

www.cismst.de

Jahresbericht 2021

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum

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

Gender-Hinweis:

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

Herausgeber:

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

Telefon: +49 361 663 14 10
E-Mail: info@cismst.de
Internet: www.cismst.de

Verantwortlich für den Inhalt:

Prof. Dr. Thomas Ortlepp, Thomas Brock

Layout:

Blueline Agentur für Kommunikation, www.agentur-blueline.de

Bildnachweise:

- Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Fotograf: Maria Koch, Seite 35
- Telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik mbH, Fotograf: Storz Medienfabrik GmbH, Seite 49
- Steffen Beikirch, TITK, Seite 62
- Gruppenfoto SensorikNet e.V., Seite 75

Sonstige Fotos und Grafiken:

- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- Pixabay

IMPRESSUM

VORWORT

THEMEN

CiS Analytik Kompetenzzentrum (CAK)	6
Design & Simulation	12
3D funktionalisierte Fotodioden	16
AVT für Quantentechnologien	22
Schrauben-Monitoring	28
Temperaturkompensation	32
Wettbewerbe & Auszeichnungen	34

FORSCHUNGS- & ENTWICKLUNGSPROJEKTE

Thermopile Sensoren	36
Photodioden mit flachen pn-Übergang	42
Nanosense	46
Tactile Gripper	48

TECHNISCHE INFRASTRUKTUR

Geräteförderung	52
Digitalisierung	54

VERANSTALTUNGEN

Workshops & Webinare	56
getstarted & 20 Jahre FTVT	62
Messen & Kongresse	64
Diverse	70

NACHWUCHSFÖRDERUNG

	72
--	----

VERBÄNDE, NETZWERKE & AUSSCHÜSSE

	74
--	----

PUBLIKATIONEN

	78
--	----

GREMIEN & KONTAKT

	82
--	----

Liebe Leserinnen und Leser,

unser Jahresbericht blickt auf die Ereignisse und Meilensteine des vergangenen Jahres - einem Jahr, das von Herausforderungen und Chancen geprägt wurde.

In diesem anspruchsvollen Umfeld ist es uns gelungen, wieder ein erfolgreiches Geschäftsjahr abzuschließen. Systematisch haben wir unsere Kernkompetenzen weiter gestärkt, mit neuen Forschungsschwerpunkten verknüpft und unsere technische Infrastruktur ausgebaut.

Als wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Mikrosensorik bilden wir eine wichtige Scharnierfunktion zwischen Wissenschaft und marktfähiger Umsetzung für Anwendungen in der Industrie, Gesundheitswesen, Klimaschutz oder Elektromobilität in einer zunehmend vernetzten Gesellschaft. Sensorik schließt hier die Lücke zwischen analoger und digitaler Welt. Unser Portfolio beinhaltet die gesamte Wertschöpfung vom Design bis zum Produkt mikro-mechanischer und mikrooptischer Sensoren und deren Integration in verschiedene Bauelemente.

Wir überführen Ergebnisse der Grundlagenforschung in marktfähige Produkte. Neue Ideen entstehen durch die individuellen Wünsche unserer Industriepartner und deren Feedback. Gemeinsam generieren wir Lösungen für ihre Vorhaben und erweitern unser Know-how ständig. Besonders mittelständische Unternehmen verfügen häufig über eingeschränkte eigene Forschungskapazitäten. Sie müssen sehr genau den Aufwand und das Risiko für neue marktfähige Produkte abschätzen. Mit unseren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten minimieren wir Ihr Risiko und unterstützen Sie dabei, innovative Produkte, Technologien und Dienstleistungen am Markt zu etablieren.

Eröffnung des CiS Analytik Kompetenzzentrum

Einen Meilenstein in unserer Geschichte haben wir mit der Eröffnung des CiS Analytik Kompetenzzentrum

(CAK) am 15.07.2021 erreicht. Es bietet eine einmalige Kombination aus neuester Technologie und hochqualifiziertem Personal. Kernstück des Kompetenzzentrums ist ein hochauflösendes dreidimensionales Time-of-Flight Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie-System (3D ToF SIMS), das eines der modernsten seiner Art im Umkreis von mehreren Hundert Kilometern ist. Umfangreiche Analysetools sowie optische und elektrische Messtechnik eröffnen Unternehmen und Forschungseinrichtungen verschiedenster Branchen neue Möglichkeiten, Untersuchungen bei uns zu beauftragen.

Technologie-Wettbewerb getstarted2gether

Wir sind stolz, erneut Thüringer Startups mit unserem Fachwissen und unserer technischen Ausstattung unterstützen zu können. Als Gewinner des lukrativen und bundesweit einmaligen Technologie-Wettbewerbes getstarted2gether, können sie sechs Monate unsere komplette Infrastruktur nutzen, einschließlich einer Rundum-Betreuung durch erfahrene Mitarbeitende unseres Instituts.

Strategische Partnerschaft mit ams OSRAM

Nach vielen Jahren intensiver Forschung und Entwicklung von Sensoren zur Blutdruckmessung und Überwachung wichtiger Vitalparameter, sind wir mit dem Unternehmen ams OSRAM eine strategische Partnerschaft eingegangen. Unser entwickelter optischer Im-Ohr-Sensor erfasst Blutdruck, Herzfrequenz und Herzratenvariabilität sowie die Sauerstoffsättigung des Blutes auf der Basis der Photoplethysmographie (PPG). Klinische Vorstudien bewiesen die Tauglichkeit in verschiedenen Alltagssituationen. ams OSRAM ist ein weltweit führender Anbieter optischer Lösungen und verfügt über langjährige Expertise im Bereich der Vitalparameterüberwachung. Mit dieser Kooperation entstehen Synergieeffekte, um solche Sensoren und

Verfahren in naher Zukunft für Patienten und Endanwender in Form von Wearables und Hearables verfügbar zu machen.

Aktuelle Forschungsthemen

...wie Quantentechnologien sowie die breite Anwendung von grünem Wasserstoff in vielen Branchen bieten das Potenzial für vollkommen neue technische Lösungen. Wir sind Partner verschiedener überregionaler Forschungsverbünde. Mit unserer langjährigen Expertise in der Aufbau- und Verbindungstechnik tragen wir dazu bei, eine effiziente optische und elektrische Signalübertragung zwischen den notwendigen Komponenten zu gewährleisten und so kosteneffizient auf industrielle Produzierbarkeit sowie den Transfer in industrielle Anwendungen zu skalieren.

Das vergangene Jahr haben wir auch genutzt, unsere Webseite neu zu konzipieren, einem visuellen Relaunch zu unterziehen und unsere Social Media Präsenz zu stärken.

Ein erfolgreiches Jahresergebnis ist immer eine gemeinsame Leistung vieler Akteure.

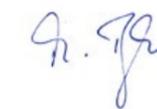
Wir danken ganz herzlich unseren Gremien, Fördergebern und Partnern aus Forschung und Industrie für ihr Vertrauen, ihre Unterstützung und große Flexibilität. Auf der Suche nach innovativen und praktikablen Lösungen sind vor allem unsere Mitarbeitenden die entscheidende Basis unseres Erfolges. Ihnen danken wir ganz besonders für ihr unermüdliches Engagement und ihr Können.

Im unserem Jahresbericht 2021 möchten wir Ihnen ausgewählte Themen sowie unsere aktuellen Forschungsschwerpunkte vorstellen.

Wir laden Sie ein, das persönliche Gespräch mit uns aufzunehmen und von unserem Know-how zu profitieren. ●



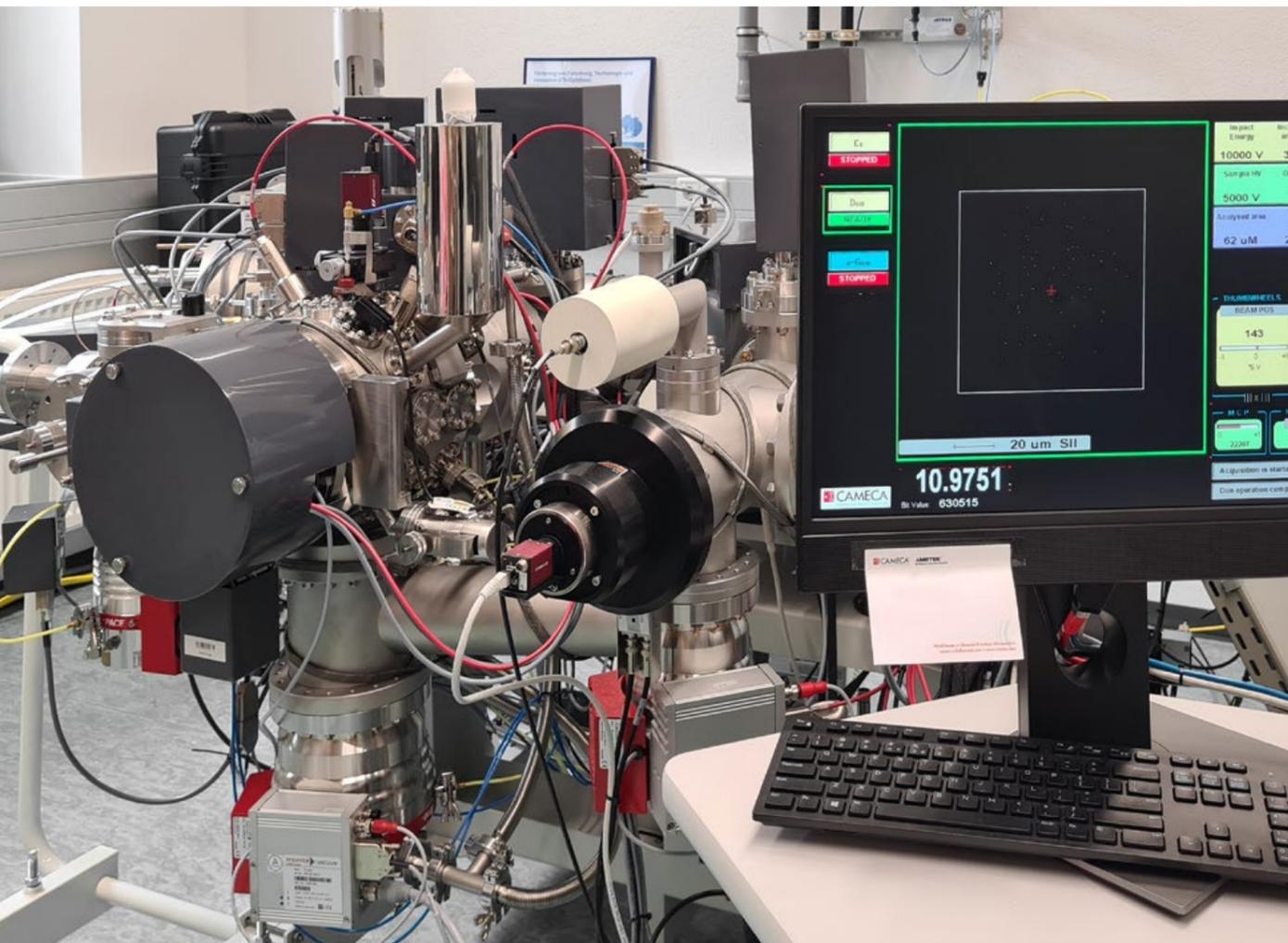
Prof. Thomas Ortlepp



Thomas Brock



CIS ANALYTIK KOMPETENZZENTRUM



Im Sommer 2021 hat das CiS Analytik Kompetenzzentrum (CAK) nach feierlicher Eröffnung durch den Thüringer Wirtschafts- und Wissenschaftsminister Tiefensee seine Arbeit erfolgreich aufgenommen. Es stellt mit seinen oberflächenanalytischen Möglichkeiten sowie erfahrenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern nicht nur innerhalb des CiS Forschungsinstituts eine elementare Unterstützung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit dar, sondern auch für eine Vielzahl regionaler Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus den unterschiedlichsten Disziplinen.

Die moderne Forschung und Entwicklung ermöglichen immer leistungsfähigere Bauteile und Werk-

stoffe mit immer kleiner werdenden Strukturen mit Dimensionen bis in den Nanometer-Bereich. Viele Eigenschaften eines Materials und folglich auch aus einem daraus entwickelten Bauelement werden durch seine Oberflächeneigenschaften bestimmt. Dabei spielen die Morphologie bzw. Topographie der Oberfläche und deren chemische Zusammensetzung eine wesentliche Rolle – die Beschaffenheit der ersten Nano- bis Mikrometer einer Probe sowie darauf befindlicher Strukturen gleicher Größenordnung sind von großer Wichtigkeit. Oberflächen sind den sie umgebenden Umweltbedingungen ausgesetzt und wechselwirken mit dieser chemisch und physikalisch: Hier setzt die Korrosion eines Bauteils

an, aber auch die mögliche Emission von Teilchen des Bauelements an seine Umgebung.

Steht ein Material unter starker Verspannung, so beginnt die Bildung von Rissen im oberflächennahen Bereich und kann zu seiner Zerstörung führen. Ebenso sind technologisch-wirtschaftlich bedeutsame Verfahren wie Galvanisierungsprozesse, verschiedene Schichtabscheidungen für Optiken oder Bondingprozesse in der Verbindungstechnik weitgehend durch die Oberflächeneigenschaften des zu bearbeitenden Materials bestimmt. Haftet bspw. eine aufgetragene Beschichtung nicht, kann das an Oberflächenkontaminationen liegen. Auch Dotierungen oder Passivierungen von Bauelementen finden im oberflächennahen Bereich statt. Somit ist die Oberfläche häufig Ausgangspunkt von Kontroll- und Fehleranalysen.

Um ein entwickeltes Material, Bauelement oder den dahinterliegenden Herstellungsprozess verstehen, kontrollieren und optimieren zu können, ist der Einsatz von Nano- bzw. Oberflächenanalytik, wie sie das CAK bietet, unabdingbar. Besonders dann, wenn Fragen der Qualitätskontrolle, Fehlersuche oder Umwelt-

verträglichkeit aufkommen. Führt der angedachte Herstellungsprozess wirklich zum gewünschten Ergebnis? Was befindet sich tatsächlich auf meinem Bauelement, wie viel von einer gezielt aufgetragenen oder implantierten Substanz? Wie ist es strukturiert und verändert es sich durch Nutzung? Wie wechselwirkt es mit seiner Einsatzumgebung?

Die einzelnen Analysetools, die in den Laboren des CAK zur Verfügung stehen, liefern verschiedene, komplementäre Informationen über die Oberfläche. Einige bieten vor allem physikalische Informationen, andere hauptsächlich chemische Aussagen. Oftmals ist eine Kombination verschiedener Analysemethoden hilfreich, um die Oberfläche hinreichend verstehen und bewerten zu können. Das CAK bietet:

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

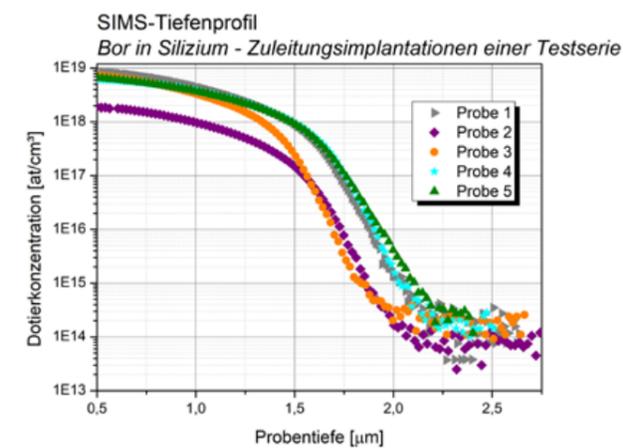


Abbildung 1: Bestimmung von B-Dotierprofilen in Si-Zuleitungen mit Hilfe von SIMS

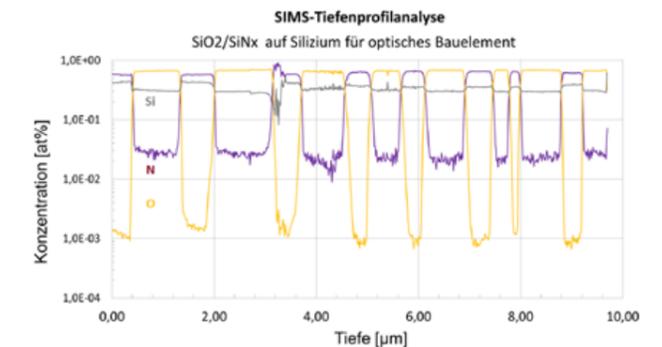


Abbildung 2: Untersuchung der alternierenden Schichtabfolge von SiO₂ und Si_xN_x auf Si für ein optisches Bauelement mit SIMS

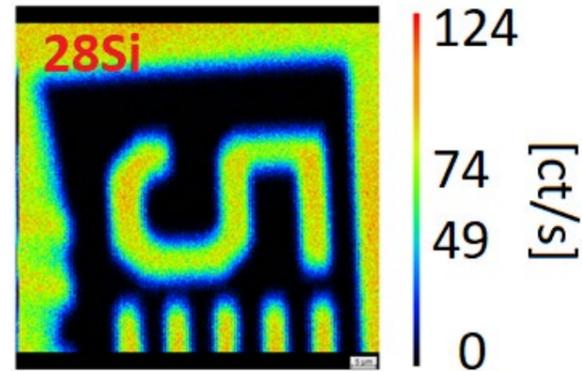
Ein Kernstück des CAK bildet das Sekundärionenmassenspektroskop (SIMS). Es handelt sich um eine SIMS 7f auto der Firma Cameca und ist aktuell eines der modernsten verfügbaren Geräte. Damit können dreidimensionale Elementverteilungen, vorrangig im Spuren- und Ultraspurenbereich, gemessen werden. Durch Beschuss einer Probe mit Primärionen (O_2^+ , O^- oder Cs^+) im Ultrahochvakuum werden Sekundärionen aus dieser ausgelöst, welche im elektrischen Feld beschleunigt und nach Massentrennung in einem Magnetfeld mittels hochempfindlicher Detektoren gezählt werden. Das Einmalige an SIMS sind die extrem niedrigen Nachweisgrenzen, welche bis in den Bereich < 1 ppb bei Probenvolumen im Bereich von $10 \mu m^3$ reichen, bspw. lässt sich Bor in Silizium bis zu einer Konzentration von $E13 \text{ at/cm}^3$ detektieren. Mit dieser Messmethode können Dotierprofile (Abbildung 1) erstellt und Dotierkonzentrationen gemessen werden, Schichtfolgen (auch in nichtleitenden Proben, Abbildung 2) chemisch analysiert, ihre

Dicke ausgemessen und Abfolge überprüft sowie Proben auf Verunreinigungen untersucht werden. Auch die Alterung von Oberflächen oder die Diffusion von Netzwerkwandlern und Auslaugungsprozesse in Gläsern lassen sich mit SIMS analysieren. Darüber hinaus finden sich zahlreiche Spezialanwendungen der SIMS auf den Gebieten der Metallurgie und Metallverarbeitung (Korrosion, Oberflächenvergütung, Dekorations- und Schutzschichten, Haftvermittler, ...), Geologie (Massenspektren) und der Life Science (Oberflächenvergütung von Medizinprodukten, Untersuchungen von Zahnfluoridierungen und krankhaften Zahnveränderungen, ...) oder Umweltschutz.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des CAK ist das hochauflösende Rasterelektronenmikroskop kombiniert mit einer EDX- sowie einer FIB-Einheit. Es erlaubt die Analyse der chemischen Zusammensetzung und Struktur von Probenoberflächen sowie ihrer elektronischen Defekte und Schichten. ●



hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop



Laterale Verteilung von Si auf der Oberfläche eines Chips, gemessen mit SIMS

FEIERLICHE INBETRIEBNAHME DES CIS ANALYTIK KOMPETENZZENTRUMS



Thomas Brock, Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut, Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee, Prof. Thomas Ortlepp, Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut während der Eröffnung des CiS Analytik Kompetenzzentrums

Minister Wolfgang Tiefensee eröffnet das CAK

Am Donnerstag, dem 15. Juli 2021 wurde mit einem feierlichen Festakt am CiS Forschungsinstitut in Erfurt das neue CiS Analytik Kompetenzzentrum durch Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee eröffnet. „Das CiS Forschungsinstitut hat als wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung im Bereich von Mikroelektronik und Sensorik eine wichtige Scharnierfunktion zwischen Wissenschaft und marktfähiger Anwendung“, sagte Tiefensee. „Mit dem neuen Kompetenzzentrum kann das CiS Forschungsinstitut sein Dienstleistungsspektrum bei der Material- und Festkörperanalyse ab sofort deutlich erweitern.“

Kernstück des Kompetenzzentrums ist ein hochauflösendes 3-dimensionales Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie-System (SIMS Analyse Cluster), das als das modernste seiner Art im Umkreis von mehreren Hundert Kilometern gelten kann. Mit dem SIMS können dreidimensionale Elementverteilungen, vorrangig im Spuren- und Ultraspurenbereich, gemessen und analysiert werden. Das neue Kompetenzzentrum bietet damit eine einmalige Kombination aus neuester Tech-

nologie und hochqualifiziertem Personal. Zukünftig sollen sowohl Forschungseinrichtungen wie auch Industriekunden auf die umfangreichen Leistungen des CiS Analytik Kompetenzzentrums zugreifen können, um ihre Wettbewerbsposition bei innovativen Werkstoff- und Produktentwicklungen weiter ausbauen und festigen zu können.



Wirtschaftsminister Tiefensee hält ein Grußwort



Dr. Stephanie Reiß, Mitarbeiterin des Fachbereichs Test & Analytik, Thomas Brock, Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut, Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee, Prof. Thomas Ortlepp, Geschäftsführung CiS Forschungsinstitut während der Eröffnung des CiS Analytik Kompetenzzentrums an der in Betrieb genommenen SIMS-Anlage

Die moderne Ausstattung bietet die Möglichkeit, komplexe messtechnische Untersuchungen und spezielle Material- und Oberflächenanalysen durchzuführen. Neben der klassischen Halbleiterindustrie können auch andere Branchen vom CiS Analytik Kompetenzzentrum (CAK) profitieren, u.a. bei der Analyse metallischer Werkstoffe, Untersuchungen in der Batterieforschung sowie anorganischer und biomedizinischer Oberflächenbeschichtungen oder auch technische Gläser der optischen Industrie.

Das hochauflösende 3-dimensionale Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie-System ergänzt in idealer Art und Weise das vorhandene Portfolio der Untersuchungsmethoden wie Rasterelektronenmikroskopie und Raman-Spektroskopie. Es erlaubt präzise Informationen über qualitative und quantitative Zusammen-

setzung oberflächennaher Schichten und Tiefenprofile zu gewinnen.

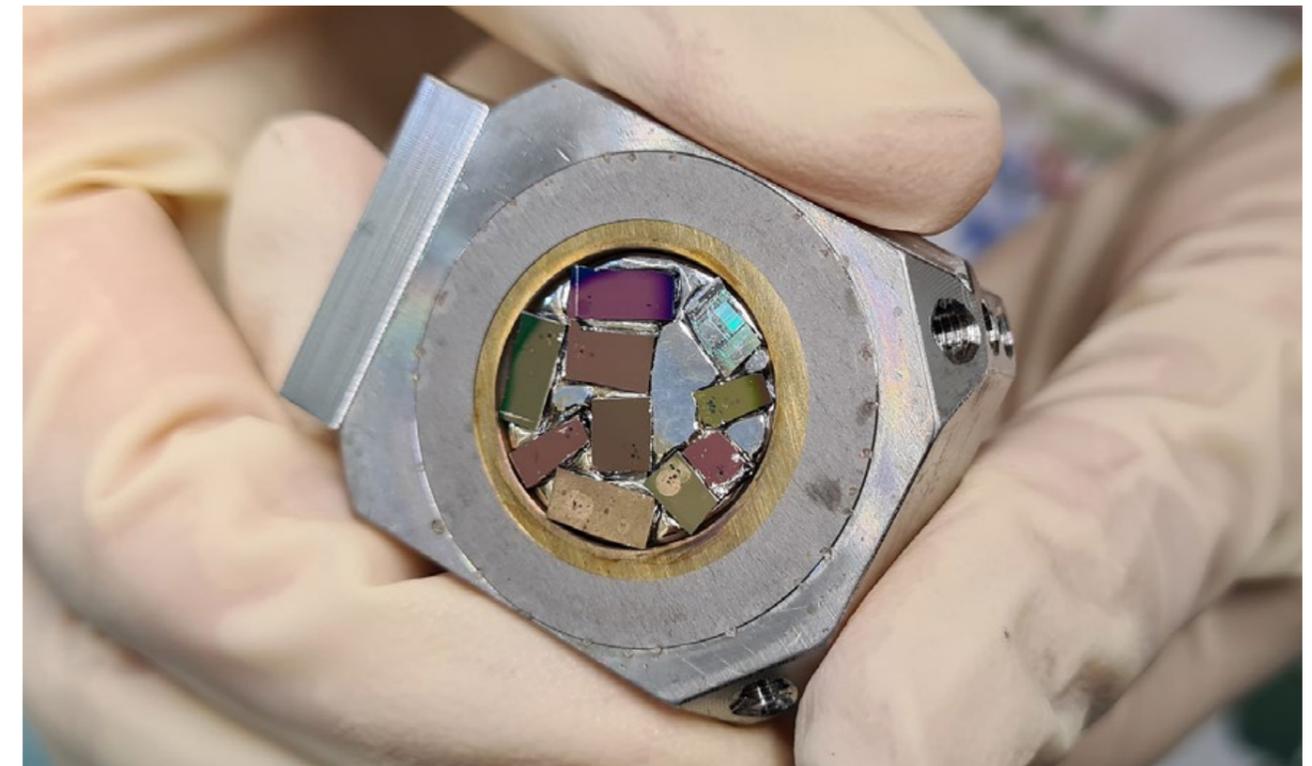
Das Thüringer Wirtschaftsministerium unterstützte die Anschaffung des neuen Gerätes im Rahmen des Förderprogramms „WiNaFo-Invest“ mit rund 2 Millionen Euro aus EFRE- und Landesmitteln.

Die Bedeutung des neuen Kompetenzzentrums wurde in weiteren Grußworten von Wirtschaftsvertretern unterstrichen: Hans-Jürgen Straub, Vorsitzender des FIZ e.V. betrachtet das neue Kompetenzzentrum als weiteren Standortvorteil für das Industriegebiet im Erfurter Südosten. Jörg Doblaski, CTO der X-FAB Semiconductor Foundries GmbH, hob hervor, dass dieses Analytik Kompetenzzentrum für die Optimierung der Produkt- und Prozessqualität in der Halbleiterfertigung nunmehr ex-



zellente Bedingungen bietet. Als Vertreter des Thüringer Mittelstandes machte Dr. Knuth Baumgärtel, Geschäftsführer der Micro-Hybrid Electronic GmbH deutlich, dass viele mittelständische Thüringer Unternehmen mit ge-

ringen Entwicklungskapazitäten am CiS Forschungsinstitut Forschung und Entwicklung mit Analyseleistungen verknüpfen können, beispielsweise für Konstruktions- und Materialanpassungen in der Sensorik. ●



Materialpräparation zur Analyse in der SIMS-Anlage

Förderung von Forschung, Technologie und Innovation (FTI-Richtlinie)

Antragsteller-Name: CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Beschreibung des Vorhabens:
Schaffung eines CiS Analytik Kompetenzzentrums (CAK) im Rahmen der Beschaffung eines hochauflösenden 3-dimensionalen Sekundärmassenspektrometriesystems (FKZ: 2019 WIN 0006)

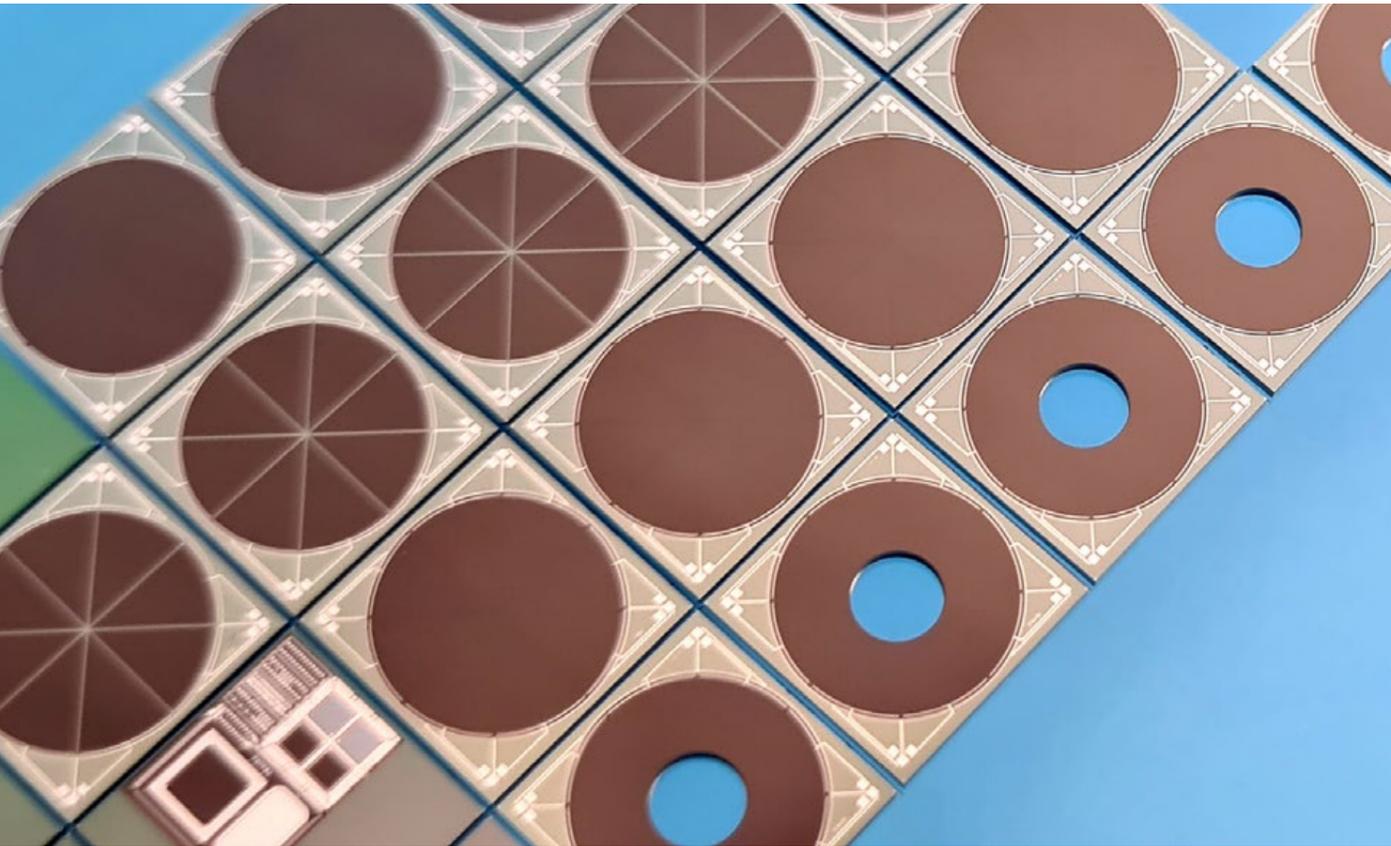
Das vom Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

EFRE bewegt Thüringen
www.efre-thueringen.de

Freistaat Thüringen | EFRE | EUROPÄISCHE UNION

GEFÖRDERT

DESIGN VON SILIZIUMSENSOREN – MODELLBILDUNG UND ENTWICKLUNG VON MODELLIERUNGSWORKFLOWS

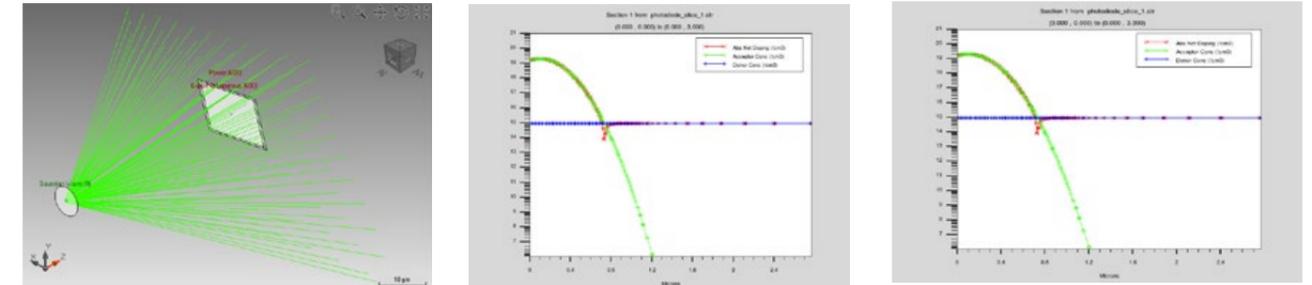


Optische Sensoren als Ergebnisse des Entwurfsprozesses

Im Fachbereich Simulation und Design stehen die Modellierung der physikalischen und technologischen Zusammenhänge von Mikrosensoren und die darauf aufbauenden Entwurfsprozesse im Zentrum der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Diese Entwurfsprozesse sind gekennzeichnet durch die Simulation halbleiterphysikalischer, elektrischer, optischer, mechanischer und thermischer Sensoreigenschaften. Je nach Komplexität dieser Aufgabe werden Multidomain Sensor-Modelle mit Verkopplung von halbleiterphysikalischen, elektrischen, optischen,

mechanischen und thermischen Effekten entwickelt, für die bei Vorliegen qualitativ hochwertiger Sensormesswerte die Extraktion von Modellparametern möglich ist. Die häufig miteinander verkoppelten, 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. Die Mitarbeitenden des Fachbereiches Simulation und Design forschen in verschiedenen Projekten an der Verallgemeinerung von Entwurfsprozessen.



