



Jahresbericht 2023 / 2024

---

# Crossing Frontiers in Microelectronics



**Das High-End Performance Packaging des Fraunhofer IZM ermöglicht nicht nur Lösungen für Zukunftsbranchen, sondern leistet einen essentiellen Beitrag zur europäischen Technologie-souveränität.«**

**Prof. Martin Schneider-Ramelow**  
Institutsleiter des Fraunhofer IZM

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	4
<b>Fraunhofer IZM</b>	
Kernkompetenzen .....	6
Abteilung System Integration & Interconnection Technologies .....	8
Abteilung Wafer Level System Integration .....	9
Abteilung Environmental & Reliability Engineering .....	10
Abteilung RF & Smart Sensor Systems .....	11
Fraunhofer IZM online .....	12
Im Spotlight .....	14
Fraunhofer – ein starkes Netzwerk .....	18
Geschäftsfelder und Branchen .....	20
Ausstattung und Leistungen .....	32
<b>Events &amp; Nachwuchsförderung</b> .....	34
<b>Facts &amp; Figures</b> .....	42
Das Fraunhofer IZM in Zahlen und Fakten .....	43
Auszeichnungen, Dissertationen, Editorials .....	44
Vorlesungen .....	45
Kooperationen mit Universitäten .....	46
Kooperationen mit der Industrie .....	47
Mitgliedschaften .....	48
Publikationen .....	49
Patente & Erfindungen .....	54
Kuratorium .....	55
<b>Kontakt</b> .....	56
<b>Impressum</b> .....	60



## Vorwort

Liebe Lesende,

die Nachwehen einer globalen Pandemie, der anhaltende Ukrainekrieg und nach wie vor volatile Energiekosten: Das vergangene Jahr stellte ressourcenintensive Branchen wie die Mikroelektronik erneut vor große Herausforderungen.

Umso erfreulicher ist daher, dass das Fraunhofer IZM trotz aller Widrigkeiten auf ein sehr erfolgreiches Jahr zurückblicken kann. Die am Institut entwickelten Technologien werden von der Industrie massiv nachgefragt und sind von höchster gesellschaftlicher Relevanz.

Chiplet Assembly, Hybrid Bonding, Si-Interposer-Technologien, Fan-Out Wafer Level Packaging, Kryo-Packaging, die Integration von Speichern mit hoher Bandbreite (HBMs), HF-Charakterisierung und das Packaging für 5G-/6G-Anwendungen sind nur einige Technologien, welche die Grundlage für die Mikroelektronik von morgen bilden. So ermöglicht zum Beispiel das kryogene Packaging ultraschnelle Quantencomputer, die in Zukunft zur Verarbeitung von immer riesiger werdenden Datenmengen aus KI-Systemen benötigt werden. Und im Projekt »Zn-H2« beispielsweise ist das Fraunhofer IZM an der Untersuchung neuartiger, auf Zink-Wasserstoff basierender Energiespeicher beteiligt.

Die steigende Nachfrage bezüglich nachhaltigerer Design- und Produktionsprozesse für elektronische Systeme reflektiert die immer ambitionierteren CO<sub>2</sub>-Ziele vieler Unternehmen.

Einige Höhepunkte des vergangenen Jahres:

In dem vom BMBF geförderten Projekt »Green ICT@FMD« wurden wichtige Meilensteine auf dem Weg hin zur Schaffung eines Kompetenzzentrums für eine grünere und ressourcenbewusstere IKT erreicht.

In dem Projekt »FANOPa« (gefördert vom Berliner Senat) wurde eine Fan-out-Wafer-Level-Packaging-Plattform für HF-Anwendungen entwickelt. In diesem Rahmen konnte eine qualifizierte Pilotlinie für Prototypen und Multi Project Wafer aufgebaut werden.

Im European Chips Act beteiligt sich das Fraunhofer IZM wesentlich an verschiedenen Initiativen, um die europäische Halbleiterindustrie zu stärken. Als Beitrag zum EU Chips Act plant ein europäisches Konsortium unter der Leitung der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) in den kommenden Jahren die umfassendste und fortschrittlichste Pilotlinie für »Advanced Heterogeneous System Integration and Advanced Packaging« aufzubauen.

Ein Pfeiler der innovativen Forschungsarbeit am Fraunhofer IZM ist die enge Kooperation mit unseren Partneruniversitäten, die wir im vergangenen Jahr weiter vertiefen konnten:

Am Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherie der TU Berlin wurden neue DFG-Projekte auf den Weg gebracht, um Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung noch enger zu verzahnen. Der in Kooperation mit dem Fraunhofer IPMS durchgeführte Aufbau eines Kompetenzzentrums (Center for Advanced CMOS & Heterointegration Saxony) schreitet weiter voran und wird entscheidend zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts Silicon Saxony beitragen. Auch die enge Zusammenarbeit mit der TU Dresden ist hier zu erwähnen: Gemeinsam mit der Honorarprofessorin für »Nanomaterials for Electronic Packaging«, Prof. Juliana Panchenko, arbeiten wir an verbesserten miniaturisierten Interconnects auf Basis von Nanomaterialien und nanostrukturierten Oberflächen.

Die Kooperation mit der BTU Cottbus-Senftenberg im Rahmen des iCampus wird fortgesetzt und die IZM-Außenstelle »High-Frequency Sensors & High-Speed Systems« weiter ausgebaut. Den dortigen Lehrstuhl hält seit nunmehr einem Jahr Prof. Ivan Ndip, Abteilungsleiter am Fraunhofer IZM. Im stetig wachsenden Forschungsbereich Bioelektronik kooperiert das Institut mit der TU Delft erfolgreich bei der Entwicklung einer neuronalen Schnittstelle zur Steuerung von smarten, taktilen Prothesen.

Auch wenn unser Blick gewöhnlich in die Zukunft gerichtet ist, haben wir in diesem Jahr 30 Jahre Fraunhofer IZM Revue passieren lassen und unser Jubiläum mit einem Fachsymposium sowie großem Festakt begangen. Unter dem Motto »Crossing Frontiers in Microelectronics« durften wir gemeinsam mit

zahlreichen Vertretenden aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik feiern und möchten uns auf diesem Wege bei allen Gästen und Gratulierenden bedanken.

Neben Forschung und engmaschiger Partnerschaft mit der Industrie haben wir im vergangenen Jahr die Ausbildung und Nachwuchsförderung zu einem Schwerpunkt erklärt. Unsere zehn Auszubildenden erlangen sowohl in technischen als auch nicht-technischen Berufen die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten für den Einstieg in eine zukunftssichere Branche. Darüber hinaus unterstützt das Institut Masterstudierende sowie Doktorand\*innen bei ihren Arbeiten und bildet so ein fruchtbares Umfeld für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Diesen zu unterstützen, ist dem Institut ein besonderes Anliegen. Neben 24 Schülerpraktikant\*innen erhielten vier junge Leute im Rahmen eines freiwilligen ökologischen Jahrs einen vertieften Einblick in die Forschungsarbeit des Fraunhofer IZM.

Das erfreuliche Gesamtergebnis des Instituts lässt sich auch anhand der Betriebszahlen abbilden. Ca. 450 Mitarbeitende verteilen sich über unsere drei Standorte und konnten den externen Ertrag im vergangenen Jahr auf 33,9 Millionen Euro steigern. Der Betriebshaushalt wuchs ebenfalls, und zwar auf 42,3 Millionen Euro.

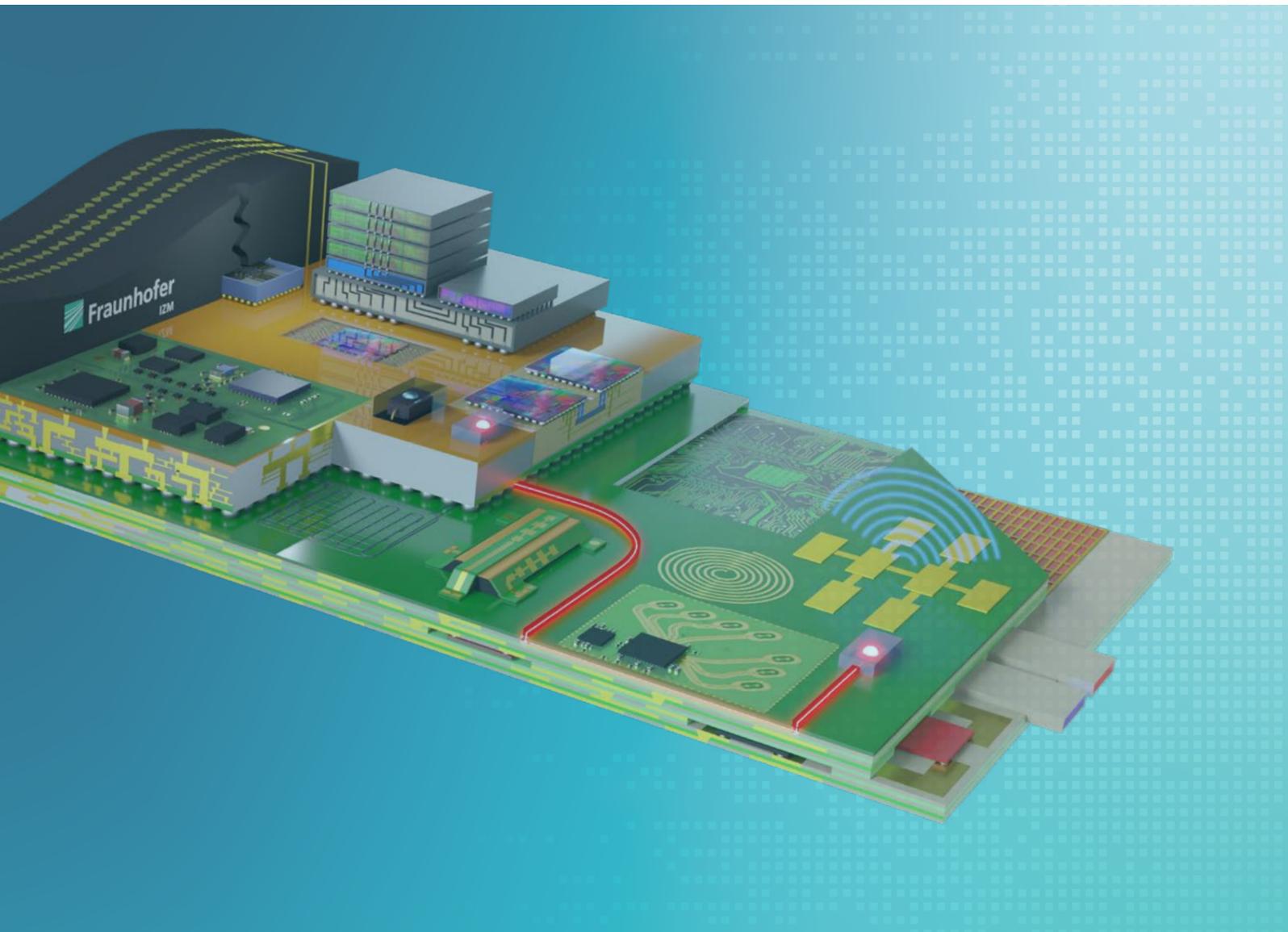
Das trotz schwieriger Marktlage alles in allem positive Jahresergebnis ist erneut den hochmotivierten Mitarbeitenden des Fraunhofer IZM zu verdanken, denen ich an dieser Stelle meinen besonderen Dank aussprechen möchte. Ohne euren leidenschaftlichen Einsatz wären die innovativen und richtungsweisenden Forschungsarbeiten des Fraunhofer IZM gewiss nicht möglich.

Außerdem gebührt der Dank unseren Partnern aus Wirtschaft und Industrie, deren Impulse und praxisnahe Expertise das Fraunhofer IZM zu einem der führenden Forschungsinstitute für Systemintegration und zuverlässige Mikroelektronik machen.

Nun wünsche ich viel Vergnügen beim Lesen des Jahresberichts und hoffe auf einen zuversichtlichen Blick in die Zukunft – allen Krisen und Unwägbarkeiten zum Trotz!

*Martin Schneider-Ramelow*

Ihr Martin Schneider-Ramelow  
Institutsleiter



## High-End Performance Packaging

Hochleistungssysteme zu geringeren Kosten – das versprechen heterogene Integrationslösungen und Technologien wie Chiplet-Architekturen. Hinter dem QR-Code verbirgt sich eine interaktive Grafik zum High-End Performance Packaging, die zeigt, wohin die Reise im Advanced Packaging geht und welche neuen Funktionalitäten das Fraunhofer IZM schon jetzt in seinem Technologie-Portfolio hat.



# Kernkompetenzen

## Vom Wafer zum System

Intelligente Elektroniksysteme – überall verfügbar! Um das zu ermöglichen, müssen ihre Komponenten ungewöhnliche Eigenschaften besitzen. Je nach Anwendung müssen sie hochtemperaturbeständig, besonders langlebig, extrem miniaturisiert, formangepasst oder sogar dehnbar sein. Das Fraunhofer IZM unterstützt Firmen weltweit dabei, robuste und zuverlässige Elektronik bis zum Extrem zu entwickeln, aufzubauen und in ihre spezielle Anwendung zu integrieren.

Das Institut entwickelt dafür mit 450 Mitarbeitenden angepasste Systemintegrationstechnologien auf Wafer-, Chip- und Boardebene. Forschung am Fraunhofer IZM bedeutet, Elektronik zuverlässiger zu gestalten und sichere Aussagen zu ihrer Haltbarkeit zu machen.

### Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IZM

Die Forschungsergebnisse des Fraunhofer IZM sind für Anwenderbranchen wie die Automobilindustrie, Medizintechnik oder Industrieelektronik und selbst für die Beleuchtungs- und Textilindustrie von außerordentlichem Interesse. Halbleiterunternehmen und Zulieferern entsprechender Materialien, Maschinen und Anlagen, aber auch kleinen Unternehmen und Startups stehen die Möglichkeiten offen: von der schnell verfügbaren Standard-Technologie bis hin zur disruptiven High-End-Entwicklung. Als Partner profitieren Kunden von den Vorteilen der Vertragsforschung: Sie können exklusiv eine Produktinnovation auf den Markt bringen, ein Verfahren verbessern oder einen Prozess prüfen und zertifizieren lassen.

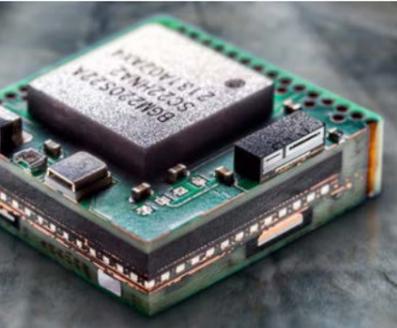
### Auftragsforschung

Häufig beginnt eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit einer ersten, in der Regel kostenlosen Beratungsphase. Erst wenn der Umfang der Kooperation definiert ist, stellt das Fraunhofer IZM seine FuE-Arbeit in Rechnung. Auftraggebende erhalten das Eigentum an den materiellen Projektergebnissen, die in ihrem Auftrag entwickelt wurden. Darüber hinaus bekommen sie die notwendigen Nutzungsrechte an den dabei geschaffenen Erfindungen, Schutzrechten und dem Know-how.

### Projektförderung

Manche Problemstellungen bedürfen vorwettbewerblicher Forschung. Hier bietet es sich an, die Lösung gemeinsam mit mehreren Partnern und der Unterstützung durch öffentliche Fördergelder zu erarbeiten. Um den Vorlauf für zukünftige Projekte mit der Industrie zu garantieren, kooperiert das Institut eng mit verschiedenen Hochschulen, z. B. den Technischen Universitäten Berlin und Dresden und der BTU Cottbus-Senftenberg.

## System Integration & Interconnection Technologies



Hochminiaturisiertes  
Edge-IOT-Modul

Die Abteilung »System Integration and Interconnection Technologies« (SIIT) ist die größte im Institut. Im Fokus ihrer Arbeit steht die heterogene Systemintegration. Durch die Kombination unterschiedlichster Materialien, Bauteile und Technologien eröffnen sich vielfältige Anwendungsfelder, etwa in der Medizintechnik, Automobilproduktion, Luftfahrt, Industrieelektronik oder Kommunikationstechnik. Für jeweils spezifische Anforderungen werden hochintegrierte elektronische und photonische Systeme, Module oder Packages entwickelt und hergestellt. Dabei wird die vollständige Wertschöpfungskette der einzelnen Produkte von der Konzeption, dem Design, über die Technologieentwicklung bis hin zur industrialisierbaren Fertigung abgebildet. Anwendungstechnische Schwerpunkte der Abteilung liegen auf Entwurf, Realisierung und Analyse leistungselektronischer und photonischer Systeme.

Zum Leistungsspektrum der Abteilung gehören zum Beispiel:

- Elektronische und photonische Schaltungsträger: mehrlagige konventionelle, starre und flexible Leiterplatten, zum Teil mit integrierten Komponenten; Mold Packages mit Umverdrahtung; Integration von optischen Wellenleitern in Leiterplatten
- Conformables: dehnbare, thermoplastische und textile Baugruppen
- Bestückung: hochpräzise Chip-Platzierung; automatisierte SMD-Montage; Flip-Chip-Technologie; automatisierte, optische Faserkopplung und Mikrooptik-Montage

- Verbindungstechnologien: Löten, Sintern, Transient Liquid Phase Bonding (TLPB) und Kleben von Bauteilen, Mikrooptiken und Chips; Draht- und Bändchenbonden; galvanische Metallabscheidung und Sputtern; Sieb- und Schablonendruck sowie kontaktlose Materialdosierung durch Jetten; Applikation von Polymerlinsen; integriert-optische Wellenleiter in Dünnglas; Entwicklung neuer Verbindungstechnologien
- Verkapselung: Leiterplattenembedding; Transfer und Compression Molding; Potting und Schutzlackierung; Underfilling und Glob Top
- Verarbeitete Materialien und Techniken: Faserverbundwerkstoffe; Verkapselungsmassen; Weichlote; Sintermaterialien; Glasstrukturierung; mechanische und chemische Metallbearbeitung

Die langjährige Erfahrung unserer Mitarbeiter\*innen in Kombination mit einer hochmodernen Geräteausstattung zur Verarbeitung großformatiger Fabrikationsnutzen in der gesamten Fertigung (610x457 mm<sup>2</sup>; 18'' x 24'') ist weltweit einzigartig. Zur Verfügung stehen ca. 2.500 m<sup>2</sup> Laborfläche, davon 600 m<sup>2</sup> Reinraum der ISO-Klassen 5–7. Hier erfolgt die Herstellung komplexer elektrischer oder photonischer Schaltungsträger, die Bestückung von Komponenten auf und die Einbettung in Schaltungsträger oder Gehäuse sowie die Verbindung und Verkapselung der Komponenten. Die realisierten Systeme werden elektrisch und mechanisch getestet und bewertet. Zur Dokumentation und für die Analyse setzen wir abbildende Techniken zur Strukturauflösung bis in den nm-Bereich, optische Funktionsmesstechnik und chemische Analytik bis in den sub-ppm-Bereich ein.

### Kontakt

Dr.-Ing. Tanja Braun  
tanja.braun@  
izm.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Andreas Ostmann  
andreas.ostmann@  
izm.fraunhofer.de

## Wafer Level System Integration

Die Abteilung »Wafer Level System Integration« (WLSI) konzentriert ihre Forschungsaktivitäten auf die Entwicklung von Advanced Packaging- und Systemintegrationstechnologien auf Waferebene und bietet so kundenspezifische Lösungen für mikroelektronische Produkte. Rund 80 Wissenschaftler\*innen am Standort des Fraunhofer IZM in Berlin und am Institutsteil »ASSID – All Silicon System Integration Dresden« (mit 2.000 m<sup>2</sup> Reinraum) forschen in den Bereichen:

- 3D-Integration inkl. Cu-TSV und Wafer Stacking
- Prozessierung und Integrationstechnologien für dünne Wafer
- Heterogene Integration
- Wafer Level Packaging, Fine-Pitch Bumping und Interconnect-Technologien
- Hermetisches MEMS- und Sensor-Packaging
- High-Density Flip-Chip Assembly
- Sensorentwicklung und -integration
- Hybrid Photonic Integration
- Photonic & Plasmonic System Development

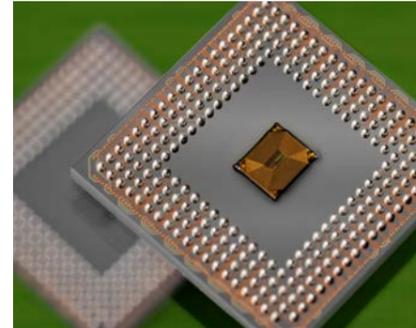
Die Abteilung hat an beiden Standorten Leading-Edge-Prozesslinien zu bieten, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Prozessierung von 200–300 mm Wafers erlauben, sich durch eine hohe Anpassungsfähigkeit und Kompatibilität der Einzelprozesse auszeichnen und insbesondere auf eine fertigungsnahe und industriekompatible Entwicklung und Prozessierung ausgelegt sind. Beide Standorte verfügen über ein vollständig gemäß ISO 9001:2015 zertifiziertes Managementsystem, das höchste Qualitätsstandards in der Projekt- und Prozessarbeit gewährleistet. In zahlreichen Forschungsprojekten werden die bestehenden Fachkenntnisse kontinuierlich erweitert, welche an KMU-Partner in der Entwicklungsphase transferiert werden können. Die Abteilung WLSI hat weltweit ein

umfangreiches Kooperationsnetzwerk aufgebaut: Hersteller und Anwender von Mikroelektronikprodukten, Anlagenhersteller und Materialentwickler im Mikroelektronikbereich.

