

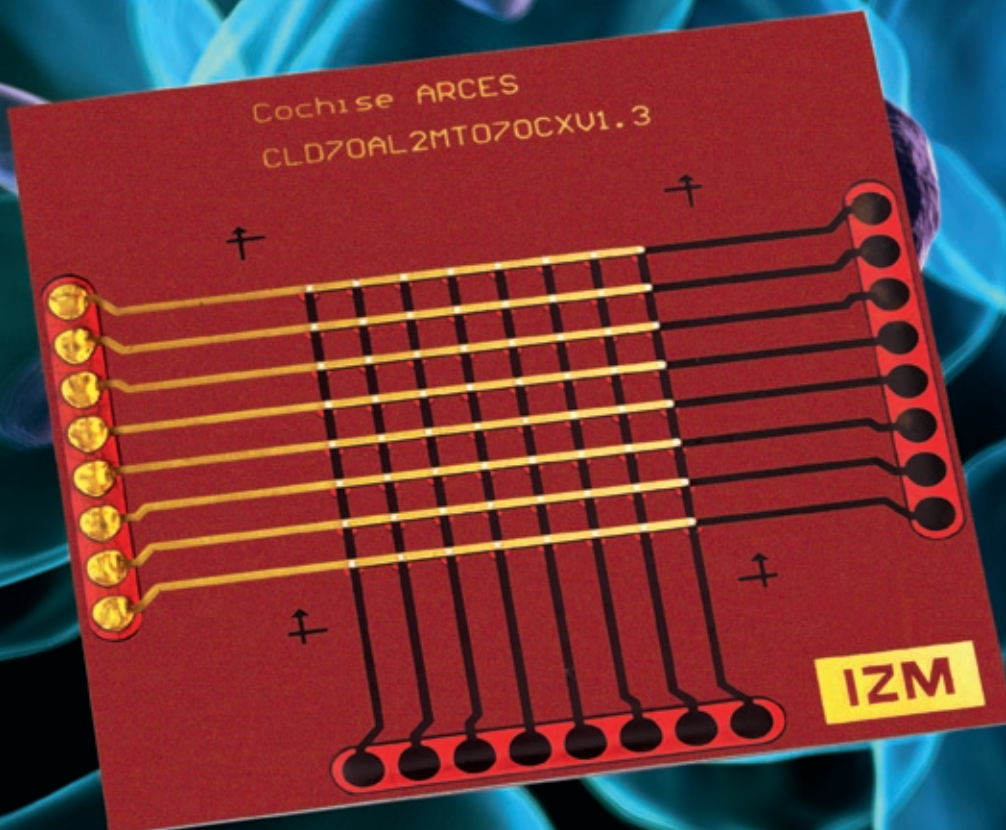


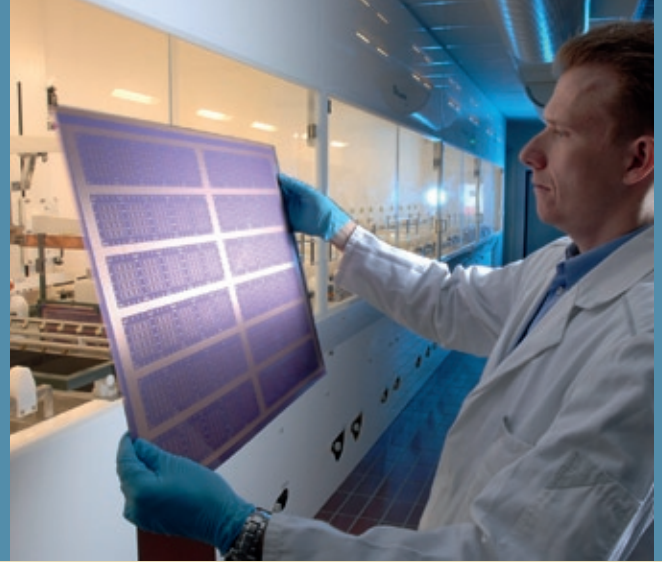
Fraunhofer

IZM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT UND MIKROINTEGRATION IZM

ABTEILUNG SYSTEMINTEGRATION UND VERBINDUNGSTECHNOLOGIEN





SYSTEMINTEGRATION UND VERBINDUNGS- TECHNOLOGIEN

Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM arbeitet an der Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte für den Aufbau hochintegrierter elektronischer Systeme. Durch seine anwendungsorientierte Forschung schlägt das IZM eine Brücke zwischen Anbietern mikroelektronischer Komponenten und Herstellern technischer Systeme zahlreicher Branchen, wie beispielsweise der Automobil-, Energie-, Sicherheits- oder Medizintechnik.

