

Abteilung

---

System Integration &  
Interconnection Technologies

# Systemintegration und Verbindungstechnologien



*Hochminiaturisiertes Sensor- und Controller-Modul in Einbetttechnologie*

Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM arbeitet an der Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte für den Aufbau hochintegrierter elektronischer und photonischer Systeme. Durch seine anwendungsorientierte Forschung schlägt das Institut eine Brücke zwischen Anbietern mikroelektronischer Komponenten und Herstellern technischer Systeme zahlreicher Branchen, wie beispielsweise der Automobil-, Energie-, Industrie- oder Medizintechnik. Das Leistungsspektrum der Abteilung Systemintegration und Verbindungstechnologien (SIIT) mit ihren rund 170 Mitarbeiter\*innen reicht von der Beratung über Prozessentwicklungen bis hin zu technologischen Systemlösungen. Dabei stehen die Entwicklung von Prozessen und Materialien für Verbindungstechniken auf Board-, Modul- und Package-Ebene sowie die Integration elektrischer, optischer und leistungselektronischer Komponenten und Systeme im Vordergrund.

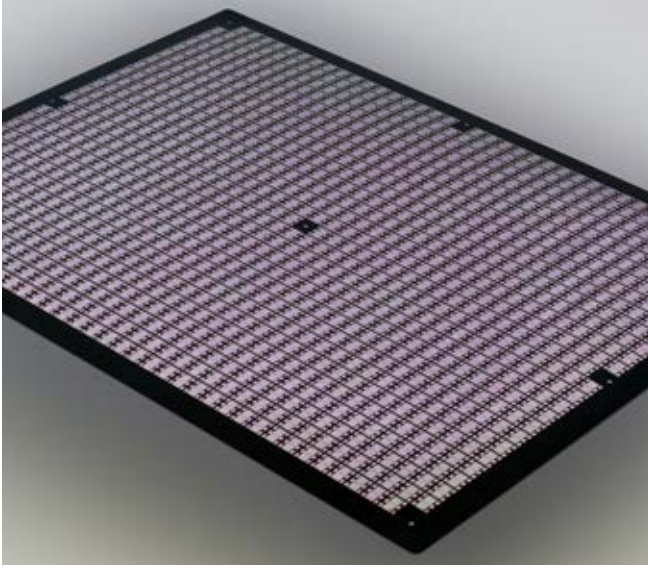
Wir unterstützen Unternehmen bei ihrer anwendungsorientierten vorwettbewerblichen Forschung und bei Prototypenentwicklung und Kleinserienfertigung. Unser Angebot beinhaltet Anwendungsberatung, Technologietransfer und praxisorientierte Weiterbildungen für Mitarbeiter\*innen.

Im Fokus steht die Verbindungs- und Verkapselungstechnik für das elektronische und photonische Packaging, z. B.:

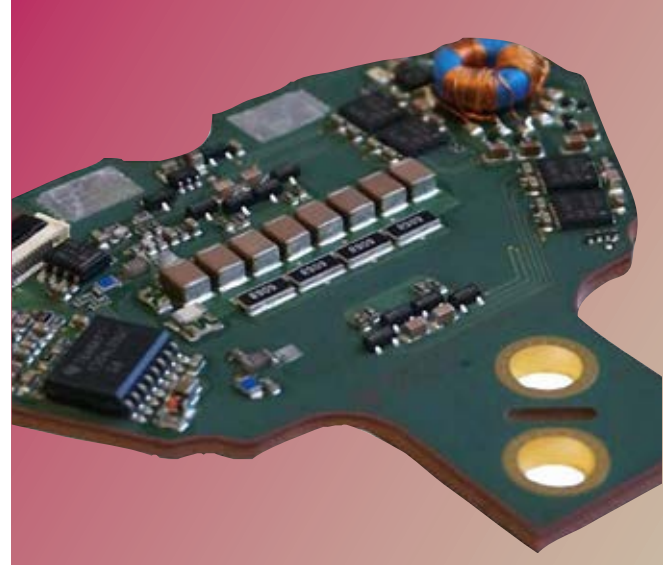
- SMD, CSP, BGA, POP und Bare-Die-Präzisionsbestückung
- Flip-Chip-Techniken (Löten, Sintern, Kleben, Thermokompression- und Thermosonic-Bonden)
- Die-Attach (Löten, Sintern und Kleben)
- Draht- und Bändchen-Bonden (Ball/Wedge, Wedge/Wedge, Dickdraht und Bändchen)
- Flip-Chip-Underfilling und COB-Glob-Topping
- Transfer- und Compression Molding
- Einbetten von Chips und Komponenten
- Leistungselektronik: elektrischer/elektromagnetischer/thermischer/thermomechanischer Entwurf, Bauteilauswahl, Prototypenfertigung
- Dünnglas- und Silizium-Photonik-Packaging
- Faserkopplung und optische Verbindung zu planaren Wellenleitern, Faserlinsen und Laserfügen