Kopplung von Tools für optische, Halbleitertechnologie- und Bauelementesimulation

So beteiligen sie sich z.B. seit drei Jahren an dem vom BMBF geförderten innovativen regionalen Wachstumskern „Virtuelle Produkt- und Prozessoptimierung (VIPO)“. Forschungsthema des Wachstumskerns ist die Digitalisierung des Produktlebenszyklus, die zukünftig ein entscheidender Wettbewerbsfaktor werden wird.

Die drei Teilprojekte „Produktoptimierung“, „Prozessoptimierung“ und „Digitaler Zwilling“ befassen sich mit der Auslegung und Optimierung von Lasermaterialbearbeitungsanlagen, der Optimierung der additiven Fertigung auslegungsrelevanter Bauteile in Kunststoff und mit dem Produktlebenszyklus auf der Basis von Sensornetzwerken und Zusammenhangsmodellen.

Im Teilprojekt „Produktoptimierung“ adressiert das CiS Forschungsinstitut zum einen den Workflow, der die Entwicklung von der Simulation zur Fertigung anwendungsspezifischer Sensoren und deren Einsatz in einem Demonstrator umfasst. Weitere Arbeiten haben Untersuchungen zur Kopplung von mechanischen, thermischen, optischen und halbleiterphysikalischen Simulationstools zum Gegenstand.

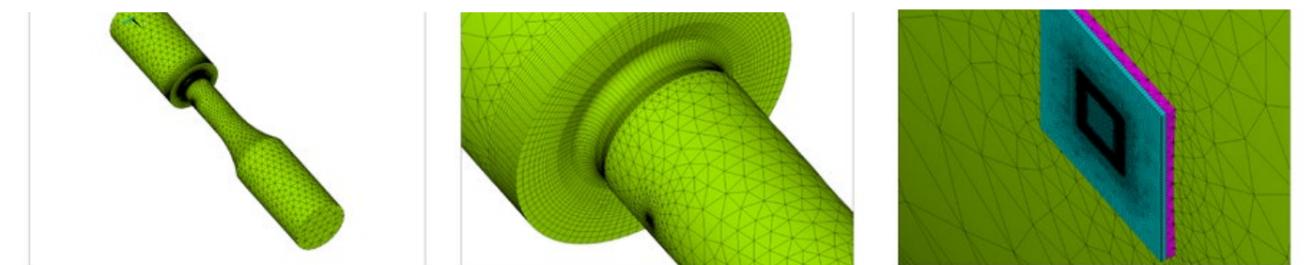
Im Projekt „Digitaler Zwilling“ wurde an einem Demonstrator (Umlaufbiegeprüfmaschine zur Ermittlung der Materiallebensdauer von Wellen) ein Workflow zur Generierung eines Digitalen Zwillings von rotierenden

Maschinen entwickelt. Hier stehen die Messungen von mechanischen Spannungen und die Sensordatenübertragung an rotierenden Systemen, sowie ein Workflow für die Generation von gekoppelten Sensormodellen und Extraktion von Modellparametern mit Kopplung halbleiterphysikalischer und mechanischer Berechnungen im Zentrum der Forschung. Die Sensorik erfasst die Belastung und Beanspruchung der Bauteile wie Welle und Lager, überwacht die Temperatur, sowie Vorspannkraft und Drehzahl.

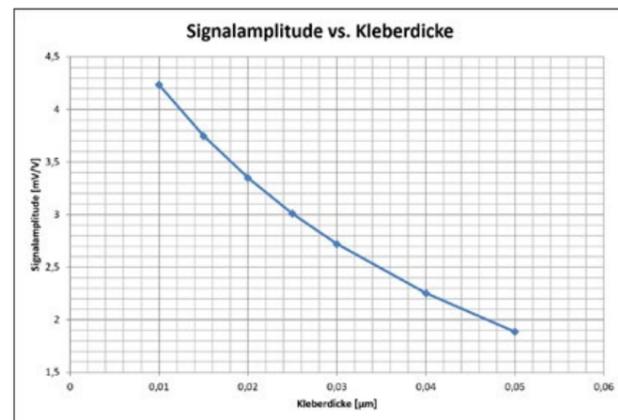
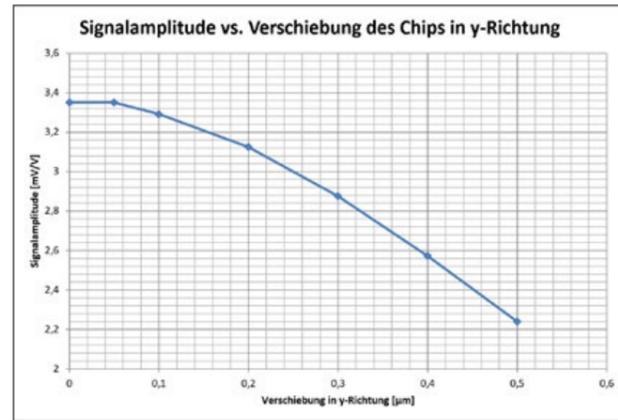
Die Darstellungen unten zeigen das Modell eines Biegeprüfkörpers mit integriertem Spannungssensor. Der Sensor wird nahe am Gebiet der maximalen Materialbeanspruchung platziert. Zeitliche Änderungen in der Materialfestigkeit, die ein Strukturversagen ankündigen, sollen erfasst werden. Der Kontaktbereich zwischen Welle und Sensorelement ist parametrisch angelegt. Für verschiedene Modellparameter sind damit Sensitivitätsanalysen möglich.

Variierbare Modellparameter sind:

- umlaufende Last,
- Position und Ausrichtung des Chips,
- Kleberdicke und -keiligkeit,
- Klebermaterial (E-Modul, Ausdehnungskoeffizient, Aushärtetemperatur),
- Betriebstemperatur



Modell des Biegeprüfkörpers mit integriertem Spannungssensor



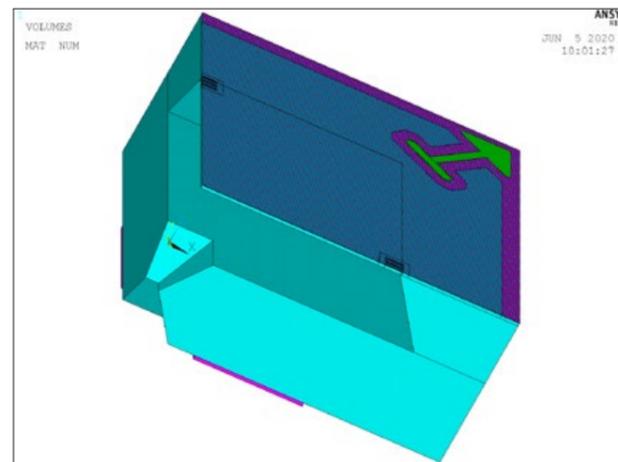
Sensitivitätsanalysen für verschiedene Modellparameter

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

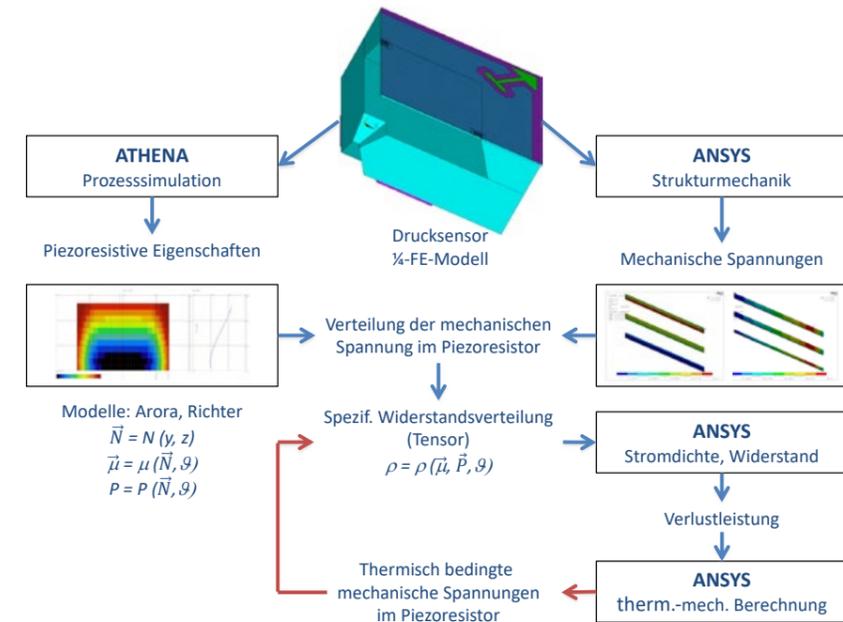
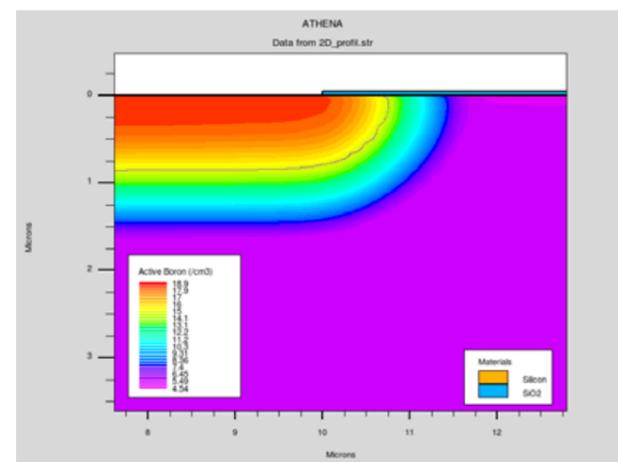
Neben den links dargestellten optischen Sensoren und piezoresistiven Dehnmessensoren stehen auch piezoresistive Drucksensoren im Mittelpunkt des Interesses.

Sowohl geometrische als auch technologische Variationen werden in ihrem Einfluss auf das Ausgangssignal analysiert. Die piezoresistiven Widerstände werden durch die druckabhängig ausgelenkte Biegeplatte mechanischen Verspannungen ausgesetzt. Diese mechanischen Spannungen beeinflussen direkt die Werte der piezoresistiven Widerstände in der Messbrücke.

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



¼-FE-Modell eines piezoresistiven Drucksensors mit Dotierprofil eines pn-Übergangs bei Bor-Dotierung und anschließendem Temperschritt



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

Ausgehend von einem aus dem Sensorlayout entwickelten geometrischen Modell des Sensors werden einerseits mit dem FEM-Simulationstool „ANSYS Multiphysics“ die Verteilungen der mechanischen Spannungen ermittelt. Für alle Teilwiderstände stehen damit Spannungswerte der Widerstandssegmente in den beiden relevanten Hauptrichtungen vor. Auf der anderen Seite erfolgt mit dem halbleiterphysikalischen Simulationstool „Athena“ mit einer Prozesssimulation die Bestimmung der piezoresistiven Eigenschaften der Widerstandsgebiete. Hier fließen das von der Dotierkonzentration des Siliziums abhängige Ladungsträgerbeweglichkeitsmodell nach Arora sowie das Modell zur Beschreibung der piezoresistiven Eigenschaften in Abhängigkeit von der

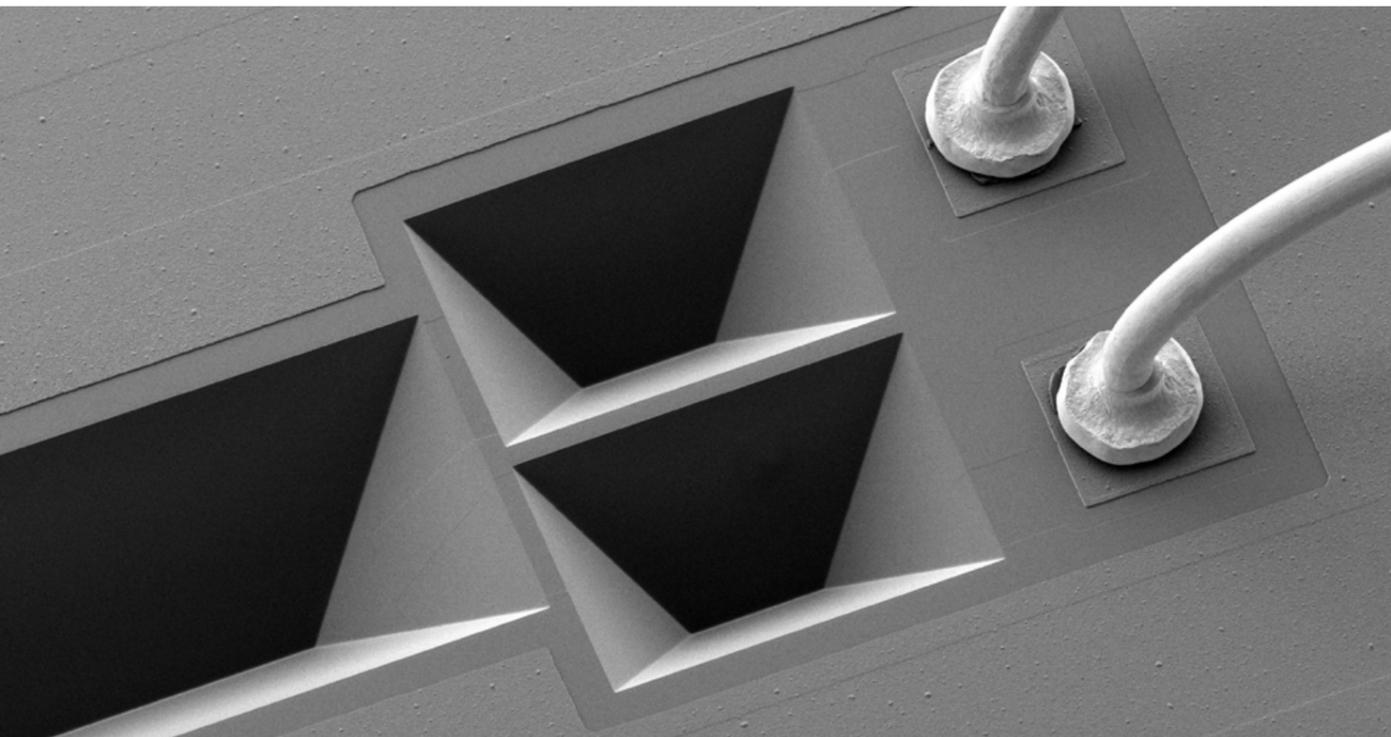
mechanischen Spannung, der Ladungsträgerbeweglichkeit und der Dotierkonzentration nach Richter ein. Ergebnis ist die Verteilung des spezifischen Widerstands in den Teilwiderständen. Hier liegt ein tensorieller Zusammenhang vor. Über die Bestimmung von Stromdichte und Verlustleistung und thermisch-mechanische Analysen mit dem FEM-Simulationstool „ANSYS Multiphysics“ können Einflüsse von thermisch bedingten mechanischen Spannungen im Piezoresistor untersucht werden.

Die Nutzung dieses Workflows ermöglicht mit den hoch präzise gemessenen Druck-Temperatur-Kennlinien für die modellierten Drucksensoren eine genaue Bestimmung verschiedener Materialparameter. ●



GEFÖRDERT

3D FUNKTIONALISIERTE FOTODIODEN



Fotodioden und -arrays sind fester Bestandteil optischer Sensoren und dienen der Umwandlung von Licht in elektrische Signale. Bedingt durch die üblichen Halbleiterprozesstechnologien (Front-End) sind Fotodioden meist planar – also in erster Näherung 2D-Baugruppen. Die für die jeweilige sensorische Aufgabe benötigten optischen und mechanischen Elemente, wie z.B. Linsen, Gitter, Lichtleitfasern oder Abstandshalter, müssen nachträglich mit verschiedenen Verfahren der Aufbau- und Verbindungstechnik (Back-End) angebracht und ausgerichtet werden. Diese etablierte Herangehensweise bringt einige Nachteile bezüglich erreichbarer Genauigkeit und Kostenstruktur.

Durch erweiterte Halbleiter-Technologien ist es heute möglich, bereits auf Waferebene die Fotodiode selbst als dreidimensional geformtes Bauteil mit erweiterter Funktionalität zu realisieren. So können beispielsweise Kavitäten, Durchführungen und geneigte Flanken geometrisch hochgenau realisiert und als sensitive (Teil-) Flächen funktionalisiert werden. Die dabei erreichbaren Toleranzen für Positionen und Winkel liegen etwa eine Größenordnung unter denen der klassischen Auf-

bau- und Verbindungstechnik. Zudem werden kompaktere Sensorbaugruppen mit meist günstigerer Kostenstruktur möglich.

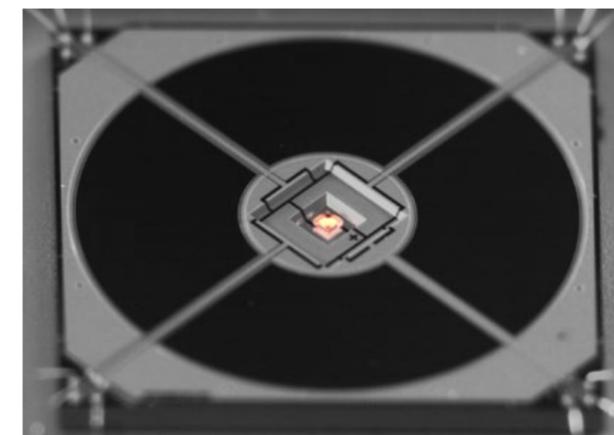
Anisotrope, nasschemische Strukturierung

Anisotrope, nasschemische Ätzverfahren ermöglichen eine richtungsselektive Strukturierung von Silizium. So erlaubt beispielsweise der Einsatz von Kalilauge (KOH) bei geeigneter Prozessführung das Ätzen entlang der (100)-Kristallorientierung und mit entsprechender lithographischer Maskierung das Freistellen von Kavitäten mit (111)-Kristallflanken. Solche Kavitäten eignen sich hervorragend dafür, nachträglich andere Baugruppen einzulassen, ohne dass diese aus der Chipebene herausragen. Auf diese Weise können sehr kurze elektrische Leitungsstrecken realisiert werden, was zu geringeren Leitungsverlusten und weniger Störanfälligkeit durch elektromagnetische Umgebungseinflüsse führt. Wird auf diese Weise eine LED integriert, wirken die Flanken der Kavität bei ent-

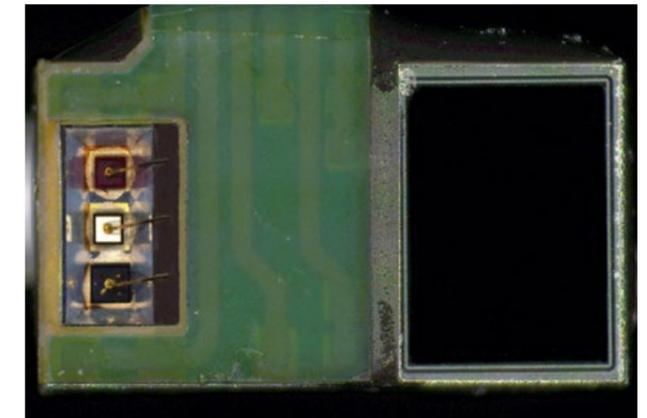
sprechender Metallisierung zusätzlich wie ein Reflektor und erhöhen den Anteil des nutzbaren Lichts für die sensorische Aufgabe.

Die mit solchen Kavitäten verbundene technologische Herausforderung ist die homogene Lackabscheidung und dessen lithographische Strukturierung über Kanten hinweg und über große Höhenunterschiede. Das herkömmliche und weit verbreitete Aufschleudern (spin coating) der Lacke kommt dabei meist nicht in Frage – stattdessen wurden hierfür spezielle Sprühbelackungstechniken entwickelt, die mit angepassten Lacken auch über scharfe Kanten hinweg homogene Lackschichtdicken erreichen können. Zudem müssen Fehlbelichtungen durch unvermeidbare Reflexionen an den Flanken der Kavitäten während der Lackbelichtung durch ein optimiertes Zusammenspiel von Lackchemie und Schichtdicke kompensiert werden. Die optische Abbildung der lithographischen Maskenstrukturen über Höhenunterschiede mehrerer 100 µm erfordert zudem spezielle Belichtungsoptiken mit telezentrischen Eigenschaften.

Mit diesen Maßnahmen ist es möglich, Leiterbahnen und strukturierte aktive Detektorflächen über Kanten hinweg und innerhalb der Kavitäten zu realisieren. Eine sich daraus entwickelte Lösungsform sind Mikro-Optische-Remissions-Sensoren (MORES), bei denen eine integrierte Lichtquelle (LED oder Laserdioden) im Zusammenspiel mit Fotodioden(-arrays) vorliegt. Dadurch, dass diese Lichtquellen und deren elektrische Anschlüsse nicht aus der Baugruppe herausragen, lassen sich sehr flache Sensoren erreichen, die vollflächig



MORES-Baugruppe für elektronische Nivellierungssensoren



MORES-Baugruppe für PPG-Sensoren zur Bestimmung von Vitalparametern, mit 3 verschiedenen LEDs eingelassen in einer Kavität.

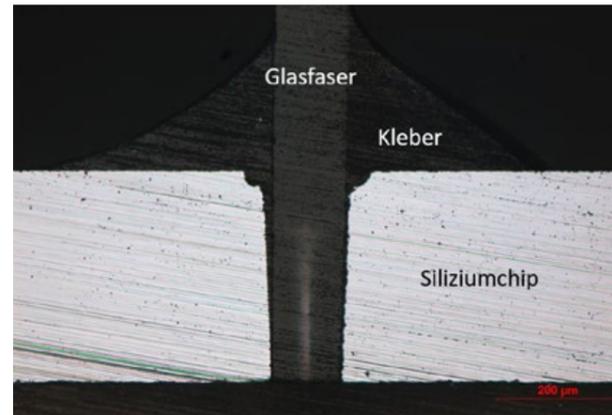
und mit einfachen technischen Mitteln an verschiedene Testobjekte angebracht werden können. Auch lassen sich so Deckgläser und optische Filter leicht integrieren und auf diese Weise verbesserte Sensorfunktionen – beispielsweise für die Fluoreszenzlicht-Anregung und -Erfassung – realisieren. Das enorme Anwendungspotential dieser Technologie wurde in 2021 durch den GMBU e.V. Jena im Rahmen eines Thüringer Innovationsgutscheins untersucht und bestätigt.

Ein Praxisbeispiel einer MORES-Baugruppe ist unten links gezeigt. Die dargestellte Sensor-Baugruppe dient dem elektronischen Auslesen der Gasblasenposition innerhalb einer Dosenlibelle und ermöglicht damit einen hochgenauen Nivellierungssensor mit einer Genauigkeit von unter 20 Winkelsekunden. Ein weiteres Beispiel ist oben gezeigt. Dieser Sensor wird mit drei unterschiedlichen LEDs (typischerweise grün, rot, infrarot) bestückt und kann als photoplethysmographischer (PPG) Sensor für die Bestimmung verschiedener Vitalparameter eingesetzt werden. Auf dieser Grundlage wurden am CiS Forschungsinstitut in den letzten Jahren Im-Ohr-Sensoren entwickelt, mit denen zum Beispiel Herzrate, Herzratenvariabilität, Blutsauerstoffsättigung und seit neuesten auch der zentrale Blutdruck optisch aus jedem einzelnen Herzschlag bestimmt werden können. Neben den bereits am Markt etablierten „wearables“ – also vorrangig am Handgelenk oder Brustbereich getragenen Sensoren – werden ähnliche Sensoren demnächst auch in „hearables“ – also im und am Ohr eingesetzten Lösungen – für Medizintechnik und Endanwender verfügbar sein. ●

Löcher zur Aufnahme optischer Fasern, Optiken und Freistrahlen

Mittels Trockenätzverfahren auf Basis reaktiver Ionen (RIE) oder Plasmen (ICP) können mit entsprechender Maskierung auch senkrechte Kavitäten und Durchbrüche im Silizium erzeugt werden. Form und Durchmesser solcher Vertiefungen lassen sich dabei im Bereich weniger Mikrometer bis mehrere Millimeter frei gestalten. Im Gegensatz zu nachträglichen mechanischen Bohrungen entstehen dabei kaum Störungen der angrenzenden Kristallqualität. Zusätzliche Passivierungsschichten bieten hochwertige Oberflächen, die nur geringen Einfluss auf die optische und elektrische Funktionalität benachbarter aktiver Gebiete haben. Aus diesem Grund können die Abstände solcher Gebiete zu so erzeugten Löchern auf unter 10 µm ausgelegt werden, was Fotodioden-Arrays ohne „blinde“ Zonen erlaubt. Gleichzeitig liegen die Positionstoleranzen zwischen den Strukturen im Bereich weniger Mikrometer oder noch darunter.

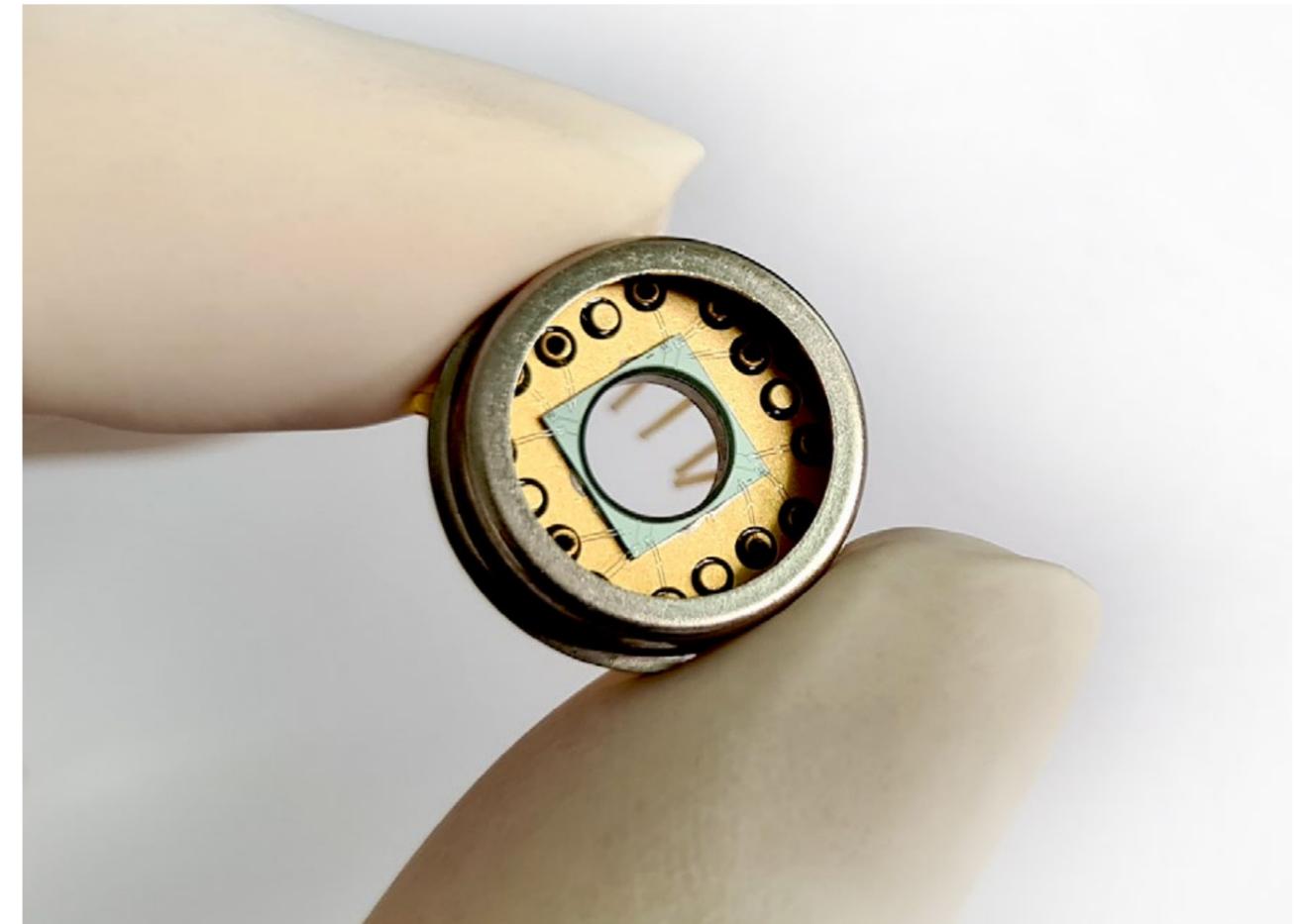
Neben der Durchführung elektrischer Kontakte von Vorder- zu Rückseite des Siliziumchips, lassen sich damit auch optische Fasern oder freie Lichtstrahlen kompakt und hochgenau zu den aktiven Detektorflächen ausrichten. Ein Beispiel hierfür ist oben rechts gezeigt. Der Querschnitt zeigt eine optische Faser, die in einer ICP-geätzten Durchführung unter einem definierten Kippwinkel montiert wurde. Durch geschickte Prozessführung wurde die Durchführung dabei leicht konisch ausgelegt, was das Einführen der Faser erleichtert. Ziel dieses Aufbaus ist die hochgenaue und reproduzierbare Ausrichtung der Faser zu darunter liegenden supraleitenden und nur etwa $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ kleinen Detektoren ohne aufwändige Maßnahmen einer optisch aktiven Montagevorrichtung. Im Projekt Fiber-Chip-Package (FKZ 49MF170023) wurde eine Positioniergenauigkeit von 1 µm realisiert.



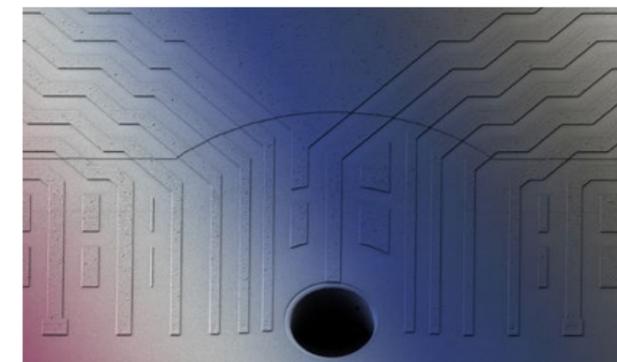
Querschnitt einer im Silizium-Durchbruch aufgenommenen optischen Faser für hochgenaue Fasermontage.

