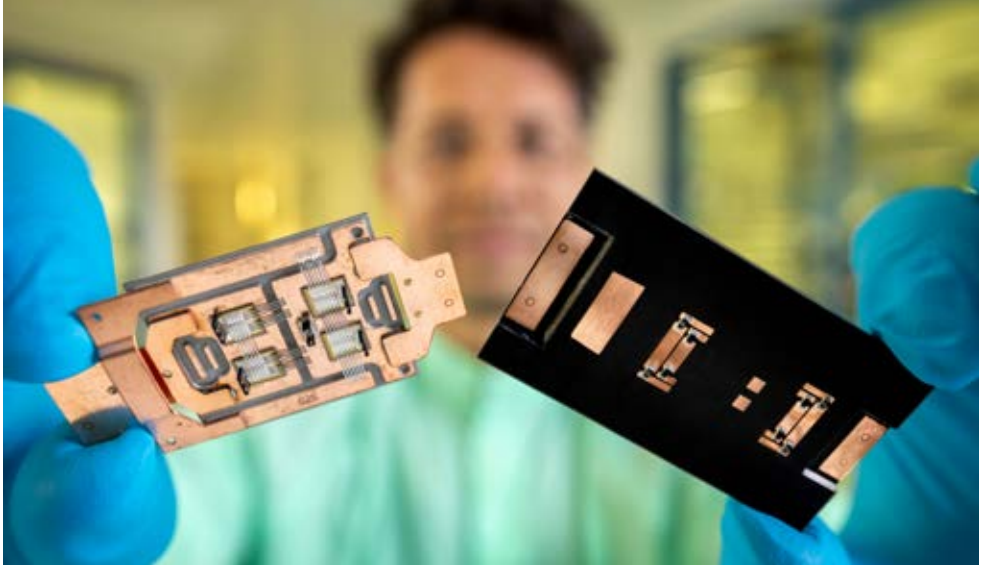
Fraunhofer
IZM

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

Vom Chip bis zur Anwendung

Hochintegrierte Leistungselektronik



Packaging-Technologien

Leistungsmodul mit Substrat-Wasserkühlung für die Formel 1

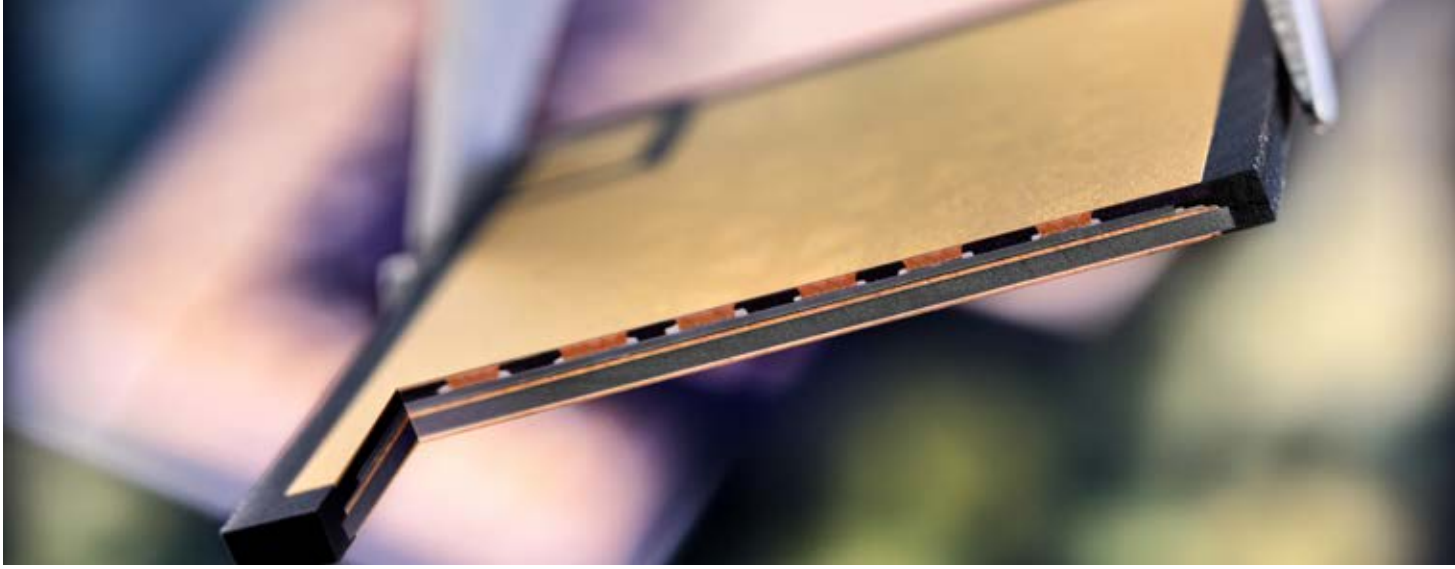
Das Fraunhofer IZM bietet modernste Aufbau- und Verbindungstechniken für höchste thermische Anforderungen in der Leistungselektronik. Dazu gehören:

