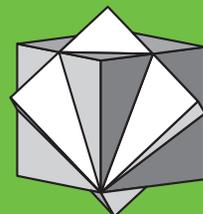


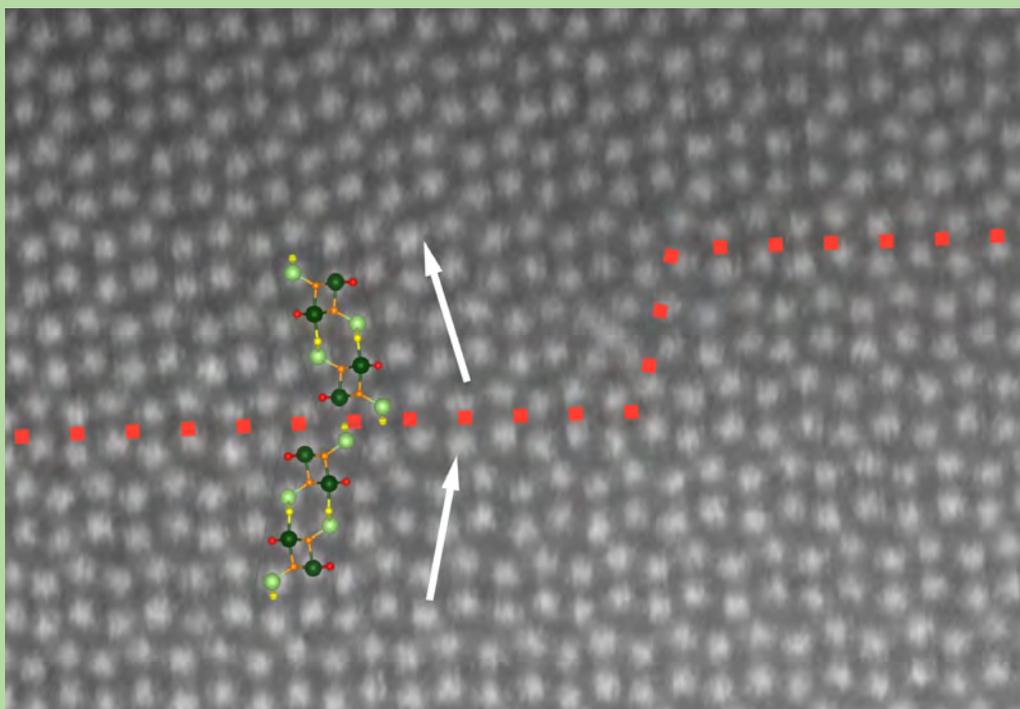


ISSN 2193-374X

Mitteilungsblatt
Nr. 106 / 2019



Deutsche Gesellschaft
für Kristallwachstum und
Kristallzüchtung e.V.

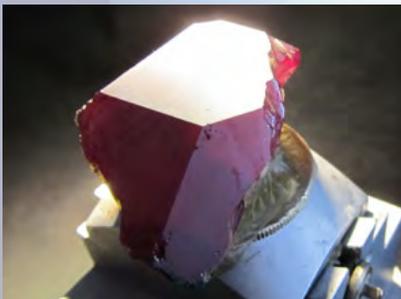


Inhaltsverzeichnis

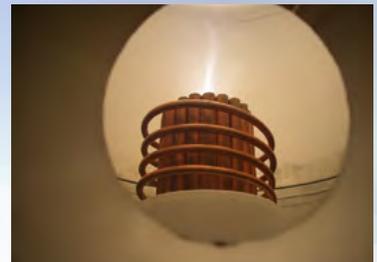
Der Vorsitzende / Editorial	3
DGKK intern	5
DGKK Nachrichten	8
DGKK Personen	19
DGKK Nachwuchs	21
Über die DGKK	25
Tagungskalender	26

SurfaceNet

Crystals



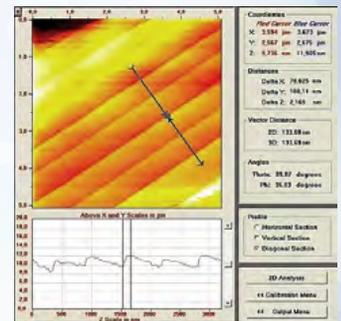
Crystal Puller



Wafers



Analytical Services



Substrates Custom Parts

Sputter Targets PLD Targets Custom Crystal Growth

SurfaceNet GmbH

Oskar-Schindler-Ring 7 · 48432 Rheine – Germany

Telefon +49 (0)5971 4010179 · Fax +49 (0)5971 8995632

sales@surfacenet.de · www.surfacenet.de

Der Vorsitzende

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

wieder ist ein Jahr vergangen und ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mit ihrer Arbeit die Anliegen der DGKK voranbringen. Wir sind eine kleine Gesellschaft und so ist das Engagement der Mitglieder um so wichtiger, um einerseits die etablierten Dinge wie Arbeitskreistreffen und Mitteilungsblatt zu erhalten und sich andererseits auf die Herausforderungen der Gegenwart bzw. Zukunft einzustellen. Dazu gehört das Thema "Digitalisierung". Dieses Thema ist zu komplex als dass sich nur der Vorstand dazu positionieren sollte. Deshalb erfolgt in diesem Heft der Aufruf an alle, sich zu beteiligen (siehe Seite 6).

Andere Themen sind immer noch so aktuell wie vor 20 Jahren. Im Vorwort zum Mitteilungsblatt Mai 1999 bat der damalige Vorsitzende Georg Müller, die „Mitglieder der Epitaxie-Arbeitsgruppen, die sich im Bereich der Festkörperphysik“ gebildet haben, stärker an die DGKK heranzuführen“. Dieses gilt auch heute noch, umso mehr, als sich in der Zwischenzeit dieser Bereich um die Nanostrukturen erweitert hat.

An anderer Stelle ist die DGKK zumindest teilweise erfolgreich. Nach dem gemeinsamen Symposium bei der DGK-Jahrestagung letztes Jahr gibt es in diesem eine gemeinsame Session „Charakterisierung“ bei der GPPCG-3 in Poznań. Es freut mich, dass wir im März eine Tagung gemeinsam mit unseren polnischen Kolleginnen und Kollegen durchführen werden. Gemeinsame Veranstaltungen von PTWK und DGKK haben inzwischen eine Tradition. Im bereits erwähnten Vorwort schrieb Georg Müller noch vom von „den Kristallzüchtungskollegen aus Polen [] herangezogenen Vorschlag [], dass wir in naher Zukunft eine polnisch-deutsche Kristallzüchtungstagung durchführen sollten“. Nunmehr sind wir bei der dritten gemeinsamen Tagung nach Berlin (2006) und Frankfurt(Oder)/Ślubice (2011).

Ein großes Thema bleibt weiterhin die Sichtbarkeit der Kristallzüchtung und der kristallinen Materialien in der Öffentlichkeit und der Politik. Für ein kleines Gebiet im Sinne des Umsatzes und der beteiligten Akteure ist es schwierig medienwirksame

Öffentlichkeitsarbeit zu machen. Als sehr erfolgreich hat sich vor fünf Jahren der Kristallzüchtungswettbewerb erwiesen, den die DGKK und die DGK anlässlich des Jahres der Kristallographie durchgeführt hatten. Um der nächsten Generation die Kristallzüchtung nahezubringen, hat Jochen Friedrich ein P-Seminar „Kristallzüchtungswettbewerb“ am Gymnasium Eckental initiiert, das den Wettbewerb vorbereitet hat und nun auch durchführt. Weitere Informationen entnehmen Sie dem beiliegenden Flyer, den Sie gerne weiterverteilen können. Es wäre schön, wenn die Beteiligung wieder so groß wie beim letzten Mal werden würde, zumal die Siegerehrung dann bei der Jubiläums-DKT in München erfolgen soll.

Auf europäischer Ebene ist positiv zu vermerken, dass die European Conference on Crystal Growth (ECCG) seit ihrer Wiederbelebung 2012 stets ein Treffen von Forschern aus den unterschiedlichsten Richtungen der Kristallzüchtung ist. Die Kombination mit der European School on Crystal Growth hat sich bewährt und trägt dazu bei, diese Themen in ihrer gesamten Breite einem jungen Publikum näher zu bringen. Ich freue mich, dass unsere französischen Kolleginnen und Kollegen im Jahre 2021 die nächste Ausgabe von Schule und Konferenz in Paris organisieren wollen.

In diesem Jahr steht erstmal die internationale Konferenz, die ICCGE-19 in Keystone an. Die Liste der Topics verspricht eine interessante Konferenz. Allerdings bleibt abzuwarten, wieviele den Weg in die Berge nehmen - sei es, weil die Höhe ein Problem ist oder die Finanzen. Aufgrund des letzteren hatte der Vorstand beschlossen, auf Antrag einen höheren Zuschuss als bei bisherigen Veranstaltungen zu gewähren. Gerne würden wir von DGKK-Seite Unterstützung für kurze Aufenthalte während der Master- oder Promotionsarbeit vergeben. Hier können jederzeit formlos Anträge gestellt werden. Der Betreuer sollte hier natürlich Mitglied der DGKK sein. Und wir sollten beim Nachwuchs für eine Mitgliedschaft werben!

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen einen guten Start in das Jahr 2019 !

Ihr Wolfram Miller

Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende	3	Workshop on Modelling in Crystal Growth (IWMCG-9)	15
Editorial	4	Rigaku XRTmicron Advanced X-ray Topography	17
Titelbild	4	DGKK-Personen	19
DGKK-intern	5	Peter Görnert: 75. Geburtstag	19
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2019	5	Dorothee Braun: Marthe-Vogt-Preis	20
Digitalisierung	6	Jubilare	20
Mitglieder 2018, zweite Jahreshälfte	7	DGKK-Nachwuchs	21
DGKK-Nachrichten	8	Strain-phase relations for domain engineering	21
European Conference on Crystal Growth (ECCG6)	8	Züchtung von Cu(In,Ga)Se ₂ -Absorbern	23
European School on Crystal Growth (ESCG2)	10	Über die DGKK	25
Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2018)	12	Arbeitskreise der DGKK	26
		Tagungskalender	26

Editorial

Verehrte Leserinnen und Leser,

auch Ende Januar wünsche ich Ihnen noch ein gesundes und erfolgreiches Neues Jahr!

Das aktuelle Heft lebt vor allen von Berichten von Konferenzen und Schulungen, die sich auf den letzten Herbst konzentrierten: es ging um die Kristallzüchtung in Europa, um die Modellierung zur Kristallzüchtung weltweit und ganz speziell um die Welt der Nitrid-Halbleiter. Die beiden Berichte zu Promotionsarbeiten sind aus der Branche der Schichten bzw. Mikrostrukturen; vom dritten Bericht kam dann doch nur das Titelbild mit Begleittext zustande, während der Bericht

selbst ausnahmsweise mal auf das nächste Heft verplant wird. In allen Rubriken hoffe ich auf mehr Artikelzusendungen von außerhalb desjenigen Institutes, wo dieses Heft gerade technisch erstellt wird. Für das nächste Heft nehmen wir uns wieder ein Focus-Thema vor: die gemeinsame Konferenz nun in Poznań bietet Gelegenheit, ein Team eines polnischen Labors dafür zu interessieren, dass es seine Arbeit in unserem Mitteilungsblatt vorstellen möchte. Eine interessante Lektüre dieses Heftes wünscht Ihnen

Klaus Böttcher

Titelbild

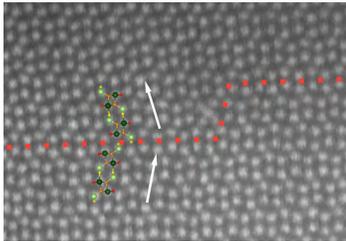


Bild: R. Schewski, Berlin

The figure shows an atomically resolved scanning transmission electron microscopic (STEM) image of the interface between a β - Ga_2O_3 (100) substrate and a homoepitaxial layer grown by MOVPE, hereon. The STEM-HAADF image was taken along the [010] zone axis of the monoclinic lattice. In this projection the atomic column contrast arises mainly from the gallium columns, because of the much smaller atomic number of oxygen ($Z=8$) compared to gallium ($Z=31$). The dotted line indicates the interface between the layer and the substrate, containing a bilayer step. The layer is twinned with respect to the substrate, as indicated by the superimposed stick and ball models. Gallium columns are light and dark green while oxygen columns are red orange and yellow, respectively. The twinning can be described by a $c/2$ glide reflection and leads to a shift of the orientation of the monoclinic unit-cell as indicated by the arrows. The formation of these twins is a usual defect during the homoepitaxy on the (100) plane of β - Ga_2O_3 , and is a result of an insufficient surface diffusion of the ad-atoms in combination with a double-positioning mechanism.

Material-Technologie & Kristalle für Forschung, Entwicklung und Produktion

- ▲ Kristallzüchtungen von Metallen, Legierungen und Oxiden
- ▲ Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)
- ▲ Reinstmaterialien (99,9 – 99,99999 %)
- ▲ Substrate (SrTiO_3 , MgO , YSZ , ZnO , Al_2O_3 , etc.)
- ▲ Wafer (Si , Ge , ZnTe , GaAs und andere HL)
- ▲ Sputtertargets
- ▲ Optische Materialien (Fenster, Linsen, etc.)
- ▲ Auftragsforschung für Werkstoffe und Kristalle



MaTeck

Im Langenbroich 20
52428 Jülich

Tel.: 02461/9352-0

Fax: 02461/9352-11

eMail: info@mateck.de

Besuchen Sie uns im Internet (inkl. Online-Katalog):
www.mateck.de



An alle Mitglieder

Schriftführerin

Dr. Christiane Frank-Rotsch

Leibniz Institut für Kristallzüchtung

Max-Born-Str.2

D-12489 Berlin

Telefon (030) 6392 3031

Telefax (030) 6392 3003

Email christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de

14.01.2019

Jahreshauptversammlung 2019 in Poznan

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur Jahreshauptversammlung 2019 ein, die anlässlich der 3rd German Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG3) in Poznan stattfindet.

