

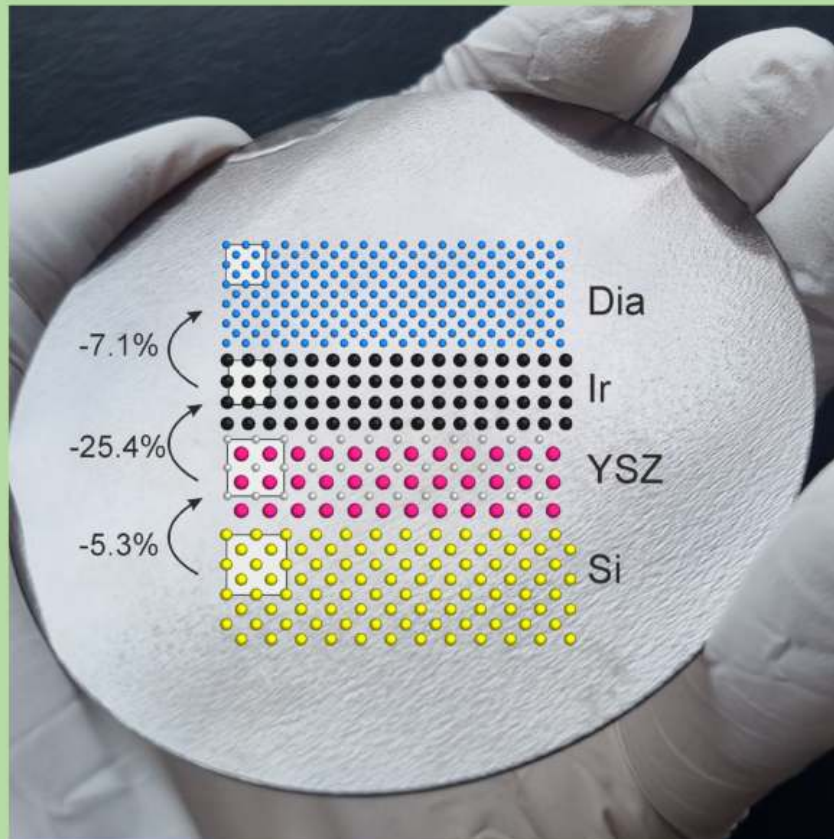


ISSN 2193-3758

Mitteilungsblatt  
Nr. 113 / 2022



Deutsche Gesellschaft  
für Kristallwachstum und  
Kristallzüchtung e.V.

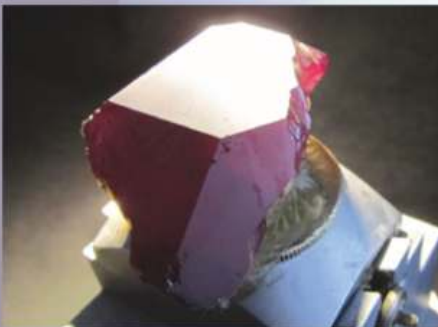


## Inhaltsverzeichnis

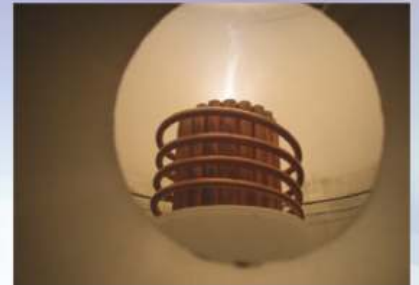
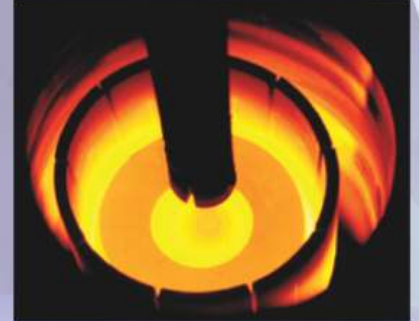
Der Vorsitzende / Editorial	4
DGKK Fokus	7
DGKK Nachrichten	10
DGKK Personen	19
DGKK Nachwuchs	20

# SurfaceNet

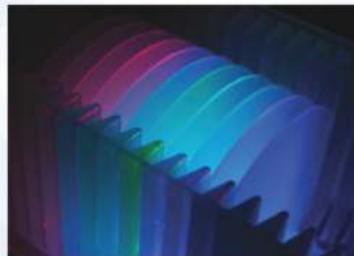
## Crystals



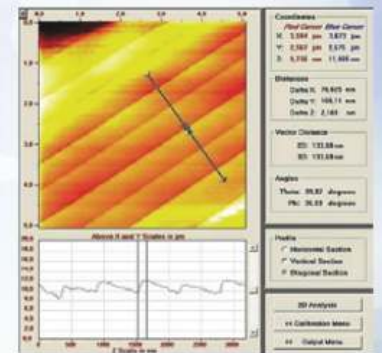
## Crystal Puller



## Wafers



## Analytical Services



## Substrates Custom Parts

## Sputter Targets PLD Targets Custom Crystal Growth

### SurfaceNet GmbH

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

## Der Vorsitzende

### Liebe Kolleginnen und Kollegen,

noch immer hält uns die Pandemie im Griff, wenngleich augenblicklich weit weniger stark als zum Beginn ihres Auftretens. Als DGKK ist es uns trotz zahlreicher Beeinträchtigungen bei Präsenzveranstaltungen gelungen, sowohl 2020 als auch 2021 die DKT in Präsenz abzuhalten. Die DKT 2021 in Berlin musste zwar vom Frühjahr auf den Herbst, also der Zeit der Arbeitskreistreffen, verschoben werden, war aber ein voller Erfolg, und die Mitgliederversammlung und Neuwahl des Vorstands konnten satzungsgemäß durchgeführt werden. Im Jahr 2022 wird keine DKT stattfinden, sondern diese wird, um wieder in den althergebrachten Rhythmus zu kommen, erst im Frühjahr 2023 in Augsburg ausgerichtet. Es ergibt sich dann wieder der bewährte Ablauf von DKTs im Frühjahr und Arbeitskreistreffen im Herbst.

Da wir satzungsgemäß eine Mitgliederversammlung abhalten müssen, wurde beschlossen, diese im Rahmen der fast zeitgleichen Arbeitskreistreffen in Freiberg und Dresden im Herbst (Donnerstag, 6.10.2022, 19:00 Uhr im IFW Dresden) durchzuführen - so viel zur organisatorischen Seite.

Die letzten zwei Jahre waren geprägt von der Coronapandemie und seit nunmehr mehreren Monaten vom unsehligen Krieg in der Ukraine. Beide Ereignisse haben auch direkte Folgen für unsere Wirtschaft und unser aller Wohlergehen. Schuld an dieser Entwicklung ist die starke Abhängigkeit von Rohstoffen und Energie und von der Auslagerung von Schlüsseltechnologien in Regionen und Länder mit niedrigerem Lohnniveau und weniger oder keinen Umweltauflagen. Resultat solcher Politik ist die Dependenz von totalitären Regimen wie China oder Russland, welche solche

Unselbstständigkeit im Konfliktfall auch rücksichtslos ausnutzen können. Das Thema Material- oder Ressourcensouveränität war dann auch, schon ohne Krieg in der Ukraine, Gegenstand unseres Fokusthemas Technologiesouveränität auf der vergangenen DKT 2021 in Berlin. Gerade die Kristallzüchtung stellt eine wesentliche Technologie dar, und es ist ein Ergebnis verfehlter Politik, wenn heute alle Solarpanels aus China kommen und ein ganzer Standort der Solarindustrie in Deutschland eingestampft wurde. Dies umso mehr als heute erkannt wird, dass Photovoltaik in Deutschland einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise leisten könnte. Stattdessen wurde der Ausbau von Pipelines für vermeintlich billiges, klimaschädliches Gas aus Russland vorangetrieben und so eine uns gefährdende Abhängigkeit von einem russischen Diktator geschaffen. Die deutsche Autoindustrie kann im Moment teilweise nicht liefern, weil die Halbleiterproduktion weitgehend nach China verlagert wurde. Was dies für Deutschland bedeutet, ist noch gar nicht abzusehen. Ein weiteres Beispiel ist auch die Abhängigkeit von China als Hauptproduzenten der technologisch wichtigen Seltenen Erden. Schlüsseltechnologien, und dazu gehört zweifellos die Kristallzüchtung, müssen, auch im Interesse der Sicherheit, in Deutschland und den uns befreundeten Demokratien bleiben. Die Kristallzüchtung in Deutschland zu stärken ist Sicherheitspolitik und somit eine lohnende Aufgabe. Dies unserer Gesellschaft und der Politik zu verdeutlichen ist unsere gemeinsame Aufgabe.

Es grüßt Sie  
Andreas Erb

## Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende	4	Zur intelligenten Kristallzüchtung	14
Editorial	5	FAIRmat	15
Titelbild	5	Jubilare	15
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2022	6	Flexoelektrische BaTiO <sub>3</sub> -Membranen	17
DGKK-Fokus	7	M. Bickermann: IWCGT-8	18
M. Schreck: Einkristalliner Diamant	7	DGKK-Personen	19
DGKK-Nachrichten	10	Prof. Oussama Moutanabbir: Fellowship	19
CSSC 11 & SiMat 4 workshop	10	DGKK-Nachwuchs	20
IWCGT-8	12	A. Baki: Dissertation	20
		Projektwoche "Kristalle" an der Montessori-Schule	22
		Über die DGKK	23

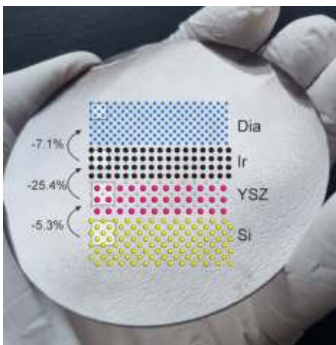
## Editorial

Verehrte Leserinnen und Leser,

da die jährliche Mitgliederversammlung der DGKK aus praktischen Gründen zeitlich in die Saison der Arbeitskreistreffen verlegt wurde, finden Sie in dieser Ausgabe auch die Einladung zur Mitgliederversammlung. Im Fokusartikel gibt uns Matthias Schreck (Univ. Augsburg) einen Einblick in die Welt der einkristallinen Diamant-Züchtung. Im weiteren Heft finden Sie Berichte u.a. über drei in Präsenz stattgefundene

Meetings, ein schönes Zeichen, dass das Konferenzleben wieder aufblüht. In der Rubrik Nachwuchs gibt es wieder einen Report zu einer erfolgreich abgeschlossenen Promotion, angesichts der Zahl kürzlich promovierter Kolleginnen und Kollegen wären aber mehr Berichte möglich gewesen. Schade! Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen  
Klaus Böttcher

## Titelbild



Freistehende einkristalline Diamantscheibe, heteroepitaktisch gewachsen mittels Mikrowellenplasma-unterstützter Chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) auf einem epitaktischen Multischichtsystem. Iridium widersteht den harschen CVD-Bedingungen und erlaubt eine orientierte Diamant-Keimbildung. Aus Kostengründen verbietet sich jedoch die Verwendung eines Bulksubstrates. Stattdessen kommt ein Siliziumwafer zum Einsatz. Die dünne Zwischenlage aus Yttriumoxid stabilisiertem Zirkondioxid (YSZ) verhindert eine unvorteilhafte Reaktion zwischen Iridium und Silizium. (s. Fokusartikel ab S. 6)

Quelle: M. Schreck, Univ, Augsburg

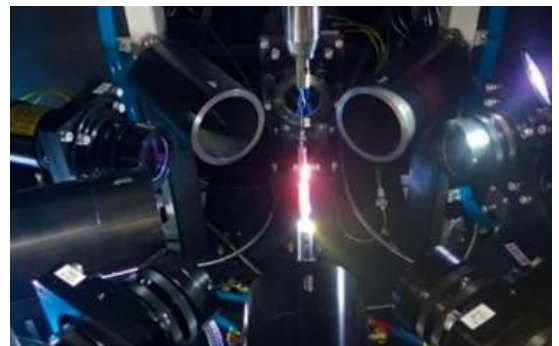


qd-europe.com

## 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 eingestrahelten Energie
- Strahlprofile sind für die Kristallzucht optimiert
- Temperaturmessung und Steuerung in Echtzeit



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



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



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



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

Quantum Design GmbH, Ihr Ansprechpartner ist Dr. Marc Kunzmann ☎ +49 6151 8806-46, ✉ kunzmann@qd-europe.com



**An alle Mitglieder**

**Schriftführerin**  
Dr. Christiane Frank-Rotsch  
Leibniz Institut für Kristallzuchtung  
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)  
20.06.2022

**Jahreshauptversammlung 2022**

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur ordentlichen Mitgliederversammlung (Jahreshauptversammlung 2022) ein, die im Zusammenhang mit dem DGKK-Arbeitskreis „Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelation“ stattfindet.