Das Leistungsspektrum der Abteilung Systemintegration und Verbindungstechnologien (SIIT) mit ihren mehr als 100 Mitarbeitern 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 der wissenschaftlichen Arbeiten.

Wir unterstützen Unternehmen sowohl bei ihrer anwendungsorientierten vorwettbewerblichen Forschung als auch bei Prototypenentwicklung und Kleinserienfertigung. Unser Angebot beinhaltet Anwendungsberatung, Technologietransfer und Mitarbeiterqualifikation durch praxisorientierte Weiterbildungen.

Es besteht eine enge Kooperation mit der Technischen Universität Berlin (Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik), vor allem bei europäischen Gemeinschaftsprojekten und in der Werkstoffgrundlagenforschung für die Aufbau- und Verbindungstechnik.

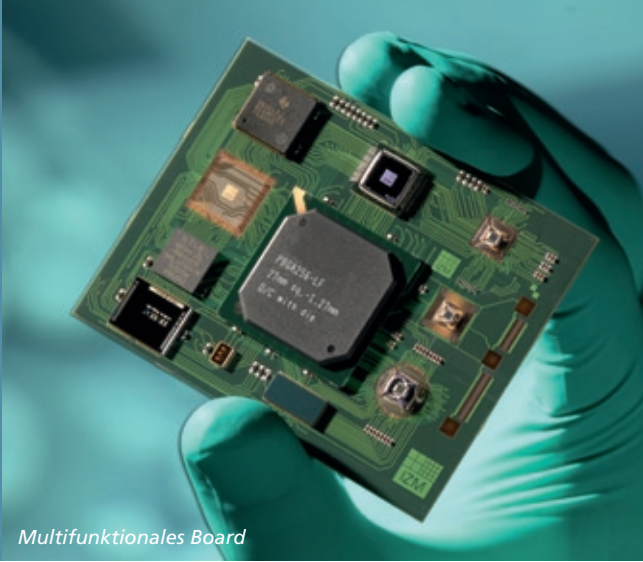
Fokus ist die Verbindungs- und Verkapselungstechnik für das elektronische Packaging, z. B.:

- Neue Lote, Klebstoffe, Drähte und Bumps
- Bumpingtechniken (stromloses Ni/(Pd)/Au, Schablonendruck, mechanisches Stud- oder Ball-Bumping)
- SMD-, CSP- und BGA-Montage
- Flip-Chip-Techniken (Löten, Sintern, Kleben, Thermokompression- und Thermosonic-Bonden)
- Die-Attach (Löten, Sintern, TLPS und Kleben)
- Draht- und Bändchen-Bonden (Ball/Wedge, Wedge/Wedge, Dickdraht und Bändchen)
- Flip-Chip-Underfilling und COB-Glob-Topping
- Transfer-Molding von Flip-Chips, COB und Komponenten auf Leadframe
- Potting und Schutzlackierungen, Hotmelt-Verkapselung
- Einbetten von Chips
- Faserkopplung und optische Verbindung zu planaren Wellenleitern, Faserlinsen und Laserfügen
- Dünnglas- und Silizium-Photonik-Packaging

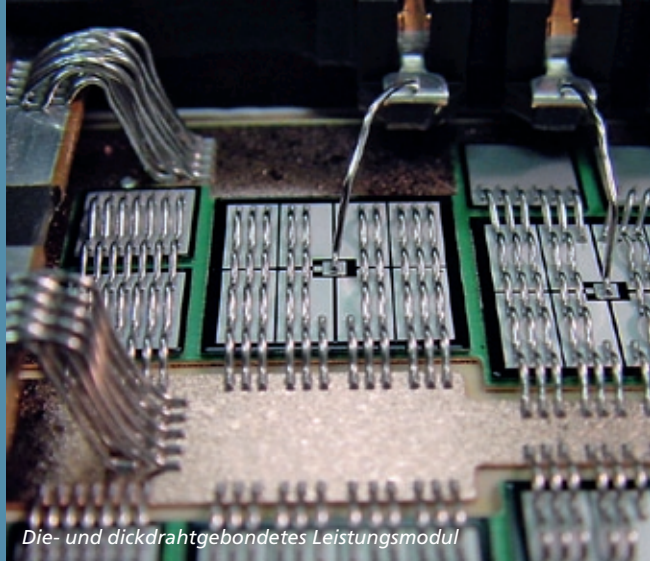
Des Weiteren entwickeln, funktionalisieren und verarbeiten wir innovative Materialien:

- Poröser Nanoschwamm
- Additive Metallisierungen
- Transient Liquid Phase Solder
- Biokunststoffe

Ein besonderer Fokus unserer Arbeit liegt auf den Herausforderungen der Opto- und Leistungselektronik sowie den Anforderungen von Hochtemperatur- und Hochfrequenzanwendungen sowie der Nutzbarmachung von Höchstintegrationstechnologien auf Anwendungen der Medizintechnik.



