



# Jahresbericht 2022

# INHALTSVERZEICHNIS

## Impressum

Die in diesem Bericht enthaltenen Angaben entsprechen den bis zur Erscheinung bekannten Sachverhalten. Alle Angaben und Berechnungen beruhen auf gewissenhafter Prüfung. Der vorliegende Jahresbericht richtet sich unabhängig von den verwendeten Personenbezeichnungen an Menschen aller Geschlechtsidentitäten.

### Gender-Hinweis:

Im Sinne der besseren Lesbarkeit verzichten wir in unseren Texten weitgehend auf geschlechtsdifferenzierende Formulierungen. Die Begriffe gelten im Sinne der Gleichberechtigung grundsätzlich für alle Geschlechter. Wir verfolgen generell einen diskriminierungsfreien Ansatz. Die verkürzte Sprachform hat daher rein redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

### Herausgeber:

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH  
Konrad-Zuse-Straße 14  
99099 Erfurt

**Telefon:** +49 361 663 14 10

**E-Mail:** info@cismst.de

**Internet:** www.cismst.de

### Verantwortlich für den Inhalt:

Prof. Dr. Thomas Ortlepp, Thomas Brock

### Layout:

dotflow digital solutions GmbH, www.dot-flow.de

### Sonstige Fotos und Grafiken:

- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- Pixabay
- Pexels

## IMPRESSUM

## VORWORT 4

## THEMEN

Quantentechnologien	6
Sensorik für Wasserstoff	10
Spezifische Prozessentwicklung	18
Analytik von Makro bis Nano	22
Diamant als sensorisches Element	26

## FORSCHUNGS- & ENTWICKLUNGSPROJEKTE

Advanced UV for Life	30
vipo - Virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung	38
HIPS - Sensoren aus Silizium-Keramik-Verbänden	44
BDMon - Ohr-Sensor als Medizinprodukt	50
ALPHIN - Radon-Monitoring	52
Technische Infrastruktur	54

## VERANSTALTUNGEN

Messen	56
CiS Workshops & Online Veranstaltungen	62
Politisch	66
Kongresse	68
CiS Intern	74
Nachwuchsförderung	76

## VERBÄNDE & NETZWERKE

Vereine & Verbände	80
Netzwerke, Konsortien, Wachstumskerne	82
Veranstaltungen	84

## PUBLIKATIONEN 86

## GREMIEN & KONTAKT 90

## Liebe Leserinnen und Leser,

unsere Welt befindet sich in einem immer schneller werdenden Wandel. Begriffe wie Dekarbonisierung, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit aber auch veränderte Strukturen im Weltmarkt durchdringen alle Bereiche unseres Lebens - Innovationen und Technologien sind gefordert, die flexibel und intelligent in vorhandene Systeme integriert werden können und effizient anwendbar sind.

Sensoren sind wesentlicher Bestandteil solcher Technologien. Sie arbeiten mit unterschiedlichen Messprinzipien, erfassen Zustände und Parameter, wandeln physikalische Messgrößen in elektrische Signale und verarbeiten diese in auswertbare Informationen, die Systeme steuern und beeinflussen. Sensoren sind Grundlage für eine hocheffiziente automatisierte Industrie, für die Digitalisierung vieler Prozesse sowie die Entwicklung und Umsetzung neuer Technologien.

Mit spezifischen Sensoren ist beispielsweise die Modellierung digitaler Zwillinge möglich. Digitale Zwillinge ermöglichen wachsende Prozessoptimierungen in der industriellen Fertigung. Im Wachstumskern „VIPO – Virtuelle Produkt-/Prozessentwicklung und -optimierung für KMU“ untersuchen wir gemeinsam mit Partnern den Digitalisierungsprozess eines komplexen Produktlebenszyklus bis zum Erstellen digitaler Zwillinge für den Produktbetrieb sowie die Produktwartung. Wir befassten uns in diesem BMBF geförderten Netzwerk von Thüringer Unternehmen und Wissenschaftseinrichtungen im Speziellen mit der Integration von Sensoren und Sensormodellen in Maschinenbestandteilen.

Das wirtschaftsnahe CiS Forschungsinstitut entwickelt seit fast 30 Jahren siliziumbasierte Sensoren auf der Basis von MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) und MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems) Technologien. An der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher Produktion skalieren und transferieren wir Forschungsergebnisse und realisieren Entwicklungsaufträge gezielt für industrielle Partner und Anwender, die oft über keine oder nur geringe eigene Forschungskapazitäten ver-

fügen. Ohne Grundfinanzierung, unterstützt durch Förderprogramme von Land, Bund und EU gelingt es uns, Technologien und Dienstleistungen für innovative Produkte mit hoher Wertschöpfung für unsere Kunden und Partner bereitzustellen.

Jährlich bearbeiten wir rund 50 Projekte. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten sind vielfältig und finden Anwendung in vielen Bereichen, von der Automobilindustrie bis zur Wasserstoffwirtschaft. So erforschen und entwickeln wir mit vielen Partnern Sensoren für die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft und erproben auch deren praxisnahen Einsatz. Typische Applikationen sind hierbei die Konzentrationsmessung von Wasserstoff in Speichersystemen, die Leckagedetektion oder die Feuchtemessung in Elektrolyseuren. Das nationale Wasserstoffnetzwerk HYPOS ist in Mitteldeutschland angesiedelt und widmet sich der Entwicklung und Umsetzung einer grünen Wasserstoffwirtschaft an einem der größten Chemiestandorte Deutschlands.

Unsere fast 30-jährige Erfahrung bündeln wir entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Wir arbeiten ständig an der Optimierung unserer technologischen Infrastruktur. Dabei verknüpfen wir Prozesse aus den Fachbereichen Simulation & Design, Prozessentwicklung, Waferprozessierung, Aufbau- & Verbindungstechnik sowie Analytik & Messtechnik bis hin zur Prototypen- und Kleinserienfertigung. So können wir neue Erkenntnisse und Technologien zeitnah im Fertigungsprozess umsetzen, komplexe Verfahren optimieren, und so Ressourcen schonen und Kosten senken.

Als Partner in großen BMBF-Forschungskonsortien konnten wir unsere Kompetenzen in der Aufbau- und Verbindungstechnik ausbauen und festigen. Gerade bei der Überführung neuester Ergebnisse der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung der Quantentechnologien kommt der Aufbau- und Verbindungstechnik eine Schlüsselrolle zu. Präzises Handling, genaueste Montage mit Positionierbarkeit kleiner 1µm sowie Schnelligkeit in der Fertigung verbunden

mit hoher Langzeitstabilität, Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz ermöglichen erst den wirtschaftlichen Durchbruch von technologischen Innovationen.

Die stetige Miniaturisierung unserer MEMS- sowie MOEMS-Sensoren beeinflusst auch bisher bekannte Eigenschaften von Oberflächen, Dotierungen, Haftfestigkeiten der verwendeten Materialien. Unser CiS Analytik-Kompetenz-Zentrum, ausgestattet mit einem hochmodernen Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS), Geräten für unterschiedliche optische und elektrische Messverfahren sowie chemischer und physikalischer Tests, bietet beste Untersuchungsmethoden. Zudem stellen wir auch externen Forschungseinrichtungen und Unternehmen umfangreiche Analyse-Dienstleistungen zur Verfügung.

Für die Entwicklung einer Technologieplattform für hochzuverlässige NDIR-Gassensoren erhielten wir gemeinsam mit unseren Partnern den renommierten AMA Innovationspreis 2022.

Mit der Erteilung von 5 Patenten haben wir unsere technologische Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt.

Gezielt entwickelten wir unsere Social Media Strategie weiter, um sowohl wissenschaftliches Publikum anzusprechen, als auch die breite Öffentlichkeit für unsere Arbeiten zu interessieren.

Wir freuen uns sehr, wieder auf ein erfolgreiches Geschäftsjahr 2022 zurückblicken zu dürfen, trotz schwieriger, weltpolitischer Ereignisse sowie einigen förderpolitischen Herausforderungen.

Erfolg ist nur möglich, wenn alle gemeinsam und mit großem Einsatz Ideen einbringen und Lösungen entwickeln. Wir bedanken uns herzlichst bei unseren Kolleginnen und Kollegen, die in den zurückliegenden Monaten mit ihrem Engagement und ihrer Leistungsbereitschaft das CiS Forschungsinstitut mit gestaltet haben.

Wir danken unseren Partnern aus Forschung und Industrie für die vertrauensvolle Zusammenarbeit sowie unseren Fördergebern des Bundes, Landes

und der Europäischen Union und allen politischen Unterstützern.

Seit vielen Jahren stehen uns die Gremien Aufsichtsrat, Vorstand und wissenschaftlicher Beirat vertrauensvoll und beratend zur Seite. Dafür danken wir Ihnen sehr.

Wir wünschen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, einen informativen und erfrischenden Einblick in unsere Aktivitäten des Jahres 2022 und laden Sie ein, mit uns den weiteren Fortschritt gemeinsam zu gestalten. ●

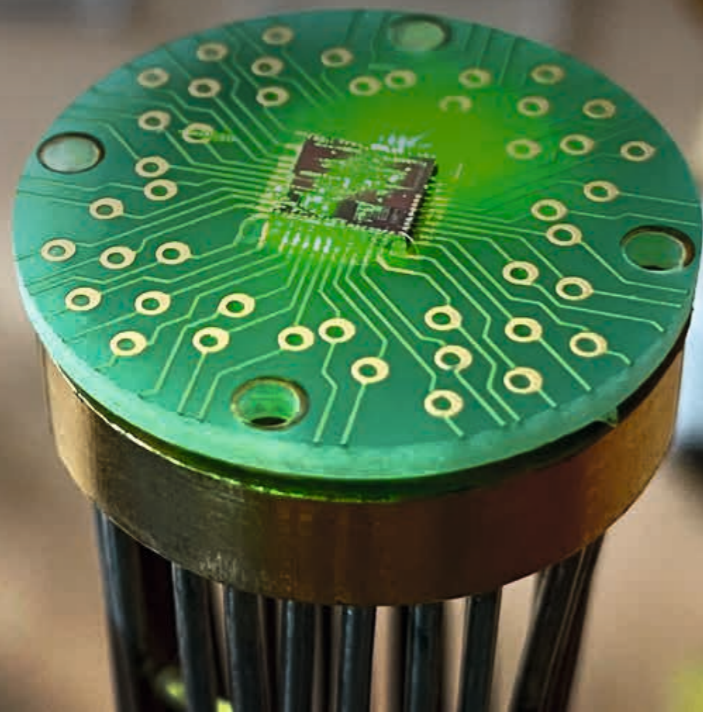


Prof. Thomas Ortlepp



Thomas Brock





## QUANTENTECHNOLOGIEN – ENABLING TECHNOLOGIE

Die Quantentechnologie hat in der Gesellschaft schon vor Jahrzehnten Einzug gehalten (erste Quantenrevolution, z.B. Laser). In den letzten Jahren verstärkte sich die Aufmerksamkeit auf dieses Technologiefeld aber erneut. Der technische Fortschritt liegt heute in der Erzeugung und in der Kontrolle einzelner Quantenelemente wie Ionen, Photonen, Quantenzuständen. Man spricht von der zweiten Quantenrevolution. Dadurch werden revolutionäre technologische Entwicklungen erst ermöglicht, wie beispielsweise das Quantencomputing. Neue Entwicklungsfelder wurden darauf basierend für verschiedene Märkte zugänglich, etwa in der Sensortechnologie, der Kommunikations- und Sicherheitstechnik, Medizin, Chemie, dem Finanz- oder Transportwesen. Das CiS Forschungsinstitut beteiligt sich an diesen Entwicklungen in Form öffentlich geförderter Projekte, sowie auch industriegetriebener Forschung mit Blick auf Enabling Technologies. Damit sind solche Entwicklungen gemeint, ohne die das volle Potential der Quantentechnologien so nicht nutzbar wäre. Am CiS Forschungsinstitut umfasst dies

beispielsweise miniaturisierbare Aufbaukonzepte für photonische Anwendungen, verlustarme Elektronik für kryogene Anwendungen sowie damit verbundene spezifische Simulationsaufgaben und Charakterisierungsmethoden. Die CiS-Strategie dahinter lautet „From Lab to Fab“ – mit unseren Partnern arbeiten wir an der Überführung von Grundlagentechnologien in industrielle Produkte.

Eine Stärke des CiS Forschungsinstituts ist das interdisziplinäre Vorgehen bei der Entwicklung innovativer Lösungen, vom Simulationsansatz über die industriennahe Fertigung bis zur Charakterisierung, oder anders beschrieben: Vom Prototyping über die Vorserie bis zur Überführung zum Industriekunden. In 2022 verfolgten wir dieses Vorgehen stringent in den vier Säulen der Quantentechnologie:

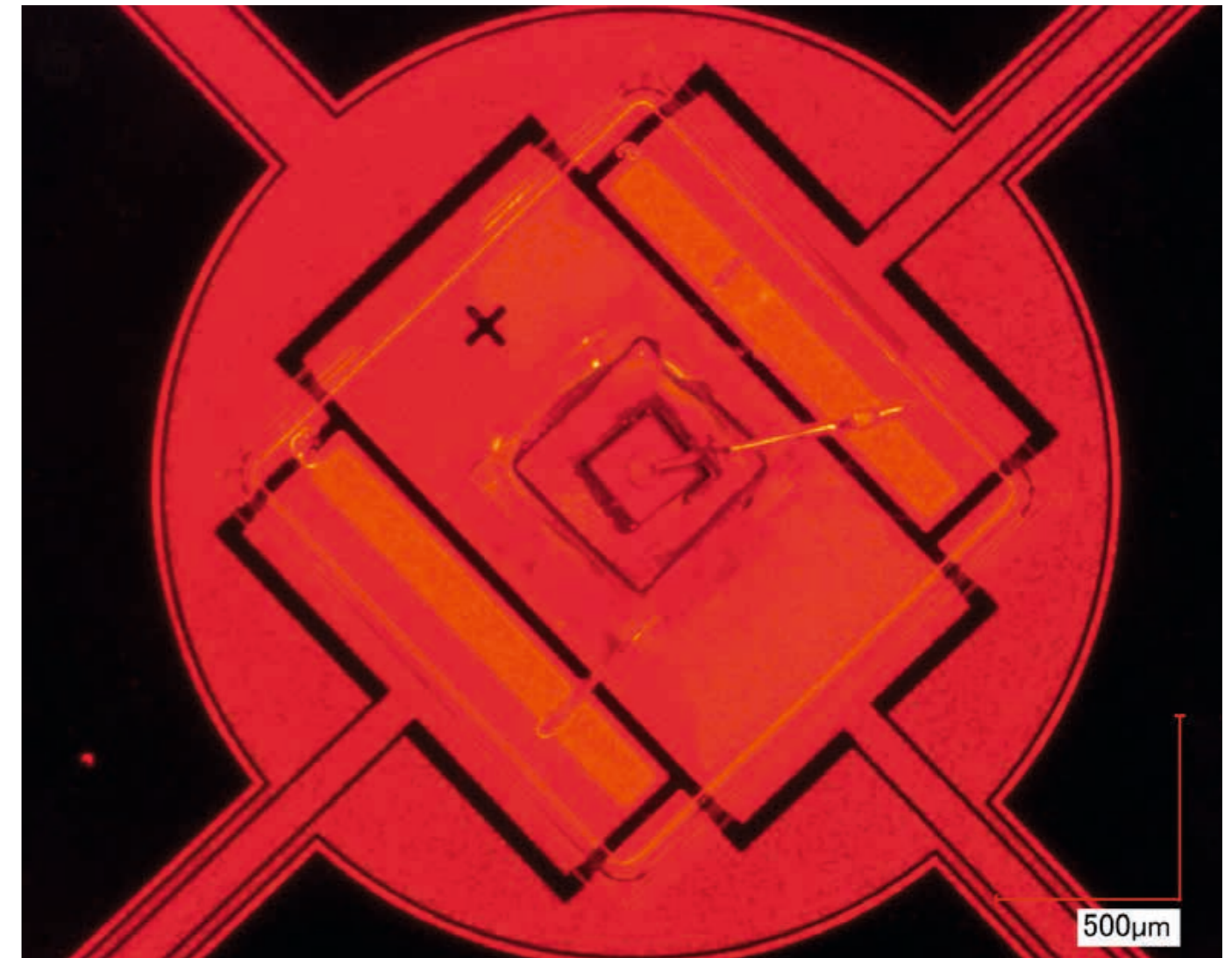
- Quantensensorik,
- Quantenkommunikation,
- Quantencomputing und
- Quantum Enabling Technologies.

### Quantensensorik

Quantensensoren nutzen physikalische Zusammenhänge auf atomarer Ebene, um Messsignale zu erzeugen. Somit sind fundamentale Beschreibungen der beobachteten Messsignale basierend auf Naturkonstanten möglich. Diamant mit seinem besonders harten Kristallgitter bietet optimale Voraussetzungen für die Beobachtung von Quanteneffekten. Gezielt eingebrachte Kristalldefekte, sogenannte Farbzentren, können optisch angeregt und optisch ausgelesen werden. Ein prominentes Beispiel für ein solches Farbzentrum ist das Stickstoff-Vakanz-Zentrum (NV-Zentrum). NV-Zentren reagieren auf äußere Einflüsse wie Änderungen der Temperatur, des äußeren Magnetfeldes oder auch des mechanischen Drucks und können auch bei

Raumtemperatur genutzt werden. Damit eignet sich Diamant als sensitives Element in Sensoren. Im quantenmechanischen Bild können durch die Bestrahlung mit grünem Licht spezifische Zustände im Diamant-Farbzentrum angeregt werden, die dann ihre Energie als Fluoreszenzlicht (ca. 640 nm) wieder abgeben. Durch die geschickte Definition der Nebenbedingungen (u.a. Diamantorientierung, Lichtintensität) können Fluoreszenzsignalunterschiede z.B. für die Bestimmung magnetischer Felder benutzt werden.

Im Projekt „DiaQuantFab - Standardisierungen in der Herstellung und Verarbeitung von Quantenmaterialien am Beispiel von NV-Farbzentren in Diamant zur Realisierung eines hochpräzisen auf Quanteneffekten beruhenden Amperemeters“ verfolgte das



Mehrstufig geätzte Strahlergrube in einer Silizium-Strahler-Empfängereinheit, mit Diamant-Sensorelement (Quadrat über der drahtkontaktierten LED) und fotoaktiven Bereichen im Randbereich (schwarz)

CiS Forschungsinstitut dabei als Koordinator und Integrator sämtlicher Sensorkomponenten konsequent Strategien zur Miniaturisierung und damit auch die Industrialisierbarkeit solcher Sensorsysteme.

## Quantumcomputing

Quantencomputer nutzen anstatt klassischer Bits sogenannte Qubits. Diese bezeichnen die kleinste manipulierbare Speichereinheit, die der Quantenmechanik gehorcht. Beispielsweise können Qubits die bekannten Speicherwerte 0 und 1 gleichzeitig annehmen und miteinander interagieren. Bei Rechnungen können mit dem Quantumcomputings ganze Zahlenräume gleichzeitig verarbeitet und abgesucht werden. Jedes zusätzliche Qubit verdoppelt die Speicherdichte, wodurch bereits 1000 Qubits mehr Speicherzustände beinhalten kann, als es Atome im Universum gibt. Das Potential des Quantumcomputings liegt damit in einer enormen Rechenleistung, dass aktuelle Supercomputer in ganz bestimmten Anwendungsfällen um ein Vielfaches übertroffen werden. Damit können beispielsweise komplexe Modelle schneller berechnet werden, z.B. in der Arzneimittelindustrie, der Meteorologie oder im Aktienhandel. Die wesentliche Herausforderung derzeit liegt in der Skalierung der physischen Qubits. Unter Quantumcomputing werden typischerweise die Hardware- und Softwarekomponenten zusammengefasst. Bezüglich der physischen Komponenten gibt es grundverschiedene technologische Ansätze für die Prozessoren, u.a. photonisch Qubits, supraleitende Qubits, Ionenfallen, Festkörperqubits.

Am CiS Forschungsinstitut entwickeln wir im Rahmen öffentlich geförderter Verbundprojekte technologische Integrationstechniken für zwei Ansätze: supraleitende Qubits und Festkörperqubits.

Im Rahmen des Verbundprojektes „QSolid - Quantumcomputer in Festkörper-Technologie“ werden Lösungen für die mikrosystemtechnische Hybridintegration und die elektrische Schnittstelle zwischen Qubits und konventioneller Elektronik entwickelt. Quantumcomputer benötigen zahlreiche solcher Schnittstellen, um

mit unseren heutigen Computernetzen verbunden zu werden.

Ein anderer technologischer Ansatz basiert auf den Stickstoff-Vakanzzentren in synthetischen Diamantschichten: Im Verbundprojekt „CoGeQ - Wettbewerbsfähiger Deutscher Quantenrechner“ ist es das Ziel, einen mobilen gatter-basierten Quantenprozessor auf Basis von NV-Zentren in Diamant zu demonstrieren. Hierbei bilden die Elektronen der NV-Zentren und die Kernspins benachbarter Kohlenstoff-Kerne die Qubits. Diese besitzen Spin-Zustände, die optisch ausgelesen und mittels Mikrowellen manipuliert werden können. Da sie in einem Diamantgitter eingebunden sind, werden die NV-Zentren weitgehend von der Umwelt abgeschirmt und funktionieren auch bei Raumtemperatur. Diese hochintegrierten Systeme können sich nahtlos an Entwicklungen der CMOS-Technologie für klassische Computer anschließen und als Hybridsystem gefertigt werden.

Das CiS Forschungsinstitut entwickelt die Peripherie und die Aufbautechnologie der Quantenchips, um eine effiziente Kontrolle, Ansteuerung, und Auslese der Qubits zu ermöglichen. Im EU-geförderten Projekt „MAESTRO - Mastering Technologies for Scalable Spin-based Solid-State Quantum Processors“ ist das CiS Forschungsinstitut als assoziierter Partner beteiligt und stellt ebenfalls seine Expertise im Bereich Aufbau- und Verbindungstechnologie zur Verfügung. Auch hier geht es um Diamant-basierte Quantenprozessoren, die allerdings im Unterschied zu CoGeQ photoelektrisch ausgelesen werden, womit entscheidend das Skalierungsproblem adressiert wird. Im europäischen Team sind neben deutschen Partnern auch Partner von Hasselt University, CNRS-Paris und Wigner Institut Budapest beteiligt.

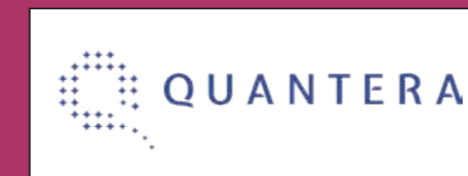
## Enabling Technologies

Diese Arbeiten umfassen solche Technologien, die die Quantentechnologien erst nutzbar machen. Tatsächlich können die im Rahmen der Quantensensorik und des Quantumcomputing beschriebenen Arbeiten am

CiS Forschungsinstitut schon teilweise zu den Enabling Technologies gezählt werden. Darüber hinaus widmet sich das CiS Forschungsinstitut verschiedenen weiteren Entwicklungsschwerpunkten. Zu diesen zählen unter anderen die Herstellung und Integration von Avalanche-Photodioden und -arrays (APDs), sowie die Implementierung von Einzelphotonendetektoren (Superconducting nanowire single photon detector, SN-SPD) mit Hilfe von Faser-Chip-Kopplung. Zu Gute kommt dem CiS Forschungsinstitut dabei die integrierte Aufstellung über die Konzeption/Simulation bis hin zur Fertigung und Charakterisierung von optoelektronischen Bauelementen. So kann in den verschiedenen Technologie-Leveln vom Wafer bis zum System auf die

passgenaue Fertigung von Siliziumbauelementen zurückgegriffen werden. Bestehende Technologien werden beständig am CiS Forschungsinstitut für bekannte und neue Anwendungsfelder weiterentwickelt.

Weiterhin engagiert sich das CiS Forschungsinstitut durch die Mitarbeit in industriegetriebenen ZIM-Netzwerken, welche Partner in den Bereichen der photonischen Anwendungen von Quantentechnologien („QPhot – Quantum Photonics“), bzw. in Quantensensorik („iQuSense - Entwicklung und Industrialisierung von Quantensensoren und Schlüsselkomponenten für die Quantentechnologien“) verbindet. ●



GEFÖRDERT

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/ beim Autor.

Verbundprojekt: Quantum computer in the solid State (QSolid) – Teilvorhaben: Quantum-Elektronik-Skalierbarkeit durch energieeffiziente supraleitende Elektronik und kompakte 3DHybridintegration  
Förderkennzeichen: 13N16172

Verbundprojekt: DiaQuantFab – Standardisierungen in der Herstellung und Verarbeitung von Quantenmaterialien am Beispiel von NV-Farbzentren in Diamant zur Realisierung eines hochpräzisen auf Quanteneffekten beruhenden Amperemeters  
Förderkennzeichen: 13N14984

Verbundprojekt: Wettbewerbsfähiger Deutscher Quantenrechner (CoGeQ) - Teilvorhaben: Aufbau der Demonstratoren  
Förderkennzeichen: 13N16098

Partner im EU-Projekt MAESTRO



# SENSORIK FÜR WASSERSTOFF- EIN ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

Wasserstoff ist ein zukunftsreicher Energieträger für die Energiewende. Er dient der Speicherung von Energie aus regenerativen Quellen. Seinen Einsatz findet er in energieintensiven Prozessen, unter anderem in der Glasindustrie, chemischen Industrie sowie in Raffinerien, zur Ammoniak- und Wärmeerzeugung. Im Jahr 2019 wurden weltweit jährlich ca. 117 Millionen Tonnen Wasserstoff erzeugt aus Erdgas, als Nebenprodukt chemischer Prozesse sowie in steigendem Maße mittels regenerativer Energien.

Nach Darstellung des DLR werden in Deutschland max. 60 TWh Wasserstoff (2020) produziert und verbraucht, wobei der Anteil regenerativ erzeugten Wasserstoffs ca. 5 % beträgt. In der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung bildet die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien eine tragende Säule für eine CO<sub>2</sub>-freie Energiegewinnung und einen Baustein zum Klimaschutz.

In dieser Strategie sind 38 Maßnahmen enthalten, die eine klimafreundliche Versorgung mit Wasserstoff auflisten. Eine davon bezieht sich auf den Ausbau der Elektrolysekapazitäten auf fünf Gigawatt bis 2030 in Deutschland. In Europa soll sich bis 2030 ein europäischer Wasserstoffmarkt etablieren mit einer Elektrolysekapazität von 40 GW, welche derzeit 6 GW beträgt. Für die verschiedenen Herstellungsverfahren und Produktionsprozesse ist eine Vielzahl an Sensoren notwendig, um konstante und kontrollierbare Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Hier setzt das CiS Forschungsinstitut mit seinen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben an. In unterschiedlichen Forschungsprojekten werden Sensoren zur Konzentrationsmessung von Wasserstoff in Speichersystemen, Leckagebestimmung oder zur Feuchtemessung in Elektrolyseuren mit Partnerunternehmen entwickelt und für den Industrieinsatz erprobt.

Quelle: <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2021/heft/1/beitrag/potenzial-gruener-wasserstoff-langer-weg-der-entwicklung-kurze-zeit-bis-zur-umsetzung.html>

## H2MEMS

**Neuartiger Wasserstoffsensoren mit höchster Sensitivität und Selektivität auf Basis von mikroelektromechanischen Sensorstrukturen**

Zusammen mit den Firmen Materion GmbH und Union Instruments GmbH wurde ein MEMS-basierter Wasserstoffkonzentrationsensor erforscht. Basierend auf einem Messkonzept der Materion GmbH entwickelte das CiS Forschungsinstitut gemeinsam mit Materion spezielle MEMS-Sensorchips, die die Konzentration von Wasserstoff durch den Einsatz von Palladium-Schichten detektieren. Die Vorteile liegen im breiten Konzentrationsbereich und einer hohen Selektivität.

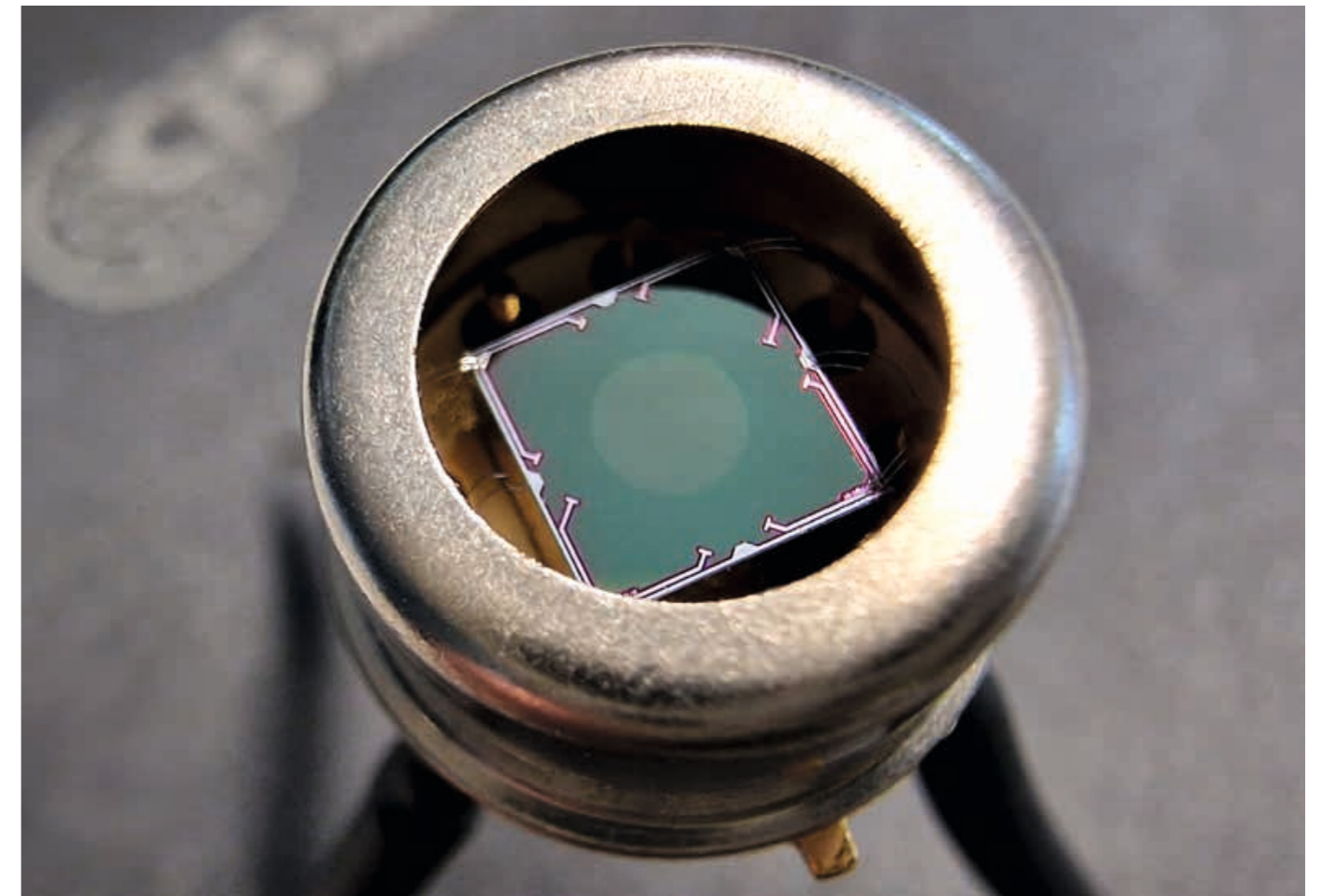
MEMS-Sensoren werden mittels Methoden der Mikrosystemtechnik (Si-Technologie, Mikroelektronik) gefertigt und haben ein hohes Potenzial für weitere Miniaturisierungen, kostengünstige Herstellung und Senkung des Energieverbrauchs.

## HyProS-D

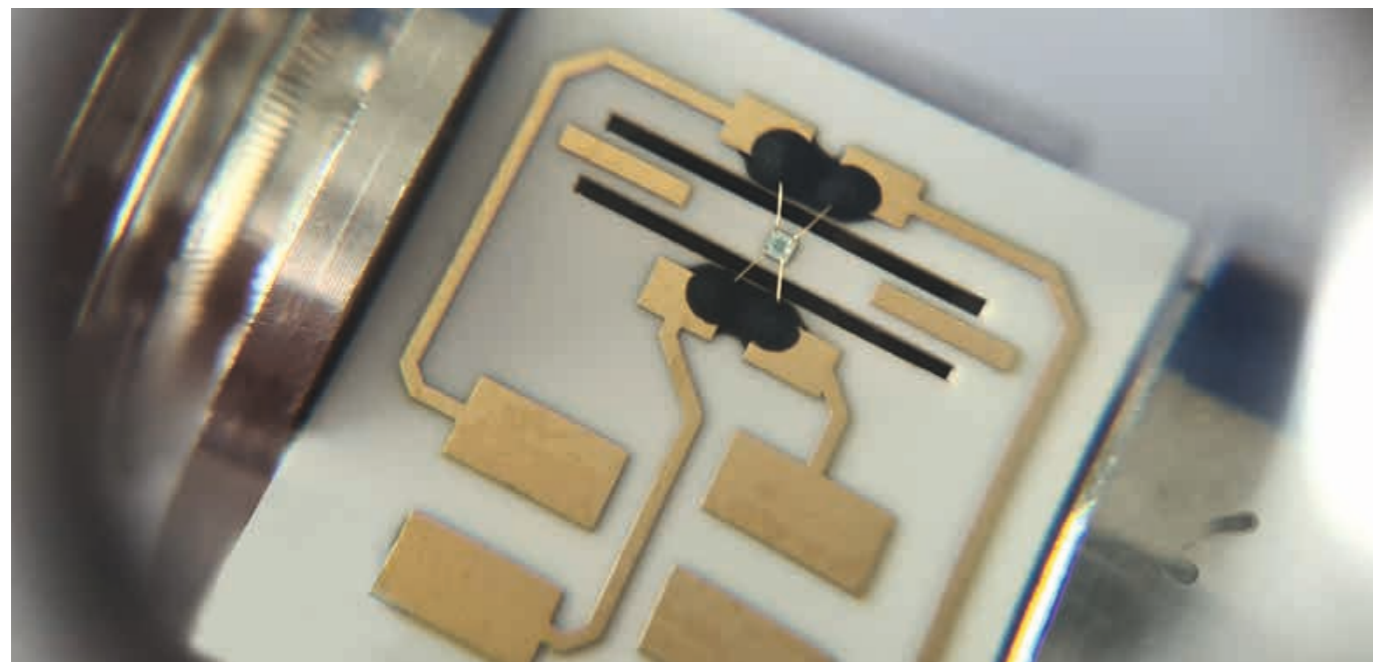
**Untersuchung langzeitstabiler Fügeverbindungen zum Aufbau von Drucksensoren zur Prozessüberwachung in Elektrolyseuren und System-speichern**

Ebenfalls in Rahmen des Innovationsnetzwerkes HY-POS wurde für einen neuartigen Wasserstoffsensoren der Fa. UST Umweltsensortechnik GmbH ein wasserstoffstabiler Drucksensor im CiS Forschungsinstitut entwickelt. Hier lag der Untersuchungsschwerpunkt auf der Untersuchung langzeitstabiler Fügeverbindungen. Der Sensor ist wasserstoffbeständig und Teil eines Multi-sensors, welcher neben dem Druck auch die Temperatur, Wasserstoffkonzentration sowie Restgase erfasst.

Das diversitär redundante H<sub>2</sub>-Semicron®-Gassensoren-system der UST Umweltsensortechnik GmbH kombiniert einen keramischen Metalloxid-Halbleiter-Gassensoren mit Multielektrodenstruktur und einen keramischen



H2MEMS: Sensorchip für Wasserstoff-Messung, in Zusammenarbeit mit Materion



HyProS-D: Si-DMS auf einem Montageträger aus Keramik, gefügt mit Glasfritte, Drahtgebondet und mit Lötanschlüssen. Integration von Montageträger und PCB in ein Bauteil.

Wärmeleitfähigkeitsdetektor mit zusätzlicher Feuchtestruktur. Das System misst  $H_2$ -Konzentrationen bis 100%, das integrierte Drucksensorelement des CiS Forschungsinstituts ermöglicht die Druckkompensation für  $H_2$ -Messungen von 300/400 mbar bis 100 bar Umgebungsdruck. Das Sensorsystem ist insbesondere für sicherheitsrelevante Anwendungen, wie beispielsweise die Wasserstoff-Erzeugung (Elektrolyseure) und für Speichersysteme (Leckage-Detektion u. ä.) geeignet.

Der Demonstrator entstand im Rahmen des BMBF-geförderten Konsortiums HYPOS, der Förderinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovationen“. Das Netzwerk untersucht und entwickelt Lösungen für den Nutzung von Wasserstoff entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Herstellung, über die Speicherung und Verteilung bis zur Anwendung von „Grünem Wasserstoff“ in den Bereichen der chemischen Industrie, Mobilität und Energieversorgung.