Ort: Poznan University of Technology, Conference Centre

Zeit: Montag, 18.03.2019, 17:30 Uhr

weitere Informationen : <http://gpccg2019.put.poznan.pl/>

Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlussfähigkeit
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Bericht der Schriftführerin
4. Bericht des Schatzmeisters
5. Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Vorstandes
6. Planung für 2019
7. Wahl des Vorstandes für die Zeit vom 01.01.2020 - 31.12.2021
8. Wahl der Kassenprüfer für die Zeit vom 01.01.2020 - 31.12.2021
9. Wahl der Preiskommission für die Zeit vom 01.02.2019 - 31.01.2025
10. Deutsche Kristallzüchtungstagung 2020
11. Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2020
12. Deutsche Kristallzüchtungstagung 2021
13. Ehrenmitglieder (Vorschläge und Abstimmung)
14. Berichte zu den DGKK – Arbeitskreisen
15. Verschiedenes

Anträge auf Erweiterung der Tagesordnung sind dem Vorstand gemäß § 9 (2) der Satzung rechtzeitig mitzuteilen.

Wir möchten Sie bitten, Ihre Teilnahme an der Jahreshauptversammlung 2019 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen

Christiane Frank-Rotsch
Schriftführerin DGKK

Digitalisierung - Auswirkung im Bereich Materialwissenschaft

Wolfram Miller (Berlin), Andreas Danilewsky (Freiburg), Christiane Frank-Rotsch (Berlin), Peter Wellmann (Erlangen), Ludwig Stockmeier (Burghausen), Ulrike Wunderwald (Freiberg), Götz Meisterernst (Burghausen)

Digitalisierung, Industrie 4.0, Big Data, Data Mining, Machine Learning, etc.. Viele Schlagworte machen heutzutage die Runde. Für Europa und Deutschland liegen hier viele Chancen für die industrielle Wirtschaft. Industrie 4.0 bietet die Chance zur Herstellung von individuell angepassten Produkten. Auf der anderen Seite gibt es viele offene Fragen und Hindernisse bei der Umsetzung sowohl im industriellen als auch im akademischen Umfeld.

Die DGKK sollte sich zum Thema Digitalisierung positionieren. Als Gesellschaft sind wir zwar zu klein, um direkt in den politischen Diskurs eingreifen zu können. Wir sollten aber unsere Position in den nächsten Ebenen, wie z.B. BVMatwerk oder auch über die DGM (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.) einbringen.

Der Vorstand lädt alle Mitglieder ein, ihre Fragen, Gedanken und vielleicht bereits Erfahrungen zu diesem Thema einzubringen. Dieser Artikel soll ein Anstoß sein, sich mit dieser Thematik zu befassen und sich in die Diskussion einzumischen.

Aus diesem Grund wollen wir mit diesem Beitrag einige der Aspekte der Digitalisierung ansprechen und somit eine Diskussion anstoßen.

Im MB 104 vom Winter 2017 wurde bereits über Teilaspekte dieses Prozesses auf dem Weg zu Industrie 4.0 berichtet. Hier ging es im wesentlichen um das Materials Processing. Der Wandel zur umfassenden Digitalisierung stellt große Herausforderungen und birgt sicher auch an vielen Stellen Risiken. Es ist deshalb sinnvoll, sich auf die Auswirkungen einzustellen bzw. rechtzeitig dazu Stellung zu nehmen. Im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik hat die DGM ein Strategiepapier entwickelt, das im Mai 2018 veröffentlicht worden ist. Dieses Strategiepapier sowie auch die Stellungnahme der Fachkollegien 405 und 406 kann unter <https://www.dgm.de/medien/print-medien/strategiepapier-digitale-transformation/> eingesehen bzw. heruntergeladen werden. Zentraler Punkt ist die Handhabung von Daten (Messdaten bzw. berechneten Daten). Die Vision, die im Strategiepapier der DGM beschrieben wird, ist folgende:

In der Zukunft wird der Computer die Frage „Was wissen wir alles über Material oder Werkstoff X?“ automatisch beantworten können. Dazu gehört dann auch die Beschreibung, wie diese Daten gewonnen worden sind bzw. sie interpretiert worden sind.

Stoffdaten

Stoffdaten waren zwar schon immer ein zentraler Punkt für die Entwicklung. Im Zeitalter von Machine Learning rückt das Ganze aber auf eine andere Ebene. Während bisher die digitale Speicherung eines Gesamtprozesses partiell war bzw.

die Behandlung durch numerische Simulation Teilbereiche abdeckte, soll sie in Zukunft umfassend und integriert sein (Stichwort: Digitaler Zwilling). Das erfordert verbindliche Standards für die Ablage und den Austausch von Daten. Dieses umfaßt auch die Dokumentation, wie die Daten gewonnen worden sind und wie sie bewertet wurden. Dabei kann es sich um gemessene oder berechnete Daten handeln. In beiden Fällen muss die Datenerzeugung transparent, nachvollziehbar und wiederholbar sein. Eine automatische Verarbeitung muss gewährleistet sein.

Dabei ergeben sich folgende Fragen:

- Wer ist für das Anlegen und den Betrieb der Datenbanken verantwortlich ?
- Wie wird die Datenbank finanziert ?
- Wie ist die Nachhaltigkeit gesichert (Speicherformate, Update der Hard- und Software über die Jahre) ?
- Wie sind die Rechte, insbesondere Urheberrechte ?
- Wie groß bzw. diversifiziert sollten die Datenbanken sein ?

Prozess- und Bauteildaten

Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS beschäftigt sich seit einiger Zeit mit Industrie 4.0 und deren Umsetzung im Bereich Werkstofftechnik. Werkstoffe sollen maßgeschneiderte Produkte nach individuellen Kundenwünschen möglich machen, die on demand, adaptiv, multifunktional oder by design hergestellt werden können - kostengünstig, mit hoher Qualität und bei kurzen Innovationszyklen. Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS hat daher das Konzept des Materials Data Space als Grundlage für die Werkstoffentwicklung, -herstellung und -verarbeitung innerhalb von Industrie 4.0 entwickelt (siehe <https://www.fraunhofer-materials-data-space.de>). Für unterschiedliche Bereiche ist die Prozesskette und deren Digitalisierung analysiert worden (nachzulesen in der Broschüre Materials Data Space, herunterladbar von <https://www.fraunhofer-materials-data-space.de/content/dam/materials-data-space/de/documents/MDS.PDF>). Hierbei geht es um die Erfassung und Auswertung von prozess- und anwendungsrelevanten Daten, die für eine Anpassung bzw. Optimierung der Gesamt-Prozesskette eingesetzt werden sollen. Da sich die Gesamt-Prozesskette von den Rohstoffen bis zum Recycling erstreckt, sind hier in der Regel mehrere unterschiedliche Teilnehmer involviert. Damit ergibt sich die Frage des Daten-Handlings über die einzelnen Bereiche hinaus.

Numerische Simulation und Softwareentwicklung

Neben dem Datenhandling bekommt die Simulation bzw. die wissenschaftliche Softwareentwicklung eine wesentliche Rolle. Die Simulation sollte über die gesamte Prozesskette er-

folgen. Dieses erfordert die Integrabilität unterschiedlicher Software.

Die andere bedeutende Frage betrifft die Entwicklung von Software und hier insbesondere die von wissenschaftlicher Software. Die Tendenz geht hier zu Open-Source-Software. Unabhängig vom Open-Source-Gedanken ist die Sicherstellung von Nachhaltigkeit und Verifizierbarkeit der wissenschaftlichen Softwareentwicklung als Teil von Forschungsprozessen ein zentraler Punkt. In diesem Zusammenhang wird auch ein neues Berufsfeld diskutiert, das des Research Software Engineers (RSE). Weitere Einzelheiten und Veranstaltungen zu diesem Thema sind unter <https://www.de-rse.org/> zu finden. Diskutiert wird die Öffnung von wissenschaftlicher Software als zentraler Baustein in Open Science und die Verankerung von Software-Veröffentlichungen im wissenschaftlichen Wertesystem durch konsequente Anwendung von DOIs, Referenzierung, Metriken und Reviews.

Auch im Strategiepapier der DGM wird die Zukunft in Open-Source-Software gesehen. Dazu gehören dann auch Web-basierte Arbeitsumgebungen, Cloud Computing und Open Data.

Daten-Sharing

In der Industrie ist Daten-Sharing per se kritisch, aber auch im wissenschaftlichen Umfeld sieht die Analyse der DGM wenig Anreize. Der wissenschaftliche Wettbewerb basiert in erster Linie auf Veröffentlichungen und nicht auf der Bereitstellung von relevanten Daten. Bei den bereits existierenden öffentlichen Datenbanken gibt es zudem das Problem, dass die Datenbank zitiert wird und nicht der Forscher, der Daten zur Verfügung gestellt hat.

Big Data und Maschine Learning

Die Güte des Machine Learning beruht auf der Anzahl der dafür einsetzbaren Daten:

- Wie werden genügend Daten gewonnen ?
- Wie kann hier auf wissenschaftlicher Ebene kooperiert werden ?
- Wie agiert die Industrie ?

Data sharing zwischen europäischen Firmen wurde vor kurzem in einer Studie untersucht, die vom Juli 2017 bis zum Februar 2018 dauerte (siehe <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2d6d436e-4832-11e8-be1d-01aa75ed71a1/language-en>).

Aufforderung zur Beteiligung an der Diskussion

Der Vorstand hofft, Sie auf diese Thematik eingestimmt zu haben und möchte - wie bereits oben erwähnt - eine breite Diskussion anstoßen.

- Wieviel muss standardisiert werden, wieviel sollte individuell bleiben ?
- Welche Art von Datenbanken werden in der Kristallzüchtung benötigt ?
- Wie wird mit diesem Thema in der Industrie bereits umgegangen ?
- Welche rechtlichen Probleme werden gesehen ?
- Welche strukturellen Probleme gibt es ? ...

Bitte schicken Sie Ihre Anmerkungen an den Vorsitzenden der DGKK, am besten per Email (wolfram.miller@ikz-berlin.de)¹

Mitglieder 2018, zweite Jahreshälfte

Wir begrüßen seit dem 27.06.2018 als neue Mitglieder (Stand 17.01.2019):

Neumitglieder / Privatpersonen:

Herr Johannes Steiner	Friedrich-Alexander-Universität (FAU), Erlangen-Nürnberg
Herr Kevin-Peter Gradwohl	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin
Frau Dr. Karoline Stolze	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin
Frau Lenka Smejkalova	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

Neumitglieder / Firmen:

SiCrystal GmbH, Michael Vogel	Nürnberg
Korth Kristalle GmbH, Jörg Korth	Altenholz

Verstorben:

Herr Heinz Kohler	Aachen
-------------------	--------

¹Ihre Bemerkungen werden nur im Vorstand der DGKK behandelt. Falls diese für weiterführende Dokumente verwendet werden sollen, werden wir vorher bei Ihnen nachfragen.

DGKK-Nachrichten

Report on the 6th European Conference on Crystal Growth (ECCG6), September 16-19, 2018, Varna (Bulgaria)

Wolfram Miller, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

The third edition of the European Conference of Crystal Growth after reestablishing this format took place near Varna in the resort Riviera Holiday Club. It was an ideal place to host the school (ESCG-2) and the conference (ECCG-6). Originally built by French architects for the Bulgarian nomenclatura for providing them a place to recover it is nowadays a good location for a conference like ECCG. The facilities of the resort give the opportunity to meet and discuss besides the lecture halls. Furthermore, the beach and the swimming pools attract to relax. It can be said that the success of the previous conferences in Glasgow (2012) and Bologna (2015) could be continued. Participants from all over Europe and also many from other parts of the world attended the conference (see Tab. 1 and 2). Their research and contributions covered all areas of crystal growth and many people participated who are not a typical visitor of this kind of conferences. It was a good atmosphere for profound discussions and for a fruitful exchange of ideas and expertise. Interestingly, again the session "Bulk Crystals" had the by far highest number of contributions. Though some prominent representatives of industrial crystallization attended the conference only a few contributions were submitted in this field. In total 61 oral presentations were given, 26 of them were invited talks. 196 posters were shown and explained in two poster sessions. Though due time restrictions the poster sessions were scheduled after dinner the sessions were attended by many if not most of the participants. Moreover, results were discussed intensively. The high number of posters resulted from the restriction of slots for oral presentations. This stems from the intention to organize the school and conference in a compact manner and not to go beyond two parallel sessions. Three days for a conference seemed to be a good choice despite all the restricts by the time limit. Originally, for every conference day a plenary talk was scheduled. Unfortunately, Alexander Chernov had to cancel his participation. Thus, we had the pleasure to hear the talk of Tom Leysens (Université catholique de Louvain, Institute of Condensed Matter and Nanosciences, Louvain-la-Neuve, Belgium) on "Application philosophies for multi-component crystal systems" and of Fiona Meldrum (University of Leeds, School of Chemistry, Woodhouse Lane, Leeds, UK) on "Controlling Crystallisation using Confinement and Surface Topography".

In the following only a limited overview can be given on all the subjects presented in talks and on posters. Nucleation was a subject of contributions in different areas. One area was the nucleation in the droplets of nanowire growth (Frank Glas: *The driving force for truncation formation at the liquid-solid interface during nanowire growth*). Another was nucleation in micro droplets (Romain Grossier: *Crystal nucleation in microdro-*

plets) and tubes (Stéphane Veessler: *Microfluidics crystallization in tubes*). An "explosive" nucleation was observed when depositing Pb on Si(111) (Michael Tringides: *Non-classical, explosive nucleation and collective, multi-atom diffusion in epitaxial metallic films*). Nucleation and growth can be also studied by large scale molecular dynamics calculations. Still simple configurations take a very long time (Luis Zepeda-Ruiz: *Nucleation and crystallization kinetics in simple melts: modeling basic phenomena*).



Fig. 1: Opening ceremony of ECCG-6. From left to right: Bogdan Rangelov, Michail Michailov, Vessela Tsakova (all ECCG6 Chairmen), Wolfram Miller (Co-ordinator ENCG), Koichi Kakimoto (President IOCG). (Foto: ECCG-6)

A modern branch is the growth of bio crystals or bio-inspired crystals. These kinds of crystals are dedicated for applications. This includes the growth of micro-structures and hierarchical microarchitectures (Wim Noorduyn: *Controlling nucleation, growth and form of bio-inspired minerals*). A key point is nucleation and mass transport in the growth system. In bio-systems typically a great variety of crystal habits for one material exists. Geometrical confinement is one possibility to push the crystal growth towards the shape wanted (see plenary talk of Fiona Meldrum).