**Ort: IFW Dresden**  
Helmholtzstraße 20  
01069 Dresden

**Zeit: Donnerstag, 06.10.2022, 19:00 Uhr**  
**Lecture Hall (großer Hörsaal) A1E.10**

**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 2023
7. Deutsche Kristallzüchtungstagungen 2023 und 2024
8. Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2024
9. Diskussion zur Nutzung des Mitgliederverzeichnisses
10. Abstimmung zur Satzungsänderung
11. Berichte zu den DGKK – Arbeitskreisen
12. 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 2022 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen

Christiane Frank-Rotsch  
Schriftführerin DGKK

## DGKK-Fokus

# Einkristalliner Diamant – vom exotischen Schmuckstein zum industriell verfügbaren Hochleistungsmaterial

Matthias Schreck, Institut für Physik, Universität Augsburg

Wie altindische Überlieferungen belegen, ist Diamant der Menschheit seit mehr als 5000 Jahren als außergewöhnliches Mineral bekannt, dem neben seiner Härte auch magische Kräfte zugeschrieben wurden. Aufgrund seiner außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften wurde er bereits früh als Werkzeug verwendet. Das seltene Vorkommen und die Brillanz in geschliffenem Zustand machten ihn zu einem begehrten Schmuckstein.

Die überschaubare Zahl an natürlichen Fundorten - üblicherweise in sog. Kimberlit-Schloten - hängen eng zusammen mit seiner Eigenschaft als metastabiles Material bei Normalbedingungen und seinem Entstehungsprozess: In einer Tiefe von ca. 150 km unter der Erdoberfläche liegen Druck- und Temperaturbedingungen vor, bei denen Diamant statt Graphit die thermodynamisch stabile Modifikation des Kohlenstoffs darstellt. Einmal entstanden wird er in Vulkanschloten so schnell an die Erdoberfläche transportiert, dass keine Rücktransformation stattfinden kann.

Seine einzigartige Kombination extremer Materialeigenschaften (u.a. größte Härte, höchste Wärmeleitfähigkeit, extrem hohe Sättigungsdriftgeschwindigkeiten für Elektronen und Löcher, breiter Transparenzbereich vom IR bis zum UV, Strah-

lenhärte) waren ein zusätzlicher Antrieb für die Entwicklung einer künstlichen Synthese. Das zuerst erfolgreiche Hochdruckverfahren (high-pressure high-temperature: HPHT) bildet mit einem typischen Druck von 6 GPa und Temperaturen von 1300 – 1600°C den natürlichen Entstehungsprozess nach. Die alternative chemische Gasphasenabscheidung (chemical vapor deposition CVD) findet dagegen bei wenigen mbar bis Atmosphärendruck und Temperaturen von 500 – 1200°C fern vom Gleichgewicht und kontrolliert durch die Kinetik der molekularen Anlagerungs- und Ätzschritte statt [1].

Im Gegensatz zu rein thermischen CVD Verfahren - wie typisch für verschiedene Verbindungshalbleiter - ist bei der Diamantsynthese mittels CVD eine unabhängige Aktivierung der Gasphase notwendig. Dies geschieht beim Heißdrahtverfahren (hot filament HFCVD) mittels 2000 – 2600°C heißer Wolframfilamente, die als Anordnung parallel gespannter Drähte technische Substrate mit Flächen von bis zu 0.5 m<sup>2</sup> mit polykristallinem Diamant bei Raten von einigen  $\mu\text{m}/\text{h}$  beschichten können. Elektrische Anregungsverfahren mittels DC-, Radiofrequenz (RF)- oder Mikrowellen (MW)-Entladung ermöglichen weitaus höhere Gastemperaturen bis >5000 K und in der Folge auch Wachstumsraten  $\gg 100 \mu\text{m}/\text{h}$ .

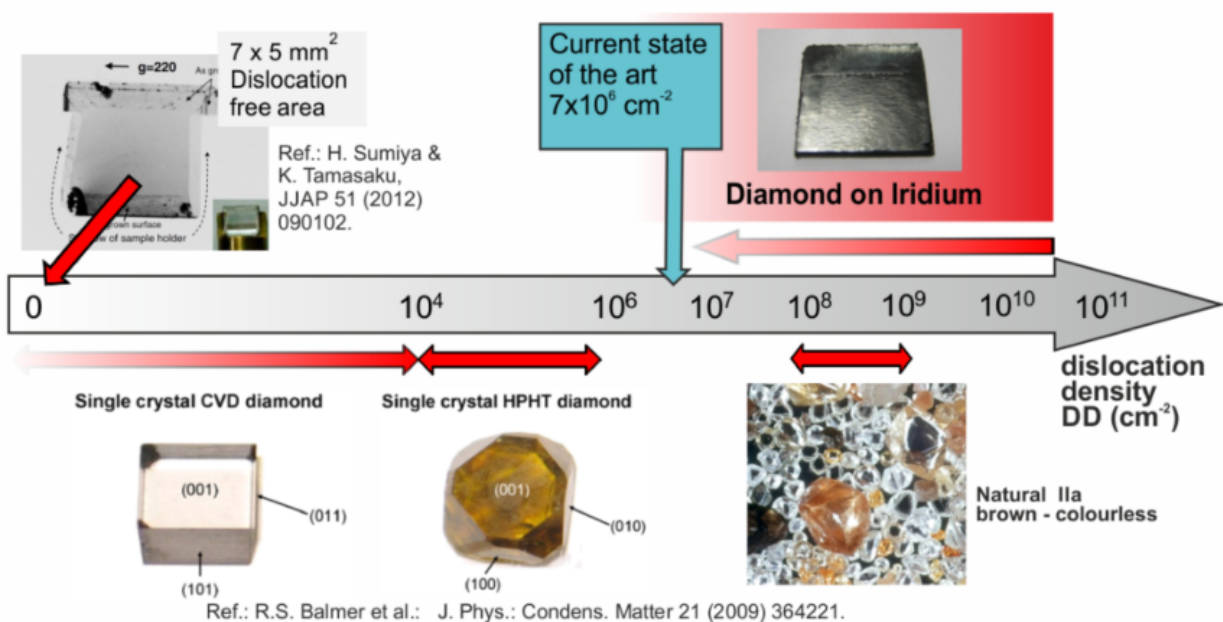


Abb. 1: Übersicht über verschiedenste einkristalline Diamantmaterialien und ihre Einordnung hinsichtlich der Versetzungsdichten. Die typisch gelben industriellen HPHT Kristalle enthalten ca. 100 ppm Stickstoff und liegen mit ihren Versetzungsdichten von  $10^4$ - $10^6 \text{ cm}^{-2}$  im mittleren Bereich. Optimierte HPHT Prozesse ermöglichen farblose Kristalle mit versetzungsfreien Bereichen (s. Sumiya *et al.*). Auf solch handverlesenen Substraten können extrem versetzungsarme CVD-Schichten homoepitaktisch abgeschieden werden (Single crystal CVD diamond). Heteroepitaktischer Diamant auf Iridium beginnt nach der Nukleation bei Dichten  $> 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  und durchläuft beim Dickenwachstum idealerweise komplett den Bereich von typischen Ila Naturkristallen ( $10^8$ - $10^9 \text{ cm}^{-2}$ ) bis hin zu Werten  $< 10^7 \text{ cm}^{-2}$  (Grafik: M. Schreck).

Die Mikrowellenplasma-CVD (MWPCVD) hat sich dabei als bevorzugte Methode etabliert mit einer überlegenen Kombination aus Reinheit (kein Einbau von Fremdelementen aus Elektroden oder Filamenten), Rate und Fläche. Dies gilt insbesondere für die Synthese von einkristallinem Diamant.

Homoepitaxie auf ausgelesenen defektarmen Kristallen aus der HPHT Synthese sind ein Ansatz zum Wachstum von Einkristallen mittels CVD. Sie ermöglichen die strukturell hochwertigsten Proben mit minimalen Versetzungsdichten bis zu mm-großen defektfreien Bereichen. Allerdings ist die Größe im Wesentlichen durch die maximalen Abmessungen verfügbarer Hochdruckkristalle, d.h. auf unter 20 mm begrenzt. Die Heteroepitaxie ist weitestgehend frei von diesen Beschränkungen. In drei Jahrzehnten intensiver Suche nach geeigneten Substratmaterialien, die chemisch kompatibel mit Diamant, stabil unter den harschen CVD-Bedingungen und die eine orientierte Keimbildung erlauben, wurde Iridium als einzigartig identifiziert: Das Edelmetall aus der Platingruppe, das weder Kohlenstoff in nennenswerter Menge löst noch Karbide bildet, ermöglicht um Größenordnungen höhere Diamantkeimichten mit wesentlich besserer Ausrichtung als alle alternativen Substratmaterialien. Grundlage dafür ist ein ebenso ungewöhnlicher Prozess: Das "Ion bombardment induced buried lateral growth (IBI-BLG)" konnte bisher ausschließlich auf Ir-Oberflächen beobachtet werden [2].