## Elektrolyseverfahren

Für die Herstellung von grünem Wasserstoff werden Wasserelektrolyseanlagen eingesetzt. Sie erzeugen aus Wasser direkt gasförmigen Wasserstoff und Sauerstoff. Bisher existieren drei Verfahren in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

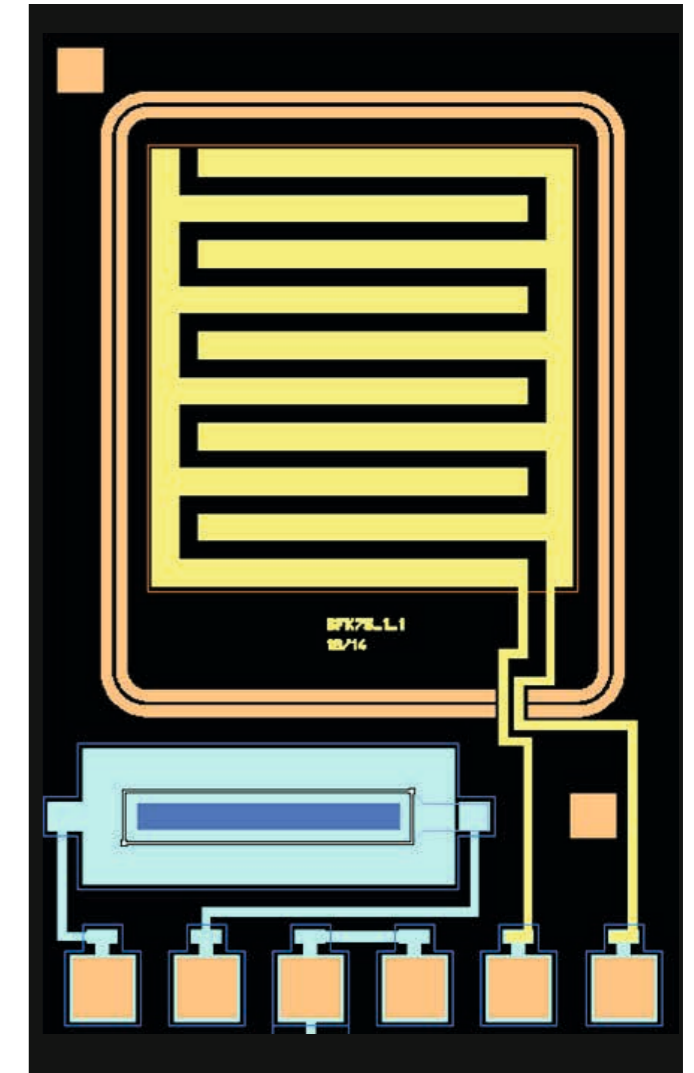
Großtechnisch wird die alkalische Wasserelektrolyse (AEL; Alkalische Elektrolyse) eingesetzt. Die Hochtemperatur-Festelektrolyt-Elektrolyse (SOEL; engl.: Solid Oxide Electrolysis) rückt immer mehr in den Mittelpunkt. Im Entwicklungsstadium befindet sich die trockene Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse). Im Verbundprojekt ElyKon untersuchte das CiS Forschungsinstitut den Einsatz von Feuchte-sensoren als Bestandteil der Steuerung des Elektrolyseurs bei der PEM-Elektrolyse.

## ElyKon

### Elektrolyse-Systemkomponenten für hochdynamischen/intermittierenden Betrieb

Die Elektrolyse mit Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM-Elektrolyse) ist eine vergleichsweise junge Technologie mit hohem F&E-Potenzial. Zur nachhaltigen Erzeugung von Wasserstoff entwickelt sie sich zusehends zu einer Schlüsseltechnologie des zukünftigen Energiesystems. Ihre hohe Effizienz, die kompakte Bauweise und ihre hohe Dynamik- und Überlastfähigkeit ermöglichen eine vielfältige Einbindung regenerativer und fluktuierender Energien in einer sektorenübergreifenden Energiewirtschaft (Power-to-X-Konzepte). Sie ermöglicht so die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Verkehrs- und Industriesektor. Des Weiteren besitzt die PEM-Elektrolyse das Potential, netzstabilisierende Dienstleistungen zu übernehmen und saisonale Schwankungen auszugleichen. Damit kann eine ganzjährig zuverlässige Energieversorgung bei sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien gewährleistet werden.

Die hohe Empfindlichkeit der Zellen gegenüber Verunreinigungen bedingt allerdings den Einsatz teurer Materialien. Die Kosten der Komponenten stellen bisher dadurch einen wesentlichen Nachteil in der



Prinzip-Aufbau Temperatur-Feuchte-Sensor für Elektrolyseur

Wirtschaftlichkeit dieser Systeme dar und sind mitverantwortlich für die derzeit noch hohen Kosten des Grünen Wasserstoffs.

Eine frühzeitige Degradation der Zellen tritt insbesondere bei der Kopplung mit regenerativen Energien auf. Die schnellen Wechsel in der Bereitstellung der Energie bedingen ein dynamisches Lastprofil des Elektrolyseurs, das seine Alterungsprozesse beschleunigt. Die Herausforderung beim Elektrolysebetrieb mit erneuerbaren Energien besteht deshalb darin, einen guten Kompromiss zwischen Energieeffizienz, einer langen Lebensdauer und einer hohen Flexibilität zu finden.

Im Rahmen des Konsortiums HYPOS, der Förderinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wird im Projekt „ElyKon - Elektrolyse-Systemkomponenten für hochdynamischen/intermittierenden Betrieb“ die Thematik der Wirtschaftlichkeit aufgegriffen. Projektpartner sind das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., die CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH, die Technische Universität Bergakademie Freiberg, die ISLE Steuerungstechnik und Leistungselektronik GmbH sowie als assoziierter Partner Elogen.

Ziel dieses Projektes war es, den Einsatz von PEM-Elektrolyseuren wirtschaftlicher zu gestalten, indem auf

der Basis von orts aufgelösten sensorischen Daten eine Kontrollstrategie entwickelt wird, die eine kontinuierliche Zustandsüberwachung des Elektrolyseprozesses erlaubt. Diese ist in der Lage, ungünstige Betriebszustände zu identifizieren, ihnen entgegenzuwirken und dadurch die Betriebsparameter zu optimieren. Die sensorischen Daten wurden dazu in die Steuerung des Elektrolyseurs integriert, mit der Aufgabe, ungünstige Betriebszustände zu meiden. Damit soll eine Erhöhung der Lebensdauer des Elektrolyseurs, eine Steigerung der Energieeffizienz und eine erhöhte Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erreicht werden. Alle drei Punkte tragen auch dazu bei, die Kosten für die Produktion des Wasserstoffs zu senken. Ungünstige Betriebszustände stellen z.B. solche Zustände dar, die einen übermäßig

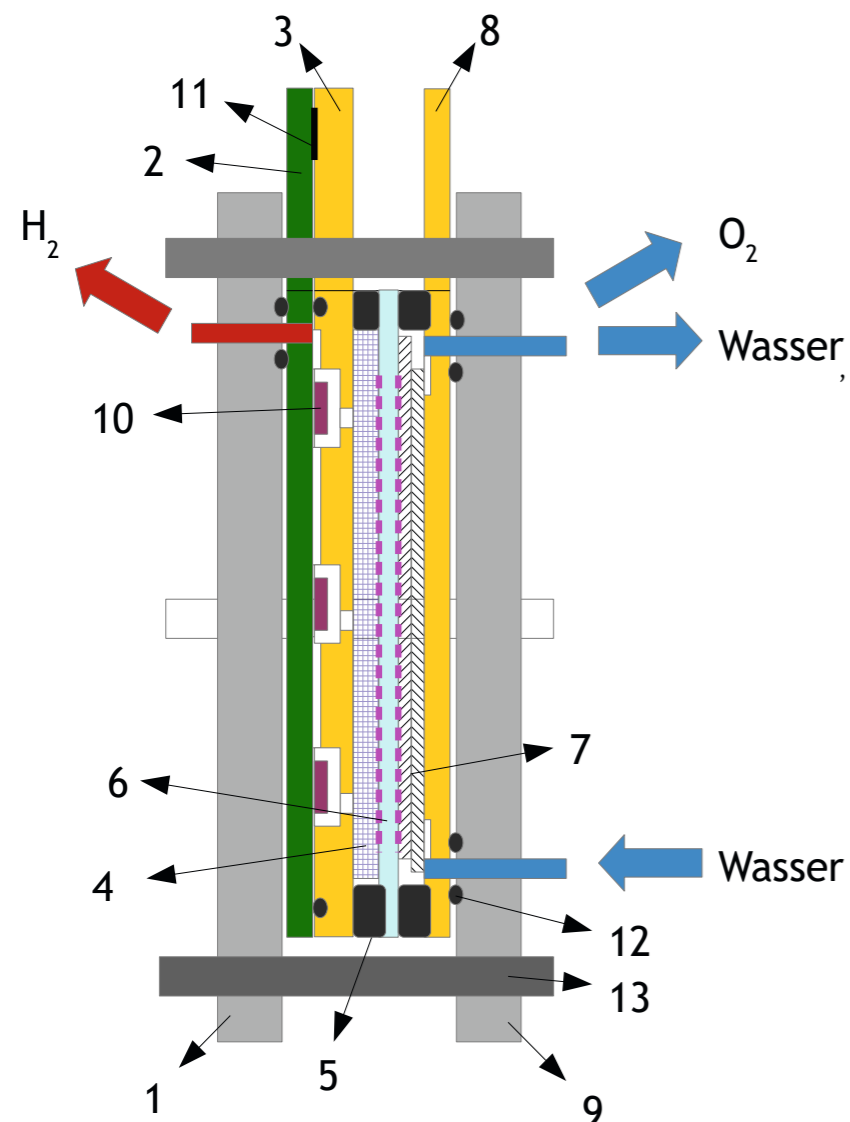
starken Verschleiß, Korrosion oder die Zerstörung des Elektrolyseurs selbst oder seiner Peripherie (z.B. Gaskompressor) verursachen.

Zur Überwachung und Steuerung wurden Sensoren an verschiedenen Positionen des Elektrolyseurs integriert. Durch die Arbeiten der Projektpartner DLR, TUBAF und dem CiS Forschungsinstitut wurden die sensorischen Voraussetzungen geschaffen, z.B. die Stromdichte- und Temperaturverteilung innerhalb des Stacks sowie die Leitfähigkeit des Wassers sowie die Feuchtigkeit der Gasströme in der Peripherie zu überwachen. Der Partner ISLE entwickelte die zugehörige Elektronik zur Erfassung und Einbindung der Daten in die Steuerung der Elektrolyseanlage.

Das Ziel des Teilvorhabens am CiS Forschungsinstitut bestand in der Nutzung von Feuchte- und Temperatur-Sensoren als Bestandteil der Steuerung des Elektrolyseurs zur Vermeidung derartiger Zustände. Bekannt war, dass die Feuchtigkeit des Membran Electrode Assembly (MEA) für den Elektrolyseprozess zwar zwingend erforderlich ist, andererseits aber im Zusammenhang mit dem Anpressdruck und einer erhöhten Temperatur die Alterung der MEA fördert. Deshalb sollte die Anwesenheit von flüssigem Wasser in Form von Wassertropfen innerhalb des Stacks detektiert und mit Betriebsparametern des Elektrolyseurs korreliert werden. Ziel der Arbeiten am CiS Forschungsinstitut war es, an der Kathodenseite insbesondere größere Wassertropfen zu detektieren, welche gegebenenfalls den Abtransport des Wasserstoffs behindern könnten. Diese wurden kapazitiv erfasst. Durch Anpassung der Streufelddimensionen wurde die detektierbare Tropfengröße justiert. Dazu wurden Sensorelemente eingesetzt, die aus einem in Silizium eingebetteten Streufeldkondensator mit integrierter Temperaturmessdiode bestehen. Durch spezielle Oberflächenbehandlung wurde eine Grenzfläche geschaffen, an der größere Kondensattropfen leicht ablaufen und somit eine zeitliche Erfassung erlauben. Die Temperatur wird anhand der Diodenflussspannung bestimmt. Die Übertragung der Signale erfolgt kabelgebunden zum Anzeigergerät.

Um die Datenerfassung im laufenden Elektrolyse-Betrieb erproben zu können, wurde ein funktionsfähiger Teststand konstruiert und aufgebaut. Er wurde so konzipiert, dass kommerziell verfügbare Bauteile eingesetzt werden konnten. Dieser PEM-Elektrolyseur war hinsichtlich der Gestaltung der Flussfelder an die kommerziell genutzten Stacks des assoziierten Partners angelehnt, d.h. die Verteilung des Wassers und der Gase über die aktive Fläche wurden nicht durch feste Strukturen in den Stromverteilern, sondern durch lose eingelegte gasdurchlässige Lagen (GDL) aus Titan-Mesh bzw. Kohlevlies erzeugt. Der Teststand stellt eine Einzelzelle dar, die eine aktive Fläche von 50 cm<sup>2</sup> aufweist. Sie ist dafür vorgesehen, dass sie mit trockener Kathode betrieben wird, damit das Auftreten von Wasser auf dieser Seite untersucht werden kann. Das deionisierte Wasser für die Elektrolyse wird ausschließlich auf der Anodenseite zugeführt. Drei Sensorchips können auf der Kathodenseite im Bereich der aktiven Fläche übereinander angeordnet werden. Sie dienen zur Beobachtung der Temperatur und der Entstehung von Wassertropfen innerhalb des Stacks. Um die Integration der Sensoren zu ermöglichen, wurde der kathodische Stromverteiler angepasst. Mit Hilfe der vom Partner ISLE entwickelten Messbox wurden die Daten der jeweiligen Messpunkte mit einem einzelnen Gerät erfasst. Die Sensoren wurden auf einer eigenen Platine so angeordnet, dass die Daten orts aufgelöst im Bereich der aktiven Fläche aufgezeichnet werden können. Die Platine wurde in den Stack des Elektrolyse-Teststands eingefügt.

Mit dem verwendeten Sensorintegrationskonzept sind auch andere Parameterverteilungen an verschiedenen Punkten innerhalb der aktiven Fläche möglich, wobei sich die Messpunkte sowohl nahe der Anoden- als auch Kathodenseite befinden können. Bei Verwendung elektrisch leitfähiger Sensorplatinen oder PCBs mit Vias ist auch die Beobachtung im Bereich zwischen den Stromfängern möglich. Mit den Feuchtesensoren innerhalb eines Stacks eröffnet sich die Möglichkeit, die PEM-Membranen im Hinblick auf Transporteigenschaften zu charakterisieren und detaillierter zu bewerten. Performance und



Teststand mit Sensorplatine

1. Endplatte Kathodenseite
2. PCB
3. Stromverteiler Kathode
4. Carbon-Vlies
5. Dichtung
6. MEA
7. Ti-Mesh
8. Stromverteilungsplatte Anode
9. Endplatte Anodenseite
10. Feuchte-Temperatur-Sensor mit Signalvorverarbeitung
11. Kontakt-Pads mit Lötverbindungen
12. o-Ring
13. Verschraubung



Degradationsverhalten der Elektrolyseanlage können mit den Messergebnissen der Sensoren während des Elektrolysebetriebs korreliert werden, sodass das Verständnis der Prozesse vervollkommen und Simulationen weiterentwickelt werden können. Damit wird eine zielgerichtete Optimierung des Gesamtsystems möglich.

Das Know-how kann ebenso in der Brennstoffzellentechnik angewendet werden. Es kann auch in Bereichen der Prozessindustrie genutzt werden, bei denen Zero-Gap-Zellen zum Einsatz kommen, beispielsweise in Elektrolyseprozessen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion oder elektrochemischen Oxidationsprozessen. ●



## GEFÖRDERT

Die Projekte H2MEMS, HyProS-D sowie ElyKon wurden im Rahmen des Innovationsnetzwerkes HYPOS durchgeführt. HYPOS war eines von zehn Innovationsprojekten der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ins Leben gerufenen Förderinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“. Das diesen Projekten zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBWF) unter den Förderkennzeichen gefördert.

- **H2MEMS:** Neuartiger Wasserstoffsensoren mit höchster Sensitivität und Selektivität auf der Basis von Mikro-elektromechanischen Sensorstrukturen (Förderkennzeichen: 03ZZ0757B)
- **HyProS-D:** Untersuchung von langzeitstabilen Fügeverbindungen zum Aufbau von Drucksensoren zur Prozessüberwachung in Elektrolyseuren und Systemspeichern (Förderkennzeichen: 03ZZ0724D)
- **ElyKon:** Elektrolyse-Systemkomponenten für hochdynamischen/intermittierenden Betrieb TP2 Feuchtigkeit als Regelgröße (Förderkennzeichen: 03ZZ0742B)

## Veranstaltungen

Auf Messen und Fachveranstaltungen wurden die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte für eine innovative Prozess- und Sicherheitssensorik in der Wasserstoffnutzung vorgestellt.

### Wasserstoff-Sensoren für die Energieversorgung der Zukunft Great H<sub>2</sub> Forum



Das CiS Forschungsinstitut präsentierte auf dem GREAT H<sub>2</sub> Forum, der ersten Fachveranstaltung des gleichnamigen Projektes in Thüringen, Forschungs- und Entwicklungsergebnisse für die Speicherung und Leckagedetektion von grünem Wasserstoff. Am 16.11.2022 stellte Dr. Thomas Frank, Fachbereichsleiter MEMS im CiS Forschungsinstitut eine gemeinsame Projektentwicklung mit der UST Umweltsensortechnik GmbH aus Geschwenda in der Begleitausstellung sowie in einem Pitch vor. ●

### Wasserstoffsensoren für die Energiespeicherung – CiS Forschungsinstitut auf dem 3. Wirtschaftsforum in Arnstadt



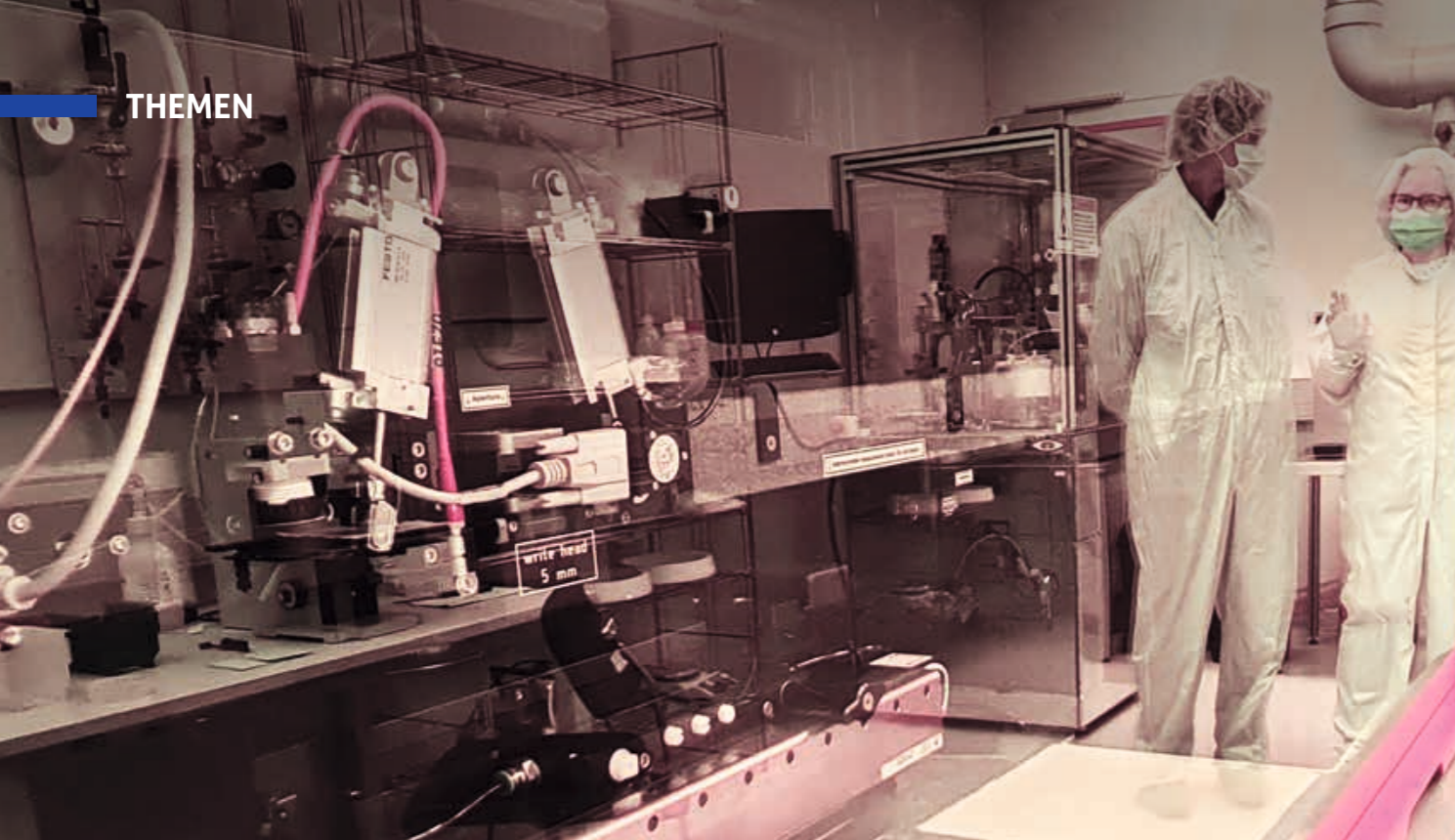
Energiespeicherung und effiziente Nutzung sind Herausforderungen, die Gesellschaft und Wissenschaft gleichermaßen mobilisieren. Das 3. Wirtschaftsforum Neue Wirtschaft Mitte in Arnstadt ist eine Plattform

für intensiven und interdisziplinären Dialog zwischen Wirtschaft und Wissenschaft über aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Maßnahmen. Unter dem Motto „Antrieb 2030 – Mobilität der Zukunft, was uns antreibt“ standen Themen wie Transformationsdruck, Elektromobilität und Energiespeicherung im Mittelpunkt. In einer Begleitausstellung präsentierte das CiS Forschungsinstitut eine gemeinsame Projektentwicklung mit der UST Umweltsensortechnik GmbH aus Geschwenda. ●

### Sensorik für die Energieversorgung auf der Konferenz elmug4future



Die Technologiekonferenz elmug4future stand unter dem Motto „Energieversorgung – Komplexer Wachstumsmarkt im Wandel“. Dabei spannte sich der Bogen von den wissenschaftlich-technischen Voraussetzungen bis zu den gesellschaftlich-rechtlichen Rahmenbedingungen und Vorstellungen einer zukünftigen energieeffizienten Quartiersversorgung. In der Session „Daten und Auswertung“ stellte Dr. Heike Wünscher aus dem Fachbereich MEMS am CiS Forschungsinstitut das Thema „Energiespeicherung durch Wasserelektrolyse – Sensorikanwendung zur Erhöhung von Effizienz und Lebensdauer von PEM-Elektrolyseuren“ vor. Außerdem betreute das CiS Forschungsinstitut den Stand des Wachstumskerns HIPS (High Performance Sensors) in der Begleitausstellung. ●



## SPEZIFISCHE PROZESSENTWICKLUNG IN DER WAFER- UND BAUTEILFERTIGUNG

Der Fachbereich Prozessentwicklung beschäftigt sich mit der Einführung neuer Prozesse und Technologiemodule. Ausgehend von neuesten Forschungsergebnissen werden Technologiekomplexe erarbeitet, die eine Überführung in einen fertigungsnahen Prozess erlauben. Ziel ist der Ausbau der Kompetenzen innerhalb der Wafer- und Bauteilfertigung.

Aktuell konzentrieren sich die Arbeiten auf folgende Themen:

### Erhöhung der Empfindlichkeit

Die erweiterten Strukturierungsmöglichkeiten von Silizium haben als vorrangiges Ziel die deutliche Erhöhung der Empfindlichkeit der auszulesenden Messgröße des MEMS-Bauteils. Nicht zu vernachlässigen sind die Vereinfachung oder Verkürzung der notwendigen technologischen Teilschritte. Als Beispiel sei hier die Umlagerung von Silizium bei hoher Temperatur unter

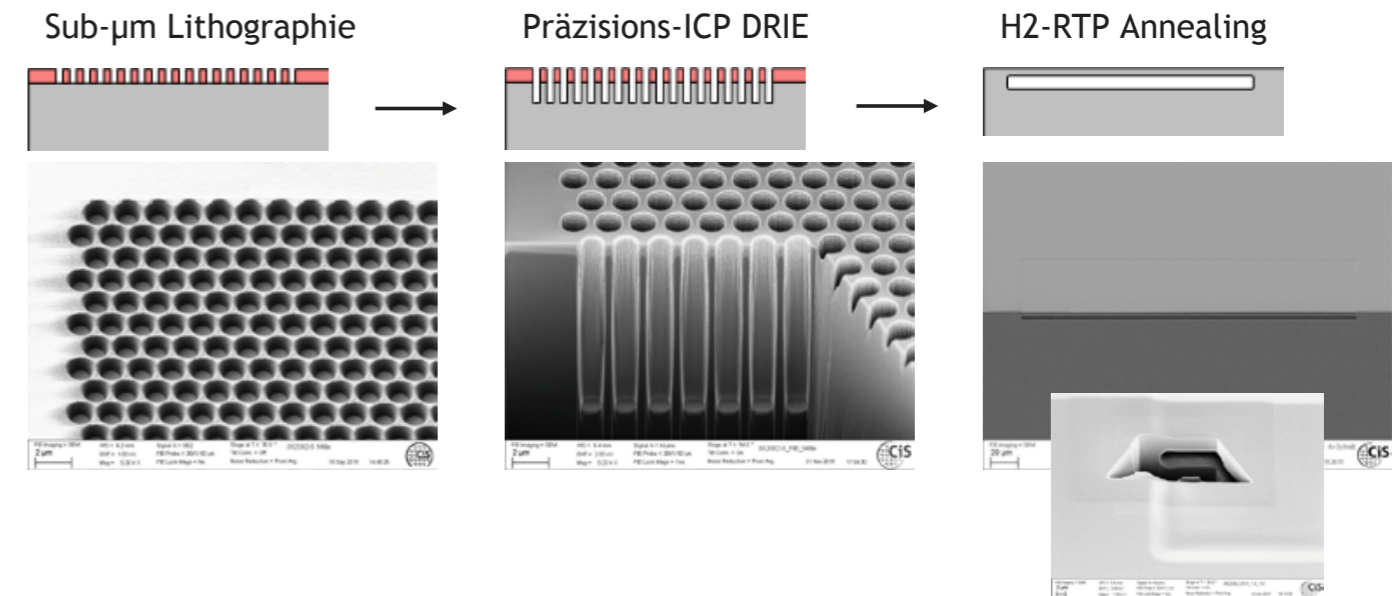
Wasserstoffatmosphäre genannt. Dies stellt eine Verkürzung der Technologie zur Herstellung spezieller Drucksensoren dar.

### Waferbondprozess

Wir sind stets auf der Suche nach Optimierungsmöglichkeiten und nach den unterschiedlichsten Weiterentwicklungen bestehender sowie nach neuen Verfahren für einen Waferbondprozess.

### Reaktiver Multischichten

Zurzeit liegen die Schwerpunkte der Entwicklungsziele auf einer möglichen Realisierung eines Sandwichstapels aus zwei Quarzwafer und einem Siliziumwafer sowie auf einer Waferbondtechnologie mittels reaktiver Multischichten (RMS-Schichten, Projekt JoinZiSi). Letzteres erfordert eine Umrüstung des Waferbonders um eine zusätzliche Zündmöglichkeit für den eigentlichen Bondprozess.



### Metallisierungsverfahren

Ein weiterer Fokus liegt auf den unterschiedlichen Metallisierungsverfahren, ausgehend von den klassischen Sputtertechnologien über die Galvanik bis zum Inkjetverfahren.

Die Entwicklungsthemen sind hier etwas breiter gefächert. Als Beispiel sei die Entwicklung eines hochtemperatur-stabilen Schichtsystems zur Siliziumkontaktierung benannt. Expliziter Schwerpunkt ist die Diffusionsbarriere zwischen Platin und Silizium. Hier kommen „dichte“ Wolframschichten zum Einsatz.

Der letztgenannte Absatz setzt den Schwerpunkt für den Bereich Prozessentwicklung als Schnittstelle

zwischen der Frontend-Wafer-Fertigung und nachfolgender Aufbau- und Verbindungstechnik.

Neben der engen Zusammenarbeit mit dem Waferbereich und der Aufbau- und Verbindungstechnik ist die direkte Rückkopplung zum Fachbereich Design wichtig für das CiS Forschungsinstitut, da technologische Zusammenhänge auf den Entwurfsprozess eines Sensorchips die Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des angestrebten Layouts sind. Diese Rückkopplung kann selbstverständlich nur erfolgreich sein, wenn neue Technologien im Ergebnis ausreichend charakterisiert wurden. Dazu werden die Untersuchungsmöglichkeiten und Kompetenzen aus dem Bereich Messtechnik und Analytik genutzt.



## JoinZiSi - Optimierte reaktive Bondtechnologie auf der Basis neuartiger Zirkonium-Systeme für den Einsatz in der Mikro-systemtechnik

Prozessentwicklung bedeutet für uns immer ein ganzheitliches Technologiekonzept, das Machbarkeiten auslotet und sich somit aktuellen Anforderungen stellt. Repräsentativ für die Forschungsarbeiten im Fachbereich ist ein aktuelles Projekt zur Entwicklung eines effizienten Fügeverfahrens für die Mikrosystemtechnik.

In diesem Vorhaben arbeitet das CiS Forschungsinstitut mit dem Fraunhofer IWS Dresden und der Hahn-

Schickard-Gesellschaft Villingen-Schwenningen an der Prozessintegration von RMS-Schichten (Reactiv Multi-layer Systems) als Fügmaterial für Chip- und Wafer-Bondprozesse auf der Basis neuartiger Zirkonium-Systeme. Diese Materialkombination weist entscheidende Vorteile für weitere Prozessschritte in der Mikrosystemtechnik auf.

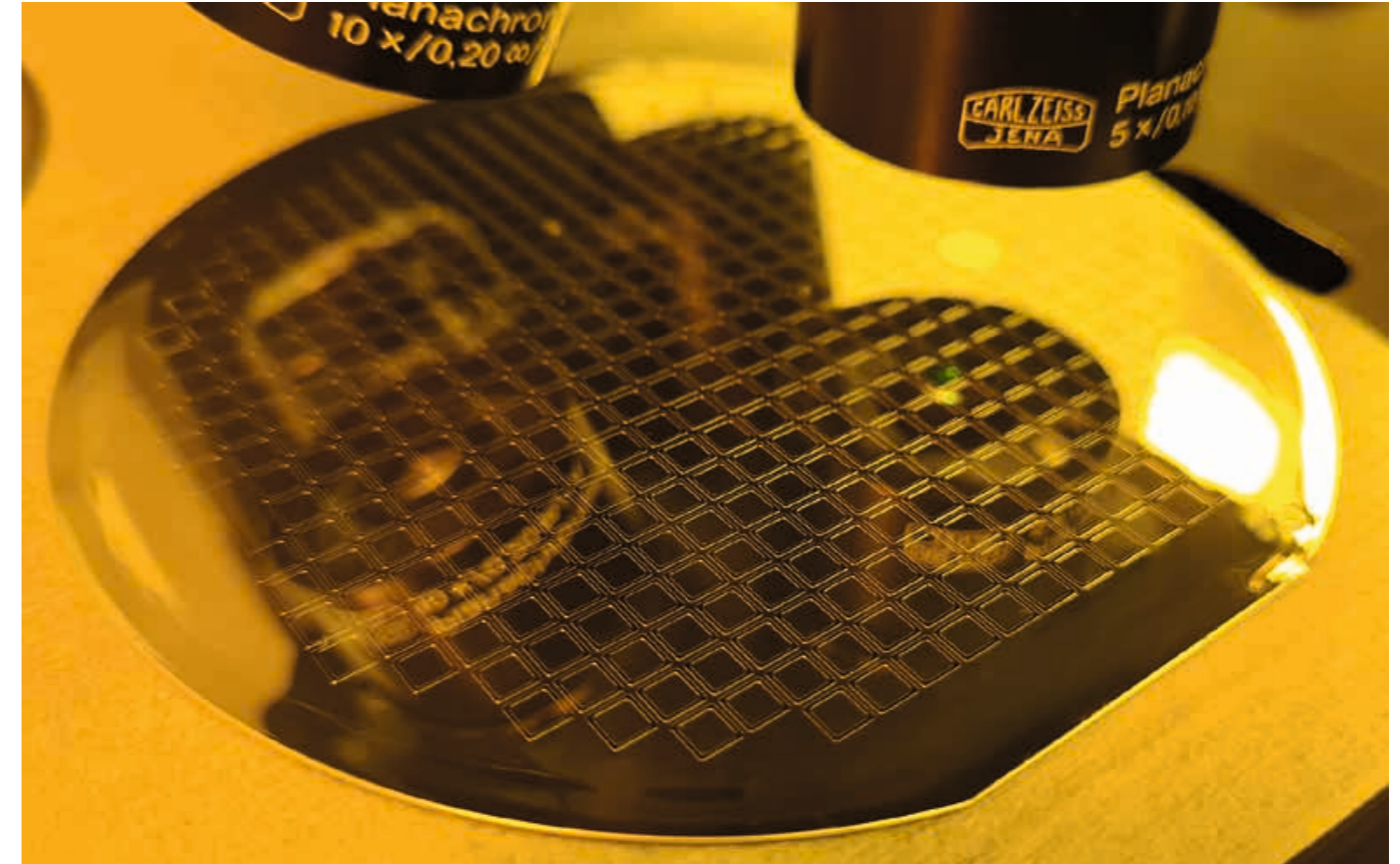
Der Schwerpunkt der Arbeiten am CiS Forschungsinstitut liegt in der Waferbondtechnologie. Hier wurde im



strukturiertes Doppellack-System mit einer Gesamtdicke > 70 µm



strukturierte RMS-Schicht mit einer Dicke von 26 µm



ersten Schritt ein Strukturierungsverfahren erarbeitet und getestet. Für das knapp 30 µm dicke RMS-Schichtsystem wurde ein Lift-Verfahren (Laser Induced Forward Transfer) entwickelt, das aus einem Doppel-Lack-schichtsystem besteht und eine Gesamtdicke von mehr als 70 µm aufweist. Eine RMS-Schicht wird aus vielen, nanometerdünnen wechselnden Schichten aufgebaut.

Die Prozessstauglichkeit für eine Basismetallisierung über chem. Ni/Au, der RMS-Schichtabscheidung und

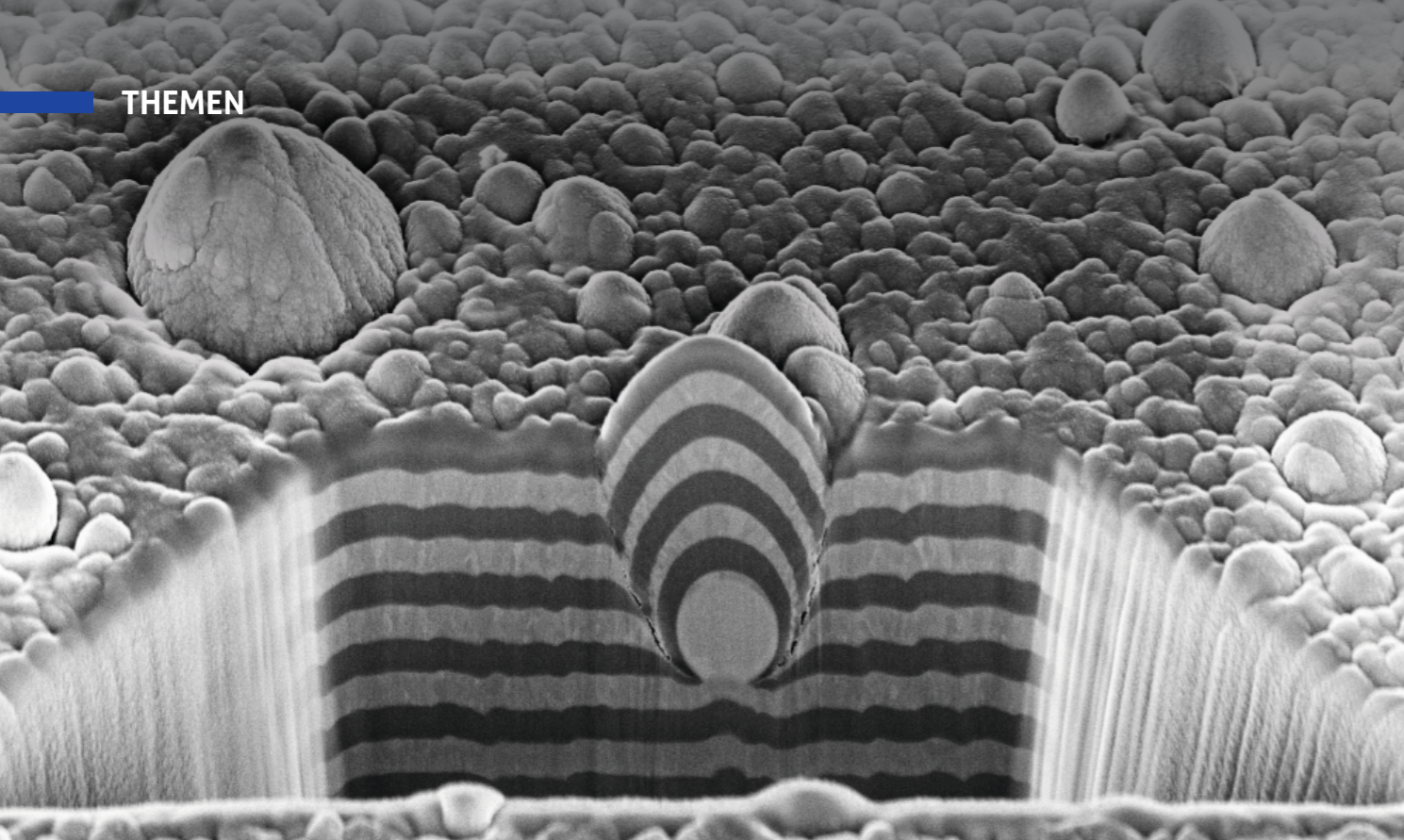
des abschließenden Lift-Off-Prozesses konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Dazu wurde eine Zündtechnologie erarbeitet und der Waferbonder den Prozessbedingungen angepasst. Mit der Zündung wird eine Kettenreaktion ausgelöst. In Bruchteilen von Sekunden werden die Materialien miteinander gefügt. Erste Versuche weisen die Machbarkeit einer Fügetechnologie über RMS-Systeme auf Waferlevel nach. Im Jahr 2023 werden die Untersuchungen zum Waferlevelbonds fortgeführt und Fügeprozessparameter optimiert. ●



### GEFÖRDERT

Projekt „Optimierte reaktive Bondtechnologie auf der Basis neuartiger Zirkonium-Systeme für den Einsatz in der Mikrosystemtechnik“ (Join-ZiSi)

IGF Vorhaben Nr.: 21347 BG



# ANALYTIK VON MAKRO BIS NANO – KOMPLEXE UNTERSUCHUNGS- METHODEN IM CIS FORSCHUNGS- INSTITUT

Permanent benötigen viele Industriezweige leistungsfähigere Werkstoffe und Bauteile mit Dimensionen bis in den Nanometerbereich. Viele ihrer Eigenschaften werden durch die Oberfläche und ihre chemische Zusammensetzung sowie Morphologie bestimmt. Die gezielte Manipulation von Oberflächen nimmt Einfluss auf Funktion und Potenzial eines entwickelten Materials oder Bauelementes. Zunehmend müssen quantenphysikalische Effekte erkannt und mit betrachtet werden, die auch die Entwicklung und Anwendung in der Mikrosystemtechnik und Photonik nachhaltig beeinflussen.

