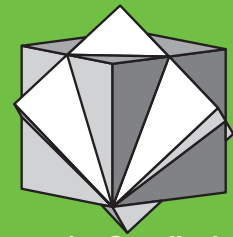




ISSN 2193-3758

Mitteilungsblatt  
Nr. 107 / 2019



Deutsche Gesellschaft  
für Kristallwachstum und  
Kristallzüchtung e.V.



---

## Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende / Editorial . . . . .	3
DGKK intern . . . . .	5
DGKK Nachrichten . . . . .	12
DGKK Personen . . . . .	18
DGKK Nachwuchs . . . . .	20
Über die DGKK . . . . .	25
Tagungskalender . . . . .	26

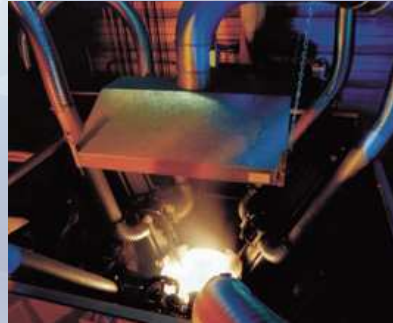
---

# SurfaceNet

## Crystals



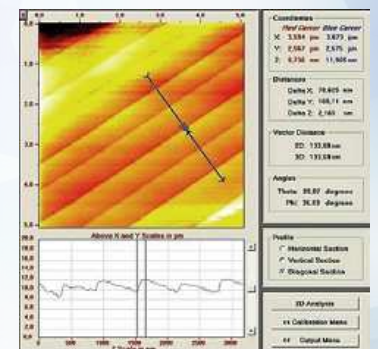
## Crystal Puller



## 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@surfacednet.de · www.surfacednet.de

## Der Vorsitzende

### Liebe Kolleginnen und Kollegen,

gerade ist die Kandidatenliste für die Fachkollegienwahl 2019 bei der DFG veröffentlicht worden. Der Vorschlag der DGKK für das Fachkollegium 406-03 (Thermodynamik und Kinetik sowie Eigenschaften der Phasen und Gefüge von Werkstoffen) ist angenommen und so steht nun Matthias Bickermann auf der Liste. Das ist sehr schön, ist doch schon sehr lange kein von der DGKK-Vorgeschlagerener auf die Kandidatenliste gekommen. Es gilt dabei noch zu beachten, dass die Fächereinteilung erneuert wurde. Es gibt nunmehr die neuen Fachkollegien *Biomaterialien* und *Computergestütztes Werkstoffdesign*.

Die andere sehr erfreuliche Nachricht ist, dass 18 Jahre nachdem Georg Müller den Laudise-Preis der IOCG verliehen bekommen hat (2001 in Kyoto), wieder einer aus den Reihen der DGKK Preisträger sein wird. Anton Jesche wird den Schieber-Preis auf der ICCGE-19 in Keystone überreicht bekommen. Zur Erinnerung: 2015 hat Anton Jesche den Nachwuchspreis der DGKK bekommen. Heute kann ich Anton Jesche zu dem internationalen Schieber-Preis beglückwünschen!

Über die wichtigen Dinge aus der Klausurtagung von BV Matwerk Mitte Juni ist bereits in einer Rundmail informiert worden. Wir sollten an dieser Stelle unsere Verbindungen eben auch über BV Matwerk nutzen, um informiert zu sein und uns weiter zu vernetzen.

Enger vernetzt haben wir uns mit unseren Kollegen aus den benachbarten Ländern. Nach Tschechien, Schweiz und Österreich fand dieses Jahr eine gemeinsame Tagung mit unse-

ren polnischen Kolleginnen und Kollegen statt. Dabrostawa Kasprowicz und viele Helfer haben die GPCCG-3 an der Poznan University of Technology (PUT) ausgerichtet, die dieses Jahr ihr 100-jähriges Bestehen feiern kann. Herzlichen Dank an alle, die diese tolle Tagung ermöglicht haben! Es war auch sehr schön, dass die Leiterin des Referats Wissenschaft und Forschung an der Deutschen Botschaft in Warschau, Frau Gabriele Hermani, zur Eröffnung kommen konnte. Weitere Einzelheiten zu der Konferenz können Sie dem Bericht von Jannick Fammels, Saskia Mihalic und Tobias Schwaigert entnehmen.

Die Vorbereitungen für die DKT 2020 sind im vollen Gange, und Sie haben sich hoffentlich das Datum (11.3.-13.3.2020) bereits fest in Ihren Kalender eingetragen. Zur Jubiläumsveranstaltung wollen wir möglichst viele Mitglieder und natürlich auch Gäste begrüßen!

Die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM) feiert bereits in diesem Jahr und zwar ihr 100-jähriges Bestehen. Damals, bei der Gründung am 27. November 1919 in Berlin stand DGM noch für „Deutsche Gesellschaft für Metallkunde“. Im Jahr 1989 wurde dann „Metallkunde“ zu „Materialkunde“. Auch die DGKK gratuliert der DGM zu diesem runden Jubiläum! Ein entsprechendes Grußwort ist auf <https://100jahre.dgm.de/grussworte/> zu finden.

Eine schöne Sommerzeit mit hoffentlich normal sommerlichem Wetter wünscht Ihnen

Ihr

Wolfram Miller

## Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende .....	3
Editorial .....	4
Titelbild .....	4
DGKK-intern .....	5
GPCCG3 in Poznań .....	5
Jubilare .....	7
Protokoll der Mitgliederversammlung 2019 .....	8
Mitglieder 2019, erste Jahreshälfte .....	11
DGKK-Nachrichten .....	12
AK Epitaxie in Paderborn .....	12

Halbleiter aus der Fränkischen Schweiz .....	13
Quantenmagnetometer .....	14
10 Jahre SciDre .....	17
DGKK-Personen .....	18
Prof. Dr. Manfred Mühlberg zum 70. Geburtstag .....	18
DGKK-Nachwuchs .....	20
Nora Wolff: Züchtung von Delafossit-Substratkristallen .....	20
Robert Schewski: TEM investigations on gallium oxide .....	22
Über die DGKK .....	25
Arbeitskreise der DGKK .....	26
Tagungskalender .....	26

## Editorial

### Verehrte Leserinnen und Leser,

eingangs des Heftes finden Sie einen Bericht über die Deutsche Kristallzüchtungstagung: diese wurde zusammen mit der polnischen Fachgesellschaft als 3rd German-Polish Conference on Crystal Growth durchgeführt, und zwar an der Poznań University of Technology. Dazu gehörte auch die DGKK-Mitgliederversammlung, dieses Mal mit der Wahl des Vorstands für die Jahre 2020 und 2021.

In der Rubrik DGKK-Nachwuchs wird über eine Dissertation zur Züchtung von Delafossiten berichtet (s. a. Titelbild) und

der Bericht nachgereicht, zu dem im vorigen Heft 106 bereits das Titelbild gehörte. Bei den DGKK-Nachrichten möchte ich Sie auf den Bericht zu einem Kolloquium hinweisen, in welchem über die Pionierleistungen in der Halbleiterforschung im Siemens-Labor im Schloss Pretzfeld nahe Erlangen ab 1946 berichtet wurde. Eine interessante Lektüre dieses Heftes wünscht Ihnen

Klaus Böttcher

## Titelbild



Bild: N. Wolff, Berlin

Am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung wurden im Rahmen einer Doktorarbeit Untersuchungen zur Einkristallzüchtung von Delafossiten durchgeführt. Die untersuchten Materialien waren  $\text{CuAlO}_2$ ,  $\text{CuFeO}_2$  und Mischkristalle dieser beiden Verbindungen. Bei diesen oxidischen Verbindungen handelt es sich um p-Typ-Halbleiter, die die Erzeugung von p-n-Übergängen in der Halbleiterelektronik realisierbar machen. Während das  $\text{CuAlO}_2$  zudem eine Transparenz aufweist, besitzt das  $\text{CuFeO}_2$  eine hohe Leitfähigkeit. Mischkristalle dieser beiden Verbindungen sind ein Kompromiss zwischen Transparenz und Leitfähigkeit. Das Titelbild zeigt einen  $\text{CuFeO}_2$ -Einkristall, der im Anschluss an die Untersuchungen der Doktorarbeit entstand und von Dr. Nora Wolff (s. Beitr. S. 20) und Tobias Schwaigert mit der Optical Floating Zone-Methode gezüchtet wurde. Dieser Kristall ist mit einer Länge von ca. 50 mm und einem Durchmesser von etwa 8 mm der bisher größte gezüchtete Delafossitkristall dieser Materialklasse und soll als Substratmaterial für  $\text{PdCoO}_2$  dienen. Laue-Messungen zeigten, dass die *c*-Achse etwas verkippt ist, der Kristall jedoch einheitlich eine gleiche Orientierung aufweist. Geplant ist den Durchmesser auf 12 mm zu erweitern.

## 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 ( $\text{SrTiO}_3$ , MgO, YSZ, ZnO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 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](http://www.mateck.de)

## DGKK-intern

### 3rd German Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG3)

Jannick Fammels, Saskia Mihalic, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg and Tobias Schwaigert, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

The third German Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG3) took place at the Faculty of Technical Physics at Poznań University of Technology from March 17<sup>th</sup> to March 21<sup>st</sup>. Organized and chaired by Dobrosława Kasprowicz, president of the Polish Society for Crystal Growth, and Wolfram Miller, president of the German Association for Crystal Growth, the conference is a continuation of German Polish cooperation. After the first conferences in Berlin in 2006, and Frankfurt (Oder) and Słubice in 2011, the third iteration was hosted by the Poznań University of Technology, which celebrates its 100<sup>th</sup> anniversary this year.

Participants arrived from 14 different countries, primarily Poland and Germany, but also from Russia, USA, Japan, and many other European countries. Over four days a multitude of subjects were discussed in almost 70 talks and lectures presented in 19 sessions. Session subjects included Semiconductors, Laser Materials, Novel Materials, Layers, Simulations, Nanocrystals, Characterisation, Dielectrics, as well as Biocrystals. In the dedicated poster session 32 posters were presented.



Fig. 1: The organizers of the conference D. Kasprowicz, President of the PTWK, and W. Miller, President of the DGKK, welcoming the participants. (Photo: GPCCG3)

On Monday the 18<sup>th</sup> of March the conference was opened by Dobrosława Kasprowicz (PTWK) and Wolfram Miller (DGKK). The first Plenary lecture was held by Tomasz Dietl (MagTop, Warsaw, Poland) about **Phase separations and nematicity in dilute magnetic materials**. After introducing his research facility and interests, he gave an overview about nematicity and the recent experimental findings about anisotropic pha-

se separations. Noteworthy is the proposal of his model for nematicity, in order to get feedback.

The official welcome address followed in the afternoon, with an address by Prof. Joanna Józefowska (Vice-Rector for Science, Poznań Uni. of Tech.), a read letter by Jacek Jaskowiak (Mayor of Poznań) and an address by Gabriele Hermani (German Embassy in Warsaw).

Two highlights of the conference were the presentations given by K. Thelander and M. Wegener. K. Thelander (NanoLund, Lund, Sweden) talked about **Exploring 1D semiconductor crystal growth at the nanoscale using in-situ TEM** and showed interesting graphs and videos of in-situ observation of GaAs Nanowire growth out of catalytic Ag-Au seed materials. She identified different regimes in which growth occurs with respect to composition and structure of the catalysts and determined the relationship between the accessible experimental parameters and the steps in the growth mechanism.

M. Wegener (KIT, Karlsruhe, Germany) presented his work on **3D Metamaterials: Rationally Designed Artificial Crystals**. The aim of his research was to find a way to construct materials with effective medium properties, which go beyond the properties of the ingredient materials. Negative metamaterial properties, such as the refractive index, thermal expansion coefficient or Hall coefficient, can be engineered from components with positive parameters for the respective properties. He presented techniques to build artificial crystals to reverse the isotropic thermal expansion of cubic crystals or how to convert linear, lateral stress to a rotation.



Fig. 2: Jannick Fammels, winner of the poster award, with W. Miller and the Jury. (Photo: GPCCG3)

The traditional banquet was filled with great food and stimulating conversations. At this opportunity the PTWK award, the DGKK awards, and the poster award were conferred. The award for the best presentation was given on the last day of the conference, after all presentations had been held. The PTWK Award was given to Marta Sobanska for her PhD thesis on the growth and properties of GaN nanowires. The DGKK award was shared between Pascal Puphal for his PhD

thesis on tunable coupled-dimer systems and triangular anti-ferromagnets and Dirk Kok for his PhD thesis on the growth and optical properties of  $\text{SrTiO}_3$ . Jannick Fammels received the poster award, sponsored by Elsevier, for his work on the growth and characterization of Triglycine sulfate under the influence of surfactant additives.

M. Sobanska (IFPAN, Warsaw, Poland) was decreed the PTWK award and presented her work on **Plasma-assisted MBE growth and properties of GaN nanowires** in her laureate talk. GaN nanowires are promising building-blocks of new electronic devices. She investigated GaN nanowires on non-crystalline substrates, which leads to a large degree of freedom in designing new devices. Even though a lot of research has been done in this field, there still is a lack of fundamental growth studies about growth on non-crystalline substrates. In her work the growth on standard nitridated Si substrates was compared with amorphous  $\text{Al}_x\text{O}_y$  on Si.



Fig. 3: M. Sobanska, laureate of the PTWK award, with D. Kasprovicz and the PSCG award committee. (Photo: GPCCG3)

P. Puphal (PSI, Villigen, Switzerland) was conferred the shared DGKK award and presented his work on **Floating Zone growth and characterisation of topological materials**. The laureate talk discussed the growth of  $(\text{Ba,Sr})_1\text{CuSiO}_6$  from  $\text{KBO}_2$  flux, in order to stabilize and prove the existence of 2D  $\text{Cu}^{2+}$  dimer structures by Sr substitution. This was done to enable the study of quantum many body effects and magnetic field induced ordered states. Further research investigated the Floating Zone growth of  $\text{PrAlGe}$  and  $\text{CeAlGe}$ , two theoretically proposed magnetic Weyl-semimetals. While neither display the expected ferromagnetic ground state,  $\text{PrAlGe}$  exhibits a spin-glass-like transition below 16 K.