Several contributions about oxide and halide crystals were given both on growth and characterization (e.g. Zbigniew Galazka: *New methods for growing thermally unstable oxide single crystals from melt*, Martin Klejch: *Growth of radiation hard PWO crystals in open furnaces*, Mathias Velazquez: *Czochralski growth of Li_2MoO_4 crystals for the scintillating bolometers used in the rare events searches*, Matias Velazquez: *Multiscale characterization of the point defect disorder in high-temperature solution grown crystals of the new phase $\text{Sr}_6\text{Tb}_{0.94}\text{Fe}_{1.06}(\text{BO}_3)_6$*).

Silicon was a topic mainly in the framework of epitaxy and nanostructures. Only one talk was on bulk silicon (Maria Tsoutsouva: *Growth kinetics and defects associated with the formation of a random grain boundary during Si directional solidification*). It was good to see that also contributions on phase field calculations on solidification were present in this conference.

In Autumn 2017 Micheal Schieber passed away and thus it was a good idea to have a memorial lecture for the principal founder of the Journal of Crystal Growth and IOCG. The cur-

rent president of IOCG, Koichi Kakimoto, presented the main stages of his life and his achievements for the world of crystal growth.

The other general talk was given by Michail Michailov and told the story of "Iwan N. Stranski and the Sofia school of crystal growth". It started with short survey on Stranski's childhood and went through all the fundamental concepts developed in the twenties and thirties of the last century. During that time Stranski stayed also at the Technical University of Berlin (working with Max Volmer) and at Ural Institute of Physics and Mechanics in Sverdlovsk. Because the new Bulgarian government in 1944 accused him of links to the fascists he stayed in West-Berlin till 1967. In 1951-1953 Stranski was the rector of the Technical University. With his great personality he managed to obtain a great amount of money from the state to rebuild the facilities of the universities during this critical times shortly after the end of the second world war.

A farewell talk was given by Helmut Klapper, shortly after his 81st birthday. He gave an overview about the highlights of his work and showed all this nice movies on attachment kinetics and dislocation dynamics. Though some of the videos were quite old they are still fascinating and are still excellent examples for understanding the influence of dislocations on growth dynamics.

Australia	1	Belgium	1	Bulgaria	2
Czech Rep.	3	Finland	1	France	7
Germany	7	Italy	4	Latvia	2
Romania	3	Russia	6	Spain	1
Sweden	1	Switzerland	1	The Netherl.	1
Turkey	2	UK	1	Uruguay	2
USA	3				

Tab. 1: Participants of ESCG-2. In total 59 participants attended the school.

Algeria	3	Australia	1	Austria	2
Belgium	4	Bulgaria	22	Canada	1
China	6	Croatia	3	Czech Rep.	3
Denmark	2	Finland	1	France	18
Germany	35	Greece	2	Hungary	4
India	4	Ireland	1	Italy	49
Japan	11	Latvia	5	Norway	1
Poland	8	Portugal	3	Romania	12
Russia	39	Spain	2	Sweden	5
Switzerland	3	Thailand	1	The Netherl.	1
Turkey	6	UK	14	Ukraine	6
Uruguay	2	USA	8		

Tab. 2: Participants of ECCG-6. In total 266 participants attended the conference.

Participation for young researchers was supported by IU-Cr. Grants giving 15 grants for attending both ESCG-2 and ECCG-6. In addition 10 grants were given for the participation of ECCG-6. Also DGKK offered the possibility for supporting a participation. This opportunity was taken by one young researcher, who attended both school and conference (see report on ESCG-2 and ESCG-6 in this MB).

In total three prizes were given for presentations at the conference: The journal "crystals" (MDPI, Basel) sponsored a prize

for the best oral presentation. The board of Alberta Bonanni, Jose Gavira, Koichi Kakimoto, Wolfram Miller, and Jolanta Prywer made their decision to give the prize to Wim Norduin from AMOLF in Amsterdam for his talk "Controlling nucleation, growth and form of bio-inspired minerals". IUCr sponsored a poster award, which was given by Andrea Zappettini to Noushin Shadidzadeh from the Van der Waals-Zeeman Institute at the University of Amsterdam for the poster "Hopper growth of salt crystals". The third prize was given by DGKK, explicitly to someone who attended the school and presented a poster at the conference. The jury Andreas Danilewsky, Wolfram Miller, and Valessa Taskova came to the unique decision that Alexey Petrov from the Rzhhanov Institute of Semiconductor Physics in Novosibirsk presented the "Effect of atom sinks to atomic steps on the kinetics of Ge and Si two-dimensional island nucleation on Si(111)(7 × 7) surface" excellently.



Fig. 2: The vice-president of DGKK, Andreas Danilewsky, hands over the poster award of DGKK to Alexey Petrov. (Foto: ECCG6)

On Wednesday evening a farewell party was celebrated. For this reason the Wladigeroff brothers arrived from Wien to present their great variety of playing music from Folklore, passing jazz and swing to pop. They are the grand sons of Pancho Vladigerov, one of the most prominent composers of Bulgaria. In the twenties Pancho Vladigerov was music director of Deutsches Theater in Berlin under the famous theater director Max Reinhardt.

After three days of listening, presenting, and discussing the participants enjoyed relaxing with delish drinks, small talk, and dancing.

The next conference and school will be hosted by our French colleagues. Matias Velazquez presented the ideas in the council meeting of the European Network of Crystal Growth (ENCG) and announced the next edition in the closing ceremony of ECCG-6. Both school and conference will take place in Paris with tentative dates 20.-24.7.2021 and 25.-28.7.2021 for ESCG-2 and ECCG-7, respectively. One idea for the location of the school is the Chimie-ParisTech located in Quartier latin.



Fig. 3: The Wladigeroff brothers play at the farewell party.
(Foto: ECCG6)

At this location it would be possible to show demonstrations of bulk crystal growth (Czochralski, TSSG, optical floating

zone) and thin film equipments (CVD, ALD). The suggestion for the conference is the Paris Marriott Rive Gauche Hotel & Conference Center.

School and conference will be organized by three people from Chimie-ParisTech, Gérard Aka, Pascal Loiseau, and Alexandre Tallaire as well as by Françoise Bonneté from the Institut de Biologie Physico-Chimique in Paris. And last but not least by Matias Velazquez, who is currently the chairman of the Comité Français de Croissance Cristalline (CFCC).

Discussing and voting about the next edition of European school and conference was one of the major topics of the council meeting of ENCG. The other was the election for the next three year term of the executive committee. Andrea Zappettini was elected as Co-ordinator and Florinda Costa as secretary. By default the chair of the previous and the forthcoming ECCG, i.e. Bogdan Ranguelov and Matias Velazquez are in the executive committee.

Report on the 2nd European School on Crystal Growth (ESCG2), September 14-16, and on the 6th European Conference on Crystal Growth (ECCG6), September 16-19, 2018, Varna (Bulgaria)

Kristian Bader, Sektion Kristallographie, Ludwig-Maximilians-Universität München

The second European School on Crystal Growth (ESCG2) took place close to Varna, in the Rivera holiday beach resort directly at the coast of the black sea, at the Slatni pjasazi in Bulgaria, from September 14 - 16, 2018. For a school on crystal growth this was without doubt a very comfortable location which was appreciated well by the participants. Almost 60 students, researchers, lecturers and representatives of the industry from over 20 countries took part. Apart from a lot of European participants, attendants came from all over the world to join the school (two even from Uruguay). This is in my eyes a very positive state creating a close international network of young researchers, especially in the actual situation of a worldwide tendency to nationalism which is unacceptable. Not only PhD students and researchers attended, but also representatives of the industry joined, like for example two delegates of the crystal growth company Siltroic, which lead to interesting conversations, creating insights into working modes out of the university, in economy.

Professor **Andrey Milchev** from the Bulgarian Academy of Sciences opened the lessons with the topic “**Classical approach on crystal growth**”. He started from thermodynamics and nucleation theory of infinite phases and went further to finite phases. Smooth and rough surfaces were discussed and, of course, the Kossel model with all its atomic sites in detail. Furthermore, the basics of homogeneous, heterogeneous and 2D nucleation and after that growth rates depending on the surface roughness and supersaturation as condition for crystal growth were addressed. Milchev gave a theoretic overview about all important growth mechanisms but was not afraid of using very easy, but descriptive examples, like explaining ice cream getting crunchier with time by the

Gibbs-Thompson effect (Large crystallites stay while small ones disappear.).

After that, **Pierre Muller** from the Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille gave several lectures to his session “**Statistical physics and mechanisms of crystal growth**”. The topics of Muller built especially on the surface physics introduced by Milchev and, more in detail, regarded the atomic scale and bonding and especially explaining surface events by statistical probabilities. Their calculation was shown, as well as an overview of practical methods for surface observation.

Then the lecture “**Bulk growth methods**” was given by **Roberto Fornari** from the University of Parma containing growth from vapor and liquid (melt and solution) as well as solid-solid state reactions. An overview of all common growth methods was given and their problems or effects plus their solutions were discussed. Regarding growth from melt and solution, segregation with striation formation and constitutional supercooling and processes at the growth interface like thermal transport or stresses, leading to non-flat growth surfaces, facets or dislocations were summarized. Regarding growth from vapor, transport processes of CVT and PVT and appropriate furnace temperature profiles were shown.

Jose Gavira of the University of Granada gave the lesson “**Protein crystallization**” which is a fundamental tool for protein characterization, which is important for pharmaceutical research. Surprising was, that only about 7% of the known proteins could be crystallized yet. Protein crystallization works classically by exceeding a supersaturation of a solution, either by water removal or solubility change, caused by modulation of the pH, the temperature, the concentration of present

ions (for example salt) or water-affine polymers. Nevertheless, as often critically high supersaturations are needed, non-classical crystallization from clusters formed in an amorphous state is a common way. All in all, it was surprising for me (growing mostly intermetallic compounds from metallic solutions), that protein crystallization has the same mechanisms and behavior as inorganic crystallization.

Daniel Vizman from the West University of Timisoara gave the lecture “**Multiscale modeling of crystal growth**”. In his talk, he described modelling in crystal growth as combination of mathematics, computer science and engineering (practical growth technique and science) to answer questions addressing the system by mathematical calculations of governing equations. Vizman gave an overview in which case which equations are appropriate and summarized the approaches Monte Carlo, Molecular Dynamics (atomistic and molecular simulations like atom motion on surfaces), Phase Field, Lattice Boltzmann (mesoscale simulations describing for example solidification processes), Finite Element and Finite Volume (macroscale simulations for example heat transfer and interface modeling).

Geoffroy Prevot from the Paris Institute of Nanosciences gave the lecture “**Fundamental of vapor growth and epitaxy**” giving an overview of heterogeneous nucleation processes. Substrates, formation of clusters on surfaces, self-assembly

and effects like surface defects, elastic interactions between particles and substrates and coarsening on surfaces were discussed.

The last speaker, **Matteo Bosi** from the National Research Council of Italy from Parma, gave a talk about “**Monolayer material growth**” addressing the synthesis (mostly CVD) of 2D materials like graphene and other suitable materials like sulfides, selenides and tellurides and their possible applications and characterizations.

The organizers Andrea Zappettini and Pierre Muller closed the school by offering an evaluation, which was very positive. In this context, the question was asked how many of the participants already have had a lecture purely focused on crystal growth during their studies. The poor answer of less than 15% reflects the importance of such school. For the few who already heard a lecture on crystal growth the school was a welcome and extensive repetition of excellent quality, for the others a detailed condensation of the matter and in my eyes, it was conveyed, that crystal growth is not only an instrument for gaining good research samples but is a science on its own. Summarizing, the school was organized well, the topics were important and helpful, and the location and the surrounding made the education easy and let enough time for establishing contacts and productive talks.



Fig. 1: Group photo of the school participants. (Photo: ESCG-2)

The sixth European Conference on Crystal Growth (EC-CG6) directly followed the ESCG2, at the same location on September the 16-19. The organizers were the European Network of Crystal Growth and the Institute of Physical Chemistry of the Bulgarian Academy of Sciences and the **chairpersons were Bogdan Rangelov, Michail Michailov and Vessela Tsakova**. Under these circumstances the conference and the school were dedicated to the founder of the Bulgarian school

of physical chemistry Ivan Stranski, better known for his fundamental work concerning nucleation theory and crystal growth and especially for the Kossel-Stranski model. Therefore, a **Stranski memorial lecture** was held by **Michail Michailov**.

Summing up the whole conference, more than 300 participants presented 66 talks, including 26 invited talks and almost 200 posters in two poster sessions. The prize for the **best oral presentation** was awarded by CRYSTALS MDPI to Moh-

sin Qazi and Willem Noodruin from Amsterdam for the talk with the topic "Controlling nucleation, growth and form of bio-inspired minerals". IUVr Journals awarded the **best student poster** prize to Christian Jenewein, Konstanz, Germany with his poster "Binary Mesocrystals from Anisotropic Nanoparticles" and the DGKK **best poster award for master and PhD students**, who attended also ESCG2 was won by Alexey Petrov, Novosibirsk, Russia with his poster "Effect of adatom sink

to atomic steps on the kinetics of Ge and Si two-dimensional island nucleation on Si(111)-(7×7) surface".

The conference as well as the school were successful and helpful meetings. New ideas could be gained and discussed, as well as new collaborations could be established. Finally, I want to thank the DGKK for financial support, helping me to attend the school and the conference.

Bericht vom International Workshop on Nitride Semiconductors IWN 2018, 10.-16. November 2018 in Kanazawa, Japan

Matthias Bickermann, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

Der IWN ist - zusammen mit der ICNS (International Conference on Nitride Semiconductors), diese beiden Konferenzen werden im jährlichen Wechsel ausgetragen - die größte internationale wissenschaftliche Fachtagung über Gruppe-III-Nitride und deren Anwendungen. Gruppe-III-Nitride, damit bezeichnet man AlN, GaN, InN und deren Legierungen. Inzwischen kennt jeder die „weiße LED“, die in der Beleuchtungstechnik nicht mehr wegzudenken ist: sie wird mit Hilfe von halbleitenden InGaN-Epitaxieschichten hergestellt. Auch die blaue Laserdiode basiert auf solchen Schichten. Dafür haben Hiroshi Amano, Isamu Akasaki und Shuji Nakamura 2014 den Physik-Nobelpreis erhalten.

