

# INHALT

---

Vorwort	Seite 4
---------	---------

---

## FRAUNHOFER IZM

---

Kernkompetenzen	Seite 7
Roadmap für die Heterointegration	Seite 8
10 Jahre Fraunhofer IZM-ASSID	Seite 9
Abteilung System Integration & Interconnection Technologies	Seite 10
Abteilung Wafer Level System Integration	Seite 11
Abteilung Environmental & Reliability Engineering	Seite 12
Abteilung RF & Smart Sensor Systems	Seite 13
Fraunhofer – ein starkes Netzwerk	Seite 14
Automobil- und Verkehrstechnik	Seite 16
Medizintechnik	Seite 18
Halbleiter	Seite 20
Industrieelektronik	Seite 22
Information und Kommunikation	Seite 24
Ausstattung und Leistungen	Seite 26

---

## VERANSTALTUNGEN

---

Events und Workshops	Seite 28
----------------------	----------

---

## FACTS & FIGURES

---

Das Fraunhofer IZM in Fakten und Zahlen	Seite 32
Auszeichnungen, Editorials, Dissertationen	Seite 34
Vorlesungen	Seite 35
Kooperationen mit Universitäten	Seite 36
Kooperationen mit der Industrie	Seite 37
Mitgliedschaften	Seite 38
Publikationen	Seite 39
Patente & Erfindungen	Seite 44
Kuratorium	Seite 45
Kontakt	Seite 46
Impressum	Seite 48

# VORWORT



## ANWENDUNGSORIENTIERT FORSCHEN, ZUVERLÄSSIG ENTWICKELN

### Liebe Leserinnen und Leser,

die Flure oft verwaist, der Reinraum im Notbetrieb und die Gesichter der Kolleg\*innen verdeckt: Ein außergewöhnliches Jahr 2020 ist zu Ende – eines, das wir so schnell nicht vergessen werden. Viele Umstellungen und ständige Anpassungen kamen auf uns zu, im Privaten sowie Beruflichen, aus heutiger Sicht haben wir mit Einsatz und Disziplin die meisten dieser Hürden gut überwunden, aber von »normal« sind wir noch weit entfernt. Genau deswegen können wir uns im Jahr 2021 noch nicht von der Corona-Pandemie lösen, müssen aber auch andere gesellschaftliche Themen dynamisieren, die die kommenden Jahrzehnte dominieren werden, wie zum Beispiel die Souveränität in der Mikroelektronik, die Entwicklung klimafreundlicher Technologien und einen effizienten Umgang mit Ressourcen.

Die Mikroelektronik kann einen enormen Beitrag leisten: Ob in den Quantentechnologien, dem Next Generation Computing, den 5G/6G-Technologien, der künstlichen Intelligenz oder Bioelektronik – neue Prinzipien und Technologien müssen entwickelt und optimiert werden.

Wieder spiegeln eine Vielzahl hervorragender Projektergebnisse, die Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden des Fraunhofer IZM. Zusätzlich forschen wir an Mikroelektronik-Lösungen gegen das Corona-Virus z. B. durch 2-Megapixel-Detektoren, die UV-Schnellsterilisation von FFP2- und FFP3-Schutzmasken sowie eine Plattformtechnologie zur Entwicklung neuartiger Therapiestrategien. Einige Ergebnisse seien nachfolgend exemplarisch genannt:

- Die Technologien der Systemintegration durch extreme Miniaturisierung vorantreibend, konnte ein miniaturisiertes LIDAR-SYSTEM für die Robotik entwickelt werden.
- Das PCB Embedding erfuhr seinen Einsatz für die 5G/Millimeterwellentechnologie.
- Als hochkomplexe, gleichzeitig energieeffiziente Lösungen fanden photonische Sensorsysteme Einsatz, indem sie zur Überwachung der Herstellungsprozesse von Kompositmaterialien dienen.
- Die Wertschöpfungskette in der Systemintegration konnte in Richtung innovativer »System-on-a-Chip« und »System-in-Package« Lösungen auf Wafer- und Substratebene ausgebaut werden. Beispielhaft hierfür: eine hochempfindliche Diagnoseplattform für die Medizin basierend auf 3D-Graphen.
- Mit dem Chiplet-Ansatz wurde die Systemintegrationsstrategie des Fraunhofer IZM erweitert.
- Biomedizinische Anwendungen, wie biokompatibles Embedding von dünnen ASICs in flexible Substrate, wurden realisiert.
- Durch die Umsetzung der Investitionen aus der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland konnten technologieoptimierte, ressourceneffiziente und industriekompatible Prozesslinien und Unterstützungen bei Produktfertigungen erreicht werden.

Parallel zu den großen Veränderungen in der Arbeitsweise am Institut, welche zum Beispiel Online-Meetings von Ausnahmen zur Regel adelten, erlebten wir am Fraunhofer IZM auch 2020 eine Vielzahl an strukturellen Highlights, von denen wir eine Auswahl vorstellen möchten:

- Die Electronics Goes Green 2020+ setzte als hybride Konferenz mit über 250 Teilnehmer\*innen neue Maßstäbe.
- Wir begingen das zehnjährige Bestehen des Fraunhofer IZM-ASSID als Online-Event.
- Der Aufbau der »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« mit u. a. dem Fraunhofer IZM als Partner mündete in eine Reihe übergreifender Kooperationen und erfolgreicher Projekte.
- Das weltweit aufgestellte Panel-Level-Packaging Konsortium PLC 2.0 ging in die zweite Runde.
- Die Leistungszentren »Mikro-Nano-Integration« in Dresden und »Digitale Vernetzung« in Berlin wurden in Phase II fortgeführt.
- Die IZM-Außenstelle in Cottbus nahm ihre erweiterte Arbeit auf: Erste Projekte im Rahmen der iCampus-Initiative, u. a. ein medizinisches 60-GHz-Radar zur berührungslosen Messung von Vitalparametern, wurden bereits durchgeführt.
- Auch in der Präsentation nach außen wurde das Fraunhofer IZM durch Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit wieder prominent platziert, besonders die enorm gesteigerte Verankerung in allen relevanten Social-Media-Kanälen ist hier bemerkenswert.
- Der Blog *REALISM* hat sich in diesem Jahr in der Mikroelektronik-Community nachhaltig etabliert und wurde von der DFG ausgezeichnet.

All das führte dazu, dass wir 2020 trotz Pandemie grundsätzlich einen zufriedenstellenden Jahresabschluss erzielen konnten. Besonders in ungewissen Zeiten ist es sehr wichtig, neue Ideen zu kreieren, ein robustes Kundenportfolio und stabile Kooperationen zur Verfügung zu haben, so dass Aus-

fälle kompensiert werden und wir für die weitere Zukunft einem moderaten Wachstum entgegenschauen können.

Dank an dieser Stelle auch anderen Forschungseinrichtungen wie dem Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikro-peripherik an der TU Berlin, aber auch der TU Dresden, der BTU Cottbus-Senftenberg und der HTW in Berlin, die im Bereich wissenschaftlicher Grundlagen und der Ausbildung von Nachwuchs unabdingbare Partner sind.

Unser großer Dank geht somit an alle Partner\*innen aus Industrie und Forschung, an Fördernde und Projektverwaltungen aus Bund und Ländern sowie an Unterstützer\*innen aus Verbänden und Gremien. Vor allem aber möchten wir allen Mitarbeitenden persönlich unsere Anerkennung aussprechen, die sich den Herausforderungen des Pandemie-Jahres mutig gestellt haben und ohne die die hervorragende Entwicklung des Instituts nicht möglich gewesen wäre.

Besonders in Anbetracht der Besonderheit des Jahres 2020 liegt es uns sehr am Herzen, Ihnen allen für Ihre große Unterstützung, Ihren permanenten Einsatz und die stetige Kollegialität zu danken!

Wir wünschen Ihnen viele Anregungen, Ideen und Vergnügen beim Lesen des Jahresberichts und freuen uns auf die weitere erfolgreiche Zusammenarbeit!

Viele Grüße und bleiben Sie gesund!

Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang  
Institutsleiter (geschäftsführend)

Prof. Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow  
Institutsleiter (kommissarisch)

# 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-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration 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 mehr als 440 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**

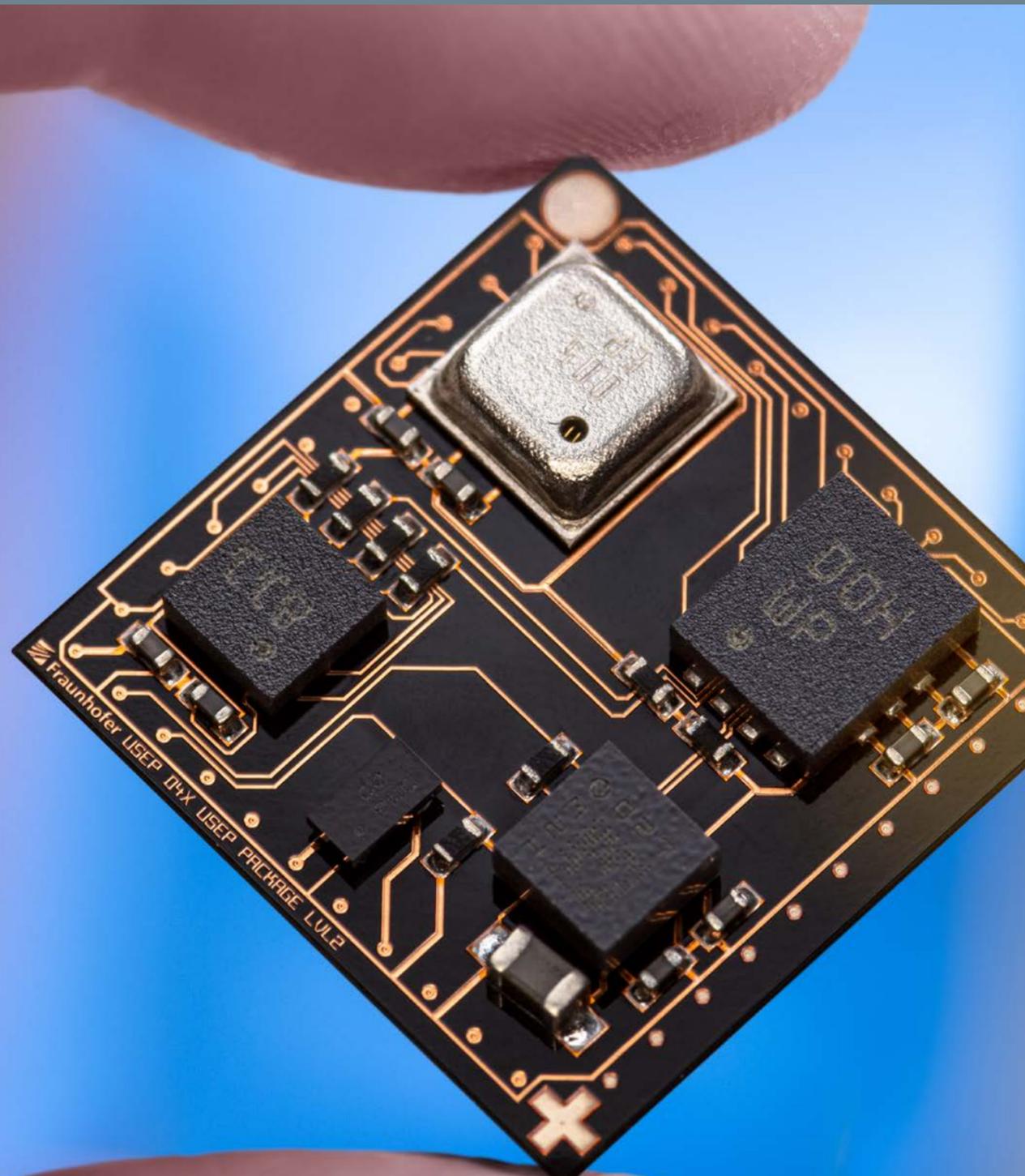
Die Forschungsergebnisse des Fraunhofer IZM sind für Anwenderbranchen wie die Automobilindustrie, Medizintechnik oder Industrieelektronik und selbst für die Beleuchtungs- und Textilindustrie von außerordentlichem Interesse. Halbleiterunternehmen und Zulieferern entsprechender Materialien, Maschinen und Anlagen, aber auch kleinen Unternehmen und Startups stehen die Möglichkeiten offen: von der schnell verfügbaren Standard-Technologie bis 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.





## ROADMAP FÜR DIE HETEROINTEGRATION

Die Evolution in der Mikroelektronik schreitet unaufhörlich in zwei Richtungen voran: immer kleiner und immer höhere Funktionsdichte. Die sogenannte »Heterointegration« wird als möglicher Game Changer für die Wettbewerbsfähigkeit und Kosteneffizienz innovativer Unternehmen in den verschiedensten Branchen gehandelt, da sie neue Perspektiven auf beiden Dimensionen bietet: miniaturisierte Elektronik mit bisher unerreichter funktionaler Dichte. Um dies zu ermöglichen, verfolgt die Heterointegration einen veritablen Paradigmenwechsel. Anstatt allein immer kleinere Strukturen mit immer komplexeren Mitteln zu verfolgen (in Anlehnung an das berühmte Gesetz der Chipentwicklung auch »More Moore« genannt), sucht sie neue Möglichkeiten der funktionellen Verdichtung (»More than Moore«) in anderen Konstruktionsansätzen für die konventionelle CMOS-Technik – und darüber hinaus: Anstelle eines monolithischen Systems-on-Chip werden verschiedene Funktionen in ein kombiniertes System verpackt, das entweder als siliziumbasierter 3D-Chip oder als System-in-Package (SiP) aufgebaut wird und nicht mehr auf Silizium als Halbleitermaterial beschränkt sein muss. Das konventionelle System-on-Chip genießt zwar den Vorteil einfacher Skalierbarkeit in der Herstellung, leidet aber bauartbedingt an eingeschränkter Funktionsbreite, da auf einem Chip nur Funktionen kombiniert sein können, die auch gemeinsam miteinander hergestellt werden können. Sollen z. B. Funktionen aus verschiedenen Fertigungsumgebungen (III-V Halbleiter, MEMS- oder auch integrierte passive Komponenten) zu einer Systemfunktion zusammengebracht werden, scheitert dieser bisherige Ansatz.

In der Heterointegration von 3D-Chips werden dafür z. B. einzelne Funktionselemente auf einem dünnen Siliziumsubstrat platziert und ihre rückseitigen Kontakte mittels einer speziellen Durchkontaktierung, sogenannten TSVs auf dem hochdichten Interposer miteinander verbunden. Das Ultra-Fine-Pitch Flip-

Chip-Bonden stellt eine Revolution für diesen neuen Ansatz der kombinierten und miniaturisierten Funktionsbestückung dar.

