

# dgkk

ISSN 2193-3758

Mitteilungsblatt  
Nr. 111 / 2021



Deutsche Gesellschaft  
für Kristallwachstum und  
Kristallzüchtung e.V.



---

## Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende / Editorial	3
DGKK Nachrichten	7
DGKK Personen	13
DGKK Nachwuchs	18

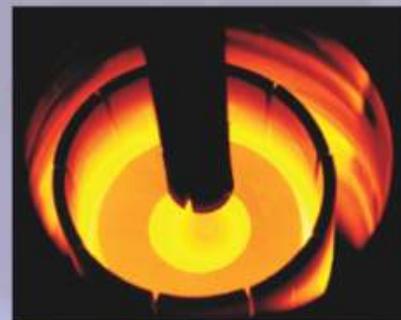
---

# SurfaceNet

## Crystals



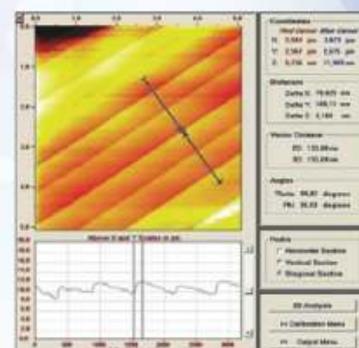
## Crystal Puller



## Wafers



## Analytical Services



## Substrates Custom Parts

## Sputter Targets PLD Targets Custom Crystal Growth

## SurfaceNet GmbH

Oskar-Schindler-Ring 7 · 48432 Rheine – Germany  
Telefon +49 (0)5971 4010179 · Fax +49 (0)5971 8995632  
sales@surfacenet.de · www.surfacenet.de

## Der Vorsitzende

### Liebe Kristallzüchterinnen und Kristallzüchter,

Licht am Ende des Tunnels! Die Vorbereitungen unserer Kolleginnen und Kollegen am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung in Berlin für unsere diesjährige Kristallzüchtungstagung im Oktober laufen auf Hochtouren, die Aussichten auf die lange vermisste Veranstaltung in Präsenz sind sehr gut und die Vorfreude ist gewaltig! Selbstverständlich wird wieder die wissenschaftliche Diskussion im Vordergrund stehen. Aber auch "lessons learnt" wird ein wichtiger Programmpunkt sein: Fragen der Digitalisierung wurden ja bereits unter Vorsitz von Wolfram Müller angestoßen. Die Pandemie hat uns nun drastisch vor Augen geführt, wie wichtig die Nutzung aller elektronischer Medien für die Forschung und namentlich der sozialen Medien für den wissenschaftlichen Austausch ist. Und dass sie genutzt werden können und müssen, um die persönlichen Kontakte aufzubauen und zu pflegen, auch ohne die Begegnungen in persona. Man muss nicht in eine Kristallkugel schauen um vorherzusagen, dass auch nach Überwindung der Pandemie die Kultur in der Wissenschaft eine andere sein wird und wir ein ausgewogenes Verhältnis von digitalen und Präsenzveranstaltungen finden müssen, das den speziellen Bedürfnissen unserer Gesellschaft angemessen ist, die ja so sehr von den persönlichen Kontakten und Erfahrungen lebt. Dies gilt auch für die Vernetzung mit ande-

ren wissenschaftlichen Vereinigungen wie z. B. der DGK oder BV-MatWerk, die mehr auf digitale Formate setzen. Für das Jahr 2022 planen auch wir zumindest eine virtuelle Mitgliederversammlung. Damit wir dann mit unseren Jahrestagungen wieder in den bewährten Frühjahrs-Rhythmus zurückfinden, hat der Vorstand beschlossen, unsere Kristallzüchtungstagung DKT-2022 in den März 2023 zu verschieben. Dies bietet sich an, da wir den längeren Abstand durch das Nachholen von Workshops unserer Arbeitskreise sowie mit der ECCG-7 im Juli 2022 sehr gut überbrücken können.

Lassen Sie mich an dieser Stelle bereits eine Ankündigung für die kommende Mitgliederversammlung mit den anstehenden Wahlen des Vorstands machen: Aus persönlichen Gründen werde ich noch dieses Jahr vorzeitig in den Ruhestand gehen und stehe deshalb in der Konsequenz für eine 2. Amtszeit als 1. Vorsitzender der Gesellschaft nicht mehr zur Verfügung. Selbstverständlich werde ich bis zum Ende meiner Amtszeit bis Ende des Jahres meiner Arbeit als Vorsitzender mit ganzer Kraft und Freude nachkommen! Ich freue mich auf Ihre zahlreichen Beiträge und vor allem das persönliche Wiedersehen auf der DKT-2021 in Berlin und wünsche Ihnen bis dahin alles Gute,

Andreas Danilewsky

## Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende .....	3	DFG-Projekt: EFRE Applikationslabor Oxidelektronik .....	12
Editorial .....	4	DGKK-Personen .....	13
Titelbild .....	4	P. Rudolph: A.A. Chernov zum 90. Geburtstag .....	13
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2021 .....	5	Jubilare .....	16
DGKK-Nachrichten .....	7	Mitglieder 2021, erste Jahreshälfte .....	16
LLZO-Kristalle für die Batterieforschung .....	7	M. Heuken: Nachruf auf Holger Jürgensen .....	17
Qubits .....	9	DGKK-Nachwuchs .....	18
III-V-Plättchen auf Silizium .....	11	Defect distribution in 4H-SiC .....	18
		Young Scientists Award .....	20
		Über die DGKK .....	22

## Editorial

### Verehrte Leserinnen und Leser,

da die Deutsche Kristallzüchtungstagung und die DGKK-Mitgliederversammlung auf den Oktober verlegt worden sind, finden Sie in dieser Ausgabe die Einladung zur Mitgliederversammlung. In den DGKK-Nachrichten geht es u.a. um Granatkristalle mit Perspektive zur Batterieforschung, und um ein DFG-gefördertes Projekt zu elektronischen Schaltprozessen in ferroelektrischen Schichten. Weiterhin wird über

eine Dissertation zum Siliciumcarbid sowie über "ausgezeichnete" Ergebnisse eines Doktoranden bei der Züchtung von Germanium-Einkristallen berichtet. Nicht zuletzt möchte ich Sie auf die Laudatio für Prof. A.A. Chernov anlässlich seines bevorstehenden 90. Geburtstages hinweisen. Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Klaus Böttcher

## Titelbild



Quelle: A.-A. Haghighirad, KIT Karlsruhe

$Ta_2NiSe_5$  is a famous candidate for excitonic insulators derived from the cooperatively condensed electron-hole bound state (excitons) between holes in the valence band and electrons in the conduction band.  $Ta_2NiSe_5$  possesses a similar crystal structure to that of  $Ta_2NiS_5$  having three sets of chain structures, and is expected to exhibit interesting electrical and optical properties with considerable in-plane anisotropy, which makes it potentially useful in functional electronic devices. Single crystals of  $Ta_2NiSe_5$  are grown by chemical vapour transport with iodine as the agent. The growth takes place in a zone-furnace in a fused silica ampule with a temperature gradient from  $925^\circ C$  to  $870^\circ C$  for 12 days. Single crystals of typical dimensions  $5\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 0.05\text{ mm}$  grow in the cooler end of the ampule. In the Figure, shiny thin dendrites of  $Ta_2NiSe_5$  are shown that solidified on the inner-wall of the fused silica ampule.

Literature: M. D. Watson, I. Marković, E. A. Morales, P. Le Fèvre, M. Merz, A. A. Haghighirad, and P. D. C. King, Phys. Rev. Research 2, 013236 (2020).

## Identification of Different Polymorphic Forms using Non-Destructive FT-IR Spectroscopy



- Unique Bruker FM technology
- MIR and FIR spectrum in one single scan
- Chemical identification and polymorphs differentiation in one measurement
- No exchange of any optical component

Contact us for more details  
[www.bruker.com/FT-IR-research](http://www.bruker.com/FT-IR-research)

Innovation with Integrity

### Please download our

- **Brochure:**  
Bruker FM



- **Application Note:**  
Differentiation of Polymorphs





**An alle Mitglieder**

**Schriftführerin**

Dr. Christiane Frank-Rotsch

Leibniz Institut für Kristallzüchtung

Max-Born-Str.2

D-12489 Berlin

Telefon (030) 6392 3031

Telefax (030) 6392 3003

Email [christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de](mailto:christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de)

16.06.2021

**Jahreshauptversammlung 2021**

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur ordentlichen Mitgliederversammlung (Jahreshauptversammlung 2021) ein, die anlässlich DKT 2021 in Berlin-Adlershof stattfindet.

Ort: **Max-Born-Saal  
Max-Born-Str. 2a  
12489 Berlin**

Zeit: **Mittwoch, 06.10.2021, 18:30 Uhr**

Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung und Feststellung der Beschlussfähigkeit
2. Bericht des Vorsitzenden
3. Bericht der Schriftführerin
4. Bericht des Schatzmeisters
5. Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Vorstandes
6. Planung für 2022
7. Wahl des Vorstandes für die Zeit vom 1.1.2022 - 31.12.2023
8. Wahl der Kassenprüfer für die Zeit vom 1.1.2022 - 31.12.2023
9. Ehrenmitglieder (Vorschläge und Abstimmung)
10. Deutsche Kristallzüchtungstagungen 2023 und 2024
11. Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2023
12. Berichte zu den DGKK – Arbeitskreisen
13. Verschiedenes

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

Wir möchten Sie bitten, Ihre Teilnahme an der Jahreshauptversammlung 2021 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen

Christiane Frank-Rotsch  
Schriftführerin DGKK

# SILTRONIC BIETET EFFIZIENTE WAFERLÖSUNGEN FÜR WELTWEITE INNOVATIONEN

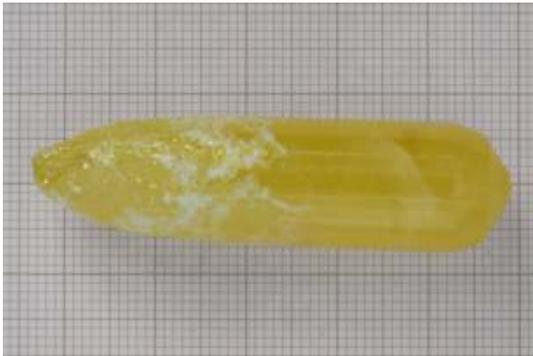
- Wir sind einer der Top 5–Hersteller von Siliziumwafern für die Halbleiterindustrie.
- Wir stehen für technologische Innovation, Qualität und Flexibilität.
- Wir sind in Ihrem Smartphone, Ihrem Auto oder auch Ihrem Laptop zu finden.
- Wir sind kompetenter Partner aller Top 20–Halbleiterhersteller.
- Wir besitzen ein Netzwerk von modernsten Fertigungslinien in Europa, Asien und Amerika.