Nitrid-basierte LEDs, Laser und Sensoren sind für einem weiten Wellenlängenbereich vom tiefen UV bis zum Infrarot geeignet. Auch leistungs- und hochfrequenzelektronischen

Bauelemente (Spannungswandler, Übertrager, Funkwellenverstärker) werden auf Basis der Gruppe-III-Nitride hergestellt. Erste Bauelemente sind schon kommerziell erhältlich. Wie auch bei anderen Halbleiterbauelementen ist die Kristallzüchtung ein wesentlicher Bestandteil der Technologieentwicklung. Denn die Bauelemente sind aus epitaktischen Schichten aufgebaut, die auf einem einkristallinen Substrat abgeschieden werden. Hier gibt es noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der auf dem Workshop besprochen wird.

Der IWN 2018 fand in Kanazawa (Japan) statt. Knapp die Hälfte der 1281 Teilnehmer war aus Japan. Das liegt natürlich am Austragungsort, es spiegelt aber auch den hohen Stellenwert der Nitrid-Materialtechnologie in Japan insbesondere nach der Nobelpreisverleihung wider. Es folgen China mit 134, die USA mit 106, Deutschland mit 87 und Korea mit 78

I-B-S Fertigungs- und Vertriebs GmbH

für Forschung und Produktion
D-82284 GRAFRATH Postfach 30
Tel. 08144 / 7656 Fax 08144 / 7857 email:ibs-scholz@t-online.de

Läppen-Polieren



IB 400
für Läpp-Polierteller
von 300 - 400 mm dia.
Läpp-Poliermittelzufuhrsystem,
Polier-Jigs.

Innenlochsägen Annular 40/50
Schnittiefen 42 bzw. 52 mm
Man. Tischstellung
Digitalanzeige für Upm,
Tischposition und Schnittvorschub.

Schneiden



Weitere Produkte: Fadensägen nach dem Läppprinzip

Bitte besuchen Sie unsere Internetseite

www.ibs-grafrath.de

Teilnehmern. Deutschland ist in der Erforschung der Gruppe-III-Nitride ohne Zweifel mit an der Weltspitze, insbesondere in der Epitaxie-Materialtechnologie und der Halbleiterphysik.



Fig. 1: During discussion: Chair J. Christen (left, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) and speaker M. Kneissl (TU Berlin). (Photo: IWN 2018)

Vergleicht man die zeitliche Entwicklung der Zahl der Vorträge und Poster in den Themenbereichen zu den Vorjahren, so nimmt die Zahl der bauelement-orientierten Beiträge zu, die zur materialphysikalischen Grundlagenforschung dagegen leicht ab. Die absolute Zahl der Beiträge im Bereich „Kristallzüchtung und Epitaxie“ ist in den letzten Jahren in etwa konstant geblieben. Der relative Anteil von 30% (265 von insgesamt 863 Präsentationen) zeigt, dass hier noch ein unverändert großes Forschungs- und Entwicklungsinteresse besteht. Es geht hier nicht mehr um die bereits industriell genutzten Technologien zur blauen und weißen LED und zur 405 nm-Laserdiode. Welche Herausforderungen sind aktuell im Fokus?



Fig. 2: During the conference dinner. (Photo: IWN 2018)

Mein Eindruck ist, dass nach der ersten Erfolgswelle die technologischen Grenzen ausgetestet und weiter verschoben werden, um neue Anwendungen und Märkte zu erschließen. Es geht zu immer kürzeren Emissionswellenlängen (ultraviolett) und damit AlGaIn mit immer höherem Al-Gehalt. Auch die längeren Wellenlängen (gelb, rot, infrarot) wären wichtig, damit verbunden ein höherer In-Gehalt in den Schichten. Aber es gibt Probleme mit Segregation und Entmischung. Als „Alternative“ wird seit Jahren das Wachstum von InGaIn in semi-

non- und N-polaren Orientierungen erforscht, allerdings auch nicht wirklich erfolgreich.

Aktuelle Ergebnisse zeigen, dass eine höhere n-Dotierung von GaN durch Germanium (statt Silizium) möglich ist. Besser p-leitende AlGaIn-Schichten können durch Dotierungsübergänge und Übergitterstrukturen hergestellt werden. Andere Forscher versuchen die Reinheit vor allem bzgl. der Verunreinigungen Silizium und Sauerstoff weiter zu verbessern, um extrem niedrig n-dotierte Driftzonen für Leistungsbaulemente zu erzeugen. Wiederum andere Kollegen propagieren eine „Dotierung“ bis über den Prozentbereich hinaus mit Bor (für 2D-Schichten oder Neutronenexperimente), Scandium (für piezoelektrische Schichten) oder Europium (für rote Lumineszenz-Leuchtdioden). Auch der Einsatz anderer Precursoren und Wachstumsregimes durch Hybrid-Gasphasenepitaxie (HVPE), „Tri-Halide VPE“ und „Oxide VPE“ wird aktuell erforscht. Molekularstrahlepitaxie spielt weiterhin nur in der Grundlagenforschung eine Rolle, z.B. für Nanodrähte. Selbst komplizierte Schichtfolgen wie für den AlGaIn/GaN-VCSEL lassen sich inzwischen mittels MOCVD wachsen, nicht zuletzt aufgrund einer stetigen Verbesserung der in-situ-Metrologie-Tools, die dazu auf dem Markt erhältlich sind.



Fig. 3: In the evening: performance with traditional Japanese musical instruments. (Photo: IWN 2018)

Die Versetzungsdichte in den Nitrid-Schichten auf Saphir-Substraten liegt an der Grenzfläche bei über 10^{10} cm^{-2} , kann aber durch ELO-Techniken oder Verwendung von nanostrukturierten Saphirsubstraten auf 10^9 cm^{-2} und durch Tempern bei etwa 1700°C auf einige 10^8 cm^{-2} gebracht werden. In den letzten Jahren wurde gezeigt, dass ähnliche Werte auch durch Tempern von gesputterten GaN- oder AlGaIn-Filmen erzielt werden können. Silizium- und SiC-Substrate werden in der Leistungs- und Hochfrequenzelektronik eingesetzt, eine ähnliche Reduktion der Versetzungen ist dabei aber nicht in Sicht.

Werden bei den Nitriden nun endlich auch native Substrate, also GaN- oder AlN-Volumenkristalle, eingesetzt? Meiner Meinung nach fehlt immer noch die Killer-Applikation, die eine Herstellung von Bauelementen auf GaN-Substraten rechtfertigt.

tigen würde. Die wenigen Firmen, die kommerziell Ammonothermalzucht oder die „Na-Flux-Methode“ betreiben, scheinen keinen ausreichenden Markt zu finden. Immerhin wurden bei der Herstellung von HVPE-Substraten Entwicklungserfolge in Bezug auf Homogenität und Substratdurchbiegung vermeldet. Die kommerziellen Anbieter wie Sciocs (Japan) oder Sino-Nitride Semiconductors (China) berichten von Produktionsausweitungen, zudem wurden erste 6-Zoll-GaN-Wafer demonstriert.

Bei AlN lautet die entscheidende Frage, ob die derzeit auf den günstigen, verfügbaren und industriell eingeführten Saphirsubstraten erreichte externe Quanteneffizienz bei UV-C-Leuchtdioden von ca. 10% noch signifikant verbessert werden kann. Der Ladungsträgertransport wird nämlich durch Versetzungen empfindlich gestört. Dies stellt bei sehr hohen Al-Gehalten, wie sie für kürzere Wellenlängen (250 nm und darunter) notwendig sind, aufgrund der geringen Dotiereffizienz eine ernste Limitierung dar! Versetzungsdichten in den AlGaIn-Schichten unter 10^6 cm^{-2} wurden bislang nur bei Wachstum auf AlN-Substraten erzielt. Das auf AlN-Substraten einfachere Schicht- und Bauelementdesign würde die höheren Materialkosten mehr als ausgleichen.

Osram hat im letzten Jahr eine strategische Partnerschaft mit Hexatech abgeschlossen, um gemeinsam 2-Zoll-AlN-

Substrate zu entwickeln und einzusetzen. Hexatech stellt pro Jahr bereits hunderte AlN-Kristalle her. Crystal IS hat laut Leo Schowalter eine „Produktionskapazität“ von bis zu 10.000 AlN-Substraten pro Jahr, die allerdings für die interne Bauelementherstellung bestimmt sind. Inzwischen werden nicht nur von den Herstellerfirmen auch vielversprechende Bauelemente auf AlN-Substraten demonstriert. Trotzdem setzen die großen Firmen wie Osram Opto Semiconductors, Nikkiso (Japan), LG Innotek (Korea) und SET Inc. (USA) derzeit (noch) auf Saphir für UV-LEDs mit Wellenlängen zwischen 265 nm und 280 nm, die wichtige Desinfektionsanwendungen ermöglichen. Die Limitierungen der Saphirtechnologie sind noch nicht erreicht. Und trotz aller potentiellen Vorteile von AlN-Substraten bleibt der hohe Preis, eher ein Ausdruck der mangelnden kommerziellen Verfügbarkeit, bislang eine hohe Einstiegshürde.

In Deutschland wird weltweit anerkannte Spitzenforschung zu den Gruppe-III-Nitriden betrieben. Das betrifft die Epitaxie- und Materialtechnologie, aber auch die Volumenkristallzucht von AlN und GaN. Die Gruppe-III-Nitride sind weiterhin ein lohnendes Forschungsgebiet mit immer neuen Anwendungsgebieten. Und die deutschen Erfolge haben nun dazu geführt, dass die nächste internationale Fachtagung, die IWN 2020, in Berlin stattfinden wird. Chapeau!



**3rd Workshop
Floating Zone Technique**

Oxford University, Oriel College
16 – 18 September 2019

This workshop aims to connect researchers in the field of crystal growth who use the floating zone technique and to offer a platform for discussing ongoing activities, current research results and engineering developments.

More information and registration on
www.crystalgrowth.info

 UNIVERSITY OF OXFORD

 **SCIDRE**
SCIENTIFIC INSTRUMENTS DRESDEN GMBH

 Leibniz Institute for Solid State and Materials Research Dresden

Report about the 9th International Workshop on Modelling in Crystal Growth (IWMCG-9), October 21-24, 2018, Kalua-Kona, Big Island, Hawaii

Robert Menzel and Klaus Böttcher, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

The Workshop on Modelling IWMCG-9 was organized by Jeffrey Derby (University of Minnesota, USA) and Koichi Kakimoto (Kyushu University, Japan). 12 invited and many regular speakers presented their results about bulk crystal growth and thin film epitaxy. In this report we consider for shortness the branches CZ Silicon and general melt growth, Optimization and Analysis and Photovoltaic Silicon.

- CZ Silicon and general melt growth

J. Friedrich et al. (**Invited talk**, Erlangen, Germany) developed an **advanced numerical model for the description of the Cz process** that takes into account a 3D description of the melt flow which is coupled to a 2D model of the surrounding furnace. In their contribution they analysed the case of pulling of silicon crystals with weight of up to 300kg in crucibles with up to 28" diameter and showed that the so-called crystal twisting, where the crystal loses its cylindrical shape, is mainly limiting the pull rate.

Concerning the numerical tools, A. Popescu et al. (Timisoara, Romania) did similar: they performed numerical simulations, using STHAMAS 3D software, in order to **predict the temperature and impurities concentration fluctuation in the melt at a 200-mm-CZ-Si process**. The characteristics of temperature and impurities fluctuations in the simulation are in good agreement with the striation fluctuations along the crystal obtained by Lateral Photovoltaic Scanning (LPS).

In order to reduce the C contamination, X. Liu et al. (Kyushu, Japan) investigated **the C transport from its generation, incorporation and accumulation in the growth**. They performed a global simulation and also in-situ measurement of CO concentrations by a study concerning the furnace pressure, the flow rate of argon etc.

J. Ding et al. (Xi'an, China) investigated **characteristics of unstable melt flow when growing large-size silicon crystal by Czochralski method**. The relationship between the kinetic undercooling and the growth rate was considered to develop a numerical model that can calculate the fluctuations and spectral characteristics of temperature and velocity and the fluctuant crystal/melt interface simultaneously.

In addition to pure numerical modelling J. Pal et al. (Dresden, Germany) carried out **physical modelling by using the room temperature eutectic alloy GaInSn for dedicated model experiments**, allowing an almost complete measurement of the velocity field inside the melt. They investigated the action of the horizontal magnetic field.

The melt flow behavior of industrial scale silicon Czochralski growth (300 mm in diameter) with a transverse magnetic field investigated R. Yokoyama et al. (**Invited talk**, Saga, Japan). The calculated results showed that the

periodic changes of the melt flow were caused by the generation, the descent, and the vanish of a cold plume, which was concluded as the cause of the temperature oscillation.

Y. Mukaiyama et al. (Yokohama, Japan) developed a model to investigate **the effect of thermal stress and heavy doping on the behavior of intrinsic point defects in large-diameter Si crystal growing by Czochralski method**. They computed the concentration of intrinsic point defects as functions of thermal stresses, type and concentration of dopant, and concentration of interstitial oxygen.

Also the floating zone method as a crucible-free method is widely applied for the growth of semiconductor bulk single crystals. Ch. Le et al. (Xi'an, China) investigated **the effect of rotation on thermocapillary convection** for growing crystals with uniform dopant distribution.

A series of investigations concerning **thermal stresses in semi-transparent oxide crystals** was carried out by C. Stelian and Th. Duffar (Grenoble, France). In their work, numerical modeling is applied to sapphire (resistive Czochralski (Cz) furnace), $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.5}\text{O}_{14}$ (LGT) and Li_2MoO_4 (LMO) both grown by inductive Cz furnace. The finite element software COMSOL Multiphysics is used.

N. Dropka (Berlin, D) and A. G. Ostrogorskii (Chicago, USA) investigated **the impact of using a rotating submerged heater/baffle in vertical Bridgman furnace**. The baffle shields the interface from natural convection, thus, a slightly convex interface is possible without baffle rotation.