Die technologische Expertise liegt in den Bereichen:

- Heterogene Wafer Level Systemintegration
- 3D Wafer Level System-in-Package (WL-SiP, CSP, WSI)
- Applikationsspezifische Cu-TSV-Integration: Via Middle, Via Last, Backside TSV
- Cu-TSV-Interposer mit Mehrlagen-RDL und Mikrokavitäten
- Glas-Interposer mit TGV und Mehrlagen-RDL
- High-Density Interconnect Formation: Mikro-/Nano-Interconnects und Pillar-Bumps mit Löt-kappen (Cu, SnAg, CuSn, Au, AuSn, In, InSn, nano-porous Au)
- Pre-Assembly (Dünnen, Handling dünner Wafer, Laser Grooving, Laser Dicing, Laser Debonding, Blade Dicing)
- 3D Assembly (D2D, D2W, W2W)
- 3D Wafer Level Stacking
- Waferbonden, Direct Bond Interconnect (DBI) – W2W (12''), Kleben, Löten
- Mikrosensorentwicklung und -integration
- MEMS Packaging (hermetisch)
- Simulation und Charakterisierung von photonischen und plasmonischen Komponenten und Systemen
- Photonische Systemintegration (inkl. Wellenleiter und Selbstjustage)

Das Serviceangebot für Industriekunden umfasst Prozessentwicklung, Materialevaluierung und -qualifizierung, Prototyping, qualifiziertes Low- und Middle-Volume Manufacturing sowie Prozesstransfer. Die neu entwickelten Technologien werden an die Anforderungen des Kunden angepasst.



Eingebetteter Mikro-RFID-Tag  
in der Umverdrahtung eines  
Chips zur Komponenten-  
identifikation und Sicher-  
stellung vertrauenswürdiger  
Lieferketten

### Kontakt

Dr.-Ing. Michael Schiffer  
michael.schiffer@  
izm.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Manuela  
Junghänel  
manuela.junghaehnel@  
assid.izm.fraunhofer.de

## Environmental & Reliability Engineering



Einheitliche Ladeanschlüsse und modularer Geräteaufbau fördern die Circular Economy

Die Vereinbarkeit von Umwelt und Mikroelektronik hat mittlerweile in der Industrie einen hohen Stellenwert. Das Fraunhofer IZM ist Vorreiter in diesem Forschungsgebiet – die Abteilung »Environmental and Reliability Engineering« unterstützt seit über 20 Jahren Produktentwicklungen und die Vorentwicklung langlebiger und grüner neuer Technologien. Mit der einzigartigen Kombination von Umwelt- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen deckt die Abteilung folgende Bereiche ab:

- Umweltbewertung und Ökodesign
- Ressourceneffizienz, Circular Economy und Obsoleszenzforschung
- Zuverlässigkeitsanforderungen, Prüfverfahren und Zustandsüberwachung
- Fehlermechanismen, Lebensdauermodelle und Materialdaten
- Zuverlässigkeitsanalyse und -optimierung mittels Simulationen

Mit einem interdisziplinären Team entwickeln wir Verfahren und Modelle und begleiten unsere Partner bei der Integration umwelt- und zuverlässigkeitsrelevanter Kriterien in den Design- und Entwicklungsprozess. So können wir bei der Einführung neuer Technologien, Materialien, Prozesse, Komponenten und Anwendungen frühzeitig Schwachpunkte und Potenziale identifizieren und geeignete Lösungen aufzeigen.

Eine wichtige gesamtgesellschaftliche Herausforderung liegt in der Eindämmung des steigenden Ressourcenverbrauchs und der Begrenzung von Elektro- und Elektronikschrott. Elektronik ist aus keinem Lebensbereich mehr wegzudenken und trägt insgesamt maßgeblich zum Klimawandel bei – gleichzeitig ist Mikroelektronik oft ein Schlüssel für Ressourceneinsparungen und Dekarbonisierung.

Die Anfragen der Industrie, sei es zu Designkonzepten für konkrete Produkte oder zu Umweltverbesserungen von Basistechnologien, steigen derzeit deutlich an. Wir unterstützen auch Zulieferer und kleinere Unternehmen bei der Erarbeitung individueller Klimaschutz- und Ressourceneffizienzziele.

Auch die Langlebigkeit, Demontagefähigkeit und Reparierbarkeit werden zunehmend durch Gesetzgebung, durch Kundenforderungen, die Weiterentwicklung der Standards und als Zuliefererauflage eingefordert. Die applikationsspezifische Zuverlässigkeitsabsicherung spielt hier eine wichtige Rolle, um lange Lebensdauern der ressourcenintensivsten Elektronikmodule sicherzustellen.

Im Bereich der Zuverlässigkeitsabsicherung auf Technologieebene werden die Untersuchungsmethoden und Simulationsmodelle permanent weiterentwickelt. Alle wesentlichen Versagensmechanismen und Belastungen von elektronischen Baugruppen werden je nach Anwendung untersucht, dazu gehören mechanische Vibration, Temperatur, Feuchte, Temperaturwechsel sowie Strom- und Spannungsbelastungen. Besonders prägnante Schwerpunkte sind derzeit Warpage und Korrosion. Auf der Basis individuell angepasster Tests und Simulationsmodelle werden die Technologieparameter (Materialauswahl, Geometrien, Prozessführung) optimiert, um die Zuverlässigkeitsanforderungen in der Fertigungskette und in der Applikation zu erfüllen.

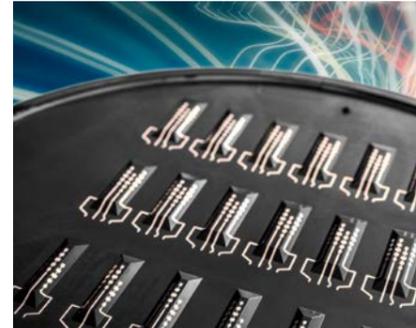
## RF & Smart Sensor Systems

Die Abteilung »RF & Smart Sensor Systems« befasst sich mit der Erforschung, Entwicklung und industriellen Anwendung von drahtlosen Sensor- und Kommunikationssystemen. Im Fokus der Arbeiten stehen 5G- und 6G-Kommunikationssysteme, Radarsensoren sowie drahtlose Sensorknoten. Die funktional bestimmenden Kriterien und die größte Herausforderung in Bezug auf Forschung und Entwicklung sind große Bandbreiten, hohe Robustheit und ein Maximum an Energieeffizienz.

Dazu treten Features wie steuerbare Antennen, Beamforming oder Sicherheit gegen Korruption in den Vordergrund. Für deren Umsetzung ist eine stärkere Verzahnung des Schaltungsdesigns mit der Technologieentwicklung (Hardware-Package-Co-Design) ebenso unabdingbar wie ein Hardware-Software-Co-Design. Deshalb beziehen die Arbeiten unserer Abteilung das breite Technologie-Know-how des Fraunhofer IZM ebenso ein wie die eigenen profunden Kenntnisse in Firm- und Softwareentwicklung.

Inhaltlich konzentrieren sich die Arbeiten auf:

- HF-Design und -Charakterisierung von Materialien, Packages, Antennen und Komponenten (bis 220 GHz)
- HF-Systemintegration und Modulentwurf unter Berücksichtigung von Signal- und Power-Integrität
- Entwicklung hochintegrierter Radarsensoren
- Entwurf und Realisierung autarker drahtloser Sensorsysteme für den industriellen Einsatz
- Entwicklung von Mikrobatterien sowie von Energieversorgung und -management für autarke Systeme
- Werkzeuge für den optimierten Entwurf von Mikrosystemen und Server-Client-Software-Architekturen für IoT-Anwendungen



Als MIMO-Array kompressions-gemoldete 3D-Radarantennen zur 180° Umgebungserfassung

### Kontakt

Dr.-Ing. Nils F. Nissen  
nils.nissen@  
izm.fraunhofer.de

### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Ivan Ndip  
ivan.ndip@  
izm.fraunhofer.de

Harald Pötter  
harald.poetter@  
izm.fraunhofer.de

# 2024 Schlauer werden mit dem Fraunhofer IZM

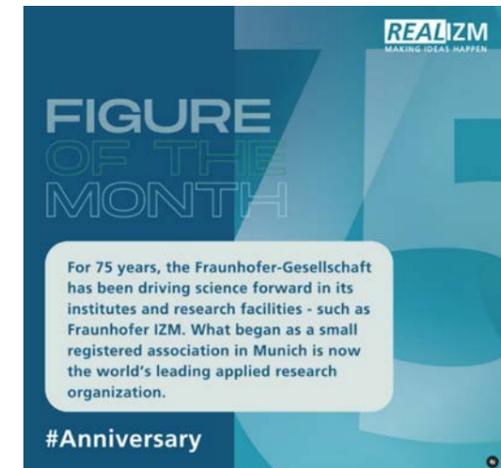
Tutorials - Schulungen - Expert Sessions - Blog



Das Fraunhofer IZM ist mittlerweile auf allen wichtigen Social-Media-Kanälen vertreten und baut seine Online-Präsenz kontinuierlich aus. Auf YouTube bieten wir mit Online-Kursen Möglichkeiten der Weiterbildung, während auf LinkedIn wertvolle Kontakte zu Branchenexperten gepflegt werden. Auch auf X, Facebook und Instagram erreichen wir mit Einblicken in unseren Arbeitsalltag sowohl bestehende als auch neue Zielgruppen. Dank der stark wachsenden Zahl an Followern vergrößert sich unsere Reichweite stetig. Auf der nächsten Seite finden Sie einige Beispiele unserer Arbeit.

Bei LinkedIn und Instagram teilen wir unseren Arbeitsalltag und erhöhen so die Sichtbarkeit unserer Mitarbeiter\*innen

Drei von bisher sieben »Green ICT@FMD« Schulungsvideos, die sich an Fachleute aus Industrie und Forschung wenden



## Videotutorials für grüne Elektronik

Im Rahmen des vom BMBF-geförderten Projektes »Green ICT @ FMD« haben die IZM-Umweltexpert\*innen für Elektronik- und IKT-Produkte Schulungsvideos erstellt, in denen Wissen und Kompetenzen zur Bewertung »grüner« IKT-Systeme vermittelt werden. Dies umfasst Themenbereiche wie Ökobilanzierung, Umweltgesetzgebung und aktuelle Entwicklungen.

Die Produktion der Schulungsvideos liegt vollständig beim Fraunhofer IZM: Konzeptionierung, Drehbuch, Erstellen der graphischen Inhalte, technische Aufnahme im Videostudio und die Postproduktion. Die Videos richten sich an Fachpublikum aus den Bereichen Wissenschaft, Industrie und Politik. Die Sprecher\*innen der Videos sind IZM-Kolleg\*innen, wodurch Sichtbarkeit und Vernetzung in der Forschung gestärkt werden.

<https://izm.fraunhofer.de/greenICT-online>

## The only way is up: Vier Jahre RealIZM Blog

Mit einem Mix aus Interviews, Reportagen und Videos hat sich RealIZM, der Wissenschaftsblog für Mikroelektronik des Fraunhofer IZM, in den letzten vier Jahren als



Online-Kommunikationsplattform etabliert, über die das Institut seine neuesten Forschungsergebnisse mit der Packaging-Community teilt. Knapp 500 Mikroelektronik-Interessierte haben den Blog-Newsletter abonniert, um keine Folge zu verpassen und 7.000 Besucher\*innen waren alleine 2023 auf unseren Seiten unterwegs. Besuchen Sie uns doch auch einmal!

<https://blog.izm.fraunhofer.de>

## Umsonst und online: IZM-Expert Sessions finden großen Anklang

»Heterogeneous integration - What's next?« - so hieß der Workshop, mit dem sich die IZM-Wissenschaftler\*innen im Juli 2020 erstmals online zu Wort meldeten. Seitdem erfreuen sich die IZM-Expert Sessions bei unseren Kund\*innen großer Beliebtheit. Rund 30 Seminare fanden in den letzten Jahren statt, oft mit mehreren Sessions zu einem übergreifenden Thema wie neuen optischen Verbindungstechniken, Low-Power-Systemen, innovativen Substratmaterialien oder miniaturisierten Sensorsystemen.

<https://izm.fraunhofer.de/workshops>

# Im Spotlight Embedding für die Leistungselektronik

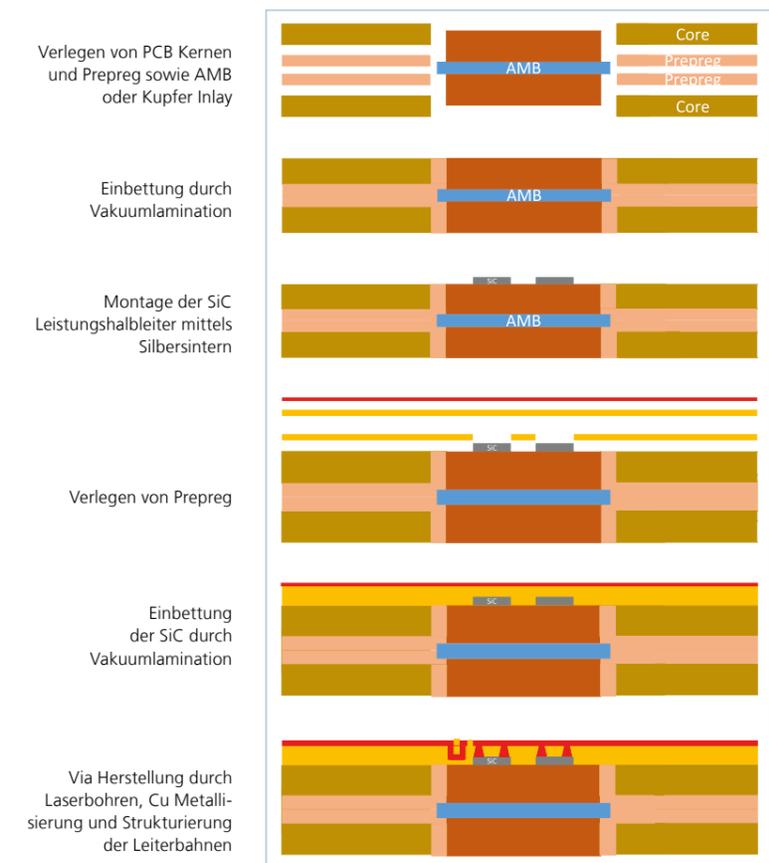
Eckart Hoene

Der Leistungselektronik kommt bei der Dekarbonisierung unseres Wirtschaftssystems eine tragende Rolle zu. Ihre Aufgabe ist es, die dann zum größten Teil elektrische Energie auf dem Weg zum Endverbraucher mehrmals mit möglichst geringen Verlusten umzuwandeln. Das Fraunhofer IZM forscht seit Jahrzehnten daran, wie diese Umwandlung möglichst kostengünstig und effizient realisiert werden kann.

Da das Volumen der Leistungselektronik vor allem durch die Größe der passiven Bauteile bestimmt wird, fokussieren sich unsere Forschungsanstrebungen seit Langem auf das schärfste Schwert zur Volumenreduzierung: die höheren Schaltfrequenzen. Die Einführung der Leistungshalbleiter aus Siliziumcarbid und Galliumnitrid zeigte schnell, dass diese Halbleiter nicht mehr durch sich selbst in der Geschwindigkeit begrenzt werden, sondern durch das Packaging der Leistungshalbleiter. Parasitäre elektromagnetische Effekte führen zu Schwingungen und Überspannungen, aufgrund derer das volle Potenzial der Halbleiter nicht ausgenutzt werden konnte.

Vor diesem Hintergrund hat das Fraunhofer IZM im Jahr 2013 der Fachwelt das erste Mal in Leiterplatten eingebettete Leistungshalbleiter in Kombination mit keramischen Substraten vorgestellt. Durch die Technologie konnten sowohl Freiheitsgrade für ein gutes elektromagnetisches Design mit mehr Verdrahtungslagen geschaffen, als auch die sehr konzentrierte Verlustleistung dieser Halbleiter platzsparend abgeführt werden.

Der große Vorteil, der sich damit im Vergleich zu den konventionellen Modulen erschließen lässt, ist die Reduzierung der Schaltverluste. Wenn man bedenkt, dass bei einem Elektroauto mit einem SiC-Umrichter ca. 70 % der Umrichterverluste im standardisierten Fahrzyklus Schaltverluste sind, ergibt sich hier ein großes Potenzial für eine höhere Reichweite. IZM-Wissenschaftler\*innen haben in mehr als zehn Generationen der Leistungsmodule deren Eigenschaften immer weiter optimiert, so dass Schaltverluste um den Faktor vier im Vergleich zum Stand der Technik verringert werden konnten. Erreicht wurde das vor allem durch die Reduzierung der Zwischenkreisinduktivität, einen perfekt symmetrischen Stromfluss mit 1D-Stromflussrichtung und einen gedämpften primären Zwischenkreis.



Prozessfluss für das Einbetten von SiC-Leistungshalbleitern in Leiterplatten

Die grundsätzliche Struktur der Aufbautechnik wird in der obigen Abbildung gezeigt. Der Aufbau beginnt mit den keramischen Substraten, die mit dickem Kupfer die Abwärme der Halbleiter spreizen können, und der Keramik, die Isolation bei geringem thermischen Widerstand herstellt. Sie werden in einem Laminationsprozess zu einem Leiterplattenpanel zusammengefügt. Auf die keramischen Substrate werden die Halbleiter mit einem Silber-Sinterprozess aufgebracht. Die Halbleiter werden im nächsten Schritt einlaminiert und der elektrische Kontakt zu ihrer Oberseite mit Laserbohrungen ermöglicht. Im Galvanisierungsprozess werden anschließend die elektrischen Kontakte hergestellt. Fast immer wird noch eine weitere Schicht darauf laminiert, dann ist das Modul fertig. Es kann daraufhin wie eine Leiterplatte mit SMD-Bauteilen bestückt oder auf einen Kühlkörper gelötet werden. Die elektrischen Anschlüsse können auf verschiedene Arten hergestellt werden, u. a. werden am Fraunhofer IZM Kupferbleche mit Laser auf die Module montiert.

Das Interesse am Einsatz dieser Technologie in der Industrie hat in den letzten zwei Jahren stark zugenommen und zu einer Vielzahl von Projekten am Institut geführt. Inzwischen bieten auch weitere Zulieferer diese Technologie an, so dass das Fraunhofer IZM nicht mehr der einzige Partner für derartige Projekte ist. Spannend sind dabei die Dauer und die Hürden, die eine Technologie bis zur Umsetzung in die Serienfertigung nehmen muss. Nachdem in unserem Haus zunächst Herausforderungen der Fertigung gelöst werden mussten, die vor allem mit der Kombination sehr unterschiedlicher Materialien und deren Ausdehnungskoeffizienten zusammenhingen, ist es der Nachweis der Lebensdauer, der heute viel Zeit und Ressourcen in Anspruch nimmt. Die lebendige Forschungslandschaft in Deutschland ist dafür hilfreich, wobei noch etwas mehr Risikobereitschaft in der Industrie wünschenswert wäre.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Eckart Hoene  
eckart.hoene@  
izm.fraunhofer.de

# Im Spotlight

## Vertrauenswürdige Elektronik (Trusted Electronics)

Jan Hefer, Karl-Friedrich Becker, Olaf Wittler, Markus Wöhrmann

1 *Sensormodul zur prozessbegleitenden Datenaufnahme, gefertigt in einer vertrauenswürdigen Fertigungsumgebung*

2 *Miniaturisierter Krypto-RFID-Chip, eingebettet mittels Wafer-Level Dünnschichttechnologie*

### Kontakt

Jan Hefer  
jan.hefer@  
izm.fraunhofer.de

Karl-Friedrich Becker  
karl-friedrich.becker@  
izm.fraunhofer.de

Olaf Wittler  
olaf.wittler@  
izm.fraunhofer.de

Markus Wöhrmann  
markus.woehrmann@  
izm.fraunhofer.de

### Mit zunehmender Globalisierung und komplexeren Lieferketten ist elektronische Hardware anfällig für Manipulationen

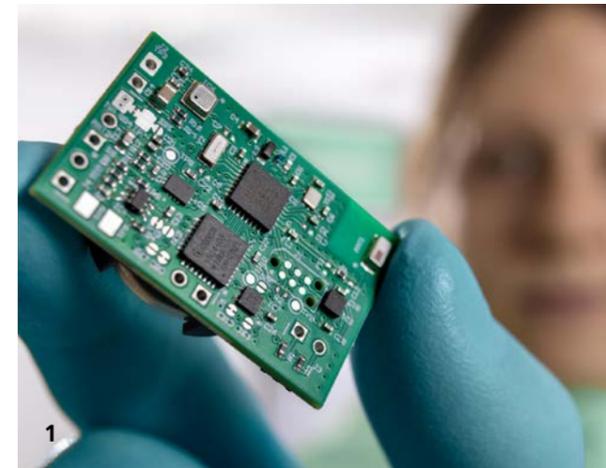
Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied. Diese Weisheit trifft auch auf das Industrielle Internet der Dinge (IIoT), auf autonome und vernetzte Fahrzeuge oder wichtige Infrastrukturen zu, da hohe Investitionen in Softwaresicherheit allein kein ganzheitlich sicheres System garantieren. Eine vollständige Sicherheit für ein breites Spektrum von Anwendungen auf Basis elektronischer Systeme ist nur erreichbar, wenn die Vertrauenswürdigkeit der Hardware gewährleistet ist.

Während Software-Schwachstellen oft durch Patches oder Updates behoben werden können, ist eine Korrektur bei Hardware – insbesondere, wenn eine Vielzahl betroffener Geräte in Verkehr gebracht wurde – deutlich schwieriger, da Redesigns oder Rückrufe sehr aufwändig sein können. Daher ist das Schadensausmaß bei angegriffener oder manipulierter Hardware in der Regel größer.

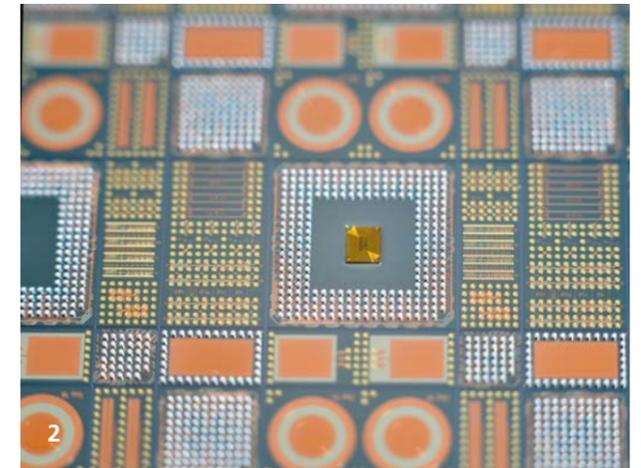
Eine Risikobewertung für das betrachtete System bzw. die Anwendung bildet die Grundlage für die Entscheidung, welche Maßnahmen jeweils am besten geeignet sind, um mögliche Angriffspunkte zu schützen und Risiken zu minimieren. Für hardwarebasierte kritische Infrastrukturen wären beispielsweise kostenintensive, mehrstufige Sicherheitskonzepte sinnvoll, für Consumer-Elektronik sind hingegen einfachere und damit preiswerte Lösungen gefordert. Eine Kosten-Nutzen-Abwägung bei der Auswahl der Schutzvorkehrungen spielt also ebenfalls eine wichtige Rolle.