## DGKK-Nachrichten

### LLZO-Kristalle für die Batterieforschung der Zukunft

News des IKZ, Berlin, 14.6.2021

**Das IKZ stellt Forschenden maßgeschneiderte Lithium-Lanthan-Zirconium-Oxid (LLZO)-Granatkristalle zur Verfügung, um das Potenzial von Lithium(Li)-Ionen-Batterien mit Festelektrolyten auszuloten. Diese Kristalle liefern wichtige Einblicke in den Ionentransport und die Degradationsmechanismen von Festelektrolyten und Li-Anodenbeschichtungen, die die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Haltbarkeit von Batterien der nächsten Generation erheblich verbessern können.**



Am IKZ gezüchteter Lithium-Lanthan-Zirconium-Oxid (LLZO)-Kristall. (Foto: IKZ)

Heutige Lithium-Ionen-Batterien entsprechen in Bezug auf Kapazität, Sicherheit (Auslaufen und Selbstentzündung), Zuverlässigkeit und Zyklusverschleiß noch nicht den Erwartungen. Deshalb wird die Verwendung von Li-Metallanoden und Festelektrolyten (alle Festkörper-Ionen-Batterien) oder festen ionenleitenden Beschichtungen, die die Anode vor einem flüssigen Elektrolyten abschirmen, ausführlich erforscht.

Unter den verschiedenen anorganischen Festelektrolyten ist  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  (LLZO) mit kubischer Granatstruktur die vielversprechendste Verbindung. Sie besitzt eine hohe Ionenleitfähigkeit und eine höhere (theoretisch vorhergesagte) spezifische Energie im Vergleich zu derzeit verwendeten Li-Ionen-Batterien.

Leider ist die kubische Phase von LLZO bei Raumtemperatur thermodynamisch nicht stabil. Sie kann jedoch stabilisiert werden, indem zwei- oder dreiwertige Ionen wie Gallium (3+) oder Aluminium (3+) in das Gitter eingeführt werden, die Lithium(+) ersetzen. Als Nebeneffekt bilden diese Ionen Li-Leerstellen, was auch zu einem besseren Ionentransport führt. Zudem kann Zirconium teilweise durch Tantal ersetzt werden. Um solches Materialdesign richtig beurteilen zu können, werden Einkristalle benötigt, die den Einfluss von Korngrenzen und anderen ausgedehnten strukturellen Defekten (z. B. Hohlräume) ausschließen und nur geringe chemische Inhomogenitäten und Variationen zwischen verschiedenen Proben aufweisen.

Am IKZ wurden LLZO-Einkristalle gezüchtet und die kubische Phase durch geeignete Dotierung stabilisiert. Die Züchtung erfolgte im Czochralski-Verfahren bei Temperaturen von etwa  $1400^\circ\text{C}$  in inerter Atmosphäre unter Verwendung von Iridium-Tiegeln. Ein Überschuss von 10% Lithiumoxid ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) wurde verwendet, um die Verdampfungsverluste von  $\text{Li}_2\text{O}$  während des Wachstums auszugleichen. Die Verdampfung führte auch zu einer erheblichen Oberflächendegradation des

oberen Teils des wachsenden Kristalls (Abb.), während das Innere weitgehend frei von größeren Strukturdefekten blieb. Die gewachsenen LLZO-Kristalle besitzen einen Durchmesser von etwa 15 mm und eine Länge von bis zu 40 mm, die Oberfläche des unteren Kristallbereichs ist glatt und glänzend. Diese in ihrer Zusammensetzung genau bestimmten Kristalle werden von unseren Kooperationspartnern verwendet, um die Eigenschaften "perfekter" LLZO-Materialien zu bestimmen [1-5]. Daraus können Empfehlungen für die Entwicklung von LLZO-Keramiken abgeleitet werden, die in kommerziellen Batterien der nächsten Generation Verwendung finden sollen.

Literatur:

- [1] G. Redhammer, M. Meven, S. Ganschow, G. Tippelt, D. Rettenwander, "Single-crystal neutron and X-ray diffraction study of garnet-type solid-state electrolyte  $\text{Li}_6\text{La}_3\text{ZrTaO}_{12}$ : an in situ temperature-dependence investigation ( $2.5 < T < 873$  K)", *Acta Cryst. B* 77 (2021) 123-130
- [2] G. Redhammer, P. Badami, M. Meven, S. Ganschow, S. Berendts, G. Tippelt, D. Rettenwander, "Wet-Environment-Induced Structural Alterations in Single- and Polycrystalline LLZTO Solid Electrolytes Studied by Diffraction Techniques", *ACS Appl. Mater. & Interfaces* 13 (2021) 350-359
- [3] F. Flatscher, M. Philipp, S. Ganschow, H. M. R. Wilkening, D. Rettenwander, "The natural critical current density limit for  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  garnets", *J. Mater. Chemistry A* 8 (2020) 15782-15788
- [4] M. Philipp, B. Gadermaier, P. Posch, I. Hanzu, S. Ganschow, M. Meven, D. Rettenwander, G. Redhammer, H. M. R. Wilkening, "The Electronic Conductivity of Single Crystalline Ga-Stabilized Cubic  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ : A Technologically Relevant Parameter for All-Solid-State Batteries", *Adv. Mater. Interfaces* 7 (2020) 2000450
- [5] P. Posch, S. Lunghammer, S. Berendts, S. Ganschow, G. Redhammer, A. Wilkening, M. Lerch, B. Gadermaier, D. Rettenwander, H. M. R. Wilkening, "Ion dynamics in Al-Stabilized  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  single crystals - Macroscopic transport and the elementary steps of ion hopping", *Energy Storage Mater.* 24 (2020) 220-228

Kontakt:

Prof. Matthias Bickermann  
Sektion Sektion Oxide & Fluoride  
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)  
Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin-Adlershof

## Smart solutions for a better future

- **Furnace Technology**  
Heaters, insulations,  
charging systems,  
crucibles
- **Epitaxy & MOCVD**  
Wafer carriers  
and platters
- **Energy Storage**  
Powder and  
bipolar plates
- **Chemical Industry**  
Heat exchangers,  
gaskets, sealings
- **Mechanical Engineering**  
Pumps, compressors,  
vessels
- **Automotive**  
Fuel and water pumps,  
sealings, gaskets
- **Industrial Applications**  
Molds, dies, EDM electrodes



# Graphite Specialties

SGL Carbon is a leading supplier of carbon and graphite based products for automotive, industrial and semi-conductor applications. We offer the broadest graphite portfolio by a full integration from feedstock production to engineering and customized services.

All our graphite products are well known throughout the industry for their high performance and lowest cost of ownership. We are qualified by major OEMs and enjoy a preferred supplier status at leading crystal growth companies, foundries and device producers.



SGL CARBON GmbH  
Soehnleinstrasse 18  
85201 Wiesbaden  
[www.sglcarbon.com/gms](http://www.sglcarbon.com/gms)

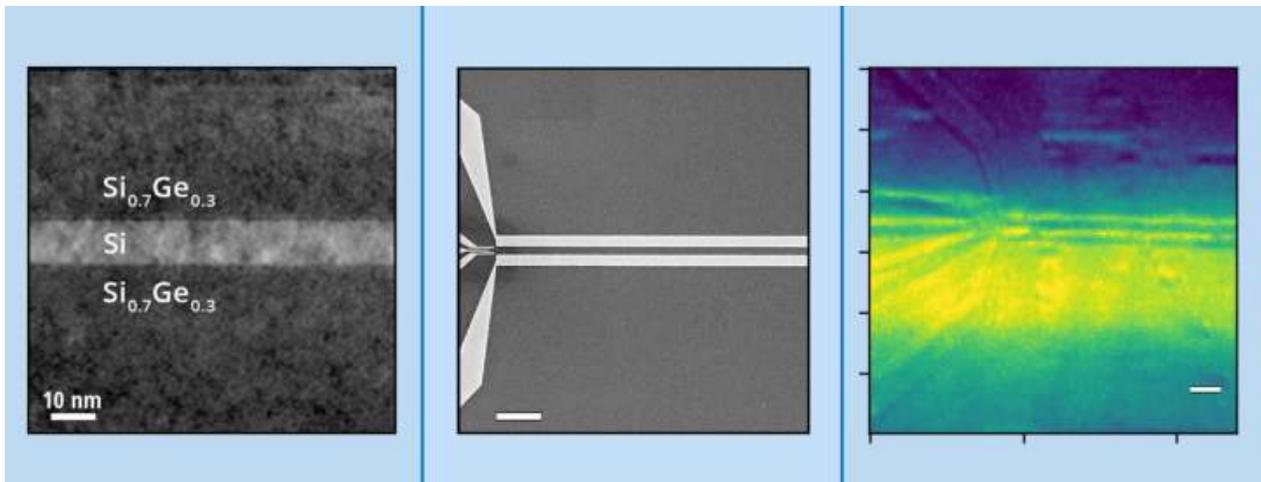


Follow us on LinkedIn

## Entwicklung eines neuen Quantenprozessors unter IKZ-Beteiligung

News des IKZ, Berlin, 26. Februar 2021

**Das BMBF fördert einen nationalen Verbund zur Entwicklung einer neuen "Shuttling"-basierten Architektur für Quantenprozessoren auf der Grundlage von Elektronen-Spin Quanten-Bit (Qubits).**



Ansichten der Silizium-Germanium Spin-Qubit Struktur. Eine Silizium-Schicht wird durch zwei anliegende SiGe-Schichten elastisch verspannt (Querschnitt, links) und bildet einen „Quantentopf“, welcher mit zusätzlichen Elektronen beladen werden kann. Gatter-Elektroden (Mitte) sperren das Elektron zusätzlich lateral ein und ermöglichen eine laterale Manipulation dessen Spin-Zustands. Bildgebende Röntgenbeugung (rechts) erlaubt einen Einblick in die Gitterverformung in der einkristallinen Silizium-Schicht aufgrund der Einwirkung von Elektroden und Gitterdefekten. (Foto: IKZ)

Im Rahmen der Ausschreibung "Quantenprozessoren und Technologien für Quantencomputer" wurde ein Konsortium aus dem Forschungszentrum Jülich (FZJ), den Universitäten Aachen, Regensburg und Konstanz, Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft sowie dem Startup HQS Quantum Simulations und dem Halbleiter-Hersteller Infineon gebildet. Unter der Leitung von Prof. Hendrik Bluhm (FZJ) haben die Partner das Verbundprojekt QUASAR - "Quantenprozessor mit shuttle-basierter, skalierbarer Architektur" erarbeitet, welches nun vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit über 7,5 Millionen Euro gefördert wird. Ziel des QUASAR-Projekts ist die praktische Umsetzung einer skalierbaren Architektur eines Quantenprozessors, die geometrische Einschränkungen vermeidet und es so ermöglicht, mehrere Qubits kohärent zu verbinden. Das IKZ wird dabei die Charakterisierung der Nanostruktur von Silizium-Germanium-Heterostrukturen in den Qubits übernehmen.