In dieser Form der parallelen Integration können z. B. Sensor- und Kommunikationsfunktionalitäten mit Steuer- oder Rechenchips verbunden werden, um Sensordaten bereits vor Weitergabe an den Empfänger oder die Cloud aufzubereiten (»Embedded-KI«). Neben der Silizium-Interposer-Technik kommt auch das Fan-Out-Packaging-Konzept dafür als vielversprechende Plattformtechnologie in Frage, die einen Großteil der über derzeit 1.000 Packagingtypen ersetzen könnte. Weitere Forschung und Entwicklung ist nötig, z. B. zum Umgang mit den unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Funktionselemente oder zur konstruktiven und logischen Verbindung mit anderen Elementen in heterogener Anordnung. Nicht zuletzt gilt besondere Aufmerksamkeit auch der Prüfung und Qualifizierung von solch hochdichten Designs, vor allem in der Kombination mit anderen Informationsquellen jenseits klassischer elektrischer Daten, so z. B. photonischer oder gar biochemischer Signale.

Das Fraunhofer IZM arbeitet intensiv an der Evolution der Heterointegration und unterstützt hierfür auch die Arbeit an einer verlässlichen Roadmap für die immer noch sehr dynamischen Entwicklungen in diesem Bereich, einem der wichtigsten Ansätze der IEEE-ECS-Community des letzten Jahrzehnts. Nicht weniger als 22 Technologie-Arbeitsgruppen mit Teilnehmer\*innen aus Forschung und Industrie wurden hierfür aufgesetzt, die sich den vielen möglichen Anwendungsbereichen von der Medizintechnik über Sicherheit zur Automotiv- und Leistungselektronik widmen. Das Fraunhofer IZM hat dabei die federführende Rolle in der Roadmap für die SiP-Integration und erarbeitet eine Bandbreite vielversprechender Technologien, die bereits in naher Zukunft zum industriellen Einsatz kommen werden.

## 10 JAHRE FRAUNHOFER IZM-ASSID

Im Mai 2020 beging das Fraunhofer IZM-ASSID in Dresden sein zehnjähriges Jubiläum. Im Laufe des letzten Jahrzehnts hat sich das IZM-ASSID mit seinen Leistungen über die Grenzen Deutschlands hinaus auf dem Gebiet der Wafer Level Systemintegration, insbesondere der 3D-Integration auf 300mm-Wafern, etabliert und ist ein weltweit anerkannter FuE-Partner.

Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie des Freistaats Sachsen wurde 2010 in Dresden erstmalig eine FuE-Pilotlinie für das Wafer Level Packaging und die 3D-Integration (8"/12") realisiert und seither stetig weiterentwickelt. Durch die weltweite Kooperation mit Systemanwendern und Anlagen- und Materialherstellern wurde das IZM-ASSID zu einem der führenden Anbieter im Bereich der heterogenen Wafer Level Systemintegration von der Entwicklungsphase bis zum qualifizierten Low Volume Manufacturing.

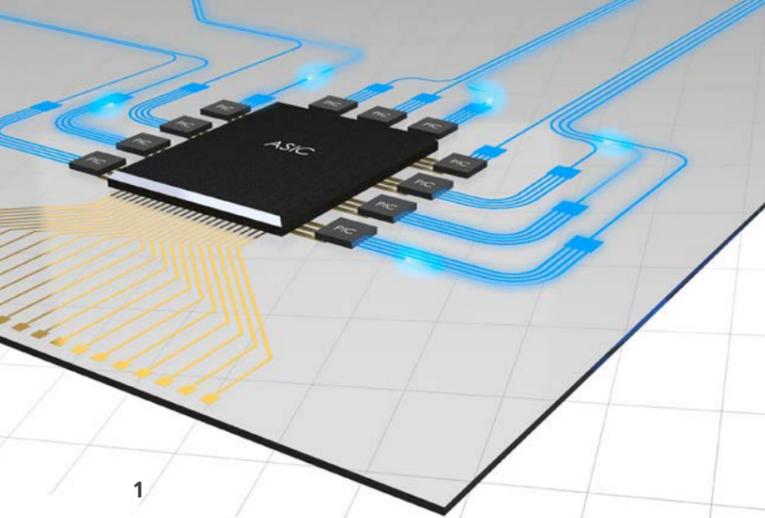
### 3D-Integration für die Produkte von morgen

Diese Wafer Level Packaging- und Systemintegrationstechnologien werden für die 3D-Integration unter Anwendung von Silizium-Durchkontaktierungen (TSVs) entwickelt und im Rahmen eines Prototypings umgesetzt. Der modulare Ansatz der Systeme wird überall dort benötigt, wo es auf kleine, energieeffiziente und hochfunktionale Elektronik ankommt. Das ist beispielsweise bei medizinischen Geräten oder Anwendungen der Sicherheits- und Automatisierungstechnik sowie der Automobilindustrie der Fall. Der Fokus liegt auf Technologien und Materialien für Systeme, die mehrere elektronische Komponenten in miniaturisierter Bauform in sich vereinen.

### Forschung auf Industrieniveau – mit ISO-Zertifizierung

Die International Certification Group (ICG) hat dem IZM-ASSID im April 2020 ein Managementsystem bescheinigt und für den Geltungsbereich »Forschung, Entwicklung und Dienstleistung im Bereich Electronic Packaging« zertifiziert. Damit hat das IZM-ASSID einen weiteren wichtigen Meilenstein für qualifizierte kundenspezifische Prozessentwicklung genommen.

Auch zukünftig wird das IZM-ASSID den eingeschlagenen Weg als Bestandteil des Fraunhofer IZM weitergehen, um erfolgreich herausragende wissenschaftlich-technische Lösungen für die Herausforderungen einer digitalisierten Gesellschaft im Umfeld von IoT, AI und HPC zu entwickeln und umzusetzen. Das IZM-ASSID bedankt sich bei allen Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik für das Vertrauen und die erfolgreiche Kooperation.



1



**Rolf Aschenbrenner**  
rolf.aschenbrenner@izm.fraunhofer.de



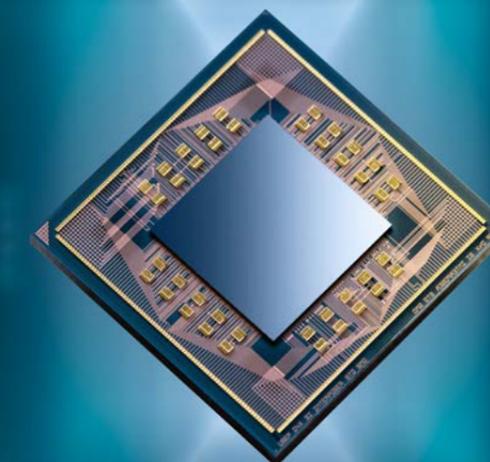
**Dr.-Ing. Andreas Ostmann**  
andreas.ostmann@izm.fraunhofer.de



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



**M. Jürgen Wolf**  
juergen.wolf@izm.fraunhofer.de



2

## SYSTEM INTEGRATION & INTERCONNECTION TECHNOLOGIES

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, z. T. 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: Lötten, 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" x24") ist weltweit einzigartig. Zur Verfügung stehen ca. 2.500m<sup>2</sup> Laborfläche, davon 600m<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.

## WAFER LEVEL SYSTEM INTEGRATION

Die Abteilung »Wafer Level System Integration« (WLSI) konzentriert ihre Forschungsaktivitäten auf die Entwicklung von Advanced Packaging- und Systemintegrationstechnologien auf Wafer Ebene und bietet so kundenspezifische Lösungen für mikroelektronische Produkte. Rund 60 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
- Wafer Level Packaging und Fine-Pitch Bumping
- 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 Wafern 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
- High-Density Interconnect Formation
- Mikrobump oder Pillar: Cu, SnAg, CuSn, Au, AuSn
- Pre-Assembly (Dünnen, Handling dünner Wafer, Laser Grooving, Laser Dicing, Plate Dicing)
- 3D Assembly D2D, D2W, W2W
- 3D Wafer Level Stacking
- Waferbonden (Kleben, Lötten, direkt)
- Direct Bond Interconnect (DBI) – W2W (12")
- Mikrosensorentwicklung und -integration
- MEMS Packaging (hermetisch)
- Simulation und Charakterisierung von photonischen und plasmonischen Komponenten und Systemen
- Photonische Systemintegration (inkl. z. B. Polymerwellenleiter)

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.

1 *Konzeptskizze eines elektrisch-optischen Interposers aus Glas für Co-Packaging*

2 *Testinterposer für Design-/Funktionsverifizierung des im Projekt USeP entwickelten Risc-V Prozessors in 22FDX® Technologie*



1



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



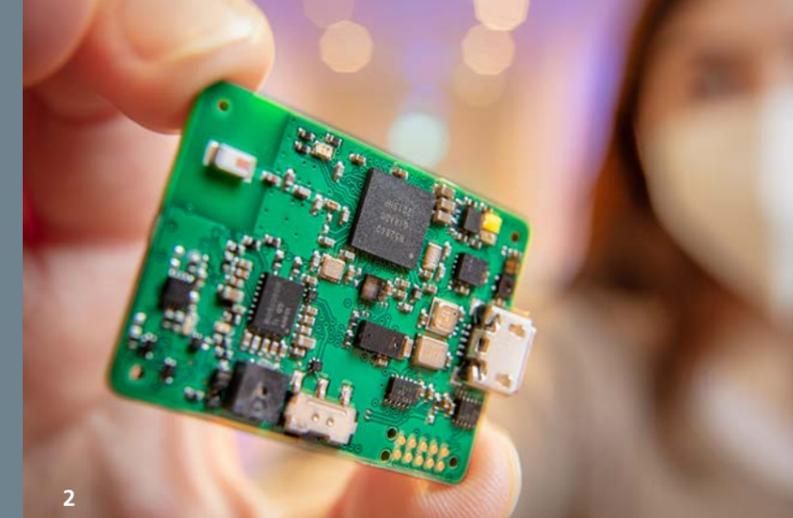
**Dr.-Ing. Olaf Wittler**  
olaf.wittler@izm.fraunhofer.de



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



**Harald Pötter**  
harald.poetter@izm.fraunhofer.de



2

## ENVIRONMENTAL & RELIABILITY ENGINEERING

Die Anforderungen an neue mikroelektronische Systeme wachsen ständig, gleichzeitig sollen ihre Herstellung und ihr Einsatz kosteneffizient und umweltschonend sein. Die Abteilung »Environmental and Reliability Engineering« unterstützt technische Entwicklungen auf dem Weg zur Marktreife durch ihre einzigartige Kombination von Umwelt- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen. Die Arbeitsgebiete umfassen folgende Bereiche:

- 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 werden Verfahren und Modelle entwickelt und angewendet, die es unseren Partnern ermöglichen, umwelt- und zuverlässigkeitsrelevante Kriterien in den Design- und Entwicklungsprozess zu integrieren. Somit können wir bei der Einführung neuer Technologien, Materialien, Prozesse, Komponenten und Anwendungen helfen, frühzeitig Schwachpunkte und Potenziale zu identifizieren und geeignet darauf zu reagieren.

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

nachhaltige, innovative Lösungen. Hierbei können sie die fundierte Unterstützung des Fraunhofer IZM in Anspruch nehmen.

Die Relevanz von Umweltverbesserungen an konkreten Produkten, aber auch an den Basistechnologien, ist in den letzten Jahren sehr stark gestiegen und wird von der Industrie wesentlich breiter und umfassender verfolgt. Umweltaufrufe und verschärfte Anforderungen betreffen daher auch Zulieferer und kleinere Unternehmen, die sich ggf. noch keine eigenen Klimaschutzziele oder Ressourceneffizienzziele gesetzt haben.

Auch die Langlebigkeit, Demontagefähigkeit und Reparierbarkeit werden zunehmend durch Gesetzgebung, durch Endkundenforderungen, die Weiterentwicklung der Standards und als Zuliefererauflage eingefordert. Vorgehensweisen zur applikationsspezifischen Zuverlässigkeitsabsicherung spielen hier eine wichtige Rolle, um lange Lebensdauern der ressourcenintensivsten Elektronikmodule sicherzustellen.

Im Bereich der Zuverlässigkeitsabsicherung auf Technologieebene werden die Untersuchungsmethoden und Simulationsmodelle permanent weiterentwickelt. Besonders prägnante Schwerpunkte sind Warpage und Korrosion, aber alle wesentlichen Ermüdungsmechanismen und Belastungen von elektronischen Baugruppen werden je nach Anwendung betrachtet. Dazu gehören die Belastungen durch mechanische Vibration, Temperatur, Feuchte, Temperaturwechsel sowie Strom- und Spannungsbelastungen. Aus ggf. speziell angepassten Tests und Simulationsmodellen erfolgt dann die Entwicklung von Optimierungsansätzen, um die Zuverlässigkeitsanforderungen in der Fertigungskette und in der Applikation zu erreichen.

## RF & SMART SENSOR SYSTEMS

Was verbindet so unterschiedliche Anwendungen wie 5G oder 60 GHz Kommunikationssysteme, Radarsensorik und drahtlose Sensorknoten? Sie alle eint in Bezug auf Forschung und Entwicklung ein gemeinsamer technologischer Background: Große Bandbreiten, hohe Robustheit und ein Maximum an Energieeffizienz sind funktional bestimmende Kriterien. 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 der Abteilung RF & Smart Sensor Systems das breite Technologie-Know-how des Fraunhofer IZM ebenso ein wie die eigenen tiefen Kenntnisse im Bereich der Firm- und Softwareentwicklung.

Inhaltlich konzentrieren sich die Arbeiten auf:

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

Die Umsetzung der Arbeiten ist gekennzeichnet durch die Kombination aus praktischem Know-how, gewonnen aus einer Vielzahl von erfolgreichen Projekten, einer umfangreichen topaktuellen Ausstattung sowie reicher Erfahrung mit Modellierungswerkzeugen und einer systematischen Vorgehensweise.

1 Modularisierung auf Leiterplattenebene:  
Digitaler Sprachrekorder mit eingebetteten  
Komponenten in Modulen

2 SWARM: IoT-Device für den  
harten industriellen Einsatz

# GESCHÄFTSFELDER & BRANCHEN

## FRAUNHOFER – 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 Wegweiserin und Impulsgeberin 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 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29.000 Mitarbeiter\*innen, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon entfallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

### Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Das Fraunhofer IZM bildet zusammen mit 12 anderen Mitgliedern seit April 2017 die standortübergreifende Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Mit über 2.000 Wissenschaftler\*innen aus dem Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik und dem Leibniz FBH sowie IHP ist die FMD der größte und weltweit führende FuE-Zusammenschluss für Mikro- und Nanoelektronik.

Mit dem Ziel, Forschung und Entwicklung in Deutschland über mehrere Standorte hinweg zu betreiben, befand sich die FMD im Jahr 2020 in der letzten Aufbauphase. Unterstützt wurde sie hierbei mit rund 350 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die vor allem dafür genutzt wurden, um die Forschungsausstattung der 13 beteiligten Insti-

tute zu modernisieren. Ein wesentliches Element der strategischen Weiterentwicklung der FMD im Jahr 2020 war die Erarbeitung und Verabschiedung des Konzepts zum nachhaltigen Betrieb der Forschungsfabrik nach dem Ende der Projektlaufzeit.