- Großflächiges Fügen durch Löten oder Sintern
- Die-Attach durch Löten, Ag-Sintern bzw. Cu-Sintern oder Transient Liquid Phase Bonding (TLPB)
- Dickdraht- und Bändchenbonden zur oberseitigen Kontaktierung von Leistungshalbleitern
- Anschluss zur Steuerelektronik und Gehäusung/Verkapselung
- Laser- und Ultraschallschweißen der Lastanschlüsse
- Qualitätssicherung durch Röntgen- und Ultraschallmikroskopie
- Lösungen für Entwärmung-/Kühlkonzepte

Für die Verkapselung leistungselektronischer Aufbauten sind am Fraunhofer IZM unterschiedliche Aufbaukonzepte und Prozesse erprobt und getestet:

- Pottingverfahren zum Weich- und Hartverguss
- Einbettung von nackten Leistungshalbleitern – Si,SiC, GaN – in die Aufbaulagen von Leiterplatten bzw. in Epoxy Mold Compounds mittels Compression Molding
- Erweiterung des Compression Molding auf Verkapselung von Baugruppen
- Einsatz von Leading-Edge-Leiterplatten und -Mold-Materialien
- Hochkompakte Module mit kurzen Leiterzügen, um hohe Schaltfrequenzen zu ermöglichen
- Module zur optimierten Integration oder Anbindung an Kühlkörper
- Modularer Aufbau komplexer leistungselektronischer Systeme

oben: Skalierbares niederinduktives gemoldetes Leistungsmodul vor und nach der Verkapselung

