

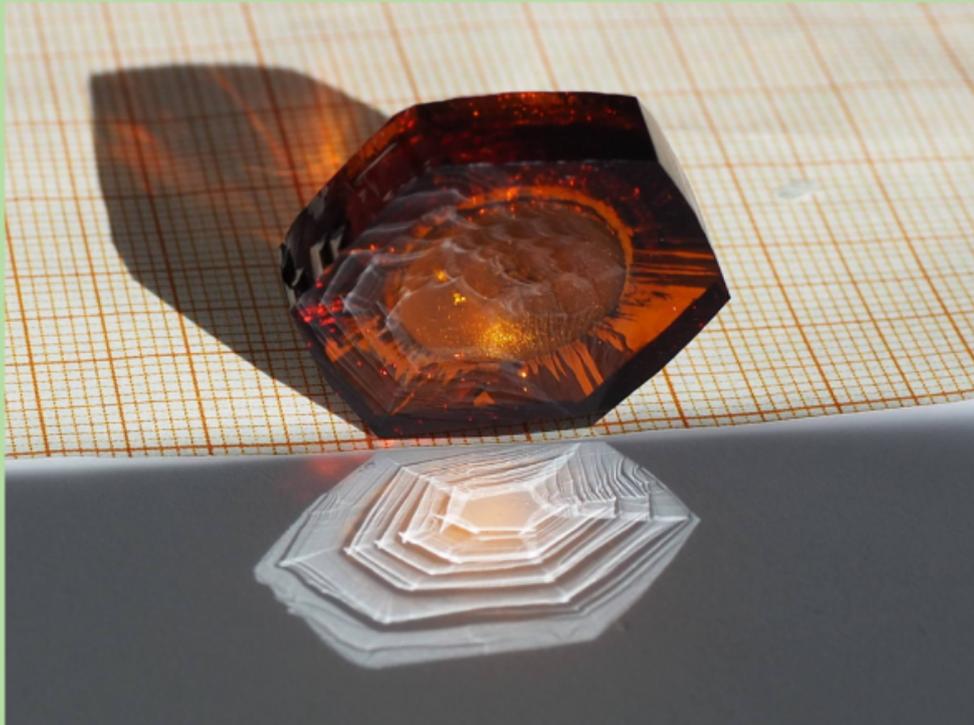


ISSN 2193-3758

Mitteilungsblatt
Nr. 114 / 2022



Deutsche Gesellschaft
für Kristallwachstum und
Kristallzüchtung e.V.

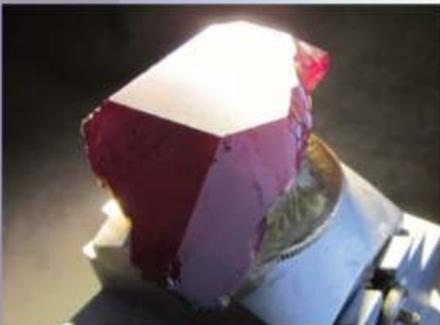


Inhaltsverzeichnis

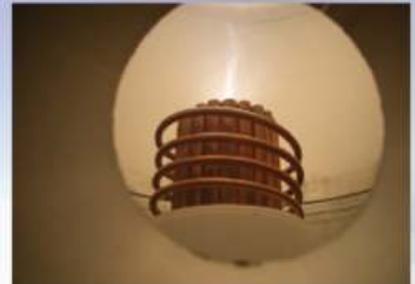
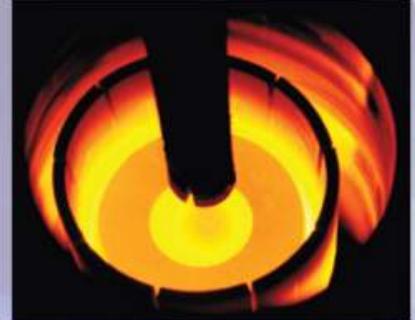
Der Vorsitzende / Editorial	3
DGKK intern	6
DGKK Nachrichten	13
DGKK Junge Forscherinnen und Forscher	20
DGKK Personen	28

SurfaceNet

Crystals



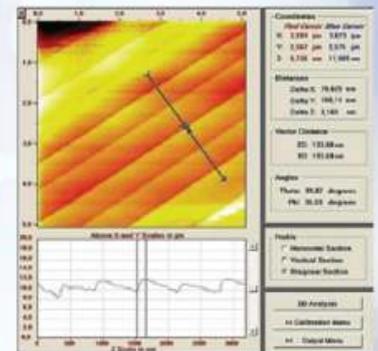
Crystal Puller



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,

nach der Pandemie, welche nun hoffentlich weitgehend überwunden ist, halten uns die Auswirkungen des unseligen Krieges in der Ukraine auf vielfältige Weise in Atem. Nicht nur plagen uns die privaten Sorgen wegen der erheblich gestiegenen Energiekosten, nein, auch die Auswirkungen auf unsere Wirtschaft treiben uns um. Dazu später mehr.

Anfang Oktober fand im Rahmen der fast zeitgleichen Arbeitskreistreffen in Freiberg und Dresden am 6.10.2022 im IFW Dresden die Mitgliederversammlung statt. Trotz der relativ kleinen Teilnehmerzahl konnten einige richtungsweisende Entscheidungen, insbesondere Satzungsänderungen beschlossen werden. Dazu mehr im Protokoll der Mitgliederversammlung später in diesem Heft.

Wesentlich war aber auch eine neue Form der Mitgliederverwaltung, welche von unserem Schatzmeister Herrn Krellner angeregt und nunmehr eingeführt wurde. Die Mitgliederverwaltung wurde auf das neue Portal "Easy Verein" umgestellt, und sicherlich haben Sie schon eine E-Mail erhalten, welche den Zugang zu diesem Portal erläutert.

Noch zu beschließen ist die Freigabe von persönlichen Daten, etwa Arbeitsgebiete oder E-Mail-Adressen, für andere Mitglieder, so dass dieses Mitgliederportal dann als eine Art Datenbank dienen könnte. Da der Zugang zu dieser Datenbank ohnehin geschützt ist, könnte die Freigabe solcher Informationen eine schöne Quelle auch für jüngere ratsuchende Kollegen sein.

Die nächste DKT wird im Frühjahr 2023 in Augsburg stattfinden, und wir befinden uns dann wieder im gewohnten Rhythmus mit der DKT im Frühjahr und den Arbeitskreistreffen im

Herbst. Damit ist die DGKK letztlich doch ganz gut durch die Pandemie gekommen.

Bereits im letzten Vorwort habe ich über die Abhängigkeit Deutschlands und Europas von Rohstoffen und Energie und von der Auslagerung von Schlüsseltechnologien geschrieben. Die Knappheit von Energie und Rohstoffen wurde uns in den letzten Monaten deutlich vor Augen geführt und mit ihr das weitgehende Versagen der Politik. Abhängigkeit von totalitären Staaten wird im Konfliktfall, wie wir sehen, rücksichtslos ausgenutzt und als Druckmittel zur Erreichung machtpolitischer Ziele benutzt.

Insofern ist auch die augenblickliche Politik nicht verständlich, bei der wie im Falle des Hamburger Hafens oder auch beim - gerade noch abgewendeten - geplanten Verkauf des Chipherstellers Elmos an China kritische Infrastruktur in die Hände totalitärer Staaten gegeben wird. Teilweise geschieht dies sogar gegen die Warnungen von Sicherheitsdiensten.

Die DGKK hat sich im letzten Jahr an verschiedenen Stellen und auch in Verbänden wie dem BV Matwerk bemüht, auf die Abhängigkeiten hinzuweisen, und tatsächlich werden wir zumindest teilweise gehört. Wir hatten das Thema Ressourcen- und Technologiesouveränität schon in der Vergangenheit thematisiert. Erste Kontakte auch zu Vertretern des BMWK konnten geknüpft werden, und es ist an uns, die politischen Entscheidungsträger für die Problematik der Technologiesouveränität zu sensibilisieren.

Mit den besten Wünschen zu Weihnachten und für das neue Jahr grüßt Sie
Andreas Erb

Inhaltsverzeichnis

Der Vorsitzende	3	Saskia Schimmel: Postdoc-Erfahrung	13
Editorial	4	Zum optimalen Quantencomputer	16
Titelbild	4	Reine Germaniumkristalle	19
Einladung zur Jahreshauptversammlung 2023	5	DGKK Junge Forscherinnen und Forscher	20
DGKK-intern	6	Dissertation Ivan Gamov (IKZ, Berlin)	20
Protokoll der Mitgliederversammlung 2022	6	Best Student Award: Christian Miersch (Fraunhofer IISB) ..	22
ECCG7, Paris, July 2022	9	Dissertation Julian Höcker (LMU München)	23
jDGKK & yDGK	10	Dissertation Marius Peters (Goethe-Univ. Frankf./M.)	27
Mitglieder 2022, zweite Jahreshälfte	11	DGKK-Personen	28
DGKK-Nachrichten	13	Jubilare	28
		Nachruf: Dr. Franz Wallrafen	29
		Über die DGKK	30

Editorial

Verehrte Leserinnen und Leser,

in dieser Ausgabe finden Sie sowohl das Protokoll der kürzlich in Dresden stattgefundenen Mitgliederversammlung als auch die Einladung zur Mitgliederversammlung im März 2023 in Augsburg. Und dann sind wir auch wieder im ursprünglichen Zeittakt.

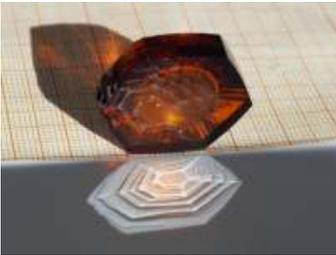
Erfreulicherweise gab es wieder Konferenzen in Präsenz, über die in Text und Bild berichtet wird. Und wir konnten auch drei junge Wissenschaftler dafür gewinnen, uns den Inhalt ihrer in diesem Jahr abgeschlossenen Promotion vorzustellen. Schon seltener aber ist ein Bericht über die Postdoc-Zeit, und

so möchte ich Ihre Aufmerksamkeit insbesondere auf den Beitrag von Saskia Schimmel lenken, in welchem sie über ihren Aufenthalt in den USA und in Japan und die anschließende Zeit danach wieder in Deutschland schreibt.

Mit diesem Heft verabschiede ich mich aus der Redaktion des Mitteilungsblattes und danke Ihnen für die Unterstützung und Kooperation. Das Jahr hier ist gleich vorbei, und so wünsche ich Ihnen allen besinnliche Weihnachtstage und ein gesundes und erfolgreiches neues Jahr 2023!

Klaus Böttcher

Titelbild



Das Bild zeigt einen Aluminiumnitrid (AlN)-Kristall mit einem Durchmesser von 1 Zoll, der am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin, mittels Physikalischen Gasphasentransport gezüchtet wurde. Der Habitus wird durch eine N-polare c-Facette und sechs prismatische m-Facetten gebildet. Sonnenlicht wird an der N-polaren Facette reflektiert und bildet die hexagonale Wachstumsmorphologie der Kristalloberfläche (Makrostufen) auf der abgedunkelten Fläche vor dem Kristall ab. AlN hat eine sehr große Bandlücke (6.1 eV) und eine hohe Wärmeleitfähigkeit (~ 300 W/mK) und wird deshalb u.a. als Substratmaterial für UVC-Leucht- und Laserdioden sowie leistungselektronische Bauelemente eingesetzt.

Quelle: C. Hartmann, IKZ, Berlin

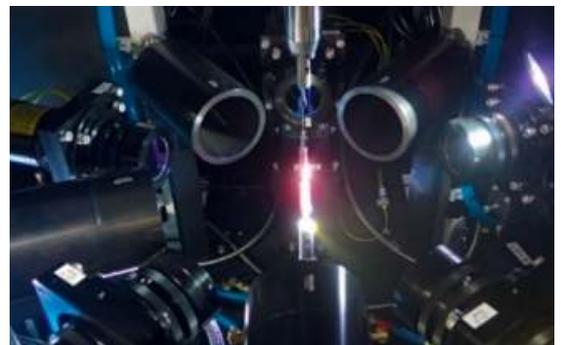


qd-europe.com

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, $T_m \sim 2072$ °C



SmB_6 , $T_m \sim 2345$ °C



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



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
07.11.2022

Jahreshauptversammlung 2023

Liebe Mitglieder,

der Vorstand lädt Sie herzlich zur ordentlichen Mitgliederversammlung (Jahreshauptversammlung 2023) ein, die anlässlich DKT 2023 in Augsburg stattfindet.

Ort: **Technologie Zentrum Augsburg TZA**
Am Technologiezentrum 5
86159 Augsburg

Zeit: **Mittwoch, 15.03.2023, 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 2023
7. Wahl des Vorstands 2024-2025
8. Wahl der Kassenprüfer 2024-2025
9. Deutsche Kristallzüchtungstagungen 2024 und 2025
10. Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2025
11. Diskussion und Abstimmung zur Nutzung des Mitgliederverzeichnisses
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 2023 möglich zu machen.

Mit freundlichen Grüßen

Christiane Frank-Rotsch
Schriftführerin DGKK

DGKK-intern

Protokoll der Mitgliederversammlung 2022

Anwesende:

DGKK Mitglieder:

M. Bickermann, A. Erb, Ch. Frank-Rotsch, J. Friedrich, G. Graw, S. Gruner, A. Jesche, M. Jurisch, F.-M. Kießling, K. Kliemt, C. Krellner, W. Löser, P. Puphal, M. Rosch, R. Schöndube, Th. Schröder, L. Stockmeier, R. Sumathi, J. Tonn, P. Wellmann, J.-P. Wöhrle, S. Wurmehl

Gäste:

S. Navaz

Ort:

IFW Dresden, Helmholtzstraße 20, 01069 Dresden

Zeit:

Donnerstag, 06. Oktober 2022, 19 Uhr

TOP 1 Begrüßung und Feststellen der Beschlussfähigkeit

Es sind **22 Mitglieder** und **1 Gast** anwesend, d.h. laut Satzung ist die Versammlung beschlussfähig. Der Vorsitzende der DGKK, Andreas Erb, begrüßt die Anwesenden. Er stellt fest, dass frist- und formgerecht eingeladen worden ist.

TOP 2 Bericht des Vorsitzenden

Der Vorsitzende berichtet, dass es seit der letzten Mitgliederversammlung zunächst keine neuen Mitglieder zu begrüßen waren, erfreulicherweise hat sich das am Tage der Mitgliederversammlung geändert und er begrüßt ein neues Mitglied und ruft dazu auf, insbesondere in den Arbeitskreisen und in den Reihen der jungen Wissenschaftler für die DGKK zu werben.

Anschließend gratuliert die Mitgliederversammlung:

- Hans Scheel zum 85. Geburtstag (bereits 2021)
- Georg Müller zum 80. Geburtstag
- Dietrich Schwabe zum 80. Geburtstag
- Albrecht Winnacker zum 80. Geburtstag.

Er gratuliert der Preisträgerin Martina Conti aus Eindhoven (NL) zum DGKK-Posterpreis, der auf der ECCG-7 in Paris vergeben wurde sowie Merve Kabukcuoglu vom KIT zur besten Präsentation von Juniorwissenschaftlern, die auch im Rahmen der ECCG-7 ausgezeichnet wurde.

Leider sind auch langjährige Mitglieder und der international bedeutende Wissenschaftler auf dem Gebiet der Kristallzüchtung für immer von uns gegangen.

Die DGKK-Mitgliederversammlung gedenkt der Verstorbenen

- Horst Linn (Eschenfelden)
- Peter Reiche (Berlin)
- Franz Wallrafen (Bonn)
- Kenneth A. Jackson (University of Arizona)
- Bill Tiller (Stanford University).

A. Erb beginnt seinen Bericht mit einer kurzen Übersicht von Veranstaltungen, die unter Schirmherrschaft und Beteiligung der DGKK seit der DKT 2021 stattgefunden haben. Die größte Veranstaltung auf dem Gebiet der Kristallzüchtung war im Juli 2022 die ECCG-7 in Paris mit mehr als 220 Teilnehmern und 40 Teilnehmern auf der ESCG-3. Bedingt dadurch, dass wenig Tagungen in Präsenz stattgefunden haben, wurden keine Anträge auf Reisekosten gestellt. Wenn längerfristig Reisekostenzuschüsse nicht nachgefragt werden, wird von Seiten der Mitgliederversammlung angeregt, die hierfür geplanten Mittel für die Junge DGKK einzusetzen. Der Vorstand prüft, inwieweit Anträge nach der Pandemie eingehen werden und entscheidet anhand der Antragslage über die Umwidmung der Mittel.

Weiterhin berichtet er, dass der Vorstand seine Arbeit vor allem auf drei Videokonferenzen und einem Treffen vor der Mitgliederversammlung in Freiberg abgestimmt hat.

Wenn es Hinweise zur DGKK-Webseite gibt, können diese per Email an: internet.redaktion@dgkk.de gesendet werden. Die Mitteilungsblätter 112 und 113 sind termingerecht erschienen. Es geht ein Dank an Klaus Böttcher für die bereits geleistete Arbeit und an die Inserenten. Es ist jetzt ein Nachfolger für die Redaktion des Mitteilungsblatts gefunden worden, es ist Anton Jesche aus Augsburg. Ein herzlicher Dank für seine Bereitschaft. Es wird weiterhin darum gebeten, Artikel zu abgeschlossenen Master- und Promotionsarbeiten einzureichen.