Im Gegensatz zu konventionellen Computern speichern Quantencomputer nicht nur die Werte 0 oder 1 in den einzelnen Bits. Stattdessen werden beide Werte gleichzeitig mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gespeichert. Diese Überlagerung binärer Zustände führt dazu, dass logische Operationen auf einer Variablen, definiert durch eine Serie von Qubits, für alle denkbaren Eingabewerte gleichzeitig ablaufen. Seit der theoretischen Beschreibung von Quantencomputern konnte über die Entwicklung entsprechend angepasster Al-

gorithmen gezeigt werden, dass diese gewisse Probleme effizienter verarbeiten können als konventionelle Computer. Bekannte Anwendungsbeispiele finden sich in der Kryptographie, der Modellierung chemischer Stoffe, im maschinellen Lernen oder bei Suchalgorithmen.

Heutzutage existieren bereits verschiedene Konzepte für die Realisierung von Quantencomputern, unter anderem auf Grundlage supraleitender Schleifen, Ionenfallen, Quantenpunkten oder Kernspins. Es ist allerdings noch nicht ersichtlich, welche dieser Ansätze letztendlich zu praktisch nutzbaren Quantencomputern führen werden. Im Hinblick auf Skalierung der Anzahl verbundener Qubits innerhalb einer Architektur ist die Nutzung von in Quantenpunkten gefangenen Elektronen und deren Spinzustand ein vielversprechender Ansatz. Diese stehen im Fokus des QUASAR-Projekts und besitzen den Vorteil, dass sie potentiell auch bei Temperaturen von bis zu 1 K betrieben werden können und unter Nutzung etablierter Prozesse der Halbleiterindustrie gefertigt werden könnten. Eine industriekompatible Umsetzung muss jedoch erst noch demonstriert werden. Darauf aufbauend soll perspektivisch ein Quantencomputer mit 25 miteinander verbundenen Qubits entwickelt sowie ein allgemeiner „Cloud“-Zugang über die Daten-Infrastruktur des FZJ ermöglicht werden.

Die Silizium-Spin-Qubits basieren dabei auf einer 10 nm dicken Silizium-Schicht, die verspannt zwischen zwei benachbarten Schichten einer Silizium-Germanium (SiGe)-

Legierung gewachsen wird (siehe Abbildung). Das Wachstum solcher Heterostrukturen ist am IKZ bereits ein Thema innerhalb des Leibniz-Projekts „SiGeQuant“. Einzelne Elektronen können anschließend begrenzt durch diese Silizium-Schicht sowie einer speziellen Anordnung von Elektroden in einem sog. „Quantenpunkt“ eingefangen und manipuliert werden. Die Herstellung möglichst homogener Schichtstapel mit scharfen Grenzflächen bleibt dabei eine Herausforderung und ist Voraussetzung für eine geringe Fehlerrate sowie für einheitliche Eigenschaften der Qubits, die in der Architektur vernetzt sind.

Unser Ziel am IKZ im Rahmen des QUASAR-Projekts ist es, Kenntnisse über Materialdefekte, ihre Entstehung und

ihren Einfluss auf die Qubit-Parameter zu erlangen. Dazu werden moderne Charakterisierungsmethoden aus den Bereichen der Elektronen- und Röntgenbeugungsmikroskopie zusammengeführt. Dieses Teilprojekt wird am IKZ von Carsten Richter (Nachwuchsgruppe Synchrotronstrahlungsmethoden) geleitet und in enger Zusammenarbeit mit Martin Albrecht (Gruppe Elektronenmikroskopie) und dem Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) Frankfurt/Oder bearbeitet, welches die Materialoptimierung im Verbund koordiniert.

Kontakt:

Dr. Carsten Richter

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin-Adlershof

3|5  
power electronics



**3-5 Power Electronics  
GmbH**

Gostritzer Str. 61 – 63,

01217 Dresden

Tel.: +49 (0)351 8728200,

Fax: +49 (0)351 8728202

E-Mail: [info@3-5pe.com](mailto:info@3-5pe.com)



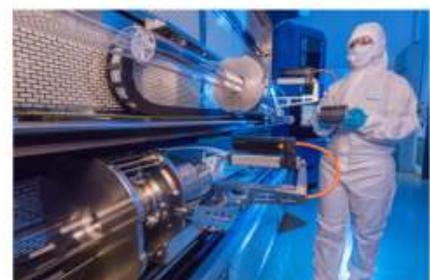
## Der Spezialist für directWide-Band Gap Dioden

Anwendungsorientierte Entwicklung von  
Gallium Arsenid Leistungshalbleitern

Durchbruchspannungen 400V – 1700V  
Stromtragfähigkeit bis 100A pro Chip

Hoher Wirkungsgrad Bestes Preis/  
Leistungsverhältnis

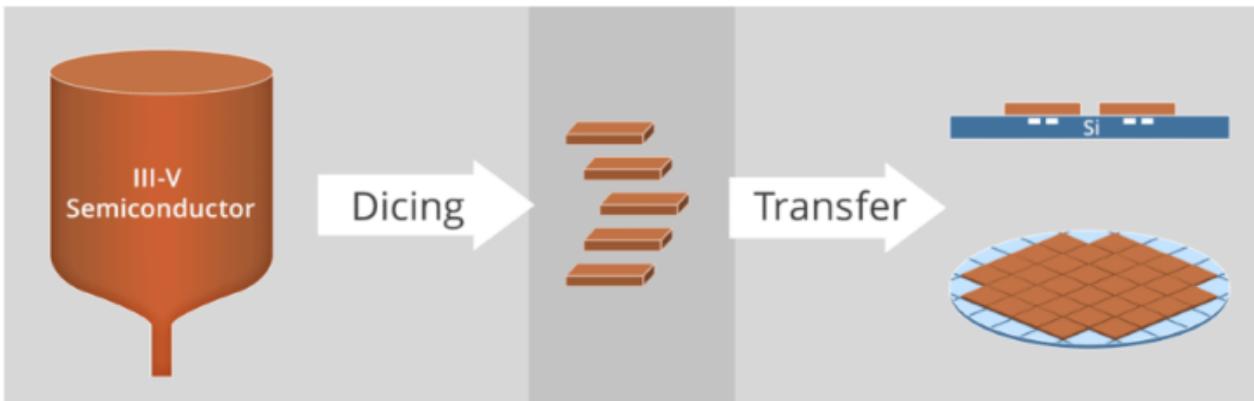
Herstellungsverfahren und  
Bauelemente  
Weltweit patentiert



## Zusammenarbeit zwischen IKZ und IHP zur Integration von kristallinen III-V-Plättchen auf Silizium geplant

News des IKZ, Berlin, 21. Januar 2021

**Entwicklung eines neuen Transferprozesses könnte die nächste Generation von Bauelementen für 5G- und 6G-Anwendungen hervorbringen.**



Schema: Vom Volumenkristall zum transferierten III-V-Kristallplättchen auf Silizium. (Grafik: IKZ)

Die III-V-Halbleitermaterialien Galliumarsenid und Indiumphosphid zeichnen sich durch eine extrem hohe Elektronenmobilität, Frequenzen im THz-Bereich sowie kurze Latenzzeiten aus. Darüber hinaus besitzen sie eine direkte Bandlücke, welche es erlaubt, Licht in einem breiten Wellenlängenbereich zu emittieren. Diese elektronischen und optischen Eigenschaften machen sie zu sehr attraktiven Kandidaten für die nächste Bauelementengeneration in 5G- & 6G-Anwendungen. Sie erfüllen nicht nur die Anforderungen nach gesteigerten Datenraten und höherer Leistung, sondern ermöglichen auch wichtige Funktionen wie z.B. eine Echtzeitübertragung.

Um die Funktionalität weiter zu optimieren und zudem die Wirtschaftlichkeit der neuen Bauelemente zu gewährleisten, ist eine Integration der III-V-Materialien in etablierte, kostengünstige CMOS-Technologien auf Siliziumbasis (Si) notwendig. Ein bisheriger Integrationsansatz verfolgt das direkte, epitaktische Aufwachsen von III-V-Schichten auf Si-Substraten. Die Fehlversetzungen (engl. misfit-dislocations), die vor allem durch die großen Unterschiede in den Gitterkonstanten von III-V und Si verursacht werden, verhindern bislang den Gebrauch dieser Methode. Dagegen hat das sogenannte Bonden von Einkristallen auf dem Substrat gegenüber heteroepitaktisch abgeschiedenen Schichten einen klaren strukturellen Vorteil: Die Einkristalle können unabhängig vom Substrat in höchster struktureller Perfektion, quasi defektfrei oder mit gezielt eingebrachten Versetzungen, gezüchtet werden.

In Kooperation mit dem Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) soll daher ein Transfer-Prozess entwickelt werden, der es ermöglicht, bis auf eine Dicke von wenigen Mikrometern, einzelne III-V-Plättchen auf Si-Substrate zu bonden. Damit wird ein Ansatz zur Integration dünner, einkristalliner III-V-Plättchen auf Si in eine CMOS-Technologie mit hohem Skalierungspotential eröffnet. Die 4-Zoll großen III-V-Einkristalle sollen am IKZ mit der VGF-Technik (engl. vertical

gradient freeze) durch Homogenisierung der elektrisch leitenden Schmelze mittels wandernder Magnetfelder gezüchtet werden. Dabei sollen die Eigenschaften der Volumenkristalle spezifisch für den anschließenden Einzelungs- sowie für den Bonding-Prozess optimiert werden.