D. Kok (HZB, Berlin, Germany) was decreed the shared DGKK award and presented his work on the **Growth and optical properties of  $\text{SrTiO}_3$** . In his laureate talk he described the Growth of  $\text{SrTiO}_3$  by the Czochralski technique and how temperature dependent heat transport, low IR transparency and free carrier absorption affected the growth. Growing  $\text{SrTiO}_3$  at a lower temperature could improve the difficulties experienced in the Czochralski growth. This was done by applying an alternative growth method. With the Top Seeded Solution Growth (TSSG) D. Kok was able to decrease the temperature below 1808 K which helped with former growth challenges to result in high quality crystals. He continued with the optical properties of the TSSG grown high quality crystal.

The shown crystals were colored brownish which is common for iron impurity in  $\text{SrTiO}_3$  however, the measured iron concentration wasn't high enough to explain the coloration. To further investigate the coloration, Transmission Electron Microscopy (TEM) was used to reveal voids of varying sizes in the nano meter range. From these nano-voids light scattering was calculated on basis of the Mie theory. With this calculation a good agreement with the measured optical spectra is found, which explains the brownish color. He also proposed that the nano-voids form through vacancy clustering.



Fig. 4: P. Puphal and D. Kok, laureates of the shared DGKK award, with W. Miller and M. Heuken of the award committee. (Photo: GPCCG3)

As all the presentations had been given, the prize committee awarded Nazmul Islam (HZB, Berlin, Germany) with the award for the best presentation, sponsored by the open journal "Crystals". In his talk he presented the **Growth of large single crystals of a new quantum spin liquid compound,  $\text{Ca}_{10}\text{Cr}_7\text{O}_{28}$** . The mentioned compounds were grown by the Traveling-solvent-floating-zone technique in an Optical Floating Zone furnace. In his contribution he described the challenges of such crystal growth, namely mixed valence states of chromium, incongruent melting, instability of the phase under high temperatures and how they dealt with these challenges. The crystal growth was performed by using a  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{O}_8$  feed rod and solvent pellet ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ) which was moulded onto the feed rod. The growth speed was 1 mm/h. The skeleton of magnetic ions ( $\text{Cr}^{5+}$ ) are on a geometrically frustrated lattice (Kagome bilayers) in order to obtain the quantum spin liquid properties.

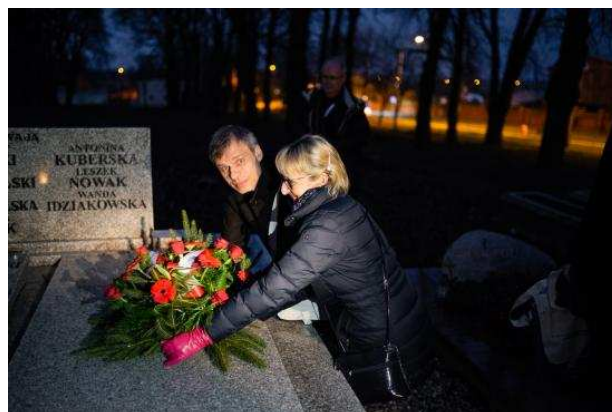


Fig. 5: D. Kasprovicz and W. Miller lighting a candle and laying down a bouquet of flowers at J. Czochralskis grave. (Photo: GPCCG3)

One of the non-scientific highlights of the conference was the excursion to Kcynia, Jan Czochralski's birth place. Roughly 90 kilometers north of Poznań, Kcynia is a small town rich in culture and history. After a one and a half hour bus ride from the conference center, the participants were greeted at the Municipal-Communal Culture Centre by the Paluki regional ensemble. The ensemble was founded by Klara Prillowa in 1956 and was awarded the O. Kolberg Medal for its contribution to folk culture in 2006. After an authentic Paluki dance and music performance by the ensemble, a short speech by the Principal of the local school on the importance of Jan Czochralski's work for the region, and the motivation for his work in finding the "next Jan Czochralski" was given. Particularly interesting was hearing Mr. Czochralski's granddaughter talk about her grandfather and her memories of him, working in the attic of their home. After shortly meeting the mayor of Kcynia, the excursion party went on to drive past Jan Czochralski's former villa to visit his grave at the local graveyard in Kcynia. Having lit a candle and laid down a bouquet of flowers, the excursion was completed with a delicious dinner before leaving for Poznań.

At the same time a sightseeing tour around Poznań was offered. In front of the town hall at the Fontana Prozerpiny in the

city center, the party met a costumed city guide, who showed the city from the point of view of a 16<sup>th</sup> century nobleman. The tour started at the old market square. Several times a day, two goats located at the tower of the city hall are revealed and "fight" each other. The tour guide told us this and other anecdotes about the history of Poznań. Afterwards the old castle and other historical sights were seen. The tour ended with visiting the Poznań cathedral.

The closing session marked the end of a very successful conference with participants from 14 countries and over 100 talks, lectures, and poster presentations. D. Kasproicz and W. Miller thanked all participants and chairs of the conference. W. Miller expressed his gratitude on behalf of the DGKK to D. Kasproicz and the local organizing committee in particular, for their hard work in hosting and organizing the event.

The authors would like to thank the DGKK whose subsidies gave them the opportunity to take part in- and present their work at the GPCCG3, as well as network and familiarize themselves with current fields of research.

For further reading the book of abstracts is available on the GPCCG3 website, under:

<http://gpccg2019.put.poznan.pl/index.php/book-of-abstract/>.



Fig. 6: GPCCG3 participants in front of the venue, at the Faculty of Technical Physics at Poznań University of Technology. (Photo: GPCCG3)

## Jubilare

Wir gratulieren herzlich zum Geburtstag:

Frau Prof. Dr. Anna Pajaczowska, Warschau	zum 85. Geburtstag
Herrn Prof. Dr. Horia Alexandru, Bukarest	zum 80. Geburtstag
Herrn Prof. Dr. Tatau Nishinaga, Tokio	zum 80. Geburtstag
Herrn Prof. Dr. Lorenz Ratke, St. Augustin	zum 70. Geburtstag

## Protokoll der Mitgliederversammlung 2019

### Anwesende:

#### DGKK Mitglieder:

N. Abrosimov, M. Bickermann, K. Böttcher, I. Buchovska, A. Dadgar, K. Dadzis, A. Danilewsky, A. Erb, J. Fammels, Ch. Frank-Rotsch, J. Friedrich, K.-P. Gradwohl, A. Hess, M. Heuken, L. Kadinski, F.-M. Kießling, L. Kirste, G. Meisterernst, S. Mihalic, W. Miller, H.-J. Rost, P. Saß, D. Siche, L. Smejkalova, U. Wunderwald, S. Wurmehl

### Gäste:

C. Herold, S. Gruner

### Ort:

Poznań University of Technology, Conference Center

### Zeit:

Montag , 18. März 2019, 17:30 Uhr

### TOP 1 Begrüßung und Feststellen der Beschlussfähigkeit

Es sind **26** Mitglieder und **2** Gäste anwesend, d.h. laut Satzung ist die Versammlung beschlussfähig. Der Vorsitzende der DGKK, Wolfram Miller, begrüßt die anwesenden Mitglieder und Gäste. Er stellt fest, dass frist- und formgerecht eingeladen worden ist.

### TOP 2 Bericht des Vorsitzenden

Er begrüßt besonders die Mitglieder, die kürzlich der DGKK beigetreten sind und gratuliert den Jubilaren seit der letzten Mitgliederversammlung.

Wolf Aßmus und Peter Görnert feierten ihren 75. Geburtstag sowie Manfred Mühlberg und Helge Riemann ihren 70. Geburtstag.

Weiterhin gratuliert er den Preisträgern

Matthias Trempa zum Ulrich Gösele-Young Scientist Award 2018,

Dorothee Braun zum Marthe Vogt-Preis 2018,

und den beiden diesjährigen Trägern des DGKK-Preises für Nachwuchsforscher Pascal Puphal und Dirk Kok.

Leider sind auch langjährige Mitglieder und der Kristallzüchtung nahestehende Kollegen für immer von uns gegangen.

Die DGKK-Mitgliederversammlung gedenkt der Verstorbenen:

Heinz Kohler (Aachen),

Siegfried Leibenzeder (München) und

Helmut Wenzl (Geretsried).

Weiterhin wird gedacht des verstorbenen

Nobelpreisträgers Zhores Alferov.

W. Miller beginnt seinen Bericht mit einer Übersicht von Veranstaltungen, die unter Schirmherrschaft und Beteiligung der

DGKK im letzten Jahr stattgefunden haben. Insgesamt haben mehr als 700 Teilnehmer an diesen Veranstaltungen teilgenommen. Er hob dabei die 6th European Conference on Crystal Growth in Varna im September 2018 mit 266 Teilnehmern und die 2. Europäische Kristallzüchtungsschule gleichfalls in Varna mit 49 Schülern hervor.

Die Teilnehmerzahl der Deutsche Kristallzüchtungstagung 2018, die gemeinsam mit den österreichischen Kollegen als 1st German - Austrian Conference on Crystal Growth in Wien im Februar 2018 stattfand, betrug 127 und die des Treffens der Jungen DGKK in Wien war stabil bei 47. An den DGKK-Arbeitskreisen nahmen mehr als 200 Personen teil.

Er informierte, dass relativ wenig junge Wissenschaftler die Möglichkeit genutzt haben, einen Antrag auf Reisekostenzuschuss zu stellen.

Weiterhin berichtet er, dass der Vorstand seine Arbeit vor allem auf zwei Vorstandssitzungen und einer Telefonkonferenz abgestimmt hat.

Er entschuldigt sich über den längeren Ausfall der Webseiten und informiert, dass diese jetzt aktualisiert wurden und jetzt auch Informationen zu Kursen und Vorlesungen auf dem Gebiet der Kristallzüchtung enthalten. Hinweise können per Email an: internet.redaktion@dgkk.de gesendet werden. Die Mitteilungsblätter 105 und 106 sind termingerecht erschienen. Es geht ein Dank an Klaus Böttcher für die bereits geleistete Arbeit und an die Inserenten.

Die DGKK ist gegenwärtig bereits international gut vernetzt und auch national konnte die Zusammenarbeit mit anderen Verbänden gestärkt werden. So wurde gemeinsam mit der DGK ein Symposium auf der Jahrestagung der DGK 2018 an der Universität Duisburg-Essen organisiert sowie eine Sitzung auf der diesjährigen GPCCG-3.

Die DGKK ist noch Mitglied im BV Matwerk und beobachtet dessen Entwicklung weiterhin kritisch. A. Erb hat die DGKK am 4.6.2018 in München bei der Jahresversammlung vertreten. Es wurde eine Erhöhung des Mitgliedsbeitrages von 50 € auf 200 € beschlossen. Die DGKK wird 2019 die Entwicklung bewerten und dann entscheiden, ob sie weiterhin Mitglied im BV Matwerk bleibt. J. Friedrich stellt von Seiten der Mitglieder den Antrag, die Abstimmung hierzu auf die Tagesordnung der Mitgliederversammlung 2020 zu nehmen.

W. Miller informiert, dass eine Abfrage zu den Angeboten der Ausbildung auf dem Gebiet der Kristallzüchtung erfolgt ist und es sich jetzt auch Angebote auf der DGKK-Webseite befinden. Er weist auf die Möglichkeit hin, Studienangebote auf der Webseite: <http://www.studienwahl.de> kostenlos registrieren zu lassen. Die Universität Freiburg hat dies bereits getan und ist jetzt auf der Seite "Crystalline Materials" vertreten. A. Danilewsky ruft die Mitgliederversammlung auf, sich auch auf der Seite der Studienwahl registrieren zu lassen.



Es erfolgte ein Nachdruck von 500 Exemplaren der DGKK-Informationenbroschüre, die gegenwärtig verteilt wird. Es ist eine Neuauflage geplant, hierzu sind bereits 3 Angebote zur Gestaltung eingeholt und Vorsprache geführt worden, hierzu wird noch unter TOP 6 detaillierter berichtet.

W. Miller berichtet zum Stand der Vorbereitung des Schülerwettbewerbs "KRISTALLE in der Schule", hierzu wird unter TOP 6 (Planung 2019) nochmals eingegangen.

W. Miller dankt am Ende seines Berichts den Anwesenden für die Aufmerksamkeit.

### TOP 3 Bericht der Schriftführerin

Die Mitgliederzahl der DGKK ist gegenwärtig zum Stand 12.03.2019 stabil bei 365, dies eine Veränderung von "+1" im Vergleich zu 2018 bei insgesamt 11 Eintritten.

**Von den 365 Mitgliedern sind 313 Vollmitglieder, 32 Studenten und 20 Firmen.**

Die Schriftführerin bat die Mitglieder Veränderungen bei den persönlichen Daten mitzuteilen, denn es ist nicht möglich danach zu recherchieren. Änderungen können formlos per Email mitgeteilt werden.

### TOP 4 Bericht des Schatzmeisters und der Kassenprüfer

Der Bericht des Schatzmeisters wird in Vertretung durch den Vorsitzenden gegeben.

Der Kassenstand der DGKK beträgt zum 31.12.2018:

Sparkasse Karlsruhe	: 12.320,61 €
Tagesgeldkonto	: 22.491,72 €
	<b>34.812,33 €</b>

Der Kassenstand hat sich im Vergleich zu 2017 um 7.471,79 € erhöht.

Die Einnahmen 2018 stammen zum Großteil aus den Mitgliedsbeiträgen sowie aus Einnahmen aus Anzeigen.

J. Friedrich fragt an, ob Festlegungen getroffen werden können, unter welchen Bedingungen die Auszahlung von Preisgeldern verfällt, da diese zum Teil über Jahre nicht abgerufen wurden. Es wurde weiterhin angefragt, welche Kosten "Diverses" enthalten, unter anderem die gezahlten Zuschüsse an die Junge DGKK.

### TOP 5 Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Vorstandes

Die Kassenprüfung erfolgte bereits vorab am 12.03.2019 in Erlangen durch E. Meissner und F. Ritter und wird von H.-J. Rost verlesen. Er bestätigt eine korrekte Kassenführung und bemängelt aber den verzögerten Abruf von Preisgeldern, wie bereits unter TOP 4 erwähnt, sollten hier Festlegungen getroffen werden. Er hebt positiv die reduzierten Kosten für das

Mitteilungsblatt hervor. H.-J. Rost beantragt die Entlastung des Vorstandes. Der Antrag wird einstimmig angenommen.

### TOP 6 Planung für 2018

W. Miller gibt einen Überblick über die eingeladenen Lehrer für die ISCG-17, von Seiten der deutschen Kristallzüchtungskollegen ist D. Klimm vertreten, bei ICCGE-19 werden 5 deutschen Kollegen als Co-Chairs für Sessions fungieren.

