Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik (IWW)
Technische Universität Chemnitz
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Wielage

Professur für Aufbau- und Verbindungstechnik
IMTEK Institut für Mikrosystemtechnik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilde

Sachstandsbericht zum Projekt

„Realisierung neuer Aufbaukonzepte für die Mechatronik durch kaltgasgespritzte Schichten“

Projektlaufzeit: 1.7.2008 – 30.6.2010

DVS-Nr.: 10.050 **AiF-Nr.:** 15.441 B

Projektleiter (IWW): Sabine Kümmel
Sabine.Kuemmel@mb.tu-chemnitz.de

Projektleiter (IMTEK): Eugen Rastjagaev
Eugen.Rastjagaev@imtek.de

Datum des Berichts: 21.11.09

Verfasser: Sabine Kümmel, Eugen Rastjagaev

Ziel des Vorhabens:
Forschungsziel ist es, neue effizientere Aufbaukonzepte für die Leistungselektronik und Mechatronik durch das Kaltgasspritzen von Metallisierungen auf Isolatorstrukturen zu realisieren.

Durchgeführte Arbeiten:

1. Herstellung der Isolatorschichten und Metallisierungen

Im Rahmen der laufenden Untersuchungen wurden großflächige (190x137 mm^2) gesinterte Al_2O_3-Keramiken mit Al-Cu Materialverbund beschichtet (Abb. 1). Die Keramikssubstrate konnten dabei sowohl ein- als auch beidseitig beschichtet werden.

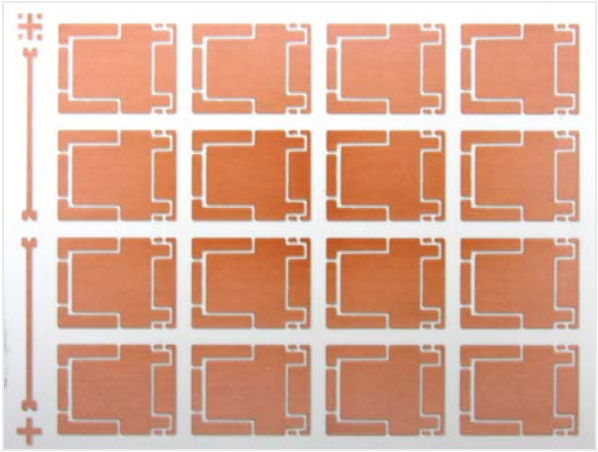

Abb. 1: *Al_2O_3-Substrat (190x137 mm^2) nach der Beschichtung mit Aluminium und Kupfer mit strukturierten Bereichen*

Zur Herstellung der Al-Haftvermittlerschicht wurde hochreines wasserverdüstes Al-Pulver verwendet (99,99 % Al, Partikelgröße +20-45 µm). Zur Herstellung der Kupfermetallisierung wurde gasverdüstes Cu-Pulver mit einer Partikelverteilung von -20+5 µm eingesetzt (Abb. 2).