Mit dem exorbitant teuren Edelmetall (derzeit 05/2022 >150\$/g) ergibt sich zunächst die zusätzliche technische Herausforderung, Ir als dünne einkristalline Schicht auf erschwinglichen alternativen und skalierbaren Einkristallen zu wachsen. Dies ist gelungen mit  $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Besonders vorteilhaft erweist sich die Deposition von Iridium auf Silizium, wobei die Reaktion zwischen beiden Materialien durch Einfügen einer dünnen Oxidschicht von  $\text{SrTiO}_3$  oder Yttriumoxid stabilisiertem Zirkondioxid (YSZ) verhindert werden muss. Angesichts der enorm hohen Gitterfehlpassungen (siehe Abb. 2) ist es überraschend, dass dieses Schichtsystem überhaupt so gut funktioniert: So lässt sich z.B. das Iridiummetall mit einer geringen Mosaikbreite von  $0.1 - 0.2^\circ$  auf YSZ aufwachsen, obwohl die Oxidpufferschicht darunter eine hohe Breite von  $1 - 2^\circ$  aufweist und zwischen beiden Kristallgittern eine Fehlpassung von ca. 25 % vorliegt. Ermöglicht wird dies durch einen gezielten Zweischrittprozess [3], der auch auf andere Metalle übertragen [4] und zur Synthese von Graphen [5] oder h-BN [6] Schichten auf Si-Wafern genutzt werden konnte.

Mit dem Schichtsystem Diamant/Ir/YSZ/Si wurde 2017 erstmals eine einkristalline Scheibe mit einer maximalen Abmessung von 92 mm und 155 Karat realisiert [2]. Sie markiert bis dato den Stand der Entwicklung.

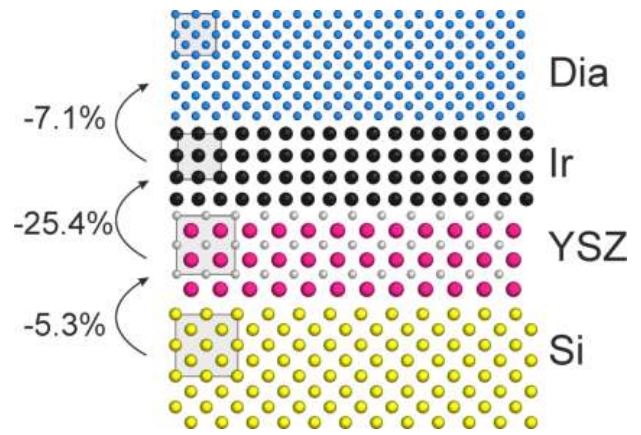


Abb. 2: Aufbau des epitaktischen Schichtsystems Diamant/Ir/YSZ/Si(001) mit Gitterfehlpassungen zwischen den einzelnen Schichten (Grafik: M. Schreck)

Als Folge der Gitterfehlpassung von ca. 7% zwischen Ir und Diamant ist die Dichte an Versetzungen zu Beginn des Schichtwachstums extrem hoch ( $> 10^{10} \text{cm}^{-2}$ ). Mit zunehmender Schichtdicke  $d$  reduziert sie sich  $\propto 1/d$ , so dass man bei  $d > 2 \text{ mm}$  bereits Werte von  $7 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$  und eine Rockingkurvenbreite von  $\approx 100''$  gemessen hat (siehe Abb. 1). Weitere Verbesserungen sind absehbar beim Einsatz von verfeinerten Wachstumskonzepten wie dem epitaktischen lateralen Überwachsen (epitaxial lateral overgrowth ELO). Kommerziell verfügbar ist heteroepitaktischer Diamant (siehe Abb. 3) bei der Uni-Ausgründung Augsburg Diamond Technology GmbH ([www.audiatec.de](http://www.audiatec.de)). Er findet derzeit umfangreich Verwendung als Schneidstoff für die spanende Ultrapräzisionsbearbeitung, für Augenskalpelle oder als optisches Material im UV/Vis/IR Bereich. Auch als Wärmesenken für konventionelle Hochleistungselektronik basierend auf den III-V Nitriden besteht Potential.

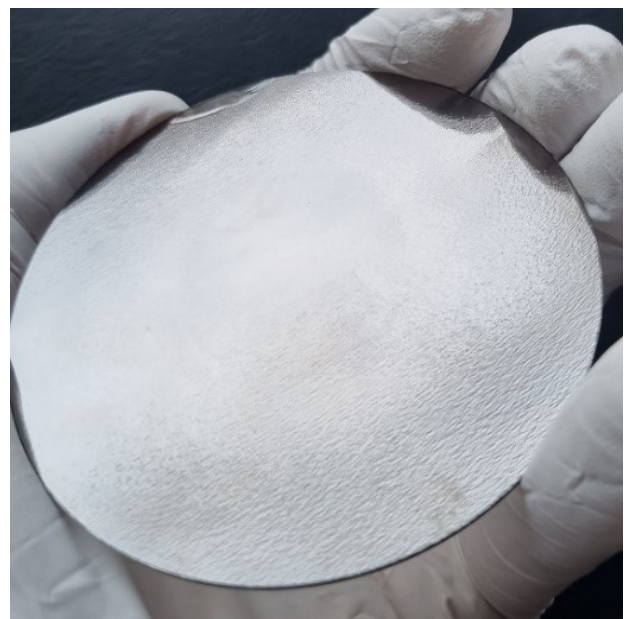


Abb. 3: Freistehende einkristalline Diamantscheibe mit einem Durchmesser von 81 mm (114 Karat) gewachsen mittels MWPCVD auf Ir/YSZ/Si(001) (Quelle: Dr. Stefan Gsell, Augsburg Diamond Technology GmbH).



Abb. 4: Volldiamantring mit 133 Facetten (3.87 Karat) hergestellt von Dutch Diamond Technologies (DD) aus einem heteroepitaktischen Diamanten aus Augsburg (Quelle: Ton Janssen, DD).

Die technologisch anspruchsvollsten Anwendungen von einkristallinem Diamant sind in naher Zukunft auf dem Gebiet der aktiven Elektronik (höchste Spannungen und Ströme) [7], der Detektion hochenergetischer Strahlung sowie im Bereich der Quantensensorik (Magnetfeldmessung) zu erwarten [8]. Bei letzterer spielen ebenso wie beim Thema Quantencomputing die langen Kohärenzzeiten der Elektronenspins von Farbzentren wie dem Stickstoff-Leerstellen-Komplex (NV) eine zentrale Rolle.

Bei der industriellen Umsetzung sollten idealerweise die etablierten Techniken aus der Halbleiterindustrie zum Einsatz kommen. Dies setzt die Verfügbarkeit von Einkristallen in Wafergröße voraus. Eine der vordringlichsten Aufgaben ist deshalb die Evaluierung der Mindestanforderungen hinsichtlich Kristallqualität (insbesondere Versetzungsdichte) in den einzelnen Anwendungsfeldern. Das exzellente Verhalten von ersten Schottky-Dioden realisiert auf heteroepitaktischem Diamant [9] sowie das nicht ausgeschöpfte Potential für eine weitere Reduktion der Versetzungsdichte legen nahe, dass heteroepitaktischer Diamant auf Iridium sich zum Goldstandard für eine Kommerzialisierung dieses einzigartigen Materials entwickeln könnte. Hinsichtlich ästhetischer Anziehungskraft dürften die zu Schmuck geschliffenen Kristalle den industriellen Anwendungen allerdings weiterhin den Rang ablaufen (siehe Abb. 4).

#### Referenzen:

[1] M. Schreck, Growth of single crystal diamond wafers for future device applications, in *Wide Bandgap Semiconductors for Power Electronics*, Eds.: P. Wellmann, N. Ohtani, R. Rupp,

Wiley-VCH, (2022) p. 583.

[2] M. Schreck, S. Gsell, R. Brescia, M. Fischer, Ion bombardment induced buried lateral growth: the key mechanism for the synthesis of single crystal diamond wafers, *Scientific Reports* 7, 44462 (2017).

[3] M. Fischer, S. Gsell, M. Schreck, R. Brescia, B. Stritzker, Preparation of 4-inch Ir/YSZ/Si(001) substrates for the large-area deposition of single crystal diamond, *Diamond Relat. Mater.* 17, 1035 (2008).

[4] S. Gsell, M. Fischer, M. Schreck, B. Stritzker, Epitaxial films of metals from the platinum group (Ir, Rh, Pt and Ru) on YSZ-buffered Si(111), *J. Cryst. Growth* 311, 3731 (2009).

[5] P. Zeller, M. Weinl, F. Speck, M. Ostler, A.-K. Henß, T. Seyler, M. Schreck, J. Winterlin, Single crystalline metal films as substrates for graphene growth, *Ann. Phys. (Berlin)* 529, 1700023 (2017).

[6] A. Hemmi, C. Bernard, H. Cun, S. Roth, M. Klöckner, T. Kälin, M. Weinl, S. Gsell, M. Schreck, J. Osterwalder, T. Greber, High quality single atomic layer deposition of hexagonal boron nitride on single crystalline Rh(111) four-inch wafers, *Rev. Sci. Instrum.* 85, 035101 (2014).

[7] *Power Electronics Device Applications of Diamond Semiconductors*, Eds. S. Koizumi, H. Umezawa, J. Pernot, M. Suzuki, Woodhead Publishing, 2018.

[8] C.L. Degen, F. Reinhard, P. Cappellaro, Quantum sensing, *Rev. Mod. Phys.* 89, 035002 (2017).

[9] P. Sittimart, S. Ohmagari, T. Yoshitake, Enhanced in-plane uniformity and breakdown strength of diamond Schottky barrier diodes fabricated on heteroepitaxial substrates, *Jpn. J. Appl. Phys.* 60, SBBD05 (2021).



## DGKK-Nachrichten

# 11<sup>th</sup> International Workshop on Crystalline Silicon for Solar Cells & 4<sup>th</sup> Silicon Materials Workshop in Lisbon on April 20-22, 2022

Robert Menzel and Iryna Buchowska, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin-Adlershof

The joint workshop event took place as a physical event at the Faculty of Sciences of the University of Lisbon (FCUL) Campo Grande in Lisbon (Portugal).



View on the roofs of the faculty with solar panels.  
(Photo: <https://cssc11.campus.ciencias.ulisboa.pt>)

The CSSC workshop focused on the silicon material and the substrate with strong attention on crystallization, while the focus of the SiMat workshop was on the connection between silicon materials and cell and module technologies.

The topics were widely diversified:

- Plenary talks

E. Marstein (IFE, Norway) et al. have developed a **method enabling low temperature FT-IR spectroscopy on silicon wafers**. This has proven to be a powerful tool for studying hydrogen-related defects in silicon. Hydrogen plays a key role in many mechanisms determining the electronic material quality of silicon materials for solar cells.

R. Menzel et al. (Berlin, Germany) have grown crystals with a diameter of 4 inch, using their **newly developed set-up for Silicon Granulate Crucible (SiGC) method growth**. The SiGC method is a novel growth concept they have proposed for the production of high-quality silicon single crystals for photovoltaic application. During SiGC growth the crystal is pulled from an inductively heated melt pool that is not in contact to a contaminant. High-purity is achievable due to the use of electronic grade fluidized bed silicon granules as containment for the melt and as raw material.

- Novel monocrystalline materials

N. Stoddard et al. (Wilmington, MA, US) **pulled the single crystal silicon ribbons horizontally from a melt** and reported about Oxygen, carbon and other components in the crystals.

X. Lu et al. (Hangzhou, China) applied **high-velocity Czochralski growth of photovoltaic Silicon (CZ-Si)** and they were faced with a series of problems such as **twin formation**, impurity/defect control, etc. They analyzed the formation of bulk twins in industrial photovoltaic p-type (001) CZ-Si (M6, d= 228 mm).