L. Carroz and T. Duffar (**Invited talk**, Paris and Grenoble, France) presented a model for **Tuning the sapphire Edge-defined Film-fed Growth (EFG) process to the growth of the ternary eutectic $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}/\text{ZrO}_2:\text{Y}$** . The model allows deriving analytically the relationship between the two controlling parameters of the EFG process: the pulling rate and the die temperature. After validation at the case of pulling of sapphire ribbons it was applied to pulling ceramic alloy plates of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}/\text{ZrO}_2:\text{Y}$.

Thermocapillary convection driven by surface tension gradient on the free surface widely exists in crystal growth from the melt, film preparation many other engineering and natural processes. The paper by L. Zhang and Y.-R. Li (Chongqing, China) presents a series of three-dimensional **numerical simulations on the effect of surface heat dissipation on thermocapillary convection of the moderate Prandtl number fluid in a shallow annular pool**.

M. Iizuka et al. (Yokohama, Japan) have carried out **numerical modeling of $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ crystal growth by Czochralski (Cz) method to investigate the reason why spiral formation (twisting) of the crystal occurs during crystal growth**. Special attention was given to the accurate treatment of radiative heat transfer in the semitransparent crystal.

The Bridgman crystal growth process is typically carried out without direct methods to observe inside. With **Analysis of scintillator crystal growth via neutron imaging and computational modeling** J. J. Derby et al. (Minneapolis, USA) present groundbreaking experiments that employ neutron scattering to visualize, *in operando*, the compositional field that develops during the Bridgman growth of a mixed-halide scintillator crystal. The authors also applied computational models to predict the macroscopic transport of heat, mass, and momentum along with phase-change phenomena.

• **Memorial lecture for François Dupret**



Fig. 1: Prof. François Dupret (1948–2018). (Photo: L. Wu)

A year before died François Dupret from Université Catholique de Louvain. F. Dupret was a pioneer scientist in numerical modelling of various crystal growth methods, particular to

the Czochralski method. Liang Wu from Shanghai University, who was a colleague and friend of François Dupret for many years, gave a talk about life and work of F. Dupret.

• **Optimization and Analysis**

Generally, optimization of crystal growth recipes is aimed at finding the time profiles of power supplies that enable reaching and keeping desired temperature distributions in the melt and crystal during the dynamics. N. Dropka et al. (**Invited talk**, Berlin, Germany) performed a feasibility study for the **application of artificial neural networks (ANNs) for the optimization of the VGF-GaAs growth recipe**. They used a dynamic ANN which has a memory, i.e. its response at any given time depends not only on the current input, but on the history of the input sequence. In the presented study, the authors correlated the time profiles of the heater power (=inputs) with temperature at various control points in GaAs and the position of solid-liquid interface (=outputs).

Zh. Li et al. (Dalian, China) performed modelling especially in order to **increase pulling rate and productivity in Czochralski Silicon growth for solar applications**. In their contribution the authors demonstrated the result of crystal growth furnace optimization focused on increasing of crystal pulling rate, while maintaining low energy consumption, thermal stresses, control of impurity concentration, etc.

The talk by T. Ujihara et al. (Nagoya, Japan) is from the branch of **SiC top-seeded solution growth** in which they developed a growth technique for ultra-high quality crystals. They constructed a **prediction model of CFD results by using machine learning technique** by preparing results of CFD simulations as training data for machine learning.



Fig. 2: The conference participants with Keauhou Bay as background. (Photo: IWMCG9)

Another topic concerning SiC is its poly-type stability. Sh.-I. Nishizawa (Fukuoka, Japan) and F. Mercier (Grenoble, France) investigated the **effect of Nitrogen/Aluminum doping for the 4H-SiC stable growth**. As a result, N/Al doping has effect to change stacking energy difference between h and k sites.

- Photovoltaic Silicon

The grain competition and the evolution of grain boundaries (GBs) during crystal growth play a crucial role on the electrical properties of multi-crystalline silicon (mc-Si) for solar cells. T. Jain et al. (**Invited talk**, Taipei, Taiwan) reported about **Phase field modeling of grain boundary interaction and evolution during directional solidification of multi-crystalline silicon**. Phase field models comprise two major approaches, multiple phase field and orientation field models, to deal with the polycrystalline materials. Here, the authors combined both methods to simulate the GBs for silicon, especially the coincidence-site-lattice-GBs.

Silicon ingot manufactured by directional solidification (DS) is the main material for solar cells and the market share is more than 60%. For this was the talk of Z. Li et al. (also **Invited talk**, Xi'an, China) entitled **Modeling and simulation of silicon melt flow under the influence of heater-generating magnetic field during directional solidification process**. In the general industrial DS process with resistance heating, a three-phase alternating current (AC) is connected to the graphite heater to generate heating power, and at the same

time induces magnetic field and Lorentz force in the silicon melt.

With the wide application of single crystal silicon for power devices, the process of large-diameter single crystal silicon by the floating zone method (FZ) has drawn much attention. X.-F. Han et al. (Fukuoka, Japan) especially **numerically analyses the 3D behavior of FZ for silicon crystal growth**. Asymmetric needle eye inductor (used for heating) results in asymmetric electromagnetic field and temperature distribution, which play an important role in the impurity segregation at the melt-crystal interface.

R. Menzel et al. (Berlin, Germany) have investigated the possibility of **crucible-free growth of mono-Si crystals using large-area seeding**, which is similar to the Float Zone (FZ) process, except that no Dash seeding is applied. A special side heater is used to avoid polycrystalline growth. A corresponding transient numerical model was implemented in the COMSOL Multiphysics software. According to a recent publication by Stoddard et al. the authors have developed an FZ-like growth set-up with a dislocation-free flat seed.

The contribution of A. Nouri et al. (Saint-Martin-d'Hères, France) deals with the **Application of the Kyropoulos method to Silicon for PV applications**. The motivation is caused by the square geometry of photovoltaic cells. For crystal growth runs a Cyberstar Bridgman furnace has been adapted. Crystals were grown from the seed. Modifications of the heat zones inside the furnace were assessed to allow a larger lateral growth.

New Installation of Rigaku XRTmicron Advanced X-ray Topography Tool Offers More Insights into Semiconductor Material Quality Fraunhofer

Fraunhofer IISB and Rigaku Europe SE are starting a strategic partnership in order to support the European semiconductor industry in improving and better understanding their wafer quality and yield by employing the Rigaku XRTmicron advanced X-ray topography tool.

January 21, 2019 - Erlangen and Neu-Isenburg, Germany. Rigaku Europe SE and Fraunhofer IISB in Erlangen are pleased to announce the formation of a strategic partnership to revolutionize the characterization of semiconductor materials by X-ray topography; therefore, Rigaku has installed the latest generation X-ray topography tool, the Rigaku XRTmicron imaging system, at Fraunhofer IISB. Dr. Michael Hippler, president at Rigaku Europe SE in Neu-Isenburg, Germany, states: "We are proud to join forces with the highly experienced team at IISB for semiconductor substrate and epilayer characterization." The XRTmicron system enables investigation of crystallographic defects with high speed and highest resolution on full wafer scale. It is well suited for bare wafers, wafers with epilayer structures, partially processed wafers, as well as bonded wafers. The amount and different types of dislocations, slip lines, dislocation networks, (small angle) grain boundaries, inclusions, precipitates, pits, scratches, stress



Fig. 1: Look inside of the newly installed XRTmicron at Fraunhofer IISB in Erlangen. (Photo: Kurt Fuchs / Fraunhofer IISB)

level, etc. can be imaged and quantified on the samples. Two different X-ray sources - a 40kV/30mA copper source and a 50kV/24 mA molybdenum source in combination with the application of a large angle goniometer accommodate

a wide range of diffraction conditions. Therefore, the XRTmicron system can be applied to different kinds of materials including semiconductors (e.g. Si, Ge, Diamond, SiC, GaN, AlN, GaAs, InP, CdTe, CdZnTe), oxides (e.g. sapphire, ruby, garnets, vanadates, niobates, quartz) and halides (e.g. fluorides, bromides).

The XRTmicron system can be operated in transmission as well as in reflection mode in order to detect defects in the volume of the sample or to quantify defects close to the surface. Furthermore, it is equipped with a standard and a high resolution XTOP CCD-camera. This leads to a spatial resolution of $5.4 \mu\text{m}$ and $2.4 \mu\text{m}$ per pixel, respectively, for a single image size of $18 \text{ mm} \times 13.5 \text{ mm}$. Full wafer mappings and detailed defect imaging of regions of interest are possible under different diffraction conditions for sample sizes of up to 300 mm in diameter. A measurement of a full 150 mm SiC wafer under the high resolution mode, for example, takes only one hour.

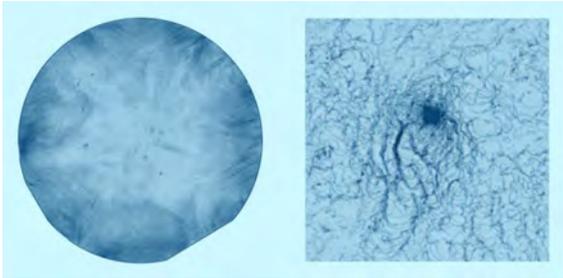


Fig. 2: X-ray transmission topogram of the 101 reflex for a full 100 mm 4H SiC wafer and a more detailed section of the wafer. (Photo: Fraunhofer IISB)

Additionally, the XRTmicron system is equipped with a special slit-arrangement to perform cross section topography measurements in high resolution. This gives detailed depth information through the whole thickness of the sample. For instance, it is possible to investigate whether the glide plane formation in partly processed wafers starts on the front or back side of the wafer. Furthermore, the defect formation due to epilayer growth on top of a wafer can be quantified by this feature.

Dr. Christian Reimann, Group Manager Silicon at Fraunhofer IISB, comments, "The XRTmicron is the only tool available

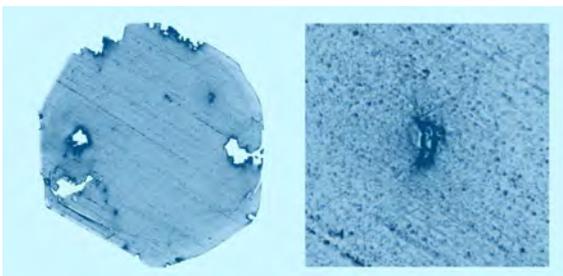


Fig. 3: X-ray transmission topogram of the 100 reflex for an 1" AlN wafer and a more detailed section of the wafer. (Photo: Fraunhofer IISB)

in Europe so far which fulfills the requirements of highest resolution for complete wafer mappings in shortest possible time scale to analyze single crystalline materials. It is a revolution for crystallographic defect investigations compared to classical Synchrotron based topography measurements."

Fraunhofer IISB will act as a demo center for the XRTmicron system in Europe. Uwe Preckwinkel, XRT product manager at Rigaku Europe SE, adds, "We already received numerous requests from the European semiconductor industry aiming to improve and better understand their product quality and yields." It is therefore planned to standardize the operation procedures for the different costumers due to their specific needs within the strategic collaboration between Rigaku and Fraunhofer IISB.



Fig. 4: Detailed X-ray transmission topogram of the 400 reflex for a specific area of an 200 mm Si wafer where glide-planes can be seen. (Photo: Fraunhofer IISB)

The XRTmicron system operated at Fraunhofer IISB is part of the "Research Fab Microelectronics Germany (FMD)" which is funded by the Federal Ministry of Education and Research. Within this Research Fab Microelectronics Germany the Fraunhofer Group for Microelectronics and two Leibniz institutes (FBH and IHP) are bundling their expertise in order to reach and expand on a new quality in research, development, and (pilot) manufacture of semiconductor-based microsystems and nanosystems.

For further information, contact

Dr. Christian Reimann

Fraunhofer IISB, Schottkystrasse 10, 91058 Erlangen, Germany

Tel. +49 9131 761 272 | christian.reimann@iisb.fraunhofer.de
www.iisb.fraunhofer.de

Uwe Preckwinkel

Rigaku Europe SE, Hugenottenallee 167, 63263 Neu-Isenburg, Germany

Tel +49 6102 77999 51 | rese@rigaku.com
www.rigaku.com/en/products/xrm/xrtmicron

DGKK-Personen

Prof. Peter Görnert anlässlich seines 75. Geburtstages

Dmitry Berkov, General Numerics Research Lab. e.V., Jena



Ich habe Herrn Prof. Görnert in Jena Anfang der 1990er Jahre kennengelernt, als er noch der Leiter des Bereichs 'Materialwissenschaften' am Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V. war. Seitdem habe ich ununterbrochen - mittlerweile fast 25 Jahre - mit ihm zusammengearbeitet.

Damals hat Prof. Görnert sich intensiv mit zwei Gebieten der Materialforschung auseinandergesetzt: Zum einen der Züchtung von schmelztexturierten

Massivmaterialien und Flüssigphasen-Epitaxieschichten (für Anwendungen z.B. als Hochtemperatur-Supraleiter). Zum anderen mit der Herstellung und Charakterisierung von kleinen magnetischen Ferritteilchen, welche als vielversprechende Kandidaten für magnetische Speichermedien von großem Interesse waren. Auf beiden Gebieten ist es unter seiner Leitung gelungen, innerhalb weniger Jahre den internationalen Stand der Herstellungstechnologie für diese beiden sehr unterschiedlichen Materialklassen zu erreichen oder sogar zu übertreffen.

Dies war möglich, da Prof. Görnert früh erkannte, dass ein durchschlagender Erfolg bei so komplexen Aufgaben nur dann möglich wäre, wenn eine ausgewogene Kombination aus gut reproduzierbarer Herstellung, detaillierter Charakterisierung und tiefem theoretischen Verständnis der Herstellungsprozesse und der Eigenschaften der Werkstoffe erreicht wurde.

Im Jahr 1996 wechselte Prof. Görnert zur wirtschaftsnahen Forschungseinrichtung INNOVENT e.V., wo er als Leiter des Bereichs 'Magnetische und Optische Systeme' (MOS) sich für eine noch engere Bindung der Forschung an die Bedürfnisse der Industrie bei der Produktentwicklung einsetzte. Bei MOS ist es ihm erneut gelungen, innerhalb weniger Jahre eine tatkräftige Mannschaft aufzubauen, in der Ingenieure, Chemiker, experimentelle und theoretische Physiker eng zusammenarbeiteten, um den schnellstmöglichen Erfolg bei der Ausarbeitung neuer Technologien und der Erforschung neuer Werkstoffe zu erreichen.

