



# Jahresbericht 2020

# INHALTSVERZEICHNIS

## Impressum

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

### Herausgeber:

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

### Fotos und Grafiken:

- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- Pixabay
- Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Fotograf: P.Räcke
- UST Umweltsensortechnik GmbH, Fotograf: nichtnur.de
- Herz- und Diabeteszentrum NRW, Dipl.-Ing. Anke Schmidt

### Layout:

Blueline Agentur für Kommunikation

Die in diesem Bericht enthaltenen Angaben entsprechen den bis zur Erscheinung bekannten Sachverhalten. Alle Angaben und Berechnungen beruhen auf gewissenhafter Prüfung.

## IMPRESSUM

### VORWORT

## THEMEN 2020

Quantentechnologien	6
Messtechnik & Analytik	8
Aufbau- & Verbindungstechnik	12
Simulation & Design	16
COVID19 - Herausforderungen & Chancen	20

## FORSCHUNGS- & ENTWICKLUNGSPROJEKTE

UV / Ultraviolett – AUVL	22
IR / Infrarot	26
Druck	30
Kraft	34
HT-Sensorik	40
Wasserstoff	44
Ohrsensor	48

## VERANSTALTUNGEN 2020

Workshops & Webinare	56
Messen & Kongresse	58
getstarted2gether	61
Diverse	63

## NACHWUCHSFÖRDERUNG

66

## VERBÄNDE, NETZWERKE & AUSSCHÜSSE

68

## PUBLIKATIONEN

72

## GREMIEN & KONTAKT

74

## Liebe Leserinnen und Leser, liebe Kolleginnen und Kollegen,

die CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH betreibt Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Sensorik. Gemeinsam mit ihren Partnern aus Forschung und Industrie schafft das CiS Forschungsinstitut neue Innovationen für die technischen Herausforderungen unserer Zeit. In enger Kooperation mit Politik und Wissenschaft übernimmt das CiS Forschungsinstitut aktiv Verantwortung für den Transfer von Wissen und die Verwertung von Forschungsergebnissen in Bezug auf neuartige und leistungsfähige Technologien zur Steigerung der Innovationskraft unserer Wirtschaft.

Das Jahr 2020 hat unser Forschungsinstitut vor neue Herausforderungen gestellt. Veränderte Rahmenbedingungen erforderten neue Pfade zu betreten. Daher freuen wir uns besonders, wieder auf ein erfolgreiches Geschäftsjahr verweisen zu dürfen.

Unsere moderne Gesellschaft wird geformt durch wissenschaftliche und technische Innovationen. Im Zuge der Digitalisierung steigt der Bedarf an Sensoren immer weiter an. Sie sind die analoge Schnittstelle zur Umgebung und messen, steuern und regeln Prozesse in der Forschung, Industrie, Medizin, Mobilität, Energietechnik, Kommunikation und im Alltag. Die Effekte der klassischen Physik und der Quantenphysik sind die Grundlage für unsere Entwicklungen. Die technologischen Möglichkeiten der Halbleitertechnik und der Mikrosystemtechnik sind das Instrument - und die kreativen Ideen unserer Mitarbeiter sind der Motor für ständig neue Entwicklungen für unsere Partner und Kunden. Siliziumbasierte Sensoren bilden den Schwerpunkt unserer Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für Industrie und Wissenschaft. Ausgehend vom anwendungsspezifischen Design, über Prozessentwicklung, Aufbau- und Verbindungstechnik bis zur passgenauen Lösung, einschließlich einer umfangreichen Messtechnik und Analytik, präsentiert unser Portfolio die gesamte Wertschöpfungskette. Dabei liegt unser Fokus auf Langzeitstabilität, Präzision und hoher Zuverlässigkeit der Sensoren.

Als Mitglied der Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V. reduzieren wir die Risikoschwelle für den Transfer genialer Forschungsergebnisse in vielfältige Innovationen des Deutschen Mittelstandes. Die Wertschätzung unserer Ergebnisse zeigt auch die Erhöhung des Etats für die beiden mittelstandsorientierten Forschungsförderprogramme, Industrielle Gemeinschaftsforschung der IGF und INNO-KOM des BMWi.

Wir unterstützen und begleiten Startups, Erfindungen, die eine anspruchsvolle technologische Infrastruktur benötigen, mit uns weiterzuentwickeln. Die Thüringer Initiative getstartet2gether fördert innovative Geschäftsideen, die in wenigen Monaten marktwirksam umgesetzt werden. Mit unserem Equipment entwickelte das Startup DC Industrie Entwicklung GmbH im Rahmen dieses Programmes spezielle Sensoren, die bereits sehr früh einen gefährlichen Betriebszustand mit dem Risiko der Entzündung in Hochleistungsbatterien ankündigen. Diese verbessern sicherheitstechnische Maßnahmen für Speicherbatterien und sind ein wichtiger ökonomischer Baustein zum Ausbau der Elektromobilität.

Im Konsortium Hypos entwickeln wir Sensoren für die Überwachung von Elektrolyseuren und Speichersystemen und tragen somit zu einer nachhaltigen Energieversorgung und dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft bei.

Mit unserer langjährigen Expertise beteiligen wir uns am Fortschritt quantentechnologischer Entwicklungen. Im Januar feierten wir gemeinsam mit Forschern von drei Kontinenten die erste erfolgreiche Kommunikation zwischen einem Quantenflussparametron und einem Nano-Kryotron als wichtigen Meilenstein für die Sicherheit unserer Daten und einer modernen Kommunikation.

Das europäische Netzwerk QPhot vernetzt Experten von der Forschung bis zur Anwendung, die in der Quan-

tentechnologie und Photonik tätig sind. Unser Know-how in der Herstellung miniaturisierter und integrierbarer photonischer Bauelemente wie Lichtquellen und Detektoren, sind Module und Basistechnologien, um die ambitionierten Ziele des Netzwerkes umzusetzen.

Forschung und Entwicklung sind vielgestaltig und leben von der Interaktion der Beteiligten. Gerade die Einschränkungen 2020 haben dazu beigetragen, verstärkt Videokonferenzen und Webinare anzuwenden. Unsere erste Online-Veranstaltung zum Thema „Im-Ohr-Sensor für das Vitalparametermonitoring“ fand sehr großen Anklang. Besonders die Aussicht auf eine innovative Möglichkeit zur indirekten Bestimmung des Blutdrucks begeisterte die Fachwelt.

Verstetigt und erweitert haben wir auch unsere haus-eigene Digitalisierung, im technischen Bereich und auf unserer internen Wissensplattform, als verbindendes Kommunikationstool.

Geschlossene Bildungs- und Betreuungseinrichtungen sowie die Umsetzung der politischen Maßnahmen haben uns viel Organisation und Pragmatismus abverlangt. Mit Enthusiasmus und Flexibilität konnten wir unsere Forschungs- und Industrieprojekte fast ohne Verzögerungen umsetzen. Dafür bedanken wir uns bei allen Mitarbeitenden herzlichst und schauen voller Optimismus in die Zukunft.

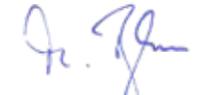
Ebenso bedanken wir uns bei unseren Fördergebern der Europäischen Union, dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen und dem Land Thüringen für die Unterstützung.

Wir danken unseren Partnern aus Forschung und Industrie für ihr Vertrauen sowie ihre Kooperation und sind stolz darauf, auch neue Akteure gewonnen zu haben. Unseren Gremien danken wir für die verantwortungsvolle Begleitung.

Wir möchten Ihnen mit diesem Jahresbericht wieder einen interessanten Einblick in unsere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten geben und wünschen Ihnen eine informative Lektüre. Besonders freuen wir uns wieder auf persönliche Begegnungen und anregende Gespräche. ●



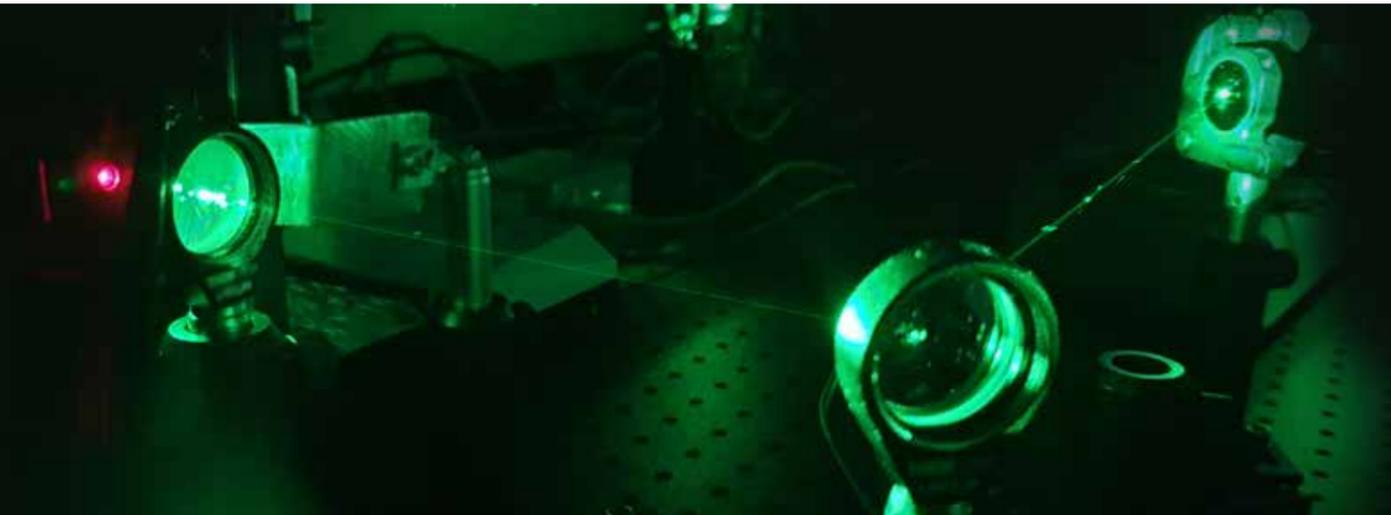
Prof. Thomas Ortlepp



Thomas Brock



# QUANTENTECHNOLOGIEN



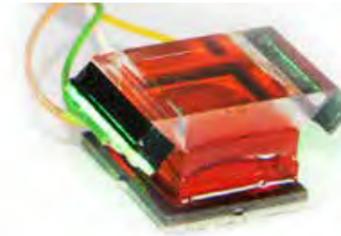
Am CiS Forschungsinstitut stehen Quantentechnologien seit mehreren Jahren auf der Agenda – hauptsächlich durch die Arbeiten an Einzelphotonendetektoren (Silizium-Photomultipliern, Avalanche-Photodioden, Nanowire-Single-Photon-Detektoren) sowie auch in den Bereichen der Photonischen Technologien und der kryogenen Elektronik, die als Wegbereiter für die Nutzung von Quantentechnologien für Kommunikation und Computing unabdingbar sind (enabling technologies). ●

## Quantensensorik

Im vergangenen Jahr wurde überdies ein weiterer wichtiger Themenschwerpunkt im Bereich der Quantensensorik weiter vertieft: Quantensensoren nutzen physikalische Zusammenhänge auf atomarer Ebene, um Messsignale zu erzeugen. Das heißt aber nicht zwangsläufig, dass immer nur einzelne Atome genauer untersucht werden müssen. Auch Ensembles von Atomen können als Ganzes einen makroskopischen Quantenzustand einnehmen. Eine fundamentale Beschreibung und die Simulation dieser Effekte sind basierend auf Naturkonstanten möglich. Diamant mit seinem besonderen Kristallgitter bietet optimale Voraussetzungen für die Beobachtung von Quanteneffekten. Kleinste atomare Kristalldefekte, sogenannte Gitterdefekte oder Farbzentren, reagieren auf äußere Einflüsse wie Änderungen der Temperatur, des äußeren Magnetfeldes oder auch des mechanischen Drucks.

Ein prominentes Beispiel für ein solches Farbzentrum ist das Stickstoff-Fehlstellen-Zentrum (NV-Zentrum). Vorteile solcher NV-Zentren liegen unter anderem darin, dass sie auch bei Raumtemperatur nutzbar sind und, dass sie optisch angeregt und ausgelesen werden. Damit eignen sich Diamantmaterialien, die optisch angeregt und ausgelesen werden als sensitives Element in Sensoren. Im quantenmechanischen Bild können durch die Bestrahlung mit grünem Licht spezifische Zustände im Farbzentrum angeregt werden, die dann ihre Energie als Fluoreszenzlicht (ca. 640 nm) wieder abgeben. Durch die geschickte Definition der Nebenbedingungen (Diamantorientierung, Lichtintensität) können Fluoreszenzsignalunterschiede zum Beispiel für die Bestimmung magnetischer Felder benutzt werden. Was auf universitärem Grundlagenniveau schon vielfach demonstriert wurde, gilt es nun auch auf spezifische Applikationen hin zu untersuchen und zu optimieren. ●

## Projekte DiaQuantFab und DiAEEd

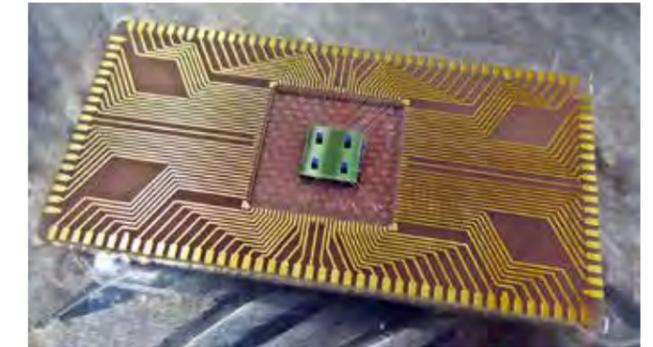


In den Projekten DiaQuantFab und DiAEEd arbeiten Forscher-Teams unseres Instituts an der Miniaturisierung der opto-elektronischen Sensoraufbauten und konnten in der fortlaufenden Projektlaufzeit wichtige Erkenntnisse entlang der Wertschöpfungskette von der Herstellung und Bearbeitung synthetischer Diamanten bis hin zum Sensorsystem sammeln. Als Koordinator und Integrator sämtlicher Sensorkomponenten verfolgen wir dabei konsequent Strategien zur Miniaturisierung und damit auch Industrialisierbarkeit solcher Sensorsysteme. Zugute kommt uns dabei die integrierte Aufstellung über die Konzeption/Simulation bis hin zur Fertigung und Charakterisierung von opto-elektronischen Bauelementen. So kann in den verschiedenen Technologie-Leveln vom Wafer bis zum System auf die passgenaue Fertigung von Siliziumbauelementen zurückgegriffen werden. Bestehende Technologien für Fotodioden und Fotoarrays werden beständig am CiS Forschungsinstitut für bekannte und neue Anwendungsfelder (Fiber-Chip-Package mit Einzelphotonendetektoren oder Fluoreszenz-Einzelphotonenmikroskopie) weiterentwickelt und Kompetenzen im Bereich Aufbau- und Verbindungstechnologien für hybride Aufbauten mit spezifischen Beleuchtungs- und Filterelementen basierend auf der verfügbaren Multitechnologieplattform geschärft. ●

## Netzwerke & Workshop

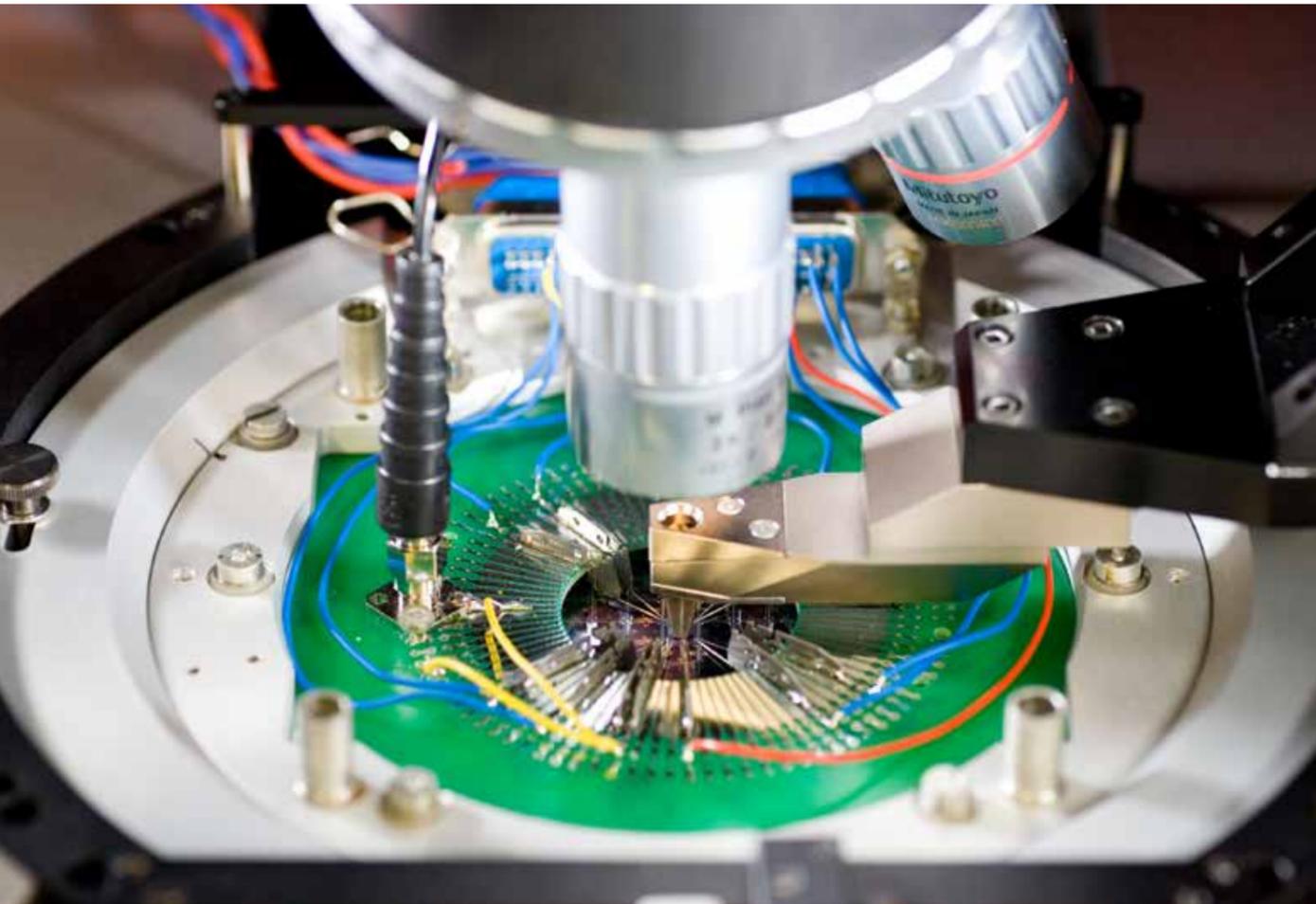
Diese technischen Inhalte sind für unsere Forschungsarbeit der Anknüpfungspunkt für Netzwerkarbeit, für die wir uns aktiv in den ZIM-Netzwerken QPhot und iQuSense sowie in die Thüringer Forschergruppe FOQUOS einbringen. Ebenfalls konnten während des erfolgreichen 1st CiS Quantum Workshops zusammen mit bekannten Partnern und Interessierten bestehende Verbindungen vertieft und neue Kontakte auf internationaler Ebene geknüpft werden. ●

## Quantenkommunikation



Die Quantentechnologie ist eine Schlüsseltechnologie für die Sicherheit unserer Daten und unserer modernen Kommunikation. Eine entscheidende Komponente der Quantenkommunikation ist die Schnittstelle zwischen klassischen Daten und Quantendaten, sogenannten Quantenbits oder Qubits. Forschern von drei Kontinenten ist in Yokohama die erste erfolgreiche Datenübertragung zwischen einem Quantenflussparametron und einem Nano-Kryotron gelungen. Die Strukturgrößen des klassischen Empfänger-elementes sind mit weniger als 30 nm mehr als 1000-mal dünner als ein menschliches Haar. Damit wurde ein wichtiger Meilenstein für die praktische Anwendung der Quantentechnologie demonstriert. Neben der Yokohama National Universität (Japan) waren das CiS Forschungsinstitut in Erfurt und das renommierte Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge (USA) beteiligt. Zukünftige Quantencomputer benötigen zahlreiche solcher Schnittstellen, um mit unseren heutigen Computernetzen verbunden zu werden. ●

# MESSTECHNIK & ANALYTIK



In-situ Druckmessung auf Waferlevel

## Fertigung von M(O)EMS-Sensoren in der Mikro- und Nanotechnologie

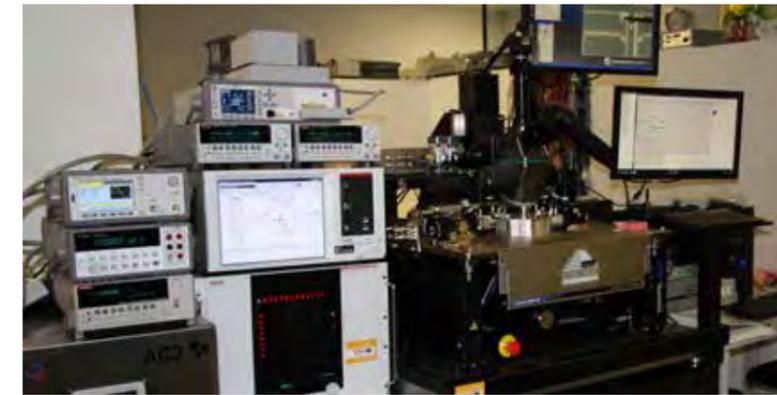
Analysen und Messungen in allen Phasen der Entwicklung und Produktion von MEMS und MOEMS-Sensoren werden immer wichtiger. Sie liefern entscheidende Hinweise im F/E-Prozess und verkürzen die Entwicklungszeit. Eine exzellente Kontrolle und Charakterisierung von Schichten, Strukturen auf Oberflächen, Festkörpern und Stoffgemischen verifizieren Technologien, um High-Performance-Sensoren zu entwickeln und zu verbessern. Jahrzehntelange Erfahrungen, kombiniert mit optischen und elektrischen Messverfahren, chemischen und physikalischen Prüfungen, erlauben eine

umfassende Fehleranalyse. Die gesamte Wertschöpfungskette ausgehend vom Design der Sensoren über die Technologieentwicklung und Prozesskontrolle bis zum fertigen Sensor bzw. Sensorsystem wird in unserem Institut systematisch betreut.

Unser Fachbereich umfasst die Schwerpunkte:

1. Messtechnik auf Waferlevel
2. Analytik
3. Zuverlässigkeit von Sensoren ●

## Messtechnik auf Waferlevel



MEMS Komplexmessplatz mit erweitertem Temperaturbereich (links)

Optische, kapazitive, elektrische Messverfahren und Ultraschalluntersuchen bewerten die Oberflächenqualität wie Rauheit, Schichteigenschaften und Waferdefekte. Sie können bereits für die Eingangsinspektion genutzt werden. Die elektrische Messtechnik dient vorrangig für die Prozesskontrolle und Prozessfreigaben und wird auch auf Waferlevel-Niveau angewandt. ●

## Analytik

Eine umfangreiche Präparationstechnik und verschiedene Mikroskopie-Varianten begleiten Forschung und Fertigung. Mechanische Spannungen in Halbleitern, MEMS und 3D-IC, einschließlich der Grenzflächen und Kontaktbereiche können mittels SIREX-Messverfahren (Scanning Infrared Reflection Examination) hochpräzise visualisiert und vermessen werden. Die gewonnenen Daten sind eine Basis, neue Sensordesigns und Technologien zu untersuchen und zu etablieren.

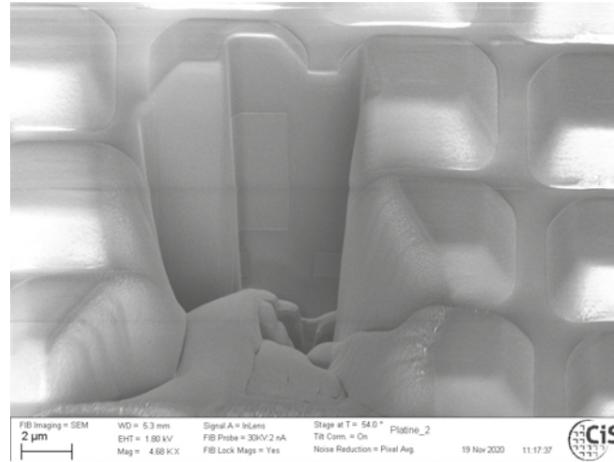
Ein hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit vielfältigen Zusatzfunktionen und kombiniert mit einer Ionenfeinstrahlanlage (FIB, Focused Ion Beam) erlaubt das gleichzeitige Abbilden, Bearbeiten und Probenpräparieren von Materialien, selbst im Nanometerbereich. Unterschiedliche Detektoren analysieren die chemische Zusammensetzung, Oberflächenstrukturen, elektronische Defekte, Schichten und deren Aufbau.



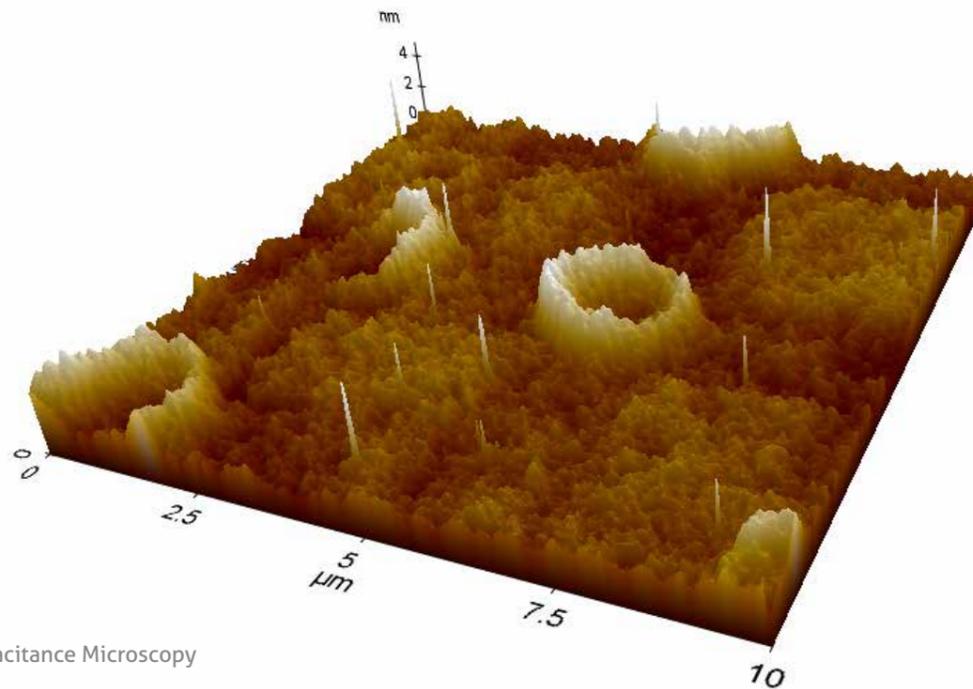
CrossBeam Analysestation

Mit dieser CrossBeam Analysestation haben wir erstmals eine Layoutkorrektur an einem Halbleiter-Chip, der teilweise schon auf einer Platine verbaut wurde, durchgeführt. Hier wurde gezielt eine Leitbahn (Metall-1) in einer Tiefe von 12  $\mu\text{m}$  durchtrennt, um das Schaltelement zu verändern. Damit waren elektrische Messungen an diesem Chip möglich, die sonst nur nach der Prozessierung eines neuen Layouts möglich gewesen wären.

