

Integration funktionaler Werkstoffe in die Dickschicht- und LTCC-Technologie

Qaisar Muhammad¹, Peter Keil¹, Arno Görne², Uwe Krieger¹, and Koji Koiwai¹

¹VIA electronic GmbH, Robert-Friese-Str. 3, 07629 Hermsdorf, Germany

²Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Michael-Faraday-Str. 1, 07629 Hermsdorf, Germany

Abstract:

Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) ermöglichen kompakte, leistungsstarke elektronische Geräte durch die Integration passiver Komponenten wie Widerstände, Kondensatoren und Induktivitäten in ein mehrschichtiges Keramiksubstrat.

Im Rahmen der SAPHIR-VP2-Initiative untersucht diese Studie die Integration von Varistoren in LTCC-Systeme unter Verwendung neu entwickelter siebdruckfähiger Pasten. Die Kompatibilität nach dem Sintern und die elektrische Leistung wurden mit verschiedenen Elektrodenmaterialien (Ag, Au, AgPd) bewertet. Die Ergebnisse zeigen ein vielversprechendes Verhalten von Varistoren auf ZnO-Basis sowohl für gemeinsam gesinterte Strukturen (co-fired) als auch für „Postfired-Varianten“. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde ein Konzept für einen siebdruckbaren „Piezotronic-Sensor“ entwickelt.

Varistoren - Einleitung

Varistoren, die in der Regel aus Zinkoxid (ZnO) hergestellt und bei 1000–1500 °C gesintert werden, schützen elektronische Schaltungen vor Spannungsspitzen. Sie werden in Überspannungsschutzgeräten eingesetzt, um Schäden durch Überspannung zu verhindern.

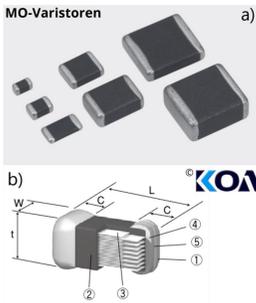


Abbildung 1: Varistoren - Einleitung: SMD-Metalloxid-Varistoren mit Querschnitt und Strom-Spannungs-Kurve.

LTCC-Technologie (Übersicht)

Die LTCC-Technologie ermöglicht das gleichzeitige Sintern von mehrschichtigen Keramiken mit leitfähigen, widerstandsbehafteten und dielektrischen Elementen unter 900 °C, wodurch kompakte, thermisch stabile Module mit hervorragenden Eigenschaften für Hochfrequenzanwendungen entstehen.

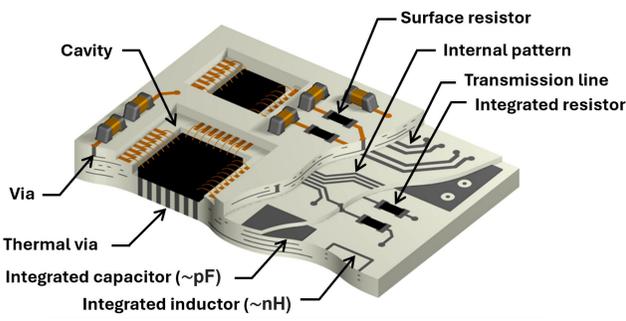


Abbildung 2: LTCC-Technologie (Übersicht): Interposer mit dicht gepackten elektrischen Komponenten.

Reduzierung der Sinter Temperatur von Varistoren (Fraunhofer IKTS)

Um Varistoren in die LTCC-Technologie zu integrieren, wurde die Sinter Temperatur des Varistormaterial auf etwa 900 °C gesenkt, damit es zusammen mit den LTCC-Tapes gebrannt werden kann.

Das Fraunhofer IKTS entwickelte ZnO-Bi₂O₃-Varistormaterialien, die bei 900 °C gesintert werden können. Diese Materialien weisen eine starke Spannungs-Strom-Nichtlinearität auf, wobei Bi₂O₃ und Sb₂O₃ an den Grenzen zwischen den ZnO-Körnern bilden.

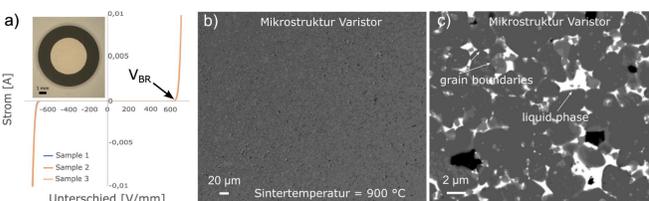


Abbildung 3: Reduzierung der Sinter Temperatur von Varistoren: Elektrische Kennlinie von Varistorproben, hergestellt bei reduzierter Sinter Temperatur (900 °C) - Gefüge nach Optimierung (Fraunhofer IKTS).