Multifunktionales Board



Die- und dickdrahtgebundenes Leistungsmodul

MULTIFUNKTIONALE LEITERPLATTE

Die meisten gängigen elektronischen Systeme verwenden eine organische Leiterplatte, auf der die einzelnen Bauteile aufgebracht sind. Die Leiterplatte wird ausschließlich für elektronische und mechanische Funktionen verwendet. Den komplexen Anforderungen moderner Elektronikprodukte bezüglich der benötigten Funktionsbreite werden herkömmliche Leiterplatten kaum noch gerecht. Hier steht die Aufbau- und Verbindungstechnik vor einer großen Herausforderung.

Neue Board- und Substrattechnologien müssen eine kostengünstige Integration von höchst komplexen Systemen mit hohem Miniaturisierungsgrad und entsprechend hoher Flexibilität bei der Anpassung an unterschiedliche Anwendungen gewährleisten. Ihre Funktionalität wird durch die Integration von nicht elektronischen Funktionen, wie MEMS, Antennen oder optischen Bauteilen, merklich vergrößert. Neue Produktionsmethoden versprechen einen hohen Durchsatz bei sehr geringem Kostenaufwand.

Neuartige kostensparende Kühltechniken ermöglichen eine zuverlässig hohe Datenübermittlungs- und Verarbeitungsgeschwindigkeit. 3D-Packaging gewährleistet stabilen Betrieb. Kernpunkte im Bereich multifunktionaler Substrattechnologien sind:

- Eingebettete Bauteile, MEMS, passive Bauteile, Antennen, ICs
- Kostengünstigere, feiner strukturierte Substrate und Interposer mit kleinsten Vias
- Impedanzkontrollierte Verdrahtung
- Flexible Substrate (Rolle-zu-Rolle-Produktion)
- Integrierte optische Verbindungen

HOCHLEISTUNGS-MODULE

Die Zuverlässigkeit eines Leistungsmoduls wird hauptsächlich durch die Auswahl der Substrate, der Diebond-Verbindung und der Kontaktiertechnik definiert. Ergänzend zu Standardlotverbindungen und konventionellem Dickdrahtbonden werden als Sonderkontaktierverfahren Alternativen wie Sintern und Transient Liquid Phase Bonding entwickelt.

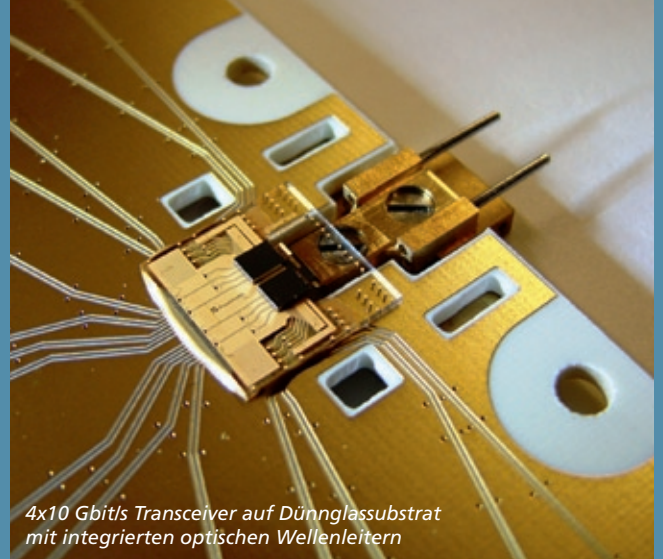
Die hohe Belastung bei Leistungsanwendungen und die große Zahl an Lastwechselereignissen führen zu enormer mechanischer Beanspruchung, die durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten der Chips, Drahtmaterialien, Lote und Substrate bedingt wird. Die für Überbeanspruchung anfälligsten Bereiche sind Drahtbondkontakte und Lote. Neben der präzisen Definition der Betriebsbelastung ist es ebenso wichtig, für eine gleichbleibende, optimierte Qualität des Montageprozesses zu sorgen.

