarrung aus der Schmelze auf Graphit-Netz	10 cm breite Bänder	kolumnare, 1 mm ² Körner, Versetzungsdichte 10 ⁴ -10 ⁶ cm ⁻²	2000	≤12
Hoxan, Japan	Spin Cast	Schleudern von Si-Schmelze in flache Graphit-Hohlräume	Scheiben: 10x10 cm ²	kolumnare Körner ≤ 1 cm ²	400	≤12
Mobil Solar, USA	EFG (Edge-Defined Film Fed Growth)	Erstarrung aus Graphit-Düse	oktagonale Röhre, Umfang 80 cm	langgestreckte, cm ² Körner, Versetzungsdichte 10 ⁴ cm ⁻²	160	≤15
FHG-ISE	SSP (Silicon Sheet from Powder)	Optisches Zonenschmelzen von Si-Pulver	10 cm breite Bänder	langgestreckte cm ² große Körner, 10 ³ - 10 ⁶ cm ⁻² Versetzung.	20	≤13
Westinghouse, USA	D-Web (Dendritic Web)	Formgebung durch Kristallisation an zwei Si-Dendriten	5 cm breite Bänder	monokristallin (verzwillingt)	10	≤17



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

Unser Leistungsangebot:

- **Kristallzüchtung von Metallen und deren Legierungen**
- **Reinstmaterialien**
- **Substrate, Wafer und Targets**
- **Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)**
- **Auftragsforschung f. Werkstoffe und Kristalle**

Dr. Hugo Schlich

MaTecK - Büro für Forschungsmaterialien*

Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13

52428 Jülich

Telefon: 02461/69074-0 Fax: 02461/69074-9

* vormals "Technisches Büro, Dr. Gerd Lamprecht" und
"L&K Laborbedarf und Kristallhandel"

Die *Bayer AG* in Krefeld arbeitet am RGS-Verfahren (Ribbon Growth on Substrate), dem einzigen Bänderziehverfahren, das derzeit in Deutschland weiterverfolgt wird. Bei diesem Verfahren wird Si in einem Gießrahmen auf einem darunter liegenden Substrat kristallisiert. Das erstarrte Si-Band läßt sich leicht vom Substrat ablösen, das sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 5m/min relativ zum Gießrahmen bewegt. Durch geeignete Dimensionierung von hintereinander gesetzten Substratplatten läßt sich ein kontinuierlicher Prozeß durch Umlauf der Substratplatten realisieren, es entstehen rechteckige kristallisierte Si-Platten. Daten über Wirkungsgrade von Solarzellen auf diesem Material liegen bis jetzt nicht vor. Die mit dem RGS-Verfahren erzeugten Si-Platten lassen sich evtl. als Substratmaterial zur Herstellung von Dünnschichtzellen nutzen (siehe nächstes Kapitel) [29].

3.3. Kristalline Silizium-Dünnschicht-Solarzellen auf Silizium und Fremdsubstraten

Die Abscheidung von dünnen, kristallinen Si-Filmen auf einem billigen Trägermaterial, im folgenden Fremdsubstrat genannt, erscheint als eine der attraktivsten Methoden zur Herstellung von billigen Dünnschicht-Solarzellen. Bei geeignetem Solarzellendesign lassen sich theoretisch mit 10 bis 250 μm dicken Si-Filmen Wirkungsgrade von über 28 % erreichen [30]. Das theoretische Wirkungsgradmaximum liegt bei einer Dicke von 50 bis 60 μm . Es besteht daher seit einiger Zeit weltweit großes Interesse an der Entwicklung einer Dünnschichttechnologie auf der Basis von kristallinem Si. Die Vorteile dieses Ansatzes liegen vor allem im geringen Materialverbrauch und der Möglichkeit der Integration einzelner Solarzellen zu Modulen während des Abscheidungsprozesses.

Ausführliche Studien zur Herstellung von Dünnschichtzellen auf mono- und polykristallinen Siliziumsubstraten werden am *Max Planck Institut für Festkörperphysik* in Stuttgart (MPI) in der Gruppe der Autoren in Zusammenarbeit mit der Epitaxiegruppe von E. Bauser durchgeführt. Ausgehend von diesen Arbeiten werden die Studien zur Abscheidung auf polykristallinen Si-Substraten aus der flüssigen Phase am *Institut für Kristallzüchtung in Berlin* (IKZ) weitergeführt. Seit neuerer Zeit gibt es auch ähnliche Aktivitäten am *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme* in Freiburg [31]. Erste Arbeiten am MPI dokumentierten anhand der hohen Leerlaufspannung einer monokristallinen Si-Dünnschichtszelle von 663mV [32] das hohe Wirkungsgradpotential der Schichten aus der Flüssigphasenepitaxie (LPE). Mit einer nur 16,8 μm dicken Zelle wurde bereits ein Wirkungsgrad von 14,7 % erzielt [33]. Diese hohen Werte werden aufgrund der guten Volumenqualität des Materials und sehr gut passivierter Oberflächen erzielt [34]. Die Wirkungsgrade lassen sich dadurch weiter steigern, daß das Licht mehrmals in der dünnen Schicht mit Hilfe von geeigneten Lichtfallen hin und her gespiegelt wird, um so die geringe Licht-Absorption im Si auszugleichen. Die Epitaxiegruppe des MPI setzt neben konventionellen Kipp- und Schiebetiegelanlagen vor allem auch die Flüssigphasenepitaxie mit Hilfe der Zentrifugentechnologie ein. Der Transport des Lösungsmittels wird dabei durch die Anwendung von Zentrifugalkräften realisiert. Mit diesem Prinzip lassen sich Mehrschichtsysteme [35] und die Dünnschicht-Abscheidung auf Flächen von bis zu 10 cm Durchmesser realisieren [36, 37].

Die Realisierung effizienter, billiger Dünnschichtzellen erfordert die Implementierung von Lichtfallen um die Lichtabsorption zu erhöhen, die Passivierung von Korngrenzen und Oberflächen zur Unterdrückung der Rekombination sowie die Verwendung geeigneter Fremdsubstrate. An die Fremdsubstrate selbst werden dabei folgende Anforderungen gestellt: (i) Niedriger Herstellungspreis, (ii) chemische und me-

chanische Stabilität, (iii) thermische Ausdehnung ähnlich der von Si. Um die Modularisierung von einzelnen Solarzellen und die Implementierung von Lichtfallen zu erleichtern, sollten die Substrate zudem noch (iv) transparent und (v) elektrisch isolierend sein.

Die Abscheidungsrate und die Korngröße von polykristallinem Si auf Fremdsubstraten wird im wesentlichen durch die thermische Belastbarkeit bestimmt. Wir unterscheiden daher im folgenden zwischen hochtemperatur-beständigen Substraten, d.h. solchen Materialien, die Prozeßtemperaturen oberhalb von 1000°C standhalten und Niedertemperatur-Substraten, bei denen die maximale Prozeßtemperatur wesentlich unter 1000°C liegt. Zur ersten Gruppe gehören vor allem Graphit, Quarzglas sowie verschiedene Keramik-Materialien, zur letzteren Gruppe vor allem die meisten kommerziellen Gläser. Der einzige Dünnschicht-Prozeß, der derzeit über den Labormaßstab hinaus entwickelt wurde, ist die Abscheidung von Si auf einer Keramik durch die amerikanische Firma *Astropower*. Die Zusammensetzung der Keramik sowie die verwendete Abscheidetechnik werden allerdings geheimgehalten. Der beste unabhängig gemessene Wirkungsgrad einer 1 cm^2 großen Zelle beträgt 14,9 %. Das sog. Silicon Film Product™ wird zusammen mit einer Übersicht über polykristalline Si-Solarzellen auf Fremdsubstraten und einer Diskussion des Einflusses der Korngröße auf den Wirkungsgrad in den Übersichtsartikeln [38, 39] beschrieben. Insgesamt konzentrieren sich die Forschungsanstrengungen zur Zeit auf die Beschichtung von hochtemperatur-beständigen Substraten, Tab. 4 zeigt hierzu eine Auswahl einiger Ergebnisse.

In jüngster Zeit wird die Rekristallisation von Si-Saatschichten durch Zonenschmelzen auf hochtemperatur-beständigen Substraten als besonders vielversprechend angesehen. Die Abscheidung von Si auf Graphitsubstraten wird in Deutschland von der Firma *Nukem* bearbeitet [40]. Dabei wird auf einem Siliziumkarbid-beschichteten Graphit-Substrat zunächst eine polykristalline Si-Schicht bei 1100°C aus der Gasphase abgeschieden. Die Schicht wird aufgeschmolzen, so daß eine grobkristalline Si-Schicht entsteht. Auf dieser Saatschicht wird dann eine epitaxiale Si-Schicht einer Dicke von 50 bis 100 μm wiederum aus der Gasphase bei Temperaturen im Bereich 1000°C bis 1300°C abgeschieden. Bisher sind noch keine Daten von Solarzellen aus diesem Prozeß bekannt. An der *Technischen Universität Hamburg-Harburg* wurde von M. Pauli eine Methode zur Erzeugung von Si-Saatschichten auf Graphit mittels Zonenschmelzen von Si entwickelt. Die Rekristallisation von dünnen Si-Schichten erfolgt hier durch eine linienförmige Elektronenstrahl-Heizquelle [41, 42]. Der Vorteil dieser Methode besteht in der Erzeugung einer gleichmäßigen Kornstruktur mit Kornbreiten von 50 bis 100 μm und einer Länge im cm-Bereich.

Das *FHG-ISE* bearbeitet ebenfalls die Herstellung von kristallinen Si-Schichten mit Hochtemperatur-Verfahren. Dabei wird Si aus der Gasphase auf teilmaskierten Czochralski-Si-Wafern abgeschieden und danach mittels einer Lampenheizung rekristallisiert. Mit dieser Technik wurden Dünnschichtzellen mit einem Wirkungsgrad von 6,4 % bei einer Solarzellenfläche von 2 cm^2 hergestellt [43]. Dieser Ansatz eignet sich auch für den Einsatz von billigen, polykristallinen Si-Bändern als Substratmaterial. Es besteht auch, bei Verzicht auf die epitaxiale Saatschicht, Interesse an der Verwendung von Fremdsubstraten wie z.B. Keramiken.