Varistorpastenentwicklung und anschließende Integration von Varistoren in LTCC-Substrate

Die VIA electronic GmbH hat ein state-of-the-art Siebdruckverfahren eingesetzt, um die Funktionalität von Varistorpaste zu testen. Die Varistoren wurden im Siebdruckverfahren aufgebracht und zwischen LTCC-Schichten vergraben. Um eine kostengünstige Metallisierung zu finden, wurden drei Systeme – Gold (Au), Silber (Ag) und Silber-Palladium (AgPd) – getestet und anschließend laminiert.

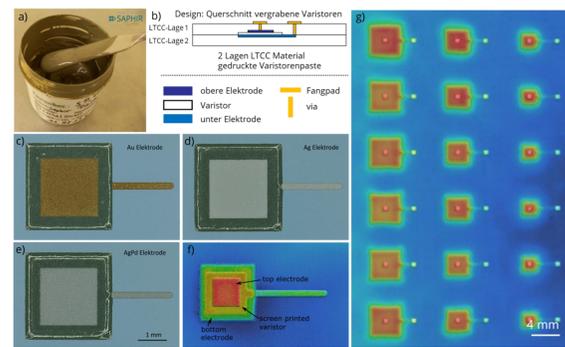


Abbildung 4: Integration von Varistoren in LTCC-Substrate: (a) Entwickelt Varistorpaste (IKTS), (b) Teststrukturen, (c-f) getestete Metallisierungssysteme mit 3D-Darstellung (g) eines gesinterten Laminats (900 °C).

Vergrabene Varistoren und Sinterprozess

Die Laminats mit vergrabene Varistoren wurden anschließend einem optimierten Sinterprozess unterzogen.

Es wurden mehrere Sinterprofile zwischen 850 °C und 900 °C getestet. Die besten Ergebnisse wurden bei 900 °C erzielt, wobei mit dem AgPd-System flache, fehlerfreie Substrate hergestellt wurden.

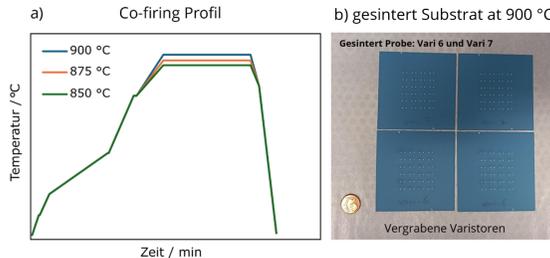
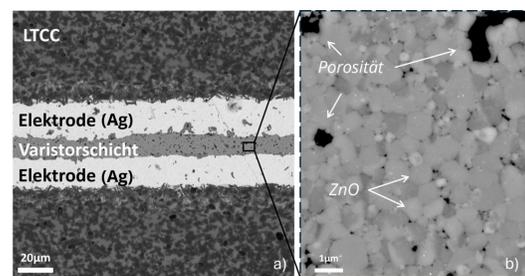


Abbildung 5: Vergrabene Varistoren und Sinterprozess-Optimierung: (a) getestete Sinterprofile und (b) gesinterte Substrate mit Varistor 6 und 7 im AgPd7-System.

Querschnitt Untersuchung - und Elektrische Charakterisierung

Die Querschnittanalyse zeigt gut positionierte Varistoren mit klar definierten Metallisierungsschichten und Varistorschichten. Elektrische Tests bestätigen das nichtlineare Varistorverhalten für alle Elektrodenmaterialien (Ag, AgPd, Au). AgPd hatte einen ähnlichen Nichtlinearitätskoeffizienten (α) wie Au, und ist kostengünstiger.



Elektroden Material	$\alpha^{*0,1/1}$	$V_{BR/1mA}$ [V]
Ag	6.40	40
Au	24.1	104
AgPd	17.7	102

Abbildung 6: Querschnitt (REM) und elektrische Charakterisierung: (a, b) Querschnitts-SEM-Bilder von gesinterten Substraten (c) Messaufbau für elektrische Charakterisierung (d) I-V-Kurve und Tabelle mit Elektroden, und gemessene Parameter Alpha- und Durchbruchspannungen.