Oberflächenstrukturen und ihre Eigenschaften im Nanometer- und Sub-Nanometer-Bereich abzubilden sowie Oberflächenkräfte im Nanonewton-Bereich zu messen sind Kernaufgaben eines Rasterkraftmikroskops (AFM, Atomic Force Microscope). In unserem Fachbereich werden SCM-Messungen (Scanning Capacitance Microscopy) durchgeführt, um Dotierungsgebiete mit hoher räumlicher Auflösung oberflächennah darzustellen. ●



Layout-Korrektur Chip auf Platine



Scanning Capacitance Microscopy

## Zuverlässigkeit und Qualifizierung von Drucksensoren

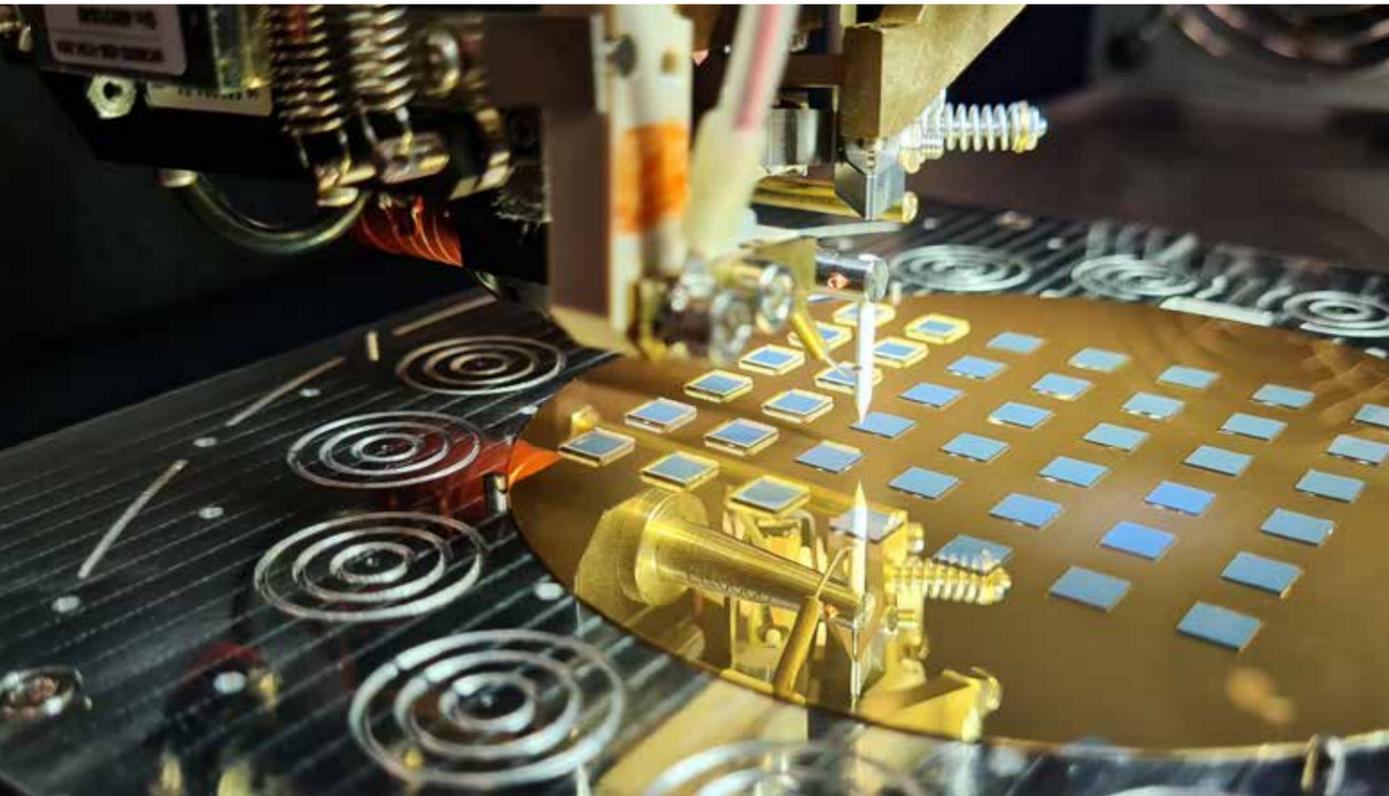
Für die Bewertung der Zuverlässigkeit von Drucksensoren stehen diverse Standard-Belastungstests zur Verfügung, zum Beispiel schnelle Temperaturwechseltests und Pressure Cooker Tests. Spezielle Messvorrichtungen erlauben das hochpräzise Erfassen des Einlaufverhaltens von Drucksensoren bis in den Sub-Mikrovolt-Bereich für Temperaturen bis + 150°C. Damit lässt sich beispielsweise die Qualifizierung von Drucksensoren hinsichtlich der Empfindlichkeit, der statischen Druck-Abhängigkeit, thermischer Hysterese des Offsets sowie der Spanne-Temperaturkoeffizienten (TKR, TKO, TKS) realisieren.

Für das Datenhandling und die Auswertung steht eine intern programmierte Datenbank zur Verfügung. Die daraus resultierende effektive Visualisierung, Analyse und Verwaltung der Qualitätsdaten ermöglicht das frühzeitige Erkennen von Trends. Dazu können verschiedene Parameter wie Leckstrom als Verläufe über dem Wafer oder von Wafer zu Wafer korreliert werden. Jeder einzelne Fertigungsschritt sowie dazugehörige Messungen sind dadurch transparent nachvollziehbar. ●



Stabilitätsmessplatz

# AUFBAU UND VERBINDUNGSTECHNIK



Drahtbondautomat während Untersuchungen zur Optimierung des Ball-Wedge-Drahtbondprozesses mittels Au-Draht. Ziel ist es, mit hoher Effizienz stabile und reproduzierbare Drahtbrücken auf engstem Raum (kurze Signalwege, kleine Chipflächen) und mit höchster Zuverlässigkeit zu realisieren.

## Schlüsselposition in der Mikrosystemtechnik und Photonik

Der Fachbereich Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) im CiS Forschungsinstitut verfügt über die Gesamtheit der technologischen Teilschritte für die Mikromontage von mikroelektronischen und photonischen Komponenten sowie mikrosystemtechnischen Sensormodulen. In enger Zusammenarbeit mit allen weiteren Fachbereichen bündelt der Fachbereich die Aufgabengebiete:

- Montage und Hausung von Mikrokomponenten und Sensormodulen für Prototypen, kleine und mittlere Serien
- AVT-Technologieentwicklungen für MEMS und MOEMS

Die Standardprozesse der Mikromontage, die in unseren Reinräumen stattfinden, entsprechen den Qualitätskriterien gemäß ISO 9001:2015. Daneben sind auch anwendungsbereite Spezialtechnologien vorhanden, welche die Grundlage für innovative kundenspezifische Entwicklungen bilden.

Als eine wichtige Schnittstelle zum Waferprozess sind wir in der Lage, Vereinzelungstechniken auf Basis von Trennschleifprozessen inklusive der zugehörigen Peripherie (Reinigungsanlagen, Folienhandling, Belichter) zu realisieren. Diese Prozesse erlauben eine effiziente und präzise Vereinzelung sowohl einzelner Silizium-

wafer als auch von Waferstapeln sowie auf Waferlevel montierter Mikrosysteme.

Das hochgenaue Fügen der Halbleiterchips (Diebonden) auf verschiedenste Substrate kann mit unterschiedlichen Technologien sowohl an Automaten als auch manuellen Geräten erfolgen, je nachdem, welche Stückzahlen, Präzision und Fügeigenschaften gefordert sind. Aktuelle Entwicklungsthemen befassen sich hierbei neben Löt- und Klebetechnologien auch mit der Glasfritte-Fügung, RMS-Verfahren, Silbersintern sowie eutektischem Bonden.

Für das Kontaktieren der Halbleiterbauelemente zum Substrat oder auch untereinander werden Drahtbond als auch die Flip-Chip-Technologien eingesetzt. Um unter rauen Umgebungsbedingungen zuverlässige Kontakte auf engstem Raum zu realisieren, stellen applikationsspezifische Prozessentwicklungen an den Drahtbondautomaten (Ultraschall- und Thermosonic-Prozess) und Flip-Chip-Bondern (Thermokompression, auch ultraschallunterstützt sowie flussmittelfreies Löten) ein bedeutendes Arbeitsfeld dar.

Eine wichtige Zielstellung ist es, besonders platzsparende Mikrosysteme für Messungen direkt vor Ort zu

entwickeln. Deshalb werden gezielt 3D-Montageverfahren evaluiert, die auf Stapel- sowie Faltechnologien beruhen. Dieses Know-how wird, in Kombination mit dem Einsatz biokompatibler Materialien, beispielsweise bei der Entwicklung miniaturisierter Mikrosensorsysteme für die Medizintechnik genutzt.

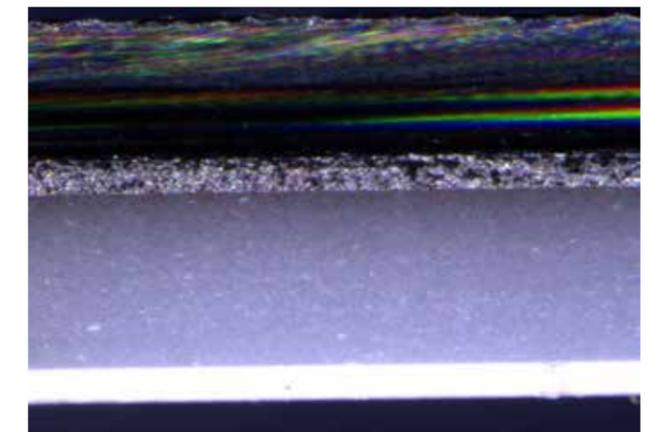
Zusätzlich wird stetig an der Entwicklung und Einführung neuer Technologien und Technologiemodule gearbeitet sowie der Brückenschlag zwischen CMOS-kompatiblen Waferbereich und der AVT ausgebaut. Dazu zählen unter anderem innovative Belichtungs-technologien. Für kleine Stückzahlen mit hohen Anforderungen an die Strukturauflösung steht ein Laserdirektbelichter zur Verfügung. Aktuell konzentrieren sich diese Arbeiten hauptsächlich auf die Gebiete Galvanik und andere Beschichtungsverfahren im Back-End-Prozess genauso wie auf Waferlevel-Bondverfahren oder Inkjet-Verfahren.

Die verschiedenen Technologien und Entwicklungsaufgaben werden gestützt durch ein hochmotiviertes Mitarbeiterteam, bestehend aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Facharbeitern mit weitreichenden Spezialkenntnissen sowie langjährigen Erfahrungen. ●

## SiCer-Technologien

### Regionaler Wachstumskern High-Performance-Sensorsysteme durch Verbindung von Siliziumtechnologie und keramischer Mehrlagentechnik (HIPS)

Ziel des Verbundprojektes ist die Qualifizierung und Weiterentwicklung der SiCer-Technologie zu einer industriell breit anwendbaren Technologieplattform, welche sowohl die Elemente der Material- und Prozesstechnologie als auch Elemente der Systemtechnologie in Form von funktionellen und sensorischen Substrukturen umfasst. ●



Bauteilkante eines SiCer-Verbundes mit deutlich erkennbarem Schichtaufbau nach dem Trennschleifen

## Light control

**Entwicklung eines miniaturisierten Photodiodensensors zur Ermittlung der Sonnenintensität und des Sonnenwinkels zur Integration in Fensterglasmodulen und Fassaden zwecks Echtzeit-Steuerung von Verdunklungselementen**

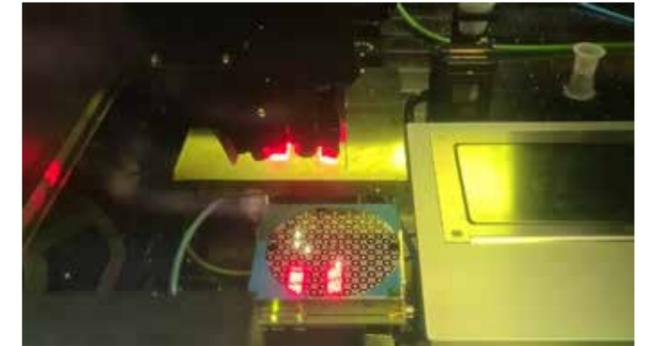
Gemeinsam mit dem Fachbereich MOEMS wurde im Rahmen des Projektes Light control ein ultraflaches Sensormodul mit einer 4-Quadranten-Fotodiode und hochtransparentem optischen Verguss entwickelt und aufgebaut. Es dient zur präzisen Bestimmung der Einstrahlungsrichtung von Tageslicht, z.B. zur Integration in Fenstern (Gebäudeklimatisierung) oder in Solarmodulen. ●



Light control



Mikromontage-Center



Innenansicht



**GEFÖRDERT**

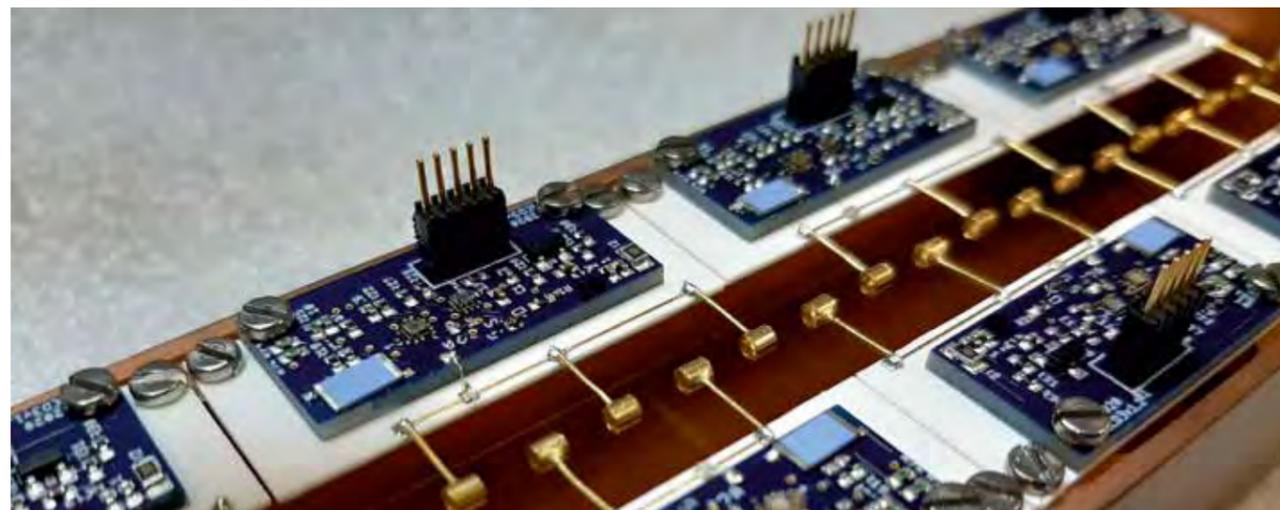
Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Entwicklung eines miniaturisierten Photodiodensensors“ (Light control) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: ZF4001704GM9



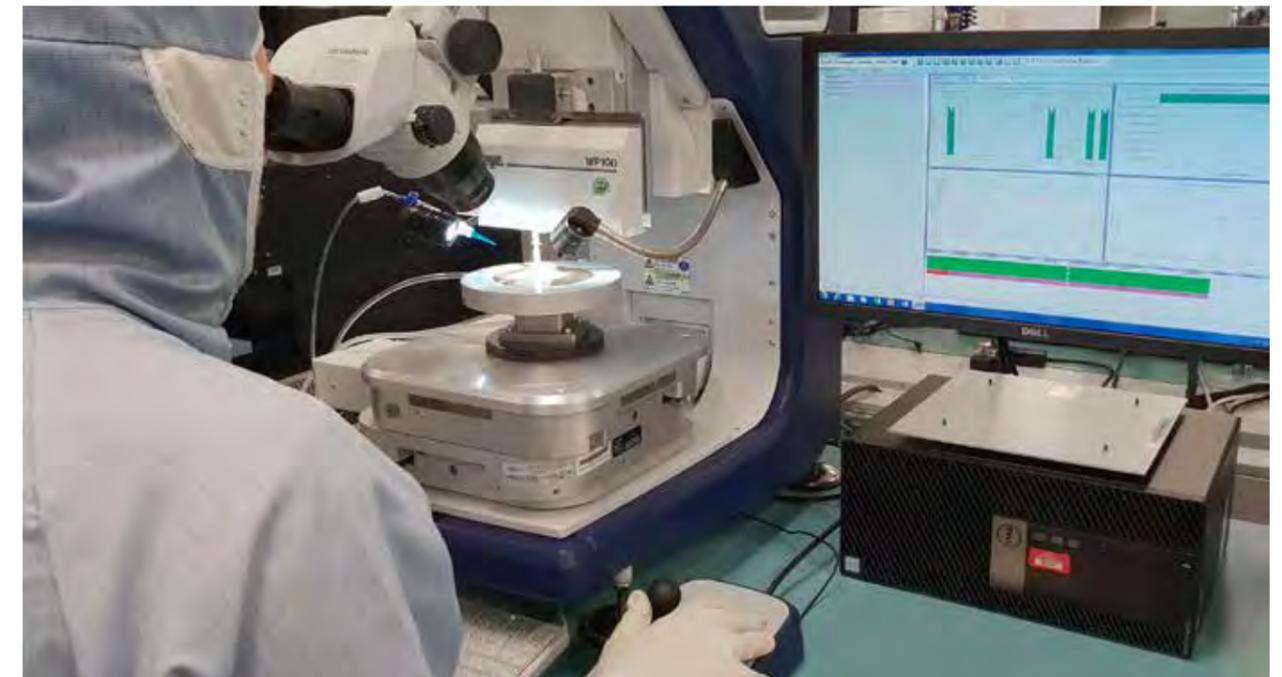
## JFET-Chips des IOM Leipzig

**Hochpräzise Montage und Kontaktierung**

Das CiS Forschungsinstitut realisierte im Rahmen eines Projektes des IOM Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V. die präzise Ausrichtung und Montage einer Elektrodenanordnung, welche später vom Ionenstrahl durchlaufen wird sowie die Kontaktierung hochempfindlicher JFET-Chips. ●



Prototyp eines Spiegelladungsdetektors für die Detektion einzelner Detektoren  
Bildrechte : Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Fotograf: P.Räcke



Schichtcharakterisierungstool

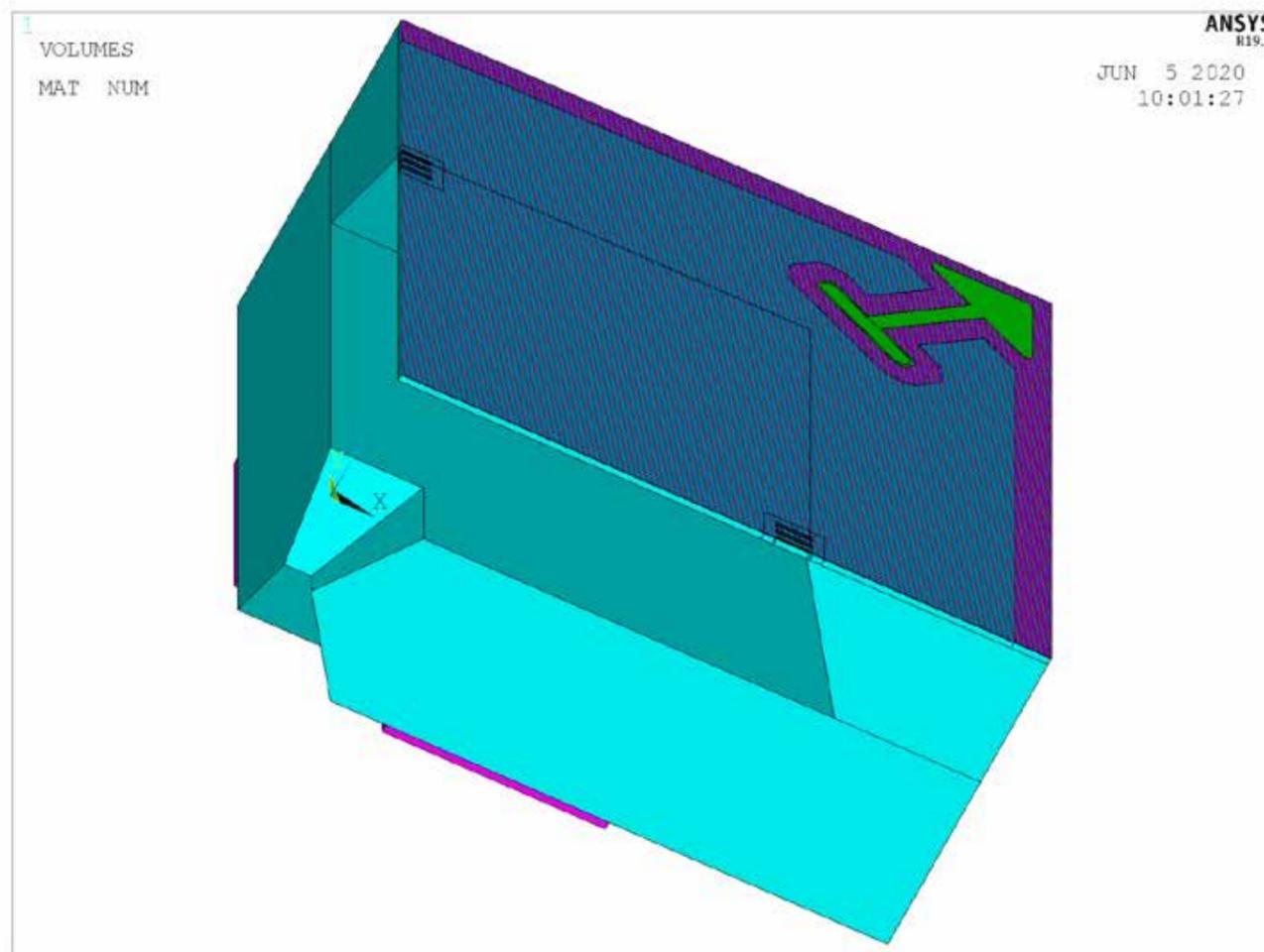


High-Performance-3D-Bonder



Gold-Draht-Bonden

# SIMULATION & DESIGN



Finite-Element- $\frac{1}{4}$ -Modells eines piezoresistiven Drucksensors

## Modellierung und Design von Mikrosensoren

Am Beginn jeder Entwicklung von Mikrosensoren stehen die Modellierung der physikalischen und technologischen Zusammenhänge und die darauf aufbauenden Entwurfsprozesse. Der Fachbereich Simulation und Design zeichnet sich im Rahmen von Prototypentwicklungen verantwortlich für die geometrische Ausgestaltung der Sensoren und die technologische Abfolge sowie einzelne Parameter der Fertigungsschritte.

Im Zentrum der Arbeiten stehen Entwurf und Konstruktion neuer oder optimierter kundenspezifischer Mikrosensoren. Dieser Entwurfsprozess ist gekennzeichnet durch die Simulation halbleiterphysikalischer, elektrischer, optischer, mechanischer und thermischer Sensoreigenschaften. Entwurfsziel ist die Erstellung des Sensorlayouts mit festgelegten Designregeln und einem spezifischen Satz an Teststrukturen für Technologiecharakterisierung und Funktionsnachweis. Auf Kundenwunsch können Multi-Domain-Sensor-Modelle mit Verkopplung von halbleiterphysikalischen, elektrischen, optischen, mechanischen und thermischen Effekten entwickelt werden, für die bei Vorliegen qualitativ hochwertiger Sensormesswerte die Extraktion von Modellparametern möglich ist.

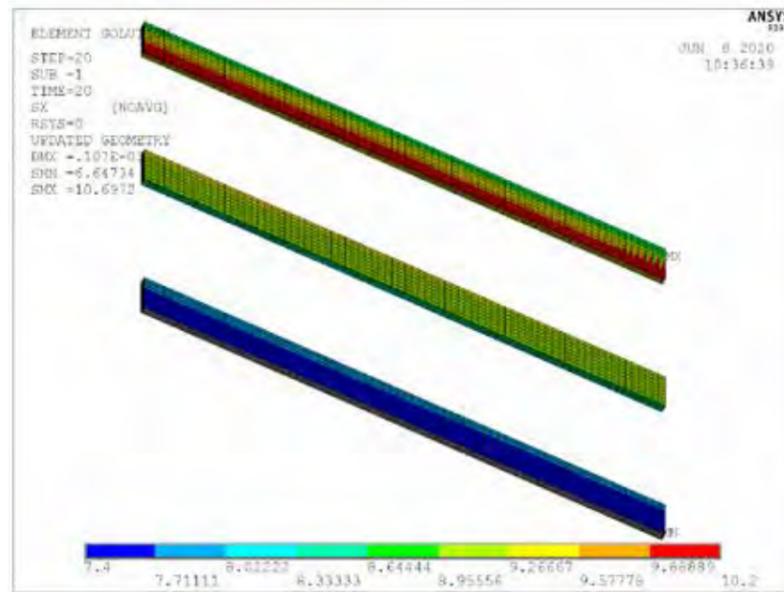
Die miteinander verknüpften, in unterschiedlichen physikalischen Domänen zu betrachtenden Vorgänge werden mittels multiphysikalischer Finite-Element-Simulationen analysiert und in adaptiven Dimensionierungsschritten in neue Entwürfe für die anschließende Prototypfertigung überführt. Finite-Element-Modelle in der Mikrosensorik sind üblicherweise wegen vergleichsweise dünner strukturierter funktionswichtiger Schichten durch eine große Anzahl an Elementen gekennzeichnet. In Verbindung mit den erforderlichen Lastschritten, die häufig auch für größere Temperaturbereiche betrachtet werden müssen, ist eine leistungsfähige Berechnungs-Hardware erforderlich.

Dem CiS Forschungsinstitut steht für Simulationen ein HPC-MultiCore-Servernetzwerk mit High-Performance-GPUs und entsprechendem Arbeitsspeicherausbau

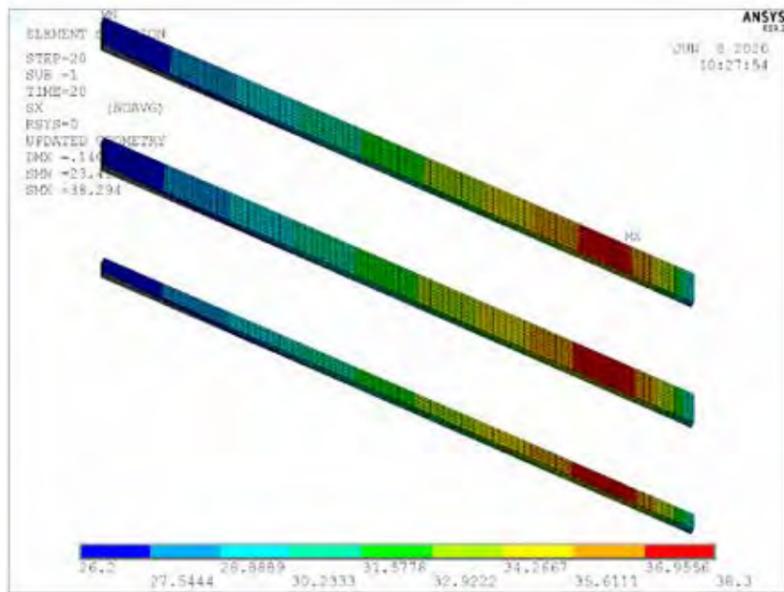
zur Verfügung. Auf diesem werden FEM-Simulatoren für elektrische, thermische und optische halbleiterphysikalische 1D-, 2D- und 3D-Berechnungen, FEM-Simulatoren für die Berechnung von Verfahrensschritten der Halbleitertechnologie, FEM-Simulatoren für die Berechnung multiphysikalischer Eigenschaften von Festkörpern, SPICE-Simulatoren, Systemsimulationstools mit im Fachbereich entwickelten Lösungen und Konstruktionstools verwendet. Für die Kopplung von Berechnungen in verschiedenen physikalischen Domänen sowie Modelloptimierung und Parameterextraktion steht mit ANSYS optiSLang ein leistungsfähiges Optimierungstool zur Verfügung. Die für die Sensorfertigung erforderlichen Fotolithografie-Masken werden mit Standard-Layout-Tools unter Nutzung von Qualitätschecktools entworfen und von Dienstleistern gefertigt oder auf einen im Wafer-Bereich vorhandenen Laserdirektbelichter übertragen.