### Hardware-implementierte Schutzmechanismen

Die Packaging-Technologien des Fraunhofer IZM bieten vielfältige Möglichkeiten, Beiträge zum Schutz von Halbleiterkomponenten vor physischen Angriffen und Manipulationsversuchen zu leisten. So lassen sich beispielsweise abschirmende oder verdeckende Schichten bzw. Strukturen aufbringen, die es Angreifern erschweren, auf interne Elemente einer zu schützenden Komponente



1



2

zuzugreifen und diese zu manipulieren. Derartige Strukturen können aber auch sensorische Eigenschaften haben, so dass mit ihrer Hilfe oder durch die Einbettung von Sensorfunktionen in Verdrahtungs- oder Substratebenen die Erkennung von Intrusionen möglich wird. Integrierte ID-Elemente dienen zusätzlich der Sicherstellung der Einzigartigkeit von Komponenten.

Durch den Einsatz technologiebasierter Schutzkonzepte können Unternehmen folglich die Vertrauenswürdigkeit ihrer Produkte erhöhen und sich gegen physische Angriffe und Manipulationsversuche wappnen.

### Vertrauenswürdige Fertigung als Basis für vertrauenswürdige Elektronik

Die Grundlage der Industrie 4.0-orientierten Fertigung ist die Vernetzung von Produktionsanlagen und die Nutzung von Daten zur Digitalisierung von Geschäftsprozessen. Neben den Daten, die Fertigungssysteme bereits liefern werden weitere Prozessinformationen und Daten direkt vom Werkstück sowie aus der Fertigungsumgebung benötigt, um eine ganzheitliche Systemsicht als Basis für Fertigungsüberwachung und -optimierung zu erreichen.

Aktuelle Forschungsarbeiten zur vertrauenswürdigen Fertigung beschäftigen sich mit der Prozessdigitalisierung für ein Fertigungsszenario, in dem hochwertige elektronische Güter in einer verteilten Fertigungsumgebung hergestellt werden. Die wichtigsten Forschungsthemen sind die Implementierung einer Chain of Trust (CoT) für eine vertrauenswürdige verteilte Fertigung und die Anwendung von künstlicher Intelligenz bzw. maschinellem Lernen zur Analyse und Optimierung von Fertigungsprozessen.

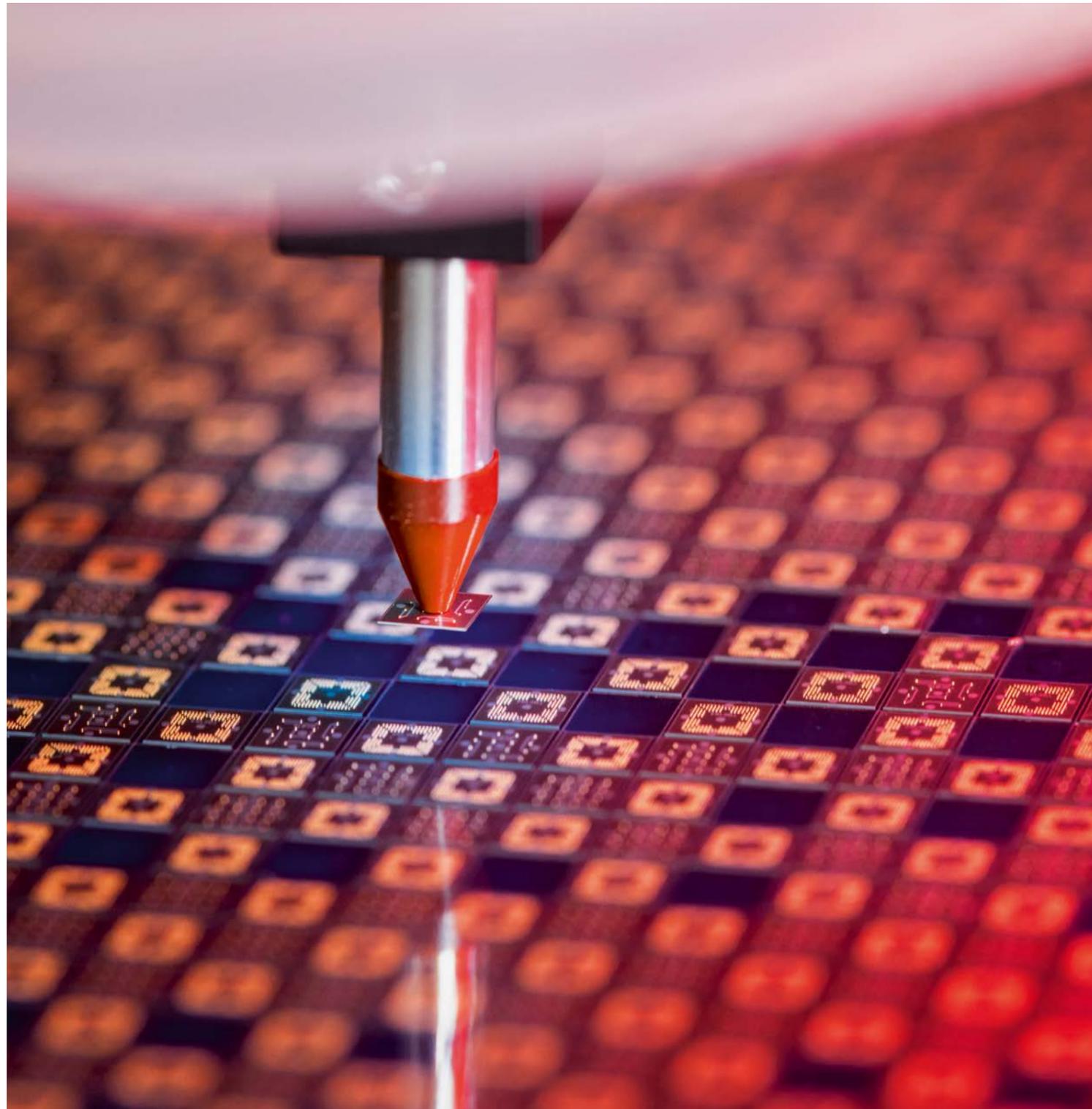
Erreicht wurde bereits die experimentelle Evaluierung dieser Konzepte in zwei Montagelinien – einschließlich Datenerfassung, Datenverarbeitung und KI-Verarbeitung – mit dem Ziel, die Fertigung im Sinne einer höheren Produktionsausbeute und Produktqualität zu optimieren.

### Bewertung der Vertrauenswürdigkeit durch Kombination von Analyseverfahren

Die Vertrauenswürdigkeit aller Teilkomponenten bildet die entscheidende Grundlage für die Sicherheit und Zuverlässigkeit eines Produkts. Werden andere als ursprünglich für das Produkt qualifizierte Komponenten eingebaut, so ergeben sich nicht kalkulierbare Risiken.

Um diese durch irregulär in Verkehr gebrachte Komponenten, Fälschungen oder Manipulationen verursachten Risiken reduzieren zu können, wurden am Fraunhofer IZM Ressourcen und Kompetenzen gebündelt, so dass Verdachtsfälle umfassend »auf Herz und Nieren« überprüfbar sind. Zum Tragen kommt dabei das IZM-spezifische Wissen in der Auslegung, Prozesstechnik, Analyse und Prüfung elektronischer Komponenten, Baugruppen und Systeme.

Gemeinsam mit dem betroffenen Unternehmen können auf diese Weise Design- und Fertigungsunterschiede identifiziert und bewertet werden, so dass Rückschlüsse auf Fertigungsabläufe oder Produktionsstandorte möglich sind. Eine elektrische Charakterisierung unterstützt wiederum bei der Beschreibung des Systemverhaltens und der Erkennung von Fehlfunktionen. Die Gesamtheit aller gewonnenen Informationen kann wertvolle Hinweise auf die Vertrauenswürdigkeit der überprüften Komponente oder Baugruppe liefern.



Handling gedünnter Chips

## Weltweit führend in der angewandten Forschung

### Ein starkes Netzwerk

#### Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 32.000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 3,4 Milliarden Euro. Davon fallen 3,0 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung.

#### Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Seit 2017 ist das Fraunhofer IZM Teil der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD), die die Expertise von elf Fraunhofer-Instituten des Verbunds Mikroelektronik, des Ferdinand-Braun-Instituts, des Leibniz-Instituts für Höchstfrequenztechnik (FBH) sowie des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik (IHP) bündelt.

Als zentraler Ansprechpartner für Mikro- und Nanoelektronik in Deutschland und Europa bietet die FMD technologische Lösungen in verschiedenen Bereichen wie Sensorsysteme, Leistungselektronik, MEMS Aktoren, Microwave und Terahertz, Extended CMOS, Chip- und Chiplet-Design, Optoelektronische

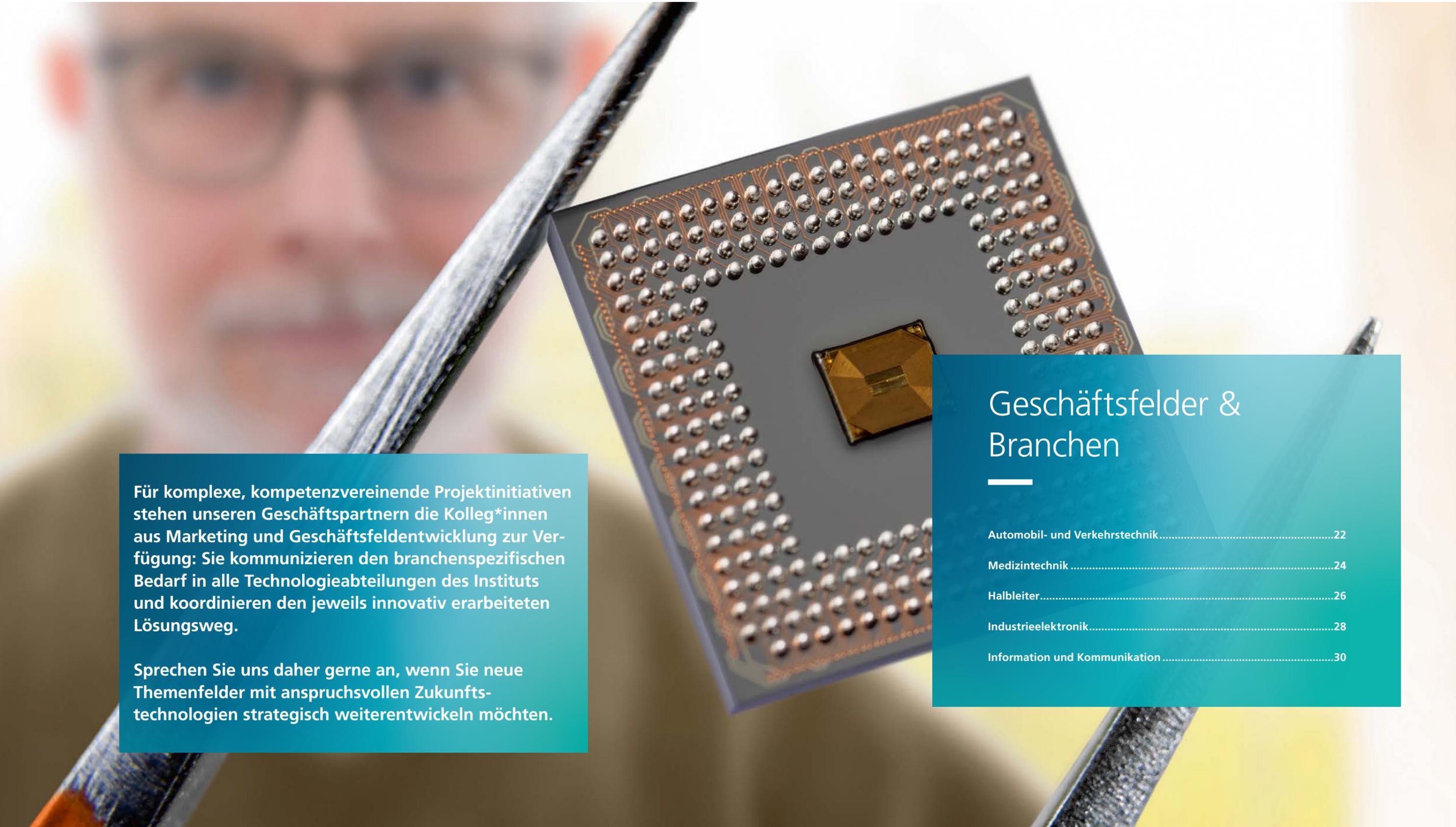
Systeme sowie Multi-Projekt-Technologien. Darüber hinaus ermöglicht die FMD Kooperationen zur Bearbeitung von Forschungsfragen zu den Fokusthemen Ressourceneffizienz, Next Generation Computing, Sicherheit, Mobilität, Produktion und Kommunikation. Neben der Koordination großer Verbundprojekte unterstützt die FMD auch Start-ups, KMU und Forschungsgruppen mit Programmen wie »Green ICT Space« oder »QNC Space«.

Als Beitrag zum »EU Chips Act« wird die FMD in den kommenden Jahren die umfassendste und fortschrittlichste Pilotlinie für die Chipintegration von innovativen, robusten und vertrauenswürdigen heterogenen Systemen aufbauen. Die Pilotlinie für Advanced Heterogeneous System Integration wird die Innovationsfähigkeit der europäischen Industrie in ihrer gesamten Breite fördern.

#### Leistungszentren

Aufgabe des Leistungszentrums »Funktionsintegration für die Mikro- / Nanoelektronik« ist es, vor allem mittelständische Firmen in Sachsen in der Sensorik und Aktorik, der Messtechnik sowie im Maschinen- und Anlagenbau durch eine schnelle Überführung von Forschungsergebnissen in innovative Produkte zu stärken. Ihm gehören die Fraunhofer-Institute ENAS, IIS-EAS, IPMS und IZM-ASSID sowie die TU Dresden, die TU Chemnitz und die HTW Dresden an.

Das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« ist eine Kooperation der vier Berliner Fraunhofer-Institute FOKUS, HHI, IPK und IZM. Im Zentrum der Arbeit stehen Technologien und Lösungen, die der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung aller Lebensbereiche Rechnung tragen.



Für komplexe, kompetenzvereinende Projektinitiativen stehen unseren Geschäftspartnern die Kolleg\*innen aus Marketing und Geschäftsfeldentwicklung zur Verfügung: Sie kommunizieren den branchenspezifischen Bedarf in alle Technologieabteilungen des Instituts und koordinieren den jeweils innovativ erarbeiteten Lösungsweg.

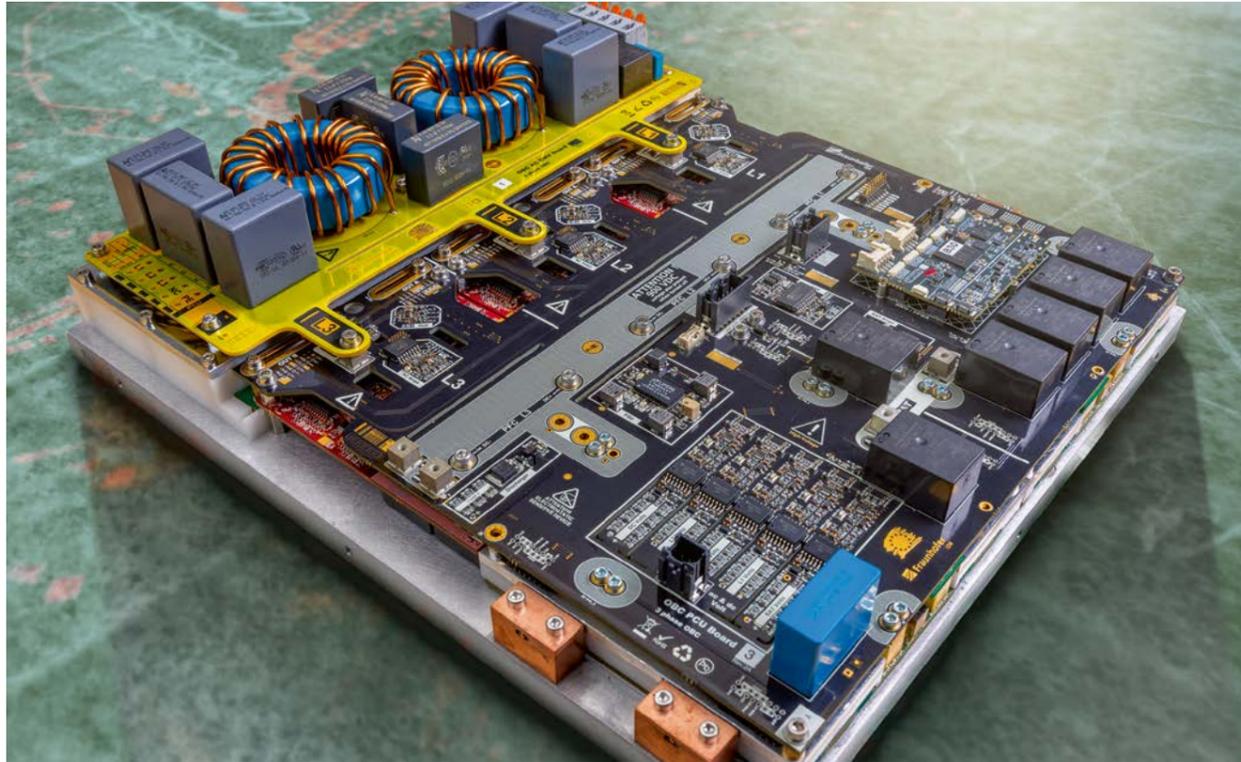
Sprechen Sie uns daher gerne an, wenn Sie neue Themenfelder mit anspruchsvollen Zukunftstechnologien strategisch weiterentwickeln möchten.

## Geschäftsfelder & Branchen

---

Automobil- und Verkehrstechnik.....	22
Medizintechnik .....	24
Halbleiter.....	26
Industrieelektronik.....	28
Information und Kommunikation .....	30

## Automobil- und Verkehrstechnik



Innovativer 22 kW-On-Board Charger, entwickelt am Fraunhofer IZM

Moderner Verkehr sollte so sicher, umweltfreundlich und kostenoptimiert wie möglich gestaltet werden. Zu diesem Zweck kommen für innovative Verkehrsträger und Prozesse leistungsfähige, zuverlässige und bei Bedarf hochminiaturisierte elektronische Systeme zum Einsatz. Diese Applikationsfelder gehören zu den Kernkompetenzen einer jeden Abteilung am Fraunhofer IZM, das OEM, Tier 1 und deren Zulieferer bei der Elektrifizierung des Fahrzeugs auf allen Ebenen unterstützt. Zudem werden sowohl für konventionelle, hybride oder elektrische Antriebstechnologien als auch für Systeme zur Gewährleistung von Sicherheit und Komfort zukunfts-trächtige und zuverlässige Lösungen entwickelt und anschließend prototypisch realisiert.

### Das Fraunhofer IZM entwickelt kosteneffiziente bidirektionale Ladeeinheit für Elektrofahrzeuge

On-Board-Ladegeräte (OBC) sind in modernen Elektrofahrzeugen unverzichtbar. Um die Produktionskosten zu minimieren, entwickelt das Fraunhofer IZM ein innovatives bidirektionales 22 kW-System auf Basis von planaren Transformatoren und gekoppelten Induktivitäten. Die in etablierter Leiterplattentechnologie aufgebauten induktiven Bauelemente werden hinsichtlich der gleichmäßigen Stromverteilung in den Wicklungen sowie der Flussdichteverteilung und der makroskopischen Wirbelströme im Magnetkern mittels 3D-Feldsimulationen optimiert. Der OBC arbeitet weltweit in 3- und 1-phasigen Netzen in einem sehr weiten Eingangsspannungsbereich und kann sowohl für 400 V- als auch für 800 V-Batterien eingesetzt werden. Dabei wird ein Wirkungsgrad von über 97 % bei einem Volumen von drei Litern erreicht.