S. N. Dias et al. (Marseille, France) studied the **dislocation activation conditions and dynamics in monocrystalline Si** near the melting point by in situ by X-ray diffraction imaging. In their study, an intrinsic float zone single Si (110) wafer is chosen as seed to initiate growth similarly to the cast-mono technique.

F. Sturm (Erlangen, Germany) reported about the material evaluation for engineering a **novel crucible setup for the growth of oxygen free Czochralski silicon crystals**.

- Defects in silicon

B. Wright (New South Wales, Australia) reported about the Kinetics of **Light-Induced Instability in Bifacial N-Type Silicon Heterojunctions**

Z. Zhou et al. (New South Wales, Australia) analysed the structure of **oxygen-related striations in n-type Czochralski silicon wafers** caused by conventional industrial processes. Micro photoluminescence analyses indicate that the striations originate from nano-scaled oxygen precipitates. Deep level transient spectroscopy (DLTS) measurements indicate that these must be treated as extensive defects with a continuous spectrum of energies.

R. Turan et al. (Ankara, Turkey) studied **degradation mechanisms in Czochralski grown Si crystals for solar cell applications** by the hand of both boron (B) and gallium (Ga) doped Si wafers. Especially, a Light Induced Degradation (LID) and Light and Elevated Temperature Induced Degradation (LeTID) study with degradation-regeneration procedures has been carried out as a function of dopant density.

G. Gaspar et al. (Trondheim, Norway) reported about **copper in compensated p-type and n-type Czochralski silicon**: diffusivity, influence on the majority carrier density and mobility.

- Directional solidification, Upgraded metallurgical grade (UMG) and characterisation

**The decomposition of small-angle grain boundaries (SAGBs) during directional solidification (DS) of multi-crystalline silicon** was studied by L.-C. Chuang et al. (Sendai, Japan). DS was achieved from high purity Si raw materials in a quartz crucible under argon atmosphere. Their analyze show that a pure twist SAGB is not stable during solidification and prone to nucleate new grains to achieve more robust interfacial structures.

C. del Cañizo et al. (Madrid, Spain) reported about the key results when **using Upgraded Metallurgical Grade Silicon (UMG-Si) in comparison to polysilicon material** for a mass

production test, performed in commercial solar cells and modules production lines: after 24 months of outdoor photovoltaic electricity generation, the degradation in terms of performance ratio diminution has been the same for both types of modules.

Although PV industry is currently dominated by solar modules based on p-type crystalline silicon material, new cell concepts based on n-type wafers demonstrate record efficiencies and are the most suitable candidates to be the next industry standard. I. Buchovska et al. (Berlin, Germany) presented their **approach to reduce inhomogeneity of resistivity for n-type Si ingots from directional solidification** by using complex arrangements on influencing phosphorus evaporation rate during growth process, which involves adjustments of melt stirring, ambient gas flow, gas pressure etc.

Nowadays, the major part of photovoltaic solar modules is produced on the basis of cells derived from directionally solidified silicon ingots containing numerous crystallographic defects. T. Duffar (Grenoble, France & Sendai, Japan) investigated the **generation of twins and grains and displayed their appearance in terms of diagrams with "temperature gradient" versus "growth rate"**.

F. D. Heinz et al. (Freiburg, Germany) developed a microscopic setup designed for highly sensitive detection of silicon photoluminescence (PL) for the purpose to **measure actual charge carrier lifetime with a spatial resolution of 20  $\mu\text{m}$  at a moderate injection range of  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  relevant for solar cell operation**. To demonstrate the benefits of the

elaborated technique, a set of epitaxially grown wafers incorporating localised and dissolved defects were investigated.

- Impact of material properties on cell performance

T. Niewelt et al. (Warwick, UK) spoke about an **Auger parametrization** using a physically motivated equation based on Coulomb-enhanced Auger recombination for all doping and injection conditions relevant for silicon-based photovoltaics.

An industrial reliable and scalable and economically profitable recycling process for recovering silicon from end-of-life (EoL) PV-modules does not exist. P. Dold et al. (Halle (Saale), Germany) reported about **PERC-cells from 100% recycling-silicon from end-of-life PV-modules**. The cells reached a maximum cell efficiency of 19.7%, which shows clearly the potential of the recycling process.

D.M. Pera et al. (Lisbon, Portugal) have developed advanced **light-trapping structures for back-contact** crystalline silicon solar cells by metal-assisted chemical etching

F. Rougieux (New South Wales, Australia) had a presentation about bulk and interface **defects limiting high-efficiency n-type solar cells**.

A.Y. Liu et al. (Canberra, Australia) examined a range of poly-Si/SiO<sub>x</sub> structures made from different techniques. By quantifying the SiO<sub>x</sub> blocking effect through fitting the gettering kinetics by simulation, they were able to pinpoint and quantify the **factors that determine the overall gettering rate of the structures**.

## 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)

## 8<sup>th</sup> International Workshop on Crystal Growth Technology (IWCGT-8), Berlin, 29.05. - 02.06.2022

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

**Der 8<sup>th</sup> International Workshop on Crystal Growth Technology (IWCGT-8) fand vom 29. Mai bis zum 2. Juni 2022 im Pentahotel Berlin-Köpenick statt. Ausrichter war das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ). Knapp 80 Wissenschaftler aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen haben sich getroffen, um sich über den aktuellen Status, neue Entwicklungen und Perspektiven industrieller Kristallzüchtungs-Technologien auszutauschen.**

Der alle drei Jahre stattfindende Workshop geht auf eine Initiative von Hans Scheel und Tsuguo Fukuda zurück. Das Format ist an die US-amerikanischen *Gordon conferences* angelehnt: Renommiertere Referenten werden eingeladen, einen ausführlichen Vortrag über ein bestimmtes Problem oder eine Herausforderung in der anwendungsorientierten Kristallzüchtung zu halten. Daneben bieten lange Pausen und gemeinsame Mahlzeiten viel Raum für Diskussionen und Möglichkeiten zur Vernetzung. Die Teilnehmer können an den Abenden ihre eigenen Arbeiten als Poster präsentieren. Dazu gibt es eine Industrieausstellung.

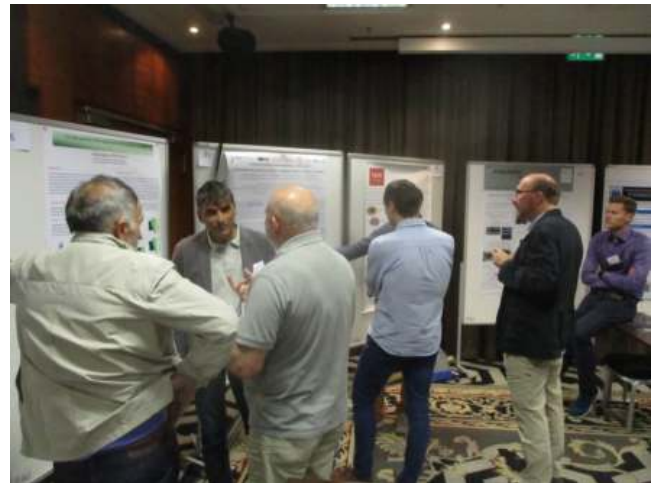
Im Zentrum des Workshops steht der persönliche Austausch. Deshalb haben wir den Workshop auch mehrmals verschoben, um ihn in Präsenz stattfinden zu lassen. Auch die persönliche Organisation ist sehr wichtig. Das *Steering Committee* ist mit international bekannten Kristallzüchtern besetzt und hilft bei der Auswahl der Referenten. Die Organisatoren Matthias Bickermann, R. R. Sumathi und Christiane Frank-Rotsch haben sich – natürlich mit Unterstützung der Administration – um alles selbst gekümmert und konnten durch den persönlichen Kontakt zu den Teilnehmern auch viele Probleme und Fragen im Vorfeld klären. Leider war die Teilnahme aus Über-



Während des Vortrages von Frau Sen. (Bild: M. Bickermann, IKZ)

see (Amerika und Asien) deutlich schwächer als bei den letzten Workshops, das Reiseverhalten war doch noch sehr zurückhaltend. Vier Referenten wurden online zugeschaltet, das war aber technisch problemlos möglich. Dafür war die starke Industriebeteiligung aus Europa wieder sehr erfreulich. Inhaltlich fokussiert sich der Workshop auf Themen der in-

dustriellen Kristallzüchtung, wobei jedes Thema von einem Referenten vertreten wird. Viele Technologien für Halbleiterkristalle sind materialspezifisch, z.B. GaAs / VGF (Stefan Eichler, Freiberger Compound Materials), GaN / HVPE (Yohei Otoki, SCIOCS, Japan), SiC / PVT (P.S. Raghavan, OnSemi, USA) und AlN / PVT (Rafael Dalmau, Hexatech, USA). Bei Silizium haben wir die Produktion von 800 kg-Cz-Kristallen für die Photovoltaik auf großindustriellen Anlagen bewundert (Zhixin Li, Linton Machine, China), und aber auch Forschungskonzepte mit kaltem Tiegel (Kader Zaidat, SiMAP INP Grenoble, Frankreich) und mit Granulat-Eigentiegel (Robert Menzel, IKZ) angesehen.



Viel diskutiert wurde an den Postern. (Bild: M. Bickermann, IKZ)

Yadong Xu (Northwestern Polytechnical Univ., China) hat neben dem Stand zur Verbesserung der CdZnTe-Kristallqualität auch die Züchtung neuer Röntgen-Detektormaterialien wie CsPbBr<sub>3</sub> diskutiert. Shashwati Sen (Bhabha Atomic Research Centre, India) hat die vielfältigen Kristallzüchtungsaktivitäten in ihrem Forschungslabor in Indien vorgestellt. Ebenfalls sehr beeindruckend war der sehr persönliche Bericht von Yasunori Furukawa (Oxide Corp., Japan) "über das Risiko einer Firmengründung" und "wie man als kleine Kristallzüchtungsfirma schwierige Aufträge, wechselnde Partner und ein ignorant Umfeld überlebt".

Natascha Dropka (IKZ) und Ludwig Stockmeier (Siltronic) haben in ihren Referaten die heute absolut relevanten Themen *Artificial Intelligence* und *Big Data* besprochen. Patricia Jandel hat die französische "Kristallzüchtungs-Foundry" Cristal Innov vorgestellt, und Andreas Mühe (PVA TePla) hat einen



Die Teilnehmer des Workshops, hier nahe der Dahme, im Hintergrund rechts das Köpenicker Schloss. (Bild: Ch. Frank-Rotsch, IKZ)

Überblick über Neuigkeiten beim industriellen Züchtungs-Anlagenbau gegeben. Wir haben zudem mit zwei Beiträgen "über den Tellerrand geschaut": Andriy Hikavyi (IMEC, Belgien) hat uns in die sagenhafte Welt der neuesten 3D-System-On-Chip (3D-SoC) Silizium-Bauelementtechnologie eingeführt, und Martin Wegener (Karlsruhe Inst. of Technology) zeigte uns, wie man 3D-Metakristalle druckt und damit z.B. Diffraction von rotem Laserlicht demonstrieren oder chirale Kristalle mit speziellen Schwingungsmoden herstellen kann. Der Platz reicht nicht aus, um die weiteren Referenten ange-

messen zu erwähnen ...