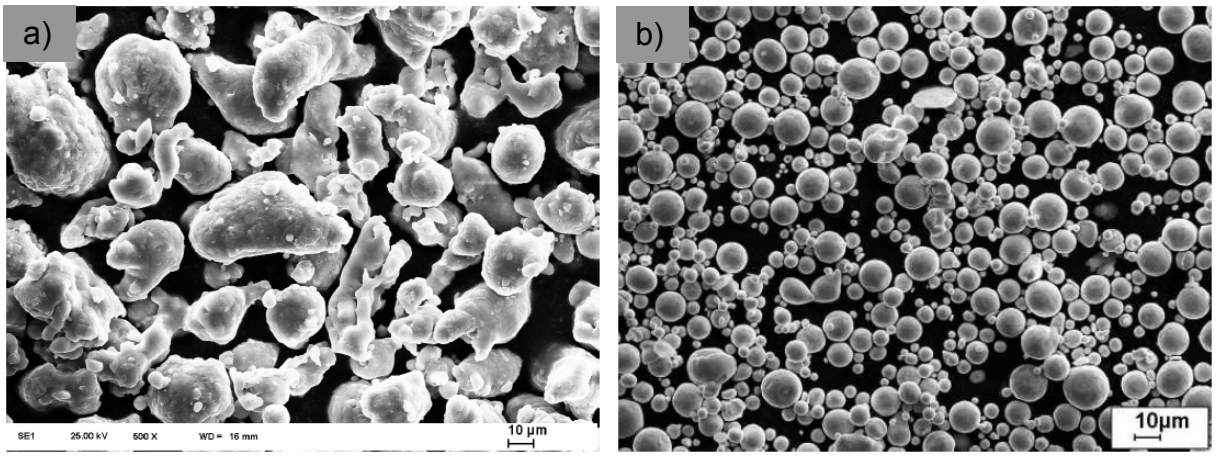

Abb. 2: *REM-Aufnahme des verwendeten Al-Pulvers a);*
REM-Aufnahme des verwendeten Cu-Pulvers b)

Der Beschichtungsprozess von Al_2O_3-Substratplatten mit Al-Cu Metallverbund unter geometrischer Strukturierung wurde erfolgreich optimiert. Die Schichtdicke der Al-Haftvermittlerschicht bei optimierter Prozessführung beträgt im Mittel 50 µm und die der Cu-Schicht 200 µm (Abb. 3). Die Gesamtschichtdicke der Metallisierung entspricht dabei in etwa der Metallisierung (280 µm) des DCB-Substrats.

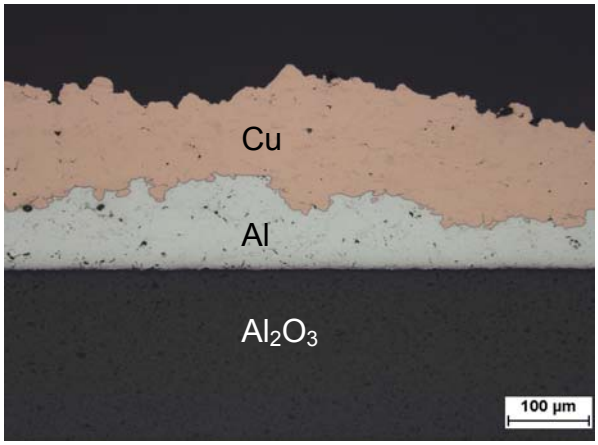

Abb. 3: *Querschliff: Al-Cu-Metallisierung auf dem Al_2O_3-Substrat*

Zur Ermittlung der Haftfestigkeit der Al-Schicht auf dem Al_2O_3-Substrat wurden Zugversuche in Anlehnung an die DIN EN 582 und die zugehörige Arbeitsanweisung durchgeführt. Die für diese Testzwecke doppelseitig gespritzten und 200 µm dicken Al-Schichten zeigten im Mittel eine Haftfestigkeiten von 30 MPa.
Des Weiteren wurden Al_2O_3-Isolatorschichten mittels APS (**A**tmospheric **P**lasma **S**pray) erzeugt und erfolgreich mit kaltgasgespritztem Kupfer (bis 300 µm Dicke) beschichtet (Abb. 4).

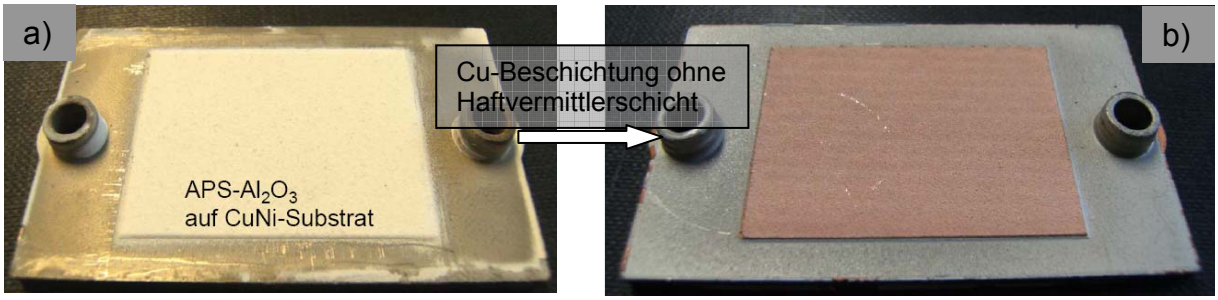

Abb. 4: *Mit APS-Al_2O_3 beschichtetes Cu-Ni-Substrat a); Kaltgasgespritzte Kupferschicht auf plasmagespritztem Aluminiumoxid b)*