Eine japanische Gruppe realisierte kürzlich Dünnschichtzellen auf zonenrekristallisiertem Si, das aus der Gasphase auf einem oxidierten Si-Wafer abgeschieden wurde. Die Rekristallisation erfolgt mit einer Streifenheizung. Es werden Si-Körner mit

Abmessungen im mm-bis cm-Bereich mit präferentieller (100) Orientierung erzeugt, obwohl bei der Rekristallisation keine epitaxialen Saatbereiche verwendet werden [44]. Ein ähnlicher Orientierungs-Effekt wird auch bei der Rekristallisation auf Graphit beobachtet [40]. Die japanische Gruppe verdickt die zonenrekristallisierte Si-Schicht mittels Gasphasen-Ab-

scheidung auf ca. 50 μm . Mit diesem Verfahren wurden Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 14.2% und einer Fläche von 100 cm^2 realisiert [45, 46]. Ziel dieser Arbeiten ist die Entwicklung eines Prozesses, der eine Wiederverwendung des Si-Substrates durch Ablösung des rekristallisierten Si-Films ermöglicht [47].

Tabelle 4: Auswahl einiger Ergebnisse zum Stand der Entwicklung bei kristallinen Si-Dünnschicht-Solarzellen.

	Substrat	Si-Dicke, Verfahren	Wirkungsgrad	Fläche	Zitat
Astropower, Barnett (USA)	Keramik	100 μm , Verfahren geheim gehalten	14.9 %	1 cm^2	[5]
MPI Stuttgart	(100) Si	16.8 μm , mit LPE ($T \leq 900^\circ\text{C}$)	14.7 %	1 cm^2	[33]
Mitsubishi (Japan)	SiO_2/Si	60 μm , zonengeschmolzen	14.2 %	100 cm^2	[6]
Nukem, v.Campe (Deutschland)	Graphit	50 μm , mit CVD ($T > 1100^\circ\text{C}$)	bisher unver- öffentlicht	–	[40]

Die Verwendung von Niedrigtemperatur-Substraten ist zur Zeit immer noch eine enorme technologische Herausforderung. Bei der Verwendung von Gläsern muß die Prozeßtemperatur i. a. unter 600°C gehalten werden, um Verformungen des Glases zu vermeiden. Geringe Abscheidetemperaturen bedingen i. a. geringe Abscheideraten und kleine Korngrößen des Si. Zudem müssen Verunreinigungen des photovoltaisch aktiven Si-Films durch Alkali- und Erdalkalimetalle aus den Gläsern durch Einfügen von Bufferschichten vermieden werden. Erste Berichte zur Realisierung von Solarzellen mit Niedrigtemperatur-Prozessen wie Festphasenkristallisation (SPC) bei 600°C [48] oder Elektrodeposition von Si auf Keramiken oder Polyesterfolien [49] erlauben noch keine realistische Beurteilung des Potentials dieser Methoden.

Aktivitäten zur Lösungszüchtung von Si auf Glas wurden vor einigen Jahren an der University of New South Wales in Sydney, Australien, in der Gruppe von M.A. Green begonnen [50]. Die Autoren verwenden Legierungen basierend auf Sn mit Zusätzen von Al und Mg zur Reduktion der SiO_2 -Oberfläche des Glases. Eine Erhöhung der Flächenbedeckung des Glases durch Si wird durch Quasi-Rheotaxie, d.h. der Abscheidung nahe der Erweichungstemperatur des Glases erzielt [51]. Bei Wachstumstemperaturen bis 800°C werden Korngrößen von über 100 μm erreicht. Eine Vorzugsorientierung von Keimen mit einer (111)-Orientierung parallel zur Oberfläche wird durch periodische Anwachs- und Ablösezyklen erzielt [50].

Zur Lösungszüchtung von Si auf Glassubstraten gibt es in Deutschland erste Aktivitäten am *MPI für Festkörperforschung* in Stuttgart. Erste Studien zur Si-Abscheidung auf Glas dokumentieren die Möglichkeit der Abscheidung von Si mit Korngrößen im Bereich von 100 μm auf Borosilikat- und Quarzglas bei Wachstumstemperaturen unter 800°C [52].

Die Gruppe des *Instituts für Kristallzüchtung (IKZ)* in Berlin arbeitet an der Entwicklung der Temperatur-Differenz-Methode (TDM) zur Lösungszüchtung. Bei dieser Methode steht das Lösungsmittel während des Wachstumsprozesses in Kontakt mit einer Si-Quelle. Die Temperatur dieser Quelle wird gegenüber der des Wachstumssubstrates leicht erhöht. Dadurch entsteht ein ständiger Diffusionsstrom von Si-Atomen von der Quelle durch die Schmelze zum Substrat. Im Gegensatz zu anderen LPE-Techniken ermöglicht die TDM eine quasi-kontinuierliche Abscheidung. Außerdem ist auch Lösungszüch-

tung auf bis zu $10 \times 10 \text{ cm}^2$ großen Substratflächen möglich. Mit Hilfe der thermischen Gasphasen-Abscheidung in Verbindung mit einer schnellen thermischen Nachbehandlung wurden am IKZ auch erste Studien zur Si-Abscheidung auf Fremds substraten begonnen. Versuche zur Keimbildung auf strukturierten Substraten werden in Verbindung mit dem *Institut für Halbleiterphysik Frankfurt/Oder* durchgeführt.

Am *Battelle Institut* in Frankfurt untersuchte eine Gruppe um D. Bonnet u.a. die Niedertemperatur-Abscheidung von kristallinem Si auf Fremds substraten. Dazu wurde Si nach Elektronenstrahlverdampfung ionisiert und auf Gläsern sowie Al_2O_3 abgeschieden. Die maximale Substrattemperatur betrug 550°C bei Gläsern und 700°C bei Al_2O_3 . Da die Kristallitgrößen bei dieser ionenassistierten Si-Abscheidung durchweg im μm -Bereich liegen, ist eine Anwendbarkeit für Solarzellen fraglich [53].

Bis jetzt existiert noch kein Nachweis der Tauglichkeit von kristallinen Si-Schichten auf Glas für die Anwendung als Solarzellenmaterial. Während die nicht auf Lösungszüchtung beruhenden Verfahren bei weitem nicht die erforderliche Korngröße hervorbringen, lassen sich mittels Lösungszüchtung Korngrößen von über 100 μm bei Wachstumstemperaturen unter 800°C erreichen. Die Herstellung von Solarzellen aus lösungsgezüchtetem Silizium auf Glassubstraten war aber bis jetzt nicht erfolgreich, da die Wachstumsmorphologie nicht hinreichend kontrolliert werden konnte. Weitere Grundlagenarbeit muß geleistet werden, um die Nukleation von Si auf Fremds substraten, insbesondere bei relativ tiefen Temperaturen, zu verstehen und kontrollieren zu können. Wegen des nachgewiesenermaßen großen Wirkungsgrad-Potentials auch dünner Si-Schichten handelt es sich hierbei um ein sehr zukunftssträchtiges Forschungsgebiet zur Realisierung billiger Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden.

3.4. Amorphes Silizium

Das Sonnenlicht kann in einem amorphen Si:H-Film bereits bei einer Schichtdicke von 1 μm fast vollständig absorbiert werden. Leider sind Dünnschichtzellen aus amorphem Si aber in ihren elektrischen Eigenschaften immer noch nicht stabil. Offenbar ist die Abnahme der Zell-Wirkungsgrade unter Beleuchtung ein nicht zu vermeidender intrinsischer Effekt (Staebler-Wronski-Effekt), der nur verlangsamt werden kann. Der bisher höchste unabhängig bestätigte Wirkungsgrad einer

Zelle der Firma Sanyo aus amorphem Si vor der Degradation beträgt 12.7 % für eine Zelle von 1 cm² unter AM 1.5G Bedingungen [6]. Typischerweise betragen heute stabile Wirkungsgrade von Standardmodulen in der Fertigung 5 bis 6 % [54]. Einen Überblick über die in Deutschland laufenden Forschungsvorhaben findet man in Ref.[2], über den internationalen Stand bei Hamakawa et al. [55].

4. Verbindungshalbleiter

4.1. III-V-Verbindungen

GaAs und andere III-V Halbleiter sind für die Photovoltaik interessant, da die verschiedenen Kombinationen der Gruppe III- und Gruppe V-Elemente eine Variation der Bandlücke von 0.16 eV (InSb) bis 3.5 eV (GaN) zulassen. Außerdem lassen sich monolithische Tandemzellen wie z. B. InGaP₂/GaAs (27.5 % AM 1.5 Wirkungsgrad) oder AlGaAs/GaAs (27.6 %) herstellen. Gerade die Herstellung solcher Tandemzellen ist bei Si bisher kaum angegangen worden, da nicht nur ein Material (z. B. GaAsP [56]) mit einer gut zu Si passenden Bandlücke (um 1.8 eV) und geringer Gitterfehlpassung auf Si gezüchtet werden muß, sondern dieser Halbleiter wengstens auch die elektronische Qualität des Si-Substrates haben muß; bei Tandemzellen ist die Qualität des Materials an der oberen Zellenseite entscheidend. Neben auf GaP basierenden Systemen wären die Chalkopyrite von ZnSi_xGe_{1-x}P₂ interessante Kandidaten für Tandemzellen auf der Basis von Si [57].

Überblicksarbeiten über die verschiedenen III-V-Zelltypen und erzielte Wirkungsgrade wurden kürzlich publiziert [57, 58]. Volumen-GaAs-Zellen liegen seit 1960 immer etwa 3 bis 4% in ihren Wirkungsgraden oberhalb derer von Si. Aus Kostengründen scheiden allerdings Zellen aus GaAs und anderen III-

V-Verbindungen für terrestrische Anwendung ohne Konzentration des Lichtes aus. Ihr Einsatz wird vermutlich auf die Raumfahrt und Konzentratoren beschränkt bleiben. In der Raumfahrt spielen neben Gewichtsgründen vor allem ein hoher Wirkungsgrad und die Strahlungsstabilität (speziell InP [59]) nicht aber der Preis eine entscheidende Rolle.