Die Oberfläche ist Ausgangspunkt für Korrosion und Verschleiß eines Bauteils, für Emissionen von Teilchen in die Umgebung sowie chemischer und biolo-

gischer Wechselwirkung. Geringste Kontaminationen verändern beispielsweise Haftung und Benetzung an einer Oberfläche und beeinflussen so bspw. Bonding-, Beschichtungs- oder Galvanisierungsprozesse. Starke Verspannungen begünstigen oft oberflächennahe Rissbildungen bis hin zur kompletten Zerstörung eines Bauteils.

Ein großes Portfolio an Untersuchungsmethoden ist notwendig, um umfassend Materialien und Bauelemente zu charakterisieren, Schäden sowie Fehler zu analysieren und die Qualität von Bauteilen und ihrer zugrunde liegenden Herstellungsprozesse zu kontrollieren. Für die Entwicklung und Optimierung neuer Materialien und technischer Komponenten sind eine systematische Oberflächen- und Nanoanalytik unabdingbar.

Das CiS Forschungsinstitut verfügt über eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Analysetools sowie erfahrenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die vor allem Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Region mit Rat und Tat zur Seite stehen.

Neben der apparativen Ausstattung

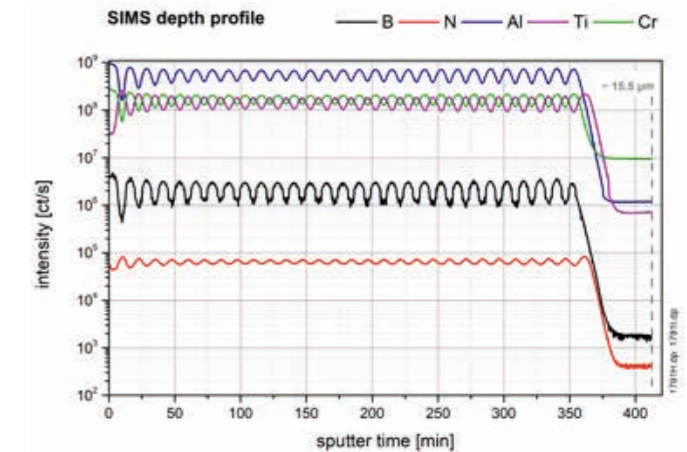
- Sekundärionenmassenspektrometrie (SIMS)
- Rasterelektronenmikroskopie (REM)
- Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)
- Focused Ion Beam (FIB)
- Raman-Spektroskopie
- Rasterkraftmikroskopie (AFM)
- Scanning Infrared Reflection Examination (SIREX)
- Licht- und Lasermikroskopie
- Profilometrie (taktil und optisch)

verfügt das CiS Forschungsinstitut über optische, kapazitive und elektrische Messtechnik auf Waferlevel sowie weitere Testverfahren für die Bewertung der Zuverlässigkeit von Drucksensoren.

## Sekundär-Ionen-Massen-Spektrometrie

Für SIMS-Messungen besitzt das CiS Forschungsinstitut mit dem 2021 in Betrieb genommenen IMS 7f auto der Firma Cameca eine der modernsten Anlagen in Deutschland. Bei diesem Messverfahren wird eine Probe mit Primärionen im Ultrahochvakuum beschossen, wodurch Sekundärionen aus dieser ausgelöst, im elektrischen Feld beschleunigt und nach Massentrennung in einem Magnetfeld mittels hochempfindlicher Detektoren gezählt werden. Mit dieser Messmethode können dreidimensionale Elementverteilungen, vorrangig im Spuren- und Ultraspurenbereich untersucht werden. Was SIMS im Vergleich zu anderen chemischen Analysemethoden einmalig macht, sind die extrem niedrigen Nachweisgrenzen, die bis in den Bereich  $< 1$  ppb bei Probenvolumen im Bereich von  $10 \mu\text{m}^3$  reichen. Mit dieser Analysemethode können u.a. Dotierungen, Schichtfolgen, Diffusionsprozesse, störende Verunreinigungen, etc. untersucht werden. Weitere Anwendungen neben der Halbleitertechnologie finden sich bspw. in der Metallurgie (Korrosion, Oberflächenvergütung, Dekorations- und Schutzschichten, Haftvermittler, ...),

der Life Science (Oberflächenvergütung von Medizinprodukten, Untersuchungen von krankhaften Zahnveränderungen, ...) oder im Umweltschutz.



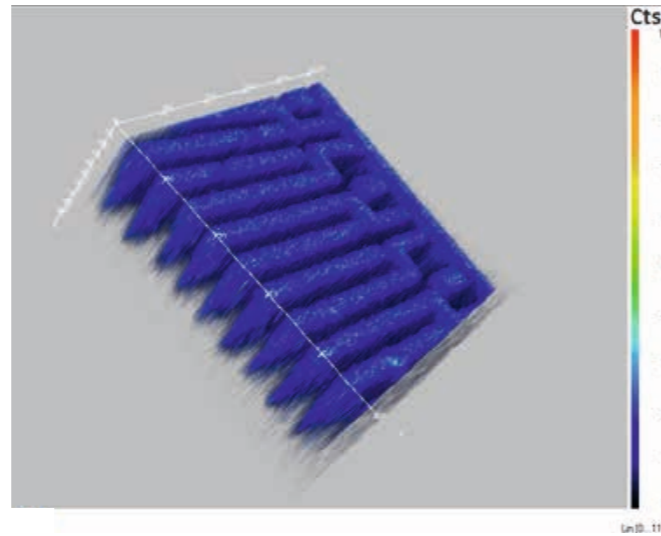
Chemische Analyse eines Systems aus 58 alternierenden Schichten TiN und Bor dotiertem AlTiCrN. Besonders hervorzuheben ist die hohe Stabilität der Tiefenauflösung über mehrere Stunden.

## SIMS-Analyse von Diamanten für Sensor- und Quantenkryptographie-Anwendungen

Ein besonderes Steckpferd des CiS Forschungsinstitutes ist in diesem Jahr die SIMS-Analyse von Diamanten für Sensor- und Quantenkryptographie-Anwendungen im Rahmen des Projektes „DiaQuantFab“ geworden. Von allen bekannten Defekten in Diamanten ist das NV-Zentrum - eine Stickstoff induzierte Fehlstelle im Diamantgitter - einer der vielversprechendsten für verschiedene Anwendungen, z. B. als Sensorelement für Magnetfelder oder als Emitter von Einzelphotonen in Quantenkryptographie-Einheiten. Um diesen spezifischen Defekt in Diamanten züchten und kontrollieren zu können, ist es von großer Bedeutung, Informationen über den Stickstoffgehalt in den synthetisch hergestellten Diamantschichten zu erhalten. Die SIMS ist eine leistungsfähige Analysemethode zur genauen Bestimmung der geringen Stickstoffkonzentrationen ( $\geq 1 \text{E}15 \text{ at/cm}^3$ ) in Diamanten, die in NV-Zentren umgewandelt werden könnten. Die besonders langzeitstabile Massenhoch- und Tiefenauflösung

(< 2 nm/Dekade) der hochmodernen SIMS erlauben es, mehrere Mikrometer dicke Diamantschichten zu analysieren und dabei problemlos die zu untersuchenden Ionencluster gleicher nomineller Masse zu unterscheiden ( $^{14}\text{N}^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}_2$ ,  $^{13}\text{C}^{12}\text{C}$  und  $^{12}\text{C}^{21}\text{H}_2$ ,  $m/\Delta m = 8000$ ).

Beispiel für die Messung von 3-dimensionalen, also auch lateralen Elementverteilungen mittels SIMS. Gemessen wurde an einem Aluminium-Grid eines Silizium-basierten Chips das Al-Signal des Ions  $^{27}\text{Al}^-$ .



**GEFÖRDERT**

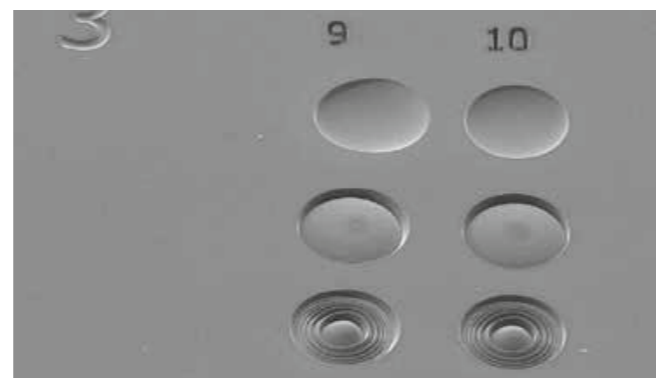
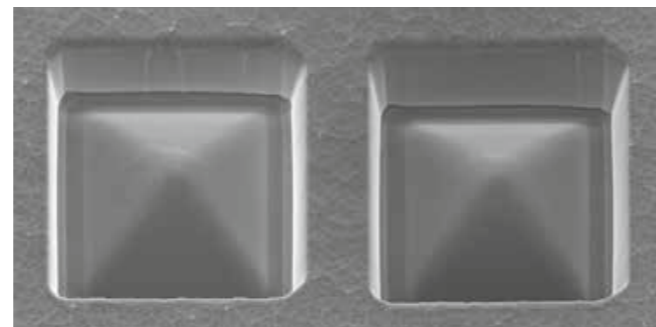
Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBWF) unter dem Förderkennzeichen 13N14984 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit EDX- sowie FIB-Einheit

Neben der Durchführung von Standardmessungen werden am CiS Forschungsinstitut auch eigene Messverfahren und Spezialanpassungen für die Gerätetechnik entwickelt, so beispielsweise für einen weiteren wichtigen Bestandteil des CiS Analytik Kompetenzzentrums, das hochauflösende Rasterelektronenmikroskop kombiniert mit einer EDX- sowie einer FIB-Einheit. Es erlaubt die Analyse der chemischen Zusammensetzung und Struktur von Probenoberflächen sowie ihrer elektronischen Defekte und Schichten.

Im Rahmen des Projektes „Ekopho“ - „Effiziente Koppeloptik für supraleitende Einzelphotonen“ - wurde in diesem Jahr für das Rasterelektronenmikroskop eine Hard- und Software-Erweiterung der Strahlsteuerungen des Elektronen- und insbesondere des Ionenstrahles realisiert. Mit den neuen Komponenten ist auf der Elektronenstrahlseite des REMs das automatische Erstellen eines großen hochauflösten Bildes aus mehreren Einzelaufnahmen (Stitchen) möglich. Damit erhält man die Option, in ein erzeugtes REM-Bild hin-

ein zu zoomen, um noch mehr Strukturen bzw. Details erkennen zu können.



Mit Ionenstrahl am REM erzeugte Strukturen.

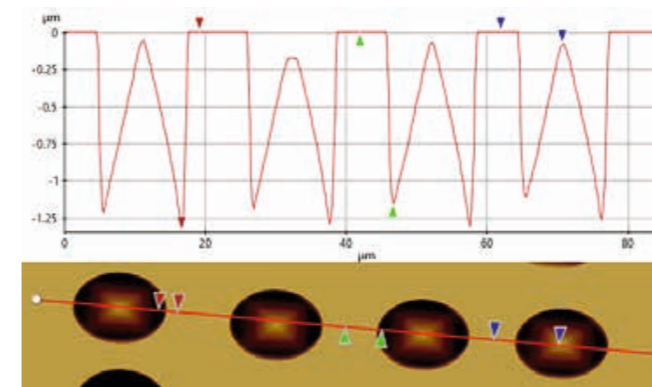


**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Effiziente Koppeloptik für supraleitende Einzelphotonen“ (Ekopho) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Förderkennzeichen: 49MF200099

Auf der Ionenstrahlseite des REM ergibt sich die Chance, beliebige Strukturen durch gezielten Abtrag der zu bearbeitenden Oberflächen zu erzeugen. Als Vorlage zur Strukturierung dienen Graustufenbilder der gewünschten Objekte. Der jeweilige Grauton bestimmt dabei den Abtrag an den einzelnen Positionen. Kombiniert mit Objektgröße, Strahlstrom und Gesamtdosis lässt sich die gewünschte Objekttiefe erreichen. Bei den bisher gemachten Präparationen wurden Schrägen, Pyramiden, Halbkugeln und Fresnellinsen erzeugt. Die Strukturiefen in den Oberflächen sind mit dem am CiS Forschungsinstitut vorhandenen AFM vermessen worden.



AFM-Messung an mit Ionenstrahl erzeugten Pyramiden.

Durch weitere Modifikationen unseres REM ist es nun möglich, Detektoren für niederenergetische Elektronen und UV-Photonen hinsichtlich ihrer Quanteneffizienz zu qualifizieren.

Aus der Messung des Elektronenstroms des REM in einem Faradaybecher und der Messung des durch diese Elektronen generierten Stromes eines Detektors wird dessen Quanteneffizienz bestimmt. Durch Variation der Elektronenenergie wird die Quanteneffizienz in Abhängigkeit von dieser ermittelt.

Ein weiteres entwickeltes Messverfahren misst die Totzonenbreite von Elektronendetektoren. Durch Verkippen des Probenstisches im REM ist es reproduzierbar möglich, unter bestimmten Winkeln auf einen Detektor einzustrahlen. Die Elektronen durchqueren unterschiedlich lange die Totzone, wodurch sich der Strom des Detektors ändert. Aus diesem Messsignal wird die Totzonenbreite ermittelt.

Dass auch komplexe Strukturen generiert werden können, zeigt die folgenden Abbildungen des Erfurter Doms sowie die Bildmarke des CiS Forschungsinstituts ●



## DIAMANT ALS SENSORISCHES ELEMENT SOWIE SEINE EIGENSCHAFTEN UND ANWENDUNGEN

Über dreieinhalb Jahre hinweg hat das Projektteam im BMBF-Verbundvorhaben „DiaQuantFab“ Diamantmaterialien für industrielle Anwendungen untersucht und optische Mikrosensorsysteme basierend auf NV-Zentren in Diamant entwickelt. Das Projekt endete zum 30. November 2022. Es wurde ein ganzheitlicher Ansatz entlang der Wertschöpfungskette hinweg von der Diamantherstellung und -manipulation bis hin zum fertigen Sensorsystem untersucht. Die ausgewählten Sensorsysteme waren Magnetfeldsensoren für die Anwendungsbereiche Positionsmesstechnik, Rastersondenmikroskopie sowie Strommessung. Im Projektkonsortium waren Balluff GmbH, Diamond Materials GmbH, nano analytik GmbH, Universität Leipzig, Universität Stuttgart, Universität Ulm sowie das CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik, durch welches das Verbundprojekt auch koordiniert wurde.

In synthetischem Diamant können absichtlich Verunreinigungen in Form von Stickstoff-Fehlstellen („NV-Zentren“) eingebracht werden. Diese haben ein Spektrum an faszinierenden Eigenschaften und eröffnen die Möglichkeiten, Sensorik damit zu betreiben. NV-Zentren sind optisch aktiv und werden deshalb auch Farbzentren genannt. Mit Hilfe dieser NV-Zentren können schon bei Raumtemperatur physikalische Effekte beobachtet werden, die ausschließlich durch quantenphysikalische Ansätze beschreibbar sind. Zudem kann der Zustand der NV-Zentren optisch stimuliert und ausgelesen werden.

NV-Zentren im Diamantkristall erlangten im Bereich der Quantensensorik bereits verbreitete Akzeptanz. Doch echte Sensorelemente basierend auf NV-Zentren für industrielle Anwendungen sind bisher am Markt

höchstens als Prototypen erhältlich. Die Gründe dafür sind vielschichtig:

### 1. Diamantmaterialeigenschaften und -verfügbarkeit:

Diamant mit NV-Zentren als essentieller Sensorbestandteil wird von nur wenigen kommerziellen Anbietern angeboten. Diese sind in den Geometrien eingeschränkt, haben oftmals unattraktive Preise und lange Lieferfristen. In vielen Fällen ist zudem unklar, welche spezifischen Materialkenngrößen im Diamanten überhaupt relevant sind. Zu diesen zählen beispielsweise die Dichte an NV-Zentren und damit korrelierte Größen wie die Kohärenzzeiten, aber auch sonstige Verunreinigungen.

### 2. Sensoreigenschaften:

NV-Zentren in Diamant optisch zu adressieren und auszulesen wurde bereits durch eine Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen gezeigt und stellt keinen besonders hohen technischen Anspruch dar. Neben dem Diamantmaterial mit NV-Zentren genügen grundsätzlich ein Laserpointer, ein Filter und eine Photodiode. Einen Sensor zu designen und aufzubauen, der spezifische physikalische Größen (u.a. Magnetismus und verknüpft elektrische Stromdichte, Temperatur, mechanischen Druck) reproduzierbar qualitativ und quantitativ misst, ist dagegen herausfordernd. Speziell auch dann, wenn miniaturisierte Sensoraufbauten von Interesse sind, hergestellt mit industriell verfügbaren Verfahren.

### 3. Verknüpfung von Diamantmaterial- und Sensoreigenschaften:

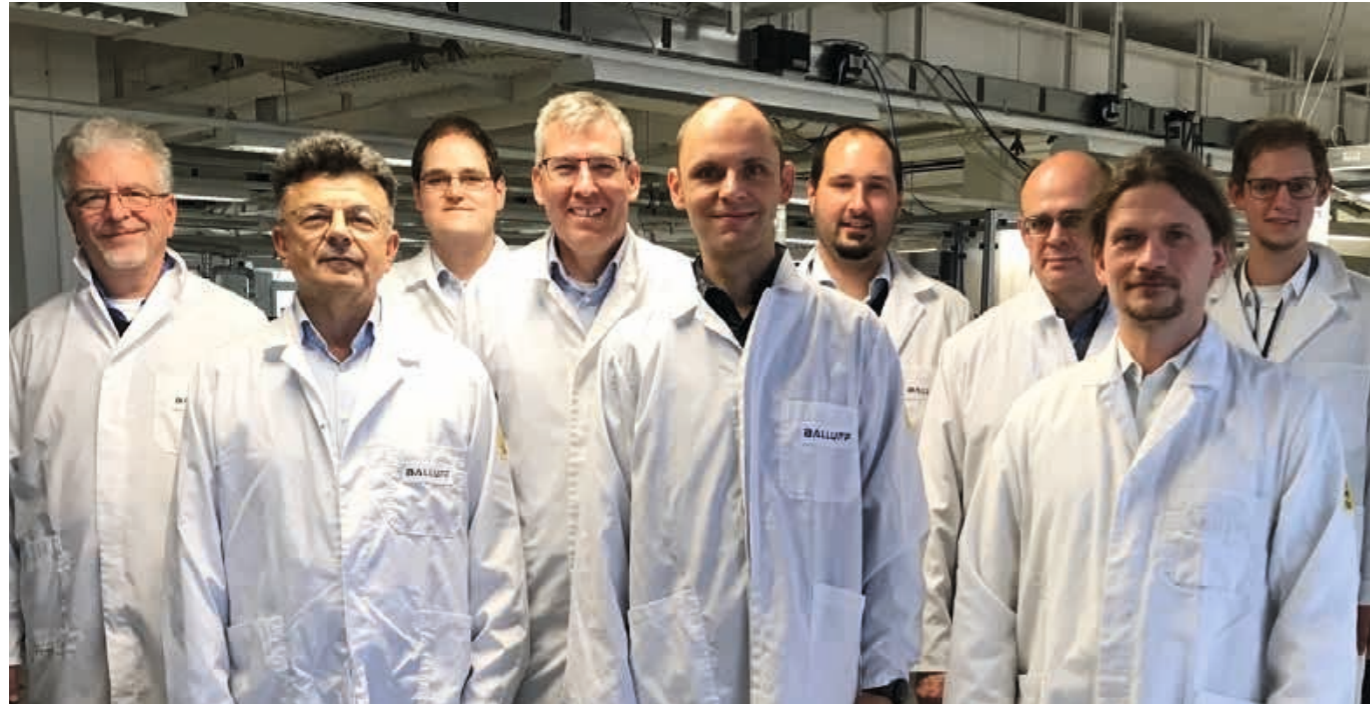
Aufgrund der Variantenvielfalt möglicher Anwendungsfälle allein im Bereich der Sensorik ist eine Pauschalisierung von Diamantmaterialeigenschaften nach dem Motto „Viel hilft viel“ nicht praktikabel. Es gilt beispielsweise abzuwägen, welches sensorische Volumen notwendig ist: Ein großes Volumen enthält eine größere Anzahl von NV-Zentren, wodurch die Fluoreszenz-



Miniaturisierte, siliziumbasierte Strahler-Empfängereinheit mit integriertem NV-Zentren-haltigem Diamant, die eine zentrale LED und vier konzentrische Photodioden umfasst.

signalstärke und damit das Signal-Rauschverhältnis erhöht ist, allerdings auf Kosten geringerer lateraler Auflösung. Kosteneffizientere Diamantmaterialien wie industriell gefertigte HPHT-Diamantkristalle bieten hohe NV-Dichten, sind allerdings lokal nicht homogen dotiert, im Gegensatz zu solchen aus der Gasphase gewachsenen Diamantschichten. Anwendungsspezifisch muss eine Optimierung der Diamantmaterialien an die gewünschte Sensoreigenschaft erfolgen.

Diese Gründe stehen beispielhaft für das Problem, das neue Materialien zum Markteintritt haben: Es sind Wegbereiter -Konsortien aus Industrie und Wissenschaft- notwendig, die Diamantmaterialien im Hinblick auf Materialeigenschaften, Verarbeitbarkeit oder Anwendungsszenarien testen und so auch auf ein kostenattraktives Produkt hinarbeiten. Im Projekt „DiaQuantFab“ wurden Arbeiten genau mit dieser Zielsetzung erfolgreich durchgeführt. Über die gesamte Prozesskette hinweg wurden verschiedene Diamantmaterialien getestet, Diamant gezielt in den Eigenschaften wie NV-Dichte manipuliert und in spezifische Demonstratoren eingesetzt. Begleitet wurden diese Entwicklungen von umfangreichen Charakterisierungen und der Entwicklung von Messmethoden.



Hybrid durchgeführtes Abschlusstreffen, durchgeführt bei Balluff GmbH, sowie Online-Teilnehmer

### Im Ergebnis des Projekts wurden u.a. entwickelt

- ein Bearbeitungsverfahren mit hohem Durchsatz für industriell gefertigte einkristalline HPHT-Diamantmaterialien, die eine hohe NV-Dichte, eine {111}-Orientierung und ein Kostenpotential <10 € haben,
- eine industrialisierbare, miniaturisierte Strahler-Empfängereinheit mit integriertem Diamantplättchen geeignet für empfindliche Magnetfeldmessungen im Nullfeld und als Amperemeter mit einer Kantenlänge von 10×10 mm<sup>2</sup>,
- ein Positionssensor für die Auslese von magnetisch kodierten Maßbändern mit zwei bzw. vier Kanälen,
- dünne CVD-synthetisierte Diamantschichten mit NV-Zentren in nur einer Kristallorientierung,
- Methodenentwicklung zur Stabilisierung von NV-Zentren mit Hilfe von Ladungen.

Eine dieser Anwendungen war die Bestimmung von magnetischen Feldern: Durch die Änderung des Spin-Zustands von NV-Zentren durch ein äußeres Magnetfeld ändert sich deren Fluoreszenzsignal. Damit kann auf die Stärke des äußeren Magnetfelds bzw. in direkter Korrelation eine Stromstärke geschlossen werden. Es wurden drei Demonstratoren für industriell relevante Applikationen (weiter-)entwickelt: Jeweils ein Magnetfeldsensormodul für die Positionssensorik und die Rasterkraftmikroskopie, sowie ein auf einem ähnlichen Funktionsprinzip basierendes Amperemeter.

In der Folge von DiaQuantFab soll kosteneffizientes Diamantmaterial an den Markt gebracht, sowie weitere bilaterale und auch öffentlich geförderte Forschungsprojekte initiiert werden. Man darf gespannt sein, ob die gewonnenen Erkenntnisse über die Chancen und Grenzen der Quantentechnologie zu weiteren neuen Produktideen und -entwicklungen bei den Industriepartnern führen werden.

### Die Partner:

- Balluff GmbH (Neuhausen a.d.F.): Sensor- und Automatisierungsspezialist
- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik (Erfurt): Si-basierte Sensorik & Forschungstransfer
- Diamond Materials GmbH (Freiburg i.BrsG.): Hersteller hochreiner CVD-Diamantscheiben
- nano analytik GmbH (Ilmenau): Hersteller verschiedener Rastersonden-Technologien
- Universität Leipzig (Prof. J. Meijer): FG für Festkörperphysik, Manipulation von Diamant
- Universität Stuttgart (Prof. J. Wrachtrup): 3. Physikalisches Institut, NV-basierte Sensorik
- Universität Ulm (Prof. F. Jelezko): Quantenoptik und Diamantwachstum
- Koordinator für das Projekt war das CiS Forschungsinstitut. ●



**GEFÖRDERT**

Das Verbundprojekt „DiaQuantFab – Standardisierungen in der Herstellung und Verarbeitung von Quantenmaterialien am Beispiel von NV-Farbzentren in Diamant zur Realisierung eines hochpräzisen auf Quanteneffekten beruhenden Amperemeters“ wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Call „Schlüsseltechnologien für die Quantensensorik“ zur Förderung ausgewählt sowie unter dem Förderkennzeichen 13N14984 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.



## INNOVATIONEN AUF BASIS ULTRAVIOLETT EMITTIERENDER LEUCHTDIODEN (UV-LEDs)

### Ergebnisse des BMBF Vorhabens „Advanced UV for Life“

Die mehrjährige Förderung des konsortialen Gesamtvorhabens „Advanced UV for Life“ im Rahmen des BMBF-Programms „Zwanzig20 Partnerschaft für Innovationen“ endete mit dem 31.12.2021. Der interdisziplinäre Zusammenschluss von acht Forschungseinrichtungen und vierzehn Industrieunternehmen entwickelte innovative Anwendungen von UV-Licht entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der Medizin, Wasserbehandlung, Produktionstechnik und Sensorik. Aus diesem Konsortium heraus wurde mit vielseitiger industrieller Unterstützung der Verein „Advanced UV for Life e.V.“ gegründet. Er organisierte im Jahr 2022 die Abschlussveranstaltung des Gesamtvorhabens im Beisein verschiedener Industrievertreter sowie spezifische Workshops. Dabei wurden alle Wertschöpfungsstufen von der Herstellung der UV-

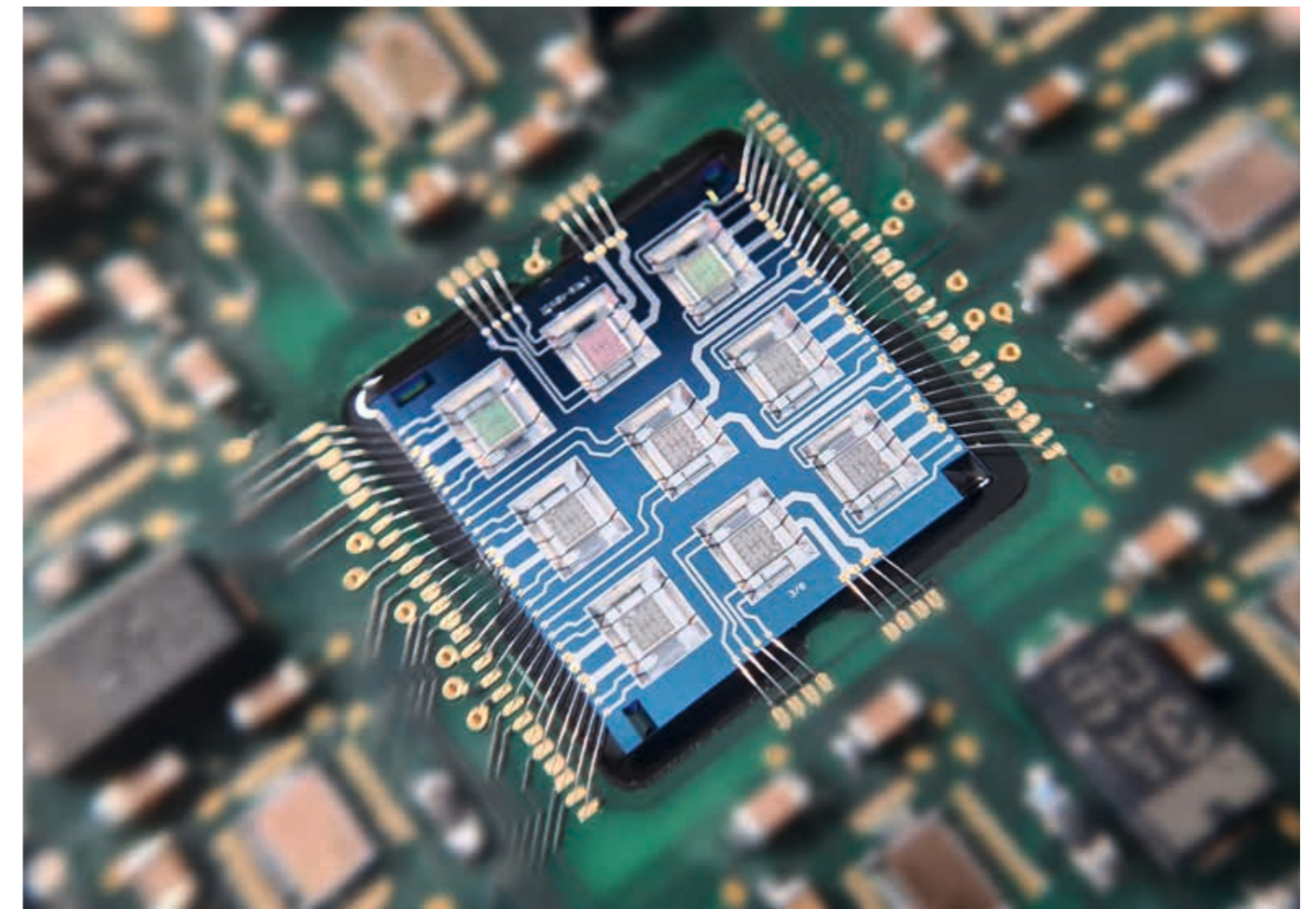
LEDs bis zur Anwendung betrachtet. Insbesondere die Desinfektion von Oberflächen, Luft und Wasser nahm eine wachsende Rolle ein, will man z.B. Corona-Viren oder andere Pathogene wie multiresistente Keime sicher inaktivieren. Der Einsatz von UV-LEDs kann hier zu einer umweltschonenden Alternative ohne den Einsatz zusätzlicher Chemikalien gegenüber den Quecksilber-basierten Lampen. Dies gelingt aber nur, wenn man das komplette „Ökosystem“ des LED-Chips berücksichtigt und optimiert.

Im Konsortium „Advanced UV for Life“ übernahm das CiS Forschungsinstitut die Koordination im Arbeitsfeld Module und Messtechnik. Zusammen mit dem Arbeitsfeld Halbleitertechnologie & Bauelemente rund um die Herstellung des zentralen Bauelements – des UV-LED-Chips – wurde so die Basis gelegt, dass vormontierte oder komplett gehauste LEDs für die verschiedenen Anwendungsfelder zur Verfügung gestellt werden konnten.

Das vorrangige Ziel der Arbeiten am CiS Forschungsinstitut galt zunächst der Suche nach einer geeigneten und produktionstauglichen Montagetechnologie. Diesem Thema widmeten sich die Projekte MONTA-PHOS und UV-MMC. Schnell wurde klar, dass diese Herangehensweise nicht ausreichte. Da beispielsweise kein geeignetes Keramik-Package existierte, das die UV-Strahlung reflektiert und in eine gerichtete Vorwärtsstrahlung wandelt, wurde ein Si-Package konzipiert und technologisch im Projekt MOUNT-LED umgesetzt. Dieses Package wurde erfolgreich in verschiedenen Folgeprojekten für den Aufbau eines Flächenstrahlers mit UVC(233nm)-LEDs eingesetzt. Neben dem Verständnis zum thermischen Management wurde in Projekten MULTI- $\lambda$  oder ENIN die Gestaltung der Strahlcharakteristik einzelner LED-Aufbauten verstanden und für ganz gezielte Anwendungen von der Ausleuchtungsverteilung bis zur Mischung verschiedener Wellenlängen realisiert. Das Projekt OLAV zielte auf eine

noch direktere Beeinflussung der Gesamtlichtleistung. In der nächsten Ebene der Einflussgrößen für die Optimierung und Standardisierung eines Strahlermoduls liegt die elektrische Ansteuer- und Regeltechnik. Sie wurde im Projekt IC4UV näher beleuchtet und ein elektrischer Regelkreis entwickelt, der konstante Lichtverhältnisse über einen für Anwender relevanten Zeitraum garantieren kann.

Die Erfahrungen und Kompetenzen des CiS Forschungsinstitutes auf dem Gebiet der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Messtechnik von UV-LEDs wurden auch im Jahr 2022 weiter ausgebaut und auf verschiedenen Konferenzen präsentiert (z.B. Photonics West 2022). Das CiS Forschungsinstitut kann somit effizient Anfragen zum gezielten Einsatz von UV-LEDs bearbeiten und bei der kundenspezifischen Umsetzung unterstützen.



3x3 Matrix UV-LEDs mit individueller Ansteuerung und Kontrolle im Si-Package



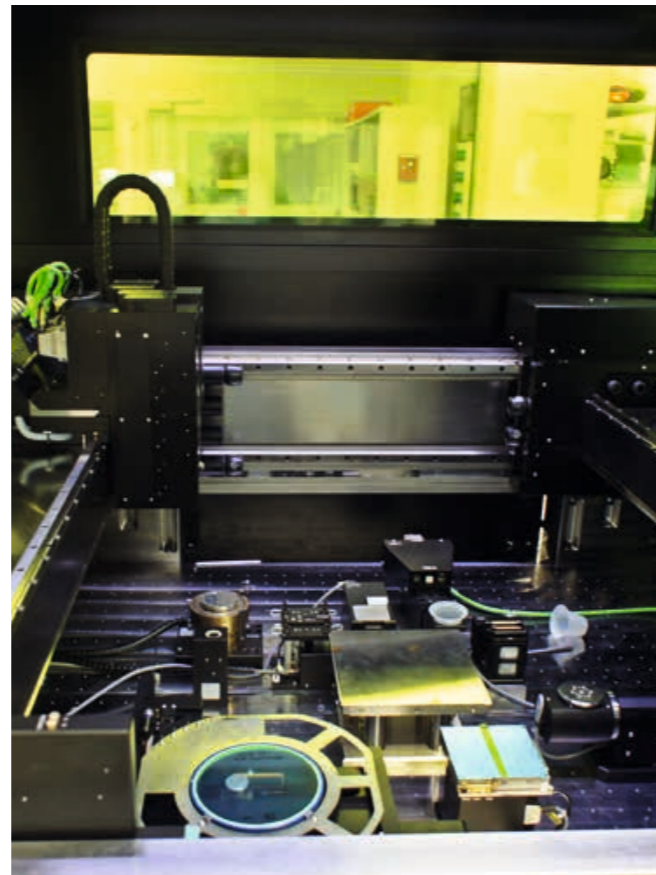
## Entwicklung industrietauglicher, automatisierter Montageprozesse für UV-LEDs – MMC (UV-MMC)

In diesem Projekt wurde eine Mikromontageplattform errichtet, mit dessen Hilfe UV-LEDs schnell, kostengünstig und mit optimiertem Wärmemanagement auf verschiedene Arten und auf die verschiedensten Substrate montiert werden können.

Neben dem klassischen Die-Bondverfahren können verschiedene Flip-Chip-Prozesse wie Laserlöten, Thermosonic-Bonden oder Sintern mit der Plattform durchgeführt werden. Die dazu benötigten Materialien, wie Klebstoff, Lotpaste oder Sinterpaste, können mittels Jetdispenser, Präzisionsdispenser, Umdruckstation oder Direktdispensstation aufgebracht werden. Zum Handling der Bauteile stehen eine Waferausstecheinheit, ein Bestückkopf mit verschiedenen Aufnahmen für unterschiedliche Chiptypen, ein Fingergreifer und eine Flip-Chip-Station zur Verfügung. Die Substrate können mit verschiedenen Substrataufnahmen (beheizbar, mit Vakuumsaugung oder 3D-Substrataufnahme) gehalten werden. Das modulare Systemkonzept ermöglicht die Durchführung der wichtigsten AVT-Montageschritte in einem Gerät.

Mit dieser Investition wurde die Basis für die Entwicklung technologischer Lösungen zur vollautomatischen Montage von anwendungsspezifischen UV-LED-Modulen in unterschiedlicher Seriengröße und Ausführungsformen, sei es als Single-LED-Quelle oder Flächenstrahler erweitert.