Neben dem Leistungsangebot für ihre Kunden aus der Wirtschaft bietet die FMD ebenfalls unterschiedlichste Kooperationsmöglichkeiten für ihre Partner in der Wissenschaft. Hierzu gehören die gemeinsame Arbeit in Verbundprojekten und der Betrieb der gemeinsamen Labore, den sogenannten Joint Labs. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Institute der FMD zu beauftragen, spezielle Konzepte aus der Grundlagenforschung auf den Anlagen der Institute hinsichtlich ihrer Eignung in stärker anwendungsorientierten Umfeldern zu erproben. Als Beispiele für Kooperationen zwischen der FMD und Universitäten sowie Hochschulen können das Projekt ASCENT+, die Forschungskooperation »iCampus« oder das Joint Lab Smart-Beam-Lab in Duisburg genannt werden.

### Leistungszentren

Ziel 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, IPMS und IZM sowie die TU Dresden und 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.



AUTOMOBIL- UND VERKEHRSTECHNIK | MEDIZINTECHNIK | HALBLEITER

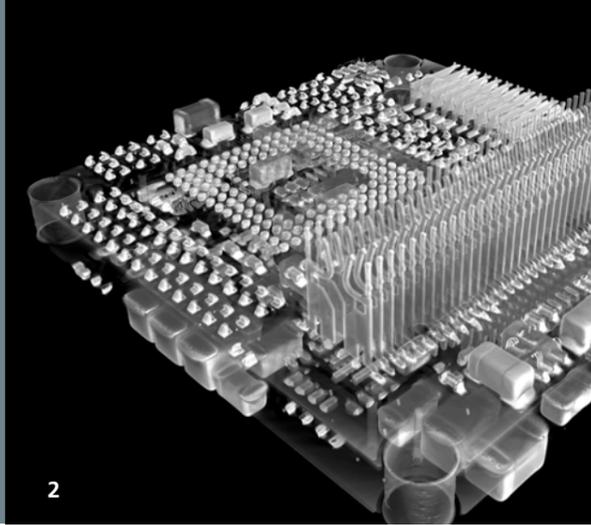
INDUSTRIELEKTRONIK | INFORMATION UND KOMMUNIKATION

Für komplexe, kompetenzvereinende Projektinitiativen steht den Geschäftspartnern die Abteilung Marketing und Geschäftsfeldentwicklung zur Verfügung, die den branchenspezifischen Bedarf in alle Technologie-Abteilungen des Instituts hineinträgt und den innovativen Lösungsweg koordiniert. Sprechen Sie uns an, wenn Sie neue Themenfelder mit anspruchsvollen Zukunftstechnologien strategisch weiterentwickeln möchten.

# AUTOMOBIL- UND VERKEHRSTECHNIK



1



2



3



Moderner Verkehr muss sicher, umweltfreundlich und kostenoptimiert gestaltet werden. Für innovative Verkehrsträger und Prozesse sorgen leistungsfähige, zuverlässige und bei Bedarf hochminiaturisierte elektronische Systeme auf Straße, Schiene, zu Wasser und in der Luft. Am Fraunhofer IZM gehören diese Applikationsfelder zu den Kernkompetenzen jeder Abteilung. Das Institut unterstützt OEM, Tier 1 und deren Zulieferer bei der Elektronifizierung des Fahrzeugs auf allen Ebenen. Sowohl für konventionelle, hybride oder elektrische Antriebstechnologien als auch für Systeme zur Gewährleistung von Sicherheit und Komfort werden zukunftssträchtige und zuverlässige Lösungen entwickelt und prototypisch realisiert.

## Realisierung hochminiaturisierter elektronischer Module mittels Einbettung von Komponenten in Leiterplatten-substrate

Die steigende funktionale Dichte elektronischer Module ermöglicht die Erschließung neuer und zunehmend komplexerer Anwendungsgebiete. Um diese Herausforderungen zu meistern, zielen fortschrittliche Leiterplattentechnologien darauf ab, eine flexible Herstellung von hochintegrierten Multi-Komponenten, Gehäusen und Modulen zu realisieren. Das höchste Miniaturisierungspotential kann mit der Einbettung von ungehäuseten oder passiven ICs erreicht werden. Als Alternative bietet sich die Einbettung von SMD-Komponenten an. Damit wird die Verwendung einer großen Anzahl an kommerziell verfügbaren Bauelementen möglich und die Nutzung der Technologie für ein weites Feld unterschiedlichster Anwendungen wird eröffnet.

## Wafer Level Packaging für hermetische Vakuum-Verkapselung von Infrarot-Sensoren

Im Rahmen des EU-Verbundprojektes APPLAUSE entwickelt das Fraunhofer IZM Technologien und Prozesse für das Wafer Level Packaging von Mikrobolometern auf einer 200-mm-Wafer-Plattform. Die Prozessentwicklung umfasst u. a. die Herstellung von Silizium-Kappenwafern für die hermetische Vakuum-Verkapselung von flächigen MEMS-Pixel-Array-Strukturen (FPA) der Projektpartner. Zwei Package-Topologien werden dazu verglichen: eine Single-Wafer-Kappe über dem Bolometer-Wafer und eine Compound-Deckelung, bestehend aus einem Siliziumrahmen und einem flachen Deckel.

Die technologische Evaluierung des gesamten Packaging-Prozesses beinhaltet eine Kombination aus unterschiedlichen Technologien, u. a. Siliziumätzen, galvanische Abscheidung von goldbasierten Bondringen (auch auf der Bolometer-Seite), Wafer-Bonden mit AuSn Transient Liquid Phase Bonding für die permanente hermetische Vakuum-Verkapselung sowie die Integration einer Antireflexbeschichtung für eine verbesserte optische Leistung.

## Aufbau von Leistungselektronik – flächige Verbindungen

Neben dem Die-Attach – dem flächigen Verbinden der Leistungshalbleiter – ist die flächige Verbindung auf der nächsten Ebene hin zum Kühler mitentscheidend für die Leistungsfähigkeit und die Zuverlässigkeit leistungselektronischer Module. Für diese bis zu einige Quadratzentimeter großen flächigen Verbindungen stehen grundsätzlich zwei Technologien zur Verfügung: das Lötens und das Silbersintern. Die Herausforderungen entstehen zum einen durch auftretende Verwölbungen der großflächigen Verbindungspartner und zum anderen durch den dreidimensionalen Aufbau der Kühlerstrukturen. Letzteres ist insbesondere beim Einstellen der Temperaturprofile beim Lötens zu beachten. Beim Silbersintern ist vor allem die Sicherstellung eines gleichmäßigen Anpressdrucks entscheidend.

## Mit 3D-Radarsensoren autonom fahren ohne tote Winkel

Um beim automatisierten Fahren höchste Sicherheit gewährleisten zu können, entwickelten IZM-Forschende im vom BMBWF geförderten Projekt KoRRund gemeinsam mit Projektpartnern 3D-Radarmodule, die relativ frei am Fahrzeug positioniert und in ein Sensornetzwerk eingebunden werden, um so eine 360°-Rundumsicht zu ermöglichen. So kann das Umfeld des Fahrzeugs in Echtzeit und aus allen Perspektiven gleichzeitig analysiert werden. Für diese lückenlose Abbildung der Umgebung entwickelten die Wissenschaftler\*innen Packaging-Verfahren für zuverlässige Radarsensoren mit revolutionären Freiformflächen, mit denen sich jede Antennenform und Anbringung am Fahrzeug künftig realisieren lässt. IZM-Forschende waren maßgeblich daran beteiligt, Moldtechnologien für die 3D-Radarsensoren zu simulieren, aufzubauen und zu testen.

1 Modul für neue planare SATCOM-Terminale (Projekt AVISAT)

2 CT-Aufnahme von einem Sensormodul in Einbett-Technik

3 Panel Level Moldtechnologien ermöglichen eine dreidimensionale, in Form frei wählbare Radarsensoren

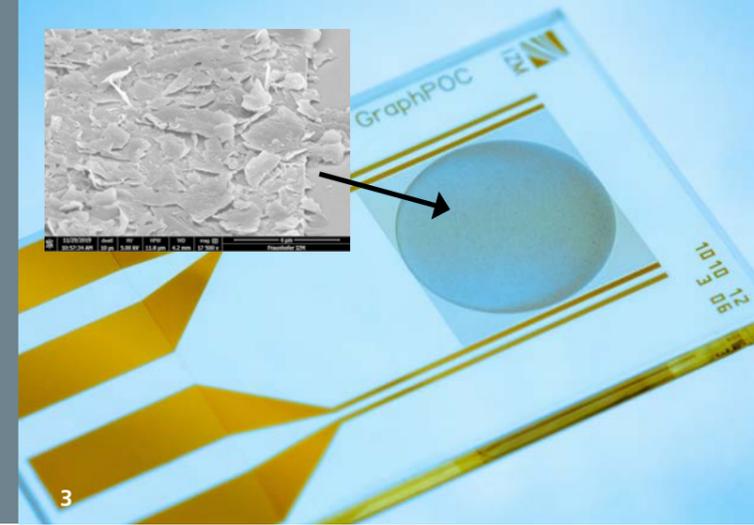
# MEDIZINTECHNIK



1



2



3



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

## Aktionsprogramm »Fraunhofer vs. Corona«

Nicht nur in unser aller Leben, sondern auch in der Forschung spielte die COVID-19-Pandemie 2020 eine große Rolle. Fraunhofer-Wissenschaftler\*innen waren in zahlreichen Projekten an der Bekämpfung der Pandemie beteiligt. Im Folgenden geben wir einen Überblick zu den IZM-Aktivitäten in der Corona-Forschung.

### Corona-Schnelltest in unter 2,5 Stunden

Nach einer Entwicklungszeit von nur sechs Wochen brachte Bosch im März 2020 einen neuen Schnelltest auf den Markt, der am Testort in unter 2,5 Stunden statt nach 2 Tagen ein Ergebnis anzeigt. Diese technische Lösung basiert auf einer PoC-Analyseplattform, die zusammen mit dem Fraunhofer IZM in dem EU-Projekt CAJAL4EU entwickelt wurde. Das Hauptziel des Projekts war es, miniaturisierte Biosensor-Technologieplattformen zu entwickeln, die schnell, robust, benutzerfreundlich und kostengünstig Multi-Parameter-in-vitro-Testanwendungen ermöglichen.

### Hochauflösende Röntgenkameras in der SARS-CoV-2-Forschung

Freie Elektronenlaser, wie z. B. am DESY in Hamburg oder am SLAC in den USA, werden genutzt, um die Strukturen von chemischen Verbindungen und Molekülen zu untersuchen. Hierbei wird eine spezielle, hochauflösende Röntgenkamera eingesetzt, die es nun einem internationalen Forscherteam ermöglichte, die Protease-Struktur eines SARS-Erregers in flüssigem Wasser genauer unter die Lupe zu nehmen. Dieses Verfahren erlaubt – im Gegensatz zu kryogen gekühlten Proben – die Untersuchung chemischer Verbindungen bei nahezu Körpertemperatur. Das Fraunhofer IZM stellt dafür Silizium-Pixel-Chip-Module her, die zu einem kompletten Röntgen-Detektor zusammengefügt werden. Ein Modul besteht aus vier elektronischen Readout-Chips, welche auf einen Silizium-Pixel-Sensorchip mit einer Größe von 13,5 cm<sup>2</sup> flip-chip gebondet sind. Der komplette epix10k2M Detektor umfasst 16 dieser Module und besitzt 2 Millionen röntgensensitive Pixel.

## BEAT-COVID – neue Therapien gegen die Pandemie

Fraunhofer-Forscher\*innen mehrerer Institute entwickeln im Projekt BEAT-COVID auf der Basis von Plattformtechnologien neue Therapiestrategien, um gegen künftige, heute noch unbekannte Erreger schnell und passgenau neue Medikamente entwickeln zu können. Das Fraunhofer IZM unterstützt das federführende Fraunhofer ITEM bei der Verbesserung seiner professionellen In-vitro-Technologien (P.R.I.T.). Bei dem Verfahren werden Zellkulturen in einer definierten Umgebung direkt der Einwirkung mit Aerosolen, z. B. inhalativ verabreichte Antikörper, ausgesetzt und ihre Reaktionen gemessen. Die IZM-Wissenschaftler\*innen evaluieren Möglichkeiten zur kontinuierlichen Messung der Zellebensfähigkeit via in-situ – also während die Zellen noch mit dem Aerosol in der P.R.I.T.-Box konfrontiert sind.

### Graphenbasierter Schnelltest zur Infektionserkennung

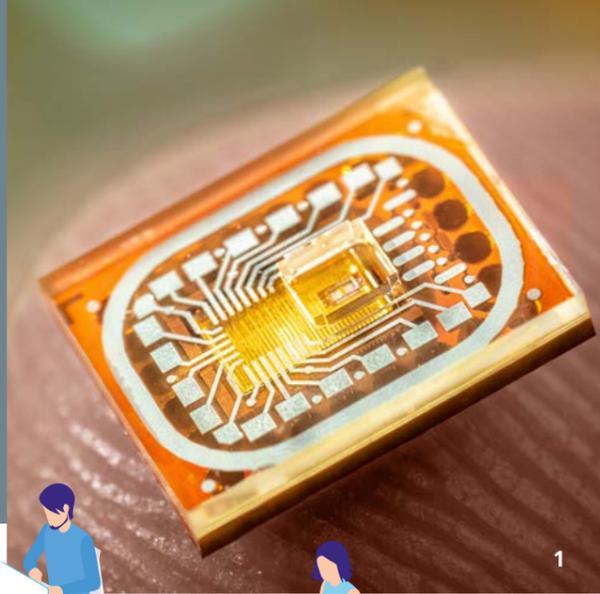
Forscher\*innen des Fraunhofer IZM entwickeln mit Projektpartnern aus der Industrie und dem Gesundheitswesen und gefördert vom BMBF eine handliche Sensorplattform auf Graphenoxid-Basis, die es ermöglicht, in wenigen Minuten akute Infektionen wie eine Sepsis oder auch Antikörper gegen das Coronavirus zu detektieren. Die Besonderheit der Sensorplattform ist das verwendete Material: Graphenoxid zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass es ein elektrisch leitfähiges und biokompatibles Material ist und eine äußerst zuverlässige Detektion zulässt. In der Mikroelektronik wurde es bisher nur in seiner ursprünglichen 2D-Form verwendet. Die Forschenden des Fraunhofer IZM bringen es jedoch nun in einer 3D-Struktur in Form von Flocken auf. Diese dreidimensionale Form vergrößert die Messfläche und auch die Genauigkeit der Messungen.

1 #FraunhofervsCorona

2 Hochauflösende Röntgenkamera

3 Graphenbasierter Biosensor mit REM-Vergrößerung der Sensorfläche

# HALBLEITER



In diesem Geschäftsfeld stehen die Integration von Halbleiterelementen 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 Kunden eine geschlossene Umsetzungskette – von der Konzeption über die Prozessentwicklung bis hin zur Charakterisierung und Zuverlässigkeitsbewertung. Dabei stehen alle notwendigen Prozesse für die Realisierung von Sensoren und Wafer Level Packages zur Verfügung, was neben hermetischen Sensor Packages auch ganze 3D-Systeme ermöglicht.