Das IHP betreibt Forschung und Entwicklung zu siliziumbasierten Systemen, einschließlich neuer Materialien. Eine Kerntechnologie ist die Electronic-Photonic Integrated Circuit (EPIC)-Technologie, die elektronische mit photonische Bauelementen auf einem einzigen Chip vereint und für zukünftige Anwendungen eine Laserquelle benötigt. Das IHP verfolgt daher verschiedene Konzepte zur Integration von laseraktiven III-V-Materialien. Die Entwicklung eines neuen Integrationsansatzes, ausgehend von hochqualitativen Einkristallen, ist daher für das Institut von großem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interesse.

Durch die Kompetenzbündelung der beiden Leibniz-Institute IKZ (III-V-Volumenkristallzüchtung für Spezialanwendung, Kristallbearbeitung, Materialcharakterisierung) und IHP (Transfer, Si-Systeme) sollen Grundlagenforschung mit anwendungsorientierter Technologieforschung vereint werden, um einen neuen Integrationsansatz für die nächste Generation von Bauelemente zu realisieren. Für einen optimalen Wissensaustausch besitzt Dr. Karoline Stolze vom IKZ (Nachwuchsgruppenleiterin "III-V-Halbleiter für 5G & 6G") bereits Gastwissenschaftlerinnen-Status am IHP, so dass das neue Themengebiet durch eine enge Kooperation bestmöglich eingeleitet werden kann. Sobald es die pandemiebedingten Umstände erlauben, kann der gemeinsame praktische Erfahrungsaustausch vor Ort am IHP beginnen.

Kontakt:

Dr. R. Sumathi, Dr. K. Stolze, Dr. Ch. Frank-Rotsch  
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)  
Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin-Adlershof

## EFRE Applikationslabor 'Oxidelektronik': Neues DFG Projekt zu neuromorphen Anwendungen ferroelektrischer Schichten

News des IKZ, Berlin, 13.4.2021

### Untersuchung des Zusammenhangs zwischen strukturellen und elektrischen Veränderungen beim Schalten von ferroelektrischen Schichten

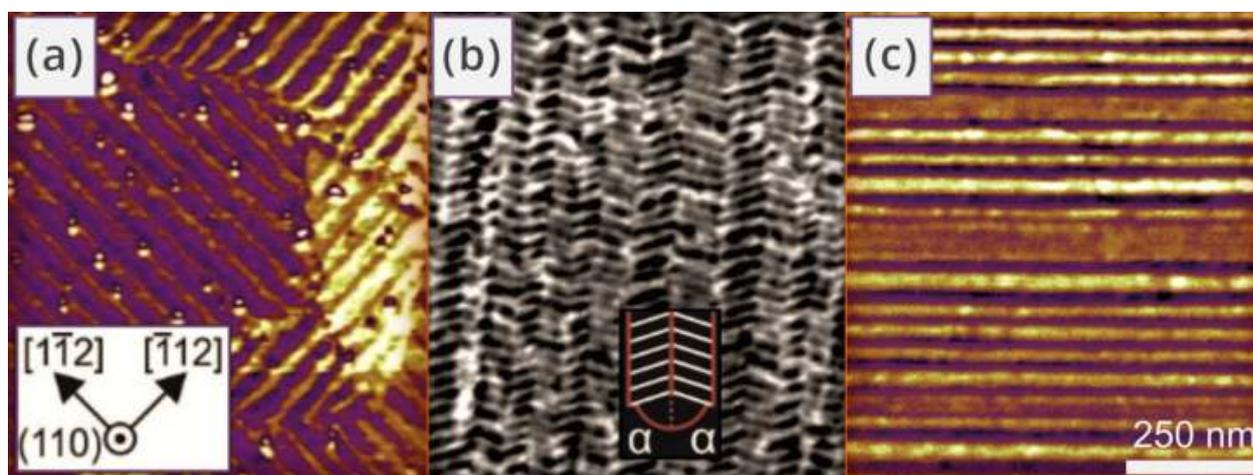


Abb. 1: Laterale Piezoresponse Force Microscopy Messung (Scanbereich:  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ ) von 30 nm dünnen Schichten mit (a)  $\text{K}_{0.7}\text{Na}_{0.3}\text{NbO}_3$  auf  $\text{TbScO}_3$ , (b)  $\text{K}_{0.9}\text{Na}_{0.1}\text{NbO}_3$  auf  $\text{NdScO}_3$  und (c)  $\text{NaNbO}_3$  auf  $\text{DyScO}_3$ . (Foto: IKZ)

Ferroelektrische Schichten werden für eine Vielzahl von technologischen Anwendungen, wie zum Beispiel nicht-flüchtige Speicherbausteine oder ferroelektrische Feldeffekttransistoren (FeFETs), eingesetzt. Dabei nutzt man ihre Eigenschaft aus, dass sie eine permanente elektrische Polarisation aufweisen, die sich durch das Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes umkehren lässt. Der mikroskopische Schaltmechanismus hängt indessen von den ferroelektrischen Eigenschaften der Schichten, der Struktur und Kinetik der Domänen bzw. Domänenwände und den elektrostatischen Randbedingungen ab. So kann man etwa durch das Hinzufügen einer nur wenige Nanometer dünnen dielektrischen Schicht zwischen dem Ferroelektrikum und der Elektrode einen ferroelektrischen Tunnelübergang (FTJ) erzeugen, der für „neuromorphes Computing“ eine große Rolle spielen könnte. Die Verwendung von etwas dickeren dielektrischen Schichten ermöglicht dagegen die Ausnutzung des negativen Kapazitätseffekts (NC) und ist für Bauelemente mit extrem niedriger Leistung interessant. Die ferroelektrischen Eigenschaften sowie die Domänenbildung in den Schichten sind dagegen sehr von der Struktur und Phasensymmetrie der Schichten abhängig. Diese lassen sich gezielt durch das Einbringen einer Gitterverspannung in den Schichten einstellen („Strain Engineering“). Bis heute sind die zugrundeliegenden Schaltprozesse nicht vollständig verstanden.

Daher soll innerhalb des von der DFG geförderten Projektes FeDiBiS (Polarization Switching Kinetics in Ferroelectric/Dielectric Bi-Layer Structures) der fundamentale Zusammenhang zwischen strukturellen und elektrischen Veränderungen beim gezielten Schalten von ferroelektrischen Schichten untersucht werden. Dafür werden bleifreie, ferroelektri-

sche Kalium-Natrium-Niobat-Schichten epitaktisch auf IKZ-eigenen Oxidsubstraten abgeschieden, um eine gewünschte Gitterverspannung in den Schichten einzustellen und damit die ferroelektrische Polarisation sowie die ferroelektrischen Domänen in den Schichten gezielt zu verändern. Um die notwendige hohe strukturelle Perfektion bei den Schichten zu erreichen wird die metallorganische Gasphasenepitaxie (MOVPE) eingesetzt. Der entscheidende Vorteil dieser Methode ist das Wachstum nahe dem thermodynamischen Gleichgewicht, was die Abscheidung von nahezu perfekt stöchiometrischen, einkristallinen Schichten mit einem sehr regelmäßigen Domänenmuster (siehe Abb.1) ermöglicht. Neben der strukturellen und elektrischen Charakterisierung der Schichten sind Operando-Untersuchungen an den Schichten geplant. Mittels Nanosonden-Röntgenbeugung, die gleichzeitig mit elektrischen Messungen durchgeführt wird, soll damit die Kinetik des Polarisationschaltens zerstörungsfrei am Real-System beleuchtet werden. Diese äußerst anspruchsvollen Messungen sind nur an modernen Synchrotronstrahlungsquellen mit fokussierten Röntgenstrahlen im Bereich von 100 Nanometern möglich.

Das Vorhaben stellt ein gemeinsames Projekt der beiden Sektionen „Dünne Oxidschichten“ und „Experimentelle Charakterisierung“ des IKZ sowie dem NaMLab in Dresden dar und startet im Mai 2021. Die Arbeiten finden auch im Rahmen des EFRE (Europäische Fonds für Regionale Entwicklung) Applikationslabor „Materialien für die Oxidelektronik“ statt.

Kontakt:

Frau Dr. Jutta Schwarzkopf

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin-Adlershof

## DGKK-Personen

### ”Meine Heimat ist die Wissenschaft”

zum 90. Geburtstag von Prof. Dr. A. A. Chernov, von Peter Rudolph, Crystal Technology Consulting (CTC), Schönefeld

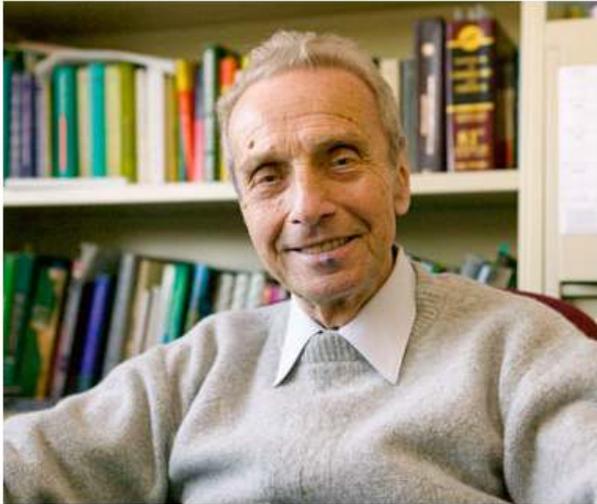


Foto: Jacqueline McBride (Newsline 2008)

In einem Interview des Lawrence Livermore National Laboratory vom Februar 2008 wird berichtet: mit 12 Jahren verpasste er zwar für zwei Wochen die Schule, weil er krank war, aber er beschloss während dieses zweiwöchigen Betaufenthalts, ein Physik-Lehrbuch in seiner Gesamtheit zu lesen. ”Das war die Entscheidung meines Lebens, und ich bereue sie keine Minute lang”, erzählte er und ergänzte ”sie bildete die Grundlage meiner ersten Liebe – die Kristallzüchtung”.