Auch andere optische Elemente wie beispielsweise Gradienten-Index-Linsenstäbe (GRIN) lassen sich auf diese Weise direkt und hochpräzise in der Siliziumbaugruppe einsetzen. Die in Abbildung unten rechts gezeigte Baugruppe ist Teil eines Laser-Tracker-Systems, das im Rahmen des BMBF-geförderten Kompetenzdreiecks Optische Mikrosysteme entwickelt wurde. Der durch die GRIN-Linse geführte Laserstrahl trifft dabei auf den zu verfolgenden Retro-Reflektor und trifft auf dem Rückweg – leicht aufgeweitet – auch die umliegenden Fotodioden, wodurch die elektronisch geregelte Nachführung des Laserstrahls gesteuert werden kann.

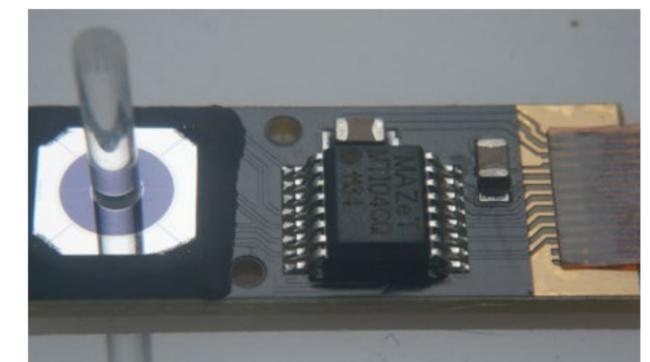
Ein anderes Beispiel ist die Führung von freien Laserstrahlen durch solche Durchbrüche. Dies kommt unter anderem bei der Streulichterfassung in der Partikelmesstechnik zum Einsatz. Von besonderer Bedeutung ist dabei ein möglichst geringer Abstand zwischen der Durchführung und der angrenzenden Fotodioden, um alle Raumwinkel des Streulichts erfassen zu können. Die technologischen Grundlagen und Designregeln zur Auswirkung des Randabstands verschiedener Silizium-Wafertypen wurden im Rahmen des Projektes „MuFoDi“ (InnoKom, MF140127) entwickelt. Mit der gezeigten Umsetzung wurde die blinde Fläche um die Durchführung herum praktisch auf null reduziert. ●



4-Quadranten-Fotodiode mit Loch



Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Durchbruchs in einem Fotodioden-Array für Freistahl-Laserdurchführung in Streulichtsensoren.

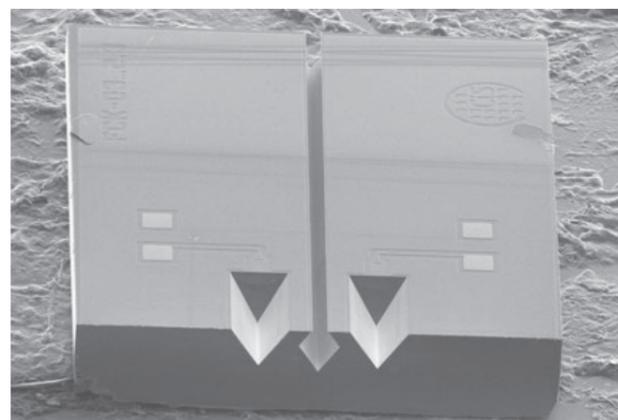


4-Quadranten-Fotodetektor mit durchgeführter GRIN-Linse für die Strahlverfolgung in einem Laser-Tracker-System.

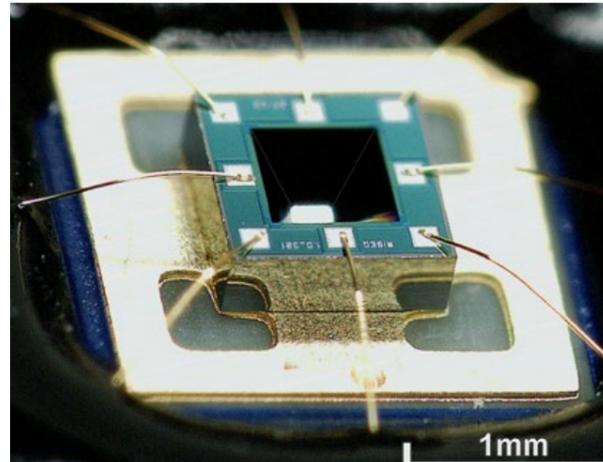
Fotodiodenarrays mit geneigten Segmenten

Mit den beschriebenen Methoden lassen sich nicht nur elektrische und mechanische Funktionalitäten der Sensorbaugruppe verbessern, sondern auch neue optische. Durch die Realisierung von Fotodioden in den geneigten Flanken KOH-geätzter Kavitäten kann auch seitlich auf die Chipkante einfallendes Licht erfasst werden. Solche Detektoren eignen sich für die Anbindung photonisch integrierter Schaltkreise (PIC). Der Vorteil: Beide Baugruppen können in derselben Ebene montiert und angeschlossen werden, was sowohl einfache Montagetechniken ermöglicht als auch flache und kompakte Bauformen erreicht. Synchron lassen sich die relativen Positionen gleichzeitig mehrerer Kanäle durch eingestellte Ätztiefen hochgenau einstellen.

Im dargestellten Beispiel handelt es sich um einen ebensolchen Chip zur Lichteinspeisung und Detektion an einem PIC, das im Rahmen des BMBF-geförderten Kompetenzdreiecks Optische Mikrosysteme entwickelt wurde. In der Mitte der Baugruppe befindet sich eine eingelassene Kavität, die durch ein zweistufiges Ätzverfahren mit ICP und anschließend KOH-Ätzen erreicht wurde. Sie dient der Aufnahme einer Glasfaser, durch die das Anregungslicht in den optischen Schaltkreis eingekoppelt wird. Auf beiden Seiten davon befinden sich zudem Fotodioden, die auf den geneigten Seitenflächen einer KOH-geätzten Kavität erzeugt wurden. Diese erfassen das über die Chipkante eingestrahelte und von den optischen Ausgängen des PIC kommende Licht.



Faser-Chip-Kopplung mit integrierten 2-Kanal Fotodetektoren.



Lichteinfallswinkel-Sensor mit Fotodioden auf den geneigten Flanken einer nasschemisch erzeugten Kavität.

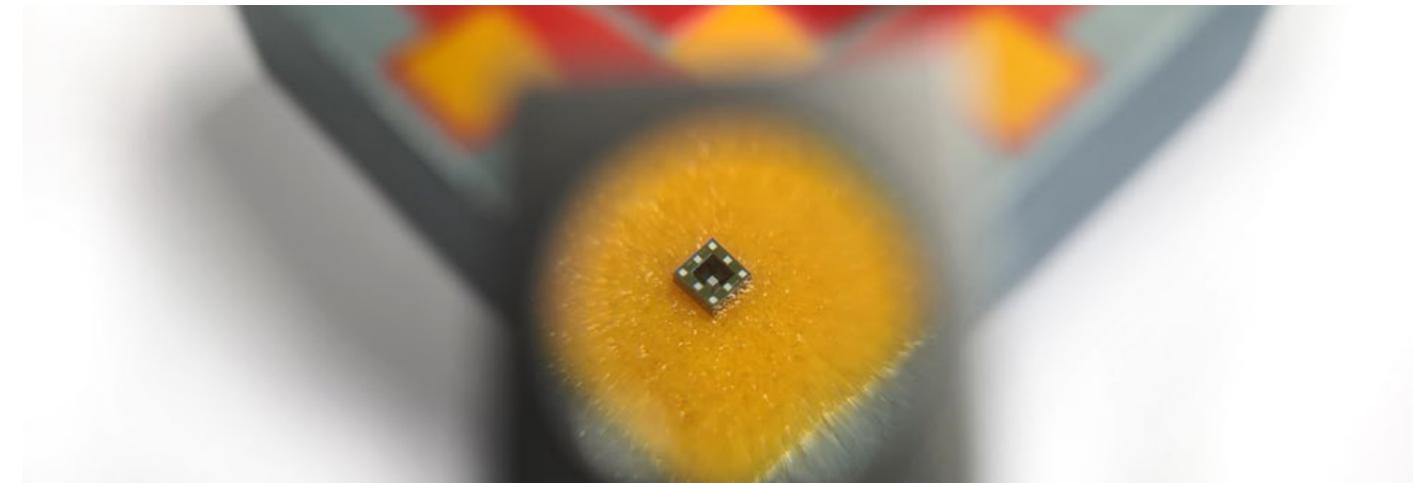
Ein anderes Anwendungsbeispiel dieser Technologie ist der oben dargestellte Lichteinfallswinkelsensor. Bei den bisher verfügbaren Alternativen werden meist Gitter oder andere Schattenelemente über den Detektoren montiert, was Größe und Herstellungsaufwand erhöht. Hier befindet sich hingegen auf den vier Seitenwänden der Kavität jeweils eine großflächige Fotodiode, die dadurch mit sehr gut definierten Ausrichtungswinkeln das einfallende Licht erfasst. Je nach Einfallsrichtung ändert sich die projizierte Fläche der Fotodioden und somit die erfassten Fotostrome, sodass aus den Signalverhältnissen leicht auf den Lichteinfallswinkel geschlossen werden kann. Dieser Sensor ist in der Lage, den Lichteinfall in beiden Halbraumwinkeln mit einer Genauigkeit von unter 2° zu bestimmen. Derartige Sensoren werden in laufenden Projekten (beispielsweise „LightControl“, ZIM-Projekt ZF4001704GM9) in Fassaden- und Fensterelemente integriert und dienen der Regelung von Verschattungsanlagen moderner Gebäudekomplexe. ●

Fazit und Ausblick

Neue 3D-Technologien für Fotodioden und -arrays ermöglichen zusätzliche Funktionen des Silizium-Detektor-Chips. Zum einen werden mechanische und optische Funktionen erweitert, wie z.B. genau ausgerichtete Träger für Lichtleitfasern oder Reflektoren für hybrid integrierte Lichtquellen. Dabei können Positionstoleranzen unter ein Mikrometer sowie minimale Abstände zu fotoaktiven Gebieten von unter $10\ \mu\text{m}$ – ohne negative Auswirkungen auf deren elektrischen Eigenschaften – erreicht werden. Zum anderen können die Fotodiodesegmente auch selbst als geneigte Flächen gestaltet werden. Auf diesem Weg lassen sich äußerst kompakte Lichteinfallswinkelsensoren

oder Detektoren für integrierte optische Schaltkreise realisieren.

Das Einsatzspektrum 3D-strukturierter Siliziumdetektoren ist sehr breit aufgestellt. Es erstreckt sich von kompakten Sensormodulen beispielsweise zur Gebäudeautomation und Prozessüberwachung bis hin zu hochwertigen Laborgeräten, z.B. für die streulichtbasierte Partikelmesstechnik. Das CiS Forschungsinstitut erweitert die technologischen Möglichkeiten zur 3D-Strukturierung von Silizium kontinuierlich und nutzt diese neben Fotodioden auch für andere Detektor-konzepte. ●



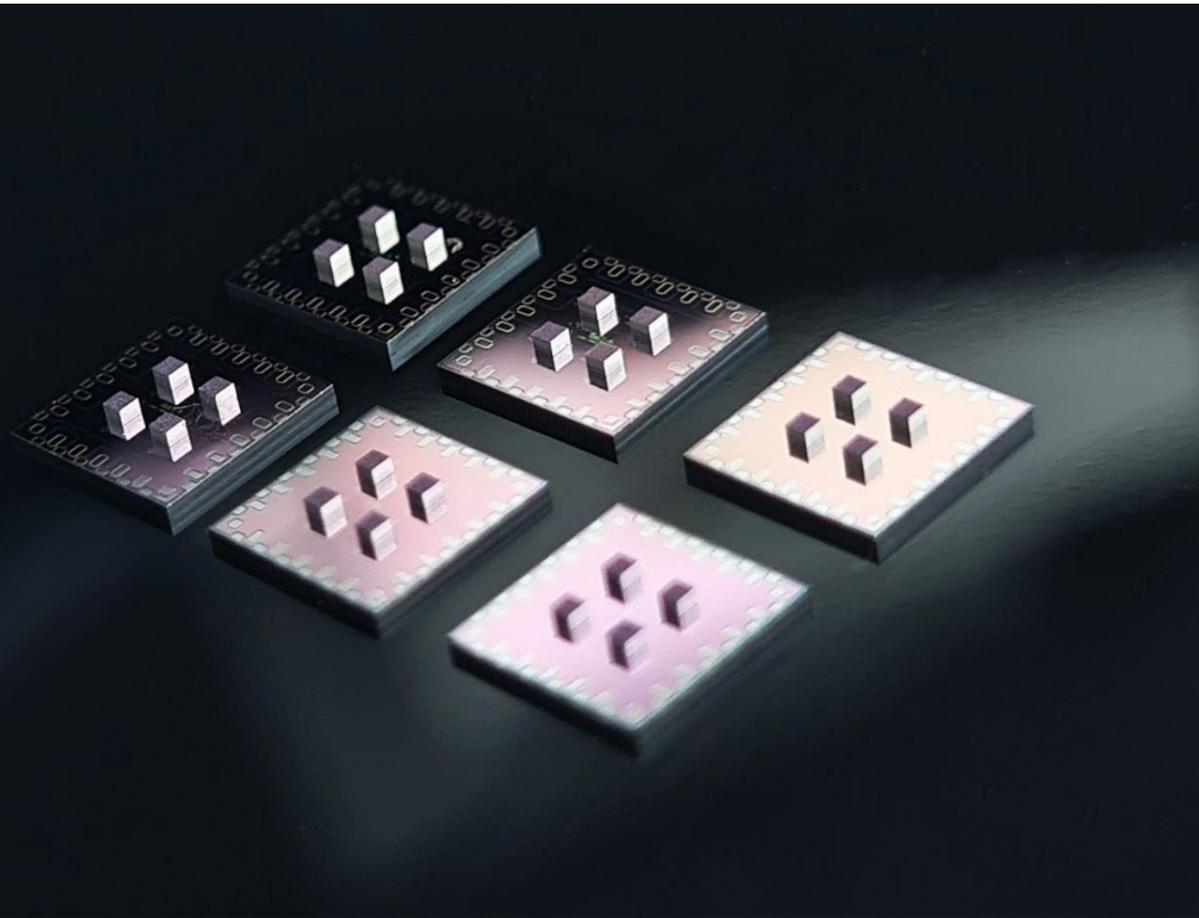
Danksagung

Teile der gezeigten Technologien und Lösungsbeispiele wurden im Rahmen verschiedener Förderprojekte und Verbundvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz erarbeitet. Unser Dank gilt den Fördergebern sowie unseren Projektpartnern. ●



GEFÖRDERT

AUFBAU – UND VERBINDUNGSTECHNOLOGIEN FÜR QUANTENANWENDUNGEN

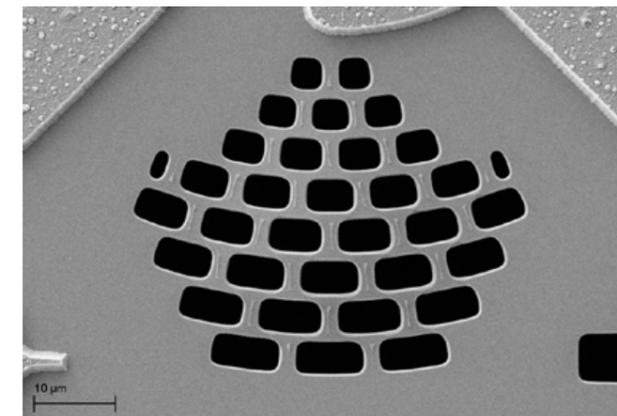


Quantentechnologien haben das Potenzial, viele Prozesse in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft spürbar zu verändern. Mit ihrem Einsatz verbindet sich die Hoffnung, hochkomplexe Aufgabenstellungen wie abhörsichere Kommunikation, Entwicklung neuer Materialien und medizinischer Behandlungsverfahren oder die weitere Automatisierung in der Industrie, schneller und präziser lösen zu können. Wissenschaftler und Ingenieure weltweit arbeiten daran, die Grundlagen für marktfähige Produkte zu legen, obwohl die Forschung und Entwicklung noch größtenteils in den Kinderschuhen stecken.

Das CiS Forschungsinstitut ist hier ein gefragter Forschungs- und Entwicklungspartner und beschäftigt sich seit Jahrzehnten mit innovativen Lösungen auf der Basis von MEMS- und MOEMS-Komponenten. Dazu gehören optische Bauelemente wie Einzelphotonendetektoren mit Silizium-Photomultipliern, Single Photon Avalanche Dioden (SPAD) sowie optische Fasern, als auch Materialentwicklungen auf der Basis von Silizium-Keramik-Verbänden (SiCer) oder lokal funktionalisierten synthetischem Diamant. Diese können in hybriden optoelektronischen Baugruppen für quanteneffektbasierte Sensoren und sogar für Quanten-

prozessoren Anwendung finden. Für die Realisierung mikrotechnischer hybrider Quantensysteme wird das CiS Forschungsinstitut die gesamte Wertschöpfungskette von der multiphysikalischen Simulation über die hybride Integration bis zur Bauelementeprüfung interdisziplinär vernetzen.

Mehr noch als in den etablierten Technologiefeldern kommt es in quantentechnologischen Systemen darauf an, kleinste Energiemengen hocheffizient, hochstabil (unter extremen Randbedingungen wie z.B. Vakuum, Tiefsttemperaturen) und auf engstem Raum zwischen Bauelementen zu transportieren und weiterzuverarbeiten. Aus diesem Grund bildet die Aufbau- und Verbindungstechnik eine Schlüsseltechnologie. Sie schlägt die Brücke vom physikalischen Messprinzip hin zu einer technisch und kostenseitig abbildbaren Realisierung, einer Pilotfertigung oder sogar einem Serienprodukt. Konventionelle Montagetechnologien, Wafer-Level-Prozesse als auch hybride Aufbautechnologien unter Nutzung von Füge- und Kontaktierungsprozessen (Kleben, Bonden, Lötten, Schweißen), Vereinzelungstechniken und Beschichtungsverfahren auch in Form komplexer Prozessketten (3D-Aufbauten, Stapelverfahren etc.) müssen ständig verbessert oder vollkommen neu entwickelt werden. Dies schließt natürlich auch die dazugehörige Maschinen- und Anlagentechnik ein. Zusammen bilden sie den Startpunkt für innovative Ansätze zur Entwicklung neuer Technologien und Montagestrategien.

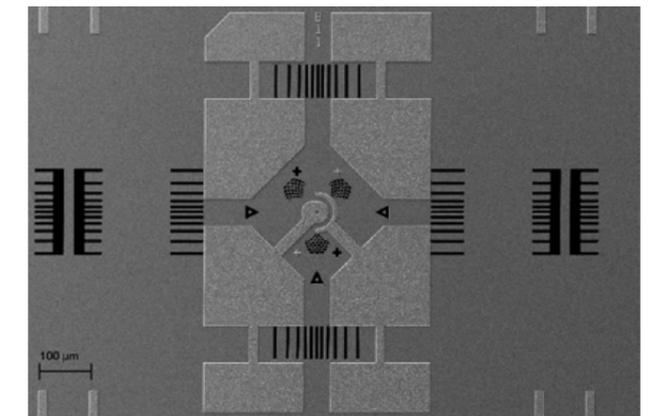


Moderne Mikrosysteme entstehen oft durch die hochpräzise Mikromontage unterschiedlicher elektronischer, optischer und mechanischer Komponenten. Die Bilder zeigen den 3-dimensional strukturierten Trägerchip für einen Einzelphotonenempfänger mit Ankopplung an eine Lichtleitfaser.

Ein Ziel ist beispielsweise die hochgenaue Montage (smart Alignment) von optoelektronischen Baugruppen, wie beispielsweise das hochgenaue Ausrichten und Fügen von optischen Fasern auf Photodetektoren. Dazu sind räumliche Setz- und Positioniergenauigkeiten von 1 µm notwendig. Ein menschliches Haar ist im Vergleich dazu ca. 50 µm dick. Ausgehend vom Einzelaufbau wird schrittweise der Montageprozess auf Industrieniveau skaliert. Neben der rein mechanischen Positionierung sind z.B. die Oberflächenspannungen, Schrumpfungseigenschaften, Ausgasungen von eingesetzten Flüssigkeiten, Klebern, Sintermaterialien oder Loten im Fertigungsprozess zu beachten.

Alle Innovationen in der AVT fokussieren auf eine höchsteffiziente Signalübertragung. Gleichzeitig ist eine reproduzierbare Fertigung unter industriellen Bedingungen mit einem Maximum an Zuverlässigkeit, Qualität, Kosteneffizienz auch bei steigender Miniaturisierung der Systeme und Bauteile verpflichtend. Aktuell befindet sich die Quantentechnologie in einer Phase, in der neueste Ergebnisse der Grundlagenforschung direkt in anwendungsspezifische Entwicklungen bzw. den industriellen Einsatz überführt werden. Hier nimmt das CiS Forschungsinstitut eine zentrale Schnittstelle zwischen Forschung und anwendungsspezifischer Entwicklung von Quantentechnologien und Produktion ein.

Einige laufende Projekte möchten wir kurz vorstellen. ●



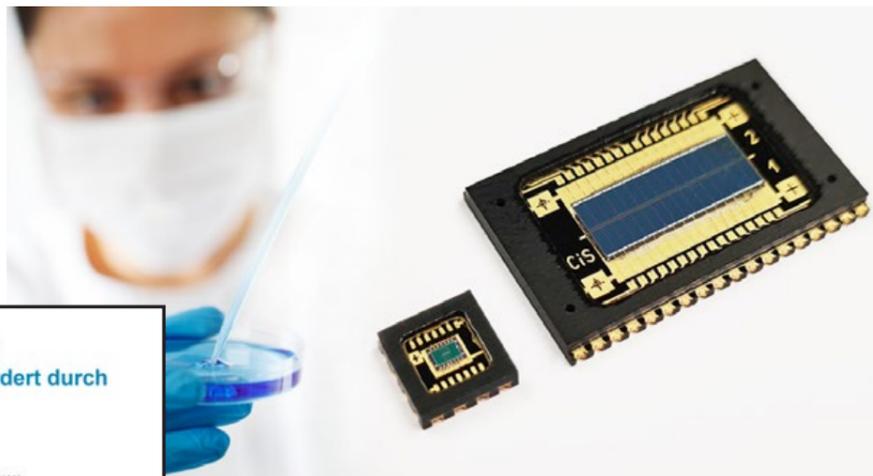
Komponenten für eine verbesserte optische Diagnostik (KODIAK)

Im Projekt KODIAK widmet sich ein Thüringer Konsortium Technologien, um laborspezifische Diagnoseverfahren auf sogenannte LAB-on-Chips zu übertragen. Das personalausweisgroße Testkit soll zum Erkennen von Sepsis oder dem gefürchteten Zytokin-Freisetzungssyndrom (cytokinereleasesyndrome, CRS) als Begleiterscheinung von Krankheiten oder Immuntherapien eingesetzt werden. Ein schneller, hochempfindlicher und quantitativer Nachweis ist hier entscheidend für das Leben der Patienten. Das System beinhaltet mikrofluidische, elektrische und optische Komponenten. Für die optische Diagnostik werden hochempfindliche SPAD (Single Photon Avalanche Dioden) Arrays eingesetzt, die Konzentrationen von pg/ml mittels Lumineszenz detektieren können. Im Teilvorhaben „Hybride Mikromontage von Mikrooptischen Sensorsystemen zur Bildgebung auf der Basis von Einzelphotonen“ wird das CiS Forschungsinstitut innovative Montagetechniken für die hybride Integration der SPAD-Arrays mit den benötigten elektronischen, optischen und mikro-

fluidischen Komponenten entwickeln und anwenden. Die daraus resultierende Packaging-Lösung stellt den ersten Schritt auf dem Weg der Systemintegration dar. Damit verbindet das CiS Forschungsinstitut Halbleiter-Waferprozess und Systemintegration auf dem Chip.

Das Verbundprojekt des Thüringer Konsortiums Fraunhofer MEOS, IMMS GmbH und CiS Forschungsinstitut GmbH, X-Fab AG, microfluidic ChipShop und Lucas Instruments gehört zum Spezialisierungsfeld „Gesundes Leben und Gesundheitswirtschaft“ der RIS3 Strategie Thüringens. Es leistet einen Beitrag zur Vorbereitung einer grünen, digitalen und stabilen Erholung der Wirtschaft, inklusive Forschung und Entwicklung, die zu diesem Ziel oder zu einer Stärkung des Gesundheitssystems beiträgt.

Das Vorhaben wird zudem durch EFRE-Mittel als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie (REACT-EU) unterstützt. ●



Investitionen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit in KMU gefördert durch das Programm Thüringen-Invest

Antragsteller-Name: CiS Forschungsinstitut für Mikrosensoren GmbH

Beschreibung des Vorhabens:
Komponenten und Module für die verbesserte optische Diagnostik - KODIAK

Teilvorhaben: Hybride Mikromontage von Mikrooptischen Sensorsystemen zur Bildgebung auf Basis von Einzelphotonen

Das vom Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und von REACT-EU kofinanziert.

EFRE bewegt
Thüringen



Projekt: Komponenten und Module für die verbesserte optische Diagnostik (KODIAK)
CiS Teilprojekt: Hybride Mikromontage von Mikrooptischen Sensorsystemen zur Bildgebung auf der Basis von Einzelphotonen
Vorhabens-Nr.: 2021 FGI 0045

GEFÖRDERT

QuantumHub Thüringen (QHubTh)

QuantumHub Thüringen vereint elf Thüringer Forschungseinrichtungen und führt deren spezifische Kompetenzen im Bereich der Quantentechnologie zusammen. Thüringen will sich als High-Tech-Standort präsentieren, Wertschöpfungsketten aufbauen und damit Innovationsgebiete mit großem Wachstumspotenzial mit Bezug zu den Innovationsfeldern der Thüringer RIS3-Strategie vorantreiben.

Das CiS Forschungsinstitut ist in diesem Konsortium für das Arbeitspaket „Hybride Integration von Quantendetektoren und Entwicklung von optischen und elektrischen Interfacelösungen“ verantwortlich. Neben dem Entwurf der Bauteile selbst, ist die Umwandlung optischer Signale in elektronische Signale ein entscheidendes Kriterium, um Informationen verarbeiten und auswerten zu können. Dafür entwickeln wir mit weiteren Forschungspartnern verschiedene Technologien und deren Integration.

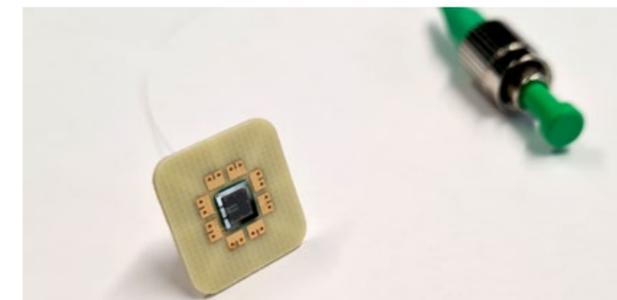
Spezialisiert für extrem genaue und anspruchsvolle Quantendetektoren für einzelne Photonen werden wir vor allem eine industrielle und skalierbare Aufbauvariante entwickeln, gekoppelt mit der experimentellen Bewertung von supraleitenden Einzelphotonendetektoren. Mittels Flip-Chip-Montage als Aufbau- und Verbindungstechnologie wird der Detektor mit einem

Silizium-Trägerchip kontaktiert. Der Trägerchip erlaubt eine weitere Anbindung, dient als mechanische Halterung und garantiert die genaue Positionierung einer optischen Faser. Die neue Technologieplattform ist Voraussetzung für eine hybride Integration von Quantendetektoren mit optischen Komponenten und einer skalierbaren elektrischen Auslese auf der Basis supraleitender Quantenelektronik.

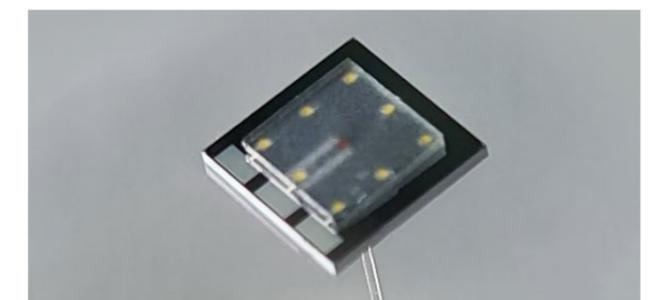
Der QHubTh wird durch das Land Thüringen unterstützt. In den nächsten zwei Jahren ermöglichen die Projekte in den drei benannten Bereichen einen wissenschaftlich-technischen Durchbruch und dienen als Leuchtturm der Marke „Quantum Made in Thüringen“.

Durch die Entwicklung von Demonstratoren werden konkrete Anwendungsperspektiven aufgezeigt, technologische Wertschöpfungsketten in Thüringen vertieft und geschlossen. Komplementäre Exzellenzfelder sowie einzigartige Infrastrukturen in der Photonik, Nanotechnologie, Elektronik sowie IT werden vernetzt.

Zudem eröffnet der QHubTh auch die Chance, Spitzenforschung in der Photonik zu betreiben und jungen Nachwuchsforschern in Ausbildung, Forschung und Industrie exzellente Bedingungen zu ermöglichen. ●



Supraleitenden Einzelphotonendetektoren



GEFÖRDERT

Die Arbeiten im Forschungsvorhaben Quantum Hub Thüringen werden durch den Freistaat Thüringen über die Thüringer Aufbaubank unter dem Förderkennzeichen 2021 FGI 0046 gefördert.

Standardisierungen in der Herstellung und Verarbeitung von Quantenmaterialien am Beispiel von NV-Farbzentren in Diamant zur Realisierung eines hochpräzisen auf Quanteneffekten beruhenden Amperemeters (DiaQuantFab)

In dem BMBF geförderten Konsortium DiaQuantFab arbeitet das CiS Forschungsinstitut gemeinsam mit Partnern an der Entwicklung mikrooptischer Sensoren auf der Basis von Stickstoff-Fehlstellen-Farbzentren in Diamant, die unter anderem für die Anwendung als Amperemeter und Magnetfeldsensoren geeignet sind.

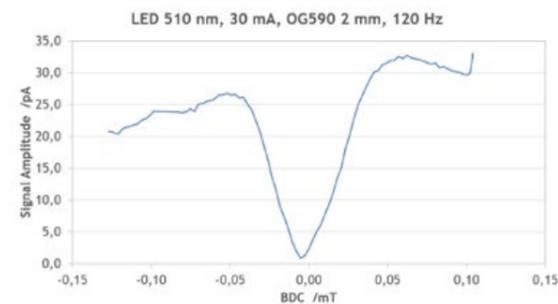
Die Baugruppen sollen mit kostengünstigen Komponenten in einem weitgehend industrialisierten Verfahren aufgebaut werden. Das CiS Forschungsinstitut wird etablierte Verfahren der Aufbau- und Verbindungstechnologie, die Mikromontage der Sensorelemente weiterentwickeln sowie bei der Sensorsystemherstellung (Demonstratoren) mitwirken. Hierzu zählt der präzise Aufbau der optischen und elektronischen Komponenten. Dazu stehen industrielle Technologiebausteine wie Automaten zum halb- und vollautoma-

tisierten Setzen und Fügen von Mikrobauanteilen sowie daraufhin angepasste Materialsysteme zur Verfügung. In der Umsetzung quantentechnologischer Sensorkonzepte ist dies eine Neuheit und für die Realisierung marktfähiger Lösungen unabdingbar. Die zu entwickelnden Demonstratoren stehen dabei als Beispiel für eine Reihe von Sensorbauteilen, Messgeräten sowie Quantenstandards und sollen eine breite Wahrnehmung quantenoptischer Technologien ermöglichen. Im Projekt wurden bereits Demonstratoren in verschiedenen Entwicklungstiefen realisiert.