Erfolgreich wurden die Prozesse so optimiert, dass große Stückzahlen mit hoher Präzision und Geschwindigkeit bearbeitet und die Prozesse somit in die Industrie überführt werden können.



Montageplattform mit unterschiedlichen Technologiemodulen

## Entwicklung einer Technologieplattform für Hochleistungs-UV-LED-Arrays – PHOS (MONTA-PHOS)

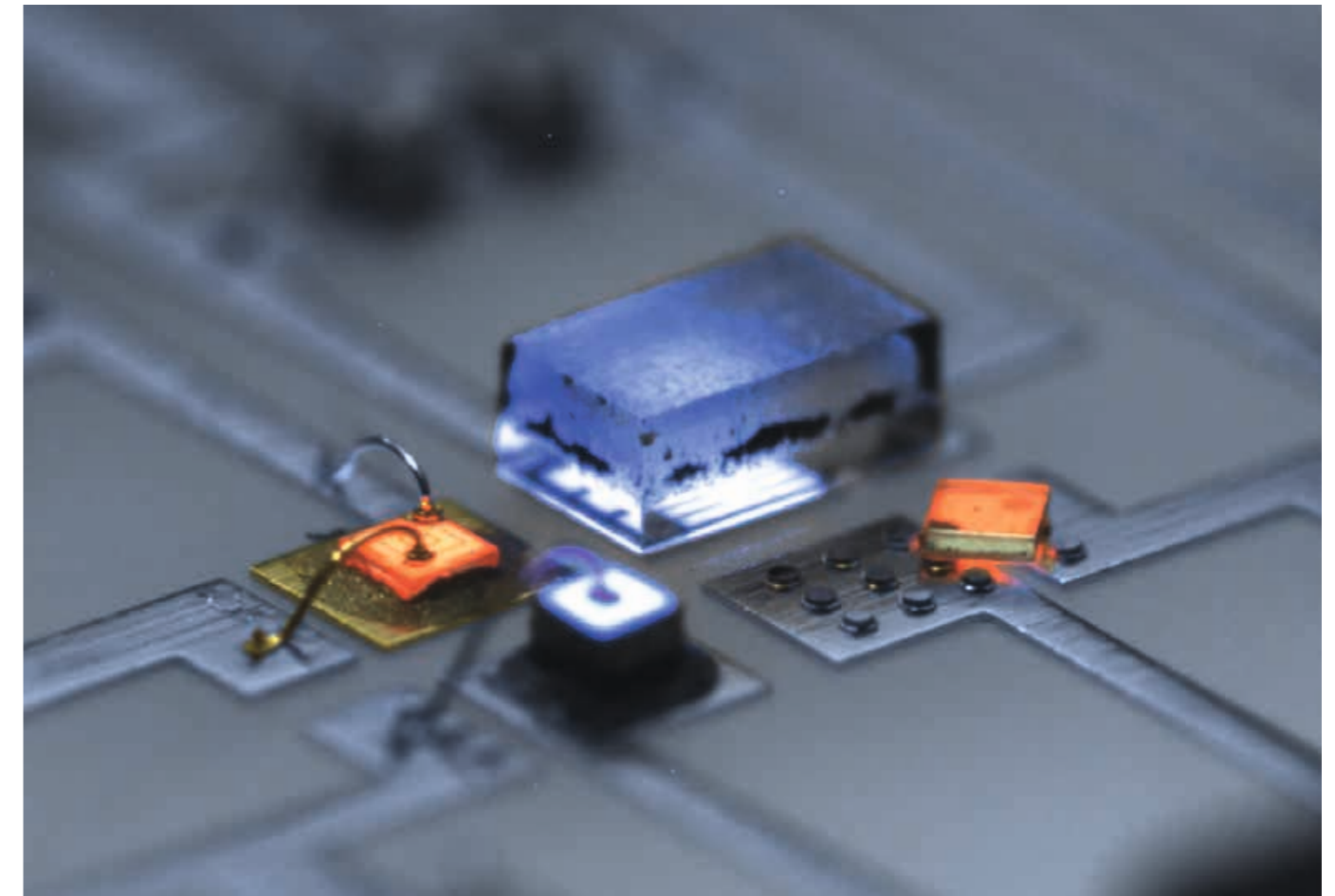
In diesem Projekt wurde das thermische Management der UV-LED-Aufbauten sowohl hinsichtlich der Montage-technologie als auch des Submountmaterials näher beleuchtet. Zum einen wurden die Ausgangsmaterialien beurteilt und zahlreiche Optimierungen und Verbesserungen aufgezeigt. Betrachtet wurden AlN-Keramiken mit verbesserten Wärmeleitkoeffizienten und Silizium-Submounts. Der Kosten-Nutzen-Effekt muss in jedem Fall abgewogen werden. Zum anderen hat die

Fügeverbindung der LED zum Substrat einen entscheidenden Einfluss auf die Ableitung der Verlustwärme auf den eigentlichen Wärmespreizer.

Deshalb wurden verschiedene Flip-Chip-Technologien zur LED-Montage, ausgehend von einer reinen manuellen und zeitaufwendigen Fügung hin zu einer automatentauglichen Montage entwickelt. Vor allem das Flip-Chip-Löten und das Flip-Chip-Thermosonic-

Bonden wurden so optimiert, dass beide Verfahren für hohe Stückzahlen geeignet sind. Die Prozessparameter wurden definiert.

Technologiebeschreibungen sowie Fertigungsunterlagen wurden so aufbereitet, dass diese beiden Technologien transferfähig sind.



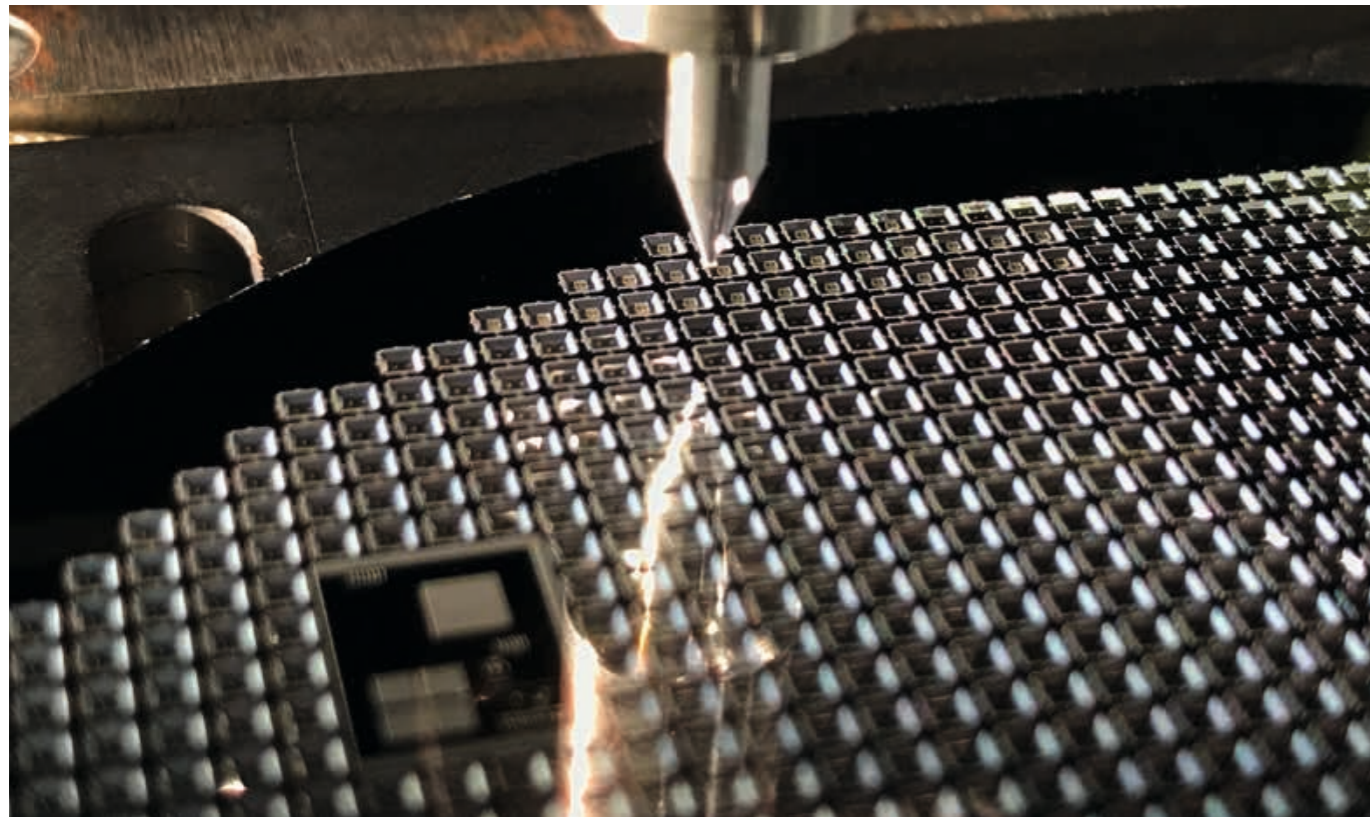
FC-gebundene UV-LEDs für Flächenstrahler

## Entwicklung einer optimierten Submount-Technologie für UV-LEDs (MOUNT-LED)

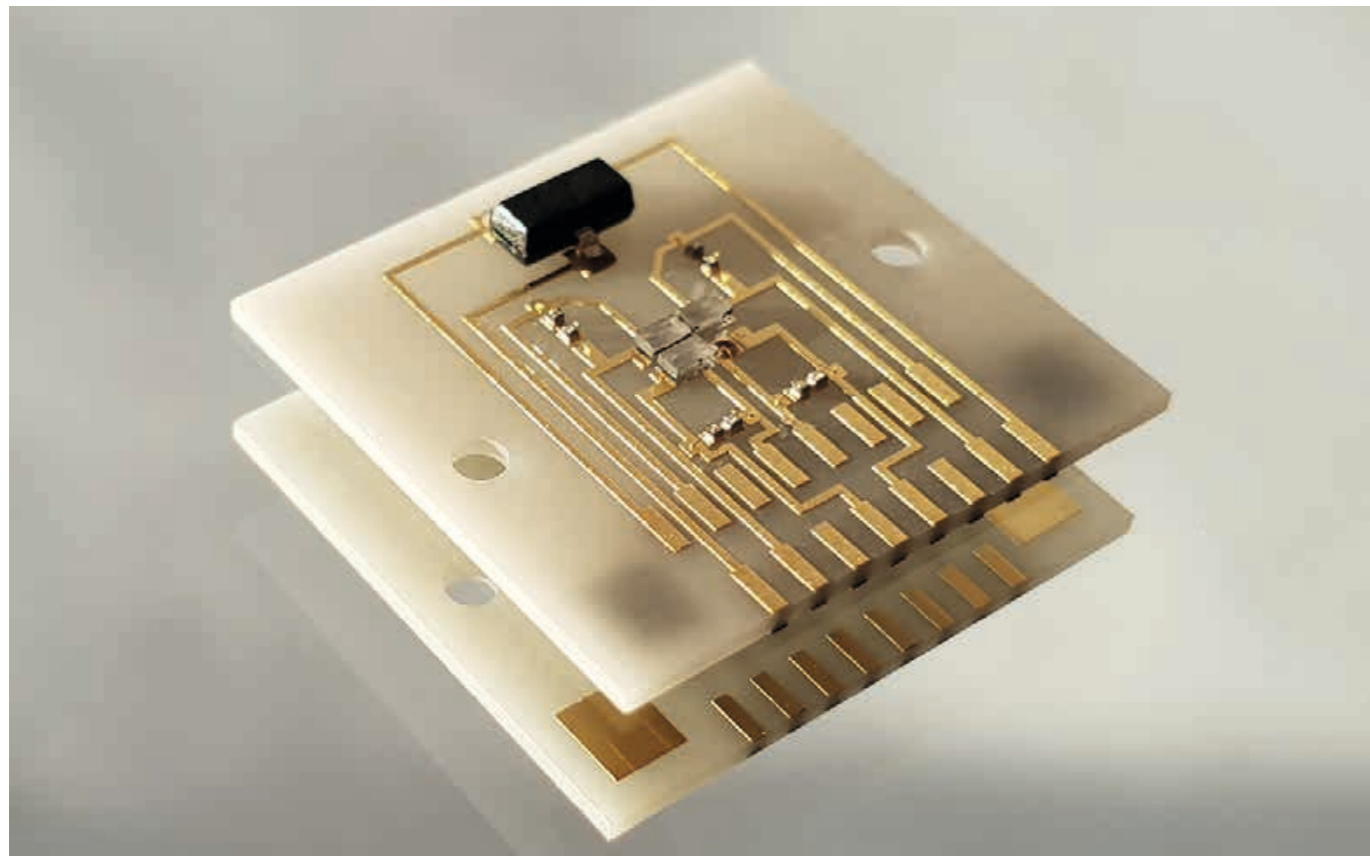
Im Fokus des Verbundvorhabens MOUNT-LED stand die Entwicklung eines multifunktionalen Submounts auf Waferebene.

Aus den theoretischen Vorbetrachtungen entstand ein Package-Konzept, das optimal an die Anforderungen der UV-LED-Chips angepasst ist. Dabei wurde anhand von drei bzw. vier Ausbaustufen vorgegangen. Es wurde ein Silizium-basiertes Package entwickelt, das bis zur LED-Montage Wafer-Level-tauglich ist und verschiedene funktionelle Elemente enthält. Dazu gehören der Reflektor, der für UVB und UVC geeig-

net ist, die monolithisch integrierte Schutzdiode, die Durchkontaktierung, wodurch das Package SMD-fähig wird, und die strahlformende Optik. Im Demonstrator 4 finden sich die wesentlichen Eigenschaften, die ein UV-LED-Package nach einer Kundenumfrage von UVphotonics mitbringen sollte. Es bündelt durch die Integration eines Reflektors und einer Optik die Vorwärtsleistung. Es ist SMD-fähig und bietet für den Anwender einen integrierten ESD-Schutz. Entsprechende Alterungsuntersuchungen bis 1000 h belegen den vergleichbaren thermischen Widerstand zum AlN-Package.



FC-Montagetechnologie auf unterschiedlichen Substraten auf Waferlevel



Komplexe Strahlerplattform im Projekt Multi-λ

## Entwicklung einer Technologieplattform für Multi-λ-UV-LED-Strahler (MULTI-λ)

Es wurden verschiedene UV-taugliche Optiken entworfen und mittels Optiksimation optimiert (Herstellung mittels Sol-Gel-Verfahren). Die geforderte Lichtdurchmischung ist mit einem Reflektor allein nicht erreichbar. Das nachgeschaltete Mikrolinsenarray aus Quarzglas durchmischt die verschiedenen Wellenlängen bei nur geringer Erhöhung der Divergenz.

Als zusätzliches Ergebnis wurde die Möglichkeit geschaffen, UV-LEDs umfangreich zu charakterisieren. Messplätze wurden aufgebaut, um die optische Ausgangsleistung sowie die spektrale Verteilung in Abhängigkeit von LED-Strom und Temperatur zu erfassen. Darüber hinaus kann die Abstrahlcharakteristik winkelabhängig erfasst werden.

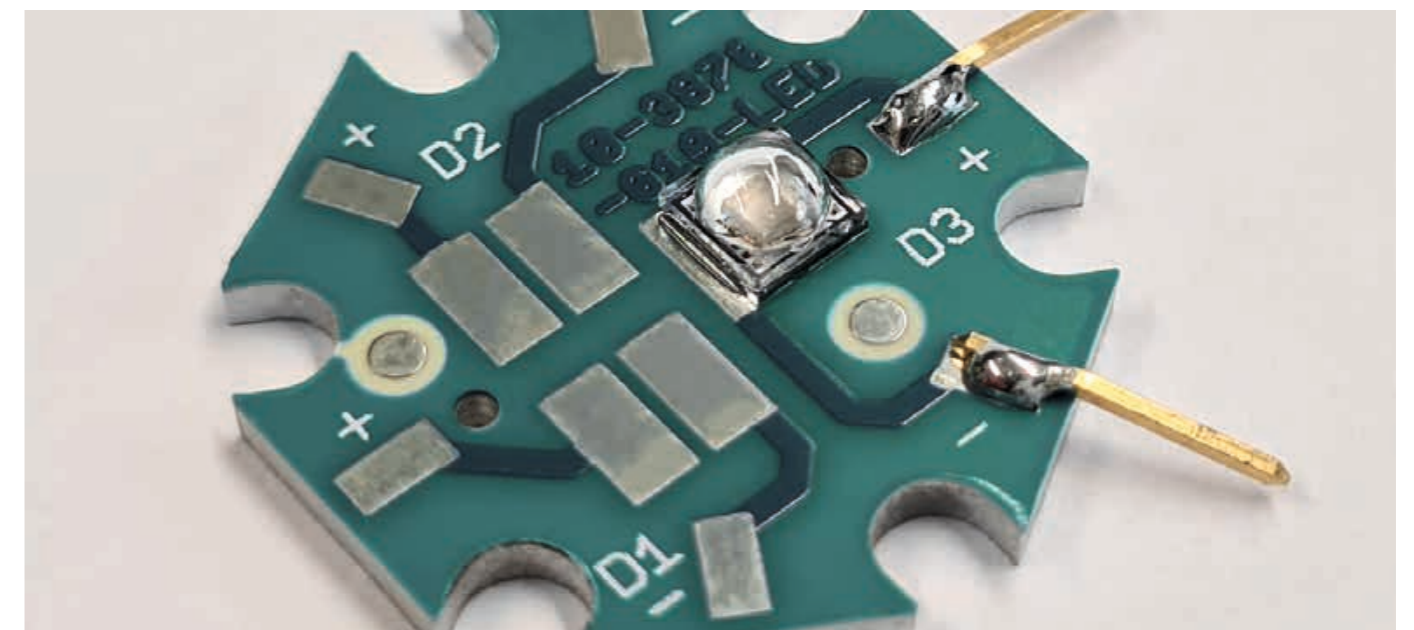
## Entwicklung optimierter Vergusstechnologien für UV-LEDs (OLAV)

Hier wurde der Ansatz einer deutlich verbesserten Lichtauskopplung verfolgt, wenn die UV-LED mit einem UV-transparenten und UV-stabilen Material umhüllt oder vergossen wird. Die grundsätzlich konvexe Oberfläche des Vergusses ist die zweite Voraussetzung für eine verbesserte Lichtauskopplung, da dann die Reflexion an der Grenzfläche Verguss zu Luft minimiert wird.

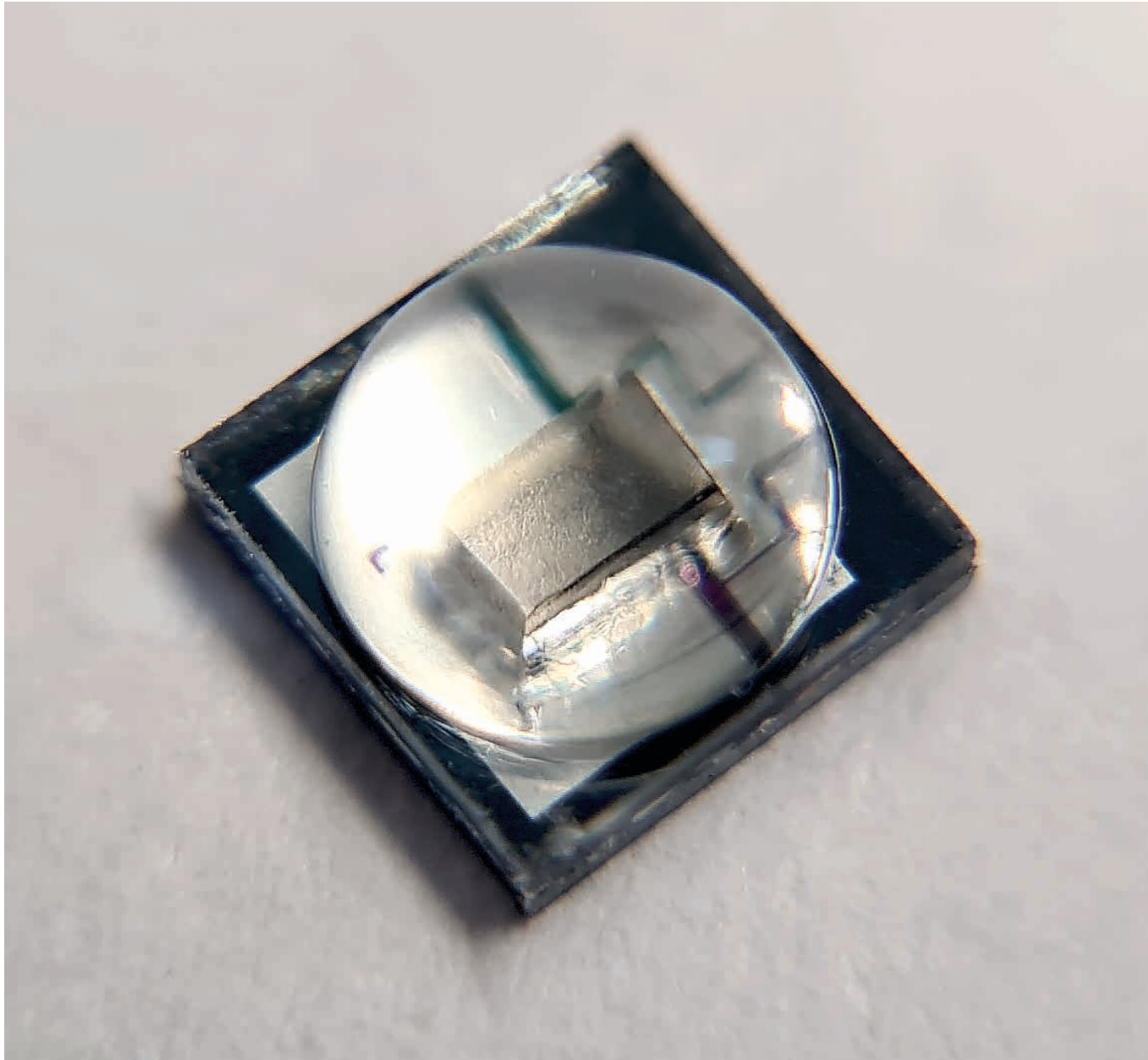
tisierbaren Prozess wiederum, war die Aufgabe des CiS Forschungsinstituts.

Die Vergussmaterialien wurden von den Projektpartnern in mehreren Iterationsschritten optimiert. Die Überführung einer Abformtechnologie, die blasen- und spaltfrei den LED-Chip umhüllt, in einen automa-

Die enge Zusammenarbeit ermöglichte die Optimierung des Vergussmaterials hin zu günstigen Materialeigenschaften bezüglich einer Automatisierung der Prozessführung. Mit dem final verwendeten Material konnte die Vergusstechnologie in einzelne Prozessschritte unterteilt werden, dass eine Automatisierung umsetzbar wurde. Die Lichtauskopplung wurde bis zu einem Faktor von 1,6fach verbessert. Mit dem Einsatz von speziellen Mikrolinsen wurde die Automatisierung des Prozesses deutlich einfacher.



UV-LED Verguss zur Brechzahlanpassung auf Al-Leiterkarte



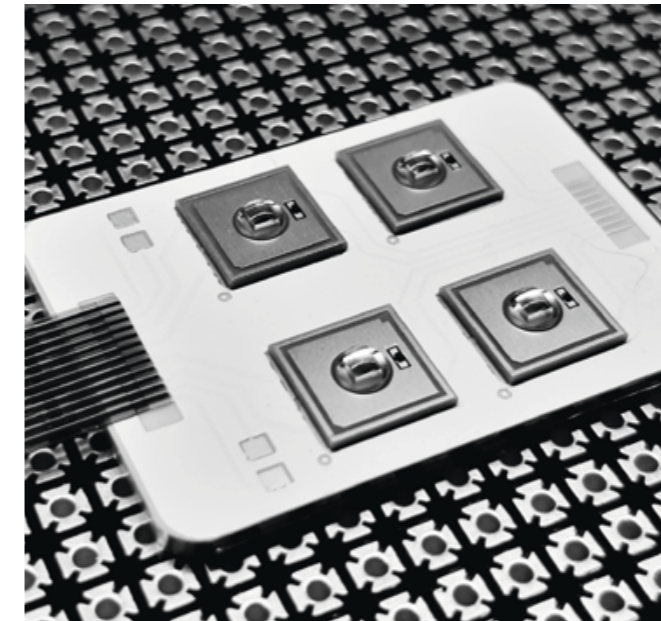
Demonstrator UV-LED mit Verguss auf Sub-Mount zur Messung der Abstrahlcharakteristik

## Entwicklung eines Ansteuer-ICs für UV-LED-Arrays mit integrierter Optik (IC4UV)

In diesem Projekt wurde die Schaltungselektronik zur Ansteuerung und Regelung eines LED-Arrays entworfen und auch beim Projektpartner realisiert. Die Siliziumtechnologie, welche monolithisch nicht nur in einer Ebene Sensoren und Strukturen herstellen kann, wurde für ein 3 x 3 LED-Array erarbeitet. Dabei wurde auf Ergebnisse und Teiltechnologien aus den Projekten

ENIN und MOUNT-LED aufgesetzt. Die komplexe und umfangreiche Messmethodik zum Test der Einzelteile wie ASIC oder Optik sowie des Gesamtsystems in Form von Demonstratoren wurde entwickelt und der Nutzen für ein effektives und langzeitstabiles Strahlermodul nachgewiesen. Dieses Strahlermodul erforderte die gesonderte Entwicklung eines Mikrolinsenarrays zur

Streuung und gleichmäßigen Verteilung des UV-Lichtes. Die optische Freiform wurde passgenau mit Halterungselementen im Si-Submount erweitert und die gewünschte Funktionalität im finalen Aufbau nachgewiesen.



Das CiS Forschungsinstitut verantwortete im Konsortium acht Einzelprojekte, die sich auf innovative Entwicklungen spezifischer Montagetechnologien konzentrierten. Bei zwei weiteren Projekten nahm das CiS Forschungsinstitut als Kooperationspartner teil.

Wir danken unseren Projektpartnern:

- Analytik Jena GmbH
- eesy-ic GmbH
- Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik
- Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer IOSB, IOSB-AST
- Universitätsklinikum Jena
- JenCAPS Technology GmbH
- OSA Opto Light GmbH
- Osram Opto Semiconductors GmbH
- SAVUNA GmbH
- SCHOTT AG
- sglux SolGel Technologies GmbH
- Technische Universität Berlin
- UVphotonics NT GmbH

für die konstruktive Zusammenarbeit, die entscheidend für den erfolgreichen Abschluss der Projekte war.

Bis zum Abschluss des Projektes arbeiteten mehr als 50 Partner aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen im Konsortium „Advanced UV for Life“. Begleitet wurde das Konsortium von einem Beirat, der mit vom BMBF berufenen Experten besetzt war. Dieser hatte die Aufgabe, das Konsortium in regelmäßigen Sitzungen zu beraten und Förderempfehlungen zu F&E-Vorhaben an den Zuwendungsgeber auszusprechen. ●



**GEFÖRDERT**

Die in diesem Beitrag zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter den nachstehenden Förderkennzeichen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

- **MOUNT-LED:** Entwicklung einer optimierten Submount-Technologie für UV-LEDs (Förderkennzeichen 03ZZ0129A)
- **OLAV:** Entwicklung optimierter Vergusstechnologien für UV-LEDs (Förderkennzeichen 03ZZ0144A)
- **IC4UV:** Entwicklung eines Ansteuer-ICs für UV-LED-Arrays mit integrierter Optik (Förderkennzeichen 03ZZ0137A)
- **Multi-λ:** Entwicklung einer Technologieplattform für Multi-λ-UV-LED-Strahler (Förderkennzeichen 03ZZ01214A)
- **PHOS:** Entwicklung einer Technologieplattform für Hochleistungs-UV-LED-Arrays (Förderkennzeichen 03ZZ0114A)
- **ENiN:** Entwicklung eines UV-LED-Absorptionssensors zur Bestimmung von Nukleinsäuregehalt und Reinheit (Förderkennzeichen 03ZZ0126B)
- **ValEndUV:** Verschattungsfreie UV-Beleuchtung (Teilvorhaben aus Verbundvorhaben: Validierte Aufbereitung thermolabiler Endoskope (Kategorie semikritisch A) mit UVLEDs (Förderkennzeichen 03ZZ0147B)
- **Invest-Projekt: MMC (UV-MMC):** Entwicklung industrietauglicher, automatisierter Montageprozesse für UV-LEDs

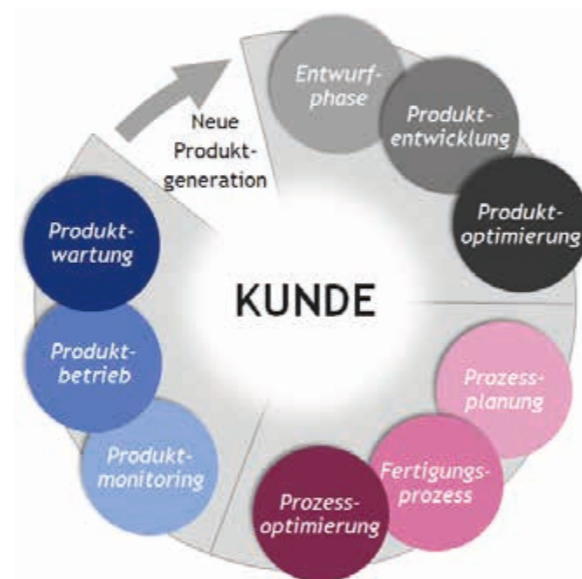


# VIRTUELLE PRODUKT- UND PROZESSOPTIMIERUNG – DAS VIRTUELLE LEBEN DER MASCHINEN

Das CiS Forschungsinstitut hat sich an dem von 2019 bis 2022 vom BMBF geförderten innovativen regionalen Wachstumskern „vipo - Virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung“ beteiligt. Projektausgangspunkt war die Erkenntnis, dass einerseits der herkömmliche Trial & Error-Prozess zur Produkt- und Prozessoptimierung in den Rechner verlegt werden muss und andererseits die Digitalisierung des Produktlebenszyklus für zukünftige Wettbewerbsfähigkeit entscheidend ist.

Das Thüringer Projektkonsortium aus den KMU-Partnern 3D Schilling, Alpha Analytics, Andato, Dynardo, LightTrans und ORISA sowie den wissenschaftlichen Partnern Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Materialforschungs- und -Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar und CiS Forschungsinstitut hatte sich die Bereitstellung von Dienstleistungen und Softwarewerkzeugen zur virtuellen Produkt- und Prozessoptimierung sowie zur prädik-

tiven Wartung entlang der Wertschöpfungskette im Produktlebenszyklus zum Ziel gestellt.



Projektstruktur im Produktlebenszyklus

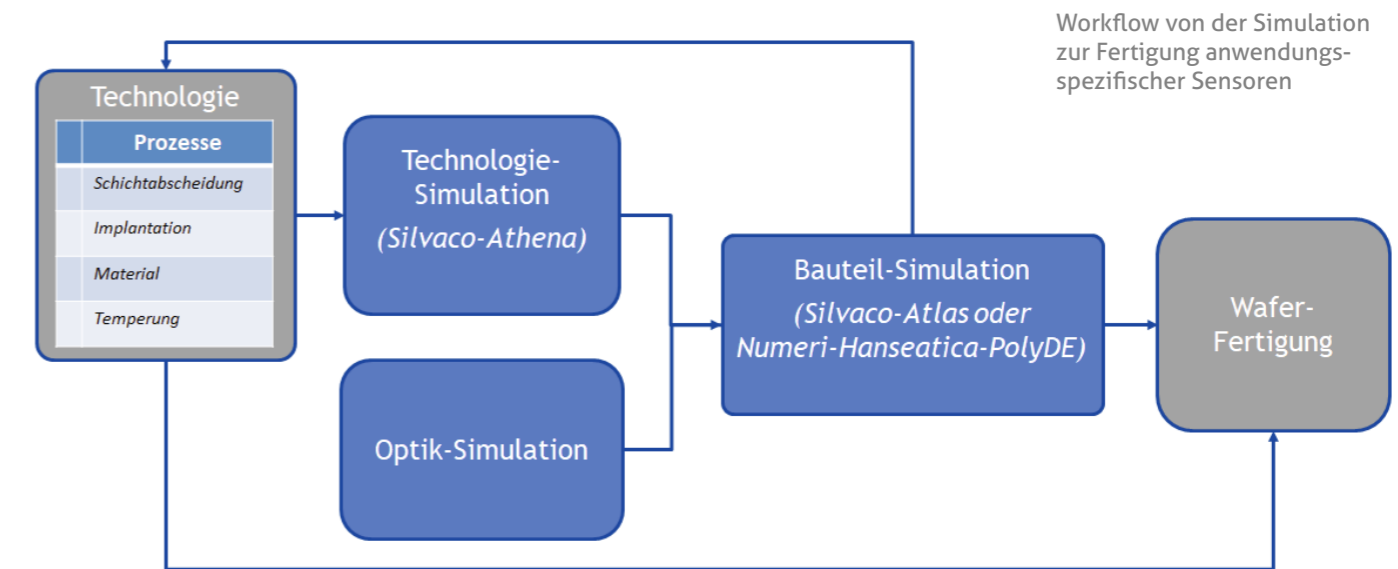
Mittels neuartiger Feldzusammenhangsmodelle sollen neue Potentiale in der Produkt- und Prozessoptimierung sowie mit Hilfe digitaler Zwillinge in der prädiktiven Wartung erschlossen werden. Die im Rahmen des Wachstumskerns vipo geförderten drei Verbundprojekte können den grundlegenden Prozessen Entwurf, Fertigung und Betrieb im Produktlebenszyklus zugeordnet werden.

Das CiS Forschungsinstitut war an Teilprojekt 1 „Produktoptimierung“ mit Schwerpunkt Auslegung und Optimierung von Lasermaterialbearbeitungsanlagen, sowie an Teilprojekt 3 „Digitaler Zwilling“ mit Schwerpunkt Produktlebenszyklus auf der Basis von Sensornetzwerken und Zusammenhangsmodellen mit Forschungsaktivitäten zur Integration von Sensoren und Sensornetzwerken beteiligt. Teilprojekt 2 „Prozessoptimierung“ mit Schwerpunkt Optimierung der additiven Fertigung auslegungsrelevanter Bauteile in Kunststoff beschäftigte sich nicht mit Mikrosensorik.

Im Teilprojekt „Produktoptimierung“ wurde ein voll-automatisierter Workflow für eine optisch-thermisch-mechanisch gekoppelte Analyse in Ansys OptiSLang entwickelt.

Zwischen einer äußeren Schleife mit mechanischer und einer inneren Schleife mit optischer Simulation erfolgt einerseits die automatisierte Übergabe der mechanischen Ergebnisse und in der optischen Simulation die automatisierte Übergabe der Fokusposition an die Pulsanalyse. Damit wird die an die konkreten Bedingungen angepasste Fokussteuerung eines Bearbeitungslasers ermöglicht.

Das CiS Forschungsinstitut davon einen Workflow abgeleitet, der die Entwicklung von der Simulation zur Fertigung anwendungsspezifischer Sensoren und deren Einsatz in einem Demonstrator umfasst.



Workflow von der Simulation zur Fertigung anwendungsspezifischer Sensoren

Die Darstellung zeigt die Kopplung von Tools für optische, Halbleitertechnologie- und Bauelementesimulation und optische Sensoren als Ergebnisse des Entwurfsprozesses. Vor allem Untersuchungen

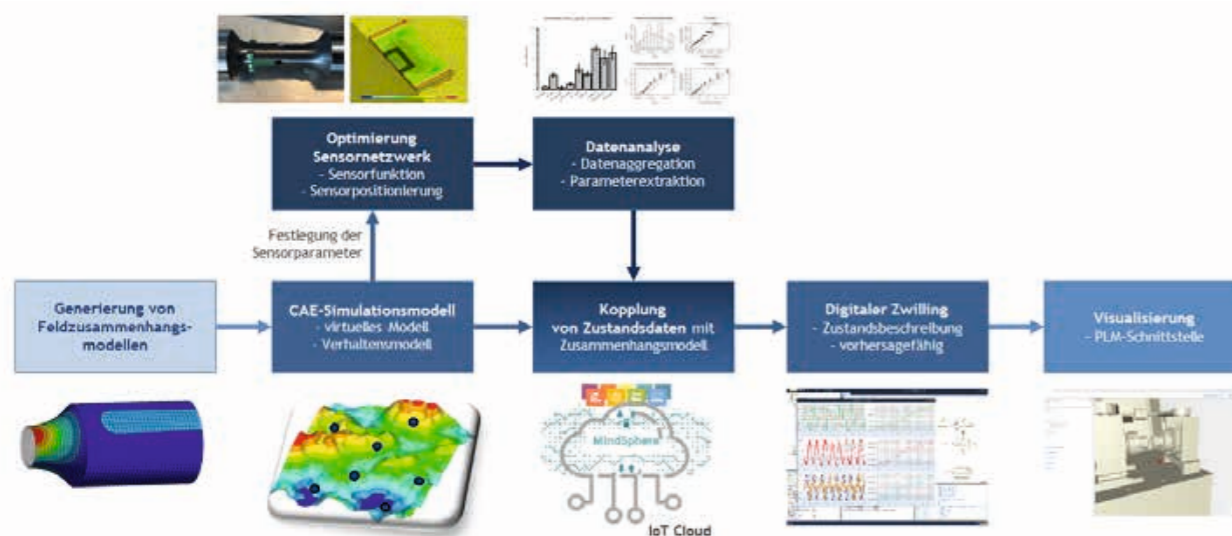
zur Kopplung von mechanischen, thermischen, optischen und halbleiterphysikalischen Simulationstools waren Forschungsschwerpunkt. (vgl. Abbildung folgende Seite)



Anwendungsspezifische Sensoren am Demonstrator

Ein weiteres Projektergebnis waren in die Optik der Lasermaterialbearbeitungsanlage integrierbare Sensormodule zur Temperatur- und Streulichtmessung, mit denen an unterschiedlichen Positionen Messdaten erfasst und analysiert werden konnten.