In Deutschland wird GaAs für die Photovoltaik an mehreren Instituten gezüchtet. Das *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme* in Freiburg untersucht GaAs-Zellen mit hohem Wirkungsgrad auf GaAs-Substraten sowie GaAs-Zellen auf Fremdsubstraten (Si und Ge). Als Abscheidetechniken werden sowohl die LPE als auch die Molekularstrahlepitaxie (MBE) eingesetzt. Bei GaAs Dünnschichtzellen auf GaAs Substraten sind mit Hilfe der LPE und einer einfachen Anlöse/Wachstumsmethode Solarzellen mit einem einfachen pn-Übergang und einem Wirkungsgrad von 23.3 % (AM 1.5) hergestellt worden. Diese Arbeiten sind vor allem auf Konzentration-Zellen ausgerichtet. GaAs-Zellen auf Fremdsubstraten haben den Vorteil, daß man ein teureres GaAs-Substrat einsparen kann, da der hohe Absorptionskoeffizient von GaAs nur wenige µm dieses Halbleiters erfordert, um das Sonnenlicht vollständig zu absorbieren. Die Freiburger Gruppe benutzt zwei verschiedenen Techniken zur Herstellung von GaAs auf Si-Substraten: Zum einen die LPE auf einer gitterangepaßten GaP-Schicht, zum anderen eine kombinierte MBE/LPE-Technik. Hierbei wird durch die MBE zunächst eine etwa 1 µm dicke Pufferschicht auf das Si-Substrat aufgebracht. Anschließend erfolgt eine Reduktion der Versetzungsdichte in der Pufferschicht mit Hilfe eines aus mehreren Temperaturzyklen bestehenden Ausheilverfahrens, worauf dann die eigentliche Solarzellenstruktur mit LPE abgeschieden wird. Die Versetzungsdichte in der ausgeheilten MBE/LPE-Schicht liegt unter 10⁷cm⁻² [60].

ZU VERKAUFEN

Gebrauchte Geräte günstig abzugeben:

- 1 Hochdruckzochralski Anlage (100 bar) Siemens mit Graphitheizung, Wägezelle, Video und viel Zubehör und Ersatzteilen
- 1 Braun Handschuhbox MG 20 G mit extra langer Schleuse
- 1 Innenlochsäge Meyer Burger TS 21
- 1 Leybold Turbopumpstand mit Turbovac 150, mit neuer Ersatzturbopumpe, Torrostaten, Meßgeräten, Kühlfalle und Tieftemperaturkryostaten Haake (bis -85°C) und div. Zubehör
- 1 HF Generator Hüttinger IG 2,5-200 HY mit ext. Schwingkreis
- 2 Leico Schleif- und Poliermaschinen (ø 450 mm)
- 1 Läppmaschine Lapmaster 24 (ø 600 mm)
- 1 Rundschleifmaschine MSO FMEZ (1 = 300 mm)
- 1 Flachsleifmaschine Jung F 50

Diverse Geräte, Meßgeräte und Maschinen für Kristallzüchtung und -präparation.

Dr. Gerd Lamprecht · Lehninger Str. 10-12, 75242 Neuhausen
Tel. 0 72 34 / 62 50 · Fax 0 72 34 / 57 16

Am 4. *Physikalischen Institut der Universität Stuttgart* kommt die Metall-Organische Gasphasen-Epitaxie (MOVPE) bei der Heteroepitaxie von GaAs auf Si- und Ge-Substraten zur Anwendung. Mit Hilfe eines Zwei-Stufen-Wachstumsprozesses und der Anwendung geeigneter Temperaturzyklen werden auch hier Versetzungsdichten um 10^7cm^{-2} erreicht, wobei diese Werte aus röntgendiffraktometrischen Messungen mit einer Linienbreite unter 100 arcsec abgeleitet wurden [61]. Die besten GaAs-Solarzellen auf Siliziumsubstraten erzielen Wirkungsgrade um 12 % (AM0-Bedingungen) [62, 61]. GaAs-Zellen auf Ge-Substraten haben einem Wirkungsgrad von 17.1 % erreicht [63]. Weitere Steigerungen sind aufgrund neuer Experimente zur selektiven Epitaxie zu erwarten. Homoepitaktische GaAs-Zellen erzielten einen Wirkungsgrad von 19.8 % (AM0-Bedingungen). Sowohl die Freiburger als auch die Stuttgarter Gruppe arbeiten eng mit der Deutschen Aerospace (DASA) in Heilbronn zusammen.

Neben den bisher geschilderten etablierten Epitaxieverfahren gibt bzw. gab es zwei Projekte zum Einsatz neuartiger Verfahren zur GaAs-Abscheidung für die Photovoltaik: Am *Battelle Institut* in Frankfurt wurde das Verfahren der "Ionized Cluster Beam Deposition" (ICB), einer Variante der MBE benutzt, um polykristallines GaAs auf metallbeschichtetem Glas abzuscheiden [64]. Bei der *Gesellschaft für technische Studien* wird untersucht, ob sich GaAs elektrolytisch abscheiden läßt [65].

4.2. Cadmium-Tellurid

Eine CdTe-Dünnschichtsolarzelle basiert generell auf einer CdTe/CdS-Heterostruktur, wobei Glas als Substrat dient [12]. Einer der Vorteile von CdTe ist, daß dieser Halbleiter mit den verschiedensten (zum Teil auch sehr einfachen) Verfahren wie MOVPE, Elektrodeposition, Gasphasentransport, Sprühen etc. mit genügender Qualität abgeschieden werden kann. Dieses experimentelle Ergebnis spricht für eine prinzipiell geringe elektronische Aktivität der Korngrenzen. Der beste AM1.5-Wirkungsgrad liegt bei 15.8 % bei einer Zellfläche von 1 cm^2 [66]. Am *Battelle Institut* in Frankfurt wurden auf der Basis von durch Sublimation hergestellten CdTe-Schichten ein AM1.5-Spitzenwirkungsgrad von 11.6% realisiert [67, 12].

4.3. Kupfer-Indium-Diselenid und verwandte Materialien

Neben dem Si ist der Chalkopyrit-Halbleiter CuInSe_2 einer der aussichtsreichsten Kandidaten zur Entwicklung einer effizienten Dünnschichtsolarzelle auf Fremdsubstrat. In Europa wird die Technologie solcher Zellen vor allem durch die Gruppe um H.W. Schock am *Institut für Physikalische Elektronik der Universität Stuttgart* vorangetrieben. Die höchsten AM1.5G-Wirkungsgrade von kleinflächigen Zellen (0.33 cm^2) betragen 16.9 % [68]. Ein Wert von 15.9 % wurde auch vom National Renewable Energy Laboratory (NREL) an einer 0.4 cm^2 großen Zelle erzielt; eine Zelle von 6.6 cm^2 Größe auf Glassubstrat erzielte immerhin einen Wirkungsgrad von 13.9 % [6].

Der Vorteil der untersuchten Chalkopyrite liegt in der Möglichkeit mit Legierungen des Typs $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ die Bandlücke von etwa 0.9 eV (CuInSe_2) bis über 2.4 eV (CuGaS_2) zu variieren, was die Herstellung effektiver Tandemzellen verspricht. Allerdings bereiten zur Zeit gerade die Legierungen bei denen das ökologisch nicht unbedenkliche Se durch S ersetzt wird, erhebliche Probleme bei der Solarzellenherstellung. So müssen z.B. störende CuS-Schichten, die auf der Oberfläche von Cu-reichen Filmen entstehen, mit Hilfe von Zyanidlösungen abgeätzt werden. Hierdurch konnte die o.g. Stuttgarter Gruppe in Zusammenarbeit mit dem *Hahn-Meitner-Institut* in Berlin eine ZnO/CdS/CuInSe₂-Zelle mit einem AM1.5-Wirkungsgrad oberhalb von 10 % herstellen [69]. Auch

Schichten mit hohem Ga-Gehalt müssen noch weiter optimiert werden [70].

Die Arbeiten am Materialsystem CuInSe_2 werden von einem Konsortium von 12 Laboratorien innerhalb der Europäischen Gemeinschaft durchgeführt und konzentrieren sich vor allem auf die Depositionstechnologie des Absorbermaterials. So werden zur Herstellung des CuInSe_2 technologisch einfache und deshalb potentiell billige Verfahren wie Co-Verdampfen der Elemente in stöchiometrischem Verhältnis, konsekutives Aufdampfen der Metalle mit anschließendem Temporn, Siebdrucktechniken, elektrochemisches Abscheiden genauso untersucht wie konventionelle Epitaxieverfahren wie z. B. die MOCVD [68, 70].

Die Firma *Siemens* untersucht die industrielle Fertigung von CuInSe_2 -Zellen [71]. Hierbei werden die Absorberschichten mit Hilfe eines Zweistufenprozesses hergestellt. Die Elemente Cu, In, Se werden auf Mo-beschichtete Glasplatten (Rückseitenkontakt der Zelle) aufgedampft bzw. gesputtert. Anschließend erfolgt eine Temperung in Inertgasatmosphäre bei 400 bis 500°C mit Hilfe rechnergesteuerter Halogenlampen. Das minimale, zur Bildung einer einphasigen Halbeiterschicht nötige Temperaturbudget liegt bei ca. 500Kmin! Die CdS-Buffer-schicht wird aus einer wäßrigen Lösung chemisch abgeschieden, die ZnO-Oberschicht als transparenter Emitter kann z.B. durch Sputtern hergestellt werden. Es kommen also nur relativ einfache Verfahren bei geringen Temperaturen zum Einsatz. Die Wirkungsgrade dieser Zellen liegen um 10 % [71].

Der bestechende Vorteil des CuInSe_2 -Materialsystems liegt in dessen relativ einfacher Abscheidetechnologie bei Temperaturen bis 500°C . Ein weiterer Vorteil von CuInSe_2 , z.B. gegenüber Si, besteht in der geringen Aktivität der Korngrenzen. Vermutlich treten an den Korngrenzen, wie für CuInSe_2 -Oberflächen bereits nachgewiesen [72], Inversionsschichten auf. Es handelt sich dann um Korngrenzen des Typs Ib [73]. Die bessere Leitfähigkeit der Inversionsschicht entlang der Korngrenzen, kombiniert mit einer geringen Zahl von Rekombinationszentren, könnte die für eine polykristalline Dünnschichtzelle relativ hohen Wirkungsgrade gut erklären. Der Herstellungsprozeß selbst, bei dem es an der Korngrenze möglicherweise zu einem 'pinning' des Fermi-Niveaus am Leitungsband kommt, würde dann zu einer außerordentlich vorteilhaften elektronischen Passivierung von Korngrenzdefekten führen. Ein Nachteil von CuInSe_2 -Zellen ist allerdings, daß gerade die besten Zellen das toxische Cd in einer CdS-Buffer-schicht enthalten. Technologische Probleme liegen vor allem in der Herstellung großflächiger Zellen. Hier macht sich die starke Absorption aufgrund der direkten Bandlücke geradezu nachteilig bemerkbar, da Schichtdicken im μm -Bereich auf großen Flächen ohne Defekte realisiert werden müssen.