## Hermetisches Wafer Level Capping für MEMS-Packaging

Das Fraunhofer IZM hat eine neue Capping-Technologie für das hermetische/quasi-hermetische Verkapseln von Komponenten auf Wafer Ebene entwickelt. Hierbei werden Kappenstrukturen mit Bondrahmen und optionalen Aussparungen auf temporären Trägerwafern realisiert und dann mittels Transferbonden auf den Zielwafer aufgebracht. Die Bondrahmen und Kappenformen können durch die verwendete »Mask Aligner«-Lithographie und den damit verbundenen Strukturierungsprozessen nahezu frei definiert werden, so dass Kappenstrukturen mit beliebigen, auch unregelmäßigen Formen, Größen und Höhen geschaffen werden können. Die Bondrahmen können aus Kleber, Metall oder Lot bestehen, womit ein rein mechanischer oder luftdichter Verbund zum Zielwafer umgesetzt werden kann.

## Glaspackagekonzepte für die kostengünstige Umsetzung kundenspezifischer Anwendungen

Das Fraunhofer IZM hat für Glasinterposer mit TGVs generische Interposerkonzepte für verschiedene Via-Durchmesser und Waferdesigns entwickelt, die insbesondere auf fixe TGV-Positionen und -Geometrien setzen. Diese Technologien ermöglichen eine schnelle und kostengünstige Umsetzung kundenspezifischer Anforderungen. Im Vergleich zu Siliziuminterposern bieten Glasinterposer eine Reihe von Vorteilen: Das dielektrische Material ermöglicht sehr hohe Signalintegrität, geringe dielektrische Verluste im Hochfrequenz-Bereich sowie geringes Übersprechen. Von dem 100 GHz-Konzept, Design und der Simulation über die Herstellung bis hin zur Charakterisierung kann die gesamte Prozesskette bedient werden.

## Neue Technologien ermöglichen Motorumrichter mit höchster Leistungsdichte

In zwei ECPE-Lighthouse-Projekten wurde u. a. durch den Einsatz von Siliziumkarbid-basierten Verbindungshalbleitern gezeigt, dass die Leistungsdichte eines Industriemotors mit einer Leistung von 63 kW um den Faktor 4 erhöht werden kann. Diese Volumenreduzierung wurde durch die Entwicklung eines sehr niederinduktiven Leistungsmoduls zur bestmöglichen

Ausnutzung der Halbleitereigenschaften erreicht, was eine hohe Schaltfrequenz von 140 kHz und die damit verbundene Größenreduktion der passiven Komponenten ermöglichte. Ferner wurde durch den Einsatz einer neuartigen EMV-Filtertopologie und Verbesserungen in der Ansteuerung der Halbleiter das Verlustpotenzial der Bauteile mit hohen Rippelströmen gesenkt, was eine weitere Größenreduktion vor allem des Kühlkörpers gestattet.

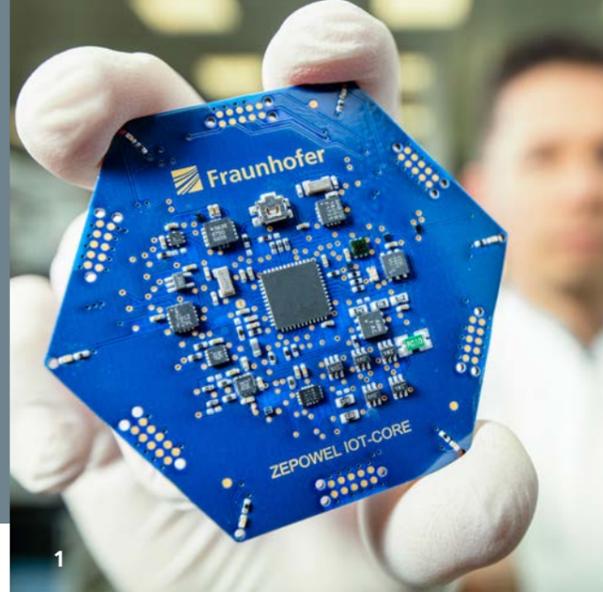
## Niederinduktives SiC-Leistungsmodul mit konventioneller Aufbau- und Verbindungstechnik

Im Projekt SpeedDrive wurde ein Halbleitermodul entwickelt, das für den Einsatz in einem Turbinenumrichter für eine Biogasanlage mit Dreiphasenwechselstrom gedacht ist. Ein Infineon IGBT-Modul war das Vorbild für das Leistungsmodul vor allem in Bezug auf das Modulgehäuse, die Anordnung der elektrischen Pinkontakte und der Gesamtgröße des Moduls. Das Ersetzen der IGBT-Chips durch SiC-Chips erlaubt ein schnelleres und verlustärmeres Schalten und damit eine erhöhte Schaltfrequenz auf Systemebene. Zur Erhöhung der nominalen Modulleistung bei gleicher Baugröße wurde zudem eine Isolationskeramik mit einer besonders guten thermischen Performance für ein besseres Entwärmen der Chips verwendet.

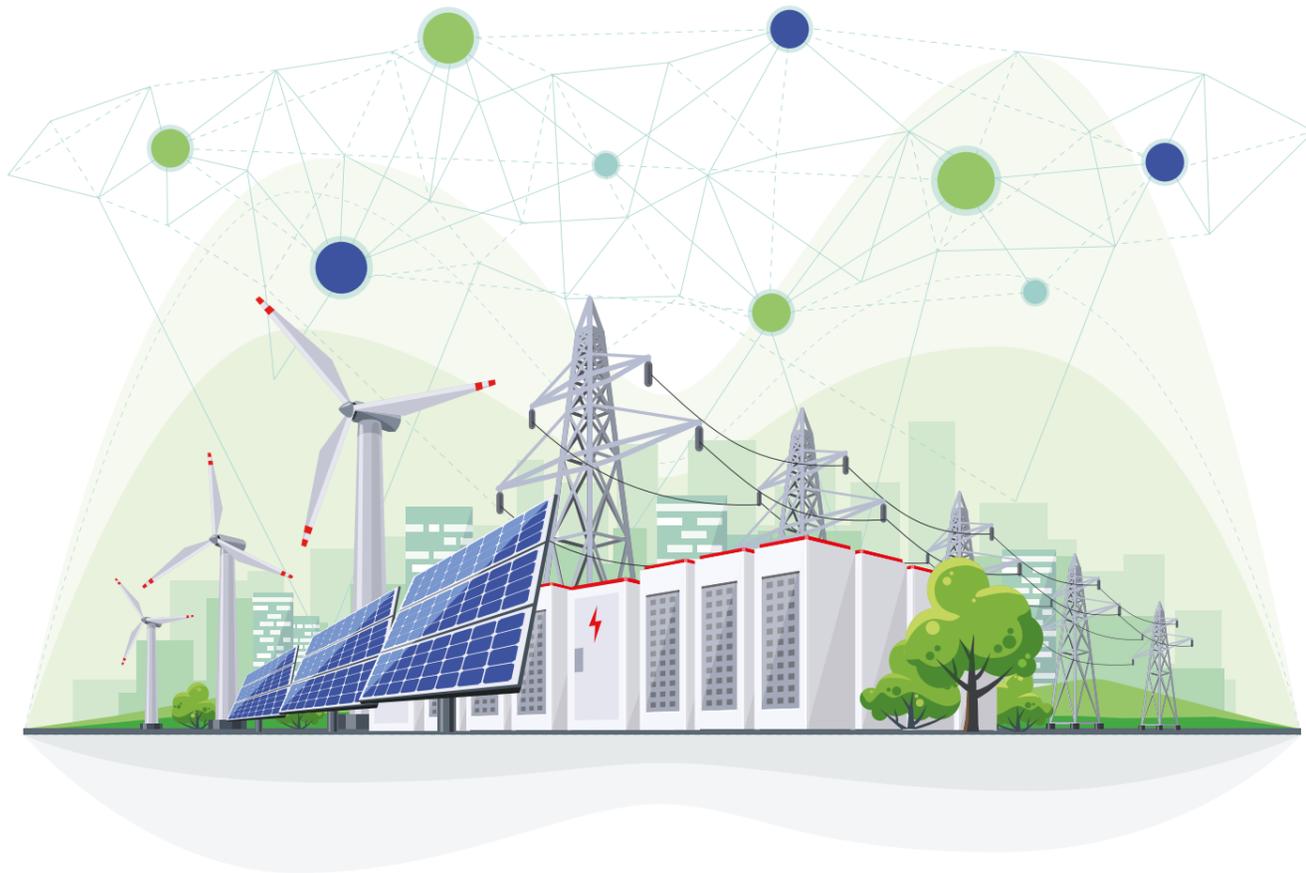
1 Hermetisches Glaspackage mit TGVs für einen Radar-Füllstandssensor mit einer Arbeitsfrequenz von 160 GHz (BMBF-Projekt GlaRA)

2 Motorumrichtersystem inklusive EMV-Filter am Ein- und Ausgang mit einer sehr hohen Leistungsdichte von 3,5 kW

# INDUSTRIE- ELEKTRONIK



1



Am Fraunhofer IZM steht die Thematik Industrie 4.0 im Fokus der FuE-Aktivitäten im Geschäftsfeld Industrieelektronik. Schwerpunkte sind hier Cyber Physical Systems und autarke Funksensoren, insbesondere robuste Sensorsysteme, die in der jeweiligen Anwendung vor Ort die notwendigen Mess- und / oder Bildinformationen aufnehmen, wandeln und über Standard-Interfaces die Informationen anwendungsspezifisch weitergeben. Industrie 4.0 bedeutet jedoch mehr als CPS-Vernetzung. Besonders wichtig ist auch die flexible Bereitstellung der Messdaten sowohl für stationäre Steuer- und Regelprozesse als auch eine On-demand-Bereitstellung zu mobilen Endgeräten zum Beispiel für Kontroll-, Wartungs- und Instandhaltungszwecke.



2

### Glasinterposertechnologien für HF-Anwendungen

Im BMBF-Verbundprojekt GlaRA wurden Radarsensoren realisiert, die durch ihre hohe Entfernungsauflösung, Messgenauigkeit und Strahlbündelung bei sehr kompakten Abmessungen vor allem für die smarte Industrie- oder Prozessmesstechnik von Bedeutung sind. Es wurde eine zuverlässige Glasinterposertechnologie für breitbandige Millimeterwellenmodule bei Frequenzen von über 100 GHz entwickelt und damit System-in-Packages (SiP) aufgebaut und charakterisiert. Das Fraunhofer IZM hat hier einen industrietauglichen Prozess zur Metallisierung der Glas-Vias mit hohen Aspektverhältnissen realisiert. In einem Waferbondprozess (auf Wafern bis max. 300 mm Durchmesser) erfolgt das hermetische Verpacken der assemblierten Komponenten durch Verbindung von zwei Glaswafern, die jeweils Vias und Kavitäten aufweisen.

### Hybrid integrierte Glasbänke für die Photonik

Optische Systeme können auf laser-strukturierten und dünnfilm-metallisierten Glasbänken zusammen mit elektro-optischen Komponenten und elektronischen Ansteuerungen aufgebaut werden. Durch besondere Formgebung in ebenfalls aus Dünnglas hergestellten Halterungen kann ein automatisierter Aufbau mit industriellen Justage-Automaten in sechs Freiheitsgraden vorgenommen werden – mit Genauigkeiten besser als ein Mikrometer: So können optisch hochwertige Freistrahlen geformt und gekoppelt werden, um optische Messaufgaben zu erfüllen. Durch Ausnutzen der Fertigbarkeit in großformatigen Panels besteht eine hohe Skalierbarkeit in Größe und Anzahl zu fertigender Systeme bzw. Dünnglas-Einzelpackages.

### ZeroPower Baukasten für Sensoranwendungen

Im Fraunhofer-Leitprojekt ZEPOWEL wird mit der Entwicklung einer extrem energieeffizienten, modularen Hardware die Basis für ein ressourcenschonendes Internet der Dinge geschaffen. Zum einen sollen IoT-Knoten selbst deutlich weniger Energie verbrauchen, zum anderen wird eine Energieeinsparung in der Vernetzung der IoT-Knoten realisiert. Ein am Fraunhofer IZM entwickelter IoT-Core ermöglicht im Projekt die Anbindung

unterschiedlichster IoT-Module. Intelligente Algorithmen optimieren die vorhandenen Ressourcen durch dynamisches Powermanagement während der Laufzeit. Durch eine konsequente Hardware Software Co-Architektur konnte eine Minimierung des Energiebedarfs um den Faktor 5 gegenüber dem Stand der Technik bestätigt werden.

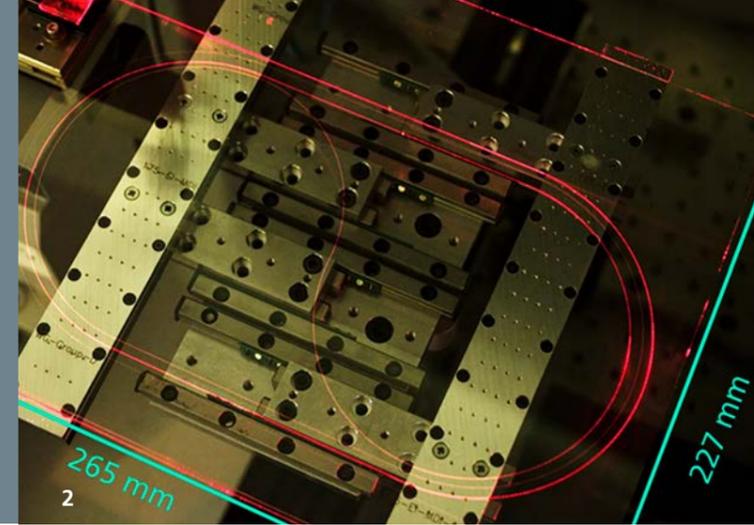
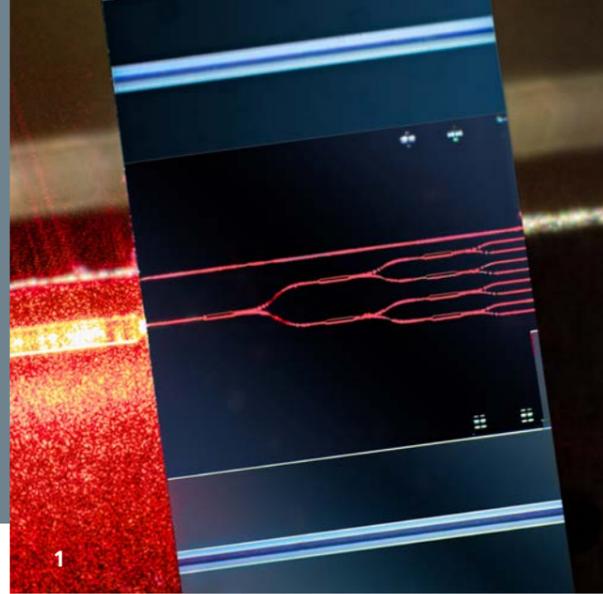
### High Performance Baukasten für Sensoranwendungen

Im Rahmen des Berliner Leistungszentrums entstand ein SWARM genanntes IoT-Device für den industriellen Einsatz mit Fokus auf einer vielseitigen Anwendbarkeit und einer schnellen, einfachen Konfiguration. Eine modulare Architektur erlaubt es, die Funktionalität des Systems auf Basis marktverfügbarer Sensoren einfach zu erweitern und das IoT-Device in kurzer Zeit in Betrieb zu nehmen. Auch ist die Verbindung zu einem dezentralen Netzwerk für synchronisierte Messungen an verschiedenen Orten möglich. Weitere Schnittstellen erlauben die Ansteuerung von Aktoren. Der Zugriff auf das IoT-Device erfolgt über Bluetooth mittels Android-App oder einer Python-Anwendung. Die Daten können lokal oder in einer Cloud gespeichert und verarbeitet werden.