Unsere Hauptaktivitäten sind:

- Entwicklung alternativer Packaging-Techniken und Materialkombinationen
- Innovative porenfreie Löt- und Sintertechniken von Chip auf Substrat oder von Substrat auf Kühlbaugruppe
- Dickdraht- und Bändchenbonden
- Optimierung der Verkapselungs- und Gehäusetechniken
- Qualitäts-, Zuverlässigkeits- und Fehleranalysen
- Elektrische Funktionstests
- Lebensdauermodellierung
- Entwicklung von Kühlkonzepten
- Zusammenarbeit mit Substratzulieferern zur Verbesserung der Prozessstabilität, die Kühlleistung und Zuverlässigkeit zu verbessern



High Power (500 W) LED Balken mit Wasserkühlung.
Projekt mit PKI and Ceramtec



4x10 Gbit/s Transceiver auf Dünnglassubstrat
mit integrierten optischen Wellenleitern

PACKAGING ULTRAHELLER LEDS

Ultrahelle LEDs werden als Lichtquellen zukünftig unverzichtbar sein, was für die in dem Bereich tätigen Unternehmen der jeweiligen Branchen zu einer erheblichen Produktionssteigerung führen wird. LCD-Fernseher mit LED-Hintergrundbeleuchtung, Frontscheinwerfer, UV-VIS-Belichtungseinheiten sowie die Allgemeinbeleuchtung sind nur die wichtigsten Hauptanwendungsbereiche.

Die stetige Entwicklung von LED-Chips und die schnelle Verbreitung in neuen Anwendungen erfordern eine effiziente, kurzfristige Anpassung an Produkte und Fertigungsprozesse. Durch die hohe Photoemission von LEDs und die damit verbundenen thermischen Verluste muss das Design auf optimale Wärmeabfuhr ausgelegt werden und dabei gleichzeitig kostengünstig sein. Auch die Erzeugung qualitativ hochwertigen weißen Lichts aus monochromatischen LEDs oder durch Farbmischung verschiedener LEDs stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar.

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer IZM in der Entwicklung von LED-Packages sind:

- Design und Charakterisierung von Submounts und Leiterplatten unter elektrischen, thermischen und optischen Aspekten
- Entwicklung von Löt- und Sinterprozessen
- Short-Loop-Drahtbondprozesse
- Folien zur homogenen Wellenlängenkonvertierung
- Optisch transparente Verkapselung
- Thermische und thermomechanische Simulation
- Elektrisch-optische-thermische Charakterisierung von LED-Chips, Packages und Modulen

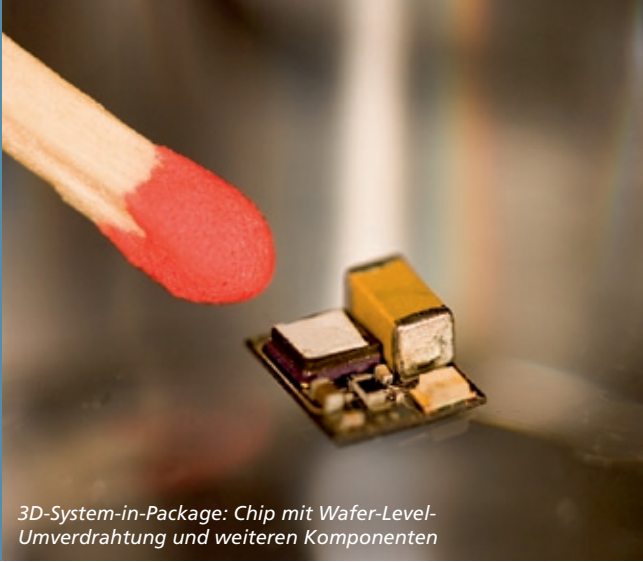
PHOTONISCHE INTEGRATION

Von der Board- über die Modul- und Chipebene werden photonische Integrationstechniken unverzichtbar. In der Daten- und Telekommunikation werden derartige Technologien von stetig steigenden Bandbreiten sowie Energieeffizienz getrieben, ebenso im Bereich der Beleuchtungs- und Projektionstechnik. Hinzu kommen Anforderungen der Miniarisierung und Zuverlässigkeit.

Photonische Module umfassen emittierende Laser, VCSEL oder LEDs, Detektoren sowie passive Bauteile, wie Linsen, Fasern, Filter und Polarisatoren. Um eine spürbare Kostenreduzierung im Bereich des Packaging zu erreichen, sind standardisierte Verfahren und Prozesse erforderlich, die eine Automatisierung ermöglichen.

Schlüsseltechnologien im Modul-Packaging sind:

- Chipmontage Optoelektronik: Wafer- und Chip-Bumping, flussmittelfreies Flip-Chip-Bonden, Selbstjustage beim Lötten, Submount-Montage
- Photonisches Modul-Packaging: Optisches Design, Faserlinsen, Laserfügen von Fasern, Photonic-Bandgap-Faser-Packaging, Faser/Chip-Kopplung, automatisiertes aktives/passives Alignment, Kleben, Silizium-Photonik-Packaging
- Optical Backplane und EOCBs: Lichtwellenleiter und 90°-Strahlkopplung durch Heißprägen, UV-Direktschreiben und Ionenaustausch in Dünnglas
- Sensoren: Pixeldetektoren für IR und X-Ray, Fluoreszenz-Glasfasersensoren