In dieser Zeit konnte MOS zahlreiche Erfolge auf so unterschiedlichen Gebieten wie der Züchtung von Yttrium-Granaten und Hexaferriten für magnetooptische Sensorschichten, Mikrowellenbauelemente und magnonische Anwendungen, Herstellung von kleinen magnetischen Teilchen mit den Größen im Nano- bis Mikrometerbereich für medizinische und industrielle Zwecke, Erfindung von innovativen

optischen Messverfahren für die Oberflächencharakterisierung, und Entwicklung von neuartigen magnetfeldbasierten Geräten und Verfahren für medizinische Diagnostik verzeichnen. Diese Erfolge wären ohne der kompetenten und stets durchdachten Leitung durch Prof. Görnert niemals möglich gewesen. Zusätzlich dazu unterstützte Prof. Görnert viele theoretische Arbeiten zu nahezu sämtlichen Themen, mit denen sich MOS beschäftigte. Diese Unterstützung führte zum Aufbau einer in solchen Forschungseinrichtungen einmaligen Abteilung für Computersimulationen. In dieser Abteilung wurden umfangreiche theoretische Vorhersagen für ein breites Spektrum der Materialforschung getroffen - von neuartigen magnetischen Speicherelementen bis zu Versetzungseigenschaften in Kristallen. Diese Vorhersagen führten zu enormen Ersparnissen an Zeit und Ressourcen.

Nach dem Ausscheiden aus dem INNOVENT e.V. im Jahr 2013 hat Prof. Görnert maßgeblich an der Gründung einer neuen industrienahen Forschungseinrichtung - dem General Numerics Research Lab e.V. mitgewirkt, welche sich der Förderung von numerischen Simulationen physikalischer und technologischer Prozesse verschrieben hat. Seine Energie, seine unglaublichen Fachkenntnisse in unzähligen Gebieten der Materialforschung und auch seine umfangreichen Kontakte haben entscheidend zum Erfolg dieser Neugründung beigetragen. Vor kurzem hat GNRL e.V., der auf mehreren Gebieten sehr aktiv ist (wie z.B. MRAM-Speicherezellen, Permanentmagneten, Kristalldefekten, Optimierung von medizinischen Geräten usw.) sein fünfjähriges Jubiläum gefeiert.

Zusätzlich zu seinen leitenden Tätigkeiten in den bereits genannten Forschungseinrichtungen war Prof. Görnert auch Mitglied im Aufsichtsrat von mehreren Firmen (wie Tridelta Magnet Technology, Supracon AG Jena, MagnetWorld AG Jena), und er erhielt viele nationale und internationale Auszeichnungen (unter anderem den Preis der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. in 1993 und den Preis des International Superconductivity Technology Center (Japan), sowie den Preis der Materials Research Society (USA) für HTS Motorentwicklung in 1995) und hat als Gutachter für zahlreiche Fachzeitschriften und Projektschienen (vor allem DFG- und EU-Projekte) gearbeitet.

Seine Fachkompetenz, sein Leitungs- und Organisationstalent, ausgezeichnete Menschenkenntnisse und seine aufrichtige Hilfsbereitschaft gegenüber Kollegen haben Herrn Prof. Görnert zu einem der international führenden Materialforscher auf seinen Arbeitsgebieten gemacht. Wir hoffen, dass er noch viele Jahre mit seinen Aktivitäten zu der immer größer werdenden Rolle der Materialwissenschaften in der modernen Physik und damit auch in der modernen Gesellschaft beitragen wird!

Spannende Kristalle: Dorothee Braun erhält Marthe-Vogt-Preis

Der Forschungsverbund Berlin e.V. verleiht den diesjährigen Marthe-Vogt-Preis an Dr. Dorothee Braun. Mit ihrer Dissertation am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) hat Dorothee Braun einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung ferroelektrischer Materialien geleistet. Diese sollen die bleihaltigen Verbindungen ersetzen, die derzeit noch in Computerspeichern und Sensoren verwendet werden. Mit dem Marthe-Vogt-Preis werden seit 2001 Nachwuchswissenschaftlerinnen in Forschungsgebieten ausgezeichnet, die von den Instituten des Forschungsverbundes bearbeitet werden. Die Dissertation muss an einer Forschungseinrichtung in Berlin oder Brandenburg entstanden sein. Der Preis ist mit 3.000 Euro dotiert.



Dr. Dorothee Braun
(Foto: Christian Weber)

Eigentlich ist das giftige Blei-Zirkonium-Titanat (PZT) schon seit 2006 in Europa verboten. Doch weil es bisher keine Alternativen mit vergleichbar guten Eigenschaften gibt, darf das Material noch immer verwendet werden. Es findet sich zum Beispiel als Speichermaterial in Computern oder in Aktuatoren. Bleifreie ferroelektrische Materialien könnten das PZT in einigen Anwendungsbereichen ersetzen.

In ihrer Dissertation hat Dorothee Braun das bleifreie Material Kaliumnatriumnioibat ($K_xNa_{1-x}NbO_3$) untersucht. Sie hat Schichten des Materials auf ein Substrat mit einer etwas abweichenden Gitterausdehnung aufgebracht, wodurch Verspannungen entstehen. Diese Verspannungen führen zu veränderten Eigenschaften in den Schichten. Je nachdem, ob der Gitterabstand des Materials größer oder kleiner ist als der des Substrats, wird die Materialschicht zusammengedrückt oder auseinandergezogen, es gibt also eine Druckspannung oder eine Zugspannung. Dorothee Braun hat aufgeklärt, welche Verspannungen in das Material eingebracht werden müssen, um gewünschte ferroelektrische Eigenschaften zu gewinnen. Sie berichtet: „Indem ich verschiedene Substrate verwende, kann ich die Spannung gezielt einstellen. Die Bedingungen am IKZ sind einmalig, da uns hier die ganze Palette an Oxiden zur Verfügung steht. Damit können wir den Gitterabstand der Substrate in relativ kleinen Schritten ändern.“

Die IKZ-Wissenschaftlerin Dr. Jutta Schwarzkopf hat die Pro-

motion betreut. „Die Arbeit von Dorothee Braun ist außergewöhnlich. Neben der Charakterisierung der Schichten hat sie auch die ganzen Simulationen dazu durchgeführt. Ihre theoretischen Überlegungen waren sehr zielführend. Wenn etwas mal nicht passte, hatte sie immer wieder eine neue Idee für einen anderen Ansatz.“ Die Basis für diese Kreativität liege dabei auch in ihrem fundierten physikalischen Wissen.

„Diese Auszeichnung ist eine große Ehre, ich freue mich riesig darüber“, sagt Dorothee Braun. „Insbesondere, da unser Forschungsgebiet oft eher als Randthema wahrgenommen wird.“ Sie hofft, dass sich mit dem Marthe-Vogt-Preis Türen öffnen, die ihr als Mutter dreier kleiner Kinder sonst oft verschlossen bleiben. Ihrer Erfahrung nach ist es für junge Forscherinnen in Deutschland immer noch nicht einfach, mit kleinen Kindern die Karriereleiter hochzusteigen. „Mit meiner Arbeitsgruppe hatte ich großes Glück. Frau Schwarzkopf hat mich sehr unterstützt und alles ermöglicht, was machbar war.“ Wenn es um die wissenschaftliche Karriere geht, hat Dorothee Braun einen ganz entschiedenen Standpunkt: „Forschung ist mittlerweile so international, die Community ist in ständigem Austausch auf Konferenzen und über das Internet - da ist es ganz egal, wo ich meine Forschung mache. Das geht in Berlin genauso gut wie in den USA.“ Die Anforderungen an die Mobilität könne sie derzeit nicht erfüllen, und trotzdem ist sie eine begeisterte Wissenschaftlerin.

Mit Dr. Dorothee Braun zeichnet der Forschungsverbund Berlin e.V. eine herausragende Wissenschaftlerin aus, die in ihrer Promotion ein sehr anspruchsvolles Thema souverän bearbeitet hat.

Kontakt:

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Dr. Dorothee Braun

dorothee.braun@ikz-berlin.de

Jubilare

Wir gratulieren herzlich zum Geburtstag:

Herrn Prof. Dr. Wolf Aßmus, Hanau

zum 75. Geburtstag

Herrn Prof. Dr. Manfred Mühlberg, Berlin

zum 70. Geburtstag

DGKK-Nachwuchs

Strain-phase relations in lead-free ferroelectric $K_xNa_{1-x}NbO_3$ epitaxial films for domain engineering

Dorothee Braun, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

When thin films are epitaxially grown on lattice mismatched substrates, enormous lattice strain can be incorporated in the films. This has been shown to alter the functional properties of the film. Due to the inherent coupling between structure and ferro-/piezoelectric properties in oxide materials, this provides the opportunity for a targeted engineering of film characteristics. In order to intentionally exploit this effect for ferro-/piezoelectric applications, a fundamental understanding of the relationship between incorporated lattice strain and the formation of ferroelectric phases has to be known.

Ferro- and piezoelectric materials are used for a wide range of memory, actuator, sensor or RF devices. So far, the commonly used materials are based on lead-containing compounds due to their excellent physical properties. However, owing to their ecological and healthy issues, they need to be replaced by environmentally friendlier materials.

Within the framework of this thesis, fundamental knowledge about ferroelectric phase formation and domains engineering has been gained for the technologically relevant, lead-free potassium sodium niobate ($K_xNa_{1-x}NbO_3$). Although, it has promising piezo- and ferroelectric properties as bulk crystal, this thesis is the first detailed investigation of domain formation in thin films both from a theoretical and experimental point of view.

As a starting point for a fundamental comprehension of strain-phase relations, the formalism to determine the preferred film unit cell orientation of $K_xNa_{1-x}NbO_3$ under an applied mechanical stress was developed within the framework of the linear elasticity theory. In addition, this calculation was used to determine the resulting vertical strained lattice parameter

which can be expected for fully strained films. The value was compared to the experimentally measured lattice parameter to obtain quantitative information about the strain state of the film. For the purpose of domain engineering, a close meshed misfit strain-misfit strain phase diagram was calculated in the framework of the Landau-Ginzburg-Devonshire theory (see Fig. 1a). The result differs from the work of Bai and Ma [1] by significantly more detailed determination of the phase boundaries. As a consequence, the stable domain configurations can be predicted more precisely which is indispensable for a targeted strain engineering. Strictly spoken, the strain-phase diagram is valid for pure $KNbO_3$. However, due to the similar properties with $K_xNa_{1-x}NbO_3$ for $x \geq 0.5$, it was successfully applied for this material system as well.

On the basis of the misfit strain-phase diagram (Fig. 1(a) and (b)), targeted $K_xNa_{1-x}NbO_3$ film compositions were grown epitaxially by liquid-delivery spin metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) in this thesis. Experimentally, the effect of strain is obvious, when films were grown on substrates under different strain conditions (see Fig. 2, ϵ corresponds to the average in-plane strain).

Exemplarily, two examples have been investigated in detail:

- (i) Quasi uniaxial, compressive lattice strain can be achieved when a $K_{0.75}Na_{0.25}NbO_3$ film is deposited on a (110) $TbScO_3$ substrate (Fig. 3a). Piezoresponse force microscopy (PFM) images revealed periodic stripe domains running along the $\pm[1-12]_{TbSO}$ direction for several microns (Fig. 2d). In agreement with the structural data from x-ray diffraction (XRD) measurements, the

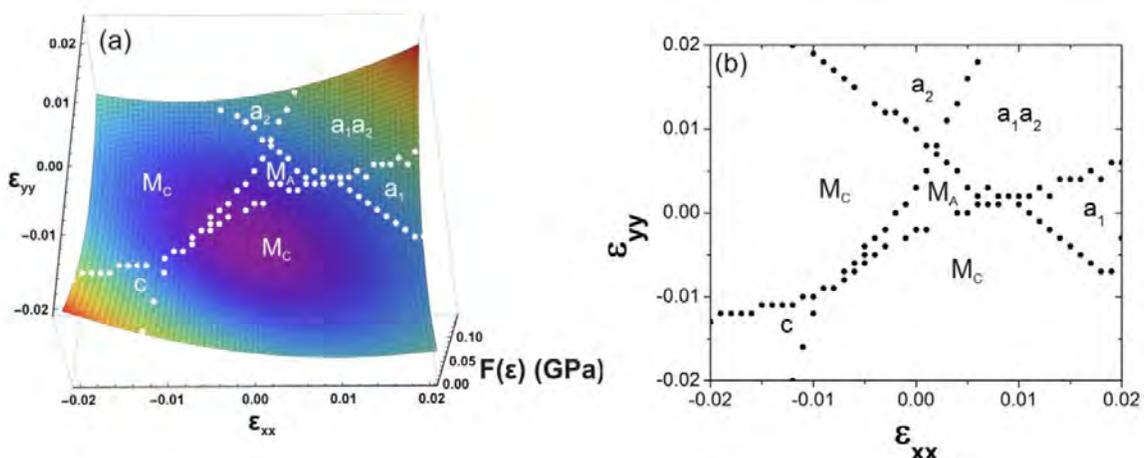


Fig. 1:(a) 3D presentation of the Gibbs free energy for $KNbO_3$ as a function of the in-plane stress ϵ_{xx} and ϵ_{yy} (misfit strain-phase diagram). (b) Stability areas for different ferroelectric phases at RT. Phase boundaries are marked by white and black circles, respectively.

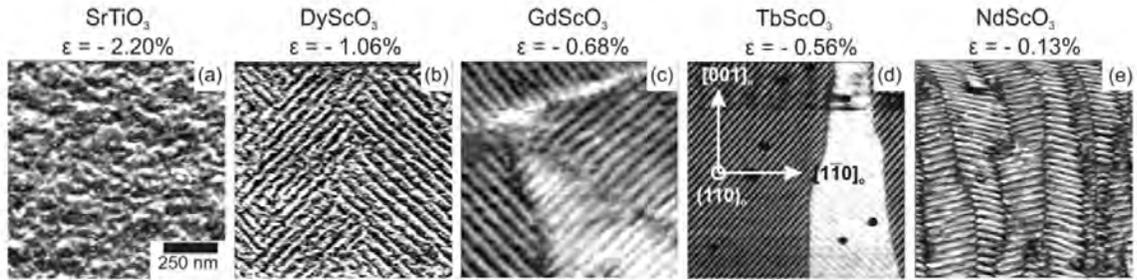


Fig. 2: Lateral piezoresponse force microscopy amplitude images of 30 nm $K_xNa_{1-x}NbO_3$ thin films on different substrates. Here, ε indicates the average in-plane lattice strain.

domain structure was explained as the periodic arrangement of monoclinic MA domains. Moreover, a second 90° rotated variant of such MA domains was observed via PFM (bright area in Fig. 2d), however with remarkably lower fraction. Indeed, the linear elastic strain energy density reveals a slight difference for the two 90° rotated $(001)_{pc}$ orientations (see Fig. 3b), which explains

the occurrence of a preferred domain orientation. Reasons for the deviation from the theoretical prediction of Mc domains were discussed: (i) too low growth temperature and (ii) deviations of the strain-phase diagram calculated for $KNbO_3$ to the case of 25% sodium in the reported film.