Für spezielle Mess- und Charakterisierungsanforderungen ist ein Parametermessplatz vorhanden, auf dem auf Wafer- oder Bauelemente-Level Sensoren oder spezielle Teststrukturen elektrisch charakterisiert werden können. Die Qualität von Modellen hängt immer entscheidend von der Qualität der Modellparameter ab. Deshalb liegt ein wesentlicher Fokus der Arbeiten im Fachbereich Simulation und Design auf der Verbesserung der Kenntnisse über die Eigenschaften der in der Wafer-Fertigung verwendeten Materialien. So können mit einem Fotolumineszenz-Spektroskopie-Messplatz Rekombinationsmechanismen untersucht werden. Mit einem Lock-in-Thermografie-Messplatz werden Kurzschlüsse lokalisiert oder hoch aufgelöste Analysen von Wärmeverteilungen auf Sensoroberflächen vorgenommen. Mit einem Tieftemperatur-Kryostaten mit magneto-optischem Modul sind über Hall-Messungen bis 4K thermische Materialparameter ermittelbar. Mechanische Schichtparameter wie thermische Ausdehnungskoeffizienten von Schichten über der Temperatur können mit einem Film-Stress-Messplatz für Temperaturen bis 900°C ermittelt werden. ●

## Multiphysikalische Sensor-Simulation



Mechanische Spannung in x-Richtung für Transversal-Widerstände

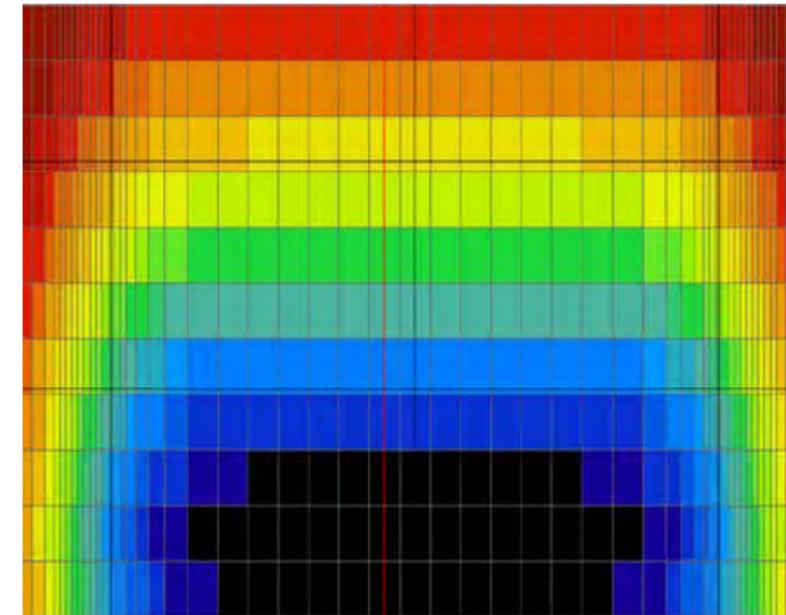


Mechanische Spannung in x-Richtung für Longitudinal-Widerstände

Im Rahmen von Forschungsprojekten oder internen Aufgabenstellungen untersuchen wir Materialeigenschaften von Schichten und deren Einfluss auf das Verhalten von Sensoren.

Am Beispiel eines Finite-Element- $\frac{1}{4}$ -Modells eines piezoresistiven Drucksensors (Abbildung Seite 16) kann eine Fülle an variablen Geometrie- und Technologieparametern identifiziert werden, beispielsweise die Größe und Dicke einer Membran oder auch Widerstandsposition, Schichtdicken oder Widerstandstechnologie. Bei  $\frac{1}{4}$ -Modellen werden Symmetrien an den Schnittkanten genutzt, um die Modellgröße zu begrenzen. Die mechanischen Spannungen im Bereich der piezoresistiven Widerstände (Abbildungen links) bewirken spannungsabhängige Änderungen der Widerstände, die über eine Messbrücke elektrisch ausgewertet werden können.

Die mechanische Spannung ist eine Folge von Dehnungen im Silizium-Kristall, die über lokale Änderungen der Ladungsträgerbeweglichkeit zu Leitfähigkeitsänderungen führen. Dieser Zusammenhang kann auf Gitterebene durch Bandstrukturberechnungen erfasst werden. Die Forschungsarbeiten ergaben die Implementierung eines Modellierungsflows mit dem eine Kopplung der spezifischen Verteilungen der mechanischen Spannungen und



Verteilung der spannungs- und technologiebedingten Widerstandsänderung über dem Querschnitt einer Widerstandsbahn

Halbleitereigenschaften im Piezoresistor möglich wurde. Die Verteilung der spannungs- und technologiebedingten Widerstandsänderung über dem Querschnitt einer Widerstandsbahn ist in dieser Abbildung dargestellt. Die Integration über der Widerstandsänge ergibt den Widerstandswert einer Widerstandsbahn. Mit der Auswertung aller Widerstandsbahnen bei definierten Belastungsschritten erhält man eine Sensorkennlinie. ●

# COVID-19-PANDEMIE – HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN

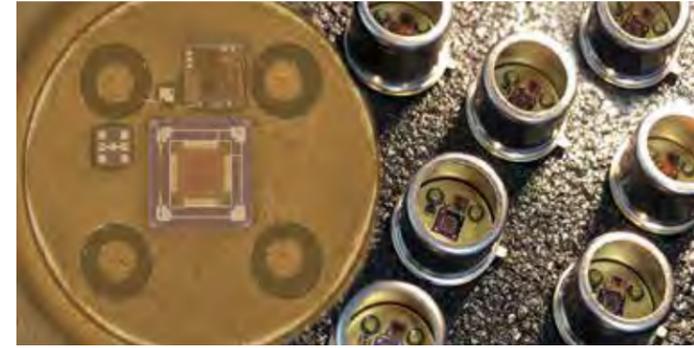


Man kann darüber streiten, ob dieses Thema eine besondere Beachtung in einem Jahresbericht verdient, oder doch nur als leiser aber ständiger Unterton mitschwingt. Wir haben uns entschieden, einem der wohl prägendsten Themen – auch wenn es oft belastet und viel Anstrengung bedeutet – einen Schwerpunkt zu widmen. Denn bei allen Herausforderungen vor die uns die aktuelle Pandemie gestellt hat und noch immer stellt, sind auch manche Chancen daraus entstanden, neue Möglichkeiten, die schneller und vielleicht auch eher genutzt wurden.

Mit dem Messestand auf dem German Pavilion / deutschen Gemeinschaftsstand sowie mehreren Konfe-

renzbeiträgen markierte die SPIE Photonics West in San Francisco, Anfang Februar, die letzte Präsenzteilnahme mit internationalem Charakter in 2020. Bereits hier war eine erste Änderung im Vergleich zu den Vorjahren spürbar: erste gesteigerte Hygiene-Maßnahmen sowie weniger Teilnehmer und Besucher, insbesondere aus Asien.

Die anfängliche Lage rund um die COVID-19-Pandemie erforderte ein sehr dynamisches Handeln sowie überdurchschnittliches Engagement. Das CiS Forschungsinstitut entwickelt und fertigt im Rahmen von Industrieaufträgen gemeinsam mit Partnern innovative Thermopiles.



Diese Sensoren erlauben die berührungslose Temperaturmessung und kommen in Kontaktlos-Thermometern in Gate-Lösungen zum Einsatz. Der dringende Bedarf kam anfangs aus dem asiatischen Raum, aber auch für den europäischen Markt sollte es bald die dringende Nachfrage solcher Sensor-Technologien geben. Unsere verantwortlichen Teams agierten so schnell wie möglich, um die Entwicklung und anstehende Fertigung kurzfristig umzusetzen. Damit wollen wir, auch als Mitglied des Forschungs- und Technologieverbundes Thüringen e.V. (FTVT) sowie Gründungsmitglied der Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse (Zuse-Gemeinschaft) angemessen auf die Pandemie reagieren und modernste Technologien dort bereitstellen, wo sie am nötigsten gebraucht werden.

Aus der analogen Arbeitswelt haben wir viele Aspekte vermehrt in die digitale Welt verschoben. Meetings, sowohl interner Natur wie auch mit Geschäftspartnern, regelmäßige Netzwerktreffen und Arbeitskreise wurden zunehmend online abgehalten. Optionen wie das Mobile Arbeiten, Aufhebung der Kernarbeitszeit und die Öffnung des Gleitzeit-Konto-Rahmens nach unten, oder auch die einfache Einhaltung der inzwischen klassischen „AHA + C + L“ Regeln ermöglichten einen sicheren Umgang mit der Pandemie.

So haben Kollegen im Juli das erste CiS-Online-Seminar zum Thema „Im-Ohr-Sensor für das Vitalmonitoring“ erfolgreich umgesetzt. Die beiden Referenten aus dem Bereich MOEMS präsentierten einen optischen Sensor, der - in einer Otoplastik integriert - Blutdruckänderungen jedes einzelnen Herzschlags erfassen kann.

Auch die herbstliche CiS-Workshop-Trilogie wurde immer wieder an die laufenden Entwicklungen rund um die Pandemie angepasst. Die drei interessanten

Workshops zu aktuellen Trends auf den Gebieten der Drucksensorik, NDIR-Sensorik und erstmals angewandter Quantentechnologien sowie deren Umsetzung in kundenspezifischen F&E Projekten fanden im Oktober statt. Eigentlich als reine Präsenzveranstaltung seit vielen Jahren etabliert, wurden die vom CiS e.V. veranstalteten Workshops sowohl als Hybrid- wie auch reine Online-Veranstaltung realisiert. Zukünftige Workshops als hybride Veranstaltung – also mit Referenten und Gästen vor Ort wie auch online zugeschaltet - anzubieten, wird sicherlich auch weiterhin eine praktikable Option sein.

Als Partner im Konsortium Advanced UV for Life (AUVL) ist das CiS Forschungsinstitut verantwortlich für die Entwicklung von Montageprozessen für UV-LEDs. Gemeinsam mit den weiteren Forscher-Teams des Konsortiums wurde so die Grundlage gelegt, Desinfektionslösungen mit Licht von UVC- und blauen LEDs zu ermöglichen. Die Forschungsarbeiten trugen mit dazu bei, dass UV-LEDs immer leistungsfähiger und preiswerter werden. Einige Forschungsergebnisse haben wir Anfang November auf der ersten hybriden Fachmesse und Konferenz zum Infektionsschutz, der prevention in Erfurt gezeigt.



Das alljährliche Sommerfest für alle Mitarbeitenden konnte in 2020 ebenfalls nicht stattfinden und anfangs sollte ganz auf eine gemeinsame institutsübergreifende Veranstaltung verzichtet werden. Nichtsdestotrotz stärkte die Geschäftsführung das Gemeinschaftsgefühl weiter und engagierte Anfang Dezember einen Food Truck, der für alle KollegInnen ein individuelles Burger-Menü und damit vorweihnachtliches Dankeschön für das Engagement in diesem nicht immer einfachen Jahr bereithielt. ●

# UV-LEDs UND DAS KONSORTIUM ADVANCED UV FOR LIFE



Ultraviolettes Licht wird vielfältig eingesetzt. Bekannt als Mittel zur Desinfektion medizinischer Geräte oder von Trinkwasser in Brauereien erobert es immer neue Bereiche in vielen Branchen. Vor dem Hintergrund der COVID19-Pandemie boomen aktuelle Entwicklungen für desinfizierende Geräte insbesondere im UVC-Bereich. Die Weiterentwicklung der UV-LED-Technologien wird gegenwärtig international stark forciert und erweitert vorhandene Optionen zum Einsatz im desinfizierenden Bereich.

Dort wo keine UV-LEDs zum Einsatz kommen, finden quecksilberbasierte Strahler Verwendung. Diese müssen zwingend durch neue Technologien ersetzt wer-

den, wie es auf internationaler Ebene im Minamata-Übereinkommen, der Quecksilber-Konvention der Vereinten Nationen, festgehalten ist. Neben der Umweltschädlichkeit bieten diese Strahler nicht die Möglichkeit der schnellen Einsatzfähigkeit. Die Lampen sind teuer und in ihrer Lebenszeit begrenzt. Zudem hat die EU mit ihrer ROHS-Richtlinie bereits 2011 beschlossen, umweltschädigende Stoffe soweit wie möglich aus den Produktionsprozessen zu entfernen.

Vor diesem Hintergrund steht auch das Konsortium Advanced UV for Life vor immer neuen Herausforderungen. Erzielte Forschungsergebnisse müssen zügig in die Anwendung überführt werden, da der Einsatz

von UV-LED-basierten Strahlereinheiten an gesamtgesellschaftlicher Bedeutung gewinnt und die Nachhaltigkeit der geleisteten Arbeiten entfaltet. Das Konsortium Advanced UV for Life, initiiert von 22 Partnern aus Forschung und Industrie, ist seit 2014 ein Begriff für die Entwicklung von UV-LEDs und ihre Anwendung in unterschiedlichen Applikationen.

Zentrale Elemente bilden Halbleitertechnologien & Bauelemente. Die hier erforschten und entwickelten LED-Chips werden im Feld Module & Messtechnik montiert und mit anderen Komponenten verschaltet.

Sie bedienen die vier Anwendungsfelder Medizin, Umwelt & Life Sciences, Desinfektion und Produktion. Als Konsortialpartner verantwortet das CiS Forschungsinstitut das Arbeitsfeld Module & Messtechnik. Dieses Themenfeld verbindet Halbleitertechnologien zur Herstellung der Bauelemente mit den Anwendungsfeldern. Dafür werden innovative Montagetechnologien in der Aufbau- und Verbindungstechnik entwickelt, untersucht und optimiert in Abhängigkeit der spezifischen Anwendungen. Ziel ist es, industriereife und kostengünstige Fertigungsprozesse darzustellen, die ein optimales Wärmemanagement, Langzeitstabilität und hohe Leistungsfähigkeit bieten. ●



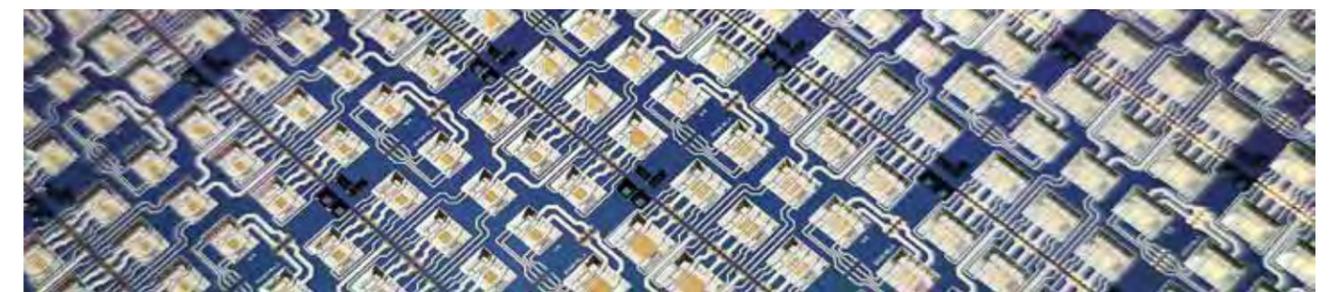
## IC4UV

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

Die elektronische Ansteuerung von UV-LEDs muss berücksichtigt werden, da sie sich in einigen Details von der Ansteuerung klassischer LEDs unterscheidet. Hauptsächlich verantwortlich dafür ist die relativ hohe Flussspannung, die 2014 noch deutlich über 10V lag, mittlerweile aber im Bereich zwischen 5V und 10V liegt. Das Projekt IC4UV - Entwicklung eines Ansteuer-ICs für UV-LED-Arrays mit integrierter Optik hat die Entwicklung eines komplexen ICs zum Ziel. Neben der Ansteuerung von UV-LEDs wird auch die Überwachung der Parameter der abgestrahlten Lichtleistung und

Temperatur implementiert. Dadurch wird es möglich, die UV-LED im optimalen Bereich als Konstant-Lichtquelle zu betreiben.

Im Ergebnis wird die Lebensdauer des Bauelementes optimiert. Wir arbeiten im Projekt IC4UV gemeinsam mit einem Designhaus an der Schaltungsrealisierung. Darüber hinaus wird unter Nutzung der Entwicklungsergebnisse des Projektes Mount-LED ein kompaktes Submount-Konzept auf Si-Basis mit integrierter Optik entwickelt. Der IC wird in Stapeltechnologie mit diesem Submount verbunden. Mit diesem kompakten Aufbau wird die Funktionalität des ICs demonstriert. ●



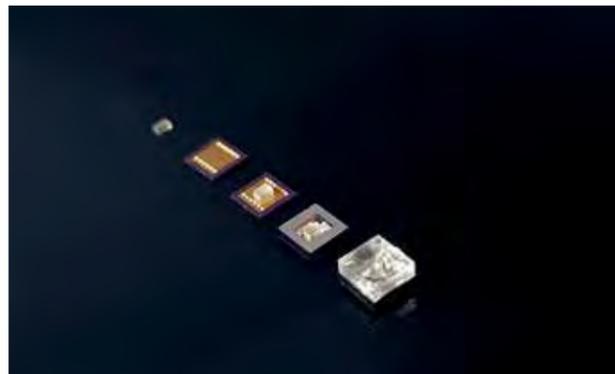
Geregeltes LED-Array zur homogenen Flächenausleuchtung bei der Desinfektion

## Mount-LED & OLAV

### Submount-Technologien und optimierte Verguss-Technologien

Ein kritischer Leistungsparameter für UV-LEDs ist zum Beispiel die externe Quanteneffizienz (EQE), welche die abgestrahlte Lichtleistung im Verhältnis zur benötigten elektrischen Leistung beschreibt. Zu Beginn der Projektarbeit im Jahr 2014 lag dieser Parameter typischerweise bei  $EQE \leq 5\%$ . Durch Weiterentwicklung der Bauelemente-Technologie werden nunmehr Werte von EQE ca. 8% ... 10% bei UVB-LEDs erreicht. Aber auch die Montagetechnologien der Komponenten konnten zu einer Steigerung der abgestrahlten optischen Vorwärtsleistung genutzt werden.

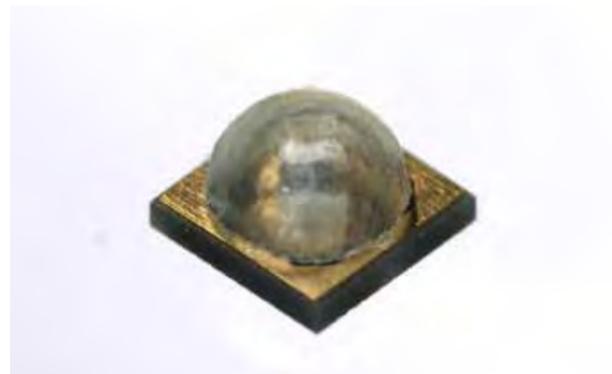
Mit diesem Thema befassten und befassen sich nach wie vor die Projekte Mount-LED - Entwicklung einer optimierten Submount-Technologie für UV-LEDs sowie OLAV - Entwicklung optimierter Vergusstechnologien für UV-LEDs. Das Wärmemanagement hat einen großen Einfluss auf die Lebensdauer und die EQE von UV-LEDs. Diese Thematik stand im Mittelpunkt des Projektes Mount-LED. Es wurden Modelle erarbeitet, um den thermischen Widerstand zu simulieren und auch zu bestimmen, durch Vergleich von gemessenen Temperaturkennlinien und dem Abgleich mit verschiedenen thermischen Modellen.



Prozessfolge Mount-LED

Ausgehend davon entwickelte das CiS Forschungsinstitut einen Si-Submount für UV-LEDs mit einer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit, was erheblich zur Verlängerung der Lebensdauer von UV-LEDs beiträgt. In Verbindung mit einer dreidimensionalen Gestaltung des Submounts wurde erreicht, dass das an den Chipkanten austretende UV-Licht in Vorwärtsrichtung durch die Nutzung eines Aluminium-beschichteten Reflektors umgelenkt wird.

Ein weiteres Problem der relativ niedrigen EQE liegt in der Tatsache begründet, dass ein relativ großer Anteil des in den aktiven Schichten der UV-LED erzeugten Lichtes in Folge des Brechzahlunterschiedes von Saphir zu Luft, den Saphir durch Totalreflexion an den Grenzflächen nicht verlassen kann. Im Projekt OLAV arbeiten die Projektpartner gemeinsam an der Entwicklung spezieller Vergussmaterialien für UV-LEDs, die zu einer optimierten Brechzahlanpassung zwischen Saphir und Luft führen und damit mehr Licht abgestrahlt wird. Unser Forschungsinstitut entwickelt in diesem Projekt speziell angepasste Vergusstechnologien in Verbindung mit der Montage von UV-Optiken auf dem Submount. ●



Montierte UVC-LED mit abgeformtem Vergussmaterial

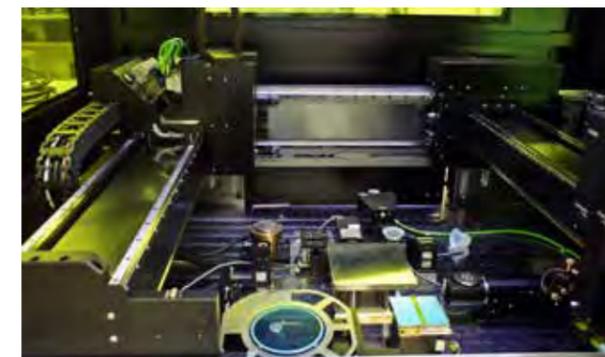
## Multi-λ & PHOS

### Entwicklung von Technologieplattformen

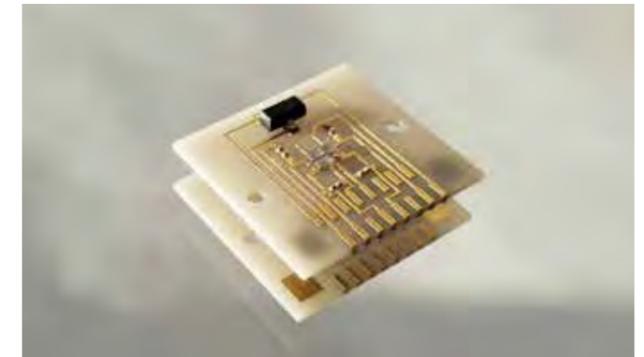
Im Rahmen der Projekte Multi-λ - Entwicklung einer Technologieplattform für Multi-λ-UV-LED-Strahler und PHOS - Entwicklung einer Technologieplattform für Hochleistungs-UV-LED-Arrays wurde gemeinsam mit den Projektpartnern Montagetechnologien für komplexe Strahlerplattformen entwickelt. Im Ergebnis entstanden für beide Konzepte Technologieplattformen, auf deren Basis es möglich wird, die Entwicklungszeiten für Strahlermodule deutlich zu verkürzen.

Die ausgewählten Montagetechnologien sind alle industriell umsetzbar und wurden mit einem hochflexiblen Mikromontagecenter erprobt. Flip-Chip-Montagen, Löten, Sintern unter Verwendung von Pasten und das Thermosonic Bonding sind Verfahren mit einem hohen Potenzial für die Automatisierung.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Konsortium Advanced UV for Live hat maßgeblich beigetragen, die Kompetenzen und die Leistungsfähigkeit der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) zu stärken und in weiteren Aufgabenfeldern umzusetzen. Die erzielte Performance der UV-LEDs und die Skalierbarkeit auf eine hochvolumige Produktion tragen dazu bei, die Ziele des Minamata-Übereinkommens umzusetzen und den Weg für einen vielseitigen Einsatz von UV-LEDs zu ebnen. ●



Innenraum Montagezentrum



Komplexe Strahlerplattform im Projekt Multi-λ



## GEFÖRDERT

**Mount-LED:** Entwicklung einer optimierten Submount-Technologie für UV-LEDs  
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0129A gefördert.

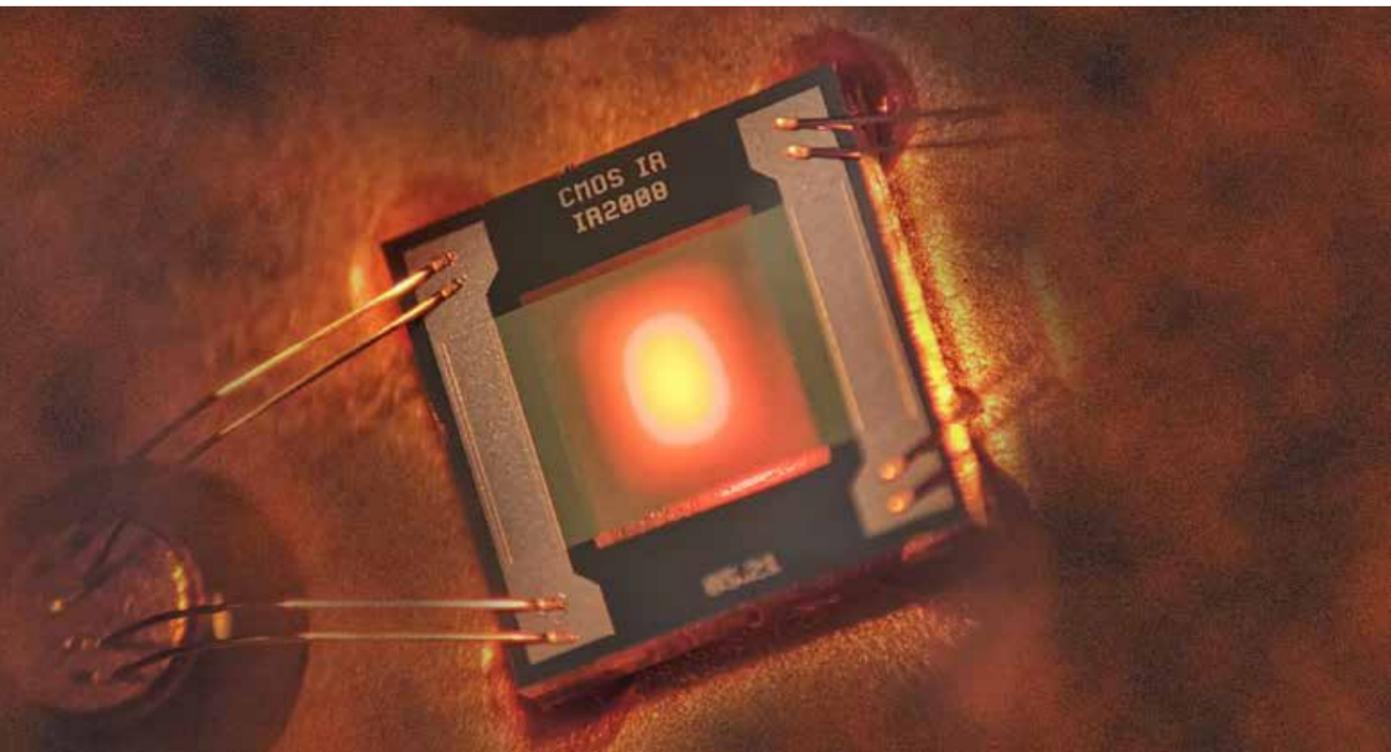
**OLAV:** Entwicklung optimierter Vergusstechnologien für UV-LEDs  
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0144A gefördert.

**IC4UV:** Entwicklung eines Ansteuer-ICs für UV-LED-Arrays mit integrierter Optik  
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0137A gefördert.