Die DGKK ist gegenwärtig bereits international gut vernetzt, und auch national konnte die Zusammenarbeit mit anderen Verbänden gestärkt, so z.B. die Zusammenarbeit mit der DGK.

Die DGKK ist Mitglied im BV Matwerk, und diese Mitgliedschaft erscheint dem Vorstand weiterhin sinnvoll, insbesondere in Bezug auf Vernetzung und Politik. Die letzte Mitgliederversammlung fand am 22.10.2021 in Stuttgart statt, A. Danilewsky hat dabei die DGKK vertreten. An der Klausurtagung am 30.06.2022, welche online stattfand, nahmen von Seiten der DGKK A. Erb und W. Miller teil. Die nächste Mitgliederversammlung 2022 ist Ende Oktober in Düsseldorf geplant, es steht noch nicht fest, wer daran teilnehmen kann. Für die bevorstehende DFG-Fachkollegienwahl 2023 ist M. Bickermann wieder vorgeschlagen worden. Er dankt den Kollegen für Ihr Vertrauen.

In den letzten Jahren waren die Aktivitäten des European Network on Crystal Growth (ENCG) sehr reduziert gewesen und beschränkten sich vor allem auf die Vorbereitung der nächsten Tagung/Schule. Das Council des ENCG hat sich am 26.07.2022 während der ECCG-7 in Paris getroffen und beschlossen, die Aktivitäten des ENCG insbesondere hinsichtlich der Technologiesouveränität kristalliner Materialien in Europa zu thematisieren und gemeinsame Projekte anzu-

gehen. In einem ersten Schritt sollen die Daten der Akteure aktualisiert werden. Th. Schröder ist zum neuen Koordinator des ENCG gewählt worden. A. Erb gratuliert ihm und wünscht viel Erfolg. Th. Schröder berichtet der Mitgliederversammlung über die geplanten Aktivitäten. Die nächste Europäische Kristallzüchtungstagung und Schule findet bereits 2024 in Warschau statt.

TOP 3 Bericht der Schriftführerin

Die Mitgliederzahl der DGKK ist gegenwärtig zum Stand 30.09.2022 leicht rückläufig bei 352, dies ist eine Veränderung von "-12" im Vergleich zu 2021, wobei keine Eintritte erfolgten. Wie bereits in TOP 2 berichtet, konnte erst im Rahmen des Arbeitskreises in Dresden ein neues Mitglied begrüßt werden, und es werden alle Mitglieder aufgerufen, aktiv für die DGKK zu werben, insbesondere in den Reihen der jungen Wissenschaftler und auf Arbeitskreisen.

Von den 352 Mitgliedern sind 297 Vollmitglieder, 34 Studenten und 23 Firmen.

TOP 4 Bericht des Schatzmeisters

Der Bericht des Schatzmeisters wird erstmalig vom neuen Schatzmeister C. Krellner gegeben. Er hat zum 01.01.2022 das Amt vom langjährigen Schatzmeister P. Wellmann übernommen. Er dankt ihm für die gute Vorarbeit und Übergabe.

Der Kassenstand der DGKK beträgt zum 31.12.2021:

Sparkasse Karlsruhe	: 4.319,01 €
Tagesgeldkonto	: 15.231,51 €
	19.550,52 €

Der Kassenstand hat sich im Vergleich zu 31.12.2020 um 5.918,13 € erhöht.

Der Zuwachs des Kassenbestandes ist bedingt durch konstante Einnahmen und durch reduzierte Ausgaben in 2021, so wurden keine Mittel für Reisekosten beantragt und keine bereits bewilligten Preisgelder abgerufen.

Es wurde für die Jahre 2019-2021 die Steuererklärung eingereicht, der Bescheid ist aber noch ausstehend.

TOP 5 Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Vorstandes

F.-M. Kießling trägt den Bericht der Kassenprüfer vor. Die Unterlagen wurden den Prüfern vorab zugesendet und Rückfragen konnten vorab per Email geklärt werden. Es wird eine korrekte Kassenführung bestätigt, die Prüfung ergab keine Beanstandungen. Er beantragt die Entlastung des Vorstandes. Der Antrag wird einstimmig unter Enthaltung des aktuellen Vorstandes und des anwesenden ehemaligen Vorstandsmitglieds angenommen.

TOP 6 Planung für 2022

C. Krellner stellt den Ansatz des Haushaltes 2022 vor, wobei das Jahr 2022 bereits fortgeschritten ist und er den Ansatz an die bereits erwarteten Ausgaben angepasst hat. Für 2022 ist davon auszugehen, dass ein ausgewogener Haushalt vorliegen wird.

TOP 7 Deutsche Kristallzüchtungstagung 2023

Die **DKT 2023** wird an der Universität Augsburg vom **15.-17. März 2023** stattfinden. Das Treffen der jDGKK soll wieder Vorfeld der DKT am 14. März 2023 stattfinden. A. Jesche berichtet über den Stand der Planungen zur DKT 2023. Es ist bereits ein erster Flyer verfügbar und die Tagungswebseite <https://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/bereich-aae/dkt2023/> ist eingerichtet.

TOP 8 Abschließende Diskussion und Beschluss über die DKT 2024

Für die DKT 2024 war bereits Erlangen zur DKT 2024 vorgemerkt worden. Die Erlanger Kollegen vom IISB und von der Universität werden die Tagung im Zeitraum 6.-8. März 2024 gemeinsam organisieren.

Es wird einstimmig der Vorschlag angenommen, die Deutsche Kristallzüchtungstagung 2024 in Erlangen durchzuführen.

Für die Durchführung der DKT 2025 wird als Tagungsort Frankfurt/Main vorgemerkt, es wird angestrebt diese Tagung in Kooperation mit einer Schwestergesellschaft durchzuführen, M. Bickermann sondiert das Interesse der französischen Kollegen in Grenoble.

TOP 9 Diskussion zur Nutzung des Mitgliederverzeichnisses

C. Krellner stellt das seit Februar 2021 genutzte Portal der Mitgliederverwaltung "Easy Verein" vor. Die Mitgliederdaten, die bisher in verschiedenen Datenbanken und Tabellen hinterlegt waren, konnte bereits in das Portal importiert werden. Bisher wird es vom Schatzmeister und der Schriftführerin erprobt. Es besteht die Möglichkeit, dass die Mitglieder ihre Daten selbst aktualisieren können. In den nächsten Tagen erhalten alle Mitglieder, deren Emailadresse bekannt ist, eine Email mit persönlichem Zugangscode zu ihren Daten.

Es wird darum gebeten diese kurzfristig zu prüfen. Bereits auf der Mitgliederversammlung 2021 wurde die Frage nach möglichen Kontaktaufnahmen zu anderen Mitgliedern und zu deren Interessen diskutiert. Das neue Portal bietet die Möglichkeit in einem internen Bereich Daten für andere Mitglieder freizugeben. Welche Daten für andere Mitglieder sichtbar sein sollten und wie die Freigabe erfolgen könnte, soll auf der nächsten Mitgliederversammlung diskutiert und beschlossen werden.

TOP 10 Abstimmung zur Satzungsänderung

Es sind mehrere Aktualisierungen der Satzung geplant, die Mitglieder hatten vorab die geplanten Änderungen zugeschickt bekommen. Es wurde auf der Mitgliederversammlung jede geplante Änderung nochmal vorgestellt und dann darüber abgestimmt.

- Durch den Wechsel des Schatzmeisters wird eine Verlegung des Sitzes der Gesellschaft nötig, da auch das zuständige Finanzamt dadurch an den Sitz des Schatzmeisters wechselt.

Änderungsvorschlag §1 (3): *Der Sitz der Gesellschaft ist Frankfurt/Main.*

Der Änderungsantrag wird einstimmig angenommen.

- Anhand der Erfahrungen der Pandemie der letzten Jahre zeigte sich, dass es zum Teil nicht möglich ist, eine Tagung (DKT) in Präsenz durchzuführen, daher soll satzungsgemäß auch die Möglichkeit von Online-Veranstaltungen verankert werden.

Änderungsvorschlag für §6 (7): *Der Vorstand ist dafür verantwortlich, dass jährlich eine nationale, öffentliche Tagung über Kristallwachstum, Kristallzüchtung und Epitaxie durchgeführt wird. Diese soll nach Möglichkeit als Präsenzveranstaltung durchgeführt werden, kann aber in begründeten Fällen auch hybrid oder online abgehalten werden.*

Der Änderungsantrag wird einstimmig angenommen.

- Auch die Einberufung einer Mitgliederversammlung, üblicherweise im Zusammenhang mit der jährlichen Kristallzüchtungstagung, kann durch äußere Einflüsse, wie beispielsweise eine Pandemie nicht als Präsenzveranstaltung möglich sein, daher auch hier folgender Änderungsvorschlag für §8 (2): *Die ordentliche Mitgliederversammlung muss vom Vorstand einmal im Jahr einberufen werden. Der Vorstand kann die Mitgliederversammlung im Wege elektronischer Kommunikationsformen durchführen. Die Einladung erfolgt in Textform und soll den Mitgliedern zusammen mit der Tagesordnung spätestens vier Wochen vor der Versammlung zugegangen sein. Beschlüsse der Mitgliederversammlung können im Wege elektronischer Stimmabgabe erfolgen.*

Der Änderungsantrag wird einstimmig angenommen.

- Bisher wurde satzungsgemäß der nächste Ort der Kristallzüchtungstagung beschlossen. Eine sichere Planung insbesondere die Anmietung von Tagungsräumen benötigt längerfristige Verträge, daher soll bereits 2 Jahre vorab der übernächste Tagungsort beschlossen werden. Hierzu folgender

Änderungsvorschlag §11 (14): *Nach den Wahlen werden die übrigen Gegenstände der Tagesordnung und die Anträge behandelt. Die Festlegung von Ort und Zeit der nächsten ordentlichen Mitgliederversammlung*

ist Teil der Tagesordnung. Ebenso wird der Ort der übernächsten Tagung auf der Mitgliederversammlung festgelegt.

Der Änderungsantrag wird einstimmig angenommen.

TOP 11 Berichte zu den DGKK – Arbeitskreisen

Bedingt durch die Pandemie 2021/2022 kam es zu verringerten Aktivitäten auf dem Gebiet der Arbeitskreise. Es fanden aber einige Arbeitskreise statt.

Epitaxie von III/V – Halbleitern:

Im Dezember 2021 sollte der Arbeitskreis in Bremen stattfinden, dieser fand verspätet im Mai 2022 unter guter Beteiligung statt, nähere Informationen sind unter: <https://www.uni-bremen.de/ifp/dgkk-dembe-2022> abrufbar. Das nächste Treffen ist für Dezember 2023 in Stuttgart geplant und wird von M. Jetter organisiert.

Arbeitskreis Massive Verbindungshalbleiter:

Der Arbeitskreis ist 2021 ausgefallen und fand am 5.-6.10.2022 in Freiberg wieder in Präsenz unter guter Beteiligung von ca. 40 Teilnehmern statt. Das nächste Treffen ist für Oktober 2023 in Erlangen geplant.

Intermetallische und oxidische Systeme mit Spin- und Ladungskorrelation:

Der Arbeitskreis traf sich im Anschluss an die DKT am 08.10.2021 in Berlin und am 6. und 7. Oktober am IFW in Dresden.

Kristalle für Laser und Nichtlineare Optik:

Der Arbeitskreis fand wieder gemeinsam mit den französischen Kollegen als 11. gemeinsamer Workshop on Oxide Dielectric and Laser Crystals (WODIL) am 15./16. September 2022 in Frankreich statt.

Junge DGKK:

Das Treffen der jDGKK fand im Vorfeld des Arbeitskreises Massive Verbindungshalbleiter vom 3.-5. Oktober 2022 in Freiberg statt, dieses Treffen war das zweite gemeinsame Treffen mit der jDGK und wurde auch stark von den Jungen Kristallographen besucht. Das nächste Treffen der jDGKK ist für den 14. März in Augsburg vor der DKT 2023 geplant.

TOP 12 Verschiedenes

L. Stockmeier berichtet über Aktivitäten, Methoden der künstlichen Intelligenz in der Kristallzüchtung zu nutzen; bei der IWCGT-8 im Frühjahr 2022 in Berlin wurde bei verschiedenen Vorträgen diese Thematik behandelt. Daraus ergab sich die Fragestellung, auch mögliche Aktivitäten in Deutschland zu stärken und einen Austausch zu diesem Thema anzustoßen. Einige Akteure wollen sich am Rande der DKT 2023 in Augsburg treffen, um weitere Aktivitäten abzustimmen.

A. Erb schließt um ca. 20:40 Uhr die Mitgliederversammlung und bedankt sich bei allen Anwesenden und hofft, sie in Augsburg wieder zahlreich begrüßen zu dürfen.

Christiane Frank-Rotsch
Schriftführerin der DGKK

Andreas Erb
1. Vorsitzender der DGKK

7th European Conference on Crystal Growth (ECCG7), Paris, July 25th-27th, 2022

Saskia Schimmel, Chair of Electron Devices (LEB), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

At this challenging time not only but also for conference organizers, the European Conference on Crystal Growth was organized by **Matias Velazquez** (French National Centre for Scientific Research CNRS, Grenoble) and **Pascal Loiseau** (Chimie ParisTech, Paris) as the conference chairs, with the help of many others.

The program consisted of 14 sessions covering a very broad range of crystal growth phenomena, theory, experiments and applications. In total, 4 plenary lectures, 24 invited talks, 77 oral presentations and 92 poster communications were given. The conference was attended by 223 participants, with major numbers of participants coming from France (51), Germany (37), Poland (14), United Kingdom (11) and Italy (11). A number of participants from overseas also attended the conference, mostly from the United States (8), South Korea (8) and Japan (6).

Plenary Lectures were given by James F. Lutsko (**Step-growth, impurities and mass transport: the surprising complexities revealed by simulation**), Sarah (Sally) L. Price (**Can the crystal structures of pharmaceuticals be predicted?**), Simona Fermani (**Recent advances in protein crystal growth**) and Oliver Bierwagen (**The physical chemistry of oxide molecular beam epitaxy**).

Among the invited talks, one addressed recent developments

in machine learning applications in crystal growth. This talk entitled **How will machine learning change crystal growth research?** was given by Kentaro Kutsukake from RIKEN (Nagoya, Japan). He gave an overview of machine learning applications in crystal growth and the current state of the field. He also reported that in Japan, industry has begun to show an active interest in machine learning for crystal growth and increasingly reaches out to academic institutions for collaborations using such methods.

Among the oral communications, Martin Albrecht from IKZ Berlin gave a talk on a related topic showing recent progress in data infrastructure development: **FAIRmat - FAIR Data Infrastructure for Condensed-Matter Physics, and the Chemical Physics of Solids**. Adapted infrastructure for archiving and sharing data is considered essential for fully utilizing the potential of high-throughput experimentation, machine learning and other methods from the broader methodical space of artificial intelligence, or combinations of both.

The conference dinner took place aboard the Seine river boat Le Jean-Bruel. After dinner, many of the participants enjoyed the night views of the sights alongside the river while spending time on deck. The illuminated and at times sparkling Eiffel tower turned out to be a particularly popular choice for taking pictures inbetween the lively discussions.



Fig. 1: The conference participants at the award and closing ceremony. (Foto: ECCG7)



Fig. 2: View of the Eiffel tower from aboard the Seine riverboat Le Jean-Bruel on which the gala dinner took place. (Foto: Tomasz Sochacki)

Throughout the poster sessions, coffee breaks, lunches and dinner, participants clearly enjoyed being able to meet and interact in person again. For some, it was even the first opportunity to attend a major conference in person, in case of those young participants that had embarked on their first research projects during the Covid19 pandemic.

The European Conference on Crystal Growth usually takes place every three years. The **next European Conference on Crystal Growth (ECCG8)** will be held in Warsaw in 2024 (likely in June or July). Accordingly, the **next European School on Crystal Growth (ESCG4)** will be held near Warsaw to facilitate attendance of both events within one trip (as common for ESCG and ECCG).

2nd Joint Meeting jDGKK & yDGK, 03.-05.10.2022 in Freiberg

Sebastian Gruner, Freiburger Compound Materials GmbH

Es war der 20.09.2019, als sich die jungen Kristallzüchter (jDGKK) und jungen Kristallographen (yDGK) nach dem ersten gemeinsamen Seminar in Köln einig waren: Wir wollen weiter zusammenarbeiten und dieses vereinte Meeting weiterführen! Gesagt, getan: Für 2020 war die Fortsetzung der gemeinsamen kleinen Tagung in Freiberg angesetzt und die Planung schritt produktiv voran, bis man sich aus Vernunft den Umständen der Pandemie beugen und das Event verschieben musste.