Messungen der Durchschlagsfestigkeit wurde in Anlehnung an ASTM D 149 durchgeführt. Die plasmagespritzten Al_2O_3-Isolatorschichten (d=100 µm) zeigten Durchbruchspannungen bis 2,5 kV.

2. Aufbau- und Verbindungstechnik

Im Bereich der Aufbau- und Verbindungstechnik wurde gezeigt, dass Löt- und Bondverbindungen an kaltgasgespritzten Schichten realisierbar sind. Die Untersuchungen der hergestellten Lötverbindungen weisen nach, dass bei den verwendeten Loten an den gelöteten Leistungselektronikmodulen sehr gute Benetzung der kaltgasgespritzten Kupferschichten und nur wenige Fehler (Lunker, Poren) im Lot auftreten.

Die Durchführung der Dickdrahtkontaktierung erfordert thermische und mechanische Nachbehandlung der kaltgasgespritzten Substrate. Das Tempern hat zum Ziel, die kaltgasgespritzten Schichten duktiler zu machen. Dabei konnte gezeigt werden, dass

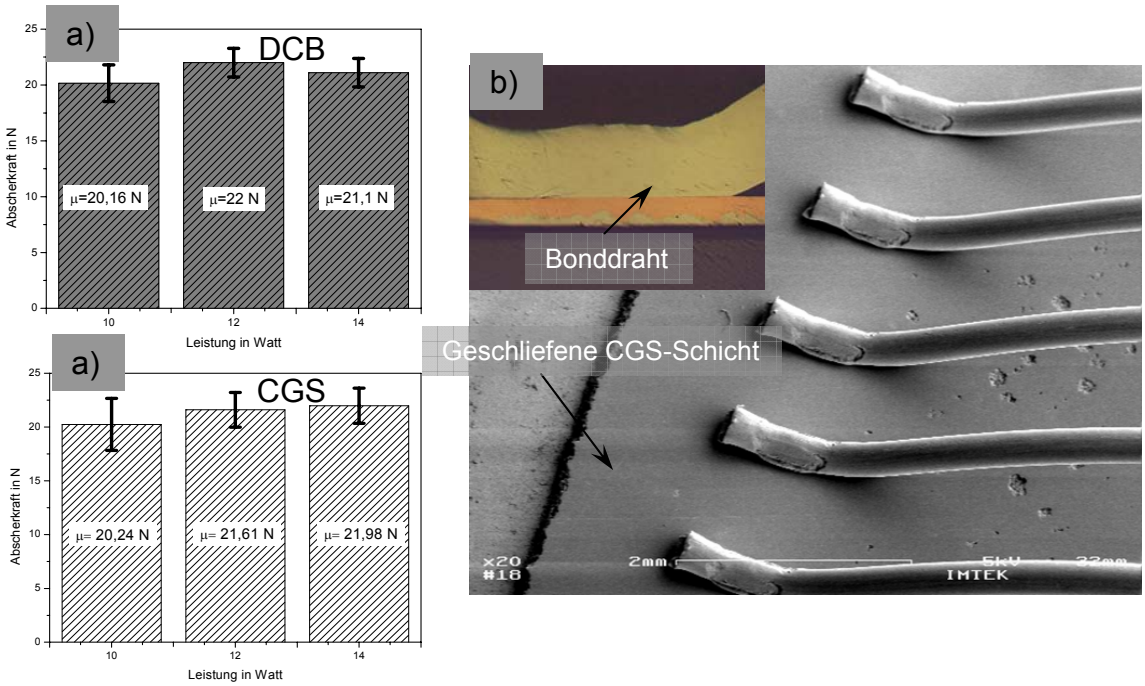

Abb. 5: *Vergleich der Abscherkräfte der Bonddrähte (400 µm) zwischen kaltgasgespritzten Schichten und DCB- Kupfermetallisierung bei unterschiedlichen Bondleistungen a); REM-Aufnahme der Bonddrähte und Querschliff durch ein 400 µm-Draht gebondet auf der nachbehandelten CGS-Schicht b)*