### Radarbasierte 3D-Umgebungserfassung für die sichere Zusammenarbeit von Mensch und Maschine

In einer Fabrik müssen Mensch, Maschine und die verbindende Intralogistik sicher zusammenarbeiten. Im Projekt PLATON wird dazu eine integrierte Sensor- und Datenverarbeitungsplattform entwickelt, die 3D-Radardaten sowohl auf unterschiedlichen Zeitskalen als auch räumlich verteilt mittels KI auswertet. Erprobt werden soll die Funktionalität durch das Zusammenspiel von mehreren fahrerlosen Transportsystemen (FTS). Zur sicherheitskonformen Erkennung der Umwelt wird ein MIMO-Radar mit einem SAR-Radar kombiniert. Das Fraunhofer IZM entwickelt hierfür die integrierten Frontend-Module und zusätzlich die Signalverarbeitung für das MIMO-Radar. Durch die Fusion sowohl der Daten der beiden Radarsysteme als auch der Daten der verschiedenen FTS lässt sich Umgebung mit der geforderten Sicherheit erfassen. Hierfür hat das Fraunhofer IZM die Hardware entwickelt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

### Entwicklung eines dynamisch adaptierbaren Radar-Frontends für Überwachung und Steuerung des Luftverkehrs

Studien sehen in der Nutzung des Luftraums durch UAS (Unmanned Aircraft Systems) die Zukunft des regionalen Personen- bzw. Warentransports. Die daraus resultierende intensive Nutzung des Luftraums insbesondere in Ballungsräumen setzt eine effiziente Überwachung und Steuerung der Verkehrsströme voraus. Im Projekt AKIRA-UTM entwickelt das Fraunhofer IZM gemeinsam mit dem Fraunhofer FHR hierfür skalierbare bodengestützte Radarsysteme für die Ortung und die Positionierung der UAS sowie für die Kommunikation zwischen den UAS und zwischen den UAS und dem Traffic Management-System (UTM). Die Radarsysteme werden flächig verteilt. Die Vernetzung der einzelnen Bodenradarsysteme gewährleistet eine störunempfindliche Radar- und Kommunikationsfunktionalität. Das Fraunhofer IZM entwickelt hierzu ein adaptierbares MIMO-Radarfrontend mit einem Erfassungsbereich von 180°, dessen Winkelauflösung im Betrieb zudem horizontal und vertikal adaptierbar ist. Das Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Luftraumüberwachung mittels eines gekoppelten RadCom-Sensornetzwerks



## Medizintechnik



Das REMEDIA-Sensorarmband misst 40 Umweltparameter, um herauszufinden, welche sich auf Lungenkrankheiten auswirken

Viele medizinische Innovationen, die das Leben von Patient\*innen erleichtern, basieren auf fortschrittlichen Mikrointegrationstechnologien. Schon seit vielen Jahren begleitet das Fraunhofer IZM diese Entwicklung und unterstützt Hersteller von medizintechnischen Geräten mit seinem breiten Erfahrungsschatz im Bereich der Mikrointegration, entsprechenden Fertigungstechnologien und dem Know-how zur Umsetzung in hochzuverlässige Geräte, die den Anforderungen des Medizinproduktegesetzes entsprechen. Darüber hinaus bietet das Fraunhofer IZM auch Zuverlässigkeitsbetrachtungen, Biokompatibilitätsbewertungen sowie die für eine Produktentwicklung notwendige Risikobetrachtung nach ISO 14971 an.

### Berührungsloses Patientenmonitoring – EKG per Radar

Ländliche Gebiete leiden insbesondere bei hochwertiger Diagnostik unter einer medizinischen Unterversorgung. Eine Verbesserung der Situation soll durch Adaption von Sensorikkonzepten aus dem Kontext der Industrie 4.0 auf die medizinische Diagnostik erreicht werden. Beispiel EKG: Durch Einsatz von Radartechnik kann das Monitoring berührungslos und aus der Distanz erfolgen und die Daten über eine gesicherte Datenschnittstelle dem betreuenden Arzt bzw. den telemedizinischen Diensteanbietern bereitgestellt werden. Durch Kleidung, Bettdecken und sogar Matratzen hindurch kann der entwickelte Radarsensor Herz- und Atmungswerte erfassen und an die Monitoring-Geräte übertragen. Die Sensoren senden elektromagnetische Wellen aus, die vom Körper reflektiert werden. In der Umsetzung funktioniert das etwa so: Das vom Herz ausgestoßene Blut läuft in Form einer Pulswelle die Gefäße entlang, was auf der Körperoberfläche als Vibration erscheint. Diese werden mithilfe der Sensoren gemessen. Das Projekt ist ein Gemeinschaftsprojekt im Rahmen des Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus.

### Wafer-Level-Technologien ermöglichen neuartige Hirnimplantate

Im Projekt »MINIGRAPH« wird an einer bahnbrechenden neuroelektronischen Therapie geforscht: eine neue Generation von Hirnimplantaten mit geschlossenen Regelkreisen, die durch eine in den Schädel implantierte flexible Elektronikeinheit und hochdichte Arrays von Graphen-Mikroelektroden ermöglicht werden. Sie zeichnen sich durch hohe Miniaturisierung, große räumliche Auflösung und optimale Biokompatibilität mit Hirngewebe aus. Die Wafer-Level-Technologie erlaubt die Herstellung ganzer Implantatsysteme mit z. B. Elektroden, Sensoren und Signalverarbeitung auf einem einzigen Wafersubstrat. Mit dem Ansatz der Einbettung dünner Chips in Umverdrahtungsebenen können die Funktionalität optimiert und gleichzeitig Größe und Stromverbrauch sowie Herstellungskosten minimiert werden. Darüber hinaus gewährleistet die inhärente

Wiederholbarkeit von Prozessen auf Waferbene Konsistenz und Zuverlässigkeit bei allen Geräten, was für medizinische Anwendungen entscheidend ist. Eine hermetische Versiegelung wird z. B. durch eine Dünnschichtverpackung mit biokompatiblen Beschichtungen erreicht. Dies ist für die Leistung und Biokompatibilität von entscheidender Bedeutung und schützt die empfindlichen elektronischen Komponenten vor externen Faktoren wie schwankenden Temperaturen, korrosiven Körperflüssigkeiten und dem Risiko einer Infektion.

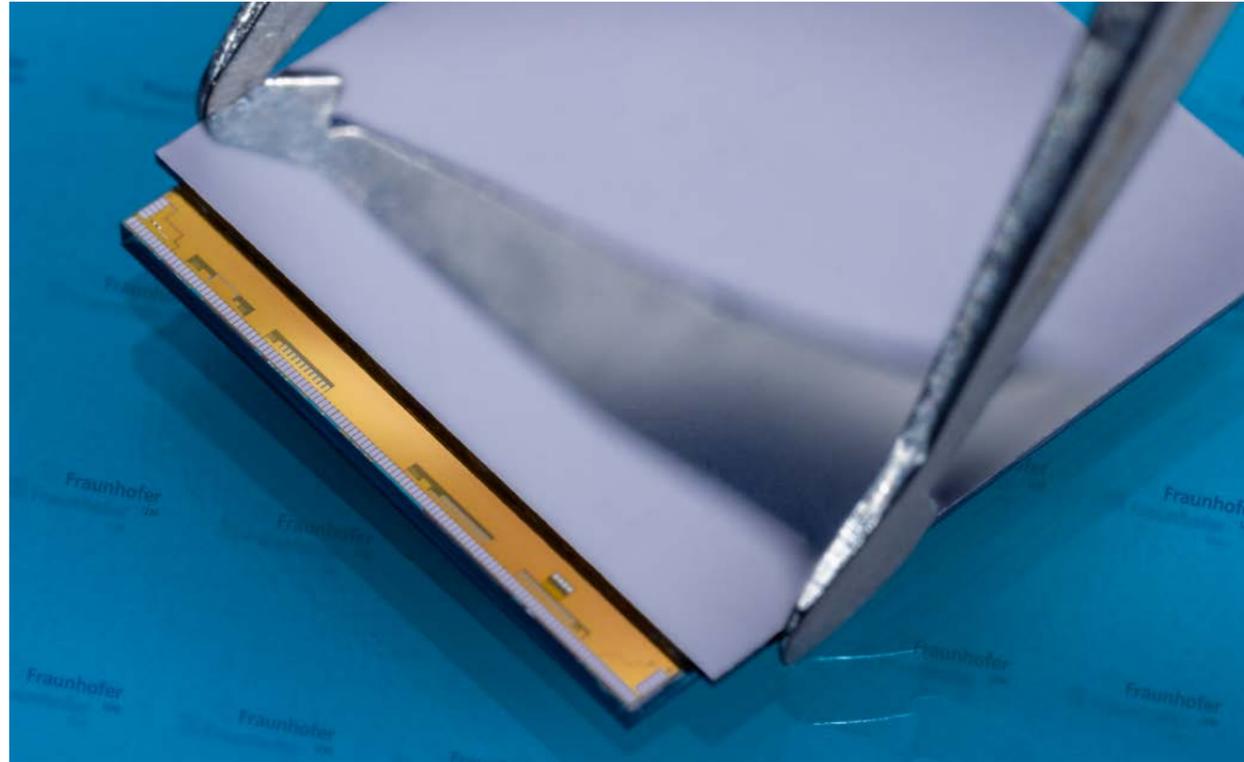
### REMEDIA – tragbares Multisensorsystemarmband

Menschen sind von Geburt an einer Vielzahl von äußeren Umwelteinflüssen wie Feinstaub und giftigen Gasen ausgesetzt. Diese externen Faktoren, die als Exposom bezeichnet werden, haben langfristige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Im Rahmen des EU-Projekts »REMEDIA« wird untersucht, wie das Exposom den Verlauf von Lungenkrankheiten beeinflusst. IZM-Wissenschaftler\*innen haben ein tragbares Multisensorsystem in Form eines Armbands entwickelt, mit dem über 40 verschiedene schädliche Substanzen, selbst in geringster Konzentration, digital erfasst und dokumentiert werden können. Diese Geräte werden von Probanden in ihrer normalen Lebensumgebung in Studien verwendet.

### Simultane Energie- und Datenübertragung für tiefliegende Implantate mittels Ultraschall

IZM-Forschende haben zusammen mit Partnern des EU-Konsortiums Moore4Medical zum ersten Mal demonstriert, dass Ultraschall eine sofortige Gleichstromversorgung im mW-Bereich für tiefliegende Implantate liefert. Dies wurde mit Hilfe von mikromechanischen Ultraschallwandlern und einem speziellen Mikrochip erreicht. Die Wissenschaftler\*innen haben außerdem ein auf Rückstreuung und Frequenzumtastung basierendes robustes Verfahren für die Ultraschallkommunikation von tiefliegenden Implantaten entwickelt und dessen überlegene Leistung gegenüber herkömmlicher Ein-Aus-Tastung während der Bewegung nachgewiesen.

## Halbleiter



Hybrides Pixeldetektor-modul für Röntgenuntersuchungen, mit Siliziumsensor

In diesem Geschäftsfeld stehen die Integration von Halbleiter-elementen und die Herstellung von Sensoren im Vordergrund, wobei die Integration eine Realisierung von komplexen, heterogenen System-in-Package-Lösungen gestattet. Das Fraunhofer IZM bietet seinen Kund\*innen eine geschlossene Umsetzungs-kette – von der Konzeption über die Prozessentwicklung bis hin zur Charakterisierung und Zuverlässigkeitsbewertung. Zur Verfügung stehen dabei alle notwendigen Prozesse für die Realisierung von Sensoren und Wafer Level Packages, was neben hermetischen Sensor-Packages auch die Entwicklung ganzer 3D-Systeme ermöglicht.

### Umweltverbesserung in der Halbleiterfertigung durch Waferrecycling

Das Projekt »GreenICT@FMD« untersucht und fördert nachhaltige Prozesse im Kontext der Mikroelektronik und bilanziert deren mögliche Einsparpotenziale von Treibhausgasen. Am Fraunhofer IZM wurde ein Prozess entwickelt, um Monitorwafer zu recyceln. Monitorwafer sind Testwafer, die dieselben Schritte durchlaufen wie »echte« Wafer. Diese können mit einem Verfahren am Institut recycelt und als Interposer wiederverwendet werden. Beim Recycling werden vorhandener Fotolack und mehrere Metallschichten in drei Prozessschritten (Stripping, Kupferätzen und TiW-Ätzen) entfernt. Die SiO<sub>2</sub>-Schicht verbleibt für den nächsten Einsatz auf dem Wafer. Durch solch ein Recycling können die Neuproduktion und die damit einhergehenden Umweltwirkungen eines Wafers vermieden werden. Dies wurde nachgewiesen durch die Umweltbewertung der Prozesse auf Basis des Chemikalien- und Wasserverbrauchs.

### Entwicklung einer neuen Photonik-Elektronik-Plattform

Im BMBF-geförderten Projekt »Silhouette« (Silicon Photonics for Trusted Electronic Systems) wird eine heterogene, standardisierte und modulare elektro-optische Plattform im Bereich anwendungsorientierter Sicherheitslösungen für die Kommunikation und Datenübertragung entwickelt. Dies soll über optische und elektrische Schnittstellen eine flexible Anbindung photonischer Komponenten an offene Prozessorsysteme erlauben. Im Kern geht es darum, sicherheitskritische elektrische Signale mit Hilfe photonischer Verschlüsselungshardware in optische abhörsichere Signale zu wandeln und so sichere Kommunikation zu ermöglichen.

Das Fraunhofer IZM konzentriert sich u. a. auf die Konzept- und Prozesstechnologieentwicklung sowie die anschließende Herstellung eines elektro-optischen Interposers und die Fertigung optischer und photonischer Komponenten mit besonderem Fokus auf die präzise Ausrichtung elektro-optischer Schnittstellen. Mit einem Durchmesser von unter einem Mikrometer sind Wellenleiter auf optischen

integrierten Schaltkreisen extrem klein. Hier setzt das Fraunhofer IZM auf eine passive Justage basierend auf einer lotunterstützten Selbstjustage mit integrierten mechanischen Anschlüssen.

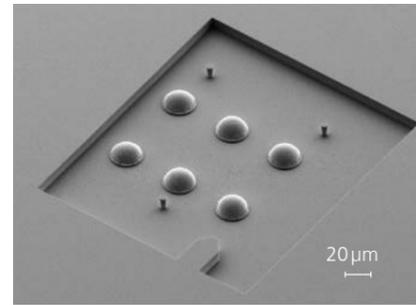
### Packaging von High-Performance-Computing-Modulen

Das Fraunhofer IZM hat sein Portfolio im Bereich Advanced Packaging erfolgreich mit besonderem Fokus auf das Wafer Level Packaging (WLP) von High-Performance-Computing-Modulen (HPC-Module) weiterentwickelt. Die Silizium-Interposer-Technologie mit vertikalen Durchkontaktierungen sowie Ultra-Fine-Pitch-Multilayer-Verdrahtung für die Chipverbindung und Signalführung ist dabei die wichtigste Plattform für die Chiplet-Integration.

Die bewährte Mehrlagenkupferumverdrahtungstechnologie wurde angepasst, um Verdrahtungsdichten mit 4 µm Linienbreite und Abstand (8 µm Pitch) und weniger zu ermöglichen. Weitere Schlüsselemente für das WLP von HPC-Modulen sind die Flip-Chip-Montage, das Underfilling, das Formpressen zur Bauteilverkapselung sowie die Bekugelung mit Lot für die Verbindung zur Trägerleiterplatte.

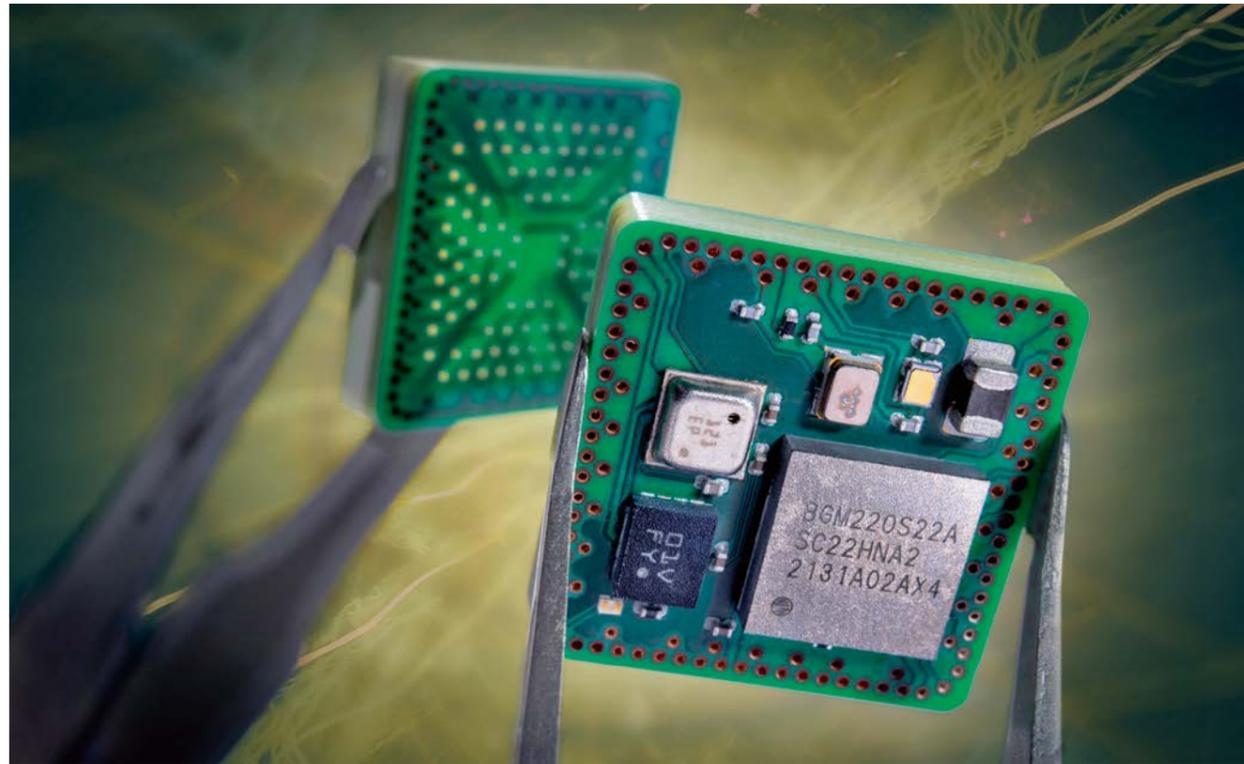
### Know-how-Schutz für vertrauenswürdige, heterogene elektronische Systeme mit Chiplets

Im BMBF-geförderten Projekt »VE-REWAL« wird eine Plattform für vertrauenswürdige Elektronik am Beispiel einer 77-GHz-Radar-MIMO-Anwendung mittels Chiplet-Ansatz entwickelt. Am Fraunhofer IZM wird das Teilvorhaben »RDL-1<sup>st</sup> for Trusted Chiplet Packaging« bearbeitet. Dabei werden wesentliche Prozessblöcke der RDL-1<sup>st</sup> FOWLP-Technologie verbessert und ein funktionaler Demonstrator realisiert. Die Weiterentwicklungen betreffen unter anderem neue Materialien, Verdrahtungsdichte und Ausfallverhalten. Begleitend werden thermomechanische Simulationsmodelle erstellt und verifiziert. Es wurden bereits Technologiedemonstrator-Packages mit fünf Chiplets erfolgreich hergestellt und elektrisch getestet.



Geätzte Kavität in einem photonischen IC mit Silizium-Anschlüssen und Flip-Chip Löt-Bumps für die passive Laser-Montage

# Industrieelektronik



Hochminiaturisiertes Edge-IOT-Modul

Im Zentrum der FuE-Aktivitäten im Geschäftsfeld Industrieelektronik steht am Fraunhofer IZM die Thematik Industrie 4.0. Als Schwerpunkte werden hier Cyber Physical Systems (CPS) und autarke Funksensoren fokussiert, insbesondere robuste Sensorsysteme. Diese nehmen in der jeweiligen Anwendung vor Ort die notwendigen Mess- und/oder Bildinformationen an, wandeln sie um und geben die Informationen daraufhin über Standard-Interfaces anwendungsspezifisch weiter. Die Thematik Industrie 4.0 betrifft jedoch nicht nur die CPS-Ver-netzung: Besonders wichtig ist auch die flexible Bereitstellung der Messdaten für stationäre Steuer- und Regelprozesse sowie eine On-Demand-Bereitstellung für mobile Endgeräte, z. B. zu Kontroll-, Wartungs- und Instandhaltungszwecken.

## Neues Condition Monitoring Konzept für Feuchtebelastung

Im Fraunhofer-internen Projekt »power4re« (zuverlässige Umrichter für die regenerative Energieversorgung) wurde ein neuartiges Condition Monitoring Konzept für die Überwachung von feuchtebelasteten Baugruppen entwickelt. Hierzu wurde eine Schaltung realisiert, die speziell designte Zustandsindikatoren überwacht. Die Ergebnisse dieser Überwachung ermöglichen zielführende Wartungsaktivitäten zur zuverlässigen Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit von Anwendungen in feuchtebelasteten Umgebungen.

## Plug & Play-Radar – Radarplattform des Fraunhofer IZM

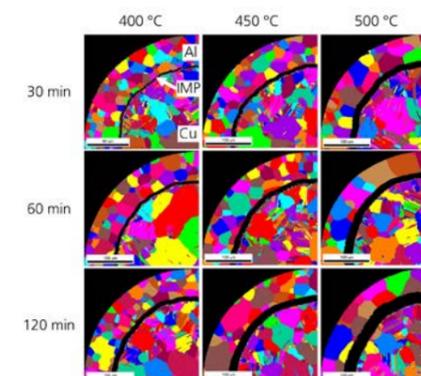
Die steigende Verfügbarkeit und die große Auswahl kommerziell verfügbarer Radarsensoren macht die berührungslos messende Radartechnologie für viele Anwendungen interessant. Die Radarplattform bietet einen lösungsorientierten Einstieg in diese Technologie. Anders als Evaluationsboards erlaubt die Radarplattform, bestehend aus einer kleineren Radarsensorplatine mit Minimalbeschriftung, einem Mainboard und Softwarebibliotheken, Anwender\*innen, den Sensor entweder unverändert in ihrem Projekt zu verwenden oder als Ausgangspunkt für eine Eigenentwicklung zu nutzen. Zur Verfügung stehen die ISM-Bänder (industrial, scientific and medical) bei 24 GHz (0,25 GHz BW) und 61 GHz (0,5 GHz BW) sowie das Automotive Short Range Radar (SRR) bei 79 GHz (4 GHz BW).

## AI at the Edge – Zustandsüberwachung bei Baumaschinen

Das Fraunhofer IZM arbeitet zusammen mit Kolleg\*innen der BTU Cottbus-Senftenberg und dem Fraunhofer IPMS an der Erfassung des aktuellen Maschinenzustands bei Baumaschinen. Besondere Herausforderung ist das frühzeitige Erkennen von Verschleißzuständen vor dem Hintergrund rauer Betriebsbedingungen. Hierbei sind die Nutzsignale z. T. um Größenordnungen kleiner als die aus dem normalen Betrieb herrührenden Signalpegel. Multiparametermessungen schaffen hier die Grundlage, frühzeitig Änderungen im Systemverhalten zu detektieren. Die Signale werden in einer energieeffizienten Datenverarbeitung fusioniert und vorausgewertet. Bei Auffälligkeiten wird eine performante KI-basierte Datenverarbeitung zugeschaltet. Die Ergebnisse werden an den Betreiber übermittelt.