5. Alternative Materialien im Frühstadium

5.1. Pyrit

Der Halbleiter FeS_2 , auch als Pyrit bekannt, der als natürliches Mineral vorkommt, ist möglicherweise für die Photovoltaik interessant, da er aus häufig vorkommenden, nicht toxischen Elementen besteht und eine starke Absorption bei Photonenenergien oberhalb von 1.5 eV hat. Theoretisch sollten weniger als 100 nm Schichtdicke ausreichen, um das Sonnenlicht vollständig zu absorbieren [74]. Allerdings wirft die künstliche Herstellung von phasenreinen, hochhohmigen Pyrit-Kristallen erhebliche Probleme auf, die trotz nachhaltiger Bemühungen bis heute nicht gelöst sind. Einkristallzüchtung aus der Schmelze ist nicht möglich, da sich FeS_2 bei 743°C peritektisch in das stabilere FeS und flüssigen Schwefel zersetzt. Deshalb kommen verschiedene Dünnschichttechniken wie Aufdampfen, Sputtern etc. zur Herstellung polykristalliner Filme zum Einsatz [74].

Arbeiten an Pyrit werden an der *Universität Konstanz* und seit Jahren auch am *Hahn-Meitner-Institut in Berlin* durchgeführt. In der Berliner Gruppe wurde Pyrit mit MBE, MOCVD, Magnetron-Sputtern [75, 76], aber auch mit Hilfe von chemischem Transport gezüchtet [77, 78]. Die Konstanzer Gruppe, der es gelang, erstmals nicht nur n-leitende, sondern auch p-leitende Proben herzustellen [79, 80], verwendet ebenfalls den Transport über die Gasphase (z.B. Br) zur Züchtung der Kristalle.

Trotz vieler Bemühungen ist es bisher leider nicht gelungen, mit Hilfe von Pyrit Solarzellen mit einem nennenswerten, z.B. mit amorphem Si vergleichbaren, Wirkungsgrad herzustellen. Bei *polykristallinen* Schichten konnte bisher offenbar weder eine Photoleitung noch eine Photospannung nachgewiesen werden [76], was vermutlich an einer hohen Rekombinationsgeschwindigkeit für Minoritätsladungsträger an den Korngrenzen liegt. Auch bei Einkristallen scheint es außerordentlich schwierig, Schottky-Kontakte oder pn-Übergänge herzustellen, da die Oberfläche von Pyrit offenbar viele elektronische Defekte ausbildet. Allerdings zeigten bereits im Jahr 1983 Elektrolyt-Kontakte auf Einkristallen einen Photoeffekt [81]. Vermutlich passiviert der Elektrolyt die Pyrit-Oberfläche [74]. Die besten Ergebnisse wurden im Jahr 1992 mit einem neuen Zellenkonzept (ähnlich zu einer Sensibilisierungszelle) erzielt, bei dem mit Hilfe der MOCVD eine dünne Pyritschicht auf eine TiO_2 -Schicht aufgebracht wurde. Die Angaben über Wirkungsgrade liegen bei 1 % [82]; kürzlich wurde ein Wert von 2.8 % für eine elektrochemische Zelle berichtet [77].

5.2. Eisendisilizid

Während halbleitende Phosphide und Selenide in der Photovoltaik öfters untersucht wurden, blieb das Potential halbleitender Silizide lange unbeachtet. Speziell das halbleitende $\beta\text{-FeSi}_2$, das, wie der Pyrit, aus häufig vorkommenden, ungiftigen Elementen besteht, ist photovoltaisch interessant. Dieses Material hätte alle Vorteile des auf den ersten Blick attraktiven Pyrits mit den zusätzlichen Eigenschaften, daß es mit der Siliziumtechnologie kompatibel wäre, und sogar die vorteilhaften Passiviereigenschaften der Si/SiO₂-Grenzfläche nutzt, da $\beta\text{-FeSi}_2$ so oxidiert wie Si. Durch erste Arbeiten an polykristallinen Schichten am *Max-Planck-Institut für Festkörperforschung* in Stuttgart konnte eine direkte Bandlücke bei 0.85 eV mit der damit verbundenen starken Absorption nachgewiesen werden [83, 84]. Schichtdicken unter 1 μm würden ausreichen, um das Sonnenlicht vollständig zu absorbieren. Es gelang aber unserer Gruppe nicht, mit Hilfe von ZnO/ $\beta\text{-FeSi}_2$ -Schichten eine Solarzelle oder wenigstens einen Gleichrichter herzustellen.

Halbleitende Silizide werden heute von einer Gruppe um H. Lange am *Hahn-Meitner-Institut in Berlin* untersucht [85]. Nicht nur $\beta\text{-FeSi}_2$, sondern eventuell auch Mangansilizide sind von der Bandlücke her von Interesse. Die Berliner Gruppe stellt $\beta\text{-FeSi}_2$ -Einkristalle aus der Gasphase mit Hilfe von Jod-Transport her. Die nadelförmigen Proben sind bis zu 10 mm lang bei einem Durchmesser bis 1 mm und haben gute elektrische Eigenschaften. Mittels Hall-Effekt wurden Löcherkonzentrationen um $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und Hall-Beweglichkeiten von 20 cm^2/Vsec gemessen. Die MBE wird eingesetzt, um polykristalline $\beta\text{-FeSi}_2$ -Schichten auf (100)- und (111)-orientierten Si-Substraten mit Hilfe einer Template-Technik herzustellen. Aufgrund der relativ geringen Gitterfehlpassung von 1.4 %

zwischen $\beta\text{-FeSi}_2$ und Si wachsen die Silizidschichten epitaxial mit einer Korngröße von ca. 1 μm auf. Die Dotierung mit Co wird in Berlin ebenso untersucht wie die Herstellung von Heterostrukturen [86].

Im Arbeitsbereich *Halbleitertechnologie der TU Hamburg-Harburg* wird, ähnlich wie an der *TU Chemnitz*, das Sputtern zur Schichtherstellung auf Si-Substraten eingesetzt, wobei sich die Hamburger Gruppe auf die Kristallisation von $\beta\text{-FeSi}_2$ mit Hilfe einer linienförmigen Elektronenstrahlquelle spezialisiert hat [87]. Zunächst wird ein amorpher, stöchiometrischer FeSi_2 -Film auf (111)-orientiertem Si aufgesputtert. Anschließend erfolgt die Kristallisation des Films durch Erwärmung mit der Linienquelle auf max. 450°C. Hierbei wächst der Eisensilizid-Film durch Festkörperepitaxie heteroepitaktisch auf das Si-Substrat auf. Eine Lampenheizung hält das Substrat auf einer Temperatur von ca. 250°C, die FeSi_2 -Kristallite sind etwa 200-300 nm groß und wachsen kolumnar [88].

Eine Gruppe am *Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung* in Stuttgart stellt $\beta\text{-FeSi}_2$ mit Schichtdicken zwischen 300 und 1000 nm auf Fremdsubstraten wie Glas, Saphir und Keramiken her [89, 90]. Hierzu werden die Elemente Si und Fe simultan elektronenstrahlverdampft. Bereits Temperschritte bei 400°C reichen aus, um das Silizid zu bilden, wenn Fe und Si bei nicht geheiztem Substrat aufgedampft werden. Die Körner werden bis über 30 μm groß. Leider ist es beim Eisendisilizid bisher nicht gelungen, eine Solarzelle herzustellen oder wenigstens Photoleitung zu messen. Die Probleme scheinen ähnlich zu sein wie beim Pyrit. Allerdings bietet die Untersuchung von Einkristallen von Eisendisilizid noch Potential für Fortschritte.

5.3. Andere anorganische Halbleiter

Neben FeS_2 , FeSi_2 und anderen Siliziden sowie dem Chalkopyrit CuInS_2 wird eine Vielfalt von Materialien für die Photovoltaik am *Hahn-Meitner-Institut* in Berlin untersucht. Gegenwärtig werden durch chemischen Transport mit Halogenen Kristalle mit Schichtgitter-Struktur vom Molybdänit-Typ (z.B. MoTe_2), Chevrelphasen (z.B. $\text{Re}_6\text{Se}_8\text{Cl}_2$) und Strukturen mit Wurzstannit (z.B. $\text{Cu}_2\text{FeSiS}_4$) hergestellt. Dagegen werden Chalkopyrite wie CuInS_2 oder ZnGeAs_2 aus der Lösung und Schmelze gezüchtet [78, 91].

Für die Herstellung von Solarzellen sind eventuell die Schichtgitterstrukturen [75] von WSe_2 , MoTe_2 und InSe wegen ihres hohen Absorptionskoeffizienten von Interesse; außerdem ist mit einem WSe_2 -Einkristall bereits im Jahr 1985 ein Wirkungsgrad von 14 % auf der Basis einer elektrochemischen Zelle erzielt worden [92]. Allerdings macht die winzige Zellenfläche von 0.084 cm^2 die Beurteilung des Wirkungsgrades schwierig. Versuche, polykristalline Zellen auf der Basis der Schichtgitterhalbleiter herzustellen, sind nicht einfach, da bei der Präparation der dünnen Schichten die Materialien präferentiell mit ihren van-der-Waals-Flächen senkrecht auf das Substrat aufwachsen. Deshalb wird in Berlin das Konzept der van-der-Waals-Epitaxie auf Fremdsubstraten angewandt. Es beruht darauf, daß die Schichtgitter-Halbleiter selbst dann auf van-der-Waals ähnlichen Substraten gezüchtet werden können, wenn die Gitterfehlpassung sehr groß ist. Auf diese Weise stellen die Berliner Forscher mit Hilfe der MBE heteroepitaktische, einkristalline WSe_2 -Schichten auf GaSe sowie InSe auf MoTe_2 her [93, 94, 95].