Ein besonderer Fokus unserer Arbeit liegt auf den Herausforderungen der Opto- und Leistungselektronik, den Anforderungen von Hochtemperatur- und Hochfrequenzanwendungen sowie der Nutzbarmachung von Höchstintegrationstechnologien für Anwendungen z. B. in der Medizintechnik. Wir arbeiten in hochmodernen Reinraum-, Technologie- und Zuverlässigkeitslabors, die für Prozess- und Analytikentwicklungen für eine Vielzahl von Technologien geeignet sind.

- Prozesslinie zur Substrat- und Panelfertigung bis  $610 \times 456 \text{ mm}^2$
- Laser-Direct-Imaging-System (bis  $4 \mu\text{m}$  L/S) für großflächige Lithografieprozesse
- Präzisions-Montagelinie zur vollautomatischen SMD, CoB, FC und großflächigen Chipbestückung für Embeddingprozesse
- Ausrüstung für Selektiv-, Plasma-, Dampfphasen- und Konvektionslöten
- Wafer- und Panel-Level-Verkapselung
- Transfer Molding für SiPs und großvolumige Leistungselektronik-Packages
- Labor zur Integration von Elektronik in Textilien
- Entwicklung von Glassubstraten: Laserstrukturierung, Ätzen und Glätten, Metallisierung, integrierte optische Wellenleiter, Mikrolinsen, Gitter, Resonatoren
- Fügetechnik: Design, optische Faserkopplung, Faserlinsen, automatisches optisches Mikroassembly
- Voll ausgestattetes Labor für elektrische Charakterisierung und Inbetriebnahme von Leistungselektronik
- Entwurfswerkzeuge für Leistungselektronik: elektrisch, elektromagnetisch, konstruktiv, thermische, mechanisch
- SSXPS, Röntgen CT, Ultraschallmikroskopie, FIB und REM
- Fein-Topographieanalyse von Oberflächen mittels taktiler, konfokal scannender und optischer Large-Area-Verfahren sowie Package-Verwölbung
- Materialanalyse: DSC, TMA, DMA, TGA, Rheometer, Dielektrische Analyse, Sorptionsanalyse
- Zuverlässigkeitstest wie TCT, HT, HAST, Drop, Vibration, ...



*Gemoldetes  
Fan-out PLP*



*Voll integriertes, in Leiterplatte eingebettetes,  
niederinduktives SiC Leistungsmodul*

## Panel Level Packaging

Zwei Trends prägen die aktuelle Entwicklung der Systemintegrationstechnologien. Der erste ist die fortschreitende funktionale Integration in Systeme – wie elektrische, optische, mechanische, biologische und chemische Prozesse – in Verbindung mit der Forderung nach höherer Zuverlässigkeit und längerer Lebensdauer der Systeme. Der Zweite ist die zunehmend nahtlose Verschmelzung von Produkten und Elektronik, die eine Anpassung der Elektronik an vordefinierte Materialien, Formen und Anwendungsumgebungen erforderlich macht.