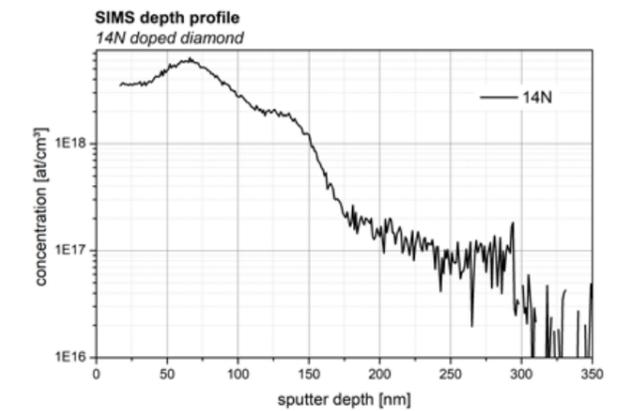
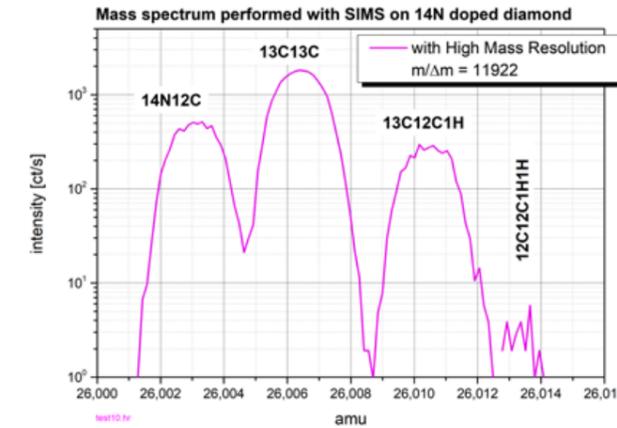
Weiterhin werden die im CiS Forschungsinstitut vorhandenen Mess- und Prüfverfahren dazu beitragen, für das Quantenmaterial Diamant ein einheitliches Verständnis von Messgrößen zu definieren, um Qualitätsstandards abzuleiten. ●



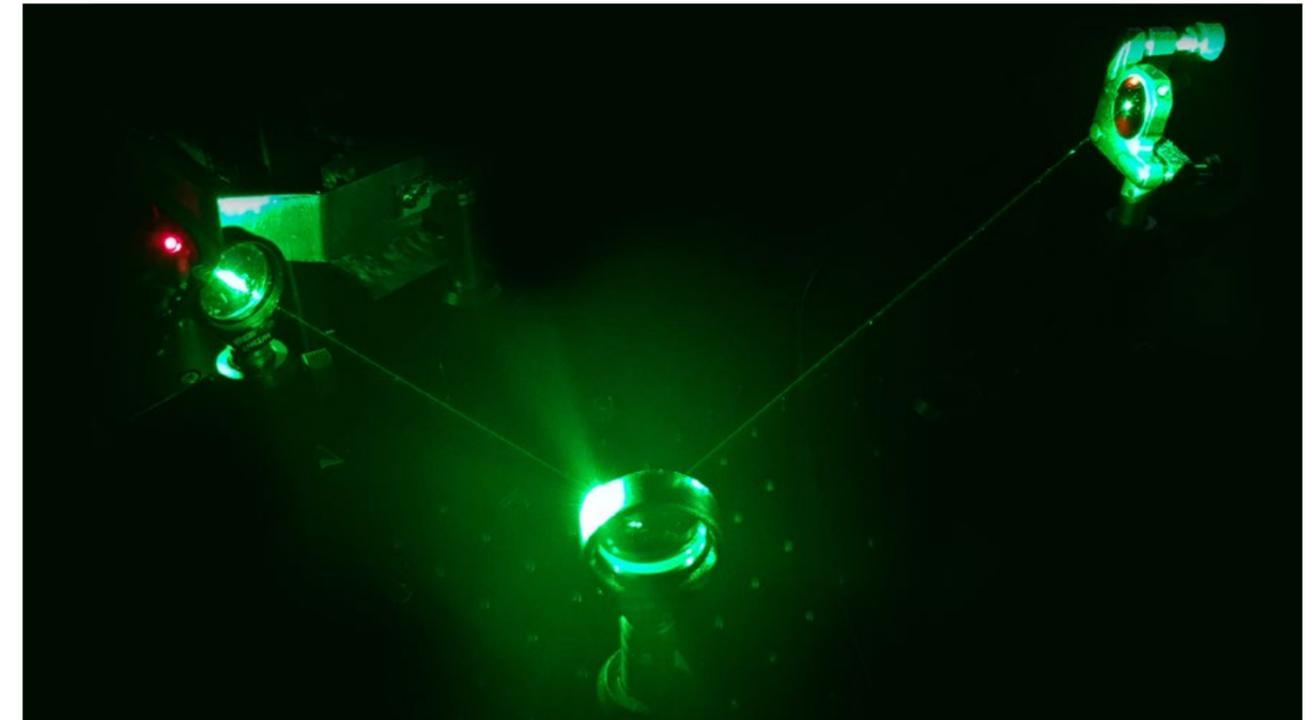
Industrialisierbare kompakte optoelektronische Strahler-Empfänger-Einheit mit zentral über der LED in der Strahlergrube angeordnetem Diamant



Die Stärke der Magnetflussdichte beeinflusst die Fluoreszenzintensität der NV-Zentren im Diamant. Dieses Fluoreszenzlichtsignal wird mit Hilfe der Photodioden detektiert (vgl. arXiv:1606.03070). Der Fotostrom der Dioden wird in Abhängigkeit des äußeren Magnetfeldes gemessen. Die klare Abhängigkeit kann im betrachteten B-Feld als Magnetfeldsensor genutzt werden.



Sekundärionenmassenspektroskopie an Diamantproben: Deutliche Trennung des $^{14}\text{N}^{12}\text{C}$ -Signals von anderen C-Ionen mit nominell gleicher Masse im Bereich 26.0031 amu (Bild a). Basierend auf dieser konnte eine Kalibrierung der SIMS-Anlage und so Messungen von Tiefenprofilen durchgeführt werden (Beispiel im Bild b). Die Stickstoffkonzentration ist maßgeblich für die erzielte Dichte der NV-Zentren. Damit steht der Diamantsynthese ein präzises Messverfahren zur Prozesskontrolle und Qualitätssicherung zur Verfügung.



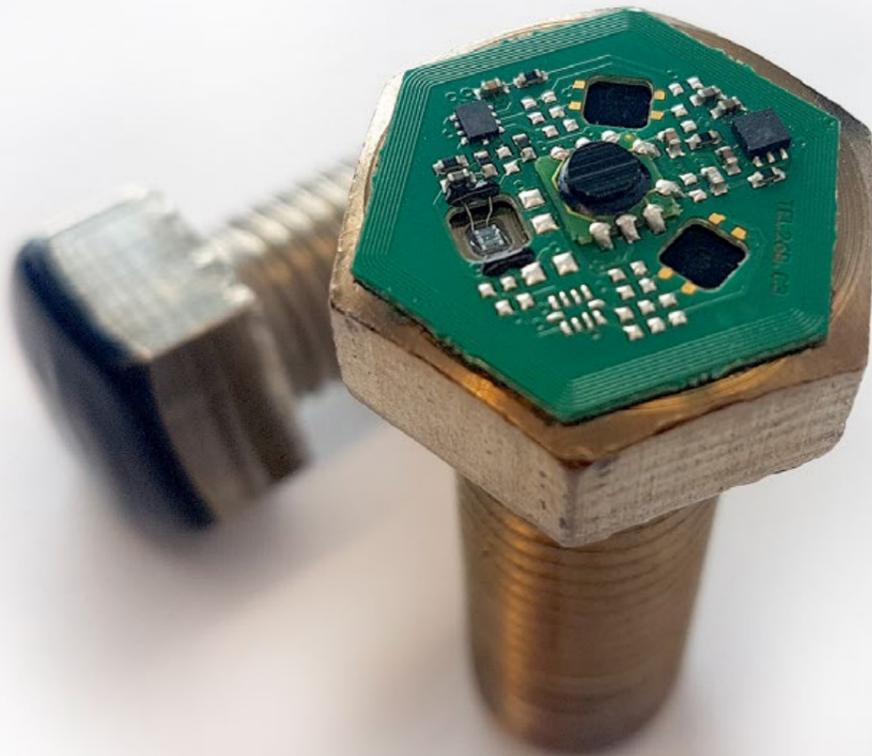
DIA QUANT FAB

GEFÖRDERT

BMBF-Call: „Schlüsseltechnologien für die Quantensensorik“
Förderkennzeichen: 13N14984

SCHRAUBEN-MONITORING

Langzeitstabile Verbindungen für Silizium-Dehnmessstreifen (DMS) durch Glaslot zur Überwachung kraftschlüssiger Verbindungen



Die Überwachung von mechanischen Verbindungen mittels Sensoren in sicherheitsrelevanten Bereichen gewinnt zunehmende Bedeutung für Industrie, Verkehr und Energiewirtschaft. Die Anforderungen an die Sensoren sind hoch. Sie müssen langzeitstabil befestigt werden, nicht in die vorhandene Konstruktion eingreifen und Schnittstellen integrieren, um Messdaten digital zu verarbeiten. Silizium-Dehnmessstreifen (Si-DMS) sind aufgrund ihrer Kompaktheit und des hohen Koeffizienten sehr gut geeignet, mechanische Spannungen auf metallischen Probekörpern wie Schrauben, Rohren und Flanschen zu ermitteln.

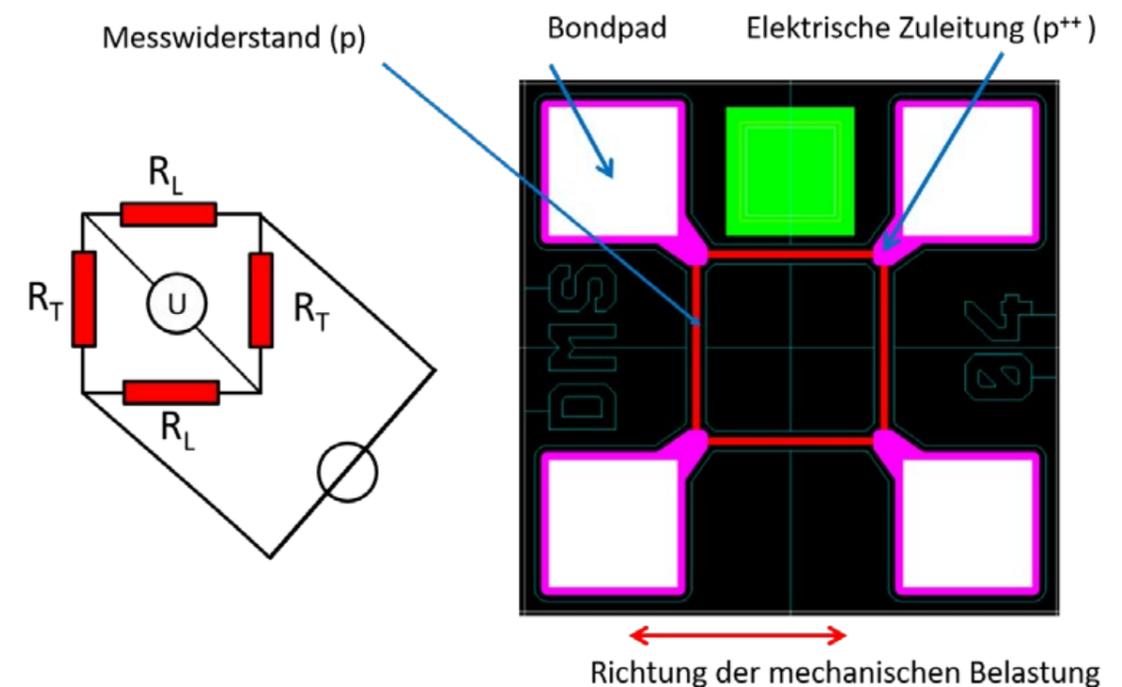
Hier wird der piezoresistive Effekt genutzt, d. h. ein

elektrischer Widerstand ändert seinen Wert unter Einfluss einer mechanischen Spannung. Si-DMS besitzen einerseits wesentlich höhere Koeffizienten (K-Faktor) von ca. 80 bis 100 im Vergleich zu Metall-DMS mit einem Koeffizienten von ca. 2. Der K-Faktor ist dabei der Proportionalitätsfaktor zwischen der Dehnung und der relativen Widerstandsänderung R/R .

Andererseits sind innovative Verfahren der Aufbau- und Verbindungstechnik notwendig, um die Si-DMS auf dem Probekörper zu befestigen. Aufgrund der Halbleitereigenschaften des Siliziums, werden die Messsignale von der Umgebungstemperatur jedoch stark beeinflusst.

Der Si-DMS besitzt eine Grundfläche von ca. $500 \times 500 \mu\text{m}^2$ bei einer Dicke von ca. $15 \mu\text{m}$. Die Waferorientierung ist (100). Vier Widerstände sind in den Chip implantiert worden. Außen befinden sich vier Bondpads, welche mittels Drahtbondung kontaktiert werden (zwei für die Versorgungsspannung und zwei für das Brückensignal). Der rote Pfeil symbolisiert die mechanische Spannung. Damit werden zwei Widerstände longitudinal, d. h. längs der Richtung des elektrischen Stromflusses, und zwei Widerstände transversal, d. h. quer zur Richtung des elektrischen Stromflusses, mechanisch belastet. Die so entste-

henden Änderungen des elektrischen Widerstandes führen zu einem Brückensignal der Wheatstoneschen Messbrücke, wobei die unterschiedlichen Vorzeichen für den transversalen und den longitudinalen Piezoeffizienten bei der vorgegebenen Waferorientierung (100) und der Richtung der Widerstände [110] zu beachten sind. Die Beträge der Piezoeffizienten sind hierbei annähernd gleich. Wenn der Si-DMS sowohl in x -Richtung als auch in y -Richtung gleichmäßig gedehnt wird, zeigt die Wheatstonesche Messbrücke kein Signal an, da sich die Widerstandsänderungen gegenseitig aufheben.



Schematische Darstellung eines Si-DMS (rechts). Im linken Teilbild ist die Verschaltung der Widerstände zu einer Wheatstoneschen Messbrücke dargestellt. Der rote Pfeil symbolisiert die mechanische Spannung.

Die vorliegende Art des Si-DMS zeigt also immer dann ein optimales Signal an, wenn die mechanische Spannung in einer Richtung angreift und keine senkrecht wirkende Spannungskomponente vorhanden ist. Dies ist für die Positionierung des Si-DMS auf den Probekörper (z.B. Schraubenkopf) von besonderer Bedeutung.

Das Aufbringen des Si-DMS auf den Probekörper erfordert große Sorgfalt. Silizium besitzt einen geringeren

thermischen Ausdehnungskoeffizienten als Stahl und andere metallische Werkstoffe, was bei Temperaturänderungen zu thermomechanischen Spannungen führen kann. Eine langzeitstabile und sichere Verbindung zwischen Si-DMS und dem Probekörper muss auch bei Temperaturänderungen gewährleistet sein. Gleichzeitig muss die mechanische Spannung an der Oberfläche des Probekörpers auf den Si-DMS übertragen werden. Einflüsse durch Drift- und sonstige Alterungseffekte sowie Hysteresen sind auszuschließen. ●

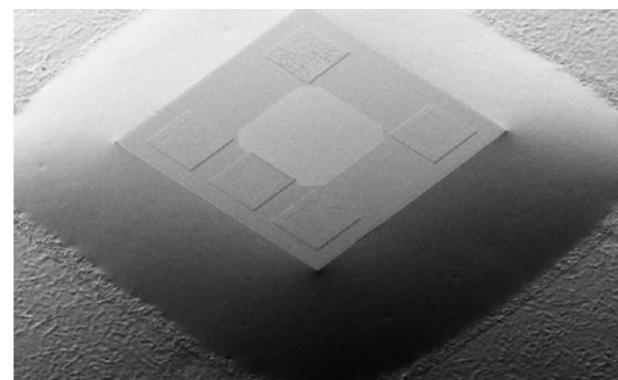
Glasfritte als innovatives Fügeverfahren

Ein innovatives Fügeverfahren für diese Anforderungen stellt der Glaslotprozess auf verschiedenen Probekörpern dar. Der Fügeprozess mittel Glasfritte findet bei einer Verarbeitungstemperatur von ca. 450°C statt.

Die wesentlichen Prozessschritte sind:

- **DOSIEREN:** Hier wird mittels Sieb- oder Schablonendruck die Glaslotpaste auf den Probekörper gedruckt. Das Glaslotpad ist üblicherweise größer als der Si-DMS.
- **VORGLASEN:** In diesem Prozessschritt wird das Glaslot getrocknet, wobei Lösungsmittel ausgetrieben werden. Danach wird entbindert, vorgeglast und die Prüfkörperoberfläche benetzt. Anschließend erfolgt eine definierte Abkühlung.
- **DIE-ATTACH:** Der Si-DMS wird manuell oder mittels eines Automaten auf das vorgeglaste Glaslotpad gesetzt.
- **BONDEN:** In einem weiteren Temperaturschritt wird das Glaslot bis auf die Schmelztemperatur erwärmt und es entsteht eine stoffschlüssige Verbindung. Anschließend erfolgt eine definierte Abkühlungsphase.

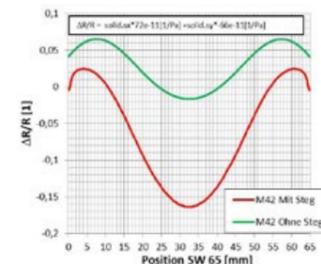
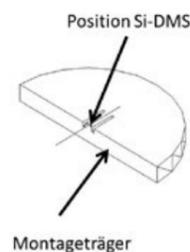
Das Zusammenspiel aus optimaler Schichtdicke des Glaslotes und angepasstem Temperaturprofil bei der Glaslot-Verarbeitung ist hierbei erfolgskritisch. Die Prüfung der Glaslotverbindung kann z. B. durch Scher- tests oder durch Temperaturwechseltests erfolgen.



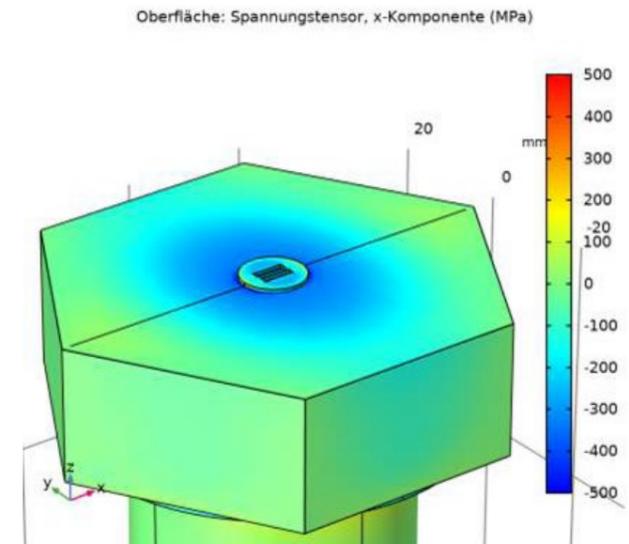
Si-DMS, der in ein Glaslot eingebettet ist. REM-Aufnahme nach dem Bonden.

Mittels Drahtbonden werden die Si-DMS an eine Leiterkarte ankontaktiert. Das analoge Brückensignal wird über eine Leiterkarte in eine entsprechende Elektronik übertragen und dort verarbeitet. Dabei ist eine Kalibrierung des Brückensignals für verschiedene mechanische Belastungen in Abhängigkeit von der Temperatur notwendig.

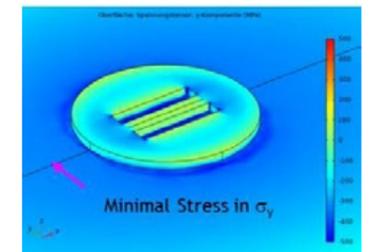
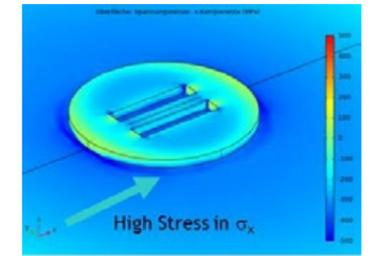
Die Überwachung der Schraubenvorspannkraft ist eine Möglichkeit, Schraubverbindungen zu überwachen. Die in Richtung der Schraubenachse wirkende Vorspannkraft erzeugt in der Fläche des Schraubkopfes mechanische Spannungen, die mittels Si-DMS gemessen werden können. Es ist aufgrund der Symmetrie ersichtlich, dass im Zentrum des Schraubkopfes mechanische Spannungen in x- und y-Richtung auftreten, die den Si-DMS durch zwei senkrecht aufeinander stehende Komponenten belasten, was nur ein minimales Brückensignal ergeben würde. Die Positionierung des Si-DMS im Zentrum der Schraubkopffläche hat aber fertigungstechnische Vorteile und wird durch den Einsatz eines Montageträgers ermöglicht. Dieser besteht aus einer dünnen Metallplatte, welche parallele Schlitze enthält. Auf dem sich bildenden Steg wird der Si-DMS aufgeglast. Dieser Montageträger wird im Zentrum des Schraubkopfes positioniert.



Prinzipdarstellung des Montageträgers (links), aufgeschnitten. Die resultierende relative Widerstandsänderung wurde in Abhängigkeit von der Position des Schraubkopfes simuliert, wobei die Schraubenmitte bei ca. 32 mm liegt. Dabei zeigt die grüne Kurve das Ergebnis ohne Montageträger und die rote Kurve das Ergebnis mit Montageträger. (rechts)



Montageträger auf dem Schraubkopf, dargestellt ist die x-Komponente des mechanischen Spannungstensors bei axialer Belastung der Schraube (links). Im rechten Teilbild sind die Komponenten des Spannungstensors in x- und y-Richtung dargestellt.



Belastungsversuche einer Schraube mit Montageträger und Si-DMS zeigen bei einer Belastung von 0 kN bis Maximum (10x) die Wirkung des Steges. Sowohl die Messspanne als auch die Linearität können noch erhöht werden. Vorzugsweise wird der Sensor im Bereich der maximalen Vorspannkraft kalibriert.

Silizumbasierte Dehnmessstreifen sind geeignet, Schraubverbindungen selbst bei schwer zugänglichen Stellen an Rohren oder Flanschen zu überwachen. Dabei sind 24/7-Überwachungen, einschließlich Echtzeitprotokolle und Netzwerkanbindungen möglich. Kundenspezifisch kann der Sensor hinsichtlich Messort und Datenübertragung (kabelgebunden, kabellos) angepasst werden. ●

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

SMARTER-SI
Smart Access to Manufacturing for Systems Integration

EPOSS
European Technology Platform on Smart Systems Integration

Horizon 2020
Programme

GEFÖRDERT VOM

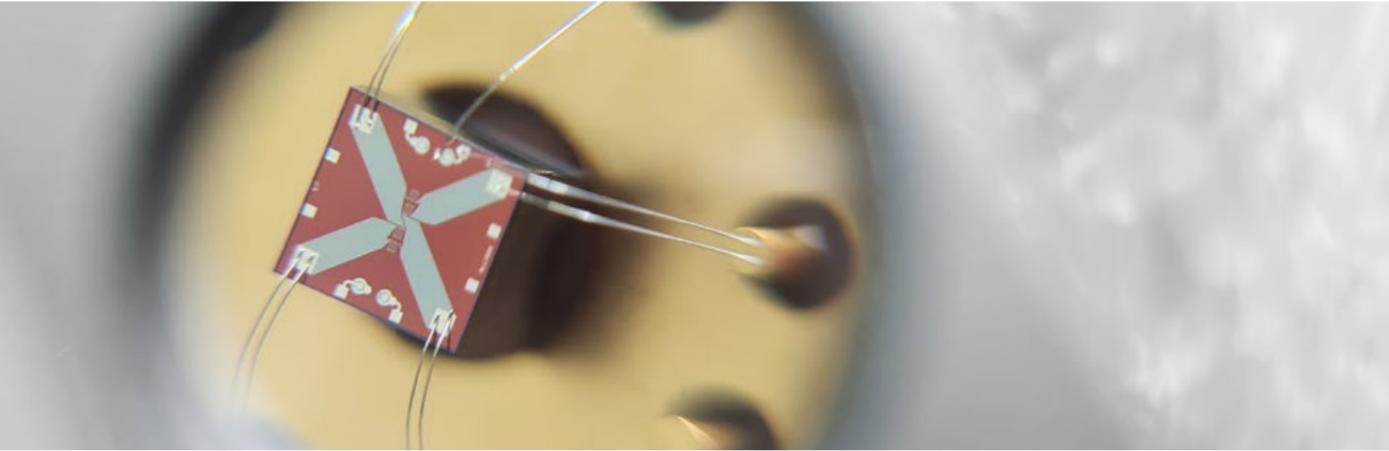
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden in den Forschungsprojekten „Bestimmung der Betriebskraft von Verbindungselementen“ (BAVI), „Aufbau- und Verbindungstechnik von miniaturisierten, siliziumbasierten Dehnmesssensoren“ (SiStGAP) sowie S(crew)F(ixing)M(onitoring) und Smarter Si durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Europäischen Kommission gefördert.

Förderkennzeichen: 49MF180012 (BAVI); MF150091 (SiStGAP); ZF4001703HB8 (S(crew)F(ixing)M(onitoring)); ICT-02-2014 (Smarter Si)

GEFÖRDERT

ANALOGE TEMPERATURKOMPENSATION FÜR HÖHERE TEMPERATUREN



Drucksensorchip-Prototyp mit integrierter Diode

Herkömmliche siliziumbasierte piezoresistive MEMS-Drucksensoren sind hinsichtlich ihres Einsatztemperaturbereiches limitiert. Dies liegt einerseits daran, dass die Widerstandselemente der Wheatstoneschen Messbrücke in Bulk-Silizium implantiert und damit lediglich durch einen in Sperrrichtung betriebenen pn-Übergang zum Substrat hin isoliert sind. Mit zunehmender Temperatur steigt durch Erzeugung zusätzlicher freier Ladungsträger im Halbleiter der Leckstrom exponentiell an. Ab einer Temperatur von ca. 150 °C wird der pn-Übergang praktisch leitfähig. Eine sinnvolle Auswertung des Messsignals ist faktisch unmöglich. Dieses Problem kann umgangen werden, indem die Messbrücke in SOI-Technologie (Silicon on insulator) hergestellt wird. Eine dielektrische Isolation zwischen Brücke und Substrat, in der Regel realisiert durch eine Siliziumoxidschicht, gewährleistet dabei einen um mehrere Größenordnungen geringeren Leckstrom. Am CiS Forschungsinstitut wurde diese Technologie entwickelt und erfolgreich erprobt.

Zum anderen ist zur Weiterverarbeitung des analogen Primärsignals eines piezoresistiven Wandlers stets ein anwendungsspezifischer integrierter Schaltkreis (application-specific integrated circuit, ASIC) erforderlich. Für Hochtemperatur-Anwendungen größer ca. 150 °C sind jedoch herkömmliche Bulk-CMOS-Schaltkreise ungeeignet.

Mangels Verfügbarkeit derartiger Schaltkreise verfolgen einzelne Hersteller alternative Lösungsansätze, um dennoch piezoresistive Sensoren bei hohen Temperaturen einsetzen zu können. Diese basieren in der Regel darauf, dass die Primärelektronik konstruktiv auf niedrigerer Temperatur gehalten wird, wahlweise durch lange Übertragungsstrecken zur Erzeugung eines Temperaturgradienten oder durch aktive Kühlung. Derartige Konzepte erfordern eine aufwendige und entsprechend kostenintensive Aufbau- und Verbindungstechnik, vergrößern den für die gesamte Messzelle erforderlichen Bauraum und wirken sich zudem negativ auf die Sensorperformance aus.

Ein weiterer Faktor, welcher die maximale Einsatztemperatur begrenzt, ist die verwendete Metallisierung. Aus diesem Grund wurde beim hier entwickelten Chip die standardmäßig verwendete AlSi-Metallisierung durch ein angepasstes, hochtemperaturfähiges Metallisierungssystem aus Titan, Platin und Gold ersetzt. Dioden eignen sich auf Grund ihres nichtlinearen temperaturabhängigen Verhaltens besonders gut für die Kompensation der typischerweise nichtlinear mit der Temperatur abnehmenden Empfindlichkeit der Messbrücke.

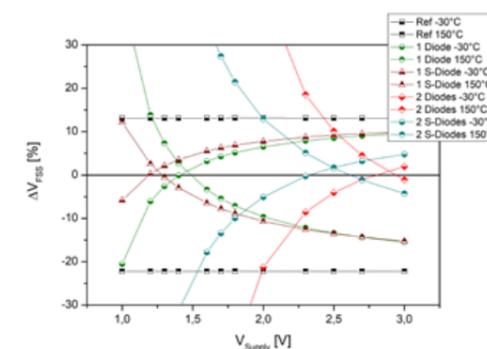
Mehrere unterschiedliche Chiplayouts wurden für die Untersuchung der verschiedenen Strategien zur Temperaturkompensation design und hergestellt. Der erste

Ansatz basierte auf hybrider Integration kommerzieller Schottky-Dioden oder neuartiger Doppeldioden mittels Thermosonic Flip-Chip-Bonden. Weiterhin wurden Layouts mit in die Wafertechnologie integrierten Dioden erstellt.

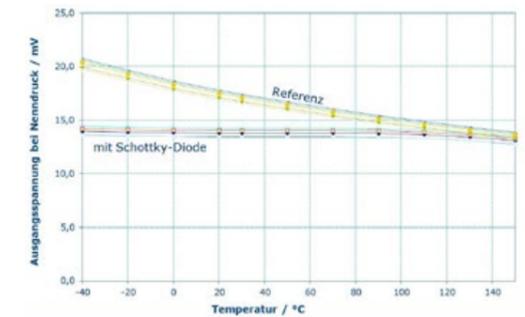
Für die Variante des Drucksensorchips mit aufgeflipten Temperaturdioden ergibt ein Vergleich der unkompenzierten und der kompensierten Ausgangssignale, dass der maximale Fehler, bezogen auf das Ausgangssignal bei Raumtemperatur, um etwa eine Größenordnung reduziert werden konnte, wobei die Kompensation bei tiefen Temperaturen sogar besser funktioniert.

Bei Verwendung von in den Si-Drucksensorchip integrierten Dioden in SOI-Technologie, erhält man auch bei höheren Temperaturen einen Temperaturkompensationseffekt.

Um das Verhalten der unterschiedlichen Schaltungsvarianten in Abhängigkeit von der Betriebsspannung zu untersuchen, wurde der maximale Fehler am oberen und unteren Ende des gemessenen Temperaturintervalls über der Speisespannung aufgetragen. Der Schnittpunkt der resultierenden Kurven zeigt jeweils die optimale Betriebsspannung an, bei der die Abweichungen an oberer und unterer Temperaturgrenze gleich groß sind und somit der maximale Fehler im gesamten Temperaturbereich minimal ist. Für die Variante mit einer Schottky-Diode lässt sich dadurch eine Abweichung < 1,1 % und für die Variante mit einer pn-Diode eine Abweichung < 0,9 % realisieren. Das entspricht einer Verbesserung im Vergleich zum unkompenzierten Sensor um etwa einen Faktor 20.



Abweichung des Ausgangssignals vom Raumtemperatur-Referenzwert an den Grenzen des gemessenen Temperaturintervalls für unterschiedliche Kompensationsschaltungen (jeweils eine oder zwei pn-Dioden oder Schottky-Dioden) in Abhängigkeit von der Speisespannung



Temperaturabhängige Ausgangsspannung mit und ohne Temperaturkompensation mittels Spannungsteiler aus Brücke und Schottky-Diode bei 1,0 V Speisespannung. Die Diode wurde mittels Flip-Chip-Montage auf dem Si-Drucksensorchip montiert.