1 Das Fraunhofer-Leitprojekt ZEPOWEL schafft die Grundlage für ein flächendeckendes Internet der Dinge. Der energieautarke Sensorknoten fällt in den Tiefschlafmodus, wenn er nicht benötigt wird

2 Hybrid integrierte mikro-elektro-optische Bank auf Glassubstrat (40 x 100 mm<sup>2</sup>) für sensorische Anwendungen

# INFORMATION UND KOMMUNIKATION



## Monomodale Wellenleiter großer Länge in Dünnglas

In der optischen Datenübertragung auf Leiterplattenebene ist dem Fraunhofer IZM ein wichtiger Schritt in der Prozessentwicklung elektrisch-optischer Leiterplatten (EOCB) gelungen. Der Herstellungsprozess optischer Singlemode-Wellenleiter in großformatigen Dünngläsern konnte im Hinblick auf die Übertragungseigenschaften und die Prozesshomogenität so verbessert werden, dass Ausbreitungsverluste von  $0,059 \pm 0,001$  dB/cm erreicht wurden. Diese auf der ECTC 2020 veröffentlichten Ergebnisse sind vielversprechend im Hinblick auf aktuelle Trends: Beim Co-Packaging, das eine effizientere Datenverarbeitung in Rechenzentren ermöglichen soll, ist funktionalisiertes Glas ein viel diskutiertes Substratmaterial.

## Tests für robuste und langlebige elektronische Endgeräte

Technische Grundvoraussetzung für eine lange Nutzungsdauer elektronischer Produkte sind robuste, langlebige und reparierbare Endgeräte. Dazu müssen diese Eigenschaften für Verbraucher\*innen bewert- und vergleichbar sein. Im Rahmen des EU-Projektes PROMPT werden hierfür Testansätze entwickelt. PROMPT steht für »Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Programme«, hat eine Laufzeit von vier Jahren und wird vom Fraunhofer IZM koordiniert. Es soll ein unabhängiges Testprogramm entwickeln, das die Bewertung der Langlebigkeit von Produkten beim Inverkehrbringen unterstützt. Im Fokus stehen dabei am Fraunhofer IZM Akku-Batterien, allgemeine Elektronik und mobile Endgeräte.

## Ökodesign am Beispiel modularer Aufbauten

Modulares Produktdesign ermöglicht längere Produktlebensdauern, erleichtert Reparatur und Wiederverwendung und kann so zu nachhaltigeren Produktkonzepten beitragen. Mehrere Ökobilanzen einzelner Technologien, wie der Einbettung von Komponenten, Steckern und Smartphones, zeigen die erhöhten Umweltauswirkungen durch die Fertigung modularer Geräte auf. Nur wenn Verbraucher\*innen ihre Geräte länger nutzen, machen sich die Aufwendungen für modulares Design bezahlt. Unter bestimmten Bedingungen kann Embedding-Technologie dazu beitragen, die Umweltbilanz smarterer Geräte zu verbessern.

## Falltest mit Highspeed-Kamera für mobile Systeme

Die Lebensdauer von elektronischen Geräten wie Smartphones wird durch versehentliches Fallenlassen deutlich verkürzt. Da die Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Produkten steigen, müssen Tests entwickelt werden, um die Robustheit bewerten zu können. Das Fraunhofer IZM bietet eine ganze Reihe von Zuverlässigkeitstests an, darunter auch Methoden zum Prüfen der Robustheit gegen mechanischen Schock. Durch den Tumble Test wird das Angebot nun um simuliertes zufälliges Fallen erweitert. Der Tester erlaubt wiederholtes, zufälliges Fallen aus zwei Fallhöhen (50cm und 1 m). Durch den Einsatz einer Highspeed-Kamera und von Lichtequipment werden genaue Analysen der Falldynamik und des Schockmoments ermöglicht. So können auf Basis der Testergebnisse Verbesserungspotenziale abgeleitet werden.

## Beyond 5G

Ziel des europäischen Projekts Beyond 5G ist die Schaffung einer europäischen Wertschöpfungskette zur Herstellung von Hochfrequenzmodulen für die nächste Mobilfunkgeneration. Auf Basis der SOI-Technologie soll eine europäische Technologieplattform für Kommunikations- und Sensormodule entstehen, die Anwendungen wie das Mobile Breitband (5G), das Internet of Things (IoT) und die Konnektivität für das autonome Fahren unterstützt. Das Fraunhofer IZM arbeitet an der Entwicklung eines 5G-Kommunikationsmoduls sowie eines 77 GHz-Radarmoduls mit. Die Arbeiten umfassen die Spezifikation, das Design und die Realisierung der Antennen und der Packages, Untersuchungen zur Materialcharakterisierung, zum Test der Module und zur Charakterisierung der Zuverlässigkeit.

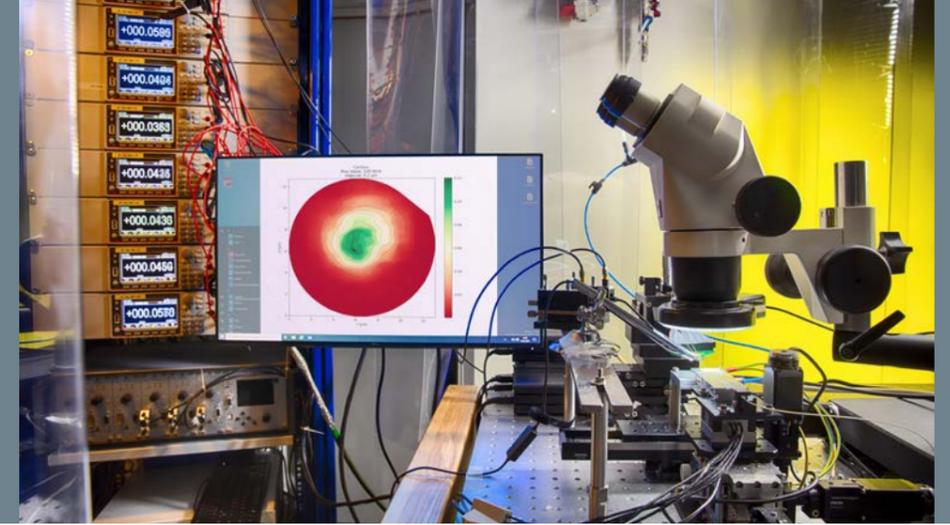
1 Test-Kit für hochgenaue selbstausrichtende Montagetechnologie zur Integration von Lichtquellen und Detektoren mit photonischen integrierten Schaltungen

2 Spiralförmiger Singlemode-Wellenleiter (>2m) in kommerzielles Dünnglas eindiffundiert

Die zunehmende Vernetzung stellt die Fertigungstechnologien für Systeme der Informations- und Kommunikationstechnik vor besondere Herausforderungen: Für den effizienten Austausch und die Speicherung von Daten braucht es immer größere Rechenzentren und den Austausch elektrischer und optischer Signale. Eine weitere Herausforderung ist die digitale Vernetzung selbst: Es bedarf hochdynamischer Netze, die Daten transportieren, verarbeiten und analysieren können. Das Fraunhofer IZM bietet umfassende Lösungen für diese Herausforderungen. Das Institut hat mehr als 25 Jahre Erfahrung im Bereich der Systemintegration.



# 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 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)
- Dünnfilmabscheidung (Sputter, CVD, Photolithographie (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)
- Wafer Level Bumping (Cu-Pillar, SnAg, Ni, Au, In, AuSn)
- Waferdünnen und Vereinzeln (Blade, Laser Grooving & Stealth Dicing)
- Waferbonden – permanent, temporär
- Wafer Level Assembly bis 300 mm (D2W)
- Automatisches Inline Wafer-Messsystem (200/300 mm) für Schichtdicken, Topographien, Rauheiten sowie TTV/Warping/Bow
- Vollautomatisiertes, elektrisches Wafer-Messsystem

### Prozesslinie zur Substratfertigung

Im Leiterplattenbereich können Vollformatsubstrate mit einer Größe von 460x610 mm<sup>2</sup> für die Resist- und Leiterplatten-

lamination 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 umfasst darüber hinaus:

- Einbetten von passiven und aktiven Komponenten
- Verpressen von Leiterplattensubstraten
- Herstellen von feinsten Bohrungen, sowohl mechanisch als auch 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:

- 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

Die Übertragung in die industrielle Fertigung ist durch Verwendung produktionsstauglicher Maschinen gegeben.

### 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 Dampfphasenvakuumlötanlage
- Flussmittelfreies Löten von Baugruppen mit Ameisensäure-technologie in Stickstoff- und Dampfphasenatmosphäre
- Hermetizitätsmessstand
- Lecksuche inkl. Probenlagerung unter Heliumdruck bis 10 bar

### Photonik-Labor

- 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

## 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

### Power Lab

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

## DESIGN

### Hochfrequenz-Labor

- 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
- Antennen-Messsystem bis 330 GHz
- Testumgebung für mm-Wellen-Module für Radar und Kommunikation, Signalquelle (AWG) und 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 10 m langer Batterieentwicklungs- und Montagelinie
- Labor für textilintegrierte Elektronik (TexLab)
- Photoelektronenspektroskopie und Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)
- Korrosionslabor (CoAla)
- Electronics Condition Monitoring Labor (ECM) für Funktionstests elektronischer Systeme bei Umgebungsbeanspruchung, inkl. Feuchtigkeit und Vibration
- Qualifikations- und Prüfzentrum für elektronische Baugruppen (QPZ)
- Labor für thermomechanische Zuverlässigkeit und Werkstoffcharakterisierung
- Thermal & Environmental Analysis Lab

# VERANSTALTUNGEN



## EVENTS & WORKSHOPS

Das Jahr 2020 stand ganz und gar im Zeichen der COVID-19-Pandemie. Zur Eindämmung des Virus wurden Zusammenkünfte von großen Menschengruppen untersagt, was erhebliche Auswirkungen auf den Veranstaltungsbereich hatte. Nachdem anfangs viele Events abgesagt bzw. verschoben wurden, war klar, dass neue Wege gefunden werden mussten. Das Fraunhofer IZM ist bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt dazu übergegangen, Konferenzen und Workshops in die virtuelle Welt zu verlagern, womit das Institut äußerst positive Erfahrungen gesammelt hat. Messen und Ausstellungen ließen sich dagegen nur schwer abbilden. Hierfür sind wir auf der Suche nach einer zufriedenstellenden Lösung für unsere Kunden, Partner und Interessenten. Wenngleich die Online-Formate geholfen haben, um in diesen schwierigen Zeiten miteinander in Kontakt zu bleiben, freuen wir uns doch sehr darauf, Sie bald wieder persönlich treffen zu können.

### Konsortiumstreffen PLP 2.0

Nachdem das internationale Panel Level Consortium 1.0 seine ehrgeizigen Projektziele für das Jahr 2019 mit signifikanten technischen Fortschritten im Bereich des großflächigen Fan-Out Panel Level Packaging erfolgreich umgesetzt hatte, wurde Anfang 2020 ein neues Konsortium gebildet, das diesen Weg fortsetzen wird. Der besondere Fokus dieses »PLC 2.0« Konsortiums liegt auf einer noch höheren Verdrahtungsdichte unter Verwendung feinerer Leitungsgeometrien im Bereich  $2\ \mu\text{m}$ , einschließlich der Untersuchung von Kupfer-Migrationseffekten sowie der Verschiebung der im Substrat integrierten Komponenten und ihrer Verwölbungen bei großflächigen Panels. Während das Kick-off-Meeting Anfang 2020 noch weitestgehend persönlich am Fraunhofer IZM in Berlin abgehalten werden konnte, musste dieser Austausch im Anschluss in digitalen Meetings stattfinden. Auch hier werden aber die ehrgeizig gesteckten Ziele weiterhin verfolgt und an den einzelnen Standorten umgesetzt.

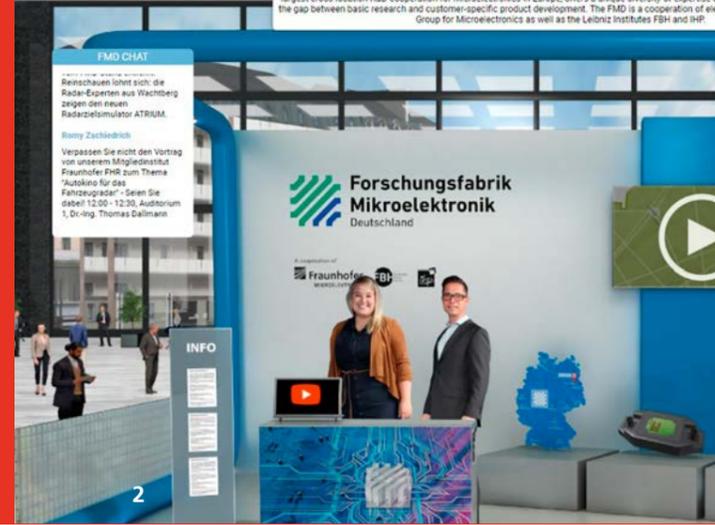
### Electronics Goes Green 2020+: Kreislaufwirtschaft und CO<sub>2</sub>-Neutralität in Produktionsketten

Bereits zum sechsten Mal veranstaltete das Fraunhofer IZM im September die weltweit größte Fachtagung zum Thema Nachhaltigkeit in der Elektronik, die aufgrund der COVID-19 Pandemie erstmals online abgehalten werden musste.

250 Teilnehmer\*innen hatten die Möglichkeit, sich auf einer eigens für die Konferenz erstellten Online-Plattform vorab ausgezeichnete Fachvorträge anzuschauen und an einem virtuellen Live-Event am 1. September 2020 teilzunehmen. Das Live-Event eröffnete Eelco Smit, Senior Director Sustainability bei Philips, mit seiner Keynote zum Thema »Best Practices in Sustainability – What Can We Learn?«. In seinem Vortrag stellte er das Nachhaltigkeitsprogramm von Philips vor, das im Fünf-Jahres-Rhythmus weiterentwickelt wird. Am Nachmittag präsentierte Sarah Chandler, Senior Director of Environmental Initiatives, Apples Roadmap bis 2030 und erklärte, dass das Unternehmen in spätestens zehn Jahren bei der Herstellung seiner Produkte völlig ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen auskommen wolle. Neben den beiden Keynotes hatte der Live-Tag noch sechs interaktive Sessions und eine spannende Panel-Diskussion zum Thema »Recycling as Circular Economy!?« zu bieten. Auch der Austausch und das Netzwerken mit Gleichgesinnten kamen nicht zu kurz dank zahlreicher Optionen auf der Online-Plattform.