sich nach dem Tempern bei 350 °C für etwa 2 h die Schichthärte halbiert. So sinkt die Härte von 193±7 HV0,1 auf 115±3 HV0,1. Bei der abschließenden mechanischen Nachbehandlung der Substrate werden die Oxidhäute von den Schichtoberflächen entfernt und deren Rauheit minimiert. Nach der Nachbehandlung weisen auf den Kaltgasschichten gebondete Dickdrähte ähnliche Scherfestigkeit wie auf der DCB-Kupfermetallisierung auf (Abb. 5).

3. Zuverlässigkeitsuntersuchungen

Einen weiteren Bestandteil der Untersuchungen bildeten aktive (Power-cycling) und passive Temperaturwechseltests. Beim passiven Temperaturwechsel werden nach 200 Temperaturzyklen (-50°C bis 150°C mit 20 min. Haltezeit pro Ecktemperatur) erste Ausfälle der kaltgasgespritzten Schichten erkennbar (Abb. 6). Hierbei kommt es im Gegensatz zum Muschelbruch beim DCB zu einer Delamination der kaltgas-gespritzten Schichten vom Al_2O_3-Substrat. Bei getesteten Substraten handelte es sich um einseitig beschichtete Al_2O_3-Keramiken mit einer Substratstärke von 630 µm. Die Dicke der Metallisierung betrug 240 µm.

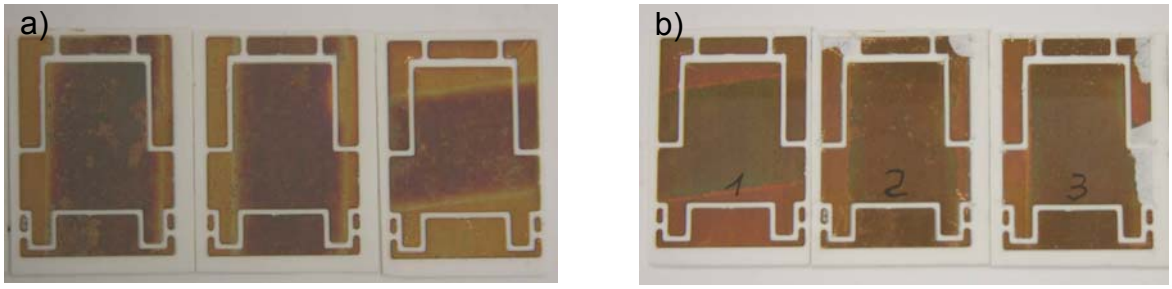

Abb. 6: *Einseitige CGS nach 100 TW-Zyklen kein Ausfall a);*
Delaminationen der CGS-Schicht bei den Substraten nach 200 TW-Zyklen b)

Im Vergleich zum passiven Temperaturwechsel stellen Powercycling-Tests realistischere Testbedingungen her. Zur Durchführung der Powercycling-Tests wurden Leistungstransistoren (IGBT Hitachi BFC 150 EA6) zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Die Transistoren wurden mittels eines elektrisch leitenden Klebstoffs auf den kaltgasgespritzten Substraten montiert (Abb. 6). Nach bisher 140.000 Zyklen bei 35°C bis 135°C mit 30 Sekunden Haltezeit/Ecktemperatur wurden noch keine elektrischen Ausfälle an getesteten Modulen (CGS-Substrat mit IGBT) beobachtet.

