

Kurzfassung des Abschlussberichts des Projekts MultiPower

Die steigenden Anforderungen an leistungselektronische Systeme mit Wide-Bandgap-Halbleitern erfordern neue Schaltungsträgerkonzepte, da etablierte Metall-Keramik-Substrate sowohl in ihrer thermischen und elektrischen Leistungsfähigkeit als auch in ihrer geometrischen und prozesstechnischen Flexibilität begrenzt sind. Vor diesem Hintergrund adressierte das AiF-Projekt MultiPower (IGF-Projekt 22835 N/1) die Notwendigkeit einer funktionsintegrierten, additiven Herstellung hochintegrierter Metall-Keramik-Verbundkörper für elektronische Leistungsmodule. In Zusammenarbeit des wbk Instituts für Produktionstechnik (KIT) und des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAU Erlangen-Nürnberg) wurden vollständig additive Fertigungsrouten zur Realisierung dreidimensionaler Schaltungsträger mit integrierten Kühlstrukturen untersucht, um eine verbesserte Entwärmung bei gleichzeitig verkürzter und flexibilisierter Prozesskette zu ermöglichen. Hierzu wurden sowohl keramische Grundkörper mittels badbasierter Photopolymerisation (Vat Photopolymerization, VPP) mit anschließender Metallisierung mittels selektiven Laserschmelzens (Laser Powder Bed Fusion, PBF-LB) und mittels Piezojet-Verfahrens als auch neuartige Multi-Material-VPP-Ansätze zur direkten Herstellung von Metall-Keramik-Verbundbauteilen evaluiert. Des Weiteren wurden Simulationen auf Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) erstellt, um verschiedene Modul-Designs hinsichtlich ihres thermischen und thermo-mechanischen Verhaltens gegenüberzustellen und zu bewerten.

Im VPP-Verfahren wird ein Bauteil schichtweise aus einer lichthärtbaren Suspension (Schlicker) aufgebaut, indem definierte Schichten ortsselektiv durch eine LED-Belichtungseinheit ausgehärtet werden. In einer neuartigen Multi-Material-VPP-Anlage mit mehreren Wannen können unterschiedliche Werkstoffe innerhalb eines Bauteils kombiniert werden, wobei die zentrale Herausforderung in der werkstoffseitigen Abstimmung für einen stabilen Schichtverbund sowie in der Vermeidung von Kontaminationen durch geeignete Reinigungsprozesse liegt.

Im Rahmen des Projekts wurden keramische und leitfähige Schlicker mit geeigneter Viskosität und Aushärteverhalten für den VPP-Prozess entwickelt. Aufbauend auf den Materialcharakterisierungen wurden die Belichtungsparameter schrittweise optimiert, um einen zuverlässigen schichtweisen Aufbau monolithischer Bauteile zu erreichen. Anschließend konnten mithilfe des Multimaterialprozesses Grünteile mit unterschiedlichen Materialkombinationen erfolgreich hergestellt werden. Die thermischen Nachbehandlungen, insbesondere Entbindern und Sintern, wurden systematisch untersucht.

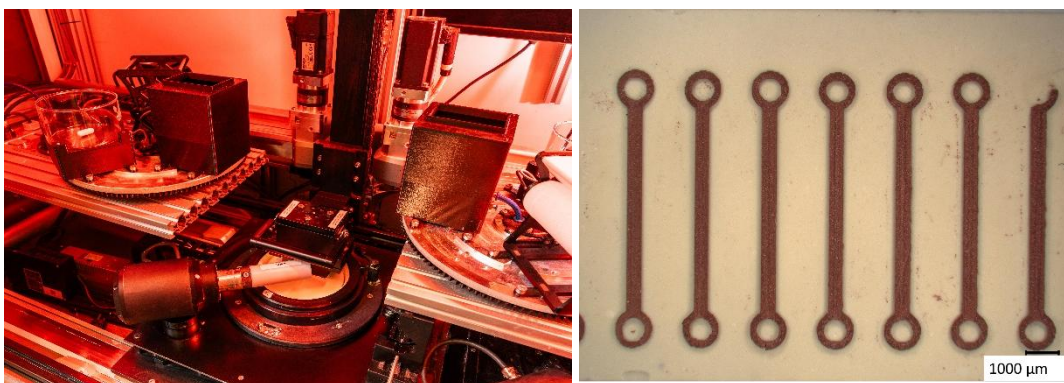


Bild 1: Badbasierte Photopolymerisation (VPP-LED): Multi-Material-Fertigungsanlage Lithoz 2M30 und ein gedrucktes Aluminiumoxid-Kupfer Multi-Material-Bauteil. Quelle: wbk.