1 Live und in Farbe – die Electronics Goes Green sendet ihr neues Online-Format aus dem Fraunhofer Forum

2 Kick-off des PLC 2.0- Konsortiums am Fraunhofer IZM



**Online-Serie »IZM Photonics: In Glass We Trust«**

2020 war auch das Jahr der kurzen Meetings und digitalen Themenrunden, um mit Kunden und Partnern im Gespräch zu bleiben. Die erste Reihe, die wir hierfür ins Leben gerufen haben, ist die Online-Serie Photonic Packaging. In den 45-minütigen Sessions zeigen wir, was mit Glas in diesem Bereich möglich ist und wie die Teilnehmer\*innen die Erkenntnisse für ihre Branche oder in gemeinsamen Projekten nutzen können. Beim ersten Termin verzeichneten wir mehr als 50 externe Teilnehmer\*innen, beim zweiten Termin gab es bereits ca. 100 Anmeldungen. Eine wiederkehrende Zuschauerschaft lässt sich bereits jetzt für zukünftige Termine in 2021 ausmachen.

**Keine Ausreden mehr: EU-Kommissar Frans Timmermans unterstreicht, dass ein effektives Recycling von High-tech-Kunststoffen möglich ist**

Nahezu 200 internationale Teilnehmende schalteten sich am 15. April 2021 zum virtuellen Workshop »Circular Product Development – The Secrets to Design for and from Recycling«, welcher im Rahmen des EU-Projekts PolyCE stattfand. Die Expert\*innen aus dem PolyCE-Konsortium präsentierten ihre Erfahrungen und Erkenntnisse zur ganzheitlichen Kreislaufwirtschaft für Hightech-Kunststoffe sowie ganz nach dem Motto »Design for Recycling« entwickelte Best-Practice-Strategien. Ein zusätzliches Highlight war der Auftritt des für den Green Deal zuständigen Kommissars für Klimaschutz und Vizepräsidenten der EU-Kommission Frans Timmermans. Ihm wurden Handlungsempfehlungen für ein effektives Kunststoff-Recycling übergeben.

**Fraunhofer IZM auf den virtuellen Photonik Tagen**

Auch die Photonik Tage, organisiert vom Kompetenznetzwerk für optische Technologien und Mikrosystemtechnik in der Region Berlin-Brandenburg OpTecBB e.V., wurden in diesem Jahr online durchgeführt. Das Programm umfasste Online-Seminare auf Englisch mit insgesamt ca. 100 Referent\*innen rund um die Themen der photonischen Integration und Optimierung der Datenkommunikation durch Sensorik. Das Fraunhofer IZM

nahm mit zwei Sessions teil. Dr. Henning Schröder eröffnete zusammen mit Wojciech Giziewicz von der Corning Optical Communications GmbH & Co. KG den ersten Seminarblock »Innovative Fiber Optics – Part I« und wurde dabei unterstützt von Sprecher\*innen aus Spanien, Polen, Israel und natürlich Berlin. Die Session wurde von knapp 250 Teilnehmenden aus der ganzen Welt besucht und informierte über aktuelle Anforderungen an optische Fasern, optische Modenanpassung, spektralen Verlust, mechanische Robustheit, Leistungsstabilität, Steckerkonzepte sowie Herstellungs- und Packaging-Technologien. Am zweiten Tag organisierte das Team rund um das europäische Horizon 2020-Projekt MASSTART ein Webinar, bei dem die Projektpartner aktuelle Ergebnisse präsentierten. Das

Veranstaltungen mit IZM-Beteiligung	
3D & Systems Summit	Januar, Dresden
IERC 2020	Januar, Salzburg, AT
SPIE. Photonics West	Februar, San Francisco, USA
embedded world	Februar, Nürnberg
German Microwave Conference	März, Cottbus
IZM-Beiträge auf Fraunhofer-Expert-Sessions	Mai/Oktober, online
IEEE ECTC	Juni, online
PCIM Europe	Juli, online
SMTconnect	Juli, online
IMAPS 2020	Oktober, online
Photonik Tage Berlin / Brandenburg	Oktober, online
Fraunhofer Solution Days	Oktober, online
COMPAMED	November, online
SEMICON Japan	Dezember, Tokio, JP

Fraunhofer IZM fungiert in dem Projekt als Konsortiumsleitung unter der Federführung von Dr. Tolga Tekin und hat sich zum Ziel gesetzt, die Kosten in der Massenproduktion von photonischen Hochgeschwindigkeits-Transceivern auf €1/Gb/s oder sogar noch niedriger zu senken. Auch hier hatten sich bis zu 250 Teilnehmer\*innen eingeloggt. Die Präsentationen wurden aufgenommen und stehen unter <https://masstart.eu> zur Verfügung.

**IMAPS-Workshop zur Systemintegration mit über 200 Teilnehmenden**

Extrem kleine und leistungsfähige Komponenten lassen sich durch Systemintegration erzeugen. Aber wie können die großen Herausforderungen unterschiedlicher Technologien, Größen und Materialien, aber auch elektrische und mechanische Verbindungen sowie die Zuverlässigkeit gemeistert werden? Diese Fragen beantwortete das Fraunhofer IZM zusammen mit seinen Kollegen von Fraunhofer USA auf einem Workshop im Rahmen der IMAPS 2020. Über 200 Teilnehmende sahen sich die Präsentationen der international anerkannten Fraunhofer-Expert\*innen an und tauschten sich in einer Live-Q&A-Session aus. Dieser Workshop war Teil der IMAPS 2020, 53. Symposium on Microelectronics: [www.imaps2020.org](http://www.imaps2020.org).

**Seminar Zuverlässigkeit elektronischer Systeme**

Durch kürzere Entwicklungszeiten und höhere Anforderungen an elektronische Komponenten und Systeme wird die Bewertung der Zuverlässigkeit immer wichtiger. Das zweitägige Seminar zu dem Thema wurde auch 2020 von unserer Abteilung Environmental and Reliability Engineering realisiert. Trotz des Online-Formats gelang es den Forscher\*innen vom Fraunhofer IZM durch interaktive Formate, wie die Arbeit an gemeinsamen Whiteboards oder Diskussionsrunden in kleinen Gruppen, relevante Methoden und Werkzeuge entlang des Produktentwicklungsprozesses von elektronischen Systemen zu vermitteln. Besonders die Thematik der Zustandsüberwachung als Werkzeug der Kreislaufwirtschaft im praktischen Beispiel hat den Anwesenden sehr gefallen.

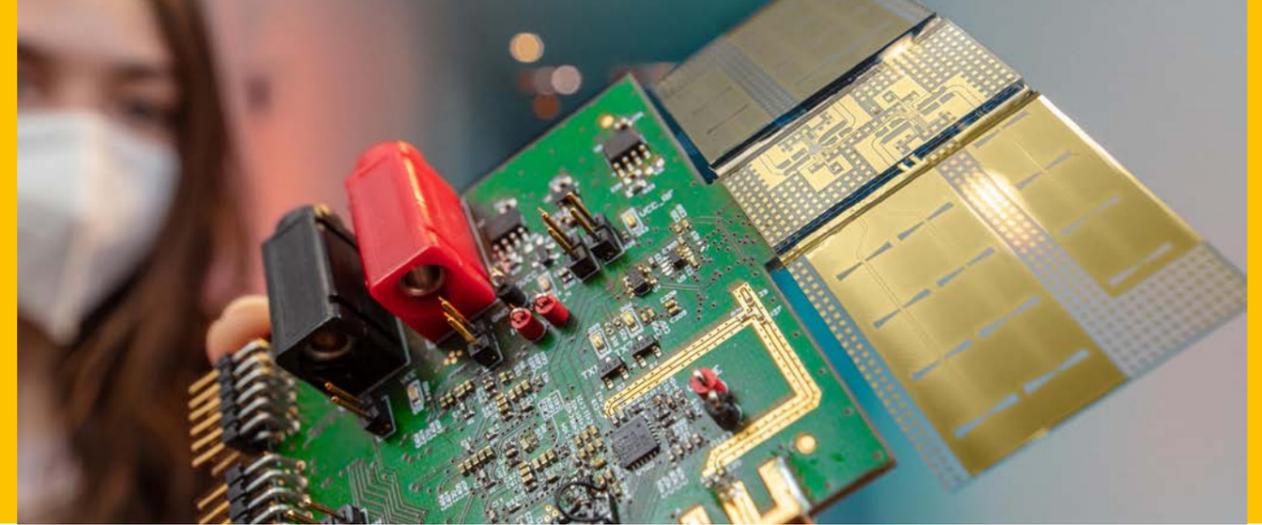
Auswahl von IZM-Veranstaltungen	
Panel Level Packaging 2.0	Februar, Berlin
Workshop: Lernfabrik Ökodesign	März, Berlin
Lab Course: EMC Optimized Design	März, Berlin
Praxiskurs: Wide-Bandgap-Halbleiter	September, hybrid
Electronics Goes Green 2020+	September, online
Session: Data Center Interconnects	Oktober, online
Workshop: Parasitäre Effekte in der Leistungselektronik	Oktober, online
Online-Kurs: From Wafer to Panel Level Packaging	Oktober, online
Webinar: In Glass We Trust	November, online
Rechtskonformes Umweltmanagement in der Elektronik-industrie	November, online
Workshop: Zuverlässigkeit elektronischer Systeme	November, online

1 EU-Kommissar Frans Timmermans mit den Handlungsempfehlungen des PolyCE-Projektkonsortiums

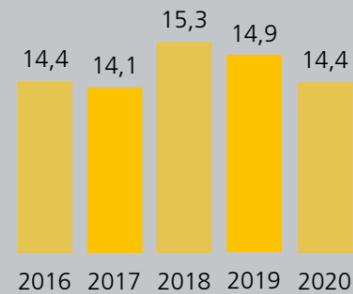
2 Auch virtuell für unsere Kunden am Start – IZM-Kolleg\*innen bei den Fraunhofer Solution Days

3 Eine der letzten Live-Konferenzen 2020 – der 3D Systems Summit

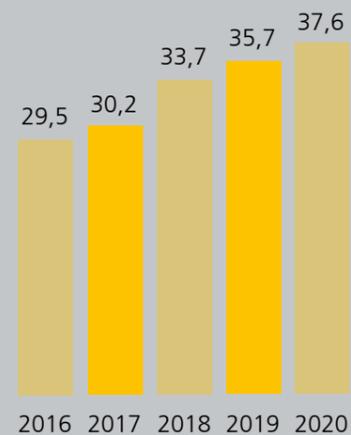
# FACTS & FIGURES



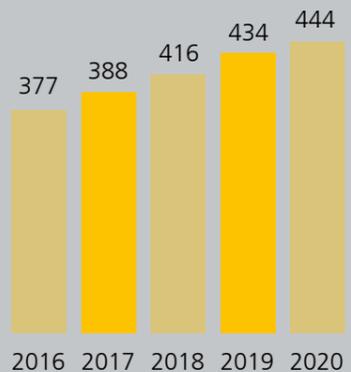
## 2016–2020 auf einen Blick



Wirtschaftserträge\*



Budget\*



Mitarbeitende



\* in Mio. Euro

## DAS FRAUNHOFER IZM IN FAKTEN UND ZAHLEN

### Finanzielle Situation

Im Jahr 2020 konnte das Fraunhofer IZM gut an das Vorjahr anknüpfen. So stieg der Umsatz des Instituts um weitere 5,4 Prozent auf eine Summe von 37,6 Millionen Euro. Dabei deckte das Fraunhofer IZM 75,8 Prozent seines Betriebshaushalts mit eingeworbenen externen Erträgen. Es wurden externe Projekte in Höhe von insgesamt 28,5 Millionen bearbeitet. Das sind 2 Prozent mehr als im Vorjahr.

Der Anteil der öffentlich geförderten Projekte stieg gegenüber dem Vorjahr sogar um 8 Prozent auf 14,1 Millionen Euro. 38,4 Prozent des Betriebshaushalts konnten durch direkte Aufträge aus der Wirtschaft finanziert werden. Dieser Bereich blieb mit 14,4 Millionen Euro stabil.

### Geräteinvestitionen

Für laufende Ersatz- und Erneuerungsinvestitionen wurden im Jahr 2020 Eigenmittel in Höhe von 1,6 Millionen Euro aufgewandt. Diese Mittel wurden eingesetzt, um die Geräteausstattung des Fraunhofer IZM mit einer Vielzahl gezielter Einzelmaßnahmen zu verbessern und die Effizienz vorhandener Anlagen zu erhöhen. Weitere 1,4 Millionen Euro flossen in

verschiedene kleinere Baumaßnahmen zur Modernisierung und Erweiterung der Infrastruktur. Das Datennetz und die Versorgung der Forschungslabore und Reinnräume mit Medien, Kälte und Druckluft wurden erweitert.

Hierdurch gelang es, die Anlagen für den Aufbau der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) noch effizienter einzubinden. In die Beschaffung der Anlagen für die FMD wurde eine weitere Million investiert.

### Personalentwicklung

Durch den wirtschaftlichen Erfolg konnten am Fraunhofer IZM im Jahr 2020 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden. Der Personalbestand stieg von 285 auf 303 Mitarbeitende an den IZM-Standorten Berlin, Dresden/Moritzburg und Cottbus.

Am Fraunhofer IZM können Studierende ihr Studium mit praktischer wissenschaftlicher Arbeit in den Büros und Laboren des Instituts verbinden. Zum Jahresende 2020 wurden 133 Praktikant\*innen, Bacheloranden, Masteranden und studentische Hilfskräfte betreut und 8 Auszubildende als Mikrotechnologien und Kauffrauen / Kaufmänner für Büromanagement ausgebildet.

### Das Fraunhofer IZM 2020

<b>Budget</b>	37,6 Millionen Euro
<b>Externe Erträge</b>	28,5 Millionen Euro (entspricht 75,8 Prozent)
<b>Standorte</b>	Berlin, Cottbus und Dresden/Moritzburg
<b>Laborfläche</b>	> 8.000 m <sup>2</sup>
<b>Mitarbeitende</b>	444 (davon 133 Praktikant*innen, Bacheloranden, Masteranden und studentische Hilfskräfte sowie 8 Azubis)

# AUSZEICHNUNGEN, EDITORIALS, DISSERTATIONEN

## Auszeichnungen

### Young Engineer Award 2020 der PCIM Europe

IZM-Forscher Kirill Klein wurde für sein Paper »Low Inductive Full Ceramic SiC Power Module for High-Temperature Automotive Applications« mit dem Young Engineer Award der PCIM Europe 2020 ausgezeichnet. Thema des Papers ist ein vollkeramisches Leistungsmodul, das durch die optimale Ausnutzung von Siliziumcarbid-Halbleitern die Reichweite von Elektrofahrzeugen erhöht und gleichzeitig die Systemkosten senkt.

### Exceptional Technical Achievement Award

Am 19. März 2021 gab die IEEE Electronics Packaging Society (EPS) die Gewinner der Society Major Awards 2021 bekannt und unsere Gruppenleiterin Dr. Tanja Braun wurde, gemeinsam mit Beth Keser von Intel, mit dem »Exceptional Technical Achievement Award« ausgezeichnet. Dr. Braun erhält die Auszeichnung für ihre bahnbrechenden Beiträge sowie ihre Führungsrolle im Fan-out Wafer Level Packaging und dem Übergang zum Panel Level Packaging.

## Weitere Auszeichnungen

### Nominierung für Falling Walls Award

Prof. Melanie Jaeger-Erben wurde mit ihrem Beitrag »Breaking the Wall to Inclusive and Socially Sustainable Technology« für den Falling Walls Award nominiert.