Tabelle 5: Kristallzüchtungstechniken und beste Wirkungsgrade für einkristalline Zellen, hergestellt an der Universität Konstanz; nach Ref [96, 97]. Für die meisten Kristalle wird der chemische Gasphasentransport (CVT) verwendet

Material	Züchtungstechnik	Zellstruktur	max. Wirkungsgrad [%]
MoSe ₂	CVT	ZnO/p-MoSe ₂	6.1
WSe ₂	CVT	ZnO/p-WSe ₂ /Au	7.8
MnIn ₂ Se ₄	Schmelze, CVT		
Fe ₂ O ₃	Lösung, CVT		
FeS ₂	Lösung, CVT		
CuP ₂	Lösung, CVT		
Cu ₃ PSe ₄	Rekristallisation		
Cu ₄ SnP ₁₀	Lösung		
CuWO ₄	Reaktion von CuCl und NaWO ₄		
CuGaSe ₂	CVT	ZnO/CdS/p-CuGaSe ₂	6
CdSiAs ₂	CVT	ZnO/p-CdSiAs ₂	1
CdGeP ₂	CVT		
Zn ₃ P ₂	Rekristallisation	Mg/p-Zn ₃ P ₂	6.1
ZnTe	CVT		

Auch die Gruppe von E. Bucher an der *Fakultät für Physik der Universität Konstanz* [98, 96, 99, 100] untersucht Schichtgitterhalbleiter, deren für die Photovoltaik interessante Eigenschaften in einem kürzlich erschienenen Buch [101] diskutiert sind [98, 102]. Die Konstanzer Gruppe konzentriert sich auf die Präparation von einkristallinen (vergl. Tab.5) und polykristallinen Festkörperdioden. Für eine einkristalline ZnO/WSe₂-Diode wird ein Wirkungsgrad von 7.8% berichtet [103]. Polykristalline dünne Filme von MoS₂, MoSe₂, WS₂ und WSe₂ entstehen dadurch, daß das Metall gesputtert und anschließend in einem geschlossenen System einer Schwefel- bzw. Selenbehandlung unterworfen wird. Die Leerlaufspannungen von polykristallinen ITO/WS₂-Strukturen sind mit 550 mV recht hoch; die Kurzschlußströme aber noch klein, weshalb die Wirkungsgrade unter 1% liegen [100]. Tabelle 5 faßt die in Konstanz verwendeten Kristallzüchtungstechniken und die erzielten Ergebnisse für Solarzellen aus *einkristallinen* Materialien zusammen.

Neben den konventionellen Kristallzüchtungstechniken (Berlin und Konstanz) gibt es, wie beim GaAs, auch bei den Metallchalkogeniden und -pnictiden Bemühungen, die Kristalle bei niedrigen Temperaturen elektrochemisch abzuscheiden. Eine Arbeitsgruppe um H. P. Fritz am *Institut für Anorganische Chemie der TU München* berichtete kürzlich über erste Ergebnisse der Abscheidung von CuInSe₂, CuInS₂, CuGaSe₂, CdS, CdTe, ZnTe, InP und Zn₃P₂ [104].

5.4. Organische Halbleiter

Organische Halbleiter wie p-leitende Phtalocyanine oder n-leitende Perlylen-Derivate erlauben die Herstellung von Dünnschichtsolarzellen [105] mit Wirkungsgraden von z. Zt. etwa 0.4% [106]. Geeignete Methoden zur Dünnschichtherstellung z. B. auf Glassubstraten sind Aufdampfen, Spin-Coating, Sublimation [107] und die Langmuir-Blodgett-Technik, wobei die besten Ergebnisse mit Aufdampfen erzielt werden [106]. Organische Solarzellen werden im *Institut für Anorganische und Makromolekulare Chemie der Universität Bremen* in Zusammenarbeit mit der Gruppe von D. Meissner am *Institut für Solarenergieforschung in Hannover* [106] fabriziert, sowie an der *TU Chemnitz-Zwickau* und an der *TU Dresden* [107], neuerdings auch an der *Universität Bayreuth*. Für die niedrigen Wirkungsgrade ist vor allem der geringe Kurzschlußstrom der Zellen verantwortlich, der offenbar dadurch entsteht, daß nicht etwa der gesamte ca. 50 nm dünne Film zur Erzeugung von Elektron/Lochpaaren beiträgt, sondern jeweils nur eine dünne Grenzschicht an den Kontaktmetallen. Die Dicke dieser Grenz-

schicht ist aber im Vergleich zur Eindringtiefe des Lichtes zu gering, um Kurzschlußströme oberhalb von etwa 3 mA/cm² zu ermöglichen [106]. Die Zellen scheinen sich ähnlich wie die Grätzel'schen Sensibilisierungssolarzellen [108] zu verhalten. Folglich könnte eine deutliche Vergrößerung der Grenzfläche ähnlich zu photoelektrochemischen Zellen [108] auch zu höheren Wirkungsgraden von organischen Solarzellen führen [106].

6. Fragestellungen und Perspektiven für die Zukunft

In Deutschland ist schon jetzt, nicht zuletzt wegen der Förderung durch den BMFT, ein breites Spektrum der Materialforschung und Kristallzüchtung für die Photovoltaik vorhanden. Im Moment zeichnet sich jedoch kein revolutionärer Durchbruch bezüglich einer Kostenreduktion von Solarzellen durch einfache Weiterentwicklung schon vorhandener Aktivitäten ab. Folgende Forschungsthemen, die jedoch zum Teil mit einem hohen Erfolgsrisiko behaftet sind, erscheinen besonders untersuchenswert:

(i) Weiterentwicklung von *Solarzellen auf der Basis von kristallinem Silizium*.

(a) *Entwicklung effektiver kristalliner Silizium-Dünnschichtzellen auf Fremdsubstraten*. Hierzu müssen vor allem die Probleme der Nukleation auf Niedertemperatursubstraten wie z. B. Glas angegangen werden. Lichtfallen und geeignete Passivierverfahren für Korngrenzen in Si sind zu studieren. Nicht nur Abscheidetemperaturen, sondern auch Prozeßtemperaturen müssen deutlich reduziert werden. Es müssen Modulwirkungsgrade oberhalb 15% angestrebt werden.

(b) *Heterosysteme auf Si*. Mit Halbleitern wie GaP, SiGe, ZnSi_xGe_{1-x}P₂ oder anderen gitterangepaßten Halbleitern mit einer Bandlücke von etwa 1.8eV besteht evtl. die Möglichkeit, mittelfristig mit einer Tandemzelle auf der Basis von Si einen Wirkungsgrad von über 30% zu erreichen.

(ii) *Technologie von CuInSe₂-Zellen auf großen Flächen*. Die toxischen Elemente Cd und Se sollten möglichst substituiert werden. Grenzflächen an Kontakten und Korngrenzen sind zu studieren. Das Design der Zellen kann in Anlehnung an Si-Zellen optimiert werden. Tandemzellen mit Wirkungsgraden um 20% auf der Basis von polykristallinem CuInSe₂ wären ein ernsthafter Konkurrent nicht nur für polykristalline, sondern auch für einkristalline Si-Zellen.

(iii) *Neue Halbleitermaterialien*. Alle binären, ternären etc. oder organischen Verbindungen aus häufig vorkommenden, ungiftigen Elementen mit einer Bandlücke von 0.9 bis 1.7eV sind dann interessant, wenn sie nicht nur eine hohe Lichtabsorption haben, sondern diese Materialien auch in der Lage sind, Si und andere bisher gut bekannte Materialien in ihren für Solarzellen relevanten Eigenschaften, wie z.B. Passivierbarkeit der Ober- und Grenzflächen, zu überbieten.

(iv) *Grätzelsche Sensibilisierungszelle*. Es erscheint dringend nötig, das Wirkungsgradpotential der von Grätzel entwickelten Zelle [108] gründlich zu untersuchen, da zwei unabhängige Gruppen Wirkungsgrade von 7 % [109] bzw. von 9.4 % (bei 0.5 cm²) [110] bestätigt haben. Die bestechend einfache Technologie macht diese Dioden nicht nur für Zellen aus amorphem Si, sondern auch für alle anderen Materialien, die Wirkungsgrade im Bereich von 10 % erzielen, zu einem ernsthaften Konkurrenten.

(v) *Neuartige Hocheffizienzkonzepte*. In der Grundlagenforschung sind neuartige Konzepte zur Erzielung von Wirkungsgraden über 30 % zu untersuchen und weiter zu entwickeln. Zwei Ansätze erscheinen im Moment besonders interessant:

a) Erhöhung des Kurzschlußstromes in Multi-Quantum-Well-Zellen, z. B. Heterostrukturen auf der Basis von Si/SiGe oder AlGaAs/GaAs [111].

b) Erhöhung des Kurzschlußstromes durch Ausnutzung von Ladungsträgermultiplikation durch den Auger-Effekt [112, 113].

Bei diesen Ansätzen ist die gesamte Bandstruktur und nicht nur der Wert der fundamentalen Bandlücke neuartiger Halbleitermaterialien oder -systeme zu optimieren [113, 15]. Bei Systemen, die auf Si basieren, läßt sich ein Anstieg des Zellen-Wirkungsgrades, wie er in den letzten zehn Jahren erreicht wurde, kaum mehr mit der Anwendung althergebrachter Konzepte, z. B. der Optimierung einfacher pn-Übergänge realisieren. Ein Durchbruch bei der Verwirklichung neuer Hocheffizienzkonzepte setzt also mit hoher Wahrscheinlichkeit neue Impulse aus der Grundlagenforschung voraus.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei H. J. Queisser für sein stetiges Interesse und seine kontinuierliche Förderung. Wir danken außerdem E. Bauser und den Mitarbeitern ihrer Epitaxiegruppe für die fruchtbare Zusammenarbeit.