Alexander Aleksandrovich Chernov, einer der berühmtesten Forscher auf dem Gebiet des Kristallwachstums, wurde am 05. Oktober 1931 in Moskau geboren. Aus einer Arztfamilie stammend entschied er sich frühzeitig für die Wissenschaft und studierte nach erfolgreichem Schulabschluss Physik. 1954 erhielt er sein Diplom an der Staatlichen Lomonossov-Universität Moskau. Als seine großen Lehrer hebt er besonders I. M. Lifschitz, Y. B. Zeldovich und G. G. Lemlein hervor. Von ihnen lernte er die Physik der kondensierten Materie, die mathematische Physik sowie die Bildung und Morphologie von Kristallen. 1951 leisteten W. Burton, N. Cabrera und Sir Ch. Frank die Pionierarbeit zu den modernen Ansätze der Beschreibung des Kristallwachstums aus atomarer Sicht, aufbauend auf den klassischen Konzepten von J. W. Gibbs, J. Wulf, M. Volmer, W. Kossel, I. Stranski und R. Kaishev, was die ”Sturm- und Drang-Periode” des Kristallwachstums in den 50er und 60er Jahren auslöste, in die Alex Chernov mit größtem Enthusiasmus eintrat und sie in der Folgezeit ganz wesentlich prägte.

Nach Abschluss seines Studiums wurde er am Moskauer Institut für Kristallographie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR zunächst als Nachwuchswissenschaftler eingestellt. Seine außergewöhnlichen theoretischen Kenntnisse verbunden mit ideenreicher Empirie führten zu seiner alsbaldigen

Beförderung zum Laborleiter für „Elementare Prozesse des Kristallwachstums“, später zum Bereichsleiter für „Kristallisation und Physik perfekter Kristalle“. Mit dem Einzug der Festkörperlaser Anfang der 60er Jahre konzentrierten sich seine Forschungen auf die Erarbeitung einer Technologie zum schnellen Wachstum von KDP- und DKDP-Kristallen, um sie zur Frequenzmultiplikation in Hochleistungs-Lasersystemen einzusetzen. Eine Schlüsselrolle spielte dabei die Kinetik, speziell des Spiralwachstums an Schraubenversetzungen, worüber er in Uspekhi Fiz. Nauk 73 (1961) 277 eine erste Publikation (wahrscheinlich identisch mit seiner Dissertation) verfasste. Damit hatte sein Hauptforschungsgebiet – die Kristallisationskinetik – seinen Anfang genommen und ist es bis heute auch geblieben. 1970 erhielt er seine Professur für Physik.

Frühzeitig erkannte er die Wichtigkeit einer internationalen Wissenschaftskooperation und publizierte bereits 1967 gemeinsam mit J. Lewis von der Harvard-Universität, die er 1965-66 als Gastwissenschaftler besuchte, ein Computermodell zur Wachstumskinetik binärer Systeme (J. Phys. and Chem. of Solids 28, pp. 2191). Alex Chernov betonte frühzeitig die Schlüsselrolle der numerischen Simulation für das Studium kinetischer Prozesse beim Phasenübergang. Ich erinnere mich an die ICCG-6-Konferenz 1980 in Moskau, als er vor überfülltem und staunendem Auditorium einen der ersten faszinierenden Filme zur sequenziellen Monte-Carlo-Simulation des „step-by-step“-Wachstums mit und ohne Beteiligung von Verunreinigungsatomen vorführte, den er zuvor von einer Tagung in Boston vom Autor G. Gilmer (AT&T Bell Lab.) bekommen hatte. Hier sei aber auch seine Mahnung aus dem o.g. Interview hinzugefügt, die er, typisch für ihn, erheiternd herüberbringt: ”junge Leute wissen zwar bestens, wie man Klavier auf einer Computertastatur spielt, aber manchmal ist es notwendig, zu den einfachen Berechnungen und Abschätzungen zurückzukehren, um die notwendigen Antworten zu finden. Es kommt also immer auf die Kombination von Computermodellierung und prinzipiellen Erstansätzen sowie einfachen ”back-of-the-envelope“-Skizzen an”. Welch hochaktueller Satz!

Es seien hier nur einige Beispiele genannt, die in der Wachstumskinetik von Chernov erstmals hergeleitet oder wesentlich mitdurdacht wurden: Konzentrationsverteilung entlang vinzinaler (gestufter) Wachstumsflächen in Lösungen, Einfluss der Konvektion auf die Bündelung von Wachstumsstufen, Formulierung eines kinetischen Verteilungskoeffizienten, der den metastabilen Einbau von Fremd- und Dotierungsatomen an singulären Flächen mit ”born-to-spread“-Wachstumsmodus beschreibt, Ermittlung zahlreicher kinetischer Koeffizienten,



Die Festredner des Symposiums "50 Years of Progress in Crystal Growth" im Rahmen der ACCGE-14-Tagung vom 04. bis 09. August 2002 in Seattle. Vordere Reihe v.l.n.r.: E.D. Bourret-Courchesne, A.A. Chernov, J.B. Mullin, I. Sunagawa (†), G.B. Stringfellow; hintere Reihe v.l.n.r.: P. Rudolph, K.A. Jackson, M. Wargo (†), R.S. Feigelson, R.F. Sekerka, M. Glicksman, R. Brown. (Foto: ACCGE)

insbesondere bei der Züchtung von Proteinkristallen aus Lösungen, Erklärung der erhöhten Reinheit von Proteinkristallen beim Wachstum unter Mikrogravitation, Entstehung einer Vorordnung in der Diffusionsgrenzschicht an fest-flüssig-Phasengrenzen, Formulierung eines Kriteriums für Einbau und Abweisung makroskopischer Fremdteilchen an einer fest-flüssig-Phasengrenze... 1994 hatte ich während eines Gastaufenthaltes an der Tohoku-Universität in Sendai (Japan) die Gelegenheit zu einer regen Diskussion mit Alex Chernov, der dort zur gleichen Zeit eine Gastprofessur innehatte. Wir sprachen über Strukturierung von Schmelzen und Aktivierungsenergien an atomar rauen Phasengrenzen. Ich erinnere mich noch daran, wie er mich bei extremer Sommerhitze in seinem Büro mit einem nassen Handtuch über den Kopf empfing. Während unseres Gespräches wurde mir der instationäre Charakter von Schmelzassoziationen klar und ich lernte, dass Materialien mit geringen Fusionsentropien, wie Metalle, keine Aktivierungsenergie beim Einbau der Atome in die feste Phase überwinden müssen, sondern lediglich ihre thermische Vibrationsenergie abgeben. Bei Oxiden und den meisten Halbleitern muss dagegen die Aktivierungsenergie der Reibung in der Schmelze überwunden werden.



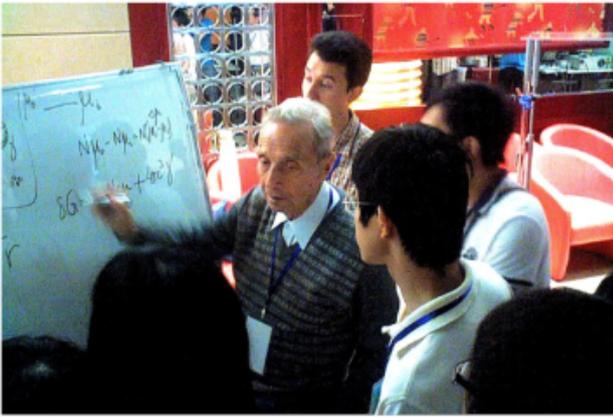
12. Internationale Sommerschule (ISSCG-12) im August 2004 in Berlin-Schmöckwitz. Vorn in der Mitte A.A. Chernov. (Foto: ISSCG)

Natürlich geht sein gigantisches Wissenspotenzial weit über das Gebiet der Wachstumskinetik hinaus. 1980 kaufte ich mir das im gleichen Jahr erschienene Buch "Sovremennaja Kristallografija" (Izd. Nauka, Moskva) mit einem 230-seitigen Übersichts-kapitel von Alex Chernov zu Kristallisationsprozessen (die englische Übersetzung erschien vier Jahre später im Springer Verlag). Eine solche umfangreiche spannende Monographie über die gesamte Theorie des Kristallwachstums war für mich neu. Zwar hatte ich R.L. Parker's Crystal Growth Mechanismus in Solid State Physics, Vol. 25 (Acad. Press 1970) etwa gleichen Umfangs bereits gelesen, aber Chernov's Abhandlung war detaillierter, präziser und weitreichender bis hin zur Kristalldefektentstehung. Das Besondere an all seinen Übersichtsartikeln ist die stetige Bezugnahme zur Praxis. Hat er eine Formel hergeleitet, wird sogleich ein praktisches Beispiel berechnet. Dieses Kapitel ist ein Muss für jeden heutigen Kristallzüchter!

Im Jahr 1987 wurde Professor A.A. Chernov die hohe Ehre einer Mitgliedschaft in der Akademie der Wissenschaften (AdW) der UdSSR zuteil, die er seit 1991 bis heute als korrespondierendes Mitglied der Russischen AdW begleitet. Seit 2007 ist er auch Mitglied der Bulgarischen AdW, was auf seine langjährige Zusammenarbeit mit Prof. R. Kaishev und die Förderung des bulgarischen Wissenschaftsnachwuchses zurückgeht. In den 70er und 80er Jahren war er Mitorganisator und -veranstalter der legendären Schulen für Kristallwachstum in Varna. Ich hatte das Glück, im Mai 1975 an einer solchen Veranstaltung teilzunehmen und begeistert die "Chernov'schen Tage" zu erleben. Alex hatte nur ein paar kleine Zettel vor sich auf dem Pult und entwickelte über 2 Tage, gewissermaßen aus dem Kopf, mit Kreide an einer Tafel die gesamte Theorie des Kristallwachstums. Prof. R. Kaishev saß in einem für ihn herbeigeschafften Ohrensessel in der ersten Reihe und ergänzte gelegentlich. Inspiriert vom hohen Lehrcharakter der Vorlesungen entwickelte Manfred Jurisch mit weiteren deutschen Teilnehmern die Idee einer eigenen Schule für Kristallzüchtung in der DDR, die dann auch von



Ebenfalls ISSCG-12 in 2004 in Berlin-Schmöckwitz; rechts A.A. Chernov mit Ehefrau Raisa, daneben D.T.J. Hurlle, Y. Saito, am Tischende T. Nishinaga mit Ehefrau Kazugo links neben ihm, und M. Uwaha. (Foto: ISSCG)



A.A. Chernov in Diskussion mit Studenten auf der Internationalen Sommerschule für Kristallwachstum (ISSCG-14) im August 2010 in Dalian (VR China) (Foto: ISSCG)

1977 bis 1990 im Zwei-Jahresrhythmus und noch einmal als gesamtdeutsche Veranstaltung 1996 stattfand.

