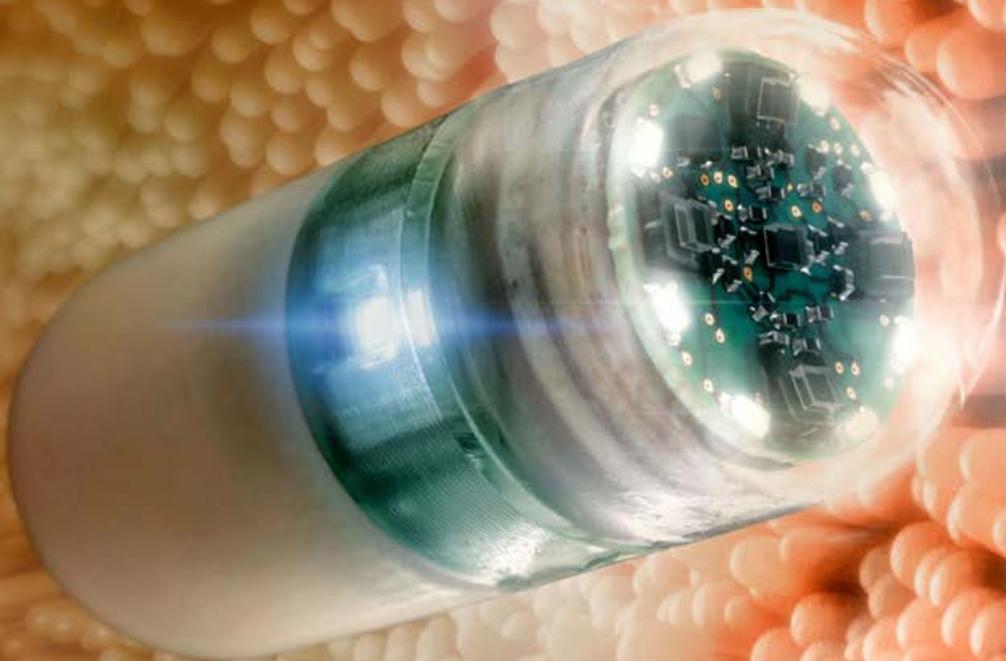




Fraunhofer

IZM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT UND MIKROINTEGRATION IZM



JAHRESBERICHT

18/19

INHALT

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

FRAUNHOFER IZM

Kernkompetenzen	Seite 7
Fraunhofer – ein starkes Netzwerk	Seite 12
Automobil- und Verkehrstechnik	Seite 14
Medizintechnik	Seite 16
Halbleiter	Seite 18
Industrieelektronik	Seite 20
Information und Kommunikation	Seite 22
Ausstattung und Leistungen	Seite 24

VERANSTALTUNGEN

Events und Workshops	Seite 27
Nachwuchsförderung am Fraunhofer IZM	Seite 31

FACTS & FIGURES

Das Fraunhofer IZM in Fakten und Zahlen	Seite 33
Auszeichnungen	Seite 34
Best Paper, Editorials, Dissertationen	Seite 36
Vorlesungen	Seite 37
Zusammenarbeit mit Universitäten	Seite 38
Kooperation mit der Industrie	Seite 39
Mitgliedschaften	Seite 40
Publikationen	Seite 41
Patente und Erfindungen	Seite 44
Kuratorium	Seite 45
Kontakt	Seite 46
Impressum	Seite 48

VORWORT



ANWENDUNGSORIENTIERT FORSCHEN, ZUVERLÄSSIG ENTWICKELN

Liebe Leserinnen und Leser!

Nach wie vor ist das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM für die Entwicklung von miniaturisierten Elektroniksystemen, die selbst in extremen Anwendungsbereichen robust und zuverlässig arbeiten, die erste Adresse! Viele Unternehmen nutzen unser Know-how und suchen Unterstützung, wenn es gilt, passgenaue Elektroniksysteme zu konzipieren, aufzubauen und ihre Funktionalität in den jeweiligen speziellen Anwendungsgebieten nachzuweisen. Im Fokus des IZM stehen vor allem zukunftsrelevante Anwendungen wie das Internet der Dinge, autonome Systeme, die 5G-Technologie, bioelektronische Neuentwicklungen und Systeme zur Hardware-Sicherheit. Dabei werden die besonderen Anwendungsanforderungen bereits zu Beginn der Entwicklung berücksichtigt. Um die Elektroniksysteme optimal mit dem Endprodukt zu »verschmelzen«, bietet das IZM von der Systemintegration bis zur Fertigungsoptimierung mittels Wafer-, Package- und Paneltechnologien ein breites Spektrum an Lösungen.

Aus der Vielzahl an hervorragenden Projektergebnissen aus diesem Jahr seien einige Beispiele genannt:

- Für eine kabellose Dünndarmdiagnose wurde im Projekt EndoTrace eine miniaturisierte, modulare und verkapselte Kamera zur Endoskopie entwickelt: Die Kamera ist so klein wie eine Tablette und kann darum problemlos geschluckt werden. Sie ist mit einer integrierten Bilderfassung und Speicherung ausgerüstet.
- Autonomes Fahren wird für die zukünftige Mobilität eine große Rolle spielen. Im Projekt KameRad wurde ein radar- und kamerabasiertes System entwickelt, das autonomes Fahren sicherer machen soll. Ziel ist der Aufbau eines miniaturisierten Moduls mit kombiniertem 79-GHz-MIMO-Radar- und Stereo-Kamera-System.
- Ein technologisches Highlight war die zweite Phase des internationalen Industriekonsortiums zur industriellen Einführung des Panel Level Packaging. Die ermutigenden Ergebnisse tragen viel zum Durchbruch der Technologie und zum Ansehen des Fraunhofer IZM bei.
- Besonders erwähnenswert ist auch die Nachwuchsforschungsgruppe »Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Die interdisziplinäre Nachwuchsforschungsgruppe untersucht seit einigen Jahren die Ursachen für Kurzlebigkeit bei Elektronikprodukten und entwickelt Strategien für langlebige Produkte und einen nachhaltigen Produktkonsum. Das IZM arbeitet als Kooperationspartner daran mit.

Auch andere wichtige Kooperationen konnten im Jahr 2018 weitergeführt und ausgebaut werden:

- Die »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« wird erfolgreich umgesetzt: Die ersten Geräte werden bereits in Projekten genutzt.
- Die Leistungszentren in Berlin und Dresden wurden positiv evaluiert, so dass eine Fortführung ihrer Arbeit beschlossen wurde.

- Die Gründerwerkstatt Start-a-Factory wurde weiter ausgebaut und steigerte ihre öffentliche Bekanntheit: Das modulare Entwicklungs- und Fertigungslabor ist sehr gefragt, die ersten Startups sind eingezogen und eine Reihe von Demonstratoren wurden fertigungsnah in Industriequalität aufgebaut.
- Auch die Leitprojekte eHarsh und ZEPOWEL konnten große Fortschritte erzielen. In dem Projekt eHarsh werden Sensorsysteme für extrem raue Umgebungen entwickelt. Das Projekt ZEPOWEL wird vom Fraunhofer IZM geleitet. Hier geht es um die Entwicklung hochintegrierter, äußerst energieeffizienter Module für das Internet der Dinge.
- Neben der Kooperation mit der TU Berlin konnten Aktivitäten mit anderen Universitäten und Fachhochschulen weiter ausgebaut werden. Mit der TU Dresden werden neue Verbindungstechnologien für das Wafer Level Packaging entwickelt. Bei der Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin stehen Themen zum Sensor Packaging und mit der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg im Bereich Hochfrequenztechnik im Vordergrund.

Im Herbst fand zudem ein Strategieaudit statt, das die Gesamtstrategie des Fraunhofer IZM für die kommenden drei bis acht Jahre durch ein hochkarätiges Auditorenteam aus Industrie und Wissenschaft bestätigt.

Ein besonders schöner Höhepunkt des Jahres 2018 darf nicht unerwähnt bleiben: Das IZM feierte seinen 25. Geburtstag. Zu diesem Anlass kamen insgesamt etwa 500 Gäste zu einem internationalen Symposium zusammen und stießen auf dem anschließenden Festakt in der Berliner Kulturbrauerei auf 25 Jahre erfolgreiche Forschungsgeschichte an.

Nun fehlt für das Jahr 2018 noch der Blick auf die Zahlen, die ebenfalls hervorragend waren: Mit 33,7 Millionen Euro gab es abermals eine Steigerung des Betriebshaushalts im Vergleich zum Vorjahr. Außerdem glänzte das Institut mit einem Industrieertrag von 45,4 Prozent. Alles in allem ist das Institut weiter auf Wachstumskurs.

Ich freue mich sehr auf das Jahr 2019: Das IZM wird wieder ein umfangreiches Angebot an Workshops vorlegen. Spannende und zukunftsrelevante Forschungsprojekte werden fortgesetzt und neue Projektideen an den Start gehen.

In diesem Sinne möchte ich all unseren Partnern in Industrie und Forschung sowie den Förderern und Projektträgern aus Bund, Ländern und EU meinen Dank aussprechen.

An vorderster Stelle gilt mein persönlicher Dank natürlich unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, ohne die das Fraunhofer IZM nicht denkbar wäre und die mit ihren herausragenden Leistungen das Jahr 2018 für uns so erfolgreich gestaltet haben.

Ich wünsche Ihnen allen eine anregende Lektüre und viel Vergnügen mit diesem IZM-Jahresbericht.

Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang
Institutsleiter

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 400 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 Highend-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.

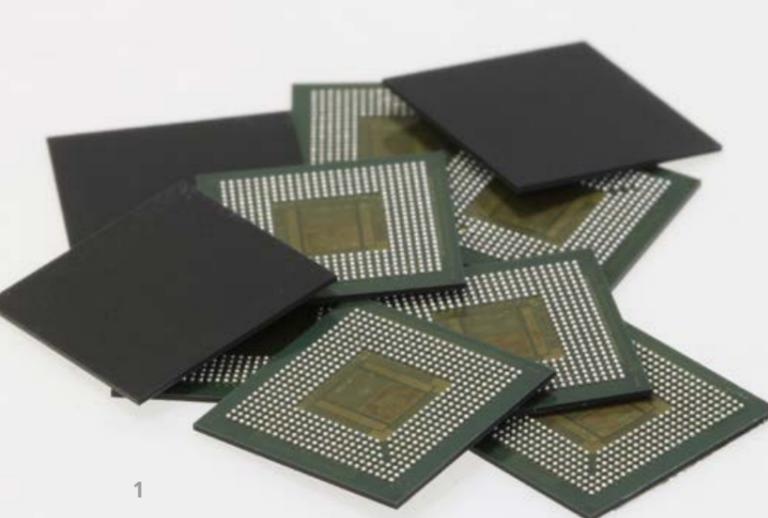
Auftragsforschung

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. Auftraggeber 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. der Technischen Universität Berlin oder der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.





1



Rolf Aschenbrenner
rolf.aschenbrenner@izm.fraunhofer.de



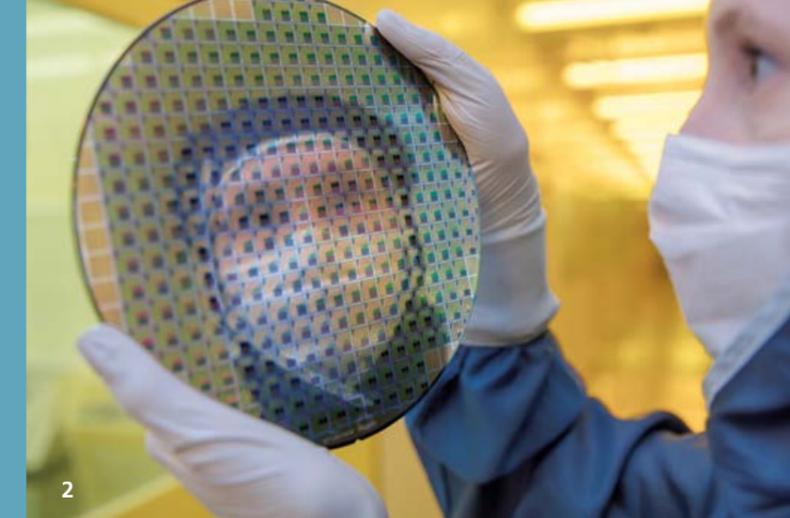
Dr.-Ing. Andreas Ostmann
andreas.ostmann@izm.fraunhofer.de



Oswin Ehrmann
oswin.ehrmann@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; Moldpackages mit Umverdrahtung; Integration von optischen Wellenleitern in Leiterplatten
- **Conformables:** dehnbare, thermoplastische und textile Baugruppen
- **Bestückung:** hochpräzise Chip-Platzierung; automatisierte SMD-Montage; Flip-Chip-Technologie; automatisierte, optische Faserkopplung und Mikrooptik-Montage

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

Die langjährige Erfahrung unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Kombination mit einer hochmodernen Geräteausstattung zur Verarbeitung großformatiger Fabrikationsnutzen in der gesamten Fertigung (610x457 mm²; 18" x 24") ist weltweit einzigartig. Zur Verfügung stehen ca. 2.500 m² Laborfläche, davon 600 m² 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 Systemintegrations-Technologien und kann so kundenspezifische Lösungen für mikroelektronische Produkte im Gesamtumfeld der Smart Systems anbieten. Rund 60 Wissenschaftler am Standort des Fraunhofer IZM in Berlin und am Institutsteil »ASSID – All Silicon System Integration Dresden« forschen in den Bereichen:

- 3D Integration
- Wafer-Level Packaging und Fine-Pitch Bumping
- Hermetisches MEMS- und Sensor-Packaging
- High Density Assembly
- Sensor-Entwicklung und -integration
- Hybrid Photonic Integration

Die Abteilung verfügt an beiden Standorten über leading-edge Prozesslinien, 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, was 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 aus der chemischen Industrie.

Die technologische Expertise liegt insbesondere in den Bereichen:

- Heterogene Wafer-Level Systemintegration
- 3D Wafer-Level System-in-Package (WL-SiP, CSP)
- 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, Vereinzlung)
- 3D Assembly D2D, D2W, W2W
- 3D Wafer-Level Stacking
- Wafer-Bonden (Kleben, Löten, direkt)
- Direct Bond Interconnect (DBI) – W2W (12")
- Mikrosensoren
- MEMS Packaging (hermetisch)

Das Serviceangebot für Industriekunden umfasst die Bereiche Prozessentwicklung, Materialevaluierung und -qualifizierung, Prototyping, Low Volume Manufacturing sowie Prozesstransfer. Die neu entwickelten Technologien können kundenspezifisch an die individuellen Anforderungen angepasst werden.