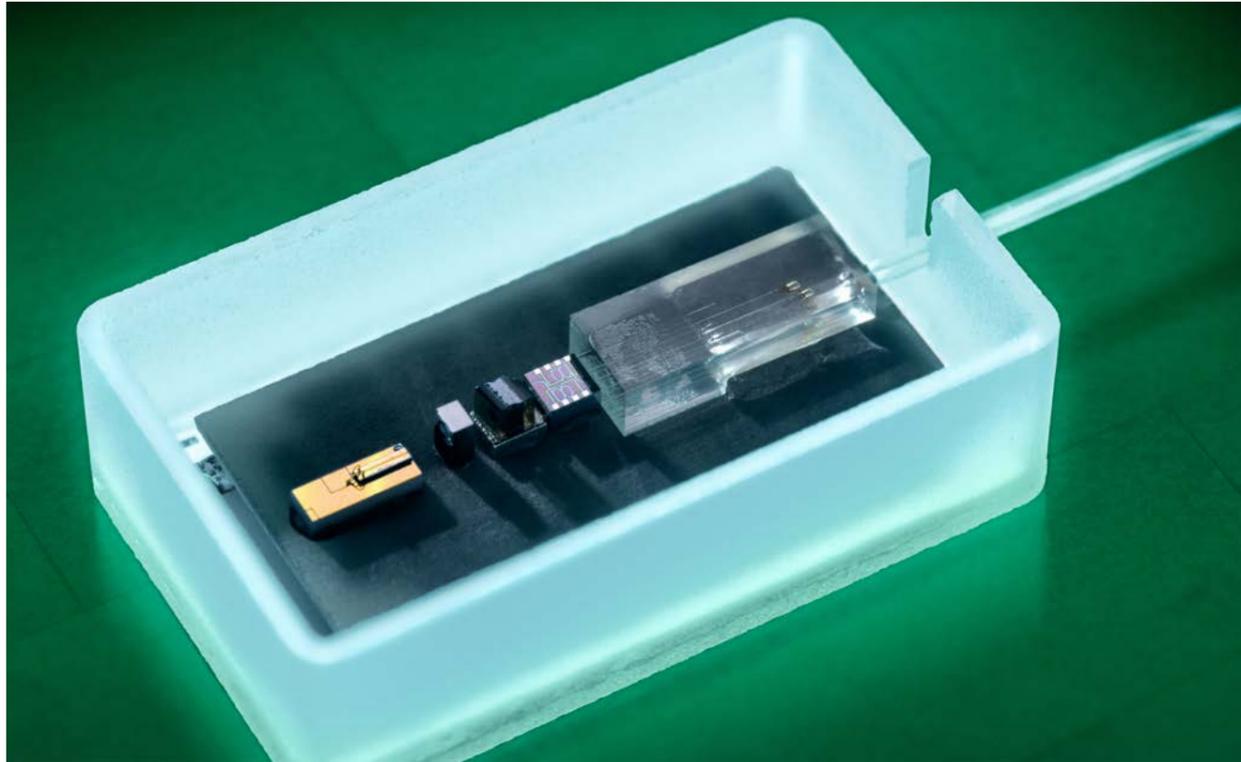
## EBSD-Analysen zum erfolgreichen Abschluss des Projekts »AlCuBo«

Durch intensive und aufschlussreiche EBSD-Analysen (Electron Backscatter Diffraction) wurde das Projekt »AlCuBo« (»Aluminium-Kupfer Bonddrähte für leistungselektronische Module«) erfolgreich beendet. Diese Analysen ermöglichen die Darstellung der Gefügeveränderungen der Drahtmaterialien sowie die Veränderung der mittleren Korngröße und der intermetallischen Phasen nach unterschiedlichen Wärmebehandlungen. Zudem konnten durch die Kombination mit EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) die durch EBSD schwer differenzierbaren kubisch-flächenzentrierten Materialien sehr gut unterschieden werden.



EBSD-Aufnahmen der wärmebehandelten Drahtabschnitte (horizontal Glühdauer und vertikal Glühdauer), jeweils Aufnahme eines Viertels eines 500 µm-AlCu-Drahtes. Der schwarze Ring ist die intermetallische Phase (IMP).

## Information und Kommunikation



Glasbasiertes Package für Halbleiterlaser mit Kopplung an einen photonischen Chip (PIC)

Die zunehmende Vernetzung stellt die Fertigungstechnologien für Systeme von Informations- und Kommunikationstechnik vor besondere Herausforderungen: Für den effizienten Austausch und die Speicherung von Daten werden immer größere Rechenzentren und die Kombination elektrischer und optischer Signale benötigt. Zudem ergibt sich eine weitere Herausforderung aus der digitalen Vernetzung selbst: Es bedarf hier hochdynamischer Netze, die Daten transportieren, verarbeiten und analysieren können. Für derartige Herausforderungen bietet das Fraunhofer IZM umfassende Lösungen, nicht zuletzt dank seiner über 30-jährigen Erfahrung im Bereich Systemintegration.

### Umweltprognose der 5G-Netze in Deutschland

Die Studie »Umweltbezogene Technikfolgenabschätzung Mobilfunk in Deutschland« (UTAMO) wurde vom Fraunhofer IZM im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt und beinhaltet eine überschlägige Umweltbewertung der deutschen Mobilfunknetze für das Referenzjahr 2019 sowie Prognosen der Entwicklung bis zum Jahr 2030. Zu diesem Zweck wurde ein lebenszyklusorientiertes Sachbilanzmodell entwickelt, das den Carbon Footprint der Geräteherstellung und den elektrischen Strombedarf der Funkzugangs- und Aggregationsnetze quantifiziert. Um die zukünftige Umweltwirkung der Mobilfunknetze zu minimieren, wurden in der Studie auch Maßnahmenpakete entwickelt, welche beispielsweise die Netz- und Standortplanung, Aspekte der Anlagenmodernisierung sowie Optionen für ein aktives Last- und Energiemanagement spezifizieren.

### Packaging für kryogenes Quantencomputing

Die Technologiereife von Quantencomputern ist maßgeblich durch die Anzahl ansteuerbarer Quantenbits (Qubits) bestimmt. Ein vielversprechender Ansatz hierfür besteht in der Integration der Steuerelektronik (QCI) in die kryogene Umgebung. Dies erfordert die Realisierung hochdichter supraleitender Verdrahtungen bzw. Verbindungen zwischen dem Quantenchip (QPU) und der Steuerelektronik bei gleichzeitiger thermischer Entkopplung der Komponenten. Das Fraunhofer IZM-ASSID entwickelt hierfür eine skalierbare Packaginglösung auf Basis eines Starr-Flex-Interposers. Wesentliche Technologiebausteine sind u. a. supraleitende TiN-Verdrahtungen (sc RDL) und In-Bumpverbindungen (sc bump bonds).

### Umweltbewertung eines modularen Laptops

Modulare Endgeräte bieten die Möglichkeit leichter Reparatur und passgenauerer Ausstattung und haben in den letzten Jahren u. a. im Kontext von »Right to repair« ein kleines Revival erlebt. Im Rahmen einer Ökobilanz wurden

der modulare Laptop der Firma Framework untersucht und der Carbon Footprint sowie der abiotische Ressourcenverbrauch bewertet. Dabei wird das Treibhausgaspotenzial hauptsächlich vom Displaymodul und der Ressourcenverbrauch von den Goldkontakten, vor allem auf dem RAM-Modul, getrieben.

### Quantensystem-Packaging

Am Fraunhofer IZM konnten mit im Rahmen des EFRE-Projekts »QPLa« beschafften großformatig arbeitenden Strukturierungs- und Assemblierungs-Anlagen neuartige Quantenchips in laserstrukturierten Dünnglas-Packages eingebettet und optisch/elektrisch gekoppelt werden.

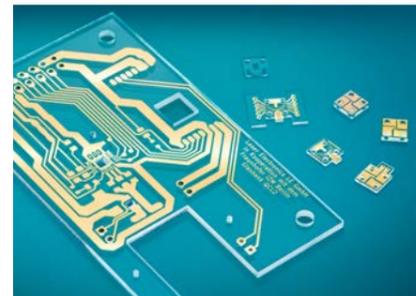
Ausgangsmaterial hierfür sind großformatige Dünnglas-Panels, die sowohl  $\mu$ -genau strukturiert lasergeätzt als auch metallisiert werden können. Die in Größe und Menge fast frei skalierbar gefertigten Einzel-Packages werden durch Hermetisierung auch bei Tieftemperatur und im Vakuum für Anwendungen im Quantencomputing und in der Quantensensorik betreibbar.

### 6GKom-Forschung für den Mobilfunk von morgen

Während die fünfte Generation des Mobilfunks (5G) derzeit am Markt eingeführt wird, arbeitet das Fraunhofer IZM im Projekt »6GKom« mit Partnern aus der TU Berlin, der TU Dresden, der Uni Ulm sowie dem IHP aus Frankfurt/Oder an der Hardware-Basis für den nächsten Mobilfunkstandard 6G. Zentrales Element ist ein »Massive-MIMO-Antennenmodul« für den Frequenzbereich von 110 bis 170 GHz, das eine aktive Steuerung der Antennenkeule erlaubt. Dadurch können Datenraten von mehreren Tbit/s erreicht und sehr präzise Lokalisierungsanwendungen ermöglicht werden. Auf Basis einer innovativen Systemintegrationsplattform wird ein neuartiger Co-Design-Ansatz umgesetzt, der Chip, Package und Antennen gemeinsam umfasst. Darüber hinaus werden unter Berücksichtigung der parasitären THz-Effekte neue Basisbandarchitekturen sowie Testverfahren für die messtechnische Verifikation der 6G-Anwendung erforscht.



Vom Fraunhofer IZM öko-bilanzierter modularer Laptop der Firma Framework



Dünnschicht-metallisierte Schaltungsträger aus verschiedenen Dünngläsern in unbestücktem Zustand: Diese sind laserstrukturiert und können mittels fs-Laserätzprozessen  $\mu$ -genau strukturiert werden zur Aufnahme von photonischen Komponenten

# Ausstattung & Leistungen

## Systemintegration

### Wafer Level Packaging Linie

Das Fraunhofer IZM betreibt je eine Wafer Level Prozesslinie (Reinraumklassen 10–1000) in Berlin (975 m<sup>2</sup>) und Dresden (ASSID, 1.000 m<sup>2</sup>) für die Entwicklung, Prototypenrealisierung und Kleinvolumenproduktion unter Verwendung unterschiedlicher Wafermaterialien (z. B. Silizium III/V, Keramik, Glas) und -größen (4"–12"). Die Projekt-/Prozessarbeiten werden auf beiden Linien unter Berücksichtigung der ISO 9001:2015 Managementstandards durchgeführt.

### Prozessmodule (bis 300 mm)

- Cu-TSV-Integration (Via-middle-, Via-last-Prozesse)
- Silizium und SiC-Plasmaätzen – DRIE (TSV, Kavitäten)
- Multi-Lagen-Dünnschichtabscheidung (Sputter, CVD, ECD, Photolithographie/LDI (Auflösung bis 0,5 µm), reaktiver Ionenstrahl-Ätzer)
- PECVD Prozesskammer (200/300 mm) für die Abscheidung von TEOS-Oxid, Silan-Oxid und Silan-Nitrid
- High-Density Thin-Film-Multilayer (Cu/Polymer-RDL, Cu-Demascene)
- Wafer Level Bumping (Cu-Pillar, SnAg, Ni, Au, In, InSn, AuSn, Cu Nano-Interconnects, Nanoporous Au)
- Waferdünnen und Vereinzeln (Blade, Laser Grooving und Stealth Dicing)
- Waferbonden – permanent, temporär
- Wafer Level Assembly bis 300 mm (D2W)
- Automatisches Inline Wafer-Messsystem für Schichtdicken, Topographien, Rauheiten sowie TTV/ Warpage/Bow
- Vollautomatisiertes, elektrisches Wafer-Messsystem (8"–12")

### Prozesslinie zur Substratfertigung

Im Leiterplattenbereich können Vollformatsubstrate mit einer Größe von 460x610 mm<sup>2</sup> für die Resist- und Leiterplattenlaminierung vorbereitet, mit Lötstopplacken und Coverlays versehen und nach der Belichtung entwickelt werden.

Im Sonderbereich werden hochpräzise Montagen von Modulen in verschiedenen Gasatmosphären durchgeführt. Neue Anlagen in dem 480 m<sup>2</sup> großen Reinraum ermöglichen eine Oberflächenpräparation für das Assemblieren bei reduzierter Bondtemperatur. Leiterbahngeometrien mit einer Breite von bis zu 2 µm sind in der Entwicklung. Das Leistungsangebot:

- Einbetten von passiven und aktiven Komponenten
- Verpressen von Leiterplattensubstraten und Herstellen von feinsten Bohrungen, mechanisch oder mit dem Laser
- Qualitätssicherung und Röntgenmikroskopanalyse

### Labor zur Moldverkapselung

Das Labor bietet Bestück- und Verkapselungsverfahren, Material- und Packageanalyse und die Zuverlässigkeitscharakterisierung. Der Schwerpunkt liegt auf FO-WLP/PLP, Sensor-Packages mit freigestellter Oberfläche und Power-SiPs. Die Übertragung in die industrielle Fertigung ist durch Verwendung produktionsstauriger Maschinen gegeben.

- Präzisionsbestückung und Compression Molding auf Wafer- und Panelebene (610x460 mm<sup>2</sup>)
- Umverdrahtung in 2D und 3D (TMV)
- Transfer Molding von SiPs für Sensorik und Power
- Prozesssimulation und Ermittlung von Materialmodellen

### Drahtbondlabor

- Verarbeitung von Au-, Al- und Cu-basierten Bonddrahtmaterialien im Dünn- und Dickdrahtbereich
- Montage von Leistungsmodulen mit Al/Cu- und Cu-Dickdrähten für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsanalysen
- Montage Cu-Ball/Wedge-gebondeter leadframebasierter und Au/AlSi1-gebondeter Chip-on-Board Sensor Packages

### Lötlabor

- Porenfreier Aufbau großflächiger Lötverbindungen für die Leistungselektronik durch Dampfphasenvakuumlötlage
- Hermetizitätsmessstand
- Flussmittelfreies Löten von Baugruppen mit Ameisensäuretechnologie in Stickstoff- und Dampfphasenatmosphäre
- Lecksuche inkl. Probenlagerung unter Heliumdruck bis 10 bar

### Photoniklabor

- Laserstrukturieren von Glaslayern mit optischen Wellenleitern für elektrooptische Boards (EOCB)
- Shack-Hartmann-Charakterisierung von Mikrolinsen und Mikrolinsenarrays
- Optische und thermische Charakterisierung von LEDs und LDs
- Entwicklung von Prozessen und Verfahren zum optischen Packaging mit einer Genauigkeit von bis zu 0,5 µm
- Fs-Schreibprozesse und thermischer Ionenaustausch für die integrierte Optik in Gläsern

### Quantenlabor

- 3D-Glasstrukturierung durch selektives fs-Laserätzen
- ZPP-Druck von mikrooptischen Interconnects/Linsen
- Laser-Sealing hermetischer Kavitäten (Vakuum/Gas)
- Automatisierte Bekopplung von Quantenchips/PICs
- Charakterisierung von optischen Feldern (SNOM)

## Werkstoffanalytik

### Moisture Lab

- Umfassende simulationsgestützte Zuverlässigkeitsbewertung feuchteinduzierter Phänomene in mikroelektronischen Bauteilen und Systemen
- Oberflächenanalyse durch Rasterkraftmikroskopie
- Analysemethoden für die Sorption, Permeation und Diffusion von Wasser in Werkstoffen

### Langzeittest- und Zuverlässigkeitslabor

- Schnelle Temperaturwechseltests: -65 °C bis 300 °C
- Temperaturlagerung bis 350 °C
- Bauteil- und Baugruppenqualifikation nach AEC, IPC, JEDEC

### Power Lab

- Prüfeinrichtung hetero-höchstintegrierte Leistungselektronik
- Aktives Zykeln von Leistungsmodulen für die Lebensdauerbestimmung
- Kalorimetrisches Messen des Wirkungsgrades von hocheffizienten Geräten

## Design

### Hochfrequenzlabor

- Free Space Messplatz bis 170 GHz, Fabry-Perot-Resonatoren bis 140 GHz sowie THz-System zur Materialcharakterisierung
- Halbautomatische Probestation mit Thermokammer von -60 °C bis 300 °C
- EMV und Testumgebung für drahtlose Kommunikationssysteme im Multi-Gigabit- und Terabit-Bereich
- Antennenmesssystem bis 330 GHz
- Testumgebung für Millimeterwellenmodule für Radar und Kommunikation, Signalquelle & Spektrumanalysator bis 325 GHz
- Zeitbereichsmessplatz (Sample Oszilloskop bis 70 GHz/BERT bis 64 Gbit/s)

### Mikroelektroniklabor

- Entwicklung und Qualifizierung mechatronischer Systeme und energieeffizienter Funksensorsysteme
- PXA für Reichweitenabschätzung, Konformitätschecks und Fehleranalysen (ab 162 µs Signalzeit)

### Weitere Labore

- Mikrobatterielabor mit 10m langer Batterieentwicklungs- und Montagelinie
- Labor für textilintegrierte Elektronik (TexLab)
- Photoelektronenspektroskopie und Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)
- Korrosionslabor (CoALa)
- Electronics Condition Monitoring Labor für Funktionstests (Umgebungs-, Feuchte- und Vibrationsbeanspruchung)
- Qualifikations- und Prüfzentrum für elektronische Baugruppen (QPZ)
- Labor für thermomechanische Zuverlässigkeit und Werkstoffcharakterisierung
- Thermal & Environmental Analysis Lab



Die Grußwortgebenden anlässlich des Festakts zu 30 Jahren Fraunhofer IZM (vlnr): Dr. Axel Kaschner (Robert Bosch GmbH), Dr. Roland Krüppel (BMBF), Prof. Martin Schneider-Ramelow (Fraunhofer IZM), Staatssekretär Dr. Henry Marx (Land Berlin), Prof. Geraldine Rauch (TU Berlin) und Prof. Axel Müller-Groeling (Fraunhofer-Gesellschaft)

## Events & Nachwuchsförderung

Happy Birthday, Fraunhofer IZM!

Das Fraunhofer IZM ist dieses Jahr 30 geworden! Von der ersten bahnbrechenden Erfindung, dem stromlosen Nickel-Bumping, bis hin zu aktuellen Untersuchungen zu Chipllets und autonomen Funktionen blicken wir auf drei Jahrzehnte wegweisender Forschung auf dem Gebiet des Mikroelektronik-Packagings zurück. Den runden Geburtstag haben wir im September mit vielen Gästen gebührend gefeiert.

Darüber hinaus gab es viele weitere IZM-Aktivitäten auf Workshops, Messen und Konferenzen. 2023 wird uns als das Jahr in Erinnerung bleiben, in dem unsere Veranstaltungsaktivitäten zu »Business as Usual« zurückkehrten. Die Kolleg\*innen stellten ihre Forschungsergebnisse wieder auf Konferenzen überall auf der Welt vor und das Institut präsentierte sich auf Messen im In- und Ausland. Doch auch wenn der Großteil aller Veranstaltungen wieder live stattfinden konnte, haben Online-Formate ihren festen Platz im Veranstaltungsrepertoire des Fraunhofer IZM auch nach der Pandemie behauptet. In diesem Jahr gab es gleich zwei Online-Staffeln, die großen Anklang fanden und in insgesamt sieben Sessions über 450 Interessent\*innen vor die Bildschirme lockten.

Auf den nächsten Seiten finden Sie eine Auswahl der Veranstaltungen, die das Fraunhofer IZM im vergangenen Jahr selbst durchgeführt hat oder an denen IZM-Kolleg\*innen beteiligt waren. Dazu gehörten 2023, wie schon im letzten Jahr, besonders viele Angebote, die sich speziell an Jugendliche richteten.

## Events



*30 Jahre Fraunhofer IZM – rund 200 Gäste kamen zum Fachsymposium und der anschließenden Festveranstaltung am 28. September 2023*

### 30 Jahre Fraunhofer IZM

Das Fraunhofer IZM feierte im Jahr 2023 seinen 30. Geburtstag. Um diesen Meilenstein gebührend zu zelebrieren, fand am 28. September 2023 ein Fachsymposium am Hauptstandort in Berlin statt. Unter dem Titel »Crossing Frontiers in Microelectronics« zeigten die Forschenden, wie sie die großen Herausforderungen unserer Zeit wie Chipmangel, steigende Datenraten und die Energiekrise in den nächsten Jahrzehnten angehen wollen. Die Vortragsthemen reichten von High-Performance Computing über Sensorik bis hin zu Mobilität und Nachhaltigkeit. An das Fachsymposium, an dem namhafte Industriepartner mitwirkten, schloss sich ein Festakt mit hochrangigen Vertreter\*innen aus Politik und Forschung an.

Das Fraunhofer IZM wurde vor drei Jahrzehnten von einer visionären Gruppe aus der deutschen Wissenschaft gegründet. Heute

beschäftigt das Institut über 400 Mitarbeitende an drei Standorten und hat mit 6.000 Publikationen und 350 Patenten in den letzten 30 Jahren einen bedeutenden Beitrag zur Zukunftsfähigkeit der Mikroelektronik geleistet.

### Netzwerktreffen »Frauen am Fraunhofer IZM«

An vier Terminen mit jeweils 30 bis 50 Teilnehmerinnen von allen drei Institutsstandorten hat das Fraunhofer IZM im vergangenen Jahr gezielt die Vernetzung unter den Mitarbeiterinnen gefördert und sie zu übergeordneten Themen wie Social Media, Networking, Präsentationstechniken und Weiterbildungsmöglichkeiten geschult. Das Feedback zu den Veranstaltungen fiel äußerst positiv aus und war zumeist mit dem Wunsch nach einer Verlängerung des Formats verbunden. Die Teilnehmerinnen lobten vor allem die Zeit für



den Austausch und die wachsende Unterstützung untereinander – auch nach den Events im Alltagsgeschäft. Die erfolgreiche Initiative wird bereits von anderen Fraunhofer-Instituten adaptiert, was die Relevanz und den Mehrwert dieser Veranstaltungen unterstreicht.