Large Area Mold Embedding und die Einbettung aktiver Komponenten in Leiterplatten (Chip-in-Polymer) sind zwei wichtige Packagingtrends im Advanced Packaging. Beide Technologien sind Teil der Panel-Level-Packaging-Forschung am Fraunhofer IZM.

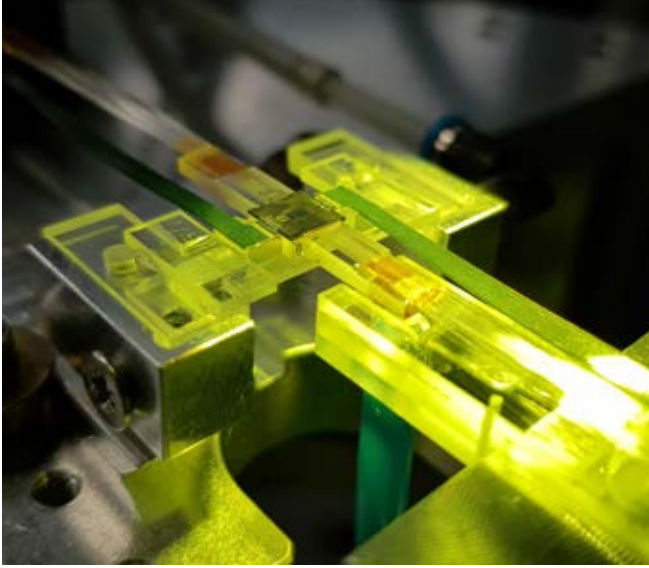
Mold Embedding mit seinen beiden Varianten Fan-out Wafer Level Packaging (FOWLP) mit Formfaktoren von 200/300 mm und Fan-out Panel Level Packaging (FOPLP) mit Größen um 610 x 457 mm<sup>2</sup> ist einer der heißesten Packaging-Trends in der Mikroelektronik. Mold Embedding ermöglicht die heterogene Integration, einschließlich Multiple-Die-Packaging, Integration passiver Komponenten im Gehäuse und RDL-Integration oder Package-on-Package-Ansätze. Beide FO-Technologien haben ein hohes Potenzial für eine erhebliche Miniaturisierung, sowohl in Bezug auf das Gehäusevolumen als auch auf die Dicke. Darüber hinaus kann die RDL-Lage auch eingebettete passive Komponenten (R, L, C) sowie Antennenstrukturen in einer Multilayer- oder sogar 3D-Struktur bieten. Sie kann für Multi-Chip-Gehäuse für System-in-Package (SiP) und heterogene Integration verwendet werden und adressiert damit die zentralen Herausforderungen des Advanced Packaging.

## Leistungs- elektronik

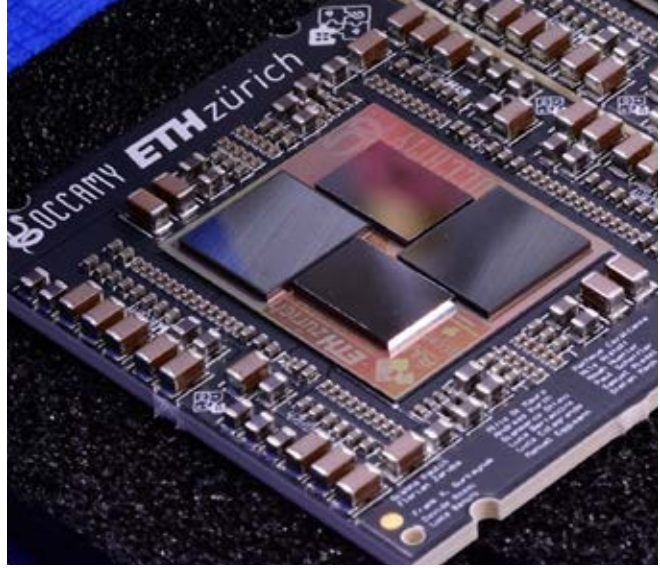
Leistungshalbleiter auf der Basis von Siliziumcarbid (SiC) oder Galliumnitrid (GaN) ermöglichen weit höhere Schaltgeschwindigkeiten als bisher erreichbar. Die Aufbau- und Verbindungstechnik, die bisher verwendet wurde, behindert aber die Nutzung dieser Möglichkeiten aufgrund ihrer parasitären elektromagnetischen Eigenschaften.