1 *Ultradünne Multichipmodule durch Fan-Out Panel Level Packaging Technologie*

2 *Back-End of Line-Prozessierung auf CMOS-Wafer*



1



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



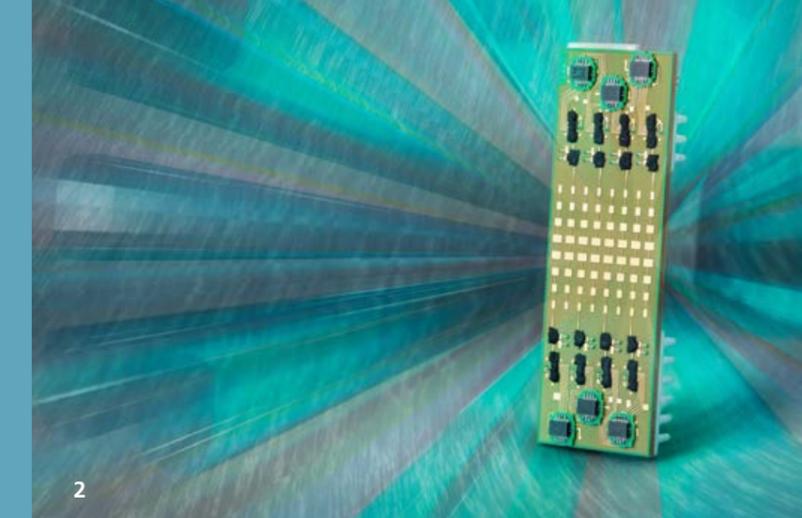
Dr.-Ing. Olaf Wittler
olaf.wittler@izm.fraunhofer.de



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 von der Nanocharakterisierung bis zur Bewertung und Optimierung auf Systemebene. Das Leistungsangebot umfasst folgende Bereiche:

- Umweltbewertung und Eco-Design
- Ressourceneffizienz, Circular Economy und Obsoleszenzforschung
- Zuverlässigkeitsanforderungen und Prüfverfahren
- Fehlermechanismen, Lebensdauermodelle und Materialdaten
- Simulationen zur Zuverlässigkeitsanalyse und -optimierung

Mit einem 40-köpfigen Team aus Wissenschaft und Technik werden Verfahren und Modelle entwickelt und angewendet, die es unseren Partnern ermöglichen, umwelt- und zuverlässigkeitsrelevante Kriterien in den Design- und Entwicklungsprozess zu integrieren. Somit helfen wir bei der Einführung neuer Technologien, Materialien, Prozesse, Komponenten und Anwendungen, frühzeitig Schwachpunkte und Potenziale zu identifizieren und geeignet darauf zu reagieren. Unsere Partner können auf diese Weise Kosten und Risiken minimieren und gleichzeitig die besonderen Chancen der neuen Technologien der Systemintegration nutzen.

Folgende Vorgehensweisen sind aktuell besonders gefragt:

- Für neueste technologische Trends können wir Umwelt-, Ressourcen- und Kostenbewertungen durchführen, da wir Zugang zu Prozessdetails haben, die in die Umweltbewertung einfließen können.
- Solche praxiserprobten Detailbewertungen fließen in Anwendungsszenarien ein, um modulare Produktkonzepte, sensorbasierte IT-Services oder zukünftige Netzwerkinfrastruktur adäquat nach Umweltparametern optimieren zu können.
- Für die Zuverlässigkeitsabsicherung von Technologien der Systemintegration stehen am Fraunhofer IZM alle relevanten Prüfverfahren im Haus zur Verfügung. Somit können wir unseren Partnern ganzheitliche Lösungen anbieten und die jeweils beste Kombination von Kompetenzen zusammenbringen.
- Mit unserem Ansatz »Physics-of-Failure« analysieren wir in unseren Projekten die Wechselwirkung von Materialien, Technologie, Fehlermechanismus und Anwendungsszenario bezüglich der Zuverlässigkeit und können so alle relevanten Aspekte der Wertschöpfungskette der Elektronikproduktion und -anwendung berücksichtigen.

Dabei werden vorwiegend folgende Anwendungsfelder adressiert:

- Mobile Endgeräte
- Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Netzwerktechnik
- Autonome Sensorik
- Leistungselektronik
- Photonik und Beleuchtung

RF & SMART SENSOR SYSTEMS

Autarke Sensorik, Radarsensorik, 5G-Mobilfunk oder 60 GHz-Kommunikationssysteme – die auf den ersten Blick unterschiedlichen Anwendungen eint ein gemeinsamer technologischer Background in Forschung und Entwicklung: Große Bandbreiten, Robustheit und Energieeffizienz sind funktional bestimmende Kriterien der drahtlosen Vernetzung. Sicherheitsaspekte treten mehr und mehr in den Vordergrund. Steuerbare Antennen eröffnen zusätzliche Funktionsgewinne.

Bei diesen Entwicklungen nimmt die Bedeutung der Systemkonzeptionierung zu, was eine stärkere Verzahnung des Schaltungsdesigns mit der Technologieentwicklung (Hardware-Package-Co-Design) ebenso unabdingbar macht wie ein Hardware-Software-Co-Design. Deshalb basieren die Arbeiten der Abteilung »RF and Smart Sensor Systems« (R3S) seit Langem auf dem breiten Technologie-Know-how des Fraunhofer IZM sowie auf profunden Kenntnissen in Firm- und Softwareentwicklung. Die Arbeiten konzentrieren sich 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 Sensorsysteme für den industriellen Einsatz
- Werkzeuge für den optimierten Entwurf von Mikrosystemen und Server-Client-Software-Architekturen

Die Arbeit der Abteilung ist gekennzeichnet durch die Kombination aus praktischem Know-how aus einer Vielzahl von Projekten, einer umfangreichen Ausstattung sowie Erfahrung mit Modellierungswerkzeugen und einer systematischen Vorgehensweise.

Speziell im Bereich der HF-Systeme werden die umfangreichen Möglichkeiten zur Charakterisierung von Materialien und Aufbauten der AVT hinsichtlich Hochfrequenzeigenschaften in einen umfassenden, wissenschaftlich gestützten Entwurfsansatz überführt. Mit diesem als M3 bezeichneten Ansatz (Methodik, Modellierung, Maßnahmen) wird ein für die jeweiligen Anforderungen maßgeschneiderter Systementwurf in vergleichsweise kurzer Zeit, d.h. ohne teure und zeitaufwändige Iterationsschritte, erstellt. Der Ansatz geht über rein funktionale Verbesserungen hinaus und ermöglicht eine Optimierung hinsichtlich elektrischer, optischer, technologischer und ökonomischer Kriterien, so dass die beste Performance für die jeweilige Anwendung erreicht wird. Diese Vorgehensweise wird im Bereich innovativer Hochfrequenzsysteme bis 110 GHz sowie bei Sensorsystemen für raue Einsatzbedingungen in verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten angewandt.

Bei den Arbeiten kann auf eine technisch hochwertige Ausstattung zurückgegriffen werden. Das HF-Labor ermöglicht die zerstörungsfreie Bestimmung dielektrischer Materialparameter. Teststrukturen können bis 500 GHz vermessen werden. Eine Schirmkabine erlaubt die 3D-Charakterisierung von Antennenmodulen. Das Mikroelektroniklabor bietet die Möglichkeit zur Vermessung und Inbetriebnahme autarker Sensorknoten. Zur Herstellung von Mikrobatterien steht eine Entwicklungs- und Montagelinie mit Präzisionssiebdrucker, Substrat-Bond-Einrichtung und mikrofluidischer Elektrolytfülleinrichtung zur Verfügung. Der gesamte Herstellprozess einer Batterie erfolgt unter Reinstgasbedingungen in Argonboxen.

1 *Forschungsfokus: Reparatur und Langlebigkeit von Elektronik im Rahmen der Circular Economy*

2 *Ka-band Transmitter für planare SATCOM-Terminals mit elektronisch steuerbaren Antennen*

GESCHÄFTSFELDER & BRANCHEN

FRAUNHOFER – EIN STARKES NETZWERK

Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 26.600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,6 Milliarden Euro. Davon fallen 2,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Das Fraunhofer IZM ist eines von 13 Mitgliedern des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und somit ein Teil der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) – der mit über 2.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern größte standortübergreifende FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa.

In dieser neuen Kooperation werden die Vorteile zweier starker Forschungsorganisationen – der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft – mit den Synergien einer zentralen Organisation verknüpft zu dem weltweit leistungsfähigsten Anbieter für angewandte Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik. Durch die enge Verzahnung und das kohärente Auftreten kann die FMD somit nicht nur Kunden aus der Großindustrie, sondern gerade

den KMUs und Startups einen besseren Zugang zur nächsten Technologie-Generation bieten.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den Aufbau der FMD mit insgesamt 350 Millionen Euro, die für die Modernisierung der Forschungsausstattung der Institute gedacht sind. Zur Halbzeit des Projekts, dessen Startschuss am 6. April 2017 fiel, sind die für die FMD vorgesehenen Investitionen voll im Plan.

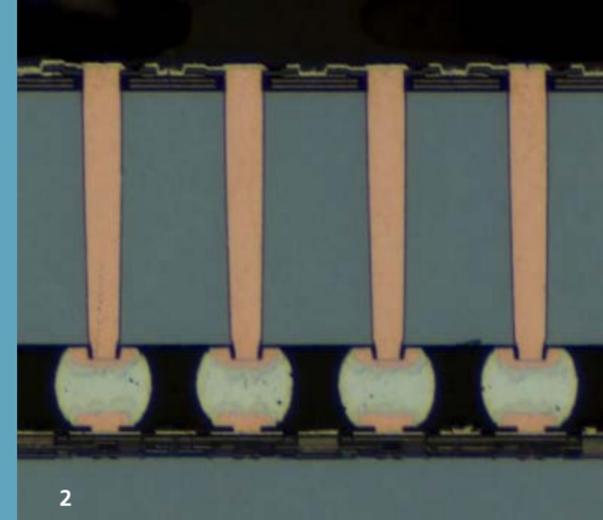
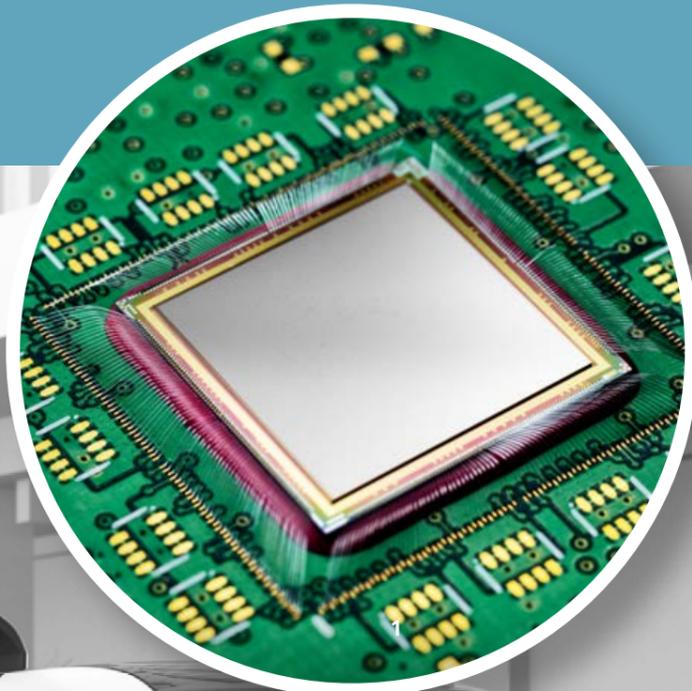
Die FMD bietet Forschungsdienstleistungen entlang der kompletten Innovationskette aus einer Hand. In Kombination mit der FMD konnten bereits erste ertragreiche Projektbeteiligungen etabliert und Aufträge abgeschlossen werden. Für das Jahr 2018 lassen sich Projekte mit einem Volumen von 41,1 Millionen Euro auf Basis der FMD Investitionen identifizieren, was einen großen Erfolg in dieser frühen Phase darstellt. Der Industrieanteil bei diesem Projektvolumen lag bei 30 Prozent.

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



Sensorfusion für das vollautonome Fahren

Radar- und Kamerasysteme für das autonome Fahren – zwei vielversprechende Technologien mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Das eine System ist etwa in der Bilderkennung überlegen, das andere liefert lichtunabhängig verlässliche Informationen. Durch die Kombination eines innovativen 79 GHz MIMO-Radar-Systems mit einem Stereo-Kamera-System in einem Package und der Fusion der Sensordaten wird in einem vom BMBF geförderten Konsortium ein hoch performantes Sensorsystem für das autonome Fahren geschaffen. Das Fraunhofer IZM entwickelt hierfür mit Partnern die Hardware-Komponenten (Stereo-Kamera, Radar-Frontend, MIMO-Antennen). Das Radar-Frontend wird in einer innovativen Glas-Interposer-Technologie umgesetzt, welche durch einen skalierbaren Ansatz auch für andere hochauflösende Anwendungen in Zukunft eingesetzt werden kann.

Plattformkonzept für steuerbare 5G-Antennen

Millimeterwellensysteme für zukünftige Anwendungen wie dem 5G Mobilfunk oder Automobil-Radar nutzen in zunehmendem Maße großflächige Antennenarrays zum Schwenken oder Fokussieren des Strahls. Letzteres gleicht die hohe Dämpfung bei der Übertragung aus, ersteres ermöglicht eine hohe Auflösung sowie einen großen Scanbereich. Dabei stellt sich die Herausforderung einer hohen Performance bei marktfähigen Kosten. Dazu entwickelt das EU-geförderte SERENA-Konsortium eine Plattform-Technologie für die heterogene Integration, basierend auf einer »Galliumnitrid auf Silizium«-Halbleitertechnologie (GaN-on-Si), modernen Package-Konzepten und einer hybriden analog-digitalen Signalverarbeitung. Damit sollen Ausgangsleistung, Effizienz, Formfaktor, Datenrate und Kosten für Millimeterwellensysteme mit elektronischer Strahlschwenkung verbessert werden. Die Eigenschaften der Integrationsplattform werden an einem skalierbaren Prototypen einer 5G-Basisstation im Millimeterwellenband im Frequenzbereich 37-41 GHz demonstriert.

Entwicklung eines LIDAR-Sensors als 3D-SiP, basierend auf hochdichten TSVs, Lotkontakten und Flip-Chip-Montage

Für den Aufbau der Sensormodule übernahm das Fraunhofer IZM alle Arbeitsschritte von der Aufbau- und Verbindungstechnik, der Herstellung von Durchkontaktierungen und Verdrahtungslagen, Abscheidung von Mikrolotkontakten über die Flip-Chip-Montage bis zum Chip- und Drahtbonden. Jedes Modul besteht aus einem 2D-Feld aus Avalanche-Dioden (SPAD) mit $256 \times 256 = 65.536$ Pixeln (Pitch: $40 \mu\text{m}$), welches in einen $10 \times 10 \text{ mm}^2$ großen Siliziumchip integriert ist (Gesamtdicke: $88 \mu\text{m}$). Jede SPAD-Zelle beinhaltet einen TSV (Durchmesser: $8 \mu\text{m}$, Tiefe: $88 \mu\text{m}$), welches den elektrischen Kontakt zur Rückseite des SPAD-Feldes herstellt, wo dann Lotbumps (Durchmesser: $25 \mu\text{m}$) jedes Pixel mit dem Auslese-ASIC ($12 \times 12 \text{ mm}^2$, Dicke: $725 \mu\text{m}$) verbinden. Die 3D-SiP-Module wurden final auf ein PCB gebondet und die umlaufenden IOs an den vier Seiten des ASICs durch Drahtbonden mit dem PCB verbunden.