### Lab Week 2023

Die Lab Week findet jährlich statt und ermöglicht interessierten IZM-Mitarbeiter\*innen, die Vielfalt der Forschung am eigenen Institut in allen vier Abteilungen kennenzulernen. Jede\*r soll über den »Tellerrand« schauen können und Laborluft schnuppern! Verschiedene Labore öffnen hierfür ihre Türen und engagierte Kolleg\*innen zeigen und erklären anschaulich, was dort untersucht, geforscht und entwickelt wird. Die Lab Week 2023 war besonders beeindruckend: An fünf Tagen fanden insgesamt 33 Führungen statt, die von 24 Lab Guides und Co-Organisator\*innen durchgeführt wurden und an denen 172 Kolleg\*innen teilnahmen.

### Von Fraunhofer-Expert\*innen lernen

Auch im vergangenen Jahr konnten wir mit unseren kostenlosen Online-Expert-Sessions eine Vielzahl an Interessierten erreichen. Gleich zwei kostenlose Vortragsreihen beschäftigten sich mit unterschiedlichen Bereichen der Mikroelektronik. Im Frühjahr bot die Reihe »Low Power Systems« einen Einstieg in die komplexe Welt von besonders energieeffizienten Systemen, wie sie beispielsweise für Geräte im Außeneinsatz notwendig sind, bei denen die Batterie nicht regelmäßig getauscht werden kann. In drei kompakten Sessions konnten unsere Expert\*innen über 130 Anmeldungen verzeichnen. Für das große Interesse an diesem wichtigen Forschungszweig revanchierten sich unsere Expert\*innen mit einer gründlichen Einführung in die Thematik und einem Ausblick auf die diesbezügliche Fraunhofer-Forschung.

Im Herbst startete die Reihe »Materials for Electronic Innovations«, die sich mit innovativen Ausgangsmaterialien für die

*Bis spät in die Nacht wurde auf der IZM-Geburtstagsparty gefeiert*

### Auswahl von IZM-Veranstaltungen

<b>Session Series »Low-Power Systems«</b>	März 2023
<b>Fachsymposium »Crossing Frontiers in Microelectronics«</b>	September 2023, Berlin
<b>Expertenvortragsreihe »Materials for Electronic Innovations«</b>	Oktober – Dezember 2023
<b>Radarsignalverarbeitung auf Basis von TI-Ecosystem</b>	November 2023
<b>Materialien für Hochfrequenzanwendungen – Anforderungen verstehen und Materialien charakterisieren</b>	November 2023
<b>Neurotechnologie-Symposium</b>	Dezember 2023

Halbleiterfertigung und ihren möglichst umweltschonenden Einsatz beschäftigte. Die Erforschung neuer Substratmaterialien für hochmoderne Packaging-Verfahren ist eine der Kernkompetenzen des Fraunhofer IZM, und dies zeigte sich auch in der großen Zahl an Anmeldungen: Von der gesammelten Expertise unserer Forscher\*innen wollten sich über 320 registrierte Interessenten überzeugen lassen.

### Kick-off-Meeting des Projekts »AGRARSENSE« am Fraunhofer IZM

Beim Kick-off-Meeting Anfang 2023 versammelten sich die verschiedenen Vertreter\*innen des europäischen Projekts »AGRARSENSE« am Fraunhofer IZM in Berlin, um gemeinsam die Arbeitspakete für die erste Projektphase zu definieren und Ziele in der Zusammenarbeit zu stecken.

Das Vorhaben treibt dringend notwendige digitale Innovationen zur nachhaltigen Bewirtschaftung in der Land- und Forstwirtschaft voran. Es unterstützt sowohl die Umsetzung von Aspekten der Industrie 4.0 und »Smart Farming« als auch von Nachhaltigkeitsaspekten durch gezielten Energie- und Ressourceneinsatz für eine gesunde, nachhaltige Produktion.

Die Projektinitiative »AGRARSENSE« wird vom schwedischen Partner KOMATSU sowie den Fraunhofer-Instituten EMFT und IZM koordiniert. Im Rahmen des Projekts werden u. a. die entsprechenden IKT und die Datenverwaltungsebene entwickelt. Das Projekt wird im Rahmen des EU Joint Undertakings Key Digital Technologies (JU-KDT) gefördert und bringt 52 Partner aus 15 EU-Ländern zusammen.

### Neurotechnologie-Symposium am Fraunhofer IZM

Multidisziplinäre Zusammenarbeit ist einer der Grundpfeiler erfolgreicher Forschung. Aus diesem Grund hat die Gruppe »Technologien der Bioelektronik« im Dezember 2023 ein Neurotechnologie-Symposium am Fraunhofer IZM in Berlin veranstaltet.

Laborbesichtigungen, Networking und Fachvorträge standen auf dem Programm. Die IZM-Kolleg\*innen Vasiliki Giagka, Andreas Ostmann und Christine Kallmayer sowie Wouter Serdijn und Achilleas Savva von der Bioelectronics Group an der Delft University of Technology präsentierten ihre aktuellen Forschungsergebnisse aus den Bereichen Bioelektronik, neuronale Schnittstellen, Miniaturisierung und Systemintegrationstechnologien.

### Von Berlin nach Australien fürs Klima

Auch im vergangenen Jahr haben sich zahlreiche Kolleg\*innen mit großem Erfolg an der Aktion Stadtradeln beteiligt und konnten eine neue Bestleistung aufstellen. Stadtradeln ist eine bundesweite Initiative zur Förderung des Radverkehrs, bei der kleine Teams institutsintern oder -übergreifend gegeneinander antreten: Es gilt, in 21 Tagen allein oder bei gemeinschaftlichen Fahrradtouren möglichst viele Kilometer auf dem Sattel zurückzulegen und so den Radverkehr und klimafreundliche Mobilität zu fördern. Das Team Fraunhofer IZM konnte das gute Ergebnis des Vorjahrs noch einmal toppen: 75 Kolleg\*innen aus allen Standorten erradelten über 20.000 Kilometer. Damit hätten sie es bequem bis nach Australien und sogar noch etwas weiter geschafft. Herzlichen Glückwunsch zu diesem tollen Erfolg!

Groß und Klein schwer beschäftigt bei der Langen Nacht der Wissenschaften



### Forschung zum Anfassen – Lange Nacht der Wissenschaft 2023

Zum 21. Mal öffneten Berliner Forschungseinrichtungen am 17. Juni 2023 ihre Tore zur Langen Nacht der Wissenschaften und erstmals seit 2015 war auch das Fraunhofer IZM wieder mit verschiedenen Mitmach-Highlights vertreten. Einige Angebote richteten sich dabei speziell an ganz junge Besucher\*innen. So konnten sie im Textillabor eine Tasche mit Stoffblüten und LEDs verzieren. Wer sich hier schon mal warmgearbeitet hatte, durfte im Labor der Start-a-Factory zum Lötkolben greifen und sich einen Mini-Metalldetektor basteln.

Großen Ehrgeiz entwickelten Jung und Alt bei der Energieerzeugung auf einem Fahrrad. Je nachdem, wie kräftig in die Pedale getreten wurde, konnte mit der gewonnenen Energie zum Beispiel ein Kaffee warmgehalten oder ein Mixer betrieben werden.

Bei den Kolleg\*innen aus der Umwelta Abteilung lernten die Besucher\*innen, wie die Lebensdauer von Hightech-Geräten verlängert und die Umweltauswirkungen minimiert werden können. Unter dem Stichwort »modulares Design« wurde gezeigt, wie Smartphones reparier- und recyclebar gemacht und wie kreislauffähige Hightech-Geräte lokal hergestellt werden könnten.

Mit rund 400 interessierten Gästen war es eine rundum erfolgreiche Lange Nacht der Wissenschaften für das Fraunhofer IZM.

### IZM-Forscher\*innen auf der IMAPS 2023 in den USA

Das 56<sup>th</sup> International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2023) fand vom 2. bis 5. Oktober 2023 in San Diego, Kalifornien, statt und zog fast 800 Teilnehmer\*innen aus der ganzen Welt an. Ein Highlight des Symposiums waren die 14 Professional Development Kurse, die sich mit den neuesten Forschungsergebnissen in der Mikroelektronik befassten. In diesen Kursen, von denen zwei von IZM-Forscher Prof. Dr. Ivan Ndip geleitet wurden, hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, tief in Bereiche wie Design, Manufacturing Optimization sowie Wafer-Level- und Panel-Level-Technologien einzutauchen. Darüber hinaus hielten IZM-Kolleg\*innen gleich mehrere Vorträge zu Wafer-Level- und Panel-Level-Packaging-Themen auf dem Symposium.



### Veranstaltungen mit IZM-Beteiligung (Auswahl)

<b>SPIE Photonics West 2023</b>	Januar, San Francisco (USA)
<b>embedded world 2023</b>	März, Nürnberg
<b>IMAPS Seminar</b>	März, Illmenau
<b>PCIM Europe 2023</b>	Mai, Nürnberg
<b>SMTconnect 2023</b>	Mai, Nürnberg
<b>SENSOR+TEST 2023</b>	Mai, Nürnberg
<b>ECTC 2023</b>	Mai, Orlando, Florida (USA)
<b>EMPC 2023</b>	September, Hinxtion (UK)
<b>FMD.iDays 2023</b>	September, Berlin
<b>MikroSystemTechnik Kongress 2023</b>	Oktober, Dresden
<b>Compamed 2023</b>	November, Düsseldorf
<b>SEMICON Europa 2023</b>	November, München

## Das Fraunhofer IZM auf Messen

Fraunhofer IZM on the road... unter anderem in San Francisco, Cambridge und Dresden war das Institut 2023 auf Fach- und Kongressmessen unterwegs. Los ging es im Februar mit der Photonics West in San Francisco, wo die IZM-Wissenschaftler\*innen aktuelle Entwicklungen aus dem Bereich des Photonic Packaging vorstellten.

Im Mai folgte wieder das Messe-Triple aus Sensor + Test, PCIM und SMTconnect in Nürnberg – jedes Jahr eine logistische Herausforderung für alle Beteiligten. Unangefochtenes Highlight der SMT ist seit vielen Jahren die Future Packaging Fertigungslinie, vom IZM-Kollegen Ulf Oestermann betreut und meisterhaft in Szene gesetzt. In diesem Jahr hatte das IZM noch einen weiteren Publikumsmagneten im Gepäck – eine zehn Meter breite Grafik zum High-end Performance Packaging illustrierte neue Integrationslösungen im Advanced Packaging und lockte viele Neugierige an den Stand. Sie finden die Grafik auch auf Seite 6 hier im Jahresbericht.

Abgerundet wurde das IZM-Messejahr im Herbst durch den MST-Kongress in Dresden, wo das Institut nicht nur einen Stand hatte, sondern auch mehrere Beiträge zum Kongressprogramm beisteuerte. Im Vordergrund standen hier das Wiedersehen und der Austausch mit Kunden und Projektpartnern.

High-end Performance  
Packaging auf der  
SMTconnect in Nürnberg



## Nachwuchsförderung am Fraunhofer IZM

Die Zukunft der Wissenschaft liegt in den Händen der Jugend. Daher macht es sich das Fraunhofer IZM seit vielen Jahren zur Aufgabe, den Nachwuchs zu fördern und jungen Menschen wissenschaftliche Berufe näherzubringen.

Durch die Teilnahme am Girls' Day, aber auch Events wie dem TalentTakeOff mit 30 MINT-Schüler\*innen oder einem Rundgang durch das Forschungsinstitut mit Jugendforscht-Alumni wirbt das Institut für seine zahlreichen Angebote. (Schul-) Praktika, Ausbildungsstellen oder Plätze für ein Freiwilliges Ökologisches Jahr – Nachwuchsförderung wird bei uns großgeschrieben, wofür das Fraunhofer IZM von der Industrie und Handelskammer Berlin kürzlich sogar mit dem IHK-Siegel für »Exzellente Ausbildungsqualität« ausgezeichnet wurde. Die Werbemaßnahmen fanden zum Glück regen Anklang: Im Jahr 2023 freute sich das Institut über zahlreiche neue Auszubildene und Praktikant\*innen.

## Betreuung von Praktikant\*innen und Auszubildenden

Im Jahr 2023 lernten zehn Auszubildende in den Bereichen Mikrotechnologie, Oberflächenbeschichtung und Bürokommunikation sowie ein externer Verbund-Azubi am Fraunhofer IZM. Duale Ausbildungen ermöglichen es jungen Menschen, praxisorientiert und interdisziplinär zu arbeiten. Nachdem im Jahr 2023 die Zusammenarbeit mit dem Gabriele-von-Bülow-Gymnasium, der Partnerschule des Fraunhofer IZM, verstärkt und die Kooperationsvereinbarung verlängert wurde, waren gleich 24 Schülerpraktikant\*innen bei zwölf verschiedenen Arbeitsgruppen an den Institutsstandorten in Berlin und Dresden zu Gast. Die Schüler\*innen hatten die Gelegenheit, verschiedene Berufsfelder und Labore des Instituts kennenzulernen, Neues über die Welt der Mikroelektronik zu erfahren und sich ein Bild von wissenschaftlicher Forschung zu machen.

Darüber hinaus beteiligte sich das Fraunhofer IZM erneut an dem Berliner Projekt Enter-Technik. Da in Deutschland nur 10,7 % der Auszubildenen im MINT-Bereich weiblich sind, ist dem Institut die Kooperation mit Enter-Technik ein besonderes Anliegen. Im Rahmen des einjährigen Programms können Mädchen in bis zu vier verschiedene technische Berufe hineinschnuppern. Nach dem technischen Jahr entscheiden sich 75 % der Teilnehmerinnen für einen beruflichen Einstieg in den MINT-Bereich. Am Fraunhofer IZM sind etwa die Hälfte der Auszubildenen weiblich.

## Freiwilliges Ökologisches Jahr im Bereich Nachhaltigkeit

Ob Smartphones, Laptops oder Airbagsensoren – Mikroelektronik ist aus keinem Lebensbereich mehr wegzudenken. Mit dem verstärkten Einsatz von Technik gehen auch Auswirkungen auf die Umwelt einher. Genau mit diesem Thema beschäftigt sich die Abteilung »Environmental and Reliability Engineering«, in der am Institut ein Freiwilliges Ökologisches Jahr (FÖJ) absolviert werden kann. Zwei FÖJler hatten im Jahr 2023 die Möglichkeit, sich aktiv bei der Entwicklung von Konzepten zur Steigerung der Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz von elektronischen Geräten einzubringen.

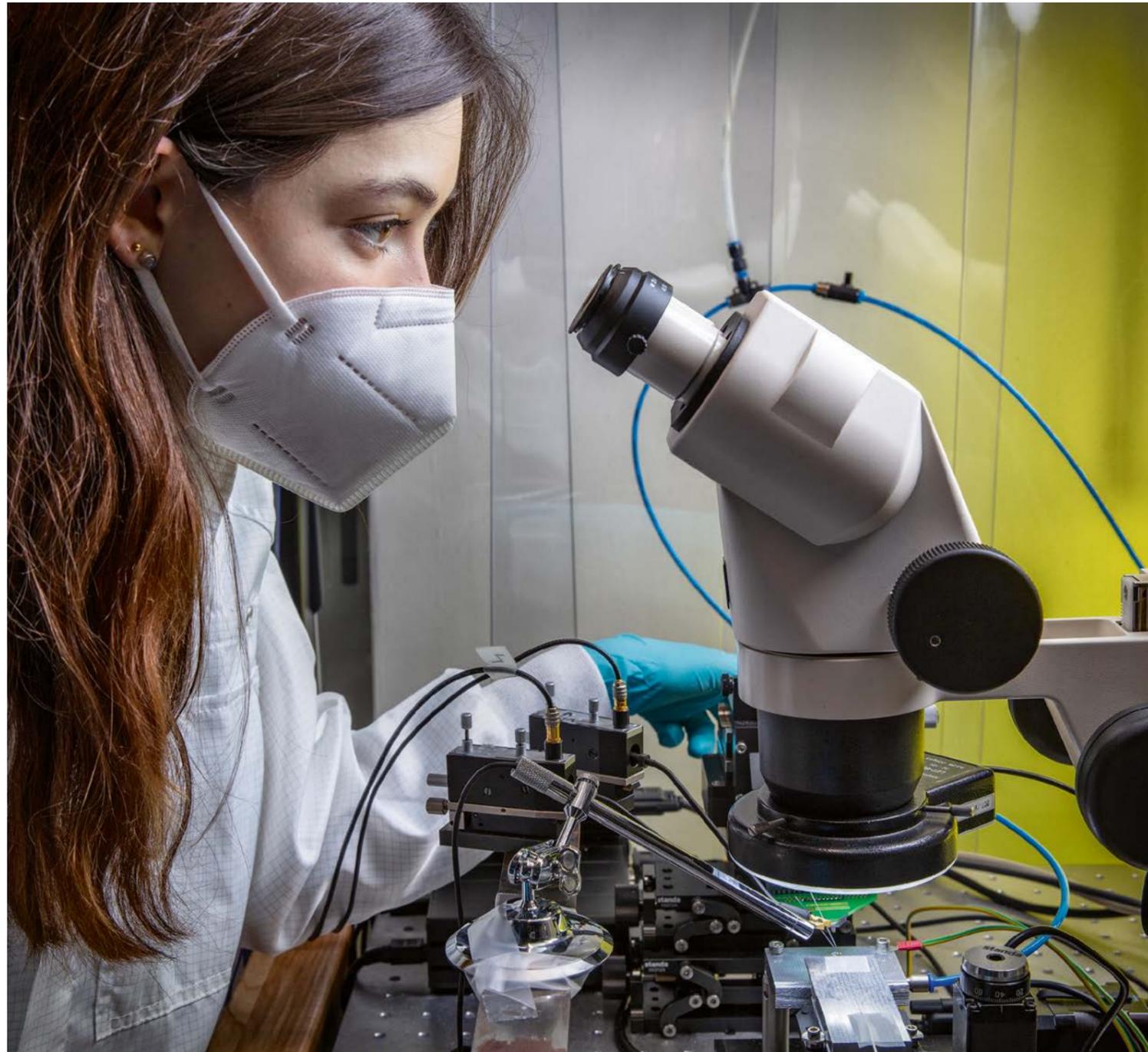
### Girls' Day 2023

Zwölf Schülerinnen des Gabriele-von-Bülow-Gymnasiums erfuhren am Girls' Day 2023 mehr über Mikroelektronik und die Bestandteile von Smartphones. Gemeinsam mit Wissenschaftler\*innen des Fraunhofer IZM lernten sie, wie Smartphones es schaffen, bei stark schwankenden Temperaturen zuverlässig zu funktionieren, was Mikroelektronik überhaupt bedeutet und wo sie Anwendung findet. Natürlich durfte auch eine Führung durch den Reinraum nicht fehlen – ein Highlight bei jedem Girls' Day.

Immer ein Highlight  
des Girls' Days – der  
Besuch im Reinraum



## Facts & Figures



## Das Fraunhofer IZM in Zahlen und Fakten

### Finanzielle Situation

2023 konnte das Fraunhofer IZM gut an die erfolgreichen Vorjahre anknüpfen, blieb jedoch auch nicht von den allgemeinen Teuerungseffekten insbesondere bei den Energiekosten verschont. Der Umsatz stieg deutlich um 6,9 Prozent auf 42,3 Millionen Euro. Das Fraunhofer IZM konnte im Jahr 2023 80,0 Prozent seines Betriebshaushalt durch eingeworbene externe Erträge decken. Insgesamt wurde das Volumen der extern finanzierten Projekte auf 33,9 Millionen Euro gesteigert. Die Erträge von deutschen und internationalen Industrieunternehmen sowie Wirtschaftsverbänden blieben im Jahr 2023 stabil bei 13,5 Millionen Euro. Das Fraunhofer IZM deckte so 31,9 Prozent seiner Kosten durch direkte Aufträge aus der Wirtschaft.

### Geräteinvestitionen

Für laufende Ersatz- und Erneuerungsinvestitionen wurden im Jahr 2023 Eigenmittel in Höhe von mehr als 2 Millionen Euro aufgewandt. Hiermit wurde die Geräteausstattung des Fraunhofer IZM durch eine Vielzahl gezielter Einzelmaßnahmen verbessert und die Effizienz vorhandener Anlagen erhöht. Weitere 1,1 Millionen Euro wurden für verschiedene kleinere Baumaßnahmen verwendet, um die Leistungsfähigkeit des Fraunhofer IZM zu steigern. Das Institut beteiligt sich am Aufbau einer Forschungsfabrik im Bereich Mikroelektronik für Quanten- und neuromorphes Computing (FMD-QNC). Ziel dieses Konsortiums ist es, zukünftig eine Brücke von QC/NC-Technologien zwischen der Grundlagenforschung sowie der industriellen Fertigung und Anwendung zu schlagen. Es sollen Leistungen von der Vorlaufforschung über die Technologieentwicklung bis hin zur Pilotfertigung angeboten werden. Das Fraunhofer IZM wird dabei für

insgesamt 11 Millionen Euro Geräte und Anlagen beschaffen. Investitionen in Höhe von 2,5 Millionen Euro konnten 2023 bereits realisiert werden. Mit Unterstützung des Landes Berlin wurde der Aufbau des Labors für Bioelektronische Systeme weitergeführt. 2023 wurden hier weitere 0,6 Millionen Euro investiert. Ziel des Labors sind die Entwicklung und der gezielte Aufbau einer universellen Technologieplattform und Laborinfrastruktur für die Herstellung von bioelektronischen Systemen. Mit Unterstützung aus Mitteln des Fraunhofer Strategiefonds wurde ein hochpräzises System für die Bestückung in der heterogenen Systemintegration im Wert von 0,8 Millionen Euro in Betrieb genommen. Ebenfalls mit dem Fraunhofer Strategiefonds wurden 1,0 Millionen Euro in den Aufbau eines Labors zur Entwicklung von Konzepten für robuste, energieeffiziente Elektronik mit Fokus auf Industrieelektronik und Sensorik investiert.