U. Wunderwald berichtet, dass sich der Vorstand auf der gestrigen Sitzung für das Angebot der Firma Agentur Medienteam Dresden zur Neugestaltung der Broschüre entschieden hat und gibt einen kurzen Überblick über das Gestaltungskonzept.

J. Friedrich stellt den Ablauf und Stand des Kristallzüchtungswettbewerbs vor. Die Organisation erfolgt leitend durch ihn (Fraunhofer IISB, Erlangen) und das Gymnasium Eckental durch 2 P-Seminare (11. Klasse á 90min/Woche). Das erste Seminar bereitete den Wettbewerb (Flyer, Webseite) vor und das zweite organisiert die Durchführung. Er dankt den Sponsoren, welche den Wettbewerb ermöglichen. Insgesamt sind bereits über 300 Anmeldungen mit über 2000 beteiligten Schülern eingegangen. Dank der Sponsoren können allen Teilnehmern die benötigten Materialien kostenfrei zugesendet werden. Die Teilnehmer sind lokal in Deutschland sehr unterschiedlich vertreten, die größte Anzahl an Anmeldungen ging bisher aus Bayern ein. Die Preisverleihung soll im Rahmen der DKT 2020 in München erfolgen.

W. Miller stellt den Ansatz des Haushaltes 2019 vor, hier ist eine Auflösung von Rücklagen geplant, um vor allem die Kosten für den anlässlich 50 Jahre DGKK geplanten Sonderband der Crystal Research and Technology zu finanzieren.

Von Seiten der Mitglieder wurde angefragt, inwieweit die Planungen zu den Reisekostenzuschüssen und deren Vergabe sinnvoll sind oder ob eine Erhöhung in Betracht zu ziehen ist. Dies soll zukünftig nochmal überdacht und ggf. angepasst werden.

Der Vorsitzende ruft alle Mitglieder auf, sich aktiv bei der Zusendung von Beiträgen für das Mitteilungsblatt zu beteiligen.

### TOP 7 Wahl des Vorstandes für die Zeit von 01.01.2020-31.12.2021

Wahlleiter ist M. Bickermann.

Er gibt einleitend einen Überblick über den Wahlvorschlag des Vorstandes. Von Seiten der Mitgliedschaft sind keine weiteren Vorschläge vor der Mitgliedsversammlung eingereicht worden. Die anwesenden Kandidaten stellen sich kurz der Mitgliederversammlung vor. Weitere Vorschläge gehen nicht ein. M. Bickermann erläutert den Anwesenden den Wahlablauf, bevor die geheime Wahl stattfindet.

**Wahl des 1. Vorsitzenden**

<b>A. Danilewsky</b>	25	Stimmen
ungültig	1	Stimme

A. Danilewsky bedankt sich für das Vertrauen und nimmt die Wahl gern an.

**Wahl des 2. Vorsitzenden**

<b>A. Erb</b>	25	Stimmen
---------------	----	---------

A. Erb bedankt sich für das Vertrauen und nimmt die Wahl gern an.

**Wahl des Schatzmeisters**

<b>P. Wellmann</b>	23	Stimmen
ungültig	1	Stimme

P. Wellmann hat vorab mitgeteilt, dass er die Wahl annimmt.

**Wahl der Schriftführerin**

<b>Ch. Frank-Rotsch</b>	23	Stimmen
Enthaltung	1	Stimme

Ch. Frank-Rotsch bedankt sich für das Vertrauen und nimmt die Wahl gern an.

**TOP 10 Deutsche Kristallzüchtungstagung 2020**

Die DKT2020 soll an der Technischen Universität München, Garching vom 11.3.-13.3.2020 stattfinden. Es ist geplant, bei dieser Tagung ein extended Abstractband herauszugeben (je 2 Seiten pro Beitrag). Das Treffen der jDGKK soll im Vorfeld der DKT am 10.03.2020 stattfinden. A. Erb hofft auf eine erfolgreiche Tagung und berichtet zum Stand der Vorbereitungen. Es ist auch eine Festveranstaltung zu 50 Jahren DGKK geplant, zu der die Gründungsmitglieder eingeladen werden sollen. Neben den historischen Vorträgen wird von M. Heuken und M. Bickermann angeregt, auch „Zukunftsthemen“ wie Energie, Elektromobilität etc. als Schwerpunkte zu betrachten und Redner aus den angrenzenden Zukunftsfeldern einzuladen.

W. Miller berichtet weiterhin zum Stand des Sonderbandes der CRT. Er berichtet, dass es möglich sein wird, den Sonderband in gedruckter Form zu erhalten.

**TOP 11 Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2020**

**Es wird einstimmig der Vorschlag angenommen, die Deutsche Kristallzüchtungstagung 2020 in München durchzuführen.**

Es wird weiterhin angeregt, die Satzung anzupassen, dass der Beschluss zu zukünftigen Tagungen früher gefasst wird,

**Wahl der drei Beisitzer**

<b>G. Meisterernst</b>	24	Stimmen
------------------------	----	---------

<b>U. Wunderwald</b>	24	Stimmen
----------------------	----	---------

<b>L. Stockmeier</b>	21	Stimmen
----------------------	----	---------

T. Boeck	1	Stimme
----------	---	--------

**G. Meisterernst** und **U. Wunderwald** bedanken sich für das Vertrauen und nehmen die Wahl gern an. **L. Stockmeier** hat zuvor mitgeteilt, dass er die Wahl annimmt.

**TOP 8 Wahl der Kassenprüfer**

Die Wahl der Kassenprüfer erfolgt für die Dauer der Wahlperiode 01.01.2020 bis 31.12.2021 gemäß §11 (13) der Satzung. Es lagen vier Vorschläge des Vorstandes zur Wahl vor.

<b>F. Ritter</b>	21	Stimmen
------------------	----	---------

<b>T. Sorgenfrei</b>	22	Stimmen
----------------------	----	---------

<b>H.-J. Rost</b>	21	Stimmen
-------------------	----	---------

<b>E. Meissner</b>	20	Stimmen
--------------------	----	---------

<b>F. Kießling</b>	1	Stimme
--------------------	---	--------

<b>K. Gradwohl</b>	1	Stimme
--------------------	---	--------

<b>S. Wurmehl</b>	1	Stimme
-------------------	---	--------

Gewählt wurden **F. Ritter**, **T. Sorgenfrei**, **H.-J. Rost** und **E. Meissner**.

Alle gewählten Kassenprüfer hatten zuvor mitgeteilt, dass sie die Wahl annehmen werden.

Der Wahlleiter M. Bickermann dankt den Helfern für die Unterstützung bei den Wahldurchführungen.

**TOP 9 Wahl der Preiskommission für 6 Jahre (01.02.2019 - 31.01.2025 )**

<b>M. Neubert,</b>
--------------------

<b>M. Heuken,</b>
-------------------

<b>O. Pätzold,</b>
--------------------

<b>St. Ganschow</b>
---------------------

wurden in offener Abstimmung ohne Gegenstimmen und 3 Enthaltungen gewählt.

da ein Jahr Vorlauf für die Planung einer Tagung zu kurzfristig ist und die Verträge bereits abgeschlossen sein müssen.

**TOP 12 Deutsche Kristallzüchtungstagung 2021**

Nachfolgend erfolgt eine vorbereitende Diskussion zur DKT 2021. M. Bickermann schlägt vor, dass die DKT 2021 in Berlin stattfinden sollte. Es wird hierzu ein Meinungsbild eingeholt; diese bestätigt einstimmig Berlin als Tagungsort für 2021. J. Friedrich stellt fest, dass die Teilnehmerzahl der DKT wieder rückläufig ist, man muss wieder attraktiver werden und auch die Arbeitskreise noch stärker einbinden. Wichtig ist es auch die jungen Wissenschaftler zur DKT zu bringen.

**TOP 13 Ehrenmitglieder (Vorschläge und Abstimmung)**

W. Miller erläutert den Paragraphen 4 der Satzung zur Thematik "Ehrenmitglieder", in dem es unter (2) heißt: "Zu Ehrenmitgliedern können Personen vorgeschlagen werden, die sich um die Kristallzüchtung oder die DGKK in hervorragender Weise verdient gemacht haben."

Er schlägt im Namen des Vorstandes: "Prof. K. Kakimoto" als Ehrenmitglied vor, welcher sich international um die Kristallzüchtung sehr verdient gemacht hat, Mitglied der DGKK ist und der der DGKK sehr verbunden ist.

Es ergibt sich zunächst eine Diskussion über den Sinn einer Ehrenmitgliedschaft an sich und mögliche Auswahlkriterien im Allgemeinen. Es wird bemerkt, dass prinzipiell weitere DGKK-

Mitglieder für eine Ehrenmitgliedschaft in Frage kommen. Die anwesenden Mitglieder sehen hier den Vorstand in der Pflicht, einen "Kriterienkatalog" für eine Ehrenmitgliedschaft zu erstellen und auf Basis dieser Kriterien zu zukünftigen Vorschlägen für Ehrenmitglieder zu kommen. Der Vorstand wird beauftragt, den "Kriterienkatalog" und Vorschläge für Ehrenmitglieder bis zur Mitgliederversammlung 2020 zu erarbeiten und dort vorzulegen.

Nach dieser Grundsatzausprache wird über den vom Vorstand eingebrachten **Vorschlag von K. Kakimoto** als Ehrenmitglied abgestimmt. Der Vorschlag wurde **mit 15 von 26 Stimmen bei 3 Gegenstimmen und 8 Enthaltungen** angenommen.

### TOP 9 Berichte zu den DGKK – Arbeitskreisen

#### *Epitaxie von III/V – Halbleitern:*

M. Heuken berichtet über die Aktivitäten des Arbeitskreises, dieser traf sich im Dezember 2018 mit ca. 100 Teilnehmern in Paderborn. Auf dem Treffen stellte GaN einen Schwerpunkt dar. Er erwähnte, dass auch die Industrieausstellung sehr gelungen war.

Der nächste Arbeitskreis wird in Dresden vom 05.12. bis 06.12.2019 stattfinden.

#### *Arbeitskreis Massive Verbindungshalbleiter:*

J. Friedrich berichtet über den letzten Arbeitskreis, der in Erlangen Mitte Oktober mit ca. 30 Teilnehmern stattfand. Es waren weniger Teilnehmer als in den letzten Jahren, dieses war aber auch zum Teil durch Terminüberschneidungen bedingt. Das nächste Treffen findet vom 09.10. bis 10.10.2019 in Berlin statt.

#### *Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelation:*

A. Erb berichtet vom letzten Treffen in München mit ca. 40 Teilnehmern. Das nächste Treffen ist vom 10.10. bis 11.10.2019 in Augsburg geplant.

#### *Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik:*

M. Bickermann berichtet stellvertretend vom letzten Treffen des Arbeitskreises in Idar-Oberstein (13.09.-14.09.2018). 2019 ist wieder ein gemeinsamer Workshop mit den französischen Kollegen geplant, dieser findet im Zeitraum 19.09. bis 20.09.2019 in Lyon statt. Im nächsten Jahr 2020 soll dann das Treffen wieder in Deutschland stattfinden.

#### *Industrielle Kristallzüchtung:*

G. Meisterernst teilt mit, dass auch 2018 kein Treffen des Arbeitskreises stattgefunden hat und durch die berufliche Veränderung zweier Kollegen des Organisationsteams auch 2019 der Arbeitskreis ruhen wird und es geplant ist, im Jahr 2020 wieder ein Treffen des Arbeitskreises zu organisieren.

#### *Junge DGKK:*

Das Treffen der jDGKK findet in diesem Jahr erstmalig nicht im Zusammenhang mit der DKT, sondern in Kooperation mit der JDGK vom 19.09. bis 20.09.2019 in Köln statt.

### TOP 10 Verschiedenes

Zu diesem Tagesordnungspunkt gibt es keine Wortmeldungen.

W. Miller schließt um 20 Uhr die Mitgliederversammlung und bedankt sich bei allen Anwesenden.

Christiane Frank-Rotsch	Wolfram Miller
Schriftführerin der DGKK	1. Vorsitzender

## Mitglieder 2019, erste Jahreshälfte

Wir begrüßen seit dem 17.01.2019 als neue Mitglieder (Stand 30.06.2019):

### Neumitglieder / Privatpersonen:

Frau Iryna Buchovska	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin
Frau Saskia Mihalic	Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg
Herr MSc Sebastian Gruner	Fraunhofer IISB /THM, Freiberg

## DGKK-Nachrichten

### Kristallwachstums-Experten aus ganz Deutschland zu Gast in Paderborn

Donat J. As, Universität Paderborn

103 Teilnehmer waren am 6. und 7. Dezember 2018 im Rahmen eines Workshops der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) - Sektion Epitaxie von Gruppe III-Verbindungshalbleitern an der Universität Paderborn zu Gast, um über neueste Entwicklungen im Bereich der Epitaxie von Gruppe III-Verbindungshalbleitern zu diskutieren. Diese Epitaxieverfahren, die vor allem in der Halbleitertechnologie von großer Bedeutung sind, erlaubt die Herstellung dünner Schichten mit Genauigkeiten bis unter einer Atomlage. Neben ihrer Bedeutung in der Technologie sind diese Methoden besonders auch in der Grundlagenforschung wichtig, da sich damit Materialien und Schichtsysteme mit höchster Reinheit herstellen lassen. Da eine dieser Methoden - die Molekularstrahlepitaxie - in Paderborn intensiv betrieben wird, unter anderem im Rahmen des SFB-TRR 142 in den Gruppen von Prof. Donat J. As, Prof. Dirk Reuter und Prof. Cedrik Meier, bot der Workshop eine willkommene Gelegenheit zur Vernetzung und zum wissenschaftlichen Austausch mit nationalen und internationalen Experten. Das wissenschaftliche Programm bestand aus 3 eingeladenen Vorträgen (Prof. Dr. A. Waag, „3D GaN architectures: a potential platform for „per-

fect“ GaN?“), Prof. Dr. M. Eickhoff „Group III nitride nanowires and nanophotonic probes for chemical and biochemical surface processes“ und Prof. M. Kneissl „Advances in AlGaIn materials for deep UV light emitting diodes“ und 40 beitragenden Vorträgen, die sich um Gruppe III- Nitride, Gruppe III-Arsenide und - Phosphide, Simulation und neue Technologien, Bauelementen, UV-LEDs und Epitaxie auf Si drehen. Darüber hinaus wurden Laborführungen durchgeführt, bei der die Teilnehmer die Gelegenheit hatten, im Labor vor Ort Know-How auszutauschen. Begleitend fand eine sehr gut besuchte Firmenausstellung mit 16 nationalen und internationalen Ausstellern statt, die aktuell Produkte und Trends im Bereich Epitaxie zeigten. Abgerundet wurde das Programm von einem Konferenzdinner im „Schützenhof“, wo Diskussion und Netzwerkbildung in angenehmer Atmosphäre fortgesetzt werden konnten. Die Veranstalter, Prof. Dr. Donat J. As, Prof. Dr. Cedrik Meier und Prof. Dr. Dirk Reuter bedanken sich bei allen Beteiligten für ihr Engagement. Im kommenden Jahr findet der Workshop an der Technischen Universität Dresden statt.