Leistungsangebot:

In der Automobil- und Verkehrstechnik ist das Fraunhofer IZM in folgenden Technologiebereichen aktiv:

- Leistungselektronik
- Sensorik und Aktorik
- Aufbau- und Verbindungstechnik für raue Umgebungen
- Zuverlässigkeitsmanagement und -absicherung
- Robustes Design

1 Am Fraunhofer IZM entwickelter LIDAR-Sensor als 3D System-in-Package

2 $88 \mu\text{m}$ dünner Siliziumchip mit 256×256 SPAD-Feld und TSVs montiert auf einen ASIC

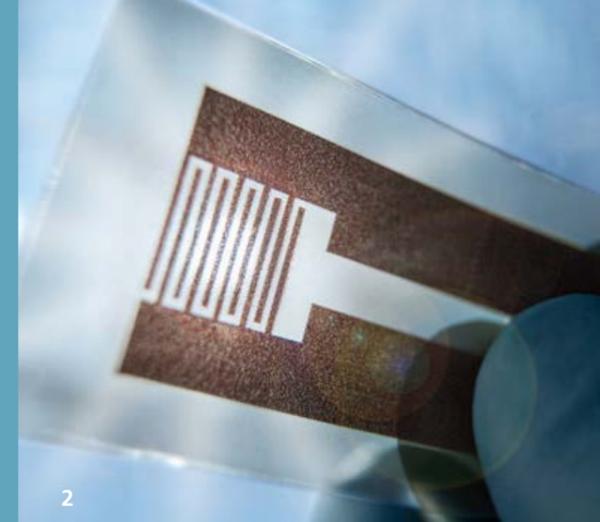
3 Sensorfusion für das autonome Fahren: Integration von Kamera- und Radarmodul

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, Tier1 und deren Zulieferer bei der rasanten Elektrifizierung des Automobils 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.

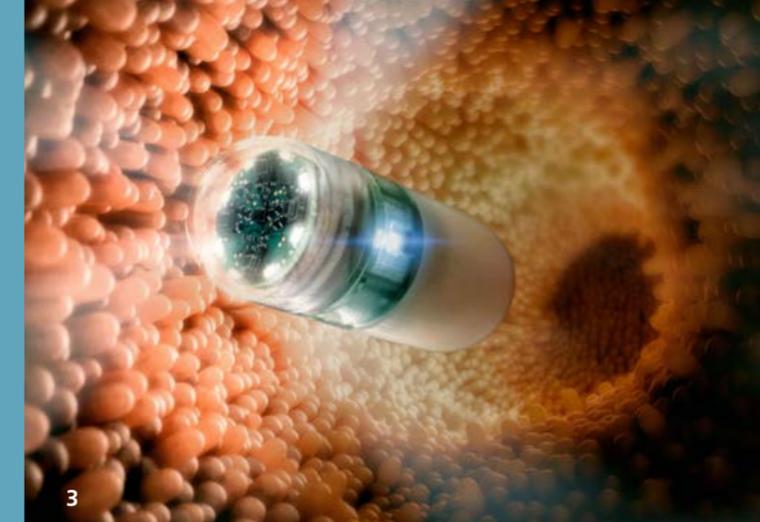
MEDIZINTECHNIK



Viele medizinische Innovationen, die das Leben von Patienten 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 Dienstleistungspektrum des Instituts.



2



3

Kamerapille erlaubt tiefe Einsichten

Der ca. 5 Meter lange Dünndarm kann mit den üblichen endoskopischen Verfahren nicht untersucht werden. Für eine schmerzfreie und unaufwändige Untersuchung des Verdauungstrakts wurde im BMBF-Projekt EndoTrace ein hochintegriertes, pillenförmiges Kamerasystem entwickelt. Die Pille wird durch die natürliche Peristaltik im Laufe mehrerer Stunden durch den Körper bewegt. Dabei nehmen fünf Kameras hochauflösende Bilder der Darmwand auf. Die Kameras sind teilweise gekippt angeordnet, um das Gesichtsfeld zu vergrößern. Die Bilder werden in der Kapsel gespeichert. Durch eine Kombination aus Embedding-Technologie, Modul-Stapelung und Semiflex-Leiterplatte können die Bestandteile Beleuchtung, Kamera, Mikrochip für die Bildkompression, Speicher und Batterie in einem kompakten, miniaturisierten System zusammengeführt werden.

Inkjet-gedruckter optoelektronischer Sensor auf flexiblen Substraten für die Detektion von UV-Strahlung

Innerhalb eines Verbundprojekts des Fraunhofer IZM und der HTW Berlin wurde ein 2D-gedruckter Photodetektor für den Nachweis von UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 310 bis 390 nm entwickelt. Die Interdigitalstruktur der Elektroden sowie die Halbleiterschicht werden dabei vollständig durch den Tintenstrahl Druck mit Nanopartikel-Tinten realisiert. Der Sensor detektiert elektromagnetische Strahlung durch die Widerstandsänderung des Halbleitermaterials. Bedingt durch die verwendeten Materialien und die geringe Auflösung des Druckprozesses, birgt der Sensor trotz der begrenzten Sensitivität hohes Potenzial, insbesondere aufgrund der Möglichkeiten der kostengünstigen Realisierung von vergleichbaren elektronischen Bauteilen auf flexiblen Substraten mittels der Inkjet-Drucktechnologie.

Optofluidische Biochip-Integration

Photonisch integrierte Schaltungen mit Mikrofluidik entwickeln sich zu einer potenziellen Plattform für hochempfindliche Point-of-Care-Tests, die eine schnelle klinische Entscheidungsfindung bei der Diagnose von Herz- und Infektionskrankungen ermöglichen. Das Fraunhofer IZM verwendet

biokompatible Adhäsivfolien für das Binden, da sie biokompatibel, kostengünstig und schnell vom Chip bis zum Panel sind. Im EU-Projekt PHOCNOSIS wurde ein Montageprozess bei Raumtemperatur entwickelt, bei dem beide Chips mit laser-mikrostrukturierten Adhäsivfolien verklebt wurden. Dieser innovative Montageansatz ermöglicht die Entwicklung eines funktionellen, hybriden, optofluidischen Biochips mit optischen, fluidischen und elektrischen Schnittstellen. Eine Chipkartusche wurde ebenfalls entworfen und im 3D-Druck hergestellt, um die Handhabung und das Lesen zu erleichtern.

Notstrombatteriesystem der Zukunft

In einem EU-Projekt werden am IZM Aluminium-Ionen-Batterien als aussichtsreiche und kostengünstige Nachfolgeneration zu Lithium-Ionen-Batterien entwickelt. Kathoden auf Basis von Kohlenstoff besitzen eine sehr hohe Zyklenstabilität und Stromtragfähigkeit, jedoch eine geringe Energiedichte. Als Weiterentwicklung wurden Kohlenstoff-Schwefel-Nanokomposite mittels Hochenergie-Kugelmühle synthetisiert, welche sich durch eine höhere Energiedichte auszeichnen. Es wurde eine Kapazität von 220 mAh/g erzielt, die jedoch bei Zyklierung abfällt.

Leistungsangebot:

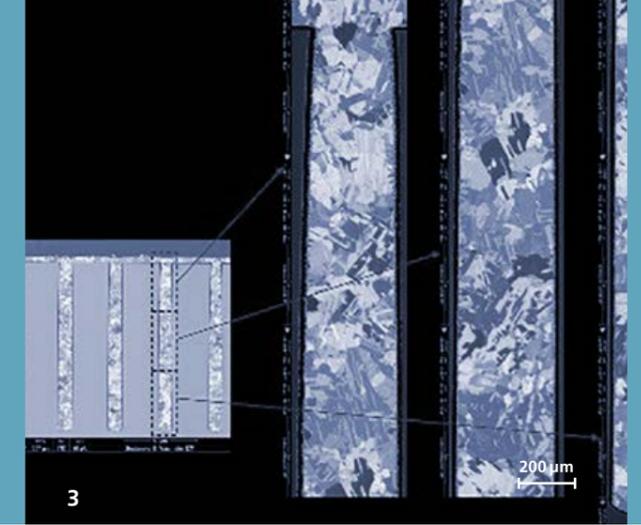
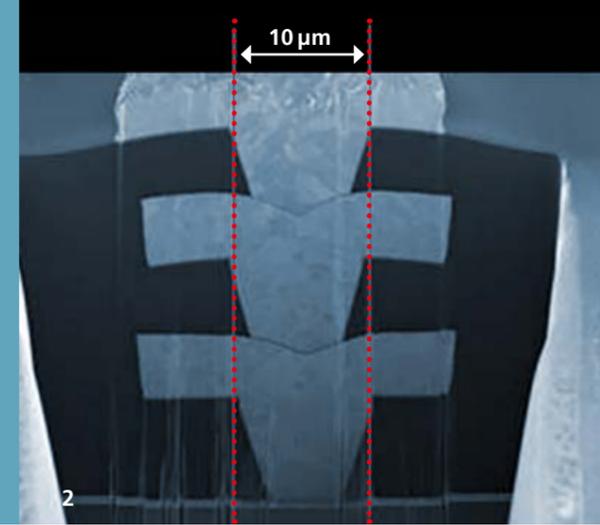
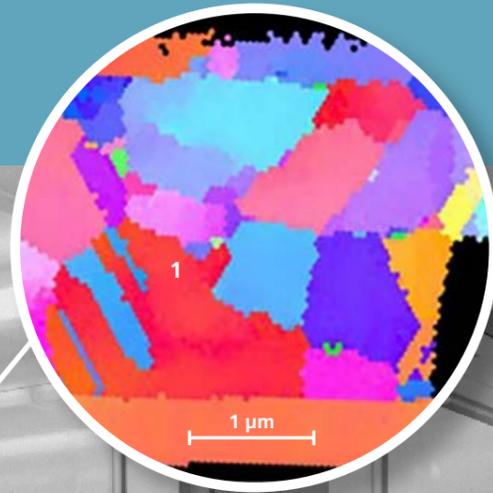
- Aufbau- und Verbindungstechnik und Zuverlässigkeitsanalysen für miniaturisierte medizinische Geräte und Implantate
- Lab-on-Substrate für patientennahe Labordiagnostik
- Verbesserte Funktionalitäten für intelligente Prothesen
- Wearables für den medizinischen Einsatz
- Textil- und strukturintegrierte Elektronikfunktionalitäten zur Unterstützung des Digitalisierungsprozesses in jedem Handlungsfeld der medizinischen Diagnostik und Therapie

1 Hybrid-Chipkartusche für Point-of-Care Tests

2 Foliendruck eines UV-Sensors

3 Hochintegriertes, pillenförmiges Kamerasystem

HALBLEITER



Entwicklung einer Via-in-Via-Technologie für Polymere basierend auf Mehrlagen-Fine-Pitch RDL

Die Fine-Pitch-Anforderungen an Mehrlagenverdrahtungstechnologien nehmen stetig zu. Während Leiterbahnen bereits mit einem sehr kleinen Pitch unter $10\ \mu\text{m}$ realisiert werden können, benötigen die Via-Durchführungen durch die isolierenden Polymerlagen einen Durchmesser von mehr als $20\ \mu\text{m}$ und eine versetzte Anordnung, um die fotoempfindlichen Polymere direkt lithografisch strukturieren zu können. Das Fraunhofer IZM hat eine Technologie für die Realisierung von Vias mit $10\ \mu\text{m}$ Durchmesser in $10\ \mu\text{m}$ dicken Polymerlagen entwickelt, die eine gestapelte Anordnung der Vias über mehrere Lagen ermöglicht. Dieser Ansatz reduziert drastisch den Platzbedarf der Vias und basiert auf deren direkter Ablation in das Polymer mittels eines Excimer-Lasers und einer vorstrukturierten Hartmaske gefolgt von galvanischer Verfüllung mit Kupfer.

Präparationstechniken für 3D-Stapel

Die Bewertung von 3D-Verbindungen durch Silizium ist in der Regel nur durch aufwändige FIB-Schnitte möglich, die meist nur ein einziges TSV sichtbar machen. Am Fraunhofer IZM wurde in einem durch die EU geförderten Projekt eine neue Präparationsmethode entwickelt, bei der beliebig viele TSVs über eine große Fläche gleichzeitig präzise geschnitten und poliert werden können. Damit lassen sich das Ätzprofil im Silizium, die Isolationsschicht, die Barriere- und Startschicht und das Mikrogefüge entlang des gesamten Vias mit hohem Kontrast und detaillierter Auflösung repräsentativ erfassen.

Zuverlässigkeitsuntersuchungen und EBSD beim Hybrid-Bonding mit Cu und SiO_2

In einem gemeinsamen Projekt haben das Fraunhofer IZM-ASSID und die TU Dresden die Zuverlässigkeit und die Kornstruktur von Fine-Pitch Hybridbondkontakten basierend auf Cu und SiO_2 untersucht. Nach Temperaturwechseltests (-40°C / $+125^\circ\text{C}$, 1.000 Zyklen), Hochtemperaturlagerung (150 , 300 , 400°C) und mehreren Bondzyklen wurden keinerlei Strukturdefekte in den Cu/Cu-Kontakten festgestellt. Unterschiedliche Kornstruktur-Phänomene (Kornorientierung,

-wachstum und -grenzen) wurden detailliert mittels Elektronenrückstreubeugung (EBSD) untersucht. Die Materialuntersuchungen mit EBSD sind essenziell für die Prozessevaluation, Miniaturisierung von Kontakten und Zuverlässigkeitsbewertung.

Wafer-zu-Wafer Hybridbonden

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Firma Xperi Corporation wurde der Wafer-Wafer-Direktbondprozess weiterentwickelt. Das Augenmerk lag auf der Erzeugung defektfreier Bond Interfaces und damit verbundenen höheren Ausbeuten. Mit geeigneten Analysemethoden (CSAM) konnten reproduzierbar defektfreie Interfaces nachgewiesen werden. Weiterhin wurden Bondprozesse für Niedertemperaturoxide entwickelt, die mit sensiblen Bauelementen kompatibel sind. Hierbei konnten Oxide mit 125°C abgeschieden sowie erfolgreich und defektfrei gebondet werden.