Literatur

- [1] M.A. Green, *Semicond. Sci. Technol.* **8**, 1 (1993)
- [2] F. Stubenrauch (Ed.) *Statusreport 1993 Photovoltaik*, (Forschungszentrum Jülich, 1993)
- [3] A.M. Barnett, S.R. Collins, W. R. Bottenberg, R.B. Hall, in: *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.*: (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 245
- [4] A. Claverie, in *Polycrystalline Semiconductors III- Physics and Technology*, Eds. H.P. Strunk, J.H. Werner, B. Fortin and O. Bonnaud, (Trans Tech, Aedermannsdorf, 1994) in press
- [5] M.A. Green, K. Emery, *Prog. in Photovoltaics* **1**, 225 (1993)
- [6] M.A. Green and K. Emery, *Prog. in Photovoltaics* **2**, 27 (1994)
- [7] T. Surek, in *Advances in Solar Energy Vol. 8*, Ed: M. Prince (American Solar Energy Society, Boulder, Colorado, 1993) p. 83
- [8] J.L. Stone, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.*: (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p.7
- [9] J.H. Werner, in *Sonnenenergie*, Eds: J. Diekmann, A. Gierer, H.-J. Krupp, K. Pinkau, H.-J. Queisser, F.P. Schäfer, H. Schaefer, K. Stephan, D. Weiß, H.T. Witt, (Walter de Gruyter, Berlin, 1991), p. 63
- [10] M.B. Prince, *J. Appl. Phys.* **26**, 534 (1955)
- [11] J.J. Loferski, *J. Appl. Phys.* **27**, 777 (1956)
- [12] T. Suntola, *MRS Bulletin* **18** (10), 45 (1993)
- [13] W.B. Shockley and H.J. Queisser, *J. Appl. Phys.* **32**, 510 (1961)
- [14] T. Tiedje, E. Yablonovitch, G.D. Cody, and B.G. Brooks, *IEEE Trans.* **ED-31**, 711 (1984)
- [15] J.H. Werner, S. Kolodinski, and H.J. Queisser, eingereicht bei *Phys. Rev. Lett.*
- [16] H. Watanabe, *MRS Bulletin* **18** (10), 29 (1993)
- [17] H. Herzer, in *Proc. 10th E. C Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: A. Luque, G. Sala, W. Palz, G. Dos Santos, P. Helm (Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1991), p. 501
- [18] A. Räuber, A. Eyer, P. Schätzle, F. Haas, and Th. Zöllner, in Ref. [2] p. 3
- [19] P. Schätzle, Th. Zöllner, R. Schindler, A. Eyer, in *Proc. 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (IEEE Publishing Service, New York, 1993), p. 78
- [20] K. Jaeger, W. Hoffmann, K. Wilhelm and R. Hezel, in *Proc. 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf.* (IEEE Publishing Service, New York, 1991), p. 992
- [21] H-W. Boller and W. Ebner, in *Proc. 9th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: W. Palz, G.T. Wrixon and P. Helm (Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1989), p. 411
- [22] W. Krumbe, C. Eh, and W. Koch, in Ref [2], p.4
- [23] A. Rohatgi, P. Sana, and J. Salami, in *Proc. 11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: L. Guimarães, W. Palz, C. de Reyff, H. Kiess and P. Helm (Harwood Academic, Chur, 1993), p. 159
- [24] T. Warabisako and K. Matsukuma, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.*: (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 57
- [25] A. Eyer, A. Räuber and A. Götzberger, *Optoelectronics* **5**, 239 (1990)
- [26] A. Eyer, pers. Mitteilung
- [27] I. Reis, A. Hurrle, A. Räuber, D. Helmreich and A. Beck, in *Proc. 10th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: A. Luque, G. Sala, W. Palz, G. Dos Santos, P. Helm (Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1991), p. 524
- [28] A. Räuber, A. Hurrle, and I. Reis, in Ref [2], p.7-1
- [29] H.-U. Höfs, W. Koch, C. Eh, in Ref. [2], p.5
- [30] A.W. Blakers, in *Festkörperprobleme / Advances in Solid State Physics*, edited by U. Rössler (Vieweg, Braunschweig, 1990), Vol. 30, p.403
- [31] B.F. Wagner, Ch. Schetter, O.V. Sulima, and A. Bett, in *23rd IEEE Photovoltaic Spec. Conf.*: (IEEE Publishing Service, New York, 1993), p. 356
- [32] A. W. Blakers, J.H. Werner, E. Bauser and H.J. Queisser, *Appl. Phys. Lett.* **60**, 2752 (1992)
- [33] J. H. Werner, S. Kolodinski, U. Rau, J. K. Arch, and E. Bauser, *Appl. Phys. Lett.* **62**, 2998 (1993)
- [34] J. K. Arch, J. H. Werner, and E. Bauser, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **29**, 387 (1993)
- [35] E. Bauser, in *Thin Film Growth Techniques for Low Dimensional Structures*. Eds.: R.F.C. Farrow, S.S.P. Parkin, P.J. Dobson, J.H. Neave and A.S. Arrott (Plenum Publishing Corporation, 1987), p. 171

- [36] M. Konuma, I. Silier, E. Czech, and E. Bauser, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.* (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 77
- [37] M. Konuma, E. Czech, I. Silier, and E. Bauser, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 205 (1993)
- [38] A.M. Barnett, R.B. Hall, J.A. Rand, C.L. Kendall, and D.H. Ford, *Solar Energy Materials* **23**, 164 (1991)
- [39] A.M. Barnett, T.B. Bledsoe, W.R. Bottenberg, D.S. Brooks, D.H. Ford, R.B. Hall, T. Huges-Lampros, E.L. Jackson, C.L. Kendall, W.P. Mulligan, K.P. Shreve, in *Proc. 11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference* Eds. L. Guimarães, W. Palz, C. De Reyff, H. Kiess, and P. Helm (Harwood Academic Publishers, Chur, 1993), p. 1063
- [40] H. v. Campe, B. Cembolista, H. Ebinger, W. Hoffmann, U. Huth, W. Warzawa, W. Warta, in *Proc. 11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: L. Guimarães, W. Palz, C. de Reyff, H. Kiess and P. Helm (Harwood Academic, Chur, 1993), p. 1066
- [41] M. Pauli, G. Dähn, J. Müller and M. Döscher, *Appl. Surf. Sci.* **69**, 398 (1993)
- [42] M. Pauli, M. Döscher, G. Salentiny, F. Homberg, and J. Müller, in *Proc. 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (IEEE Publishing Service, New York 1993), p. 195
- [43] B.F. Wagner, F. Friedrich, N. Schillinger, A. Eyer, in *11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: L. Guimarães, W. Palz, C. de Reyff, H. Kiess and P. Helm (Harwood Academic, Chur, 1993), p. 397
- [44] H. Naomoto, S. Hamamoto, A. Takami, S. Arimoto, T. Ishihara, H. Kumabe, T. Murotani, and S. Mitsui, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.* (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 79
- [45] S. Arimoto, H. Morikawa, M. Deguchi, Y. Kawama, Y. Matsuno, T. Ishihara, H. Kumabe, T. Murotani, and S. Mitsui, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.* (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 103
- [46] T. Ishihara, S. Arimoto, H. Morikawa, H. Kumabe, T. Murotani, and S. Mitsui, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 3604 (1993)
- [47] M. Deguchi, Y. Kawama, Y. Matsuno, H. Morikawa, S. Arimoto, H. Kumabe, T. Murotani and S. Mitsui, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.* (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 243
- [48] T. Matsuyama, M. Tanaka, S. Tsuda, S. Nakano and Y. Kuwano, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 3720 (1993)
- [49] H. Somberg, in *Proc. 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf.* (IEEE Publishing Service, New York, 1991), p. 1049
- [50] Z. Shi and M.A. Green, *J. Electrochem. Soc.* **140**, 3290 (1993)
- [51] Z. Shi, T.L. Young, G.F. Zheng, M.A. Green, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **31**, 51 (1993)
- [52] S.H. Lee, R. Bergmann, E. Bauser and H.J. Queisser, *Materials Letters* **19**, 1 (1994)
- [53] S. Oelting, D. Martini, D. Bonnet, in Ref [2], p. 45
- [54] H.A. Aulich, R. Berg, F.W. Schulze, and K.D. Ufert, in Ref.[2], p.28
- [55] Y. Hamakawa, W. Ma, and H. Okamoto, *MRS Bulletin*, **18** (10), 38 (1993)
- [56] E.E. Beck, A.E. Blakeslee, and T.A. Gesser, *Solar Cells* **24**, 205(1988)
- [57] K.J. Bachmann, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **242**, 707 (1992)
- [58] L.M. Fraas, *MRS Bulletin* **18** (10), 48 (1993)
- [59] J.C.C. Fan, M.B. Spitzer, and R.P. Gale, in *Advances in Solar Energy*, Vol. 6, Ed. K.W. Boer (Plenum Press, New York, 1990), p. 395
- [60] W. Wettling, in Ref.[2], p. 50-1
- [61] R.J. Dieter, *Defekte bei der Heteroepitaxie von GaAs auf Si* (Verlag Schaker, Aachen, 1993), p. 117
- [62] M. Pilkuhn, in Ref.[2], p. 51-1
- [63] F. Scholz, Universität Stuttgart, private Mitteilung
- [64] S. Oelting, D. Bonnet, U. Luke, in Ref.[2], p. 52-1
- [65] D. Wüsthoff, in Ref.[2], p. 53-1
- [66] T.L. Chu, S.S. Chu, J. Britt, G. Shen, C. Ferekides, N. Schultz, C. Wang, C.Q. Wu, and K.S. Ullal, in *Proc. 11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Eds.: L. Guimarães, W. Palz, C. de Reyff, H. Kiess and P. Helm (Harwood Academic, Chur, 1993), p. 988
- [67] D. Bonnet, B. Henrichs, H. Richter, in *Proc. 22nd IEEE Photovolt. Spec. Conf.* (IEEE Publishing Service, New York, 1991), p. 1165
- [68] H.W. Schock, *MRS Bulletin* **18** (10), 42 (1993)
- [69] R. Scheer, T. Walter, H.W. Schock, M.L. Fearheiley, and H.J. Lewerenz, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 3294 (1993)
- [70] H.W. Schock, in Ref[2], p. 41-1
- [71] F. Karg and R. Einzinger, in Ref.[2], p.42-1
- [72] H.W. Schock, in *Techn. Digest 7th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf.* (Dept. Electr. and Computer Eng. Nagoya Inst. of Tech., Nagoya, Japan, 1993), p. 173 (wird veröffentlicht in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*)
- [73] J.H. Werner and N.E. Christensen, in *Springer Proc. Phys. 54, Polycrystalline Semiconductors II*, eds. J.H. Werner and H.P. Strunk (Springer, Heidelberg, 1991), p.145
- [74] R. Dasbach, G. Willeke, and O. Blenk, *MRS Bulletin* **18** (10), 56 (1993)
- [75] M. Bronold, K. Ellmer, A. Ennoaoui, M.L. Fearheilley, S. Fiechter, C. Höpfner, W. Jaegermann, O. Lang, H.J. Lewerenz, D. Lichtenberger, C. Pettenkofer, R. Scheer, and H. Tributsch, in Ref.[2], p. 48-1
- [76] M. Bronold, *Präparation und Charakterisierung von Pyrit (FeS₂)-Grenzflächen und Dünnschichten im Ultrahochvakuum* (Dissertation, Freie Universität Berlin, 1993)
- [77] S. Fiechter, H.J. Lewerenz, and H. Tributsch, in Ref.[2], p.49-1
- [78] S. Fiechter, DGKK-Mitteilungsblatt 55/Mai 1992, Seite 9
- [79] G. Willeke, O. Blenk, Ch. Kloc, and E. Bucher, *J. Alloys. Comp.* **178**, 191 (1992)
- [80] O. Blenk, E. Bucher, and G. Willeke. in *Proc. 11th E.C. Photovolt. Solar Energy Conf.* (Harwood Academic, Chur, 1993), p. 947
- [81] W. Jaegermann an H. Tributsch, *J. Electrochem. Soc.* **133**, 97 (1986)
- [82] A. Ennaoui, C. Höpfner, K. Ellmer, S. Fiechter, and H. Tributsch, in *Proc. 11th E.C. Photovolt. Solar Energy Conf.* (Harwood Academic, Chur, 1993), p.935
- [83] C.A. Dimitriadis and J. H. Werner, *J. Appl. Phys.* **68**, 93 (1990)
- [84] C. A. Dimitriadis, J.H. Werner, S. Logothetidis, M. Stutzmann, J. Weber, and R. Nesper, *J. Appl. Phys.* **68**, 1726 (1990)
- [85] H. Lange in Ref.[2], p.46-1
- [86] H. Lange, private Mitteilung
- [87] M. Pauli, *Schnelle und Großflächige Kristallisation von Silizium auf Graphit und β -Eisendisilizid auf (111)-Silizium mit einer Linienelektrodenstrahlquelle für photovoltaische Anwendungen* (Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1994)
- [88] M. Pauli, M. Döscher, G. Dähn, and J. Müller, *Appl. Surf. Sci.* **65/66**, 525 (1993)