Im Teilprojekt 3 „Digitaler Zwilling“ lag der Forschungsschwerpunkt auf der Entwicklung von Feldzusammenhangsmodellen für die Beschreibung vorhersagefähiger digitaler Zwillinge. An einem Demonstrator (Umlaufbiegeprüfmaschine zur Ermittlung der Materiallebensdauer von Wellen) wurde ein Workflow zur Generierung eines Digitalen Zwillinges von rotierenden Maschinen entwickelt.



Workflow des Demonstrators „Umlaufbiegeprüfmaschine“

Durch verschiedene Tools erfolgt auf der Realitätsebene die Datenerfassung und -bewertung zur Beschreibung des aktuellen Zustandes der Maschine. Auf der darunter liegenden Simulationsebene erfolgen die Berechnung des erwarteten Zustandes mit einem kalibrierten Feldzusammenhangsmodell und der Vergleich mit dem Schadens-

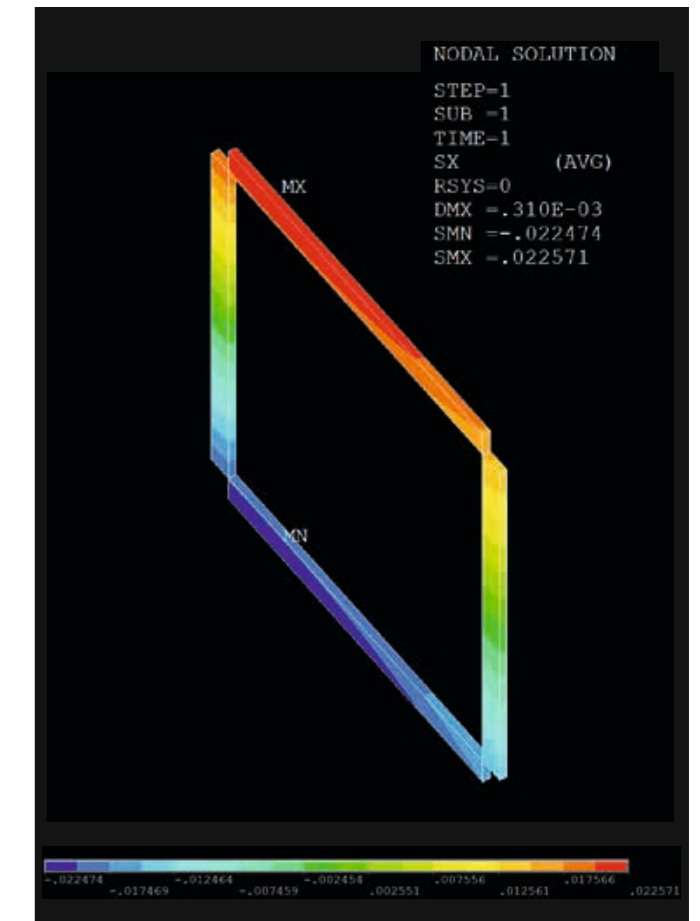
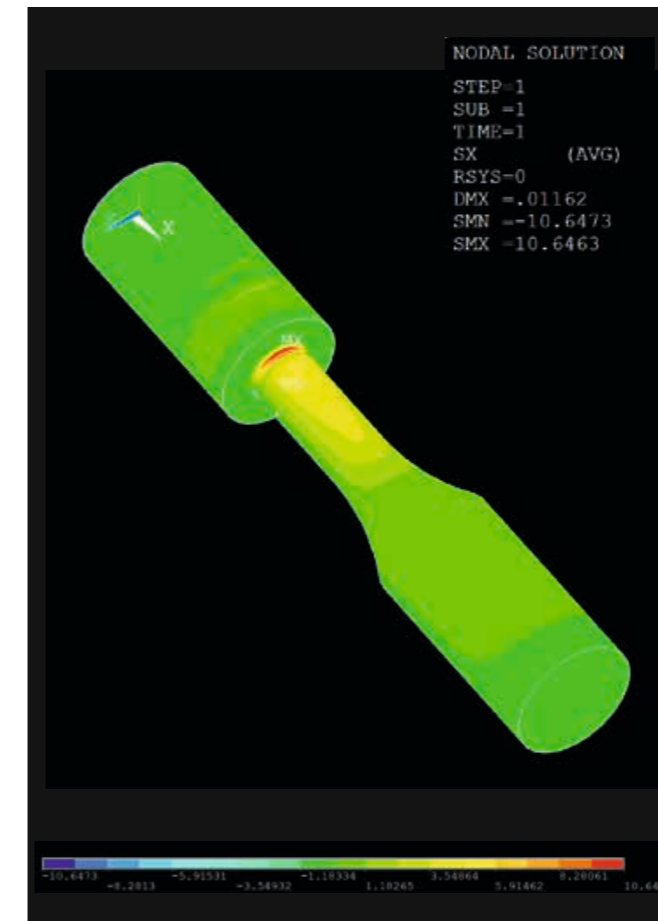
modell. Die Kopplung der Zustandsdaten mit den Zusammenhangsmodellen und das Prozessmanagement erfolgen mit MindSphere auf einer weit verbreiteten IoT-Plattform. Als Ergebnis liegt mit dem Digitalen Zwilling eine vorhersagefähige Zustandsbeschreibung der Maschine vor, die über eine PLM-Schnittstelle mittels Konfigurator visualisiert wird.

Wesentliche Untersuchungen am CiS Forschungsinstitut befassten sich mit der Integration von Sensoren und Sensormodellen in Maschinenbestandteile und deren Modelle.

Hier standen die Messungen von mechanischen Spannungen und die Sensordatenübertragung an rotieren-

den Systemen, sowie ein Workflow für die Generation von gekoppelten Sensormodellen und Extraktion von Modellparametern mit Kopplung halbleiterphysikalischer und mechanischer Berechnungen im Zentrum der Forschung. Die Sensorik dient der Erfassung der Belastung und Beanspruchung der Bauteile wie Welle und Lager, der Überwachung der Temperatur, sowie Vorspannkraft und Drehzahl.

In den Darstellungen sind als Simulationsergebnis die Spannungsfelder der belasteten Probe und der Widerstände der Messbrücke dargestellt. Die maximale Spannung liegt im Abstich vor. Die Position des Sensors kann variiert werden und lässt Aussagen über die Maximalspannungen zu.



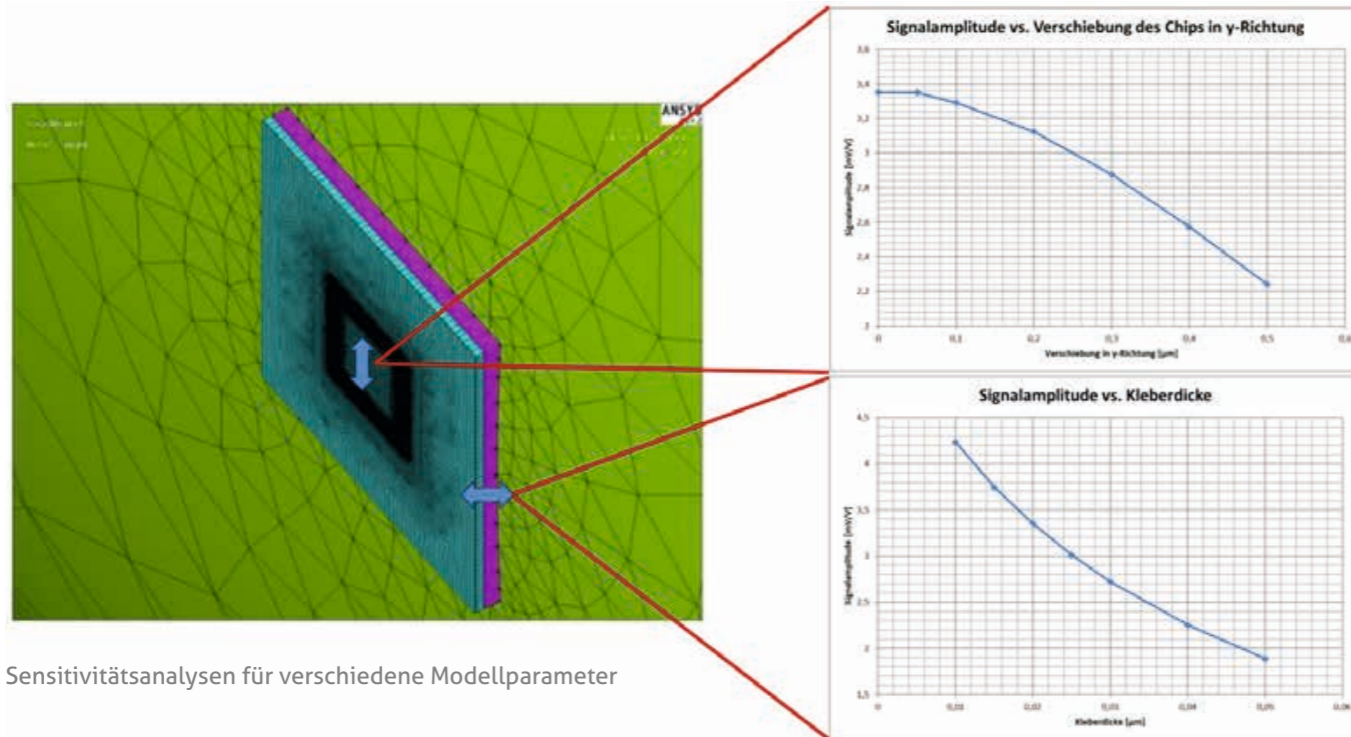
links - Spannungsfeld der belasteten Probe; rechts - Spannungsfeld am Sensor

Die Darstellungen zeigen die Modellparameter Verschiebung in y-Richtung und Kleberdicke. Die Verschiebung wird hier ausschließlich in y-Richtung realisiert und entspricht damit auch einer Kleberkeiligkeit.

Weitere variierbare Modellparameter sind:

- Ausrichtung des Chips,
- Klebermaterial (E-Modul, Ausdehnungskoeffizient, Aushärtetemperatur) und
- Betriebstemperatur.

Aus der Analyse des Ablaufs der Modellbildung für Sensoren zur Messung mechanischer Spannungen mit piezoresistiven Widerstandsmessbrücken und der Integration in umfassendere Modelle ist der folgende Workflow für die Generation von gekoppelten Sensormodellen mit Kopplung halbleiterphysikalischer und mechanischer Berechnungen entstanden.

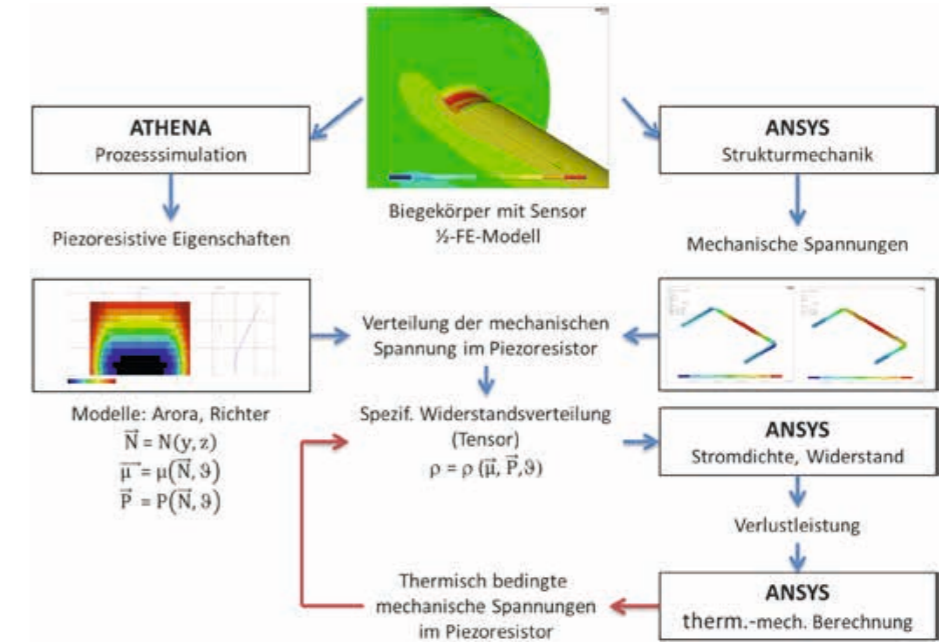


Sensitivitätsanalysen für verschiedene Modellparameter

Ausgehend von einem aus dem Sensorlayout entwickelten geometrischen Modell des Sensors werden einerseits mit dem FEM-Simulationstool „ANSYS Multiphysics“ die Verteilungen der mechanischen Spannungen sowohl für den zu analysierenden Maschinenbereich als auch die piezoresistiven Widerstände ermittelt. Für alle Teilwiderstände stehen damit Spannungswerte der Widerstandssegmente in den beiden relevanten Haupttrichtungen vor. Auf der anderen Seite erfolgt mit dem halbleiterphysikalischen Simulationstool „Athena“ mit einer Prozesssimulation die Bestimmung der piezoresistiven Eigenschaften der Widerstandsgebiete. Hier fließen das von der Dotierungs-

konzentration des Siliziums abhängige Ladungsträgerbeweglichkeitsmodell nach Arora sowie das Modell zur Beschreibung der piezoresistiven Eigenschaften in Abhängigkeit von der mechanischen Spannung, der Ladungsträgerbeweglichkeit und der Dotierungskonzentration nach Richter ein. Ergebnis ist die Verteilung des spezifischen Widerstands in den Teilwiderständen. Hier liegt ein tensorieller Zusammenhang vor. Über die Bestimmung von Stromdichte und Verlustleistung und thermisch-mechanische Analysen mit dem FEM-Simulationstool „ANSYS Multiphysics“ können Einflüsse von thermisch bedingten mechanischen Spannungen im Piezoresistor untersucht werden.

Workflow für die Generation und Integration von gekoppelten Sensormodellen und Extraktion von Modellparametern mit Kopplung halbleiterphysikalischer und mechanischer Berechnungen



Im Rahmen von Kooperationen mit Projektpartnern erfolgten eingehende Analysen eines umfangreichen Sensordatensatzes (BigData). Hier sollte die Korrelation von Driftursachen mit Mustern in den Messungen untersucht werden, um davon ausgehend Fehlereinflüsse zu minimieren. Bei der Analyse der Korrelationsfunktionen verschiedener Parameter fiel auf, dass es sinnvoll ist, für Chipmesswerte Verteilungsparameter pro Wafer zu betrachten. Diese zeigen jeweils charakteristische Einflussfaktoren.

verschiedenen Fertigungslosen können bisher unerkannte kausale Zusammenhänge zwischen Sensorverhalten und einzelnen Fertigungsparametern identifiziert werden. Die Korrelationen von zwei auf Chiplevel gemessenen Parametern für jeweils eine Fertigungscharge zeigten gruppenweise deutlich unterschiedliche Verteilungen.

Aus Verläufen des beispielhaften Parameters Temperaturkoeffizient des Brückennullpunktes über ver-

Mit der erfolgreichen Bearbeitung der Projekte konnten neue Kompetenzen bei der Modellgenerierung und der Entwicklung von Modellierungsworkflows sowie bei der Erkennung von Mustern in großen Messdatensätzen gewonnen werden. ●



GEFÖRDERT

Die diesem Beitrag zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter den nachstehenden Förderkennzeichen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

- **KOptHL:** Entwicklung einer Kopplung von optischer und halbleiterphysikalischer Simulationsumgebung am Beispiel eines Sensornetzwerkes für die Strahlangefassung in Lasermaterialbearbeitungsanlagen (Förderkennzeichen: 03WKDE01C)
- **MESNW:** Methoden für optimalen Entwurf von Sensornetzwerken und Integration in Zusammenhangsmodelle (Förderkennzeichen: 03WKDE03F)



## SENSOREN AUS SILIZIUM-KERAMIK-VERBÜNDEN

### Motivation

Im Wachstumskern HIPS (High Performance Sensors) arbeiteten zwölf Thüringer Industrieunternehmen und sieben Forschungseinrichtungen innerhalb von drei Verbundprojekten zusammen, um die patentierte SiCer®-Technologie, eine einzigartige Verbindung von Siliziumtechnologie (Si) mit keramischer Mehrlagentechnik (Cer), für den Einsatz in innovativen Sensorkonzepten zu nutzen.

Die dreidimensionale Mehrlagenstruktur aus Silizium und Keramik (SiCer®) enthält neben elektrischen und elektronischen Funktionen zur Sensorinformationsgewinnung und -verarbeitung auch systemtechnologische Elemente der Fluidik und Sensorik. Damit wird eine hohe Miniaturisierung, verbunden mit einer Multisensorik möglich. Insgesamt können verschiedene Größen gemessen werden wie zum Beispiel Temperatur, Druck, CO<sub>2</sub>-Konzentration, Feuchte, Widerstand und Intensität.

Die langzeitstabilen und präzise messenden Sensoren

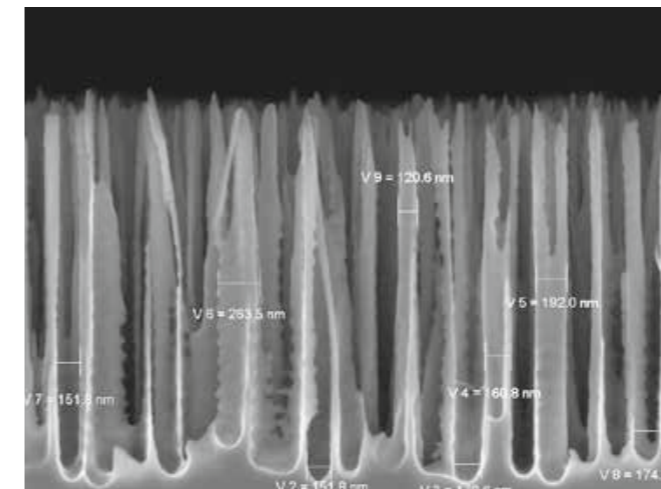
sind gegenüber hohen Temperaturen, Drücken, starken mechanischen Beanspruchungen und extremen pH-Werten robust, besser als übliche Siliziumsensoren und können mit elektronischen Bauteilen kombiniert werden. Vor allen in der Industrie 4.0 und der damit verbundenen Digitalisierung von Industrieprozessen, weisen diese Sensoren ein hohes Potenzial auf, sind ressourceneffizient und reduzieren Treibhausgase bereits in der Herstellung.

Neben der Entwicklung der technologischen Plattform wird die Anwendung als Flüssigkeitssensor und Gassensor in drei Verbundprojekten erarbeitet. Das CiS Forschungsinstitut koordinierte die Entwicklung von SiCer Gassensoren.

### Technologie

Im Rahmen des Wachstumskernes HIPS wurden innerhalb eines Verbundprojektes Technologien für die Prozessierung von MEMS Sensoren in Kombination mit Keramik-Substraten sowie die Erarbeitung von Modu-

len für die Entwicklung von Sensorkomponenten erarbeitet. Hierbei konzentrierte sich das CiS Forschungsinstitut auf die Erforschung der Si-Prozesse und die Prozesse der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) für hochintegrierte Elektroniksysteme mit erweiterter Sensorfunktionalität. Schwerpunkte waren hier die Entwicklung und Qualifizierung von SiCer-kompatiblen RIE/DRIE Strukturierungsverfahren und Kontaktmetallschichtsystemen, die Entwicklung von Waferlevel-Löt- und Bondprozessen, Vereinzelungstechnologien sowie Packaging-Prozessen inklusive der Qualifizierung durch Alterung und Zuverlässigkeitsuntersuchungen.



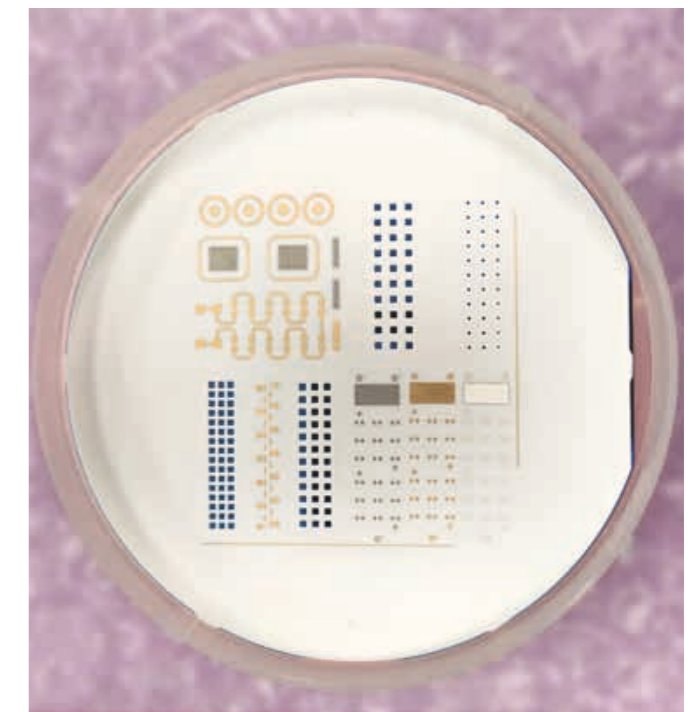
REM-Aufnahme der Black Silicon Struktur

Im Ergebnis stehen nun RIE/DRIE-Prozesse zur Verfügung, welche es erlauben, durch Erzeugung von sogenannten Black-Silicon-Strukturen die Eigenschaften des Silizium-Keramik-Interfaces zu optimieren oder die Transmissionseigenschaften optischer (IR-Wellenlängenbereich) Fenster zu verbessern.

Besonders komplex gestaltete sich die Qualifizierung prozesskompatibler Halbleiterstrukturen (piezoresistive Widerstände, Leiterstrukturen), Passivierungsschichten und Kontaktschichtsysteme. Hierfür wurden Lösungswege erarbeitet, welche entweder die elektrische Anbindung der Halbleiterstrukturen im Postprocessing oder eine Anbindung über LTCC-Durchkontaktierungen im Co-firing ermöglichen (eingebettete Halbleiterstrukturen). Parallel dazu wurde mit den Partnern das Keramikmaterialsystem und die Sinterprozesse so weiterentwickelt, dass im Silizium-Preprocessing realisierte Kavitäten,

Membranen und Hinterlüftungsöffnungen möglich sind und an entsprechenden Strukturen im Keramikeil angebunden werden können. Das CiS Forschungsinstitut führte hierfür FEM-Simulationen, Material- und Bauteilanalysen durch. An einer Vielzahl verschiedener Proben wurden Prüfungen zur Charakterisierung des Silizium-Keramik-Interfaces sowie zum Verhalten beim Refiring durchgeführt.

Die Validierung von Technologien der Aufbau- und Verbindungstechnik mit dem Fokus auf hohe Zuverlässigkeit auch unter rauen Umweltbedingungen, wurde sowohl auf Wafer- als auch auf Bauteillevel durchgeführt. Dazu zählten beispielsweise Fügeverfahren wie das Glasfritte-Bonden oder Kleben. Kontaktierungsverfahren wie Drahtbonden (Ultrasonic, Thermosonic), Löten (SMD, Flip-Chip) sowie Leiterkleben und Silbersintern wurden erprobt. Mittels aufwändigen Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurden für die erarbeiteten Metallschichtsysteme auf der Siliziumseite (Dünnschichtprozessierung) und Keramikseite (Dickschichttechnik) jeweils angepasste hoch zuverlässige Kontaktierungstechniken qualifiziert.



Testsubstrat der Aufbau und Verbindungstechnik (in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern TU Ilmenau, VIA electronic GmbH, Micro-Hybrid Electronic GmbH, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS)

## Sensoranwendungen

### MEMS-IR-Strahler

Aufbauend auf den evaluierten Technologien und Strukturelementen wie Kontaktöffnungen (Via), Elektroden, Heizer und Membranen wurde der Einsatz des Silizium-Keramik-Verbundes in drei Sensoranwendungen für Gase verfolgt. Dabei fokussierte das CiS Forschungsinstitut auf die Entwicklung eines IR-Sensors sowie eines Drucksensors auf SiCer-Basis und der gleichzeitig mit zu entwickelnden Technologien wie Si-Halbleiterprozesse, Aufbau –und Verbindungstechnik und Messtechnik. Ausgehend von der Konzeption über die Simulation und die Prozessierung bis zur Qualifizierung wurden die einzelnen Wertschöpfungsstufen für eine industrielle Umsetzung betrachtet. Das CiS Forschungsinstitut beteiligte sich an der Entwicklung der innovativen Multi-sensorplattform für Gase, Gaskonzentrationen, Drücke und Temperaturen, um diese in anspruchsvollen Umgebungen quantitativ erfassen zu können.

MEMS-IR-Strahler emittieren infrarotes Licht und sind außerordentlich schnell modulierbar. Dies ist für den Einsatz in innovativen NDIR-Gasmessgeräten von großer Bedeutung sowohl für die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses als auch die Beobachtbarkeit von schnellen Prozessänderungen sowie die Kompensation von Alterungs- und Drifteffekten. In diesem Verbundprojekt wurden u.a. Silizium-Keramik-Strahlerkomponenten simuliert, prozessiert und charakterisiert.

Die Realisierung eines robusten und anwendungsspezifischen NDIR-Gassensors erforderte eine sorgfältige Auswahl aufeinander abgestimmter Komponenten. Um die Grenzen des technisch Möglichen bezüglich Nachweisgrenze oder Geschwindigkeit weiter zu verschieben, bedurfte es neuer, auf diese Aufgabe spezialisierter Komponenten wie optimierte Strahler mit hoher Dynamik oder Thermopiles mit optimierter spektraler Empfindlichkeit. Um die Akzeptanz weiter zu erhöhen und die Anwendungsfelder auszudehnen, wurde neben der Verbesserung der Einzelkomponenten auch eine höhere Integrationsdichte verfolgt. Ein möglicher Ansatz war, MEMS-IR-Strahler und Detektoren und eine erste Stufe der Signalverarbeitung innerhalb eines gemeinsamen Packages zu platzieren. Somit ist eine

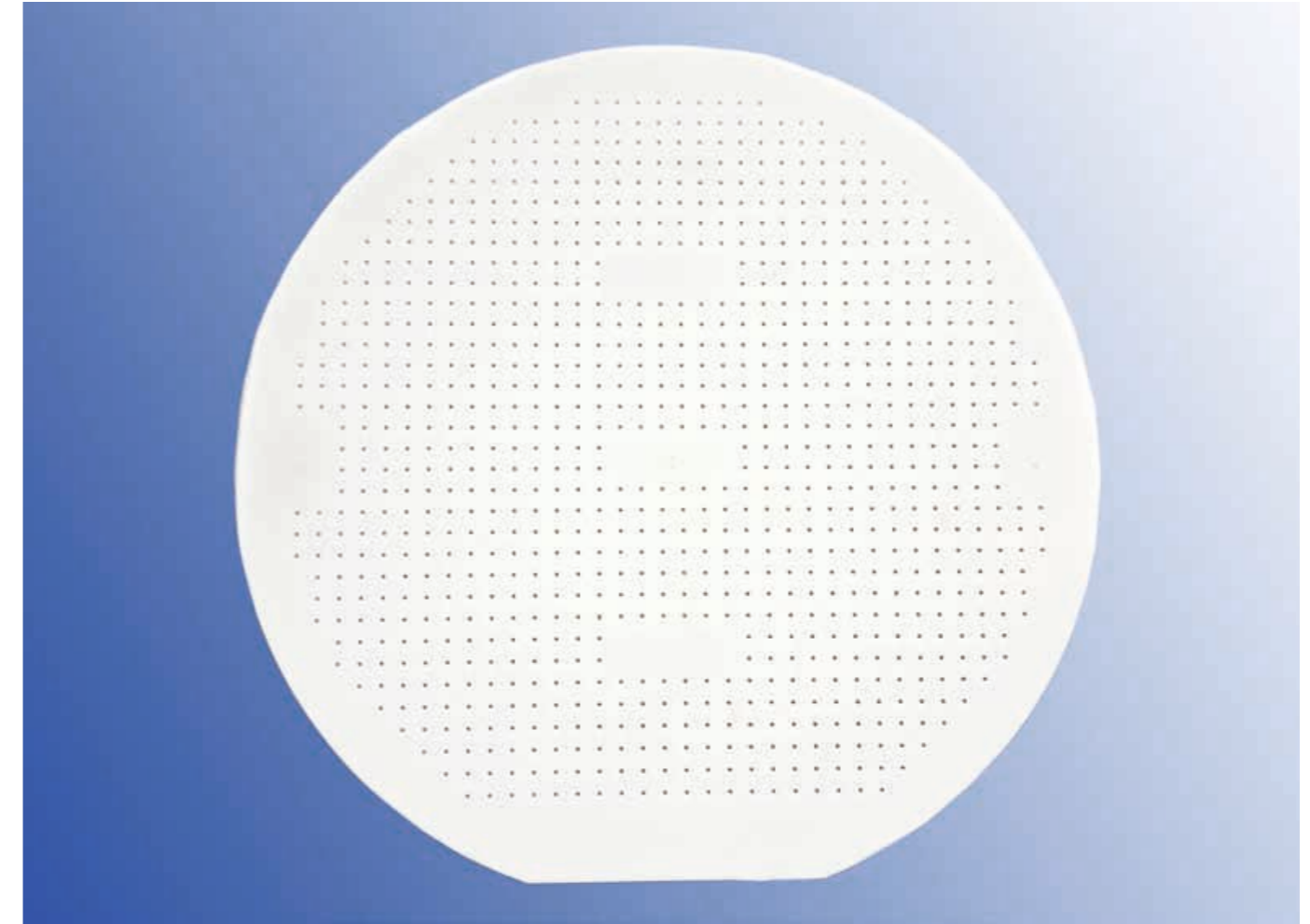
Herstellung auch im Nutzen realisierbar. Für besonders harsche Umgebungen kamen hierfür nur hochtemperaturstabile Materialien wie die im Verbundprojekt realisierten neuartigen Silizium-Keramikverbünde infrage.

Für die MEMS-IR-Strahler wurde ein Redesign des Sensor-Layouts vorgenommen, um eine ausreichende Hinterlüftung der integrierten Membran zu gewährleisten. Dies war zum einen für die hohen Temperaturen bis zu 900°C während des Sinterprozesses der Silizium-Keramik notwendig sowie zum anderen für den Betriebszustand der Silizium-Keramik-Strahlerkomponenten. Für die Herstellung dieser optimierten SiCer-Verbünde wurden Silizium-Wafern prozessiert. Dieses Verfahren wurde optimiert, um die Kontaktwiderstände zu reduzieren. Dabei war eine Anpassung einer Molybdändisilicid-Schicht für die Kontaktmetallisierung notwendig, um eine messtechnisch sinnvolle elektrische Kontaktierung des Silizium-Sensorelements an und durch den Keramikverbund auf deren Rückseite während des Sinterprozesses zu realisieren. Die Weiterbearbeitung zum SiCer-Verbund und die Vorcharakterisierung auf Waferlevel erfolgte in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern TU Ilmenau, Micro-Hybrid Electronic GmbH und Siebert TFT. Wesentliche technologische Herausforderungen waren dabei eine ausreichende Qualität der Bondverbindung hinsichtlich Stabilität und Homogenität reproduzierbar nachzuweisen. Die realisierten Aufbauten wurden entsprechend den bereits vorliegenden Testszenarien mit positiven Ergebnissen untersucht.

### MEMS-Drucksensoren

Eine weitere Sensoranwendung sind piezoresistive siliziumbasierte MEMS-Drucksensoren mit Rückplatten aus Keramik. Sie zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise, hohe Genauigkeiten, sehr gute Langzeitstabilität sowie geringe Nichtlinearitäten und Hysteresen aus.

Durch den einwirkenden Druck wird eine in den Siliziumkörper des Sensorelementes eingätzte Biegeplatte verformt und es entstehen mechanische Spannungen. Im Siliziumkristallgitter wurden vier Widerstände erzeugt, deren Widerstandswert (R-Wert) sich unter dem Einfluss der mechanischen Spannung durch den



Keramikrückseite eines Waferverbundes in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner TU Ilmenau

piezoresistiven Effekt verändert. Durch eine geeignete Anordnung und Verschaltung der Widerstände zu einer Wheatstone'schen Messbrücke ist das Brückensignal von der Messgröße, dem anliegenden Druck, abhängig und idealerweise direkt proportional.

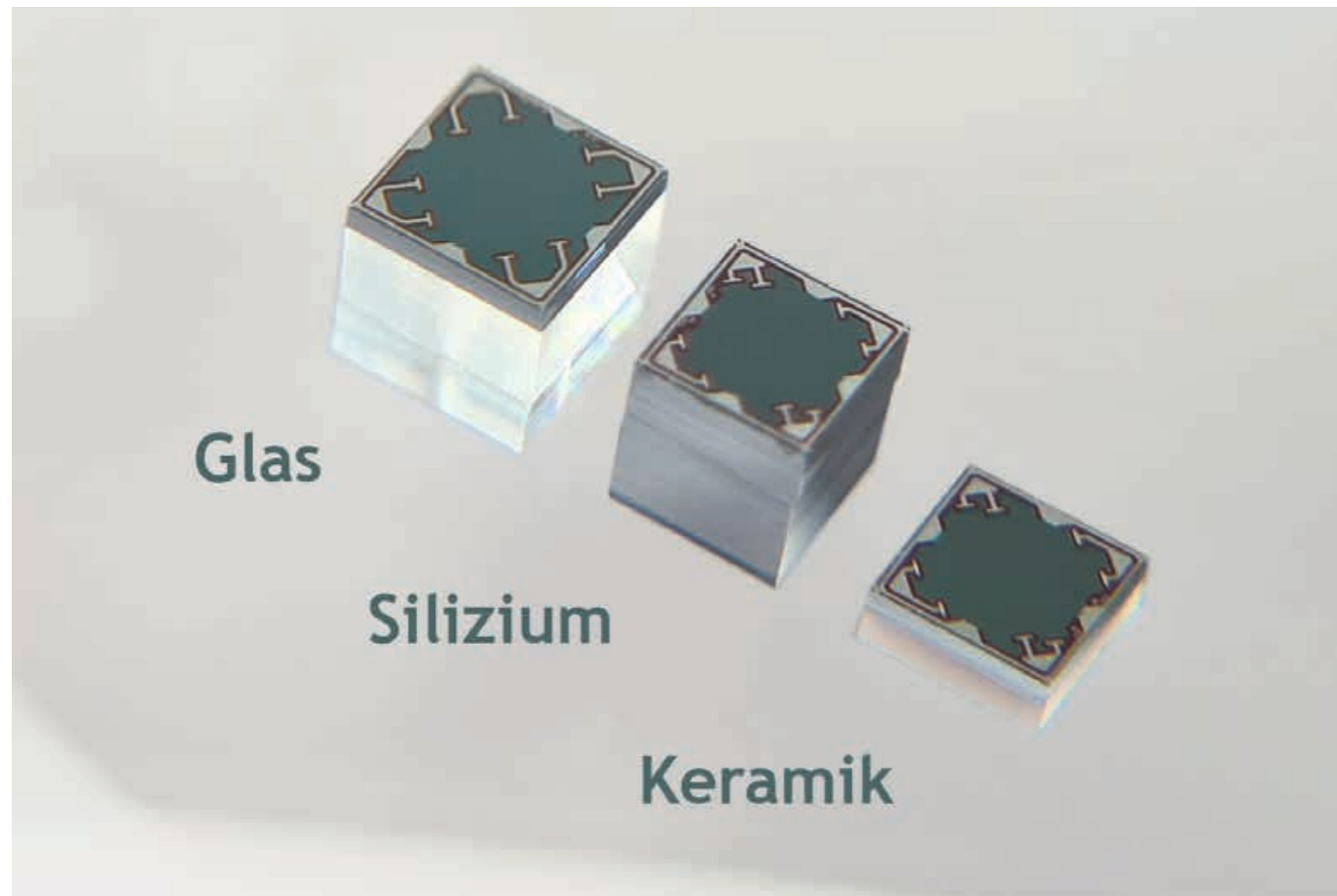
Der Sensor wird auf einem geeigneten Sockel, der die Zuführung des Druckes an das Sensorelement gewährleistet, z.B. durch Kleben oder Glaslotprozesse montiert. Für hochpräzise Anwendungen ist es erfolgsbestimmend, dass die bei der Montage in das Sensorelement eingepprägten Montagespannungen minimiert beziehungsweise idealerweise ganz vermieden werden. Sie verursachen einen Signalanteil, der unabhängig von der Messgröße Druck ist und die Genauigkeit sowie Stabilität des Sensorsignals verschlechtert. Ein üblicher Weg zur Minimierung der Montagespannungen ist der Einsatz einer Rückplatte, die sich zwischen

dem Siliziumsensorelement und dem Sockel befindet. Sie wird auf Waferlevel mittels eines Bondprozesses mit dem Siliziumwafer verbunden. Für die Rückplatte werden bisher hauptsächlich Silizium oder Glas verwendet.

Im HIPS Wachstumskern wurden erstmalig glaskeramische Rückplatten in einem direkten Waferlevel-Bondprozess eingesetzt. Für die Verbindung zwischen Siliziumwafer und der Rückplatte bildet die Berstfestigkeit des Bondinterfaces einen entscheidenden Parameter. Die mit den Partnern weiterentwickelte SiCer-Technologie verbessert diesen Parameter und erweitert somit das Einsatzspektrum der Sensorelemente.

Ein weiteres Innovationspotential besteht darin, dass auch funktionale Elemente wie elektrische Leitungen durch die Rückplatte führen können, womit andere





Aufbauformen von Sensoren mit Glas-, Silizium- und Keramikrückplatte im Vergleich

Aufbauformen des Drucksensorchips möglich werden, welche damit Anwendungen unter harsh-media Einsatzbedingungen erweitern.