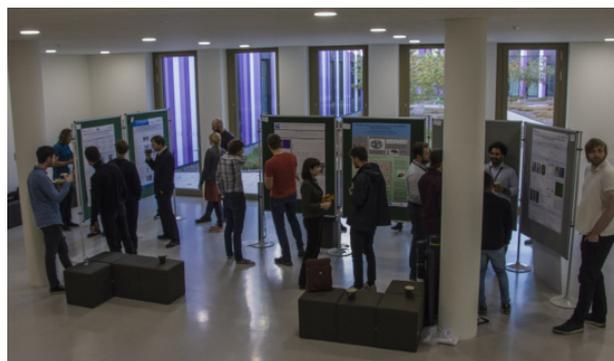
Präsentation im Seminarraum. (Foto: Jan-Philipp Wöhrle)

Drei lange Jahre hat es gedauert, doch am 03.-05.10.2022 trafen sich schließlich etwa 30 junge Kristallzüchter und Kristallographen zum "2nd Joint Meeting" in Freiberg. Die Teilnehmer genossen ein vielseitiges Programm mit Vorträgen aus Akademie & Industrie, Laborführungen, dem Präsentieren der eigenen Arbeit in Form kurzer Vorträge ("Lightning Talks") sowie ausgiebiger Poster Sessions und nicht zuletzt sozialen Programmpunkten. So trafen sich die Teilnehmer bereits feiertags zum Grillen und Kennenlernen im ungezwungenen Rahmen, bevor am Folgetag mit Führung und "conference dinner" in der außerordentlich prachtvollen Ausstellung der Terra Mineralia einer der Höhepunkte des Events bevorstand.



Im Foyer des brandneuen ZeHS (Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffumwandlung) der TU Bergakademie Freiberg. (Foto: Constantin Buyer)

Tagungsort und Gastgeber des Seminars war das noch brandneue ZeHS (Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffumwandlung) der TU Bergakademie Freiberg, durch dessen Labore auch eine eindrucksvolle Führung gegeben wurde. Mit ihren Lightning Talks und Posterpräsentationen hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, ihre eigene Forschung in einem entspannten Umfeld junger Fachkollegen vorzustellen und zu diskutieren.



Rege Diskussionen an den Posterwänden. (Foto: Constantin Buyer)

Die Leistung auf der Bühne und vor dem Poster wurde von einer Jury bewertet, und es wurden drei Posterpreise vergeben

an: Maik Förste (INEMET, TUBAF), Max Stöber (ZeHS, TU-BAF) und Florian Meurer (Fakultät für Chemie & Pharmazie, Uni Regensburg).

Die akademischen Vorträge reichten von Hochdruck-Kristallographie (Prof. Dr. Leonid Dubrovinsky, Bayerisches Geoinstitut) über moderne XRD-Bildgebungsverfahren (Dr. Carsten Richter, IKZ) und eine Lebensgeschichte als Kristallzüchter (Dr. Manfred Jurisch) bis hin zu Kristallographie als Mittel zum Erhalt von Kunst und Kulturgut (Dr. Sebastian Bette, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung).



Laborführung im Veranstaltungsgebäude. (Foto: Jan-Philipp Wöhrle)

Zudem referierten Industrievertreter zu Röntgenbeugungsgeräten und deren Präzision in der Bestimmung der Kristallorientierung (Dr. Kay Dornich, Freiberg Instruments), der industriellen Kristallzüchtung von GaAs und dessen Anwendungsgebieten in Kommunikationstechnik und Optoelektronik (Michael Rosch, Freiburger Compound Materials) sowie zu den Vor- und Nachteilen akademischer und industrieller Tätigkeit (Dr. Laura C. Folkers, STOE & Cie).

Neben der Firmenpräsentation bei Freiburger Compound Materials erhielten die Seminarteilnehmer dort auch eine beeindruckende Führung durch die Züchtungshallen und konnten im Vergleich zwischen industrieller Anlagengröße und –zahl und dem Labormaßstab in der Forschung nur staunen.

Die jungen Kristallzüchter und Kristallographen bedanken sich ganz herzlich bei den Vorständen der DGKK und der DGK sowie den Sponsoren (Siltronic, Freiberg Instruments, Freiburger Compound Materials, STOE & Cie, Freiburger Brauhaus) für sämtliche Unterstützung bei der Organisation und Finanzierung des Seminars. Weiterhin geht unser Dank an alle lokalen Helfer in Freiberg und nicht zuletzt an die zahlreichen aktiven Seminarteilnehmer.

Das nächste Mal treffen sich die jungen Kristallzüchter (jDGKK) am 14.03.2023 in Augsburg im Vorfeld der DKT23. Seid dabei und freut Euch auf ein abwechslungsreiches Programm!



Teilnehmer des 2nd Joint Seminars der jDGKK & yDGK. (Foto: Constantin Buyer)

Mitglieder 2022, zweite Jahreshälfte

Wir begrüßen seit dem 16.06.2022 als neue Mitglieder (Stand 22.11.2022):

Neumitglieder / Privatpersonen:

Herrn Dr. Pascal Puphal	Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart
Herrn Dr. Seunghyun Kim	Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, Dresden
Herrn Falk Pabst	Technische Universität Dresden
Frau Dr. Merve Kabukcuoglu	Karlsruher Inst. f. Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen
Herrn Maximilian Oezkent	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin



comadur

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

comadur



Die Beherrschung von harten Swiss Made Komponenten, vom Pulver bis zum fertigen Produkt

Unternehmen

Comadur ist ein Unternehmen der Swatch Group, das sich auf die Entwicklung, Industrialisierung und Produktion von Komponenten aus extraharten Materialien spezialisiert hat. Comadur besitzt 7 Produktionsstandorte in der Schweiz und verfügt über mehr als 1.000 Mitarbeiter, 80 Berufe und einen Industriepark mit über 2.150 Maschinen der neuesten Generation.

Tätigkeitsfelder

Comadur ist auf dem Gebiet der Kristallzucht synthetischer Kristalle (Saphir, Rubin) aktiv, sowie in der Entwicklung und Formgebung von Keramik (Zirkonoxid, Aluminiumoxid, Nitride, Karbide) und in Pulvertechnologien (Polyrubin, Mikromagnete, Emaille), die Nachbehandlungen bei hohen Temperaturen erfordern.

Produkte

Die Schweizer Uhrenindustrie stellt die Mehrheit der Kunden von **Comadur** dar, darunter Marken aus allen Bereichen, von der Einstiegsklasse bis hin zu Prestige- und Luxussortimenten. **Comadur** ist auch in Segmenten außerhalb der Uhrenindustrie tätig, wie Medizin, Elektronik und anderen Anwendungsbereichen, die so vielfältig wie spezialisiert sind.

Kompetenzen

Um eine perfekt kontrollierte und industrielle Produktion zu gewährleisten, setzt Comadur zahlreiche Techniken und Technologien ein, unter anderem: Die Entwicklung von Injektionsrohstoffen, Prozesssimulationen, hochpräzise CNC-Bearbeitung, additive Fertigung, Lasergravur oder Dünnschichttechnologie.

Interesse an unserem Unternehmen? Unser Kontakt: hr@comadur.ch



DGKK-Nachrichten

Internationale Postdoc-Erfahrung im Rückblick: Einmal USA, Japan, und zurück nach Deutschland

Saskia Schimmel, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Kurze Zeit nach dem Einreichen meiner Dissertation an der **FAU Erlangen-Nürnberg** (am Lehrstuhl Materialien der Elektronik und der Energietechnologie) trat ich im Oktober 2018 einen halbjährigen Aufenthalt an der **Lehigh University (Bethlehem, PA, USA)** an. Dort arbeitete ich als Gastwissenschaftlerin in der damals im Aufbau befindlichen Gruppe von **Prof. Siddha Pimputkar**. Dies brachte zwar mit sich, dass Aufgaben und Ziele an den tatsächlichen Fortschritt des Laboraufbaus angepasst werden mussten, dennoch hat sich auch dieser Aufenthalt für beide Seiten definitiv gelohnt. Langfristig betrachtet sind hier in erster Linie drei Aspekte zu nennen. Die Zusammenarbeit vor Ort stellt eine optimale Basis zum Aufbau langfristiger wissenschaftlicher Kooperationen dar. Wertvoll ist auch der Einblick in die Entstehungsphase einer Arbeitsgruppe und verschiedene Aspekte des Labordesigns. Und drittens ergab sich so die Möglichkeit, eine weitere Landeskultur und Führungskraft in ihren Wirkungen auf eine Arbeitsgruppe zu beobachten. Von diesen langfristig nützlichen Aspekten abgesehen hat mir die Arbeit in neuem Umfeld auch einfach Spaß gemacht. Durch das breite Aufgabenspektrum von der Mitwirkung an einem Antrag über die Planung und Installation des zentralen Datenerfassungs- und Kontrollsystemes des neuen Labors (und weiterer Laboreinrichtungen) bis zur Betreuung von Studierenden gab es viel Abwechslung. Gegen Mitte des Aufenthalts fand außerdem noch meine Verteidigung statt. Im Anschluss genoss ich es, mich voll auf die neuen Aufgaben fokussieren zu dürfen.

Nach kurzem Zwischenstopp in Deutschland im Frühjahr 2019 konnte ich Ende Mai 2019 den Hauptteil meiner postdoktoralen Auslandsphase antreten: 2 Jahre in der Arbeitsgruppe von **Prof. Hiroshi Amano** an der **Universität Nagoya in Japan**. Im Rahmen meines von der **Japan Society for the Promotion of Science** geförderten Projektes **Ammonothermal growth of low dislocation density, high purity bulk GaN for power electronic devices** war ich dort in eine erst kurz zuvor auf die Universität Nagoya erweiterte Zusammenarbeit eingebunden. Diese innerjapanische Kooperation umfasst außer der Gruppe von Prof. Amano an der Universität Nagoya auch die Gruppe von **Prof. Shigefusa F. Chichibu** von der **Universität Tohoku (Sendai)** sowie die Industriepartner **Mitsubishi Chemical Corporation** und **The Japan Steel Works**, welche zusammen eine der führenden Gruppen im Bereich ammonothermal Kristallzüchtung von Galliumnitrid darstellen. Über die bereits erwähnten Personen hinaus waren vor Ort insbesondere **Prof. Yoshio Honda** und **Prof. Daisuke Tomida** beteiligt. Letzterer war erst kurz vor Beginn meines Aufenthalts von der Universität Tohoku an die Universität Nagoya gewechselt, was für mich den interessanten Nebeneffekt hatte, dass ich parallel zu meiner eigenen Inte-

gration in die Arbeitsgruppe auch die eines einheimischen Neuzugangs beobachten konnte.

In der wissenschaftlichen Zusammenarbeit zeigte sich der **Wert des Zusammenbringens von Personen mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund**. Dieser liegt aus meiner Sicht nicht ausschließlich im Austausch von Wissen, Forschungserfahrung und Ideen, sondern auch in einer Flexibilisierung der Wissenschaftskultur: Die Wahlmöglichkeit aus Verhaltensoptionen aus mehreren Kulturen erleichtert es, durch Kultur oder Gewohnheit eingefahrene Denk- und Handlungspfade zu verlassen, Dinge neu zu denken oder anders anzugehen. Diese positiven Effekte überwiegen meiner Erfahrung nach gegenüber dem offensichtlichen Nachteil der Sprachbarriere. Weniger offensichtlich ist vielleicht der Nebeneffekt, dass man Diskussionen unter verstärkter Nutzung von Grafiken und Schrift führt. Dies kostet zwar Zeit, bewirkt aber oft auch, dass man schon vor der Diskussion klarer über den jeweiligen Sachverhalt nachdenkt.



Abb. 1: Willkommensfeier zum Auftakt des Aufenthalts an der Universität Nagoya mit den Kooperationspartnern Prof. Shigefusa Chichibu (ganz links, Universität Tohoku und seinerzeit auch Universität Nagoya) und Makoto Saito (ganz rechts im Vordergrund, Universität Tohoku und Mitsubishi Chemical Corporation). Entlang der Tischrückseite von links nach rechts: Prof. Daisuke Tomida, Saskia Schimmel, Prof. Yoshio Honda; im Vordergrund in der Mitte ist noch Prof. Maki Kushimoto zu sehen (seinerzeit alle Universität Nagoya). Foto: privat.

Zudem hatte ich den Eindruck, dass das **Erlernen einer stark von den zuvor gelernten Sprachen verschiedenen Fremdsprache** die Kreativität fördert. Nun ist so ein Effekt an einer Einzelperson (noch dazu ohne systematische Datenerfassung) unmöglich statistisch valide analysierbar, gerade eben habe ich aber aus Neugier nach entsprechender Literatur gesucht. Offenbar gibt es tatsächlich solche Effekte und auch entsprechende Studien zu solchen sekundären Auswirkungen des Erlernens von Fremdsprachen [1]. Da habe ich wohl gerade einen weiteren Grund entdeckt, weiter zu versuchen, diese Sprache besser zu erlernen ... Es sei der ausge-

wogenen Berichterstattung wegen aber auch erwähnt, dass die Andersartigkeit der japanischen Sprache in Kombination mit dem in Japan verbreiteten Mangel an Englischkenntnissen im wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Alltag manchmal wirklich anstrengend sein kann. Besonders am Anfang konnte ich es einfach nicht lassen, auch Diskussionsphasen in japanischer Sprache unbedingt soweit irgendwie möglich verstehen zu wollen. Selbst im universitären Umfeld existiert in Situationen mit mehreren Muttersprachlern (dann meistens mit unterschiedlich guten Englischkenntnissen) häufig eine Präferenz für die Verwendung der Landessprache. Bei vorausschauender Lebensweise hätte ich definitiv Jahre vor meinem Aufenthalt mit dem Lernen angefangen, nur ahnte ich damals nicht, dass ich einmal in Japan leben würde. Den Schritt trotz anfangs kaum vorhandener Japanischkenntnisse nach Japan zu gehen habe ich dennoch nie bereut, sondern fand den Aufenthalt sowohl wissenschaftlich als auch persönlich absolut bereichernd.

Flexibilität war auch durch einen unerwartet aufgetretenen technischen Defekt an dem einzigen von Anfang an verfügbaren Versuchsaufbau gefordert. Die Zwangspause unvorhersehbarer Dauer nahm ich zum Anlass, mich in die **numerische Simulation der Wachstumsbedingungen** in ammonothermalen Autoklaven bei der Kristallzüchtung von GaN einzuarbeiten. Meine experimentelle Erfahrung ließ mich hierbei jedoch von Anfang an gängige Praktiken kritisch hinterfragen. Konkret betraf dies insbesondere die Definition der thermischen Randbedingungen an der Autoklavenaußenwand. Daher befasste ich mich in einer ersten Publikation [2] mit dem thermischen Feld im gesamten Kristallzüchtungsaufbau

inklusive des Ofens und dessen unmittelbarer Umgebung, also unter Berücksichtigung realitätsnaher Wärmeverluste. Die Simulation des Gesamtaufbaus bestätigte, dass es zum Erzielen von potentiell für kristallzüchterische Zwecke hinreichend genauen Simulationen notwendig ist, eine realitätsnahe Temperaturverteilung an der Autoklavenaußenwand vorzugeben, bzw. dass die gängige Praxis der Aufprägung konstanter Außenwandtemperaturen innerhalb einer Ofenzone signifikante Abweichungen der Simulationsergebnisse im Autoklaveninneren nach sich zieht. Dieses Ergebnis wurde auch erfreulich bald von unabhängigen Dritten aufgegriffen und für einen mehr oder minder vergleichbaren Aufbau qualitativ bestätigt [3]. Aufgegriffen wurde darin nicht nur das Hauptergebnis aus [2], sondern auch die Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens zur effizienteren Ermittlung geeigneter Heizleistungswerte für ein Modell des gesamten Kristallzüchtungsaufbaus. Die Einarbeitung in die numerische Modellierung der ammonothermalen Kristallzucht nahm ich zudem zum Anlass für ein entsprechendes Review [4].

Hinsichtlich der **Arbeitszeiten** ließ man mir ziemlich viel Freiheit. Ich hatte den Eindruck, dass mein Zwischending aus europäischer, japanischer, und meiner bisherigen persönlichen Arbeitskultur für meine Gastgeber völlig zufriedenstellend war. In meinem persönlichen Fall lag aber auch die gewohnte Arbeitskultur in Bezug auf den Einsatz an Zeit und Energie vergleichsweise nahe an den Gepflogenheiten des Gastlands. Im Endeffekt hatte ich sogar den Eindruck, in Japan eher etwas mehr Freizeit gehabt zu haben als zuvor in Deutschland. Hier muss dazugesagt werden, dass dies in verschiedenen Arbeitsgruppen sehr unterschiedlich gehandhabt wird.



Abb. 2: Die Teilnehmer des dreitägigen Ausflugs der Arbeitsgruppe von Prof. Amano im September 2019 vor der Brücke zur Insel Oshima in der Präfektur Fukui. Foto: privat.

Gelegentlich aus dem Labor oder Büro zogen mich unter anderem die Bergwelt Japans und der Austausch mit anderen Menschen über den Personenkreis des universitären Umfelds hinaus. Ein Austausch über komplexere Themen war natürlich nur mit denjenigen Personen möglich, mit denen ein ausreichender Überlapp in den Sprachkenntnissen bestand (in einer Sprache oder wenigstens kumulativ). Ob-

wohl mitunter einschränkend, hatte dies den Vorteil, dass sich ein Freundes- und Bekanntenkreis ergab, der abgesehen von dem gemeinsamen Merkmal mindestens einigermaßen brauchbarer Englischkenntnisse sehr divers war bzw. ist. Die Perspektive sowohl unbeteiligter Japaner als auch von Personen aus anderen Ländern und mit mehr Japan-Lebenserfahrung (oft aus völlig anderen Branchen, außerhalb

des Universitäts- und Forschungsumfelds) war oft interessant. Dieser Austausch war oft hilfreich, um eigene Beobachtungen besser einordnen zu können. Aus sprachlicher Sicht am meisten weitergebracht haben mich umgekehrt die Touren mit Japanern mit wenig Englischkenntnissen, oder auch der dreitägige Solo-Teil einer viertägigen Bergtour: Situationen, in denen mein Japanisch zusammen mit Händen und Füßen reichen musste.