Die analoge, auf dem Sensorchip integrierte Temperaturkompensation ist für Einsatztemperaturen bis etwa 300°C konzipiert und bietet folgende Vorteile:

- Es werden keine hochtemperaturtauglichen ASICs zur Temperaturkompensation benötigt.
- Systematische Temperaturfehler werden vermieden. Sie entstehen dadurch, dass der (konventionelle) ASIC vom Ort des Sensors räumlich abgesetzt wird und somit beide Orte unterschiedliche Temperaturen haben (Ort der Druckmessung und Ort der Temperaturmessung). Gleichzeitig wird die Dynamik des Systems bei Temperaturwechseln verbessert.
- Der benötigte Bauraum des Messsystems sowie dessen Herstellungskosten können reduziert werden.

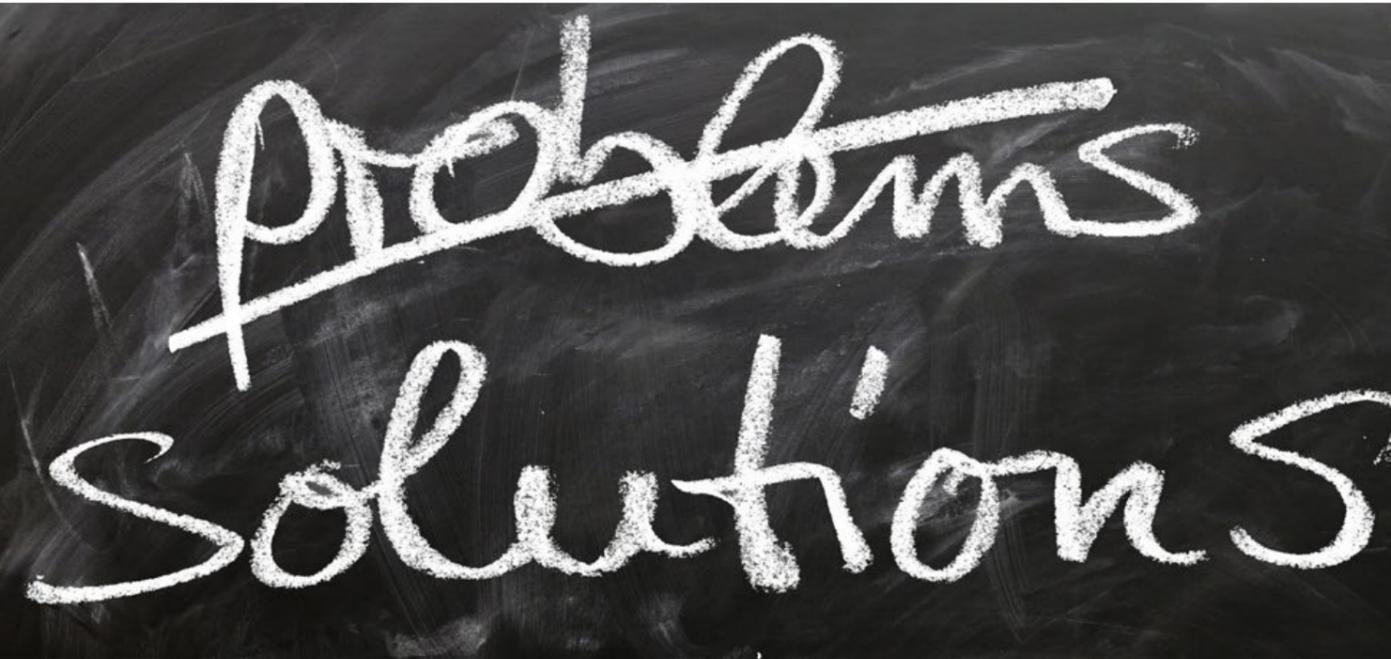
Die Lösung ist auch auf klassische piezoresistive Si-Drucksensoren im Temperaturbereich bis 130°C als analoge Vorkompensation anwendbar. Vorteilhaft ist hier, dass für die Kalibrierungen weniger Temperaturstützstellen erforderlich werden oder in Abhängigkeit von der angestrebten Genauigkeit, die Kalibrierung sogar ganz entfallen kann. ●



GEFÖRDERT

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

WETTBEWERBE & AUSZEICHNUNGEN



Innovationen fallen nicht vom Himmel. Sie entstehen als Ergebnis meist langer und interaktiver Prozesse. Werden diese Arbeiten von externen Einrichtungen und Experten gewürdigt, ist das Ansporn und Lob zugleich für uns.

CiS Forschungsinstitut erhält Auszeichnung „Innovation Award 2021 Innovationsstufe“

Seit 2012 vergibt die Senetics Healthcare Group, ein Spezialist im Gesundheitsbereich, den Innovation Award in drei Kategorien. 2021 stand der Award unter der Schirmherrschaft von Herrn Klaus Holetschek vom Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit und Pflege.

Über 230 Unternehmen hatten sich für die begehrten Auszeichnungen beworben.

In der Kategorie „Innovatives Produkt oder Patent im Healthcare-Bereich“ würdigt die Senetics Healthcare Group, Forschungs- und Entwicklungsleistungen zur Herstellung innovativer Produkte im Bereich Pharma, Medizintechnik und Biotechnologie.

Das CiS Forschungsinstitut präsentierte als zukunfts-fähige und einzigartige Produktidee einen optischen

Blutdrucksensor. Der im Ohr getragene optische Sensor kann Änderungen des zentralen Blutdrucks für jeden einzelnen Herzschlag erfassen. Zudem kann der Sensor leicht in andere Medizinprodukte und Consumer Elektronik integriert werden. Die manschettenlose, alltagstaugliche Lösung und ein hoher Tragekomfort überzeugten die Fachjury. ●



Senetics Award Kategorie Innovationsstufe

Physikteam der Uni Jena und des CiS Forschungsinstituts mit hochdotiertem Innovationspreis ausgezeichnet

Abhörsichere Kommunikation ist eines der weltweit viel diskutierten Themen. Neuartige Quantentechnologien können die Sicherheit erhöhen. Das Forschungsteam (FSU Jena, Fraunhofer IOF, CiS Forschungsinstitut) unter der Federführung der FSU Jena hatte mit dem Projekt „QuVeKS – Quantenprozessoren für verschlüsselte Kommunikation mit Satelliten“ beim diesjährigen Wettbewerb der Initiative „INNOspace“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) den mit 400.000 Euro dotierten „INNOspace Masters Award“ der „DLR Challenge“ gewonnen. Dabei standen Themen der



INNOspace Masters Award für Dr. Christian Möller (links) und Dr. Martin Jahn (rechts)

digitalen Nachhaltigkeit und der Sicherheit im All (etwa sichere Kommunikationsservices, Schutz vor Cyber-Angriffen) sowie ressourcensparende Ansätze im All und auf der Erde im Fokus.

Gemeinsam arbeitet die Forschungsgruppe an einem universell einsetzbaren Quantenschaltkreis. Dabei soll die komplette Architektur der Quantenlogik – bestehend aus Quantenlichtquellen, Wellenleitertechnologie und Quantendetektoren – auf einem kompakten Chip vereint werden. Der Chip lässt sich frei programmieren und kann dadurch für verschiedenste Anwendungen, beispielsweise in der Quantenkryptographie oder für die verschlüsselte Satellitenkommunikation eingesetzt werden.

Das Preisgeld dient der weiteren Entwicklung des Vorhabens und bietet Doktorandinnen und Doktoranden vielseitige Forschungsaufgaben. Die Auszeichnung bestätigt auch die Entscheidung des Landes Thüringens, das Kompetenznetzwerk „Quantum Hub Thüringen“ aufzubauen, um den Standort Thüringen zu einem wichtigen Zentrum der Quantenforschung und -industrie zu entwickeln. ●

Masterand wird mit Silicon Science Award geehrt

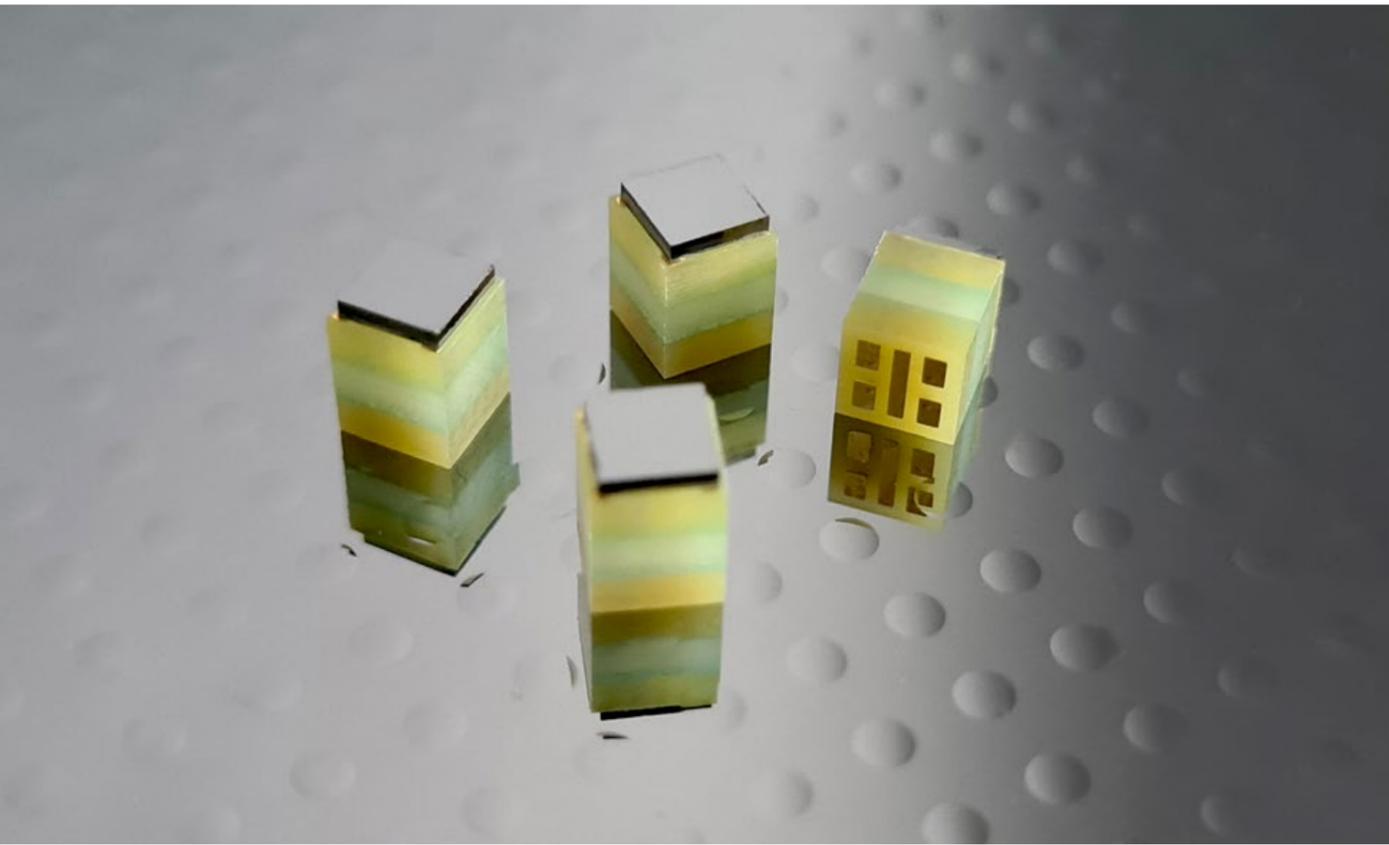
In diesem Jahr freuen wir uns besonders, dass unser ehemaliger Masterand Hitesh Jayaprakash für seine Masterarbeit „Calibration Concept of Force and Displacement sensors for Nanoindentation using Si-DMS“ mit dem Silicon Science Award ausgezeichnet wurde. Dieser Award wird regelmäßig durch den CiS e.V. ausgelobt und würdigt sehr gute wissenschaftliche und praxisbezogene Arbeiten auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik. Eine unabhängige Jury schlägt die Preisträger vor. Hitesh Jayaprakash studierte im Fachgebiet SCITEC an der Ernst-Abbe-Hochschule unter Leitung von Prof. Ronny Gerbach. Während seiner Arbeit am CiS Forschungsinstitut entwickelte Hitesh Jayaprakash ein neuartiges Kalibrierkonzept für einen Sensor zur Durchführung von Nanoindentationsversuchen. Er konstruierte und baute einen Versuchsaufbau, der das Abbesche Komperatorprinzip berücksichtigte und eine richtungsabhängige Messung von Kraft mit und entstehender Verschiebung beim Ein-

dringversuch mit hoher Auflösung erlaubte. Zudem erprobte er verschiedene Testprozeduren und bestätigte damit das entworfene Sensor-konzept. Seine Ergebnisse fließen in ein Forschungsprojekt ein, in welchem neue Technologien für die Fertigung von Nanoindentationsaufbau auf der Basis von Diamantmaterial untersucht werden. Nanointender dienen zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften, wie beispielsweise Härte oder Eindringtiefe in Materialien und dünnen Schichten. ●



Auszeichnung Silicon Science Award an der EAH Jena Prof. Ronny Gerbach (EAH), Christiane Bednarek (CiS e.V.), Hitesh Jayaprakash (EAH), Johann Lose (EAH)

THERMOPILE SENSOREN



SMD-fähige Thermopilesensoren mit Siliziumoptik

Der Infrarote (IR) Spektralbereich bietet zahlreiche sensorische Möglichkeiten. In diesem Spektrum emittieren warme und heiße Oberflächen, sodass ein berührungsfreier Zugang für die Temperaturmessung möglich ist. Dies ist für Körpertemperaturmessungen (wie beim Stirnthermometer) aber auch für sicherheitsrelevante Anwendungen oder in der industriellen Prozessmesstechnik von Interesse. Eine andere Anwendung ist die optische Gassensorik, bei der das charakteristische spektrale Absorptionsverhalten verschiedener Gasmoleküle im IR zur Bestimmung der Konzentrationsanteile in Gasgemischen genutzt wird. Auch die Gassensorik wird sowohl in medizinischen (z.B. Atemgasanalyse) als auch industriellen (z.B. Prozessgasüberwachung) Anwendungen eingesetzt.

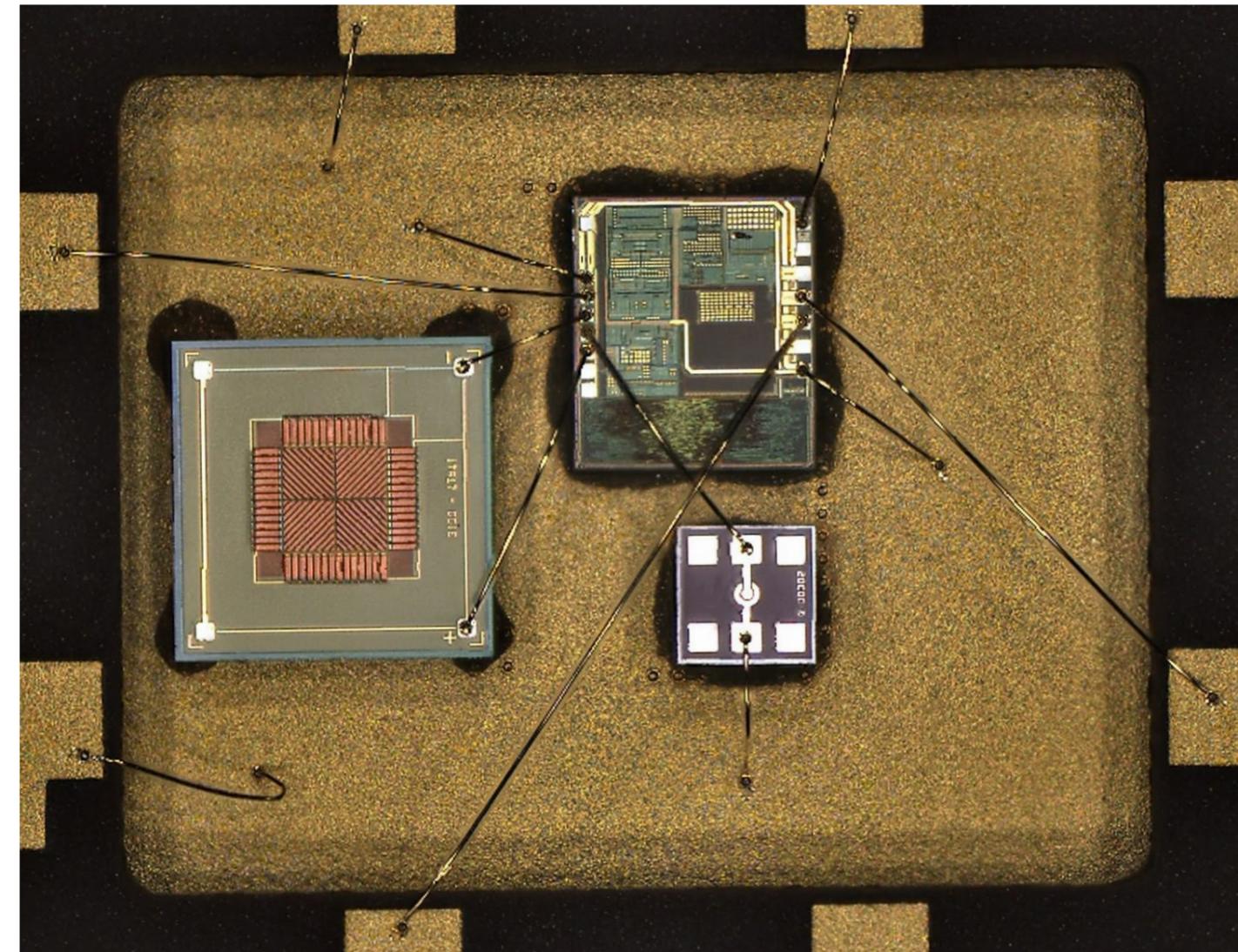
Es existieren zahlreiche Detektor-Lösungen für den IR-Bereich. Für die direkte Umsetzung absorbiertes Lichtenergie in freie Ladungsträger ist Silizium aufgrund seiner Materialeigenschaften jedoch nicht geeignet. Materialien, die dies leisten können, sind in der Regel kostspielig, benötigen aktive Kühlung und sind darüber hinaus nicht kompatibel zu CMOS-Reinraumtechnologien. Hier kommt die Thermopile-Technologie (TP-Technologie) ins Spiel. Das Wirkprinzip basiert dabei auf Temperaturunterschieden, die durch IR-Einstrahlung und Absorption innerhalb der Baugruppe verursacht werden. Durch Gebiete mit sehr geringer thermischer Masse (z.B. realisiert durch eine Membran im Chip) entstehen unter Beleuchtung lokal wärmere Regionen, denen kältere Regionen (z.B.

durch Zonen mit Volumensilizium darunter) gegenüberstehen.

Messbar wird der so erzeugte Temperaturunterschied durch den Seebeck-Effekt, der einen materialspezifischen elektrischen Spannungsunterschied zwischen heißen und kalten Enden eines Materials beschreibt. Um die Spannung zu erhöhen, werden dabei in der Regel mehrere solcher Thermoelemente in Reihe geschaltet.

Je nach Anwendungsszenario unterscheiden sich die Anforderungen an den Thermopile-Detektor deut-

lich. So werden bei mehrkanaligen Gassensoren oder spektroskopischen Anordnungen beispielsweise Arrays oder Zeilen benötigt. Anwendungen in der Prozessüberwachung benötigen, für ein möglichst kleines und definiert-begrenztes Beobachtungsfeld, hingegen eine möglichst kleine sensitive Detektorfläche. Zudem bietet es bei der Systemgestaltung Vorteile, wenn bereits auf Bauteilebene eine selektive spektrale Empfindlichkeit erreicht werden kann. Die technologischen Grundlagen für solche anwendungsspezifischen Anforderungen werden am CiS Forschungsinstitut in mehreren Förderprojekten geschaffen. ●



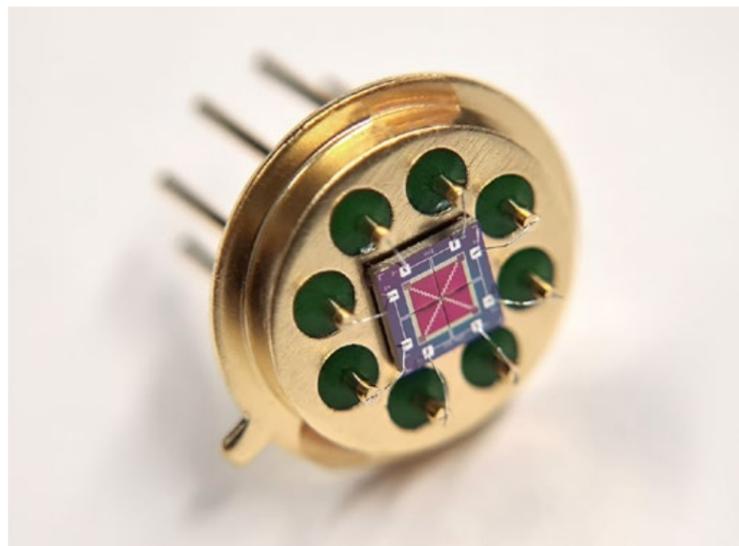
TPA

CMOS-kompatible Thermopile-Infrarotsensor-Arrays (TPA)

Das Projekt TPA zielt auf Anwendungen in der Gassensorik. Um Signaldrift- und Querempfindlichkeiten in solchen Systemen zu vermeiden, werden in der Praxis meist zwei Kanäle verwendet: ein Messkanal - empfindlich für die zu messende Gasspezies, sowie ein Referenzkanal, der (diese Spezies nicht) alle anderen Einflüsse und Änderungen im System erfasst. Das Konzept kann leicht auf mehrere Messkanäle erweitert werden. Eine geläufige Lösung umfasst drei Messkanäle sowie einen Referenzkanal. Damit alle Kanäle möglichst gleicher Beleuchtung und anderen Konditionen ausgesetzt sind, ist es von Vorteil, diese möglichst dicht innerhalb derselben Hausung zu montieren. Dies geschieht bisher meist durch die hybride Montage mehrerer Einzelchips in einem Gehäuse.

Im Projekt TPA wurde eine technologische Lösung ent-

wickelt, die alle vier Kanäle auf einem Chip vereint. Dies bietet Vorteile für eine Miniaturisierung, vereinfacht die Montage und ermöglicht geringere Kosten pro Messkanal. Die besondere Herausforderung hierbei ist die Unterbrechung von Wärmeflüssen zwischen den Kanälen, die andernfalls zum Übersprechen, sprich einer Fehldeutung der Signale führen würde. Dazu wurden die heiß-Enden der Thermopiles aller vier Kanäle auf einer gemeinsamen Sensormembran platziert und zwischen den vier Segmenten eine Unterbrechung der Membran realisiert. Die Membranen sind kaum mehr als ein Mikrometer dick, weshalb die mechanische Stabilität während der Siliziumbearbeitung und im späteren Einsatz als Risiko galt. Inzwischen liegen erste Demonstratoren vor. Diese erweisen sich als stabil für den Einsatz unter realen Bedingungen und übertreffen deutlich die anfänglichen Erwartungen bezüglich Empfindlichkeit und Unterdrückung des Wärmeübersprechens. ●



CMOS-kompatibles Thermopile-Infrarotsensor-Array

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „CMOS-kompatible Thermopile-Infrarotsensor-Arrays“ (TPA) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49MF190037

PhIR

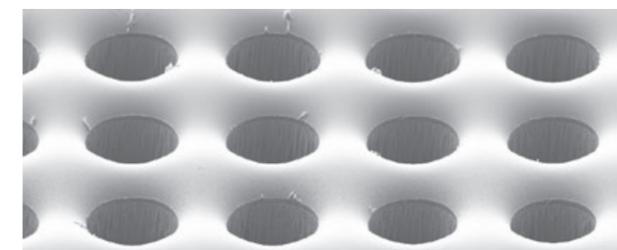
Photonische Kristalle für die InfraRot Gasanalyse (PhIR)

Im Projekt PhIR wurden Infrarot-Emitter (IR-Emitter) mit integrierten photonischen Strukturen erzeugt, die eine Einstellung der emittierten Wellenlänge ermöglichen.

In marktüblichen Lösungen werden für die Wellenlängenselektion Filter aus speziell beschichteten Gläsern oder Silizium-Wafern verwendet. Diese Filter weisen Beschichtungen mit komplexen Schichtabfolgen auf und sind kostenintensiv. Hinzu kommt, dass die hybride Montage solcher Filter über den Detektoren aufwändige Prozesse der AVT benötigen und die Miniaturisierung limitieren.

Photonische Kristalle können als fester Bestandteil in den IR-Emitter-Chip integriert werden. Dabei handelt es sich um periodische Strukturen, z.B. Löcher in einer Schicht, die mit fester Größe, Form und Abstand in oder auf der Oberfläche von Siliziumchips erzeugt werden können. Im Projekt wurden zunächst mit Hilfe von multiphysikalischen Simulationen Vorhersagen zu besonders geeigneten Material- und Geometrievarianten entwickelt.

Dabei kristallisierte sich eine technologisch vorteil-



Teststrukturen eines photonischen Kristalls, der als periodisches Gitter von runden Löchern in einer hochdotierten Silizium-Membran realisiert wurde

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

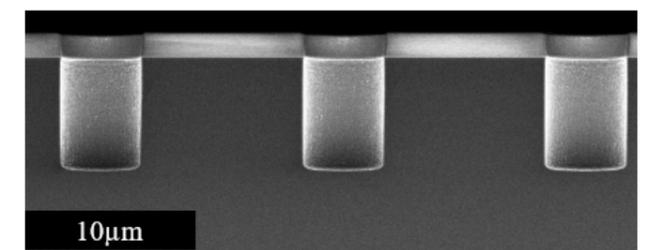
GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Photonische Kristalle für die InfraRot Gasanalyse“ (PhIR) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49MF180072

hafte Variante heraus, die mit CMOS-kompatiblen Materialien und Prozessen durchführbar war. Die Herstellungsprozesse solcher Strukturen wurden anschließend an passiven Teststrukturen entwickelt und erprobt, an denen die optische Wirkung nachgewiesen werden konnte. Dabei wurde gelernt, dass unvermeidbare Toleranzen in der Geometrie als auch in der Nanostruktur der Ätzflanken signifikanten Einfluss auf die optische Filterwirkung haben. Dieser Effekt wurde mithilfe optischer Modelle nachempfunden und grundlegend verstanden.

Im Anschlussprojekt „Gasdetektion auf Basis von in Thermopiles integriertem Absorber (PhIR-10)“ werden Thermopiles mit Absorbern auf der Basis von Schichtsystemen und ähnlicher photonischer Kristalle entwickelt. Dabei sollen die Schichtsysteme und photonischen Strukturen so gefertigt werden, dass mit einem Prozess gleichzeitig Thermopiles entstehen, die für verschiedene Wellenlängen im Spektralbereich zwischen 2 und 20 µm besonders empfindlich sind.

Diese Absorber sollen vorzugsweise als photonische Kristalle ausgeführt werden durch eine Strukturierung möglichst weniger Ebenen. ●



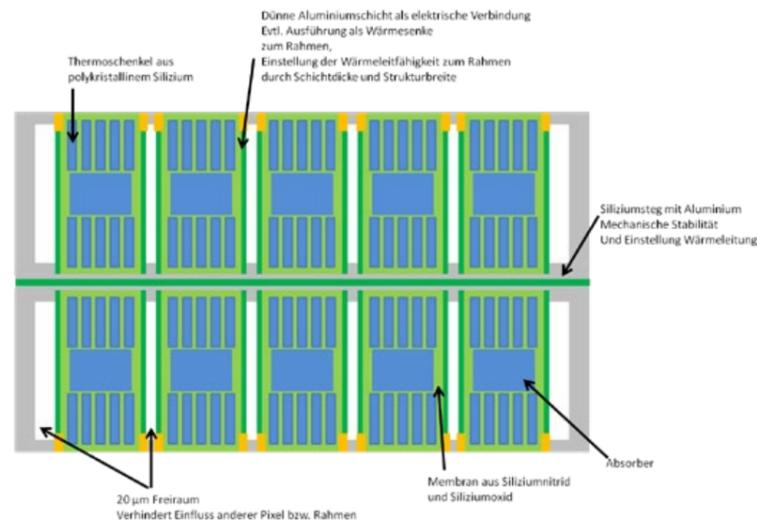
MyTZe

Mikro-Thermopile-Zeile (MyTZe)

Das in 2021 gestartete Vorhaben „MyTZe“ verfolgt die Realisierung von sehr kleinen, infrarotsensitiven Pixeln. Die Herausforderung besteht hier zum einen in der Siliziumtechnologie zur Herstellung der stark verkleinerten Strukturen, zum anderen in der Entwicklung geeigneter Designs, welche die aktiven Gebiete klar trennen und unerwünschte Einflüsse von benachbarten Gebieten unterdrücken.

Einer der verfolgten Lösungsansätze ist ein Thermopile mit einem einzelnen nur wenige μm durchmessenden aktiven Gebiet. Eine solche Lösung ist vorteilhaft für die kontaktlose Temperaturmessung, bei der mithilfe eines optischen Systems die zu messende Fläche auf die aktive Fläche abgebildet wird. Um hier möglichst kleine und scharf abgegrenzte Messflächen zu erhalten, ist ein möglichst kleines und scharf abgegrenztes aktives Gebiet von Vorteil für die Genauigkeit des Systems.

Eine andere angestrebte Lösung ist eine Zeile von mehreren kleinen Thermopile-Pixeln. In Kombination mit einem Beugungsgitter oder Prisma wird – anders



Konzeption

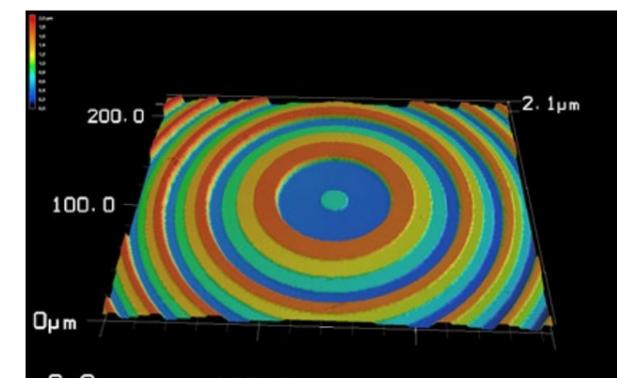
als bei der Verwendung von diskreten optischen Filtern – das infrarote Spektrum räumlich aufgeteilt. Jeder Pixel der dahinter platzierten Zeile erfasst so einen anderen schmalen Spektralbereich, wodurch neben der Gassensorik auch ein Zugang zu anderen Anwendungsfeldern in der Materialanalytik entstehen kann.

Darüber hinaus werden innovative Designs für die Eliminierung äußerer Temperaturschwankungen auf die Ausgangsspannung des Thermopiles getestet. ●

Sirio

Schneller Infrarotsensor mit integrierter Optik (Sirio)

Thermopiles sind dann besonders sensitiv, wenn große Temperaturunterschiede zwischen heißen und kalten Enden erreicht werden können. Neben der Architektur und Technologie des Sensorchips kann dieser Unterschied auch durch eine Fokussierung der Infrarotbestrahlung auf die Absorberfläche am heiß-Ende erhöht werden. Zusätzlich bewirkt die Fokussierung auch eine Erhöhung der Bauteildynamik, da die benötigte Erwärmung der heiß-Enden nach Einsetzen der Beleuchtung schneller erfolgt. So werden in der Anwendung schnellere Reaktionszeiten bzw. höhere Abtastraten möglich.