**Multi-λ:** Entwicklung einer Technologieplattform für Multi-λ-UV-LED-Strahler  
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ01214A gefördert.

**PHOS:** Entwicklung einer Technologieplattform für Hochleistungs-UV-LED-Arrays  
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0114A gefördert.

# IR / INFRAROT



## Strahler und Detektoren für den IR-Bereich

Der infrarote Spektralbereich liefert Informationen zu zahlreichen Material- und Zustandsparametern. Durch die Erfassung thermischer Abstrahlung wird beispielsweise berührungslos und über größere Entfernungen hinweg die Temperatur von Objekten bewertet. Individuelle Absorptionsbanden im Infrarot identifizieren und quantifizieren chemische Verbindungen und Gasmoleküle.

Auf den ersten Blick ist Silizium für diesen Spektralbereich ungeeignet, da es – weitgehend transparent – das Licht über weite Bereiche nicht absorbieren und in messbare Größen umwandeln kann. Spezielle Technologien ermöglichen es, Detektoren sowie Strahler damit zu realisieren.

Die eigentlich aktiven Gebiete solcher Bauteile werden dabei in nur wenigen 100 nm dicken Membranen in einem Silizium-Trägerrahmen aufgespannt. Im Fall der Strahler wird dabei ein vollflächiges Heizwiderstand-

element realisiert, das sich – ähnlich einer Glühlampe, jedoch deutlich kompakter und flinker – bei Stromzufuhr auf mehrere hundert Grad Celsius erwärmt und eine breitbandige Infrarotstrahlung emittiert. Bei der Detektion setzen wir insbesondere auf Thermopile-Technologien. Dabei wird über den Wärmeunterschied zwischen (IR-) beleuchteter Membran und kalten Rahmen durch reihenverschaltete Thermosäulen auf Basis von Polysilizium das infrarote Licht messbar.

Zum Einsatz kommen hier die am CiS Forschungsinstitut entwickelten Kompetenzen zur 3D-Strukturierung von Silizium. Die selbstentwickelten IR-Strahler als auch Detektoren haben Produktreife erlangt. Um die Funktionalität und Langlebigkeit solcher Bauteile weiter zu verbessern sowie hochspezialisierte Sonderlösungen zu erreichen, werden das physikalische Grundverständnis und neue funktionale Verbesserungen im Rahmen von Förderprojekten weiterentwickelt. ●

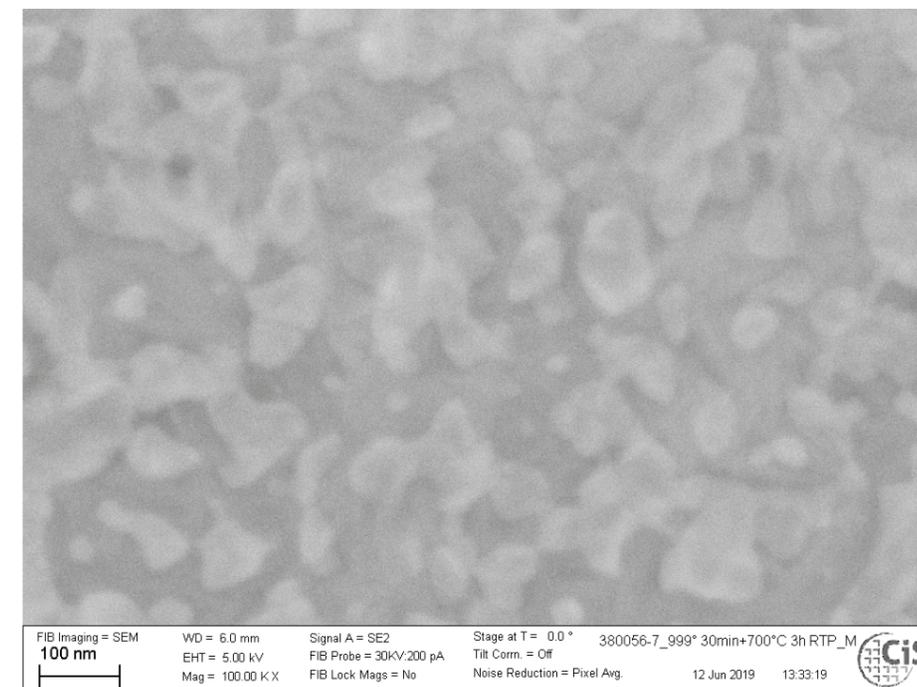
## EMIR

### Erhöhte Lebensdauer durch Verständnis der Elektromigration

Für Anwender ist die Langzeitstabilität der optischen und elektrischen Eigenschaften eines jeden Bauteils von enormer Wichtigkeit. Auch die Langzeitstabilität von Infrarotemittern bildet dabei keine Ausnahme. Die Stabilität der Bauteileigenschaften kann durch verschiedene Effekte verringert werden. Einer der Effekte ist die Elektromigration, die auf Grund ihrer Abhängigkeit von der Temperatur für Infrarotemitter, die auf einer Widerstandsheizerschicht beruhen, von Bedeutung ist. Im Rahmen des Förderprojektes EMIR untersuchen wir die Elektromigration im Molybdändisilicid, woraus der Widerstandsheizschicht der IR-Emitter besteht.

Ziel ist es, eine Technologie zu entwickeln, die die Elektromigration verringert und eine längere Lebensdauer ermöglicht.

Die Prozessführung wirkt sich auf die resultierende Schichtstruktur und somit auf die Schichteigenschaften aus. Ausgewählte Parameter wurden variiert, um eine geeignete Prozessführung zu finden. Untersuchungen von Teststrukturen zeigten Hillock und Voidbildung im AlSi-Kontakt, was zu Schwachstellen in so realisierten Baugruppen führt. Im weiteren Verlauf werden verschiedene Gegenmaßnahmen untersucht und bewertet. ●



FIB-Bild einer MoSi<sub>2</sub>-Schicht mit Standardtemperatur und zweiter Temperatur.



**GEFÖRDERT**

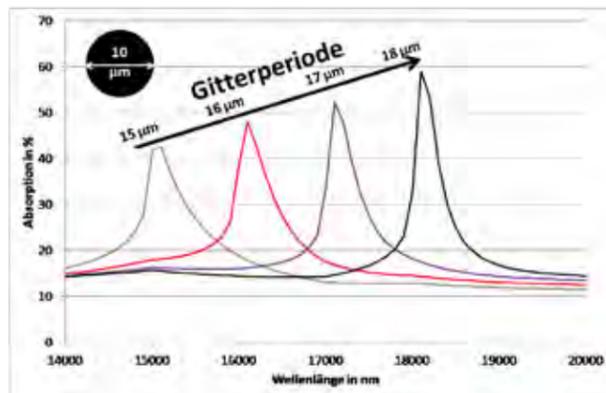
Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Erhöhte Lebensdauer durch Verständnis der Elektromigration“ (EMIR) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF190017

## PHIR

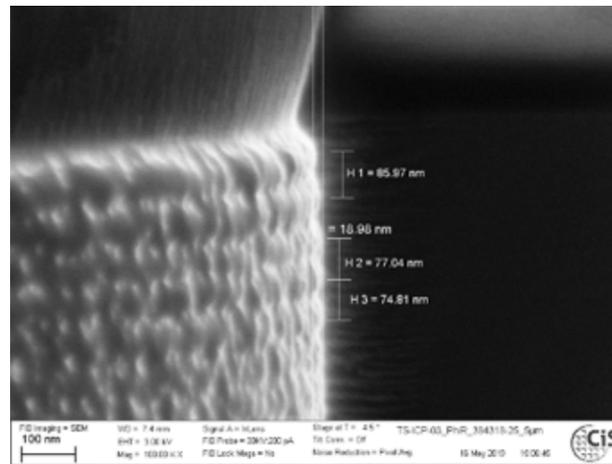
### Photonische Kristalle als IR-Filter

Infrarotemitter mit einer gezielt einstellbaren Wellenlänge sind für einige Anwendungen von Vorteil. LEDs, die dies im infraroten Spektralbereich ermöglichen, sind auf Grund der verwendeten Materialien kostenintensiv. Es ist daher sinnvoll, mit anderen Mitteln infrarotemittierende Bauteile mit einer Vorzugswellenlänge des abgestrahlten Lichts zu fertigen. Dafür bieten sich Infrarot-Emitter auf Basis von Widerstandsheizstrukturen mit einer speziellen Emitterschicht an. Diese selektiven Emitterschichten können durch Strukturierungen, z.B. mit photonischen Kristallen, erzielt werden. Photonische Kristalle zeichnen sich durch eine periodische Änderung des Brechungsindex aus. Die

bei uns im Rahmen des Förderprojektes PHIR erforschten photonischen Kristalle basieren auf kreisförmigen Löchern in einer dotierten Siliziumschicht. Angelehnt an reale Lochstrukturen wurden umfangreiche Simulationen durchgeführt, die zeigten, dass die Rauheit der Seitenwand von besonderer Bedeutung ist. Glattere Seitenwände führen zu einem schmaleren Spektrum des ausgesandten IR-Lichts. Durch Einstellung der Gitterperiode solcher Löcher kann ein Absorptionsmaximum über weite Wellenlängenbereiche verschoben werden. Die Simulationen konnten an Teststrukturen experimentell bestätigt werden. Sie bilden die Grundlage für die in 2021 zu erwartenden Demonstratoren. ●



Simulierte Absorptionsspektren für kreisförmige Löcher mit verschiedenen Durchmessern als quadratische Gitter angeordnet.



REM-Aufnahme einer geätzten Seitenwand nach Anpassung des Ätzprozesses.

## TeSIS

### Strahler mit Schwarzkörpereigenschaften durch integrierte Textur

Die bisherigen Lösungen für High-Performance IR-Strahler mit extrem hoher Emissivität erfordern aufwändige und kostspielige Spezialprozesse. Dabei werden nach dem aktuellen Stand der Technik nachträglich emissionsverbessernde Schichten auf die Strahler abgedichtet und funktionalisiert.

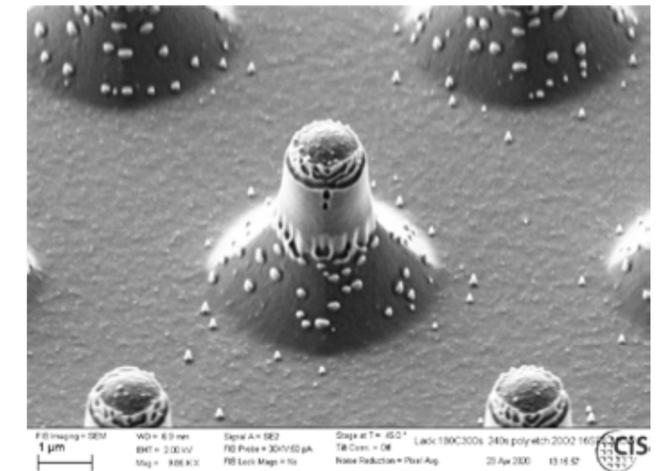
Im Projekt TeSIS wird eine neuartige, deutlich vereinfachte Prozesskette für IR-Strahler mit Schwarzkörpereigenschaften verfolgt. Anstelle einer nachträglichen Funktionalisierung ist die zentrale Idee dabei, das Heizwiderstandselement auf einer texturierten Oberfläche abzuscheiden. Der Träger wird im Laufe des Prozesses entfernt – zurück bleibt eine 3D geformte Membran

mit dem Heizwiderstand mit signifikant verbesserten Emissionseigenschaften. Für diese vielversprechende Idee wurde unter PCT/EP2018/083263 ein internationales Patent beantragt.

Das CiS Forschungsinstitut nutzt Technologie zum Erzeugen zufälliger und definierter Texturierungsverfahren mit verschiedener Topologie. Es wurden optische Modelle entwickelt, um die Wirkung solcher Strukturen auf das Abstrahlverhalten im Vorfeld zu berechnen. Vorversuche für derart texturierte Schichten bestätigen das hohe Potential und die Vorteile solcher Lösungen. In 2021 werden auf dieser Basis aktive Bauteile gefertigt und erprobt. Dabei sollen noch offene Fragestellungen zur mechanischen Stabilität und Langzeitverhalten bearbeitet werden. ●



Schematischer Schnitt durch einen MEMS-IR-Strahler mit texturierter aktiver Heizmembran



Texturierungsmöglichkeiten in Silizium, deren Übertragbarkeit in die Membran evaluiert werden sollen



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Photonische Kristalle als IR-Filter“ (PHIR) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF180072



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Strahler mit Schwarzkörpereigenschaften durch integrierte Textur“ (TeSIS) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF190034

# PIEZORESISTIVE DRUCKSENSOREN



## Siliziumbasierte Sensoren für anspruchsvolle Umgebungen

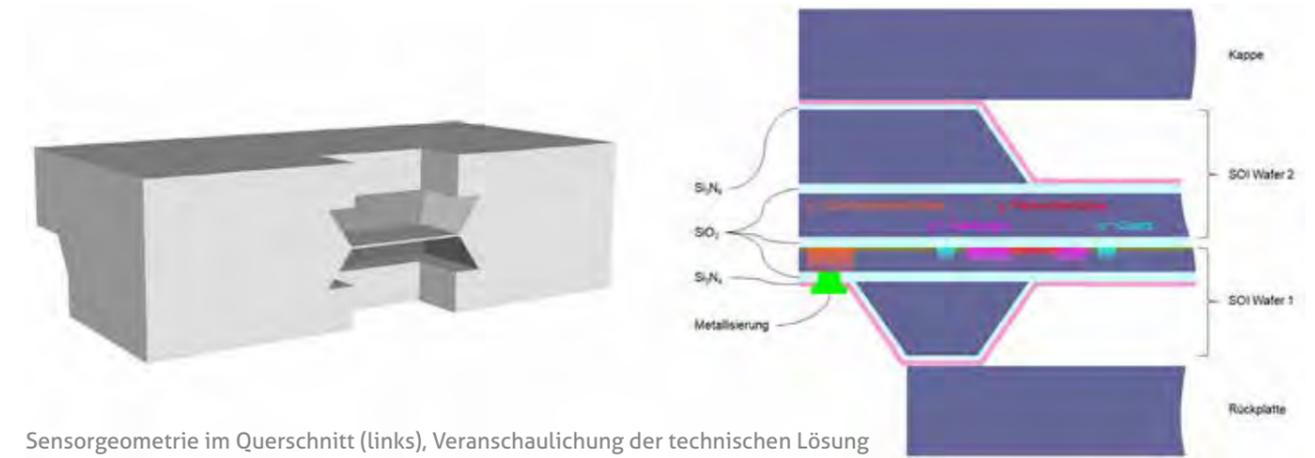
Die zuverlässige Messung des Druckes ist eine wichtige Voraussetzung zur Steuerung von Prozessen und Abläufen in vielen Branchen. Vor allem in den Bereichen der industriellen Messtechnik, Automotive, Medizintechnik oder Öl- und Gasindustrie sind langzeitstabile Sensoren bei geringem Energieverbrauch und minimalem Platzbedarf gefordert. Die unterschiedlichen Einsatzfelder verlangen hochspezialisierte Sensoren. Sie decken ein weites Anforderungsspektrum wie Miniaturisierung, messtechnische Stabilität, die Reduktion der Querempfindlichkeit oder Einsatztemperaturerweiterung ab, verbunden mit dem Wunsch, die Kosten zu verringern.

Ausgehend vom Design des Sensors und der Simulation anwendungsspezifischer Forderungen wird die Langzeitstabilität maßgeblich von der Aufbau- und Verbindungstechnik beeinflusst. Aufwändige Untersuchungen zur Optimierung der Montage der Sensoren sind notwendig und führen häufig zu Kompromisslö-

sungen. Durch ein zielgerichtetes Design der Sensoren können der Einfluss der Aufbau- und Verbindungstechnik signifikant verringert und die Bauteilkosten gesenkt werden.

Der Trend zur Miniaturisierung bedingt auch die Entwicklung von Drucksensoren mit direktem Medienkontakt. Sie bilden eine interessante Alternative zu herkömmlichen Silizium-Druckwandlern, die durch eine Membran sowie eine Vorlage aus chemisch inertem Spezial-Öl vom Übertragungsmedium getrennt sind. Alternative Aufbau- und Verbindungskonzepte bieten die Chance, durch ihren Preisvorteil neue Anwendungen zu erschließen. Zugleich müssen Wechselwirkungen ausgeschlossen werden, welche die Eigenschaften und damit die Qualität der Sensoren einschränken. Mit unseren Forschungsergebnissen eröffnen wir Perspektiven für KMUs, neue Entwicklungen in ihre Produkte zu integrieren. ●

## MARLen



Sensorgeometrie im Querschnitt (links), Veranschaulichung der technischen Lösung

### Multilayer-Aufbauten für chemisch resistente, langzeitstabile Differenzdrucksensoren

Ein typisches Beispiel für korrosive und zugleich elektrisch leitfähige Medien ist Wasser. Raue Umgebungsbedingungen herrschen ebenfalls in der Öl-, Gas- oder Offshore-Industrie. Daher sind entsprechend kostengünstige und applikationsspezifische Differenzdruckumformer zur Überwachung und Effizienzsteigerung erforderlich.

Unser Ansatz nutzt Silizium als Bulk-Material von Komponenten zur vorder- und rückseitigen Verkapselung der fertigen Bauelemente. Auf Basis der vorhandenen Wafer-Level-Packaging-Technologien wurde eine Idee entwickelt, welche auf aufwendige Messzellen-Konzepte mit Edelstahl-Trennmembran und Ölvorlage verzichtet.

Ein Lösungsansatz war die gezielte Modifikation der Oberflächeneigenschaften typischer MEMS-Siliziumwafern mit dem primären Ziel einer Glättung im atomaren Bereich. Mittels anodischem Si-Si-Bonden mit dünner, aufgedampfter Borosilikatglasschicht sowie mit siebgedruckter Glasfritt-Schicht wurden hohe Festigkeiten erzielt.

Ein Differenzdrucksensor, bei dem die piezoresistive Messbrücke vollständig in dem Bulk-Silizium verkapselt ist, demonstriert die Funktionsfähigkeit unter

harschen Einsatzbedingungen. Zudem können bei dem Sensor alle medienberührenden Oberflächen zusätzlich passiviert werden. Mittels implantierter Durchkontaktierungen durch eine dünne Siliziumschicht wurde die Chipmetallisierung vollständig von beiden Medienräumen separiert.

Alle Prototypen entsprechen den formulierten Anforderungen hinsichtlich Empfindlichkeit, Überlastfestigkeit und Langzeitstabilität für den Einsatz in aggressiven, korrosiven und elektrisch leitfähigen gasförmigen oder flüssigen Medien.

Der Lösungsansatz für den medienresistenten Differenzdrucksensor mündete in der Deutschen Paten anmeldung DE 10 2019 135 606.7 mit dem Titel „Halbleiterbasierter Differenzdrucksensor und Verfahren zu seiner Herstellung“. ●

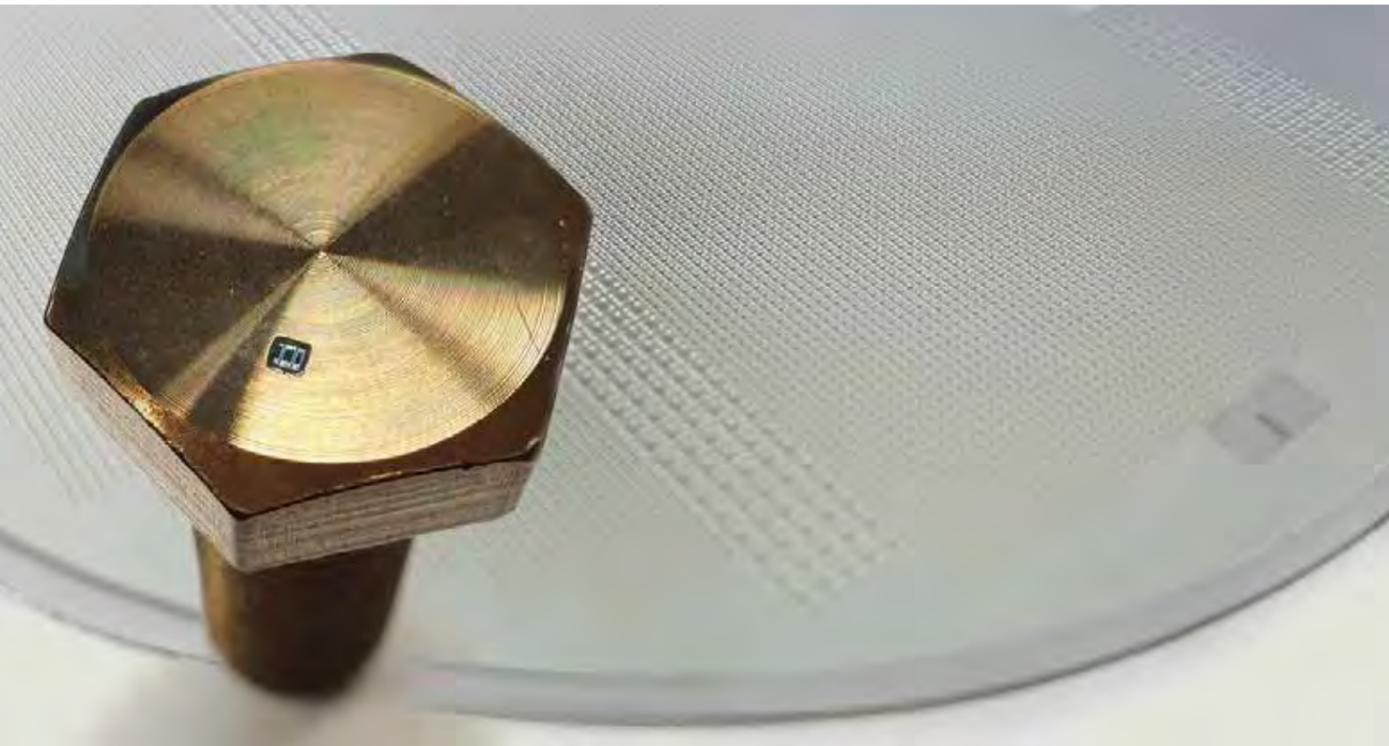


**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Multilayer-Aufbauten für chemisch resistente, langzeitstabile Differenzdrucksensoren“ (MARLen) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Förderkennzeichen: 49MF170010



# PRÄZISIONSKRAFTMESSUNGEN



## Piezoresistive Silizium-Dehnmesstreifen (Si-DMS)

Piezoresistive Si-DMS und piezoresistive Drucksensoren basieren auf dem gleichen Sensorprinzip. Hergestellt werden die Bauteile in einem Halbleiterprozess bereits auf Waferenebene, wobei dehnungsempfindliche Widerstände als Wheatstone'sche Messbrücke in hauchdünnen Chips monolithisch integriert sind. Die winzigen DMS-Chips werden per Pick & Place vereinzelt und anschließend entsprechend auf die Anwendung zugeschnittenen Fügeverfahren mit einem elastischen Verformungskörper wie zum Beispiel Edelstahl, Titan oder Aluminium verbunden.

Die verwendeten Halbleitertechnologien sorgen für hohe Langzeitstabilität, Auflösung und Messsicherheit. Ein intelligentes Design kann die Querdehnungsempfindlichkeit erheblich reduzieren - ein Vorteil, wenn mechanische Spannungen in einem Messobjekt zu analysieren sind. Soll ein Sensor auch hohen Tempe-

raturen standhalten, wird statt Silizium ein sogenanntes Silicon-on-Insulator-Substrat verwendet. Der Mikrochips funktioniert dann auch bei Temperaturen bis 300°C zuverlässig.

Die Auswahl des geeigneten Verfahrens hängt von den Anforderungen an das Messsystem und den Bedingungen am Messort ab.

Montagetechnologien wie Aufglasen, Silber-Sintern oder Fügen auf Basis von reaktiven Multischichtsystemen sind hier wegweisend. Typische Fügeverfahren reagieren häufig temperatur- und feuchteempfindlich. Sie beeinflussen die Stabilität des elektrischen Signals. Verifikation und Tests zum thermischen Verhalten der Materialkomponenten, der Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität werden hausintern durchgeführt. ●

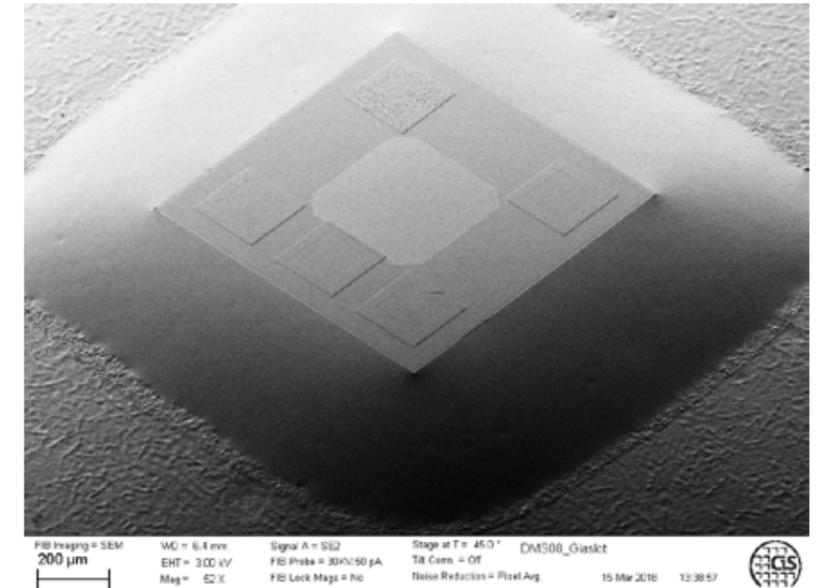
## SiDMESES

### Verbesserung der Stabilität hybrid aufgebauter Silizium-Dehnungssensoren

Für hybrid aufgebaute Sensoren mit Si-DMS wird das Fügen mit Glaslot präferiert. Dieser Prozess findet bei Temperaturen von über 400°C statt. Durch die unterschiedlichen Materialien und daraus resultierenden verschiedenen Temperatúrausdehnungskoeffizienten, entstehen mechanische Spannungen, die eine irreversible Signaländerung bewirken und die Langzeitstabilität beeinträchtigen. Mit verschiedenen Maßnahmen wie

- einem gezielten und beschleunigten Abbau mechanischer Montagespannungen,
- einem präzisen extrem parallelen und symmetrischen Aufbau,
- der Verminderung der Duktilität der Fügewerkstoffe und
- der Variation der Position des Si-DMS auf dem Gegenkörper

können eine hohe Empfindlichkeit auf die Messgröße und eine hohe Unempfindlichkeit gegenüber einer Änderung durch die Montagespannung erzielt werden. ●



Si-DMS mittels Glaslot auf Metallkörper gefügt



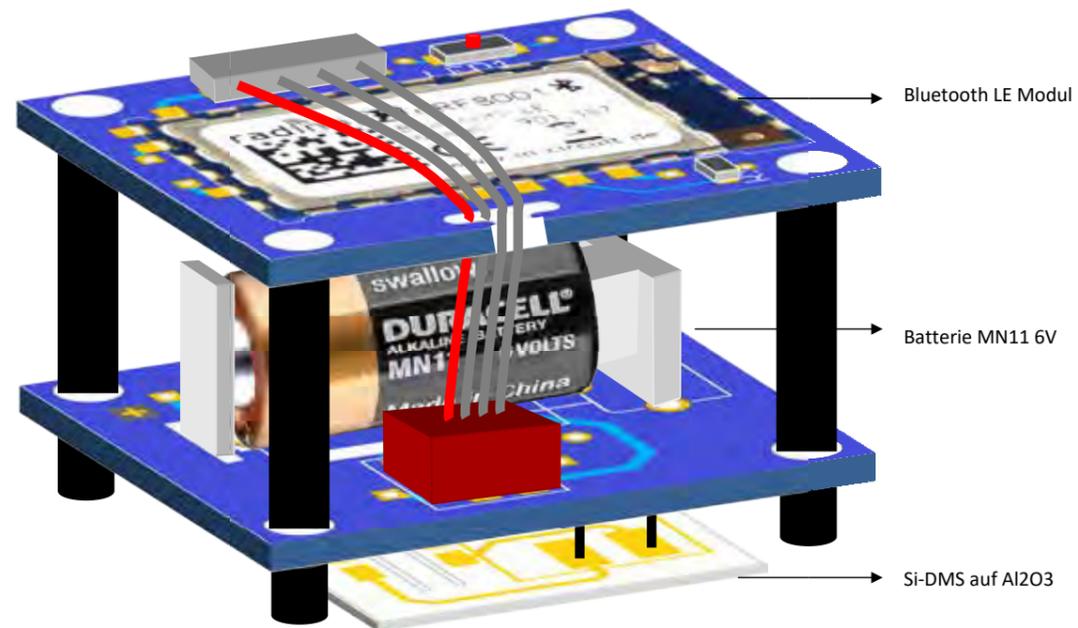
Silizium-Dehnmesstreifen (Si-DMS) auf metallischem Probekörper als Demonstrator



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden im Forschungsprojekt „Verbesserung der Stabilität hybrid aufgebauter Silizium-Dehnungssensoren“ (SiDMESES) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF200061

## BAVI



Modell des Stapelaufbaus für die Bluetooth- Übertragung

### Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen

Schraubverbindungen spielen eine übergeordnete Rolle zur Sicherung der Funktionsfähigkeit und unterliegen oft großen Belastungen. Bisher sind Sichtprüfungen oder der turnusmäßige Austausch der Bauteile an der Tagesordnung. Umso notwendiger ist es, ein optimales Monitoring bereits in der Planungsphase zu betrachten, damit der Inspektionsaufwand und -umfang minimiert werden kann. Vor allem bei der Überwachung von Befestigungssystemen in der Windkraftindustrie, Bahnanlagen, Luftfahrzeugen oder Pipelines sind solche Konzepte gefragt.