Leistungsangebot:

- TSV-Formierung in CMOS-Wafern (Via-Middle, Via-Last)
- Rückseitenkontaktierung (BS-Via-Last) für Sensoren
- Silizium- und Glasinterposer
- 3D-Assembly (Die-to-Wafer, Wafer-to-Wafer)
- 3D-Integration von optischen Verbindungselementen
- Hybride 3D-Pixeldetektormodule
- Hermetisch dichte MEMS-Packages mit TSVs
- Material- und Equipmentevaluierung und Qualifizierung
- Prototypenfertigung und Pilotlinie
- Drucksensoren

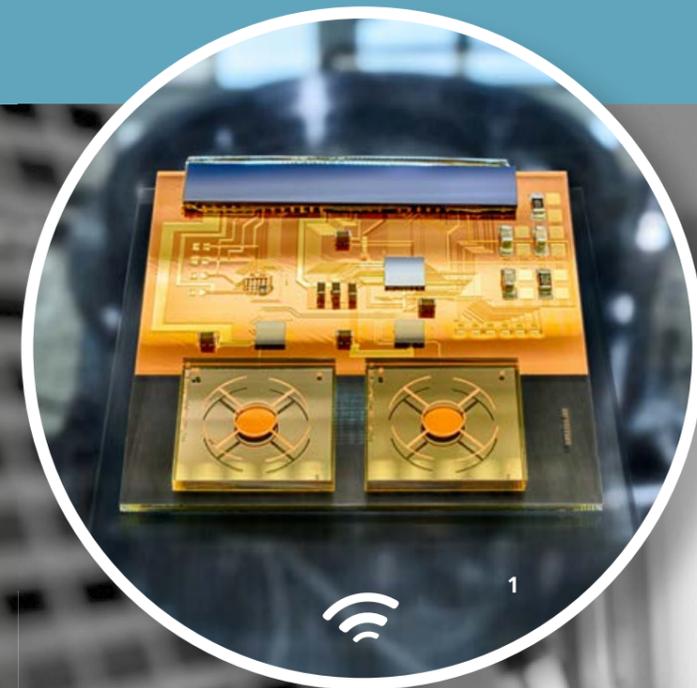
1 Elektronenrückstreubeugungsbild von einem Hybridbond Interconnect

2 Gestapelte Mikro-Vias mit $10\ \mu\text{m}$ Durchmesser in bis zu $10\ \mu\text{m}$ dicken Polymerlagen

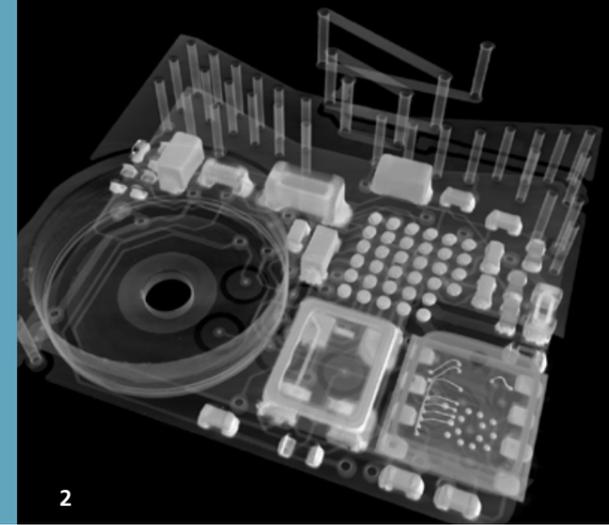
3 Präparation von TSVs im Querschnitt bei voller Länge und Analyse mittels Ion-Channeling

In diesem Geschäftsfeld steht die Integration und Herstellung von Sensoren im Vordergrund, wobei die 3D-Integration die Realisierung von komplexen, heterogenen System-in-Package-Lösungen ermöglicht. Das Fraunhofer IZM bietet seinen Kunden eine geschlossene Umsetzungskette – von der Konzeption, Prozessentwicklung, Charakterisierung bis hin zur Zuverlässigkeitsbewertung sowie zum Prototyping von neuen Sensoren, hermetischen Sensor-Packages sowie 3D-Systemen. Dabei stehen alle notwendigen Prozesse für die Realisierung von Sensoren und Wafer Level Packages inklusive der Formierung von Through-Silicon-Vias (TSVs) zur Verfügung.

INDUSTRIELELEKTRONIK



Wi-Fi



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-Interface die Informationen nutzerspezifisch 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.

Nahfeldlokalisierung von Systemen in Produktionslinien

Für eine effiziente Produktion und die Kontrolle sicherheitsrelevanter Prozessschritte ist die durchgehende Erfassung der Position von Werkzeugen und Transportmitteln in der Produktion ein wichtiger Faktor. Im Rahmen des BMBF-Projekts »Nahfeldlokalisierung von Systemen in Produktionslinie« (NaLoSysPro) wurde ein miniaturisiertes 24 GHz-Radar erforscht, welches durch Laufzeitmessungen ermöglicht, die Entfernung, den Winkel und die Geschwindigkeit von Objekten im Operationsradius zu bestimmen. Dafür erfolgt eine Chip- und Antennenintegration des 24 GHz-Hochfrequenzpfades auf einem Dünnschicht-Multilayer-Modul, welches in das Gesamtsystem einer mobilen Transpondereinheit eingebunden werden konnte.

Industrie 4.0 in der Mikrointegration

Im BMBF-Projekt PCB 4.0 arbeitet das Fraunhofer IZM gemeinsam mit Siemens, EnOcean, TU Berlin, Sensorik Bayern, WIBU und KSG am Thema Prozessüberwachung und -verknüpfung in der Mikroelektronikfertigung. In unterschiedlichen Szenarien werden vernetzte miniaturisierte Funksensorknoten dazu genutzt, z. B. die Fertigungshistorie einer hochwertigen Baugruppe fälschungssicher zu dokumentieren oder durch die integrierte Sensorik die Prozessführung zu optimieren, Belastungen auf die Baugruppe im Einsatz zu monitoren und so vorbeugende Wartung zu gewährleisten. Am Fraunhofer IZM wurde dazu die automatisierte SMT-Fertigungslinie mit verteilten Gateways ausgestattet – damit ist die Simulation unterschiedlichster Industrie 4.0-Szenarien möglich.

Modularer und konfigurierbarer Sensorbaukasten

Kurz mal testen, ob eine Idee trägt? Bei drahtloser Sensorik ist der Weg zum ersten industrietauglichen Testmuster oft lang und kostspielig. Am Markt verfügbare »Sensorbaukästen« sind weder von der Robustheit noch vom Formfaktor her geeignet. Daher wurde, gefördert durch das BMBF, ein modularer und konfigurierbarer Sensorbaukasten für die Industrie realisiert. Über die freie Kombination von Hard- und Softwaremodulen

für Sensorik, Kommunikation und Datenverarbeitung lassen sich unterschiedliche Energieversorgungs- und Kommunikationskonzepte für eine breite Anzahl an Sensoren realisieren und in kurzer Zeit an Produktionsmaschinen testen.

Automatisierte Adaption von Referenzdesigns

Im Schaltungsdesign wird oft auf Referenzschaltungen und Design-Empfehlungen der Hersteller zurückgegriffen. Da diese in der Regel als Datenblatt im pdf-Format vorliegen, muss die Schaltung händisch in das aktuelle Design übertragen werden. Ein zeitaufwändiger und vor allem überflüssiger Arbeitsvorgang. Das Fraunhofer IZM hat mit Unterstützung des BMBF ein Entwurfswerkzeug entwickelt, welches die automatisierte Adaption von Referenzdesigns im pdf-Format im Design-Prozess unterstützt.

Leistungsangebot:

- Design, Technologieentwicklung und -optimierung, Zuverlässigkeitsuntersuchungen und Technologietransfer hochintegrierter Module auf Leiterplattensubstraten, Starr-Flex und Flex sowie metallischen oder keramischen Substraten
- AVT für Produkte der Industrieelektronik
- Integration elektronischer Komponenten in Textilien und Verbundwerkstoffen oder durch Einbetttechnologien auch für ultradünne Systeme und Hochsicherheitsanwendungen
- Antennen- und Schaltungsentwurf für die Industrieelektronik
- Design und Prototypenfertigung autarker, mehrkanaliger Funksensoren der Automatisierungstechnik

1 Mobiler Transponder zur Lokalisierung von Werkzeug in einer Industrieumgebung

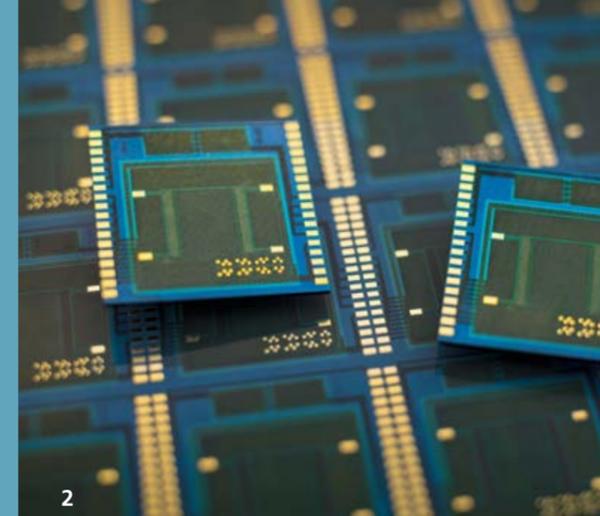
2 Miniaturisierter Funksensorknoten für die Prozessüberwachung in einer Fertigungsumgebung

3 Sensormodul mit Temperatur-, Feuchte- und Beschleunigungssensor sowie Bluetooth v5 als drahtlose Schnittstelle

INFORMATION & KOMMUNIKATION



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 eine weit über 20-jährige Erfahrung im Bereich der Systemintegration.



CloseWEEE – Rohstoffe im Kreislauf

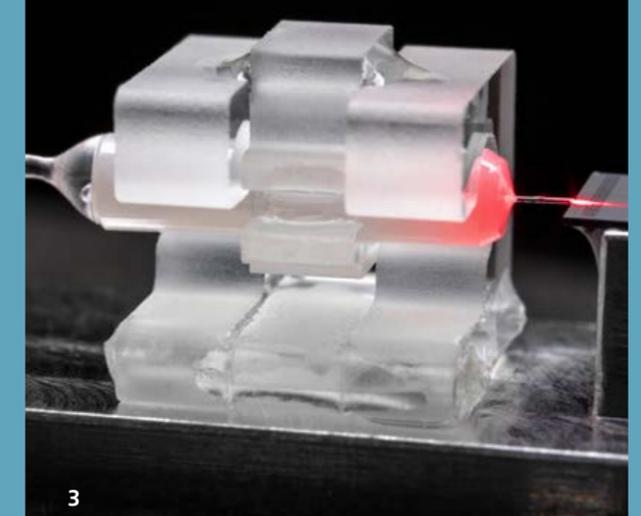
Koordiniert vom Fraunhofer IZM ist eines der ersten Projekte zur Kreislaufwirtschaft aus dem EU-Programm »Horizon 2020« erfolgreich abgeschlossen worden: Aus Kunststofffraktionen des Elektroschrottrecyclings wird ein hochwertiges ABS mit einem Rezyklatanteil von über 70 Prozent gewonnen, das sich für anspruchsvolle Anwendungen mit hochglänzenden, schwarzen Oberflächen eignet. Dank des CreaSolv-Prozesses des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV kann aus flammgehemmten Kunststoffen erstmals Antimontrioxid separiert und wieder als Synergist zur Flammhemmung eingesetzt werden. Mit Lithiumakkus als Ausgangsmaterial wurde für Kobalt und erstmalig auch für Graphit ein Recyclingprozess im Technikummaßstab demonstriert.

Stromverbrauch von Switch-ASICs reduzieren

Das EU-Projekt L3MATRIX zielt darauf ab, die Realisierbarkeit des Co-Packaging von Optiken zu demonstrieren. Hierbei wird der zurzeit größte, auf Silicon Photonics basierende Matrix-Chip mithilfe des Flip-Chip Verfahrens in einen elektrischen Switch-ASIC integriert, um dessen gesamte I/Os zu bedienen. Die Entwicklung der nächsten Generation von Switch-ASICs mit 25 Tbit/s und 50 Tbit/s stellt aufgrund des Stromverbrauchs eine Herausforderung dar. Derzeit wird ein Drittel bis hin zur Hälfte der auf dem Chip gebrauchten Leistung von I/Os beansprucht. Dies ist das Haupthindernis für die Skalierbarkeit der Switch-ASICs. Das L3MATRIX-Co-Packaging-Konzept ermöglicht die Disaggregation von Chip I/Os aus dem Haupt-ASIC. Die Vision des L3MATRIX-Projekts entspricht in Gänze der Roadmap der wichtigsten Unternehmen, die den Switching-Sektor antreiben.

Simulation der prozessinduzierten Verwölbung für Wafer-/Panel Level Fan-Out Packaging

Während der Prozessierung von Fan-Out Wafer Level Packages auf verschiedene Formate und Größenverhältnisse (Wafer, Panel) stellt die Verwölbung ein Problem dar, das quantifiziert und eingegrenzt werden muss, um eine Machbarkeit zu garantieren. Das Team des Fraunhofer IZM hat die zugehörige Vorge-



hensweise dahingehend überarbeitet, dass Panels mit einer Seitenlänge von über 30 cm in einer Geschwindigkeit simuliert werden können, die komplette Designstudien ermöglicht. Die Einflüsse der Geometrie des Packages und der Auswahl des Mold-Werkstoffs werden so analysiert und zielgerecht optimiert.

Kostenrechnung für Wafer-/Panel Level Fan-Out Packaging

Die Umstellung von Herstellungsprozessen im Bereich des Wafer-/Panel Level Fan-Out Packagings verändert die Kostenstrukturen in der Herstellung deutlich. Um hier zielgerichtet Einsparpotenziale identifizieren zu können, hat das Fraunhofer IZM ein neues Kostenmodell entwickelt. Es ermöglicht, im Detail die Einflüsse von Produktionsvolumen, Investitionskosten, Prozessparametern und Package-Design-Merkmalen (RDL-Lagenstruktur, Chipanordnung, Panelgröße) quantitativ zu bewerten und zu analysieren. Die zugrunde liegenden Eingangsdaten wurden in Zusammenarbeit mit dem Panel Level Packaging Consortium ermittelt und Ergebnisse erfolgreich an die Partner transferiert.

Leistungsangebot

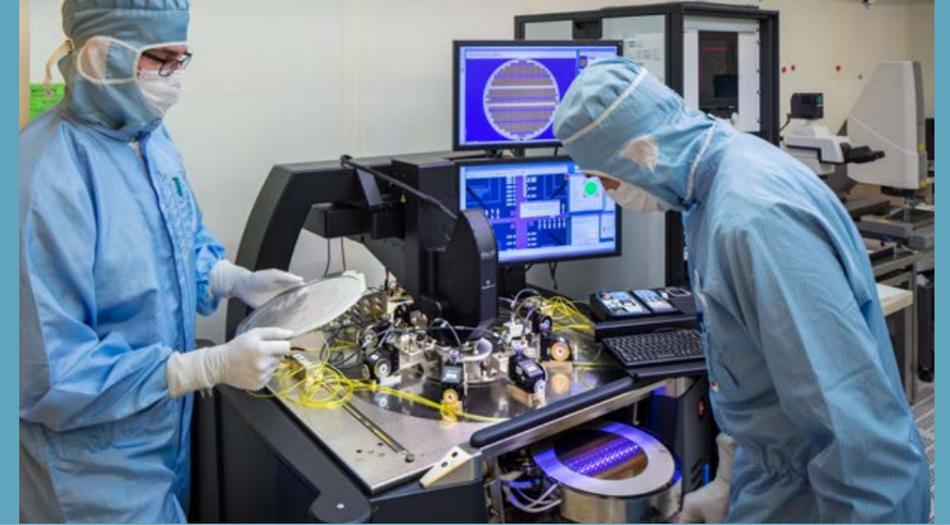
- Systemdesign für integrierte, miniaturisierte, energieautarke, robuste Sensorsysteme und drahtlose Netzwerke
- Aufbau von Hochfrequenzsystemen und elektrooptischen Komponenten
- Prozessoptimierung und Technologietransfer von Fertigungstechnologien hochintegrierter Systeme
- Zuverlässigkeitsuntersuchung, Lebensdauerabschätzung
- Beratung und Ecodesign für nachhaltige IuK-Produkte

1 L3MATRIX: die nächste Infrastruktur-Generation von Rechenzentren

2 Panel Level Packaging: Das Fraunhofer IZM entwickelt nicht nur die Technologie, sondern liefert auch das passende Kostenmodell

3 Gestapelte Glasstecker für Faser-Chip-Module

AUSSTATTUNG & LEISTUNGEN



SYSTEMINTEGRATION

Wafer-Level-Packaging-Linie

Das Fraunhofer IZM betreibt je eine Wafer-Level-Prozesslinie (Reinraumklassen 10-1000) in Berlin (975 m²) und Dresden (ASSID, 1.000 m²) 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

- Cu-TSV-Integration (Via-middle-, Via-last-, Backside-Via-Prozesse)
- Silizium Plasmaätzen – DRIE (TSV, Kavitäten)
- Dünnschichtabscheidung (Sputter, CVD)
- Photolithographie (inkl. Photolacke, Polymere)
- High-Density Thin-Film-Multilayer (Cu-RDL)
- Wafer-Level Bumping (Cu-Pillar, SnAg, Ni, Au, In, AuSn)
- Nasschemische Prozesse (Ätzen, Reinigen)
- Waferdünnen und Vereinzeln (Blade & Stealth Dicing)
- Waferbonden – permanent, temporär
- Wafer-Level Assembly (D2W)
- AOI, Metrology

Prozesslinie zur Substratfertigung

Im Leiterplattenbereich können Vollformatsubstrate mit einer Größe von 460x610 mm² für die Resist- und die Leiterplattenlaminierung vorbereitet, Lötstopplacke und Coverlays aufgebracht und nach der Belichtung entwickelt werden.