Im Projekt Sirio wurde eine solche Fokussierung mithilfe verschiedener Silizium-Linsen erprobt. Dazu wurden verschiedene Technologien zur Herstellung solcher Optiken weiterentwickelt, insbesondere Graustufenlithographie und plasmaunterstützte Ätzverfahren für Stufengeometrien für Fresnel-Linsen sowie diffraktive optische Elemente (DOE). Zusätzlich wurden entspiegelnde Beschichtungen aufgebracht. Die erzeugten, planaren Linsen verfügen über eine sehr kurze Brennweite von nur einigen $100\ \mu\text{m}$ und können so auch in kompakten Gehäusen als Deckel verwendet werden. Zur Demonstration wurde ein Leiterkartengehäuse entwickelt, welches im Vergleich zu etablierten TO-Gehäusen großes Potential zur Kostensenkung in der Serienfertigung hat. ●

Topographie eines diffraktiven optischen Elements (DOE) in Silizium, das als Sammellinse infrarote Strahlung auf die aktiven Gebiete darunter liegender Thermopile-Detektoren fokussiert



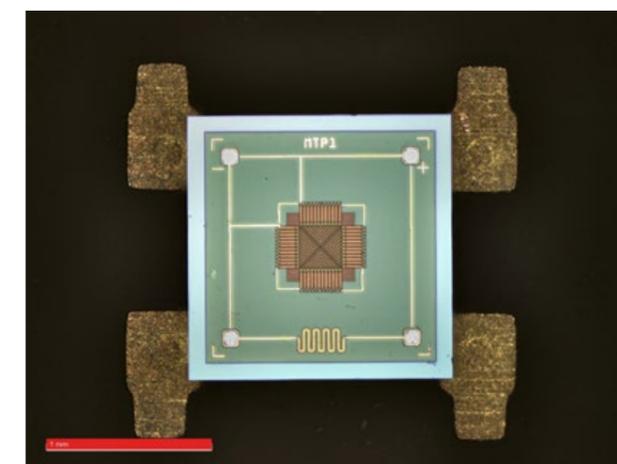
GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Mikro-Thermopile-Zeile“ (MyTZe) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49MF210069



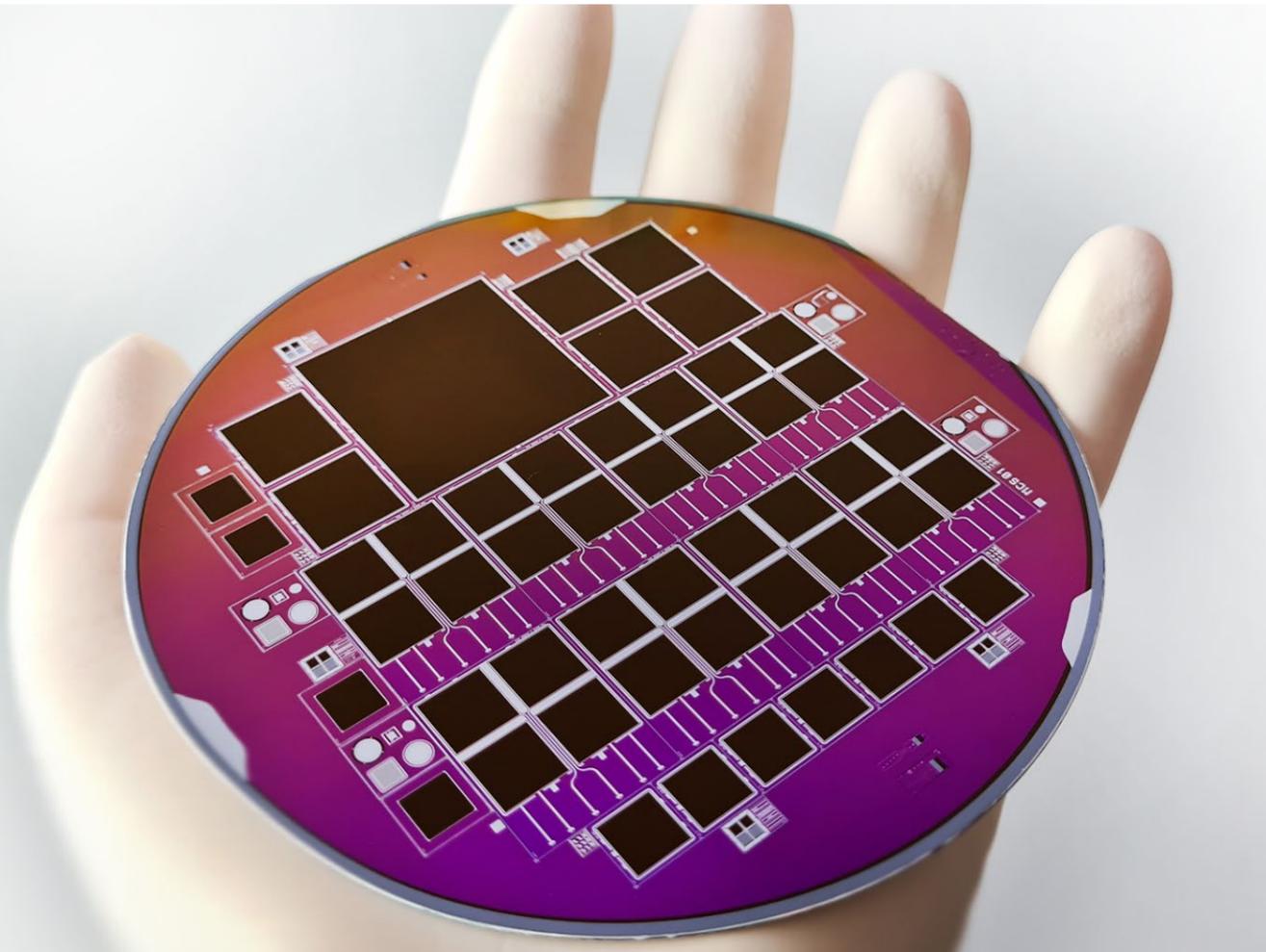
GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Schneller Infrarotsensor mit integrierter Optik“ (Sirio) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49MF180032



Infrarotsensitiver Thermopile-Detektor mit Vorbereitung zur Montage darüber angeordneter Silizium-Optiken auf Waferlevel

HOHEMPFINDLICHE PHOTODIODEN MIT FLACHEN PN-ÜBERGANG



Siliziumwafer mit fertig prozessierten Elektronendetektoren (SiekeV)

Die Messung einzelner Lichtquanten und einzelner Elementarteilchen ist eine große physikalische und technische Herausforderung. Die hochempfindliche Analyse elektromagnetischer Wellen ist für zahlreiche Anwendungen im Bereich Materialwissenschaften, Medizin und Umwelt- und Sicherheitstechnik und der Prozessmesstechnik von zentraler Bedeutung. Dabei sind zahlreiche verschiedene physikalische Größen wie Energie, Wellenlänge, Intensität, Richtung oder räumliche Verteilung entscheidend.

Eine bedeutende Rolle spielen Sensoren des CiS For-

schungsinstituts im Bereich der hochempfindlichen Photodioden. Dabei werden die Grenzen des technisch möglichen stetig erweitert, z.B. indem immer dünnere, größere und 3-dimensionale feinstrukturierte Sensoren mit extremen Anforderungen an die Lebensdauer und die Langzeitstabilität hergestellt werden müssen.

Die Grundlagen hierfür werden durch weiterentwickelte und neue Technologien für die Silizium-Wafer-Bearbeitung sowie der Aufbau- und Verbindungstechnik am CiS Forschungsinstitut geschaffen.

SiekeV

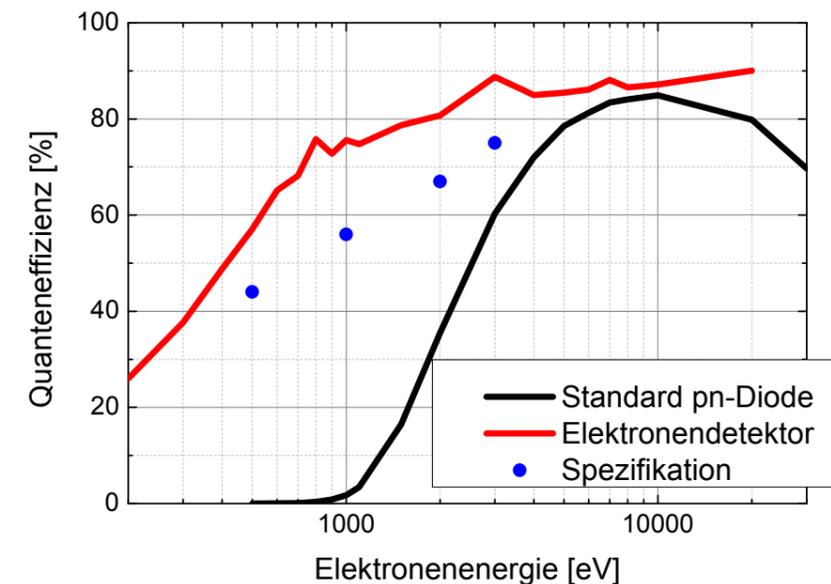
Siliziumdetektor für Elektronen mit Energien von 1 keV (SiekeV)

Eine Herausforderung auf dem Weg zur Elektromobilität ist die Kapazität der Batterie. Um diese zu steigern, ist Forschungsarbeit zu leisten. Dabei ist insbesondere die Oberflächenbeschaffenheit der Kathode von Lithium-Ionen-Batterien entscheidend. Eine Charakterisierung dieser Oberflächen mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) spielt dabei die wesentliche Rolle. An der Verbesserung solcher Rasterelektronenmikroskope zur Analyse oberflächennaher Strukturen ist das CiS Forschungsinstitut mit dem Projekt SiekeV beteiligt.

In dem Projekt geht es darum, die Quanteneffizienz von Siliziumdioden bezüglich der Einstrahlung niederenergetischer Elektronen zu erhöhen. Durch die Detektion niederenergetischer Elektronen ist es möglich, sehr oberflächensensitiv REM-Aufnahmen zu machen.

In diesem Projekt konnte nun ein regelrechter Durchbruch erzielt werden. Erreicht wurde dies durch eine Optimierung der Prozessparameter. Es konnten neue Design rules erstellt werden. Wesentlich ist dabei die Tiefe des pn-Überganges sowie die Dicke des Deckschichtsystems. Beides konnte deutlich reduziert werden, so dass niederenergetische Elektronen im Silizium mit hoher Quanteneffizienz Elektronen-Loch-Paare erzeugen können.

Ein Vergleich, der in diesem Forschungsvorhaben hergestellten Detektoren mit mehreren Konkurrenzanbietern durch unseren Partner und LOI-Geber Carl Zeiss Microscopy AG ergab, dass unsere Detektoren die besten waren - hinsichtlich der entscheidenden Parameter der Quanteneffizienz bei niedrigen Elektronenenergien und der Plasmastabilität. ●



Quanteneffizienz als Funktion der Elektronenenergie für den in diesem Projekt entwickelten Elektronendetektor und eine Standard-p-n-Diode

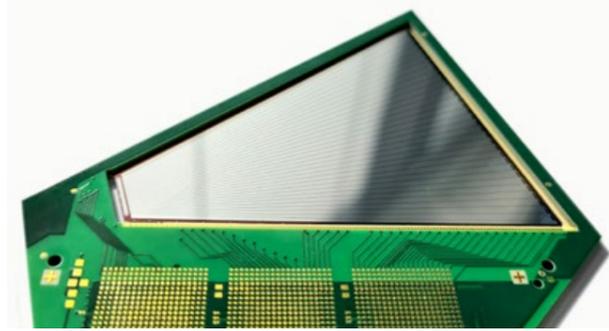


GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Siliziumdetektor für Elektronen mit Energien von 1 keV“ (SiekeV) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) gefördert. Förderkennzeichen FKZ: 49MF180076

DLAT Doppelseitige, großflächig gedünnte Strahlungsdetektoren (DLAT)

Im Projekt DLAT (Doppelseitige, großflächig gedünnte Strahlungsdetektoren) wurde eine neue Technologie für lokal abgedünnte aktive Gebiete entwickelt. Anstelle von der Bearbeitung vollflächig abgedünnter Siliziumwafer und den damit einhergehenden Risiken von Bruch und spannungsbedingter Waferverbiegung wird hier nur der aktive Bereich auf 100 µm Siliziumrestdicke ausgelegt. Dies geschieht mithilfe lokaler, nasschemischer Ätzschritte, wobei der Detektor einen dickeren Rahmen behält, mit dem die Sicherheit für mechanische Stabilität bei Handhabung und Montage gewährleistet wird. Die Herausforderung bestand insbesondere darin, nach der Ätzung eine ausreichend gute Oberflächenqualität zu gewährleisten und die lithographische Strukturierung der Detektorstreifen so-



Geklebt und gebondetes Modul, bestehend aus Sensor, Trägerrahmen und PCB.

wie deren elektrische Zuleitungen über große Höhen unterschiede und geneigte Ätzflanken hinweg zu realisieren. Zudem wurden schonende Lösungen für die Montage – insbesondere bei der Drahtbondung entwickelt. Mit Abschluss des Projektes konnte der Erfolg dieser Maßnahmen an stabilen Detektormodulen nachgewiesen werden. ●



GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Forschungsprojekt „Doppelseitige, großflächig gedünnte Strahlungsdetektoren“ (DLAT) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49MF170023

UV-LGAD & DELGAD

Low Gain Avalanche Detektoren für Strahlung mit geringer Eindringtiefe im Silizium (UV-LGAD) & Defektengineering zur Erhöhung der Strahlenhärte von Low Gain Avalanche Detektoren (DELGAD)

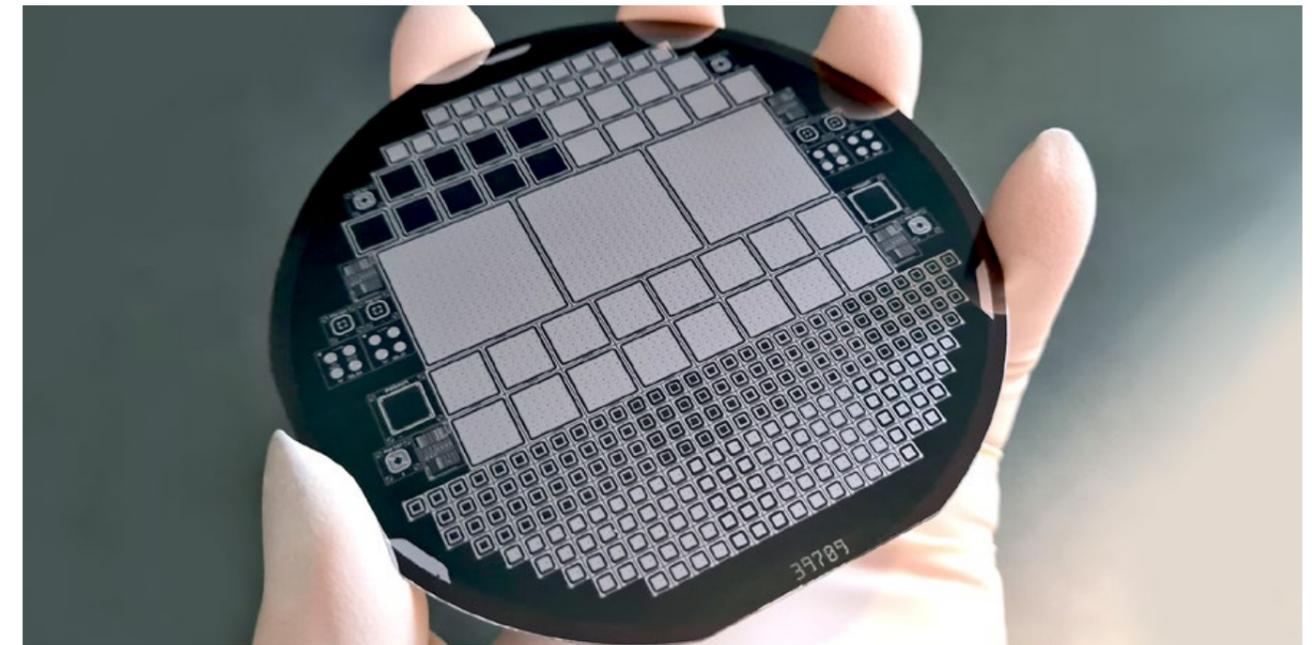
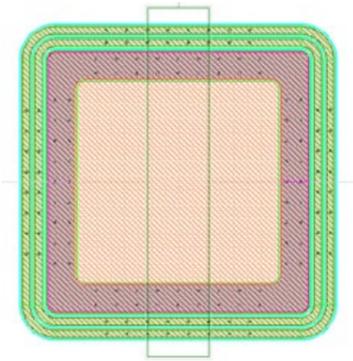
Schnelle Siliziumdetektoren sind für viele Anwendungen entscheidend. Anwendungen solcher Detektoren sind z.B. die Experimente am Large Hadron Collider (LHC) am CERN, um zeitaufgelöste Flugbahnen von Teilchen zu erhalten. Ein Konzept zur Realisierung solcher schneller Silizium-Detektoren sind Low Gain Avalanche Detektoren (LGAD). Sie kombinieren die Vorteile normaler n-i-p-Dioden wie geringes Rauschen mit einem großen Signal von Avalanche-Multiplikationsdioden. Low Gain Avalanche Detektoren (LGADs) arbeiten in einem Bereich der Ver-

stärkung von etwa 10. Der Avalanche-Multiplikationsbereich wird normalerweise durch eine tiefe Bor-dotierte Schicht erreicht. Dennoch haben diese LGADs einen Nachteil, wenn sie bestrahlt werden. Die Verstärkungsschicht verschwindet nach der Bestrahlung als Folge einer Deaktivierung von Dotierungsspezies der Verstärkungsschicht, üblicherweise Bor.

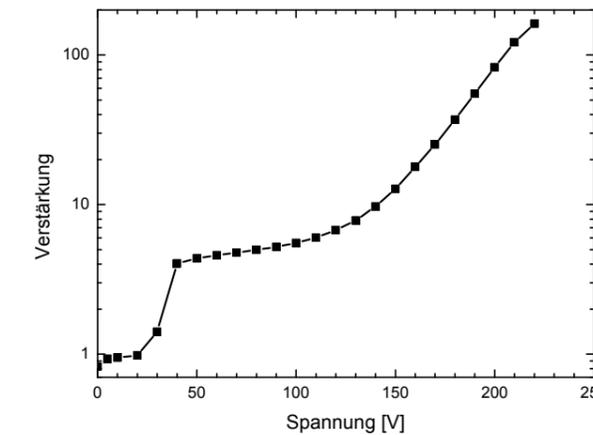
Am CiS Forschungsinstitut wird im Rahmen zweier Forschungsvorhaben an diesen LGADs geforscht. Ein

Projekt (DELGAD) hat das Ziel, mit Hilfe von Defekt-Engineering-Maßnahmen die Strahlenhärte dieser LGADs zu erhöhen. Das zweite Projekt (UV-LGAD) legt den Fokus auf die Flachheit des n-p-Überganges. Ziel ist dabei, die LGADs für Teilchen bzw. Strahlung mit geringer Eindringtiefe im Silizium zu optimieren. ●

Layout der entwickelten Low Gain Avalanche Detektoren (LGAD)



Im Projekt realisierter Siliziumwafer mit LGADs in verschiedenen Formaten



Verstärkung einer LGAD in Abhängigkeit von der Spannung. Die Verstärkung wurde durch Messung des Stroms unter Beleuchtung der p-n-Diode mit und ohne Verstärkungsschicht ermittelt.



GEFÖRDERT

Die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden in den Forschungsprojekten „Low Gain Avalanche Detektoren für Strahlung mit geringer Eindringtiefe im Silizium“ (UV-LGAD) sowie „Defektengineering zur Erhöhung der Strahlenhärte von Low Gain Avalanche Detektoren“ (DELGAD) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) gefördert.
Förderkennzeichen: 49VF200028 (UV-LGAD)
Förderkennzeichen: 49MF190042 (DELGAD)

NANOSENSE

Entwicklung eines Härtemesskopfes auf Basis eines neuartigen kombinierten Kraft-Wegsensors



Zur Bestimmung der Härte sind die Verfahren nach Vickers oder Rockwell gut bekannt. Weniger häufig verwendet wird das Martens-Härteprüfverfahren - auch als instrumentierter Eindringversuch bezeichnet. Bei diesem Verfahren werden während der Belastungs- und Entlastungsphase kontinuierlich die Kraft und die Eindringtiefe gemessen. Die Nanoindentierung, ist diesem Verfahren angelehnt und findet im Nanometerbereich statt. Der Eindringkörper ist eine Diamantspitze mit bekannter Geometrie und wird in die zu prüfende Oberfläche hineingedrückt. Aus der kontinuierlich gemessenen Kraft in Abhängigkeit vom Eindringweg können die Größen:

- Härte eines Materials,
 - reduziertes Elastizitätsmodul
 - Kriechen des Materials
- bestimmt werden.

Der minimale Eindruck erlaubt ein Mapping zur Untersuchung der Variation der mechanischen Eigenschaften, vor allem von Korn- und Phasengrenzen über einen größeren Probenabschnitt durchzuführen.

Verfügbare Messgeräte besitzen daher hochauflösende Kraft- und Wegsensoren. Sie sind aufwendig gestaltet und benötigen äußerst präzise Führungen in einem sehr steifen Gestell. Im Projekt wird ein miniaturisierter Kraft- und Wegsensor zur Bestimmung der instrumentierten Eindringhärte entwickelt.

Das Funktionsprinzip

Der Messbereich für die Prüfkraft reicht bis 100 mN, für den Wegsensor sind maximal 5 µm erforderlich. Das Messsystem wird mit zwei kombinierten Kraft-Weg-Sensoren realisiert. Diese sind übereinander angeordnet und durchdringen sich gegenseitig. Der Eindringkörper, ein Berkovich-Diamant auf einem Stahlstab, ist am oberen Kraftsensor befestigt. Er durchdringt den unteren Sensor berührungslos, welcher nur als Wegsensor agiert. Der obere Sensor misst die auf den Diamanten wirkende Kraft und den vom System zurückgelegten Weg, abzüglich der Eindringtiefe. Der untere Sensor, zugleich der nachgiebigere, misst nur den Gesamtweg. Aus beiden Daten kann die gesamte Kraft-Eindringtiefe-Kurve berechnet werden. Auch der Aktor zur Generierung der Kraft kann über den unteren Sensor geregelt werden.

Der Vorteil dieser Lösung ist der kompakte und gleichzeitig hoch präzise Aufbau. Dadurch, dass beide Messstrecken und die Messkraft auf einer Linie liegen, genügt die Anordnung nach dem „Abbeschen Komparatorprinzip“.

Die Kraftsensoren sind aus Silizium aufgebaut und beinhalten vier piezoresistive Messbrücken. Diese können sowohl Kraft und Weg in Richtung der Eindringtiefe als auch die Verkipfung messen und so die Qualität der Messung bewerten. Dadurch, dass beide Sensoren auf engstem Raum angeordnet sind, werden Abweichungen, welche in der Führung und Positionsteuerung entstehen, nahezu vollständig kompensiert.

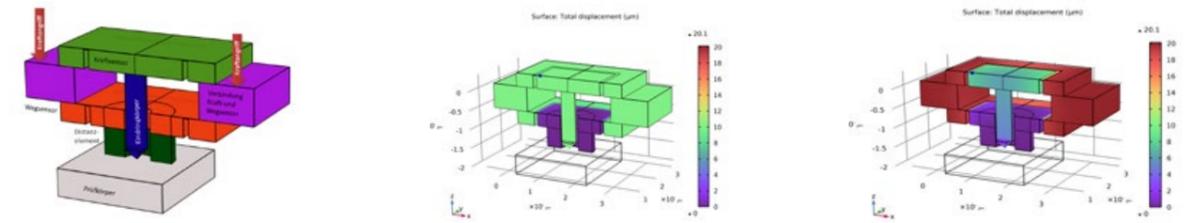


Illustration des Funktionsprinzips, a) geometrischer Aufbau, b) Anfang der Bewegung, c) Abschluss des Eindringversuchs.

Die Abbildung oben zeigt den prinzipiellen Aufbau des Systems. Es besteht aus 3D-Kraftsensoren aus Silizium. Diese beinhalten vier piezoresistive Messbrücken an jeder Seite einer Biegeplatte mit einem biegesteifen Zentrum. Dieser Sensor ist fähig, Betrag und Winkel eines Kraftvektors zu bestimmen. Durch die Dicke der Biegeplatte wird die Empfindlichkeit auf Weg bzw. Kraft definiert.

Der Wegsensor ist in Richtung hoher Nachgiebigkeit, der Kraftsensor in Richtung hoher Steifigkeit optimiert. Beide Sensoren sind fest über einen Verdrahtungsträger miteinander verbunden. Das Antriebssystem nutzt sie, um den Intender gleichförmig auf den Prüfkörper zu bewegen. Im versteiften Zentrum des Kraftsensors ist der Eindringkörper mit der Diamantspitze verankert. Der Wegsensor beinhaltet ein Distanzelement, welches mit dem Prüfkörper in Kontakt steht.

Der Messvorgang beginnt, sobald die Diamantspitze und das Distanzelement den Prüfkörper berühren. Der Wegsensor nimmt den Gesamtweg des Systems auf. Der Kraftsensor hingegen nur die Differenz aus dem Gesamtweg und der Eindringtiefe des Diamanten.

Das Messsystem besitzt folgende Daten:

- Messspanne 30 mV/V
- Sensitivität 5 mV/(V µm)
- Auflösung Weg 60 pm
- Auflösung Kraft 10 µN

Im Projekt werden erstmals Kraft- und Wegmessung als neuartige, kombinierte Elemente in eine Prüfmaschine integriert. Die neue Sensoreinheit ermöglicht erstmals die Auflösung der Kraft auf eine Genauigkeit von 100 pm, um damit präzise und quasi zerstörungsfrei auch extrem dünne Schichten großflächig zu prüfen. Hinzuzufügen ist nur ein präziser zu steuernder Antrieb. Als Grobtrieb dient die Prüfmaschine, den Feintrieb übernimmt der piezoelektrischer Linearantrieb und die Funktionsfähigkeit wird mit einem Demonstrator nachgewiesen. ●



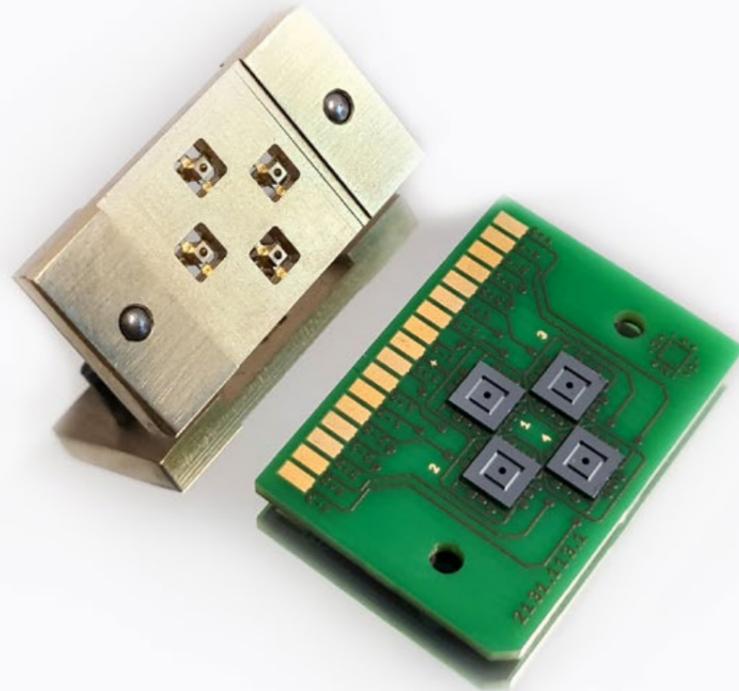
Nanoindenter, verwendet mit einer Zugprüfmaschine.



GEFÖRDERT

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Projekt „Entwicklung eines Härtemesskopfes auf Basis eines neuartigen kombinierten Kraft-Wegsensors mit einer Auflösung von 100 pm zur Ermittlung der Härte von Oberflächen im Nanometerbereich“ (NanoSense) wurden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. FKZ: KK5085702SN0

TAKTILES GREIFSYSTEM FÜR DIE SICHERE ENTSCHÄRFUNG



Erster realisierter Aufbau mit 4 Sensoren.

Noch immer werden regelmäßig Blindgänger aus dem zweiten Weltkrieg gefunden. Die nicht gezündeten Bomben weisen eine Vielzahl an Größen und Zündmechanismen auf, die eine genaue und vor allem extrem vorsichtige Herangehensweise zur Entschärfung erfordern. Welche Sprengkraft noch immer von diesen Bombenfundorten ausgeht, zeigt eindrucksvoll die Sprengung der im Jahr 2012 gefundenen Fliegerbombe in München-Schwabing. Diese konnte zuvor nicht erfolgreich entschärft werden. Durch die kontrollierte Sprengung traten massive Beschädigungen in einem Umkreis von bis zu 300 m auf.

Eine Entschärfung kann lebensgefährlich werden. Um das Risiko für Menschen zu senken, werden seit geraumer Zeit Roboter eingesetzt. Diese werden aus sicherem Abstand ferngesteuert. Hierbei muss der Roboter

beispielsweise die Zünder möglichst behutsam aus der Bombe entfernen, ohne große Erschütterungen oder Krafteinwirkungen herbeizuführen.

Dazu ist es erforderlich, dass der Greifer des Roboters den Zünder extrem sensibel bewegen muss, da sonst die Bombe zündet. Zurzeit kommen ausschließlich unflexible Greifer zum Einsatz.

Die Entschärfungsroboter

Die Roboter können mit einer Vielzahl an Werkzeugen (z.B. Winkelschleifer, Bohrmaschinen, Schlagschraubern, Haken, Halterungen etc.) ausgestattet werden. Dennoch existieren bisher für sensible Operationen keine geeigneten Greifsysteme, weshalb noch immer eine Vielzahl der hochgefährlichen Entschärfungen „von Hand“ weltweit durchgeführt wird.

In der Kampfmittelbeseitigung werden ebenfalls Roboter eingesetzt. Der Bediener befindet sich in sicherer Entfernung zum Roboter und kann bisher nur schwer einschätzen, welche Kraft der Roboter zur Handhabung oder Bearbeitung der Bomben einsetzt. Zwar hat die Robotik in den letzten Jahren exzellente Fortschritte in der sensiblen taktilen Handhabung von Gütern gemacht. Jedoch sind diese für nahezu sterile und konstante Produktionsbedingungen entwickelt worden. Unter den harschen Bedingungen bei der Entschärfung ist das so gut wie nie der Fall und situationsabhängig. Da die Greifsysteme bisher auf spezifische Aufgaben

und Greifkräfte hin optimiert sind, können sie nicht für andere Zwecke eingesetzt werden. Zudem werden Blindgänger häufig in Baugruben gefunden, die teilweise mit Wasser gefüllt oder verschlammte sind. Damit entstehen herausfordernde Ansprüche an die Sensorik und die Schutzklasse der Greifsysteme.

Zur Entschärfung von Bomben und Sprengkörpern ist viel Erfahrung und Fingerspitzengefühl nötig. Wünschenswert wäre ein taktiler Sensorsystem, die eine optimale feinfühligere Steuerung des Robotergreifers mit direkter Rückkopplung durch den Menschen zulässt. ●



Telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik mbH, Fotograf war Storz Medienfabrik GmbH.