Eine Schraube verbindet mindestens zwei Bauteile kraftschlüssig. Die Haltbarkeit und Festigkeit werden durch Umwelteinflüsse und voneinander abhängigen Kräften wie Vorspannkraft und Betriebskraft, beeinflusst. Auf Basis einer MEMS-Technologieplattform wird ein Sensormodul entwickelt, das die Vorspannkraft und die Betriebskraft sowie ihre zeitliche Änderung bestimmt. Der Sensor besteht aus miniaturisierten Dehnmessstreifen. Diese werden über einen Montageträger als Wheatstone'sche Messbrücke angeordnet und auf einen Schraubenkopf montiert. Die

Elektroniken für die Energieversorgung, Messwertaufnahme und -verarbeitung, sowie die Schnittstellen zur Ausgabe des Messsignals sind über das Sensormodul angekoppelt. Ein optimales Packaging garantiert eine hermetisch dichte Verkapselung. Universelle Schnittstellen gewährleisten, dass die Messsignalverarbeitung bzw. -ausgabe in das Messsystem des Anwenders integrierbar ist.

Damit kann der Nutzer den Messzyklus in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen vor Ort, wie Energieautarkie, Erreichbarkeit durch Fachpersonal flexibel gestalten, wodurch größere Wartungsintervalle sowie die Möglichkeit der Ferndiagnose erzielt werden können. ●



## GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen“ (BAVI) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF180163

## Mikado

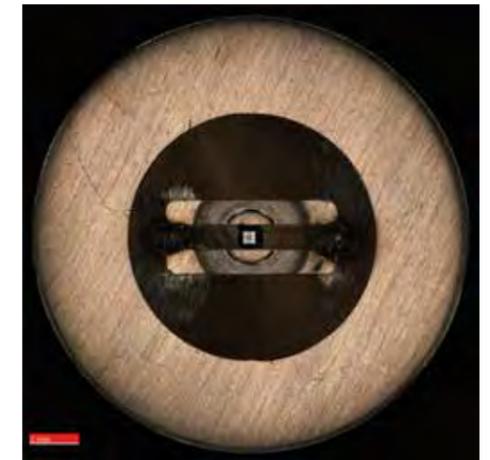
### Langzeitstabile Mikro-Makro-Kopplung zum Aufbau ultraflacher Siliziumdehnungssensoren für makroskopische Prüfkörper

Kraftsensoren werden für vielfältige Aufgaben benötigt. Sie analysieren mechanische Spannungen, steuern und überwachen Industrieroboter, medizinische und biomechanische Geräte, kontrollieren Schienen, Brücken oder Bahnweichen. Auch Waagen aller Art, von der Küchenwaage bis zur Kranwaage, enthalten Kraftsensoren, wobei fast ausschließlich Dehnungsmesssensoren auf Folienbasis dominieren.

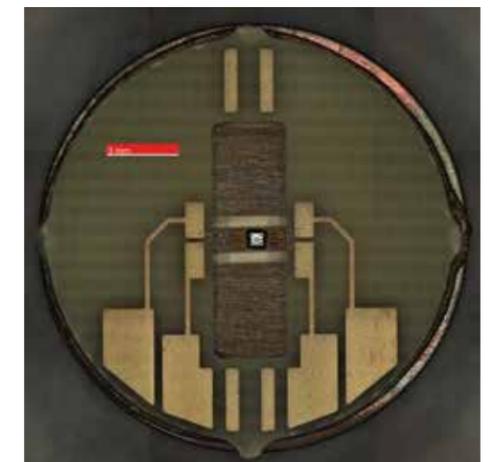
In Folge der fortschreitenden Automatisierung und autonom arbeitender Maschinen und Anlagen werden kostengünstige und in die Anlagen integrierbare Kraftsensoren benötigt. Ultraflache Kraftsensoren mit integrierten Silizium-DMS bieten hier Alternativen und Montageträger aus Edelstahl, Keramik, Messing oder Titan werden damit bestückt.

Die verwendeten Sensoren sind zur Eigendiagnose fähig, mit einer Signalverarbeitung gekoppelt und fordern Serviceleistungen nach Bedarf an. So ergibt sich ein großes Sparpotenzial insbesondere bei sehr schwer zugänglichen und aufwändigen Wartungsarbeiten, zum Beispiel bei Offshore-Windparks.

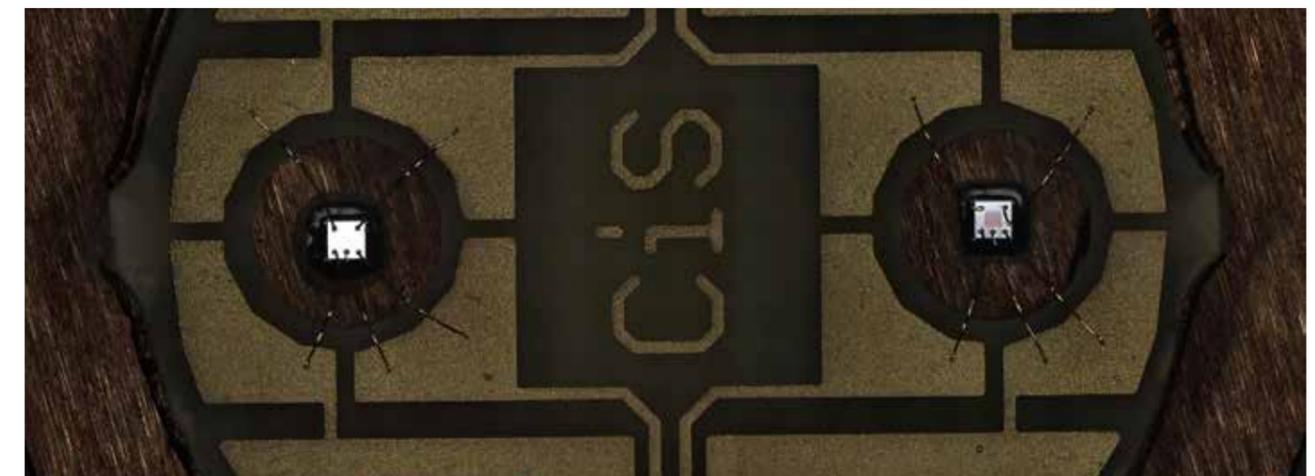
Vorversuche zeigen, dass Silizium-Dehnmesstreifen mit Glaslot auf Edelstahl gefügt, gute Ergebnisse erwarten lassen. Der Fügeprozess ist aufgrund der extrem unterschiedlichen Materialeigenschaften und der Temperaturführung äußerst anspruchsvoll.



Mittels Schweißverfahren gefügter Edelstahl-Montageträger mit aufgeglasten Si-DMS



Drahtbondkontaktierung eines mittels Sinterverfahren gefügten Edelstahl-Montageträgers auf Ronde



Detailaufnahme einer Drahtbondkontaktierung zweier auf Edelstahlronde aufgeglaster Si-DMS

Alle drei Fügeverbindungen:

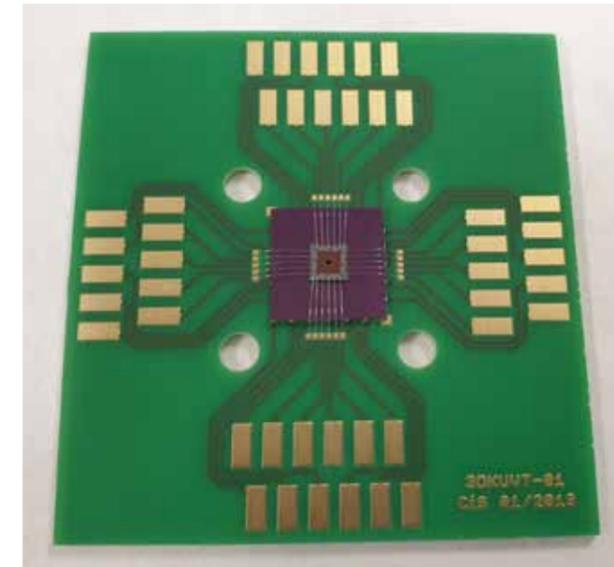
- Si-DMS mit dem Montageträger
- der Montageträger mit dem Prüfkörper
- die elektrische Kontaktierung der Si-DMS mit der Auswertelektronik

müssen Umwelteinflüssen wie Luftfeuchte und großen Temperaturspreizungen langzeitstabil standhalten. Der Einfluss der jeweiligen Fügetechnologien, z.B. Kleben als Standardverfahren und Glaslot-Bonden als Vorzugstechnologie, werden in diesem Projekt bewertet. ●



## GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Langzeitstabile Mikro-Makro-Kopplung zum Aufbau ultraflacher Siliziumdehnungssensoren für makroskopische Prüfkörper“ (Mikado) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF180163

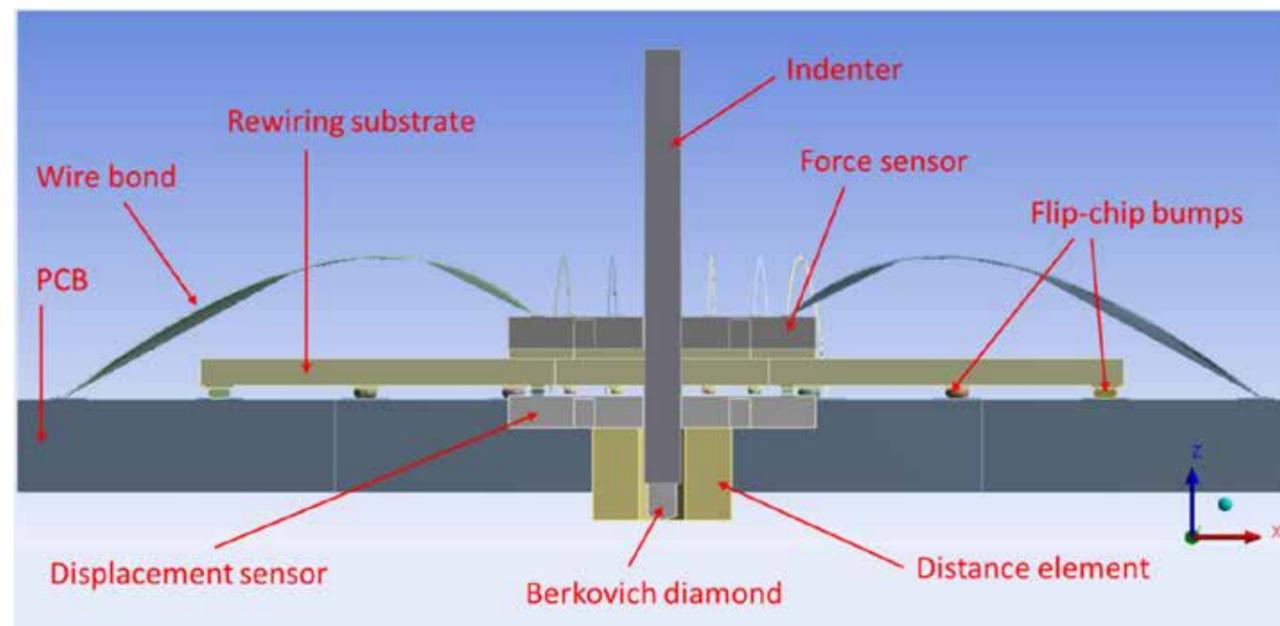


Auf der Leiterplatte angebrachtes neu verdrahtetes Flip-Chip-Substrat

Die Nanoindenter-Baugruppe (siehe Schaubild Seite 38) besitzt zwei baugleiche Kraftsensoren, die auf einem Verdrahtungsträger (rewiring substrate) gefügt werden. Der als Wegsensor verwendete Kraftsensor (displacement sensor) wird mittels einer Flip-Chip-Fügetechnik mit dem Träger verbunden. Der als Kraftsensor (force sensor) eingesetzte Sensor, wird gleichgerichtet auf die gegenüberliegende Seite mit einem Klebstoff gefügt. Der Eindringkörper (indenter), beispielsweise Diamant, wird in den Indenter eingeklebt und die Position durch das Distanzelement (distance element) festgelegt, wobei die Diamantspitzen und die äußere Begrenzung des Elementes in einer Ebene liegen. Der Verdrahtungsträger wird anschließend durch einen Flip-Chip-Prozess auf die Leiterkarte (PCB) gefügt. Der Kraftsensor ist elektrisch über Drahtbondungen (wire bond) mit der PCB verbunden, die dazu dient, den Sensor mittels einer Halterung an einem Aktor zu befestigen. ●

## Tarzan

Tastsystem mit stark reduzierter Antastkraft zur Bestimmung der instrumentierten Eindringhärte



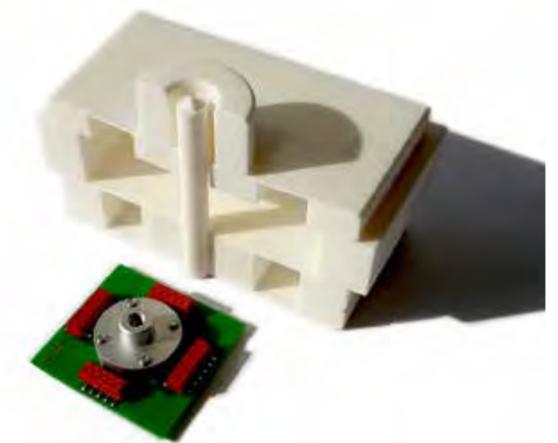
Nanoindenter-Baugruppe

Für die Härtemessung extrem dünner Schichten sind die klassischen Methoden nach Vickers oder Rockwell nicht anwendbar. Sie erfordern eine Mindestdicke von mehr als 100 nm. Im Vergleich dazu beträgt der Durchmesser des menschlichen Haares durchschnittlich 50.000 nm. Für die Härtemessung dünner Schichten

werden pyramidenförmige Diamantspitzen mit bekannter Geometrie verwendet. Da die Messung des Härteeindruckes nur noch mit einem REM oder AFM möglich ist, werden während des Versuchs die aufgebrauchte Eindringkraft und der Eindringweg der Spitze gleichzeitig gemessen.

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 System erfüllt bestimmte Bedingungen:

- Es enthält zwei unabhängig arbeitende Kraft- und Wegsensoren, davon dient ein Sensor überwiegend zur Kraft, bzw. zur Wegmessung.
- Das Abbesche Komparatorprinzip bleibt gewahrt.
- Es besteht Wahlfreiheit zwischen einer Diamantspitze, Hartmetallkugel oder Robinkugel.
- Die Konformität zu den einschlägigen Industrienormen bleibt gewahrt.



Model eines 3D-Kraftsensors



## GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Tastsystem mit stark reduzierter Antastkraft zur Bestimmung der instrumentierten Eindringhärte“ (TARZAN) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF160180

# HOCHTEMPERATUR-SENSORIK



In der industriellen Prozessmesstechnik, chemischen Industrie, im Automobilbereich und vielen anderen Branchen werden Sensoren gefordert, die unter extremen Bedingungen beispielsweise hoher Temperatur und Medienresistenz langfristig stabil agieren. Durch Einsatz von speziellen Halbleitertechnologien und Materialien sowie einem angepassten Design können siliziumbasierte Sensoren Temperaturbereiche bis plus 300°C abdecken. Hierfür eignen sich besonders Silicon-auf-Insulator (SOI) Wafersubstrate. Herkömmliche Bulk-Silizium-Materialien sind aufgrund der thermisch induzierten Leckströme auf einen Temperaturbereich bis ca. 120-140°C limitiert.

Die Erfassung der Messgröße Temperatur ist eine der wichtigsten Messungen für die Sicherheit von Anlagen in vielen Branchen, Produktionsprozessen oder bei der Reduktion von Schadstoffemissionen. Für Messungen vom Tieftemperaturbereich bis in den Hochtempera-

turbereich ist die Verwendung von Dioden als Temperatursensor auf Basis der SOI-Technologie von Vorteil und bildet eine Alternative zu den herkömmlichen Metallschichtwiderständen.

Wie bei piezoresistiven Drucksensoren bietet hier das SOI-Prinzip die Chance, Temperaturdioden auf dieser Basis zu entwickeln und mit einer Einpunktkalibrierung auszustatten. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist, dass solche Elemente besser und kostengünstig in einem Standard-Halbleiter-Prozess gefertigt werden können. Bei der Integration in eine Baugruppe fallen bei geschickter Prozessführung keine zusätzlichen Kosten an. Si-Temperaturdioden weisen zudem eine größere Empfindlichkeit als Metallwiderstände und bessere Kompatibilität auf. Das unterstreicht ihre Bedeutung für die Überwachung von Schaltkreisen und anderen Systemkomponenten beispielsweise in der Robotik. ●

## HotSens

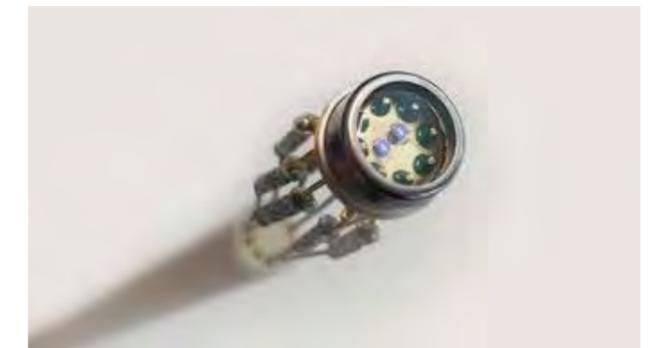
### Temperaturdioden für den Hochtemperaturbereich mit Ein-Punkt-Kalibrierung

Um die geforderten Eigenschaften zu erreichen, müssen die optimalen Dotierungsprofile und die in diesem Zusammenhang verwendeten Wafersubstrate optimiert werden. Bei einer intelligenten Wahl der Implantationsparameter und entsprechender Algorithmen kann man auch eine kalibrationsfreie Temperaturmessung realisieren. Im Projekt HotSens standen Temperatursensoren mit einem Temperaturbereich bis 300°C im Fokus.

Intensive Stresstests erfolgten mit Klimaschränken verschiedener Temperaturbereiche. Ein erster Test erfolgte in einem Temperaturbereich von -40°C bis +140°C. Der zweite Test fand in einem Hochtemperaturschrank mit einem Arbeitsbereich von 50°C bis 600°C statt. Hier wurden zyklische Messungen im Bereich von 50°C bis 260°C durchgeführt sowie Belastungsmessungen bei einer Temperatur über sehr lange Zeiträume.

Ergänzt wurden diese Messungen durch Arbeiten am Institut für Prozessmess- und Sensortechnik, Fachgebiet Prozessmesstechnik an der TU Ilmenau. Dort erfolgten die experimentellen Untersuchungen der Temperaturabhängigkeit der Strom-Spannungs-Kennlinie von Halbleiter-Temperatursensoren im Bereich von 5°C bis 250°C, im Wasser- bzw. Öl-Bad. Apparativ bedingt wurden die Messreihen in zwei sich überlappende Abschnitte unterteilt (-40°C bis 140°C sowie 50°C bis 260°C). Neben der Temperaturabhängigkeit wurden auch die Nichtlinearität sowie die Hysterese untersucht.

Eine Ein-Punkt-Kalibrierung ist aufgrund des geringeren messtechnischen Aufwandes bei der Anwendung gegenüber der kalibrierfreien Messung eine interessante Alternative. Mit der geforderten relativen hohen Genauigkeit ( $\pm 0,5K$ ) wurden die technologischen Anpassungen untermauert und erfolgreich bestätigt. Diese Zielgröße wird noch erheblich besser, wenn man die physikalisch bedingte parabelförmige Überhöhung der Kennlinie mit einbezieht. Diese Kennlinie ist bei einer gleichbleibenden stabilen Prozessierung aller Temperaturdioden einer Wafercharge immer identisch. Mit dieser Variante werden beispielsweise in einem Temperaturbereich von -40°C bis +125°C Abweichungen von maximal  $\pm 0,2K$  erreicht. Mit einer Modifikation dieser Variante (Erweiterung der Datenbasis für höhere Temperaturen) sind sogar maximale Abweichungen von  $\pm 0,02K$  realisierbar. Dies bedeutet für ein Produkt eine erhebliche Kostenreduktion aufgrund verringerter Kalibrierkosten sowie eine Steigerung der Kundenfreundlichkeit. ●



Demonstrator HotSens



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Hochtemperatursensorik“ (HotSens) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF160164

## ANITHA

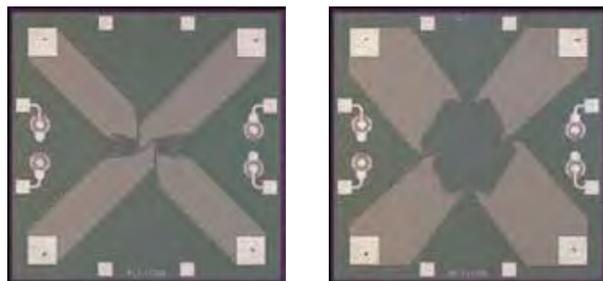
### Analoge integrierte Temperaturkompensation für Hochtemperatur-Anwendungen

Piezoresistive mikroelektromechanische Sensoren (MEMS) in Silizium sind hervorragend geeignet für die Messung verschiedener physikalischer Größen wie Druck, Kraft, Durchfluss, Beschleunigung sowie eine Vielzahl weiterer abgeleiteter Größen. Sie zeichnen sich unter anderem durch eine hohe Empfindlichkeit bei geringer Bauteilgröße, damit einhergehend ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis, hohe elektronische Stabilität sowie eine sehr lineare Kennlinie aus.

Auf Grund dieser herausragenden Eigenschaften sowie die vergleichsweise geringen Kosten der MEMS-basierten piezoresistiven Signalwandler ist eine Erweiterung des Anwendungs- und Einsatzbereiches derartiger Sensoren wünschenswert. Insbesondere für Messungen bei erhöhten Umgebungstemperaturen existiert eine Reihe von Anwendungsszenarien mit hohem Marktpotential. Ein prominentes Beispiel für eine Druckmessung mit erhöhter thermischer Belastung des Sensorelements ist

das kontinuierliche Monitoring der Druckpulsation bei Gasturbinen und der damit verbundenen thermomechanischen Belastung der Brennkammer. Auch bei der Entwicklung neuer Brennkammer-Geometrien ist die Erfassung aller Zustandsdaten unerlässlich.

Im laufenden Projekt werden Konzepte einer analogen, integrierten Temperaturkompensation für piezoresistive Sensoren im erweiterten Betriebstemperaturbereich von +40°C bis +300°C entwickelt. Aufbauend auf experimentellen und theoretischen Vorbetrachtungen wird ein hochtemperatur-kompatibler Differenzdrucksensor mit temperaturkompensiertem analogem Primärsignal als Demonstrator gefertigt. Dessen Ausgangssignal soll bei Nenndruck im gesamten Temperaturbereich um maximal ein Prozent vom Raumtemperatur-Referenzwert abweichen. Die Temperaturkompensation erfolgt dabei nicht mit Hilfe eines integrierten Schaltkreises, sondern ausschließlich durch Verschaltung der Messbrücke mit passiven Bauelementen, welche mit den hohen Einsatztemperaturen kompatibel sind. ●



Hochtemperatur-Drucksensor Prototypen im Layout mit ausschließlich Longitudinalwiderständen und rechteckiger Membran (links) sowie im Layout mit Longitudinal- und Transversalwiderständen und quadratischer Membran (rechts). Zur Temperaturkompensation sind jeweils 4 Dioden in SOI-Technologie integriert. Die Chipkantenlänge beträgt 2,6mm.



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Analoge, integrierte Temperaturkompensation für Hochtemperatur-Anwendungen“ (AnITHA) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF180042

## THEK

### Thermische Entkopplung für Hochtemperatur-sensorik

Der Erfolg MEMS-basierter Sensorlösungen beruht vielfach auf Membranplattformen. Diese sind essentiell für piezoresistive Druck- und Kraftsensoren, wärmebasierende Sensoren wie IR-Detektoren, Strahlungsbolometer oder Durchflusssensoren, um einige zu benennen. Dünne Membranen bestehen aus einer oder mehrerer Schichten. Sie werden wegen ihrer einstellbaren elektrischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften sehr gern verwendet.

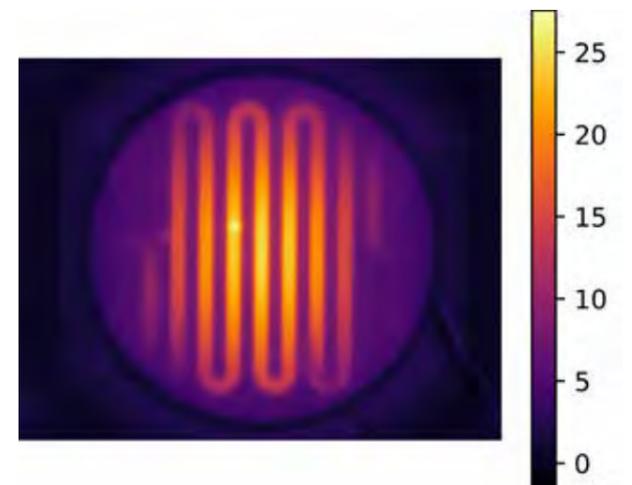
Bei einer Reihe dieser Sensorlösungen ist es notwendig, das Sensorelement selbst oder Teile davon von anderen Strukturen wie beispielsweise Silizium-Bulk-Material, Träger-, Konstruktions- oder Häusungsmaterialien thermisch zu entkoppeln und die mechanische Stabilität zu gewährleisten.

Der Markt für diese membranbasierten Sensoren ist stark segmentiert und spannt einen Bogen von der Automobil-Industrie, Klimatisierung, Landwirtschaft, Medizintechnik, Metrologie bis zur Prozessmesstechnik. Sie müssen aber auch den Anforderungen rauer Umgebungen und hoher Temperaturen wie sie bei der Verbrennungsoptimierung und bei der Emissionskontrolle in Fahrzeugen und Kesseln vorliegen, entsprechen.