Am Fraunhofer IZM forschen wir daher seit vielen Jahren an neuen Lösungen für Leistungsmodule und leistungselektronische Schaltungen. Niederinduktive Module ermöglichen es, das volle Potenzial der Halbleiter zu nutzen, das Fraunhofer IZM ist der Vorreiter in diesem Gebiet. Verschiedene Technologien wie die Leiterplatten-Einbetttechnik auf keramischen Substraten wurden hier erstmalig demonstriert und finden jetzt ihren Weg in die Serienproduktion. Aufbauten in metallisierten Transfer-Mold-Technologien oder Compression Mold wurden vom Institut für die Leistungselektronik erschlossen und eröffnen neue Spielräume für die Ausführung von Leistungsmodulen.

Ziel dieser Forschung sind bessere leistungselektronische Geräte, die als weiteres Standbein am Fraunhofer IZM entwickelt werden. Anwendungen sind mehrheitlich netzgekoppelte Schaltungen, wie Antriebsumrichter, On Board Charger und DC/DC-Wandler. Besonders die Abstimmung von magnetischen Bauteilen mit Steuerverfahren und Schaltverlusten erweist sich dabei als eine Kernkompetenz für die Entwicklung und Evaluierung von Prototypen. Hier wird von der Topologieauswahl, Paretofront-Optimierung von Effizienz und Volumen bis zum thermischen und mechanischen Design, EMV und Programmierung die gesamte Bandbreite abgedeckt.



*Fasergekoppelter Quantenchip, der hochzuverlässig auf einer 3D Glasplattform aufgebaut wurde*



*KI-Chip mit High Bandwidth Memory montiert auf Si-Interposer und Trägerleiterplatte*

## Photonische Systeme

Photonische Integrationstechniken sind heute nicht nur im System und entsprechenden Modulen, sondern auch auf Chip- und Bordebene unverzichtbar. In der Daten- und Telekommunikation werden optische Technologien von steigenden Bandbreiten sowie der Forderung nach Energieeffizienz und Verbindungsdichte getrieben. Im Bereich Quantentechnologie wird hohe Koppel-effizienz bei geringen Temperaturen gefordert, während Lasermodule für die Materialbearbeitung höchste Leistung bei hoher Zuverlässigkeit erbringen müssen. Die optische Sensorik hingegen benötigt maximale Funktionalität auf kleinstem Bauraum unter ökonomischen Aspekten. Wir nutzen neue Lösungen des Photonic System-in-Package für hochintegrierte hybride Systeme aus PICs wie Siliziumphotonik, SiN oder Glas kombiniert mit Mikroelektronik.

Schlüsseltechnologien im Modul-Packaging sind:

- Chipmontage Optoelektronik: Flip-Chip, Selbstjustage, CTE-Anpassung
- Photonisches Modul-Packaging: Optisches Design, Faserlinsen, Laserfügen von Fasern, Faser-Chip-Kopplung, automatisiertes aktives/passives Alignment von Mikrooptiken und PIC, Siliziumphotonik, Photonic Wire Bonding
- Optical Backplane und EOCBs: Integrierte Lichtwellenleiter (Polymer und Ionenaustausch in Dünnglas)
- Sensoren: Biomedizinische Sensoren, Mikrofluidik, Faser-gyroskope, Integration von Mikroresonatoren und PIC
- Photonische und plasmonische Systeme: Design, Simulation, Charakterisierung
- Miniaturisierte Quantenpackages für NV-Zentren, Ionen- und Atomfallen und QPICS