Fig. 1: Die Teilnehmer des Arbeitskreis-Meetings.

## Halbleiter aus der Fränkischen Schweiz

### Öffentliches Kolloquium zur Leistungselektronik beleuchtet Technikgeschichte

**Die ganze Computertechnik kommt aus dem Silicon Valley? Mitnichten! Was hierzulande kaum jemand weiß - wichtige Grundlagen und Erfindungen von heute noch weltweiter Bedeutung wurden lange vor Intel und Co. in der Nachkriegszeit in einem alten Schloss in dem idyllischen kleinen Dorf Pretzfeld in der Fränkischen Schweiz gemacht. Hier wurde mit Pionierleistungen in der Halbleiterforschung Technikgeschichte geschrieben.**

Nach dem zweiten Weltkrieg war die Firma Siemens auf der Suche nach neuen Standorten statt des zerstörten Berlin. Bereits 1944 war der berühmte Physiker Walter Schottky mit seiner Familie von Berlin nach Pretzfeld umgezogen. Dies war mit einer der Gründe für die Gründung des Siemens-Labors im Schloss Pretzfeld 1946 unter der Leitung von Eberhard Spenke. Es war ein Glücksfall, dass mit Schottky und Spenke - ergänzt durch Heinrich Welker in Erlangen - gleich mehrere Physiker von Weltrang in der Region zusammenkamen. Dank ihnen erlangte die deutsche Halbleiterforschung in den 1950er Jahren Weltgeltung. Die Zeit 1946-56 war hier ein Jahrzehnt stürmischer Entwicklung.

Zentrale Entwicklungen aus Pretzfeld umfassen das heute weltweit verwendete und als Siemens-Prozess bekannte Verfahren zur Gewinnung von Reinstsilizium oder die Präsentation des ersten Silizium-Leistungsgleichrichters im Jahr 1956. Anfang der 1950er Jahre wurden verschiedene Materialien bezüglich ihrer Eignung für Halbleiterbauelemente untersucht, darunter auch Germanium. Allerdings war Germanium nicht für höhere Temperaturen geeignet. Siemens - Pretzfeld setzten - goldrichtig - auf Silizium, das dann seinen Siegeszug antrat.

Bis in die 1980er Jahre wurde in Pretzfeld Forschung und Entwicklung für die Leistungselektronik betrieben. 1990 wurde das Siemens-Labor mit den Halbleiteraktivitäten der Firma AEG unter dem Namen eupec zusammengelegt. Erst 2002 wurde der Standort aufgegeben. Heute erinnert nur noch die Walter-Schottky-Straße in Pretzfeld an die High-Tech-Vergangenheit des im Jahr 1145 erstmals urkundlich erwähnten Schlosses. Die in Pretzfeld begründeten Technologien stecken heute in jedem Smartphone, Laptop oder Fernseher, ebenso in jeder Solaranlage und in modernen Stromnetzen. Eine Energiewende wäre ohne diese Grundlagen nicht möglich.

Dieses fast vergessene Kapitel der Technikgeschichte wurde am 29. April 2019 im Rahmen des öffentlichen Leistungselektronik-Kolloquiums von Fraunhofer IISB, Cluster Leistungselektronik und Leistungszentrum Elektroniksysteme (LZE) präsentiert. Der frühere FAU-Professor Georg Müller und der ehemalige Pretzfeld-Mitarbeiter Alfred Porst informierten in ihren Vorträgen anschaulich über die Geschichte des Pretzfelder Halbleiterlabors, die technologischen Entwicklungen zu Halbleitermaterialien und Leistungselektronik und die besondere, von Kollegialität und Aufbruchsstimmung geprägte Arbeitsatmosphäre im Schloss in dieser Zeit. Zahlreiche Zeitzeugen und ehemalige Mitarbeiter und Kooperationspartner des Pretzfelder Labors ließen es sich trotz teilweise weiter Anreise nicht nehmen, zu der Veranstaltung zu kommen und beim anschließenden Zusammensein in Erinnerungen zu schweifen.



Fig. 1: Georg Müller informierte anschaulich über die Geschichte des Pretzfelder Halbleiterlabors ©Kurt Fuchs /Fraunhofer IISB



Fig. 2: Der Hörsaal war mit knapp 200 Zuhörern gut gefüllt, darunter zahlreiche Zeitzeugen und ehemalige Mitarbeiter und Kooperationspartner des Pretzfelder Labors ©Kurt Fuchs /Fraunhofer IISB

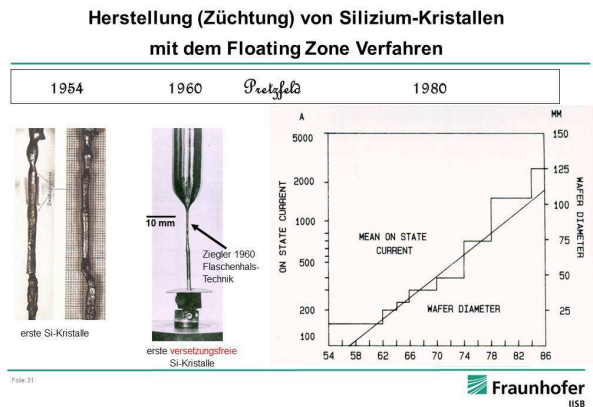


Fig. 3: In Pretzfeld wurde von Herrn Reimer Emeis 1954 das Floating Zone-Verfahren erfunden. ©Kurt Fuchs /Fraunhofer IISB

**Ansprechpartner:** Dr. Jochen Friedrich  
Fraunhofer IISB, Schottkystr. 10, 91058 Erlangen, Germany

## Quantenmagnetometer für industrielle Applikationen

**Presseinformation vom 01.04.2019: Fraunhofer-Leitprojekt zur Quantentechnologie in Freiburg gestartet**  
**Am 1. April 2019 startet die Fraunhofer-Gesellschaft das Leitprojekt "Quantenmagnetometrie" (QMag): Die Freiburger Fraunhofer-Institute IAF, IPM und IWM wollen die Quantenmagnetometrie aus dem universitären Forschungsumfeld in konkrete industrielle Anwendungen überführen. Im Schulterchluss mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten (IMM, IISB und CAP) entwickelt das Forscherteam hochintegrierte und bildgebende Quantenmagnetometer mit höchster Ortsauflösung und optimierter Empfindlichkeit.**

Das Leitprojekt QMag ermöglicht die Nutzung einzelner Elektronen zum Nachweis kleinster Magnetfelder. Dadurch können Magnetometer industriell eingesetzt werden, beispielsweise bei der Fehleranalyse nanoelektronischer Schaltungen, zum Nachweis verdeckter Materialrisse oder zur Realisierung besonders kompakter Kernspintomographen. "Unsere Leitprojekte setzen wichtige strategische Schwerpunkte, um konkrete technologische Lösungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland zu entwickeln. Mit QMag entsteht zurzeit ein Fraunhofer-Leuchtturm im Bereich der Quantentechnologien. Das ambitionierte Ziel der beteiligten exzellenten Forscherinnen und Forscher ist es, die Technik signifikant weiterzuentwickeln und künftig international zu definieren. Auf diese Weise können die revolutionären Neuerungen der Quantenmagnetometrie langfristig in einsatzfähige Industrieanwendungen überführt werden", erklärt Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer.

Das Projekt QMag läuft bis 2024 und wird mit insgesamt 10 Mio. Euro zu gleichen Teilen von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Land Baden-Württemberg gefördert. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF, das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM und das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM bilden das Kernteam des QMag-Konsortiums. "Die Kombination der beteiligten Projektpartner ist ein herausragendes Alleinstellungsmerkmal von QMag. Damit wird Freiburg zum führenden Forschungsstandort für industriell eingesetzte Quantensensoren - nicht nur in Baden-Württemberg, sondern in ganz Deutschland", sagt Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut. Das Fraunhofer IAF übernimmt die Gesamtkoordination des Leitprojekts.

### Von der klassischen zur Quantenmagnetometrie

Die Magnetometrie hat grundsätzlich zwei Ziele: Magnetfelder hochpräzise und auf kleinster Skala zu messen. Magnetometer werden schon lange intensiv genutzt – sei es als Kompass zum Nachweis des Erdmagnetfelds, für geologische Untersuchungen oder zur Analyse der nanostrukturierten Magnetschichten in Computer-Festplatten für die Datenspeicherung. In der wissenschaftlichen und technischen Nutzung von Magnetfeldern gab es in den letzten Jahrzehnten vielfältige Durchbrüche, allerdings stellt die Detektion kleinster Magnetfelder mit höchster Ortsauflösung bei Raumtemperatur bis heute eine große wissenschaftliche Herausforderung dar.

Die bislang verfügbaren Magnetsensoren sind für den industriellen Einsatz nur bedingt geeignet, da ihr Betrieb mit hohen Kosten und technischem Aufwand, wie etwa einer extremen Kühlung, verbunden ist. Insbesondere für den bildgebenden Nachweis der Felder, die durch wenige bewegte Elektronen hervorgerufen werden, sind die bestehenden Magnetfeldsensoren bei Raumtemperatur nicht sensitiv genug oder besitzen nicht die benötigte Ortsauflösung.

### Zwei komplementäre Systeme

Das QMag-Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, die Quantenmagnetometrie aus dem Labor in die Anwendung zu bringen und in der Industrie nutzbar zu machen. Dafür entwickeln die Fraunhofer-Institute zwei komplementäre Magnetometer, die kleinste magnetische Felder und Ströme mit höchster räumlicher Auflösung beziehungsweise höchster magnetischer Empfindlichkeit bei Raumtemperatur messen können.

Konkret verfolgen die Projektpartner die Demonstration und Testung von zwei Systemen, die auf den gleichen physikalischen Messprinzipien und -methoden beruhen, jedoch unterschiedliche Anwendungen ansteuern: Zum einen soll ein bildgebendes Rastersonden-Quantenmagnetometer auf Basis von NV-Zentren in Diamant präziseste Messungen von nanoelektronischen Schaltungen ermöglichen. Zum anderen werden Mess-Systeme auf Basis von höchstsensitiven optisch gepumpten Magnetometern ("OPMs") für Anwendungen in der Materialprüfung und Prozessanalytik realisiert.

### Nanoskalige Magnetometrie auf Basis von NV-Zentren

Ein Rastersonden-Quantenmagnetometer kann Magnetfelder mit höchster räumlicher Auflösung bei Raumtemperatur messen. Dabei werden einzelne atomare Fehlstellenkomplexe in Diamantkristallen zur Realisierung kleinstmöglicher Tastmagnete genutzt. Als zentrales Element fungiert ein Stickstoff-Vakanz-Zentrum ("NV-Zentrum") in Diamant. Ein NV-Zentrum entsteht, wenn in Diamant zwei benachbarte Kohlenstoff-Atome entfernt werden und eines durch ein Stickstoffatom ersetzt wird, wodurch in die Leerstelle des anderen das überschüssige Elektron des Stickstoffatoms hineinfällt. Dieses Elektron besitzt ein magnetisches Moment, welches nach seiner Orientierung als Tastmagnet für das nachzuweisende magnetische Feld genutzt werden kann.

Im Rahmen von QMag wird in der nanoskaligen Spitze eines Messkopfs aus Diamant ein NV-Zentrum platziert. Wird diese Sensorspitze in einem Rastersondenmikroskop über

eine Probe bewegt, können lokale Magnetfelder mit sehr hoher räumlicher Auflösung bildgebend dargestellt werden. So kann die Stromverteilung in nanoelektronischen Schaltungen sichtbar gemacht werden, da jeder noch so kleine elektrische Strom ein Magnetfeld erzeugt, das mit Hilfe der Quantenmagnetometer sichtbar gemacht wird.

„Unser Ziel ist es, Quantenmagnetometer zu entwickeln, die aufgrund ihrer herausragenden sensorischen Eigenschaften, ihrer kompakten Bauweise und ihrer Betriebsweise neuartige industrielle Applikationen ermöglichen und insbesondere die Entwicklung von komplexen elektronischen Systemen erleichtern werden“, sagt Prof. Dr. Oliver Ambacher, Projektkoordinator und Institutsleiter des Fraunhofer IAF

### OPMs für die chemische Analytik und Materialprüfung

Das zweite in QMag verfolgte Sensorsystem nutzt die Magnetfeldabhängigkeit elektronischer Übergänge in Alkali-Atomen: Optisch gepumpte Magnetometer („OPMs“) sind eine Klasse von Sensoren, die zur Messung extrem schwacher Magnetfelder eingesetzt werden. Ebenso wie NV-Zentren brauchen OPMs keine extreme Kühlung und eignen sich damit für den industriellen Einsatz. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in QMag liegt auf der Entwicklung kompletter Mess-Systeme auf der Basis verfügbarer Magnetometer-Prototypen.

In OPMs werden die Alkali-Atome in der Gasphase mit Hilfe eines zirkular polarisierten Laserstrahls so präpariert, dass ihre magnetischen Momente alle die gleiche Orientierung haben. Im zu messenden Magnetfeld erfahren die magnetischen Momente dann eine synchrone Kreisbewegung, die über die Absorption eines Laserstrahls geeigneter Wellenlänge messbar ist. Die Messung kann mit so hoher Genauigkeit durchgeführt werden, dass sogar noch Magnetfelder bis hinunter zu Femto-Tesla detektierbar sind – etwa so klein sind die Felder, die menschliche Hirnströme beim Denken erzeugen. Dank ihrer Empfindlichkeit können OPMs auch als Detektoren für kernmagnetische Resonanzsignale („nuclear magnetic resonance“ – NMR) eingesetzt werden. „Aufbauend auf den verfügbaren Einzelsensor-Prototypen entwickeln wir in QMag komplette Mess-Systeme, mit denen neue Anwendungsszenarien vor allem im Bereich der Niederfeld-NMR für die chemische Analytik und für Materialuntersuchungen erschlossen werden“, erklärt Prof. Dr. Karsten Buse, Institutsleiter des Fraunhofer IPM.