Im Jahr 1989 auf der ICCG-9 in Sendai wurde Professor A.A. Chernov als erster Gewinner des Frank-Preises der Internationalen Organisation für Kristallwachstum (IOCG) ausgezeichnet. Er gehörte auch zu den Gründern dieser Vereinigung im Jahre 1965 in Boston (USA). Übrigens waren die beiden deutschen Mitbegründer S. Haussühl (damals noch an der Uni. Freiburg) und H. Bethge (Halle/Saale). Alex Chernov fungierte dann von 2007 bis 2010 als Präsident der IOCG. 1998 erhielt er den Staatspreis der Russischen Föderation für Wissenschaft und Technologie und den E.S. Fyodorov-Preis für Kristallographie der Russischen AdW. Sein Schrifttum umfasst heute fast 300 Arbeiten.

Seit 1992 arbeitet Professor A.A. Chernov in den Vereinigten Staaten von Amerika, zunächst noch im Wechsel zwischen dem National Institute of Standards and Technology (NIST) und dem Institut für Kristallographie in Moskau. 1996 siedelte er schließlich vollständig in die USA über und wurde zum Programmdirektor der Universities of Space Research Asso-



A.A. Chernov, Festredner zur Verabschiedung von K. Jacobs und P. Rudolph in den Ruhestand am 02. Juli 2010 in Berlin-Adlershof. (Foto: IKZ Berlin)

ciation und des Marshall Space Flight Center der NASA in Huntsville (Alabama) gewählt. Ziel der Allianz war es, die spezifischen Grundlagen der Materialwissenschaft unter Mikrogravitation zu entwickeln, wobei die größte Herausforderung in der  $\mu\text{g}$ -Kristallisation von Proteinen bestand. Die Hypothese seines Teams zur diffusiven Selbstreinigung bei fehlender Konvektion wird heute noch in europäischen, japanischen und kanadischen Weltraumprogrammen verwendet. Auch war er kurze Zeit am BAE Systems Analytical Solutions tätig. Schließlich holte ihn 2006 Professor J. De Yoreo ans Lawrence Livermore National Laboratory, wo er zu materialwissenschaftlichen Problemen für die National Ignition Facility forschte. Fragte man ihn nach seiner Entscheidung zum Wechsel seines Arbeits- und Wohnsitzes, so antwortete er: "Meine Heimat ist die Wissenschaft. So habe ich sie immer bei mir, wohin ich auch gehe. . ."

Weitere beeindruckende persönliche Erlebnisse mit ihm waren seine Teilnahme als Lehrer an der von der DGKK veranstalteten 12. Internationalen Schule für Kristallwachstum der IOCG im August 2004 in Berlin-Schmöckwitz, sein Vorlesungskurs zum Kristallwachstum im Juni 2007 am IKZ Berlin und sein Festvortrag zu K. Jacobs' und meiner Verabschiedung in den Ruhestand am 2. Juli 2010 in Berlin-Adlershof. Es war dem damaligen IKZ-Direktor Professor R. Fornari gelungen, ihn als *die* Überraschung zu gewinnen. Professor Alexander Alexandrovich Chernov ist heute zwar berentet, verfolgt aber stetig interessiert das internationale wissenschaftliche Leben und soll wohl auch noch regelmäßig an den Jahrestagungen der russischen AdW in Moskau teilnehmen. Ende 2020 schrieb er mir in einem Neujahrsgruß: "Es wird immer schwieriger, je tiefer wir in die Wissenschaft eindringen und gleichzeitig älter werden. Ich habe aber die Zuversicht, dass wir das meistern, wenn es uns gelingt, unser Wissen an die Jüngeren weiterzugeben. . .".

Ich möchte meine Laudatio zu Ehren des 90. Geburtstages meines maßgeblichen Lehrmeisters Alex Chernov, dem ich noch viele gesunde Jahre wünsche, mit einer treffenden Widmung von J. De Yoreo im Rahmen des anfangs zitierten Interviews schließen: "Alex ist ohne Frage der berühmteste Wissenschaftler in unserem Forschungsgebiet. Und doch ist er völlig unprätentiös und behandelt alle seine Kollegen vom Dienstältesten und Gefeierten bis zu den noch unerfahrenen Schülern mit Respekt, ohne einen Hauch von Überheblichkeit. Immer wenn ich über irgendeinen Aspekt unserer Forschung verunsichert bin, ist Alex der erste Ansprechpartner. Auch wenn er die Antwort noch nicht parat hat, weiß er immer, wie er die Diskussion führen muss, um der Lösung näher zu kommen. Alex besitzt eine wunderbare Kombination aus Wärme und Weisheit, die ihn zu einem bezaubernden Kollegen macht."

## Jubilare

Wir gratulieren herzlich zum Geburtstag:

Herrn Prof. Alexander A. Chernov, Livermore (USA)	zum 90. Geburtstag
Herrn Prof. Georg Müller, Langensendelbach	zum 80. Geburtstag
Herrn Dr. Claus Dieter Knöchel, Griesheim	zum 75. Geburtstag
Herrn Dr. Reinhard Uecker, Eggersdorf	zum 70. Geburtstag

## Mitglieder 2021, erste Jahreshälfte

Wir begrüßen seit dem 15.12.2020 als neue Mitglieder (Stand 16.06.2021):

### Neumitglieder / Privatpersonen:

Frau M. Sc. Isabel Streicher	Fraunhofer-Inst. f. Angew. Festkörperphysik (IAF), Freiburg
------------------------------	---

### Wir gedenken der Verstorbenen:

Dr. Holger Jürgensen	Aachen
Dr. Gerd Lamprecht	Heidelberg
Dr. Johannes Baumgartl	Riegersdorf (Österreich)
Dr. Hansjürgen Walitzki	Portland (USA)

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

- ▲ Kristallzüchtungen von Metallen, Legierungen und Oxiden
- ▲ Kristallpräparation (Formgebung, Polieren und Orientieren)
- ▲ Reinstmaterialien (99,9 – 99,99999 %)
- ▲ Substrate (SrTiO<sub>3</sub>, MgO, YSZ, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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)

## Nachruf auf Dr. Holger Jürgensen

Michael Heuken, AIXTRON SE, Herzogenrath

Nach kurzer schwerer Krankheit ist Dr. rer. nat. Holger Jürgensen am 13. Januar 2021 im Alter von 63 Jahren verstorben. Er ist früh, zu früh verstorben – und doch, was hat er geleistet! In Duisburg geboren, entschied er sich für die RWTH Aachen, um Physik und Wirtschaftsingenieurwesen zu studieren. Nach dem Abschluss zum Diplom-Physiker promovierte er am Institut für Halbleitertechnik an der RWTH Aachen unter der Leitung von Professor Pieter Balk zum Thema Hybrid-VPE für InP-basierte Strukturen für die Optoelektronik. Seiner Promotionsschrift folgten zahlreiche weitere wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Epitaxie und Technologie von Verbindungshalbleitern. Schon früh in der wissenschaftlichen Arbeit an der Universität, aber auch später nach der Gründung von AIXTRON zeichnen sich seine Arbeiten durch Weitblick, Ideenreichtum und Enthusiasmus aus. Dies hat sein Ansehen in der Wissenschaft, aber auch in der Wirtschaft mitbegründet. Er hat mehr als 200 wissenschaftliche Artikel und zahlreiche Patente zur Technologie von Verbindungshalbleitern veröffentlicht, die weltweit zur Beachtung gelangten.



Dr. Holger Jürgensen vor der ersten AIX 200-Anlage in der RWTH. Optimierungsbedarf bei der MOCVD-Hardware ist mit Blick auf die heutigen Standards offensichtlich. (Foto: AIXTRON)



Der erfolgreiche Börsengang von AIXTRON 1997: Dr. Holger Jürgensen und Kim Schindelbauer in Frankfurt/Main. (Foto: AIXTRON)

Der Wissenschaft ist er bis zuletzt als Freund und Förderer verbunden geblieben. Er war langjähriges Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. (DGKK) und regelmäßiger Teilnehmer am Arbeitskreis "Epitaxie von III-V-Halbleitern". Sein hohes Ansehen wurzelt indes nicht allein in seinen hervorragenden wissenschaftlichen Resultaten, sondern auch in der Teamarbeit mit seinen Mitstreitern, die er stets zu begeistern wusste.

Dr. Holger Jürgensen war Wissenschaftler, aber auch Visionär und erfolgreicher Unternehmer, vereinigte Neugier sowohl mit technologischem als auch unternehmerischem Pioniergeist in sich. Er war seiner Zeit weit voraus. "Der Opto-Elektronik gehört die Zukunft", erkannte der Physiker früher als andere und entwickelte gemeinsam mit Dr. Meino Heyen an der RWTH Aachen das erste MOCVD-Forschungssystem.

Viele Wissenschaftler profitieren noch heute von der genialen Anlage (AIX 200) mit ihrer einfachen und zuverlässigen Funktion. Auch das Gespür zur Umsetzung der wissenschaftlichen Ergebnisse in Produkte hat zum Erfolg der AIXTRON-Produktionstechnologie mit dem Planetary Reactor® geführt.

Er ließ es nicht bei einer Vision bleiben, sondern erfüllte sie mit Leben. Im Jahr 1983 gründete er zusammen mit anderen Mitarbeitern des Instituts für Halbleitertechnik der RWTH Aachen das Unternehmen AIXTRON. AIXTRON ist heute einer der weltweit führenden Anbieter von Depositionsanlagen für die Halbleiterindustrie basierend auf der MOCVD-Technologie.

Seine Vision von der Rolle der Opto-Elektronik ist Realität geworden. Die MOCVD-Technologie ermöglicht nicht nur, sondern befeuert heute sogar Megatrends wie Energieeinsparung (GaN), schnelle Datenkommunikation (InP), Display- und Beleuchtungstechnik (LED) sowie Mobilfunktechnik (GaAs).

Mit seiner charismatischen Persönlichkeit und seinem leidenschaftlichen Engagement als Unternehmenslenker und Aufsichtsrat schuf er das tragfähige Fundament für den heutigen Global Player AIXTRON. Die Begeisterungsfähigkeit für Technik, das Gespür für die Megatrends der Zukunft und die Fähigkeit zur Umsetzung von Ideen in erfolgreiche Marktprodukte gehören zu seinem Vermächtnis.

Wir, die AIXTRON-Mitarbeiter und die vielen Wegbegleiter, trauern um einen beeindruckenden Wissenschaftler, Techniker und Unternehmenslenker – und einen besonderen Menschen. Unsere Gedanken sind bei seiner Familie und den Angehörigen.