Abb. 3: Auf dem Gipfel des Azumaya-san, Anfang Mai 2021 während der letzten Bergtour des Japanaufenthalts. Im Hintergrund zu sehen ist Asama-yama, der aktivste Vulkan der japanischen Hauptinsel Honshu. Beide zählen zu den 100 berühmten japanischen Bergen (Nihon Hyaku-meizan). Foto: Takumi Isogai.

Der Einstieg in numerische Methoden bot in der Praxis einen zusätzlichen, unerwarteten Vorteil: Diese Arbeiten ließen sich relativ problemlos ins Homeoffice mitnehmen, als wegen der **Covid19 Pandemie** für einige Wochen die Uni nicht bzw. nur sehr eingeschränkt zugänglich war. Insgesamt hatte ich diesbezüglich mit dem Gastland großes Glück, da zwar die Lage anfangs schwer einschätzbar aber insgesamt während meines Aufenthalts im weltweiten Vergleich relativ unproblematisch und auch mit verhältnismäßig wenigen (verpflichtenden)

Einschränkungen verbunden war. Glück hatte ich im Kontext der Pandemie in der Postdoc-Phase auch dahingehend, dass alle Umzüge in ausländische Staaten vor Beginn der Pandemie stattfanden. Somit gab es zum Einen keine Probleme mit der Einreise. Zum Anderen hatte ich auch in Japan die Möglichkeit, zu Beginn das alte Normal kennenzulernen und ungehindert von pandemiebedingten Einschränkungen Kontakte zu knüpfen. So konnte in meinem ersten Aufenthaltsjahr beispielsweise auch der jährliche Laborausflug der Gruppe von Prof. Amano (Abb. 2) ungehindert stattfinden. Im späteren Verlauf des Aufenthalts entfielen natürlich viele sozialen Zusammenkünfte. Auch die Kurzbesuche ausländischer Wissenschaftler kamen natürlich mit Beginn der Pandemie zum Erliegen. Jedoch hatte ich trotz der Pandemie Gelegenheit zum Austausch mit Wissenschaftlern außerhalb Japans, wenn auch während dieses Teils des Japanaufenthalts nur im Rahmen virtueller Veranstaltungen: Center for Integrated Research of Future Electronics GaN Webinar Series Poland-Japan (Unipress - Nagoya University) Seminar on GaN, 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology, 68th Japan Society of Applied Physics Spring Meeting.

Im Anschluss an den Japan-Aufenthalt gab mir ein einjähriges **Rückkehrstipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung** (Gastgeber: **Prof. Peter Wellmann**, Lehrstuhl Materialien der Elektronik und der Energietechnologie (i-MEET)) die Möglichkeit, in Deutschland meine Zusammenarbeit mit den genannten Kooperationspartnern in Japan in angepasster Ausrichtung fortzusetzen, neue Kooperationen vor Ort zu initiieren und meine Reintegration in den Wissenschaftsstandort Deutschland in Präsenz voranzutreiben. Die fortgesetzte Zusammenarbeit widmete sich nicht nur der Weiterentwicklung numerischer Modelle, sondern auch einer Vorarbeit in Zusammenarbeit mit **Michael Salamon** vom Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT (Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS), worüber perspektivisch die Validierung von Simulationen über eine in situ-Beobachtung des GaN-Massentransports im gesamten Autoklaveninnenvolumen möglich werden soll [5].

Es sei allen genannten Personen und Organisationen sehr herzlich für die Unterstützung bei der Realisierung und Durchführung der jeweiligen Abschnitte meiner Postdoc-Phase gedankt. Jeder einzelne Abschnitt war eine lehrreiche und einprägsame Erfahrung.

Im Anschluss an das Rückkehrstipendium wechselte ich innerhalb der FAU an den Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB), welcher seit September 2021 von **Prof. Jörg Schulze** (zuvor an der Universität Stuttgart) geleitet wird.

- [1] Fox, R, Corretjer, O, Webb, K., *Benefits of foreign language learning and bilingualism: An analysis of published empirical research 2012–2019*, Foreign Language Annals 2019, 52, 699 - 726.
- [2] Schimmel, S.; Tomida, D.; Saito, M.; Bao, Q.; Ishiguro, T.; Honda, Y.; Chichibu, S.; Amano, H., *Boundary conditions for simulations of fluid flow and temperature field during ammonothermal crystal growth – a machine-learning assisted study of autoclave wall temperature distribution*, Crystals 2021, 11, 254.
- [3] Han, P.; Gao, B.; Song, B.; Yu, Y.; Tang, X.; Liu, B., *Large-Sized GaN Crystal Growth Analysis in an Ammonothermal System Based on a Well-Developed Numerical Model*, Materials 2022, 15, 4137.
- [4] Schimmel, S.; Tomida, D.; Ishiguro, T.; Honda, Y.; Chichibu, S.; Amano, H., *Numerical simulation of ammonothermal crystal growth of GaN-current state, challenges, and prospects*, Crystals 2021, 11, 356.
- [5] Schimmel, S.; Salamon, M.; Tomida, D.; Neumeier, S.; Ishiguro, T.; Honda, Y.; Chichibu, S.F.; Amano, H., *High-Energy Computed Tomography as a Prospective Tool for In Situ Monitoring of Mass Transfer Processes inside High-Pressure Reactors-A Case Study on Ammonothermal Bulk Crystal Growth of Nitrides including GaN*, Materials 2022, 15, 6165.

Auf dem Weg zum optimalen Quantencomputer - Isotopenkontrolliertes Siliziumkarbid für Festkörper-Quantenbauelemente

Pressemitteilung des IISB, Erlangen, 15. September 2022

Am Fraunhofer IISB entwickelt eine Forschungsgruppe optimierte Grundmaterialien und Prozesstechnologien für Festkörper-Quantenelektronik auf der Basis von Siliziumkarbid (SiC). Ausgangspunkt sind auf SiC-Wafern epitaktisch abgesetzte SiC-Schichten mit genau festgelegten Konzentrationen für die Silizium- und Kohlenstoffisotope, beispielsweise Si-29 und C-13. In den isotopenkontrollierten SiC-Schichten lassen sich dann definierte Punktdefekte – sogenannte Farbzentren – erzeugen, die als Quantenbits (Qubits) in elektronischen Quantenbauelementen für die Quanteninformationsverarbeitung, Quantensensorik oder Quantenkommunikation dienen. Im Gegensatz zu anderen Quantentechnologien kombiniert SiC hochattraktive Quanteneigenschaften mit einer ausgereiften Materialplattform, die auch mit der etablierten Mikroelektronik kompatibel ist. Mit der Verknüpfung von Quanteneigenschaften und elektronischen Bauelementen bietet isotopenreines SiC ein enormes Wertschöpfungspotential für die Festkörper-Quantenelektronik und könnte für den breiten Durchbruch von Quantentechnologie in Industrie und Mittelstand sorgen.

Die Quantenrevolution

Quantentechnologie wird die Welt verändern. Auf der Grundlage bahnbrechender Forschungsergebnisse arbeiten schon heute zahlreiche Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft an einer Vielzahl vollkommen neuartiger Anwendungen. Auch die Politik hat das disruptive Potential der Quantentechnologie und deren gesellschaftliche Dimension erkannt und große Förderprogramme aufgelegt. So sind auf den Gebieten der Quantenoptik, Quantenkommunikation, Quantensensorik und insbesondere des Quantencomputing schon bald revolutionäre technologische Entwicklungen zu erwarten. Allerdings wird die Quantenrevolution nur stattfinden, wenn es eine praxistaugliche Plattformtechnologie für Quantenbauelemente und Quantensysteme gibt. Die heute existierenden Quantencomputer bestehen aus komplizierten opto-elektronischen Aufbauten und reagieren sehr empfindlich auf kleinste äußere Einflüsse. Die dort verwendeten Quantenregister arbeiten erst bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt und benötigen eine extrem aufwändige Kühlung. Eine weitere Herausforderung ist auch die Anbindung an die vorhandene Informations- und Kommunikationstechnik. Perspektivisch sind derartige Großlösungen deshalb eher für Forschungszwecke oder für kommerzielle Cloudcomputing-Unternehmen interessant. Demgegenüber bestünde in der Industrie und im Mittelstand ein hoher Bedarf an eigenen Supercomputern für eine Vielzahl an komplexen Simulationsaufgaben und Optimierungsproblemen, die sich perfekt durch Quantencomputing lösen ließen.

Festkörperbauelemente als Gamechanger?

Einen Ausweg aus diesem Dilemma eröffnen Quantenbau-

elemente, deren Quantenbits aus sogenannten Farbzentren bestehen. Quantenbits, kurz Qubits, stellen die kleinste Quanteninformationseinheit dar. Ein Farbzentrum ist eine spezielle atomare Störstelle im Kristallgefüge, in der ein einzelnes Gitteratom fehlt. Alternativ kann ein Farbzentrum auch ein Komplex aus wenigen Störstellen im Material sein, bei denen Fremdatome die Gitteratome ersetzen. Da die Störstelle Licht absorbieren und emittieren kann, wird sie als Farbzentrum bezeichnet. Im Elektronenspin dieser Farbzentren lässt sich dann Quanteninformation speichern.

Momentan ist hier vor allem das Wide-Bandgap (WBG)-Halbleitermaterial Diamant sehr prominent und gut erforscht. Diamant hat ausgezeichnete Quanteneigenschaften, doch dieses Material ist technologisch nur schwer zu handhaben und die Anbindung an etablierte Elektroniktechnologien ist aufwändig. Ebenso gibt es Bestrebungen, Qubits mittels klassischer Siliziumtechnologie zu realisieren, zum Teil in Kombination mit Germanium oder Graphen. Der Vorteil: Für Quantenbauelemente auf Siliziumbasis stünde die komplette Palette an erprobten Halbleiterprozessen zur Verfügung und die Integration in die bekannte Siliziumelektronik wäre vergleichsweise einfach. Allerdings ist Silizium kein WBG-Halbleiter und bringt damit als Grundmaterial für Quantenbauelemente weniger optimale Voraussetzungen mit.

Unter diesen Umständen könnten Festkörperbauelemente auf Basis des WBG-Halbleitermaterials Siliziumkarbid (SiC) der Quantentechnologie den Weg in breite Anwendungsfelder bereiten. Auf SiC basierende Halbleiterbausteine sind mittlerweile Massenprodukte. Aktuell stellen SiC-Bauelemente ihre Qualitäten vor allem im Bereich der Leistungselektronik im praktischen Einsatz unter Beweis. Wie in Diamant kann in SiC die Quanteninformation in den Spins der Farbzentren gespeichert werden. Im Gegensatz zu Diamant werden aber bei SiC die hochattraktiven Quanteneigenschaften mit einer ausgereiften Materialplattform kombiniert. Die SiC-Plattform bietet beispielsweise eine kommerzielle Verfügbarkeit im Wafer-Maßstab, sehr gute Kompatibilität zur etablierten CMOS-Technologie (CMOS: englisch für „Komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter“) oder die Möglichkeit, hybride photonische, elektrische und mechanische Bauelemente herzustellen.

Isotopenkontrolliertes Siliziumkarbid

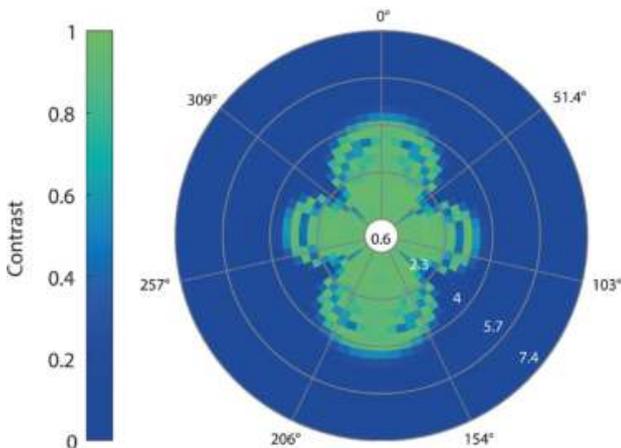
Farbzentren in SiC sind für die Quanteninformationsverarbeitung, Quantensensorik oder Quantenkommunikation nutzbar. Derartige Anwendungen erfordern allerdings verhältnismäßig lange Lebensdauern der Quantenzustände, beispielsweise für die Realisierung komplexer Rechenaufgaben. In SiC kann dies durch die Übertragung von Quanteninformationen von einem Farbzentrum auf die Kernspins benachbarter Silizium(Si)- oder Kohlenstoff(C)-Atome erreicht werden.

Nicht jedes Si- oder C-Atom in SiC eignet sich als Quantenbit oder Quantenspeicher. Nur bestimmte Isotope wie Si-29 und C-13, die in unterschiedlichen Konzentrationen im SiC vorkommen, sind dafür verwendbar. In der gängigen Quantenforschung wurden bislang nur Isotopenkonzentrationen untersucht, die natürlicherweise in SiC vorkommen, oder SiC-Material, das keine solchen Speicherisotope enthält.

Dagegen legt das Fraunhofer IISB den Schwerpunkt gezielt auf eine optimierte, für die jeweilige Quantenanwendung zugeschnittene Materialqualität. Mit seiner langjährigen Expertise auf dem Gebiet der SiC-Epitaxie und einer hochentwickelten Prozesstechnik adressiert das Institut aktuell die Herstellung epitaktischer SiC-Schichten mit genau festgelegten Isotopenkonzentrationen auf SiC-Substraten. Das IISB ist dabei eine der wenigen Einrichtungen weltweit, die in der Lage sein wird, SiC-Material mit exakt für die jeweilige Quantenanwendung spezifizierten Eigenschaften herzustellen.

Auf die Dosis kommt es an

Ein wesentliches Kriterium bei der Nutzung von SiC als Quantenmaterial ist die optimale Anzahl und Platzierung der speziellen Isotopenatome im Verhältnis zum zentralen Farbzentrum. Eine zu niedrige Isotopenkonzentration führt zu mangelnder Kohärenz der Qubits, während eine zu hohe Konzentration überlappende Signale bewirkt, wodurch die Zustände der Qubits nur schwer zu unterscheiden wären. Die Verteilung der Isotopenatome hängt unmittelbar mit den Isotopenkonzentrationen im SiC zusammen. Mittels aufwändiger Computersimulationen untersucht das IISB, welcher Isotopengehalt in SiC für Anwendungen in der Quantenkommunikation oder im Quantencomputing am besten geeignet ist. Durch einen selbst entwickelten numerischen Algorithmus kann die Signalqualität der Kernspins in Abhängigkeit von ihrer Position zum jeweiligen zentralen Farbzentrum bestimmt werden.



Simulation des Kontrasts, d. h. der Signalqualität eines Kernspins, in Abhängigkeit von seiner Position in Bezug auf das zentrale Farbzentrum. Der grüne kleeblattförmige Bereich stellt den Bereich der hochwertigen Qubits dar. (Bild: Shравan Kumar Parthasarathy / Fraunhofer IISB)

Die besten Isotopenpositionen lassen sich in einem kleeblattförmigen Bereich um das Farbzentrum herum finden. Dabei muss das „Kleeblatt“ von einer optimalen Anzahl an Kernspins bevölkert werden, was sich durch Einstellen einer bestimmten Isotopenkonzentration bewerkstelligen lässt. Der Schlüssel

zur Herstellung von für Quantenanwendungen optimiertem SiC liegt also in der präzisen Steuerung der Isotopenkonzentrationen.

Gemeinsam geht es besser!

Bei der Herstellung des optimierten SiC kann das Fraunhofer IISB auf eine langjährige Expertise im Bereich der Epitaxie sowohl auf Si- als auch auf SiC-Substraten zurückgreifen. So verfügt das Institut in Erlangen über den weltweit ersten an einer Forschungseinrichtung betriebenen Planeten-Epitaxiereaktor für 150- und 200-mm-SiC-Wafer. Seit einigen Jahren pflegt das Fraunhofer IISB eine strategische Kooperation mit der Firma AIXTRON bei der Entwicklung von SiC-Anlagen und -Prozessen. AIXTRON ist ein weltweit führender Anbieter von Anlagen für die SiC-Epitaxie nach dem CVD-Verfahren (CVD, englisch für „Chemical Vapor Deposition“). In einem Reinraum des IISB unterhalten beide Partner ein gemeinsames „Joint Lab“, um zusammen Epitaxie-Geräte und -Prozesse weiterzuentwickeln. Durch das Modell der „Joint Labs“ lassen sich intensive Synergien zwischen Industrie und Wissenschaft realisieren. Für das Institut stellt die Kooperation mit AIXTRON eine ideale Möglichkeit dar, seine Aktivitäten auf dem Gebiet der industriellen SiC-Epitaxie-Entwicklung wie nur wenige andere Forschungseinrichtungen auszubauen. AIXTRON wiederum profitiert von der direkten Einbindung in die Reinraum-Technologielinie des IISB und den umfangreichen Charakterisierungs- und Analysemöglichkeiten vor Ort. Zudem können sich beide Partner den hohen technologischen und personellen Aufwand teilen, der den extremen Qualitätsanforderungen an das Material geschuldet ist. Durch die direkte Zusammenarbeit mit einem renommierten Industrieunternehmen inhouse kann das IISB sehr spezielle Epitaxie-Schichten für High-End-Demonstratorbauelemente erzeugen, welche kommerzielle Anbieter so nicht anbieten können.