Ebenso sollen Demonstratoren für Schlüsselanwendungen aus der Werkstoffmechanik realisiert werden. Die magnetische Detektion mechanischer Mikrorisse ist als hoch empfindliches Werkzeug der Werkstoffcharakterisierung und Bauteilprüfung ein hoch relevantes Anwendungsfeld. „Durch ihre hohe Empfindlichkeit auch bei niedrigen Frequenzen und bei Raumtemperatur eröffnen OPM-Sensoren ganz neue Anwendungsmöglichkeiten für die Werkstoffprüfung. So können mikroskopische Werkstoffdefekte anhand von magnetischen

Streifeldsignalen zerstörungsfrei gemessen werden“, hebt Prof. Dr. Peter Gumbsch, Institutsleiter des Fraunhofer IWM hervor.

Neben dem Kernteam steuern drei weitere Fraunhofer-Institute ihre wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen für die Entwicklung der quantentechnologischen Kernkomponenten bei. Komplettiert wird das Konsortium durch die akademische Expertise von Prof. Dr. Jörg Wrachtrup (Universität Stuttgart) auf dem Gebiet der diamantbasierten Quantentechnologien sowie von Prof. Dr. Svenja Knappe (Universität Freiburg in Kooperation mit der University of Colorado Boulder) auf dem Gebiet der Atomgasmagnetometrie.



Fig. 1: Am 1. April 2019 startet die Fraunhofer-Gesellschaft das Leitprojekt „QMag“ mit dem Ziel Quantenmagnetometer für konkrete industrielle Anwendungen zu entwickeln. ©Fraunhofer IAF

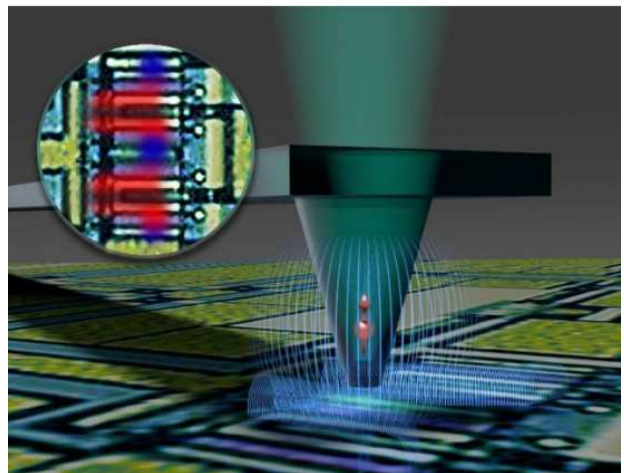


Fig. 2: Schematische Darstellung eines Rastersonden-Quantenmagnetometers mit einer NV-Diamantspitze, die Ströme einer nanoelektronischen Schaltung bildgebend nachweist. ©Fraunhofer IAF

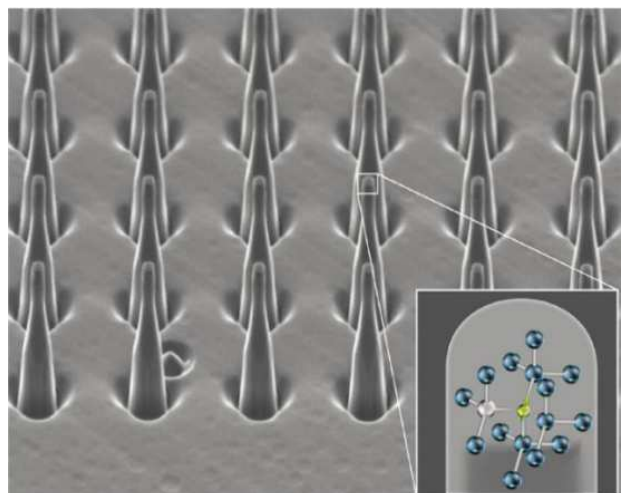


Fig. 3: Strukturierte einkristalline Diamantspitzen. Grafik: Atomare Struktur eines NV-Zentrums in Diamant. ©Fraunhofer IAF

### Die Projektpartner und ihre Aufgaben

Das **Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF** entwickelt ein bildgebendes Rastersonden-Quantenmagnetometer auf Basis von NV-Zentren in Diamant, das Magnetfelder mit höchster räumlicher Auflösung und magnetischer Empfindlichkeit bei Raumtemperatur messen wird.

Das **Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM** koordiniert die Entwicklung von OPM-Mess-Systemen, mit denen neue Anwendungen vor allem im Bereich der Niederfeld-NMR für die Prozessanalytik und Werkstoffprüfung erschlossen werden.

Das **Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM** unterstützt mit theoretischen Modellen und Methoden die experimentellen Anstrengungen der Projektpartner dabei, Quantenmagnetometer mit neuartigen Funktionalitäten zu realisieren.

Das **Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM** ist verantwortlich für die Herstellung und Charak-

terisierung magnetischer Nanopartikel, die an NV-haltigen Diamantspitzen angebracht als Verstärker für die angestrebten Quantenmagnetometer fungieren sollen.

Das **Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB** ist zuständig für die Erzeugung von NV-Zentren in Diamant durch die Schaffung von Kohlenstoffvakanz und Einbringung von Stickstoff-Atomen.

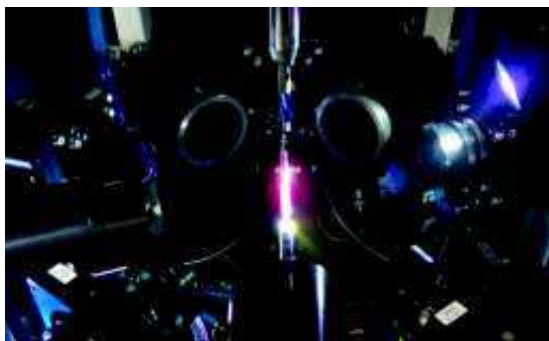
Das **Fraunhofer Centre for Applied Photonics CAP** entwickelt Diamantmikrooptiken und Wellenleiter, welche sich dazu eignen, NV-Zentren zu adressieren und nutzt optische Charakterisierungsmethoden zur Bewertung der Eignung von NV-Zentren für die Magnetometrie.

#### Redaktion:

**Dr. Anne-Julie Maurer**

Fraunhofer IAF, Tullastr. 72, 79108 Freiburg, Germany  
Tel. +49 761 5159-282 | anne-julie.maurer@iaf.fraunhofer.de  
www.iaf.fraunhofer.de

## Innovativer Schmelzzonenofen mit Diodenlaser für die Kristallzucht



### Die ideale Lösung auch für schwierig zu erzeugende Kristalle

- Geeignet für Temperaturen bis zu 3.000 °C
- Exzellente Homogenität der eingestrahlten Energie
- Strahlprofile sind für die Kristallzucht optimiert
- Temperaturmessung und Steuerung in Echtzeit



$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$



Rubin,  $T_m \sim 2072 \text{ °C}$



$\text{SmB}_6$ ,  $T_m \sim 2345 \text{ °C}$



YIG,  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$

LOT-QuantumDesign GmbH, Ihr Ansprechpartner ist Dr. Marc Kunzmann

☎ +49 6151 8806-46, ✉ kunzmann@lot-qd.de

www.lot-qd.de



## 10 Jahre SciDre - 10 Jahre Partnerschaft: Wissenschaftstechnologie überzeugt durch ihre Qualität

Das Dresdener DGKK-Firmenmitglied Scientific Instruments Dresden GmbH (SciDre) feierte im Mai sein 10-jähriges Jubiläum. Seit ihrer Gründung versteht sich die nun nicht mehr so junge Firma als Partner der Wissenschaft. Das mittlerweile 15-köpfige Team entwickelt und vermarktet Geräte und Technologien für den Einsatz in physikalischer Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Naturwissenschaft mit einzigartigen Alleinstellungsmerkmalen. Die Konstruktion richtet sich nach den Anforderungen und Vorgaben der Wissenschaftler.

Ein Schwerpunkt seit der Gründung sind individuell konfigurierte optische Floating-Zone-Kristallzuchtanlagen, die Gasdrücke bis 300 bar während der Züchtung ermöglichen. Damit lassen sich Einkristalle unter präzise einstellbaren Atmosphären und extremen Druck- und Temperaturbedingungen herstellen.

### Alles für den Kristall

Aufbauend auf der Erfahrung im Bereich hoher Gasdrücke und hoher Temperaturen entwickelt SciDre kontinuierlich innovative Forschungsgeräte zur Vorbereitung und Durchführung von wissenschaftlichen Kristallzuchtungen. Laser-Zonenschmelzanlagen, Bridgman- und Czochralski-Anlagen sowie spezielle Öfen für die Kristallzucht aus Schmelzlösungen werden mit den jeweiligen kundenspezifischen Anpassungen entwickelt und angeboten. Hinzu kommen Schwebeschmelzanlagen und Hochdruck-Sinteröfen zur Vor- und

Nachbereitung von Kristallzuchtungsexperimenten.

### Technologietransfer

In enger Kooperation mit Universitäten und außeruniversitären Instituten vermarktet SciDre auch wissenschaftliche Geräte und Technologien, die in den Forschungseinrichtungen bereits entwickelt und dort erfolgreich genutzt werden. Öffentliche Forschungsinstitute sind so in der Lage, Marktinteresse an selbst entwickelten Technologien zu bedienen.

### Gebündelte Kompetenzen unter einem Dach

Eine Besonderheit von SciDre ist die Kontrolle der gesamten Wertschöpfungskette: von der ersten Idee und der Anbahnung von Kooperationsprojekten erfolgt die komplette Planung, Konstruktion, Fertigung und Montage im Haus. Auch die gesamte Elektronik- und Softwareentwicklung sowie Marketing und der Kundenservice werden durch eigene Mitarbeiter durchgeführt. Neben den innovativen Konstruktionen liegt das Augenmerk auf schneller und präziser Fertigung. Moderne CNC-Maschinen und hochqualifizierte Mitarbeiter stellen die benötigten Teile in bester Qualität her. Der direkte Zugriff auf die hauseigene "Campuswerkstatt" beschleunigt den Fertigungsprozess erheblich und ermöglicht die notwendige Flexibilität bei der Durchführung der unterschiedlichen Entwicklungsvorhaben.

Pressekontakt:

Annette Lindackers [a.lindackers@scidre.de](mailto:a.lindackers@scidre.de)

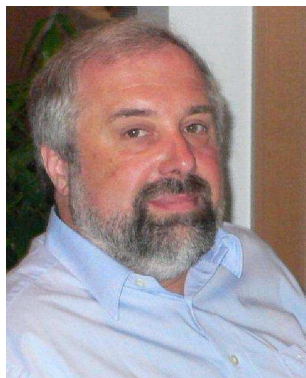


Die SciDre GmbH feierte in diesem Mai das 10-jährige Bestehen.

## DGKK-Personen

### Prof. Dr. Manfred Mühlberg zum 70. Geburtstag

Peter Rudolph (Berlin) und Ladislav Bohatý (Köln)



Herr Professor Dr. Manfred Mühlberg feierte in diesem Jahr am 08. März seinen 70. Geburtstag. Dazu nachträglich unser allerherzlichster Glückwunsch! Er kann auf ein bisheriges interessantes wissenschaftliches Leben als berufener und beliebter Hochschullehrer für Kristallographie sowie begabter Kristallzüchter zurückblicken, der

zudem einen wichtigen Anteil für die Wirksamkeit und Weiterentwicklung der DGKK leistete. Von 2002 bis 2011 war er in deren Vorstand als Schatzmeister tätig, wobei er in dieser Funktion nicht nur tadellos die DGKK-Financen betreute, sondern auch stets ausgewogene Meinungen und kluge Verbesserungsvorschläge beisteuerte. Ihm lag immer viel daran, ein enges Zusammenwirken der DGKK mit der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie (DGK) zu etablieren, ja vielleicht sogar über eine zukünftige Vereinigung nachzudenken. Das belebte nicht nur im Vorstand sondern auch auf den DGKK-Tagungen stets die Diskussionen, umso mehr, da in heutiger Zeit zahlreiche andere nationale Kristallzüchtungsvereine rückläufige Mitgliederzahlen beklagen. Nun, in Deutschland ist dies noch nicht der Fall, wovon auch die jahrelange konstante Mitgliederzahl um 400 und nicht zuletzt der hohe Stand der industriellen Kristallzüchtung sowie die bisherige berechnete Akzeptanz der DGKK zeugen. Andererseits ist Manfred Mühlbergs Standpunkt hierzu allzu gut nachvollziehbar, da all sein wissenschaftliches Leben von einer sehr engen Verknüpfung zwischen Kristallzüchtung und tiefgründigen kristallographischen Voraussetzungen dazu geprägt ist, wie es im Folgenden etwas verdichtet dargestellt wird.