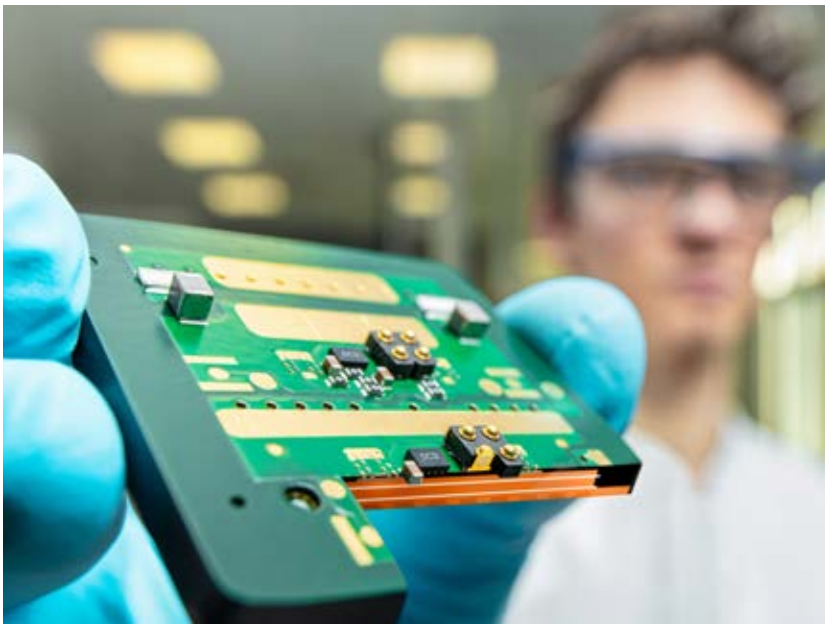


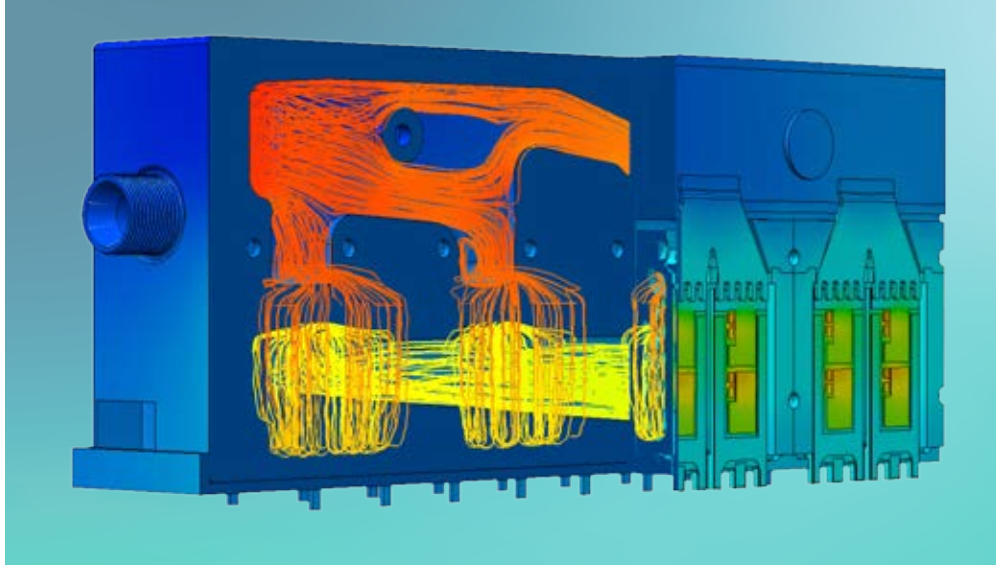
Industriekunden profitieren von unserem systematischen Technologietransfer: Jeder Prozess wird industrietauglich weiterentwickelt mit dem Ziel, zuverlässige, hochintegrierte Systeme für anspruchsvolle Anwendungen zu schaffen. Die entsprechenden Aktivitäten umfassen:

- Entwicklung von Materialien und Lotverfahren, die eine Erhöhung der Wiederaufschmelztemperatur ermöglichen (Transient Liquid Phase Soldering)
- Kooperationen mit Materialherstellern (z. B. DCB/DAB/AMB, Wärmespreizer, TIMs, Sinter- und Lotpasten) für bessere Verarbeitbarkeit, Kühlung und Zuverlässigkeit
- Entwicklung alternativer Technologien wie Flip-Chip, Ultraschallbonden, Cu-Dickdraht oder Bändchenbonden, Sandwichaufbauten (doppelseitige Chipkühlung)
- Entwicklung von Ag-Sintertechnologien für die Chip- und Kühlkörpermontage
- Entwicklung innovativer Lottechnologien für porenfreie große Flächen
- Die-Löten mit dünnen Schichten (z. B. Au/Sn) zur Verbesserung der thermischen Performance
- Optimierung der Klebetechniken mit ICA [isotrop leitfähiger Klebstoff] und HCA [isolierender, thermisch leitfähiger Klebstoff], die für geringere Leistungsdichten eingesetzt werden
- Dickdraht- und Bändchenbondverfahren (Cu, Cu/AlX)
- 3D-Mehrlagen-Integration für erweiterte Funktionen und Modularisierung (Chip in Polymer, Stapellösungen, Embedding von Power Chips in PCB-Einbett-Technologie)
- Aufbautechnologien fur GaAs, InP, SiC und GaN sowie gedünnte Halbleiter
- Optimierung der Verkapselungs- und Gehäusungstechnologien für thermisch optimierte Aufbauten bei hoher Durchschlagfestigkeit und Temperaturstabilität

oben: Leistungsmodul mit in PCB-Technologie eingebetteten WBG-Halbleitern

unten: Niederinduktives SiC-Leistungsmodul mit Moldtechnologie und direkter Kühlung