Tactile Gripper

Entwicklung sehr flacher 3D-Kraftsensoren inkl. Auswerte-Elektronik und passender Softwarelösungen für ein neues taktils Greifsystem mit innovativer kraftrückgekoppelter Steuerung zum Einsatz in Entschärfungsrobotern

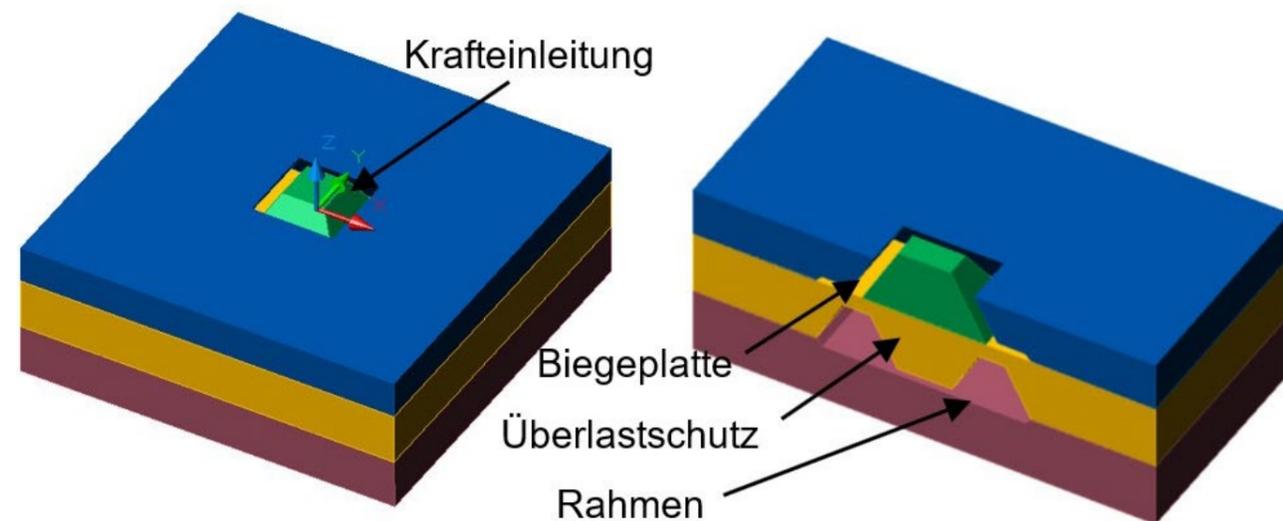
Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines neuen Greifsystems, basierend auf taktilen Sensoren zur Anwendung in Entschärfungsrobotern. Dazu werden 3D-Kraftsensoren entwickelt, die erstmals einen sehr hohen Messbereich bis in den kN-Bereich bei gleichzeitig sehr hoher Auflösung ermöglichen. Sie weisen ein sehr flaches Sensordesign auf, wodurch sie auch bei geringen möglichen Einbauvolumina genutzt werden können. Überdies können Reaktionskräfte in drei Dimensionen gemessen und somit erstmals auch Kräfte entlang der Sensorachsen (x, y) und nicht nur senkrecht dazu erkannt werden. Bedingt durch intelligente Sensormatrices und Sensoranordnungen sollen die Greifkräfte korrekt erfasst werden.

Zudem benötigen die Sensoren elektronische Anbindungen, Signalverarbeitung sowie passende Auswertungs-elektronik. Die Sensoren werden in ein neues Zweifinger-Greifsystem integriert, das anschließend in Rückkopplung mit den Sensoren gesteuert wird. Das neue Greifsystem muss dabei unter verschiedensten klimatischen Bedingungen als auch bei hohem Staub-

und Verschmutzungsgehalt in der Umgebung sicher funktionieren. Eine neue Softwarelösung soll zudem erstmals harte oder weiche Gegenstände erkennen und die Griffpunkte darstellen können. Durch eine optimierte Bewegungssteuerung kann ein Verrutschen der gegriffenen Objekte deutlich verringert werden. Die Abbildung unten zeigt eine schematische Zeichnung des neuen Sensorprinzips der 3D-Kraftsensoren.

Um den 3D-Kraftsensor nicht zu überlasten, wurde ein Federkörper entwickelt, welcher die gesamte Reaktionskraft aufnimmt und nur geringe Kräfte und Auslenkungen auf den Sensor überträgt (Abbildung Koppellement). In den nachfolgenden Bildern ist das Prinzip gezeigt.

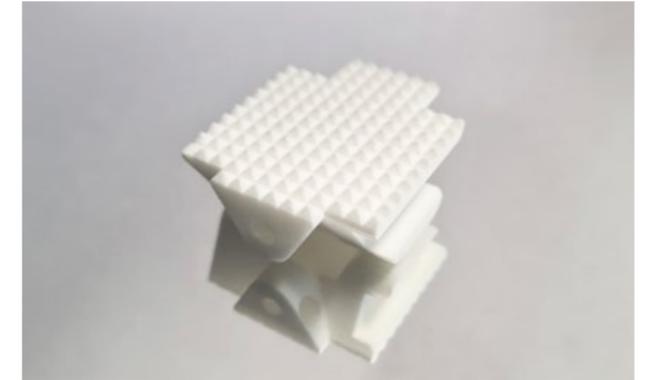
Das neue innovativ gesteuerte Greifersystem wird durch die Unternehmen Telerob Gesellschaft für Fernhandlungstechnik mbH, HELIRO Steuer- und Regelungstechnik GmbH und dem CiS Forschungsinstitut im Rahmen eines ZIM-Kooperationsprojektes entwickelt. ●



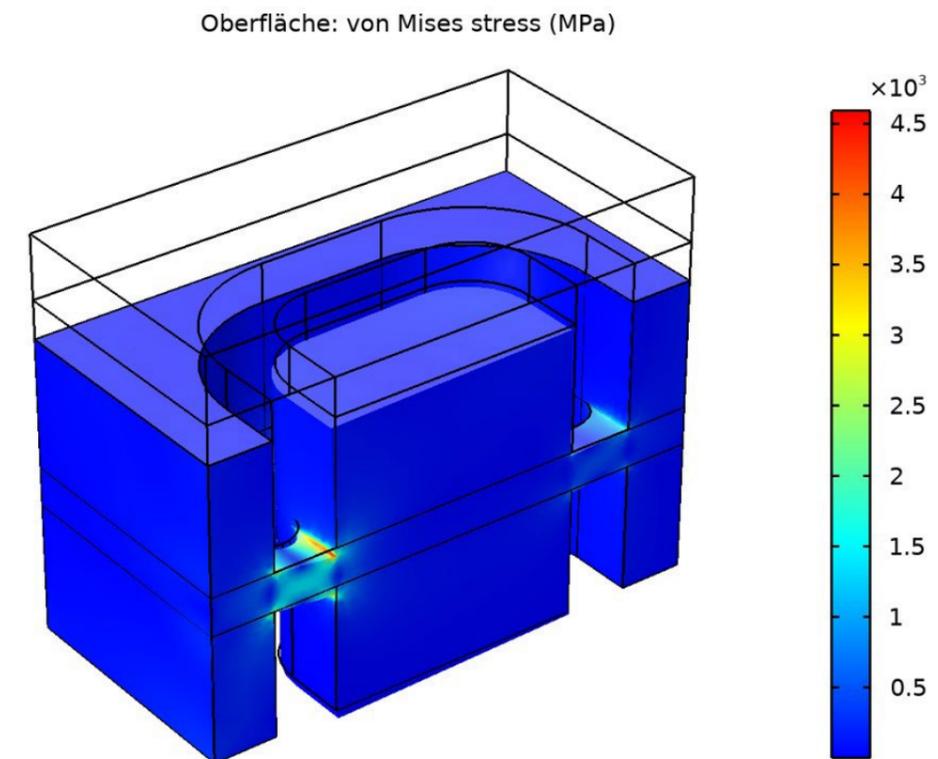
Schematische Zeichnung des neuen Sensorprinzips der 3D-Kraftsensoren.



Ausschnitt der Kontaktplatte für eine Matrix aus 3 * 3 Sensoren, welche in die Greiferplatte integriert ist



Greiferplatte mittels 3D-Druckverfahren realisiert.



Koppellement zur Aufnahme der Reaktionskraft und Weiterleitung den Kraftsensor.



GEFÖRDERT

GERÄTEFÖRDERUNG

Zukunftssichere Entwicklungsumgebung von Beschichtungstechnologien für großflächige Substrate (ZEBS)

Vorhabens- Nr.: 2021 WIN 0002

Ein neues Cluster Beschichtungstool erlaubt verschiedene PVD-Technologien auf großflächigen Substraten durchzuführen, Mehrlagenschichtsysteme abzuscheiden und einen industrienahen Durchsatz zu ermöglichen. Gekoppelt an eine Prozessdatenbank wird mittels einer durchgängigen und konsequenten Datenerfassung, die Überwachung und präzise Steuerung der Prozessschritte vereinfacht sowie die Umsetzung der Industrie 4.0 Standards im CiS Forschungsinstitut vorangetrieben.

Mit dieser Erweiterung der Beschichtungstechnologien verbessert das CiS Forschungsinstitut die Anwendungs- und Transferqualität auf dem Gebiet der elektrischen und optischen Sensorik für seine Forschungs- und Entwicklungspartner, vor allen aus dem KMU-Bereich.

Die Förderung ist Teil des Corona-Sonderförderprogramms „FuE-Schub“. In diesem Rahmen unterstützt das Land Thüringen die wirtschaftsnahen Thüringer Forschungseinrichtungen insgesamt mit fünf Millionen Euro bei der Anschaffung von Geräten, Ausstattungen und digitalen Infrastrukturen. Die Projekte sind einem der fünf Schwerpunkte der Thüringer Innovationsstrategie zugeordnet.

Das Projekt „Zukunftssichere Entwicklungsumgebung von Beschichtungstechnologien für großflächige Substrate (ZEBS)“ wird unter der Nummer 2021 WIN 0002 vom Freistaat Thüringen bzw. dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) mit Landesmitteln gefördert. ●

Innovation durch Kooperation auf dem Gebiet der Halbleitertechnologien (INKO)

Vorhabens- Nr.: 2021 WIN 0028

Für eine wirtschaftliche Umsetzung von Sensortechnologien auf Forschungsebene werden Industrieanlagen benötigt, die eine Implementierung neuester Forschungsergebnisse zulassen sowie standardisierte Prozessabläufe bei gleichbleibender und reproduzierbarer Qualität gewährleisten. Mit Unterstützung des Landes Thüringens investierte das CiS Forschungsinstitut in ein modernes LPCVD-System (LPCVD – Low Pressure Chemical Vapor Deposition). Diese Anlage erlaubt die Abscheidung extrem dünner und sehr homogener Schichten. Gleichzeitig können alternative Gase erprobt und somit neue innovative Technologieoptionen eröffnet werden.

Damit unterstreicht das CiS Forschungsinstitut seine Brückenfunktion bei der Überführung von Ergebnissen der Grundlagenforschung in anwendungsfähige Technologien für die Industrie, vor allen der Thüringer KMUs und ihrer Kooperationspartner auf dem Gebiet der Sensorik.

Das Projekt „Innovation durch Kooperation auf dem Gebiet der Halbleitertechnologien (INKO)“ wird unter der Nummer 2021 WIN 0028 vom Freistaat Thüringen bzw. dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) mit Landesmitteln gefördert und ist einem der fünf Schwerpunkte der Thüringer Innovationsstrategie zugeordnet. ●

Förderung von Forschung, Technologie und Innovation (in Anlehnung an die FTI-Richtlinie) Vorhaben(Projekt)-Nr.: 2021 WIN 0002

Antragsteller-Name: CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Beschreibung des Vorhabens:

Zukunftssichere Entwicklungsumgebung von Beschichtungstechnologien für großflächige Substrate (ZEBS)

Das Projekt wurde vom Freistaat Thüringen gefördert.



GEFÖRDERT

Förderung von Forschung, Technologie und Innovation (in Anlehnung an die FTI-Richtlinie) Vorhaben(Projekt)-Nr.: 2021 WIN 0028

Antragsteller-Name: CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Beschreibung des Vorhabens: Innovation durch Kooperation auf dem Gebiet der Halbleitertechnologien (INKO)

Das Projekt wurde vom Freistaat Thüringen gefördert.



GEFÖRDERT

DIGITALISIERUNG

Digitalisierung eines durchgängigen Mikrosystemtechnik-Prototypingprozesses

Vorhabens- Nr.: 2021 WID 0012

Moderne Datenbanksysteme, intelligente Business- und Kollaborationstools einschließlich umfassender Datenanalyse verbessern einen reibungslosen Informationsfluss und damit effizientere Entwurfs- und Fertigungsprozesse bis hin zur Charakterisierung und Prüfung.

Mit Unterstützung des Landes Thüringens kann das CiS Forschungsinstitut die Digitalisierung des Mikrosystemtechnik-Prototypingprozesses intensivieren und eine leistungsfähige IT-Infrastruktur entlang der gesamten Wertschöpfungskette weiter ausbauen.

Im Rahmen des Corona-Sonderförderprogramms „FuE-Schub“ des Landes Thüringens werden die wirt-

schaftsnahen Thüringer Forschungseinrichtungen insgesamt mit fünf Millionen Euro bei der Anschaffung von Geräten, Ausstattungen und digitalen Infrastrukturen unterstützt. Die Projekte sind einem der fünf Schwerpunkte der Thüringer Innovationsstrategie zugeordnet.

Das Projekt „Digitalisierung eines durchgängigen Mikrosystemtechnik-Prototypingprozesses“ wird unter der Nummer 2021 WIN 0012 vom Freistaat Thüringen bzw. dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) mit Landesmitteln gefördert. ●

Qualitätssicherung im Industrie 4.0 Standard

Die Herstellung von hochwertigen und kompakten Bauteilen wird immer komplexer. Eine reaktive Qualitätskontrolle, die erst am Ende des Fertigungsprozesses greift, kann hohe Kosten verursachen. Zugrundeliegende Mängel (Ergebnis einzelner Technologiesteps) können durch eine zeitnahe, zustandsbasierte oder gar vorausschauende Qualitätssicherung erkannt und verhindert werden. Vor allem im Bereich der Prototypenfertigung kann sie als Korrektiv fungieren, um frühzeitig Maßnahmen zur Prozesssicherung einzuleiten.

Zum Komplex der investiven Maßnahmen zählen:

- mehrstufiges, automatisierbares, optisches Prüfsystem zur Bewertung und Optimierung der technologischen Variabilität, einschließlich eines vollautomatischen Waferhandlingsystems

- ein 3D-Oberflächenscanning-Modul mit einer Auflösung im Submikrobereich zur Kontrolle der Tiefenstrukturierung bei dreidimensionaler Strukturierung
- Waferprober-Upgrade als Voraussetzung, um eine permanente, weitgehend automatisierte Parameterfassung im Laufe eines Mikrosystem-Entwicklungsprozesses zu generieren
- eine leistungsfähige Hardware ist Bedingung für diese virtuelle Datenerfassung und Datenbewertung, welche die Grundlage für einen permanent verfügbaren Datenbankserver bildet.

Mit diesen Investitionen steht dem CiS Forschungsinstitut und seinen Partnern umfangreiche verbesserte Mess- und Gerätetechnik für die Prozessstabilisierung und Qualitätssicherung zur Verfügung. ●

Förderung von Forschung, Technologie und Innovation (in Anlehnung an die FTI-Richtlinie)
Vorhaben(Projekt)-Nr.: 2021 WID 0012

Antragsteller-Name: CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Beschreibung des Vorhabens:
 Digitalisierung eines durchgängigen Mikrosystemtechnik-Prototypingprozesses

Das Projekt wurde vom Freistaat Thüringen gefördert.



GEFÖRDERT

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

GEFÖRDERT

CIS WORKSHOPS



Im Herbst 2021 fanden zwei interessante Workshops zu aktuellen Forschungstrends und deren Umsetzung in kundenspezifischen F&E Projekten statt. Ziel der Workshops ist der fachliche Austausch mit Experten aus Industrie und Forschung sowie die Vernetzung mit Vertretern aus dem Kreis der Methoden- und Geräteentwickler sowie der Technologieanbieter und Komponentenhersteller. Beide Workshops fanden als Hybridveranstaltung am CiS Forschungsinstitut statt, Veranstalter war der CiS e.V. ●

MOEMS Workshop:

Optische Sensoren und Systeme für Fluoreszenz sowie Streulicht

Die Grenzen optischer Sensoren verschieben sich zu immer schnelleren, sensitiveren und spezialisierteren Lösungen, mit denen neue Methoden und wettbewerbsfähige Produkte ermöglicht werden.

Den Auftakt bildete der Vortrag von Dr. Bernd Michel, Hembach Photonics GmbH. Er beeindruckte mit tiefem Verständnis über optische Analysesoftware, Störlichtanalysen und Beleuchtungsdesign. Anschließend stellte Dr. Günther Crolly, Fritsch GmbH, praktische Anwendungen für Streulichtsensoren vor. Mit einer Zusammenfassung über die Entwicklung und die Herstellung von 3D-strukturierten Fotodioden für Streulichtanwendungen aus dem CiS Forschungsinstitut bot der erste Workshopteil viele intensive Gesprächsthemen. Die zweite Session erörterte Lumineszenzsensorik und deren Anwendungen, beispielsweise bei Qualitätsuntersuchungen. Dabei spannte sich der Bogen von den Grundlagen bis zu speziellen Anwendungen in der Biologie und Projektkooperationen. Das CiS Forschungsinstitut unterstrich in seinen Beitrag die Bedeutung der UV-Fluoreszenzsensoren für DNA und Ammoniakuntersuchungen. ●



MEMS Workshop:

Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Sensoren

Piezoresistive Sensoren werden seit vielen Jahren für die Messung verschiedener Größen eingesetzt. Ausgehend von der Simulation der gewünschten Parameter verbinden die Vorträge neuste Trends und Entwicklungen einzelner Wertschöpfungsstufen bis zum fertigen Sensor.

Fachbeiträge stellten ausgehend von der Simulation der gewünschten Parameter in der Druck- und Kraftsensorik, Ergebnisse und Anwendungen entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette vor. Keynotesprecher, Prof. Robert Täschner, Westsächsische Hochschule Zwickau

forderte, Technologieforschung für Silizium-Hochtemperatur-Drucksensorik voranzutreiben, um den Forderungen der Industrie zu genügen. Das CiS Forschungsinstitut überzeugte mit seinen Beiträgen aus dem Projekt VIPO (Nutzung digitaler Zwillinge für die Verkürzung von Entwicklungszeiten) sowie den Forschungsergebnissen an resistenten Oberflächenschichten für Sensoren aus dem Projekt PassDru, vor allen für den Einsatz in der Wasserstoffwirtschaft. Prof. Marion Wienecke, Firma Materion erörterte verschiedene Beschichtungstechnologien für Drucksensoren. ●



CIS WEBINARE

MEMS Webinar mit Live-Demo: Siliziumbasierte Piezoresistive Kraftsensoren

Am 20. April 2021 veranstaltete das Geschäftsfeld MEMS ein kostenfreies Webinar mit Live-Demo zum Thema „Siliziumbasierte Piezoresistive Kraftsensoren“. MEMS-basierte Kraftsensoren können zur Überwachung von Vorspannkräften oder zum Monitoring von Kontaktkräften eingesetzt werden.

Es wurden technische Grundlagen solcher Sensoren er-

läutert und einige Demonstratoren von uns entwickelter Silizium-Dehnmessstreifen (Si-DMS) gezeigt. Für eine erfolgreiche Implementierung ist die Wahl einer passenden Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) entscheidend, denn sie beeinflusst die Genauigkeit, Funktion und Langlebigkeit eines Sensorsystems. Konkrete Applikationsbeispiele unserer miniaturisierten Kraftsensoren wurden beschrieben. ●

MOEMS Webinar: 3D strukturierte Photodioden

Im 60-minütigen Webinar am 14. Juli 2021 berichten unsere Referenten aus den MOEMS-Bereichen anhand anschaulicher Beispiele über die Vielfalt neuer optischer Sensorlösungen durch Technologien zur 3D-Bearbeitung von Silizium. Optische Sensoren und Messsysteme basieren auf der Kombination von Lichtempfängern und optischen Elementen – im Allgemei-

nen also dem Zusammenspiel von Halbleiterdetektoren und mechanisch dazu ausgerichteten optischen Baugruppen. 3D-Strukturierungsmöglichkeiten im Halbleiter ermöglichen dabei einen neuen Zugang, der nicht nur den Grad der Miniaturisierung, sondern auch die Leistungsfähigkeit solcher Baugruppen auf eine höhere Stufe hebt. ●

MEMS Webinar: Hochtemperatur-Drucksensoren



Ein weiteres kostenfreies MEMS-Online-Webinar behandelte am 23. September 2021 „Piezoresistive Siliziumdrucksensoren für höhere Einsatztemperaturen bis ca. 300°C“. Nach einer Einführung in Aufbau und wesentliche Eigenschaften dieser Sensorart, wurden im zweiten Teil Lösungen für Temperaturbereiche bis ca. 300°C vorgestellt.

Siliziumbasierte piezoresistive Drucksensoren besitzen aufgrund ihrer sehr guten Sensoreigenschaften hinsichtlich hoher Linearität, geringer Hysterese sowie sehr guter Langzeitstabilität ein breites Anwendungsspektrum im Bereich Prozessmesstechnik, Automotive, Medizin sowie Forschung und Entwicklung. Durch Anpassung von Chipdesign und Halbleitertechnologie ist das CiS Forschungsinstitut in der Lage, piezoresistive Drucksensorchips für Einsatztemperaturen bis 300°C zu entwickeln und zu fertigen. ●

Siliziumbasierte piezoresistive Drucksensoren besit-

EXTERNE WORKSHOPS & SYMPOSIEN

Mid-Week Coffee Break

Virtuelles Technologiegespräch des IVAM Fachverbands

Während des virtuellen Technologiegesprächs des IVAM Fachverbands am 19.05.2021 waren wir der Gastgeber und gaben den Teilnehmenden einen Einblick in das Thema „IR-Komponenten für kontaktlose Temperaturmessung und Gasanalyse“.

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. Spezielle Technologien ermöglichen

es dennoch, Detektoren sowie Strahler aus Silizium 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 Heizwiderstandselement realisiert, das sich – ähnlich einer Glühlampe, jedoch deutlich kompakter und flinker – bei Stromzufuhr auf mehrere hundert Grad Celsius erwärmt und eine breitbandige Infrarotstrahlung emittiert.

Im Rahmen von aktuellen Industriaufträgen entwickelt und fertigt das CiS Forschungsinstitut gemeinsam mit Partnern innovative Thermopiles. ●

„Silicon meets Ceramics“

Statusworkshops des BMBF-Wachstums-kerns HIPS

Die Statusworkshops zum BMBF-Wachstums-kern HIPS fanden im April und November 2021 jeweils online statt. Im Wachstums-kern HIPS (High Performance Sensors) engagieren sich 12 Thüringer Industrieunternehmen und 7 Forschungseinrichtungen, um die bereits patentierte SiCer-Technologie, einer einzigartigen Verbindung von Siliziumtechnologie (Si) mit keramischer Mehrlagentechnik (Cer), zur Anwendungsreife zu bringen. Wesentlicher Baustein ist eine Technik, die als dreidimensionale Mehrlagenstruktur aufgebaut ist und neben elektrischen und elektronischen Funktionen zur Sensorinformationsgewinnung und -verarbeitung auch systemtechnologische Elemente der Fluidik und Sensorik enthält (SiCer®).



Der Wachstums-kern HIPS wird durch das BMBF gefördert und beinhaltet 3 Verbundprojekte. Das CiS Forschungsinstitut ist Partner bei der Entwicklung der Technologieplattform SiCER (Verbundprojekt 1) und der Entwicklung von SiCER-Gassensoren (Verbundprojekt 3). Die Fördermaßnahme unterstützt das wissenschaftliche und technologische Potenzial regionaler Initiativen, marktfähige Innovationen zu entwickeln. ●

IMAPS Herbstkonferenz in München

Auch im Rahmen der IMAPS Herbstkonferenz in München berichteten wir über aktuelle Ergebnisse der Si-Cer-Technologieforschung mit dem Wachstumskern HIPS in der begleitenden Fachausstellung. In der Session „Materialien & Prozesse“ referierten wir über „Innovative Fügetechnologien zum Aufbau von feuchte- und temperaturstabilen Kraftsensoren basierend auf piezoresistiven Silizium-Dehnmessstreifen“.



Die von der „International Microelectronics and Packaging Society“ (IMAPS) initiierte Konferenz versteht sich als wichtige Plattform für fachliche Diskussionen zwischen Industrie und Hochschule sowie Produktion und Forschung. ●

„Advanced UV for Life“-Online-Workshop

Am 20. Mai 2021 bot das vom BMBF geförderte Konsortium „Advanced UV for Life“ einen Online-Themenworkshop zum Thema „UV-LEDs – Technologie, Anwendungen und Perspektiven“.

Prof. Thomas Ortlepp erläuterte in seinem Vortrag „UV-LED Strahler mit integrierter digitaler Ansteuerung“ aktuelle Projektergebnisse aus dem gemeinsamen Teilvorhaben mit der eesy-ic GmbH und der OSA Opto Light GmbH des Verbundvorhabens IC4UV. Zielstellung des Teilvorhabens ist die Kontrolle der Lichtintensität von UV-LEDs mit niedrigem Stromripple für maximale

Lichtleistung, optimale Ausleuchtung sowie optimale Kühlung für hohe Lebensdauer. Der Ganztages-Workshop informierte über den Stand der UV-LEDs, die Einsatzmöglichkeiten, technische Randbedingungen und derzeitigen Limitierungen bis zu technischen und wissenschaftlichen Trends, gesetzliche Rahmen und Normungsaktivitäten.

Das BMBF-geförderte Konsortium „Advanced UV for Life“ zielt seit mehr als sechs Jahren auf die Entwicklung und Anwendung von UV-LEDs, um neue Märkte zu erschließen und bestehende für die UV-Technik auszubauen. ●

digital edition des Innovationstags Mittelstand des BMWK



Auf digital edition des Innovationstags Mittelstand des BMWK 2021 präsentierten wir in der Rubrik Erfolgsbeispiele unsere Ergebnisse des erfolgreichen INNO-KOM Projekts „Miniaturisierter Infra-Rot-Emitter-Chip (MIREC)“. Im Forschungsprojekt wurde ein plasmaunterstützter Ätzprozess entwickelt, mit

welchem gleichzeitig eine dünne funktionale Membran und ein Bruchgraben für die folgende Chipvereinzelnung erzeugt werden. Bei MEMS-IR-Emittern erhält man damit gegenüber dem Stand der Technik mehr als Faktor 4 kleinere Flächen und eine um Faktor 2 höhere Dynamik. Solche Baugruppen werden als Lichtquelle in optischen Gassensoren eingesetzt, wobei geringe Kosten bei gleichzeitig hoher optischer Leistung und schnellem Schaltverhalten gefordert sind. Mit den

entwickelten nur 1 mm² kleinen Strahlern wurde eine langzeitstabile Emission > 10 mW und Dynamik über 100 Hz erreicht.

Das innovative Projekt wurde im Rahmen des Programms INNO-KOM - Forschungsergebnisse für den Mittelstand gefördert. Auf der Veranstaltungsseite wird das Projekt dem Fokusthema Digitalisierung/ künstliche Intelligenz zugeordnet. ●

Technologie Symposium des Wachstumskerns VIPO

Mit zwei Beiträgen haben wir uns auf dem Technologie Symposium des Wachstumskerns VIPO Anfang Juli 2021 beteiligt. Das Konsortium möchte eine Technologieplattform für KMUs aufbauen, mit dem durch Simulation Lücken in der virtuellen Produkt- und Prozessoptimierung entlang des gesamten Wertschöpfungszyklus aufgezeigt und geschlossen werden.

Das CiS Forschungsinstitut ist mit 2 Beiträgen auf dem VIPO Symposium vertreten. Als Partner im Verbundprojekt „Virtuelle Produktoptimierung“ erforschen wir hier die Kopplung optischer Simulationswerkzeuge für Beugungs- und Streulichteffekte mit Halbleiterphysika-

lischen Simulationswerkzeugen für Silizium-Mikrosensoren und referierte zu diesem Thema.

Weiter berichteten wir über gemeinsame Arbeiten mit der MFPA Weimar im Vortrag „Demonstrator eines digitalen Zwillings - Sensorintegration und Kopplung“. In diesem Verbundprojekt konzentrieren wir uns auf die Themenschwerpunkte: „Methoden zur Entwicklung optimaler Sensornetzwerke und Kalibrierung der physikalischen Modelle mit Hilfe von Sensordaten“ sowie die Entwicklung und den Betrieb eines Demonstrators sowie Plausibilitätsprüfungen. ●



GETSTARTED & 20 JAHRE FTVT

Technologie Wettbewerb getstarted2gether ging in die 4. Runde



Gewinner

Sechs Monate die komplette Infrastruktur einer Forschungseinrichtung nutzen, dazu Rundum-Betreuung durch erfahrene Wissenschaftler – dieses lukrative, deutschlandweit noch immer einmalige Paket bietet der Wettbewerb getstarted2gether. In der vierten Auflage setzten sich 9 von 12 Gründern mit ihren Projekten durch und können nun von der halbjährigen Zusammenarbeit mit einer wirtschaftsnahen Forschungseinrichtung profitieren.

Die beteiligten Start-ups hatten dabei maximal zehn Minuten Zeit, um die Jury vom Potenzial ihrer Geschäftsidee zu überzeugen. Neun Gründer-Teams können nun mit einer Förderung durch die Thüringer Aufbaubank rechnen und haben noch am gleichen Abend einen Letter of Intent (LOI) mit einem wirtschaftsnahen Forschungsinstitut unterzeichnet. Wir freuen uns auf eine sechsmontatige intensive Zusammenarbeit mit dem Gründer-Team der Coachwhisperer GmbH. Das Start-up hatte das Projekt „Coachwhisperer Real-Time Interaction“ vorgestellt. Dahinter verbirgt sich eine All-in-one-Lösung für den Mannschaftssport. Der „Coachwhisperer“ gilt sowohl als ein innovatives Werkzeug zur Digitalisierung und Optimierung des Trainings als auch als passende Coaching-App zur Unterstützung des Trainerstabs.

Der mit 1.000 Euro dotierte Preis des FTVT ging ebenfalls an die Coachwhisperer GmbH und wurde erstmals als Publikumspreis per Abstimmung vergeben.



Auch die Alumni der vergangenen getstarted2gether-Wettbewerbe konnten ihr Portfolio in einer Ausstellung präsentieren. So waren unter anderem Vertreter der Ilimsens GmbH, der DC Industrie Entwicklung GmbH sowie die CMOS IR GmbH vor Ort und zeigten die Ergebnisse der Kooperationen mit dem CiS Forschungsinstitut. ●

Festakt zum 20. Jubiläum des FTVT



Gegründet am 21. März 2001 feiert der Forschungs- und Technologieverbund Thüringen e.V. (FTVT) sein 20-jähriges Jubiläum mit einem Festakt im Festsaal des Haus Dacheröden in Erfurt.

Die Veranstaltung wurde mit einem Grußwort von Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow sowie einem Beitrag zur „Bedeutung der wirtschaftsnahen Forschung für die Wettbewerbsfähigkeit des Mittelstandes“ von Thüringens Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee eröffnet. In seinem Impuls-Vortrag erläuterte Prof. Dr. Uwe Cantner „Transfer – Der Weg von der Idee zum Geschäftsmodell“. Als Vertreter der wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen betonte Benjamin Redlingshöfer die Bedeutung der WINAFO als „Beschleuniger technologieorientierter Gründungen“. Einleitend gab Thomas Brock als Vorstandsmitglied des Forschungs- und Technologieverbund



Thüringen e.V. und Geschäftsführer des CiS Forschungsinstituts für Mikrosensorik GmbH einen „Rückblick und Ausblick der wirtschaftsnahen Forschung in Thüringen“. Die Innovationskraft, die von den wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen ausgeht, ist nicht unerheblich. Sie erleichtert den KMU den Zugang zu Ergebnissen der Grundlagenforschung sowie deren Überführung und Anwendung in neue Prozesse und Produkte. Insbesondere der in 2019 initiierte Technologie-Wettbewerb getstarted2gether wirkt wie ein Inkubator /Accelator für junge Start Ups und Gründer-Teams. Die damit verbundene Transfergeschwindigkeit wird durch immer weiter verbesserte Abläufe der Umsetzungsphase stetig erhöht.