3D-System-in-Package: Chip mit Wafer-Level-Umverdrahtung und weiteren Komponenten



Interaktives „Klight“ – es übersetzt Körperbewegungen in LED-Leuchtmuster

SYSTEM-IN-PACKAGE (SiP)

Steigende Anforderungen in Bezug auf Integrationsdichte und Kosteneffizienz sowie das wachsende Bewusstsein für eine ganzheitliche Systemkonfiguration haben zur verstärkten Entwicklung von System-in-Package-Lösungen geführt. SiPs sind vollständig funktionsfähige, in ein Standard-Chipgehäuse-Format integrierte Systeme oder Teilsysteme. Sie können einen oder mehrere aktive Chips, passive Komponenten, elektrische Abschirmung und mechanische Verbindungen enthalten.

Durch die Kombination verschiedener IC- und Verbindungstechnologien ermöglicht der SiP-Ansatz die Fertigung hochintegrierter Produkte mit optimierten Kosten, Abmessungen und Leistungsmerkmalen, die individuell auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten sind:

- Geringere Abmessungen als einzeln gehäuste Komponenten
- Verbesserte elektrische Leistung dank kürzerer Verbindungen
- Möglichkeit der lokalen elektrischen Abschirmung

Wir bieten diverse Technologien für die erfolgreiche Realisierung von SiP-Lösungen, wie z. B.:

- Chip-zu-Wafer-Montage
- Fine-Pitch Flip-Chips mit ultradünnen Verbindungen auf flexiblen Substraten
- Einbetten aktiver Chips und passiver Komponenten in organische Substrate
- Einbetten aktiver und passiver Komponenten in Verkapselungen zur 3D-Integration
- Verkapselung von leadframe- und organisch basierten Systemen
- Verkapselung auf Waferebene durch Transfer-Molding-, Flüssigverkapselungs- oder Drucktechniken

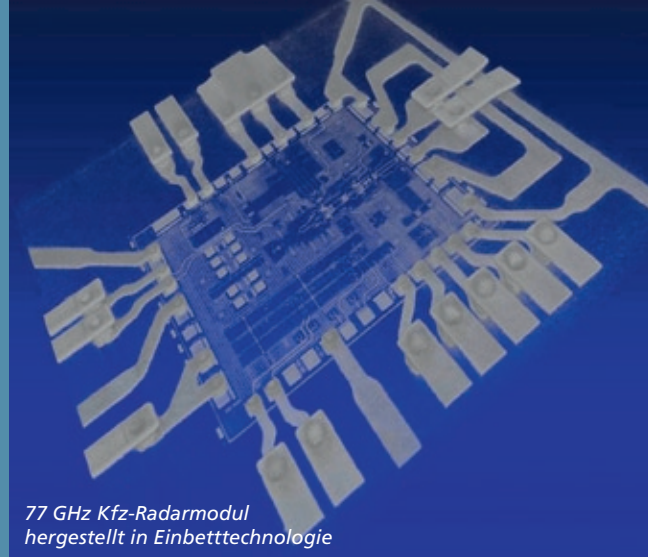
ELEKTRONIK IN TEXTILIEN

Die jüngsten Aktivitäten des Fraunhofer IZM im Bereich intelligenter Textilien konzentrieren sich sowohl auf die Verbindung elektronischer Komponenten mit leitfähigen Textilien als auch auf deren Einsatz als Verbindungselement.

Ein aktuelles Thema ist eine neue Technologie zum Kontaktieren elektronischer Komponenten durch Stickerei mit leitfähigem Garn. Diese am Fraunhofer IZM entwickelte Technologie wird derzeit für unterschiedliche Materialien mit verschiedenen Komponenten optimiert. Darüber hinaus werden schnelle und kostengünstige Laminierungsprozesse für Komponenten evaluiert, die durch kapazitives oder induktives Koppeln verbunden werden sollen. Auch werden Klebverfahren mittels leitfähiger Klebstoffe und Lötverfahren mit Niedrigtemperaturlot untersucht. Die Technologie wird auf der Grundlage der verwendeten leitfähigen Fäden, der Elektronikmodule und der erforderlichen Zuverlässigkeit ausgewählt. Neben der Verbindung ist die Verkapselung für die Zuverlässigkeit unter ungünstigen Umgebungsbedingungen ausschlaggebend. Entwickelt wurden sowohl Prozesse zur Flüssigverkapselung als auch zum Transfer-Molding und zum Einsatz von Hotmelt-Materialien.