Der Workshop stieß bei allen Teilnehmern auf sehr positive Resonanz. Viele Teilnehmer sind regelmäßig dabei und schätzen den persönlichen Austausch unter Experten. Die Serie wird deshalb fortgesetzt, die IWCGT-9 wird aber erst 2026 stattfinden, da 2023 und 2025 bereits internationale Kristallzüchterkonferenzen (ICCG) angesetzt sind. Das Format wird bleiben, und auch Berlin steht als Tagungsort bereits fest. Wir freuen uns darauf!

## 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



## Auf dem Weg zur intelligenten Züchtung zukunftsweisender Kristalle

News des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, 11. März 2022

Die Nachfrage nach kostengünstigen, qualitativ hochwertigen Volumenkristallen für die Elektronik-, Photovoltaik- und Automobilindustrie hat in den letzten Jahren stark zugenommen.

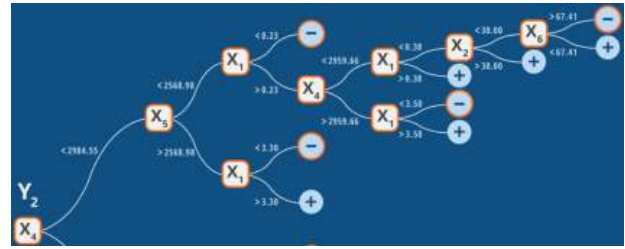
Die größte Herausforderung bei der Kristallzüchtung ist die Tatsache, dass die Kristalle unter schwierigen Prozessbedingungen gezüchtet werden, welche das Risiko einer Kristallverunreinigung bergen sowie lange Prozesszeiten erfordern.

In der Vergangenheit basierte die Prozessentwicklung und Prozessoptimierung auf allgemeinen Erfahrungswerten, die bei der Anwendung im industriellen Maßstab oder bei der Züchtung neuer Materialien eher spekulativ sind. Heute helfen globale numerische CFD-Simulationen, in Verbindung mit Modellexperimenten im kleinen Maßstab und realitätsnahen Experimenten im vorindustriellen Maßstab, die entscheidenden Prozessschritte und Faktoren für die Kristallzüchtung zu verstehen, erhöhen aber gleichzeitig die Entwicklungszeit und -kosten für die neue Technologie erheblich [1]. So dauerte es z.B. ca. 40 Jahre, um den Durchmesser von Si-Wafern von 1 Zoll auf 12 Zoll zu vergrößern.

Eines der leistungsstärksten, innovativen Verfahren, das in den letzten zehn Jahren auf dem Gebiet der Kristallzüchtung entwickelt wurde, ist das maschinelle Lernen. Es handelt sich um eine Reihe statistischer Methoden, die ein großes Potenzial für die Beschleunigung der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung bieten, insbesondere im Hinblick auf die Optimierung von Prozessen und Anlagen, die Prozesskontrolle sowie die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Heutzutage erleben wir eine explosionsartige Zunahme der Anwendungen in allen Bereichen der Kristallzüchtung sowie in allen Größenordnungen. Diese reicht von der Volumenkristallzüchtung bis hin zum Epitaxiewachstum, von den numerischen Simulationen bis hin zu den Experimenten oder auch von der atomaren Ebene bis zu einer Größenordnung im Makro-Bereich.

Die Arbeitsgruppe "Numerische Modellierung" begann ihre Aktivitäten auf diesem Gebiet vor fünf Jahren in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dresden und dem Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT) und gehört damit zu den Pionieren im Bereich der Volumenkristallzüchtung. Im Rahmen zweier von der DFG geförderter Projekte wurden und werden Techniken des maschinellen Lernens bei der Prozesssteuerung und der Entwicklung von Kristallzüchtöfen und -prozessen eingesetzt.

Der erfolgreiche Einsatz von maschinellem Lernen hängt stark mit dem Umfang und der Qualität der zur Verfügung



Ausschnitt aus einem Klassifikationsbaum zur Analyse der Abhängigkeit der Durchbiegung der Fest-Flüssig-Phasengrenze  $y_2$  von den Heizleistungen  $x_1 \dots x_5$  und der Wachstumsrate  $x_6$  bei der VGF-GaAs-Züchtung (Weiteres siehe [7]) (Grafik: Anne Riemann, IKZ)

gestellten Daten zusammen. Daher ist die Datensammlung und dessen Analyse eine wichtige Säule für den Erfolg. Vor diesem Hintergrund beteiligt sich die Gruppe "Numerische Modellierung" aktiv im Rahmen des FAIRMAT-Projekts [2] als Task Leader für die Thematik "Synthese aus der Schmelze" am Aufbau einer nationalen Dateninfrastruktur auf dem Gebiet der Materialwissenschaften.

Darüber hinaus fördert die IKZ-Arbeitsgruppe auch in den deutschen, europäischen und internationalen Kristallzüchtungsgesellschaften und auf Konferenzen die Techniken des maschinellen Lernens, z.B. als Mitglied der BR 50 Interessengruppe "Künstliche Intelligenz", als Vorsitz der Sitzung "Digitalisierung in der Kristallzüchtung" auf der ECCG7 Paris 2022 und in Form von eingeladenen Vorträgen auf der DKT, ACCGE-22, IWCGT-8 und JCCG-49 [3-6].

[1] N. Dropka, M. Holena, Application of Artificial Neural Networks in Crystal Growth of Electronic and Opto-Electronic Materials, *Crystals* 10 (2020) 00663.

[2] FAIRMAT, [https://www.fair-di.eu/fairmat/fairmat\\_/consortium](https://www.fair-di.eu/fairmat/fairmat_/consortium)

[3] N. Dropka, M. Holena, Recent advances and applications of data mining and machine learning in bulk crystal growth, DKT-2021, Berlin (2021/10/6-2021/10/8)

[4] N. Dropka, K. Böttcher, M. Holena, Smart development of vertical gradient freeze crystal growth recipes, ACCGE-22, USA(2021/8/2-2021/8/4) Virtual Conf.

[5] N. Dropka, M. Holena, Can artificial intelligence help us make better crystals? IWCGT-8, Berlin (2022/05/29-2022/06/02).

[6] N. Dropka, S. Ecklebe, M. Holena, Towards fast prediction of VGF growth process by recurrent neural networks, JCCG-49, Japan (2020/11/09-2020/11/11) Virtual Conf.

[7] N. Dropka, K. Böttcher, M. Holena, Development and optimization of VGF-GaAs crystal growth process using data mining and machine learning techniques, *Crystals* 11 (2021) 1218.

Kontakt:

Dr. Natascha Dropka, IKZ, [natascha.dropka@ikz-berlin.de](mailto:natascha.dropka@ikz-berlin.de)

## FAIRmat-Konsortium: Neues Konzept für zugängliche Forschungsdaten im Fachjournal Nature veröffentlicht

News des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, 12.05.2022

**Neuartige Dateninfrastruktur für den Bereich Materialwissenschaften soll zukünftig die gemeinsame Nutzung von Forschungsdaten ermöglichen.**



Die Wirkweise des FAIRmat-Konsortiums. (Grafik: FAIRmat)

Der technologische Fortschritt in den Bereichen Energie, Umwelt, Gesundheit, Mobilität und Informationstechnik beruht weitgehend auf der Entwicklung verbesserter oder neuartiger Materialien. Die enormen Mengen an Forschungsdaten, die täglich in diesem Bereich produziert werden, stellen eine "Goldmine des 21. Jahrhunderts" dar, wenn sie leicht geteilt und mit Methoden der Datenanalyse und Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) bearbeitet werden könnten. Hierzu bedarf es einer effizienten und gut nutzbaren Forschungsdatenbank in der Daten FAIR (findable, accessible, interoperable and reusable) sind. Daten "findable and AI ready" zu machen, wird die Art und Weise, wie Wissenschaft heute betrieben wird, verändern.

In der aktuellen Ausgabe des renommierten Journals Nature stellt das Konsortium FAIRmat ("FAIR Data Infrastructure

for Condensed-Matter Physics and the Chemical Physics of Solids") sein Konzept für die Umsetzung einer integrierten Dateninfrastruktur für den Bereich Materialwissenschaften vor, das die Bereiche Synthese, experimentelle Materialwissenschaften und computergestützte Materialwissenschaften integriert. Das IKZ verantwortet in diesem Konsortium, unter der Leitung der Humboldt-Universität, den Bereich der Materialsynthese. In FAIRmat arbeiten Expertinnen und Experten aus den Bereichen Datenwissenschaft, IT-Infrastruktur, Software-Engineering und den Materialwissenschaften als gleichberechtigte Partner.

Das FAIRmat-Konsortium ist Teil der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI). Die NFDI ist ein bundesweites Netzwerk, welches von 2019 bis 2028 mit bis zu 90 Millionen Euro pro Jahr von Bund und Ländern gefördert wird, um Forschungsdaten systematisch zu verwalten. Das Projekt basiert auf den umfassenden Erfahrungen mit der weltweit größten Dateninfrastruktur der computergeschützten Materialwissenschaften, dem Novel Materials Discovery (NOMAD) Laboratory.

Zur Publikation:

Matthias Scheffler et al.: FAIR data enabling new horizons for materials research, Nature, DOI: 10.1038/s41586-022-04501-x. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04501-x>

Weitere Informationen:

Dr. Martin Albrecht, Abteilung Materialwissenschaften, IKZ, [martin.albrecht@ikz-berlin.de](mailto:martin.albrecht@ikz-berlin.de)

## Jubilare

Wir gratulieren herzlich zum Geburtstag:

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Tolksdorf, Nidda	zum 90. Geburtstag
Herrn Prof. Dr. Helmut Klapper, Aachen	zum 85. Geburtstag
Herrn Prof. Dr. Dietrich Schwabe, Giessen	zum 80. Geburtstag
Herrn Dr. Rudolf Lauck, Pforzheim	zum 75. Geburtstag
Frau Dr. Anke Luedge, Schulzendorf	zum 70. Geburtstag



# 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.

## Flexoelektrische BaTiO<sub>3</sub>-Membranen: Innovative Materialstudie in der Fachzeitschrift Nature Communications erschienen

News des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, 13.06.2022

Mikrostrukturierung und Schichttransfer bieten die Möglichkeit, künstliche Kristallsysteme mit neuen Eigenschaften zu erzeugen, die über klassische Wachstumsansätze nicht zugänglich sind. Mit Hilfe der Remote Epitaxie ist es einem Team aus Forschern aus China und dem IKZ gelungen, dünne freitragende, sauerstoffverarmte Barium-Titanat (BaTiO<sub>3</sub>)-Schichten mit hohen flexoelektrischen Koeffizienten herzustellen. Dafür wurden bis zu 90 nm dünne BaTiO<sub>3</sub>-Schichten mit Hilfe der gepulsten Laserabscheidung heteroepitaktisch auf Graphen-passivierten Germanium-Substraten abgeschieden und nach der Exfoilierung auf flexible Polymer-Substrate transferiert. Für die Struktur der Membranen spielte die Orientierung der Germanium-Substrate eine wichtige Rolle. Die deutlich verbesserten flexoelektrischen Eigenschaften der BaTiO<sub>3</sub>-Membranen gegenüber konventionellen Dünnschichtsystemen werden auf die Abwesenheit von chemischen Bindungen zum Polymer-Substrat und damit auf den reduzierten Klemmeffekt (Clamping effect) sowie auf die kubische Gitterstruktur der BaTiO<sub>3</sub>-Schichten, induziert durch