Dickschichtverarbeitung der Varistor-Paste auf Al₂O₃-Substraten - „Postfired Variante“

Varistoren unterschiedlicher Größe (1x1 mm² bis 4x4 mm²) wurden im Siebdruckverfahren auf vorgesintertes Aluminiumoxid aufgebracht, um das Verhalten nach dem Brennen zu untersuchen. Aufgrund der unzureichenden Dicke eines einzelnen Drucks wurde ein Doppel-Druckverfahren verwendet (siehe Tabelle).

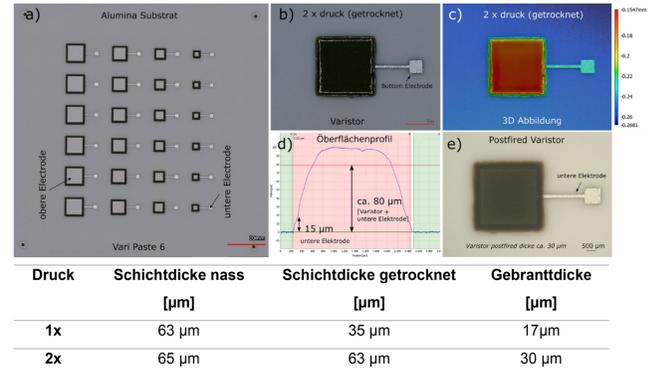


Abbildung 7: Postfired-Varistor auf Alumina: - Optimierung des Siebdrucks und der Sinterung.

Piezotronischer Sensor: Konzept

Das von uns entwickelte Konzept des siebgedruckten Piezotronic-Sensors basiert auf dem Piezotronic-Effekt von Varistoren.

VIA produzierte und sinterte siebgedruckte Sensoren auf Aluminiumoxidmembranen, um die endgültigen Sensormodule herzustellen.

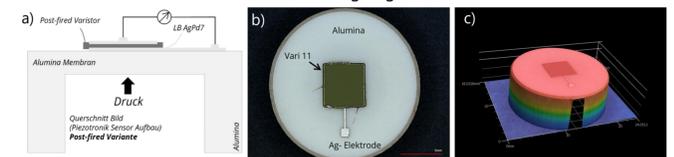


Abbildung 8: Demonstrator - Piezotronischer Drucksensor: (a) Design und (b, c) 2D- und 3D-Ansichten des siebgedruckten Varistors auf Alumina-Membran.

Messaufbau und Elektrische Charakterisierung

Module wurden mit einem Luftdruck von bis zu 6 bar getestet. Die Proben wurden an einem befestigt, an dem der Luftdruck kontrolliert und schrittweise erhöht wurde. Nach jedem Schritt wurden die Sensorsignale gemessen.

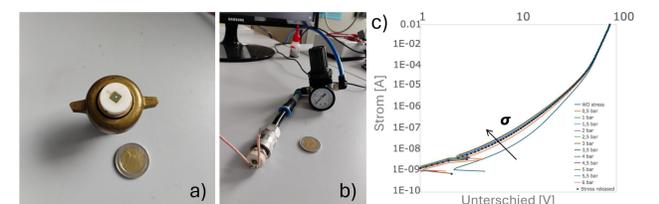


Abbildung 9: Messaufbau und Elektrische Charakterisierung - (a, b) Messaufbau, (c) gemessene I-V-Daten.

Zusammenfassung

Erfolgreiche Integration der Funktionselemente (Varistoren) in Dickschicht- und LTCC-Technologie

- Entwicklung von Varistormaterialien auf ZnO-Basis unterstützt durch IKTS
- Siebdruck von Varistor-Pasten auf verschiedenen LTCC-Tapes
- Bewertung verschiedener Metallpasten (Au, Ag, AgPd) als Elektrodenmaterial
- Demonstration der Nichtlinearität der in LTCC integrierten Varistoren
- Untersuchung des Konzepts eines Piezotronischen Sensors auf Basis von ZnO-Varistoren

Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFT) geförderten Forschungsprojekts „SAPHIR“ durchgeführt.

Literatur

- [1] Clarke, David R. "Varistor ceramics." *Journal of the American Ceramic Society* 82.3 (1999): 485-502.
- [2] Keil, Peter, et al. *Journal of Applied Physics* 121.15 (2017).
- [3] Frömling, Till, et al. *MRS Bulletin* 43.12 (2018): 941-945.