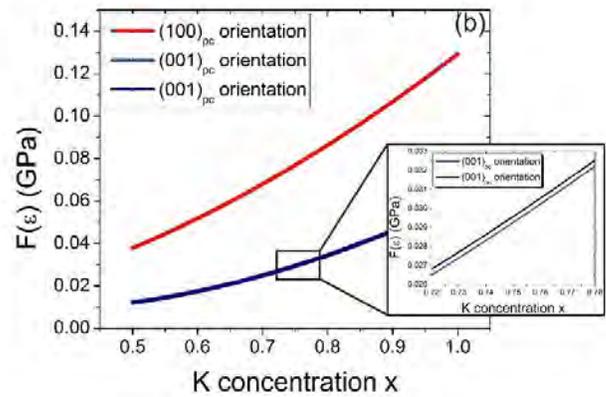
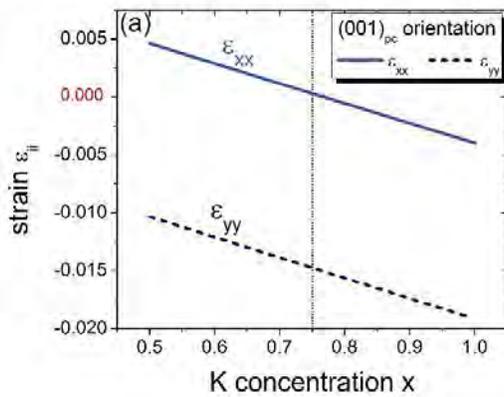


Fig. 3: (a) Misfit strain for $K_xNa_{1-x}NbO_3$ with $(001)_{pc}$ surface orientation on a (110) $TbScO_3$ substrate for the two in-plane directions $[001]_{TbScO_3}$ and $[1-10]_{TbScO_3}$ in dependence of the film composition x . The grey line marks the composition $K_{0.75}Na_{0.25}NbO_3$. (b) Elastic strain energy density for $(100)_{pc}$ and $(001)_{pc}$ surface orientation of $K_xNa_{1-x}NbO_3$ on (110) $TbScO_3$ versus K concentration in the film (x).

- (ii) A point of degenerated strain energy densities for the $(100)_{pc}$ and $(001)_{pc}$ film orientations can be found according to the linear elasticity theory in $K_xNa_{1-x}NbO_3$ on (110) $NdScO_3$ for $x \approx 0.90$ (see Fig. 4f), which is expected to result in the formation of domains with both $(100)_{pc}$ and $(001)_{pc}$ surface orientation.

The PFM and XRD measurements depict a herringbone arrangement consisting of monoclinic $a1a2/Mc$ domains (Fig. 2e). The inclination angle α between the herringbones and the $[001]_{NSO}$ direction amounts to $\alpha = 75^\circ$ which differs significantly from commonly observed angles in materials with tetragonal, orthorhombic or rhombohedral symmetry. In a detailed study, I showed that α can be systematically adjusted between $\alpha = 49^\circ - 76^\circ$ with changing the potassium concentration from $x = 0.80$ to 0.95 . This effect is attributed to the monoclinic symmetry of the films and was explained within the model of Bokov and Ye [2]. This flexibility in domain arrangement has only been experimentally observed

in these $K_{0.9}Na_{0.1}NbO_3$ epitaxial films yet.

From the thickness dependence of the domain pattern in these films hierarchy and scaling behavior in a herringbone pattern could be studied (see Fig. 4(a) – (e)). Although the elastic strain energy density is degenerated for both pseudocubic orientations, exclusively in-plane oriented $a1a2$ domains form first at very thin thicknesses (Fig. 4a). Only for films thicker than 14 nm (Fig. 4b) additionally Mc domains with an inclined electric polarization vector are built in. The reason is the lack of depolarization field energy in the case of pure in-plane domains favoring their prior appearance. In this context, a thickness dependent evolution from stripe (Fig. 4) domains to a herringbone pattern to a checkerboard-like structure (Fig. 4e) could be observed. Eventually, PFM measurements on a film with a $SrRuO_3$ bottom electrode yield a longitudinal piezoelectric coefficient of $d^*_{33} = 29\text{pm/V}$. This value is rather high compared to established, lead-containing ferroelectric materials.

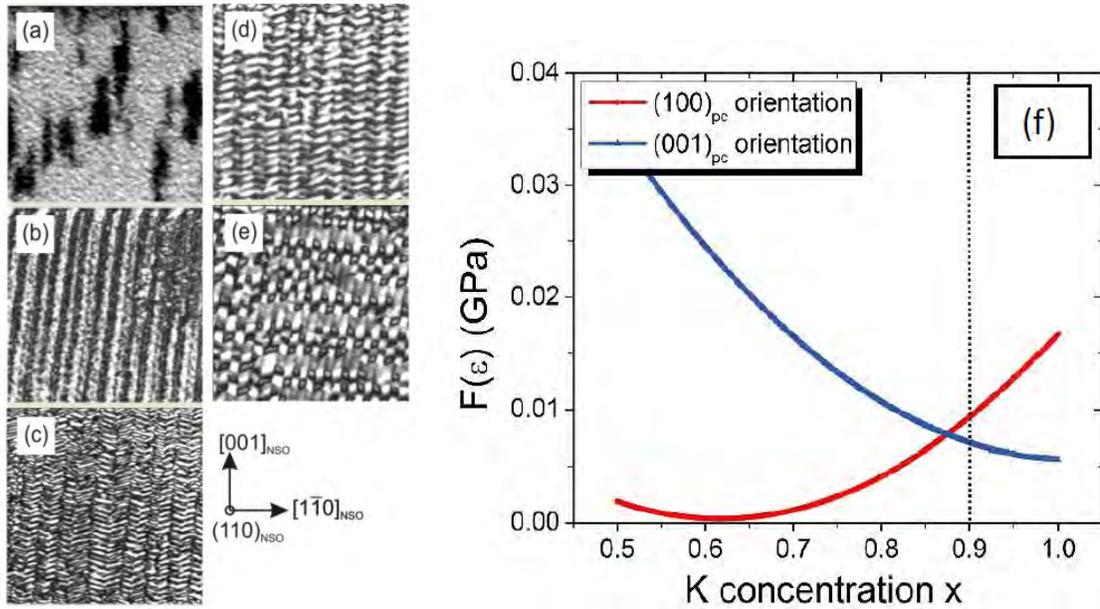


Fig. 4: Lateral Piezoresponse force amplitude micrographs of (a) 7 nm, (b) 14 nm, (c) 29 nm, (d) 38 nm, (e) 52 nm $K_{0.9}Na_{0.1}NbO_3$ thin films grown on orthorhombic (110) $NdScO_3$ substrates. (f) Elastic strain energy density for (100)_{pc} and (001)_{pc} orientation of $K_xNa_{1-x}NbO_3$ on (110) $NdScO_3$ versus K concentration in the film. The dotted line marks the composition $K_{0.9}Na_{0.1}NbO_3$.

The results of this work provides now a suitable tool to provide ferro-/piezoelectric thin films with tuned functional properties depending on the desired application.

[1] G. Bai and W. Ma, Physica B 405, 1901 (2010)

[2] A.A. Bokov and Z.-G. Ye, J. Appl. Phys. 95, 6347 (2004)

Entwicklung eines Verfahrens zur Züchtung von örtlich definierten $Cu(In,Ga)Se_2$ -Absorbern für Mikrokonzentrator-Solarzellen

Katharina Eylers, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

Solarzellen aus dem Absorbermaterial Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGSe) mit der chemischen Zusammensetzung $Cu(In_xGa_{1-x})Se_2$ mit $0 \leq x \leq 1$ verfügen bei einem Wirkungsgrad von bis zu 22.9 % über die höchste Effizienz in der Gruppe der Dünnschichtsolarzellen. Die Kosten der CIGSe-Solarzellen sind jedoch abhängig von den Preisen für Indium und Gallium, welche eine hohe Volatilität aufweisen und deren weltweite Bestände gering sind. Indium wird für den Massenmarkt der Displaytechnik benötigt und die weit verbreitete LED-Beleuchtung benötigt substantielle Mengen an Gallium. Um Indium und Gallium bei der Herstellung von CIGSe-Solarzellen einzusparen, kann die laterale Ausdehnung des Absorbers beschränkt werden. Die Herstellung von mikrometergroßen Absorbern hat in Kombination mit lichtkonzentrierender Optik nicht nur den Vorteil der Materialersparnis, sondern auch ein nachweislich hohes Potential zur Steigerung der Effizienz.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Herstellungsverfahren für mikrometergroße $Cu(In_{0.7}Ga_{0.3})Se_2$ -Strukturen entwickelt und das hergestellte Material im Hinblick auf seine Verwendbarkeit als Absorbermaterial für Mikrokonzentrator-Solarzellen (Fig. 1) charakterisiert. Bei dem entwickelten Verfahren handelt es sich um einen bottom-up Ansatz, basierend

auf der lokal definierten Bildung von Indium-Tröpfchen, die durch physikalische Gasphasenabscheidung auf einem mit Molybdän beschichteten Glassubstrat entstehen. Die zur Herstellung von chalkopyritischen CIGSe-Absorber-Inseln weiterhin nötigen Schritte beinhalten die Deposition von Gallium, Kupfer und Selen, sowie einen zweistufigen Heizprozess. Die so hergestellten Absorber benötigen nur ein Hundertstel des Materials das für handelsübliche CIGSe-Solarzellen verwendet wird.

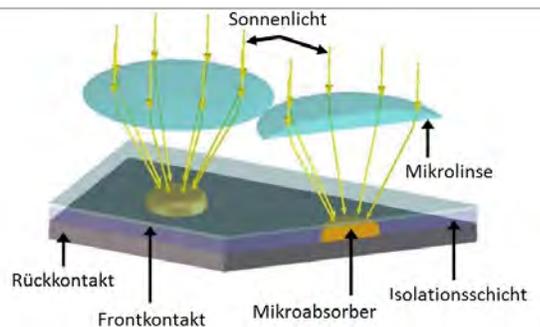


Fig. 1: Schematische Darstellung des Konzepts der Mikrokonzentrator-Solarzelle.

Damit die Indium-Tröpfchen als Ausgangsmaterial für Mi-

Microabsorber dienen können, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Zur optimalen Nutzung des eingesetzten Materials sollten die Tröpfchen ein möglichst niedriges Aspektverhältnis von Höhe zu Breite aufweisen. Sowohl der Abstand der Tröpfchen zueinander (nearest neighbor distance, NND), als auch ihr Durchmesser müssen an die konstruktions-technisch bedingten Anforderungen der Mikrokonzentrationssolarzelle angepasst werden können. Das Verhältnis von Abstand zu Durchmesser der Tröpfchen bestimmt den Konzentrationsfaktor, sowie die Materialersparnis. Dass diese Anforderungen mittels Anpassung der Substrattemperatur (T) und Depositionsrate (R) erfüllt werden können, konnte hier nachgewiesen werden (vgl. Fig. 2).

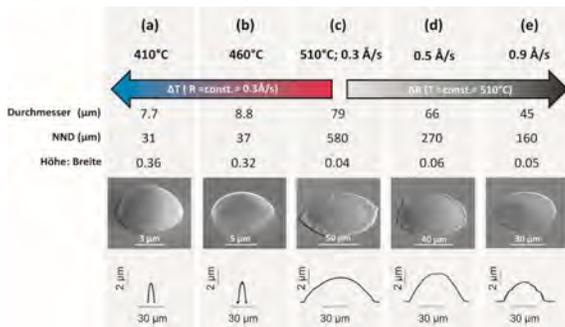


Fig. 2: Einfluss von Substrattemperatur (T) und Abscheiderate (R) auf Größe der Indium-Tröpfchen (Durchmesser), die Abstände zwischen den Tröpfchen (NND) und das Aspektverhältnis (Höhe : Breite). Die REM-Bilder wurden mit einer Neigung von 52° aufgenommen und sind unterschiedlich stark vergrößert. Unten: Insel-Querschnittsprofile [gemessen mit Rasterkraftmikroskop: (a) und (b), mit Profilometer (c), (d) und (e)], dargestellt mit gleichen Maßstäben. [1]

Um die CIGSe-Mikroabsorber passgenau mit der konzentrierenden Optik ausrichten zu können, wurde hier eine Methode zur räumlich kontrollierten Anordnung von Indium-Tröpfchen entwickelt. Dazu wurden in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung die verwendeten Substrate mittels eines Femtosekundenlasers mit einer Fluenz nahe der Ablationsschwelle des Substratmaterials bestrahlt, um punktuell die Oberfläche so zu verändern, dass Keimbildung von Indium nur an diesen Stellen stattfindet.

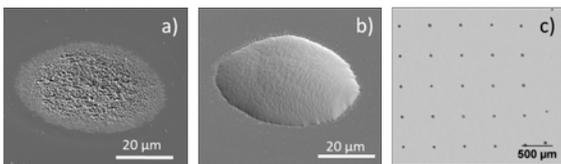


Fig. 3: REM Aufnahmen: (a) eines einzelnen fs-Laserspots vor der Abscheidung von Molybdän und Indium und (b) danach. (c) Lichtmikroskopische Aufnahme eines 5×5 -Arrays von Indium-Tröpfchen auf einem mit Molybdän beschichteten Glassubstrat. Gemäß [2].