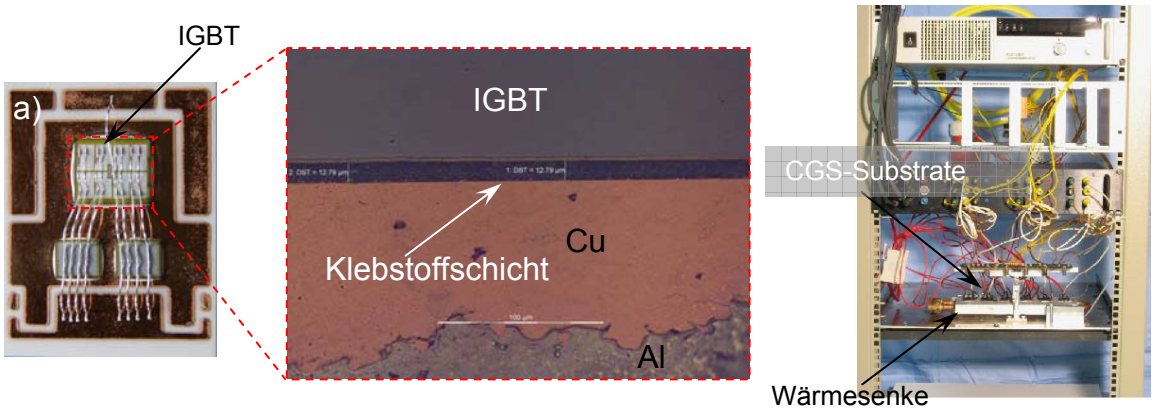

Abb. 6: *Einseitige nachbehandelten CGS-Substrate mit aufgeklebten Bauelementen a);*
Querschliff durch den Transistor b); Powercyclinganlage c)

4. Materialuntersuchungen an hergestellten Schichten
   1. Thermische Widerstände der Al_2O_3-Al/Cu-Schichtverbunde wurden im Vergleich zum DCB gemessen. Thermische Widerstände der kaltgasgespritzten Substrate sind im Mittel um 29 % höher als beim DCB.
   2. Elektrische Leitfähigkeiten der Schichten wurden gemessen. Es hat sich gezeigt, dass Aufgrund der unterschiedlichen Anteilen an Al und Cu im Metallverbund die elektrische Leitfähigkeit in der gespritzten Schicht im Bereich von 0,062 bis 0,025 $\Omega \cdot mm^2/m$ variiert.
   3. Es wurden E-Modul und thermische Ausdehnung der Hergestellten Schichten gemessen. Der E-Modul des Al-Cu-Verbundes liegt je nach Anteil des Aluminiums im Verbund im Bereich zwischen 51-72 GPa.
   4. Ermittlung der Qualitätsmerkmale der Schichten Schichtdicke, Porosität der Schichten werden laufend ermittelt.
   5. Richtwerte zur Stromtragfähigkeit wurden an ersten Versuchen ermittelt (Stromtragfähigkeit ist >180 A/mm^2 (bei wassergekühlten Proben) und >90 A/mm^2 bei ungekühlten Proben).

Geplante Untersuchungen

1. Analyse hergestellter Schichten

- TEM-Untersuchungen der hergestellten Schichten
- XPS/EDX-Untersuchungen der hergestellten Schichten

2. Aufbau- und Verbindungstechnik

- Eine Versuchsreihe zur Reduzierung der Zeit und Temperatur beim Tempern der CGS-Schichten
- Weitere Bondversuche an gebürsteten Substraten
- Nachbehandlung der mit APS-Al_2O_3+CGS-Schicht beschichteten Substrate

3. Zuverlässigkeit und Schadensanalyse

- Power-Cycling an gelöteten CGS-Substraten
- Untersuchungen zur Temperaturwechselbelastung in Abhängigkeit der Haftfestigkeit der gespritzten Schichten
- Schadensanalyse mittels Ultraschallmikroskopie und Metallographie
- Feuchtetest an gespritzten Al_2O_3-Schichten

PbA

- GfE Fremat GmbH	*Lohnbeschichter*
- OBZ Dresel&Grasme GmbH	*Lohnbeschichter*
- Dr. Lauck GmbH	*Eloxier-Betrieb*
- Curamik GmbH	*DCB-Modul-Hersteller*
- Danfoss GmbH	*DCB-Modul-Anwender*
- Robert Bosch GmbH	*DCB-Modul-Anwender*