Ihre Performance ist abhängig von vielen Faktoren. Die Eigenschaften der Membran selbst beispielsweise Geometrie, Design, thermische Leitfähigkeit und thermomechanische Spannung können entsprechend dem Anwendungsprofil optimiert werden und damit die

Performance weiter steigern. Bei Temperaturen oberhalb von 250°C erzeugen thermische Belastungen hohe Spannungen in den empfindlichen Strukturen des Chips wie den Membranen und führen zum Leistungsverlust oder Bruch.

Mit einer skalierbaren Technologieplattform sollen hochtemperaturgeeignete Membranen auf Basis sensortypischer Prozessabläufe gefertigt werden. Dazu werden kostengünstige CMOS- / MEMS-kompatible Materialien eingesetzt. Substratmaterial sind Bulk-Silizium und SOI-Material. Geeignete Prüfverfahren kennzeichnen die Qualität des Herstellungsprozesses und analysieren die Sensorperformance. ●



Infrarot-Thermographieaufnahme eines PolySi-Mikroheizers auf einer Membran (Falschfarbdarstellung): Die Färbung entspricht der Temperaturerhöhung bei Raumtemperatur und einer Leistungsaufnahme von 15 mW. Die maximale Temperaturdifferenz beträgt ca. 29 °C



**GEFÖRDERT**

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Thermische Entkopplung für Hochtemperatursensorik“ (THEK) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
Förderkennzeichen: 49MF190090

# WASSERSTOFF



## Innovative Prozess- und Sicherheitssensorik für den grünen Wasserstoff

Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) der Bundesregierung bildet einen Baustein für eine erfolgreiche Klimawende, gelebten Umweltschutz und sichere Energieversorgung. Wasserstoff wird zukünftig auch als Medium für die Energiespeicherung betrachtet und damit den verschiedensten Anwendungen in Industrie und Mobilität zur Verfügung stehen. Die effiziente Gewinnung des kostbaren Rohstoffes in Verbindung unter Nutzung von Biogas, Sonne und Wind rücken immer mehr in den Fokus von Forschung und Entwicklung.

Bisher wird Wasserstoff in großer Menge klassisch aus reformiertem Erdgas erzeugt. Ebenfalls in großem Maßstab werden verschiedene Verfahren der Wasserelektrolyse zur Wasserstoffherzeugung angewandt. Dabei ist die alkalische Wasserelektrolyse besonders ausgereift. Als Elektrolyt dient 25-prozentige Kalilauge, darin eingetauchte Elektroden produzieren den gewünschten Wasserstoff.

Im Zusammenhang mit der Einspeisung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff in das Erdgasnetz werden angepasste Sensoren zur Überprüfung des Wasserstoffanteils notwendig. Im Gespräch sind H<sub>2</sub>-Konzen-

trationen von bis zu 20% im Erdgasnetz. Für eine Reihe von Industriezweigen hat sich Erdgas in den letzten Jahrzehnten als sicherer, effizienter und umweltfreundlicher Energieträger etabliert. Die chemische Zusammensetzung des Erdgases wird in Zukunft größeren räumlichen und vor allem zeitlichen Schwankungen unterworfen sein als bisher. Für verschiedene Produktionsprozesse sind jedoch in hohem Maße konstante und kontrollierbare Betriebsbedingungen erforderlich, um optimale Produktqualität und energetische Effizienz bei gleichzeitig niedrigen Schadstoffemissionen zu gewährleisten.

Unter Berücksichtigung der Klimaaspekte wird die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarer Energie und CO<sub>2</sub>-armen Strom betrachtet. Dieser sogenannte „grüne Wasserstoff“ wird beispielsweise in der größten Wasserstoffanlage der Welt in Fukushima mittels Photovoltaik erzeugt. Die von der Firma Toshiba betriebene Anlage produziert 1.200 m<sup>3</sup> Wasserstoff in der Stunde. Einen weiteren Weg der Wasserstoffherzeugung eröffnen Biogasanlagen, die durch Fermentation, Biowasserstoff erzeugen können. Alle diese Überwachungspflichtigen Prozesse benötigen eine umfangreiche Sicherheitstechnik und damit langzeitstabile, präzise Sensorik. ●

## Konsortiums HYPOS

Als Spezialist für die Entwicklung anwendungsspezifischer siliziumbasierter Sensoren engagiert sich das CiS Forschungsinstitut in den Projekten Hypros-D, ElyKon sowie H2MEMS des Konsortiums HYPOS, der Förderinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Dieses Netzwerk untersucht und entwickelt Lösungen für die Nutzung von Wasserstoff, entlang der gesamten Wert-

schöpfungskette von der Herstellung, über die Speicherung und Verteilung bis zur breiten Anwendung von „Grünem Wasserstoff“ in den Bereichen der chemischen Industrie, Raffinerie, Mobilität und Energieversorgung. Die Projekte dienen der Überwachung von Elektrolyseuren und Speichersystemen. Sie beinhalten außerdem die Entwicklung und Demonstration von Komponenten für eine innovative Prozess- und Sicherheitssensorik. ●



## HyProS-D

### Untersuchung von langzeitstabilen Fügeverbindungen zum Aufbau von Drucksensoren zur Prozessüberwachung in Elektrolyseuren und Systemspeichern

Im Projekt HyProS-D werden langzeitstabile Fügeverbindungen für Drucksensoren in Elektrolyseuren und Systemspeichern erforscht. Als wasserstoffbeständige Sensoren sind sie Bestandteil eines Multisensors. Der Sensor erfasst neben dem Druck auch die Temperatur und Konzentration von Wasserstoff und Restgasen. Gemeinsam mit dem Industriepartner UST Umweltsensortechnik GmbH wurde ein solches Sensorsystem anwendungsbereit entwickelt und getestet. Hierbei lag die besondere Herausforderung darin, einen langzeitstabilen Silizium-Sensor herzustellen, da zahlreiche Metalle unter Einwirkung von Wasserstoff zur Versprödung neigen. Wasserstoffatome, die in das Metallgitter hinein diffundieren, verändern die Festigkeit des Materials. Im schlimmsten Fall führt dies zu Rissen im Material, der Drucksensor wird undicht oder sogar ganz zerstört. ●



H2-Semicon®-Sensor-System

Bildrechte: UST Umweltsensortechnik GmbH, Fotograf: nichtnur.de



**GEFÖRDERT**

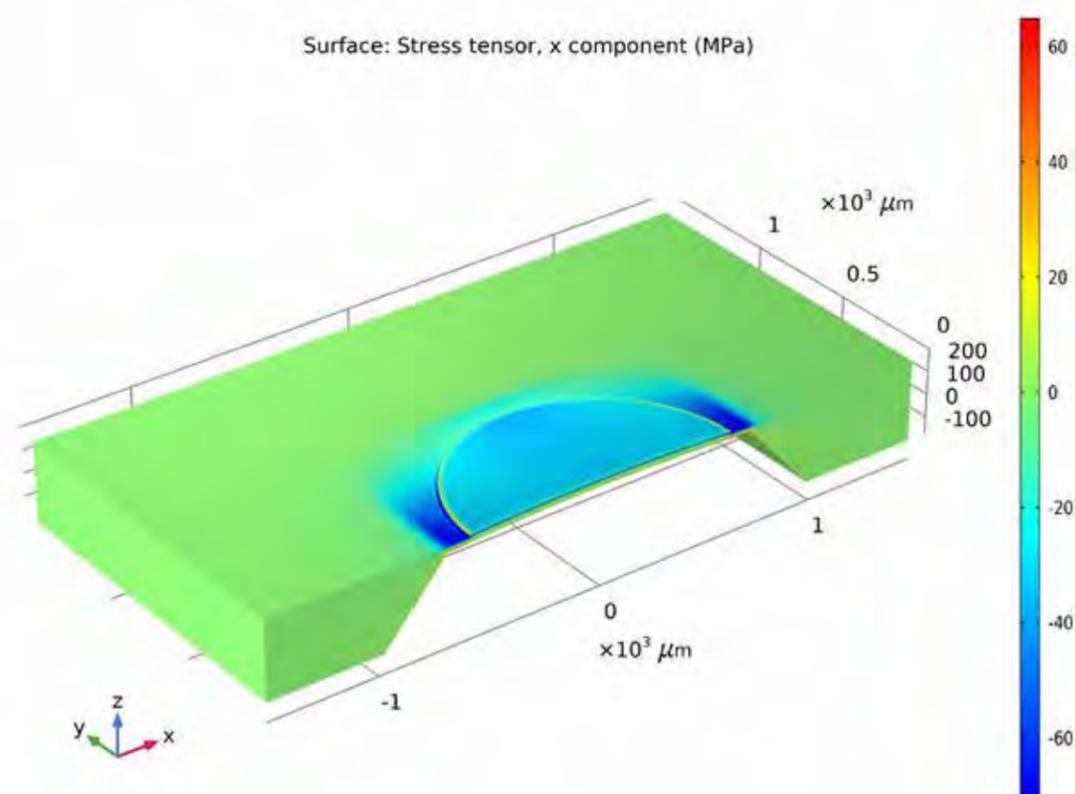
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0724D gefördert.

## H2MEMS

### Neuartiger Wasserstoffsensoren mit höchster Sensitivität und Selektivität auf der Basis von Mikroelektro-mechanischen Sensorstrukturen

Ein neuartiger hochsensitiver palladiumbasierter Wasserstoffsensoren wird im Projekt H2MEMS entwickelt. Palladium besitzt die höchste Absorptionsfähigkeit aller Elemente für Wasserstoff. Bei Raumtemperatur kann es das 900-fache des eigenen Volumens binden. Dies führt zu einer Volumenvergrößerung, welche für

ein sensorisches Grundelement genutzt werden soll. Wird eine Palladiumschicht in einem passiven Material verbunden, entstehen durch die Volumenvergrößerungen erhebliche mechanische Spannungen. Die Größe der mechanischen Spannungen ist ein Maß für den Wasserstoffanteil im Palladium. Der Widerstand wird messtechnisch ausgewertet und verhält sich proportional dem Wasserstoffanteil im Messgas. ●



Simulation des Funktionsprinzips



**GEFÖRDERT**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0757B gefördert.

## ElyKon

### Elektrolyse-Systemkomponenten für hochdynamischen/intermittierenden Betrieb, Teilprojekt 2: Feuchtigkeit als Regelgröße

Das Projekt ElyKon untersucht Feuchtesensoren als Bestandteil der Steuerung des Elektrolyseurs zur Vermeidung von Betriebszuständen, die einen starken Verschleiß, Korrosion oder die Zerstörung des Elektrolyseurs selbst oder seiner Peripherie (z.B. Gaskompressor) verursachen. Mit Feuchtesensoren kann eine Erhöhung des Wirkungsgrades des Elektrolyseurs erreicht werden, indem die Menge des flüssigen Wassers in den Gasströmen auf die kleinste notwendige Menge geregelt wird. Hierzu ist eine Bestimmung der Anwesenheit von flüssigem Wasser innerhalb der Gasströme erforderlich. Die Hauptaufgabe besteht darin, ungüns-

tige Betriebszustände zu erkennen und als Ergebnis in die Steuerung des Elektrolyseurs einfließen zu lassen. Zudem sind diese Sensoren so zu entwickeln und zu platzieren, dass sie den Betrieb der Zelle nicht stören sowie in die Steuerung eingebunden werden. ●



**GEFÖRDERT**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0724D gefördert.

## MOST

### Modellbasierte Prozesssteuerung von Biogasanlagen, Teilprojekt 2: Sensorik

Eine neue Vision ist es, unter Verwendung von Mikroorganismen oder Fermentationsprozessen sowie durch eine gezielte Anpassung der Anlagensteuerung Biowasserstoff produzieren zu können. Ausgangssubstanzen und deren Temperatur und pH-Wert sowie die Zufuhr von Mikronährstoffen beeinflussen die Effizienz der Prozesse im Reaktor ebenso wie die Zusammensetzung des Biogases.

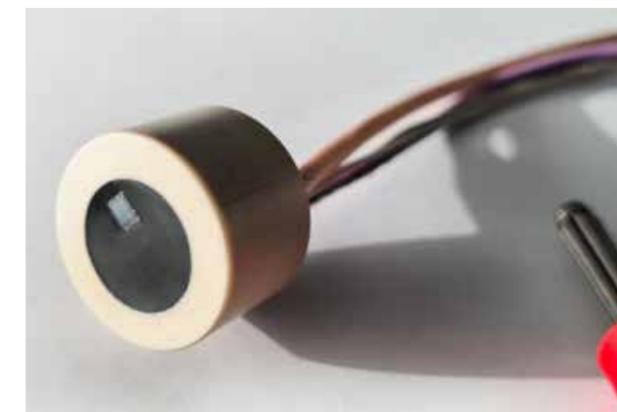
Im Rahmen des BMBF-Projektes MOST entwickelte das CiS Forschungsinstitut optoelektronische und impedimetrische Sensoren, die in ein kompaktes Multisensor-Messgerät mit Konditioniervorrichtung für die zu messenden Analyten integriert wurden. Das Projekt wurde durch die Hochschule Hamm-Lippstadt (HSHL) als Partner und die BlueSens gas sensor GmbH als Industriepartner begleitet. ●



**GEFÖRDERT**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16ES0772 gefördert.

BioProFi – Bioenergie - Prozessorientierte Forschung und Innovation" (Förderinitiative BioProFi) Förderkonzept „Grundlagenforschung 2020+“ und „6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung“



MOST Demonstrator

# OPTISCHE SENSOREN FÜR VITALPARAMETER



Transparente Otoplastik mit durchsichtigen Sensor

Die kontinuierliche Überwachung von Vitalparametern ist nicht nur für Risikopatienten und deren behandelnde Mediziner erforderlich – sondern erfreut sich einem rasant zunehmenden Interesse der breiten Bevölkerung. Wertvoll sind in diesem Fall die Alltagstauglichkeit sowie ein hoher Tragekomfort für den Anwender. Dieser Trend nahm in der Vergangenheit durch die ersten Smart-Watches und weitere sogenannte „wearables“ deutlich an Fahrt auf und wird sich mit dem von Analysten erwarteten „hearables“ – also im Ohr tragbaren Sensoren – weiter rasant verbreiten.

Das CiS Forschungsinstitut hat bereits lange vor diesem Trend mit der Entwicklung von optischen Sensoren für die Erfassung und Überwachung wichtiger Vitalparameter begonnen. Mit dem Im-Ohr-Sensor können auf Basis der Photoplethysmographie (PPG) die Herzrate,

Herzratenvariabilität und Blutsauerstoffsättigung erfasst werden, was durch Vorstudien im klinischen Umfeld mehrfach demonstriert wurde. Als Meilenstein in der Entwicklung des Sensors ist das Verfahren zur kontinuierlichen Erfassung von Blutdruckänderungen zu bewerten, dessen Patent in 2020 weiter internationalisiert werden konnte.

Derzeitig ist eine lückenlose Blutdrucküberwachung nur invasiv oder nicht-invasiv mittels teurer Forschungsgeräte möglich. Die meisten am Markt befindlichen „wearables“, die den Blutdruck bestimmen können, erfordern zur Blutdruckerfassung eine kurze Ruhepause, währenddessen der Patient sitzt. Zudem benötigt die zumeist genutzte Methode zusätzlich ein EKG, eine Veränderung der Körperposition führt zu hohen Messungenauigkeiten. Alternativ werden

KI-basierte Algorithmen eingesetzt, die zurzeit für die Nutzung in Medizinprodukten noch ein Hindernis darstellen und deren Genauigkeit stark davon abhängt, wie gut die jeweilige Patientengruppe in den Datensätzen der Anlernphase repräsentiert war. Das am CiS Forschungsinstitut entwickelte Verfahren benötigt nur einen einzigen Sensor im Ohr, beruht auf physiologischen Modellen sowie klassischen Methoden der Signalauswertung und liefert einen Blutdruckmesswert für jeden einzelnen Herzschlag.

Über ein Sonderforschungsvorhaben durch die Bundeswehr wurde der Im-Ohr-Sensor in das Monitoringssystem der Höhenklima-Simulations-Anlage (HKS) des Flugphysiologischen Trainingszentrums am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Königsbrück [1], integriert. Industrie-Partner im Sonderforschungsvorhaben sind die KORA Industrie-Elektronik GmbH [2] sowie die SpaceBit GmbH [3]. Ziel des Vor-

habens ist eine Erhöhung des Arbeitsschutzes für die Testleiter, die während der Höhengenerationen kein klassisches Pulsoximeter am Finger tragen können. Derzeit laufen Tests vor Ort, bei denen zunächst die Blutsauerstoffsättigung und die Herzfrequenz im Vordergrund stehen. Perspektivisch stellt die Erfassung des Blutdrucks im Ohr eine wertvolle Erweiterung des Systems dar, welches auch als Vortest für einen potentiellen Einsatz im Cockpit von Flugzeugen zu sehen ist. Diese neue Innovation wurde national und international auf Kongressen präsentiert. Der weitere Nutzen des Im-Ohr-Sensors ist aktuell in der Prüfung: eine Kombination aus Kommunikationsgeräten mit der Erhebung von physiologischen Parametern. Der Einsatz bei zivilen Segelfliegern, die ebenfalls in große Höhen aufsteigen, ist ein weiterer denkbarer Anwendungsfall, um auch hier die Flugsicherheit durch Messung der Sauerstoffsättigung zu erhöhen. ●

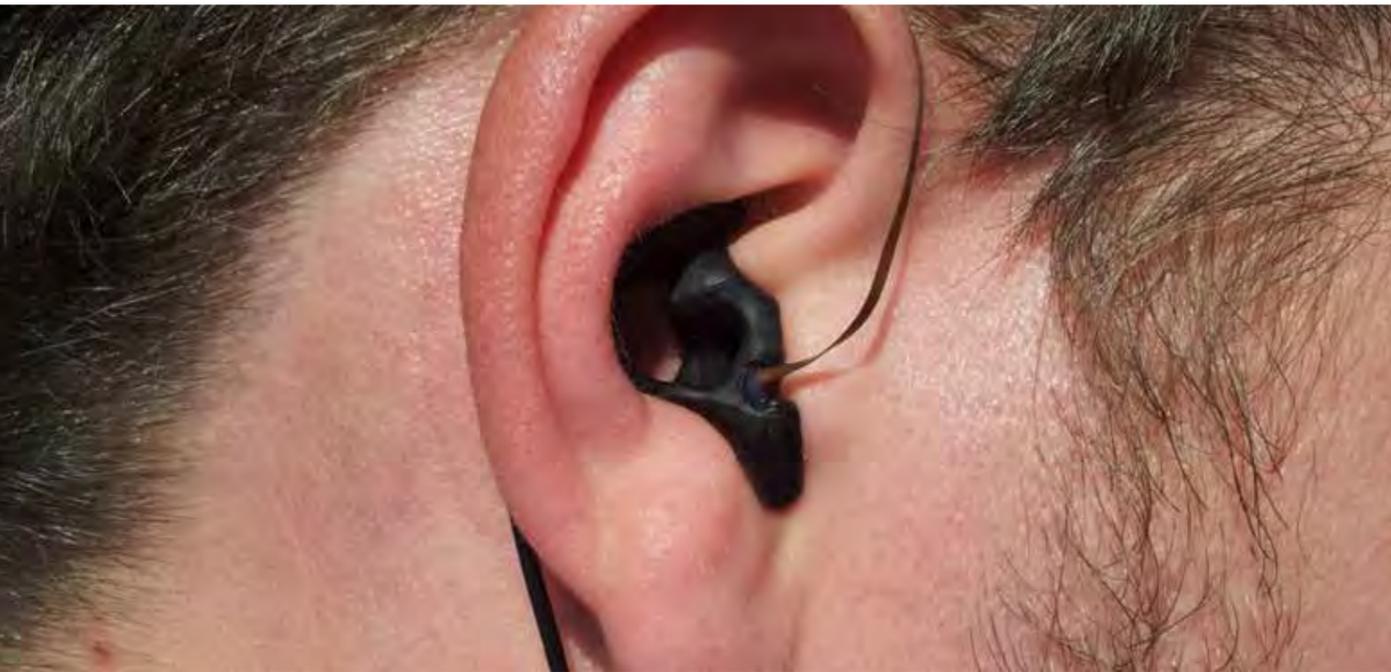
## VITALMONITORING WEBINAR ERFOLGREICH



Unser Online-Seminar zum Thema „Im-Ohr-Sensor für das Vitalmonitoring“ war ein voller Erfolg. Unser Geschäftsfeldleiter MOEMS sowie ein Projektleiter im Fachbereich MOEMS präsentierten einen optischen Sensor, der - in einer Otoplastik integriert - Blutdruckänderungen jedes einzelnen Herzschlags bewerten kann. Das patentierte Verfahren basiert allein auf den Daten des optischen Im-Ohr-Sensors und bietet so eine alltagstaugliche Möglichkeit zur Überwachung wichtiger Vitalparameter.

Nach einem technischen Überblick zum Messprinzip des Ohr-Sensors, konnten sich die Teilnehmer bei einer Live-Demonstration von der Funktionalität des Sensorsystems überzeugen. Auch Fragen zu den Vorteilen der Im-Ohr-Messung im Vergleich zur Fingerclip-Messung oder welche spezifischen Applikationen in unterschiedlichsten Bereichen perspektivisch vorstellbar sind, wurden in der abschließenden Diskussionsrunde erörtert. ●

## Vom Licht zum Blutdruck



Proband mit eingesetztem Im-Ohr-Sensor. Der Messkopf ist in einer individuellen Otoplastik integriert, die ihn an der Innenseite des Tragus positioniert.

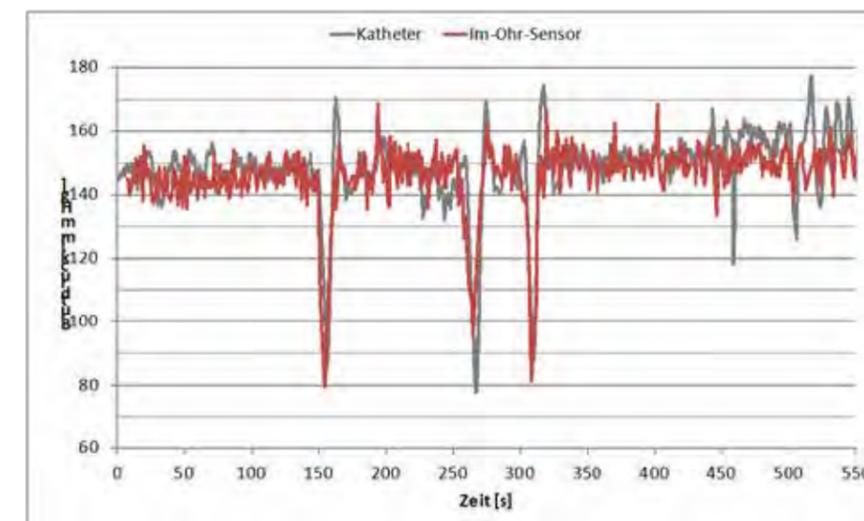
### Beschreibung des Patentverfahrens

Die Photoplethysmographie ist ein seit langem etabliertes Verfahren zur Bestimmung von Puls und Blutsauerstoffsättigung. Hierfür wird Licht unterschiedlicher Farbe in die Haut oder anderes Gewebe eingestrahlt und die Intensität des transmittierten oder zurückgestreuten Lichts zeitlich erfasst. Der zeitliche Verlauf dieser Signale wird als Photoplethysmogramm bezeichnet. Es enthält Informationen über den aktuellen Füllstand der lokalen Blutgefäße, der von zahlreichen physiologischen Einflussgrößen beeinflusst wird. Durch maßgeblich von Dr. Hans-Georg Ortlepp über Jahre vorangebrachten Forschungsarbeiten gelang es, die Sensortechnologie und Signalerfassung so weit zu verbessern, das auch sehr feine Konturen in den PPG-Kurven erkannt und ausgewertet werden können. Ein patentiertes Verfahren erlaubt es, daraus die Pulsdruckwelle zu rekonstruieren und darüber den zeitlichen Verlauf des zentralen Blutdrucks zu bestimmen – und das für jeden einzelnen Herzschlag. Zusätzlich können aus der Kenntnis der Pulsdruckwelle weitere Parameter, u.a. die Pulswellen-

geschwindigkeit, ermittelt werden. Dieser Wert wird in den kommenden Jahren sehr wahrscheinlich einen hohen Stellenwert in der Diagnostik kardiovaskulärer Erkrankungen einnehmen.

Als Messort im Ohr dient die Innenseite des Tragus, ein Teil der Ohrmuschel, der sich am Eingang des äußeren Gehörgangs befindet. Dies bietet einen hohen Tragekomfort, da die Extremitäten frei von Messtechnik bleiben und stellt auch einen sicher durchbluteten Bereich mit geringen Umgebungslichteinflüssen dar. Zudem ist die Anfälligkeit für Bewegungsartefakte geringer als an anderen üblicheren Messpunkten für die PPG, beispielsweise Fingerspitze oder Handgelenk bei Fitnessarmbändern. Der am CiS Forschungsinstitut entwickelte, besonders kompakte PPG-Chip wird zur Befestigung am Tragus in eine Otoplastik eingebracht. Neben der Verwendung von individualisierten Otoplastiken, konnten auch gute Ergebnisse mit universellen Ohrstöpseln aus dem Wassersport gemacht werden.

Das am Ohr gemessene PPG-Signal repräsentiert den lokalen und momentanen Füllstand der Blutgefäße und unterscheidet sich in der Signalform deutlich von der Pulsdruckwelle. Der wesentliche Grund hierfür ist der Übergang der Druckwellen aus der Aorta, über die peripheren Arterien, in die feineren Blutgefäße. Dennoch lässt sich die ursprüngliche Kurvenform der zentralen Pulsdruckwelle durch die am CiS Forschungsinstitut entwickelten Algorithmen rekonstruieren. Hierfür ist eine hohe Signalqualität erforderlich, die durch die Optimierung der optischen Komponenten und der elektronischen Datenerfassung des Ohrsensorsystems erzielt wurde. Nach erfolgreicher Rekonstruktion der zentralen Pulsdruckwelle, können die erhaltenen Pulsdruckkurven in ihre Komponenten zerlegt werden. Aus den Laufzeitunterschieden der so getrennten Komponenten durch die Aorta kann nun die relative Blutdruckänderung bestimmt und verfolgt werden. Um absolute Werte zu erhalten, ist eine Blutdruckmessung über eine etablierte Referenzmethode als Ein-Punkt-Kalibrierung vonnöten.