## DGKK-Nachwuchs

### Global defect distribution and their influence on the local real structure of 4H-SiC

Melissa Roder, Kristallographie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

According to its physical properties, Silicon Carbide (SiC) has a high application variety [1]. Among the various polytypes, 4H-SiC for the use in power electronics. Nevertheless, common defect types like for example Micropipes (MP's) or Basal Plane dislocations (BPD's) are still an issue and can lead to a degradation of the device's performance [2]. For an optimization of the growth process a fundamental understanding of the characteristics of different defect types, their origin but also the interaction between types is of importance. Therefore, several at different conditions Physical Vapor Transport (PVT) grown 4H-SiC crystals were characterized. Full Synchrotron White Beam X-ray Topography (SWXRT) wafer-mappings were recorded in back-reflection geometry, giving a dislocation overview (see fig. 1).

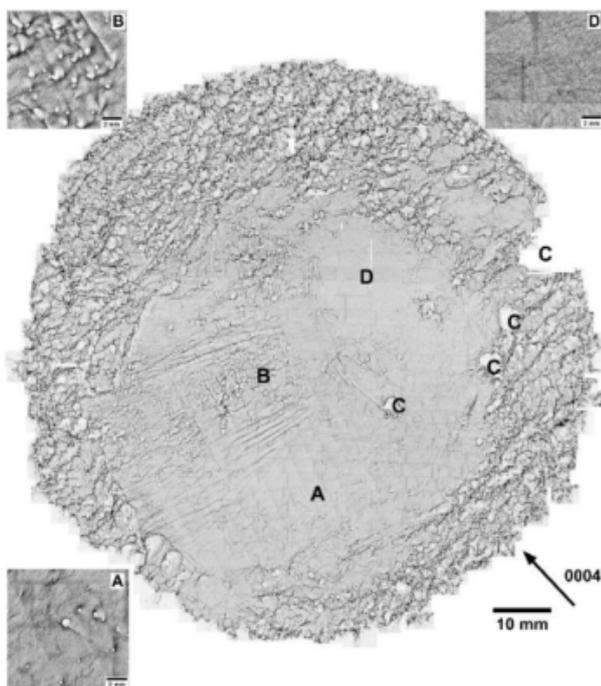


Fig. 1: 0004 back-reflection wafer-mapping indicating different wafer areas. "A" moderate density of single MPs. "B" increased density of MPs. "C" indicates a different polytype or bunch of MPs, "D" single occurring BPD network.

A good overview about the identification of different defects with the aid of SWXRT were given by [3] or [4]. The observed defect features include threading dislocations like Threading Screw Dislocations (TSDs), superscrews like Micropipes (MPs), dislocation networks in form of Basal Plane Dislocations (BPDs) and Small-Angle-Grain-Boundaries (SAGBs) in different portions. Those are inhomogeneously distributed with the highest density at the wafer border and furthermore, there are wafer areas showing similar defect arrangements in terms of types and densities on the wafers which do not

change within one crystal along growth direction. However, there are local changes of the MP positions visible between adjacent wafers. This behavior points to a change of the MP's dislocation path along growth direction. With the aid of polarization microscopy Z-stacks of different MPs in 50X-magnification it was shown, that those show strong fluctuations of propagation direction and inclination angle within the  $\mu\text{m}$  range (see fig. 2).

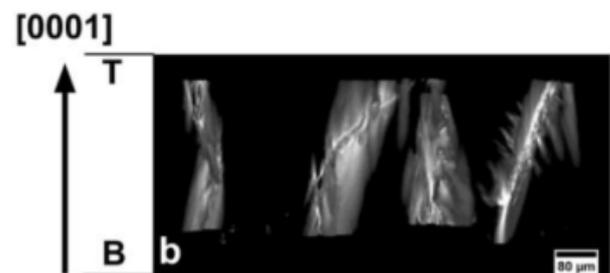


Fig. 2: Polarization microscopy Z-Stacks of a bunch of single MPs. Section from wafer bottom (B) to top (T) shows individual inclinations and a change within  $\mu\text{m}$  range.

Furthermore, X-ray diffraction laminography of single MPs showed a differently pronounced strain field extension around the dislocation core which is in accordance to alternating screw and edge dislocation components (see fig. 3).

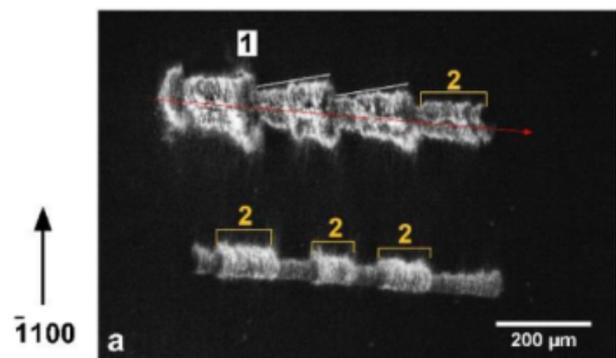


Fig. 3: Strain field around two MPs visualized with XDL. Both show a separation into several strain field sections which are either cone shaped (1) or equally enhanced (2).

Therefore, MPs and presumably single TSDs assumed to lie approximately parallel to growth direction [0001] with solely a small but constant inclination arising from an edge component was shown to be incomplete. For the real structural analysis, High Resolution X-ray Diffractometry (HRXRD) measurements were performed on several wafer areas representing different dislocation types, densities and their interactions (see fig. 4). Bond measurements verified a local lattice parameter difference in dependence of the dislocation content.

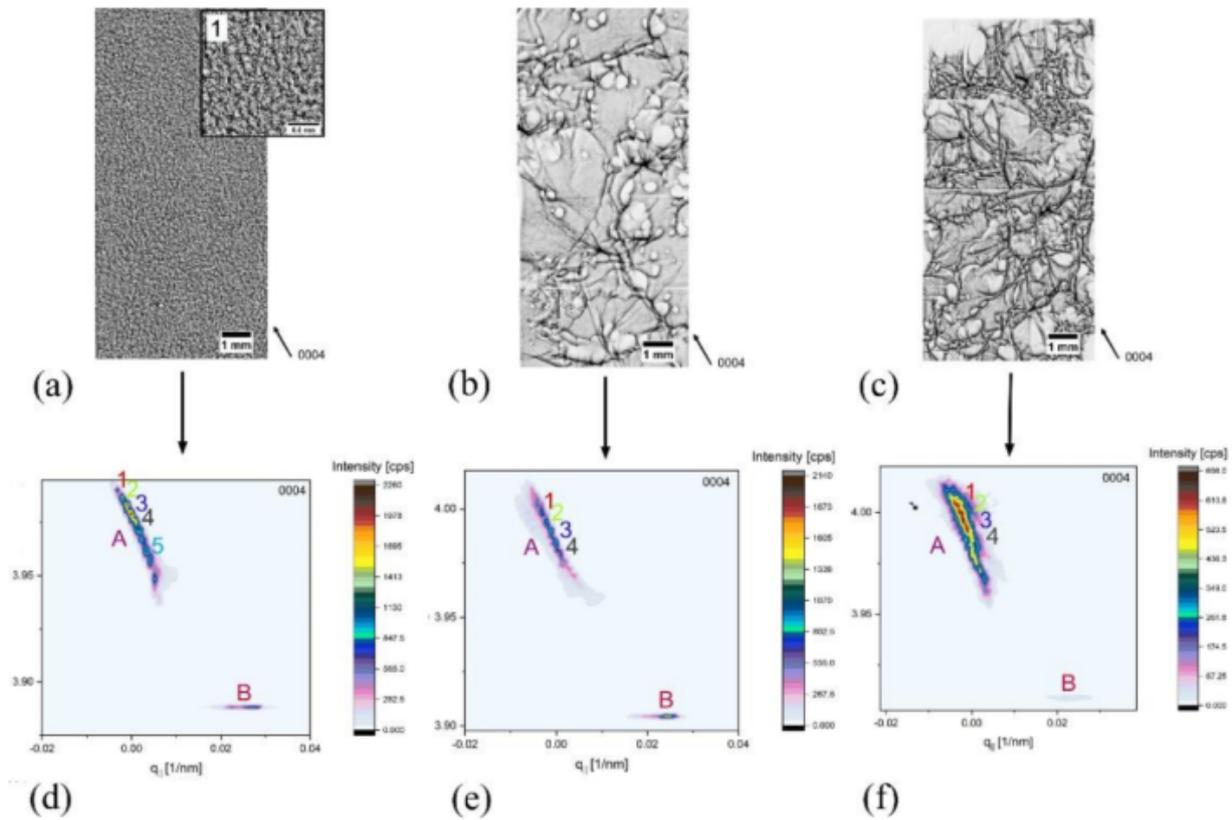


Fig. 4: (a-c) Sections on the SWXRT wafer-mapping which correspond to the different HRXRD measurement positions showing the different defect arrangements. (d-f) Corresponding recorded RSMs exhibiting the same principle split up into two diffracted intensity distributions "A" and "B" and a subordination into several maxima of "A", despite different defect arrangements. (⇒ Contd. at page 20)

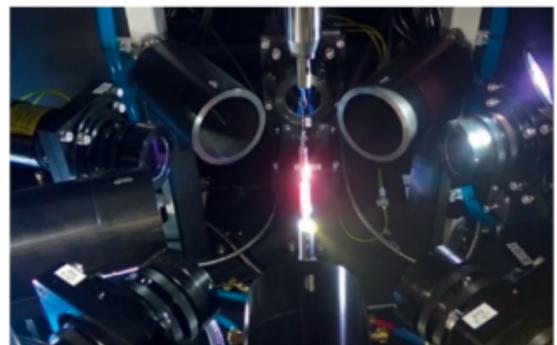


qd-europe.com

## 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



$Sr_2RuO_4$



Rubin,  $T_m \sim 2072 \text{ } ^\circ\text{C}$



$SmB_6$ ,  $T_m \sim 2345 \text{ } ^\circ\text{C}$



YIG,  $Y_3Fe_5O_{12}$

(Contd. from upper part of page 19)

It turned out that SAGBs have the biggest influence on the lattice parameter in  $c$ , whereas MPs leading to the least deviation. Reciprocal Space Maps (RSM) show a difference in the crystal lattice strain and tilt conditions depending not only on the dominant dislocation type but also on the rocking direction along different preferential directions of dislocations. It was shown, that the difference in inclination of the dislocation core of a bunch of MPs but also single TSDs have a different influence on the crystal lattice. Most importantly a sufficiently higher density of TSDs have the same impact as a moderate density of MPs. A sufficient amount of threading dislocati-

ons with a certain inclination towards growth direction lead to a separation into several strain and tilt segment, as edge and screw components around the core can be captured in diffraction condition.