Zusätzliche Vorteile dieses neuen Verbundsubstrats entstehen aus der Möglichkeit der getrennten individuellen sowie parallelen Vorverarbeitung beider Materialien, der Fertigung auf Waferlevel, einer hohen Temperaturstabilität und der hohen Haftfestigkeit an der Grenzfläche.

Für diese Untersuchung wurde ein vorprozessierter Si-Wafer verwendet. Auf dessen Vorderseite wurden verschiedene Prozesse (bspw. Lithographie, Ätzung, Implantation) durchgeführt, um die notwendigen Messwiderstände, Zuleitungen und Kontaktbereiche für die Funktionalität des Drucksensorchips zu realisieren. Auf der Rückseite wurde eine Silizium-Membran heruntergeätzt.

Eine Bindeschicht aus Titanoxid zwischen beiden Materialien verbesserte die Bindungsgrenzflächen zwischen dem Silizium und der Keramik.

Für die Keramik wurden Bondable Ceramic Tapes (BCT, Projektpartner: Fraunhofer IKTS) verwendet, die speziell für die Kombination mit Silizium entwickelt und optimiert wurden. Die Anzahl der Tapelagen wurde durch den jeweiligen Aufbau und die spätere Anwendung bestimmt. Die zugeschnittenen Tapes wurden zu Doppeltapelagen zusammengestapelt, laminiert und das Via-Layout gestanzt.

Im Anschluss wurden beide Komponenten im Drucksinterprozess mit kontinuierlich geregelterm Druck oder im Druck unterstützenden Sinterprozess über ein mehrstufiges Temperprofil bis max. 900°C gesintert (Projektpartner: TU Ilmenau). Durch Optimierungen der Siliziumwafer, der BCT-Folien und des Sinterprozesses konnten

- die Kristallfehler im Silizium,
- das Eindringen der Keramik in die Silizium-Kavität,
- die Rissbildungen in der Keramikrückplatte sowie
- eine übermäßige Durchbiegung (Bow) des Verbundes

minimiert bis vermieden werden.

Die Charakterisierung des Bondinterfaces mittels Röntgenuntersuchung und Ultraschallmikroskopie zeigten gute Haftfestigkeiten in den SiCer-Verbänden und wiesen somit die Funktionalität des jeweiligen Sinterprozesses nach.

Die im Sägeprozess vereinzelt 2x2 mm großen Chipmodule zeigten in der Evaluierung sehr positive Ergebnisse und weisen nach, dass

- funktionsfähige Drucksensorwandlerkerne als Demonstratoren mit Keramikrückplatte, die mittels

- SiCer-Prozess auf Wafer-Level herstellbar sind,
- die Haftfestigkeit des SiCer-Interface durch Berstdruckmessungen nachgewiesen ist,
- die Keramikrückplatte geeignet ist, als rückwirkungsarme Verbundvariante mit geringer Aufbauhöhe zu dienen und
- es keinen signifikanten Einfluss durch die hohe SiCer-Prozesstemperatur auf die implantierte Widerstands-/Leitbahnbereiche und somit auf die Funktionsfähigkeit des Drucksensors gibt.

### Temperatursensoren

Die dritte Anwendung bildeten Temperatursensoren, die unter Federführung der Firma UST Umweltsensortechnik GmbH entwickelt, aufgebaut und getestet wurden. Ihr Einsatz liegt in den Bereichen Automotive und Prozessüberwachung.

## Märkte

Die Vernetzung der beiden Technologiewelten Silizium und Keramik kreiert eine vollkommen neue Technologieplattform mit einer Vielfalt neuer Sensoren und Messgrößen. Sie eröffnen ein großes Spektrum an Anwendungen in vielen Branchen, wie z.B. nachhaltige Energieerzeugung, Umweltmonitoring inkl. CO<sub>2</sub>-Reduktion, Prozessüberwachung, Automation, Mobilität, Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt sowie die Berücksichtigung einer nachhaltigen

und ressourceneffizienten Wertschöpfung.

Gemeinsames Ziel der vorwiegend im Technologie-dreieck Ilmenau – Erfurt – Jena/Hermsdorf des Sensorlandes Thüringen angesiedelten Forschungseinrichtungen und vorwiegend klein- und mittelständischer Unternehmen war und ist es, basierend auf der SiCer-Technologie, neue Hochleistungssensoren zu entwickeln und perspektivisch als Verbund zu vermarkten. ●



## GEFÖRDERT

Die diesem Beitrag zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter den nachstehenden Förderkennzeichen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

- **Wachstumskern HIPS – VP1:** Erforschung einer multifunktionellen Substrattechnologie (SiCer) für Sensoren höchster Leistung – TP2: Plattform eine SiCer kompatible Si-Sensortechnologie – SiCer-SST (Förderkennzeichen: 03WKDG01B)
- **Wachstumskern HIPS VP3:** Gas-Sensoren auf Basis der SiCer-Verbundsubstrat-Technologie – TP1: Drucksensoren der nächsten Generation mit SiCer-Technologie – DS-SiCer (Förderkennzeichen 03WKDG03A)



## DER OHR-SENSOR AUF DEM WEG ZUM MEDIZINPRODUKT

Schon seit langem erforscht und entwickelt das CiS Forschungsinstitut – insbesondere das Team um Dr. Hans-Georg Ortlepp – optische Sensoren für die Erfassung zahlreicher Vitalparameter wie z.B. Herzrate, Blutsauerstoffsättigung und Blutdruck. Eine Auszeichnung mit dem AMA Innovationspreis 2010 sowie ein inzwischen weltweit erteiltes Patent für die Bestimmung von Blutdruckänderungen sind nur zwei der zahlreichen Höhepunkte dieser Entwicklung. Mit dem im Januar 2022 gestarteten Förderprojekt „BDMon“ (In-Ohr-Sensor für das nicht-invasive Schlag-zu-Schlag-Blutdruckmonitoring, ZIM, 16KN100222) soll nun ein weiterer großer Schritt in Richtung Medizinprodukt gegangen werden.

### Technik

Der bevorzugte Messort ist der äußere Gehörgang, aber auch andere Positionen am Körper sind für die Messung geeignet. Die optischen Sensoren arbeiten nach dem Prinzip der Photoplethysmographie (PPG), bei dem Licht verschiedenfarbiger LEDs in die Haut einstrahlt und das vom Gewebe zurückgestreute Licht mit einer Fotodiode erfasst wird. Aus den Signalver-

hältnissen verschiedener Lichtwellenlängen kann die Farbe des Blutes bewertet werden, welche mit der Blutsauerstoffsättigung zusammenhängt.

Die Intensität des rückgestreuten Lichts gibt Aufschluss auf den aktuellen, lokalen Füllstand der Blutgefäße, welcher mit der Herzrate variiert. Auf diesem Weg kann auch die Variabilität der Herzrate analysiert werden. Bei hinreichend hoher Signalqualität kann der zeitliche Verlauf jeder einzelnen Pulskonturkurve in mehrere Bestandteile zerlegt werden, welche durch unterschiedliche Laufzeiten durch die Aorta mit zeitlichem Versatz am Messort eintreffen. Änderungen dieser Zeitdifferenz korrelieren wiederum mit Änderungen des zentralen Blutdrucks in der Aorta. Das entwickelte Verfahren wurde bereits in mehreren Selbstversuchen und ersten Messkampagnen im klinischen Umfeld und mit verschiedenen etablierten Referenzverfahren erfolgreich getestet. Da es sich aber um einen neuen Zugang zur Bestimmung von Blutdruckänderungen handelt, ist der Weg hin zu einem validierten Medizinprodukt – insbesondere aufgrund regulatorischer Hürden und der Notwendigkeit größerer klinischer Versuchsreihen – noch lang.

## Das Projekt

Das im Januar 2022 gestartete Verbundprojekt BDMon hat das Ziel, die am CiS Forschungsinstitut entwickelten Algorithmen sowie das entstandene Know-how zum Erreichen der erforderlichen hohen Signalqualität, in Prototypen und Produkte etablierter Medizintechnikunternehmen zu überführen. Der Partner Steinbeis Innovationszentrum gGmbH (Dresden) wird hierbei die Algorithmen weiterentwickeln und dabei die für die Entwicklung von Medizinprodukten notwendigen regulatorischen Anforderungen berücksichtigen. Zudem verfügt die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Malberg über ein hervorragend ausgestattetes Labor mit mehreren Referenzmethoden für die Erfassung

des Blutdrucks sowie Zugang zu Probandengruppen mit verschiedener klinischer Vorgeschichte. Als Medizintechnikunternehmen ist die bluepoint MEDICAL GmbH & Co. KG als Partner dabei. Das Unternehmen ist führend bei der Entwicklung und Fertigung von PPG-Geräten und OEM-Modulen für verschiedene Messorte. Ein weiterer Industriepartner im Verbund ist das Medizintechnikunternehmen PAR Medizintechnik GmbH & Co. KG, welche die entstehenden PPG-OEM Module in ersten Prototypen eines Medizinproduktes mit entsprechender Datenaufbereitung und Bediensoftware integrieren wird. Das im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderte Projekt hat eine Laufzeit von 2,5 Jahren. ●

## Vital-Parameter für die Luftfahrt per Lichtsensor



Am Samstag, dem 17.09.2022 feierte der Aeroclub Arnstadt e.V. (ACA) sein 30-jähriges Jubiläum. Der ACA widmet sich der Pflege und Förderung des Flugsports, vorrangig der Ultraleichtfliegerei, und möchte Interessierten die Möglichkeit geben, sich den Traum vom Fliegen zu erfüllen. Im Rahmen der Festveranstaltung im Hangar des Flugplatzes Alkersleben hielt Dr. Martin Schädel einen Gastvortrag zum Thema „Erfassung wichtiger Parameter mit Lichtsensor im Ohr“.

Trotz heute standardmäßiger Messgeräte im Cockpit kommt es immer wieder zu tragischen Unfällen – wie zuletzt am 04.09.22 beim Absturz einer Cessna in die Ostsee – die auf Druckabfall und Sauerstoffmangel des Piloten zurückzuführen sind. Eine praxistaugliche Erfassung wichtiger Vitalparameter wie Blutsauerstoffsättigung und

Blutdruck könnte zukünftig bei kritischen Situationen rechtzeitig warnen oder Gegenmaßnahmen auslösen. Gemeinsame Messungen des ACA mit Sensoren vom CiS Forschungsinstitut zeigten, dass die Sauerstoffsättigung bereits bei normalen Flugbedingungen und den moderaten Flughöhen typischer Sport- und Kleinflugzeuge auf unter 90% abfallen kann. Zum Einsatz kamen dabei optische Sensoren des CiS Forschungsinstituts, mit denen die Herzrate, die Blutsauerstoffsättigung und auch der Blutdruck durch Messungen im Ohr erfasst werden können.

Durch die Veranstaltung führte unser ehemaliger Kollege Arndt Steinke. Er ist seit vielen Jahren im Flieger-Verein für Weiterbildung und Jugendarbeit zuständig. ●



## GEFÖRDERT

BDMON: Entwicklung eines optischen Im-Ohr-Sensors für die Bestimmung des Blutdruckverlaufes und Überführung in bestehende Systeme (Förderkennzeichen 16KN100222)



# RADON-MONITORING IM LICHT-SCHALTER-FORMAT

Die Isotope des Edelgases Radon sind radioaktiv. In Gestein und im Boden vorhandenes Uran und Thorium bilden in ihren Zerfallsreihen u. a. Radon. Aus den obersten Bodenschichten diffundiert das Gas und seine Zerfallsprodukte in die Atmosphäre, ins Grundwasser, in Keller, Rohrleitungen, Höhlen und Bergwerke. Bei unzureichender Belüftung von Kellerräumen kann sich Radon dort in hohen Konzentrationen ansammeln.

## Monitoring

Epidemiologische Untersuchungen in Wohngebäuden haben bewiesen, dass eine längere Radonexposition zu einer statistisch signifikanten Erhöhung des Lungenkrebsrisikos führt. Die hauptsächliche Gefahrenquelle ist hierbei nicht das Radon selbst, sondern seine Zerfallsprodukte, welche sich an kleinste Partikel in der Luft anhaften, eingeatmet werden und in der Lunge weiter zerfallen. Vor diesem Hintergrund wurde 2019 vom Gesetzgeber EU-weit der flächendeckende Einsatz von Messgeräten in Radonvorsorgegebieten

beschlossen, welche insbesondere für Arbeitsplätze in Erd- und Kellergeschossen regelmäßige Radonmessungen vorschreibt. Eine Übersicht der europäischen und deutschen Radonvorsorgegebiete kann beim Atlas der Radioactivity Environmental Monitoring bzw. beim Bundesamt für Strahlenschutz eingesehen werden. In Deutschland sind davon vor allem die Mittelgebirge, wie z. B. der Schwarzwald, der Bayerischen Wald und das Erzgebirge betroffen, wo natürliche Vorkommen von Uran und Thorium zu finden sind.

## Messung

Da Radon sowohl farb-, geschmack- und geruchlos ist, kann es nicht ohne spezielle Sensoren detektiert werden. Am einfachsten ist es, die radioaktiven Alpha-Zerfälle des Radongases und seiner Zerfallsprodukte zu messen. Die einfachsten, passiven Detektoren erfassen die Zerfallsereignisse über einen längeren Zeitraum und müssen zur Auswertung in ein dafür geeignetes Analyselabor eingeschickt und dort ausgewertet werden. Bei einer erhöhten Radon-Konzentra-

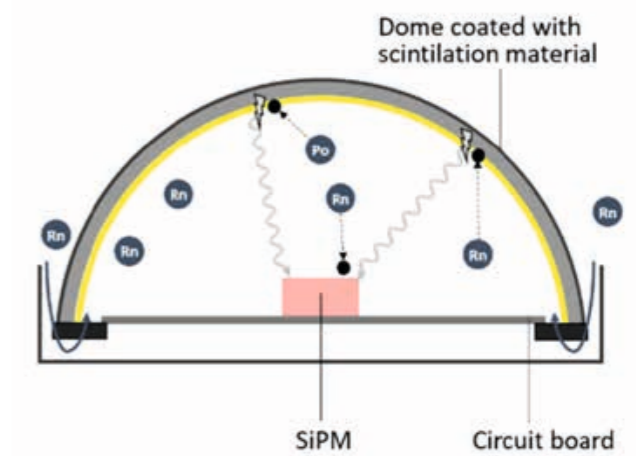
tion können damit keine Sofortmaßnahmen ergriffen werden. Für eine kontinuierliche Messung sind diese Geräte darum nicht geeignet, und Menschen werden im Zweifelsfall unnötigerweise über einen längeren Zeitraum der Radonbelastung ausgesetzt, während sie auf die Messergebnisse warten.

Die bisher verfügbare Alternative sind aktive (elektrische) Messgeräte, die neben Langzeitmessungen auch Kurzzeitmessungen ermöglichen. Diese Messgeräte können bereits nach wenigen Minuten bis Tagen eine aktuelle Aufnahme der Radon-Konzentration im Gebäude ermitteln und zeigen den Messwert ggf. direkt in einem Display an. Etablierte Messgeräte arbeiten meist auf Basis einer Photodiode oder Ionisationskammer, wobei Letzteres mit vergleichsweise hoher Betriebsspannung betrieben werden muss, was technischen Mehraufwand verursacht. Die am Markt verfügbaren Aufstellgeräte sind darum vergleichsweise teuer, sodass diese meist nur stichprobenartig zum Einsatz kommen und somit ebenfalls keine kontinuierliche Überwachung oder bedarfsgerechte Belüftung der betroffenen Räume steuern können.

## Das Projekt

Mit den Ergebnissen des ZIM-Kooperationsprojekts ALPHIN kann diese Lücke nun geschlossen werden. Ziel des Projektes war es, das bewährte Konzept der „Lucaszelle“, bei der eine Alpha-Partikel-sensitive Szintillationsschicht mit hochempfindlichen Silizium-Photomultipliern (SiPM) kombiniert wird, in eine kompakte Sensorbauform zu übertragen, welche in handelsüblichen Unterputzdosen (Ø 60 mm) Platz findet und über eine entsprechende Bus-Schnittstelle auch in ein Gebäudeautomationssystem (z.B. zur bedarfsgerechten Belüftungssteuerung) integriert werden kann.

Im Fokus der Anwendung stehen dabei nicht nur öffentliche Gebäude (wie Schulen, Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude), sondern perspektivisch auch Privathaushalte. Gemeinsam mit dem Industriepartner RadonTec GmbH – einem führenden deutschen Unternehmen für den Radonschutz – wurden dafür die Grundlagen sowie erste Prototypen entwickelt. Während bei RadonTec insbesondere das Gesamtsystem und der Prozess zur Herstellung neuartiger und serientauglicher Szintillator-Kuppeln entwickelt wurden, fokussierte sich das CiS Forschungsinstitut auf die Entwicklung verbesserter SiPM. Die bei RadonTec entwickelten Prototypen erfüllen dabei bereits die Anforderungen für eine praxistaugliche, kontinuierliche Radonüberwachung. An der Überführung der Ergebnisse in Serienprodukte wird bereits intensiv gearbeitet. Die ersten Produkte mit dem neu entwickelten Sensor sind bereits am Markt unter dem Namen „LivAir Tracer“ erhältlich. ●



Schematischer Schnitt durch eine Lucaszelle. Eine mit Zinksulfid beschichtete Kuppel erzeugt beim Eintreffen der Alpha-Partikel kurze Lichtpulse, welche mit einem hochempfindlichen Silizium-Photomultiplier erfasst und gezählt werden. (Quelle: RadonTec)



**GEFÖRDERT**

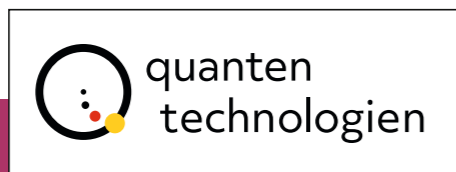
ALPHIN: Entwicklung eines hochpräzisen Unterputz-sensors mit verkürzter Detektionszeit (Förderkennzeichen ZF4001708SY9)



# CHIPBONDER DER NEUESTEN GENERATION

Aufbau- und Verbindungstechnologien sind für die weitere erfolgreiche Entwicklung in Quantenanwendungen essentiell. Das erfordert auch einen, den hohen Ansprüchen genügenden Maschinenpark. Ein Chipbonder der neuesten Generation mit einer extrem hohen Positioniergenauigkeit, vereint die gewachsenen Anforderungen zur Platziergenauigkeit (< 1 µm) bei einer möglichst großen Arbeitsfläche, die eine Wafer-Level-Montage zulässt. Der Fineplacer SIGMA wird im Verbundvorhaben „QSolid - Quantum computer in the solid state“ die unterschiedlichen Flip-Chip-Technologien unterstützen. Besonderes Augenmerk gilt hierbei dem Flip-Chip-Thermokompressionsbonden. Der Chip-Bonder ist mit einem Bondkraftmodul, das mit bis zu 1000 N den Fügeprozess begünstigen kann, ausgestattet. Bezüglich des

Thermokompressionsbonden werden vorrangig Gold und Aluminium als Fügmaterialien zum Einsatz kommen. Erste Single-Photonen-Detektor-Aufbauten mit einer Positioniergenauigkeit in X- bzw. Y-Richtung zwischen 0,4 und 0,6 µm wurden bereits realisiert. Hinsichtlich des multifunktionellen Flip-Chip-Aufbaus mit supraleitenden Funktionselementen ist hervorzuheben, dass in ersten Versuchsreihen die Fügtemperatur im FC-TC-Bonden um mehr als 100 K bei gleichbleibenden Scherergebnissen gesenkt werden konnte. Neben der Reduzierung des thermischen Stresses am Bauteil ergeben sich somit auch hier Möglichkeiten für eine energieeffizientere und ressourcenschonende Montagetechnologie. Der neue Fineplacer SIGMA wird im Bereich Prototyping vorrangig für Einzelaufbauten, die eine extrem hohe Platziergenauigkeit erfordern, eingesetzt werden. ●



## GEFÖRDERT

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 13N16172 im Förderprogramm „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Verbundprojekt „QSolid - Quantum computer in the solid state“ zur Fördermaßnahme „Quantencomputer- Demonstratoraufbauten“ (FZK 13N16172)

# INNOVATIVE HOCHTEMPERATUR-TECHNOLOGIE

## Ressourcenschonend, energieeffizient und emissionsarm

Thüringens Wirtschaftsminister Tiefensee überreichte am 29.11.2022 bei seinem Besuch im CiS Forschungsinstitut einen Fördermittelbescheid an die Geschäftsführer Prof. Thomas Ortlepp und Thomas Brock. Die Fördergelder stammen aus EU-REACT-Mitteln. Wirtschaftsnahе Forschungseinrichtungen aus Thüringen konnten sich in einen Wettbewerbsaufruf qualifizieren. Im Mittelpunkt standen hierbei Technologien und Verfahren für eine nachhaltigere Verwendung von Energie und Ressourcen.

Diese Zuwendung erlaubte dem CiS Forschungsinstitut in eine moderne Hochtemperatur-Anlage der neuesten Generation zu investieren. Diese bietet verschiedene Möglichkeiten zum flexiblen Einsatz in der Schichterzeugung auf großflächigen Substraten bei gleichzeitiger Verringerung des Energieeinsatzes. Zudem verfügt sie über eine Schnittstelle zur computergestützten Erfassung und Steuerung von Prozessparametern. Die damit verbundene Möglichkeit der Fernüberwachung befördert die weitere Digitalisierung in der Prozesskontrolle am CiS Forschungsinstitut. Ein vollautomatisches Wafer-Handling-System komplettiert diese Anlage.

Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und Forschung engagiert sich das CiS Forschungsinstitut für Anwendungen in Umwelttechnologien, Klimaschutz,

Medizintechnik, Prozessüberwachung sowie Quantentechnologien mittels innovativer MEMS- und MOEMS-Sensoren. Die Herstellung dieser Sensoren erfordert größtenteils energieintensive Prozesse innerhalb der Wertschöpfungskette von dem Ausgangsmaterial Silizium bis zum fertigen Sensor. Mit dieser neuen Anlage werden die energetische Bilanz und Effizienz in der Herstellung von Sensoren verbessert. Die Investition in diese moderne Hochtemperaturanlage mit einer ressourcenschonenden Prozessführung stärkt langfristig die Wirtschaftsfähigkeit des CiS Forschungsinstituts und unterstützt damit Partner aus Industrie und Forschung. Gleichzeitig gehört das Projekt zum Spezialisierungsfeld Nachhaltige Energie und Ressourcenverwendung der RIS3 Thüringen. ●



v.l.n.r. Thomas Brock (Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut), Minister Wolfgang Tiefensee (Thüringer Minister für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft), Thomas Ortlepp (Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut)



## GEFÖRDERT

Das Projekt „Innovative CVD-Technologie – energieeffizient, ressourcenschonend und emissionsarm (EffizientPro)“ wird unter der Nummer 2022WIN0014 vom Freistaat Thüringen und aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE-OP 2014 bis 2020) als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie (REACT-EU) gefördert.

Innovative Hochtemperatur-Technologie – ressourcenschonend, energieeffizient und emissionsarm (EffizientPro) FZK 2022 WIN 0014.

# MESSEN 2022

## SPIE Photonics West 2022 in San Francisco

Mit der **SPIE Photonics West 2022** in San Francisco, die als weltweit größte jährliche Veranstaltung für die Photonik, Laser und biomedizinische Optik gilt, startete das Messe-Jahr 2022. Vom 25. bis 27. Januar konnten wir als Aussteller des Deutschen Pavillons im Rahmen der Photonics West Exhibition wieder persönlich in San Francisco vor Ort sein und aktuelle Entwicklungsergebnisse präsentieren.



### UVC-LEDs: Steigerung der optischen Leistung durch ein optimiertes Vergussmaterial

Parallel zur SPIE Photonics West Exhibition fanden auch eine Reihe technischer Konferenzen statt. Im Rahmen der **OPTO Conference 2022** "Light-Emitting Devices, Materials, and Applications XXVI" stellte Prof. Thomas Ortlepp in Session 2: UV Emitters am Dienstag aktuelle Forschungsergebnisse aus dem CiS Forschungsinstitut zu „UVC-LEDs: Steigerung der optischen Leistung durch ein optimiertes Vergussmaterial“ vor.

Ausgangspunkt dieser Forschungsarbeiten war die neu eingegangene Rolle von Flächendesinfektion im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie. UVC-Module auf der Basis von LED-Chips sollen Quecksilberdampflampen zur Flächendesinfektion ersetzen. Dies wird jedoch nur gelingen, wenn die für die Entkeimung notwendige optische Leistung gewährleistet werden kann.

Im Vortrag wurde die Entwicklung von eben solchen Vergussmaterialien für UVC-LED-Chips vorgestellt. Ziel der Forschungsarbeit war es, ein Vergussmaterial für den Einsatz bei einer Wellenlänge von 250 nm zu finden, das ausreichend transparent ist, sich leicht verarbeiten lässt und bei diesen Wellenlängen über viele 100 Stunden in seinen Eigenschaften stabil bleibt. Weiterhin sollte die Totalreflexion im LED-Grundkörper durch einen Brechungsindex des ausgehärteten Materials  $n > 1,4$  minimiert werden. Neben den Aspekten der Materialentwicklung wurden auch die messtechnischen Anforderungen und Langzeitstudien vorgestellt. ●



## World of QUANTUM in München

Vom 26. bis 29. April fand die **LASER World of PHOTONICS** in München statt. Zugleich eröffnete die erste **World of QUANTUM** in der Halle 4 ihre Pforten. Verschiedene Netzwerke, Forschungsverbünde und Quantencluster präsentierten anspruchsvolle Forschungs- und Entwicklungsvorhaben rund um Quantentechnologien und Photonik. Das CiS Forschungsinstitut war mit **drei Posterbeiträgen** vertreten.

An einer eigenen Posterinsel stellte unsere Forschungseinrichtung ihr Portfolio vor. Als gefragter Forschungs- und Entwicklungspartner beschäftigen wir uns schon seit Jahrzehnten mit MEMS und MOEMS Komponenten und Materialien, welche prinzipiell auch für Quantenanwendungen zur Anwendung kommen. Dazu gehören optische Bauelemente wie Einzelphotonendetektoren mit Silizium-Photomultipliern,

Single-Photon-Avalanche-Dioden (SPAD) sowie optische Fasern, als auch Materialentwicklungen auf der Basis von Silizium-Keramik-Verbünden (SiCer) oder lokal funktionalisierten synthetischen Diamant. Diese können in hybriden optoelektronischen Baugruppen für quanteneffektbasierte Sensoren und sogar für Quantenprozessoren Anwendung finden. Für die Realisierung mikrotechnischer hybrider Systeme agiert das CiS Forschungsinstitut entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der multiphysikalischen Parametersimulation über den Siliziumwaferprozess und die Aufbau- und Verbindungstechnik bis zur abschließenden Bauelemente-Prüfung.

Zwei weitere Poster zeigten die aktuellen Forschungsergebnisse innerhalb der Projekte QSolid und HIQuP. ●



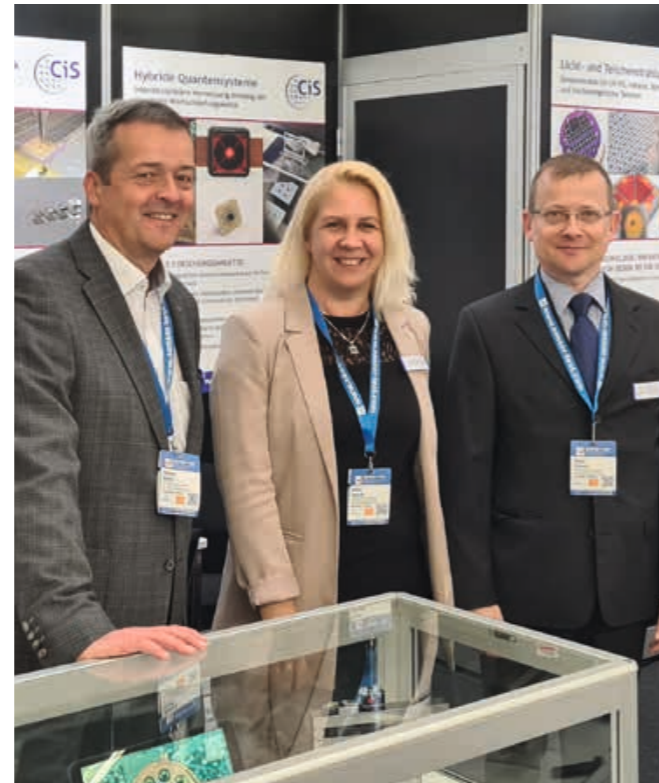
## Highlights zur Sensor+Test 2022 in Nürnberg



Vom 10. bis 12. Mai 2022 fand mit der **Sensor+Test** das weltweit führende Forum für Sensorik, Mess- und Prüftechnik wieder als Präsenzveranstaltung statt. An unserem Messestand 1-501 in Halle 1 des Messezentrums Nürnberg konnten wir interessierten Besuchern aktuelle Ergebnisse unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zeigen.

Parallel zur Messe Sensor+Test 2022 trafen sich Experten im Nürnberger Congress Center zur **21. ITG/GMA-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2022**. Diese wissenschaftliche Veranstaltung legt den Fokus auf die Einbindung von Sensoren in Messsysteme und auf deren Anwendung. Am Dienstag, dem 10.05.2022 wurde eine wissenschaftliche Poster-Session veranstaltet. Unser Fachbereichsleiter MEMS, Dr. Thomas Frank gab dort einen Einblick in die Forschungsarbeiten zum

Thema „Miniaturisierte Ultraschall-Sensoren zur Hochfeuchtebestimmung über 200°C“. Durch einen geeigneten Aufbau mit MEMS-Technologie ist es damit möglich, die Schallgeschwindigkeit bis 200°C in einem Luft-Wassergemisch zu bestimmen und den Wasseranteil abzuleiten.



### Unsere Highlights:

#### Piezoresistive Drucksensorchips mit auf dem Sensorchip integrierter Temperaturkompensation für Einsatztemperaturen bis etwa 300°C

Durch Anpassung von Chipdesign und Halbleitertechnologie wurden piezoresistive Drucksensorchips im erweiterten Betriebstemperaturbereich von +40°C bis +300°C entwickelt und gefertigt.

#### Tastsystem mit reduzierter Antastkraft zur Bestimmung der instrumentierten Eindringhärte

Zur Härtemessung nach dem Verfahren instrumentierter Eindringversuch wird eine wegaufgelöste Kraftmessung benötigt. Dazu sind sowohl ein präziser Kraftsensor und ein präziser Wegsensor, als auch eine präzise Diamantspitze erforderlich. Das Messsystem wird demonstriert.

#### Sensoren zur Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen

Auf Basis einer MEMS-Technologieplattform wurde ein Sensormodul entwickelt, das die Vorspann-

kraft und die Betriebskraft sowie ihre zeitliche Änderung bestimmt. Der Sensor besteht aus miniaturisierten Dehnmessstreifen.

#### 1×1 mm<sup>2</sup> große Chips mit strukturiertem 3D-Photodioden-Array, das einfallendes Licht aus verschiedenen Richtungen erfasst

Die neue RISEQ-Sensortechnologie des CiS Forschungsinstitutes ermöglicht die Entwicklung und Fertigung monolithisch integrierter, richtungssensitiver Sensoren. Das Grundkonzept basiert auf der Integration von vier Fotodioden in den Wänden einer Kavität im Silizium.

#### IR-Komponenten für Gassensorik und Temperaturmessung

Das CiS Forschungsinstitut hat sich hierbei auf die Entwicklung und Fertigung von IR-Strahlern und Thermopilesensoren fokussiert. Beiden Lösungen gemein ist, dass die eigentliche aktive Zone innerhalb einer sehr dünnen Membran aufgespannt wird. Die so erzeugten Baugruppen sind mit Kantenlängen im Bereich 1 bis 3 mm sehr klein und weisen schnelle Reaktionszeiten auf. ●

## AMA Innovationspreis 2022

Gemeinsam mit der CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH, der 5microns GmbH und der Siegert TFT Thinfilm Technology GmbH erhielt die Micro-Hybrid Electronic GmbH die renommierte Auszeichnung für die Entwicklung einer Technologieplattform für hochzuverlässige NDIR Gassensorik. Der AMA Innovationspreis wird jährlich durch den AMA Verband für Sensorik und Messtechnik für innovative Forschungs- und Entwicklungsergebnisse aus der Sensorik und Messtechnik ausgelobt und während der Eröffnungsveranstaltung zur Sensor+Test verleihen.

Das prämierte Gas-Sensorsystem mit neuartigem, spektral breitbandigem Infrarot (IR)-Emitter kombiniert bahnbrechende Technologien von MEMS-Chips bis zum Gas-Sensorsystem mit besonderer Langzeitstabilität und ermöglicht damit neue Anwendungen für die Gasanalyse auch in extremen Umgebungsbedingungen.

„In enger Zusammenarbeit mit unseren Industriepartnern ist es uns gelungen, langzeitstabile und hochdynamische Infrarotbauelemente auf Basis unserer MEMS-Technologien zu entwickeln und inzwischen auch in Serie zu fertigen. Diese stellen die Kernkomponenten moderner Gassensoren dar, für die in den nächsten Jahren – getrieben durch

Gebäudeautomation, Medizintechnik und industrielle Prozessüberwachung – ein enormes Marktwachstum zu erwarten ist.“, erläutert Prof. Thomas Ortlepp, Geschäftsführer des CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik die Bedeutung dieser Technologie. ●



## CiS Forschungsinstitut auf der Hannover Messe 2022



Auch die **Hannover Messe** fand nach coronabedingten Absagen und Terminverschiebung erstmals wieder als Präsenz-Veranstaltung auf dem Messegelände der Deutschen Messe in Hannover statt. In Halle 3 am Thüringer Gemeinschaftsstand präsentierte das CiS Forschungsinstitut aktuelle Entwicklungsergebnisse vom 30. Mai bis 2. Juni 2022 interessierten Besuchern vor Ort. Auf der Weltleitmesse der Industrie mit den Schwerpunktthemen Digitalisierung und Nachhaltigkeit zeigten wir unter anderem zwei Demonstratoren, einer zur Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen bzw. zum Monitoring von Schraubverbindungen sowie einen weiteren zur Detektion der CO<sub>2</sub> Konzentration in Gasen mittels NDIR Sensorik. Eben dieser technologische Ansatz wurde mit dem renommierten **AMA Innovationspreis** ausgezeichnet. Während des Rundgangs mit dem Thüringer Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee und Andreas Krey, Geschäftsführer der LEG Thüringen, präsentierten wir den AMA-Innovationspreis 2022 und erläuterten am Demonstrator die Funktionsweise.

Schraubverbindungen unterliegen oft großen Belastungen und spielen eine zentrale Rolle zur Sicherung

der Funktionsfähigkeit von Befestigungssystemen, beispielsweise in Windkraftanlagen. Für die Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen wurde eine Technologieplattform entwickelt, die für die Überwachung von Verbindungselementen (speziell Schraubverbindungen) nicht nur die Vorspannkraft, sondern auch die Betriebskraft sowie ihre zeitliche Änderung bestimmt. Mittels Demonstrator konnte auch die Funktionsweise am Messestand gezeigt werden. Das auf der Technologieplattform beruhende Sensormodul ist direkt mit dem Verbindungselement gekoppelt. Die Messsignalverarbeitung bzw. -ausgabe kann in die Messsysteme von Kunden integriert werden. Signifikante Anwendungen bieten sich bei der Überwachung von Befestigungssystemen in der Windkraftindustrie, Bahnanlagen, Hochhäusern, Fahr- und Luftfahrzeugen, Gasplateaus sowie allen nicht zugänglichen Medienpipelines (Erdreich, Wasser) u.v.m.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen (BAVI) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. (Förderkennzeichen: 49MF180163) ●

## electronica in München und COMPAMED in Düsseldorf

Mitte November bediente das CiS Forschungsinstitut zwei wichtige Messen zeitgleich. Die COMPAMED 2022 gilt als führender internationaler Marktplatz für Zulieferer der medizinischen Fertigung und findet jährlich in Düsseldorf parallel zur MEDICA statt. Die electronica 2022 startete nach vier Jahren turnus- und coronabedingter Pause einen Tag später in München.

Auf der COMPAMED beteiligten wir uns wiederholt am Gemeinschaftsstand des IVAM Fachverbandes für Mikrotechnik. Der Produktmarkt „Hightech für Medizinprodukte“ stellt die Innovationen aus Schlüsseltechnologien wie Mikrotechnik, Nanotechnologie, Photonik oder Advanced Materials in den Mittelpunkt und auch das CiS Forschungsinstitut zeigte aktuelle Ergebnisse aus Forschungsprojekten der Bereiche Medizintechnik

und Lebenswissenschaften.

Im Rahmen des COMPAMED HIGH-TECH FORUM by IVAM berichtete außerdem Dr. Martin Schädel, Geschäftsfeldleiter MOEMS, in der Session Smart Sensor Solutions über „Silicon-based Microsensors for Medical & Health Care Applications“.

Die electronica gilt als internationale Leitmesse und Konferenz der Elektronik-Branche und zeigt das ganze Spektrum aus Technologien, Produkten und Lösungen der Welt der Elektronik. Hier war das CiS Forschungsinstitut auf der Gemeinschaftsfläche „Sensor-Pavillon“ vertreten und demonstrierte schwerpunktmäßig Siliziumsensoren und Sensormodule für Druck-, Kraft- und Dehnungsmessung. ●



# CIS WORKSHOPS IM HERBST 2022

## MEMS-Workshop zu aktuellen Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren

In der 2. Auflage des CiS MEMS Workshops „Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren“ am 13. Oktober tauschten Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft zu aktuellen Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren aus. Uwe Schwarz, Fellow und Leiter MEMS-Sensors, X-FAB MEMS Foundry GmbH, erläuterte in seiner Keynote die Bausteine eines modularen Herstellungsprozesses für Silizium basierende Drucksensoren.