Manfred Mühlberg wurde 1949 in Bitterfeld geboren und verbrachte auch dort seine frühe Kindheit. Ist es Zufall, dass die Keimbildung seines besonderen geologischen Interesses auf die langjährige Historie des Kohlebergbaus dieser Region zurückgeht (1839 wurde hier die Grube Auguste aufgeschlossen)? Der alsbaldige Umzug mit seinen Eltern nach Berlin führte ihn 1967 zum Abitur im Stadtbezirk Treptow. Und wie es in der DDR Vorschrift war, musste gleichzeitig eine Berufsausbildung abgeschlossen werden, die er als Elektrosignalschlosser bei der Deutschen Reichsbahn erfolgreich bewältigte. Noch im gleichen Jahr begann er ein Geologiestudium an der Bergakademie in Freiberg in Sachsen – der bis heute ältesten noch bestehenden montanwissenschaftlichen Bildungseinrichtung der Welt. Große Namen sind mit

dieser Universität als Studenten und Professoren verbunden, wie Alexander v. Humboldt (Begründer der Geographie), Ch. S. Weiß (einer der Begründer der geometrischen Kristallographie), Abraham G. Werner (Begründer der Geognosie), Clemens A. Winkler (Entdecker des Germaniums), ... Heute kann man eine der schönsten und lehrreichsten Mineralienausstellungen, die "Terra Mineralia" im Freiburger Schloss Freudenstein, besuchen, von der auch Manfred Mühlberg immer wieder schwärmt und sich stets als ein ausgezeichnete Wegbegleiter durch diese einmalige Ausstellung erweist. Mit dem Ziel, seine zunehmende Neigung zur Kristallographie akademisch zu vertiefen, wechselte er 1970 zum Kristallographiestudium an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB), welches er 1974 als Diplom-Kristallograph abschloss. Dieser Fachbereich an der damaligen Sektion Physik der HUB, hervorgegangen aus dem ehemaligen Mineralogisch-Petrographischen Institut, wurde von 1953 bis 1970 vom renommierten Kristallographieprofessor Will Kleber geleitet. Er erkannte frühzeitig die Bedeutung der Kristallzüchtung für die angewandte Kristallographie und wurde 1963 erster Vorsitzender der Unterkommission "Kristallzüchtung" innerhalb der deutschen Akademie der Wissenschaften. Nach seinem Tode wurde Ausbildung und Forschung dieses Bereiches maßgeblich von Prof. H.-J. Bausch und Dr. L. Ickert geprägt. Letzterer setzte sich besonders für eine moderne technologische Ausrichtung von Forschung und Lehre auf die Kristallzüchtung ein. So konzipierte er z.B. gemeinsam mit Dr. P. Rudolph ein Gerätesystem für Kristallzüchtung, das es ermöglichte, Bauteile aus industriellen Massenprodukten, die für andere Zwecke angewendet wurden, wie z.B. der Vakuum- und Armaturentechnik, Werkzeugmechanik und Elektronik, preiswert und schnell zu Kristallzüchtungsanlagen zusammenzufügen. Dies erwies sich wie geschaffen bei den damaligen bescheidenen technischen Voraussetzungen der DDR sowie für eine rasche Umsetzung in der studentischen Ausbildung. Manfred Mühlberg, der in diesem Konzept von Anfang an konstruktiv und bewerkstellend mitwirkte, verfasste seine Diplomarbeit zum Thema *Aufbau und Entwicklung des Bridgman-Verfahrens für die Züchtung von IV-VI-Halbleitern (PbTe, Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te)*, die zu dieser Zeit aufhorchen ließ. Warum? Nun, die Entwicklungen zur massiven Kristallzüchtung konzentrierten sich damals international und national vorrangig auf die Ausreifung der Czochralskimethode. Von Metz et al. sowie Mullin et al. wurde Anfang der 60-er die Liquid-Encapsulated-Czochralski-Technik (LEC) entwickelt, die auf Jahre hinaus als das industrielle Verfahren zur Züchtung der wichtigsten Verbindungshalbleiter, wie GaAs, InP, GaP galt. Manfred Mühlberg studierte wissbegierig die Arbeiten von Bridgman und Stockbarger sowie nachfolgende

Entwicklungen zur gerichteten Kristallisation in Containern und vertrat in vielen Seminaren deren aussichtsreiche Zukunft. Er sollte Recht behalten, denn mit der internationalen Verbesserung der Tiegelmaterialeien, Heizsysteme und Einführung der Computersteuerung erfuhr Anfang der 90-er Jahre die Bridgman-Technik und insbesondere das Vertical Gradient Freezing (VGF) eine unwiderrufliche Renaissance mit industriellem Durchbruch.

In den folgenden Jahren bis zu seiner Berufung als Professor nach Köln im Jahre 1993 war er als wissenschaftlicher Assistent am Bereich Kristallographie der HUB tätig, der nach der Wiedervereinigung ab 1990 zum Institut für Kristallographie und Materialforschung innerhalb der Sektion/des Fachbereichs Physik der HUB umbenannt wurde. Während dieser Zeit promovierte Manfred Mühlberg 1978 zum Dr. rer. nat. Seine Promotionsarbeit trug den Titel: *Kristallzüchtung und Charakterisierung von Kristalldefekten in Pb-Chalkogeniden*. Im Jahre 1990 folgte die Verteidigung seiner Habilitationsschrift über materialwissenschaftliche Voraussetzungen und technologische Möglichkeiten der Kristallzüchtung von Verbindungshalbleitern, wofür er den akademischen Grad eines Dr. sc. nat. verliehen bekam. In den 80-er Jahren hatte er entscheidenden Anteil an der Entwicklung der Synthese, Kristallzüchtung und Charakterisierung von II-VI-Halbleitern, wie CdTe,  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  und  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ . Bis heute gelten die gemeinsam mit seinen Mitarbeitern abgefassten Publikationen zu diesen wichtigen Detektormaterialien als international anerkannte Bezugsdokumente. Er erinnert sich immer wieder gern an das damalige hochkreative und besonders kooperative Team, das sich zu einer einfügsamen gegenseitig ergänzenden Forschergemeinschaft entwickelt hatte.

Manfred Mühlberg war schon frühzeitig ein geschätzter Lehrer, Vortragender und sorgfältiger Forscher. Jede Aufgabe durchdenkt er sehr gewissenhaft bevor er sie praktisch umsetzt. Dabei helfen ihm sehr seine kristallographischen Grundkenntnisse, die er zudem den stets Anerkennung zollenden Studenten vermittelte. Noch heute wird er von der studentischen Gruppe "seines" Studienjahres an der HUB, die er bis zum Diplom betreute, zu gemeinsamen Treffen eingeladen. Nicht zu vergessen sind seine Vorträge auf den zwischen 1977 und 1990 im Dreijahresrhythmus durchgeführten Winterschulen des Arbeitskreises "Kristallisation" der Vereinigung für Kristallographie (VFK). Das galt übrigens auch für seine beschwingten Resümees am Schulungsende, in denen er die eine oder andere Stilblüte aus den Vorlesungen verwendete. Zum 1. April 1993 wurde Manfred Mühlberg als Professor in der Nachfolge von Josef Liebertz an das Institut für Kristallographie der Universität zu Köln berufen. Zeitgleich übernahm dort auch Ladislav Bohatý die Nachfolge von Siegfried Haussühl. Gemeinsam gestalteten sie das durch die Schwerpunkte Kristallphysik und Kristallzüchtung geprägte Kölner Institut die nächsten mehr als 20 Jahre. In Köln wandte sich Herr Mühlberg den oxidischen Verbindungen mit besonderer

Berücksichtigung polarer Kristalle zu, einer für ihn neuen Substanzklasse, und erweiterte damit sein wissenschaftliches Forschungsfeld wesentlich.

Es galt zuerst, das Züchtungslaboratorium mit den notwendigen neuen Anlagen einzurichten: Eine kommerzielle Czochralski-Anlage wurde angeschafft und gemeinsam mit seinem langjährigen Mitarbeiter Dr. Manfred Burianek eine Serie von selbstgebauten Anlagen für Züchtung aus Schmelzen und Schmelzlösungen nach der TSG- und TSSG-Technik entwickelt und realisiert. Mit diesem apparativen Arsenal wurde eine Reihe von Kristallen erfolgreich in Angriff genommen. Besonders herausragend sind darunter die spannende und kristallzüchterisch sehr schwierige Gruppe der im Strukturtyp der tetragonalen Bronzen kristallisierenden ferroelektrischen Niobate  $K_3Li_2Nb_5O_{15}$  und das  $Ca_xBa_{1-x}Nb_2O_6$  (CBN) sowie die zahlreichen im Rahmen eines Verbundprojektes gezüchteten Mullit-ähnlichen Bismutoxide  $Bi_2Me_4O_9$  ( $Me = Ga, Al, Fe, Mn$ ). In den beiden genannten Projekten galt das Interesse auch und in besonderem Masse der Züchtbarkeit und Züchtung von Mischkristallen mit allen damit einhergehenden experimentellen Herausforderungen. Konsequenterweise engagierte sich Herr Mühlberg langjährig als Leiter des DGKK-Arbeitskreises *Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik*, in dem die Oxidkristallzüchtung einen wichtigen Schwerpunkt einnimmt.

Über einen längeren Zeitraum wurde in seiner Gruppe die Problematik der Präzipitation und Morphologiebeeinflussung carbonatischer  $CaCO_3 / MgCO_3$  - Mikrokristallite bearbeitet. Dieses angewandte orientierte Projekt verdeutlicht, dass Herr Mühlberg nicht nur an wissenschaftlichen Fragestellungen der Züchtung und der Defekte großer Einkristalle interessiert ist, sondern dass ihn alle Facetten des Forschungsfeldes Kristallwachstum / Kristallzüchtung reizen.

In jährlichem Wechsel mit L. Bohatý übernahm er jeweils die administrativen Aufgaben des Kölner Institutes für Kristallographie als geschäftsführender Direktor und beteiligte sich engagiert auch an anderen Aufgaben der akademischen Selbstverwaltung an der Universität zu Köln, so fungierte er beispielsweise wiederholt als Vorsitzender der Fachgruppe Geowissenschaften.

In der Lehre hielt er u.a. Vorlesungen zur Polarisationsmikroskopie, zu mathematischen Methoden in der Kristallographie, zu Defekten in kristallinen Materialien und zu Grundlagen und Methoden der Kristallzüchtung.

Aber, bis heute ist er dem Gebiet der Geologie hobbymäßig treu geblieben. Gemeinsame Wanderungen mit ihm entlang der Rügener Küsten haben immer etwas mit einer Schatzgrube und Erweiterung des Wissens zur Erdgeschichte zu tun. Darüber hinaus besitzt er enorme astronomische Kenntnisse, die er auch mit seinem Fernrohr wieder und wieder erweitert. Lieber Manfred Mühlberg, bleib gesund und auch der DGKK weiterhin treu. Bis zum nächsten Wiedersehen!

## DGKK-Nachwuchs

### Nora Wolff: Züchtung von Delafossit-Substratkristallen

Dietmar Siche, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

Nora Wolff vom Leibniz-Institut für Kristallzüchtung hat am 09.04.2019 an der TU Berlin ihre Dissertation zu obigem Thema mit Magna cum Laude verteidigt. Nach nur drei Jahren und wenige Wochen vor ihrem 28. Geburtstag, ist sie damit die schnellste und jüngste Absolventin, die das IKZ je hatte.

In den letzten Jahren ist die Oxidelektronik auf der Basis halbleitender transparenter Materialien ein viel bearbeiteter Forschungsschwerpunkt geworden. Ähnlich wie bei den nichtoxidischen Halbleitern mit breiter Bandlücke ist die p-Leitung problematisch. Schwach gekrümmte Valenzbänder bedingen inhärent niedrige Löcherbeweglichkeiten. Das Delafossit  $\text{CuAlO}_2$  (hier die hexagonale Form mit der Raumgruppe  $P63/mmc$ ) ist eines der wenigen bekannten p-Typ-Materialien. Es hat zwar eine hohe Transparenz, aber eine sehr begrenzte elektrische Leitfähigkeit. Bisher wurde es überwiegend feinkristallin gesputtert. Streuung an Korngrenzen könnte die Löcherbeweglichkeiten zusätzlich verringert haben. Aus einem von Gadalla und White [1] bereits 1964 publizierten Phasendiagramm ergab sich zwischen dem Peritektikum und dem Eutektikum ein Züchtungsfenster von  $\Delta T = 108 \text{ K} / 5 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$ . Damit sollte eine Züchtung aus der Schmelzlösung möglich sein und als Ziel der Arbeit wurde die Entwicklung von  $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$  großen, p-Typ  $\text{CuAlO}_2$ -Einkristallen hoher Perfektion formuliert, die als Epitaxiesubstrate geeignet sind. Merkwürdig war nur, das bisher weltweit nur wenige Millimeter große Kristallite entstanden. Und das 1964er Diagramm war in entscheidenden Bereichen mit einer unterbrochenen Linie gezeichnet, was auf Ungenauigkeiten mangels exakter Messungen hindeutet. Daher wurde zunächst das  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Cu}_2\text{O}$ - $\text{CuO}$ -Phasendiagramm erkundet, um die Löslichkeit und Wachstumsrate von  $\text{CuAlO}_2$  abzuschätzen.

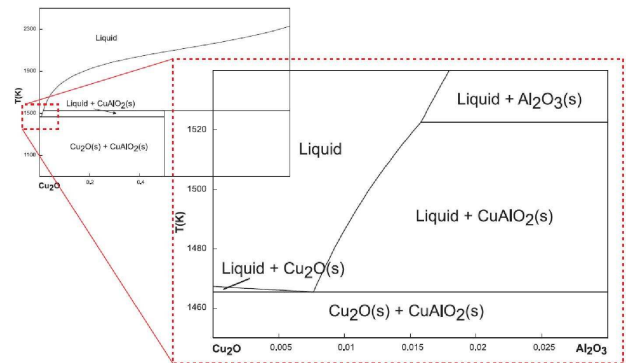


Abb. 1: Pseudobinäres  $\text{Cu}_2\text{O}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Phasendiagramm für  $p_{\text{O}_2} = 0.21 \text{ bar}$  mit einem vergrößerten Ausschnitt des  $\text{CuAlO}_2$ -Liquidusbereiches.

Wesentlich ist auch die Kontrolle der Cu-Valenz. Zu geringer Sauerstoffpartialdruck  $p_{\text{O}_2}$  reduziert das  $\text{Cu}_2\text{O}$  zu elementarem Cu, das mit dem Platin des Tiegels legiert und ihn zerstört. Zu hoher  $p_{\text{O}_2}$  oxidiert das  $\text{Cu}_2\text{O}$  zu  $\text{CuO}$  und statt Delafossit entsteht der  $\text{CuAl}_2\text{O}_4$ -Spinell. Die Präparation der Ausgangsmaterialien und die Eignung von Substraten waren weitere Arbeitsschwerpunkte. Frau Wolffs umfangreiche DTA/TG-Messungen haben zu einem viel genaueren Phasendiagramm geführt. Der vergrößerte Ausschnitt in Abb. 1 zeigt, dass der für die Züchtung wichtige Bereich mit  $\Delta T = 60 \text{ K} / 1 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$  deutlich kleiner ist, als 1964 publiziert wurde. Insbesondere erschwert der um den Faktor 5 geringere  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Konzentrationsbereich das Züchten größerer Kristalle. Mit nur 1.5 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in der  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Schmelzzone und dem Eutektikum bei 0.8 mol% beträgt die Ausbeute (Hebelgesetz) nur 1.4 % des gelösten Materials. Außerdem erfordert die geringe Konzentration Abkühlraten  $dT/dt < 0.5 \text{ K/h}$  bzw. Ziehraten  $R < 0.5 \text{ mm/h}$  und damit langzeitstabile Tiegel.