### Personalentwicklung

Die Zahl der Beschäftigten an den IZM-Standorten Berlin, Cottbus und Dresden/Moritzburg bleibt mit rund 450 Mitarbeiter\*innen zum Jahresende 2023 stabil. Hierin sind auch 136 Praktikant\*innen, Bachelorand\*innen, Masterand\*innen und studentische Hilfskräfte enthalten, die am Fraunhofer IZM umfassend betreut wurden. Das Institut bietet Studierenden die Möglichkeit, ihr Studium mit praktischer wissenschaftlicher Arbeit in den Büros und Laboren des Instituts zu verbinden. Außerdem wurden am Institut 2023 zehn Auszubildende als Mikrotechnolog\*innen, Oberflächenbeschichter\*innen und Kauffrau/Kaufmann für Büromanagement ausgebildet.

### Das Fraunhofer IZM 2023

Budget	42,3 Millionen Euro
Externe Erträge	33,9 Millionen Euro (entspricht 80 Prozent)
Standorte	Berlin, Cottbus und Dresden/Moritzburg
Laborfläche	> 8.000 m <sup>2</sup>
Mitarbeitende	450 (davon 136 Praktikant*innen, Bacheloranden, Masteranden und studentische Hilfskräfte sowie 10 Azubis)

## Auszeichnungen, Dissertationen, Editorials

### Auszeichnungen

#### Fachzeitschrift »Elektronik« kürt IZM-Innovation zum Produkt des Jahres

Zur Fehleridentifikation einfach eine Pille einwerfen – das haben Forschende am Fraunhofer IZM in Kooperation mit Micro Systems Technologies (MST), der Sensry GmbH und der TU Berlin Realität werden lassen. Der wasserdichte IoT-Sensor ist so klein wie ein Bonbon und kann die Eigenschaften von Flüssigkeiten auch an schwer zugänglichen Orten zuverlässig messen. Das kann nicht nur bei der Identifikation von Krankheiten helfen, sondern auch die Wartung von Industriemaschinen deutlich erleichtern.

Bei diesem Verfahren wird ein Frequenzspektrum von einer Elektrode durch ein Medium zu einer zweiten Elektrode geschickt. Daraus lässt sich ein Spektrum, also ein bestimmter Fingerabdruck dieses Mediums, ableiten. Werden dabei Veränderungen von Material- oder Flüssigkeitseigenschaften deutlich, kann dies sowohl ein Indiz für die fortschreitende Korrosion eines Bauteils als auch für das Vorliegen eines bestimmten Krankheitsbilds sein. Bis jetzt waren Impedanzanalysatoren nicht klein und mobil genug, um sie für diese Zwecke einsetzen zu können. Forschende am Fraunhofer IZM in Berlin haben daher mit Unterstützung von MST und Sensry einen kompakten und modularen IoT-Sensor für diese Anwendungen entwickelt, der Impedanzen messen und drahtlos übertragen kann. Folglich ist er nicht nur wasserdicht, sondern ebenso biomedizinisch kompatibel.

Aus über 2.500 Innovationen wählten die Leser\*innen der Fachzeitschrift »Elektronik« die am Fraunhofer IZM entwickelte Impedanzspektroskopie-Kapsel zu einem der drei besten Produkte des Jahres. Das weltweit kleinste Bauteil seiner Art wurde von den Elektronik-Leser\*innen mit einem der begehrten Publikumspreise der Kategorie »Medical« ausgezeichnet, den TU-Projektleiter und wissenschaftlicher Mitarbeiter Basel Adams bei der Preisverleihung in München entgegennahm.

### Dissertationen

#### Franiack, Erik

Development of In-line Characterization Methods of Epoxy-based Packaging Materials for Electronic Packages via Dielectric Analysis

#### Martins da Ponte, Ronaldo

IC-MEMS Co-fabrication; Enabling Smart-seamless Microsystem Integration for Emerging Biomedical Technologies

#### Proske, Marina

Ecodesign Concepts and Environmental Assessments Addressing Product Obsolescence

#### Rickert, Wilhelm

An Investigation of the Electromagnetic Coupling Problem by Means of a Rational Framework and Selected Experiments

#### Vermeer, Wiljan

Integration of Energy Storage in Solar-power Electric Vehicle Smart Charging System

### Editorials

#### Bioelectronic Medicine Journal

Giagka, V. (Associate Editor)

#### International Journal of Microelectronics and Electronic Packaging

Ndip, I. (Associate Editor)

## Vorlesungen

### BTU Cottbus-Senftenberg

#### Prof. Dr. M. Jaeger-Erben

- BTU4Future – Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung
- Colloquium »Transdisciplinary Sustainability Research«
- Einführung in die Technik- und Umweltsoziologie
- Sociology
- MOOC Global Studies
- Summer School »Circular Economy«
- Transdisciplinary Sustainability Research

### Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

#### M. Bäuscher, M. Hubl

- BioMEMS

#### S. Rotzler

- Industrielle Wäsche, Textile Kennzeichnung

#### Dr. H. Walter

- Mechanik und Werkstoffe der Mikrosystemtechnik 1
- Mechanik und Werkstoffe der Mikrosystemtechnik 2

### Technische Universität Berlin

#### Dr. P. Mackowiak, Dr. M. Schiffer

- Herstellungstechnologien von Halbleitersensoren

#### Prof. Dr. W. H. Müller

- Hands-on Project to Finite Element Analysis (Projekt)
- Statik und elementare Festigkeitslehre

#### Dr. N. F. Nissen, Dr. A. Middendorf

- Umweltgerechtes Design elektronischer Systeme

#### Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow

- Technologien der Systemintegration
- Werkstoffe der Systemintegration

#### Dr. O. Wittler, Dr. J. Jaeschke

- Zuverlässigkeit integrierter Elektroniksysteme

### Technische Universität Delft

#### Prof. Dr. V. Giagka

- Active Implantable Biomedical Microsystems
- Bioelectricity
- Neurostimulation

### Technische Universität Dresden

#### Jun.-Prof. Dr. J. Panchenko

- 3D System Integration and 3D Technologies
- Micro-/Nanomaterials and Reliability Aspects

### Universität Aalborg

#### Prof. Dr. E. Hoene

- Design of Modern Power Semiconductor Devices
- EMC in Power Electronics

### weißensee kunsthochschule berlin

#### S. Rotzler

- Soft Hard Smart – eine interaktive Einführung in textile Elektronik

## Kooperationen mit Universitäten (Auswahl)

### Eine Auswahl universitärer Forschungspartner

<b>Aalto University, Finnland</b>
<b>AGH University of Science and Technology, Polen</b>
<b>Binghampton University, USA</b>
<b>ETH Zürich, Schweiz</b>
<b>KU Leuven, Belgien</b>
<b>Michigan State University, USA</b>
<b>Technische Universität Delft, Niederlande</b>
<b>Technische Universität Eindhoven, Niederlande</b>
<b>Tohoku University, Japan</b>
<b>Universität Aalborg, Dänemark</b>
<b>Universität Tokio, Japan</b>
<b>Universität Zürich, Schweiz</b>
<b>Université du Québec à Trois-Rivières, Kanada</b>
<b>University College London, Großbritannien</b>
<b>University of Utah, USA</b>

<b>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg</b>
<b>Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg</b>
<b>Humboldt Universität zu Berlin</b>
<b>Johannes-Gutenberg-Universität Mainz</b>
<b>Kunsthochschule Berlin-Weißensee</b>
<b>Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg</b>
<b>Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn</b>
<b>Technische Hochschule Ingolstadt</b>
<b>Technische Universität Chemnitz</b>
<b>Universität Bielefeld</b>
<b>Universität der Bundeswehr München</b>
<b>Universität der Künste Berlin</b>
<b>Universität Heidelberg</b>
<b>Universität Münster</b>
<b>Universität Rostock</b>

Zur Umsetzung seiner Forschungsziele hat das Fraunhofer IZM strategische Netzwerke mit Universitäten im In- und Ausland geknüpft. Die enge Zusammenarbeit mit Hochschulen ist eine wichtige Säule des Fraunhofer-Erfolgsmodells. Während die Universitäten ihre Innovationsfähigkeit und Kompetenz in der Grundlagenforschung einbringen, steuert Fraunhofer neben der anwendungsorientierten Forschungsarbeit eine ausgezeichnete technische Ausstattung bei.

### Kooperation mit der Technischen Universität Berlin

Seit seiner Gründung im Jahr 1993 profitiert das Fraunhofer IZM von der erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik der Technischen Universität Berlin. Hier entstand in den 1990er Jahren eine der weltweit ersten wissenschaftlichen Einrichtungen auf dem Gebiet der Aufbau- und Verbindungstechnik. Seit 2021 leitet Professor Martin Schneider-Ramelow nicht nur das Fraunhofer IZM, sondern zusätzlich dazu auch den Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik.

### Fraunhofer IZM-ASSID kooperiert mit TU Dresden

Im Rahmen der gemeinsamen Juniorprofessur »Nanomaterials for Electronics Packaging« des Fraunhofer IZM-ASSID und der TU Dresden arbeitet Honorarprofessorin Juliana Panchenko mit ihrem Team an neuen Materialien und Technologien für Fine Pitch Interconnects in 3D/2,5D Si-Aufbauten.

### Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus-Senftenberg

Das Fraunhofer IZM arbeitet über seine Außenstelle für Hochfrequenz-Sensorsysteme in Cottbus intensiv mit der dortigen BTU zusammen. Seit Anfang Februar 2023 ist IZM-Abteilungsleiter Prof. Ivan Ndip dort Inhaber des Lehrstuhls für Antennen und Hochfrequenz-Systemintegration. Die Forschungsaktivitäten im Rahmen des Innovationscampus, (iCampus) Cottbus konzentrieren sich auf Entwurf, Testverfahren und Charakterisierung von integrierten Antennen, auf das Co-Design von Chip-Package-Antennen sowie Systemintegrationslösungen für die Realisierung von miniaturisierten Hochfrequenz-Sensorsystemen.

## Kooperationen mit der Industrie (Auswahl)

<b>AEMtec GmbH</b>	Berlin
<b>Ajinomoto Group</b>	JP, USA
<b>Allegro MicroSystems</b>	Manchester, NH (USA)
<b>Amkor Technology, Inc.</b>	Tempe, AZ (USA)
<b>AMO GmbH</b>	St. Peter am Hart (AT)
<b>ams AG</b>	Premstätten (AT)
<b>Amsterdam Scientific Instruments B.V.</b>	Amsterdam (NL)
<b>AnSem NV</b>	Leuven (BE)
<b>AT&amp;S Austria Technologie &amp; Systemtechnik AG</b>	Leoben (AT)
<b>AUDI AG</b>	Ingolstadt
<b>Baker Hughes Inteq GmbH</b>	Celle
<b>BASF SE</b>	Ludwigshafen am Rhein
<b>Berliner Nanotest und Design GmbH</b>	Berlin
<b>BMW AG</b>	München
<b>Bosch Semiconductor Manufacturing</b>	Dresden
<b>Brewer Science, Inc.</b>	Rolla, Missouri (USA)
<b>Carl Zeiss SMT GmbH</b>	Jena
<b>CERN</b>	Meyrin (CH)
<b>Contag GmbH</b>	Berlin
<b>Corning Inc.</b>	Corning, NY (USA)
<b>Delo GmbH</b>	Windach
<b>DeltaHeat GmbH</b>	Berlin
<b>DISCO Corporation</b>	München, Tokio (JP)
<b>DResearch</b>	Berlin
<b>DuPont de Nemours, Inc.</b>	Wilmington, DE (USA)
<b>DuPont Electronics &amp; Imaging</b>	Marlborough, MA (USA)
<b>DustPhotonics</b>	Modi'in-Maccabim-Re'ut (IL)
<b>Evatec AG</b>	Trübbach (CH)
<b>FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC</b>	Menlo Park, CA (USA)
<b>FIRST SENSOR</b>	Berlin
<b>Fujifilm Electronic Materials</b>	EU, USA
<b>GEFRAN S.p.A.</b>	Provaglio d'Isèo (IT)
<b>GLOBALFOUNDRIES INC.</b>	Dresden
<b>Heraeus</b>	Hanau
<b>IMASENIC Advanced Imaging S.L.</b>	Barcelona (ES)
<b>InnoSenT GmbH</b>	Donnersdorf
<b>Intel Corporation</b>	Santa Clara, CA (USA)
<b>KSG GmbH</b>	Görnsdorf

<b>LTB GmbH</b>	Radebeul
<b>Malvern PANalytical B.V.</b>	Almelo (NL)
<b>MENNEKES Elektrotechnik GmbH &amp; Co. KG</b>	Kirchhunden
<b>Micro Systems Engineering GmbH</b>	Berg
<b>Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH</b>	Halle
<b>Multi Channel Systems MCS GmbH</b>	Reutlingen
<b>Nagase ChemteX Corporation</b>	Osaka (JP)
<b>Nexperia</b>	Nijmegen (NL)
<b>NEXT FUEL R&amp;D LTD</b>	Neve Yamin (IL)
<b>NKG</b>	Nogoya (JP)
<b>OSYPKA AG</b>	DE
<b>Philips</b>	NL
<b>Picosun Oy</b>	Masala (FI)
<b>Pilz GmbH &amp; Co. KG</b>	Ostfildern
<b>Plath</b>	Ostfildern
<b>POSIC S.A.</b>	Colombier (CH)
<b>RENA Technologies GmbH</b>	Gütenbach
<b>Resonac</b>	Tokio (JP)
<b>Robert Bosch GmbH Zentrum für Forschung und Voraentwicklung</b>	Renningen
<b>Rolls-Royce Deutschland Ltd &amp; Co KG</b>	Cottbus
<b>Saltec GmbH</b>	Salzhausen
<b>Schaeffler AG</b>	Herzogenaurach
<b>Schlumberger</b>	Paris (FR)
<b>Schmoll Maschinen GmbH</b>	Rödermark
<b>Semsysco GmbH</b>	Salzburg (AT)
<b>sensiBel AS</b>	Oslo (NO)
<b>Siemens AG</b>	Berlin, Erlangen, München
<b>SLAC National Accelerator Laboratory</b>	Menlo Park, CA (USA)
<b>Süss MicroTec SE</b>	Garching, München
<b>Swissbit Germany AG</b>	Berlin, Broschhofen (CH)
<b>TEN Thüringer Energienetze GmbH &amp; Co. KG</b>	Erfurt
<b>Texas Instruments</b>	München, London (GB)
<b>Thales Group</b>	Paris (FR)
<b>The Chemours Company</b>	Wilmington, DE (USA)
<b>United Monolithic Semiconductors (UMS)</b>	Villebon-sur-Yvette (FR)

## Mitgliedschaften (Auswahl)

<b>3D &amp; Systems Summit (SEMI)</b>	Dr. M. Junghähnel	Member Program Committee
<b>3DInCites</b>	Dr. M. Junghähnel	Member Advisory Board
<b>AMA Fachverband Sensorik, Wissenschaftsrat</b>	H. Pötter	Member
<b>Cluster Optik BB, Photonik für Kommunikation und Sensorik</b>	Dr. H. Schröder	Spokesman
<b>Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS</b>	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	Representative of Fraunhofer IZM
<b>Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS Arbeitsgruppe »Bonden«</b>	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	Chairman
<b>ECPE Competence Centre</b>	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	Member
<b>EFDS – Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.</b>	Dr. M. Junghähnel	Member
Fachausschuss »Beschichtungstechnologien für optische und elektronische Funktionalisierung – FABF«	Dr. M. Junghähnel	Member
Wissenschaftlicher Beirat des EFDS	Dr. M. Junghähnel	Elected Member
<b>European Photonic Industrial Consortium (EPIC)</b>	Dr. H. Schröder	Representative of Fraunhofer IZM
<b>European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS)</b>	H. Pötter	Member Executive Committee, Board Member
<b>FED Fachverband Elektronik-Design e.V.</b>	Dr. N. F. Nissen	Member
<b>Heterogeneous Integration Roadmap (HIR)</b>	R. Aschenbrenner	Chair Technical Working Group SiP
<b>IEEE Electronics Packaging Society</b>	R. Aschenbrenner	Fellow
IEEE EPS Board of Governors	Dr. T. Braun	VP of Conferences
IEEE TC RF High-Speed Components of Systems	Prof. Dr. I. Ndip	Senior Member
<b>IMAPS International Microelectronics Assembly and Packaging Society</b>	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow, Prof. Dr. I. Ndip	Fellows
IMAPS Deutschland	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	President
IMAPS Europe ELC	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	Member
IMAPS Signal/Power Integrity Committee	Prof. Dr. I. Ndip	Chair
<b>International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG)</b>	Dr. M. Junghähnel	Board Member
<b>IVAM Fachgruppe Wearables</b>	E. Jung	Technical Chair
<b>OPTICA</b>	Dr. Gunnar Böttger	Representative of Fraunhofer IZM
<b>Organic Electronics Saxony (OES)</b>	E. Jung	Representative of Fraunhofer IZM
<b>Photonics 21</b>	Dr. R. Jordan	Board of Stakeholders
<b>Photonics West Optical Interconnects Conference</b>	Dr. H. Schröder	Chair
<b>PLASMA GERMANY</b>	Dr. M. Junghähnel	Elected Expert
<b>SEMI ESiPAT Group</b>	Dr. T. Braun	Member
<b>Silicon Saxony e.V.</b>	Dr. M. Junghähnel	Member
<b>Strategischer Arbeitskreis Silicon Germany</b>	Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow	Member
<b>Wissenschaftlich-technischer Rat der Fraunhofer-Gesellschaft</b>	Dr. M. Hampicke	Representative of Fraunhofer IZM

## Publikationen (Auswahl)

Bauescher, M.; Henke, M.; Hoepfner, K.; Ngo, H.; Mackowiak, P.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

### Evaluation of Upscaling the Selective Electrophoretic Deposition of Reduced Graphene Oxide on Miniaturized Au Interdigital Electrodes from Chip-to Wafer-level

Proceedings of the 56<sup>th</sup> IMAPS International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2023), San Diego, USA, DOI: 10.4071/001c.94305.

Becker, K.-F.; Voges, S.; Fruehauf, P.; Heimann, M.; Nerreter, S.; Blank, R.; Erdmann, M.; Gottwald, S.; Hofmeister, A.; Hesse, M.; Thies, M.; Mehrafsun, S.; Fust, R.; Beck, E.; Becicka, M.; Pawlikowski, J.; Schröder, J.; Voigt, C.; Braun, T.; Schneider-Ramelow, M.

### Trusted Data Acquisition in Microelectronics Manufacturing as a Basis for ML-optimized Processing

Proceedings of the 56<sup>th</sup> IMAPS International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2023), San Diego, USA, DOI: 10.4071/001c.94507.

Bernabé, S.; Tekin, T.; Sirbu, B.; Charbonnier, J.; Grosse, P.; Seyfried, M.

### Packaging and Test of Photonic Integrated Circuits (PICs)

Integrated Nanophotonics: Platforms, Devices, and Applications, 2023, Wiley-VCH, DOI:10.1002/9783527833030.ch1, S. 1-52.

Billaud, M.; Clemm, C.; Sánchez, D.; Proske, M.; Jügel, M.; Stobbe, L.; Nissen, N.; Schneider-Ramelow, M.

### ICs as Drivers of ICT Carbon Footprint: An Approach to More Accurate Die Size Assessment

Proceedings of Going Green CARE INNOVATION 2023, Wien, Österreich.

Böttcher, L.; Ostmann, A.; Löher, T.; Seckel, M.

### Concepts for Realizing High-voltage Power Modules by Embedding of SiC Semiconductors

Proceedings of EMPC 2023, Hinxtton, Vereinigtes Königreich.

Braun, T.; Thomas, T.; Becker, K.-F.; Huyen Le, T.; Tschoban, C.; Aschenbrenner, R.; Dreissigacker, M.; Schneider-Ramelow, M.

### 3D Freeform Antenna-in-package Approach for FOWLP

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA.

Chen, T.; André, P.; Bezerra, M.; He, Z.; Li, G.; Hoene, E.

### Systematic Derivation and Experimental Verification of a Compact Loss Model for Soft-switching Half-bridges

Proceedings of EPE 2023 ECCE Europe, Aalborg, Dänemark.

Dijk, M. v.; Wittler, O.; Wagner S.; Schneider-Ramelow, M.

### Modification of Prony Series Coefficients to Account for Thermo-oxidative Ageing Effects Within Numerical Simulations

Proceedings of EuroSimE 2023, Graz, Österreich, DOI: 10.1109/EuroSimE56861.2023.10100845, S. 1-5.

Dilek, S.; Tschoban, C.

### Performance Evaluation of E-band Transmit-Receive Front-ends Based on Characterization of Joint Effects of IQ Imbalance and Carrier Phase/Frequency Offset

IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 71, No. 5, 2023, DOI: 10.1109/TMTT.2022.3223946, S. 2069-2081.

Elsotohy, M.; Jaeschke, J.; Sehr, F.; Schneider-Ramelow, M.

### Mission Profile-based Digital Twin Framework Using Functional Mockup Interfaces for Assessing System's Degradation Behaviour

Microelectronics Reliability, Vol. 150, 2023, DOI: 10.1016/j.microrel.2023.115086.

Erbacher, K.; Alves Marquez, J.; Mackowiak, P.

### Wafer Level Chip Size Package Integration of an Aero-acoustic MEMS Microphone into a Thin and Flexible Substrate

Proceedings of the 56<sup>th</sup> IMAPS International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2023), San Diego, USA, DOI:10.4071/001c.94495.

Erbacher, K.; Bourquard, C.; Lokesh, O.; Wu, L.; Mackowiak, P.; Schneider-Ramelow, M.; Ngo, H.

**Characterization of a Piezo-resistive MEMS Microphone for Aero-acoustic Measurements**

Proceedings of SMSI 2023, Nürnberg, DOI: 10.5162/SMSI2023/C4.4.

Henke, M.; Baeuscher, M.; Zoschke, K.; Ali-Röder, J.; Keller, A.; Mukhopadhyay, B.; Mackowiak, P.; Schneider-Ramelow, M.