Im Sonderbereich werden hochpräzise Montagen von Modulen in verschiedenen Gasatmosphären durchgeführt. Neue Anlagen in dem 480 m² großen Reinraum ermöglichen eine Oberflächenpräparation für das Assemblieren bei reduzierter Bondtemperatur.

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 sowie die Zuverlässigkeitscharakterisierung. Der Schwerpunkt liegt auf FO-WLP/PLP, auf Sensor-Packages mit freigestellter Oberfläche und auf Power-SiPs:

- Präzisionsbestückung und Compression Molding auf Wafer- und Panelebene (610x460 mm²)
- Umverdrahtung in 2D (PCB-basierend und Dünnschicht) 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 produktionsstauriger 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 Dampfphasenvakuumlötlösung
- Flussmittelfreies Löten von Baugruppen mit Ameisensäuretechnologie 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
- Erforschung und 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
- Molekulardynamische Simulationen

Langzeittest- und Zuverlässigkeitslabor

- Schnelle Temperaturwechseltests im Temperaturbereich -65 °C bis 300 °C
- Temperaturlagerung bis 350 °C

Power-Lab

- Charakterisierung von Leistungsmodulen und leistungselektronischen Geräten
- 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 & Antennenmesskammer bis 40 GHz, experimentell bis 110 GHz (geschirmt)
- Antennenmesssystem von 40 GHz bis 325 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
- Korrosionslabor
- Electronics Condition Monitoring Labor (ECM) für Funktionstests elektronischer Systeme bei Umgebungsbeanspruchung, Salznebel, Shaker
- Qualifikations- und Prüfzentrum für elektronische Baugruppen (QPZ)
- Labor für thermomechanische Zuverlässigkeit
- Thermal & Environmental Analysis Lab

VERANSTALTUNGEN



EVENTS & WORKSHOPS

25 Jahre Fraunhofer IZM

Am 27. November feierte das Fraunhofer IZM seinen 25. Geburtstag. Das Jubiläum wurde zum Anlass genommen, um im Rahmen eines internationalen Symposiums zum Thema »Status & Future of Electronic Packaging« zusammen mit 200 Gästen aus der Wissenschaft und Wirtschaft einen Blick in die Zukunft zu werfen.

Der stellvertretende Institutsleiter Rolf Aschenbrenner gab mit einem Vortrag über die zukünftigen Smart Systems den Auftakt. Anschließend sprachen angesehene Redner aus der Industrie über die Bedeutung der Mikroelektronik in der Gegenwart und Zukunft und veranschaulichten dies unter anderem am Beispiel des Mobilfunknetzes 5G und des autonomen Fahrens. Es wurde ein Spannungsbogen geschlagen, vom neuesten Trend der »Chiplets«, über eine Roadmap der Next Generation Computing von Intel, bis hin zu den neuesten Ideen von Audi.

Am Nachmittag betraten namhafte Vertreter aus Politik und Wissenschaft das Podium und sprachen über ihre positiven Erfahrungen mit dem Fraunhofer IZM. Die Institutsleitung präsentierte die fachlichen und strukturellen Entwicklungsvorhaben für das Fraunhofer IZM. Ein Höhepunkt bildete die Verleihung des Fraunhofer IZM-Forschungspreises, mit dem im Jahr 2018 Dr. Henning Schröder für die Entwicklung der Dünnglas-technologie geehrt wurde. Nach dem offiziellen Teil wurden die Festivitäten schließlich in das Palais und Kesselhaus verlagert, wo bis in die Morgenstunden hinein in ausgelassener Stimmung gefeiert und das Tanzbein geschwungen wurde.

Berlins Regierender Bürgermeister Michael Müller besucht das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung«

Im Rahmen seiner sommerlichen Wissenschaftstour war der Regierende Bürgermeister von Berlin und Senator für Wissenschaft und Forschung, Michael Müller, am 15. August im IoT Lab des Leistungszentrums »Digitale Vernetzung« am Fraunhofer FOKUS zu Gast und informierte sich über die zahlreichen, gemeinsam mit der Berliner Wirtschaft durchgeführten Projekte. Dabei setzten ihn Firmenvertreter von der ALBA Group, CONTACT Software GmbH und SAP SE & Co KG über bestehende und zukünftige Kooperationen mit dem Leistungszentrum in Kenntnis.

Der Besuch des Bürgermeisters stand im unmittelbaren Zusammenhang mit der Bekanntgabe der Fraunhofer-Gesellschaft, dass das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« zwei Jahre nach seiner Gründung in die zweite Phase geht. Das Leistungszentrum wird vom Land Berlin, der Fraunhofer-Gesellschaft und aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) bis Ende 2020 mit insgesamt sechs Mio. Euro gefördert. In der nun gestarteten zweiten Phase soll die Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie, Mittelstand und Startups weiter intensiviert werden.

Zum Abschluss seiner Visite betonte Michael Müller die Wichtigkeit des Leistungszentrums für Berlin. Er hob lobend hervor, dass die Fraunhofer-Institute und das Leistungszentrum zusammen mit ihren Kooperations- und Netzwerkpartnern die Hauptstadt zu einem internationalen Hotspot der Digitalisierung machen würden und somit ein gewichtiger Standortfaktor für die wirtschaftliche Entwicklung in Berlin seien.

¹ Staatssekretär Steffen Krach spricht bei den Feierlichkeiten anlässlich der 25. Jahrestag des Fraunhofer IZM



Panel Level Packaging Symposium in Berlin und Dresden

Zur Entwicklung sehr dünner, kostengünstiger Packages mit äußerst guten HF-Eigenschaften und geringem thermischen Widerstand initiierte das Fraunhofer IZM im Jahr 2016 ein Konsortium, das die Industrialisierung des Fan-out Panel Level Packaging-Prozesses vorantrieb. Nach einer überaus erfolgreichen Präsentation der Entwicklungsergebnisse in Berlin am 17. und 18. Mai 2018 bewies das Konsortium Ende Januar 2019 in Dresden auf dem vierten Projekt-Symposium den fast 100 Teilnehmenden, wohin die Reise geht: Richtung Packaging-Technologie von morgen.

Fachgespräch über die Bauteilabkündigung als Treiber von Obsoleszenz

Die Forschungsgruppe Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit (OHA) ist ein Verbundprojekt der Technischen Universität Berlin und des Fraunhofer IZM und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Seit 2016 behandeln die Nachwuchsforscher das Phänomen der Obsoleszenz aus verschiedenen Blickwinkeln: Sie untersuchen Geschäftsmodelle, das Konsumentenverhalten und Produkteigenschaften.

Ein Treiber von Obsoleszenz im Produktbereich ist die Bauteilabkündigung. Da sich die Halbleitertechnologie rasant entwickelt, sind einzelne Komponenten schnell veraltet und werden abgekündigt. Wenn aber keine passenden Ersatzteile mehr produziert werden, kann das die Verfügbarkeit des gesamten Systems beeinflussen. Aus diesem Grund veranstaltete die Forschungsgruppe OHA am 25. September ein Fachgespräch rund um das Thema Bauteilabkündigung als Treiber von Obsoleszenz im Produktbereich.

Innovation Day der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Am 27. und 28. September richtete die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) den ersten Innovation

Day aus. Die größte Forschungskooperation im Bereich Mikroelektronik in Europa lud zu Vortrags-Sessions und Fachgesprächen rund um das Thema Smart Micro Systems ein. Außerdem wurden in einer begleitenden Fachausstellung zukunftsweisende Technologien, wie autarke Mikrosysteme und smarte Sensorik vorgestellt. In den Räumlichkeiten des Fraunhofer IZM diskutierten Experten und Expertinnen den aktuellen Forschungsstand und die neusten technologischen Möglichkeiten in der Mikroelektronik.

Auswahl der Messeaktivitäten des Fraunhofer IZM	
SPIE Photonics West	Jan /Feb, San Francisco, USA
6. Anwenderforum SMART TEXTILES	Februar/März, Berlin
LOPEC	März, München
CIPS 2018	März, Stuttgart
Smart Systems Integration	April, Dresden
IEEE ECTC	Mai/Juni, San Diego, USA
PCIM Europe	Juni, Nürnberg
SMT Hybrid Packaging	Juni, Nürnberg
Sensor+Test	Juni, Nürnberg
Semicon West	Juli, San Francisco, USA
ESTC	September, Dresden
InnoTrans	September, Berlin
Photonic Days	Oktober, Berlin
IWLPC	Oktober, San José, USA
Compamed	November, Düsseldorf
electronica	November, München
SEMICON EUROPA	November, München
Semicon Japan	Dezember, Tokio, JPN

Außerdem wurde am 28. September die erste FMD-Integrationslinie eröffnet. Die wissenschaftlichen Vorträge wurden von einem feierlichen Akt mit visuellen Highlights und Einblicken in den Forschungsalltag aller Mitgliedsinstitute untermalt. In seiner Ansprache betonte Dr. Michael Meister, der parlamentarische Staatssekretär im BMBF, das für den Standort Deutschland einzigartige Konzept der Forschungsfabrik und nahm anschließend die erste FMD-Integrationslinie in Betrieb.

Die Wissenschaftspresse zu Gast am Fraunhofer IZM

Das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« bündelt die vielfältigen Aktivitäten der Berliner Fraunhofer-Institute in den Bereichen IKT, Datenverarbeitung und -aufbereitung, Entwicklung und Bereitstellung elektronischer Systeme sowie Produktion und Mikroelektronik. Welche spannenden Entwicklungen genau dahinter stecken, ließen sich 16 Journalistinnen und Journalisten der Wissenschaftspressekonferenz am 25. Mai im Fraunhofer IZM zeigen. Neben dem weltweit flachsten Lautsprecher oder einer Weste zur Verbesserung der Rückenhaltung wurden auch Lösungen für abhörfreie Glasfaserverbindungen oder neueste Entwicklungen im 3D-Druck gezeigt.

Workshops am Fraunhofer IZM

Auch 2018 fanden wieder zahlreiche von IZM-Forscherinnen und -Forschern organisierte Workshops am Institut statt. Den Auftakt machte im Februar 2018 ein Radarworkshop im Rahmen des Berliner Leistungszentrums »Digitale Vernetzung«. Hier wurden der Wissensstand im Bereich innovativer Radartechnologien und neue Packagingtechnologien für Radarapplikationen vorgestellt. Im anschließenden Lab Course konnten Teilnehmer ihr eigenes Radarsystem entwickeln und testen.

Im Frühjahr gab es gleich drei Workshops zur Aufbau- und Verbindungstechnik. Rund 50 Teilnehmer nahmen im April an einer Einführung zum Thema »New Trends and Technologies in Advanced Packaging« teil. Ebenfalls großen Anklang fand ein internationaler Workshop zum photonischen Packaging

Anfang Juni, der sich auf automatische Assembly-Technologien für Optoelektronik auf Submikro-Ebene konzentrierte. Speziell an deutsche Mittelständler wandte sich eine Veranstaltung zur Einbettung von SMD-Bauteilen in Leiterplatten. Hier sollte das Verständnis der Designprinzipien und Aufbaukonzepte im Bereich des SMD-Embedding verbessert werden.

Nach der Sommerpause boten die Wafer-Experten des Instituts einen Workshop, der alle Bereiche des Wafer Level Packaging und der Sensorintegration abdeckte, von der Materialkunde über das 3D- und hermetische Packaging bis zu Fan-out Technologien für Sensoren und Leistungsmodule. Den Abschluss bildete im November passenderweise ein Workshop zur namensgebenden Kernkompetenz des Fraunhofer IZM – der Zuverlässigkeit elektronischer Systeme. Wie jedes Jahr kamen zahlreiche Vertreter aus der Industrie, um sich über Methoden zur anwendungsspezifischen Absicherung der Zuverlässigkeit elektronischer Systeme zu informieren.

»Laufend am Forschen«: Das IZM beim Berliner Firmenlauf

Mittlerweile ist es schon eine kleine Tradition und das Team-Event im Sommer: der Firmenlauf. Aus den sechs Berliner und Brandenburger Fraunhofer-Instituten trafen sich am 30. Mai fast 190 Läuferinnen und Läufer, um zunächst die 5,5 km lange Strecke zurückzulegen und sich anschließend am Grill mit Wurst und Bier von den Strapazen zu erholen. Das alljährliche Training lohnt sich: In der Mannschaftswertung kamen die Fraunhofers auf Platz 35. In der Einzelauswertung erreichte ein Student im Skate-Boarding sogar den vierten Platz! Herzlichen Glückwunsch an alle Laufenden!

1 Dr. Michael Meister, parl. Staatssekretär beim BMBF, Prof. Matthias Kleiner, Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, Prof. Georg Rosenfeld, Fraunhofer-Vorstand, Prof. Hubert Lakner, Vorsitzender des FMD-Lenkungskreises

2 Die Wissenschaftspresse zu Gast am Fraunhofer IZM



Das britische Finanzministerium zu Besuch am Fraunhofer IZM

Eine hochkarätige Delegation des britischen Finanz- und Wirtschaftsministeriums besuchte das Fraunhofer IZM am 23. März 2018. Der stellvertretende Direktor von Her Majesty's Treasury, Jon Sell, wurde begleitet von mehreren Abteilungsleitern aus dem Bereich Wissenschaft und Innovation. Nach einer kurzen

Einführung in die Arbeit des Fraunhofer IZM durch den Institutsleiter Prof. Dr. Klaus-Dieter Lang besuchten die Briten die »IZM-Gründergarage« Start-a-Factory. Hier finden Startups aus den Bereichen hochminiaturisierte Elektronik und Sensorik eine hochmoderne Fertigungsumgebung und wissenschaftliches Know-how, die ihnen dabei helfen, ihre Produkte schnellstmöglich in die industrielle Produktion zu bringen.