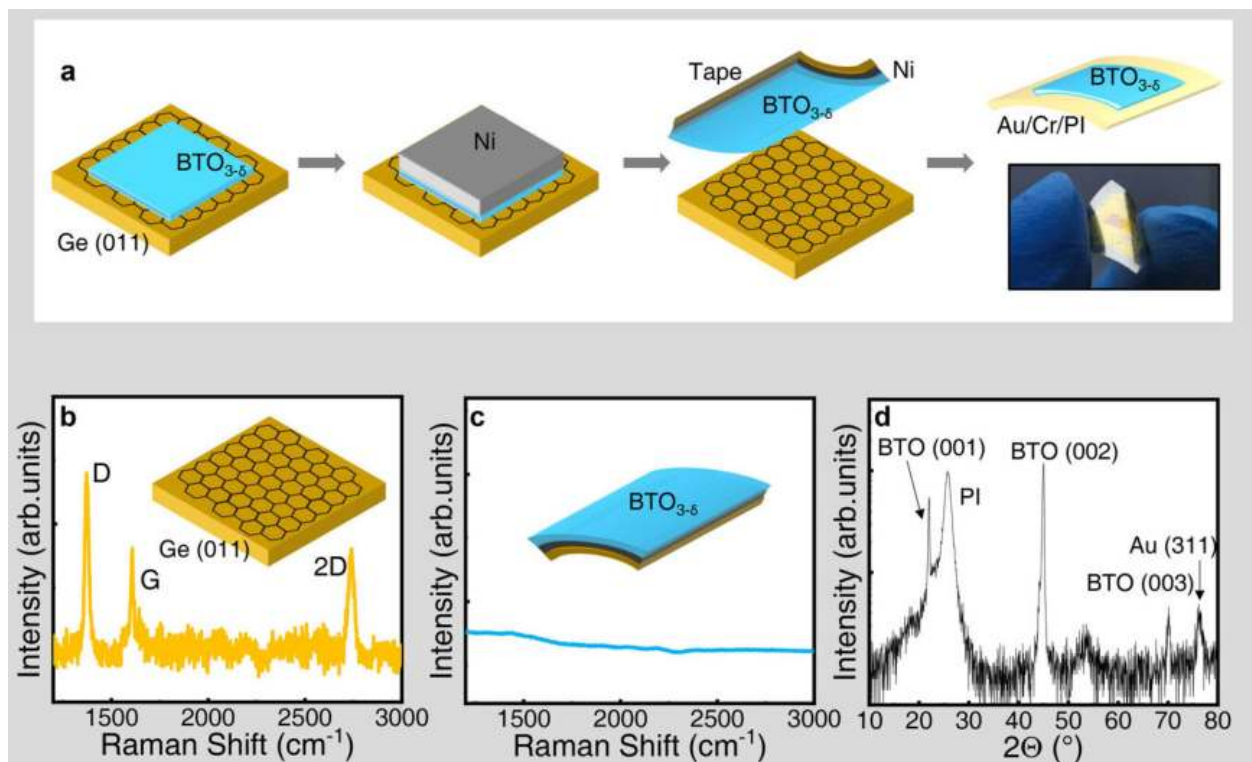
die sauerstoffarme Wachstumsatmosphäre, zurückgeführt. Die Ergebnisse zeigen das große Potential solcher freitragenden komplexen Oxidschichtmembranen für z.B. Energy Harvesting in flexiblen Devices. Sie wurden in der Zeitschrift Nature Communications im Mai 2022 veröffentlicht (<https://doi.org/10.1038/s41467-022-30724-7>).

Die Arbeiten fanden im Rahmen des deutsch-chinesischen Joint Lab "Dielektrika" zwischen dem IKZ und der School of Electronic Science and Engineering der Xi'an Jiatong Universität statt. Ziel des Joint Labs ist die Erforschung von Grundlagen und möglicher Anwendungen von dielektrischen Oxiden und 2D-Materialien sowie die Ausbildung und der Austausch von Studenten.

Nähere Infos zum deutsch-chinesischen Joint Lab: <https://www.ikz-berlin.de/forschung-lehre/joint-labs-support-labs>

Kontakt:

Dr. Jutta Schwarzkopf, IKZ, [jutta.schwarzkopf@ikz-berlin.de](mailto:jutta.schwarzkopf@ikz-berlin.de)



Schematische Darstellung der Exfoilierung von dünnen BaTiO<sub>3</sub>-Schichten von Graphen-passivierten Germanium-Substraten und Transfer auf flexibles Polyimid (PI)-Substrat. (Grafik: IKZ)



## Das Leibniz-Strategieforum "Technologische Souveränität"

Pressemitteilung des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, 21.06.2022

### Vernetzung von Kernkompetenzen zur Stärkung der technologischen Souveränität Europas

Die technologische Souveränität Europas hat eine globale Dimension. Sie definiert wesentlich den Anspruch Europas, neben dem asiatischen und amerikanischen Werte- und Wirtschaftsmodell einen ebenbürtigen europäischen Weg zu verfolgen. Dies beinhaltet die Aufgaben:

- weltweit führend in Ausbildung, Forschung und Entwicklung (F & E) zu sein;
- eine kompetitive Wirtschaftsstruktur im Bereich der Schlüsseltechnologien zu besitzen;
- ein Gesellschaftsmodell mit den Werten europäischer Demokratien zu leben;
- Standard und Normen der weltweiten Handelspolitik bei Zukunftstechnologien mitzugestalten.

Gesellschaftliche Herausforderungen wie die weltweite Covid-19-Pandemie oder der militärische Angriff Russlands auf die Ukraine zeigen die Zerbrechlichkeit internationaler Lieferketten. Eine bedingungslose Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten mit internationaler Monopolstellung ist vor diesem Hintergrund zu durchbrechen und es gilt, frühzeitig geeignete Alternativen zu entwickeln.

Zur langfristigen Wahrung des Wohlstandes in Europa ist die internationale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Hochtechnologie-Wirtschaft entscheidend. Unter europäischem Dach muss dabei die Gewährleistung und Wiedererlangung der technologischen Souveränität in Europa für identifizierte Schlüsselbranchen das Ziel sein.



Technologische Souveränität erfordert einen "Deep Technology"-Ansatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette: mittels vielfältiger Vernetzung mit Partnern mit komplementärer Expertise liefern Leibniz-Institute wesentliche Beiträge in F & E sowie der Ausbildung (blauer Bereich). (Grafik: C. Stolze, IKZ)

Technologie-Souveränität basiert zentral auf der Beherrschung wichtiger, möglichst vieler miteinander verknüpfter Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (siehe Abb.).

In diesem Zusammenhang sind zwei Alleinstellungsmerkmale der Leibniz-Gemeinschaft besonders hervorzuheben: Die Kompetenzen:

1. Wertschöpfungsketten von der Grundlagen- über die Anwendungsforschung oft bis zu (kleinskaligen) prototypischen Lösungen der Gesellschaft anzubieten (siehe blaue Hinterlegung in der Abb.)
2. gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen mit hoher Inter- und Transdisziplinarität holistisch, effizient und nachhaltig anzugehen.

Mit der Gründung des Leibniz-Strategieforums "Technologische Souveränität" (2021) möchte die Leibniz-Gemeinschaft einen effektiven Beitrag zur Stärkung der technologischen Souveränität von Deutschland und Europa leisten. Das Ziel muss somit sein, die wissenschaftliche Expertise und technologischen Fähigkeiten der Leibniz-Gemeinschaft im Bereich Technologie-Souveränität öffentlich sichtbar zu machen, politisch zu positionieren, effizient auszubauen und gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft der Gesellschaft aktiv zur Verfügung zu stellen. Die Zuständigkeit des Strategieforums umfasst die interne Organisation der Leibniz-Beiträge sowie die Gewährleistung von deren Anknüpfungsfähigkeit zur Verwertung durch weitere Partner. Sechs Leibniz-Cluster wurden im Forum entwickelt: Gesundheitstechnologien, Künstliche Intelligenz, Materialien für die Digitalisierung, Quantentechnologien, Wasserstoffwirtschaft und Zukünftige Kommunikationstechnologien. Weitere Cluster der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften befinden sich im Aufbau.

Das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung übernimmt mit dem Sprecher Prof. Thomas Schröder die Koordinierungsaufgabe. Hierbei sieht Prof. Thomas Schröder zwei besondere Anliegen, die der Umsetzung bedürfen:

- Es bedarf eines "Deep Technology-Thinking", bei dem die Materialwissenschaften und die Verfügbarkeit sowie nachhaltige Verwertung von Rohstoffen zentral mitzubetrachten ist. Mit dem neuen BMBF-Eckpunktepapier der Materialwissenschaft konnten die Leibniz-Gemeinschaft und andere außeruniversitäre Forschungsorganisationen diese wichtigen Punkte mit einbringen.
- Die Rolle der Leibniz-Beiträge in den Schlüsseltechnologien ist nicht Leibniz-spezifisch auszurichten, sondern die Cluster müssen an weitere Partner wie Universitäten, außeruniversitäre Forschungsorganisationen (Max-Planck, Fraunhofer, Helmholtz, Konrad-Zuse, Ressortforschung des Bundes etc.) sowie der Industrie im Sinne der Translation kohärent verknüpft werden.

Das IKZ steht bereit, im Bereich der kristallinen Materialien eine EU-Flaggschiffrolle zu übernehmen. Spannende Zeiten stehen uns bevor; kontaktieren Sie uns gerne und bringen sich mit Ideen und Anregungen ein.

Mehr Informationen: Leibniz-Institut für Kristallzüchtung - Leibniz-Strategieforum „Technologische Souveränität“ (ikz-berlin.de)

Fachlicher Kontakt: Prof. Dr. Thomas Schröder, IKZ, thomas.schroeder@ikz-berlin.de

## DGKK-Personen

### Prof. Oussama Moutanabbir mit dem IKZ International Fellowship Award 2022 ausgezeichnet

News des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, 25.05.2022

**Der IKZ International Fellowship Award 2022 für SiGe-basierte Quantenmaterialien geht an Prof. Oussama Moutanabbir für seine wegweisenden Beiträge auf diesem Gebiet. Der Preis ist mit 10.000 EUR dotiert.**

Die Zukunft wird "Quantum". Quantentechnologien sind auf dem Vormarsch und die damit verbundene Forschung und Entwicklung an hochqualitativen Quantenmaterialien definieren diese Revolution. Das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) hat seinen Fokus auf die Forschung an isotonenangereicherten SiGe-basierten Quantenmaterialien gelegt und steht damit an der Spitze dieser Entwicklungen.