## Packaging für Chiplets

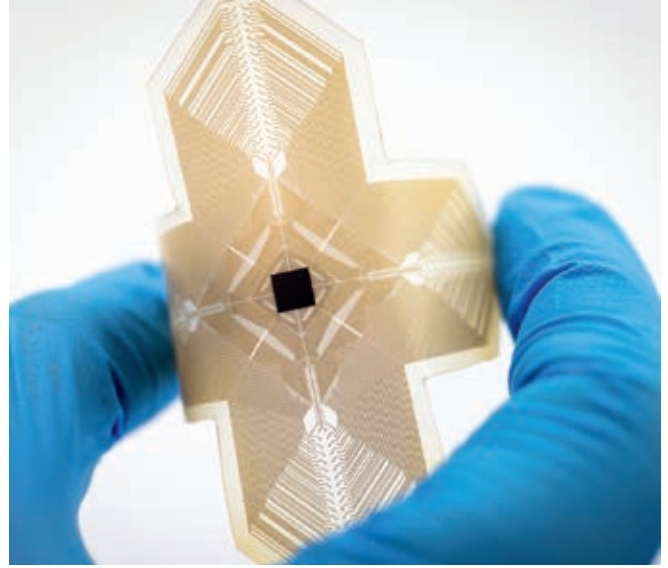
Mit Ansätzen wie Flip-Chip- und Fan-Out-Technologien oder Substrat-eingebetteten ICs hat das Advanced Packaging eine Schlüsselfunktion innerhalb der modernen Mikroelektronik. Industrie und Forschung haben auf diesen Trend mit der Einführung neuer Techniken und Architekturen wie Chiplets und heterogener Integration reagiert, die kosteneffiziente Hochleistungssysteme versprechen. Aktuell wird die Chiplet-Technologie als einer der wichtigsten Bausteine für künftige HPC-Systeme diskutiert. Die Vorteile der Chiplet-Technologie liegen in der Yield-Optimierung im Vergleich zu System-on-Chip-Systemen, in der Sicherheitsoptimierung dank verteilter Fertigung und auch in der Kosteneffizienz durch ein Systemdesign aus Chiplets aus den jeweils günstigsten Foundries.

Die aktuellen Forschungsarbeiten beinhalten die Realisierung von Feinstleitern auf organischen Schaltungsträgern (I/s von 2  $\mu\text{m}$ ) z. B. als Chiplet-Interposer, Montageprozesse für Fine-Pitch-Komponenten ( $\sim 100 \mu\text{m}$ ) auf organischen Schaltungsträgern, den Einsatz großflächiger Glassubstrate mit Polymer-Umverdrahtung als hochintegrierte Schaltungsträger, Verkapselungsprozesse zur Zuverlässigkeitsoptimierung (Underfilling/Molden) und, übergeordnet, die Erarbeitung von Design Rules hin zu Assembly Design Kits für die Chiplet Packaging-Prozesse.

Aufbauend auf dem existierenden Packaging-Know-how des Fraunhofer IZM werden unterschiedlichste Projekte zum Thema bearbeitet – beispielhaft sei hier das BMBF-finanzierte CeCaS-Projekt genannt, in dem u. a. mit Infineon und Tier1s Forschungsarbeiten zum Packaging von Central-Server-Chipletmodulen auf organischen Interposern durchgeführt werden. Forschungsschwerpunkte des Fraunhofer IZM sind Flip-Chip-Montageprozesse und Beiträge zum Digitalen Zwilling der Chiplet-Module.



*Textilintegrierte LED-Module  
(Second Skins design von Malou Beemer)*



*Ein flexibles, aktives Mikroimplantat zur  
Aufzeichnung und Stimulation vom Nervengewebe*