Auswahl von Veranstaltungen unter Beteiligung des Fraunhofer IZM	
DELL zu Gast beim Fraunhofer IZM: Cloud Service Provider Summit 2018	Januar, Berlin
European 3D Summit	Januar, Dresden
Industriearbeitskreis: Systemzuverlässigkeit von Aufbau- und Verbindungstechnologien	Feb/Jun/Okt, Berlin, Nürnberg
Industriearbeitskreis: Rechtskonformes Umweltmanagement in der Elektronikindustrie	Feb/Jun/Nov, Berlin
IMAPS-Seminar 2018: Zuverlässigkeit ist kein Zufall! Design, Material, Technologie, Simulation, Test	März, Berlin
Tutorial: Autarke Funksensoren	März, Berlin
Workshop: New Trends and Technologies in Advanced Packaging	April, Berlin
Workshop: Panel Level Packaging	Mai, Berlin
2018 ECTC/ ITherm Women's Panel	Mai, San Diego
Innovationstag Mittelstand	Juni, Berlin
Workshop: Photonisches Packaging: Assembly auf der Submikro-Ebene	Juni, Berlin
Workshop: Lernfabrik Ökodesign	Juni, Berlin
Workshop: Einbettung von SMD-Bauteilen in Leiterplatten	Juni, Berlin
Symposium: 6 th Optical Interconnect in Data Centers	September, Rom
Workshop: Wafer Level Packaging & Sensor Integration	Oktober, Berlin
Workshop: Zuverlässigkeit elektronischer Systeme	November, Berlin



NACHWUCHSFÖRDERUNG AM FRAUNHOFER IZM

Die Zukunft unserer Branche fußt auf dem naturwissenschaftlichen Nachwuchs. Das Fraunhofer IZM fördert diesen seit über 20 Jahren und profitiert schon lange selbst davon. Für die Rekrutierung der schlauesten Köpfe setzt das Institut auf die duale Berufsausbildung. Im Jahr 2018 ist es vier Auszubildenden gelungen, ihre Lehre in den Bereichen Mikrotechnologie und Bürokommunikation abzuschließen. Erfreulicherweise konnte das Fraunhofer IZM die drei fertigen Mikrotechnologen übernehmen.

Aber auch andere Möglichkeiten wie Praktika erlauben einen Einblick in die Ausbildungs- und Studienmöglichkeiten für naturwissenschaftliche (MINT-)Berufe. Im Rahmen eines zwei- bis dreiwöchigen Schülerpraktikums haben im Jahr 2018 acht Schüler/innen in den Laboren des Fraunhofer IZM mitgewirkt. Darüber hinaus wurde, um den Nachwuchs für eine Tätigkeit in der Forschung zu motivieren, ein Berufsinformationstag für Schülerinnen und Schüler des »Gabriele-von-Bülow-Gymnasiums«, einer Partnerschule des Fraunhofer IZM, angeboten.

»Fraunhofer Talent Take Off – Einsteigen«

Das Studienorientierungsprogramm »Fraunhofer Talent Take Off – Einsteigen« bietet Schüler/innen und Studierenden, die sich für Naturwissenschaften, Technik, Mathematik oder Informatik begeistern, die Möglichkeit, sich genauer zu erkundigen, was »angewandte Forschung« eigentlich bedeutet. Am 29. März begrüßte das Fraunhofer IZM zahlreiche interessierte Jugendliche, die spannende Einblicke in das Forscherleben und Antworten auf alle Fragen zur Berufspraxis bei Fraunhofer erhielten. Zudem hatten sie die Gelegenheit, im Batterie-Labor Glove Boxes auszuprobieren, im Schleiflabor Chip-Proben zu untersuchen und im ECM-Labor Zuverlässigkeitstests live zu erleben. Zum Abschluss konnten sie ihren eigenen Forschergeist unter Beweis stellen und eine Flugmaschine bauen und testen. Selbstverständlich kam auch der Austausch mit anderen MINT-Talenten nicht zu kurz.

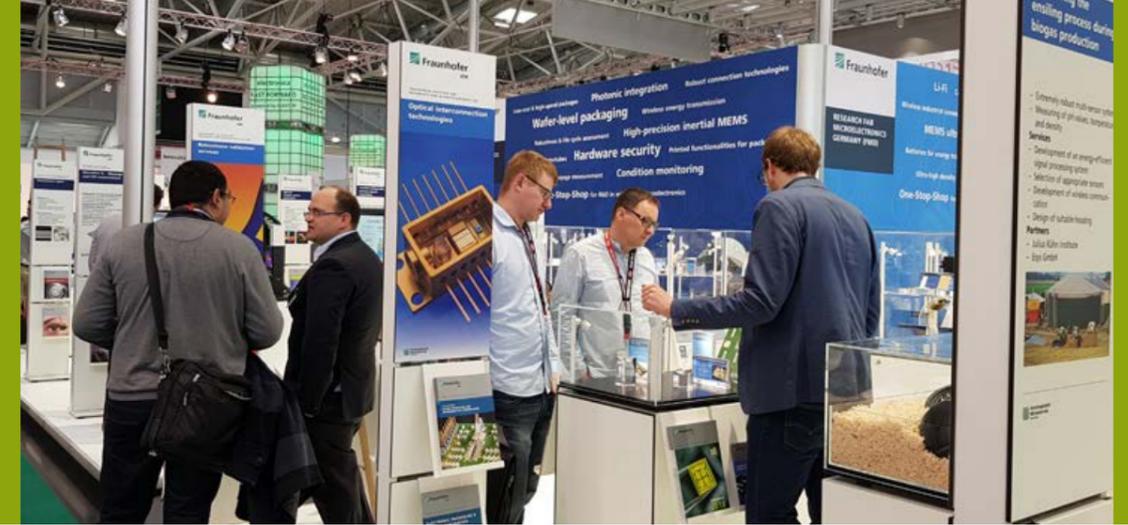
Girls' Day 2018 – was steckt drin in einem Smartphone?

Am Girls' Day, der in diesem Jahr am 26. April stattfand, besuchten 12 Schülerinnen des Gabriele-von-Bülow-Gymnasiums das Fraunhofer IZM und erhielten einen Einblick in die Welt der Mikroelektronik. Die Mädchen durften die Labore des Fraunhofer IZM besichtigen und erfuhren, wie für ein elektronisches Gerät neue Bestandteile oder Funktionen entwickelt werden und ein Smartphone trotz Frost und Sommersonne – oder wenn es einmal aus Versehen herunterfällt – zuverlässig funktioniert. Außerdem konnten sich die Schülerinnen das Innenleben eines Handys anschauen und Näheres über seine einzelnen Bestandteile lernen. Sie sahen den Wissenschaftler/innen jedoch nicht nur über die Schulter, sondern legten auch selbst Hand an. In einem Wettbewerb durften sie ihre wissenschaftlichen Fähigkeiten unter Beweis stellen: Es galt, mit wenig Material eine so genannte »Eierflugmaschine« zu basteln, mit der ein rohes Ei einen Fall aus vier Metern Höhe schadlos überstehen kann. Der Girls' Day ist fester Bestandteil der Nachwuchsförderung am Fraunhofer IZM und fand 2018 bereits zum 15. Mal in Folge statt.

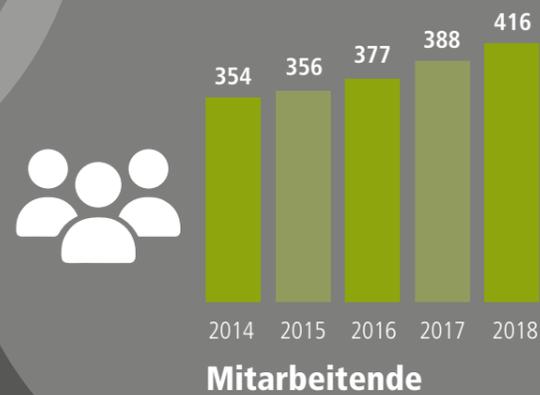
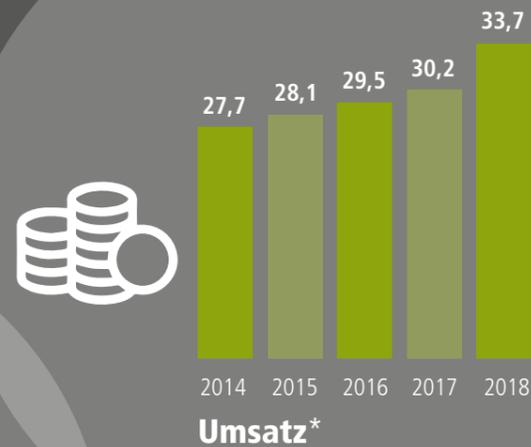
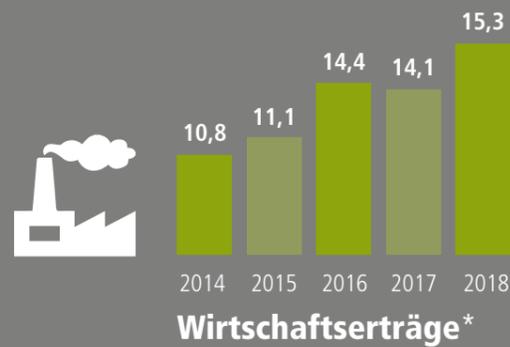
1 Eine Delegation des britischen Finanzministeriums zu Besuch am Fraunhofer IZM

2 Eine Schülerin erklärt ihr Konzept der »Eierflugmaschine«. Ob das rohe Ei den Sturz aus vier Metern Höhe unbeschadet überstanden hat, ist leider nicht überliefert

FACTS & FIGURES



2014–2018 auf einen Blick



* in Mio. Euro

DAS FRAUNHOFER IZM IN FAKTEN UND ZAHLEN

Finanzielle Situation

2018 war für das Fraunhofer IZM ein erfolgreiches Jahr. Die Erträge von deutschen und internationalen Industrieunternehmen sowie Wirtschaftsverbänden stiegen im Vergleich zum Vorjahr um 11,6 Prozent auf 15,3 Millionen Euro. Das Fraunhofer IZM deckte so 45,4 Prozent seiner Kosten durch direkte Aufträge aus der Wirtschaft. Das Volumen der öffentlichen geförderten Projekte konnte gegenüber dem Vorjahr mit einem Projektvolumen von 12,6 Millionen Euro um 12,5 Prozent gesteigert werden.

Mit 33,7 Millionen Euro stieg der Umsatz des Fraunhofer IZM um 11,6 Prozent. Das Institut deckte im Jahr 2018 83,6 Prozent seines Betriebshaushalts durch eingeworbene externe Erträge. Insgesamt wurden Projekte in Höhe von 27,9 Millionen Euro extern finanziert.

Geräteinvestitionen

Für laufende Ersatz- und Erneuerungsinvestitionen wurden 2018 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 2,1 Millionen Euro wurden verwendet, um verschiedene kleinere Baumaßnahmen durchzuführen. Hierbei wurden Detailverbesserungen und Anpassungen vorgenommen, um die Leistungsfähigkeit des Instituts zu erhöhen und neue Anforderungen der Arbeitssicherheit umzusetzen. Der Aufbau der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) schreitet voran. Für weitere 17,7 Millionen Euro wurden im Jahr 2018 Geräte und Anlagen beschafft. Diese Maßnahme wird im Rahmen einer Förderung durch das BMBF realisiert.

Personalentwicklung

Der Ausbau des Leistungsangebots spiegelt sich in der Personalentwicklung wider. An den IZM-Standorten Berlin und Dresden/Moritzburg wurden 260 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, das sind 27 mehr als 2017. Das Fraunhofer IZM bietet Studentinnen und Studenten die Möglichkeit, ihr Studium mit praktischer wissenschaftlicher Arbeit am Institut zu verbinden. Zum Jahresende 2018 wurden 147 Praktikanten, Bacheloranden, Masteranden und studentische Hilfskräfte am Institut betreut und 9 Auszubildende als Mikrotechnologen und Kauffrau/Kaufmann für Büromanagement ausgebildet.

Das Fraunhofer IZM 2018

Umsatz	33,7 Millionen Euro
Externe Erträge	27,9 Millionen Euro (entspricht 83,6 Prozent)
Standorte	Berlin und Dresden/Moritzburg
Laborfläche	> 8.000 m ³
Mitarbeitende	416 (davon 147 Studierende, Diplomanden, Praktikanten und 9 Azubis)



AUSZEICHNUNGEN

Institutsleiter Klaus-Dieter Lang ist IEEE Fellow

Zum Jahresbeginn 2018 wurde Prof. Klaus-Dieter Lang vom Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mit dem Fellow Grade ausgezeichnet. Damit würdigt die größte Ingenieursvereinigung der Welt Professor Langs langjährige führende und herausragende Leistungen im Packaging und der heterogenen Integration von Mikroelektronik. Prof. Lang, der von 2008–2014 das deutsche Chapter einer IEEE-Fachgesellschaft – der jetzigen Electronics Packaging Society (EPS) – leitete, treibt durch fachliche Beiträge und internationale Vernetzungsaktivitäten die erfolgreiche Entwicklung der IEEE maßgeblich voran. Der Fellow Grade der IEEE wird seit über hundert Jahren vom Board of Directors vergeben. Lediglich 0,1 Prozent aller Mitglieder weltweit kommen pro Jahr in den Genuss einer solchen Auszeichnung.

Fraunhofer IZM zum »Innovator des Jahres« gekürt

Die Leser der DESIGN & ELEKTRONIK haben das Fraunhofer IZM in der Kategorie »Chipfertigung« zum »Innovator des Jahres« gekürt. Der Wettbewerb, der die »Stars hinter den Produkten« sichtbar machen möchte, würdigte besonders die Entwicklung einer Chipkühlung durch das Fraunhofer IZM im Rahmen des EU-Projekts CarriCool. Der Preis wurde M. Jürgen Wolf und Dr. Hermann Oppermann am 25. Oktober in München überreicht.

IHK-Forschungstransferpreis für flexible Leiterplatte

Dr. Thomas Löher wurde mit seinem Team für die Entwicklung einer elastischen Leiterplatte mit dem IHK-Forschungstransferpreis ausgezeichnet. Der Preis ist mit 10.000 Euro dotiert. Das Projekt »TWINflex-Stretch« wurde in Kooperation mit der Würth Elektronik GmbH & Co. KG durchgeführt und hatte

zum Ziel, eine flexible elektronische Leiterplatte zu entwickeln und in Serie produzieren zu können. Das Fraunhofer IZM war dabei für die Technik zuständig, während Würth Elektronik sich mit den industriellen Produktionsprozessen beschäftigte. Verwendung findet die flexible Leiterplatte u. a. bei der Integration von Elektronik in Textilien oder in der Medizintechnik. Als Brustkorb-Messgürtel für Säuglinge ist die flexible Leiterplatte bereits auf dem Markt.