### EBL 2020: Best Paper Award für David Schütze

»Realisierung hochminiaturisierter robuster Funksensorknoten mittels Komponenteneinbettung in die Leiterplatte«  
K.-F. Becker, C. Tschoban, C. Voigt, T. Löher, S. Kosmider, A. Ostmann, L. Böttcher, M. Schneider-Ramelow und K.-D. Lang

### Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Beim Ideenwettbewerb für Internationales Forschungsmarketing wurde der Blog des Fraunhofer IZM mit dem ersten Preis ausgezeichnet.

## Editorials

### Bioelectronic Medicine: Engineering Advances, Physiological Insights, and Translational Applications

Giagka, V. (Guest Editor)

### Bioelectronic Medicine Journal

Giagka, V. (Associate Editor)

### Electronics Goes Green 2020+ Proceedings

Nissen, N.F., Schneider-Ramelow, M. (Herausgeber)

### International Journal of Microelectronics and Electronic Packaging, Ndip, I. (Associate Editor)

### PLUS Journal (Eugen G. Leuze Verlag)

Lang, K.-D. (Mitglied des Redaktionsbeirats)

## Dissertationen

### Hu, Xiaodong

»Influence of Bonding Temperature and Material on Anodic Bonding for Stress Sensitive MEMS«

### Kaupmann, Philip

»A Novel Indirect Actuation Concept for MEMS Micromirrors«

### Otto, Alexander

»Lebensdauermodellierung diskreter Leistungselektronikbauelemente unter Berücksichtigung überlagerter Lastwechsellasts«

### Schmidt, Michael

»Numerische Modellierung der lokalen mechanischen Beanspruchbarkeit eines epoxidharzbasierten Schaltungsträgersubstrats«

### Steinbach, Axel Friedrich

»Anforderungen für den Einsatz modularer Messsysteme bei kognitiven und funktionellen Einschränkungen von Demenz- und Rheumapatienten«

# VORLESUNGEN

## German University in Cairo

### Dr. T. Tekin

- Sensor Technology

## Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

### Dr. R. Hahn

- Mikroenergiesysteme

### Prof. Dr. H.-D. Ngo

- Mikrosensorik
- Mikrosystemtechnologien II
- Charakterisierung von Halbleitersensoren
- Mikroaktuatorik
- Advanced Microsystem Technologies
- Cleanroom Technologies

### Dr. H. Walter

- Werkstoffe der Mikrosystemtechnik

## Hochschule für Wirtschaft und Recht

### Dr. J. Winzer

- Integriertes Produktdesign

## Technische Universität Berlin

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

- Soziologie des Ingenieur\*innen-Berufs I und II

### Dr. J. Köszegi

- Design, Simulation and Reliability of Microsystems
- High-frequency Measurement Techniques in Microelectronic Packaging

### Prof. Dr. K.-D. Lang

- Aufbautechnologien für Mikroelektronik und -systemtechnik

## P. Mackowiak

- Technologien und Werkstoffe der Mikrosystemtechnik

### Prof. Dr. H.-D. Ngo

- Herstellungstechnologien von Halbleitersensoren

### 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

- Bioelectricity
- Active Implantable Biomedical Microsystems
- Neurostimulation

## Technische Universität Dresden

### Jun.-Prof. Dr. I. Panchenko

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

## Universität Aalborg

### Prof. Dr. E. Hoene

- Design of Modern Power Semiconductors Components
- EMI/EMC in Power Electronics

# KOOPERATIONEN MIT UNIVERSITÄTEN (AUSWAHL)

Eine Auswahl weiterer universitärer Forschungspartner
AGH University of Science and Technology, Polen
Binghampton University, USA
Imperial College London, Großbritannien
KU Leuven, Belgien
San Diego State University, USA
Technische Universität Delft, Niederlande
Technische Universität Eindhoven, Niederlande
Tohoku University, Japan
Universität Aalborg, Dänemark
Universität Cádiz, Spanien
Universität Tokio, Japan
Universität Twente, Niederlande
Universität Uppsala, Schweden
Universität Wien, Österreich
University College London, Großbritannien
University of New South Wales, Australien
University of Utah, USA
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Humboldt Universität zu Berlin
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Technische Universität Chemnitz
Universität der Künste Berlin
Universität Heidelberg
Universität Paderborn
Universität Potsdam
Universität Rostock

Zur effektiven 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 in die Kooperation einbringen, steuert Fraunhofer neben der anwendungsorientierten Forschungsarbeit eine ausgezeichnete technische Ausstattung, hohe Personalkonstanz und viel Erfahrung in der Bearbeitung internationaler Projekte 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 2011 leitet Professor Klaus-Dieter Lang nicht nur das Fraunhofer IZM, sondern zusätzlich dazu auch den Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik.

## Fraunhofer IZM-ASSID kooperiert mit der TU Dresden

Im Rahmen der gemeinsamen Juniorprofessur »Nanomaterials for Electronics Packaging« des Fraunhofer IZM-ASSID und der TU Dresden arbeitet Junior-Professorin Iuliana 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. 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)

AEMtec GmbH	Berlin
Ajinomoto Group	Tokio (JP)
Amkor Technology, Inc.	Tempe, Arizona (USA)
AMO GmbH	St. Peter am Hart (AT)
ams AG	Premstätten (AT)
Amsterdam Scientific Instruments B.V.	Amsterdam (NL)
ASM Pacific Technology Ltd.	Singapur (SG)
AT&S AG	Leoben (AT)
Atotech Deutschland GmbH	Berlin
BASF SE	Ludwigshafen am Rhein
Berliner Nanotest und Design GmbH	Berlin
Boston Scientific Corporation	Marlborough, Massachusetts (USA)
Brewer Science, Inc.	Rolla, Missouri (USA)
CERN	Meyrin (CH)
Comelec s.r.l.	Ferriera di Buttigliera Alta (IT)
Daimler AG	Stuttgart
Corning Inc.	Corning, New York (USA)
CorTec GmbH	Freiburg im Breisgau
DISCO Corporation	JP
DuPont de Nemours, Inc.	Wilmington, Delaware (USA)
Dyconex AG	Bassersdorf (CH)
Evatec AG	Trübbach (CH)
Finisar Corporation	DE, USA
Fujifilm Electronic Materials	EU, USA
GEFRAN S.P.A.	Provaglio d'Iseo (IT)
GLOBALFOUNDRIES INC.	Dresden
IMASENIC Advanced Imaging S.L.	Barcelona (ES)
Intel Corporation	USA
Invensas / Xperi	Santa Clara, Kalifornien (USA)
MED-EL GmbH	Innsbruck (AT)
Meltex Inc.	Tokio (JP)

MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co. KG	Kirchhundem
Merck KGaA	Darmstadt
Multi Channel Systems MCS GmbH	Reutlingen
Nagase ChemteX Corporation	Osaka (JP)
OSYPKA AG	Rheinfelden
PANalytical B.V.	Almelo (NL)
Philips N.V.	Eindhoven (NL)
Picosun Oy	Masala (FI)
POSIC S.A.	Colombier (CH)
Reden B.V.	Hengelo (NL)
Rena Technologies GmbH	Gütenbach
Salvia BioElectronics B.V.	Eindhoven (NL)
Schmoll Maschinen GmbH	Rödermark
Semsysco GmbH	Salzburg (AT)
Shōwa Denkō K.K.	Tokio (JP)
Siemens AG, Siemens Healthcare	DE
SKW Associates, Inc.	Santa Clara, Kalifornien (USA)
SLAC National Accelerator Laboratory	Menlo Park, Kalifornien (USA)
STMicroelectronics N.V.	Amsterdam (NL)
Süss MicroTec SE	Garching, München

# MITGLIEDSCHAFTEN (AUSWAHL)

AMA Fachverband Sensorik, Wissenschaftsrat	H. Pötter	Member
Cluster Optik BB, Photonik für Kommunikation und Sensorik	Dr. H. Schröder	Spokesman
Deutsche Bundesstiftung Umwelt	Prof. K.-D. Lang	Reviewer
Deutsche Forschungsgemeinschaft	Prof. K.-D. Lang	Reviewer
Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS	Prof. K.-D. Lang	Advisory Board
Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS Arbeitsgruppe »Bonden«	Prof. M. Schneider-Ramelow	Chairman
ECPE Competence Centre	Prof. M. Schneider-Ramelow	Member
EURIPIDES Scientific Advisory Board	M. J. Wolf	Member
European Network High Performance Integrated Microwave Photonics	Dr. T. Tekin	German Representative
European Photonic Industrial Consortium (EPIC)	Dr. H. Schröder	Representative Fraunhofer IZM
European Technology Platform on Smart System Integration (EPoSS)	H. Pötter	Member Executive Committee
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)	Prof. K.-D. Lang	Steering Committee
Heterogeneous Integration Roadmap (HIR)	R. Aschenbrenner	Chair Technical Working Group SiP
IEEE Electronics Packaging Society Photonics – Communication, Sensing, Lighting IEEE EPS TC Material & Processes IEEE EPS to Board of Governors	R. Aschenbrenner/Prof. K.-D. Lang Dr. T. Tekin Dr. T. Braun Dr. T. Braun	Fellow Technical Co-Chair Member Member
IMAPS International Microelectronics Assembly and Packaging Society IMAPS Europe/IMAPS Deutschland IMAPS Signal/Power Integrity Committee IMAPS Executive Council	Prof. K.-D. Lang Prof. M. Schneider-Ramelow Dr. Dr. I. Ndip Dr. Dr. I. Ndip	Fellow Past President/President Chair Director
IVAM Fachgruppe Wearables	E. Jung	Technical Chair
Organic Electronics Saxony (OES)	K. Zoschke, E. Jung	Representatives of Fraunhofer IZM
Photonics 21	Dr. R. Jordan	Board of Stakeholders
Photonics West Optical Interconnects Conference	Dr. H. Schröder	Chair
Semiconductor Manufacturing Technology Sematech	M. J. Wolf	Member
SEMI ESIPAT Group	Dr. T. Braun	Representative of Fraunhofer IZM
SEMI Europe Award Committee	Prof. K.-D. Lang	Member
Silicon Saxony e.V.	M. J. Wolf	Member
SMTconnect	Prof. K.-D. Lang	Head of Programme Committee
Strategischer Arbeitskreis Silicon Germany	Prof. K.-D. Lang	Member
Wissenschaftlich-technischer Rat der Fraunhofer-Gesellschaft	Dr. N. F. Nissen	Representative of Fraunhofer IZM

# PUBLIKATIONEN (AUSWAHL)

Bakhshae Babaroud, N.; Dekker, R.; Serdijn, W. A.; Giagka, V.

## PDMS to Parylene Adhesion Improvement for Encapsulating an Implantable Device

Proceedings of EMBC 2020, online.

Bernabé, S.; Wilmart, Q.; Hasharoni, K.; Hassan, K.; Thonnart, Y.; Tissier, P.

## Silicon Photonics for Terabit/s Communication in Data Centers and Exascale Computers

Solid-State Electronics, Art. 107928, 2020.

Bickel, S.; Panchenko, I.; Tachikawa, T.; Wolf, M. J.

## Low Temperature Solid State Bonding of Cu-In Fine Pitch Interconnects

Proceedings of ESTC 2020, online.

Braun, T.; Hölck, O.; Voges, S.; Becker, K.-F.; Böttcher, L.;

Kahle, R.; Töpfer, M.; Ostmann, A.; Aschenbrenner, R.; Lang, K.-D.

## Fan-out Wafer and Panel Level Packaging and the Changing Packaging Landscape

Proceedings of ESTC 2020, online.

Braun, T.; Nguyen, T. D.; Voges, S.; Wöhrmann, M.; Gernhardt, R.; Becker, K.-F.; Ndip, I.; Aschenbrenner, R.; Freimund, D.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.; Schwantuschke, D.; Ture, E.; Pretl, M.; Engels, S.

## Fan-out Wafer Level Packaging of GaN Components for RF Applications

Proceedings of ECTC 2020, online.

Brimont, A.; Zanzi, A.; Vagionas, C.; Pegios, M. M.; Vyrskinos, K.; Pleros, N.

## Low Voltage Silicon Photonic Modulators and Switches for High Radix Integrated Transmitters

Proceedings of ICTON 2020, online.

Dijk, M. van; Kuttler, S.; Rost, F.; Jaeschke, J.; Walter, H.; Wittler, O.; Braun, T.; Schneider-Ramelow, M.

## Simulation Challenges of Warpage for Wafer and Panel Level Packaging

Proceedings of EuroSimE 2020, online.

Dils, C.; Kallmayer, C.; Gerhold, L.; Schneider-Ramelow, M.

## Untersuchungen zum Ultraschall-Kunststoffschweißen als innovative Kontaktierungstechnologie für die Integration von Elektronik in Textilien

Joining Plastics, Vol. 14, Issue 2, 2020, S. 104-110.

Dimitrova, G.; Berwald, A.; Feenstra T.; Hoeggerl, G.; Nissen, N. F.; Schneider-Ramelow, M.

## Design for and Design from Recycling: The Key Pillars of Circular Product Design

Electronics Goes Green 2020+, online.

Dinulovic, D.; Shousha, M.; Al-Batol, M.; Zafar, T.; Bickel, J.; Ngo, H.-D.; Haug, M.

## Dual-rotor Electromagnetic Based Energy Harvesting System for Smart Home Applications

IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 57, Issue 2, 2021, S. 1-4.

Guan, R.; Zufiria, P. G.; Giagka, V.; Serdijn, W. A.

## Circuit Design Considerations for Power-efficient and Safe Implantable Electrical Neural Stimulators

Proceedings of LASCAS 2020, San José, Costa Rica.

Hahn, D.; Sehr, F.; Straube, S.; Dobs, T.; Berwald, A.; Wittler, O.; Schneider-Ramelow, M.

## Current State of Durability Assessment for Four Consumer Product Groups

Electronics Goes Green 2020+, online.

# PUBLIKATIONEN (AUSWAHL)

Hoffmann, S.; Hoene, E.; Schroeder, B.; Stube, B.; Alraai, A.; Moritz, O.; Müller, O.

## PCB Layout Tool Integrated Loss and Inductance Estimation

Proceedings of CIPS 2020, online, S. 355-359.

Hofmann F., Jaeger-Erben M.

## Organizational Transition Management of Circular Business Model Innovations

Business Strategy and the Environment, Vol. 29, Issue 6, 2020, S. 2770-2788.

Kanitkar, A.; Chernobryvko, M.; Rossi, M.; Ndip, I.; Braun, T.; Müller, F.; Lang, K.-D.; Wieland, M.; Goetze, C.; Bin Halim, S.; Trewbella, J.

## Fork-coupled Resonators for Characterization of Mold Material for 5G Applications

Proceedings of MIKON 2020, Warschau, Polen.

Klein, K.; Hoene, E.; Lang, K.-D.

## Electromagnetic Switching Cell Design and Characterization for WBG Power Semiconductors

Proceedings of CIPS 2020, online, S. 552-558.

Kolbinger, E.; Kuttler, S.; Wagner, S.; Schneider-Ramelow, M.

## Investigation of the Mechanical Properties of Corroded Sintered Silver Layers by Using Nanoindentation

Microelectronics Reliability, Vol. 114, 2020.

Kröhnert, K.; Friedrich, G.; Starukhin, D.; Wöhrmann, M.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.