Im PBF-LB-Verfahren wird Kupferpulver mittels eines Laserstrahls lokal aufgeschmolzen und dadurch Schicht für Schicht eine dreidimensionale Geometrie erzeugt. Dieses Verfahren wurde im Rahmen des Projekts eingesetzt, um verschiedene keramische Substrate oberflächlich zu metallisieren.

Untersucht wurde die Metallisierung von konventionell hergestellten Aluminiumoxid-, Aluminiumnitrid- und Siliziumnitrid-Substraten sowie von mittels VPP hergestellten Aluminiumoxid- und Aluminiumnitrid-Substraten. Bei den VPP-Substraten (Aluminiumoxid) konnten Werte für mechanische Haftfestigkeit erreicht werden, die mit additiv erzeugten Metallisierungen auf konventionell hergestellten Substraten vergleichbar sind; die Werte für die elektrische Leitfähigkeit blieben etwas darunter. Beim konventionellen Aluminiumnitrid (vgl. Bild 2) wies die Metallisierung eine hohe elektrische Leitfähigkeit, aber eine niedrigere Haftfestigkeit auf. Eine thermische Nachbehandlung unter Stickstoff-Atmosphäre zeigte einen positiven Einfluss auf die Leitfähigkeit der Kupferstrukturen.

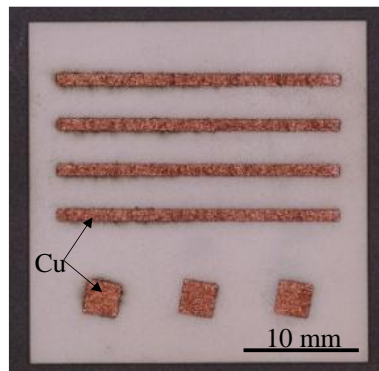


Bild 2: Kupferstrukturen, mittels PBF-LB-Verfahren erzeugt, auf konventionell gefertigtem Aluminiumnitrid. Quelle: FAPS.

Weiterhin wurde gezeigt, dass mittels Piezojet-Drucks Leiterbahnen für die Anbindung von Sensoren nahe dem Halbleiter in das Modul integriert werden können. Die simulativen Ergebnisse legten nahe, dass insbesondere der Einsatz von Aluminiumnitrid mit integrierten Kupferbahnen als Kühlkörper die thermische Impedanz senkt; jedoch sind die thermo-mechanischen Spannungen im Materialverbund zu beachten und zu reduzieren, etwa durch geometrische Anpassungen (sehr dünne integrierte Kupferlagen).

Als Technologie-Demonstrator des Forschungsprojekts wurde der in Bild 3 gezeigte Aufbau realisiert, bestehend aus einem mittels VPP gefertigten keramischen Basissubstrat, das potenziell als Kühlkörper verwendet werden kann, einer durch PBF-LB hergestellten Kupfer-Metallisierung, einer aufgetragenen Lotschicht sowie einem integrierten Chip.

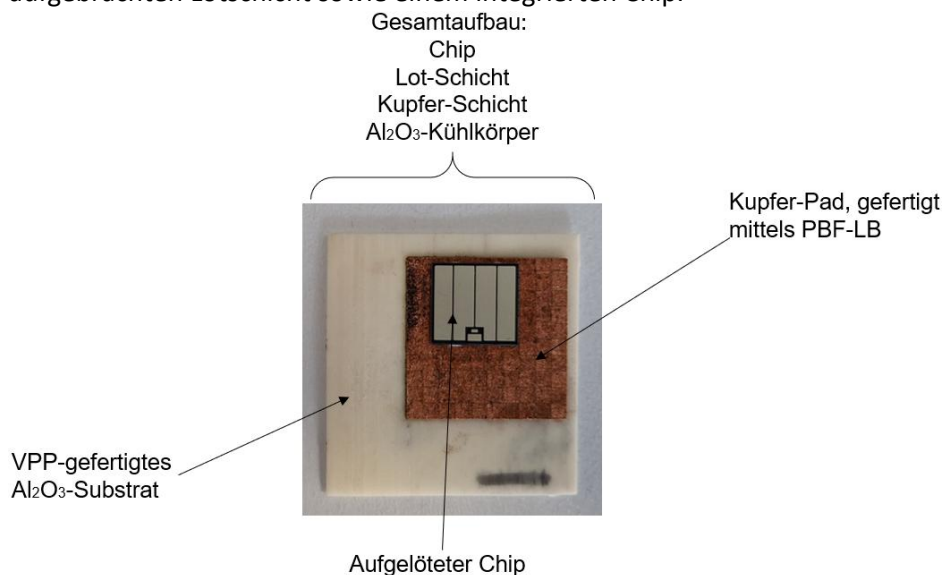


Bild 3: Technologie-Demonstrator

Berichtszeitraum

01.04.2023 – 31.07.2025

Forschungsvereinigung

Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik (wbk)

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)