Gestickte Verbindungen und Verdrahtungen wurden in mehreren Anwendungen verwendet. Ein Beispiel hierfür ist ein integriertes textiles EKG-Shirt, das die Herzaktivität misst. Dehnbare Leiterbahnen werden am Fraunhofer IZM mittels PU-Substraten umgesetzt, die durch Laminieren mit dem Stoff verbunden werden.

ARBEITS-GRUPPEN



77 GHz Kfz-Radarmodul
hergestellt in Einbetttechnologie

Chip- und Wire-Bonding

Der Gruppe Advanced Chip & Wire Bonding stehen für alle Die- und Drahtbondverfahren vollautomatische Bonder zur Verfügung. Neben dem Wedge/Wedge-Bonden (\varnothing 17–75 μm) mit Standard-AlSi1-Drähten oder beschichteten Au-Drähten bei Raumtemperatur verfügt die Gruppe über umfangreiche Kenntnisse im Bereich Ball/Wedge-Bonden bei Raum- oder erhöhter Temperatur, mit ultradünnen Drähten und alternativen Materialien (z. B. Cu). Die Möglichkeiten zum Bonden von Dickdrähten (125 – 500 μm) oder Bändchen bis zu 2 mm werden vor allem in der Leistungselektronik genutzt. Kontaktiert werden alle Substrattypen wie Chips, Leiterplatten, Keramiken oder Leadframes.

- Interfaceausbildung Al-, Au- und Cu-Bonden
- Qualifizierung neuer Materialien und Oberflächen
- Prozess- und Lebensdauermodellierung



Stefan Schmitz
+49 30 6392-8172
stefan.schmitz@izm.fraunhofer.de

Einbettung und Substrate

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt bei der 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 aktiver Chips in organische Substrate
- Wafer-Bumping durch stromlose Nickelmetallisierung und Schablonendruck von Lot-Bumps
- Surface Finishes von organischen Substraten
- Nanostrukturierte Beschichtungen für Niedertemperatur-Verbindungsprozesse
- Dehnbare elektronische Systeme



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

Verbindungsmetallurgie und Prozesse

Unser Technologieportfolio beinhaltet das TC- und TS-Flip-Chip- und Die-Bonden auf Board-, Modul- und Wafer Ebene für LEDs, Opto- und HF-Komponenten, Leistungselektronik, 3D-Stacking und hermetische Verkapselung.

- Bleifreie Lote und Diffusionslötten
- Nanolegierungen von Loten und Flussmitteln
- Benetzung, Spreizen, Erstarrung
- Flussmittelfreie Bondmethoden
- Ag-Sintern und Transient Liquid Phase Bonding
- Poröser Nanoschwamm als komprimierbare Bondschicht
- Reaktionen mit Barriere- und Benetzungsschichten
- Phasenumwandlungen
- Wachstum intermetallischer Verbindungen
- Diffusion und Elektromigration