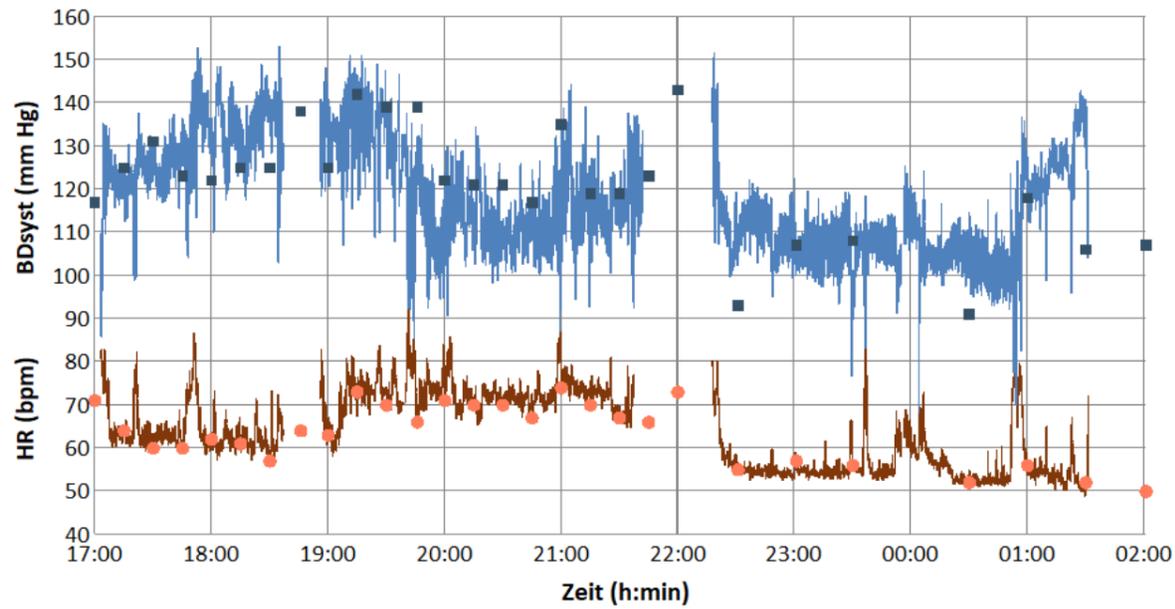
Kontinuierliche Blutdrucküberwachung mit dem Im-Ohr-Sensor während einer Herzkatheteruntersuchung, die am HDZ NRW durchgeführt wurde. Die Daten stammen von einem 72-jährigen, männlichen Patienten. Im Vergleich ist der aus den PPG-Daten rekonstruierte (rot) und mittels Katheter direkt gemessene (grau) Blutdruckverlauf dargestellt. Die abrupten Blutdruckabfälle wurden gezielt durch Valsalva-Manöver provoziert.

In der Abbildung oben ist beispielhaft der Blutdruckverlauf zu sehen, welcher mittels Im-Ohr-Sensor während einer Herzkatheteruntersuchung an einem 72-jährigen, männlichen Patienten am HDZ NRW erfasst wurde (rote Kurve). Parallel wurde ein Herzkatheter als Goldstandard für die kontinuierliche Blutdruckmessung mitbetrieben (graue Kurve). Ein Datenpunkt dieser Referenzdaten diente auch zur Bestimmung der absoluten Blutdruckwerte mit Hilfe des Im-Ohr-Sensors. Besonders auffällig sind die drei abrupten Einbrüche des Blutdrucks in den Datensätzen. Diese stammen von sogenannten Valsalva-Manövern, bei denen gegen den verschlossenen Mund kräftig ausgeatmet werden soll. Die sehr gute Übereinstimmung beider Kurven, vor allem im Bereich dieser extremen Ereignisse, verdeutlicht das hohe Potential des Im-Ohr-Sensors für das nichtinvasive Blutdruck-Monitoring.

**Langzeiteignung der Blutdruckverfolgung**

Als Test für die Langzeiteignung der Blutdruckverfolgung mittels Im-Ohr-Sensor wurde der CiS-Datenlogger parallel zu einem kommerziellen manschettensbasierten ambulanten Blutdrucküberwachungsgerät betrieben [5]. Das Blutdrucküberwachungsgerät zeichnete tagsüber alle 15 Minuten und nachts halbstündlich Puls und Blutdruck auf. Der CiS-Datenlogger zeichnete ununterbrochen drei PPGs mit 100 Samples pro Sekunde auf, die anschließend offline ausgewertet wurden.

Vergleich ABPM (Punkte) zu Ohrsensor (Linien)



Puls- (rot) und Blutdruckdaten (blau) einer Langzeitmessung mit dem Im-Ohr-Sensor über einen Zeitraum von ca. 8,5 Stunden. Die Messung wurde an einem 70-jährigen, männlichen Probanden durchgeführt. Die Punkte zeigen die Ergebnisse der Referenzmessung, die mit Hilfe eines kommerziellen manschettensbasierten 24h-Blutdruckmonitors aufgezeichnet wurden.

In der Abbildung oben sind die Ergebnisse für Puls und systolischen Blutdruck grafisch dargestellt. Da keine Hochleistungs-Batteriezellen verwendet wurden, konnte nur für maximal drei Stunden am Stück mit dem Im-Ohr-Sensor aufgezeichnet werden. Hieraus ergeben sich die beiden Lücken in der Ohrsensorkurve. Beide Kurven, Puls und Blutdruck, zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den Daten des kommerziellen

Referenzsystems. Der erhöhte Blutdruck in aktiveren Phasen als auch der Blutdruckabfall während des Schlafes ist in den Daten deutlich ersichtlich. Zudem werden, im Gegensatz zum Referenzsystem, auch kurzzeitige Ereignisse, wie der Puls- und Blutdruckanstieg um ca. 17:50 Uhr, sicher erfasst. An der Unterdrückung artefaktbedingter Ausreißer, die nur wenige aufeinanderfolgende Datenpunkte betreffen, wird derzeit noch intensiv gearbeitet

Das unter DE102015108518 erstmals veröffentlichte Verfahren ist inzwischen in zahlreichen Ländern weltweit zum Patent angemeldet – zuletzt 2020 auch in der EU. Um Anwendern den Zugang zu dieser neuen Art der Blutdruckmessung zu ermöglichen, arbeitet das CiS Forschungsinstitut gemeinsam mit Partnern aus der Medizintechnik und Forschung an ersten Medizinprodukten. Dabei ist die besondere Hürde zu meistern, dass hier nicht nur ein neues Produkt, sondern auch eine neue Methode zur Blutdruckbestimmung etabliert werden soll. Profitieren davon werden auch nichtmedizinische Anwendungen. Hierfür ist das CiS Forschungsinstitut in eine Kooperation mit einem international agierenden Sensorhersteller eingetreten. ●



**Danksagung:**

- [1] Herrn Oberfeldarzt Dr. med. Werner sowie allen weiteren Beteiligten des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe – FG I 1, Flugphysiologische Diagnostik und Forschung, Königsbrück, gilt unser Dank für die hervorragende Zusammenarbeit.
- [2] Firma KORA Industrie-Elektronik GmbH, Dipl.-Ing. Claus Wittmann, Hambühren
- [3] Firma SpaceBit GmbH, Dipl.-Phys. Frank Fischer, Eberswalde
- [4] Herrn Dr. Siegfried Eckert, Oberarzt der Klinik für Allgemeine und Interventionelle Kardiologie/Angiologie, HDZ NRW, Bad Oeynhausen gilt unser Dank für die hervorragende Zusammenarbeit, insbesondere in Hinblick auf die klinischen Messungen, und viele zielführende Diskussionen.
- [5] Herrn Dr. Jörg Lamster, Hausarzt in Neudietendorf, gilt unser Dank für die medizinisch-technische Unterstützung sowie für viele anregende Diskussionen.

## MikroBO



Herzkatheter-Labor des Herz- und Diabeteszentrums (HDZ)

Das von uns entwickelte Verfahren zur Überwachung von Blutdruckänderungen wird auch im Verbundvorhaben MikroBO zum Einsatz gebracht. Im Fokus steht hier die Erweiterung der Funktionalität von Hörgeräten um die Erfassung von Vitalparametern, insbesondere dem Blutdruck. Hierzu wurde im vergangenen Jahr eine spezielle, aufblasbare Otoplastik aufgebaut, die neben der Hörgerätechnik auch einen Druck- sowie den PPG-Sensor beinhaltet. In Analogie zur Manschettenmessung soll die Otoplastik mit einer Mikropumpe aufgeblasen

werden. Aus den Drucksensordaten kann anschließend auf den absoluten Blutdruck zurückgeschlossen werden.

Der weitere Verlauf wird optisch mittels der PPG (Photoplethysmographie) erfasst. Anhand von Patientendaten, die im Rahmen dieses Projektes im Herzkatheter-Labor des Herz- und Diabeteszentrums (HDZ) NRW in Bad Oeynhausen [4] erhoben wurden, konnten zudem wertvolle Rückschlüsse für die Auswertung extremer Blutdruckereignisse gewonnen und eine verbesserte Genauigkeit unserer Algorithmen erreicht werden. ●

## Vitalmonitoring

In zukünftigen Forschungsprojekten werden die Sensoren und Algorithmen nun für Medizinprodukte qualifiziert. Vor diesem Hintergrund startete im letzten Jahr auf Initiative des CiS Forschungsinstituts auch das ZIM-Innovationsnetzwerk Vitalmonitoring, koordiniert von der EurA AG. Eine Kooperation mit einem international agierenden Sensorhersteller wird diese Methode zudem bald in Alltagsprodukten für Endanwender verfügbar machen. ●



**GEFÖRDERT**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16ES0772 gefördert.

## DIE CiS WORKSHOPS 2020

Im Herbst 2020 fanden die alljährlichen Workshops zu aktuellen Forschungstrends und deren Umsetzung in kundenspezifischen F&E Projekten statt. Sie behandelten Themen wie Drucksensorik, NDIR-Sensorik und erstmals angewandte Quantentechnologien. Die ganztägigen Workshops richteten sich an Interessenten aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft und dienen dem Austausch mit Experten aus Industrie und Forschung. Veranstalter ist der CiS e.V. ●



## CiS WORKSHOP TRILOGIE GESTARTET: CiS Workshop on Quantum Technologies

Mit dem Workshop on Quantum Technologies begann der spannende Workshop-Herbst am CiS Forschungsinstitut. Die zweitägige Hybridveranstaltung bot in vier Sessions aktuelle Forschungsergebnisse aus den Bereichen Quantensensorik, Quantenkommunikation und Computing sowie Enabling Technologies.



Namhafte Referenten aus Forschung und Industrie präsentierten auf dem 1st International Workshop on Quantum Technologies in Erfurt ihre Arbeiten und Firmenaktivitäten. Besonders im Fokus stand hierbei das Quantenmaterial Diamant, welches im Keynotevortrag von Prof. Jan Meijer (Universität Leipzig) für Sensorapplikationen hervorgehoben wurde. Das CiS Forschungsinstitut präsentierte sich als Entwickler opto-elektronischer Sensorelemente und Sensorsysteme für Quantentechnologien für industrielle Anwendungen mit Beiträgen und Demonstratoren. Aufgrund der inhaltlichen Anbindung profitiert hier auch das BMBF-geförderte Verbundprojekt DiaQuantFab ([www.diaquantfab.de](http://www.diaquantfab.de)) und bildet einen weiteren Meilenstein im Netzwerk Smart-Diamonds, eines geförderten Innovationsforums des BMBF. In der Hybridveranstaltung (Präsenz- und Online-Teilnehmer und -Vortragende) gelang es allen Teilnehmenden einen intensiven Diskurs zu pflegen. ●

## MEMS-WORKSHOP: WAFERBONDVERFAHREN FÜR DRUCKSENSOREN

Virtuell verbunden diskutierten die Teilnehmer des Workshops Drucksensorik über die Entwicklung von Sensorelementen, deren Montage, Prüfmethode und Anwendungsmöglichkeiten. In den Fachbeiträgen wurden Aspekte von Simulation und Design über die Prozessentwicklung bis zur Charakterisierung und Analyse kompletter Baugruppen betrachtet. Im Fokus des diesjährigen Workshops standen unter anderem Waferbondverfahren, die Prof. Roy Knechtel in seinem Einführungsvortrag umfassend vorstellte. Durch Miniaturisierung und wachsende Komplexität der Endbauteile werden zunehmend multivariante Datenanalysen und Simulationsverfahren notwendig, um kostengünstig die gewünschten anwendungsspezifischen Eigenschaften zu erzeugen. Eindrucksvoll zeigten Industrie-

vertreter Applikationen für Automotive, Medizintechnik und Energieversorgung. Der intensive Diskurs, die offene Kommunikation auch ohne Präsenzteilnahme ermöglichten neue Ansätze und Ideen für Forschungsprojekte und Industriekooperationen. ●



## MOEMS-WORKSHOP ZUR NDIR-SENSORIK ERFOLGREICH IN 2. AUFLAGE

Mit dem bereits in zweiter Auflage stattfindenden Workshop zu „Komponenten der NDIR-Sensorik“ fand der Workshop-Herbst eine spannende Fortsetzung. Als hybride Präsenz- und Online-Veranstaltung konzipiert, diskutierten mehr als 40 Experten aus Forschung und Industrie über spezifische Infrarot-Sensorentwicklungen zur Analytik flüssiger und gasförmiger Stoffe in unterschiedlichen Anwendungen. Ausgehend vom Design solcher Sensoren, über die Untersuchung verschiedener Defektmechanismen wurden Einsatzmöglichkeiten in der Medizintechnik, Lebensmittelindustrie, in der Überwachung sicherheitstechnischer Anlagen und Energietechnik vorgestellt. Dabei sind Eigenschaften wie hohe Selektivität, Geschwindigkeit und das Aufspüren geringster Konzentrationen von großer Bedeutung. Einig waren sich die Experten, dass durch fortschreitende Miniaturisierung und der dadurch möglichen Erhöhung der verwendeten Sensoren-Anzahl, noch viele neue Anwendungsmöglichkeiten mit hochauflösender Detektion erschlossen werden können. ●



## SPIE PHOTONICS WEST 2020 IN SAN FRANCISCO



Mit der wiederholten Teilnahme an der SPIE Photonics West 2020 in San Francisco, die als weltweit größte jährliche Veranstaltung für die Photonik, Laser und biomedizinische Optik gilt, demonstrierten wir auch international unsere Kompetenzen im Design sowie in der Herstellung und Montage kundenspezifischer optischer Mikrosensoren.

Als Aussteller im Deutschen Pavillon im Rahmen der Photonics West Exhibition sowie mit mehreren Beiträgen während der OPTO Conferences lagen die Schwerpunkte auf aktuellen Forschungsergebnissen sowie

neuesten Technologien wie miniaturisierte fasergekoppelte MOEMS-Systeme und supraleitenden Einzelphoton-Detektoren. Diese können auch Anwendungen in der erfolgreichen Kommerzialisierung der Quantenkryptographie und des Quantencomputings finden.

Wissenschaftliche Beiträge:

- Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration (Paper 11293-18)
- Molybdenum silicide in infrared emitting devices (Paper 11293-33)
- Chip level fiber coupling (Paper 11286-38) ●

## W3 FAIR+CONVENTION 2020 IN DER RITTAL ARENA WETZLAR

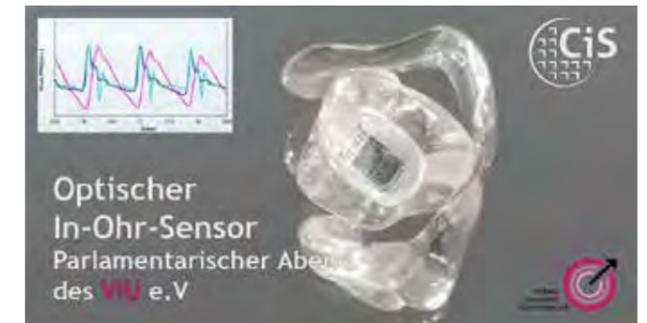
Ende Februar fand die W3 Fair+Convention 2020 in der Rittal Arena Wetzlar statt. Auf der vom IVAM Fachverbands für Mikrotechnik gestalteten Sonderausstellungsfläche „Microtechnologies for Optical Devices“ zeigten wir neuste Entwicklungen für die Bereiche Optik und Photonik. Highlights waren unter anderem kundenspezifische Silizium-Fotodioden und Arrays mit nahezu freier Form und Größe, um kompakte Strahler-Empfänger-Baugruppen zu realisieren. Außerdem zeigten wir innovative Packagings auf Siliziumbasis für eine verbesserte Leistung von empfindlichen UV-LEDs. Miniaturisierte IR-Strahler für die Gassensorik übertreffen mit Zeitkonstanten von nur 3 ms den bisherigen Stand

der Technik um eine Größenordnung. Im Rahmen der erstmalig stattfindenden NTec-Talks sprachen wir über „Entwicklungstrends und neue Möglichkeiten der Sensorik“.



## PARLAMENTARISCHER ABEND DES VIU E.V.

Am 3. März 2020 nahmen wir an einem Parlamentarischem Abend des VIU - Verbandes Innovativer Unternehmen e.V. im Haus der deutschen Parlamentarischen Gesellschaft in Berlin teil. In unserem Vortrag präsentierten wir Forschungsergebnisse zu einem optischen In-Ohr-Sensor zur Überwachung wichtiger Vitalparameter und stellten uns anschließend den Fragen der Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Schirmherrin des Abends unter der Überschrift „Der VIU als Netzwerk - wir leben den Technologietransfer“ war Dr. Petra Sitte (MdB). ●



## 8. GMM-WORKSHOP MIKRO-NANO-INTEGRATION 2020



Beim 8. GMM-Workshop Mikro-Nano-Integration 2020 waren wir mit zwei spannenden Kurzvorträgen vertreten. Wir referierten erst über „Kraft- und Wegsensor zur Nanoindentierung“. Zur Bestimmung der Härte stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Vorgestellt wurde eine neue Sensoranordnung, die dem „Abbeschen Komparatorprinzip“ entspricht. Als Sensor wird ein Dehnungsmessstreifen auf Siliziumbasis mit 4 Messbrücken verwendet.

Anschließend präsentierten wir aktuelle Forschungsergebnisse zu „Laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturen auf Basis von Molybdän-Silizid-Dünnschichten“. Eindimensionale Molybdän- und Molybdän-Silizidnanostrukturen sind auf Grund der CMOS-Kompatibilität der Materialien interessant für Heizerstrukturen. Es werden eindimensionale Nanostrukturen auf Basis dieser Materialien gezeigt, die durch Bestrahlung mit einem fs-Laser erzeugt wurden. Außerdem wurde die notwendige Fluenz für die Ausbildung dieser Strukturen auf amorphen Molybdän-Silizid-schichten ermittelt.

Die Online-Fachtagung wurde von der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum veranstaltet. ●

Der 5. Industrie-Innovationsdialog beleuchtete aktuelle Forschungskompetenzen von Quantentechnologien für die Thüringer Wirtschaft. Unter anderem stellten wir in unserem Vortrag Diamanten als kosteneffizientes Quantenmaterial vor und berichteten über Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt DiaQuant-Fab. Als physikalischer Effekt wird die optische Anregung und Verstimmung von Defekten in Diamant genutzt, z.B. für Magnetfeldsensoren. Das Konsortium ist dafür entlang der Prozesskette zusammengesetzt und schließt dabei zurück von den Anwendungen auf Fragestellungen zur Materialherstellung und -bearbeitung.



Im Rahmen der „Cross-Cluster-Woche Thüringen 2020 – virtuell vernetzen, regional kooperieren“ fand das Online-Seminar Mitte September statt. ●

## HIPS im Rahmen der InnoCON 2020

Unter dem Motto „Auf dem Weg zu innovativen Wertschöpfungsnetzwerken“ fand die diesjährige InnoCON rein digital statt. Dr. Olaf Brodersen leitet die Koordinierungsstelle des Wachstumskerns HIPS und stellte den rund 400 Teilnehmern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik die Forschungsarbeiten in der Pitch-Session vor.

Die SiCer-Technologie als Verbindung von Siliziumtechnologie und keramischer Mehrlagentechnik bietet eine herausragende Chance für Innovationen in der Sensorik als einem der zentralen Erfolgsfaktoren in der IoT-Welt. Ziel des Wachstumskerns HIPS (High Performance Sensors) ist die Entwicklung und gemeinsame Vermarktung neuartiger, robuster, hochintegrierter Sensoren auf Basis der SiCer-Technologie. Der Wachstumskern HIPS wird gefördert vom BMBF im Rahmen des Programms Unternehmen Region.

Im Bündnis HIPS arbeiten 13 regionale Unternehmen, 7 Forschungseinrichtungen und 4 assoziierte Partner

aus dem Thüringer Technologiedreieck Jena/Hermesdorf-Erfurt-Ilmenau in 3 Verbundprojekten zusammen. Neben der Entwicklung der Technologieplattform im Verbundprojekt 1 wird die Nutzung der SiCer-Technologie für Flüssigkeitssensoren (Verbundprojekt 2) und Gassensoren (Verbundprojekt 3) erarbeitet. Das CiS Forschungsinstitut bringt in die Entwicklung der SiCer-Technologieplattform das Know-how für Silizium-Sensoren ein und koordiniert das Verbundprojekt 3 zur Entwicklung von SiCer-Gassensoren. ●



## TECHNOLOGIE WETTBEWERB GETSTARTED2GETHER

Im Rahmen der zweiten Auflage des Technologie-Wettbewerbs getstarted2gether, die am 30. Januar 2020 im großen Konferenzsaal des CiS Forschungsinstituts stattfand, erhielten Gründer und Jungunternehmer die Möglichkeit, ihre Vorhaben vor einer Expertenrunde aus Repräsentanten der Wirtschaft, Finanzgebern und des Forschungs- und Technologieverbundes FTVT in 10-minütigen Pitches vorzustellen. Hierbei sollte mit Zahlen, Fakten und persönlichen Geschick der Innovationsgehalt dargelegt und das Gründungspotenzial präsentiert werden.

Mit dem Wettbewerb getstarted2gether möchte der FTVT einen Beitrag zur Gründungsinitiative der Landesregierung leisten. Der Forschungs- und Technologie-

verbund Thüringen e.V. ist ein Zusammenschluss der gemeinnützigen, wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen (WINAFO) in Thüringen und die Landesvertretung für die Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse. ●



## ENTWICKLUNG EINES SENSORS ZUR FEHLERFRÜHERKENNUNG IN HOCHLEISTUNGSBATTERIEN

Nach erfolgreichem Pitch im Rahmen des Technologie-Wettbewerbs getstarted2gether Anfang des Jahres wurde das Gründungsprojekt „Fehlerfrüherkennung in Hochleistungsbatterien“ des Start Ups DC Industrie Entwicklung GmbH aktuell produktions- und verfahrensreif weiterentwickelt.

Die Entzündung oder Explosion des Lithium-Ionen-Akkus eines Elektroautos ist sowohl für Autobesitzer wie Autobauer das Worst-Case-Szenario. Mittels eines zusätzlichen Indikators aus der Druckmessung soll ein Frühwarnsystem mit Gegenmaßnahmen ausgelöst werden, sodass Druck und Temperatur im Akku wieder auf Normalniveau sinken.

Durch einen spezialisierten Drucksensor, der im Inneren des Lithium-Ionen-Akkus eines Elektroautos verbaut werden soll, bietet die DC Industrie Entwicklung GmbH

ein neues Sicherheitsniveau bei Hochleistungsbatterien. Für die Weiterentwicklung des Sensors sowie den Transfer in eine mögliche Produktion dieses hochpräzisen Industrie-Drucksensors stand das CiS Forschungsinstitut in den Folgemonaten mit seiner technischen Infrastruktur sowie seiner Competence in Silicon aus mehr als 25 Jahren dem jungen Start Up zur Verfügung. ●



## KOOPERATION MIT DER ILMSENS GMBH - TECHNOLOGIE-WETTBEWERB GETSTARTED2GETHER



Unter coronakonformen Bedingungen fanden die nächsten Pitches der inzwischen dritten Auflage des Technologie-Wettbewerbs am 23. September in den Räumen der IHK Erfurt statt.

Zwischen Hans-Christian Fritsch, Geschäftsführer der Ilmsens GmbH und Thomas Brock, Geschäftsführer des CiS Forschungsinstituts konnte nach erfolgreichem Pitch eine Absichtserklärung zur Weiterentwicklung des Gründungsprojekts „Ultrabreitband-Mikrowellen-Sensor-Technologie“ unterzeichnet werden.

Ziel der gemeinsamen Unternehmung ist es, den aktuellen Status der Mikrowellen-Sensoren hin zu deutlich kleineren und hochintegrierten Baugruppen weiter zu entwickeln. Unter der Berücksichtigung der Anforderungen der zum Einsatz kommenden Hochfrequenz-Elektronik sowie einer späteren serientauglichen Fertigung wird dafür eine spezialisierte Aufbau- und Verbindungstechnik entwickelt. Durch die hochtechnologischen Innovationen sinken neben der Baugröße auch die Systemkosten, wodurch neue Anwendungsfelder für Nahbereichsradar und Impedanzspektroskopie erschließbar werden. ●



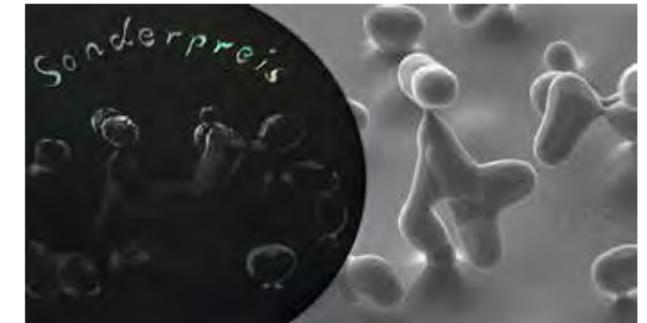
Großer Saal der IHK Erfurt



Dr. Peter Miethe, Vorstandsvorsitzender des FTVT e.V. (links) und Hans-Christian Fritsch, Geschäftsführer der Ilmsens GmbH (rechts)

## SONDERPREIS FÜR „HELLO MADAM“

Das eingereichte REM-Bild mit dieser scherzhaften Umschreibung „Hello Madam“ zeigt die Umlagerung von Si-Mikrostrukturen bei 1150°C unter Wasserstoffatmosphäre. Prämiert wurde unsere Einreichung mit einem Sonderpreis des Fotowettbewerbs NanObjectives 2.0. Der Förderverein für Mikro- und Nanotechnologien Ilmenau e.V. gestaltet diesen Wettbewerb alle zwei Jahre. Anliegen ist es, das Kleine sichtbar und erlebbar zu machen. ●



## CIS-TEAM ERRADELT EINEN BAUM



Im September beteiligte sich ein engagiertes Team des CiS Forschungsinstituts an der 21-tägigen Aktion Stadtradeln. Ziel des Wettbewerbs ist es, im Veranstaltungszeitraum möglichst viele Alltagswege klimafreundlich mit dem Fahrrad zurückzulegen – und dabei zählt jeder Kilometer. Denn für jede 1.000 gefahrenen Kilometer

spendet das Umwelt- und Naturschutzamt der Landeshauptstadt Erfurt einen Baum.