Das Fraunhofer IISB möchte hierbei ausdrücklich nicht nur für den Eigenbedarf produzieren, sondern auch anderen Organisationen den Zugang zu hochqualitativen SiC-Substraten ermöglichen und der Forschungs-Community optimale Grundmaterialien für Quantenanwendungen zur Verfügung stellen. In der Entwicklung sind dafür auch schon SiC-Substrate mit alternativer Kristallorientierung, wie beispielsweise so genanntes „a-Plane“-Material.

Vom Material zum System

Die umfangreichen Epitaxie-Aktivitäten des IISB sind eingebettet in die Institutsstrategie, Forschungsdienstleistungen entlang der kompletten Wertschöpfungskette – vom Halbleitergrundmaterial bis zum leistungselektronischen System – anzubieten. Das technologische Fundament dafür bildet eine durchgehende und industriekompatible CMOS-Prozesslinie für Si-Wafer bis zu 200 mm und SiC-Wafer bis 150 mm Durchmesser. Im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative „Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland“ (FMD) wird diese CMOS-Linie aktuell für 200-mm-SiC-Wafer qualifiziert. Innerhalb der FMD hat sich das Fraunhofer IISB als Kompetenzzentrum für SiC positioniert und erweitert konsequent seine Aktivi-

täten auf diesem Gebiet. Mit der Prozesslinie kann das IISB auch auf fortgeschrittene Technologien zur Heterointegration und Strukturierung im Nanometermaßstab zurückgreifen. Die Arbeiten der IISB-Abteilung Hybride Integration zur Aufbau- und Verbindungstechnik, beispielsweise für extreme Umweltbedingungen wie cryogene Umgebungen, ergänzen das technologische Portfolio.

Durch seinen ganzheitlichen Ansatz kann das IISB sein Know-how und die Prozesstechnologie aus dem Bereich leistungselektronischer SiC-Bauelemente auf die Festkörper-Quantenelektronik anwenden. Dementsprechend liegt der Fokus nicht allein auf dem optimierten Grundmaterial, sondern auch auf der Entwicklung der Prozesstechnologie für die Herstellung von definierten Punktdefekten bzw. Farbzentren in SiC. Dabei werden die technologischen Prozesse so entworfen, dass sie – über das reine Quantencomputing hinaus – auch Anwendungen in der Quantensensorik und Quantenkommunikation ermöglichen.

In diesem Zusammenhang ist die langjährige Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) der FAU Erlangen-Nürnberg besonders hervorzuheben. Der LEB-Lehrstuhlinhaber Prof. Jörg Schulze ist gleichzeitig Leiter des Fraunhofer IISB; und mit Prof. Roland Nagy konnte kürzlich eine Kapazität für die Theorie und das Design von Quantenbauelementen im Festkörper für den Lehrstuhl gewonnen werden. Als Würdigung seines Forschungsprojekts zur Realisierung eines SiC-basierten Quantencomputernetzwerks erhielt Prof. Nagy jüngst eine Förderung des BMBF. Die Fördermaßnahme dient dem Aufbau einer unabhängigen Nachwuchsgruppe,

mit der Prof. Nagy am LEB und am IISB neue Forschungsansätze zu SiC-Quantenbauelementen verwirklicht.

Eine universelle Technologieplattform für Quantenelektronik

Erklärtes Ziel des Fraunhofer IISB ist es, SiC als essentielle Plattform für Quantenkommunikation, Quantencomputer und Quantensensorik zu etablieren. Die Vorteile sind vielfältig. Da die Arbeitstemperatur für SiC-Quantenelektronik mindestens um den Faktor Tausend höher liegt als bei aktuellen Großlösungen, rücken im Bereich des Quantencomputings kompakte Tischaufbauten mit miniaturisierten Kühlvorrichtungen in greifbare Nähe. SiC-Festkörperquantenbauelemente sind kompatibel mit den Herstellungsprozessen klassischer Mikroelektronik auf Si-Basis, und für SiC-integrierte Quantenbauelemente stünde die gesamte Palette an elektronischer Peripherie zur Verfügung. Durch eine direkte Anbindung an existierende Technologien ließe sich die Quantenelektronik nahtlos in bestehende Informationssysteme integrieren.

SiC als Materialplattform bietet eine realistische Aussicht auf marktfähige Quantenbauelemente und für deren Integration in etablierte Mikroelektroniktechnologien. Durch die Verknüpfung von Quanteneigenschaften mit elektronischen Bauelementen erschließt isotopenreines SiC der Quantenelektronik ein enormes Wertschöpfungspotential.

Kontakt:

Dr.-Ing. Patrick Berwian, Fraunhofer IISB
Schottkystraße 10, 91058 Erlangen, Deutschland
Telefon +49 9131 761 135, patrick.berwian@iisb.fraunhofer.de

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



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



Durchbruch bei der Reinheit von Germaniumkristallen

News des IKZ, Berlin, 8. Juli 2022

Forschenden des IKZ ist es gelungen, Germaniumkristalle von äußerst hoher Reinheit herzustellen. Diese sollen dazu beitragen eines der größten Rätsel zu lösen – den Ursprung des Universums.

Die Fragen zur Erforschung des Ungleichgewichts zwischen Materie und Antimaterie im Universum und dessen Existenz könnten nun beantwortet werden, wenn der sehr seltene Prozess des "neutrinolosen Doppel-Beta-Zerfalls ($0\nu\beta\beta$)" von den Astrophysikern im Rahmen ihrer Experimente mit isotopisch reinem Germanium-76 (^{76}Ge) positiv nachgewiesen werden kann. In einem Kern mit einer bestimmten Massen- und Atomzahl werden bei einem $0\nu\beta\beta$ -Zerfall zwei Neutronen gleichzeitig in zwei Protonen umgewandelt, wobei zwei Elektronen, aber keine Neutrinos (ein weiteres Elementarteilchen ohne Ladung) emittiert werden. Diese beiden Elektronen tragen die verfügbare Zerfallsenergie, und das daraus resultierende monoenergetische Signal ist die wichtigste experimentelle Signatur. Allerdings ist die Halbwertszeit dieses Zerfallsprozesses extrem lang ($T_{1/2} > 10^{26}$ Jahre) und beläuft sich auf mehr als das Milliardenmillionenfache des Alters des Universums. Die Wahrscheinlichkeit, diesen Zerfall nachzuweisen, und die Sensitivität des Nachweises sind höher, wenn mehr Ge-Atome an dem Prozess beteiligt sind bzw. wenn ein ultrahochreines Material verwendet wird. Ge dient hier sowohl als Detektormaterial als auch als Quelle für den Zerfallsprozess. Die derzeitige Generation des multinationalen LEGEND-Experiments (Large Enriched Germanium Experiment for Neutrinoless Double beta decay) am Gran Sasso National Laboratory (Italien), an dem mehr als 50 Länder mitwirken, plant den Einsatz mehrerer Detektoren aus hochreinen ^{76}Ge -Kristallen mit einer Gesamtmasse von 200 kg, die sowohl einen extrem niedrigen Hintergrund als auch die höchste Energieauflösung auf dem neuesten Stand der Technik bieten.



Hochreine Germanium-Einkristalle (Ansicht von der Seite und von oben), gezüchtet am IKZ (Foto: IKZ)

Die Czochralski (Cz)-Methode wird eingesetzt, um diese hochreinen Ge (HPGe)-Einkristalle zu züchten, da der gewünschte Durchmesser und die Länge frei gewählt werden können und die Möglichkeit besteht, strukturelle Defekte zu erzeugen. Die Herstellung von ultrahochreinen Ge-Einkristallen in "Detektorqualität" mit maßgeschneiderten Strukturdefekten stellt jedoch eine große Herausforderung dar. Der Anteil an Verunreinigungen im Kristall muss auf ein ppt-Niveau (1 Billionstel) sinken, was einer Nettoladungsträgerkonzentration (Elektron

oder Loch) n oder $p < 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ entspricht. Das IKZ Berlin, ein aktives Mitglied dieses multinationalen Konsortiums, ist im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts "LEGEND" dabei, eine Technologie zu entwickeln, mit der eine solch extrem hohe Reinheit in Ge erreicht werden kann.

In der Regel treten in HPGe-Kristallen flache Akzeptor-/Donor-Verunreinigungen auf, vor allem Bor (B), Aluminium (Al) und Phosphor (P). Verunreinigungen dieser Art müssen effektiv entfernt werden, was mittels Mehrfach-Zonen-Reinigung (ZR) geschieht. Die Reinheit, die bei diesem ZR-Verfahren erreicht wird, ist eine Funktion des Segregationskoeffizienten der jeweiligen Verunreinigung in Ge und der Anzahl der Reinigungszyklen. Das Behältermaterial, das sich am besten eignet, ist das Boot aus Quarzglas, da es auch in sehr hoher Reinheit erhältlich ist. Die Benetzung der Ge-Schmelze auf dem Quarzglas führt jedoch dazu, dass das Boot beim Erstarren des Ge zu Bruch geht, was eine große technologische Hürde darstellt. Um also die Benetzung zu vermeiden und auch die Diffusion von Verunreinigungen vom Quarzglasboot zum Ge zu verhindern, haben wir eine neue Prozesstechnologie zur Beschichtung der Boote mit porösem Quarzrauch entwickelt. Es stellte sich heraus, dass dies tatsächlich auch zu einer effektiven Abscheidung von Al-Verunreinigungen beiträgt. Um den gewünschten Reinheitsgrad zu erreichen, erfolgen sämtliche Schritte der Materialbearbeitung in einer Reinraumumgebung und einer H_2 -Gasatmosphäre unter strengsten Sicherheitsvorkehrungen. Nach einigen 10er-Zyklen konnten wir eine sehr niedrige Verunreinigungskonzentration in Ge nachweisen, die übereinstimmend in der Größenordnung von $< 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ lag, wie die Messungen des Niedertemperatur-Hall-Effekts zeigten.

Anschließend wurden diese hochreinen Ge-Barren als Ausgangsmaterial für die Züchtung von Einkristallen nach der Cz-Methode verwendet. Zudem wurde die Cz-Anlage vor kurzem mit den geeigneten Heißzonenmaterialien verbessert, um den Anforderungen an höchste Reinheit gerecht zu werden und der Züchtungsprozess wurde deutlich optimiert. Die gezüchteten Kristalle zeigten eine Nettoladungsträgerkonzentration in der Größenordnung von 10^{10} cm^{-3} mit einer relativ hohen Mobilität bei einer erforderlichen Defektdichte von $\sim 10^3 \text{ cm}^{-2}$. Zum ersten Mal ist es einem kleinen, aber dynamischen Team am IKZ gelungen, HPGe-Einkristalle von solch ultrahoher Reinheit unterhalb des "ppt-Niveaus" nachzuweisen. Diese Resultate motivieren uns weiter, die Reinheitsmesslatte noch höher zu legen und einen Maßstab für die Produktion und Lieferung von Kristallen *in Detektorqualität* zu setzen. Die weitere Verbesserung des Prozesses und die Aufstockung der Produktionskapazitäten versetzen das IKZ in eine gute Ausgangsposition, um die Anforderungen des künftigen LEGEND-1000-Experiments im Tonnenmaßstab zu erfüllen.

Weitere Informationen:

Dr. habil. R. Radhakrishnan Sumathi (Sektion Halbleiter)
radhakrishnan.sumathi@ikz-berlin.de

DGKK Junge Forscherinnen und Forscher

Spectral Signatures and Properties of Carbon Defects in GaN and AlN

Ivan Gamov, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ), Berlin (Promotion Februar 2022)

Semi-insulating GaN and UV-transparent AlN are in demand in optoelectronics based on III-nitrides. Carbon (C) as an impurity is responsible for these properties of the materials. However, neither the compensation mechanism for C-doping of GaN nor the nature of the 4.7 eV absorption band in AlN is fully understood since amphoteric C atoms can form a wide range of defects' variations.

The focus of my PhD work at IKZ [1] is on the investigation of C-doped GaN (GaN:C)¹ and AlN (AlN:C)² by means of vibrational and optical spectroscopy methods. The work is to approve the formation of different types of C-containing defects, clarify the structure of the most pronounced defects, and illustrate the novel optical properties of the material at different chemical concentrations of carbon [C]. Numerous vibrational signatures are identified and assigned to 9 different defects (7 in GaN, 2 in AlN). Furthermore, carbon-related bulk photovoltaic effect (BPVE) and photochromic behavior of the material are demonstrated, and information about the compensation and charge transfer mechanisms between defects is obtained.

Raman scattering and infrared (IR) absorption spectra in

Fig. 1 represent GaN samples, one nominally undoped and the other two with different carbon concentrations. The spectra are dominated by the intrinsic GaN vibrations (phonons), multi-phonon processes, and the reststrahlen band (in the case of absorption). However, the molecular vibrations of different point defects cause only the small additional peaks marked by the blue rounds. While these signatures are typically quite weak, we can easily detect and trace them in many samples and under different conditions (e.g., the content of C and other impurities, temperature, polarization, additional optical excitation, or heat treatment) to correlate them to different possible origins. The most reliable conclusions came from the analysis of the isotope-mass effect on the vibrational frequency in ¹³C-enriched GaN and AlN crystals since the effect clearly highlights the signals from C defects and allows distinguishing the number of carbon atoms and other details of the defect's molecular structure [4-6].

In the GaN:C crystals, four intense vibrations (MC1 – MC4) are detected and evidenced to originate from a defect containing only one C atom. Spectral positions, isotopic shifts, and polarization of these vibrational modes are fully consistent

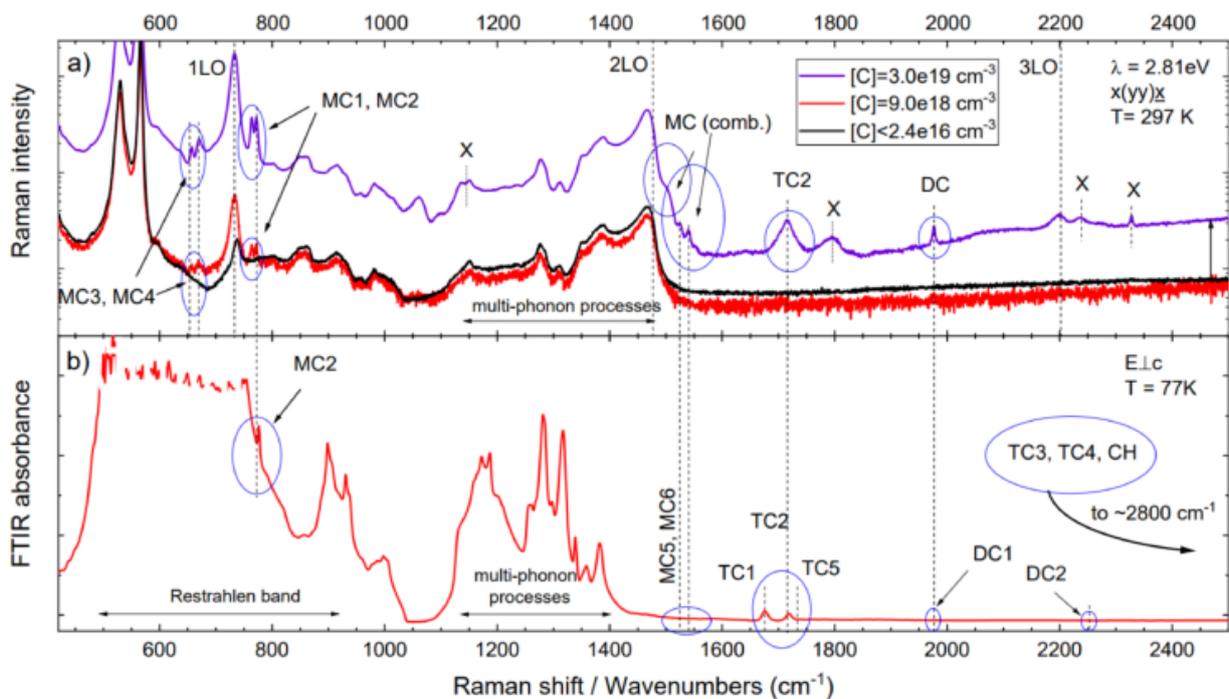


Fig. 1: Overview of carbon defect vibrational modes in GaN:C. Spectral positions of vibrational modes are indicated by blue circles. (a) The room temperature Raman spectra of three samples with different [C], excited at 2.81 eV in x(yy)x geometry. (b) The FTIR absorption spectrum of a sample with [C] = $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ taken at $E \perp c$ polarization and temperature 77 K. Peaks labeled: MC, DC, and TC are related to carbon-defects with one, two, and three carbon atoms, resp., LO indicate longitudinal phonon modes, X indicate peaks of unclear origin. (Bild: IKZ)

¹ grown by hydride vapor phase epitaxy (HVPE) on 2 inches sapphire templates in Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), see details in Ref. [2]

² grown by physical vapor transport (PVT) at IKZ, see details in Ref. [3]

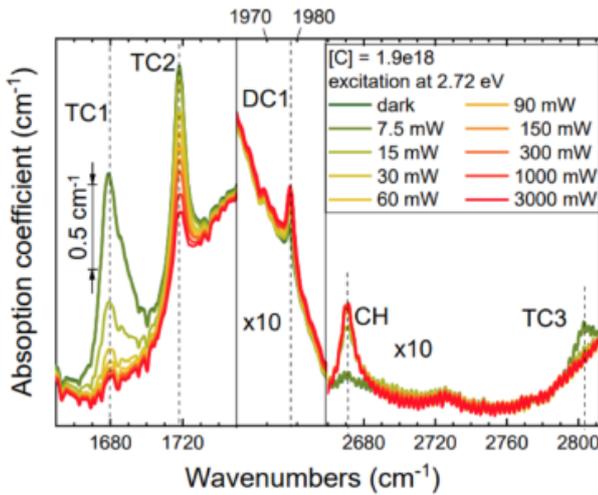


Fig. 2: IR absorption spectra of GaN sample with $[C] = 1.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ for $E \perp c$ polarization at room temperature under additional continuous excitation at 2.72 eV (with different excitation power). (Bild: IKZ)

with density functional theory (DFT) calculations of a C atom substituting nitrogen in the GaN lattice (C_N) [4,7]. Another very pronounced defect in GaN is the tri-carbon complex (tri-C, modes TC in Fig. 1 and Fig. 2). Despite the high formation energy, tri-C manifests itself in both basal and axial configurations of triatomic $C_N=C=C_N$ molecule-like chain with carbon-carbon double bonds [4-6].