Zuverlässigkeit und thermisches Management

Zur Sicherstellung der Produktzuverlässigkeit bietet das Fraunhofer IZM umfassende Unterstützung im Design-for-Reliability – von der frühen Modellierung bis zum Lebensdauertest. Ziel ist eine möglichst hohe Zuverlässigkeit bei minimalem Ressourcenaufwand. Mit simulationsgestützten Methoden bewerten wir bereits in der Designphase die Auswirkungen von Temperatur, Feuchte und mechanischen Belastungen auf Materialien, Geometrien und Prozesse. Die Analyse des Alterungsverhaltens der Materialien ermöglicht es uns, entsprechende Lebensdauermodelle zu entwickeln.

Folgende Mess- und Testumgebungen stehen hierzu zur Verfügung:

- Aktive und passive thermische Lastwechsel zur Lebensdauerevaluierung
- Charakterisierung und Analyse des thermischen Verhaltens
- Verfahren zur Zustandsüberwachung und Felddatenerfassung
- Teststände für kombinierte und beschleunigte Lebensdauertests (Vibration, Temperatur, Temperaturwechsel, Feuchte)
- Modellierung von Fehlermechanismen
- Analyse neuartiger Materialkombinationen
- Metallografie, EBSD, FIB, REM, EDX
- Ultraschall- und Röntgenmikroskopie sowie Röntgen-CT
- Hochauflösende Deformationmessung (berührungslos und mit Temperaturvariation)
- Ermittlung von (transientem) Materialverhalten und Materialalterung

Des Weiteren entwerfen wir Tests für Leistungskomponenten oder Gesamtsysteme nach kundenspezifischen Anforderungen. Automatisierte Testsysteme werden verwendet, um Lebensdauerstudien durch aktives Leistungszykling angelehnt an den Automobilstandard AQG 324 durchzuführen.

Auf der Basis unseres breiten Systemverständnisses mikroelektronischer Aufbauten – von der AVT- bis zur Produktebene – entwickeln wir gemeinsam mit unseren Kunden robuste, langlebige Lösungen – von der Einzelkomponente bis zum kompletten System.

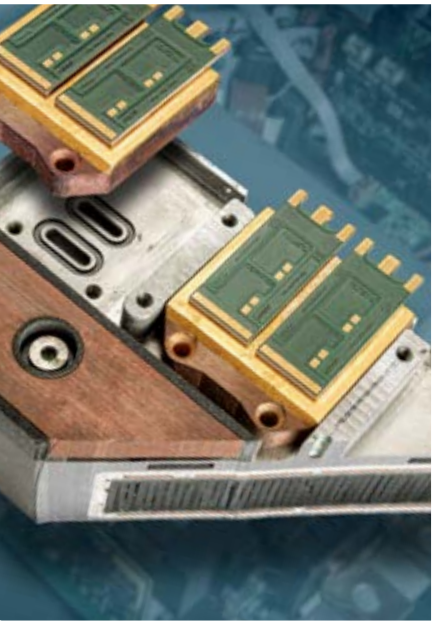
oben: Fluidsimulation zur Optimierung der Entwärmung des Leistungsmoduls

Leistungselektronik am Fraunhofer IZM

Das Fraunhofer IZM bietet entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der Leistungselektronik maßgeschneiderte Lösungen – von der Chip-Montage über das Schaltungsdesign bis hin zur Prototypenfertigung inklusive Ansteuerung, Gehäuse und Kühlung. Das Design hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Tests runden das Angebot ab.

Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal unseres Instituts ist das in-house durchgeführte Halbleiter-Packaging. Gerade in einer kostengetriebenen Disziplin wie der Leistungselektronik ist das designgerechte Packaging entscheidend für den Markterfolg. Unsere enge Verzahnung aus Fertigung, Systemverständnis und Nutzeranforderungen ermöglicht eine einzigartige, bereichsübergreifende Optimierung – vom Chip bis zur Anwendung.