Die besten Ergebnisse wurden mit einem einzelnen Laserpuls erzielt, der nur zu einem geringen Materialabtrag und einer leichten Rauheit der Oberfläche führt (Fig. 3a). Keimbildung von Indium findet bevorzugt an diesen Laserspots statt und die dabei entstehenden Indium-Tröpfchen bedecken den jeweiligen Spot vollständig (Fig. 3b). Durch eine Anpassung der intrinsischen Verteilungsdichte der Tröpfchen (abhängig von den Abscheidungsbedingungen) an den Abstand der

Laserspots können definierte Arrays aus Indium-Inseln mit gewünschter Morphologie gezüchtet werden (Fig. 3c).

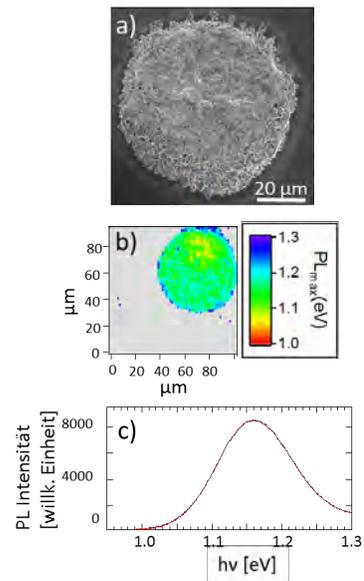


Fig. 4: a) SEM Aufnahme einer CIGSe-Insel. b) Photolumineszenz-Karte der Spitzenemissions-energien einer bei 540°C selenisierten CIGSe-Absorber-Insel. c) Gemittelttes Spektrum von b) als Funktion der Energie. Gemäß [3].

Die weiteren Prozessschritte bei der Züchtung von CIGSe-Mikroabsorbern wurden optimiert und die Qualität der hergestellten Absorber wurde hinsichtlich der Homogenität der Zusammensetzung, sowie der optoelektronischen Aktivität untersucht. Es konnte mittels Photolumineszenz-Messungen gezeigt werden, dass bei geschickter Wahl der Substrattemperatur während der Deposition von Selen, homogene CIGSe-Mikroabsorber mit einem x -Wert von 0.7 präpariert werden können, deren Eigenschaften denen von handelsüblichen, flächigen CIGSe-Absorbern entsprechen (Fig. 4).

Aus den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ -Mikroabsorbern konnten in Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie bereits Solarzellen hergestellt und getestet werden. Zur Validierung der Mikroabsorber hinsichtlich der Verwendung in Mikrokonzentrationssolarzellen wurden Strom-Spannungs-Kennlinien bei verschiedenen Lichtintensitäten gemessen und die Effizienz bestimmt. Dabei hat sich gezeigt, dass unter Lichtkonzentration ein signifikanter Anstieg der Effizienz erreichbar ist.

[1] F. Ringleb et al., "Growth and shape of indium islands on molybdenum at micro-roughened spots created by femtosecond laser pulses," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 418, pp. 548–553 (2017).

[2] F. Ringleb et al., "Regularly arranged indium islands on glass/molybdenum substrates upon femtosecond laser and physical vapor deposition processing," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 108, no. 11, p. 111904 (2016).

[3] K. Eylers et al., "In-Ga precursor islands for $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ micro-concentrator solar cells," in *Proceedings of the 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (noch nicht erschienen).

Über die DGKK

Die Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) ist eine gemeinnützige Organisation zur Förderung der Forschung, Lehre und Technologie auf dem Gebiet des Kristallwachstums und der Kristallzüchtung. Sie vertritt die Interessen ihrer Mitglieder auf nationaler und internationaler Ebene.

Die DGKK ist Mitglied der Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik e.V. (BV MatWerk). Die DGKK veranstaltet jährlich die Deutsche Kristallzüchtungstagung, gibt zweimal jährlich das DGKK-Mitteilungsblatt heraus und unterhält eine Web-Seite (www.dgkk.de). Die Arbeit der Gesellschaft ist in Arbeitskreisen organisiert.

1. Vorsitzender

Dr. Wolfram Müller
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Max-Born-Str.2, 12489 Berlin
Tel.: 030 / 6392 3074
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: wolfram.miller@ikz-berlin.de

2. Vorsitzender

Prof. Dr. Andreas N. Danilewsky
Kristallographie
Institut für Geo- und Umweltwissenschaften
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Hermann-Herder-Str. 5, 79104 Freiburg
Tel.: 0761 / 201 - 6450
E-Mail: a.danilewsky@krist.uni-freiburg.de

Schatzmeister

Prof. Dr. Peter Wellmann
Institut für Werkstoffwissenschaften 6
Friedrich-Alexander-Universität (FAU)
Martensstr. 7, 91058 Erlangen
Tel.: 09131 / 85 27635
Fax: 09131 / 85 28495
E-Mail: peter.wellmann@ww.uni-erlangen.de

Schriftführerin

Dr. Christiane Frank-Rotsch
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Max-Born-Str.2, 12489 Berlin
Tel.: 030 / 6392 3031
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de

Redaktion:

Dr. Klaus Böttcher
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3073
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: redaktion@dgkk.de

Anzeigen:

Dr. Ulrike Wunderwald
Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM)
Tel.: 03731 / 2033-101
E-Mail: Ulrike.Wunderwald@thm.fraunhofer.de

Nachrichten der DGKK, Stellenangebote, Stellengesuche:

Dr. Christiane Frank-Rotsch
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3031
Fax: 030 / 6392 3003
E-Mail: christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de

Redaktionsschluss:

11. Januar 2019

ISSN 2193-374X (Druck)

ISSN 2193-3758 (Internet)

Gesetzt mit pdfL^AT_EX.

Beisitzer

Dr. Ulrike Wunderwald
Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien
THM
Am St.-Niclas-Schacht 13, 09599 Freiberg
Tel.: 03731 / 2033-101
E-Mail: Ulrike.Wunderwald@thm.fraunhofer.de

Dr. Ludwig Stockmeier
Siltronic AG
Berthelsdorfer Straße 113, 09599 Freiberg
Tel.: 03731 / 278-7295
E-Mail: ludwig.stockmeier@siltronic.com

Dr. Götz Meisterernst
Siltronic AG
Johannes-Hess-Straße 24, 84489 Burghausen
Tel.: 08677/ 83 - 3930
E-Mail: goetz.meisterernst@siltronic.com

Bankverbindung:

Sparkasse Karlsruhe
Kto.-Nr.: 104 306 19
BLZ: 660 501 01
IBAN DE84 6605 0101 0010 4306 19
SWIFT-BIC: KARSDE66

Internetredaktion:

Die Internetredaktion setzt sich gegenwärtig aus der Schriftführerin, der Webmasterin und dem Redaktionsteam des Mitteilungsblattes zusammen.

E-Mail: internet.redaktion@dgkk.de

Sabine Bergmann

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Tel.: 030 / 6392 3093

E-Mail: webmaster@dgkk.de

WWW: <http://www.dgkk.de>

Mitgliedschaft:

Der Mitgliedsbeitrag kostet zur Zeit im Jahr 30 € und für Studenten ermäßigt 20 €. Beiträge für juristische Personen erhalten Sie auf Anfrage. Sie können sich über die Internetseite der DGKK online anmelden. Dort finden Sie auch die DGKK Stichwortliste.

Anzeigenpreise:

Die Anzeigenpreise gelten pro Anzeige in Abhängigkeit von der Größe und sind Brutto-Preise. Bitte wenden Sie sich bei Interesse an die Redaktion.

Anzahl Anzeigen	DGKK-Mitglieder		Nicht-Mitglieder	
	1/1 Seite	1/2 Seite	1/1 Seite	1/2 Seite
1	288,00 €	135,00 €	320,00 €	150,00 €
4	234,00 €	108,00 €	260,00 €	120,00 €

Arbeitskreise der DGKK

Herstellung und Charakterisierung von Massiven Halbleiterkristallen

Sprecher: Prof. Dr. Peter Wellmann
 Institut für Werkstoffwissenschaften 6, Universität Erlangen-Nürnberg, Martensstr. 7, 91058 Erlangen
 Tel.: 09131 85 27635 Fax: (09131) 85 28495 E-Mail: peter.wellmann@ww.uni-erlangen.de

Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelationen

Sprecher: Dr. Andreas Erb
 Walther-Meißner-Institut, Walther-Meißner-Straße 8, 85748 Garching
 Tel.: (089) 2891 4228 E-Mail: a.erb@wmi.badw.de

Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik

Sprecher: Dr. Klaus Dupré
 FEE, Struthstr. 2, 55743 Idar-Oberstein
 Tel.: (06781) 21191 E-Mail: dupre@fee-io.de

Epitaxie von III-V-Halbleitern

Sprecher: Prof. Dr. Michael Heuken
 Aixtron AG Aachen, Kaiserstr. 98, 52134 Herzogenrath
 Tel.: (0241) 8909 154 Fax: (0241) 8909 149 E-Mail: m.heuken@aixtron.com

Wachstumskinetik und Nanostrukturen

Sprecher: Dr. Wolfram Miller
 Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin
 Tel.: (030) 6392 3074 Fax: (030) 6392 3003 E-Mail: wolfram.miller@ikz-berlin.de

Industrielle Kristallzüchtung

Sprecher: Dr. Götz Meisterernst
 Siltronic AG, Johannes-Hess-Straße 24, D-84489 Burghausen
 Tel.: (08677) 83 7556 E-Mail: goetz.meisterernst@siltronic.com

Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung

Sprecher: Dr. Lev Kadinski
 Siltronic AG, Johannes-Hess-Straße 24, 84489 Burghausen
 Tel.: (08677) 83 1991 Fax: (08677) 83 7303 E-Mail: lev.kadinski@siltronic.com

Tagungskalender

2019

- **17. – 21. März 2019**
 GPCCG-3 / DKT 2019
 Poznań, Polen
<http://www.gpccg2019.put.poznan.pl>
- **19. – 20. September 2019**
 jDGKK "Junge DGKK"
 Köln
- **21. – 27. Juli 2019**
 17th Int. Summer School on Crystal Growth (ISSCG-17)
 Colorado, USA
 Leitung: Thomas Kuech, Joan Redwing
- **9. – 10. Oktober 2019**
 DGKK-Arbeitskreistreffen "Massive Halbleiterkristalle"
 Berlin
- **28. Juli – 2. August 2019**
 19th Int. Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-19), <http://www.iccg19.org>
 Keystone, Colorado, USA
 Leitung: Vincent Fratello, Jeffrey Derby
- **10. – 11. Oktober 2019**
 DGKK-Arbeitskreistreffen "Intermetallika"
 Augsburg
- **19. – 20. September 2019 (geplant)**
 DGKK-Arbeitskreistreffen "Kristalle für Laser und nicht-lineare Optik"
 Lyon, Frankreich
- **5.–6. oder 12.–13. Dezember 2019**
 DGKK-Arbeitskreistr. "Epitaxie von III-V-Halbleitern"
 Dresden
<https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ihm/NEM/kooperation/dgkk-2019>

Feedback furnace

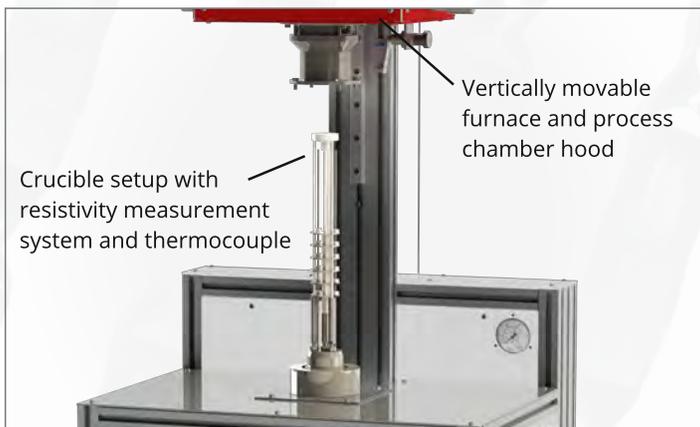
Novel equipment for flux crystal growth:
Direct process control by in-situ detection of phase transitions

Heating power of the furnace is directly linked to conversion processes in the sample material:

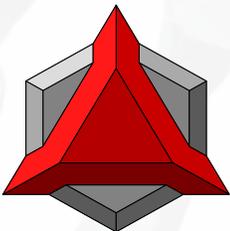
- Detect crystallization onset by latent heat monitoring directly from the solution
- Perform seed selection by temperature oscillation at the crystallization point
- Suppress supercooling and uncontrolled crystallization

Technical specifications in the standard configuration:

- Max. temperature: 1300 °C
- Max. crucible dimensions: d = 25 mm, h = 50 mm
- Precise sample temperature monitoring by lock-in amplified resistivity measurements AND thermocouples
- Automatic detection of temperature anomalies down to 10^{-4} abs(T)
- Fully computer-controlled and automatable via GUI or python scripts
- Vacuum and gas connections
- Comfortable crucible installation due to a vertically movable furnace hood

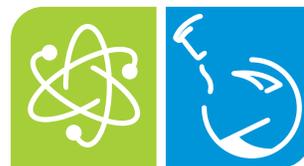


A high-precision measurement system directly detects ongoing crystallization during flux growth by the onset of characteristic signatures in the temperature profile of the sample. This signal is caused by the latent heat associated with the phase transition. The in-situ detection of nucleation allows to significantly reduce the relevant temperature regime and enhances the applicability of lower cooling rates than previously practical. The feedback furnace combines crystal growth with a thermal analysis of the sample material to provide a powerful instrument for the creation of heretofore poorly studied multicomponent compounds.



SCIDRE
SCIENTIFIC INSTRUMENTS DRESDEN GMBH

High Pure Metals and Inorganics
Rare Earth Metals and Compounds
Precious Metals and Compounds
Organometallics
Precious Metals Catalysts
Sputtering Targets
Evaporation Materials
Laboratory Equipment
Nanopowders
Customized Synthesis



chemPUR

Ihr Partner für Chemie & Physik

Wir schaffen Verbindungen



- individueller Service
- bezugsnahe Betreuung
- fachkundige Beratung
- enge Zusammenarbeit
- zertifiziert nach
ISO 9001:2008

ChemPur Feinchemikalien und Forschungsbedarf GmbH

Rüppurrer Straße 92
D-76137 Karlsruhe

Tel.: + 49 (0) 7 21 - 9 33 81 40
info@chempur.de

www.chempur.de