- [89] M. Powalla and K. Herz, *Applied Surface Science* **65/66**, 482 (1993)
- [90] M. Powalla and K. Herz, *Applied Surface Science* **70/71**, 593 (1993)
- [91] Hahn-Meitner-Institut Berlin, Jahresbericht 1992, Seite 74
- [92] R. Tenne and A. Wold, *Appl. Phys. Lett.* **47**, 707 (1985)
- [93] O. Lang, R. Schlaf, Y. Tomm, C. Pettenkofer, and W. Jaegermann, *J. Appl. Phys.*, in press
- [94] O. Lang, Y. Tomm, R. Schlaf, C. Pettenkofer, and W. Jaegermann, *J. Appl. Phys.*, in press
- [95] R. Schlaf, S. Tiefenbacher, O. Lang, C. Pettenkofer, and W. Jaegermann, *Surface Science*, in press
- [96] M.Ch. Lux-Steiner, in *Polycrystalline Semiconductors II*, Eds.: J. H. Werner and H. P. Strunk (Springer, Berlin, 1991), p. 420
- [97] M.Ch. Lux-Steiner, private Mitteilung
- [98] E. Bucher, in *Photoelectrochemistry and Photovoltaics of Layered Semiconductors*, A. Aruchamy ed., (Kluwer Academic, Dordrecht, 1992), p. 1
- [99] E. Bucher, M. Ch. Lux-Steiner, G. Willeke, Ch. Kloc and F. Baumgartner, in Ref. [2], p. 47-1
- [100] A. Jäger-Waldau, M.Ch. Lux-Steiner, E. Bucher, in *Polycrystalline Semiconductors III - Physics and Technology*, Eds.: H.P. Strunk, J.H. Werner, B. Fortin, and O. Bonnaud (Trans Tech, Aedermannsdorf, 1994), in press
- [101] A. Aruchamy ed., *Photoelectrochemistry and Photovoltaics of Layered Semiconductors* (Kluwer Academic, Dordrecht, 1992)
- [102] H. Tributsch, in Ref.[101], p.83
- [103] E. Bucher et. al. in *Statusreport 1990 Photovoltaik*, Ed.: R. Urban (Forschungszentrum Jülich, 1990), p.33-1
- [104] H.P. Fritz, in Ref.[2], p.44-1
- [105] D. Wöhrle and D. Meissner, *Adv. Mat.* **3**, 129 (1991)
- [106] D. Wöhrle, J. Elbe, L. Kreienhoop, G. Schnurpfeil, B. Tennigkeit, A. Bertram, S. Günster, S. Siebentritt, R. Hiesgen, and D. Meissner in Ref.[2], p.56-1
- [107] D. Bonnet, M. Hepp, J. Heim, and T. Fritz in Ref.[2], p.57
- [108] M. Grätzel, *MRS Bulletin*, **18** (10), 61 (1993)
- [109] A. Hagfeldt, B. Didriksson, T. Palmqvist, H. Lindström, S. Södergren, H. Rensmo and S.-E. Lindquist, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **31**, 481 (1994)
- [110] R. Knödler, J. Sopka, F. Harbach, and H.W. Grünling, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **30**, 277 (1993)
- [111] K. Barnham, J. Barnes, G. Haarpainter, J. Nelson, M. Paxman, T. Foxon, and J. Roberts, *MRS Bulletin* **18** (10), 51 (1993)
- [112] S. Kolodinski, J.H. Werner, T. Wittchen, and H.J. Queisser, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 2405 (1993)
- [113] S. Kolodinski, J.H. Werner and H.J. Queisser, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **33**, xxx (1994) in press

Mitteilungen anderer Gesellschaften

AACG

Vom AACG Newsletter liegen die Frühjahrs- und Herbstausgabe 93 vor. Die Frühjahrsausgabe beginnt mit der President's Corner. Die Themen von Dave Brandle sind die abgeschlossenen Wahlen zum "Executive Committee" der AACG (die Gewinner der Wahlen werden auf der folgenden Seite bekanntgegeben) und die Ergebnisse der letzten Vorstandssitzung: der Jahresbeitrag wurde auf \$ 35 angehoben. Mitglieder, die ihre Mitgliedschaft nicht bis Mai des laufenden Jahres erneuert haben, werden aus der Mitgliedsliste gestrichen. Anschließend werden die Kandidaten für die anstehenden Wahlen zum Vorstand vorgestellt. Als Fachartikel gibt es einen weiteren Beitrag zur Geschichte der Diamantsynthese von John C. Angus. Die Herbstausgabe enthält zwei Beiträge unter dem Titel President's Corner. Der scheidende Vorsitzende hält einen Rückblick über seine dreijährige Präsidentschaft. Neuer Präsident ist Joe Wenckus. In einem kurzen Beitrag bedankt er sich bei allen scheidenden Mitgliedern des Executive Committee für ihre Arbeit und bei den Herausgebern des Newsletters für ihre Bereitschaft weiterzuarbeiten. Den Schwerpunkt des Heftes bildet ein ausführlicher Beitrag über die Entwicklung und Anwendung der Kyropoulos-Züchtungsmethode von David F. Bliss. Abgerundet werden beide Hefte von Chapter News, Tagungsberichten und einem Tagungskalender.

KKN

Den größten Teil der Ausgaben 57 und 58 des Mitteilungsblattes der "Kontaktgroep voor Kristalgroei Nederland" nehmen wieder Kurzfassungen von Promotionsarbeiten ein. Ein weiterer Schwerpunkt von Heft 57 ist der Bericht von der Hauptversammlung 1992. Ansonsten finden sich noch Ankündigungen und Programme von Exkursionen und ein Tagungskalender.

G.F.C.C.

Die April und Oktober 93 sowie die Januar 94 Ausgaben des Heftes der französischen Kristallzüchter sind angefüllt mit Tagungshinweisen und -kurzberichten. Die Oktoberausgabe enthält die Einladung für die Jahrestagung vom 23. bis 25. März 94 in Gif-sur Yvette, die Januarausgabe enthält das Programm. Das letzte Heft enthält noch einen Fachartikel über die Oberflächenbehandlung von Kohlenstoffasern mittels CVD.

IUCr

Vom Newsletter der IUCr liegen die Nummern 3 und 4 vom Vol. 1 vor. Beide beginnen mit einem "Letter from the President". In Heft 3 verabschiedet sich Andre Authier als Präsident der IUCr, in Heft 4 meldet sich der neue Präsident, Phillip Coppens, erstmals zu Wort. Ansonsten sind beide Hefte ausgefüllt mit IUCr Aktivitäten. Heft 4 enthält noch einen großen Bericht von der Hauptversammlung in Peking.

TAGUNGSKALENDER

1994

18. – 20. Mai Parma / I
2nd International Workshop on Expert Evaluation and Control of Compound Semiconductor Materials and Technologies (Exmatec '94)

Dr. R. Fornari, Instituto MASPEC-CNR, Via Chiavari, 18/A, I-43100 Parma, Italy

25. – 27. Mai Sendai / Japan
3rd International Symposium on Atomic Layer Epitaxy and Related Surface Processes (ALE-3)

Dr. A. Koukitsu, Secretary ALE-3, Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184, Japan

27. Mai – 5 Juni Erice / I
21st Crystallographic Course: Crystallography of Molecular Biology

L. Riva di Sanseverino, Dept. Scienze Mineralogiche, Piazza Porta San Donato, 1-40126 Bologna, Italy

29. Mai – 1. Juni Cork / Ireland
18th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE '94)

B. Corbett, WOCSDICE '94, NMRC, UCC, Cork, Ireland

31. Mai – 3. Juni Yokohama / Japan
7th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE VII)

Dr. S. Minagawa, Program Chairperson of ICMOVPE VII, Central Research Laboratory, Hitachi Ltd., Higashi-koigakubo, Kokubunjicity, Tokyo 185, Japan

3. – 8. Juli Chester / U.K.
First European Conference on Synchrotron Radiation in Material Science

G.N. Greaves, SERC Daresbury Laboratory, Warrington WA4 4AD, U.K.

24. – 29. Juli Freiburg / D
Eighth International Conference on Vapour Growth and Epitaxy (ICVGE-8)

Prof. Dr. K.W. Benz, Kristallographisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität, Hebelstr. 25, D-79104 Freiburg, Germany

28. August – 2. September Bari / I
International School of IMA'94 on Crystal Growth of Minerals

Prof. E. Scandale, Geomineralogico Dept., Univ. of Bari-Campus, Via E. Orabona 4, 70124 Bari, Italy

28. August – 2. September Dresden / D
ECM-15 Fifteenth European Crystallographic Meeting

Prof. Dr. P. Paufler, Technische Universität Dresden, Fachbereich Physik, Mommsenstr. 13, D-1069 Dresden, D

28. August – 2. September Amsterdam
CLEO®/EUROPE-EQEC

CLEO/EUROPE EQEC'94, c/o Institute of Physics, Meetings and Conferences Department, 47 Belgrave Square, London, SW1X 8QX, UK

29. August – 2. September Osaka / Japan
Eight International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE-VI)

Prof. Shun-ichi Gonda, MBE-VII Chairman, The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

4. – 9. September Pisa / I
16th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA)

Prof. S. Merlini, IMA'94 Chairman, Dipartimento di Scienze della Terra, Via S. Maria 53, 56100 Pisa, Italy

4. – 14. September Kraków / Poland
International Summer School on Growth and Characterization of Crystals (ISSGCC)

Prof. S.A. Hodorowicz, Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, ul. Ingardena 3, 30-060 KRAKOW, Poland

5. – 6. September Norwich / U.K.
Anglo-Dutch Meeting on Application and Theory to Industrial Crystallisation and Thin Film Epitaxy

Dr. K.J. Roberts, Dept of Pure and Applied Chemistry, University of Strathclyde, Thomas Graham Building, 295 Cathedral Street, Glasgow G1 1XL, U.K.