In den folgenden drei Sessions wurde der Bogen von neuen Materialien wie SiCER (Silizium-Keramik-Verbundtechnologie), Simulation und Layout-Entwicklung, Aufbau- und Verbindungstechnik, messtechnischer Charakterisierung bis zur Anwendung gespannt. Intensiv diskutierten die Präsenzbesucher gemeinsam mit den Online-Teilnehmenden die einzelnen Beiträge. Ein rundum gelungener Workshop, zum Austausch unter Experten, Kontakte knüpfen und finden neuer Ansatzpunkte für kommende Workshops. ●



## MOEMS-Workshop erfolgreich in der 3. Auflage

Zum bereits dritten Mal fand am 9. November ein CiS Workshop zum Thema „NDIR Sensoren und Komponenten“ in Erfurt statt. In zwei Sessions wurden die Themenschwerpunkte

- NDIR-Gassensoren und ihre Anwendungen
- Miniaturisierte IR-Strahler
- IR-Detektoren und optische Komponenten diskutiert, frische Ideen geboren und neue Kontakte geknüpft.

Ein besonderes Highlight bildete die Keynote von Prof. Thomas Elbel. Er ist Professor für Elektrische Messtechnik, Sensorik und Grundlagen der Elektrotechnik an der Hochschule Hannover und erläuterte die Entwicklungen in der Infrarot-Sensorik von den Anfängen bis zur Gegenwart. Die weiteren Vorträge gaben einen spannenden Abriss zu Entwicklungstrends und ihren Anwendungen. Prof. Robert Täschner, Preisträger des Silicon Science Awards für seine Dissertation, berichtete über den Aufbau einer neuen technischen Infrastruktur an der Hochschule Zwickau für Forschungsprojekte.

Dr. Martin Schädel, Dr. Andreas Winzer und Toni Schildhauer aus dem CiS Forschungsinstitut informierten über Alterungseffekte von speziellen Materialien für die IR-Sensorik und gaben einen Einblick in aktuelle Forschungsprojekte zu IR-Strahler und IR-Detektoren.

Einig waren sich alle: Das Thema bleibt spannend und wird auch in einer vierten Auflage, in Planung für 2024, viel neues Potenzial bieten. ●



# ONLINE VERANSTALTUNGEN

## IVAM Mid-Week Coffee Break und der Wachstumskern HIPS

Mitte Februar war das CiS Forschungsinstitut mit Dr. Olaf Brodersen Gastgeber des IVAM Mid-Week Coffee Break. Das virtuelle Technologiesgespräch zwischen IVAM-Mitgliedern findet einmal monatlich via Zoom-Meeting statt und behandelte in dieser Edition

den Thüringer Wachstumskern HIPS. Franz Bechtold, VIA electronic GmbH, stellte die SiCer-Technologieplattform im Detail vor und Prof. Thomas Ortlepp, CiS Forschungsinstitut, gab erste Einblicke in mögliche Anwendungen. ●



## Siliziumsensoren im Spotlight der Mikro- und Nanotechnologie

In der Auftaktveranstaltung am 6. September 2022 zur neuen Digital-Reihe „Spotlights der Mikro- und Nanotechnologie“, initiiert vom IVAM Fachverband für Mikrotechnik, präsentierte unter anderem Dr. Martin Schädel, Geschäftsfeldleiter MOEMS am CiS Forschungsinstitut, das Thema „Siliziumsensoren für optische Prozessüberwachung“.

Die Steuerung komplexer Prozesse benötigt schnelle und belastbare Daten zum aktuellen Zustand. Hierbei helfen optische Sensoren, die berührungsfrei wichtige Parameter wie Temperatur, Konzentrationen oder Nivellierung der Systeme erfassen können. Im Spotlight-Beitrag wurden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus diesen Gebieten vorgestellt. ●



### OptoNet Webinar:

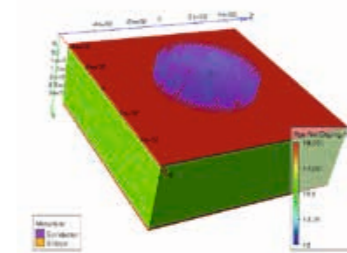
#### Multiphysikalische Systemmodellierung als Schnittstelle zwischen Optik und Halbleitermechanik

Unser Kollege Dr. Bernhard Schwartz aus dem Fachbereich Simulation und Design am CiS Forschungsinstitut berichtete über die „Kopplung von optischen und halbleiterphysikalischen Simulationstools am Beispiel einer miniaturisierten Hanbury Brown-Twiss-Anordnung“ im Rahmen des Optonet Webinars zum Thema „Multiphysikalische Systemmodellierung als Schnittstelle zwischen Optik und Halbleitermechanik“. Ziel ist es, den Nutzen multiphysikalischer Multi-Domain-Modell darzustellen, um Entwicklungszeiten zu reduzieren, Parameter zu optimieren und schnell Prototypen fertigen zu können.

Die vorgestellten Forschungsergebnisse stammen aus dem vom BMBF geförderten innovativen regionalen Wachstumskern „Virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung (VIPO)“. Hier liegt der Fokus auf der Digitalisierung des Produktlebenszyklus, die zukünftig ein entscheidender Wettbewerbsfaktor werden wird.

In seinem Beitrag wurde die Verbindung der Software-Lösungen von LightTrans VirtualLab Fusion und Silvaco ATLAS sowie ATHENA gezeigt. Dazu wurden drei Konzepte zur Miniaturisierung der Strahlteiler-Konfiguration vorgestellt und die Kopplung anhand eines

Beispiels gezeigt. Um einen durchgängigen Workflow bezüglich der Simulation optoelektronischer Systeme zu gewährleisten, wurden Schnittstellen entwickelt, um die verschiedenen physikalischen Domänen, der Halbleiterphysik und der Optik, miteinander zu verbinden. Dank der gekoppelten Simulationen wird die Grundlage für eine automatisierte Optimierung des gesamten optoelektronischen Systems geschaffen. ●



**OptoNet-Webinar**  
Multiphysikalische Systemmodellierung und Optimierung in der Optikentwicklung

## Technologiebrunch des GEOkomm e.V.

Auf dem Technologiebrunch des Verbandes der Geo-Informationswirtschaft Berlin/Brandenburg e.V. (GEOkomm e.V.) am 6. Mai 2022 präsentierte Dr. Klaus Ettrich, Geschäftsfeldleiter MEMS am CiS Forschungsinstitut, „Kundenspezifische MEMS-Sensorlösungen für Industrie, Medizin und Landwirtschaft“ anhand aktueller Entwicklungsergebnisse:

### Schraubenmonitoring

Die Überwachung von mechanischen Verbindungen mittels Sensoren gewinnt zunehmende Bedeutung insbesondere bei Berücksichtigung der Anforderungen aus Industrie 4.0. Silizium-Dehnungsmessstreifen (Si-DMS) sind aufgrund ihrer Kompaktheit und des hohen Koppelfaktors sehr gut geeignet, mechanische Span-

nungen auf metallischen Probekörpern wie Schrauben, Rohren und Flanschen zu messen.

### Lichteinfallssensor

Die Lichteinfallrichtung ist für zahlreiche Anwendungen relevant, beispielsweise für die Nachführung von Solaranlagen oder die Steuerung von Gewächshäusern. Dafür wurde ein kompakter Chip und die dafür erforderliche Technologie entwickelt. Dieser Chip enthält mehrere monolithisch integrierte Photodioden, die durch unterschiedliche Oberflächenorientierung die Bestimmung des Einfallswinkels ermöglichen. Gegenüber anderen Lösungsansätzen zeichnet sich die angestrebte Realisierung durch äußerst kleine Bauform und einfache Integrierbarkeit aus. ●



# INNOVATIONSTAG MITTELSTAND



Der Innovationstag Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fand 2022 wieder als Präsenzveranstaltung statt und ist Schaufenster mittelständischer Innovationstätigkeit auf Bundesebene sowie Kommunikationsplattform des innovativen Mittelstands.

Unter dem Claim „Wandel durch Innovationen“ wurden am 23. Juni 2022 auf dem Freigelände des BMWK-Projektträgers AiF Projekt GmbH in Berlin-Pankow zahlreiche Förderinitiativen und -programme des BMWK und deren enge Verzahnung „von der Idee zum Markterfolg“ vorgestellt sowie Zukunftsthemen wie ökologische Innovationen, Digitalisierung und Gesundheit in einen besonderen Fokus gerückt.

Als einer von mehr als 200 Ausstellern zeigte das CiS Forschungsinstitut einen Demonstrator des Forschungsprojekts „Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen (BAVI)“. Der Demonstrator zeigt die Funktion eines Sensormoduls zur Betriebskraftüberwachung speziell von Schraubverbindungen.

Hohe Aufmerksamkeit erzielte unser Stand, dokumentiert durch eine hohe Zahl an Besuchern, unter anderem auch Dr. Franziska Brantner, Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz sowie Pressevertreter. ●



## Wirtschaftsnahe Forschung in Thüringen und damit verbundene förderpolitische Herausforderungen

Während mehrerer Termine war das CiS Forschungsinstitut Gastgeber für Vertreter aus der Politik, um eigene Kompetenzen in der industriellen Forschung sowie Entwicklung siliziumbasierter Mikrosensoren entlang der gesamten Wertschöpfungskette vorzustellen. Gleichzeitig nutze die Geschäftsführung die Gelegenheit, um wirtschaftsnahe Forschung in Thüringen und damit verbundene förderpolitische Herausforderungen zu thematisieren.

Wirtschaftsnahe Forschungsinstitute bilden einen wichtigen Baustein für die Wettbewerbsfähigkeit von KMU, nicht nur in Thüringen. Sie überführen Ergebnisse der Grundlagenforschung in Innovationen, die schnell in der Praxis eingesetzt und vermarktet werden können. Damit die Innovationskraft und damit verbundene Wettbewerbsfähigkeit der wirtschaftsnahen Forschungsinstitute, die keine Grundfinanzierung erhalten, gewährleistet ist, sind ständige Investitionen in die technische Infrastruktur sowie die Anstellung von hochqualifizierten Forscherinnen und Forschern, notwendig.

Im Gespräch hatte die Geschäftsführung des CiS Forschungsinstituts unter anderem darum geworben,

sich dafür einzusetzen, dass die landesspezifische FTI-Förderrichtlinie schnellstmöglich freizuschalten sowie den Antragsstopp für ZIM-Förderprojekte beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufzulösen. Die sehr erfolgreiche Förderrichtlinie „FuE-Förderung gemeinnütziger externer Industrieforschungseinrichtungen – Innovationskompetenz (INNO-KOM)“ bereitete ebenfalls Sorgen, da sie zum Ende des Jahres 2022 auslief und trotz positiver Evaluierung des Programms in 2020/21, bis zum Jahresende 2022 noch keine Verlängerung greifbar war. ●



Olaf Müller (Mitglied des Thüringer Landtags und Abgeordneter Bündnis 90/Die Grünen), Matthias Zrubek (Geschäftsführer des Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V.)



Gerald Ullrich (Mitglied des Deutschen Bundestages der Fraktion der Freien Demokraten)



Dr. Katja Böhler (Staatssekretärin für Forschung, Innovation und Wirtschaftsförderung im TMWWDG), Robert Fetter (Referatsleiter Technologieförderung im TMWWDG)

# KONGRESSE

## Hasselt Diamond Workshop 2022 - SBDD XXVI

Die bereits 26. Auflage des renommierten Hasselt Diamond Workshop 2022 – SBDD XXVI fand Anfang März in Hasselt, Belgien statt. Der Workshop entwickelte sich in den vergangenen Jahren zu einem der wichtigsten internationalen Konferenzen für Diamantforschung und -technologie. Das CiS Forschungsinstitut beteiligte sich mit drei Beiträgen aus den Bereichen Quantensensorik und Materialanalyse von NV-Farbzentren in Diamant, sowie der chemischen Passivierung basierend auf einer synthetischen Diamantschicht.

In seinem Vortrag „Compact all-optical quantum sensor device based on NV-Centers in Diamond“ stellte Mario Bähr eine sehr kompakte Strahler-Empfängerbaugruppe vor, die mit NV-haltigem Diamant als Quantensensorelement zur Detektion kleiner Magnetfelder geeignet ist (siehe Abbildung).

Der Posterbeitrag „Approaches for SIMS measurements on 14N and 15N doped diamonds“ stellte erste Mess-Ergebnisse der SIMS-Anlage innerhalb des CiS Analytik Kompetenzzentrums (CAK) vor und nahm

Bezug auf die Stickstoffkonzentrationen und Tiefenprofile, die in Diamant gemessen wurden. Diese Werte sind als Qualitätskennzahl für die Realisierung von NV-Farbzentren in Diamant unentbehrlich.

Wie erfolgreich auf Drucksensoren eine lokale Diamantschicht basierend auf einem zweistufigen Prozess aus Inkjet und Niedertemperatur-CVD-Diamantwachstum prozessiert wurde, erläuterte der Posterbeitrag „Pressure sensor devices featuring a chemical passivation made of a locally synthesized diamond layer“. Mit diesem Prozess kann auf Strukturierungsmaßnahmen der Diamantschicht verzichtet werden. ●



## World Interferometry Day 2022

Die Technische Universität Ilmenau feierte am 6. April den 2. Welt-Interferometrie-Tag mit zahlreichen Aktivitäten und Experimente rund um das Thema Interferometrie sowie Laseranimationen auf dem Campus.

Einige Tage später fand ein internationales wissenschaftlichen Symposium statt. Initiiert durch die TU Ilmenau, würdigte diese Veranstaltung ein optisches Messverfahren, das Interferometer, welches höchstgenaue und präzise Messungen außergewöhnlich kleiner Größen und Effekte ermöglicht. Hierbei wird die Interferenz von Wellen (Licht-, Schall-, Materie- oder Wasserwellen) genutzt, um die zu messende Größe zu be-

stimmen. Vor etwa 140 Jahren begann eine stürmische Entwicklung, als Albert Abraham Michelson gemeinsam mit Morley experimentell die Relativbewegung der Erde im Verhältnis zum Lichtäther messen wollten. Inzwischen gibt es eine Vielzahl an untersuchungsspezifischen Interferometern.

In einem Posterbeitrag erläuterte unser Kollege Dr. Christian Möller das Thema „Transparente Photodetektoren für ein Stehende-Wellen-Interferometer“. Diese Laserinterferometer werden für die höchstpräzise Abstandsmessung eingesetzt. In einer Doppelkonfiguration (Tandem) bestehend aus zwei solcher Sensoren

ist es möglich, Stehende-Wellen-Interferometer mit direkter Auflösung der Bewegungsrichtung zu realisieren. Der Vorteil hierbei ist, dass die sonst übliche Aufteilung in Referenz- und Probenstrahl überflüssig wird und Systeme deutlich einfacher und kompakter reali-

siert werden können. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem CiS Forschungsinstitut entwickelten hierfür im Forschungsprojekt „Tandemdiode“ transparente Detektoren, deren aktive Schichten aus dotiertem Silizium oder Polysilizium bestehen. ●



## IVAM High-Tech-Summit



In diesem Jahr stand der IVAM High-Tech-Summit in Dortmund ganz im Zeichen der Nachhaltigkeit. Am 5. Mai präsentierten Unternehmen und Forschungseinrichtungen in acht Sessions neueste Entwicklungen, Produkte und Anwendungen auf der Präsenzveranstaltung im Dortmunder U. Das CiS Forschungsinstitut

war in zwei Sessions der englischsprachigen Konferenz vertreten.

In der Session „Sustainable Approaches in Medical Technology – An IVAM Focus Group Session“ berichtete Dr. Olaf Brodersen über die manschettenlose

Blutdrucküberwachung mit einem einzigen optischen Sensor. Der entwickelte Sensor kann im Ohr getragen werden, was neben zahlreichen physiologischen Vorteilen für die Signalqualität und -stabilität auch einen alltagstauglichen Tragekomfort ermöglicht. Neben Blutdruck können weitere Vitalparameter wie Herzrate, Herzratenvariabilität und Blutsauerstoffsättigung erfasst werden.

Für diese manschettenlose, alltagstaugliche Lösung, verbunden mit einem hohen Tragekomfort und leichter Integration in andere Medizinprodukte sowie Consumer Elektronik erhielt das CiS Forschungsinstitut 2021 die Auszeichnung Innovation Award 2021 Innovationsstufe der Senetics Healthcare Group in der Kategorie „Innovatives Produkt oder Patent im Healthcare-Bereich“.

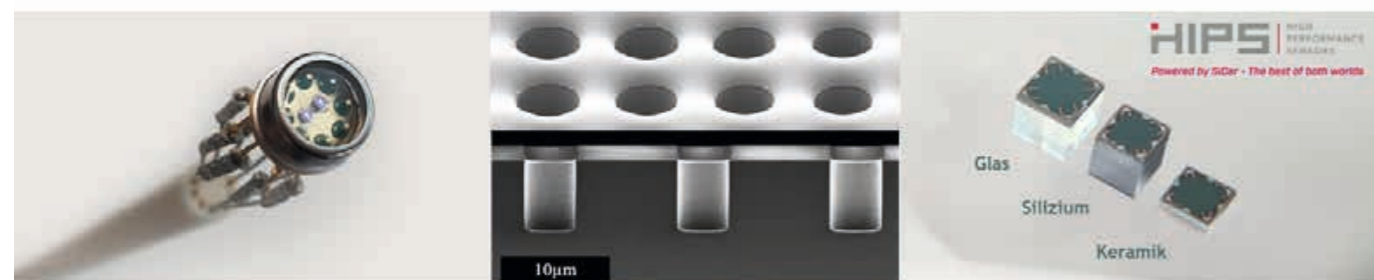
In der Session „New Approaches for a Sustainable Sensortechnology (SensorikNet)“ referierte Prof. Thomas Ortlepp, Geschäftsführer des CiS Forschungsinstituts, über hochpräzise Montagetechnologien für moderne Mikrosysteme. Die starke Miniaturisierung und hohe Komplexität der Sensoren erhöht die Anforderungen an Montagetechnologien und deren Genauigkeit. Verschiedene Technologien wurden anhand konkreter Anwendungen betrachtet. Neben dem CiS Forschungsinstitut stellten in dieser Session weitere Thüringer Unternehmen ihre Kompetenzen vor. Alle vereint die Mitgliedschaft im SensorikNet e.V., der 2021 in Thüringen neu gegründet wurde. Der Verband vernetzt Entwickler und Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette bis zum Endanwender im Bereich der Sensorik und Elektronik. ●

microTEC Südwest Clusterkonferenz 2022



Clusterkonferenz 2022

18. bis 19. Mai 2022 in Freiburg



Nach fast zwei Jahren Pause fand in Freiburg vom 18. bis 19. Mai 2022 das Netzwerktreffen der Mikrosystemtechnik statt. Der Fokus lag auf Vernetzung und Austausch zu wichtigen Zukunftstrends und neuen Anwendungsfeldern mit Mikrosystemtechnik.

In der Session 1 „Sensorik für die Praxis“ präsentierte Dr. Martin Schädel, Geschäftsfeldleiter MOEMS am CiS Forschungsinstitut, das Thema: „Spektralselektive optische Eigenschaften von infraroten Sensorelementen“. Mittelpunkt seines Vortrages bildeten photonische Kristalle als optische Filter für Infrarot-Emitter.

Dr. Ingo Tobehn-Steinhäuser berichtete über „Hochgenaue Temperaturdioden für den Anwendungsbe- reich von 4 K bis 500 K“ in der Session 12 „Kalibrierung & Prüfverfahren“. In seinem Vortrag stellte er die Entwicklung siliziumbasierter Temperaturdioden vor, die im Hochtemperaturbereich bis maximal 300°C mit einer Einpunktkalibrierung verwendbar sind.

F flankiert wurde die Clusterkonferenz durch eine Fachausstellung. Der Wachstumskern High-Performance-

Sensorsysteme (HIPS), vertreten durch Dr. Olaf Brodersen, Senior-Geschäftsfeldleiter MOEMs, wird hier aktuelle Forschungsergebnisse vorstellen. Das Thüringer Bündnis aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen zielt auf die Entwicklung und gemeinsame Vermarktung neuartiger, robuster, hochintegrierter Sensoren auf Basis einer einzigartigen Verbindung von Siliziumtechnologie (Si) und keramischer Mehrlagentechnik (Cer). Das CiS Forschungsinstitut legt hier den Schwerpunkt auf die zuverlässige Kontaktierung und Fügung von SiCer-Substraten. ●

Sensortechnik und Festkörperanalytik beim IMN Kolloquium

Das Institut für Mikro- und Nanotechnologien der Technischen Universität Ilmenau veranstaltet regelmäßig das IMN-Kolloquium, in dessen Rahmen laufende Forschungsarbeiten vorgestellt sowie der offene Austausch und Diskurs gefördert wird. Am 15. Juni waren Prof. Thomas Ortlepp und Dr. Kevin Lauer Vortragende beim IMN-Kolloquium in Ilmenau. Im Vortrag „Competence in Silicon – sensor technology and solid state analytics“ gaben sie einen Überblick unseres technischen Potentials und stellten einige ausgewählte Entwicklungsthemen vor, wie z.B. transparente Silizium-Photodioden, Low-Gain-Avalanche-Photodioden, komplexe MEMS-Multiwafer-Technologien

sowie Beiträge zur Systemintegration in der Quantentechnologie. Zusätzlich zur mehr als 25-jährigen Erfahrung in der industriellen Sensorforschung bietet das CiS Forschungsinstitut auch ein breites Spektrum an Festkörperanalysemethoden an. Um innovative Technologien zu verstehen, zu kontrollieren und zu optimieren, ist der Einsatz von Nano- und Oberflächenanalytik unerlässlich. Insbesondere dann, wenn Fragen der Qualitätskontrolle, der Fehlersuche oder der Umweltverträglichkeit auftreten. Es werden die Analysetools und -methoden vorgestellt und die wichtigsten Kennzahlen erläutert. ●



## Energieautonome Sensorsysteme - EASS 2022

Im Zuge der Digitalisierung steigt der Bedarf an Sensoren weltweit. Als Schnittstelle zur Umgebung messen, steuern und regeln Sensoren Prozesse im Alltag, Automobil, Forschung, Industrie, Kommunikation, Landwirtschaft oder Medizin. Die 11. EASS-Fachtagung kam am 5. und 6. Juli als Präsenzveranstaltung nach Erfurt und setzte die ressourcenschonende Entwicklung energieautonome Sensorsysteme (EASS) und deren Vernetzung in den Fokus. Dr. Klaus Ettrich, Geschäftsfeldleiter MEMS, vertrat im Programmkomitee das CiS Forschungsinstitut und leitete die Session „Sensoren“ gemeinsam mit Stefan Leidich, Robert Bosch GmbH.

Mit dem Vortrag „Monitoring von Verbindungselementen mit Hilfe von Silizium-Dehnmessstreifen“ stellte

Dr. Thomas Frank, Fachbereichsleiter MEMS am CiS Forschungsinstitut, Technologieplattformen vor, auf deren Basis Vorspannkraft und die Betriebskraft sowie ihre zeitliche Änderung bestimmt werden können.

In der begleitenden Poster-Session präsentierte unser Kollege Dr. Ingo Tobehn-Steinhäuser einen Beitrag zum Thema „Redundante Temperatursensorik für das Batterien-Monitoring“.

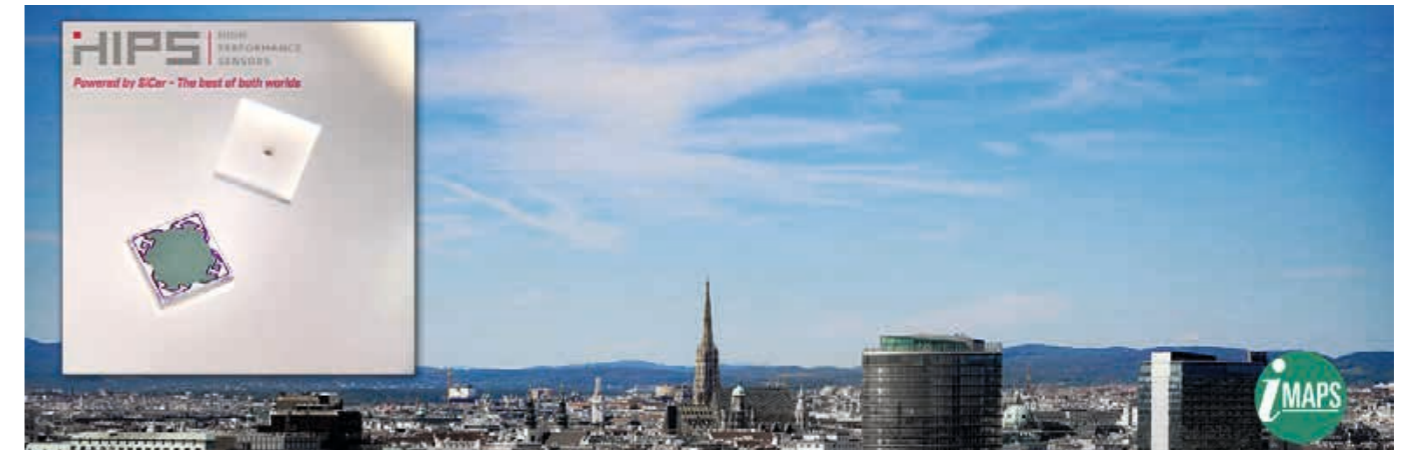
Zum Programm des ersten Konferenztages gehörte auch eine Besichtigung des CiS Forschungsinstitutes, die im Anschluss der Vorträge stattfindet. Hier wurde interessierten Teilnehmenden das Spektrum an Festkörperanalysemethoden des CiS Analytik Kompetenzzentrums vorgestellt. ●



## CICMT 2022 in Wien

Die internationale Konferenz „Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies“ legte vom 13. bis 15. Juli den Fokus auf kostengünstige und zuverlässige Hochleistungs-Keramik-Verbindungsprodukte für Mikrosysteme bei extremen Umgebungen in der Automobil-, Luft- und Raumfahrt-, Beleuchtungs-, Solar- und Kommunikationsindustrie.

Begleitet wurde die Konferenz in Wien durch eine Fachausstellung. Der Wachstumskern „HIPS – High-Performance-Sensorsysteme“ demonstrierte hier aktuelle Forschungsergebnisse und wurde durch Dr. Michael Hintz, Fachbereichsleiter Aufbau- und Verbindungstechnik im CiS Forschungsinstitut sowie Uwe Krieger, VIA electronic GmbH, vertreten. ●



## Passivierungsmöglichkeiten für MEMS-Sensoren auf der ACHEMA in Frankfurt

Vom 22. bis 26. August 2022 war die ACHEMA erneut Treffpunkt der weltweiten Prozessindustrie. Technologieanbieter, Anwender und Forscher gestalteten in Frankfurt neben der Messe ein umfangreiches Kongressprogramm, um zukünftige Herausforderungen der Prozessindustrie zu meistern.

In der Session „Instrumentation, control and automation techniques – Sensor Connectivity and Protection“ am berichtete Dr. Heike Wünscher aus dem CiS Forschungsinstitut in ihrem Vortrag „Passivation of silicon based MEMS flow sensors“ über Passivierungsmöglichkeiten für MEMS-Sensoren als Strömungssensor in

rauen Umgebungsbedingungen und stellte Ergebnisse des Projektes PassDru vor.

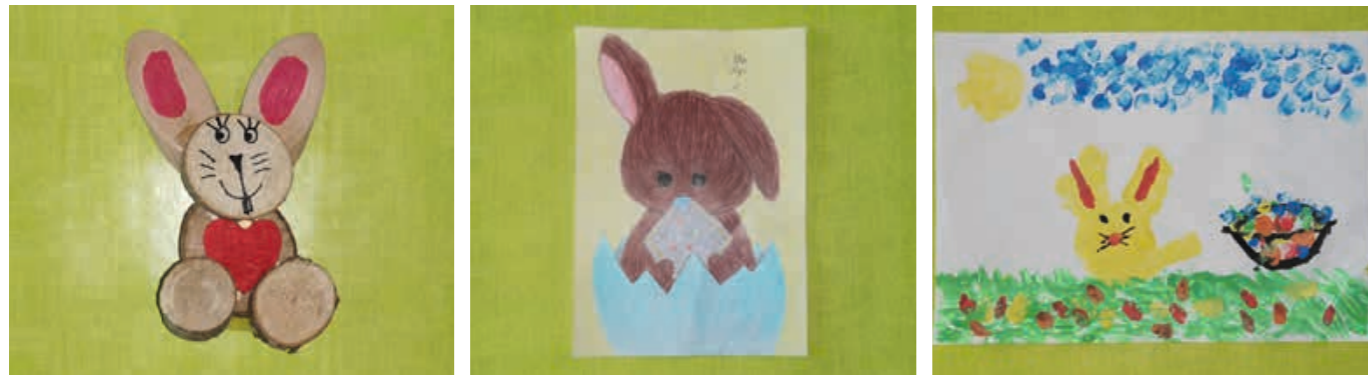
Sensoren für mechanische Größen benötigen einen mechanischen Kontakt mit der Messgröße. Allerdings ist der direkte Medienkontakt meist problematisch, da die Medienresistenz des Sensors nicht immer gewährleistet werden kann. Um die Vorteile der Miniaturisierung voll ausnutzen zu können, wurde ein Korrosionsschutz auf Chipebene aufgebracht. Der entwickelte Sensor besteht aus vier piezoresistiven dehnungsempfindlichen Messwiderständen, die zu einer Wheatstone-Brücke verschaltet sind. ●



# CIS INTERNE VERANSTALTUNGEN

## CiS AKTION: Malt den Osterhasen

Die Geschäftsführung des CiS Forschungsinstituts lud erneut zu einer kreativen Mitmach-Aktion. Die Kinder aller Mitarbeitenden waren aufgerufen, selbstgemalte Bilder des Osterhasen oder österliches Selbstgebasteltes einzureichen. Für jedes teilnehmende Kind gab es eine süße Überraschung als Belohnung. Die zahlreichen kreativen Einreichungen der jungen Künstler und Künstlerinnen können in unserer Online-Galerie bestaunt werden. Wir wünschen viel Freude und Vergnügen beim Durchblättern. ●



## CiS Sommerfest

Bei milden Temperaturen trafen sich Anfang Juli die Kolleginnen und Kollegen des CiS Forschungsinstituts auf dem Gelände des Forsthaus Willrode zum CiS Sommerfest 2022.

Nach einer kleiner Eröffnungsrede durch Thomas Ortlepp und Thomas Brock sowie der offiziellen Verab-



schiedung von Arndt Steinke startete im idyllischen Ambiente des Willrodaer Forst bei frischem Kuchen und unterschiedlichsten Kaffeespezialitäten, bereitgestellt durch das Coffee Bike, das gemütliche Beisammensein.

Für die kleinen Gäste gab es neben Hüpfburg und Kinderschminken, eine märchenhafte Vorstellung zum Mitmachen. An andere Stelle des weiten Geländes konnte man sich im Bogenschießen versuchen. Wer mochte, ließ sich zweierlei Biersorten der Kleinbrauerei Freitag frisch vom Fass sowie später allerlei Thüringer Rostspezialitäten und Kostproben aus dem Wildlarden Sortiment schmecken.

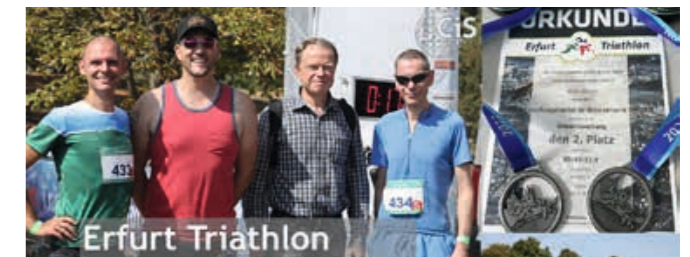
Nach coronabedingter zweijähriger Pause hat das CiS Sommerfest eine gelungene Wiederauflage gefeiert und allen Anwesenden viel Freude bereitet. ●

## 34. Erfurter Triathlon mit Firmenstaffel

Bei schönstem Sonnenwetter fand der 34. Erfurt-Triathlon statt, verkehrstechnisch bedingt ausnahmsweise als ein Swim & Run-Wettkampf für alle Altersklassen mit Strecken für Hobby- und Leistungstriathleten. Trotz dieser Einschränkung kamen zahlreiche Teilnehmer zum schönen Strandbad Stotternheim vor den Toren Erfurts und ließen es sich nicht nehmen, an diesem sportlichen Ereignis teilzunehmen.

Bei angenehmen Wassertemperaturen von 22 Grad stürzten sich insgesamt knapp 300 Wettkämpfer von Jung bis Alt ins Wasser und bewältigten die unterschiedlichen Schwimmstrecken. Daran schloss sich der Lauf an, der auf einer Wendepunktstrecke am Rand des Strandbades Stotternheim absolviert wurde.

Das CiS Forschungsinstitut ist zur Firmenstaffel Swim & Run mit zwei Teams (Thomas Hein / Alexander Lawrenz sowie Stefan Görlandt / Mario Bähr) angetreten. Beide Teams zeigten eine kämpferische Leistung und konnten finishen. In der Endwertung erreichte das CiS-Team um Görlandt/Bähr einen Podestplatz und belegte Platz 2 in der Firmenstaffelwertung. Wir gratulieren beiden Teams für die tolle, sportliche Leistung. ●

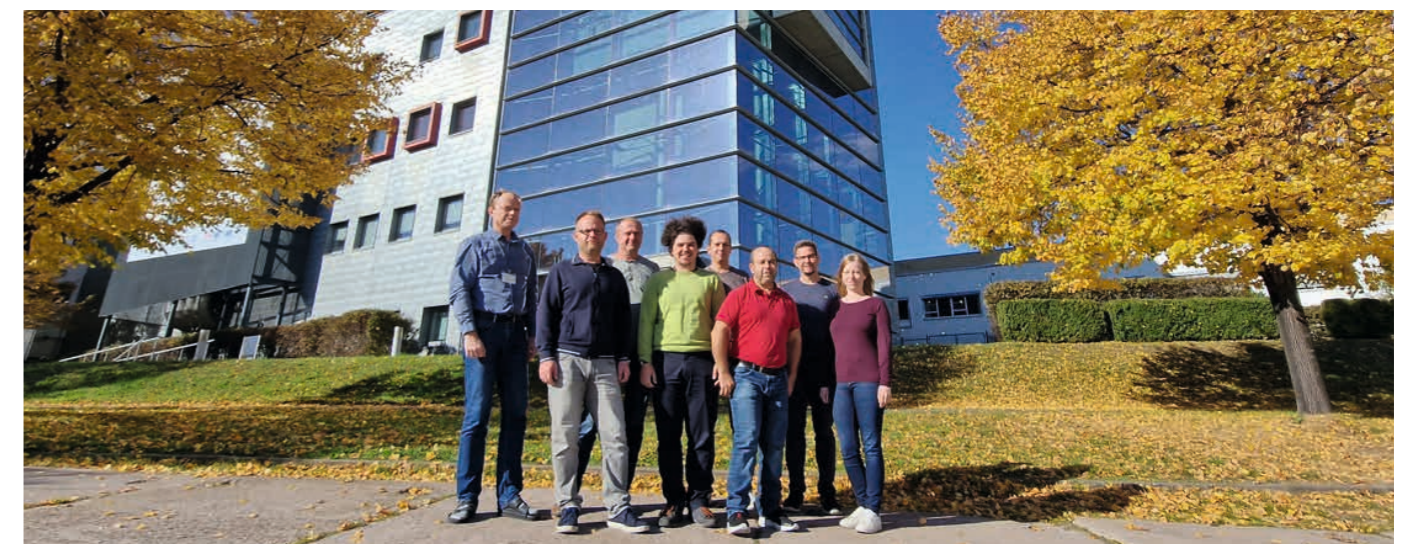


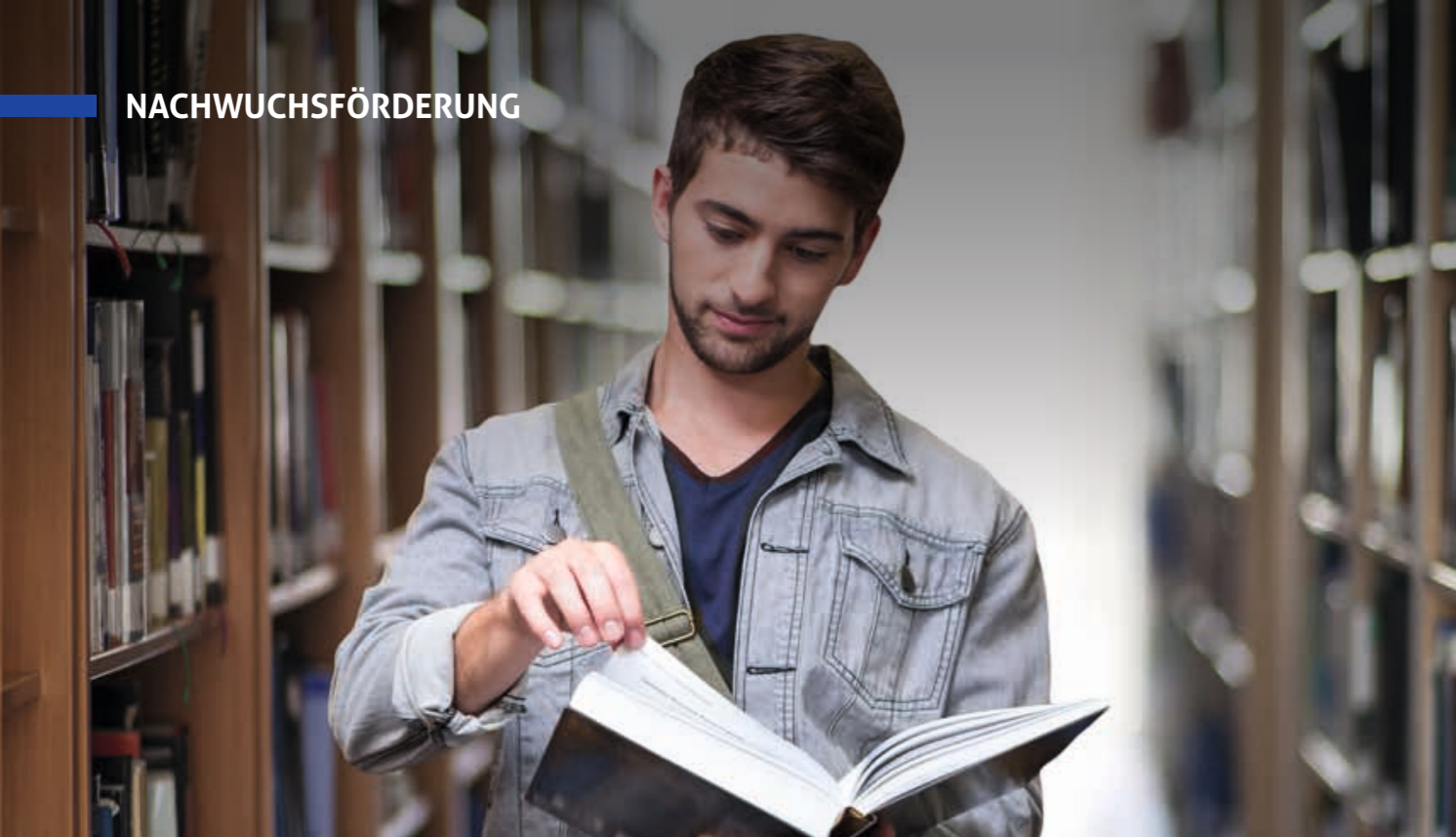
## Zwei Bäume bei Umweltwettbewerb für Pflanzaktion erradelt

Das CiS Forschungsinstitut beteiligte sich bereits zum dritten Mal am Umweltwettbewerb Stadtradeln. Dabei geht es darum, an 21 Tagen möglichst viele Alltagswege klimafreundlich mit dem Fahrrad zurückzulegen. Von insgesamt 183 Teams in Erfurt haben die Radbegeisterten des CiS Forschungsinstituts Platz 50 belegt. Das 15 Mitglieder starke Team fuhr 2.300 Kilometer Fahrrad im Aktionszeitraum. Dadurch konnten die 15 Radelnden nicht nur 354 kg CO2 vermeiden, sondern auch zwei Bäume für die Baumpflanzaktion erradeln.