Vibrational modes of these defects are also observed in all GaN:C samples but predominate the spectra at high carbon concentrations ($[C] \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and higher) [8]. Most likely, tri-C defects are single positively charged (according to the DFT calculations) and can effectively compensate for negatively charged C_N defects [4]. In addition, weak signatures of $C \equiv C$ pairs (DC2 labels in Fig. 1), $C=C$ pairs (DC1), and $C-H$ (CH in Fig. 2) are identified [4]. Fig. 2 illustrates that tri-C as well as DC1 and CH (as well as modes of C_N defects not shown here) interact with light having an energy of about 80% of the band-gap energy ($0.8 E_g$), though the role of the DC1 and CH in optical and electrical processes could be not

clarified yet.

In AlN crystals, intensive vibrational modes of tri-C (Tri-C1) and di-C (defects with two carbon atoms) defects are found [9], but no modes attributable to substitution defects C_N or C_{Al} . Experimental observations of the resonant Raman effect hint at the absorption of these defects in the UV range (4 – 5.5 eV). Excitation of light having an energy of $0.8 E_g$ (4.88 eV, $E_g = 6.1 \text{ eV}$ in AlN) provides a similar change of the tri-C vibrational mode intensity (Fig. 3) as in the case of GaN.

In addition to the change in the vibrational mode intensities, under optical excitation of $0.8 E_g$, both GaN:C and AlN:C exhibit high voltage on the surface due to BPVE [8] and a reversible metastable change of coloration in the UV and visible wavelength ranges (photochromism) [11]. The effect of photochromism in GaN has appeared as a visible darkening of the sample (shown in Fig. 3) that lasts for a few hours after switching off the light source. In AlN, photochromism leads to a clearly visible brown coloration of the samples (Fig. 3). This effect is stable for several days in AlN crystals with the characteristic C-related absorption band at 4.7 eV at medium intensity ($\sim 200 \text{ cm}^{-1}$ as for area B2 in Fig. 3) that is also changing intensity (the original intensity is decreased in two times for area B2) under illumination. Such samples typically demonstrate concentrations of impurities $[C] = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and a compensation ratio $R = ([O] + [Si]) / [C] \approx 2$ [11].

Since the coloration also appears in sample area B3 (same amount of $[C]$, $R \gg 2$) with no specific 4.7 eV absorption band and practically no change observed in area B1 (higher $[C]$, $R \ll 2$) with the characteristic 4.7 eV absorption band over 1000 cm^{-1} , the photochromism in visible and UV ranges are not directly linked but can be connected via the mechanism of charge transfer between different types of point defects at the light excitation. Since the long-time memory effect is observed only in samples at $R \approx 2$, the balance between donor and acceptor defects is suggested as the key factor of the intense stable photochromism.

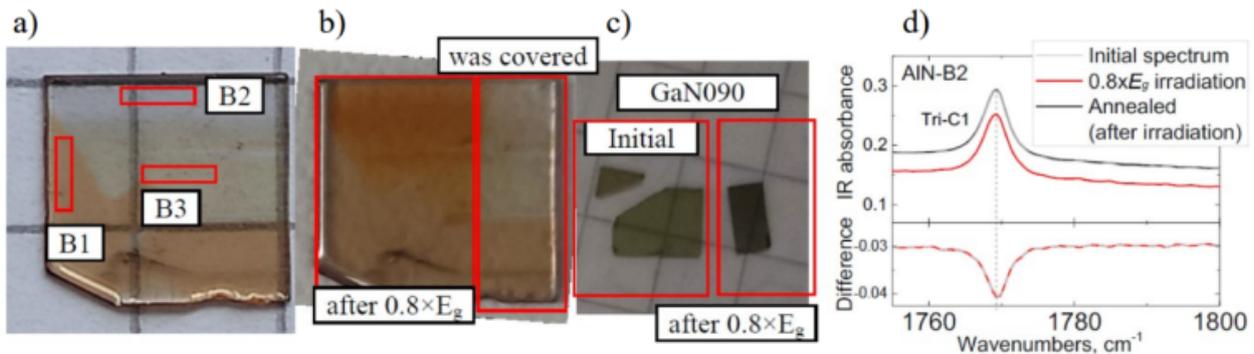


Fig. 3: IR absorption spectra of GaN sample with $[C] = 1.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ for $E \perp c$ polarization at room temperature under additional continuous excitation at 2.72 eV (with different excitation power). The three areas B1, B2, and B3 of intentionally inhomogeneous AlN wafer cut in m-plane (a) before and (b) after irradiation with energy 4.88 eV ($0.8 E_g$). The right part of the sample was covered by a metal plate during the irradiation. (c) The darkening in the right piece of c-cut homogeneous GaN:C sample with $[C] = 9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ due to irradiation at 2.7 eV ($0.8 E_g$); the other two pieces were not illuminated. (d) Three IR absorbance spectra are presented for area B2 in the initial state, after the UV irradiation, and after further restoring annealing. The shift of the baseline and quenching of the peak are depicted in the bottom spectrum as the difference between the spectrum before and after irradiation. (Bild: IKZ)

It is concluded that carbon in AlN and GaN is prone to form complexes such as tri-C defects and carbon pairs which can be inspected with vibrational spectroscopy. These defects provide unique properties of material in narrow range of impurities concentration. The research provided reliable method to compare the density of C_N and $C_N=C=C_N$ defects at [C] starting from $3.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. In AlN, the multicomponent nature of 4.7 eV absorption band is demonstrated, information is obtained about defects associated with the UV-absorption, proposed the model based on the exchange by the charge carriers between the defects of different types explaining the photochromism.

- [1] Ivan Gamov, "Spectral Signatures and Properties of Carbon Defects in GaN and AlN", Dissertation, TU Berlin (Physik) 2022
- [2] E. Richter, F.C. Beyer, F. Zimmermann, G. Gärtner, K. Irmscher, I. Gamov, J. Heitmann, M. Weyers, G. Tränkle, "Growth and Properties of Intentionally Carbon-Doped GaN Layers", Cryst. Res. Technol. 55, 1900129 (2020)
- [3] C. Hartmann, L. Matiwe, J. Wollweber, I. Gamov, K. Irmscher, M. Bickermann and T. Straubinger, "Favourable growth conditions for the preparation of bulk AlN single crystals by PVT", CrystEngComm 22, 1762-1768 (2020)
- [4] I. Gamov, J.L. Lyons, G. Gärtner, K. Irmscher, E. Richter, M. Weyers, M.R. Wagner, M. Bickermann, "Fingerprints of carbon defects in vibrational spectra of gallium nitride considering the isotope effect", arXiv:2209.10893 [cond-mat.mtrl-sci]
- [5] K. Irmscher, I. Gamov, E. Nowak, G. Gärtner, F. Zimmer-

- mann, F. C. Beyer, E. Richter, M. Weyers, G. Tränkle. "Tri-carbon defects in carbon doped GaN", Applied Physics Letters 113, 262101 (2018)
- [6] I. Gamov, E. Richter, M. Weyers, G. Gärtner, and K. Irmscher, "Carbon doping of GaN: Proof of the formation of electrically active tri-carbon defects", Journal of Applied Physics 127, 205701 (2020)
- [7] J.L. Lyons, E.R. Glaser, M.E. Zvanut, S. Paudel, M. Iwinska, T. Sochacki, M. Bockowski, "Carbon complexes in highly C-doped GaN", Phys. Rev. B 104, 075201 (2021)
- [8] F. Zimmermann, J. Beyer, F.C. Beyer, G. Gärtner, I. Gamov, K. Irmscher, E. Richter, M. Weyers, and J. Heitmann, "A carbon-doping related luminescence band in GaN revealed by below bandgap excitation" Journal of Applied Physics 130, 055703 (2021)
- [9] I. Gamov, C. Hartmann, J. Wollweber, A. Dittmar, T. Straubinger, M. Bickermann, I. Kogut, H. Fritze, K. Irmscher, "Carbon pair defects in aluminum nitride", Journal of Applied Physics 126, 21 (2019)
- [10] I. Levine, I. Gamov, M. Rusu, K. Irmscher, C. Merschjann, E. Richter, M. Weyers, and Th. Dittrich, "Bulk photovoltaic effect in carbon doped gallium nitride revealed by anomalous surface photovoltage spectroscopy", Phys. Rev. B 101, 245205 (2020)
- [11] I. Gamov, C. Hartmann, T. Straubinger, M. Bickermann "Photochromism and influence of point defect charge states on optical absorption in aluminum nitride (AlN)", Journal of Applied Physics 129, 113103 (2021)

Christian Miersch, Doktorand am Fraunhofer IISB, erhält Best Student Presentation Award beim GaN-Marathon 2022

Pressemitteilung des IISB, Erlangen, 19. Juli 2022



Christian Miersch mit seiner Best Student Presentation-Urkunde vor der Atomic Layer Etching-Anlage. (Bild: Fraunhofer IISB)

Der Best Student Presentation Award wurde Christian Miersch für seinen Vortrag „Low Damage Etching of Nitride Semiconductors“ auf dem „GaN Marathon“ in Venedig

vom 19. bis 22. Juni 2022 verliehen.

Herr Miersch präsentiert einen innovativen Ansatz zur Verbesserung des ohmschen Kontakts an der AlGaIn/GaN-Heterostruktur in Bezug auf den Widerstand und die Temperaturbehandlung. Dies wurde durch optimierten Recess-Ätzschritt in die AlGaIn-Barriere von HEMT-Strukturen (High Electron Mobility Transistor) erreicht. Durch die schonende Ätztechnologie des Atomic Layer Etching konnten Verunreinigungen, thermische Belastung, Degradation des Substratmaterials sowie die Oberflächenrauheit reduziert und somit die Kontakteigenschaften verbessert werden.

Christian Miersch ist Doktorand am Fraunhofer IISB in der Abteilung Materialien und führt seine Forschungsarbeiten am Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungswerkstoffe THM in Freiberg in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Physik der TU Bergakademie Freiberg durch.

An Homage to Inverse Temperature Crystallization and its Mechanism

Julian Höcker, Ludwig Maximilian Universität München

Introduction

Inverse temperature crystallization (ITC) is a well-known method to grow organic and inorganic lead trihalide perovskite crystals from precursor solutions. ITC guarantees fast growth of mm-sized crystals in periods of a few hours at minimized solvent consumption. By changing the molar concentration of the perovskite precursor solution, it is further possible to set the nucleation rate to grow fewer or many crystals. Those advantages make ITC superior to common perovskite crystal growth methods like room temperature crystallization or antisolvent-vapor-assistant crystallization, mainly suffering from long growth times. Moreover, the accessibility to all semi-conducting and lead-containing perovskite crystals seems to be the most powerful benefit of ITC, not opening only a full fundamental scientific research but also offering the possibility to fabricate efficient optoelectronic device prototypes [1].

In the following paragraph, lead-containing trihalide perovskite crystals which were grown by the ITC method, and some of their properties are introduced. The second one considers the detailed crystal growth process over time, followed by a third paragraph, treating important aspects of the mechanism behind ITC:

Perovskite Crystals

Since many research groups are using ITC to grow high-quality crystals and to get meaningful insight into the nature of perovskites, the first report on this method was made by the group of Grätzel/Hagfeldt et al. in the year 2015, growing methylammonium lead triiodide (MAPbI₃) crystals at high temperatures [2]. As the solubility of the perovskite was decreasing at high temperatures to finally achieve a supersaturated solution, they called the phenomenon behind the crystallization method "inverse solubility" [2]. Only a few days later that year Saidaminov and Bakr et al. reported the growth of MAPbI₃ and methylammonium lead tribromide (MAPbBr₃) crystals in the same way [3]. They were the first who called this crystal growth method "inverse temperature crystallization" [3]. As they made a huge effort to grow further perovskite crystals like methylammonium lead trichloride (MAPbCl₃) [4], formamidinium lead tribromide (FAPbBr₃) [5], and cesium lead tribromide (CsPbBr₃) [6], the name ITC was finally established in the perovskite crystal community. The named crystals contain only one halide ion, however, it is also possible to mix the halogens chlorine, bromine, and/ or iodine together to obtain different perovskite stoichiometry like MAPb(Cl_{0.03}Br_{0.97})₃ or MAPb(Br_{0.1}I_{0.9})₃ (Fig. 1 middle) [1]. The change in the halogen concentration has a huge impact on the optical properties of the crystals, as Fig. 1 clearly demonstrates. The band gap E_g is decreasing from MAPbCl₃ ($E_g = 3.04$ eV) over

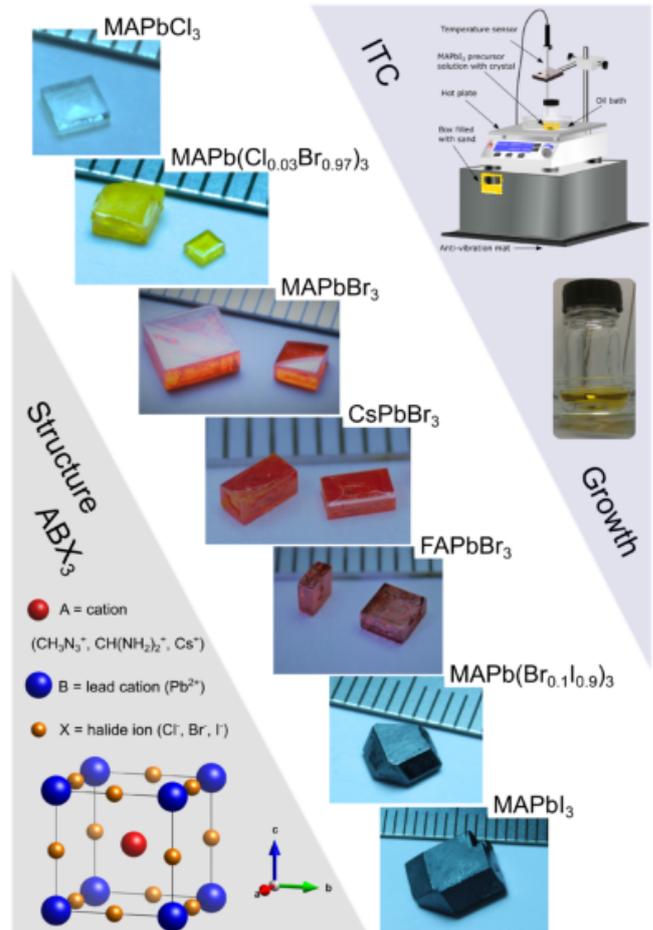


Fig. 1: (Down left) Visualization of organic/inorganic cations and halide ions to form the perovskite ABX₃ structure (cuboctahedral coordination). (Middle) Images of perovskite crystals of different stoichiometry and colors, grown by ITC. (Top right) Drawing of the ITC growth setup and an image of a MAPbI₃ crystal in solution. Parts of the figure were taken from [1] and with the permission from the Royal Society of Chemistry from [9]. The software VESTA was used to draw the crystal structure. (Bild: J. Höcker)

MAPbBr₃ ($E_g = 2.30$ eV) to MAPbI₃ ($E_g = 1.59$ eV) [7].

