Interreg Bayern-Österreich
Kofinanziert von der Europäischen Union
PEMOWE Electronics Inspection Network

ELEKTRISCHE PRÜFUNG VON HV-KOMPONENTEN | PEMOWE FALLSTUDIE

Ausfallanalyse kundenspezifischer Leistungsmodule mittels Röntgen, CT und Mikroskopie

Technische Hochschule Deggendorf · FH Oberösterreich · FH Vorarlberg

Ausgangslage

Kundenspezifische Leistungsmodule bieten wichtige Vorteile wie höhere Effizienz, bessere thermische Eigenschaften und Kompaktheit, bringen aber auch Herausforderungen hinsichtlich Designkomplexität, Materialvielfalt und Zuverlässigkeit mit sich. Trotz Fortschritten bei Die-Attach [1], Drahtbonden [2] und Verkapselung [3] tun sich manuelle und teilautomatisierte Fertigungsprozesse weiterhin schwer, die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen moderner Anwendungen zu erfüllen.

Tritt ein Ausfall auf, ist die Identifikation der Grundursache entscheidend. Aufgrund der Verkapselung ist eine konventionelle Inspektion jedoch nur eingeschränkt möglich – für eine aussagekräftige Fehleranalyse sind fortgeschrittene Verfahren wie Röntgen, CT und Mikroskopie erforderlich.

Prüfansatz

Die Studie verfolgte eine unkonventionelle Strategie: Es wurden Module mit bekannten Defekten gefertigt und unter elektrischer und thermischer Belastung bis zum Ausfall getestet. Ziel war es, kontrollierte Ausfallreferenzen zu schaffen, die mit zuvor ausgefallenen Prototypen verglichen werden können – um zugrunde liegende Ausfallmechanismen aufzudecken und die Zuverlässigkeit künftiger Module zu verbessern.

Untersucht wurden zwei Fehlerkategorien: Drahtbonden und Kontamination. Alle Module enthielten ungehäuste SiC-MOSFETs (Bare Die, CPM3-1200-0013A und CPM3-0900-0010A).

Ergebnisse der Belastungstests

Sechs vereinfachte Module wurden auf Drahtbond-Probleme getestet. Trotz simulierter Defekte fiel keines kritisch aus – ein Hinweis auf eine robuste Toleranz der Drahtbonds unter sauberen, kontrollierten Bedingungen.

Dagegen fielen zwei komplexe Module, mit denen die Auswirkungen von Kontamination untersucht wurden, frühzeitig aus: eines bereits bei den Sicherheitsprüfungen, das andere zeigte hohe Drain-Source-Leckströme. Kontamination während längerer Fertigungsprozesse ist damit ein wesentlicher Risikofaktor, der eine strengere Kontrolle erfordert.

Rolle von Röntgen, CT und Mikroskopie

Röntgen
lieferte nur begrenzte Erkenntnisse. Ein optimaler Kontrast war schwer zu erreichen, und der 150 µm dicke SiC-Chip ließ sich nur schwer klar darstellen, was den diagnostischen Wert verringerte.

AUF EINEN BLICK

PRÜFOBJEKT
Kundenspezifische Leistungsmodule mit SiC-MOSFETs (Bare Die: CPM3-1200-0013A, CPM3-0900-0010A)

VERFAHREN
Elektrische und thermische Belastung bis zum Ausfall; Röntgen, CT, REM mit EDX

ERGEBNIS
Kontamination bei langen Fertigungsprozessen als zentraler Risikofaktor; REM/EDX liefert die aussagekräftigsten Daten

BETEILIGTE PARTNER
FH OÖ (CT), FHV (Mikroskopie), THD (Röntgenprüfung)

ABLAUF

1. Fertigung von Modulen mit gezielt eingebrachten Defekten (Drahtbonden, Kontamination)
2. Elektrische und thermische Belastung bis zum Ausfall
3. Röntgenprüfung
4. Computertomographie (CT)
5. REM-Aufnahmen und EDX-Mapping nach Entfernen der Silikonverkapselung

Computertomographie (CT)

bot eine etwas bessere Auflösung und ermöglichte die Identifikation lokaler Spannungsrisszonen. Feine Strukturmerkmale innerhalb der dichten, geschichteten Modularchitektur ließen sich jedoch ebenfalls nur schwer auflösen.