## E-Textilien

Elektronische Textilien, kurz E-Textiles, kombinieren elektronische Funktionalität mit Textilien. Als Resultat können u.a. Bekleidung, medizinische Geräte oder Oberflächen in Gebäuden und Fahrzeugen mit zusätzlichen, intelligenten Funktionen ausgestattet werden. Anwendungsbereiche für E-Textiles umfassen die Überwachung von Vitaldaten oder aktive Stimulation des Körpers durch Licht oder elektrische Impulse in Gesundheits- und Fitnessprodukten. E-Textiles können Bewegung aufzeichnen, die Körperhaltung prüfen und durch Sturzdetektion Verletzungen vermeiden. Integriert in Arbeitsbekleidung oder Uniformen ermöglichen E-Textiles es, tragbare Strom- und Datennetzwerke mit Sensorik, Auswerte-Einheiten, Endgeräten und Akkus ergonomisch und komfortabel zu verbinden. In smarten Gebäuden können E-textiles Temperatur, Luftfeuchte oder andere Umweltdaten überwachen.

Um deren volles Potential zu erreichen, forschen wir aktiv an Lösungen für technische Hürden bei E-Textiles. Eine maßgebliche Hürden ist die zuverlässige Integration elektronischer Komponenten oder Module in die textile Basis. Dies beinhaltet die Verbindung textiler Schaltungen – die über das Textil verteilte Bestandteile verbinden und Daten- und Stromübertragung ermöglichen – mit funktionalen Komponenten oder textiler Sensorik.

Je nach Anforderungen nutzen wir Technologien wie Stickern, Stricken, Drucken, Laminieren oder Bänder um solche textilen Schaltungen zu realisieren. Mittels Textilbond oder anderer Verfahren werden elektronische Module auf die textilen Leiter bestückt. Unsere umfangreiche Test- und Analytik-Ausstattung ermöglicht eine anschließende Technologie-Validierung. Unsere Beteiligung an Normierung und wissenschaftlichen Gremien ergänzt unsere FuE-Aktivitäten.

## Flexible, aktive neuronale Implantate

Aktive neuronale Schnittstellen sind intelligente, anpassbare Mikroimplantate, die gezielt das Nervensystems stimulieren und dessen Aktivität aufzeichnen. Die Mikroimplantate müssen sich der Anatomie der Zielstellen anpassen und den aggressiven Bedingungen im menschlichen Körper standhalten.

Wir entwerfen und fertigen aktive neuronale Schnittstellen, indem wir anwendungsspezifische Elektronik in flexible Mikrosysteme integrieren. Diese basieren häufig auf flexiblen biokompatiblen Materialien und sind für das zentrale oder periphere Nervensystem angepasst. Um diese Systeme nach ihrer Implantation zu versorgen, sind neue Ansätze für die drahtlose Energieübertragung erforderlich. Besonders interessant ist dabei der Einsatz von Ultraschall zur drahtlosen Energieübertragung und Kommunikation. Aktive Implantate müssen zuverlässig vor dem Körper geschützt werden. Dafür entwickeln wir innovative Lösungen auf Grundlage konformer Beschichtungen mit Polymeren und Dünnschichtkeramik.

Durch Spitzenforschung, innovatives Design und intensive Tests hat das Fraunhofer IZM auf dem Gebiet der neuronalen schon viel erreicht. Unser Ziel ist die Entwicklung sicherer, wirksamer und zuverlässiger Systeme, wobei wir stets versuchen, die Grenzen des Möglichen in diesem spannenden Bereich zu erweitern.

- Herstellung flexibler Elektroden für die neuronale Stimulation und Aufzeichnung
- Schutz aktiver implantierbarer Systeme auf der Grundlage weicher Materialien
- Prüfung und Charakterisierung neuronaler Implantate (inkl. beschleunigter Lebensdauerests)
- Drahtlose Energieübertragung und Kommunikation mit Ultraschall für tiefliegende Implantate

# Arbeitsgruppen



**Dr. Henning Schröder**  
+49 30 46403-277  
henning.schroeder@  
izm.fraunhofer.de

**Julian Schwietering**  
+49 30 46403-731  
julian.schwietering@  
izm.fraunhofer.de

## Optische Verbindungstechnik

Wir entwickeln kundenspezifische photonische Packages mit PIC, mikro- und faseroptischen Komponenten und hohem Automatisierungsgrad der AVT. Aufgebaut werden elektro-optische Boards und Module, die miniaturisierte und hochkomplexe photonische Teilsysteme für Tele- und Datenkommunikation, Sensoren, Biophotonik und Quantentechnologie ermöglichen. Kompetenzen sind: optisches Design, Ionenaustausch und fs-Laserschreiben für



Wellenleiter und Linsen in Dünnglas, automatische Justage, Faserkopplung, 3D-Polymeroptik, Spleißen, Laserschweißen von Fasern an PIC und Faserlinsen, Charakterisierung und Zuverlässigkeitstests.