From Fig. 1 it is also obvious that the crystals' tracht is different between crystals containing high amounts of chlorine and bromine compared to iodine-crystals. For example, MAPbCl₃ preferentially crystallizes in the form of a rectangular cuboid and exhibits 6 faces, whereas MAPbI₃ has the form of a planar truncated octahedron with 14 crystal faces [1]. Giving an idea about the crystal structure, X-ray data of methylammonium/ formamidinium lead tri-chloride/ -bromide crystals (e.g. MAPbCl₃ and FAPbBr₃) revealed a cubic symmetry, but methylammonium-containing crystals with a high concentration of iodine (e.g. MAPb(Br_{0.1}I_{0.9})₃ and MAPbI₃) have a tetragonal symmetry [1]. Instead, the fully inorganic crystal CsPbBr₃ exhibits an orthorhombic symmetry [6]. Even though the crystals differ in their optical and crystal structure properties, the perovskite structure ABX₃ is still the same (Fig. 1 down left). The above showed that the A-cation is either an organic cation like methylammonium (CH₃NH₃⁺), formamidi-

niun ($\text{CH}(\text{NH}_2)_2^+$), or the inorganic cation cesium (Cs^+). The heavy metal lead (Pb^{2+}) acts as B-cation. A- and B-cation are bonded together by the X-anion which is either one of the halogen ions chlorine (Cl^-), bromine (Br^-), or iodine (I^-) [1]. To visualize the perovskite structure, a cuboctahedral coordination can be chosen, which is also shown in Fig. 1. Here, the organic/ inorganic cation (red sphere) is located at the center, surrounded by 8 lead cations (blue spheres) and 12 halogen anions (orange spheres) [1].

Growth Process of ITC

Fig. 1 (top right) further shows a drawing of the ITC setup to grow perovskite crystals, in this case, MAPbI_3 crystals. Therefore, the perovskite precursors lead iodide (PbI_2) and methylammonium iodide (MAI) were equally dissolved in the solvent γ -Butyrolactone (GBL). Usually, a precursor solution (1 M) of 3 ml was sufficient to grow perovskite crystals with sizes of a few millimeters [1]. After dissolving the precursor in the solvent, the solution was filtered in a small bottle and placed in an oil bath. Controlled heating of the hot plate to the specific growth temperature ($T_{\text{MAPbI}_3} = 110^\circ\text{C}$) ensured a controlled nucleation rate, which was supported by a vibration-damped ground. Hence, the hot plate was fixed on metal stilts in a sand-filled box, located on an anti-vibration mat [1]. MAPbI_3 crystals with sizes approximately above $4\text{ mm} \cdot 4\text{ mm} \cdot 3\text{ mm}$ like the one shown in the growth bottle in Fig. 1 normally needed a seed crystal to become so large. Therefore, seed crystals were placed in a fresh and hot precursor solution, growing into large-sized crystals. Even though these crystals are better for handling to perform further scientific experiments, every crystal grower should be aware, that the structural quality of these crystals will suffer, making it difficult to examine the physical bulk perovskite properties [1]. New mechanical approaches like the ref-fill crystallization method (RFCM) were necessary to grow large-sized crystals without seed crystals [8]. Here, large-sized crystals were grown in situ in a special glass vessel by removing the spent precursor solution after 3 to 4 h with the simultaneous addition of new fresh, and hot precursor solution. This process was repeated until the desired crystal size was achieved [8]. To grow large-sized crystals with the same setup shown in Fig. 1, the reactive inverse temperature crystallization (RITC) can be chosen. Like with ITC all well-known perovskite crystalline solids were grown with comparable growth times. The advantage of RITC is that the perovskite crystals grow at lower temperatures. For example, the MAPbI_3 crystal growth temperature for one molar concentrated precursor solution is then 85°C , and thus 25°C lower than with ITC. This fact is due to the addition of the aliphatic alcohol hexanol of $90 - 120\ \mu\text{l}$ to a 3 ml perovskite precursor solution. Due to the lower temperature, a later decomposition of the dissociated perovskites in the solvent mixture was obtained. Thus, the time span of crystal pulling was increased, allowing large-sized crystal growth without seed crystals [1, 9].

To clarify the time dependency of ITC, photos were taken

of a MAPbI_3 -GBL solution in a round bottom flask at 110°C for a period of 45 h (Fig. 2 left). Further on, a color bar and a short description of the crystallization process which are also shown in Fig. 2 (middle and right), gave meaningful hints about how the perovskite solution was changing over time. Note that, this experiment was only to show the change of the precursor color and crystal formation, and not the aim of growing large-sized MAPbI_3 single crystals [1].

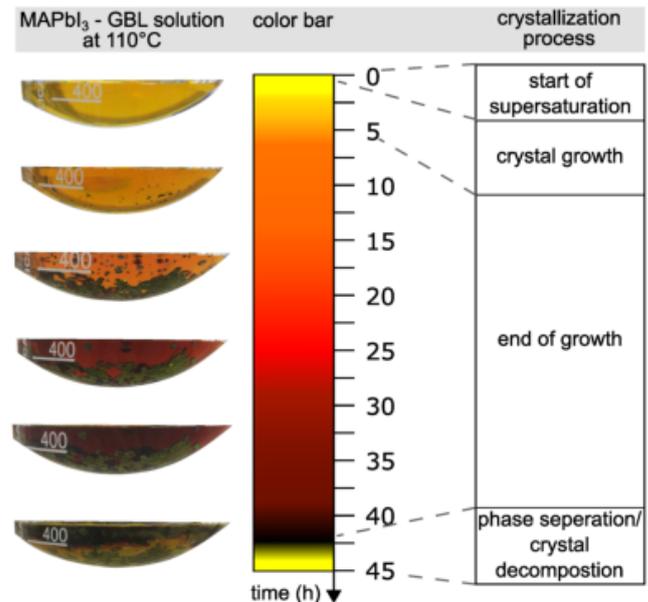


Fig. 2: Time dependency of ITC. (Left) Images of MAPbI_3 -GBL solution ($T_{\text{Growth}} = 110^\circ\text{C}$) were taken over a time period of 45 h. (Middle) Time-dependent color bar as a clarification of the precursor solution color. (Right) Keywords to describe the time dependency of ITC. The figure was taken from [1]. (Bild: J. Höcker)

At the beginning, a transparent and yellow precursor solution was observed. After half an hour the solution started to supersaturate due to the hot temperature of the solution. Hence, black, and small crystals were formed on the vessel's bottom in the first hour. In a time period of about 5 h, black and macroscopic crystals with a crystal morphology as described in the last paragraph were observed. The photographs in Fig. 2 are further evidence, that the color of the perovskite solution had changed from yellow, over orange to dark orange over time. The MAPbI_3 crystals stopped growing after 5 h with a simultaneous color change of the solution from dark orange to wine red. In the time range of 5 to 35 h, the previously observed sharp crystal edges and corners vanished. The crystalline solids adopted a round shape, followed by a color transition of the solution to deep brown. The signs for further crystal decomposition were observed after 42 h. In this final stage, the solution was separated into two phases. Whereas the upper part of the solution turned deep black, the lower part changed its color to yellowish turbid. This chronological sequence perfectly describes the advantage of ITC to grow mm-sized MAPbI_3 crystals in a short time, but also the disadvantage of this technique. ITC only allows a time-limited crystal pulling of a few hours, due to the aging of the MAPbI_3 perovskite solution at high temperatures [1].

The Phenomenon of Inverse Solubility

When the perovskite solubility is decreasing in an appropriate polar aprotic solvent with increasing temperature, this process is called inverse solubility [5, 9]. The phenomenon is best understood by introducing solubility curves. Fig. 3a shows the solubility curve of FAPbBr₃. To evaluate the perovskite solubility in dependence of temperature, the precursor salts formamidinium bromide (FABr) and lead bromide (PbBr₂) were equally dissolved in the solvent mixture of GBL and *N,N*-dimethylformamide (DMF) (1:1) [1]. The red points of the curve in Fig. 3a mark the mass concentration values (g·ml⁻¹) of the perovskite in a saturated solution. Moreover, the solubility curve divides the graph into three individual regions. The two upper regions are referred to as a supersaturated solution and the lower region as a diluted solution. Whereas no crystal growth was possible for very low-concentrated perovskite solution, FAPbBr₃ crystals only grew in a temperature range of 60 to 80 °C. This region is called "crystals + solution" (Fig. 3a). To accelerate the growth velocity, it is possible to heat the precursor solution to 80 °C, even though crystals formed at 60 °C. However, as learned from the previous paragraph, the perovskite solution will age faster, and thus the time slot to grow crystals will decrease. In addition, although a supersaturated solution at high mass concentrations was observed below 60 °C, it is unlikely that macroscopic crystals will form. In this region, only a fine crystalline perovskite powder was obtained. A dashed line was chosen to separate the two regions of supersaturated solutions because there is still the possibility that crystals will grow at temperatures just below the defined growth temperature of 60 °C. Nevertheless, with decreasing temperature, also the chance of crystal pulling will strongly be minimized [1].

At this point, the key message is to choose the right amount of perovskite for dissolving it in a certain solvent. At room temperature (RT) lead-containing perovskites are easily soluble, forming strong coordinative bonds with the organic solvent. Only by heating the solution, the bonds of the perovskite-solvent complex will be diminished and finally broken. However, much more effort must be done to explain the phenomenon of inverse solubility. Although the polar aprotic solvents GBL, DMF, and dimethylsulfoxide (DMSO) are selected for perovskite crystal growth, it is still not clarified why perovskite crystals only form in a specific solvent or solvent mixture. For example, MAPbBr₃ crystals only grow from pure DMF precursor solution, whereas it is needed to add GBL to a FAPbBr₃ precursor solution to cause supersaturation [1, 9].

Beyond the look at necessary but prospective investigations of inverse solubility, perovskite solubility curves are useful to estimate the crystal growth temperatures. Fig. 3b represents the solubility curves of dissociated MAPbBr₃ in DMF. Further on, the orange curve marks a saturated solution, important for crystal growth with ITC. Here, MAPbBr₃ perovskites grew at the temperature of 80 °C. When a certain amount of primary alcohol was added to the solution, a further decrease in

solubility was observed (yellow curve) [9]. The same solubility behavior was now located at a much lower temperature of about 50 °C, serving as a first prediction to grow crystals with the above-mentioned method RITC [1, 9].

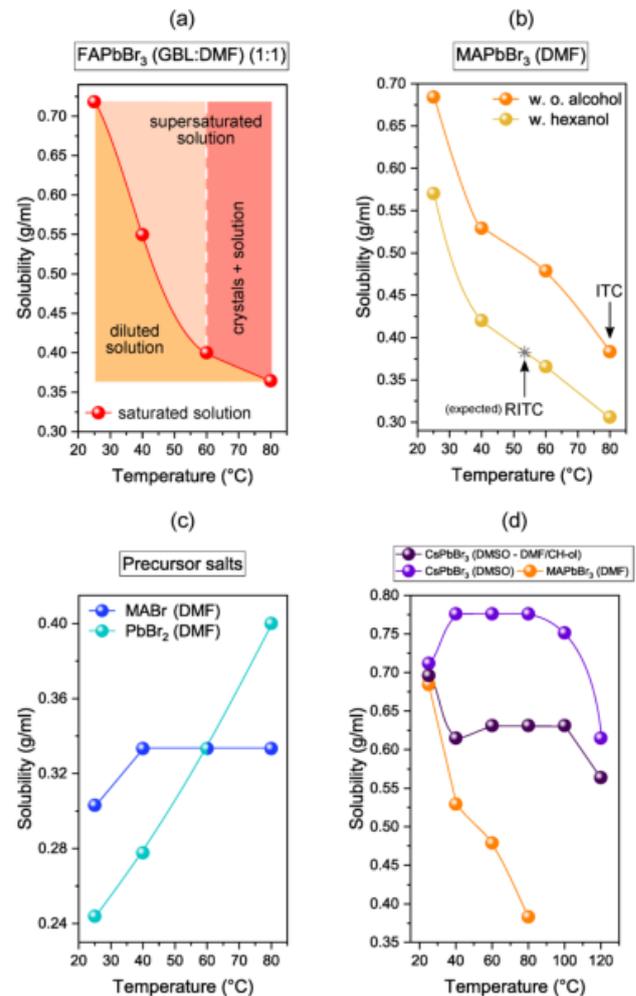


Fig. 3: (a) FAPbBr₃ solubility curve to explain the phenomenon of inverse solubility. (b) Comparison of MAPbBr₃ solubility curves with (w.) and without (w.o.) the addition of alcohol. Due to hexanol, a reduced inverse solubility was observed. (c) Solubility curves of the precursor salts PbBr₂ and MABr, both solved in DMF. (d) Solubility curves of CsPbBr₃ and MAPbBr₃. The addition of DMF/CH-ol caused a strong decrease in the solubility of CsPbBr₃. The main part of the data was taken from [1] and with permission from the Royal Society of Chemistry from [9]. (Bild: J. Höcker)

Despite a further examination of the nature of inverse solubility, there is no doubt that the phenomenon only belongs to the perovskite itself, but not its precursors. The solubility curves of the precursors methylammonium bromide (MABr) and PbBr₂, both solved in DMF, are clear evidence to underline this statement (Fig. 3c). Whereas the solubility of MABr (blue curve) was found rather constant over time, the solubility of PbBr₂ (cyan curve) was increasing with rising temperature [1]. Such behavior is the complete opposite of the perovskite property and comparable to other crystalline materials like sodium acetate (C₂H₃NaO₂) or potassium aluminum sulfate (KAl(SO₄)₂ · 12 H₂O) [1, 10].

As CsPbBr₃ is here the only representative of a fully inorganic and lead-containing perovskite with interesting solubility properties, its solubility behavior is the final focus of this para-

graph. Fig 3d demonstrates the solubility of CsPbBr₃ (violet and dark violet curves) and for a better comparison, the solubility of MAPbBr₃ (orange curve). At RT a high amount of CsPbBr₃ was soluble in DMSO, which was even increased in the temperature range from 40 to 80°C. This slight increase in solubility with a constant behavior over a certain temperature range is comparable to the precursor MABr dissolved in DMF (Fig. 3c). Inverse solubility of the perovskite CsPbBr₃ was first observed at a temperature of 100°C, reaching its lowest solubility at 120°C. However, growing CsPbBr₃ crystals at such a hot temperature condition were difficult. Even though the solvent DMSO slightly evaporated, which further contributed to supersaturation, the perovskite solution aged. That is why the group of Kovalenko added a small amount of DMF/ cyclohexanol (CH-ol) mixture to the precursor solution (dark violet curve in Fig. 3d) [11]. Due to the addition of that mixture, an immediate decrease in the solubility of CsPbBr₃ was obtained without a further increase in its mass concentration. The solubility in a temperature range of 60 to 100°C is comparable to that of the CsPbBr₃ in pure DMSO at 120°C. As learned from Fig. 3b, the growth temperature must also be in this region. A good compromise of fast crystal pulling with rather a low solution aging was to grow the crystals at around 90°C.

Summarizing this paragraph, solubility curves give meaningful insights to grow lead-containing trihalide perovskite crystals at certain temperatures. Inverse solubility was caused due to the increase in the precursor solutions temperature, exclusively observed for perovskites but not their precursors. Adding small amounts of alcohol caused a decrease in the inverse solubility. This phenomenon was helpful to grow organolead trihalide perovskite crystals, like MAPbBr₃ from a hexanol-based solution, at lower temperatures compared to ITC, and with an improved crystal quality [1, 9]. The addition of the alcohol cyclohexanol to the CsPbBr₃ precursor solutions pathed the way to inorganic perovskite crystal growth [11].

Conclusion and Outlook

Inverse temperature crystallization enables a facile growth of all well-known lead-containing trihalide perovskite crystals. Growing mm-sized and high-quality crystals in time spans of 2 – 5 h are great benefits of the method, opening to study fundamental physical properties beyond structural and optical properties, like charge carrier mobilities and lifetimes [1, 12]. Furthermore, ITC is the starting point for many different perovskite crystal-based optoelectronic applications [13], reaching from color tunable photodetector to solar cell prototypes, the latter with efficiencies above 22 % [1, 14]. The mechanism behind ITC, making all these research studies possible, is inverse solubility. Even though it is known that the solubility of perovskites is decreasing with increasing temperature [1,

5] and thus causes a supersaturated precursor solution by further heating, this phenomenon for perovskites in certain polar aprotic solvents is still not clarified. First approaches like the reduced inverse solubility of the crystal growth method RITC gave first helpful hints to answer the question [1, 9]. Nevertheless, much more effort must be spent related to thermodynamic processes. Reasonable hints might also be given by temperature-dependent in situ x-ray experiments of the perovskite precursor solutions.