Nachwuchsforscher-Preis für Felix Fischer

Erstmals wurde 2018 auf der EBL-Fachtagung in Fellbach ein Nachwuchsforscher-Preis vergeben. Felix Fischer, studentischer Mitarbeiter am Fraunhofer IZM, setzte sich im Finale gegen fünf Konkurrenten durch mit einer Präsentation seiner Masterarbeit, in der er das Alterungsverhalten von Aluminium-Drahtbondverbindungen auf einem neuartigen Nickel-Gold-Schichtsystem (ENIG) auf Leiterplatten untersucht. Die Auszeichnung wurde ihm überreicht von Prof. Mathias Nowotnick von der Universität Rostock.

Fraunhofer IZM ist das »Research Institute of the Year«

Das Fraunhofer IZM freut sich sehr über den 1. Platz in der Kategorie »Research Institute of the Year« beim 3DInCites Award 2018. Die 3DInCites Awards werden alljährlich in unterschiedlichen Kategorien an Einzelpersonen oder Institutionen vergeben für herausragende Beiträge zur Hetero-Systemintegration von Halbleitern, z. B. in den Bereichen 3D Packaging und Fan-out Wafer-Level Packaging. Die IZM-Forscherinnen und -Forscher sind auf die Auszeichnung in der wichtigen Kategorie »Forschungsinstitut des Jahres« ganz besonders stolz, da diese von der »Packaging-Community« vergeben wird und so die Anerkennung ihrer Arbeit durch Packaging-Experten aus aller Welt reflektiert.

»Best Paper of Session«-Auszeichnung für Beitrag zur Satellitenkommunikation

Dr. Ivan Ndip, Christian Tschoban und Prof. Klaus-Dieter Lang vom Fraunhofer IZM sind die stolzen Empfänger der »Best Paper of Session«-Auszeichnung auf dem 51. International Symposium on Microelectronics in Pasadena. Ihr Beitrag »Systematisches Design für Ka-Band-Sendermodule mithilfe des M3-Ansatzes« ist ein Ergebnis des AVISAT-Projekts zur Satellitenkommunikation (SATCOM). In diesem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten und von Dr. Ivan Ndip am Fraunhofer IZM geleiteten Projekt wenden die Forscher des Instituts ihren bewährten M3-Ansatz für die systematische Entwicklung, Konstruktion, Prüfung und Optimierung miniaturisierter Hochleistungssender und -empfänger auf K/Ka- und Q/V-Frequenzen an. Im AVISAT-Projekt arbeitet das Fraunhofer IZM mit den Industriepartnern IMST GmbH und HISATEC GmbH zusammen.

Dr. Henning Schröder erhielt den Fraunhofer IZM-Forschungspreis 2018

Im Rahmen der 25-Jahr-Feier des Fraunhofer IZM wurde Dr. Henning Schröder am 27. November 2018 mit dem Forschungspreis geehrt. Der Physiker hat Prozesse aus der integrierten Optik auf Dünnglas adaptiert. Mit seiner einzigartigen Dünnglas-Technologie können optische Leiterzüge nun sogar direkt an den Chip kontaktiert werden. Damit wird eine sehr schnelle optische Übertragung von Signalen auch auf der Leiterplatte möglich. Mit Dünnglas hat Dr. Henning Schröder genau auf das richtige Material gesetzt, denn es bietet zahlreiche Vorteile gegenüber Polymeren, die heutzutage ebenfalls genutzt werden, um optische Leiterzüge in die Leiterplatte zu verlegen. Ob für Leiterplatten, photonische Module, Faserkopplung oder mikrooptische Bänke – in allen Bereichen wendet Dr. Henning Schröders Team die Dünnglas-Technologie an und entwickelt sie nun schon seit 15 Jahren stetig weiter.

»Best Academic Paper Award« für Kai Zoschke

Das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) hat Kai Zoschkes Beitrag zum Thema »Full Wafer Redistribution and Wafer Embedding as Key Technologies for a Multi-Scale Neuro-morphic Hardware Cluster« im Rahmen der Electronics Packaging Technology Conference 2017 (EPTC 2017) mit einem Best Academic Paper Award gewürdigt. In dem Paper geht es um Technologieentwicklungen zur hochdichten Verdrahtung von Chips auf Halbleiterwafern und die Integration solcher Wafer in großformatige Leiterplatten. Die Technologien werden im »Human Brain Projekt« zum Aufbau eines Rechners mit hochintegrierten Schaltungen verwendet, die auf neuronalen Modellen beruhen. Die Verleihung des Preises fand im Dezember auf der EPTC 2018 in Singapur statt.

1 Dr. Thomas Löher (3. v. r.) wird mit dem IHK-Forschungstransferpreis ausgezeichnet

2 Frank Riemenschneider, Chefredakteur von DESIGN & ELEKTRONIK (links), überreicht M. Jürgen Wolf vom Fraunhofer IZM die Auszeichnung »Innovator des Jahres«

3 Institutsleiter Prof. Klaus-Dieter Lang mit dem diesjährigen IZM Forschungspreisträger Dr. Henning Schröder und dem Vorsitzenden des Preiskomitees, Prof. Martin Schneider-Ramelow

BEST PAPER, EDITORIALS, DISSERTATIONEN

Weitere Best Paper

IWLPC 2017: »Best of Conference Paper« und »Best of 3D Track Paper« für Wolfram Steller

»Dual Side Chip Cooling Realized by Microfluidic Interposer Processing on 300mm Wafer Diameter«
Wolfram Steller, Frank Windrich, Philipp Heilfort, Jessica Kleff, Raúl Mrožko, Jürgen Keller, Thomas Brunswiler, Gerd Schlottig, Hermann Oppermann, M. Jürgen Wolf und Klaus-Dieter Lang

Smart System Integration 2018: Best Poster Award für Lena Goullon

»Die Attach for High Power VCSEL Array Systems«
Lena Goullon, Constanze Weber, Matthias Hutter, Martin Schneider-Ramelow

Editorials

PLUS Journal (Eugen G. Leuze Verlag)

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

International Journal of Microelectronics and Electronic Packaging

Ndip, I. (Associate Editor)

Dissertationen

Brückner, John

»Elastizitätsmodul und Bruchfestigkeit von Poly-Silizium-Membranen kommerzieller MEMS-Mikrofone«

Brincker, Mads

»Reliability of Metal Films and Interfaces in Power Electronic Devices«

Kaya, Burcu

»Concept Development and Implementation of the Online Monitoring Methods in Transfer Molding Process for Electronic Packages«

Mukhopadhyay, Biswajit

»Realisierung eines piezo-resistiven Niederdruck-Sensors in der SOI-Technologie zum Einsatz in Hochtemperatur- und aggressiver Umgebung«

Windrich, Frank

»Charakterisierung der thermischen Reaktionen von Dünnschicht-Polymeren bei der Anwendung für das Microelectronic Packaging«

Publication Highlights



Töpfer, Michael; Ostmann, Andreas; Braun, Tanja; Lang, Klaus-Dieter

History of Embedded and Fan-Out Packaging Technology, in: Advances in Embedded and Fan-Out Wafer Level Packaging Technologies (2019), ISBN- 978-1-119-31413-4, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, S. 1-38

VORLESUNGEN

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Dr. G. Engelmann

- Aufbau- und Verbindungstechnik/Heterogene Mikrosysteme

Dr. H. Walter

- Werkstoffe der Mikrosystemtechnik

Technische Universität Berlin

Dr. B. Curran

- Design, Simulation and Reliability of Microsystems

Dr. R. Hahn

- Miniaturisierte Energieversorgung/ Harvesting

Dr. J. Jaeschke, Dr. O. Wittler

- Zuverlässigkeit von Mikrosystemen

Prof. Dr. K.-D. Lang

- Aufbau multifunktionaler Systeme
- Aufbautechnologien für Mikroelektronik und -systemtechnik

Dr. Dr. I. Ndip

- EMV in elektronischen Systemen

Prof. Dr. H.-D. Ngo

- Herstellungstechnologien von Halbleitersensoren

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

- Umweltgerechtes Design elektronischer Systeme

Prof. Dr. M. Schneider-Ramelow

- Fehlermechanismen und Schadensanalytik bei Hetero-Mikrosystemen
- Werkstoffe der Systemintegration

Dr. T. Tekin

- Antennen

Technische Universität Dresden

Jun.-Prof. Dr. I. Panchenko

- Micro-/ Nanomaterials and Reliability Aspects

Universität Aalborg

Prof. Dr. E. Hoene

- Design of Modern Power Semiconductors Components

KOOPERATION MIT UNIVERSITÄTEN (AUSWAHL)

Eine Auswahl weiterer universitärer Forschungspartner
AGH University of Science and Technology, Krakau, 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, Sydney, Australien
University of Utah, USA
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
BTU Cottbus-Senftenberg
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 große 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 90er Jahren eine der weltweit ersten wissenschaftlichen Einrichtungen auf dem Gebiet der Aufbau- und Verbindungstechnik. Mit Professor Klaus-Dieter Lang gibt es seit 2011 in guter Tradition eine gemeinsame Leitung vom Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik und dem Fraunhofer IZM. Beide Institutionen verfolgen mit der Smart System Integration das gleiche Ziel: Komponenten, die in unterschiedlichsten Technologien gefertigt sein können, auf oder in einem Trägersubstrat zu integrieren.

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. Die Professur ist angesiedelt am Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, IAVT.

KOOPERATION MIT DER INDUSTRIE (AUSWAHL)

AEconversion GmbH & Co. KG	Bad Sassendorf
AEMtec GmbH	Berlin
Ajinomoto Group	Tokio (J)
Amkor Technology, Inc.	Chandler, Arizona (USA)
AMO GmbH	St.Peter / Hart (A)
ams AG	Premstätten (A)
Apple Inc.	Cupertino, Austin (USA)
Asahi Glass Co., Ltd.	Tokio (J)
ASM Pacific Technology Ltd.	Singapur (SG)
AT&S AG	Leoben (A)
Atotech Deutschland GmbH	Berlin
AUDI AG	Ingolstadt
Baker Hughes INTEQ GmbH	Celle
BMW AG	München
BrewerScience	Rolla (USA)
Broadcom Ltd.	Regensburg
Bundesdruckerei GmbH	Berlin
Continental AG	Regensburg
Daimler AG	Stuttgart
Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY	Hamburg
DISCO Corporation	J
DResearch Digital Media Systems GmbH	Berlin
Ericsson	Stockholm (SE)
EV Group (EVG)	St. Florian a.I. (A)
Evatec AG	Trübbach (CH)
Finisar Cooperation	D, USA
First Sensor AG Berlin	Berlin, Dresden
Fujifilm Electronic Materials	EU, USA
Fujitsu Technology GmbH	Augsburg
GLOBALFOUNDRIES INC.	Dresden
HELLA GmbH & Co. KGaA	Lippstadt
Hitachi Chemical Company, Ltd.	Tokio (J)
Hitachi Metals Europe GmbH	Düsseldorf
Infineon Technologies AG	D

InnoSent GmbH	Donnersdorf
Intel Corporation	USA
Invensas	Santa Clara (USA)
Isola USA Corp.	Chandler (USA)
Jenoptik Power System	Jena
Johnson & Johnson	New Brunswick (USA)
Magneti Marelli	I
MED-EL GmbH	Innsbruck (A)
Meltex Inc.	Tokio (J)
Merck KGaA	Darmstadt
Mitsubishi Electric Corporation	J
Mitsui Chemicals Tohcello, Inc.	Tokio (J)
MITNETZ Strom mbH	Kabelsketal
Olympus Surgical Technologies Europe	Hamburg
Osram Opto Semiconductors GmbH	Regensburg, München
PANalytical B.V.	Almelo (NL)
Philips Technology GmbH	Aachen
Robert Bosch GmbH	Reutlingen, Stuttgart
Semsysco GmbH	Salzburg (A)
Sensitec GmbH	Lahnau
Shin-Etsu Chemical	Tokio (J)
Siemens AG, Siemens Healthcare	D
SPTS Technologies Ltd.	Newport (UK)
Süss MicroTec SE	Garching, München
Suzuki Corporation	J
Swissbit Germany AG	Berlin
TDK-EPCOS AG	München
TRUMPF Laser GmbH	Berlin
Unimicron Technology Corporation	Taoyuan (TW)
Valeo	Creteil (FR)
VINOTECH srls	Ceppaloni (I)
Volkswagen AG	Wolfsburg
Würth Elektronik GmbH & Co. KG	Niedernhall, Rot a.S.
ZF Friedrichshafen GmbH	Friedrichshafen

MITGLIEDSCHAFTEN (AUSWAHL)

AMA Fachverband Sensorik, Wissenschaftsrat	H. Pötter	Member
Cluster Optik Berlin/Brandenburg Photonik für Kommunikation und Sensorik	Dr. H. Schröder	Spokesman
Deep Tech Award Berlin	Prof. K.-D. Lang	Member
Deutsche Forschungsgemeinschaft	Prof. K.-D. Lang	Reviewer
Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS	Prof. K.-D. Lang	Executive 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
Heterogeneous Integration Roadmap (HIR)	R. Aschenbrenner	Chair Technical Working Group SiP
IEEE Electronics Packaging Society Technical Committees: Green Electronics Photonics - Communication, Sensing, Lighting IEEE CPMT German Chapter IEEE EPS TC Material & Processes	R. Aschenbrenner/Prof. K.-D. Lang Dr. N. F. Nissen Dr. T. Tekin R. Aschenbrenner Dr. T. Braun	Fellow Technical Chair Technical Co-Chair Chair Member
IMAPS International Microelectronics Assembly and Packaging Society IMAPS Europe/IMAPS Deutschland IMAPS Signal/Power Integrity Committee IMAPS Executive Council	Prof. M. Schneider-Ramelow Dr. I. Ndip Dr. I. Ndip	Past President/President Chair Director
IVAM Fachgruppe Wearables	E. Jung	Technical Chair
MikroSystemTechnik Kongress 2019	Prof. K.-D. Lang	General Chair 2019
OpTec Berlin Brandenburg e.V.	Prof. K.-D. Lang	Executive Board
Organic Electronics Saxony (OES)	K. Zoschke, Erik 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
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)

Arnold, P.; Tschoban, C.; Heuer, K.; Rochlitzer, R.; Thünen, T.; Lang, K.-D.

Multi Sensor Node for Long-Term Wireless Measurement of Density, pH Value and Temperature in Silage for Bio Gas

Sensoren und Messsysteme – 19. ITG/GMA-Fachtagung, Juni 2018, Nürnberg

Bönisch, S.; Hoffmann, S.; Hoene, E.; Schmidhuber, M.

Characterization of Ferrite Core Properties for FM-Band Filtering in Automotive Applications

Proceedings of CIPS 2018, März 2018, Stuttgart, S. 500-505

Braun, T.; Becker, K.-F.; Hölck, O.; Kahle, R.; Wöhrmann, M.; Böttcher, L.; Töpfer, M.; Stobbe, L.; Aschenbrenner, R.; Voges, S.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

Panel Level Packaging - A View Along The Process Chain

Proceedings of ECTC 2018, Mai/Juni 2018, San Diego, CA, USA

Brunschwiler, T.; Steller, W.; Oppermann, H.; Kleff, J.; Robertson, S.; Mroßko, R.; Keller, J.; Schlottig, G.