Dr.-Ing. Hermann Oppermann
+49 30 46403-163
hermann.oppermann@izm.fraunhofer.de

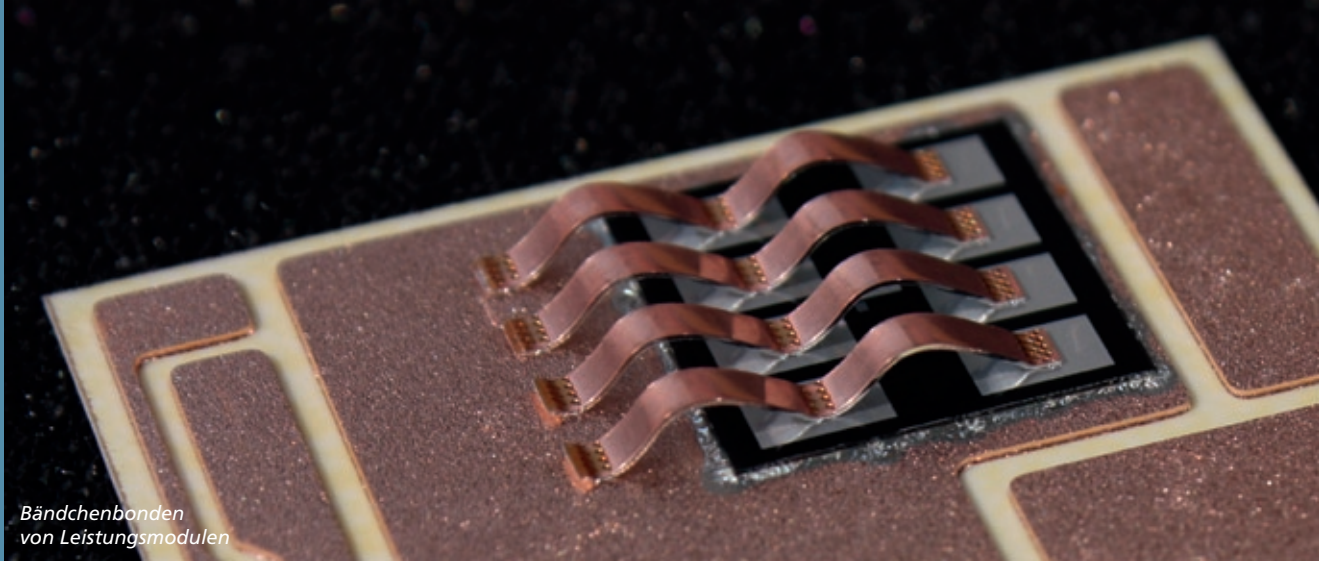
Montage und Verkapselung

Wir erforschen Integrationstechniken für System-in-Package-Produkte mit Schwerpunkt auf Bauteilmontage von hoch integrierten Packages und auf Verkapselungs-/Beschichtungsprozesse basierend auf Polymermaterialien. Unser technisches Portfolio beinhaltet präzise Pick-and-Place-Prozesse – sowohl für großflächige Substrate als auch für gestapelte Baugruppen – sowie eine Vielzahl an Verkapselungsprozessen, vom Auftragen über Jet-Dosierung und Belackung bis hin zum Transfer- und Compression-Molding. Material-, Prozess- und Bauteilanalyse runden das Angebot ab.

- [Kontaktlose] Montageprozesse für System-in-Package
- Verkapselungsprozesse – Large Volume & Wafer Level
- Polymer- und Package-Analyse incl. Ultraschall- & X-Ray-CT
- Nano-modifizierte Materialien und Oberflächen



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



Bändchenbonden
von Leistungsmodulen

Optische Verbindungstechnik

Photonisches Packaging fokussiert in unserer Arbeitsgruppe auf mikrooptische und -photonische Komponenten, Boards und Module, die größere und komplexere photonische Teilsysteme für Tele- und Datenkommunikation, Sensoren oder Beleuchtung ermöglichen. Techniken sind: automatische aktive und passive Justage, Faserkopplung, Kleben und optischer Verguss, Spleißen (MM, SM, PE, Dickkern), Laserschweißen und Faserlinsen. Weitere Schwerpunkte sind optisches Design (BPMcad und ZEMAX), Charakterisierung und Zuverlässigkeitsforschung.

- Photonische Substrate aus Dünnglas und Polymer
- 3D-Mikrooptik durch Heißprägung
- Photonische Mikrosystemmontage
- Optische LED-Integration



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

Medizinische Mikrosysteme

Die Medizintechnik ist eines der vielversprechendsten Anwendungsfelder für den Einsatz intelligenter Elektronik. Dies hat zu bedeutenden Innovationen geführt, von denen Ärzte, Patienten wie auch Angehörige profitieren. Dieser Trend ist auch für die Zukunft ungebrochen. Miniaturisierung bildet die Basis für Patientenakzeptanz und die Entwicklung ubiquitärer Dienstleistungen. Extrem kleine, zuverlässige und kostengünstige Systeme wie Monitor-/Therapiehilfen und Implantate können nur unter Zuhilfenahme von ausgereiften Montage- und Fertigungsprozessen entwickelt und umgesetzt werden.

- Medizinische Mikrosysteme mit heterogenen Komponenten
- Verarbeitung biokompatibler Beschichtungsmaterialien
- Analyse von Fehlern aus in-vitro/in-vivo Untersuchungen
- Hermetische Oberflächen



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

System-on-Flex

Wir entwickeln und qualifizieren Packaging-Technologien auf flexiblen Substraten. Forschungsschwerpunkt ist das Kleben und Löten ungehäuster Chips. Wir verfügen über langjährige Erfahrung bei der Materialauswahl, Prozessentwicklung und Zuverlässigkeitsuntersuchung für das ACA-, NCA- und ICA-Flip-Chip-Bonden auf verschiedenen Substraten. Auch werden neue Ansätze im Bereich der Nanostrukturen sowie deren Potenzial für Verbindungstechnik bei niedrigen Temperaturen untersucht. Seit mehreren Jahren werden auch neue Techniken zur Integration von Elektronik in Textilien entwickelt und charakterisiert.