- EOCB und Optical Backplane
- Integration von Mikroresonatoren und -linsen
- Automatisierung der Mikrooptikmontage
- Fasertechnik für UV, VIS, IR, MIR-Sensorik



**Prof. Dr. Eckart Hoene**  
+49 30 46403-146  
eckart.hoene@  
izm.fraunhofer.de

## Leistungselektronik

Die Gruppe Leistungselektronik deckt die Wertschöpfungskette vom Packaging nackter Halbleiter bis zur Entwicklung leistungselektronischer Geräte ab. Ein wichtiges Standbein ist dabei die Entwicklung und Fertigung von Leistungsmodulen in Technologien, die weit über den Stand der Technik hinaus gehen. Ein anderes ist die Entwicklung von leistungselektronischen Geräten, von der Topologieauswahl bis zur

Paretofront-Optimierung für Größe und Effizienz. Die einmaligen Möglichkeiten der Herstellung ermöglichen uns dabei vollkommen neue Lösungen, die schnell in die industrielle Produktion überführt werden können.

- Entwicklung und Fertigung von Leistungsmodulen (thermisch, elektrisch, elektromagnetisch, mechanisch)
- Geräteentwicklung (Antriebsumrichter, OBCs, DC/DC-Wandler)
- Inbetriebnahme/Trouble Shooting



**Prof. Dr. Vasiliki (Vasso) Giagka**  
+49 30 46403-700  
vasiliki.giagka@  
izm.fraunhofer.de

## Technologien der Bioelektronik

Die Gruppe entwirft und realisiert neuronale Schnittstellen mittels maßgeschneiderter miniaturisierter Elektronik, mit der Aktivität im Nervengewebe stimuliert bzw. erfasst wird. Solche Mikrosysteme werden als flexible, biokompatible Implantate aufgebaut, um im zentralen oder peripheren Nervensystem eingesetzt zu werden. Die Implantate zielen in Design, Umsetzung und Tests auf langfristigen Einsatz (z. B. bei chronischen

Beschwerden) ab. Dazu werden auch innovative Ansätze zur neuronalen Stimulation und zur drahtlosen Energieübertragung erforscht.

- Stimulation und Erfassung neuronaler Aktivität mittels flexibler Elektroden
- Einsatz weicher Materialien für den körperverträglichen Schutz der Implantate
- Drahtlose Energieübertragung für Implantate

## System-on-Flex

Die Arbeitsgruppe ist auf flexible hybride und dehnbare Elektronik spezialisiert. Unsere Experten integrieren elektronische Komponenten in flexible Substrate wie Folien, Textilien oder Papier mithilfe von Mikrosystemtechniken, Druck- oder Textiltechniken. In enger Zusammenarbeit mit der Industrie entwickeln wir Anwendungen wie Sensoren, medizinische Geräte und E-Textiles. Mit unserem Know-how in Systemdesign, Materialwissenschaft,

Prozessentwicklung und Zuverlässigkeitsprüfung schaffen wir innovative und nachhaltige Lösungen, die den Anforderungen unserer Kunden entsprechen.