Zu den zahlreichen Gästen zählten Vertreter der Thüringer Staatskanzlei, der Landtagsfraktionen, des Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG), der Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen (LEG), der Thüringer Aufbaubank (TAB), der Industrie- und Handelskammern Südthüringen und Ostthüringen, des Thüringer Zentrums für Existenzgründungen und Unternehmertum (ThEx) sowie Wegbegleiter und Vertreter der einzelnen wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen und Alumni der vergangenen getstarted2gether Wettbewerbe.

Innerhalb des FTVT haben sich seit dessen Gründung der Umsatz und die Zahl der Beschäftigten nahezu verdoppelt. Zehn wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen bündeln 900 Mitarbeitende und erwirtschaften einen Jahresumsatz von 90 Mio. Euro. Der Verbund ist ein Zusammenschluss von wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen unterschiedlichsten Ursprungs und die Landesvertretung der Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse. ●

MESSEN & KONGRESSE

SPIE Photonics West 2021 als Online Event

Die SPIE Photonics West 2021 fand Anfang März als reines Online Event statt. Das CiS Forschungsinstitut referierte im Rahmen der OPTO 2021 in zwei Vorträgen über aktuelle Forschungsergebnisse zum Emissionsverhalten von UV-LEDs sowie zu Abwärtswandlern zur Ansteuerung von UV-LEDs. Die Vorträge stehen während des gesamten Zeitraums registrierten Teilnehmern zur Verfügung. ●



HM21 Digital Edition der Hannover Messe

Auf der HM21 Digital Edition Mitte April präsentierten wir aktuelle Forschungsthemen und Projektergebnisse in der Entwicklung siliziumbasierter MEMS- und MOEMS-Sensorkonzepte. Im Bereich MEMS lag der Fokus auf Druck-, Kraft- und Cantilever-Sensoren, der

Bereich MOEMS setzte den Schwerpunkt auf die Entwicklung optischer Sensoren im Spektralbereich von UV bis mittleres Infrarot.

Im Projekt PassDru werden verschiedene Passivie-

rungsschichten evaluiert, um die Langzeitstabilität der Schutzschichten auf siliziumbasierten piezoresistiven Sensoren gegenüber Körperflüssigkeiten oder extremen pH-Wert-Spreizungen zu erhöhen. Palladium-beschichtete MEMS-Strukturen, die Si-MEMS-Drucksensoren ähneln, sind Gegenstand der Untersuchungen im Projekt H2-MEMS und bilden die Basis für die Entwicklung leistungsfähiger Wasserstoffsensoren. Ther-

mopile-Sensoren verzeichnen seit dem Beginn der Pandemie ein stetig steigendes Marktwachstum. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich hier auf spezielle 3D-Strukturierungen der Silizium-Wafer.

Für weitere Gespräche standen auf unserem digitalen Messestand die beiden Geschäftsfeldleiter zur Verfügung. ●

Fachmesse Sensor+Test und Kongress SMSI

Anfang Mai startete mit der SENSOR+TEST 2021 das führende Forum in den Bereichen Sensorik, Mess- und Prüftechnik. Corona-bedingt fand die Messe als reine Online-Veranstaltung statt – und auch das CiS Forschungsinstitut war mit einer digitalen Präsenz vertreten.

unterschiedlichen Korngrößen konnte im Rasterelektronenmikroskop ein Unterschied in der Driftgeschwindigkeit von Aluminium beobachtet werden.

Parallel fand der neue internationale Fachkongress SMSI 2021 – Sensor and Measurement Science International auch erstmals als digitale Veranstaltung statt.

Unser Fachbereichsleiter MEMS hielt zwei weitere Vorträge im Rahmen der SMSI 2021. In Session A zu Kraft-, Druck- und Drehmomentmessung berichtete er über aktuelle Untersuchungen zur Bestimmung der Vorspannkraft von Schraubverbindungen und beschrieb hier zwei Methoden zur Ermittlung der Vorspannkraft mit Hilfe von Silizium-Dehnungsmessstreifen (DMS). Im zweiten Vortrag berichtete er über einen Drucksensor-Chip aus <110> p-Silizium, der eine ideale symmetrische Widerstandsänderung durch die Druckbelastung erreicht. ●

Unser Geschäftsleiter MOEMS hielt einen Vortrag zum „Einfluss der Mikrostruktur auf die Driftgeschwindigkeit bei der Elektromigration von Aluminium durch Molybdändisilizid-Dünnschichten“. Für polykristalline Dünnschicht-Leiterbahnen aus Molybdändisilizid mit

Fachkongress SMSI 2021

Influence of the Microstructure on the Drift Velocity of Electromigrating Aluminum through Molybdenum Disilicide Thin Films

ACHEMA Pulse



Hochkarätige Referenten beleuchten Mitte Juni aktuelle Fragen der Prozessindustrie auf der virtuellen Veranstaltung ACHEMA Pulse. In der Session „Safety First! Pt.1“ präsentierte unser Geschäftsfeldleiter MEMS das Thema „Innovative Sensoren zur Überwachung mechanischer Verbindungen“.

Erläutert wurden unter anderem die Vorteile von Silizium als Bulk-Material in Bezug auf Signalmodulation, Repro-

duzierbarkeit und Langzeitstabilität. Innovative Füge-techniken können die verwendeten Silizium-Dehnungsmessstreifen mit dem elastischen Verformungskörper verbinden. Dazu zählen hier das Glas-Frit-Bonding, das Silbersintern oder das Fügen auf Basis reaktiver Mehrschichtsysteme. Die neuen Messsensoren zur Schraubenbelastungsprüfung erfassen die Vorspannung von Schrauben und können dazu beitragen, die Sicherheit im Anlagenbau kontinuierlich zu verbessern. ●

Technologiekonferenz »elmug4future«

Auf der Technologiekonferenz »elmug4future« im comcenter Brühl standen am 21./22.09.2021 die Themen „Sensoren, Systeme und Verfahren zur Ressourcenoptimierung“ im Mittelpunkt der Gespräche von Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft. Mit dem Beitrag „Ammoniak-Gassensor für AdBlue Steuerung“

stellten wir den Stand der Entwicklungen für ein NDUV Spektrometer zur Detektion von Ammoniak im Abgasstrang von Dieselmotoren vor. In einem weiteren Beitrag wurde das Fügen von Dehnungssensoren aus Silizium mit keramischem Träger erläutert. ●



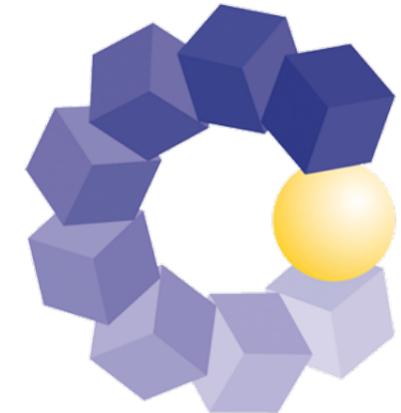
Compamed in Düsseldorf

Unter dem Slogan „Mikrosensoren für die Welt von morgen“ präsentierte das CiS Forschungsinstitut auf der international führenden Fachmesse für den Zuliefermarkt medizinischer Produkte, aktuelle Entwicklungsergebnisse aus dem Geschäftsfeld MOEMS. Die Compamed fand in Düsseldorf vom 15.11.-18.11.2021 wieder als Präsenzveranstaltung statt.

Im Rahmen des COMPAMED HIGH-TECH Forum by IVAM referierte unser Geschäftsfeldleiter MOEMS in der Session „Smart Sensor Solutions“ über „Optical Blood Pressure Monitoring with PPG Sensors“. Mehr als 20 Jahre Forschungsarbeit sind in die Entwicklung der mehrfach ausgezeichneten Sensoren geflossen, die nun im Rahmen laufender Transferprojekte in Medizinprodukte und kommerzielle Sensor-Lösungen überführt werden.

Die Entwicklung siliziumbasierter Bauelemente für Applikationen in der Industrie, Medizin und Umwelt gehört zu den Kernkompetenzen des CiS Forschungsinstitutes.

COMPAMED



Auf dem Gemeinschaftsstand des IVAM Fachverbands präsentierten wir weitere Highlights unserer Entwicklungen. Dabei wurde der Bogen von UV über NDIR bis zur IR-Komponenten gespannt. ●



Meet Us At Booth 13.E47



Micro Sensors For The World Of Tomorrow

© 2021 CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik

www.cismst.de

Windmesse Symposium in Hamburg



Auf dem bereits 18. Windmesse Symposium Anfang Oktober in Hamburg konnten sich Besuchende auf den neusten Stand zum Thema Windenergie bringen sowie mehr über technische Innovationen, wirtschaftliche Aspekte und die Marktentwicklung der Windenergie on- und offshore erfahren. In einem Schraubensensorik-Vortrag informierten wir über „Innovative Vor-

spannkraftsensorik für Schraubverbindungen“. Miniaturisierte Silizium-Dehnmessstreifen sowie ein optimales Packaging garantieren eine hermetisch dichte Verkapselung und universelle Schnittstellen, dass die Messsignalverarbeitung und -ausgabe in das Messsystem des Anwenders integrierbar ist. ●



MST MikroSystemTechnik Kongress

Im Rahmen des 9. MikroSystemTechnik Kongresses in Ludwigsburg präsentiert das CiS Forschungsinstitut Anfang November in mehreren Beiträgen aktuelle Forschungsschwerpunkte wie mechanische und optische siliziumbasierte Komponenten, Aufbau- und Verbindungstechnik sowie deren praktische Anwendung in Wirtschaft und Quantentechnologien.



Der MST Kongress ist eine gemeinsame Veranstaltung des BMBF und des VDE. Schwerpunkte in 2021 bildeten Digitalisierung, Photonik und optischen Technologien sowie Medizintechnik. Der Kongress war als Präsenzveranstaltung konzipiert. ●

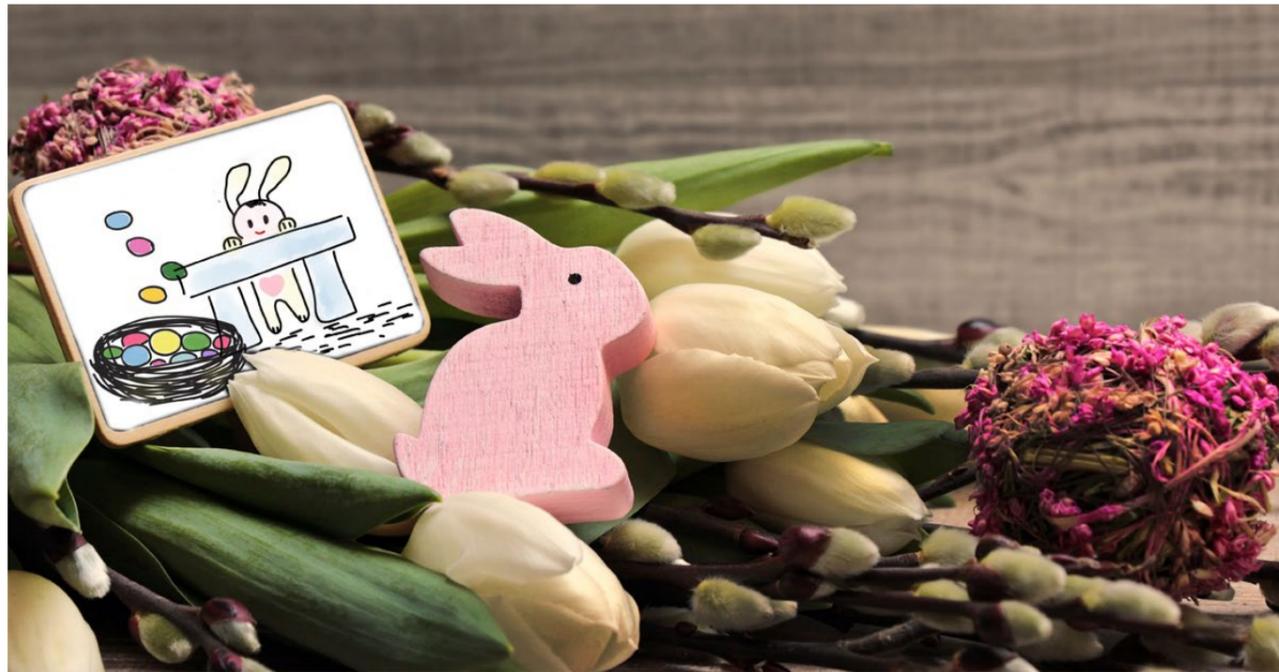
InnoCON Thüringen startet auch in 2021 online



Mit der InnoCON startete am 30. November 2021 die Leitveranstaltung für die Umsetzung und Weiterentwicklung der Thüringer Innovationsstrategie. Unter dem Motto „Mit der Thüringer Innovationsstrategie 2021-2027 die Herausforderungen unserer Zeit wie die digitale Transformation und die Dekarbonisierung

angehen“ präsentieren Firmen und Institutionen im InnoPITCH ihre Projekte und Projektideen. Diese Projekte leisten einen Beitrag, den Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen, klimafreundlichen und digitalen Wirtschaft zu gestalten und die Thüringer Innovationsstrategie umsetzen. ●

Osterkunstwerke



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



<https://www.cismst.de/news-2021-03-31/>



Stadtradeln: CiS-Radler erradeln 3 Bäume für ein besseres Klima in Erfurt

Unter dem Slogan „Radeln für ein gutes Klima“ treten alljährlich Radelteams für 21 Tage in die Pedale für mehr Radwege, Klimaschutz und Lebensqualität in Städten und Kommunen.

In 2021 bewältigte das 14-köpfige Team der „CiS-Radler“ beim Wettbewerb Stadtradeln Erfurt mehr als 3.200 km und verdoppelte die Streckenlänge im Vergleich

zum Vorjahr. Damit übertraf die Mannschaft das selbstgesteckte Ziel, mindestens zwei Bäume zu erradeln und durfte im Herbst drei Bäume pflanzen. Denn für jede 1.000 gefahrene Kilometer spendete das Umwelt- und Naturschutzamt der Landeshauptstadt Erfurt einen Baum, mit Unterstützung des Vereins Schutzgemeinschaft Deutscher Wald. Mit ihrer sportlichen Leistung sparten sie zudem mehr 470 kg CO₂ Ausstoß ein. ●



NACHWUCHSFÖRDERUNG



Einen wichtigen Beitrag für die Region und einen guten Start in das Berufsleben bildet unser Engagement für die Förderung und Ausbildung des wissenschaftlich technischen Nachwuchses von der Schulausbildung bis zur Promotion.

Orientierungswoche

Im Rahmen der Orientierungswoche geben wir Jugendlichen einen Einblick in kaufmännische Berufe sowie technische und naturwissenschaftliche Aufgaben. Hier stehen speziell Tätigkeiten im Mittelpunkt, die für die

Halbleiterindustrie charakteristisch sind. Dazu zählen physikalische und chemische Labortätigkeiten sowie das Arbeiten unter Reinraumbedingungen. Auch in diesem Jahr konnten wir Praktika ermöglichen. ●

CiS Forschungsinstitut als anerkannter Ausbildungsbetrieb

Seit Jahren bieten wir als anerkannter Ausbildungsbetrieb einen Facharbeiterabschluss mit IHK-Zertifikat für die Berufsbilder Mikrotechnologie und Industriekaufleute an. Unterstützt und begleitet werden sie von den Ausbildungsverantwortlichen aus dem kaufmännischen und technischen Bereich. 2021 wurde ein weiterer Ausbildungsverantwortlicher speziell für das Fachgebiet Aufbau- und Verbindungstechnik innerbetrieblich ernannt, um die spezifischen Anforderungen dieser Tätigkeit in der Ausbildung adäquat umzusetzen.

Bedingt durch die letzten beiden Jahre haben Ausbildungs- und Lehrkräfte sowie Azubis viele Hürden gemeistert und neue Lehrformen erprobt. Die überbetriebliche Ausbildung wird hierbei durch den Ostthüringer Ausbildungsverbund e.V. organisiert. Unsere Auszubildenden lernen spannende Projekte kennen und sind gut in ihre Teams integriert. So konnten wir wieder eine Mikrotechnologin einstellen, die erfolgreich in unserem Institut ausgebildet wurde. ●

Auszubildende mit Migrationshintergrund

Seit 2021 arbeiten wir mit der Nestor Bildungsinstitut GmbH zusammen. Die technische Fachsprache ist für Auszubildende mit Migrationshintergrund eine besondere Herausforderung. Gemeinsam erstellen wir ein individuell auf das Berufsbild Mikrotechnologie abgestimmtes berufliches Fremdsprachencoaching für unsere Auszubildenden und sammeln erste Erfahrungen. ●



Zusammenarbeit mit regionalen Hochschulen und Universitäten

Wir arbeiten vor allem mit regionalen Hochschulen und Universitäten zusammen. Die duale Ausbildung im Bachelorstudium erfolgt durch die Duale Hochschule Gera-Eisenach für die Fachrichtungen International Business Administration, Dienstleistungsmanagement sowie Informations- und Kommunikationstechnologie und Elektrotechnik.

Haus durchzuführen und danach ihre Bachelor bzw. Masterarbeit anzuschließen. Sie schätzen den Praxisbezug der Aufgaben und die gute Betreuung durch die Verantwortlichen und Mitarbeiter.

Die Fachhochschule Schmalkalden bietet ein exzellentes Bachelorstudium und duale Studienplätze für die Qualifizierung auf dem Gebiet der Mikrotechnologien an. Eine enge Zusammenarbeit findet mit der Ernst-Abbe-Hochschule Jena und der Technischen Universität Ilmenau statt. Regelmäßig nutzen Studentinnen und Studenten die Möglichkeit, ihr Praktikum in unserem

An der Hochschule Nordhausen und der Ernst-Abbe-Hochschule gestalten wir fakultative Vorlesungen und Seminare mit praxisrelevanten Bezügen und bieten Projektthemen für studentische Arbeiten.

Seit 10 Jahren sind wir ein An-Institut der Technischen Universität Ilmenau. Im Fachgebiet „Technische Physik“ sind Wissenschaftler unseres Hauses für die Vorlesung „Optische Halbleiterbauelemente“ im Masterstudiengang verantwortlich. ●



Promotionsarbeiten in zukunftssträchtigen Forschungsfeldern

Als wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung arbeiten wir mit verschiedenen Universitäten zusammen und unterstützen Promotionsarbeiten in zukunftssträchtigen Forschungsfeldern mit fachlicher Expertise. Unsere Mitarbeitenden betreiben anwendungsnahe Forschung und Entwicklung mit entsprechendem Ergebnisrisiko. Damit

entstehen wissenschaftliche Fragestellungen, die für Promotionsthemen geeignet sind. Die enge Verbindung mit der Technischen Universität als An-Institut gestattet uns zudem eine intensive Promotionsbegleitung durch diese Hochschule. So können wir auch Stellengesuche anbieten, die mit einem Promotionsthema verknüpft sind. ●

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
- SensorikNet e.V.
- 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
- Verband „Advanced UV for Life e.V.“
- VIU Verband innovativer Unternehmen e.V.



Vereine und Verbände

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.

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



SensorikNet e.V.

Der neu gegründete Verein stellt sich der Aufgabe, die Kompetenzen aus Wirtschaft und Wissenschaft für die Sensorik in Verbindung mit der Mikroelektronik zu bündeln. SensorikNet e.V. vernetzt die Akteure von der Forschung über die Fertigung bis zum Endanwender und bildet die Brücke zur Politik. Auf der Gründungsveranstaltung am 19.10.2021 wurde der neue Vorstand gewählt.



Advanced UV for Life e.V. – Verband zur Förderung von UV-Halbleitertechnologien

Der Verband führt die Aktivitäten des gleichnamigen Konsortiums fort, das in den letzten acht Jahren im Rahmen des Zwanzig20-Programms vom BMWF gefördert wurde. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette bündelt er die Kompetenzen aus Wirtschaft und Wissenschaft vom Konzept über den UV-Halbleiter bis zu dessen Anwendung. Die Akteure wollen technologische Entwicklungen vorantreiben und Forschungsergebnisse schnell in Anwendungen transferieren. Als Interessensverband bildet er die Schnittstelle für Fachgremien, gesetzliche und normative Regelungen sowie Medien, Politik und Öffentlichkeit. Das CiS Forschungsinstitut vertritt in dieser Wertschöpfungskette die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT).



ZIM 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 Partner dieser ZIM-Netzwerke:



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 Innovationsnetzwerk QPhot

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



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 u.a. intelligente neurochirurgische Instrumente sowie haargenaue Robotersysteme entwickelt und eingesetzt werden. „Hightech-Textilien“ bieten therapeutischer Unterstützung in der Nachsorge und Rehabilitation.



Konsortien und Wachstumskerne



GEFÖRDERT VOM



PUBLIKATIONEN & KONFERENZEN 2021



Artikel in referierten Journalen

„Carrier Mobility in Semiconductors at Very Low Temperatures“

Ingo Tobehn-Steinhäuser, Manfred Reiche, Matthias Schmelz, Ronny Stolz, Thomas Fröhlich, Thomas Ortlepp, Engineering Proceedings, Volume 6, Issue 1, S. 86, 17.05.2021

„Towards a miniaturized version of the Hanbury-Brown-Twiss Configuration“

Martin Jahn, Christian Möller, Mario Bähr, Thomas Ortlepp, IEEE Explore, 2021 Smart Systems Integration (SSI), 2021, pp. 1-4, 02.07.2021

Konferenz- und Zeitschriftenbeiträge

„How to run a UV-LED efficient, safe and reliable“

Christoph Heinze, Malte Frisch, Michael Bär, Olaf Brodersen, Thomas Ortlepp, ICULTA 2021, online, Deutschland, 18.-21.04.2021

„Carrier Mobility in Semiconductors at Very Low Temperatures“

Ingo Tobehn-Steinhäuser, Manfred Reiche, Matthias Schmelz, Ronny Stolz, Thomas Fröhlich, Thomas Ortlepp, 8th International Symposium on Sensor Science, Dresden, Deutschland / online, 17.-26.05.2021

„Miniaturisierte Einkoppeloptik für SNSPDs“

Christian Möller, Thomas Ortlepp, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Transparente Fotodiode für ein Stehende-Wellen-Interferometer“

Christian Möller, Thomas Klein, Julia Brandel, Thomas Ortlepp, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Siliziumdehnungssensoren zur Spannungsanalys“

Thomas Frank, André Grün, Christian Maier, Andrea Cyriax, M. T. Asghar, Michael Hintz, U. Krieger, Thomas Ortlepp, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Passivierte Mikrodurchflusssensoren für leicht korrosive Medien“

Thomas Frank, André Grün, Stefan Jagomast, Christian Maier, Stefan Völlmeke, Heike Wünscher, Steffen Herbst, Thomas Ortlepp, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Industrielle Wegsensoren auf Basis magneto-optischer Quantentechnologie“

Matthias Niethammer, Albert D. Dorneich, Ralph Bauer, Christoph Boeckenhoff, Mario Bähr, Ulrich Ritter, Roland Schaefer, Jörg Wrachtrup, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Silicon Processing Techniques „

Thomas Ortlepp, 9th Beam Telescopes and Test Beams Workshop, Lecce, Italien / online, 08.-11.02.2021

„Integrated digitally adjustable step-down converter to control one individual or a series of UV-LED(s)“

Thomas Ortlepp, Olaf Brodersen, Christoph Heinze, Konstantin Schmid, Peter Rotsch, SPIE Photonics West, online, 06.-11.03.2021

„Factors influencing the emission characteristics of UV LED chips – The modular system for module optimization“

Indira Käßplinger, Dennis Mitrenga, Guido Leibelng, Frank Gindele, Yoshio Kikuchi, Olaf Brodersen, Thomas Ortlepp, SPIE Photonics West, online, 06.-11.03.2021

„DNA analysis with UV LEDs“

Christian Möller, ICULTA 2021, online, Deutschland, 18.-21.04.2021

„Ammonia Sensors - Different Measurement Principles“

Christian Möller, Smart Systems Integration, online, Deutschland, 27.-29.04.2021

„Towards a miniaturized version of the Hanbury-Brown-Twiss Configuration“

Martin Jahn, Smart Systems Integration, online, Deutschland, 27.-29.04.2021

„Highly stable pressure sensors made of 110 silicon“

Thomas Frank, Ralf Röder, Stefan Jagomast, Hartmut Übensee, Andrea Cyriax, Thomas Ortlepp, SMSI 2021 - Sensor and Measurement Science International, online + Nürnberg, Deutschland, 03.-06.05.2021

„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 2021 - Sensor and Measurement Science International, online + Nürnberg, Deutschland, 03.-06.05.2021

„Influence of the Microstructure on the Drift Velocity of Electromigrating Aluminum through Molybdenum Disilicide Thin Films“

Martin Schädel, Julia Baldauf, SMSI 2021 - Sensor and Measurement Science International, online + Nürnberg, Deutschland, 03.-06.05.2021

„Entwicklung und Fertigung kompakter Baugruppen für quantenoptische Experimente“

Martin Jahn, Christian Möller, Mario Bähr, Thomas Ortlepp, Deutsch-Österreichischer Workshop „Quantum Technologies for Space Days“, online, Deutschland, 05.-06.05.2021

„Carrier mobility in semiconductors at very low temperatures“

Ingo Tobehn-Steinhäuser; Manfred Reiche, 8th International Symposium on Sensor Science, online, Deutschland, 17.-28.05.2021

„IR-Komponenten für kontaktlose Temperaturmessung und Gasanalyse“

Martin Schädel, Mid-Week Coffee Break, online, Deutschland, 19.05.2021

„Innovative sensors for monitoring mechanical connections“

Klaus Ettrich, Thomas Frank, Andrea Cyriax, Andre Grün, Arndt Steinke, Wolfgang Berger, AICHEM Pulse, online, Deutschland, 15.-16.06.2021

„Investigation of acceptor removal by 4-point probe and LTPL measurements“

Kevin Lauer, Dirk Schulze, Erik Hiller, Thomas Ortlepp, 38th RD50 Workshop, online, 21.-23.06.2021

„Kopplung von Simulationstools für optische und halbleiterphysikalische Berechnungen“

Dominik Karolewski, VIPO Symposium 2021, Bauhaus-Universität, Weimar, Deutschland, 09.07.2021

„Sensor Solutions for Vital Parameter Measurement in the Ear“

Martin Schädel, IVAM High-Tech Summit, online, 25.-26.08.2021

„Quantum electronics system integration – Hybrid integration of adiabatic quantum flux parametron solid state electronics“

Thomas Ortlepp, QuApps2021 & QT2030, online, 13.-15.09.2021

„Ammoniak-Gassensor für AdBlue Steuerung“

Christian Möller, elmug4future, comcenter Brühl, Erfurt, Deutschland, 21.-22.09.2021

„Fügen von Si-DMS in LTCC“

Thomas Frank, elmug4future, comcenter Brühl, Erfurt, Deutschland, 21.-22.09.2021

„Studying the barrier quality of ALD oxide layers“

Heike Wünscher, Ingo Tobehn-Steinhäuser, Thomas Frank, Kristin Neckermann, Thomas Ortlepp, 14th International Workshop on Impedance Spectroscopy (IWIS 21), Chemnitz, Deutschland, 29.09.-01.10.2021

„3D-strukturierte Fotodioden“

Christian Möller, CiS MOEMS Workshop - Optische Sensoren und Systeme für Fluoreszenz sowie Streulicht, Erfurt/online, 30.09.2021

„Sensoren für die UV-Fluoreszenzmesstechnik“

Andreas Winzer, CiS MOEMS Workshop - Optische Sensoren und Systeme für Fluoreszenz sowie Streulicht, Erfurt/online, 30.09.2021

„Metal segregation as root cause for electrical shorts in highly doped pressure sensor devices“

M. Simon-Najasek, P. Diehle, C. Große, S. Huebner, G. Brokmann, B. Sprenger, F. Altmann, ESREF 2021: 32th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis, 2021, Bordeaux, Frankreich, 04.-08.10.2021

„Innovative Vorspannkraftsensorik für Schraubverbindungen“

Arndt Steinke, Stefan Niggemann, 18. Windmesse Symposium, Hamburg, Deutschland, 05.10.2021

„Piezoresistive 3D-Kraftsensoren und ihre Anwendung“

Thomas Frank, CiS MEMS Workshop - Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Sensoren, Erfurt/online, 14.10.2021

„Sensormodelle im digitalen Zwilling“

Geert Brokmann, Heiko Beinersdorf, CiS MEMS Workshop - Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Sensoren, Erfurt/online, 14.10.2021

„MEMS-Sensorik in Elektrolyseuren“

Heike Wünscher, CiS MEMS Workshop - Entwicklungstrends bei piezoresistiven Silizium-Sensoren, Erfurt/online, 14.10.2021

„Innovative Fügetechnologien zum Aufbau von feuchte- und temperaturstabilen Kraftsensoren basierend auf piezoresistiven Silizium-Dehnmessstreifen“

André Grün, Deutsche IMAPS-Konferenz 2021, München, Deutschland, 21.-22.10.2021

„Hybrid system integration for Quantum computing based on solid state Josephson Qubits“

Thomas Ortlepp, ICSM2021 - 7th International Conference on Superconductivity and Magnetism, Milas-Bodrum, Türkei, 21.-27.10.2021

„Integrierter, digital steuerbarer Abwärtswandler, Submount zur Kühlung mit integrierter Sensorik und angepasste Optik zum Betrieb von UV-LEDs“

Christoph Heinze, Malte Frisch, Thomas Ortlepp, Olaf Brodersen, MikroSystemTechnik Kongress, Ludwigsburg, Deutschland, 08.-10.11.2021

„Online Überwachung von Werkzeugmaschinen mit MEMS-Sensoren“

Thomas Frank, Schmalkalder Werkzeugtagung, Schmalkalden, Deutschland, 10.-11.11.2021

„Optical Blood Pressure Monitoring with PPG Sensors“
Martin Schädel, COMPAMED, Düsseldorf, Deutschland, 15.-18.11.2021

„Verfahren zur Analyse der Pulswelle“

Martin Schädel, Hypertoniekongress 2021, Berlin, Deutschland, 25.-27.11.2021

„IR-Quellen für moderne Gassensoren“

Martin Schädel, Steffen Biermann, InnoCON Thüringen 2021, online, 30.11.2021

„Transparent photodiode for standing wave interferometer“

Christian Möller, Thomas Klein, Julia Brandel, Thomas Ortlepp, World Interferometry Day 2021, online, 14.04.2021

„3D-funktionalisierte Fotodioden“

Martin Schädel, Christian Möller, Dennis Mitrenga, Stefan Völlmecke, Andreas Winzer, Thomas Ortlepp, Jahresmagazin Mess- und Sensortechnik, Ingenieurwissenschaften Deutschland 2021/2022, Seite 29-31,

„MEMS-Komponenten für die Gassensorik - Herzstück moderner Sensoren“

Martin Schädel, Steffen Biermann, Thomas Ortlepp, Elektronik, Ausgabe 12/13, Seite 58-63, 29.06.2021

„Determination of piezo-resistive coefficient π_{44} in p-type silicon by comparing simulation and measurement of pressure sensors“

Kevin Lauer, Geert Brokmann, Mario Bähr, Thomas Ortlepp, AIP Advances, Volume 11, Issue 8, Article 085005, 01.08.2021

KONTAKT

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Konrad-Zuse-Straße 14
99099 Erfurt
Germany

Telefon: +49 361 663 14 10
E-Mail: info@cismst.de
Internet: 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
Prof. Dr. Gerhard Linß, Suhl, Aufsichtsratsvorsitzender
Dipl.-Ing. Michael Philipps, Maulburg
Dipl. Wirtschaftsingenieur. Benjamin Redlingshöfer; Ranis

Gesellschafter der CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH:

CiS e.V.

Vorstand:

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