Dual-Side Heat Removal by Silicon Cold Plate and Interposer With Embedded Fluid Channels

Proceedings of ITherm 2018, Mai/ Juni 2018, San Diego, CA, USA, S. 331-338

Curran, B.; Reyes, J.; Tschoban, C.; Höfer, J.; Grams, A.; Wüst, F.; Ndip, I.; Lang, K.-D.

Development and Validation of a Chip Integration Concept for Multi-Die GaAs Front Ends for Phased Arrays up to 60 GHz

IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 8, Nr. 7, Juli 2018, S. 1231-1240.

Emmerich, J.; Binnemans, P.; Chancerel, P.; Chanson, C.

What the Urban Mine Teaches us on Waste Batteries Availability and Closing of Material Loops

23rd International Congress for Battery Recycling 2018, September 2018, Berlin

Engin, A. E.; Ndip, I.; Lang, K.-D.; Aguirre, G.

Nonoverlapping Power/Ground Planes for Suppression of Power Plane Noise

IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 8, Nr. 11, 2018, S. 50-56

Greco, G.; Tatchev, D.; Hoell, A.; Knunney, M.; Raoux, S.; Hahn, R.; Elia, G. A.

Influence of the Electrode Nano/Microstructure on the Electrochemical Properties of Graphite in Aluminum Batteries

Journal of Materials Chemistry A, Oktober 2018, DOI: 10.1039/c8ta08319c

Hackbart, R.; Kostelnik, J.; Kuschan, J.; Schmidt, H.; Krüger, J.; Vieroth, R.; Lang, K.-D.

SmartSensX – Ein Konzept für vernetzte tragbare Sensoren zur Anwendung in der Softrobotik und Mensch Maschine Interaktion

»Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen«, Dezember 2018, Hamburg, S. 289-296

Hahn, R.; Ferch, M.; Kyremateng, N. A.; Höppner, K.; Marquardt, K.; Elia, G. A.

Characteristics of Li-ion Micro Batteries Fully Batch Fabricated by Micro-Fluidic MEMS Packaging

Springer Nature Microsystem Technologies (2018), doi.org/10.1007/s00542-018-3933-z

Kallmayer, C.; Schaller, F.; Löher, T.; Haberland, J.; Kayatz, F.; Schult, A.

Optimized Thermoforming Process for Conformable Electronics

13th Congress MID 2018, September 2018, Würzburg

Kolbinger, E.; Wagner, S.; Gollhardt, A.; Rämmer, O.; Lang, K.-D.

Corrosion Behaviour of Sintered Silver under Maritime Environmental Conditions

Microelectronics Reliability (2018), Vol. 88-90, S. 715-720

PUBLIKATIONEN (AUSWAHL)

Kuttler, S.; Walter, H.; Grams, A.; Schneider-Ramelow, M.; Huber, S.

Determination of Stress-Strain Properties Combining Small-Depth Nanoindentation and Numerical Simulation
Proceedings of ESTC 2018, September 2018, Dresden

Leverenz, E.; Becker, K.-F.; Koch, M.; Straube, S.; Pötter, H.; Lang, K.-D.

Energy Autarkic Wireless Sensor Node for Reliable Long-Term Exposure to Domestic Waste Water in a Sewage System

Sensoren und Messsysteme – 19. ITG/GMA-Fachtagung, Juni 2018, Nürnberg

Maaß, U.; Hefer, J.; Brockmann, C.; Reinhardt, D.; Lang, K.-D.

CoDesign for the Integration of Energy Harvesters and Antennas for Highly Integrated CPS

Proceedings of Smart System Integration 2018, April 2018, Dresden

Mackowiak, P.; Abdallah, R.; Wilke, M.; Patel, J.; Ashraf, H.; Buchanan, K.; Lang, K.-D.; Schneider-Ramelow, M.; Ngo, H.-D.

Electrical Characterization of Low Temperature PECVD Oxides for TSV Applications

Proceedings of IMAPS 2018, Oktober 2018, Pasadena, CA, USA

Manier, C.-A.; Klein, K.; Wuest, F.; Gernhardt, R.; Oppermann, H.; Cussac, P.; Andzouana, S.; Mitova, R.; Lang, K.-D.

Wafer Level Embedding Technology for Packaging of Planar GaN Half-Bridge Module in High Power Density Conversion Applications

Proceedings of PCIM Europe 2018, Juni 2018, Nürnberg, S. 951-958

Ndip, I.; Lang, K.-D.

Roles and Requirements of Electronic Packaging in 5G

7th IEEE Electronics System-Integration Technology Conference, September 2018, Dresden

Ndip, I.; Lang, K.-D.; Reichl, H.; Henko, H.

On the Radiation Characteristics of Full Loop, Half-Loop and Quasi Half-Loop Bond Wire Antennas

IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 66, Nr. 11, 2018, S. 5672-5688

Ngo, H. D.; Ehrmann, O.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

Piezoresistive Pressure Sensors for Applications in Harsh Environments – A Roadmap

Modern Sensing Technologies (2018), ISBN 978-3-319-99539-7, Springer International Publishing, S. 231-251

Ngo, H. D.; Hoang, T. H.; Bäuscher, M.; Mackowiak, P.; Grabbert, N.; Weiland, T.; Ehrmann, O.; Lang, K.-D.; Schneider-Ramelow, M.; Grudno, J.

A Novel Low-Cost Wireless Incontinence Sensor System (Screen-Printed Flexible Sensor System) For Wireless Urine Detection in Incontinence Materials

Proceedings of EuroSensors 2018, September 2018, Graz, Österreich

Ngo, H. D.; Mackowiak, P.; Ehrmann, O.; Lang, K.-D.

Silicon Micro Piezoresistive Pressure Sensors

Physical Sensors, Sensor Networks and Remote Sensing (2018), ISBN 978-8-409-03028-6, IFSA Publishing, Barcelona, Spanien, S. 161-184

Proske, M.; Schischke, K.; Nissen, N. F.; Lang, K.-D.

Modular Electronics – Accessories as Bridging Technology?

Going Green Care Innovation 2018, Nov. 2018, Wien, Österreich

Reinecke, P.; Putze, M.-T.; Georgi, L.; Kahle, R.; Kaiser, D.; Hüger, D.; Livshits, P.; Weidenmüller, J.; Weimann, T.; Turchanin, A.; Braun, T.; Becker, K.-F.; Schneider-Ramelow, M.; Lang, K.-D.

Scalable Hybrid Microelectronic-Microfluidic Integration of Highly Sensitive Biosensors

Proceedings of the 51st IMAPS International Symposium on Microelectronics, Oktober 2018, Pasadena, CA, USA

Sanchez, D.; Schischke, K.; Nissen, N. F.; Lang, K.-D.

Technology Assessment of Wireless Charging Using Life Cycle Tools

Going Green Care Innovation 2018, Nov. 2018, Wien, Österreich

Schröder, B.; Stube, B.; Mullins, T.

3D Entwurfswerkzeuge zur Planung und Integration miniaturisierter Funksensorik in beliebig geformten Bauräumen

Proceedings of EBL 2018, Februar 2018, Fellbach

Steller, W.; Windrich, F.; Bremner, D.; Robertson, S.; MroBko, R.; Keller, J.; Brunschwiler, T.; Schlottig, G.; Oppermann, H.; Wolf, M.-J.; Lang, K.-D.

Microfluidic Interposer for High Performance Fluidic Chip Cooling

Proceedings of ESTC 2018, September 2018, Dresden

Tecchio, P.; Ardente, F.; Marwede, M.; Clemm, C.; Dimitrova, G.; Mathieux, F.

Ecodesign of Personal Computers: An Analysis of the Potentials of Material Efficiency Options

Proceedings of CIRP 2018, August 2018, Tokyo, Japan, S. 716-721

Thomas, T.; Hoffmann, S.; Becker, Walter, H.; Bader, V.; Braun, T.; Hoene, E.; Schneider-Ramelow, M.

Ferrite Embedding for Power SiPs – a Packaging View

Proceedings of CIPS 2018, März 2018, Stuttgart, S. 116-121

Tschoban, C.; Ndip, I.; Lang, K.-D.

Ka-band SATCOM Receiver Modules: System Design, Analysis and Test Using the M3-Approach

IEEE 20th Electronics Packaging Technology Conference, Dezember 2018, Singapur, Singapur

Walter, H.; Grams, A.; Seckel, M.; Loher, T.; Wittler, O.; Lang, K.D.

Determination of Relevant Material Behavior for Use in Stretchable Electronics

Proceedings of EuroSimE, April 2018, Toulouse, Frankreich, S. 1-5

Windrich, F.; Malanin, M.; Bittrich, E.; Schwarz, A.; Eichhorn, K.; Voit, B.

In-Situ Characterization of Thin Polyimide Films Used for Microelectronic Packaging

Proceedings of ESTC 2018, September 2018, Dresden, S. 1-6

Wöhrmann, M.; Braun, T.; Töpfer, M.; Lang, K.-D.

Ultra-Thin 50 µm Fan-Out Wafer Level Package: Development of an Innovative Assembly and De-Bonding Concept

Proceedings of ECTC 2018, Mai/ Juni 2018, San Diego, CA, USA

Wolf, M. J.; Steller W.; Lang, K.-D.

Packaging Meets Heterogeneous Integration Driving Direction for Advanced System in Packages

Pan Pacific Microelectronics Symposium 2018, Februar 2018, Waimea, HI, USA

Wüst, F.; Trampert, S.; Janzen, S.; Straube, S.; Schneider-Ramelow, M.

Comparison of Temperature Sensitive Electrical Parameter Based Methods for Junction Temperature Determination During Accelerated Aging of Power Electronics

Microelectronics Reliability (2018), Vol. 88-90, S. 534-539

Zoschke, K.; Oppermann, H.; Paul, J.; Knoll, H.; Braun, F.-J.; Saumer, M.; Theis, M.; Frank, P.; Lenkl, A.; Klose, F.

Development of a High-Resolution Magnetic Field Position Sensor System Based on a Through Silicon via First Integration Concept

Proceedings of ECTC 2018, Mai/ Juni 2018, San Diego, CA, USA

Zoschke, K.; Eichhammer, Y.; Oppermann, H.; Manier, C.-A.; v. Dijk, M.; Weber, C.; Hutter, M.

Hermetic Wafer Level Packaging of LED Modules with Phosphor Ceramic Converter for White Light Applications based on TSV Technology.

Proceedings of ESTC 2018, September 2018, Dresden

PATENTE & ERFINDUNGEN

Arndt-Staufenbiel, Norbert; Brusberg, Lars; Schröder, Henning
Mikrofluidisches System und Herstellungsverfahren für ein mikrofluidisches System
DE 50 2011 014 845.3; EP 2 593 231 B1

Arndt-Staufenbiel, Norbert; Böttger, Gunnar; Marx, Sebastian; Schröder, Henning
Trägersystem für Funktionselemente der Mikrotechnik
DE 50 2015 003 913.2; EP 3 043 197

Becker, Karl-Friedrich; Jung, Erik; Wunderle, Bernhard
Stressarme Verbindungstechnik für sensible mikroelektronische Bauteile
DE 10 2007 010 711 B4

Brusberg, Lars; Schröder, Henning
Steckbare Faserkoppereinheit, Faserkoppelsystem und Verfahren zur Ankopplung von optischen Fasern an integrierte optische Wellenleiter
DE 10 2015 224 397 A1; US 9,983,360 B2

Curran, Brian; Großer, Volker; Huhn, Max; Lang, Klaus-Dieter; Ndip, Ivan
Antennenmessplatz
DE 10 2016 218 891 A1; US 10,151,783 B2

Ehrmann, Oswin; Fritzsich, Thomas; Oppermann, Hermann; Wilke, Martin; Wöhrmann, Markus; Zoschke, Kai
Methode zur Herstellung kleiner Metallstrukturen zur elektrischen Verbindung von Bauelementen
US 10,074,608

Goillon, Lena; Oppermann, Hermann; Zoschke, Kai
Verfahren zur Anordnung von elektronischen Schaltelementen, elektronische Schaltanordnung und Verwendung eines Klebeschichtträgers
US 9,917,070

Hahn, Robert; Krumbholz, Steffen; Wagner, Stefan; Weiland, Matthias
Brennstoffzelle und Brennstoffzellenstapel
DE 50 2011 013 926.8; EP 2 580 798

Hahn, Robert; Krebs, Martin; Schmalz, Michael
Große H2-Zelle mit innenliegenden Kathoden in Form von Taschen
DE 50 2012 012 174.4; EP 2 692 903

Hahn, Robert
Mikrobatterie und Verfahren zum Herstellen einer Mikrobatterie
DE 50 2015 005 020.9; EP 3 143 661 B1

Hefer, Jan; Rojahn, Johannes
Sensorsystem zum Überwachen eines Objekts
DE 50 2013 011 553.4; EP: 2 896 024 B1

Töpfer, Michael; Zoschke, Kai
Klebeverfahren zum Verbinden zweier Wafer
US 10,134,707 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 37 Technologiepolitik, Technologieförderung), Dresden

Dr. Tina Züchner
Bundesministerium für Bildung und Forschung,
Referat Elektronik und autonomes Fahren, Bonn

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT UND MIKROINTEGRATION IZM

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



Institutsleiter

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



Stellvertretender Institutsleiter

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



Stellvertretender Institutsleiter

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



Leitungsassistentz

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



Leitung Administration

Dipl.-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: Dipl.-Phys. Oswin Ehrmann
Telefon +49 30 46403-124
oswin.ehrmann@izm.fraunhofer.de



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



Systemintegration und Verbindungstechnologien

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



Leitung: Dr.-Ing. Olaf Wittler
Telefon +49 30 46403-240
olaf.wittler@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)

Ringstr. 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: Dipl.-Phys. Oswin Ehrmann
Telefon +49 30 46403-124
oswin.ehrmann@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

MARKETING & GESCHÄFTSFELDENTWICKLUNG



Leitung: Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Dirk Friebe
Telefon +49 30 46403-278
dirk.friebe@izm.fraunhofer.de



Business Development Team

Dr. rer. nat. Michael Töpper
Telefon +49 30 46403-603
michael.toepper@izm.fraunhofer.de



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



Dr.-Ing. Andreas Middendorf
Telefon +49 30 46403-135
andreas.middendorf@izm.fraunhofer.de



PR & Marketing

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

IMPRESSUM

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Lang
Fraunhofer IZM
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

© Fraunhofer IZM 2019

Fotografie:

Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik / Uwe Steinert, Berlin (28), WEKA Fachmedien GmbH,
DESIGN&ELEKTRONIK (34)

Sämtliche anderen Bildrechte Fraunhofer IZM oder Fraunhofer IZM zusammen mit
Janine Escher (5); istockphoto/Chesky_W (13, 14); istockphoto/ipopba (13, 16);
istockphoto/kali9 (13, 20); istockphoto/slavemotion (13, 22);
Volker Mai (Titel, 6, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 25, 32);
MIKA Berlin (8, 9, 10, 11, 26, 29, 35, 46, 47)

Titel:

Miniaturisierte, modulare und verkapselte Kamera zur Endoskopie, ausgerüstet mit integrierter
Bilderfassung und Speicherung, entwickelt im Projekt EndoTrace (s. Projektbeschreibung S. 17).