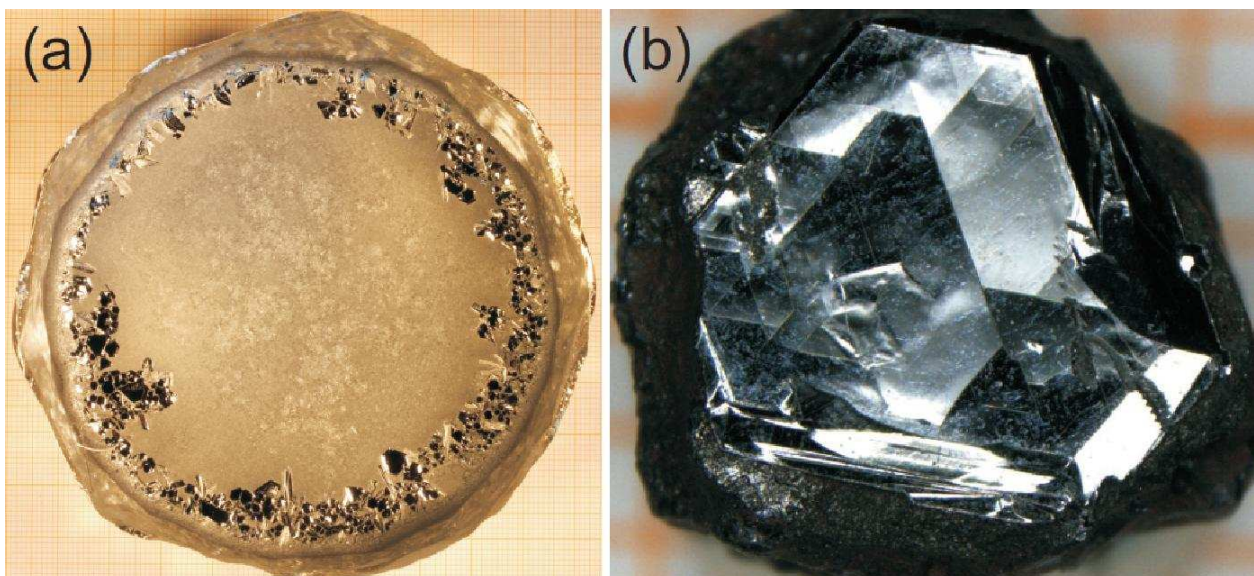


Abb. 2:  $\text{CuAlO}_2$ -Kristalle auf der erstarrten Schmelzlösung im Pt-Tiegel (a) und ein ausgebohrter Kristall mit Rissen (b).

Bei der Untersuchung des Einflusses verschiedener Züchtungsatmosphären, Sauerstoff in Argon, reaktives CO<sub>2</sub> und Luft auf das Cu<sub>2</sub>O-Cu-CuO - Phasengleichgewicht, war das CuAlO<sub>2</sub> an Luft (0,21 bar O<sub>2</sub>) dominant. Da bei der richtigen Materialzusammensetzung bereits in den kleinen DTA/TG-Tiegeln (h = 1 cm, Ø = 0.6 cm) nach dem Kühlen mit 180 K/h winzige Kristallite entstanden, wurden Vorversuche im Muffelofen durchgeführt. Im großen Pt-Tiegel (h = 4 cm, Ø = 7 cm) wurden 1.5 mol-% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Cu<sub>2</sub>O eingewogen, auf ca. 1250°C geheizt, wie bei der DTA/TG 3 h gehalten, aber mit einer geringeren Rate von 20 K/h abgekühlt. Die einkristallinen Plättchen (s. Abb. 2) waren mit 5×5 mm<sup>2</sup> zwar größer als alle bisher publizierten, zeigten aber eine deutliche, durch die verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten verursachte Rissbildung.

Damit war klar, dass die Separation von Kristallen und Schmelze notwendig ist. Mit Diffraktogrammen der Röntgenpulveranalyse von Kristallen und Schmelzmatrix sowie Laue-Aufnahme des Kristalls in (00.1)-Orientierung (6-zählige Symmetrie der hexagonalen Struktur) wurde nachgewiesen, dass es sich um CuAlO<sub>2</sub> handelt.

Da anfangs am IKZ noch keine tiegelfreie Optische Float Zone (OFZ) - Anlage verfügbar war, wurde zunächst mit der Top Seeded Solution Growth (TSSG) Methode in einer induktiv beheizten Cz-Anlage mit einem Saphirkeim aus der Schmelzlösung gezogen. Zwar wurde der Kristall in situ von der Schmelze separiert, aber das Feld koppelte vorrangig nahe der Tiegelwand in das immer vorhandene elementare Cu ein, was zur lokalen Überhitzung, sich selbst verstärkenden Cu-Bildung und schließlich zur Tiegelzerstörung führte. In anschließenden Versuchen in einer widerstandsbeheizten TSSG - Anlage konnten Pt-Tiegel mit Wanddicken < 1 mm über mehrere Tage stabil gehalten werden. Die maximal erreichbare Temperatur von ca. 1320°C war zum Aufschmelzen der Ausgangspulvermischung ausreichend, aber es verdampfte zu viel Cu<sub>2</sub>O, die Schmelztemperatur stieg, auf der Schmelzoberfläche entstand eine Kruste und das Wachstum am Saphirkeim wurde verhindert (s. Abb. 3). Die RFA - Analyse zeigte keine deutlichen Wachstumsbereiche. Sie ergab aber, dass ein erheblicher Anteil Platin eingebaut wurde. Auch wenn der Tiegel scheinbar stabil bleibt, wird offensichtlich mehr Platin in der Schmelze gelöst als zunächst vermutet. Das kann die Wachstumsrichtung der Kristalle nach [00.1] stören.



Abb. 3: TSSG - Boule nach 7 Tagen Züchtungsdauer mit gekühltem Saphirkeim.

Beim Züchten mit der OFZ stellte sich schnell heraus, dass man jetzt das Problem der Tiegelstabilität mit dem der Zonenstabilität getauscht hatte. Durch die geringen Unterschiede in der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Konzentration im Vorratsstab und in der Lösungszone kann die Zone schnell überhitzen. Beim Schmelzen steigt die Lichtabsorption, verstärkte Cu<sub>2</sub>O - Verdampfung erhöht die Schmelztemperatur, die Schmelzzone friert ein und es kann zum Versuchsabbruch kommen. Die wirksame Lampenleistung müsste in situ über Blenden verringert werden. Damit die Schmelzzone den Vorratsstab wenig infiltriert, ist es wichtig im Stab eine hohe Sinterdichte zu erreichen. Unsere präparierten CuAlO<sub>2</sub> - Stäbe hatten lediglich eine Dichte von 60% und so wurde versucht, durch ein Wiederverwenden des Keim- und Vorratsstabes einen verdichteten Bereich zu erzeugen. Für die Schmelzzone wurde ein neues Pellet verwendet. Problematisch ist, dass die Stäbe dadurch nicht mehr homogen sind. Es gelang jedoch auf diese Weise die Schmelzzone bis zu 2 Tage stabil zu halten. Aufgrund des kleinen Züchtungsbereiches wurden die Stäbe mit 0,2-0,1 mm/h durch die Schmelzzone gefahren. Dabei war, wie oben erwähnt, nach dem Aufschmelzen die Leistung zu senken. Die Abb. 4a zeigt das Material am Keimstab und den zugehörigen Vorratsstab nach 2 Tagen Züchtungsdauer. Auf den ersten Blick sind keine einkristallinen Bereiche erkennbar. Beim Vorratsstab ist ein Bereich mit kleinerem Durchmesser zu sehen. An dieser Stelle hat sich im Verlauf der Züchtung eine zweite Schmelzzone gebildet. Der Grund dafür liegt in der inhomogenen Zusammensetzung aufgrund des Aufsaugens der Schmelzzone. Eine langzeitstabile Züchtung war mit diesen Stäben nicht möglich. Im Querschnittsschliff des unteren Stabes erkennt man deutlich, wie stark die Schmelze in den Keimstab infiltriert ist (Abb. 4b). Der gezüchtete Bereich setzt sich aus Kristalliten und einer Matrixstruktur zusammen. Ein Elementscan mittels Röntgenfluoreszenz zeigt, dass es sich bei den Kristalliten um CuAlO<sub>2</sub> handelt. Die Matrix besteht lediglich aus Kupferoxid.

Zur Erweiterung des Züchtungsbereiches wurde in der letzten Projektphase, durch Hinzufügen von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, zum ternären System gewechselt. Die Züchtung von CuAl<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>2</sub> - Mischkristallen schien wegen des tieferen Schmelzpunktes, der höheren Stabsinterdichte (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wirkt als Sinterhilfe) sowie

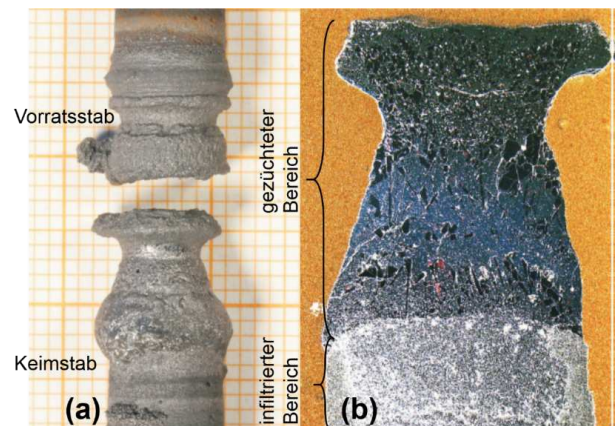


Abb. 4: Vorrats- und Keimstab nach 2 Tagen in der OFZ (a) und Querschnitt des Keimstabes (b).

des größeren Züchtungsbereiches sogar ohne Lösungszone pellet vielversprechend. Mit geringerer Ziehrate konnte zwar die Korngröße leicht erhöht werden, es kam allerdings zur Ausbildung weiterer Schmelzzonen. Das Aluminiumoxid kristallisiert wegen seines höheren Schmelzpunktes zuerst aus, die Schmelze wird eisenoxidreicher, die Schmelztemperatur sinkt, es kommt zum plötzlichen Auslaufen der Schmelzzone und anschließend musste erneut angeimpft werden. Vermutlich muss man doch ein Lösungszone pellet verwenden, aber die Probleme mit der Stabilität der Lösungszone lassen sich damit nur teilweise beseitigen. Daher sollte man in naher Zukunft kein Wachstum von Einkristallen in kommerziell relevanten Dimensionen erwarten.

## Transmission electron microscopic investigation of the growth of group III sesquioxides $\text{Ga}_2\text{O}_3$

Robert Schewski, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin

To slow down the climate change and keep the  $1.5^\circ\text{C}$  aim of the Paris agreement it is important to reduce  $\text{CO}_2$  emissions world wide. In 2016, in the European union a electricity production of 3255 TWh led to a  $\text{CO}_2$  emission of about 963 Mt. Power converters, witch transform voltage and current, are essential parts of our power grids and the correct function of our daily live devices. Modern power converters have efficiencies of 96% to 98%, while the rest of the energy is lost by Joule heating. An increase in efficiency of these converters could lead to a reduction in  $\text{CO}_2$  emission of almost 10 Mt. As a measurement how well a material is suited for power electronic application, usually the Baliga figure of merit (BFOM), estimating dc conduction losses and Huang's material figure of merit (HMFOM), incorporating dynamic switching losses are compared. In both figures of merit the electrical break down field ( $E_C$ ) is described as a function of the band gap  $E_G$ . With a wide bandgap of  $E_G = 4.7$  eV and the possibility of efficient doping with donor impurities (e.g: Si, Sn) to achieve a high conductivity,  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  has a BFOM factor 3 larger than GaN, factor 10 larger than 4H-SiC and factor 3400 larger than Si. In contrast to other wide band gap semiconductors in the field (e.g. SiC and GaN),  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  has the advantage that bulk single crystals with high structural perfection can be grown from the melt [2,3], at relatively low production costs. The availability of native substrates obtained from bulk  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  single crystals, enables homoepitaxial growth of thin layers, leading to improved device performance compared to heteroepitaxial growth. To exploit the full potential of this material a precise understanding of the elementary growth process is necessary. Since possible device application rely on thin layer growth, a deeper understanding requires the knowledge of the layer structure down to the atomic scale.

In this work the basic growth processes of epitaxial  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  films, were studied by means of transmission electron microscopy. In a first part the heteroepitaxial growth of thin layers of  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  on the (0001) plane of sapphire grown by molecular beam epitaxy (MBE), pulsed laser deposition (PLD) and

[1] A.M.M. Gadalla, J. White, Equilibrium Relationships in the System  $\text{CuO-Cu}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$ , Trans. Br. Ceram. Soc. 63 (1964) 39-62

[2] N. Wolff, D. Klimm, D. Siche, Thermodynamic investigations on the growth of  $\text{CuAlO}_2$  delafossite crystals, J. Solid State Chemistry 258 (2018) 495-500

[3] D. Klimm, M. Schmidt, N. Wolff, C. Guguschev, S. Ganschow, On melt solutions for the growth of  $\text{CaTiO}_3$  crystals, J. Crystal Growth 486 (2018) 117-121

[4] N. Wolff, D. Klimm, S. Ganschow, D. Siche, Thermodynamic investigations on ternary delafossite crystals, Cryst. Res. Technol. 2019, 1900036

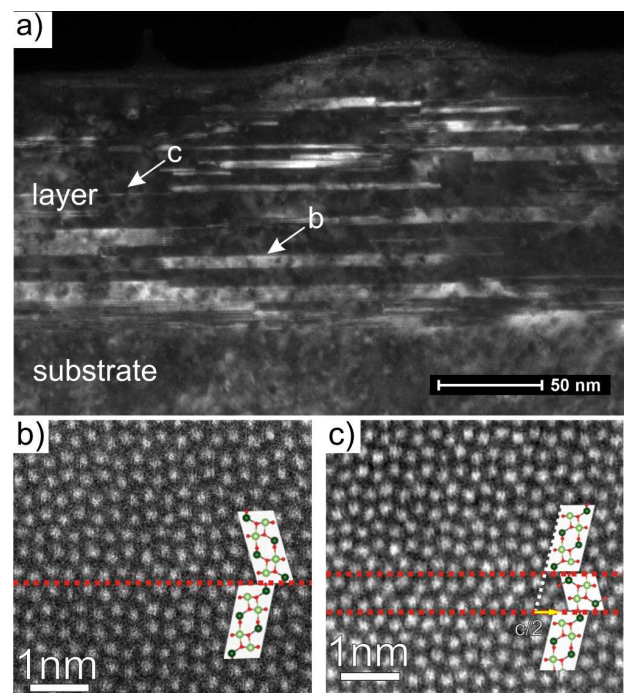


Fig. 1: a) Cross-sectional multi-beam dark field images of an homoepitaxial grown layer of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  projected along the [010] direction of the monoclinic lattice. In the bottom part the Substrate is visible. The homoepitaxial layer is characterized by a high amount of planar bright contrasts. b) & c) High resolution STEM HAADF images of the regions marked by b and c in fig. 1 a). Bright spots in these images correspond to Gallium columns while the oxygen columns produce no visible contrast because of the lower atomic number. As indicated by the superimposed structural models (green for Ga and red for O) the bright contrast in the dark field images is a result of twin lamellae wich can be described by a  $c/2$  glide refelction on the  $\mathbf{a}$ -plane of the monoclinic lattice. The smallest size in growth direction is just a half of the  $\mathbf{a}$ -lattice parameter. In case of non integer heights of the twin lamellae a shift of the lattice above and below the twin lamella of half a  $\mathbf{c}$ -lattice parameter is observed. From [1].