Mikroskopie (REM/EDX)

lieferte die aussagekräftigsten Daten. Nach sorgfältigem mechanischem Entfernen der Silikonverkapselung zeigten REM-Aufnahmen Oberflächenrisse, Mikroporen und Korngrenzendefekte. EDX-Mappings wiesen Fremdmaterialien nach, die auf Kontamination hindeuten und teilweise bestimmten Prozessschritten zugeordnet werden konnten. Einige Elemente wurden fälschlich als Kohlenstoff identifiziert und erfordern eine weitere Überprüfung; ergänzende Raman-Spektroskopie kann solche Befunde künftig bestätigen oder ausschließen.

Fazit

Die Versuchsergebnisse bestätigen, dass die SiC-MOSFETs CPM3-1200-0013A und CPM3-0900-0010A transiente Überspannungen, Überströme und dauerhafte Temperaturen bis 200 °C überstehen; ein Durchbruch wurde bei etwa 255 °C beobachtet. Module mit vereinfachtem Design und kürzeren Fertigungszyklen hielten trotz kleinerer Drahtbond-Defekte erheblichen elektrischen und thermischen Belastungen stand, während stark kundenspezifische Module mit komplexer Geometrie und längeren Fertigungszeiten anfälliger für Kontamination und kritische Ausfälle waren.

Die Arbeit bildet eine Grundlage für das Benchmarking künftiger Ausfallanalysen und zeigt die Prozessschritte auf, die am ehesten ausfallverursachende Kontaminationen einbringen. Einige Ähnlichkeiten zu zuvor ausgefallenen Bauteilen wurden beobachtet; für belastbare Fehlermuster sind weitere Daten nötig.

KONTAKT

Technische Hochschule Deggendorf, Research Centre Modern Mobility, Plattling

Boris Komljen

boris.komljen@th-deg.de

Autoren: B. Komljen, O. Kreutzer (THD), S. Senck (FH Oberösterreich, Computed Tomography Department, Wels)

QUELLE UND LITERATUR

Originaltitel: *Fundamental Post-Failure Analysis of Custom Power Modules Using X-ray, CT and Microscopy* (Abstract, ICSCRM 2025)

[1] B. Ottinger et al., IEEE EPTC 2022, S. 409–413, doi:10.1109/EPTC56328.2022.10013246

[2] W.-S. Loh et al., EuroSime 2007, London, doi:10.1109/ESIME.2007.360057

[3] H. Gao, P. Liu, IEEE Trans. Comp., Pack. and Manuf. Tech. 12(11), S. 1867–1881, 2022, doi:10.1109/TCPMT.2022.3225960

PROJEKTKONTEXT

PEMOWE – Prüf-Netzwerk für die Energie- und Mobilitätswende

Im Interreg-Projekt PEMOWE kooperieren bayerische und österreichische Forschungseinrichtungen, um kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bei der Herstellung möglichst zuverlässiger elektrischer und elektronischer Komponenten zu unterstützen – mit Fokus auf Bauteile, die zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen und in der Elektromobilität zum Einsatz kommen. Bauteile werden für spezifische Analysen von einem Partner zum nächsten weitergegeben; dieses Zusammenspiel ermöglicht eine tiefgreifende Bauteilprüfung, die über die derzeitige Praxis hinausgeht.

Projekt-ID	BA0100107 (Spezifisches Ziel 1)
Laufzeit	01.09.2023 – 31.08.2026
Budget	€ 1.343.042,90 (Fördersatz 75 % EFRE)
Lead Partner	FH Oberösterreich Forschungs & Entwicklungs GmbH
Projektpartner	Fachhochschule Vorarlberg GmbH, Technische Hochschule Deggendorf, Hochschule Kempten

Kategorie dieser Fallstudie: **Elektrische Prüfung von HV-Komponenten** PCB-Fertigung Funktionstests Lebensdauertests Prüfung von MOSFETs

Weitere Fallstudien, Events und Ergebnisse

pemowe.3dct.at