5. – 7. September Berlin
2nd European Symposium on X-Ray Topography and High Resolution Diffraction

Prof. Dr. H. Klapper, Institut für Mineralogie, Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloß, 53115 Bonn

18. - 24. September San Diego (CA) / U.S.A.
21st International Symposium on Compound Semiconductors

James P. Harbison, 21st Symposium on Compound Semiconductors, Bellcore, NVC 3X-211, 331 Newman Springs Road, Red Bank, NJ 07701-7040, U.S.A.

19. - 22. September Bristol / U.K.
IVth International Workshop on Purification of Material for Crystal Growth & Glass Processing

F.W. Aigner, Pennsylvania State University, 134 Materials Research Lab, University Park, PA 16802, U.S.A.

19. – 23. September Il Ciocci / I
Diamond Films '94

Elsevier Science Publishers Ltd., Mayfield House, 256 Banbury Road, Oxford OX2 7DH, U.K.

20. September Frankfurt
Chemie und Kristallzüchtung, Informationstag 231/94

Gesellschaft Deutscher Chemiker, Abt. Fortbildung, Postfach 900440, 60444 Frankfurt, Fax 069/7917-475, Tel. 069/7917-356 oder -471

26. – 28. September Linz / A
European Workshop on II-VI-Semiconductors

Dr. H. Sitter, Workshop Chairman, University of Linz, Dept. of Solid State Physics, A-4040 Linz, Austria

10. – 11. Oktober Templin / D
MBE Workshop

Dr. L.- Däweritz, Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin

1995

Februar Madras
International School on Advanced Materials

ANNA University, Crystal Growth Centre, Prof. Ramsamy

11. – 16. Juni La Hague / NL
International Summer School on Crystal Growth (ISSCG-9)

Prof. Dr. J.P.J.M. van der Eerden, Univ. Utrecht, P.O. Box 80082, 3508 TB Utrecht, The Netherlands

13. Juni La Hague / NL
DGKK Jahreshauptversammlung 1995

Dr. H. Walcher, FhG-IAF, 79108 Freiburg, Tullastr. 73

18. - 23. Juni La Hague / NL
11th International Conference on Crystal Growth (ICCG-XI)

CONGREX Holland BV, Keizersgracht 782, 1017 EC Amsterdam, The Netherlands, Fax.: + 3120 625 9574

6. – 11. August Lund / Schweden
16th European Crystallographic Meeting

Dept. of Inorg. Chem. 1, Chemical Center, Lund U., PO Box 124, S-221 00 Lund, Schweden

28. August - 1. September Cheju Island / Korea
22st International Symposium on Compound Semiconductors

Prof. Young Se Kwon, Secretary of ISCS-22, Dept. of Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305701, Korea

Im Rahmen des Graduiertenkollegs

"Schmelzen, Erstarren und Grenzflächen"

(RWTH Aachen – DLR Köln)

ist im

Institut für Kristallographie der RWTH

ein Doktorandenstipendium zu vergeben.

Das Arbeitsgebiet beinhaltet die Züchtung von nicht-metallischen Einkristallen aus Lösungen und Schmelzen sowie die Untersuchung ihrer wachstums- und umwandlungsbedingten Defekt- und Domänenstrukturen.

Bewerber mit Interesse an Kristallographie, Kristallzüchtung und Röntgenbeugung werden gebeten, sich umgehend mit Lebenslauf und Zeugniskopien an Herrn

Prof. Dr. Theo Hahn
Institut für Kristallographie der RWTH
52056 Aachen

zu wenden.

gez. Prof. Theo Hahn, RWTH Aachen
Prof. H. Klapper, Universität Bonn

Schmunzelecke

**"Der schlichte Glaube,
daß wissenschaftliche Entdeckungen
automatisch
materiellen Fortschritt bedeuten,
ist einer der verhängnisvollsten
Mythen unserer Zeit."**

Sir Bernard Lovell

**"Tagungen
sind unentbehrlich
für den,
der nichts zu tun wünscht."**

John Kenneth Galbraith

**Das teutonische Jammern ist
geschichtsnotorisch:**

**"Die Nachrichten aus Deutschland
sind schlecht"**

**Tacitus
Römischer Geschichtsschreiber**

DGKK - STICHWORTLISTE

KRISTALLHERSTELLUNG

ZÜCHTUNGSMETHODEN

- 110 Schmelzzüchtung
 - 111 Czochralski
 - 112 LEC
 - 113 Skull / kalter Tiegel
 - 114 Kyropoulos
 - 115 Bridgman
 - 116 Schmelzzonen
 - 117 gerichtetes Erstarren
 - 118 Verneuil
 - 119 andere Methoden
- 120 Gasphasenzüchtung
 - 121 CVD, CVT
 - 122 PVD, VPE
 - 123 MOCVD
 - 124 MBE, MOMBE
 - 125 Sputterverfahren
 - 129 andere Methoden
- 130 Lösungszüchtung
 - 131 wässrige Lösung
 - 132 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 Massenkristallisiert
- 321 Einkristalle
- 322 Polykristalle

- 323 amorphe Materialien, Gläser
- 324 Multischicht-Strukturen
- 325 Keramik, Verbundwerkstoffe
- 326 Biokristallisiert
- 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 Mikrostrukturerung

KRISTALLCHARAKTERISIERUNG

KRISTALLEIGENSCHAFTEN

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

MESSMETHODEN

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

- 630 Beugungsmethoden
 - 631 Röntgendiffraktometrie
 - 632 Röntgentopographie
 - 633 Gammadiffraktometrie
 - 634 Elektronenbeugung
 - 635 Neutronenbeugung
- 640 Spektroskopie, Spektrometrie
 - 641 UV-, VIS-, IR-, Fourier-
 - 642 Raman-, Brillouin-
 - 643 Kurzzeit-Spektroskopie
 - 644 NMR, ESR, ODMR
 - 645 RBS, Channeling
 - 646 SIMS, SNMS
- 650 Oberflächenanalyse
 - 651 LEED, AUGER
 - 652 UPS, XPS
- 660 Elektrische Charakterisierung
- 670 Andere Meßmethoden

MATHEMATISCHE BEHANDLUNG

- 710 Kristallwachstum
 - 711 Keimbildung
 - 712 Wachstumsvorgänge
 - 713 Transportvorgänge
 - 714 Rekristallisation
 - 715 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)

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 über 400 Fachkollegen, die einer Gesellschaft angehören, deren Zweck ist
- Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet von Kristallwachstum und Kristallzüchtung zu fördern,
 - über entsprechende Arbeiten und Ergebnisse durch Tagungen und Mitteilungen zu informieren,
 - wissenschaftliche Kontakte unter den Mitgliedern und die Beziehung zu anderen wissenschaftlichen Gesellschaften zu fördern, sowie
 - die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene im Sinne der Gemeinnützigkeit zu fördern.

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.) E-mail _____

*) _____
(PLZ, Ort) (Telefon) _____

(FAX) _____

Wissenschaftliche Interessen- und Erfahrungsgebiete (Stichworte):

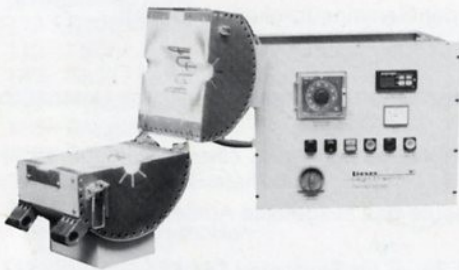
Tätigkeit und Erfahrung mit maximal 10 Stichwortnummern charakterisieren (s. Liste).

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

_____ den _____ (Unterschrift)

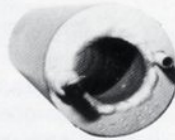
*) bitte unbedingt ankreuzen, unter welcher Anschrift der Schriftwechsel geführt werden soll.

VORSPRUNG DURCH MODERNSTE TECHNIK



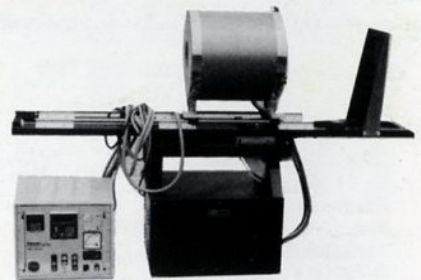
FuE-Rohröfen

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



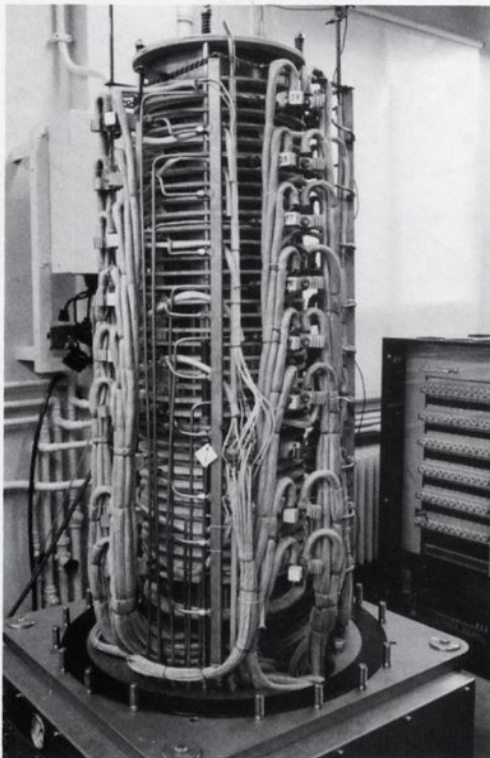
kostengünstige Heatpipes

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.



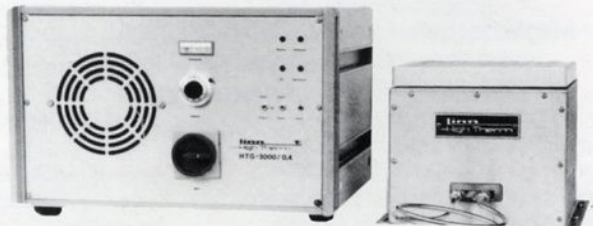
Rohröfen

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

ACHEMA 05.-11.06.1994
Halle: 6.3 Stand: C 14



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 defektfarmen III-V- und II-VI-Halbleitereinkristallen nach dem Gradient-Freeze-Verfahren.

THERMPROCESS / GIFA 15.-22.06.1994
Halle: 9 Stand: D31-E32 / Halle: 12 Stand: E33

Sonderanlagen
nach
Kundenspezifikationen!

linn
High Therm

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