Am 12. Oktober war der Treffpunkt am Thüringer Forstamt Erfurt-Willrode für die gemeinsame Baumpflanzaktion und Auszeichnung der besten Stadtraderinnen und Stadtrader. Für jede 1.000 gefahrene Fahrrad-Kilometer, die während des Aktionszeitraumes geradelt werden, wird vom Umwelt- und Naturschutzamt ein Baum gespendet.

Wir gratulieren ganz herzlich allen Teilnehmenden zu diesem sportlichen Erfolg. ●





# NACHWUCHSFÖRDERUNG AM CIS FORSCHUNGSINSTITUT

Um den großen Herausforderungen unserer Gesellschaft wie Dekarbonisierung, Klimaschutz, Nachhaltigkeit zu meistern, bedarf es vieler Innovationen. Voraussetzung hierfür ist ein hohes Potenzial an MINT-Fachkräften. Frühzeitige Förderung, Experimentieren und stetige Begleitung können dazu beitragen, Interesse zu wecken als Voraussetzung den steigenden Fachkräftebedarf zu decken. Mit der fortschreitenden Digitalisierung sind Ideen und Möglichkeiten gefragt, Ausbildung und Studienfächer weiter zu entwickeln und damit Fachkräfte für Thüringen zu gewinnen. Diese Themen beschäftigte auch die Thüringer Landeswissenschaftskonferenz auf ihrer Sitzung am 16.03.2022. Als zentrale Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, vertritt unser Geschäftsführer Prof. Ortlepp, die Interessen und Aktivitäten der wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen des Thüringer Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V. ●

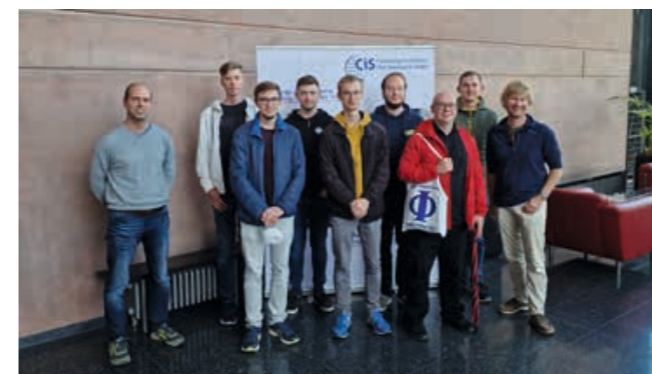
## Hochschulen und Universitäten

Seit mehr als 20 Jahren arbeiten wir mit der Technischen Universität Ilmenau zusammen, die durch gemeinsame Projekte mit dem Zentrum für Mikro- und Nanotechnologie (ZMN) vertieft wurden. Im Jahr 2011 mündete diese Kooperation in die Anerkennung als An-Institut der TU Ilmenau. Unser Credo ist dabei die Ausbildung zu ergänzen, durch Vorlesungen, Praktikas und Betreuung von Experimenten und Gerätetechnik. Dabei konzentrieren wir uns auf die Fachgebiete Technische Physik und optische Halbleiterbauelemente. Für die Studierenden bieten wir Themen für Bachelor- und Masterarbeiten. Sie entstehen im Umfeld wissenschaftlicher Projektvorhaben mit hoher Industrierelevanz am CiS Forschungsinstitut und dem Fokus auf Mikrosystemtechnik, Photonik, Elektrotechnik und Quantentechnologie. Auch an weiteren Thüringern Hochschulen ergänzen wir Vorlesungen und bieten zahlreiche Praktika an.



Wir sind ebenfalls Praxispartner für duale Ausbildungen. An der Fachhochschule Schmalkalden kann der Bachelorabschluss für Mikrotechnologien erworben werden. Die duale Hochschule Gera-Eisenach bietet für kaufmännische Bereiche sowie auf dem Gebiet der Elektrotechnik dualen Bachelorabschlüsse an.

Unsere industriennahe Forschung und Entwicklung unterstützt vor allen klein- und mittelständische Unternehmen mit geringer Forschungskapazität und hohem Risiko neue Forschungsergebnisse in Anwendungen umzusetzen. Wissenschaftliche Fragestellungen entstehen in diesem Umfeld und können als Promotions-themen bearbeitet werden. Als An-Institut der TU Ilmenau kann das CiS Forschungsinstitut hier Arbeitsstellen mit Promotionsmöglichkeit anbieten und gemeinsam mit Universitäten betreuen. ●



Die Regionalgruppen der Junge Deutschen Physikalischen Gesellschaft (jDPG) organisieren für Interessierte von der allgemeinbildenden Schule bis zur Promotion, Veranstaltungen, um mit Berufstätigen ins Gespräch zu kommen, Arbeitsgebiete sowie Forschungsthemen kennenzulernen und sich auszutauschen. Am 14. Oktober 2022 begrüßten wir Studierende der Regionalgruppe Ilmenau, stellten uns ihren Fragen, zeigten Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in der optischen Sensorik und besuchten unser CiS Analytik-Kompetenzzentrum.

## Berufsausbildung

Besonderen Fokus legen wir auch auf die Facharbeiterausbildung. Seit mehr als 20 Jahren sind wir anerkannter Ausbildungsbetrieb für die Berufsausbildungen mit IHK-Zertifikat für Mikrotechnologen und Industriekaufleute. Fachspezifische Ausbildungsverantwortliche begleiten die Auszubildenden von Anfang an. Dabei wird die überbetriebliche Ausbildung durch den Ostthüringer Ausbildungsverbund organisiert.

2019 starten wir das Projekt, Jugendliche mit Migrationshintergrund für eine technische Ausbildung zu

Seit 2015 sind wir eng verzahnt mit dem Lehrstuhl für extrem energieeffiziente Mikroelektronik und hochempfindliche Sensorik an der Yokohama National University in Japan. Prof. Ortlepp als Distinguished Professor am Institute of Advanced Science forscht und lehrt hier in einem internationalen Team.



gewinnen und dabei auch etwaige Sprachhürden zu meistern und Bedürfnisse individuell zu fördern. Nach erfolgreichem Abschluss seiner Ausbildung setzt nun ein junger Mikrotechnologe seine Karriere im CiS Forschungsinstitut fort. Ebenfalls erfolgreich wurde eine Ausbildung im kaufmännischen Bereich abgeschlossen. Schülerinnen und Schülern sowie Absolventen bieten wir Ferienarbeit, Orientierungstage und verschiedene Praktikaformate an. Umschüler und Quereinsteiger können ebenfalls Praktika zur beruflichen Orientierung nutzen und die Möglichkeit ergreifen, eine anerkannte IHK-Ausbildung durchzuführen. Durch diese Maßnahmen sowie mit einer individuellen Betreuung gelingt es, Bewerbende für eine Facharbeiterlaufbahn zu gewinnen und zu fördern. ●



### CiS Forschungsinstitut stellt auf dem Thüringer Forum Mobilität in Ilmenau aus



Das auf dem Campus der TU Ilmenau stattfindende „Thüringer Forum Mobilität“ stand 2022 unter dem Motto „Vernetzt in die digitale Zukunft“. Am 15. September stellte das CiS Forschungsinstitut in der Begleitausstellung seine Kompetenzen für eine vernetzte und intelligente Infrastruktur vorstellen. Für eine nachhaltige Transformation der Fahrzeug- und Zulieferindustrie sowie Mobilität werden immer mehr und leistungsstarke Sensoren notwendig, die Prozesse, Systeme, messen, steuern und regeln.

Parallel zur Veranstaltung fand die Firmenkontaktbörse „It's a match!“ statt. Wer ein Praktikum, interessante Themen für Abschlussarbeiten oder eine Einstiegsstelle sucht, konnte hier fündig werden. ●

### comeback – Thüringer Jobmesse für Pendler & Rückkehrer

Ende September warb das CiS Forschungsinstitut auf der comeback – Thüringer Jobmesse für Pendler & Rückkehrer um motivierte Bewerberin und Bewerberinnen für eine Vielzahl offener Stellen. Im COMCENTER Brühl in Erfurt kamen wir mit Interessenten für ihre Jobangebote, Ausbildungsplätze und Praktika ins Gespräch. ●



### Thüringer Technologie-Wettbewerb getstarted2gether ging in die fünfte Runde

Vier Wochen dauerte die Bewerbungsphase für technologieorientierte Start-ups aus Thüringen, um sich für eine sechsmonatige Einzelförderung zu bewerben und von der Zusammenarbeit mit einer der Thüringer wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen zu profitieren. Der Gründerwettbewerb „getstarted2gether“ ging in die fünfte Runde und Interessenten können ihre Anträge erstmals direkt über die neu gestaltete Landingpage [www.gs2g.de](http://www.gs2g.de) stellen.

Die gemeinsame Initiative des Forschungs- und Technologieverbundes Thüringen e.V. (FTVT) mit dem Thüringer Wirtschafts- und Wissenschaftsministerium wartete mit einem Förderbudget von einer Million Euro auf. Start-ups mit innovativen Projekten haben auf diese Weise die Chance, mit einer maximalen Einzelförderung von 200.000 Euro für insgesamt sechs Monate die technische Infrastruktur einer gemeinnützigen wirtschaftsnahen Forschungseinrichtung im Freistaat zu nutzen.

Der Pitch am 5. Mai 2022 galt als „Nagelprobe“ für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Träger des Wettbewerbs, die Partner und die Jury freuten sich auf spannende und zukunftsweisende Technologievorhaben.



Thomas Brock, Geschäftsführer des CiS Forschungsinstitutes gratulierte dem jungen Gründer Philipp Caspari herzlich zu seinem Erfolg

### Kooperation mit Healyan beim Gründerwettbewerb getstarted2gether

Nach erfolgreichem Pitch werden die Healyan UG und das CiS Forschungsinstitut das Gründungsprojekt „Lichttherapeutisches Gerät zum Erhalt und zur Verbesserung psychischer und physischer Gesundheit“ in den nächsten sechs Monaten gemeinsam weiterentwickeln.

Thomas Brock, Geschäftsführer des CiS Forschungsinstitutes gratulierte dem jungen Gründer Philipp Caspari herzlich zu seinem Erfolg. Im zehnmündigen Pitch überzeugte er die Jury mit dem Konzept einer preiswerten Stroboskopischen Therapie-Brille. Sein Gründungspartner Leon Yushin war live aus den USA zugeschaltet.

Mit dem Projekt „Strobes“ verfolgt die junge Firma Healyan mit Unterstützung des CiS Forschungsinstitutes die Entwicklung eines Licht-Therapie-Gerätes. Die Umsetzung erfolgt im Format einer alltagstauglichen Sonnenbrille, die – mit entsprechender Elektronikeinheit ausgestattet – mehrere LEDs mit therapeutisch wirksamen, stroboskopischen Frequenzen betreibt. Im Fokus der Entwicklung steht dabei die kompakte Umsetzung der Schaltung sowie deren Integration in das Brillengestell.

Im Rahmen der Veranstaltung präsentierten zahlreiche Startups der vorangegangenen Wettbewerbe ihre erfolgreichen Entwicklungen. Wirtschaftsminister Tiefensee nutzte die Gelegenheit, die Alumni-Ausstellung zu besuchen und sich über die Weiterführung der jungen Unternehmen zu informieren. ●



# VEREINE & VERBÄNDE

Das CiS Forschungsinstitut arbeitet in nachstehenden Verbänden, Vereinen bzw. Fachgremien, teilweise auch durch Mitwirkung in den jeweiligen Vorständen:

- Advanced UV for Life e.V.
- AIT Arbeitskreis der Informationsvermittler Thüringen e.V.
- AMA Fachverband für Sensorik e.V. (Wissenschaftsrat, verschiedene Arbeitskreise)
- Arbeitskreis Mikrosysteme für Biotechnologie und Lifescience e.V.
- Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V. (Mitglied im Innovationsrat)
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
- DECHEMA
- Forschungs- und Technologieverbund Thüringen (FTVT e.V.)
- Forschungs- und Industriezentrum Erfurt e.V. (FIZ e.V.)
- Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e.V. (GFE)
- Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Arbeitskreis Korrosionsschutz in der Elektronik und Mikrosystemtechnik
- Informationsdienst Wissenschaft idw e.V.
- Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gemeinnützige GmbH (IAB)
- Industrie- und Handelskammer Erfurt
- IHK Prüfungskommission für den Mikrotechnologen
- Industrie- und Handelskammer Erfurt (Mitglied der Vollversammlung)
- International Microelectronics and Packaging Society (IMAPS)
- IVAM e.V. Fachverband für Mikrotechnik (AK Innovation, AK Marketing)
- Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (IPHT)
- Medways e.V.
- OptoNet e.V. Jena
- Ostthüringer Ausbildungsverbund
- SensorikNet e.V. (Vorstandsmitglied)
- Thüringer Landeswissenschaftskonferenzen
- Thüringer Stiftung für Bildung und berufliche Qualifizierung
- Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK)
- Unternehmerverband Thüringen e.V.
- Verband innovativer Unternehmen e.V. (VIU)
- VDI/VDE-GMA FA 2.53 Gasfeuchtemessung
- VDI/ VDE, Arbeitskreis Mikrotechnik Thüringen
- VDE/VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik



## Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V. (FTVT)

Dieser Verbund bildet die Landesvertretung für die Zuse Gemeinschaft und ist der Zusammenschluss der gemeinnützigen, wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen (Winafos) im Freistaat Thüringen. Gemeinsam mit inzwischen neun weiteren Winafos im Verbund werden die wichtigsten Technologiefelder der Thüringer Wirtschaft abgedeckt.



## IVAM Fachverband für Mikrotechnik

Der internationale Mikrotechnik-Fachverband für die Hightech-Branche und Experte für Technologiemarketing unterstützt seine Mitglieder, mit innovativen Technologien und Produkten an den Markt zu gehen. Regelmäßige Online Veranstaltungen wie das virtuelle Technologiegespräch Mid-Week Coffee Break oder Spotlights der Mikro- und Nanotechnologie geben einen Überblick über die neuesten technologischen Anwendungen, Innovationen und überfachlich relevanten Themen der Hightech-Branche. Unterschiedlichste IVAM-Fachgruppen erleichtern das Netzwerken und sorgen für kontinuierlichen Informationsaustausch.



## Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad-Zuse e.V.

Als dritte Säule der deutschen Forschungslandschaft vertritt die Zuse Gemeinschaft mehr als die Hälfte aller in Deutschland ansässigen Institute einer mittelständisch geprägten Forschung. Das CiS Forschungsinstitut engagiert sich seit der Gründung im März 2015 in dieser Gemeinschaft. Ziel ist es, verlässliche forschungspolitische Rahmenbedingungen zu gewährleisten, um den Mittelstand mit praxisnahen und kreativen Ideen zu unterstützen. Prof. Ortlepp, Institutsleiter des CiS Forschungsinstitutes ist Mitglied im Innovationsrat der Industrieforschungsgemeinschaft.



## AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

Der AMA Verband versteht sich als führendes Netzwerk für die Schlüsselbranche Sensorik und Messtechnik. Er bietet mit seinem detaillierten Branchenführer einen Überblick über Sensoren, Mess- und Prüftechniken. Auf der jährlich stattfindenden Fachmesse SENSOR+TEST und dem parallel stattfindenden Kongress Sensor and Measurement Science International (SMSI) sowie auf Gemeinschaftsständen wichtiger Leitmesse im In- und Ausland unterstützt der Verband den Innovationsdialog. Der Verband vergibt jährlich einen renommierten Innovationspreis und bietet Technologie-Seminare sowie Thementage mit Schwerpunkten aus Sensorik und Messtechnik.



# NETZWERKE, KONSORTIEN, WACHSTUMSKERNE

## Nationale ZIM Innovationsnetzwerke



## Internationale ZIM Innovationsnetzwerke

### QPHOT

#### Quantum Photonics

Das europäische Netzwerk Quantum Photonics bringt Experten und Führungskräfte aus ganz Europa und entlang der Wertschöpfungskette der Quantenphotonik-Technologien zusammen. Das Projektteam stellt sich hierbei der Aufgabe, bereits demonstrierte Prinzipien und Funktionsmuster aus der Grundlagenforschung heraus in reale Anwendungen und Produkte zu überführen. Typischerweise durch Industriepartner getrieben, entstehen dadurch kundenspezifische, vermarktbarbare Sensorlösungen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



### SmartBlue

**Blaulicht und blaue LEDs mit opto-sensorischem Monitor- und Feedbacksystem für neue effiziente Anwendungen**

Blaue LED haben das Potenzial gesundheitsschädliche UV-Strahler für Anwendungen zur Desinfektion und Keimbekämpfung zu ersetzen. Vorhandene Systeme werden systematisch untersucht und mit entsprechender Sensorik und Monitoringsystemen ausgestattet. Ziel ist es, effiziente und sicher zu dosierende Bestrahlungen in Anhängigkeit der Anwendungen zu gewährleisten.

### IQuSense

#### Innovative Quantum Sensing

Das internationale Netzwerk beschäftigt sich mit der Entwicklung von Quantensensoren sowie von kompakten und robusten Schlüsselkomponenten, unter anderem integrierte Lasermodule. Industriepartner begleiten diese Forschungen und legen den Schwerpunkt auf Integration, Energieeffizienz und Transferierbarkeit in die Wirtschaft. Die schnelle Umsetzung kann in vielen Bereichen neue Märkte für die Unternehmen bedeuten, beispielsweise in der Kommunikationstechnik, im medizinischen Bereich oder in der Navigation.

## Konsortien und Wachstumskerne



GEFÖRDERT VOM



# VERANSTALTUNGEN

## Tech-Expo zum 30jährigen Jubiläum



Tech-Expo in Schmalkalden  
30 Jahre GFE

Anlässlich der Feierlichkeiten zum 30-jährigen Jubiläum der GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V. wurde zur Tech-Expo auf dem Gelände der GFE in Schmalkalden eingeladen. Zur „Tech-Expo Werkzeuge & Produktion“ stellten Thüringer Wissenschafts- und Forschungspartner aus Wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen sowie Netzwerkpartner der GFE eine Auswahl von Projekten zu dieser interessanten Thematik vor, so zum Beispiel das CiS Forschungsinstitut mit Mikrosensorik für die Produktions- und Fertigungstechnik.

Als ein Highlight zeigten wir miniaturisierte Taster (Cantilever) aus einkristallinem Silizium mit integrierter piezoresistiver Messbrücke für die schnelle Inline-Qualitätskontrolle von Bauelementen unterschiedlichster Materialien. Solche Sensoren können als Nacktchip, als Leiterkarte mit analogem bzw. digitalem Ausgang (Testboard) oder als kundenspezifische Aufbauten geliefert werden. Außerdem konnten Besucher aktuelle Forschungsergebnisse wie ein Tastsystem mit stark reduzierter Antastkraft zur Bestimmung der instrumentierten Eindringhärte oder Mikrosensoren für die Lichteinfallrichtung sehen. Gratulation zu 30 Jahren voller Entwicklungen und Innovationen. ●

## Herzliche Glückwünsche an die TU Ilmenau und das ZMN

Während der Festveranstaltung am 5. Oktober 2022 unter dem Motto „Forschung, Lehre, Leben“ gratulierte unser Geschäftsführer Thomas Brock stellvertretend für alle Mitarbeitenden des CiS Forschungsinstituts Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Kai-Uwe Sattler zu 30 Jahren Technische Universität Ilmenau. Gleichzeitig wurde auch das 20-jährige Jubiläum des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologie (ZMN) an der TU Ilmenau gefeiert.

Als An-Institut der TU Ilmenau sind wir sehr stolz darauf, mit vielen ihrer Einrichtungen eng zusammenzuarbeiten. Auf weitere gemeinsame und spannende Forschungsaufgaben und darauf die Herausforderungen für die Forschung der Zukunft zusammen zu meistern, freuen wir uns sehr. ●



Festakt zum Jubiläum  
Glückwünsche an die TU Ilmenau  
und das ZMN

## Vorstandswahl im FiZ e.V. mit Übergabe des Staffelstabes

Anlässlich der Wahl des Vorstandes auf der jährlichen Mitgliederversammlung des Forschungs- und Industriezentrum Erfurt (FiZ) e.V. fand auch die Verabschiedung langjähriger Vorstandsmitglieder statt. Neben Joachim Lange, Geschäftsführer der AT&M Technologie und Marketing GmbH, wurde auch Hans-Jürgen Straub, Gründungschef und langjähriger Geschäftsführer der X-FAB Semiconductor Foundries GmbH für seine Verdienste als Mitbegründer und seitdem Vorstandsvorsitzender des FiZ e.V. gewürdigt. Nach 29 Jahren

ehrenamtlicher Vorstandsarbeit überreichte er den Staffelstab an seinen neugewählten Nachfolger Dr. Gabriel Kittler, Geschäftsführer der X-FAB Semiconductor Foundries GmbH.

Als stellvertretender Vorstand wurden Prof. Thomas Ortlepp, CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH sowie Heiko Reinhardt, LEG Thüringen mbH, wiedergewählt. ●



fiz Forschungs- und Industriezentrum Erfurt e.V.

Vorstandswahl mit  
Übergabe des Staffelstabes



## PUBLIKATIONEN & KONFERENZEN 2022

### Artikel in referierten Journalen

„Spectrally pure far-UVC emission from AlGaIn-based LEDs with dielectric band pass filters“, Martin Guttmann, Neysha Lobo-Ploch, Heiko Gundlach, Frank Mehnke, Luca Sulmoni, Tim Wernicke, Hyun Kyong Cho, Katrin Hilbrich, Alexander Külberg, Matthias Friedler, Thomas Filler, Indira Käßplinger, Dennis Mitrenga, Christian Maier, Olaf Brodersen, Thomas Ortlepp, Ulrike Woggon, Sven Einfeldt, Michael Kneissl, Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 55, Number 20, 18.02.2022

„Manufacture of high-strength differential pressure sensor using SiCer technology“, Cathleen Kleinholz, Andrea Cyriax, Michael Hintz, Jens Müller, Thomas Ortlepp, 2022 International Conference on Electronics Packaging (ICEP), Sapporo, Japan, 11.-14.05.2022

„Development of Low-Gain Avalanche Detectors in the Frame of the Acceptor Removal Phenomenon“, Kevin Lauer, Katharina Peh, Stefan Krischok, Stephanie Reiß, Erik Hiller, Thomas Ortlepp, Physica status solidi (a), Volume 219, Issue 17, 09/2022

„ASi-Sii-defect model of light-induced degradation in silicon“, Kevin Lauer, Katharina Peh, Dirk Schulze, Thomas Ortlepp, Erich Runge, Stefan Krischok, Physica status solidi (a), Volume 219, Issue 19, 10/2022

„Pressure sensor devices featuring a chemical passivation made of a locally synthesized diamond layer“, Mario Bähr, Indira Käßplinger, Paulius Pobedinskas, Thomas Frank, André Grün, Ken Haenen, Thomas Ortlepp, Physica Status Solidi A 2200309, 2022

### Konferenz- und Zeitschriftenbeiträge

„Transparent photodetectors for a standing wave interferometer“, Christian Möller, Thomas Klein, Andreas T. Winzer, Thomas Ortlepp, World Interferometer Day, Ilmenau, Deutschland, 11.04.2022

„Microsensors for the World of Tomorrow“, Thomas Ortlepp, Laser World of Photonics, München, Deutschland, 26.-29.04.2022

„High-level integration and scaling of interface circuits for quantum computing“, T. Ortlepp, I. Käßplinger, B. Schwartz, Y. Hironaka, N. Yoshikawa, Laser World of Photonics, München, Deutschland, 26.-29.04.2022

„Sensitivity of an Adiabatic Quantum Flux Parametron“, Thomas Ortlepp, Dominik Karolewski, Bernhard Schwartz, Anna Reinhardt, Yuki Yamanashi, Nobuyuki Yoshikawa, Laser World of Photonics, München, Deutschland, 26.-29.04.2022

„Miniaturisierte Ultraschall-Sensoren zur Hochfeuchtebestimmung über 200°C“, Thomas Frank, Manuel Kermann, Thomas Klein, Alexander Letsch, André Grün, Thomas Ortlepp, 21. ITG/GMA- Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2022, Nürnberg, Deutschland, 10.-11.05.2022

„Redundante Temperatursensorik für das Batterien-Monitoring“, Ingo Tobehn-Steinhäuser, EASS 2022 - 11. GMM-Fachtagung Energie Autonome Sensorsysteme, Erfurt, Deutschland, 05.-06.07.2022

„Kompakter optischer Quantensensor basierend auf NV-Zentren in Diamant“, Mario Bähr, Martin Jahn, Christoph Heinze, Kristin Neckermann, J. Meijer, Thomas Ortlepp, GMM-Workshop: Mikro-Nano-Integration 2022, Aachen, Deutschland, 21.-22.11.2022

„Redundante Temperatursensorik für Hochtemperaturanwendungen“, Ingo Tobehn-Steinhäuser, Lukas Barthelmann, Steffen Herbst, Xuemei Xu, Gunter Krapf, Thomas Ortlepp, 16. Dresdner Sensor-Symposium, Dresden, Deutschland, 05.-07.12.2022

„UVC LEDs: increase in optical performance through an optimized potting material“, Indira Käßplinger, Toni Schildhauer, Dennis Mitrenga, Guido Leibel, Martin Schädel, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, OPTO Conference 12022 Light-Emitting Devices, Materials, and Applications XXVI, San Francisco, USA, 25.01.2022

„Demonstratoren der SiCer Technologie“, Thomas Ortlepp, IVAM Mid-Week Coffee Break, online, Deutschland, 16.02.2022

„Compact all-optical quantum sensor device based on NV-Centers in Diamond“, Mario Bähr, Martin Jahn, Christoph Heinze, Kristin Neckermann, J. Meijer, Thomas Ortlepp, Hasselt Diamond Workshop 2022 - SBDD XXVI, Hasselt, Belgien, 09.-11.03.2022

„Kopplung von optischen und halbleiterphysikalischen Simulationstools – am Beispiel einer miniaturisierten Hanbury Brown-Twiss-Anordnung“, Bernhardt Schwarz, OptoNet-Webinar · Multiphysikalische Systemmodellierung und Optimierung in der Optikentwicklung, online, 30.03.2022

„CAK - CiS Analytik Kompetenzzentrum“, Thomas Ortlepp, Stephanie Reiß, IMN Kolloquium, Ilmenau, Deutschland, 27.04.2022

„High Precision Mounting Technologies For Modern Microsystems“, Thomas Ortlepp, IVAM High-Tech Summit, Dortmund, Deutschland, 05.05.2022

„Cuffless Blood Pressure Monitoring with a Single Optical Sensor“, Olaf Brodersen, IVAM High-Tech Summit, Dortmund, Deutschland, 05.05.2022

„Kundenspezifische MEMS-Sensordlösungen für Industrie, Medizin und Landwirtschaft“, Klaus Ettrich, Technologiebrunch, online, 06.05.2022

„Hochgenaue Temperaturdioden für den Anwendungsbereich von 4K bis 500K“, Ingo Tobehn-Steinhäuser, Lukas Barthelmann, Steffen Herbst, G. Krapf, Xuemei Xu, Thomas Ortlepp, microTEC Südwest Clusterkonferenz 2022, Freiburg, Deutschland, 18.-19.05.2022

„Spektralselektive optische Eigenschaften von Infraroten Sensorelementen“, Martin Schädel, microTEC Südwest Clusterkonferenz 2022, Freiburg, Deutschland, 18.-19.05.2022

„Competence in Silicon - sensor technology and solid state analytics“, Thomas Ortlepp, Stephanie Reiß, Kevin Lauer, IMN Kolloquium, Ilmenau, Deutschland, 15.06.2022

„The A<sub>Si</sub>-Si<sub>i</sub>-defect - a possible candidate to explain acceptor removal in LGADs“, Kevin Lauer, Katharina Peh, Aaron Flötotto, Dirk Schulze, Wichard Beenken, Erich Runge, Stefan Krischok, Thomas Ortlepp, 40th RD50 Workshop on Radiation hard semiconductor devices for very high luminosity colliders, CERN, Schweiz, 21.-24.06.2022

„Monitoring von Verbindungselementen mit Hilfe von Silizium-Dehnmessstreifen“, Thomas Frank, EASS 2022 - 11. GMM-Fachtagung Energie Autonome Sensorelemente, Erfurt, Deutschland, 05.-06.07.2022

„Passivation of silicon based MEMS flow sensors“, Thomas Frank, Andrea Cyriax, Heike Wünscher, André Grün, Stefan Jagomast, Christian Maier, Stefan Völlmeke, Steffen Herbst, Arndt Steinke, Klaus Ettrich, Thomas Ortlepp, AICHEM, Frankfurt/Main, Deutschland, 22.-26.08.2022

„Siliziumsensoren für optische Prozessüberwachung“, Martin Schädel, Spotlights der Mikro- und Nanotechnologie, online, 06.09.2022

„Low temperature photoluminescence investigation of light-induced degradation in boron doped CZ-silicon“, Kevin Lauer, Katarina Peh, Aaron Flötotto, Dirk Schulze, Stefan Krischok, Gadest-19, Mondsee, Österreich, 10.-16.09.2022

„Development of low gain avalanche detectors (LGAD) in frame of the acceptor removal phenomenon“, Kevin Lauer, Katharina Peh, Stefan Krischok, Stephanie Reiß, Erik Hiller, Thomas Ortlepp, Gadest-19, Mondsee, Österreich, 10.-16.09.2022

„Sensorikanwendung zur Erhöhung von Effizienz und Lebensdauer von PEM-Elektrolyseuren“, Heike Wünscher, Steffen Herbst, Thomas Frank, Klaus Ettrich, Thomas Ortlepp, elmug4future, Friedrichroda, Deutschland, 27.-28.09.2022

„UVC LED packaging, control and system integration“, Thomas Ortlepp, 3rd International UV WORKshop, Olching, Deutschland, 05.-06.10.2022

„Domänenübergreifende Simulation piezoresistiver Silizium-Drucksensoren - Kopplung von halbleiterphysikalischen und mechanischen FEM-Berechnungen“, Bernhard Schwartz, Geert Brokmann, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Fügetechnologien für die Montage von Drucksensoren auf den Prozessanschluss“, Johannes Zeh, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Domänenübergreifende Simulation piezoresistiver Silizium-Drucksensoren - Kopplung von halbleiterphysikalischen und mechanischen FEM-Berechnungen“, Bernhard Schwartz, Geert Brokmann, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Strukturiertes Dünnglas für MEMS-Drucksensoren“, Heike Wünscher, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Charakterisierung piezoresistiver hochfester Drucksensoren auf Basis der Silizium-Keramik-Verbundtechnologie“, Cathleen Kleinholz, Andrea Cyriax, Michael Hintz, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Möglichkeiten der Analyse mittels Sekundärionen-Massenspektrometrie für die Entwicklung von Drucksensoren“, Stephanie Reiß, Kevin Lauer, CiS MEMS Workshop: Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Drucksensoren, Erfurt, Deutschland, 13.10.2022

„Sensitivity of the Adiabatic Quantum Flux Parametron as interface circuit for Quantum Computing Systems“, Thomas Ortlepp, ICQMT2022 - International Conference on Quantum Materials & Technologies, Milas-Bodrum, Türkei, 16.-22.10.2022

„Packaging piezoresistiver Drucksensoren auf Basis der SiCer-Technologie“, Andrea Cyriax, Michael Hintz, Cathleen Kleinholz, Ralf Koppert, Uwe Krieger, Thomas Ortlepp, IMAPS Herbstkonferenz, München, Deutschland, 20.-21.10.2022

„Low-Cost Strain Gauge Integration in Ceramics for Force Sensor Applications“, Muhammad Talal Asghar, Christian Kupsch, Thomas Frank, Frank Schwierz, ISSE 2022, Wien, Österreich, 24.-26.10.2022

„Siliziumtechnologien für Thermopile-Zeilen und Arrays“, Thomas Ortlepp, CiS MOEMS Workshop: NDIR-Sensoren und Komponenten, Erfurt, Deutschland, 09.11.2022

„Charakterisierungsmethoden und Performancevergleich von MEMS IR-Strahlern“, Toni Schildhauer, CiS MOEMS Workshop: NDIR-Sensoren und Komponenten, Erfurt, Deutschland, 09.11.2022

„Verbesserte Emissivität durch texturierte Strahlermembranen“, Andreas Winzer, CiS MOEMS Workshop: NDIR-Sensoren und Komponenten, Erfurt, Deutschland, 09.11.2022

„Elektromigration von Aluminium in Molybdändisilizid“, Martin Schädel, CiS MOEMS Workshop: NDIR-Sensoren und Komponenten, Erfurt, Deutschland, 09.11.2022

„Silicon-Based Microsensors for Medical & Health Care Applications“, Martin Schädel, COMPAMED High-Tech Forum 2022, Düsseldorf, Deutschland, 14.11.2022

„MEMS-Sensoren für grünen Wasserstoff“, Thomas Frank, GREAT H2 Forum, Erfurt, Deutschland, 16.11.2022

„Quantum Engineering“, Thomas Ortlepp, Altstadtcampus der TU Ilmenau, Ilmenau, Deutschland, 18.11.2022

„Experimental Characterization of an Adiabatic Quantum Flux Parametron as interface circuit for Quantum Computing Systems“, Thomas Ortlepp, Dominik Karolewski, Bernhardt Schwartz, Anna Reinhardt, Nobuyuki Yoshikawa, 2. Internationale Konferenz für Anwendungen der Quantentechnologie (QuApps), online, 06.-07.12.2022

„Neuer Blickwinkel: Mikrosensor für die Lichteinfallrichtung“, Martin Schädel, Andreas Winzer, Dennis Mitranga, Laser Photonics Professional, S. 6-9, Ausgabe 03/2022

### Qualifizierungsarbeiten

„Luftfeuchtigkeitsmessung mittels piezoelektrischer Ultraschalltechnik“, Alexander Letsch, Bachelorarbeit, TU Ilmenau, 2022

„Messtechnische Untersuchung redundanter Temperatursysteme im Temperaturbereich von -40 C bis +140 C“, Lukas Barthelmann, Bachelorarbeit, TU Ilmenau, 2022

## KONTAKT & GREMIEN

### CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Konrad-Zuse-Straße 14  
99099 Erfurt  
Germany

**Telefon:** +49 361 663 14 10

**E-Mail:** [info@cismst.de](mailto:info@cismst.de)

**Internet:** [www.cismst.de](http://www.cismst.de)

### Geschäftsführer:

Prof. Dr. Thomas Ortlepp,  
Thomas Brock

### Aufsichtsrat der CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Dr. Knuth Baumgärtel, Hermsdorf  
Dipl. Wirtschaftsingenieur. Christiane Bednarek, Jena  
Dipl.-Ing. Geert Brokmann, Ilmenau  
Dr. Hans-Joachim Freitag, Erfurt  
Prof. Dr. Gerhard Linß, Suhl, Aufsichtsratsvorsitzender  
Dipl.-Ing. Michael Philipps, Maulburg  
Dipl. Wirtschaftsingenieur. Benjamin Redlingshöfer, Ranis

### Gesellschafter der CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH:

CiS e.V.

### Vorstand:

Dr. Knuth Baumgärtel, Hermsdorf  
Dipl. Wirtschaftsingenieur. Christiane Bednarek, Jena  
Dipl.-Ing. Geert Brokmann, Ilmenau  
Dr. Hans-Joachim Freitag, Erfurt, Vorstandsvorsitzender  
Prof. Dr. Jens Müller, Ilmenau  
Dipl.-Ing. Michael Philipps, Maulburg,  
Dipl. Wirtschaftsingenieur. Benjamin Redlingshöfer, Ranis