metal organic vapor phase epitaxy (MOVPE). In this case, independent of the growth method, formation of a 3 monolayer thick  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  layer, is observed. The stabilization of this metastable phase can be explained by the strain, as a result of the lattice mismatch between sapphire and  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Above the critical thickness of three monolayers, growth proceeds

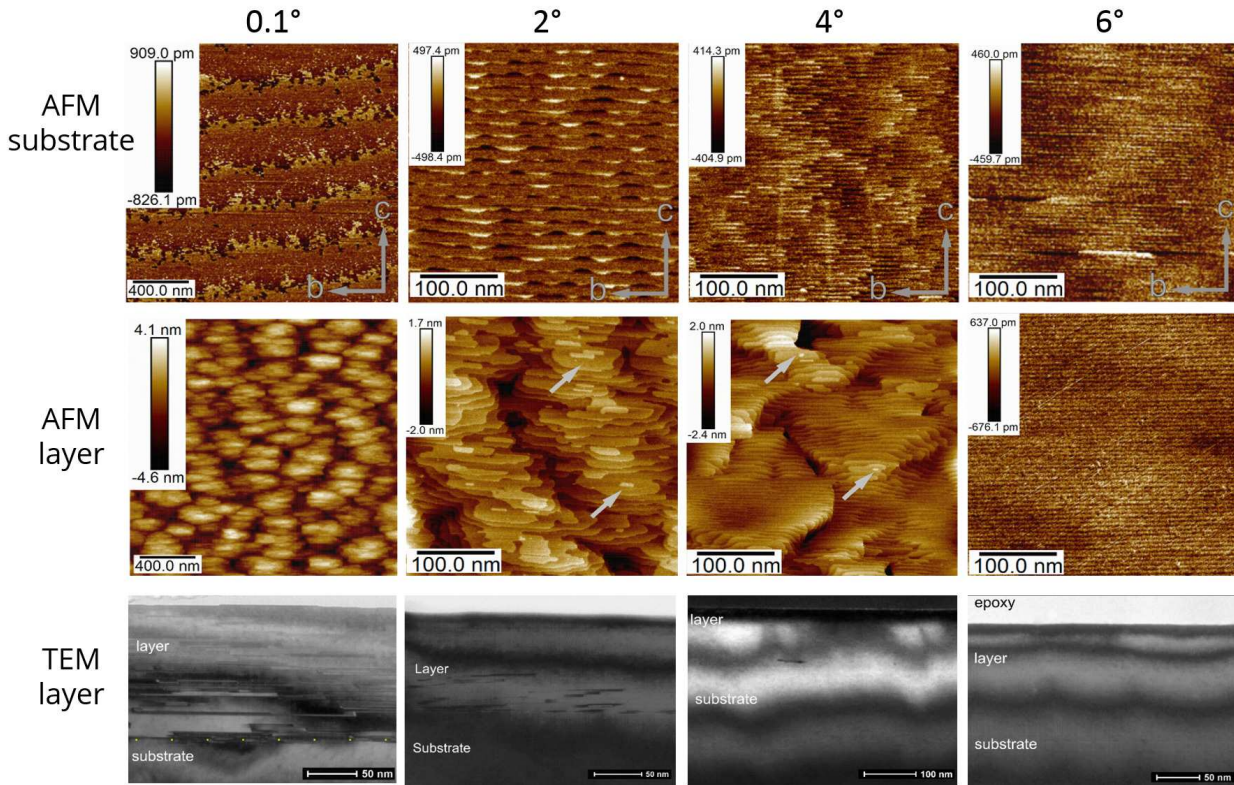


Fig. 2: AFM images of substrates with miscut-angles of 0.1°, 2°, 4°, and 6° towards **c** (upper row), the epitaxial grown layers on them (middle row) and the corresponding TEM bright field images (lower row). The substrate is characterized by equally spaced and regular arranged steps. The surface morphology undergoes a transition from 2D island growth to step-flow growth with increasing miscut-angle. The arrows indicate the presence of two-dimensional islands on the terraces. In the TEM bright field images dark lines parallel to the surface are twin lamella. For layers grown on substrates with increasing substrate miscut-angle the twin lamellae density reduces. From [1].

as relaxed textured  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  formed by rotational domains. Furthermore, the work focus on the homoepitaxial growth on the (100) plane by MOVPE. Beside the peculiarities of the layer growth dependence on different metal organic precursors and oxygen sources, the influence of typical growth parameters (i.e. growth temperature, growth-rate and chamber pressure) on the layer morphology, are discussed. One main aspect of the homoepitaxial growth is that the crystalline perfection of homoepitaxial layers grown by MOVPE on (100) oriented  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  substrates depends strongly on the miscut-angle of the substrates.

Fig. 1 a) shows a typical cross-sectional multibeam dark-field image of such a homoepitaxial layer grown on an substrate with no intentional miscut. The high amount of bright contrasts in the image are a result of structural defects. These defects are twin lamellae as can be seen in Fig. 1 b) & c). The twins can be described by a  $c/2$  glide reflection and have a minimal thickness in growth direction of just a half **a** lattice parameter. In general all layer grown on substrate with a small miscut-angle ( $< 2^\circ$  at a growth temperature  $< 850^\circ\text{C}$ ) show high amount of twin lamella. As shown by Fiedler et al. [4] these twin lamellae deteriorate the electrical properties of these layer, and thus needs to be suppressed for device grade material. As the formation mechanism of these twin lamella a possible double positioning mechanism of ad-atoms, on the (100) growth surface, in connection with a low surface diffusi-

on of ad-atoms, leading to a 2D island nucleation, was found. By introducing appropriate miscut-angles of the substrate it is possible to suppress the formation of these twin lamellae, and enable step flow growth.

Fig. 2 shows atomic force microscopy (AFM) images of the substrate surface with the surface normal tilted versus the [001] direction by miscut-angles of 0.1°, 2°, 4°, and 6° along with those of the surface of epitaxial layers grown on them. All substrate surfaces prior to growth exhibit straight well aligned surface steps of half a unit cell height, independent of the respective miscut-angle. The as-grown surfaces of the sample with the lowest miscut-angle show the presence of three-dimensional islands. For miscut-angles of 2°, the surface is still characterized by stepped three-dimensional islands. The steps have a typical height of half unit cell along **a**. On the terraces, two-dimensional islands are visible (marked by arrows). For the sample with a miscut-angle of 4°, the overall surface morphology is characterized by extended surface steps. In areas where steps bunch and terraces with a width beyond 20 nm appear, two-dimensional islands are present. For a miscut-angle of 6° along the [001]-direction, regular steps are observed and there is no apparent difference in the surface structure of substrate and the grown epitaxial layers. Moreover, no signs of step bunching are visible despite the high miscut-angle.

By applying fundamental growth theory, in form of a rate

equation approach, describing the competing processes of incorporation of ad-atoms at kink sites or nucleation and growth of two dimensional island, it is possible to quantitatively reproduce the experimentally observed twin lamella densities. Fig. 3 shows the experimental twin lamellae densities with the best fit values obtained by the rate equation approach. Furthermore it was possible to determine a effective surface diffusion coefficient of the ad-atoms, which is 2 orders of ma-

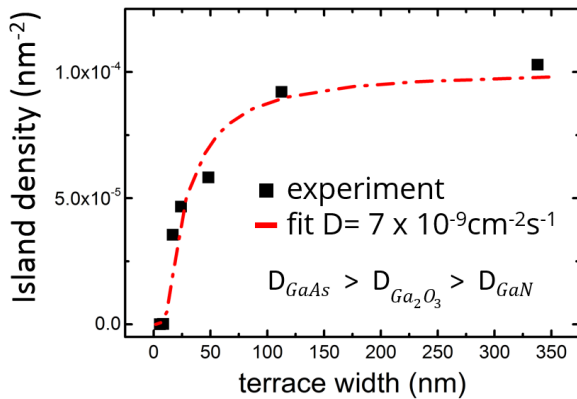


Fig. 3: Experimental nucleation densities per monolayer growth in dependence of the terrace width and the fitted curve to these experimental data for a diffusion constant of  $D \approx 7 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ . From [1].

gnitude lower (at 850°C) as in conventional semiconductors like GaAs [5].

The results of this thesis pave the way for the growth of device grade epitaxial layer grown on  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  substrates and thus may enable the development of next generation high power devices.

- [1] R. Schewski et al.: Evolution of planar defects during homoepitaxial growth of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  layers on (100) substrates-a quantitative model, J. of Appl. Phys. 120 (2016) 22, 225308
- [2] Z. Galazka et al.: On the bulk  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  single crystals grown by the Czochralski method, J. Crystal Growth 404 (2014), 184–191
- [3] H. Aida et al.: Growth of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  Single Crystals by the Edge-Defined, Film Fed Growth Method, Jap. J. Appl. Phys. 47 (2008) 11, 8506–8509
- [4] A. Fiedler et al.: Influence of incoherent twin boundaries on the electrical properties of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  layers homoepitaxially grown by metal-organic vapor phase epitaxy, J. Appl. Phys. 122 (2017) 16, 165701
- [5] T. Nishinaga and K.-Ik Cho: Theoretical Study of Mode Transition between 2d-Nucleation and Step Flow in MBE Growth of GaAs, Jap. J. Appl. Phys. 27 (1988) Part 2, No. 1, L12–L14

## 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](http://www.ibs-grafrath.de)



## 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.

### 1. Vorsitzender

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

### 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:

30. Juni 2019

ISSN 2193-374X (Druck)

ISSN 2193-3758 (Internet)

Gesetzt mit pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

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](http://www.dgkk.de)). Die Arbeit der Gesellschaft ist in Arbeitskreisen organisiert.

### 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: Prof. 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 SE, Dornkaulstr. 2, 52134 Herzogenrath  
 Tel.: (2407) 9030 154 Fax: (2407) 9030 125 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

- **19. – 20. September 2019**  
 DGKK-Arbeitskreistreffen "Kristalle für Laser und nichtlineare Optik"  
**Lyon, Frankreich**  
<https://www.afc.asso.fr/images/pdf/WODIL2019-Ger-final.pdf>
- **19. – 20. September 2019**  
 jDGKK "Junge DGKK"  
**Köln**
- **9. – 10. Oktober 2019**  
 DGKK-Arbeitskreistr. "Massive Halbleiterkristalle"  
**Berlin**
- **10. – 11. Oktober 2019**  
 DGKK-Arbeitskreistr. "Intermetallika"  
**Augsburg**
- **5. – 6. Dezember 2019**  
 DGKK-Arbeitskreistr. "Epitaxie von III-V-Halbleitern"  
**Dresden**  
<https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ihm/NEM/dgkk19>
- **9. – 13. Dezember 2019**  
 Winterschule 2019  
 Prof. Peter Rudolph: "Kristallzüchtung"  
**Berlin**, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung

### 2020

- **11. – 13. März 2020**  
 Deutsche Kristallzüchtungstagung DKT 2020,  
 u.a. Festveranstaltung zu "50 Jahre DGKK",  
**TU München, Garching**

# Feedback furnace

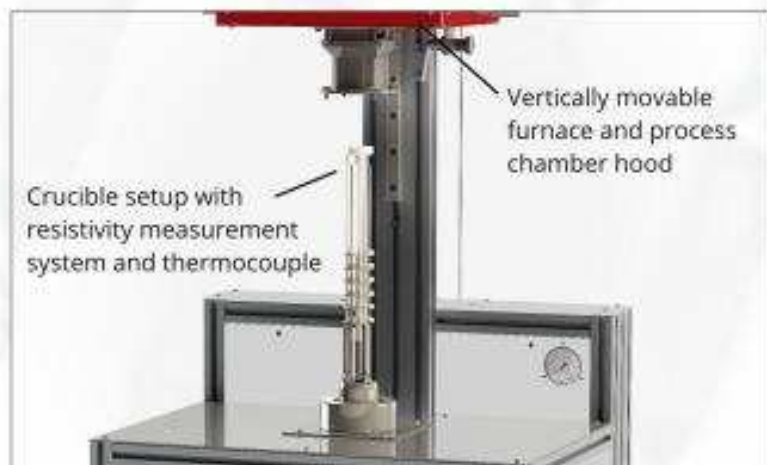
Novel equipment for flux crystal growth:  
Direct process control by in-situ detection of phase transitions

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

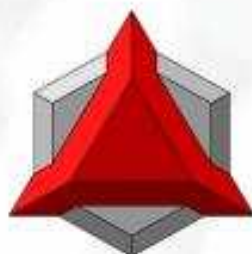
- Detect crystallization onset by latent heat monitoring directly from the solution
- Perform seed selection by temperature oscillation at the crystallization point
- Suppress supercooling and uncontrolled crystallization

Technical specifications in the standard configuration:

- Max. temperature: 1300 °C
- Max. crucible dimensions:  $d = 25 \text{ mm}$ ,  $h = 50 \text{ mm}$
- Precise sample temperature monitoring by lock-in amplified resistivity measurements AND thermocouples
- Automatic detection of temperature anomalies down to  $10^{-4} \text{ abs}(T)$
- 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

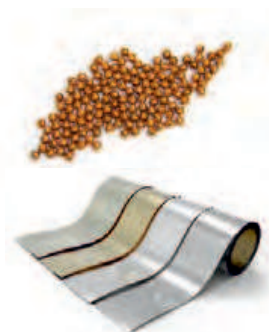
High Pure Metals and Inorganics  
Rare Earth Metals and Compounds  
Precious Metals and Compounds  
Organometallics  
Precious Metals Catalysts  
Sputtering Targets  
Evaporation Materials  
Laboratory Equipment  
Nanopowders  
Customized Synthesis



**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    Tel.: + 49 (0) 7 21 - 9 33 81 40  
D-76137 Karlsruhe    info@chempur.de

[www.chempur.de](http://www.chempur.de)