Prof. Oussama Moutanabbir (links) und Prof. Thomas Schröder während der Preisverleihung. (Foto: IKZ)

Der IKZ International Fellowship Award 2022 für SiGe-basierte Quantenmaterialien ehrt international renommierte, herausragende Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen auf diesem Gebiet, um in Zusammenarbeit mit dem IKZ neue

Forschungsrichtungen und zukünftige drittmittelfinanzierte Projekte zu etablieren. Professor Oussama Moutanabbir von der Polytechnique Montreal, Kanada, erhält den diesjährigen IKZ Award für seine herausragende Kompetenz im Bereich der isotonenangereicherten SiGe-basierten Material- und Bauteilforschung, seine umfangreiche Erfolgsgeschichte an hochqualitativen wissenschaftlichen Publikationen, Drittmittelfinanzierung sowie seine Führungsteamleitung.

Zusammen mit dem Preisgeld von 10.000 EUR wurde die Auszeichnung vom IKZ Direktor Prof. Thomas Schröder beim "IKZ workshop on SiGe-based materials for quantum technologies" am 18. Mai 2022 überreicht. Der vom IKZ Nachwuchsforschungsgruppenleiter für SiGe-basierte Quantenmaterialien Dr. Kevin-Peter Gradwohl organisierte Workshop brachte führende Forschende des Feldes zusammen und wurde zu Ehren des verstorbenen langjährigen Kollegen und Freundes Dr. Petr Sennikov abgehalten. Die Veranstaltung bildete den Auftakt zu künftigen Forschungsvorhaben, Kooperationen und Industrieprojekten, wobei auch die Ausbildung von Nachwuchsforschenden im Vordergrund steht.

Weitere Informationen:

Dr. Kevin-Peter Gradwohl

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)

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



Teilnehmende des "IKZ Workshop on SiGe-based materials for quantum technologies". (Foto: IKZ)

## DGKK-Nachwuchs

### SrTiO<sub>3</sub> thin films grown by MOVPE for application in memristive devices

Aykut Baki, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin-Adlershof

Strontium titanate (SrTiO<sub>3</sub>), in its unstrained and stoichiometric state, is an ideal cubic perovskite oxide and known for its high permittivity and high resistivity. In recent years, however, especially SrTiO<sub>3</sub> thin films have gained increasing interest due to their resistive switching properties, rendering them a potential candidate for memristive devices with the vision to mimic human brain function in artificial intelligence networks. However, the underlying physical origin of the resistive switching mechanism is still unclear and controversial discussed to date.

The most popular and accepted model - especially in the context of SrTiO<sub>3</sub> - is based on the diffusion of oxygen vacancies. Such oxygen vacancies are considered to form conductive filaments in an insulating film by the application of a high bias leading to a low resistive state (LRS). By changing the direction of the electric field, filaments are partially ruptured resulting in a high resistive state (HRS). These processes of forming and rupturing, hence, are based on ion diffusion processes induced by an electric field and are non-volatile and reversible. Poorly, such a filament formation is expected to be orders of magnitude more decelerated compared to experimentally observed switching cycles. Furthermore, with respect to application in memristive devices, the formation of filaments is highly undesired. They are formed stochastically distributed and are therefore expected to cause a large variance in switching properties of a single memory cell during successive switching cycles and of different memory cells even on the same chip.

In order to shed light on the switching model and develop novel switching mechanisms in the Leibniz competition project "Physics and control of defects in oxide films for adaptive electronics" SrTiO<sub>3</sub> thin films have been grown with highest

possible structural perfection. Those films were investigated with different characterization techniques working on both microscopic and macroscopic scale. The facilities at IKZ provide ideal conditions for this project, as they offer, besides advanced structural ("Electron microscopy" group, Martin Albrecht) and electrical characterization techniques ("Physical characterization" group, Klaus Irmscher/Andreas Fiedler) also the ability and knowledge to grow SrTiO<sub>3</sub> thin films by metal-organic vapor phase epitaxy ("Thin Oxide Film" Section, Jutta Schwarzkopf).

Since MOVPE takes place near the thermodynamic equilibrium and at high oxygen partial pressure, it facilitates the growth of stoichiometric as well as deliberately off-stoichiometric films with high structural perfection. Contrastively to the mostly employed PLD method, our liquid delivery spin MOVPE technique provides the precise and independent adjustment of the Sr, Ti, and O content in the films by controlling the respective precursor supply fluxes. Since epitaxial growth of SrTiO<sub>3</sub> by MOVPE has not been described in literature before, the first challenge to tackle was to develop and control an adequate process for stoichiometric, single-crystalline, "perfect" SrTiO<sub>3</sub> thin films homoepitaxially grown on SrTiO<sub>3</sub> substrates. This was successfully achieved by optimizing numerous growth parameters such as the substrate temperature, evaporation temperatures of the Sr and Ti precursors as well as their concentration ratio in the source liquids ( $(Sr/Ti)_{liq}$ ).

Firstly, we started with films having stoichiometric compositions. On that purpose,  $(Sr/Ti)_{liq}$  was varied until the vertical lattice parameter of the film corresponds to the SrTiO<sub>3</sub> bulk value of 3.905 Å. This was achieved for  $(Sr/Ti)_{liq} = 3.6$  (see Fig. 1d). STEM images of this film show homogeneous intensity distribution and only faint contrast differences between

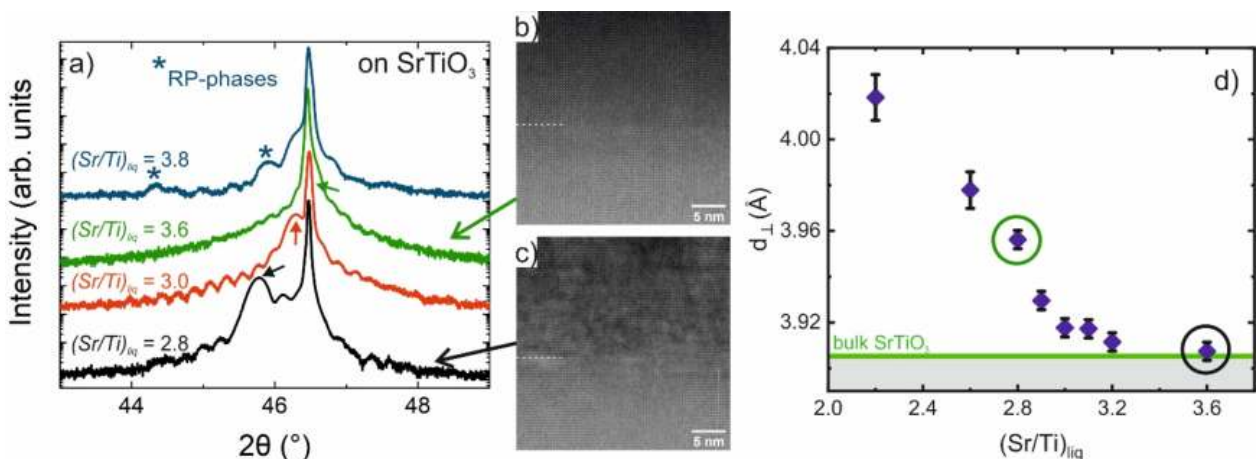


Fig. 1: a) HRXRD patterns ( $2\theta/\omega$  scan) of the SrTiO<sub>3</sub> thin films grown with varying  $(Sr/Ti)_{liq}$  in the vicinity of the (200) substrate peak showing the systematic shift of the film peak with decreasing  $(Sr/Ti)_{liq}$ . b) STEM HAADF micrographs of SrTiO<sub>3</sub> thin films grown with  $(Sr/Ti)_{liq} = 2.8$  (off-stoichiometric), and c)  $(Sr/Ti)_{liq} = 3.6$  (stoichiometric). d) Vertical lattice parameter  $d_{\perp}$  as a function of  $(Sr/Ti)_{liq}$  obtained from HRXRD patterns. (Bild: IKZ)

film and substrate; no extended defects are visible and the substrate-to-film interface shows less defect contrast (Fig. 1b).

Starting from stoichiometric SrTiO<sub>3</sub> films, we systematically decreased the Sr-to-Ti ratio in the gas phase which was achieved by varying  $(Sr/Ti)_{liq}$ . This is exemplarily shown for  $(Sr/Ti)_{liq}$  of 2.8 (black curve), and 3.2 (red curve) in Fig. 1a, respectively. Increasing to higher  $(Sr/Ti)_{liq}$  beyond 3.6 shows the formation of secondary Ruddlesdon-Popper phases thus this direction of  $(Sr/Ti)_{liq}$  variation is not considered.

In the direction of Sr-deficiency, the evaluation of HRXRD measurements exposes a strong increase of the vertical lattice parameter  $d_{\perp}$  of the SrTiO<sub>3</sub> films with decreasing  $(Sr/Ti)_{liq}$  (see Fig. 1d). Reciprocal space maps and in-situ HRXRD measurements during heating in pure oxygen atmosphere up to 950 °C further revealed that the deviation from bulk vertical lattice parameter cannot be attributed to lattice relaxation or oxygen vacancies, but to a lattice expansion provided by the increased cation repulsion due to cation deficiency.

For films grown with  $(Sr/Ti)_{liq} < 3.6$ , STEM investigations showed an inhomogeneous cloudy dark and bright intensity pattern (exemplary shown in Fig. 1c), which also have an overall contrast difference to the SrTiO<sub>3</sub> substrates in HAADF imaging conditions. This huge STEM contrast difference in the off-stoichiometric thin films with respect to the substrate STEM intensity was proved to be induced by the Ti<sub>Sr</sub> antisite defect. This constitutes that an additional Ti-ion is located on a vacant Sr-site due to Sr-deficiency growth regime. The bright contrast in the interface near regions in the substrate are induced by the strain fields induced by the increases vertical lattice parameter that is caused by the incorporation of this Ti<sub>Sr</sub> antisite defects. A rough estimation of around 10% Ti<sub>Sr</sub> antisite defects in a off-stoichiometric film with  $(Sr/Ti)_{liq}$  of 2.8 was determined by various characterization methods like x-ray spectroscopy, electron energy loss spectroscopy, and density functional theory (DFT) super-cells assisted STEM

investigations, all performed at the Leibniz-Institut für Kristallzüchtung. In order to investigate the influence of such a Sr deficiency (presence of the Ti<sub>Sr</sub> antisite defect) on the electrical properties, IV measurements were performed in a metal-oxide-semiconductor test structure consisting of a Nb-doped SrTiO<sub>3</sub> substrate and Pt top contacts. To reveal the effect of off-stoichiometry, the IV curves at room temperature of a stoichiometric film and of a SrTiO<sub>3</sub> with a pronounced off-stoichiometry are shown in Fig. 2b and a, respectively.

The Sr-deficient thin films exhibit a pronounced intrinsic resistive switching behavior between the LRS and HRS (Fig. 2a), whereas for stoichiometric films, stable resistive switching could not be observed in the same voltage range (Fig. 2b). Mainly, this becomes apparent in the inset plot in each IV curve, where the state probing in the range of -0.1 V to 0.1 V is performed in the LRS and HRS, respectively. For the off-stoichiometric film, those states clearly differ in resistivity by a factor of around 10<sup>3</sup>, whereas the stoichiometric films only reveal one state of resistance.

A switching behavior for the off-stoichiometric films was already reported for typically oxygen deficient PLD films, however, there are some strong differences in comparison to our MOVPE films: Firstly, IV measurements conducted at 10 K – where ionic diffusion processes are strongly suppressed – the HRS in our MOVPE films becomes more insulating compared to the room temperature, which is not possible to be explained by oxygen vacancy incorporation or migration.