Unser Angebot richtet sich insbesondere an Kunden aus der Automobil- und Energiebranche, deckt aber die gesamte Spannbreite elektrischer Energieumwandlung ab – von medizinischen Implantaten über Power-over-Line-Versorgung bis hin zu Hochspannungs-Gleichstrom (HVDC)-Anwendungen.



Schnitt durch eines der drei Phasenmodule des 600 kW Umrichters

Antriebsumrichter mit 600 kW Dauerleistung

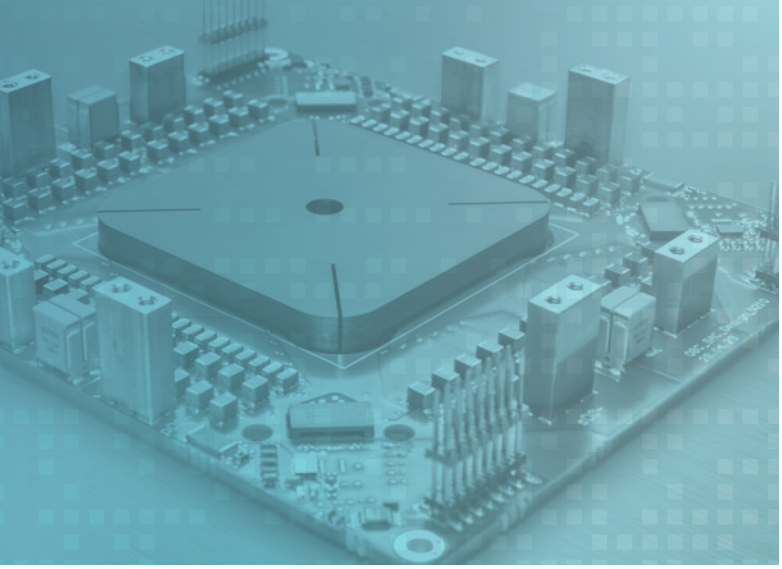
Ein Beispiel für unsere Technologiekompetenz: Ein 600 kW-Antriebsinverter mit 200 kVA/l Leistungsdichte für den Automobilsektor. Hier kamen eingebettete Siliziumkarbid-Halbleiter auf Keramikträgern in unserer einzigartigen Embedding-Technologie zum Einsatz – acht Module pro Schalter, parallelgeschaltet, silbergesintert und direkt mit einem 3D-gedruckten Kupferkühler verbunden. Ergebnis: Minimaler thermischer Widerstand (R_{th}) bei einseitiger Kühlung.

Durch kompakte Folienkondensatoren auf Polyacrylatbasis konnte das Bauvolumen zusätzlich verringert werden. Thermische Simulationen aller Komponenten ermöglichten eine zuverlässige Dauerleistungsfähigkeit. Der Prototyp hat seine Spezifikationen im Feldtest erfolgreich erreicht – ein Beleg für unsere leistungsfähige, anwendungsorientierte Entwicklungsarbeit.

Technische Daten

- 3-phasiger Antriebsumrichter
- 48 SiC-Halbleiter
- ca. 3 l Volumen des Power Cores
- 800 bzw. 1200 V Basis
- Dauerleistung von 600 kW ($835\,V \times 720\,A_{RMS}$)
- Spitzenleistung von 720 kW ($800\,V \times 900\,A_{RMS}$)
- Leistungsdichte von 200 kVA pro Liter
- Spitzen-Effizienz von 98,7 %

oben: Effizient und leistungsstark dank Leiterplattenembedding und innovativer Kühlung aus dem 3D-Drucker – der „Dauerpower"-Wechselrichter



Titel:
Bidirektionaler 11 kW Sinus-Amplituden-Converter für On-Board Charger

Kontakt

Sie erreichen die Leistungselektronik-Expert*innen des Fraunhofer IZM unter
E-Mail: power-request@izm.fraunhofer.de

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

Konzept & Redaktion: Fraunhofer IZM PR, Berlin/MCC Berlin · Design: J. Metze/Atelier f:50 Berlin · Fotografie: Volker Mai (Cover, Seite 2, 3, 5 Mitte, 6). Alle anderen Bilder Fraunhofer IZM. PE 25/04 - 4d