Das 13-köpfige Team bewältigte mehr als 1.500 Kilometer per Fahrrad und konnte damit einen Baum erradeln. Die von allen teilnehmenden Stadtradeln-Teams erfahrenen Bäume wurden im Rahmen der Waldretter-Woche des Forstamtes Erfurt-Willrode gepflanzt. ●

### VERTRETER DES TMWWDG ZU GAST AM CIS FORSCHUNGSINSTITUT



Staatssekretär für Wissenschaft und Hochschulen Carsten Feller sowie der kommissarische Referatsleiter „Technologieförderung“ Robert Fetter trafen sich Ende Oktober mit unserer Geschäftsführung. Neben aktuellen Forschungsschwerpunkten des Instituts wurden auch die mögliche Verstetigung der FTI-Richtlinie sowie ein Forcieren

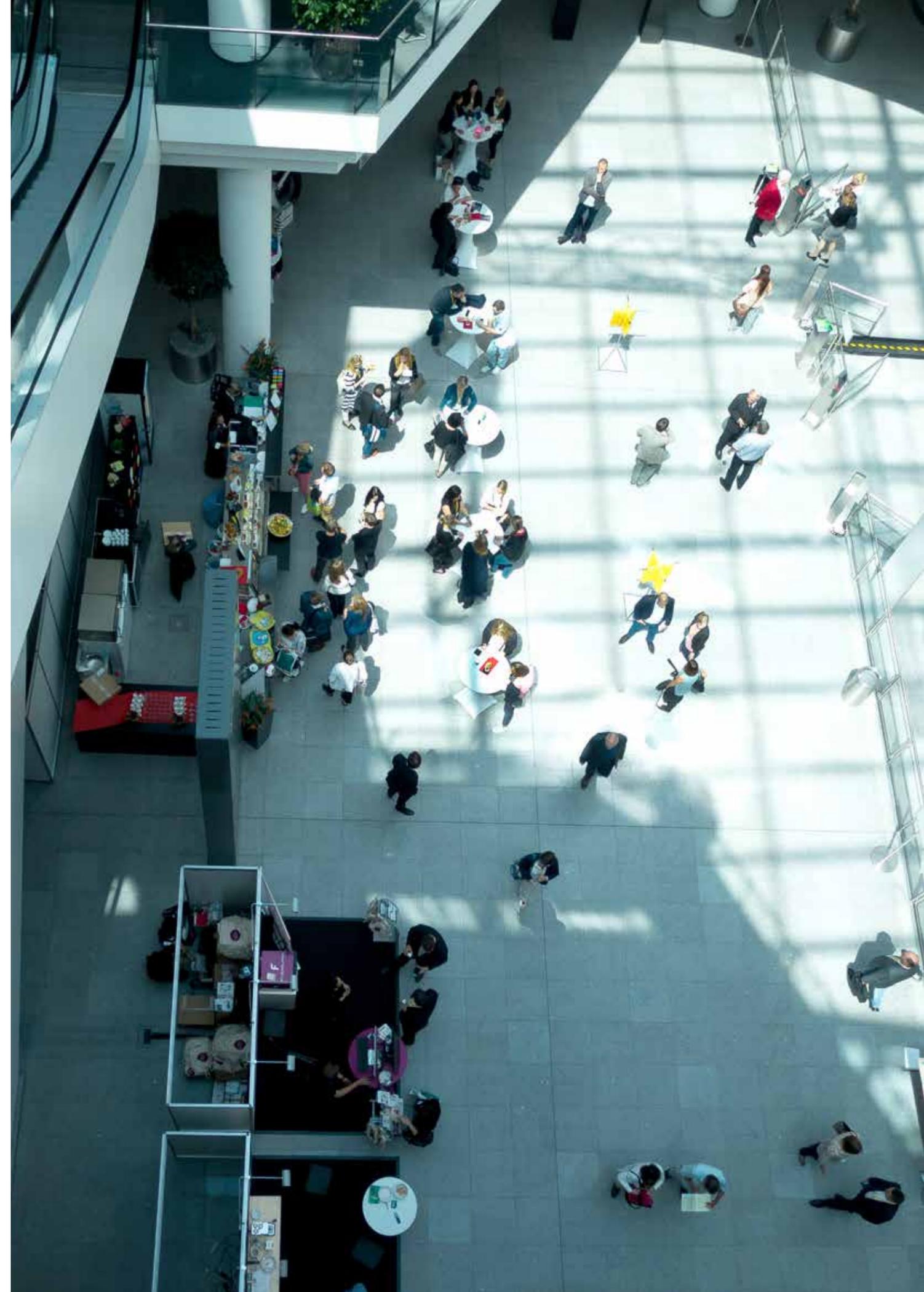
des angedachten Digitalisierungsprogramms für die Thüringer wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen (WiNaFos) besprochen. Während der Institutsbesichtigung wurden die Herausforderungen für die weitere Positionierung des Mikroelektronikstandortes Erfurt im globalen Wettbewerb erörtert. ●

### MARTINSHÖRNCHEN UND BURGERMANN



Martini hat in Erfurt eine ganz besondere Bedeutung: Es wird dem Stadtpatron Martin von Tours und der Geburtstag Martin Luthers gefeiert. Auch wenn die Feierlichkeiten auf dem Domplatz nicht stattfanden und keine Laternenumzüge möglich waren, sollte der Geist von Martini nicht gänzlich verloren gehen, ein Licht, einen Hoffnungsschimmer anzuzünden. In dieser Zeit gibt es ein leckeres Gebäckstück, das Martinshörnchen. Es wurde an Martini für jeden Mitarbeitenden in die Fachbereiche und Abteilungen geliefert.

Und da in diesem Jahr eine klassische gemeinsame Veranstaltung zum Jahresabschluss mit allen Kolleginnen und Kollegen nicht möglich war, hat die Geschäftsführung des CiS Forschungsinstituts den Burgermann Food Truck engagiert. Mit einer ausgeklügelten Corona-konformen Bestell-Prozedur konnten alle Mitarbeitenden aus verschiedenen Burger-Menüs wählen und ein vorweihnachtliches Dankeschön für das Engagement in diesem nicht einfachen Jahr genießen. ●



# NACHWUCHSFÖRDERUNG – VOM SCHÜLER-PRAKTIKUM BIS ZUR PROMOTION

Seit mehr als 25 Jahren engagiert sich das CiS Forschungsinstitut für die Förderung und Ausbildung des ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Nachwuchses in allen Bildungsstufen.

Als anerkannte Ausbildungseinrichtung bieten wir die klassische Facharbeitenausbildung mit IHK-Abschluss in den Berufsbildern Mikrotechnologen und Industriekaufleute. Unterstützt wird die Betreuung durch erfahrene Ausbildungsverantwortliche aus den jeweiligen Fachbereichen. Seit 2017 arbeitet ein Ausbildungsverantwortlicher im Prüfungsausschuss für den Fachbereich Mikrotechnologie der IHK Erfurt mit.



An der Staatlichen Studienakademie Thüringen – Berufsakademie Eisenach und Gera sind wir Partner der Bachelor-Studiengänge

- International Business Administration,
- Elektrotechnik/ Automatisierungstechnik,
- Informations- und Kommunikationstechnologien
- sowie Dienstleistungsmanagement.

Das Jahr 2020 erforderte auch neue Formen des Lernens. Präsenzunterricht entfiel, Online-Tools wurden erprobt. Die theoretische und praktische Ausbildung wurde oft in die Betriebe verlagert. Gemeinsam mit den Ausbildungsverantwortlichen und vielen engagierten MitarbeiterInnen wurden Unterrichtsinhalte erläutert, Lehrstoff von Onlinebeiträgen aufbereitet und damit erfolgreich die berufliche Qualifizierung fortgesetzt.

Trotz Distanz vernetzt sein, war auch ein Ansporn, Lehrveranstaltungen an Hochschuleinrichtungen des Landes Thüringen mit hoher Qualität durchzuführen. Als An-Institut der Technischen Universität Ilmenau gestalten Mitarbeitende unseres Forschungsinstituts für Masterstudierende die Vorlesung „Optische Halbleiterbauelemente“ im Fachgebiet Technische Physik, sie betreuen Studierende in Seminaren und bei Experimenten – und das bereits seit vielen Jahren.

Mit dem Lehrstuhl für extrem energieeffiziente Mikroelektronik und hochempfindliche Sensorik an der Yokohama National University in Japan sind wir in Forschung und Lehre eng verbunden. Seit 2015 ist Prof. Thomas Ortlepp Distinguished Professor am Institute of Advanced Science der Universität in Yokohama. Statt im Präsenzunterricht fanden Vorlesung und Studentenbetreuung via Internet statt.

Unsere Angebote für angehende Akademiker in kaufmännischen wie technischen Bereichen motivierte Studierende aus dem In- und Ausland, ihre Bachelor- und Masterarbeiten bei uns anzufertigen. Die Themenvielfalt, der praktische Anwendungsbezug und die sehr gute Betreuung sowie die eigene Erfahrungen sind überzeugend, ein Praktikumsthema intensiver weiter zu verfolgen. So haben wir mit entsprechenden Maßnahmen alle studentischen Arbeiten und Praktika auch unter Pandemiebedingungen betreuen können.



Unter Leitung von Prof. Jens Müller fertigte unser Mitarbeiter Robert Täschner seine Dissertation „Prozess- und Sensorentwicklung für fertigungsgerechte Hochtemperaturtaugliche Drucksensorsysteme auf Siliziumbasis“ an der TU Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an. Seine Untersuchungen und Ergebnisse leisten einen wissenschaftlich fundierten und in vielen Aspekten praxisrelevanten Beitrag zum Entwurf miniaturisierter Drucksensoren für Einsatzbereiche bis 300°C. Dabei beachtete er die Prozessstauglichkeit und damit Aspekte der Serienfertigung. Untersetzt mit zahlreichen Experimenten sowie umfangreicher mechanischer und elektrischer Tests wurden quantitativ statistische Aussagen abgesichert. Seine Resultate konnten für weitere industriegetriebene Forschungsprojekte genutzt werden.

Für seine Dissertation wurde Dr. Robert Täschner mit dem Silicon Science Award ausgezeichnet. Gemeinsam mit ihm haben wir uns sehr über diese Auszeichnung gefreut. Der Silicon Science Award wird durch den CiS e.V. für herausragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik vergeben. Voller Stolz und mit einem lachenden und weinenden Auge gratulierten wir Robert Täschner im Sommer zur Berufung als Professor für Mikrosystemtechnik und Cyber Physikalische Systeme an der Westsächsischen Hochschule Zwickau und wünschten ihm viel Erfolg für die Zukunft.



Diese Ergebnisse beruhen auf einer langfristigen umfangreichen Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. So unterstützen wir u.a. den Physiksommer an der TU Ilmenau sowie die Lange Nacht der Wissenschaft in Erfurt und Ilmenau und begeistern experimentierfreudige Jugendliche. Situationsbedingt haben wir nur eingeschränkt, Schülerpraktika durchführen

können. Mit einem Elektronikbaukasten forderten wir junge Talente heraus, begleitend zu den Tagesaufgaben des Praktikums selbständig Experimente durchzuführen, zu protokollieren und die Ergebnisse vorzutragen.



Veranstaltungen und Praktika dieser Art können beitragen, sich für Zukunftstechnologien zu interessieren und entsprechende Bildungswege einzuschlagen. Die hohe Anzahl Studierender in Thüringen bietet die Chance, gut ausgebildetes Personal für Thüringer Unternehmen und Forschungseinrichtungen langfristig zu binden. Die neue Hochschulrahmenvereinbarung des Landes Thüringen zielt darauf ab. Neben der Erhöhung des Budgets werden der Ausbau der Ingenieurwissenschaften präferiert und Kooperationen zwischen den Hochschulen gefördert. Als An-Institut der TU Ilmenau stehen wir für den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse der Grundlagenforschung in anwendungsnahe Umsetzungen, praxisbezogene Bildung und als attraktiver Arbeitgeber.

Die Landeswissenschaftskonferenz fördert den Austausch und Dialog zu aktuellen und strategischen Fragen der Wirtschafts- und Wissenschaftspolitik des Landes Thüringens als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Politik, Bildung sowie Wirtschaft und Gesellschaft. Die Forschungslandschaft in Thüringen reicht von der Grundlagenforschung an den Hochschulen bis hin zur wirtschaftsnahen Forschung. Prof. Thomas Ortlepp vertritt in diesem Gremium die wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen Thüringens. ●

# MITWIRKUNG IN VEREINEN, VERBÄNDEN UND INNOVATIONSNETZWERKEN

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

- AIT Arbeitskreis der Informationsvermittler Thüringen e.V.
- AMA - Fachverband für Sensorik e.V.
- Wissenschaftsrat
- Arbeitskreise Temperatur, Industrie 4.0 sowie Innovation
- Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V.
- Mitglied im Innovationsrat
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
- DECHEMA
- FTVT Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V.
- FIZ Forschungs- und Industriezentrum Erfurt e.V.
- GFE Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e.V.
- Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V.
- idw Informationsdienst Wissenschaft e.V.
- IAB Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gemeinnützige GmbH
- IHK Industrie- und Handelskammer Erfurt
- IHK Prüfungskommission für den Mikrotechnologen (Mitglied)
- Mitglied der Vollversammlung
- IMAPS International Microelectronics and Packaging Society
- IVAM Fachverband für Mikrotechnik e.V.
- Arbeitskreise Innovation sowie Marketing
- IPHT Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V.
- Medways e.V.
- OptoNet e.V. Jena
- Ostthüringer Ausbildungsverbund
- Thüringer Landeswissenschaftskonferenz (Mitglied)
- Thüringer Stiftung für Bildung und berufliche Qualifizierung
- Unternehmerverband Thüringen e.V.
- VDE/VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik  
Fachbereich Mikrosystemtechnik und Nanotechnologien  
Fachbereich Aufbau-, Verbindungs- und Leiterplattentechnik
- GMA Fachausschuss 2.53 Gasfeuchtemessung
- Arbeitskreis Mikrotechnik Thüringen
- VIU Verband innovativer Unternehmen e.V.



## Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad-Zuse e.V.

Als dritte Säule der deutschen Forschungslandschaft vertritt die Zuse-Gemeinschaft mehr als 75 Institute einer anwendungsorientierten Forschung für mittelständische Unternehmen. 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. Thomas Ortlepp, Institutsleiter unseres Forschungsinstitutes ist Mitglied im Innovationsrat der Industrieforschungsgemeinschaft.



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

Der Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V. 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.



## Innovationsnetzwerke

Das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) fördert u.a. die Zusammenarbeit von KMUs und Forschungseinrichtungen zur Entwicklung und Verwertung innovativer Produkte, Verfahren oder technischer Dienstleistungen. Wir sind in diesen ZIM-Innovationsnetzwerken aktiv:

- $\mu$ HI-LIGHT: Hochintegrierte Mikrooptik & Mikroproduktion der Zukunft
- LocaSenZ: Sensorik und Messtechnik für die schnelle und quantitative Vor-Ort-Analytik
- QPhot: Innovation in der Quantenphotonik
- Vital Monitoring: Entwicklung biobasierter Lösungsansätze zur Anwendung in der Pharma-, Kosmetik- und Nahrungsmittelindustrie
- ZEREBRO: Personalisierte Neurochirurgie in Leipzig



## ZIM Innovationsnetzwerk myHI-LIGHT / $\mu$ HI-LIGHT

Das CiS Forschungsinstitut engagiert sich im ZIM-Netzwerk „Hochintegrierte Mikrooptik & Mikroproduktion der Zukunft“. Ziel der gemeinsamen Anstrengungen ist es, optische und elektrooptische Komponenten sowie standardisierte und automatisierte Herstellungsprozesse zur Produktion und Montage hochintelligenter optischer Bauteile und Systeme zu entwickeln. Fokussiert wird hierbei auf die Schwerpunkte Photonische Mikrointegration, Mikrokomponenten und –systeme, Design, Schnittstellen und Datenverarbeitung, Produktionskonzepte sowie Aufbau- und Verbindungstechnik.



### ZIM Innovationsnetzwerk QPhot

Im Mai traten wir dem Innovationsnetzwerk QPhot bei und beteiligen uns an der Konzeption sowie Umsetzung von quantenmechanisch bestimmten Sensorbauelementen. Das projektverantwortliche Team stellt sich die Aufgabe, bereits demonstrierte Prinzipien und Funktionsmuster aus den universitären Laboren heraus in reale Anwendungen und Produkte zu überführen. Typischerweise durch Industriepartner getrieben, entstehen dadurch kundenspezifische, vermarktbare Sensorlösungen.



### ZIM Innovationsnetzwerk LocaSenZ

Zuverlässige und präzise Vor-Ort Analysen sind in vielen Bereichen der medizinischen Diagnostik, in der Prozessüberwachung oder Qualitätskontrolle oder in der Lebensmitteltechnologie unerlässlich. Nach einer Probenentnahme vor Ort, findet die weitere Untersuchung im Labor statt. Die Netzwerkpartner adressieren die Entwicklung von Verfahren, die bereits vor Ort ein präzises Ergebnis liefern sowie eine digitale Verarbeitung der Daten gestatten. Zugleich werden Sensortechnologien verbessert und alternative Materialien getestet, als Potenzial für miniaturisierte und multimodale Sensorsysteme. Je nach Markt und Anforderungen sind damit preiswerte als auch hochgenaue und spezifische Lösungen möglich.



### ZIM Innovationsnetzwerk Vital Monitoring

Vitaldaten erfassen und Telemonitoring bieten durch innovative Sensoren, intelligente Datenverarbeitung und Datendarstellung vielseitige Möglichkeiten in der medizinischen Diagnostik, Prävention und Ferntherapie. Dabei muss das Visualisieren der erfassten Daten medizinisch bekannter und bereits angewandter Bildgebung entsprechen und andererseits für Patienten leicht verständlich und handhabbar sein. Hier setzt das Konzept des Netzwerkes an, miniaturisierte Sensorik, in sogenannte „wearables“ zu integrieren und mit intelligenter Datenerfassung, -verarbeitung, -darstellung und -auswertung zu kombinieren.



### ZIM Kooperationsnetzwerk ZEREPRO

Neurochirurgische Erfahrungen bilden die Basis für die anwendungsgetriebene Entwicklung einer hochpräzisen und schonenden Behandlung von Patienten, beispielsweise in Hirn- und Gefäßchirurgie oder Tumorthherapie.

In Kombination mit den technischen Möglichkeiten der Mikroelektronik und Sensorik, des 3D-Drucks von Hochleistungskunststoffen, können intelligente neurochirurgische Instrumente sowie haargenaue Robotersysteme entwickelt und eingesetzt werden. „Hightech-Textilien“ bieten therapeutische Unterstützung in der Nachsorge und Rehabilitation.



## Wachstumskerne & Konsortien

### HIPS – High Performance Sensorik

Im Wachstumskern HIPS entwickeln Thüringer Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen neuartige, robuste und hochintegrierte Sensoren auf Basis der patentierten SiCer-Technologie, der einzigartigen Verbindung von Siliziumtechnologie (Si) mit keramischer Mehrlagenteknik (Cer).



### Konsortium HYPOS – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e.V.

Zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie entwickelt das Bündnis Lösungen für die gesamte Wertschöpfungskette und breite Anwendung von grünem Wasserstoff in vielen Branchen.

### VIPO – Virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung

Der Wachstumskern VIPO steht für eine virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung. Mittels multiphysikalischer Simulation werden optisch-mechanische Systeme sowie optimale Entwürfe von Sensornetzwerken und deren Integration in Zusammenhangsmodellen untersucht.

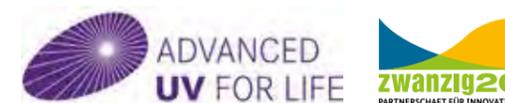


### InfectoGnostics Forschungscampus Jena e.V.

Über 30 Partner aus Forschung, Medizin und Industrie bündeln ihre Kompetenzen in Photonik und Molekularbiologie. Ziel ist es, leistungsfähige und kostengünstige Verfahren zur Vor-Ort-Diagnostik von Infektionskrankheiten und Antibiotikaresistenzen zu entwickeln. Nach dem erfolgreichen Abschluss der ersten Phase, erhielt der Forschungscampus mit seinem neuen strategischen Konzept „InfectoGnostics 2025“ eine Anschlussförderung des BMBF für die nächsten fünf Jahre. Die Bekämpfung von Zoonosen sowie eine einfache Umsetzung der Diagnoseverfahren in allgemeinmedizinischen Arztpraxen stehen hier im Mittelpunkt.

### Konsortium AUVL – Advanced UV for Life

Das Konsortium bündelt die Kompetenzen aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, die technische Entwicklung von UV-LEDs und deren Anwendung voranzutreiben und die Kosten zu senken. Das Netzwerk wird gefördert im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ausgelobten Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“.



## Publikationen & Konferenzen 2020

### Artikel in referierten Journalen

„Monitoring of Ammonia in biogas“, Heike Wünscher, Thomas Frank, Ingo Tobehn-Steinhäuser, Andrea Cyriax, Thomas Ortlepp, Thomas Kirner, Chemical Engineering & Technology, Volume 43, Issue 1, S. 99-103, 01/2020

„Advanced broadband MEMS infrared emitter based on high-temperature-resistant nanostructured surfaces and packaging solutions for harsh environments“, S. Biermann, A. Magi, P. Sachse, M. Hoffmann, K. Wedrich, L. Müller, R. Koppert, T. Ortlepp, J. Baldauf, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, Proceedings Volume 11279, Terahertz, RF, Millimeter, and Submillimeter-Wave Technology and Applications XIII, 1127908, 02.03.2020

„Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration“, Martin Jahn, Bernhard Schwartz, Julia Baldauf, Dominik Karolewski, Geert Brokmann, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, Proceedings Volume 11293, MOEMS and Miniaturized Systems XIX; 112930J, 10.03.2020

„Molybdenum silicide in infrared emitting devices“, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, Proceedings Volume 11293, MOEMS and Miniaturized Systems XIX; 112930Y, 10.03.2020

„Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration“, Julia Baldauf, Rüdiger Schmidt-Grund, Manfred Reiche, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, Proceedings Volume 11293, MOEMS and Miniaturized Systems XIX; 112930J, 10.03.2020

### Konferenz- und Zeitschriftenbeiträge

„Fluorescence lifetime determination with UV-LEDs“, Christian Möller, Hans-Georg Ortlepp, Christoph Heinze, Thomas Ortlepp, 17th Advanced Imaging Methods Workshop - AIM2020, Berkeley, USA, 29.-31.01.2020

„Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration“, Julia Baldauf, Rüdiger Schmidt-Grund, Manfred Reiche, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, 01.-06.02.2020

„Advanced broadband MEMS infrared emitter based on high-temperature-resistant nanostructured surfaces and packaging solutions for harsh environments“, S. Biermann, A. Magi, P. Sachse, M. Hoffmann, K. Wedrich, L. Müller, R. Koppert, T. Ortlepp, J. Baldauf, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, 01.-06.02.2020

„Kopplung von optischen und halbleiterphysikalischen Simulationstools am Beispiel einer miniaturisierten Hanbury Brown-Twiss-Anordnung“, Bernhard Schwartz, vipo-Symposium 2020, Weimar, Deutschland, 30.01.2020

„Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration“, Martin Jahn, Bernhard Schwartz, Julia Baldauf, Dominik Karolewski, Geert Brokmann, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, 01.-06.02.2020

„Molybdenum silicide in infrared emitting devices“, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, 01.-06.02.2020

„Simulation and Technology Study of Shallow Doping Profiles“, Alexander Lawrenz, Ralf Röder, Tobias Wittig, TREDI2020: 15th „Trento“ Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors, Wien, Österreich, 17.-19.02.2020

„MEMS micromachined detector platform for kW power radiation in a wide spectral range“, Abdelazize Laades, Stefan Görlandt, Christoph Heinze, Frank Machalet, Thomas Ortlepp, SMSI 2020 - Sensors and Instrumentation, MEMS Sensors, S. 91-92, 09.06.2020

„Investigations to Determine the Clamping Force of Screw Connections“, Thomas Frank, André Grün, Hitesh Jayaprakash, Manuel Kermann, Stefan Jagomast, Andrea Cyriax, Christian Maier, Thomas Ortlepp, SMSI 2020 - Sensors and Instrumentation, Sensors and Measurement Systems for Physical Quantities, S. 234-235, 09.06.2020

„Im-Ohr-Sensor für das Vitalmonitoring“, Martin Schädel, Martin Jahn, Online-Webinar, Erfurt/online, 15.07.2020

„Industrial broadband MEMS infrared emitter based on high-temperature-resistant micro-nanostructured surfaces and hermetic packaging solutions“, S. Biermann, A. Magi, P. Sachse, M. Hoffmann, K. Wedrich, L. Müller, R. Koppert, T. Ortlepp, J. Baldauf, 8. GMM-Workshop Mikro-Nano-Integration 2020, online, 15.-17.09.2020

„Kraft- und Wegsensor zur Nanoindentierung“, Thomas Frank, Christian Maier, Manuel Kermann, André Grün, Andrea Cyriax, H. Jayaprakash, Thomas Ortlepp, 8. GMM-Workshop Mikro-Nano-Integration 2020, online, 15.-17.09.2020

„Laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturen auf Basis von Molybdänsiliziddünnschichten“, Julia Baldauf, Mario Bähr, 8. GMM-Workshop Mikro-Nano-Integration 2020, online, 15.-17.09.2020

„DiaQuantFab - Diamant als kosteneffizientes Quantenmaterial“, Mario Bähr, 5. Industrie-Innovationsdialog - Quantentechnologien für die Thüringer Wirtschaft, online, 17.09.2020

„Miniaturization of the Hanbury Brown-Twiss configuration“, Martin Jahn, CiS Workshop on Quantum Technologies, Erfurt/online, 01.-02.10.2020

„Untersuchungen zu Defektmechanismen und technischen Gegenmaßnahmen in MEMS IR-Strahlern“, Julia Baldauf, CiS MOEMS Workshop - Komponenten für die NDIR-Sensorik, Erfurt/online, 14.10.2020

„Anwendungsspezifisch optimierte Poly-Silizium-Thermopiles“, Thomas Ortlepp, CiS MOEMS Workshop - Komponenten für die NDIR-Sensorik, Erfurt/online, 14.10.2020

„Innovative Vorspannkraftsensorik für Schraubverbindungen“, Arndt Steinke, 18. Windmesse Symposium, online, 15.10.2020

„Piezoresistive Drucksensoren für Anwendungen bis 300 °C“, Klaus Ettrich, CiS MEMS Workshop - Drucksensorik, Erfurt/online, 29.10.2020

„Einsatz von SiCer-Verbundsubstraten für Drucksensoren“, Cathleen Kleinholz, Andrea Cyriax, CiS MEMS Workshop - Drucksensorik, Erfurt/online, 29.10.2020

„Glasfritte-Bondtechnologien zum Aufbau hochstabiler Kraftsensor-Systeme“, Andre Grün, CiS MEMS Workshop - Drucksensorik, Erfurt/online, 29.10.2020

„Charakterisierung von Si-Drucksensoren“, Stefan Jagomast, CiS MEMS Workshop - Drucksensorik, Erfurt/online, 29.10.2020

„Innovative Sensorik zur Überwachung von mechanischen Verbindungen“, Klaus Ettrich, Thomas Frank, Andrea Cyriax, Andre Grün, Arndt Steinke, Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgemeinschaft „Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik“, online, 09.-10.11.2020

„Fluoreszenzmessung im Miniformat“, Physik Journal 19, Nr. 8/9, S. 23, 2020

„Neuartige Nickeldispersionschichten für das Thermokompressionsbunden“, David Glück, Indira Käßlinger, ZVO Report 3, Seite 43, 05/2020

### Qualifizierungsarbeiten

„Transient-Current-Technique-Messungen an Photodioden und Teilchendetektoren“, Aaron Flötotto, Bachelorarbeit, TU Ilmenau, 2020

„Entwicklung eines Konzepts zur Kalibrierung eines Nanoindenters“, Hitesh Jayaprakash, Masterarbeit, Ernst-Abbe-Hochschule, Jena, 2020

„Untersuchung zur Bewertung und Ansteuerung von Ultraschallsensoren, Emittieren und Empfängern“, Dennis Mamachan, Masterarbeit, Ernst-Abbe-Hochschule, Jena, 2020

„Aufbau eines Messplatzes zur Evaluierung eines Drehratensensors“, Abhilash Xavier Pudota, Masterarbeit, Ernst-Abbe-Hochschule, Jena, 2020

## KONTAKT

### CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Konrad-Zuse-Straße 14  
D-99099 Erfurt  
Germany

Tel.: +49 (361) 663 14 10  
Fax: +49 (361) 663 14 13  
E-Mail: [info@cismst.de](mailto:info@cismst.de)  
Internet: [www.cismst.de](http://www.cismst.de)

### Geschäftsführer:

Prof. Dr. Thomas Ortlepp,  
Thomas Brock

## GREMIEN

### 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  
Dr.-Ing. Horst Hansch, Ilmenau  
Prof. Dr. Gerhard Linß, Suhl, Aufsichtsratsvorsitzender  
Dipl.-Ing. Michael Philipps, Maulburg

### 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  
Dr.-Ing. Horst Hansch, Ilmenau  
Dipl.-Ing. Michael Philipps, Maulburg,  
stellvertretender Vorstand  
Prof. Dr. Kai-Uwe Sattler, TU Ilmenau