Furthermore, memristive behavior in our case is not achieved by an abrupt switching but rather gradually introduced. Additionally, filaments could not be experimentally proven by in-situ STEM investigations in the applied voltage range. In sum, all these results imply that the underlying mechanism here is not based on the formation of conductive filaments. Careful evaluation of STEM data indicates a memristive phenomenon based on Ti<sub>Sr</sub> antisite defects. Details of electric measurements or STEM results are presented by the reports of the groups "Physical Characterization" or "Electron microscopy", respectively.

Literature:

- [1] A. Baki, J. Stöver, T. Schulz, T. Markurt, H. Amari, C. Richter, J. Martin, K. Irschmer, M. Albrecht, and J. Schwarzkopf; Influence of Sr deficiency on structural and electrical properties of SrTiO<sub>3</sub> thin films grown by metal-organic vapor phase epitaxy. *Scientific Reports*, 11.1 (2021), 1-11.
- [2] H. Amari, T. Schulz, A. Baki, J. Stöver, C. Richter, J. Martin, K. Irschmer, J. Schwarzkopf, and M. Albrecht, (2021). In-situ TEM Observations of Resistance Switching in Strontium Titanate Devices. *Microscopy and Microanalysis*, 27(S2), 69-70.

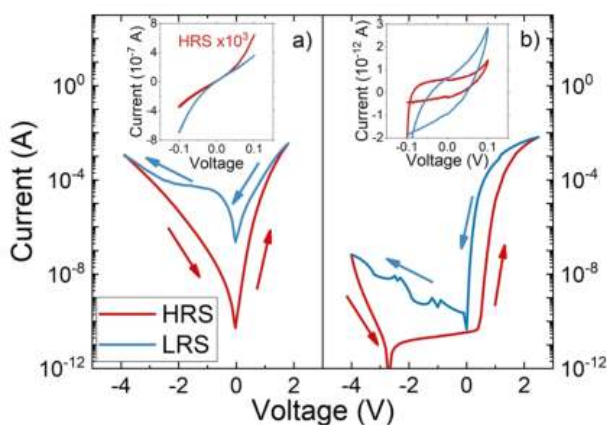


Fig. 2: IV measurements in the voltage range from -4 V to 2 V for SrTiO<sub>3</sub> off-stoichiometric samples (a) and stoichiometric samples (b). (Bild: IKZ)

## MINT-Nachwuchsförderung: Projektwoche "Kristalle" mit dem Fraunhofer IISB an der Montessori-Schule Herzogenaurach

Pressemitteilung des Fraunhofer IISB Erlangen, 02. Juni 2022

**Egal ob in Smartphones oder Computern, überall verrichten Halbleiter-Kristalle in Mikrochips unauffällig ihr Werk. Doch was macht diese Werkstoffe so besonders und wie werden sie hergestellt? Um das zu erfahren, durften die Kinder der fünften und sechsten Jahrgangsstufe der Montessori Schule Herzogenaurach selbst in die Rolle von Forscherinnen und Forschern schlüpfen. Ausgestattet mit Kitteln, Schutzbrillen und Handschuhen, züchteten die Schülerinnen und Schüler eigene Alaun-Kristalle. Mit Fachwissen und Laborausrüstung stand ihnen dabei Dr. Christian Reimann, Kristall-Experte und Leiter der Gruppe "Silizium und Spezialmaterialien" am Fraunhofer IISB, zur Seite. Zentrales Anliegen der Projektwoche war die Nachwuchsförderung im Rahmen des MINT-Unterrichts. "MINT" steht für die Fächer Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik.**

Der Zusammenhang zwischen funkelnden Kristallen einerseits und einem gewöhnlichen Smartphone andererseits ist auf Anhieb nicht offensichtlich. Während der Projektwoche rund um das Thema Kristalle gingen 45 Schülerinnen und Schüler der Montessori Schule Herzogenaurach dem Einfluss von Kristallmaterialien auf unser tägliches Leben genauer auf den Grund. Dr. Christian Reimann, der die Gruppe "Silizium und Spezialmaterialien" am Fraunhofer IISB leitet, brachte zur Veranschaulichung echtes Kristallmaterial und prozessierte Wafer aus den Laboren des Fraunhofer IISB mit in die Klassenräume der Kinder. Daraus werden am IISB elektronische Bauelemente, beispielsweise Mikrochips für Computer, gefertigt. Es gibt verschiedene Züchtungsprozesse, die häufig nur unter extremen Bedingungen möglich sind. Beispielsweise werden Silizium-Kristalle aus einer 1400 Grad heißen Silizium-Schmelze hergestellt.



Schülerinnen und Schüler der Montessori Schule Herzogenaurach züchteten während der MINT-Projektwoche "Kristalle" mit dem Fraunhofer IISB eigene Alaun-Kristalle. (Bild: Amelie Schardt / Fraunhofer IISB)

An der Montessori Schule Herzogenaurach züchteten die Kinder in kleinen Forschungsteams Alaun-Kristalle, so wie es im Laborverfahren üblich ist: Der Ausgangspunkt dafür ist eine gesättigte Kaliumaluminiumsulfat-Lösung, in welcher dann erste Kristalle, sogenannte Impfkristalle, wachsen. Sie werden entnommen, durchbohrt, aufgefädelt und in eine neue Lösung in einem größeren Gefäß gegeben. Während des Wachstumsprozesses braucht es dann Ruhe und etwas Zeit. In ca. vier Wochen konnten die Schülerinnen und Schüler ihre drei bis acht Zentimeter großen Kristalle herausnehmen. Die Entnahme der Kristalle wurde für die Kinder besonders spannend, denn während des Züchtungsprozesses experimentierten die Gruppen mit verschiedenen Einflussgrößen,

die sich auf das Wachstum auswirken. So wurde beispielsweise die Temperatur variiert, wodurch die Kristalle langsamer oder schneller wachsen.

Für die Montessori Schule Herzogenaurach, mit ihrem Standort im Herzen der Metropolregion Nürnberg, gilt naturwissenschaftliches Arbeiten als Zukunftsaufgabe. Durch die Projektwoche "Kristalle" konnten die Nachwuchsforscherinnen und -forscher selbst einen Einblick in die Herstellung von Kristallen und deren vielfältige Anwendungsgebiete gewinnen. "Projektarbeit und naturwissenschaftliches Forschen stellen einen wichtigen Baustein im Lernalltag dar. Deswegen freuen wir uns besonders über die Kooperation mit dem Fraunhofer IISB und die Möglichkeit, so aktuell und spannend Inhalte zu vermitteln", erläutert die Schulleiterin Rebekka Oberhofer die Motivation der Schule und dankt Herrn Dr. Reimann mit seinem Team für die Idee, die Organisation und die hervorragende Umsetzung. Mit dem Workshop zur Kristallzüchtung wurde der Grundstein für eine Schulpartnerschaft zwischen dem Fraunhofer IISB und der Montessori Schule Herzogenaurach gelegt. Es ist geplant, durch weitere Kooperationen die Begeisterung der Schülerinnen und Schüler für MINT-Fächer nachhaltig zu fördern. So macht Forschen Spaß! Die Projektwoche "Kristalle" legt den Grundstein für die Kooperation zwischen der Montessori Schule Herzogenaurach und dem Fraunhofer IISB.



V. l.: Michael Lang, Gruppe "Silizium und Spezialmaterialien" des IISB, Sabine Kliem und Sandra Frankenberg, stellvertretend für das Klassenteam 5-6 und Dr. Christian Reimann, Gruppenleiter "Silizium und Spezialmaterialien". (Bild: Amelie Schardt / Fraunhofer IISB)

Ansprechperson: Dr. Christian Reimann  
Fraunhofer IISB, Schottkystr. 10, 91058 Erlangen  
christian.reimann@iisb.fraunhofer.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.

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 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)

### 2. Vorsitzender

Prof. Dr. Thomas Schröder  
Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)  
Max-Born-Str. 2, 12489 Berlin  
Tel.: 030 / 6392 3001  
E-Mail: [thomas.schroeder@ikz-berlin.de](mailto:thomas.schroeder@ikz-berlin.de)

### Schatzmeister

Prof. Dr. Cornelius Krellner  
Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Physikalisches Institut, Campus Riedberg  
Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt/Main  
Tel.: 069 / 798-47295  
E-Mail: [krellner@physik.uni-frankfurt.de](mailto:krellner@physik.uni-frankfurt.de)

### Schriftführerin

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

### Beisitzer

Sebastian Gruner  
RWTH Aachen  
I. Physikalisches Institut (IA)  
Sommerfeldstr. 14, 52074 Aachen  
Tel.: 0241 / 80 27097  
E-Mail: [gruner@physik.rwth-aachen.de](mailto:gruner@physik.rwth-aachen.de)

Michael Rosch  
Freiberger Compound Materials GmbH  
Am Junger-Löwe-Schacht 5, 09599 Freiberg  
Tel.: 03731 / 280 181  
E-Mail: [michael.rosch@freiberger.com](mailto:michael.rosch@freiberger.com)

Dr. Justus Tonn  
Siemens Healthcare GmbH  
Siemensstraße 1, 91301 Forchheim  
Tel.: 0173 / 541 7465  
E-Mail: [justus.tonn@siemens-healthineers.com](mailto:justus.tonn@siemens-healthineers.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:

Michael Rosch  
Freiberger Compound Materials GmbH  
Tel.: 03731 / 280 181  
E-Mail: [anzeigen@dgkk.de](mailto:anzeigen@dgkk.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:

24. Juni 2022  
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 €



# DRESDEN MATERIALS

An accessible joint lab for crystal growth and materials research

**State-of-the-art equipment for sample preparation,  
crystal growth and sample analysis available  
for rental usage in Dresden**

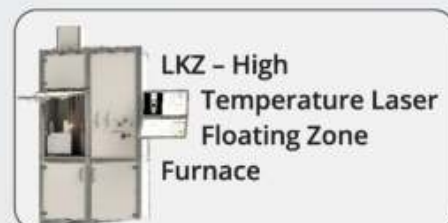
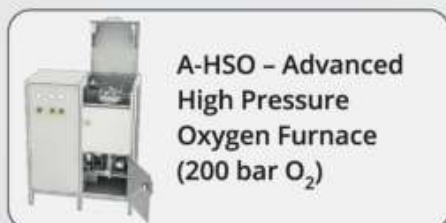
**Synthesis and  
Crystal Growth**

**Sample Preparation**

**Sample Analysis**

Reserve time slots and make your experiment with our technical support  
Save your money and lab space by renting instead of purchasing  
Collaborative on-demand access to cutting-edge equipment  
"Remote experiment" option to save travel time and costs  
Test new parameters for your samples and processes

Example equipment:



Please contact us for details and reservations:

E-mail: [info@dresden-materials.de](mailto:info@dresden-materials.de)

Phone: +49 (0) 351 8422 1467

[www.dresden-materials.de](http://www.dresden-materials.de)

A cooperation of SciDre GmbH and IFW Dresden



**SCIDRE**  
SCIENTIFIC INSTRUMENTS DRESDEN GMBH



Leibniz Institute  
for Solid State and  
Materials Research  
Dresden

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)