References

1. J. Höcker, <https://doi.org/10.25972/OPUS-25859>, **PhD thesis**, Graduate School of Science and Technology - Experimental Physics VI - Julius-Maximilian-University of Würzburg, 2022.
2. J. M. Kadro, K. Nonomura, D. Gachet, M. Grätzel and A. Hagfeldt, *Scientific Reports*, 2015, **5**, 11654.
3. M. I. Saidaminov, A. L. Abdelhady, B. Murali, E. Alarousu, V. M. Burlakov, W. Peng, I. Dursun, L. Wang, Y. He, G. Maculan, A. Goriely, T. Wu, O. F. Mohammed and O. M. Bakr, *Nature Communications*, 2015, **6**, 7586.
4. G. Maculan, A. D. Sheikh, A. L. Abdelhady, M. I. Saidaminov, M. A. Haque, B. Murali, E. Alarousu, O. F. Mohammed, T. Wu and O. M. Bakr, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2015, **6**, 3781-3786.
5. M. I. Saidaminov, A. L. Abdelhady, G. Maculan and O. M. Bakr, *Chemical Communications*, 2015, **51**, 17658-17661.
6. M. I. Saidaminov, M. A. Haque, J. Almutlaq, S. Sarmah, X.-H. Miao, R. Begum, A. A. Zhumekenov, I. Dursun, N. Cho, B. Murali, O. F. Mohammed, T. Wu and O. M. Bakr, *Advanced Optical Materials*, 2017, **5**, 1600704.
7. S. Tao, I. Schmidt, G. Brocks, J. Jiang, I. Tranca, K. Meerholz and S. Olthof, *Nature Communications*, 2019, **10**, 2560.
8. J. Höcker, M. Ozcan, S. Hammer, M. Fischer, B. Bichler, M. Armer, P. Rieder, V. Drach, J. Pflaum, B. Nickel and V. Dyakonov, *Journal of Materials Chemistry C*, 2020, **8**, 8275-8283.
9. J. Höcker, F. Brust, M. Armer and V. Dyakonov, *CrystEngComm*, 2021, **23**, 2202-2207.
10. M. Armer, J. Höcker, C. Büchner, S. Häfele, P. Dörflinger, M. T. Sirtl, K. Tvingstedt, T. Bein and V. Dyakonov, *CrystEngComm*, 2021, **23**, 6848-6854.
11. D. N. Dirin, I. Cherniukh, S. Yakunin, Y. Shynkarenko and M. V. Kovalenko, *Chemistry of Materials*, 2016, **28**, 8470-8474.
12. L. Schmidt-Mende, V. Dyakonov, ..., J. Höcker, ... and S. Olthof, *APL Materials*, 2021, **9**, 109202.
13. Y. Cho, H. R. Jung and W. Jo, *Nanoscale*, 2022, **14**, 9248-9277.
14. L. De Marco, G. Nasti, A. Abate and A. Rizzo, *Solar RRL*, 2022, **6**, 2101085.

Kristallzüchtung und Charakterisierung von Europium-basierten Systemen mit starken Valenzfluktuationen

Marius Peters, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Diese Arbeit reiht sich in die Untersuchungen zu zwischenvalenten Zuständen und Valenzfluktuationen in Europium-basierten intermetallischen Systemen ein. Valenzfluktuationen sind eine Eigenschaft des elektronischen Systems einer Verbindung, die gegebenenfalls von strukturellen Effekten von bemerkenswerter Stärke begleitet wird. Auf Grundlage von Annahmen zur Verbindung zwischen Änderungen im elektronischen System und im Kristallgitter werden Valenzfluktuationen von Europium für eine mögliche Untersuchungsinstanz der Theorie der quantenkritischen Elastizität behandelt. Diese Theorie wird im Rahmen des SFB TRR 288 (Frankfurt, Mainz, Karlsruhe, Bochum, Dresden) untersucht.

Die für diese Arbeit relevanten Verbindungen kristallisieren in der tetragonalen ThCr_2Si_2 -Struktur. Dies umfasst das ternäre Europiumsilicid EuPd_2Si_2 sowie die Substitutionsserie $\text{EuPd}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$, die europiumbasierten ternären Phosphide EuFe_2P_2 , EuCo_2P_2 , EuNi_2P_2 und EuRu_2P_2 , sowie Ansätze zur Züchtung einer Verbindung mit einer abgeleiteten, niedersymmetrischeren 1144-Struktur durch geordnete Substitution von 50 % des Europiums in EuAT_4P_4 (A = Alkalimetalle, T = Übergangsmetalle).

Der größte Teil dieser Arbeit fokussiert das EuPd_2Si_2 -System, das zwischenvalentes Europium und einen temperaturabhängigen Übergang zwischen zwei unterschiedlich gemischvalenten Zuständen des Europiums zeigt. Kristalle dieses Systems wurden mit der Czochralski-Methode aus einer schwebenden Schmelze mit Europium-Überschuss als Flussmittel gezüchtet. Die Czochralski-Züchtungen wurden mit einer zweischrittigen Vorreaktion vorbereitet, die das Problem der hohen Schmelzpunkte von Palladium und Silicium und des hohen Dampfdrucks von Europium adressieren. Außerdem fanden explorative Versuche mit weiteren Flussmitteln statt, darunter ein PdSi-reicher Fluss und verschiedene externe Flussmittel.

Zehn Czochralski-gezüchtete Proben, die über sechs Generationen je iterativ den nachfolgenden Generationen als Keim dienten, wurden hergestellt (siehe Abb. 1). Thermodynamische und strukturelle Charakterisierung der Kristalle lokalisierte den Übergang zwischen den verschiedenen zwischenvalenten Zuständen des Europiums zwischen 140 K und 165 K. Der Übergang zwischen einem Hochtemperatur-Valenzzustand von $\text{Eu}^{2.3+}$ und einem Tieftemperatur-Valenzzustand von $\text{Eu}^{2.7+}$ kann als Übergang zweiter Ordnung klassifiziert werden. Mit diesem Übergang ist eine Gitteranomalie verbunden, in deren Verlauf der Gitterparameter a über einen Bereich von circa 50 K um 2 % schrumpft, während der Gitterparameter c nicht betroffen ist.



Abb. 1: EuPd_2Si_2 -Züchtungskörper, der mittels Czochralski-Verfahren aus einer schwebenden Schmelze gezogen wurde. Die orange Skala im Hintergrund ist mm-Papier. (Bild: M. Peters)

Große Unterschiede zwischen einzelnen Proben können erklärt werden, wenn zu thermodynamischen und strukturellen Analysen noch eine kompositionelle Analyse hinzugezogen wird: diese zeigt, dass die Übergangstemperatur des Valenzübergangs empfindlich von der Zusammensetzung der Proben, genauer von Pd-Si-Fehlordnung, abhängt. Um zu versuchen, den Charakter des Valenzüberganges von zweiter Ordnung zu erster Ordnung zu ändern, wurde Silicium durch Germanium substituiert, was der Ausübung eines negativen Druckes konzeptionell entspricht. Germaniumsubstituierte Proben der Verbindung $\text{EuPd}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ wurden ebenfalls mit der Czochralski-Methode hergestellt. Dabei wurden die Parameter genutzt, die zuvor bei der Züchtung der substitutionsfreien Proben optimiert worden sind. Es wurden Proben mit einem nominellen Substitutionslevel von $x = 0.05$, $x = 0.10$, $x = 0.15$, $x = 0.20$ und $x = 0.30$ hergestellt. Die durchschnittliche Inkorporationsrate des angebotenen Germaniums betrug etwa 60 %. Die Übergangstemperaturen des Valenzübergangs werden durch die Einführung von Germanium auf dem Silicium-Platz stark unterdrückt, der Übergang bleibt jedoch zweiter Ordnung. Mit einem realen Substitutionslevel von $x = 0.105$ wird der Übergang zwischen zwei zwischenvalenten Zuständen völlig unterdrückt, stattdessen wird eine langreichweitige antiferromagnetische Ordnung der Europium-Spins etabliert (siehe Abb. 2). In diesem speziellen System kann kein Valenzübergang erster Ordnung beobachtet werden. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass Germaniumsubstitution – obgleich isoelektronisch zu Silicium – nicht äquivalent zur Ausübung von negativem Druck ist. Stattdessen scheint die Unordnung, die die Substitution in das System einbringt, eine Rolle bei der Störung des in

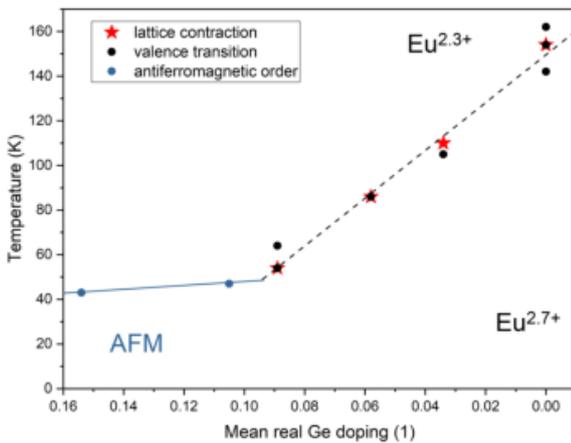


Abb. 2: Phasendiagramm der elektronischen Zustände in der Substitutionsreihe $\text{EuPd}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$. Der Valenzübergang für $x=0$ verschiebt sich für steigendes x zu tieferen Temperaturen und ist für $x>0.1$ vollständig unterdrückt, und das System zeigt eine langreichweitige antiferromagnetische Ordnung von lokalisierten Eu^{2+} -Momenten. (Bild: M. Peters)

einem generalisierten Phasenübergang für Europium-Valenzzustände vorhergesagten Valenzüberganges erster Ordnung zu spielen.

In den ternären Europiumphosphiden EuT_2P_2 scheinen die Position der jeweiligen Verbindung im generalisierten Europium-Valenz-Phasendiagramm und die Frage nach langreichweitiger magnetischer Ordnung oder Valenzübergang verbunden zu sein mit einem isostrukturellen Übergang der tetragonalen Kristallstruktur, bei der der Gitterparameter c drastisch um circa 2-3 Å schrumpft und sich zugleich kovalente Bindungen zwischen den Phosphoratomen unterschiedlicher Zwischenebenen der Struktur herausbilden. Diesen Übergang nennt man den "Kollaps" der Struktur.

Während EuFe_2P_2 , EuRu_2P_2 und EuCo_2P_2 langreichweitige magnetische Ordnung zeigen und in einer nicht-kollabierten Kristallstruktur vorliegen, zeigt EuNi_2P_2 eine kollabierte Kristallstruktur und einen Valenzübergang mit einer charakteristischen Temperaturskala von 36 K zwischen zwei zwischen-

valenten Zuständen, der von einer kleinen Gitteranomalie, dem Schrumpfen des Gitterparameters a um 0.2 %, begleitet wird. Proben von EuFe_2P_2 , EuCo_2P_2 und EuNi_2P_2 wurden im Zinnfluss gezüchtet. Die Experimente liefern plättchenartige Kristalle mit einer Kantenlänge von mindestens 2 mm und durchschnittlichen Massen zwischen 4 mg (EuFe_2P_2) und 13 mg (EuCo_2P_2). EuFe_2P_2 und EuRu_2P_2 wurden ebenfalls über Feststoff-Sinterreaktionen hergestellt, um Pulverproben der Verbindungen zu erhalten. Einkristalle der Verbindungen EuFe_2P_2 , EuCo_2P_2 und EuRu_2P_2 wurden am ESRF in Grenoble mit Einkristall-Röntgendiffraktometrischen Methoden bei Drücken bis zu 15 GPa und niedrigen Temperaturen bis zu 15 K untersucht, um die Natur des strukturellen Übergangs in den Verbindungen zu bestimmen.

Während in EuCo_2P_2 der strukturelle Übergang bei allen untersuchten Temperaturen von erster Ordnung ist, entwickelt sich in EuFe_2P_2 und EuRu_2P_2 der strukturelle Kollaps über ein breites Druckintervall von bis zu 8 GPa als ein Phasenübergang zweiter Ordnung über das gesamte Temperaturintervall, mit einer Tendenz, bei tiefen Temperaturen etwas schärfer definiert zu sein. Aus den kristallographischen Daten konnten neben den Atompositionen, um den strukturellen Kollaps sichtbar zu machen, auch elastische Konstanten der Verbindungen gewonnen werden. EuFe_2P_2 und EuRu_2P_2 erscheinen dabei als unerwartet elastische Materialien.

Um den strukturellen Kollaps bei zugänglicheren Drücken zu untersuchen, wurden Versuche unternommen, Kristalle mit einer durch geordnete Substitution der halben Menge des Europiums von der 122-Struktur mit der $I4/mmm$ -Symmetrie abgeleiteten, niedersymmetrischeren 1144-Kristallstruktur mit der $P4/mmm$ -Symmetrie herzustellen. Verschiedene Experimente mit dem Ziel, EuAT_4P_4 ($A = \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$ und $T = \text{Fe}, \text{Ru}$) direkt aus den Elementen oder aus binären und ternären vorreagierten Materialien durch Feststoffreaktionen zu züchten, blieben erfolglos.

DGKK-Personen

Jubilare

Wir gratulieren herzlich zum Geburtstag:

Herrn Prof. Dr. Klaus Werner Benz, Freiburg i.Br.

zum 85. Geburtstag

Wir gedenken der Verstorbenen:

Herrn Dr. Franz Wallrafen

Bonn

Nachruf zu Dr. Franz Wallrafen (30.8.1938 – 2.4.2022)

Von Andreas Erb

Mit Bestürzung und Trauer haben wir schon vor längerer Zeit vom Ableben unseres langjährigen Mitglieds, eines Urgesteins der DGKK, Herrn Dr. Franz Wallrafen erfahren müssen.



Herr Wallrafen war engster Mitarbeiter von Prof. Kurt Recker am Mineralogischen Institut der Universität Bonn. Herr Recker war Gründungsmitglied der DGKK, und Herr Wallrafen war ein sehr frühes Mitglied. Nachdem er Anfang der 80er Jahre über zwei Wahlperioden als Beisitzer im Vorstand der DGKK mitgearbeitet hatte, war er ab 1990 fünf Jahre lang Chefredakteur unseres Mitteilungsblatts.

Herr Wallrafen hat fast alle DGKK-Jahrestagungen besucht und dabei viele Gespräche mit Mitgliedern geführt, insbesondere bei Postersitzungen. Stets hat er aufmunternde Kritik und positive Vorschläge eingebracht.

Die wissenschaftlichen Interessen von Franz Wallrafen waren breit gefächert, und so findet sich ein weites Spektrum an Publikationen quer durch Züchtung, Kristallchemie und -physik von optischen und Halbleiterkristallen.

Zu erwähnen ist speziell sein rheinischer Humor, ein Beispiel: Der Vorstand berichtete auf der Mitgliederversammlung über einen Heizungsrohrbruch im Deutschen Museum, der die wasserlöslichen Kristalle der DGKK - Kristallausstellung vernichtete. Dazu Wallrafen: "Hoffentlich hat man die wässrige Lösung Herrn Prof. Haussühl in Köln geschickt, der daraus bestimmt noch neue Kristalle züchten kann ..."

Es war besonders schön, Herrn Wallrafen zum 50-jährigen Jubiläum unserer Gesellschaft anlässlich der DKT 2020 in München als Ehrengast begrüßen zu dürfen und ihn mit der goldenen Vereinsnadel und einer Urkunde für 50-jährige Mitgliedschaft auszeichnen zu können (Foto: Th. Jauß).

Wir werden Herrn Franz Wallrafen ein ehrendes Andenken bewahren.

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 (SrTiO₃, MgO, YSZ, ZnO, Al₂O₃, 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

Über die DGKK

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

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

1. Vorsitzender

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

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

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

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

Beisitzer

Sebastian Gruner
Freiberger Compound Materials GmbH
Am Junger-Löwe-Schacht 5, 09599 Freiberg
Tel.: 03731 / 280 670
E-Mail: Sebastian.Gruner@freiberger.com

Michael Rosch
Freiberger Compound Materials GmbH
Am Junger-Löwe-Schacht 5, 09599 Freiberg
Tel.: 03731 / 280 181
E-Mail: 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

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

Anzeigen:

Michael Rosch
Freiberger Compound Materials GmbH
Tel.: 03731 / 280 181
E-Mail: 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

Redaktionsschluss:

25. November 2022
ISSN 2193-374X (Druck)
ISSN 2193-3758 (Internet)
Gesetzt mit pdfL^AT_EX.

Internetredaktion:

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

E-Mail: internet.redaktion@dgkk.de

Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
Tel.: 030 / 6392 3093
E-Mail: webmaster@dgkk.de
WWW: <http://www.dgkk.de>

Mitgliedschaft:

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

Anzeigenpreise:

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

Anzahl Anzeigen	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 €



SCIDRE

SCIENTIFIC INSTRUMENTS DRESDEN GMBH

Instruments and Services for Materials Science

- Crystal Growth Furnaces
- Pre- and Post-Processing Tools
- Sample Analysis Instruments
- Utilization of Equipment Ideas
- Cryo Technologies

Examples of instruments and furnaces for crystal growth:



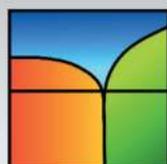
A-HSO
Advanced
High Pressure
Oxygen Furnace
(200 bar O₂)



HKZ
High Pressure
High Temperature
Optical Floating
Zone Furnace



LKZ
High Pressure
High Temperature
Laser Floating
Zone Furnace



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 your application in Dresden

Sample Preparation

Synthesis and
Crystal Growth

Sample Analysis



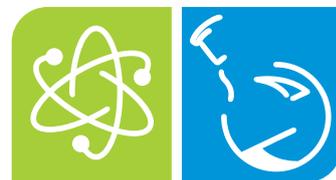
Reserve time slots and make your experiment with our technical support
Save your money and lab space by renting instead of purchasing
Collaborative on-demand access to cutting-edge equipment
Test new parameters for your samples and processes
Details and reservations: www.dresden-materials.de

Scientific Instruments Dresden GmbH
Gutzkowstraße 30
01069 Dresden, Germany

Web page
E-mail
Phone

www.scidre.de
info@scidre.de
+49 (0)351 8422 1470

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