[1] Casydy, J.B. (1996). *Solid-State Electron.*, 39(10), 1409-1422

[2] Neudeck, Ph. G., et. al. (1998). *Solid-State Electron.*, 42(12), 2157-2164

[3] Dudley, M.et. al. (2009). *Mater. Sci. Forum.*, 600, 261-266

[4] Huang, XR., et. al. (1999). *J. Appl. Crystallogr.* 32(3), 516-524

Promoted by DFG under the project number: 394148498

## Kevin-Peter Gradwohl mit dem CGCT Young Scientists Award ausgezeichnet

News des IKZ, Berlin, 31.3.2021

Für seine Forschung über den Einfluss der Wachstumsrichtung auf die Versetzungsstruktur in Germanium-Einkristallen erhält der IKZ-Doktorand Kevin-Peter Gradwohl den Young Scientists Award der 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT).

Das aktuelle Interesse an Germanium-Einkristallen mit einer spezifisch angepassten Defektstruktur wird durch die Grundlagenforschung im Rahmen der Suche nach dem neutrinoslosen Doppel-Beta-Zerfall zur Entschlüsselung der Eigenschaften des Neutrinos angeheizt. Das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) ist Teil der LEGEND-Kollaboration - welche das weltweit führende  $^{76}\text{Ge}$ -basierte Doppel-Beta-Zerfall-Experiment leitet - und forscht an der verbesserten Weiterverarbeitung von angereichertem Germanium.

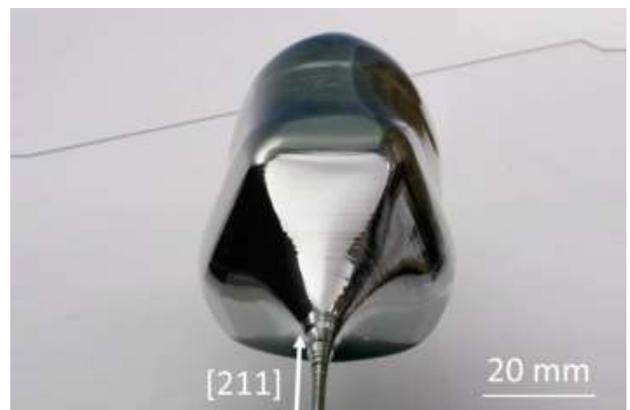
Kevin-Peter Gradwohl arbeitet an diesem Projekt und unterstützt das Team im Rahmen seiner Doktorarbeit zur Züchtung und Defektuntersuchung von hochreinen Germaniumkristallen. Diese Einkristalle wurden mit der Czochralski-Methode in  $[211]$ - und  $[110]$ -Richtung zum Zweck des Versetzungsstruktur-Engineerings gezüchtet. Durch das Wachsen eines dünnen Kristallhalses bei hoher Wachstumsgeschwindigkeit war es möglich, Versetzungstypen und Linienerichtungen auszurichten, da ausschließlich eine der  $111$ -Gleitebenen parallel zu den Wachstumsrichtungen verläuft. Mit Hilfe der Weißstrahl-Röntgentopographie wurde eine umfangreiche Burgers-Vektor-Analyse durchgeführt, die ergab, dass die Versetzungen im  $[211]$ - und  $[110]$ -Kristall hauptsächlich vom Schrauben- bzw.  $60^\circ$ -Typ sind. Diese Ergebnisse konnten mit den örtlich aufgelösten Ladungsträgerlebensdauern der Kristalle korreliert werden.

Herr Gradwohl ist studierter Materialwissenschaftler und arbeitet seit 2018 im Rahmen einer Doktorarbeit zum Thema „Züchtung und Defektuntersuchung von hochreinen Germaniumkristallen für Strahlungsdetektoranwendungen“ am IKZ. Sowohl sein Master- als auch sein Bachelor-Studium schloss der gebürtige Österreicher mit Auszeichnung ab. Bereits im Studium spezialisierte sich Kevin-Peter Gradwohl im Rahmen eines akademischen Austauschprogrammes mit der Northwestern Polytechnical University (Xi'an, China) sowie in zahlreichen Praktika auf die Züchtung und Charakterisierung von Kristallen.

Die ausgezeichnete Forschungsarbeit wird voraussichtlich im Rahmen des Konferenzbandes der CGCT im *Journal of Crystal Growth* veröffentlicht.



Erhält den Young Scientists Award: Kevin-Peter Gradwohl (Foto: IKZ)



Germanium-Einkristall, gewachsen in  $[211]$ -Richtung nach dem Czochralski-Verfahren, mit Spiegelsymmetrie in der  $(101)$ -Ebene. (Foto: IKZ)

Kontakt:

Frau Dr. R. Sumathi, Herr K.-P. Gradwohl  
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)  
Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin-Adlershof

# Smart Workflow, Faster Experiments

## LEXT™ OLS5100 3D Laser Scanning Microscope

Built for fast failure analysis and material engineering experiments, the OLS5100 microscope combines guaranteed measurement accuracy with smart tools that make the system easy to use.



### **Simpler Measurement Testing Workflows**

The new Smart Experiment Manager automates time-consuming tasks such as creating an experiment plan; data populate the plan automatically as it's acquired.

### **Data You Can Trust**

Guaranteed measurement accuracy and a Smart application provide data you can be confident in.

### **Acquire Data at the Push of a Button**

Just put your sample on the stage and press the start button – the microscope does the rest.

[www.olympus-ims.com](http://www.olympus-ims.com)

## Über die DGKK

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

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

### 1. Vorsitzender

Prof. Dr. Andreas N. Danilewsky  
Kristallographie  
Institut für Geo- und Umweltwissenschaften  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Hermann-Herder-Str. 5, 79104 Freiburg  
Tel.: 0761 / 203 - 6450  
E-Mail: [a.danilewsky@krist.uni-freiburg.de](mailto:a.danilewsky@krist.uni-freiburg.de)

### 2. Vorsitzender

Prof. Dr. Andreas Erb  
Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturphysik  
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften  
Walther-Meißner-Straße 8, 85748 Garching  
Tel.: (089) 2891 4228  
E-Mail: [andreas.erb@wmi.badw.de](mailto:andreas.erb@wmi.badw.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@fau.de](mailto:peter.wellmann@fau.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](mailto:christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de)

### Beisitzer

Dr. Ulrike Wunderwald  
Fraunhofer Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien (THM)  
Am St.-Niclas-Schacht 13, 09599 Freiberg  
Tel.: 03731 / 2033-101  
E-Mail: [ulrike.wunderwald@iisb.fraunhofer.de](mailto:ulrike.wunderwald@iisb.fraunhofer.de)

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

### Redaktion:

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

### Anzeigen:

Dr. Ulrike Wunderwald  
Fraunhofer Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien (THM)  
Tel.: 03731 / 2033-101  
E-Mail: [ulrike.wunderwald@iisb.fraunhofer.de](mailto:ulrike.wunderwald@iisb.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](mailto:christiane.frank-rotsch@ikz-berlin.de)

### Redaktionsschluss:

25. Juni 2021  
ISSN 2193-374X (Druck)  
ISSN 2193-3758 (Internet)  
Gesetzt mit pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

### Internetredaktion:

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

E-Mail: [internet.redaktion@dgkk.de](mailto:internet.redaktion@dgkk.de)

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)  
Tel.: 030 / 6392 3093  
E-Mail: [webmaster@dgkk.de](mailto: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	Grundpreis GP		GP mit Bearb.-Gebühr	
	1/1 Seite	1/2 Seite	1/1 Seite	1/2 Seite
1	288,00 €	135,00 €	316,80 €	148,50 €
4	234,00 €	108,00 €	257,40 €	118,80 €

# Feedback furnace

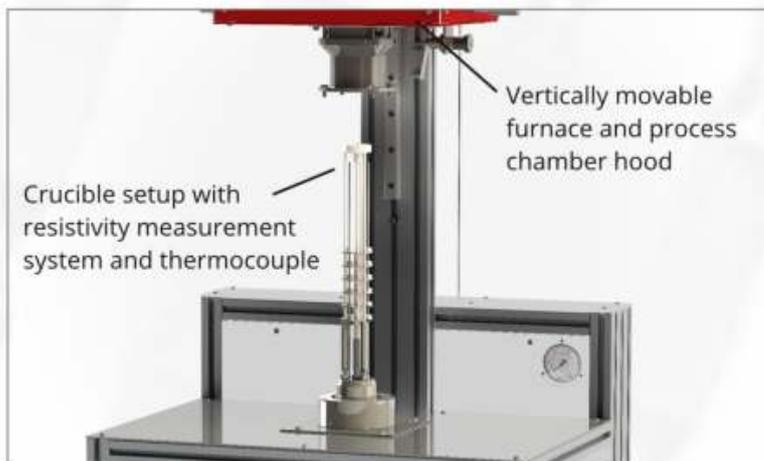
Novel equipment for flux crystal growth:  
Direct process control by in-situ detection of phase transitions

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

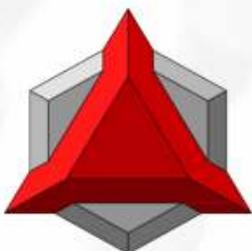
- Detect crystallization onset by latent heat monitoring directly from the solution
- Perform seed selection by temperature oscillation at the crystallization point
- Suppress supercooling and uncontrolled crystallization

Technical specifications in the standard configuration:

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

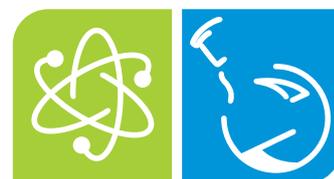


A high-precision measurement system directly detects ongoing crystallization during flux growth by the onset of characteristic signatures in the temperature profile of the sample. This signal is caused by the latent heat associated with the phase transition. The in-situ detection of nucleation allows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



**SCIDRE**  
SCIENTIFIC INSTRUMENTS DRESDEN GMBH

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



**chemPUR**

*Ihr Partner für Chemie & Physik*

# Wir schaffen Verbindungen



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

ChemPur Feinchemikalien und Forschungsbedarf GmbH  
Rüppurrer Straße 92    Tel.: + 49 (0) 7 21 - 9 33 81 40  
D-76137 Karlsruhe    info@chempur.de

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