- Fortschrittliche Montagetechnologien
- Dehnbare und flexible Elektronik
- Conformable Electronics
- Elektronik in Textilien
- Medizinische Mikrosysteme mit heterogenen Komponenten

## Montage und Verkapselung

Wir erforschen Integrationstechniken für System-in-Package Produkte mit den Schwerpunkten Bauteilmontage für hochintegrierte Packages und Füge-/Verkapselungsprozesse basierend auf Polymermaterialien. Unser technisches Portfolio beinhaltet präzise Kontaktierung Bestückprozesse, sowohl für großflächige Substrate als auch für miniaturisierte Packages und 3D-Aufbauten. Ferner bieten wir eine Vielzahl an Verkapselungsprozessen – vom

Auftragen über Jetten und Dispensen bis hin zum Transfer- und Compression-Molding auf Wafer- und Panelebene. Material-, Prozess- und Bauteilanalyse runden das Angebot ab.

- Package- und Prozessentwicklung für
- höchstintegrierte Systeme
- Verkapselungsprozesse – Flüssigverkapselung, Transfer und Compression Molding
- Hochpräzise Materialdosierung mittels Drucken, Dispensen und Jetten
- Polymer- & Package-Analyse

## Einbettung und Substrate

Schwerpunkt der Arbeitsgruppe ist die Einbettung von aktiven Chips und passiven Komponenten in organische Substrate (Chip in Polymer). Diese Einbett-Technik wird zur Herstellung von 3D-System-in-Packages (SiPs), HF-Modulen und Leistungschip-Gehäusen eingesetzt. Weitere Arbeiten sind Surface Finishes sowie die Entwicklung galvanischer Nanostrukturen für Verbindungen bei niedrigen Temperaturen.

- Einbettung von aktiven und passiven Bauelementen in organische Substrate
- Dehnbare elektronische Systeme
- Modulare Systeme mit eingebetteten Komponenten
- Leistungselektronische Gehäuse und Module mit eingebetteten Chips
- Hochdichte Verdrahtungen bis 5 µm für PLP und Substrate

## Metallische Verbindungstechnologien

Unser Portfolio beinhaltet die Entwicklung von Verbindungstechnologien für LEDs, Opto- und HF-Komponenten sowie für die Leistungselektronik:

- Lötten (u.a. SAC, AuSn, SnBiX)
- Ag- & Cu-Sintern
- Transient-Liquid-Phase-Bonding

- Ball/Wedge- & Wedge/Wedge-Bonden; Dickdraht- & Bändchenbonden z. B. mit Au, Cu oder AlSi1
- Ultraschall- & Laserschweißen
- Metallurgische Analyse & Bewertung von Verbindungen (z.B. Benetzung, Ausbreitung, Erstarrung, Phasenumwandlungen, Diffusion, Elektromigration oder Wachstum intermetallischer Phasen)
- Qualitäts- & Zuverlässigkeitsprüfung von elektronischen Baugruppen (u.a. XPS, FIB, C-SAM, X-ray)



Christine Kallmayer  
+49 30 46403-228  
christine.kallmayer@  
izm.fraunhofer.de

Malte von Krshiwoblozki  
+49 30 46403-649  
malte.von.krshiwoblozki  
@izm.fraunhofer.de



Karl-Friedrich Becker  
+49 30 46403-242  
karl-friedrich.becker@  
izm.fraunhofer.de

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



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

Lars Böttcher  
+49 30 46403-643  
lars.boettcher@  
izm.fraunhofer.de



Dr. Matthias Hutter  
+49 30 46403-167  
matthias.hutter@  
izm.fraunhofer.de



*Thin Chip Handling – Prototyping und  
Verarbeitung kleiner Serien*

*Titel: Weltkleinstes Impedanzspektroskopie-  
System in Form einer Pille*



## Kontakt

### Systemintegration und Verbindungstechnologien

Dr. Tanja Braun  
Tel. +49 30 46403-244  
tanja.braun@izm.fraunhofer.de

Dr. Andreas Ostmann  
Tel. 49 30 46403-187  
andreas.ostmann@izm.fraunhofer.de

Fraunhofer IZM  
Leitung: Prof. Dr.-Ing. Ulrike Ganesh  
Prof. Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow  
Gustav-Meyer-Allee 25 | 13355 Berlin  
www.izm.fraunhofer.de