## Reliability of Through Glass Vias and Hermetically Sealing for a Versatile Sensor Platform

Proceedings of ESTC 2020, online.

Kuczmik, A.; Hoffmann, S.; Hoene, E.

## Double Pulse vs. Indirect Measurement: Characterizing Switching Losses of Integrated Power Modules with Wide Bandgap Semiconductors

Proceedings of CIPS 2020, online, S. 414-421.

Kuisma, H.; Cardoso, A.; Braun, T.

## Fan-out Wafer-level Packaging as Packaging Technology for MEMS

Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies, Third Edition, Elsevier, 2020.

Le, T.; Kanitkar, A.; Rossi, M.; Ndip, I.; Barun, T.; Müller, F.; Lang, K.-D.; Wieland, M.; Goetze, C.; Bin Halim, S.; Trewbella, J.

## Dual-band 5G Antenna Array in Fan-out Wafer-level Packaging (FOWLP) Technology

Proceedings of MIKON 2020, Warschau, Polen.

Mackowiak, P.; Erbacher, K.; Schiffer, M.; Ngo, H.-D.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

## Investigation of Etching SiC Vias for High Power Electronics and Harsh Environment MEMS

Proceedings of ESTC 2020, online.

Mackowiak, P.; Schiffer, M.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

## Dry Etched Through SiC Via (TSiCV) Process Analysis Using DOE Modeling

Proceedings of EPTC 2020, online.

Maisel, F.; Chancerel, P.; Dimitrova, G.; Emmerich, J.; Nissen, N. F.; Schneider-Ramelow, M.

## Preparing WEEE Plastics for Recycling – How Optimal Particle Sizes in Pre-processing Can Improve the Separation Efficiency of High Quality Plastics

Resources, Conservation and Recycling, Vol. 154, Art. 104619, 2020.

Marczok, C.; Martina, M.; Laumen, M.; Richter, S.; Birkhold, A.; Flieger, B.; Wendt, O.; Paesler, T.

## SiCmodul – Modular High-temperature SiC Power Electronics for Fail-safe Power Control in Electrical Drive Engineering

Proceedings of CIPS 2020, online, S. 179-184.

Murugesan, K.; Chernobryvko, M.; Zinal, S.; Rossi, M.; Ndip, I.; Boettcher, M.

## High Quality Integrated Inductor in Fan-out Wafer-level Packaging Technology for mm-Wave Applications

Proceedings of EuMW 2020, Jaarbeurs Utrecht, Niederlande S. 89-92.

Nanbakhsh, K.; Ritasalo, R.; Serdijn, W. A.; Giagka, V.

## Long-term Encapsulation of Platinum Metallization Using a HfO<sub>2</sub> ALD – PDMS Bilayer for Non-hermetic Active Implants

Proceedings of ECTC 2020, online.

Nanbakhsh, K.; Ritasalo, R.; Serdijn, W. A.; Giagka, V.

## Towards CMOS Bulk Sensing for In-Situ Evaluation of ALD Coatings for Millimeter Sized Implants

Proceedings of EMBC 2020, online.

Ndip, I.; Andersson, K.; Kosmider, S.; Le, T. H.; Kanitkar, A.; Dijk, M. van; Senthil Murugesan, K.; Maaß, U.; Löher, T.; Rossi, M.; Jaeschke, J.; Ostmann, A.; Aschenbrenner, R.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

## A Novel Packaging and System Integration Platform with Integrated Antennas for Scalable, Low-cost and High-performance 5G mmWave Systems

Proceedings of ECTC 2020, online.

Nissen, N. F.; Clemm, C.; Billaud, M.; Töpfer, M.; Stobbe, L.; Schneider-Ramelow, M.

## Chiplets – Exploring the Green Potential of Advanced Multi-chip Packages

Electronics Goes Green 2020+, online.

Oppermann, H.

## Heterogeneous Photonics Integration

53<sup>rd</sup> International Symposium on Microelectronics, IMAPS 2020, Symposium »System Integration – Fraunhofer Connecting the U.S. with Germany«, online.

Panchenko, I.; Wambera, L.; Mueller, M.; Rudolph, C.; Hanisch, A.; Bartussek, I.; Wolf, M. J.

## Grain Structure Analysis of Cu/SiO<sub>2</sub> Hybrid Bond Interconnects after Reliability Testing

Proceedings of ESTC 2020, online.

Proske, M.; Poppe, E.; Jaeger-Erben, M.

## The Smartphone Evolution – An Analysis of the Design Evolution and Environmental Impact of Smartphones

Electronics Goes Green 2020+, online.

Roshanghias, A.; Dreissigacker, M.; Scherf, C.; Bretthauer, C.; Rauter, L.; Zikulnig, J.; Braun, T.; Becker, K.-F.; Rzepka, S.; Schneider-Ramelow, M.

## On the Feasibility of Fan-out Wafer-level Packaging of Capacitive Micromachined Ultrasound Transducers (CMUT) by Using Inkjet-printed Redistribution Layers

Micromachines, Vol. 11, Issue 6, 2020, S. 564 ff.

Rotzler, S.; Kallmayer, C.; Dils, C.; Krshiwoblozki, M. von; Bauer, U.; Schneider-Ramelow, M.

## Improving the Washability of Smart Textiles: Influence of Different Washing Conditions on Textile Integrated Conductor Tracks

Journal of the Textile Institute, Vol. 111, Issue 12, 2020, S. 1766-1777.

# PUBLIKATIONEN (AUSWAHL)

Schambeck, S.; Hutter, M.; Jaeschke, J.; Deutinger, A.;  
Schneider-Ramelow, M.

## **Sporadic Early Life Solder Ball Detachment Effects on Subsequent Microstructure Evolution and Fatigue of Solder Joints in Wafer-level Chip-scale Packages**

Journal of Microelectronics and Electronic Packaging, Vol. 17(1), 2020, S. 13-22.

Schiffer, M.

## **Heterogeneous Integration Technologies for Fan-out, Embedding and Interposer Wafer Level Packaging**

53<sup>rd</sup> International Symposium on Microelectronics, IMAPS 2020, Symposium »System Integration – Fraunhofer Connecting the U.S. with Germany«, online.

Schischke, K.; Nissen, N. F.; Schneider-Ramelow, M.

## **Flexible, Stretchable, Conformal Electronics, and Smart Textiles: Environmental Life Cycle Considerations for Emerging Applications**

MRS Communications, Vol. 10, Issue 1, 2020, S. 69-82.

Tiwari, K. K.; Grass, E.; Thompson, J. S.

## **Memory-assisted Statistically-ranked RF Beam Training Algorithms for Sparse MIMO**

Proceedings of VTC2020-Spring, online, S. 1-7.

Vagionas, C.; Ruggeri, E.; Kalfas, G.; Sirbu, B.; Leiba, Y.; Kanta, K.; Giannoulis, G.

## **An End-to-end 5G Fiber Wireless A-RoF/IFoF Link Based on a 60 GHz Beamsteering Antenna and an InP EML**

Proceedings of SPIE OPTO 2020, Broadband Access Communication Technologies XIV, 113070A, San Francisco, CA, USA.

Velea, A. I.; Vollebregt, S.; Wardhana, G. K.; Giagka, V.

## **Wafer-scale Graphene-based Soft Electrode Array with Optogenetic Compatibility**

Proceedings of MEMS 2020, Vancouver, Kanada, S. 421-424.

Wang, B.; Baeuscher, M.; Hu, X.; Woehrmann, M.; Becker, K.-F.; Juergensen, N.; Hubl, M.; Mackowiak, P.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.; Ngo, H.-D.

## **Development and Characterization of a Novel Low-cost Water-level and Water Quality Monitoring Sensor by Using Enhanced Screen Printing Technology with PEDOT:PSS**

Special Issue Nanomaterial and Nanostructure-Enabled On-Chip Sensing, ISSN: 2072-666X, 2020, S. 1-15.

Weber, C.; Hutter, M.; Schneider-Ramelow, M.

## **Influence of Process and Stress Conditions on Microstructure and Failure Mechanisms of Second Level Sintered Ag Joints**

Proceedings of CIPS 2020, online.

Woehrmann, M.; Keller, A.; Fritzsich, T.; Schiffer, M.; Gollhardt, A.; Walter, H.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

## **Reliability Investigation of Ultra Fine Line, Multi-layer Copper Routing for Fan-out Packaging Using a Newly Designed Micro Tensile Test Method**

Proceedings of ECTC 2020, online, S. 893-899.

Zoschke, K.; Löher, T.; Kallmayer, C.; Jung, E.

## **Flexible and Stretchable Systems for Healthcare and Mobility**

Flexible, Wearable and Stretchable Electronics, CRC Press, 2020.

Zoschke, K.; Mackowiak, P.; Kröhnert, K.; Oppermann, H.; Jürgensen, N.; Wietstruck, M.; Göritz, A.; Wipf, S. T.; Kaynak, M.; Lang, K.-D.

## **Cap Fabrication and Transfer Bonding Technology for Hermetic and Quasi Hermetic Wafer Level MEMS Packaging**

Proceedings of ECTC 2020, online, S. 432-438.



# PATENTE & ERFINDUNGEN

*Bauer, Jörg; Becker, Karl-Friedrich; Kahle, Ruben*

**Verfahren und Anordnung zur Herstellung einer Niedertemperaturkontaktierung für mikroelektronische Aufbauten**

DE 10 2009 017 692 A1

*Becker, Karl-Friedrich; Hülsmann, Axel; von Rosenberg, Harald*

**Millimeterwellen-Radar**

DE 10 2012 201 367 A1

*Braun, Tanja; Ndip, Ivan*

**Wafer Level Package mit integrierten Antennen und Mittel zum Schirmen**

DE 10 2017 200 122 A1

*Braun, Tanja; Ndip, Ivan*

**Wafer Level Package mit zumindest einem integrierten Antennenelement**

US 10,797,375

*Brusberg, Lars; Schröder, Henning*

**Steckbare Faserkoppereinheit, Faserkoppelsystem und Verfahren zur Ankopplung von optischen Fasern an integrierte optische Wellenleiter**

EP 3 179 285 A1

*Gernhardt, Robert; Manier, Charles-Alix; Oppermann, Hermann; Tekin, Tolga; Wilke, Martin; Zoschke, Kai*

**Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements und Halbleiterbauelement**

US 10,658,187

*Gerritzen, Andreas; Großer, Volker; Jung, Erik*

**Mobiles optisches Analysegerät**

DE 10 2011 100 507 A1

*Hefer, Jan; Rojahn, Johannes*

**Sensorsystem zum Überwachen eines Objekts**

EP 3 444 787 A1

*Hempel, Martin; Höfer, Jan; Schneider-Ramelow, Martin*

**Bondfolie, elektronisches Bauelement und Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Bauelements**

DE 10 2018 215 638 A1

*Janzen, Sergei; Middendorf, Andreas; Nowak, Torsten*

**Verfahren zum Bestimmen einer Bondverbindung in einer Bauteilanordnung und Prüfvorrichtung**

EP 3 117 452 A1

*Ndip, Ivan*

**Antennenvorrichtung mit Bonddrähten**

EP 3 346 546 A1

*Ndip, Ivan*

**Bändchenbondantennen**

US 10,566,679

*Ndip, Ivan*

**Ndip-Antenne**

US 10,727,594

*Ndip, Ivan; Ostmann, Andreas*

**Modulanordnung mit eingebetteten Komponenten und einer integrierten Antenne, Vorrichtung mit Modulordnungen und Verfahren zur Herstellung**

EP 3 346 548 A1

*Oppermann, Hermann; Zoschke, Kai; Manier, Charles-Alix; Wilke, Martin; Gernhardt, Robert*

**Method for Manufacturing a Semiconductor Component and a Semiconductor Component**

US 10,658,187 B2

# KURATORIUM

## VORSITZENDER

Dr. Franz Richter

*Süss MicroTec AG, Garching bei München*

## MITGLIEDER

Paradiso Coskina

*VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin*

Gabi Grützner

*Micro resist technology GmbH, Berlin*

Martin Hierholzer

*Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, Warstein*

Dr. Stefan Hofschien

*Bundesdruckerei GmbH, Berlin*

Ministerialrat Bernd Lietzau

*Der Regierende Bürgermeister von Berlin, Senatskanzlei Wissenschaft und Forschung*

Johannes Stahr

*AT&S AG, Leoben (A)*

Prof. Dr. Christian Thomsen

*Technische Universität Berlin*



Prof. Dr. Bernd Tillack

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

Dr. Markus Ulm

*Bosch Sensortec GmbH, Reutlingen*

Dr. Thomas Wille

*NXP Semiconductors Germany GmbH, Hamburg*

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*

## GÄSTE

Ministerialrätin Dr. Annerose Beck

*Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden*

Christian Wiebus

*NXP Semiconductors Germany GmbH, Hamburg*

## FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT UND MIKROINTEGRATION IZM

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



### Institutsleiter (geschäftsführend)

Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang  
Telefon +49 30 46403-179  
klaus-dieter.lang@izm.fraunhofer.de



### Institutsleiter (kommissarisch)

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



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



Leitung: Dipl.-Ing. M. Jürgen Wolf  
Telefon +49 30 46403-606  
Telefon +49 351 7955 72-12  
juergen.wolf@izm.fraunhofer.de



### System Integration and Interconnection Technologies

Leitung: Dipl.-Phys. Rolf Aschenbrenner  
Telefon +49 30 46403-164  
rolf.aschenbrenner@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: Dr.-Ing. 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

## INSTITUTSTEIL DRESDEN ASSID

### All Silicon System Integration Dresden (ASSID)

Ringstraße, 12, 01468 Moritzburg



Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang  
Telefon +49 30 46403-179  
klaus-dieter.lang@izm.fraunhofer.de



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



Leitung: Dipl.-Ing. M. Jürgen Wolf  
Telefon +49 351 7955 72-12  
Telefon +49 30 46403-606  
juergen.wolf@izm.fraunhofer.de

## INSTITUTSTEIL COTTBUS

### Außenstelle Hochfrequenz-Sensorsysteme

Karl-Marx-Straße 69, 03044 Cottbus



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

## MARKETING & GESCHÄFTSFELDENTWICKLUNG



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



### Business Development Team

Dr.-Ing. Mathias Böttcher  
Dipl.-Phys. Erik Jung  
Dr.-Ing. Andreas Middendorf  
Dr. rer. nat. Michael Töpfer  
bdt@izm.fraunhofer



### 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

# IMPRESSUM

**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang,  
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 2021

**Fotografie:**

Fotografie: Fraunhofer ITEM, Felix Schmitt (18), iStock (15, 16, 18, 20, 22, 24)

Sämtliche anderen Bildrechte Fraunhofer IZM oder Fraunhofer IZM zusammen mit:

Janine Escher (5, links); Volker Mai (Titel, 6, 11, 12, 13, 16, 19 rechts, 21, 22, 23, 24, 27, 33);  
MIKA Berlin (5 rechts, 12, 13, 46, 47); Erik Müller (10, 46)  
Tobias Schirmer (10)

**Titel:**

Hermetisches Glaspackage mit TGVs für einen Radar Füllstandssensor mit einer Arbeitsfrequenz von 160 GHz (BMBF-Projekt GlaRA)