**Simulation and Fabrication of SU-8 Microfluidics Mixers Capped by Wafer-level Bonding**

Proceedings of IEEE BioSensors 2023, London, Vereinigtes Königreich, DOI: 10.1109/BioSensors58001.2023.10281100.

Hoffmann, S.; Hoene, E.

**Coupled PFC Inductor for 22 kW On-board Charger Using PCB Technology**

Proceedings of EPE 2023 ECCE Europe, Aalborg, Dänemark.

Holzapfel, L.; Giagka, V.

**Ultrasound for Data Transfers from Deep Implants: An Experimental Comparison Between Binary-frequency-shift-keying and On-off-keying with Backscatter Modulation**

Proceedings of IUS 2023, Montreal, Kanada, DOI: 10.1109/IUS51837.2023.10308264, S. 1-4.

Huber, S.; Stegmaier, A.; Dijk, M. v.; Nguyen, N.; Hölck, O.; Wittler, O.; Schneider-Ramelow, M.

**Improving Warpage Characterization of Large Wafers in Fan-out Packaging Technology**

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA, DOI: 10.1109/ECTC51909.2023.00227, S. 1332-1338.

Jaeger-Erben, M.; Wieser, H.; Marwede, M.; Hofmann, F.

**Durable Economies: Organizing the Material Foundations of Society**

Labor and Organization, Vol. 10, transcript Verlag, Bielefeld, 2023, DOI: 10.14361/9783839463963.

Khurana, G.; Panchenko, J.

**Improvement in Wafer-to-wafer Hybrid Bonding Using Optimized Chemical Mechanical Planarization Process for Cu Dishing**

Proceedings of EPTC 2023, Singapur, Singapur.

Khurana, G.; Panchenko, J.

**Intermetallic Growth Study of Ultra-thin Copper and Tin Bilayer for Hybrid Bonding Applications**

Proceedings of the ECTC 2023, Orlando, USA, DOI: 10.1109/ECTC51909.2023.00149.

Kilian, B.; Gleichauf, J.; Maniar, Y.; Wittler O.; Schneider-Ramelow, M.

**Finite Element-based Monitoring of Solder Degradation in Discrete SiC MOSFETs**

Proceedings of EuroSimE 2023, Graz, Österreich, DOI: 10.1109/EuroSimE56861.2023.10100794, S. 1-8.

Köszegi, J.-M.; Mackowiak, P.; Ndip, I.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

**RF Models for Through SiC Vias for Highly Integrated Interposer Technology**

Proceedings of SSI 2023, Brügge, Belgien, DOI: 10.1109/SSI58917.2023.10387952.

Le, T. H.; Kaiser, M.; Ndip, I.; Koeszegi, J.; Thomas, T.; Nallaweg, O.; Dreissigacker, M.; Tschoban, C.

**3D Mold Embedded PCB-based MIMO Antenna Arrays for 79 GHz Automotive RADAR**

Proceedings of EuRAD 2023, Berlin, DOI: 10.23919/EuRAD58043.2023.10289146, S. 2-5.

Mackowiak, P.; Köszegi, J.-M.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

**RF Modelling of for Through SiC Vias and Fabrication of SiC Based Interposer**

Proceedings of EPTC 2023, Singapur, Singapur, DOI: 10.1109/EPTC59621.2023.10457732.

Mackowiak, P.; Köszegi, J.-M.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

**TSiCV Based Silicon Carbide Interposer Technology**

Proceedings of SSI 2023, Brügge, Belgien, DOI: 10.1109/SSI58917.2023.10387967.

Manier, C.-A.; Zoschke, K.; Oppermann, H.

**Technische Machbarkeitsstudie zur Massiv-Parallelen Montage und Verbindung von Mikro-LEDs**

Proceedings of MikroSystemTechnik Kongress 2023, Dresden, ISBN: 978-3-8007-6203-3, S. 490-498.

Marwede, M.; Smolander, M.; Hakola, L.

**Design of E-textile and Printed Electronics Applications for Their Life Cycle**

Proceedings of PLATE 2023, Espoo, Finnland.

Ndip, I.; Le, T. H.; Schneider-Ramelow, M.

**Wideband THz Yagi-Uda Bond Wire Antennas**

Proceedings of IEEE AP-S/URSI 2023, Portland, USA, DOI: 10.1109/USNC-URSI52151.2023.10237409, S. 1909-1910.

Nissen, N. F.; Stobbe, L.; Schulz, A.; Chisolm, C.; Proske, M.; Billaud, M.; Druschke, J.; Schneider-Ramelow, M.

**Energy Demand and Carbon Footprint of ICT in Germany until 2033**

Proceedings of Going Green-EcoDesign 2023, Nara, Japan.

Obst, M.; Schwartz, R.; Miller, M.; Becker, K.-F.; Shanggu-an, D.; Hoelck, O.; Gross, M.; Braun, T.; Frederickson, C.; Schneider-Ramelow, M.

**Quality Assurance for Advanced Packaging Prototyping – Solder Paste Behavior as Key Monitoring Parameter**

Proceedings of IPC APEX Expo 2023, San Diego, USA.

Panskus, R.; Holzapfel, L.; Serdijn, W. A.; Giagka, V.

**On the Stimulation Artifact Reduction During Electrophysiological Recording of Compound Nerve Action Potentials**

Proceedings of EMBC 2023, Sydney, Australien.

Perlwitz, P.; Tschoban, C.; Ndip, I.; Pötter, H.; Schneider-Ramelow, M.

**Analysis and Characterization of Castellated Holes as RF Interconnects for Modular Millimeter-wave Devices**

Proceedings of EMPC 2023, Hinxtton, Vereinigtes Königreich.

Pitilakis, A.; Tyrovolas, D.; Mekikis, P.-V.; Tegos, S. A.; Papadopoulos, A.; Tsioliariidou, A.; Tsilipakos, O.; Manassis, D.; Ioannidis, S.; Kantartzis, N.; Akyildiz, I. F.; Liaskos, C.

**On the Mobility Effect in UAV-mounted Absorbing Metasurfaces: A Theoretical and Experimental Study**

IEEE Access, Vol. 11, 2023, Electronic ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3299379, S. 79777-79792.

Rämer, O.; Weber, C.; Hutter, M.; Spanier, M.; Ostmann, A.; Schneider-Ramelow, M.

**Challenges in Realizing Silver Sintered Flip-chip Interconnects for High Temperature Sensor Systems**

Proceedings of MikroSystemTechnik Kongress 2023, Dresden.

Salo, T.; Werft, L.; Adams, B.; Vito, D.; Halme, A.; Scenev, V.; Walter, H.; Löher, T.; Vanhala, J.

**Mechanical Properties of Structured Copper and Printed Silver Hybrid Stretchable Electronic Systems**

Flexible and Printed Electronics, Vol. 8, No. 2, 2023.

Schischke, K.; Rückschloss, J.; Schlegel, M.-C.; Zollinger, J.; Nissen, N. F.; Schneider-Ramelow, M.

**The European Union's Energy Label for Smartphones: Does it Guide Consumers to Make Environmentally Sustainable Choices?**

Proceedings of ICCE 2023, Berlin, DOI: 10.1109/ICCE-Berlin58801.2023.10375619.

Schröder, H.; Kirsch, O.; Weber, D.; Thiem, H.

**Photonic System Integration by Applying Microelectronic Packaging Approaches Using Glass Substrate**

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA, DOI: 10.1109/ECTC51909.2023.00045.

Sirbu, B.; Zoschke, K.; Bernabé, S.; Wilmart, Q.; Tekin, T.

**3D Silicon Interposer for Terabit/s Transceivers Based on High-speed TSVs**

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA, DOI:10.1109/ECTC51909.2023.00230.

Stobbe, L.; Richter, N.; Quaeck, M.; Knüfermann, K.; Druschke, J.; Fahland, M.; Höller, V. W.; Wahry, N.; Zedel, H.; Kaiser, M.; Hoffmann, S.; Töpfer, M.; Nissen, N. F.

**Umweltbezogene Technikfolgenabschätzung Mobilfunk in Deutschland (Projekt UTAMO)**

Umweltbundesamt, Texte 26/2023, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804.

Tschoban, C.; Pötter, H.; Becker, L.; Perlwitz, P.; Brockmann, C.; Groß, M.; Ndip, I.; Schneider-Ramelow, M.

**Analysis of the Influences of PCB Process Tolerances and Assembly Tolerances on 60 GHz Radar Sensor for Radar Toolkit**

Proceedings of EPTC 2023, Singapur, Singapur, DOI: 10.1109/EPTC59621.2023.10457917, S. 266-272.

Tschoban, C.; Pötter, H.; Dilek, S.; Ndip, I.; Schneider-Ramelow, M.

**Integratable Antenna Concepts Based on Conformal Antennas for 3D Radar Systems**

Proceedings of iWAT 2023, Aalborg, Dänemark, DOI: 10.1109/iWAT57058.2023.10171730, S. 1-6.

Velea, A. I.; Wilson, J.; Gollhardt, A.; Karuthedath, C. B.; Thanniyil, A. S.; Giagka, V.

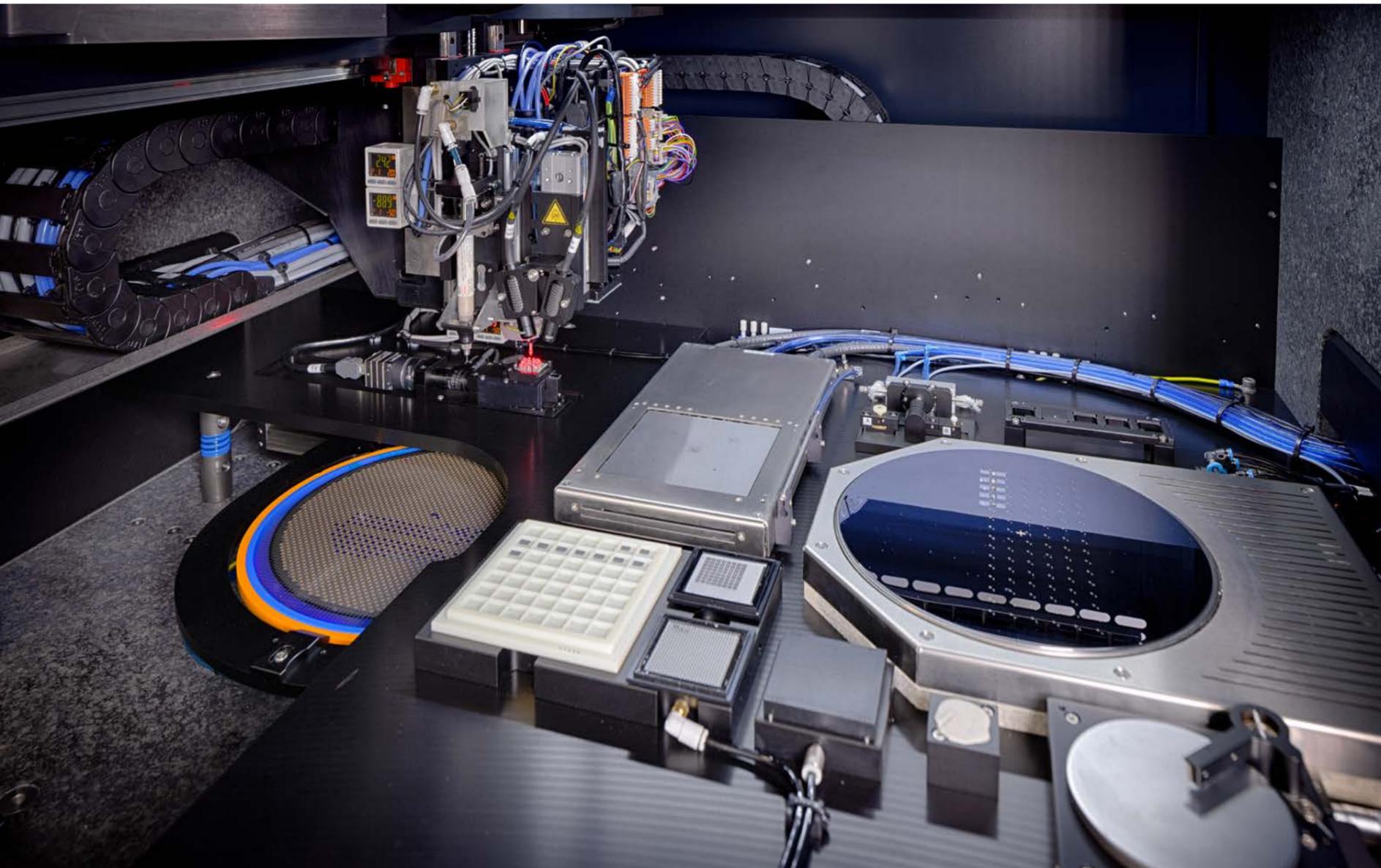
**Non-monolithic Fabrication of Thin-film Microelectrode Arrays on PMUT Transducers as a Bimodal Neuroscientific Investigation Tool**

Proceedings of EMBC 2023, Sydney, Australien.

Weyers, D.; Catuneanu, M.-T.; Lapteva, M.; Vibhuti, V.; He, M.; Bonhardt, S.; Landwehr, M.; Fell, J.; Nieweglowski, K.; Jamshidi, K.; Bock, K.

**Electro-optical Co-integration Platform for High-density Hybrid Systems – SILHOUETTE**

Proceedings of MikroSystemTechnik Kongress 2023, Dresden.



*Mikromontage-Anlage: Hohe Flexibilität für Rapid Prototyping und Kleinserienfertigung*

Woehrmann, M.; Dreissigacker, M.; Braun, T.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

**A Novel FOWLP Method to Integrate Delicate MEMS Components**

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA, DOI: 10.1109/ECTC51909.2023.00218.

Yamaguchi, T.; Suto, Y.; Araki, N.; Eto, M.; Fischer, F.; Groth, A.

**Investigation of Failure Mechanism of Aluminum-scandium Wire Bond Contact Under Active Power Cycle Test**

Microelectronics Reliability, Vol. 144, 2023, DOI:10.1016/j.microrel.2023.114956.

Zoschke, K.; Manier, C.-A.; Oppermann, H.; Meier, D.; Malik, N.; Zakizade, E.; Michel, M.; Roy, A.; Nguyen, H.-V.; Nguyen, T.-P.

**Wafer Level Capping Technology for Vacuum Packaging of Microbolometers**

Proceedings of ECTC 2023, Orlando, USA, DOI: 10.1109/ECTC51909.2023.00267.

## Patente & Erfindungen

Böttcher, Lars; Kosmider, Stefan; Löher, Thomas; Ostmann, Andreas

### **Elektronisches Modul und Verfahren zu seiner Herstellung**

DE 10 2016 214 607 A1

Ehrhardt, Christian; Höfer, Jan; Schneider-Ramelow, Martin

### **Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Bauelements und elektronisches Bauelement**

DE 10 2017 211 058 A1

Ndip, Ivan

### **Antennenvorrichtung, Antennenarray, elektrische Schaltung mit einer Antennenvorrichtung und Bändchenbondantenne**

EP 401 6729

Ndip, Ivan; Kallmayer, Christine; Lang, Klaus-Dieter

### **Dreidimensionale Antennenvorrichtung**

DE 10 2018 218 894 A1

Ndip, Ivan; Kallmayer, Christine; Lang, Klaus-Dieter

### **Dreidimensionale Schleifen-Antennenvorrichtung**

DE 10 2018 218 891 A1

Ndip, Ivan; Ostmann, Andreas

### **Modulanordnung mit integrierter Antenne und eingebetteten Komponenten sowie Verfahren zur Herstellung einer Modulanordnung**

US 15.862,833

Oppermann, Hermann; Manier, Charles-Alix

### **Verfahren zur Herstellung einer Halbleiteranordnung**

DE 10 2021 206 898

Oppermann, Hermann; Tekin, Tolga; Manier, Charles-Alix

### **Genauere Komponenten-Justage in Kavität**

DE 10 2019 210 747 A1

Oppermann, Hermann; Tekin, Tolga; Stockmeyer, Jörg; Fröhlich, Juliane

### **Genauere Komponenten-Justage auf planare Grundplatte**

DE 10 2019 210 750 A1

## Kuratorium

### **Vorsitzender**

**Dr. Franz Richter**

### **Mitglieder**

#### **Ministerialrätin Dr. Annerose Beck**

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden

#### **Paradiso Coskina**

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

#### **Robert Giertz**

AEMtec GmbH, Berlin

#### **Gabi Grützner**

Micro resist technology GmbH, Berlin

#### **Dr. Michael Hosemann**

Siemens Healthcare GmbH, Erlangen

#### **Prof. Dr. Gerhard Kahmen**

IHP GmbH, Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt (Oder)

#### **Ministerialrat Bernd Lietzau**

Der Regierende Bürgermeister von Berlin, Senatskanzlei Wissenschaft und Forschung

#### **Prof. Dr. Regine Mallwitz**

TU Braunschweig, Braunschweig

#### **Jörg Muchametow**

eagleyard Photonics GmbH, Berlin



#### **Prof. Dr. Geraldine Rauch**

Technische Universität Berlin

#### **Johannes Stahr** (bis Ende 2023)

AT&S AG, Leoben (A)

#### **Dr. Markus Ulm**

Robert Bosch GmbH

#### **Prof. Dr. Stephan Völker**

Technische Universität Berlin

#### **Christian Wiebus**

NXP Semiconductors Germany GmbH, Hamburg

#### **Marcel Wieland**

GlobalFoundries, Dresden

#### **Ministerialrat Christoph Zimmer-Conrad**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Referat Industrie, Dresden

#### **Dr. Tina Züchner**

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat Elektronik und autonomes Fahren, Bonn

# Kontakt

## FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT UND MIKROINTEGRATION IZM

Gustav-Meyer-Allee 25 | 13355 Berlin  
Telefon +49 30 46403-100  
info@izm.fraunhofer.de



### Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow  
Telefon +49 30 46403-172  
martin.schneider-ramelow@izm.fraunhofer.de



### Stellvertretender Institutsleiter

Dipl.-Phys. Rolf Aschenbrenner  
Telefon +49 30 46403-164  
rolf.aschenbrenner@izm.fraunhofer.de



### Referent der Institutsleitung

Dr.-Ing. Maik Hampicke  
Telefon +49 30 46403-683  
maik.hampicke@izm.fraunhofer.de



### Leitung Administration

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Jürgen Rahn  
Telefon +49 30 46403-105  
juergen.rahn@izm.fraunhofer.de



### Leitung Administration

Dipl.-Ing. Carsten Wohlgemuth  
Telefon +49 30 46403-114  
carsten.wohlgemuth@izm.fraunhofer.de

## FACHABTEILUNGEN



### Wafer Level System Integration

Leitung: Dr. Manuela Junghähnel  
Telefon +49 0351 795572-0  
manuela.junghaehnel@izm.fraunhofer.de



Leitung: Dr.-Ing. Michael Schiffer  
Telefon +49 30 46403-234  
michael.schiffer@izm.fraunhofer.de



### System Integration and Interconnection Technologies

Leitung: Dr.-Ing. Tanja Braun  
Telefon +49 30 46403-244  
tanja.braun@izm.fraunhofer.de



Leitung: Dr.-Ing. Andreas Ostmann  
Telefon +49 30 46403-187  
andreas.ostmann@izm.fraunhofer.de



### Environmental and Reliability Engineering

Leitung: Dr.-Ing. Nils F. Nissen  
Telefon +49 30 46403-132  
nils.nissen@izm.fraunhofer.de



### RF & Smart Sensor Systems

Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Ivan Ndip  
Telefon +49 30 46403-679  
ivan.ndip@izm.fraunhofer.de



Leitung: Dipl.-Ing. Harald Pötter  
Telefon +49 30 46403-742  
harald.poetter@izm.fraunhofer.de

## STANDORT DRESDEN ASSID

### All Silicon System Integration Dresden (ASSID)

Ringstraße 12, 01468 Moritzburg



Leitung: Dr. Manuela Junghähnel  
Telefon +49 0351 795572-0  
manuela.junghaehnel@izm.fraunhofer.de



Leitung: Dr.-Ing. Michael Schiffer  
Telefon +49 30 46403-234  
michael.schiffer@izm.fraunhofer.de

## STANDORT COTTBUS

### Außenstelle Hochfrequenz-Systeme

Karl-Marx-Straße 69, 03044 Cottbus



### RF & Smart Sensor Systems

Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Ivan Ndip  
Telefon +49 30 46403-679  
ivan.ndip@izm.fraunhofer.de

## GESCHÄFTSFELDENTWICKLUNG / MARKETING & PR



### Business Development Team

Dipl.-Phys. Erik Jung  
Telefon +49 30 46403-230  
bdt@izm.fraunhofer.de



Tekfouy Lim  
Telefon +49 30 46403-8110  
tekfouy.lim@izm.fraunhofer.de



### PR & Marketing

Georg Weigelt  
Telefon +49 30 46403-279  
georg.weigelt@izm.fraunhofer.de



### Start-A-Factory

Alexandra Rydz  
Telefon +49 30 46403-203  
alexandra.rydz@izm.fraunhofer.de

# Notizen



A series of horizontal dashed lines spanning the width of the page, intended for taking notes.

A series of horizontal dashed lines spanning the width of the page, intended for taking notes.



# Impressum

---

## Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow  
Fraunhofer IZM  
[www.izm.fraunhofer.de](http://www.izm.fraunhofer.de)

## Redaktionelle Bearbeitung

mcc Agentur für Kommunikation GmbH  
Georg Weigelt, Fraunhofer IZM

## Layout / Satz

mcc Agentur für Kommunikation GmbH  
[www.mcc-events.de](http://www.mcc-events.de)

© Fraunhofer IZM 2024

## Fotografie

AdobeStock/Martin Hempel (23).  
Sämtliche anderen Bildrechte Fraunhofer IZM oder Fraunhofer IZM zusammen mit:  
Volker Mai (Titel, 8, 9, 11, 17, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 31, 42, 52); MIKA Berlin (56, 57);  
Erik Müller (56), [www.robertkeithphoto.com](http://www.robertkeithphoto.com) (39)

## Titel

Weltkleinstes Impedanzspektroskopie-System in Form einer Pille