- Kleben
- Ultradünne Flip-Chip-Verbindungen
- Thermoplastische Substrate
- Elektronik in Textilien



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

Qualifikations- und Prüfzentrum QPZ

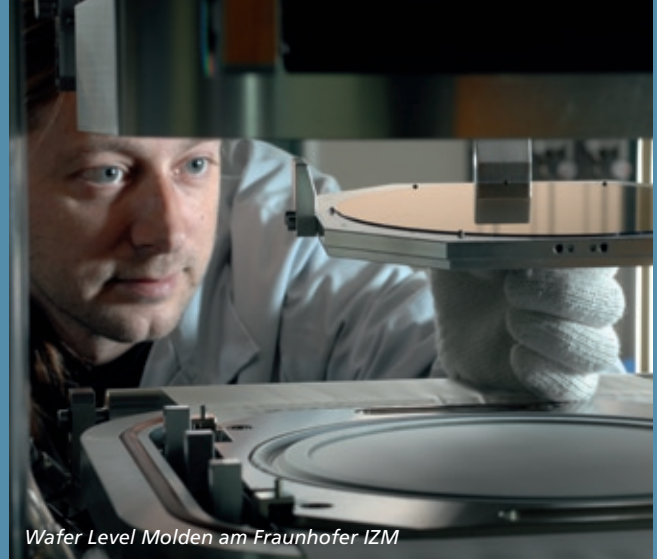
Schwerpunkt des Qualifikations- und Prüfzentrums ist die anwendungsspezifische Qualifikation von neuen Lotlegierungen und Packaging-Lösungen für elektronische Baugruppen auf unterschiedlichen Substraten. Alle Tests werden nach DIN EN, IEC, IPC und MIL- Standards oder Kundenspezifikation durchgeführt. Baugruppeninspektionen und Fehleranalysen nach den Prüfungen beinhalten die Untersuchung von Gefügeveränderungen, des Wachstums der intermetallischen Phasen sowie der Rissausbreitung mittels Metallografie, REM/EDX-Analyse oder Focused Ion Beam (FIB)-Präparation.

- Zuverlässigkeit von bleifreien Lotlegierungen
- Prozessflussabhängige Lötbarkeit von LP-Oberflächen
- Lebensdauermodell für LP-Durchkontaktierungen
- Kopplung von EDX und μ RFA im REM



Dr.-Ing. Klaus Halser
+49 30 46403-275
klaus.halser@izm.fraunhofer.de

SERVICE & KONTAKT



Wafer Level Molden am Fraunhofer IZM

Unsere Kunden haben die Wahl zwischen verschiedenen Formen der Kooperation: von der direkten Projektvergabe bis hin zur Zusammenarbeit im Rahmen eines wissenschaftlich-technischen Forschungsprojekts mit Förderung durch Mittel der EU, der Bundesregierung oder der Bundesländer. Unabhängig vom gewählten Modell bleibt unser Ziel immer gleich: jedem unserer Kunden die best- und schnellstmögliche Umsetzung zu bieten.

In unseren Kompetenzfeldern bieten wir die folgenden Dienstleistungen an:

- Produktorientierte Forschung und Entwicklung
- Technischer Service und Technologietransfer
- Schnelle Prototypentwicklung
- Qualifikations- und Zuverlässigkeitstests
- Fehleranalyse
- Technische Beratung und Weiterbildung
- Studien und Expertisen
- Zertifizierung und Ausbildung

Ausstattung

Wir arbeiten in hochmodernen Reinraum-, Technologie- und Zuverlässigkeitslabors, die für Prozess- und Analytikentwicklungen für eine Vielzahl von Technologien geeignet sind.

- Heißpräge Hex 03
- Laser-Direct-Imaging-System (15 μm L/S)
- Vollautomatische Flip-Chip-, Die- und Wire-Bonder
- Prozesslinie zur Substratfertigung
- Wafer-Level-Verkapselung mittels Compression Molding
- Transfer Molding für SiPs und großvolumige Leistungselektronik-Packages
- TS-FC-Bonding (300 mm Waferbonden)
- Ausrüstung für Selektiv-, Plasma-, Dampfphasen- und Konvektionslötten
- SSXPS, Röntgen- und akustisches CT, FIB und REM
- Kombinierte Vibrations-/Temperaturkammer
- LED Qualifizierungs- und Zuverlässigkeits-Testlabor
- Optische Messtechnik wie Brechungsindexmessung mittels RNF
- Bitfehlerraten test (BERT, 10 GBit/s)
- Automatische mikrooptische Montagesysteme

Fraunhofer IZM

Leitung: Prof. Dr. Klaus-Dieter Lang

Gustav-Meyer-Allee 25

13355 Berlin

Fon: +49 30 46403-100

Fax: +49 30 46403-111

E-Mail: info@izm.fraunhofer.de

URL: <http://www.izm.fraunhofer.de>

Ihre Ansprechpartner in der Abteilung Systemintegration und Verbindungstechnologien

Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow

Fon: +49 30 46403-172

Fax: +49 30 46403-271

E-Mail: martin.schneider-ramelow@izm.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Rolf Aschenbrenner

Fon: +49 30 46403-164

Fax: +49 30 46403-161

E-Mail: rolf.aschenbrenner@izm.fraunhofer.de

