

Integration von Ferritkomponenten in Dickschicht- und LTCC-Modulen

Qaisar Muhammad¹, Peter Keil¹, Beate Capraro², Arno Görne², Manuel Heidenreich³, Sebastian Bachmann⁴, Tashneem Islam², Dirk Schabel², Jorg Töpfer³, Uwe Krieger¹, and Koji Koiwai¹

¹Forschung & Entwicklung, VIA electronic GmbH, Robert-Friese-Str. 3, 07629 Hermsdorf

²Fraunhofer Insitut für Keramik Technologies und Systeme IKTS, Michael-Faraday-Str. 1, 07629 Hermsdorf

³Ernst-Abbe-Hochschule, Fachbereich SciTec., Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

⁴Tridelta Weichferrite GmbH, Robert-Friese-Str. 8 - 10, 07629 Hermsdorf

Abstract

Die Miniaturisierung passiver Schaltungskomponenten ist eine zentrale Anforderung für modernes mikroelektronisches Packaging. LTCC-Technologie ermöglicht durch das Einbrennen siebgedruckter Bauelemente eine hohe Integrationsdichte, stellt jedoch Anforderungen an kompatible Pasten und stabile Eigenschaften bei hohen Frequenzen.

Hier untersuchen wir die Möglichkeit, Ferritkomponenten, z. B. Induktoren, in die LTCC-Technologie zu integrieren. Wir stellen die Verarbeitung und Leistungsbewertung von Ni-Cu-Zn (NCZ)-Ferrit-basierten Mehrlageninduktoren vor, die in handelsübliche LTCC-Systeme eingebettet sind. Details zur Prozessoptimierung und standardisierten Bewertung der magnetischen Eigenschaften werden vorgestellt. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Integration magnetischer Komponenten in keramische Mehrschichtbauteile, was zu kleineren, effizienteren Geräten führen soll.

Struktur der Arbeit

➤ $Ni_{0.3}Cu_{0.7}Zn_{0.5}Fe_{1.98}O_{3.99}$ (NCZ-Ferrit) Pulver wurde entwickelt, zu Folien verarbeitet und für Siebdruck-Mehrlagenspulen in LTCC genutzt.

➤ Zwei Demonstratoren: 1. mit siebgedruckten Metallschulen in Ferritfolien, 2. mit höheren Leiterbahnen und Ferritpastenschicht (als Kompensationsdruck).

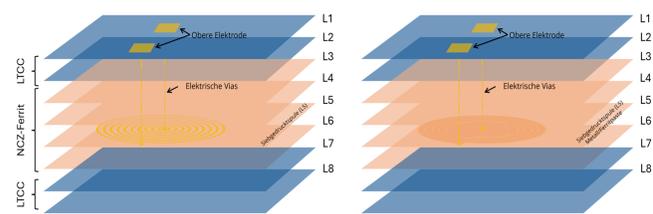


Abbildung 1: Schichtaufbauten der Konzeptnachweise: (a) Demonstrator 1, (b) Demonstrator 2. (Details in den jeweiligen Abschnitten.)

Prozess/Technologie:

Untersuchung der Verarbeitung von keramischen Grünfolien

Erste Arbeiten prüften die Stanzbarkeit von NCZ-Ferrit- und CT 708-Grünfolien. Beide Folientypen wurden mit 200 µm Vias und 1 mm Pitch gestanzt, um Stanzbarkeit und Handling für den Demonstrator mit NCZ-Ferrit- und LTCC-Schichtstruktur zu bestätigen.

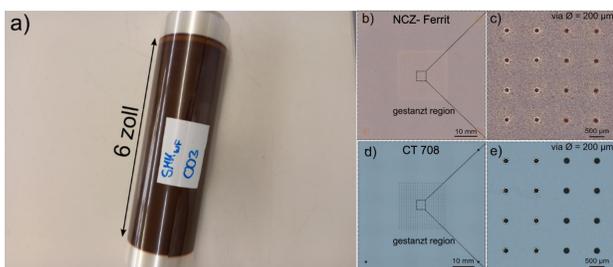


Abbildung 2: Untersuchung der Verarbeitung von keramischen Grünfolien: (a) 6-Zoll NCZ-Ferrit-Rolle. (b) Gestanzte NCZ-Ferrit-Folie. (c) Vias (200 µm). (d, e) Gestanzte CT 708-Tape, Vias (200 µm), pitch 1 mm.

Optimierung der Grünfolien Laminierung und Sintern sowie Evaluierung der Schwindung

Es wurden 4-lagige Laminare aus NCZ-Ferrit und CT 708 sowie ein 8-lagiges Co-Laminat (2 CT 708 / 4 NCZ-Ferrit / 2 CT 708) hergestellt. Mit optimiertem Sinterprofil entstanden dichte Substrate. Die Maßänderungen während Stanzen, Laminieren und Sintern zeigten linearen Schrumpfung von 17,5% (NCZ), 17,2% (CT 708) und 11,4% (Co-Laminat).

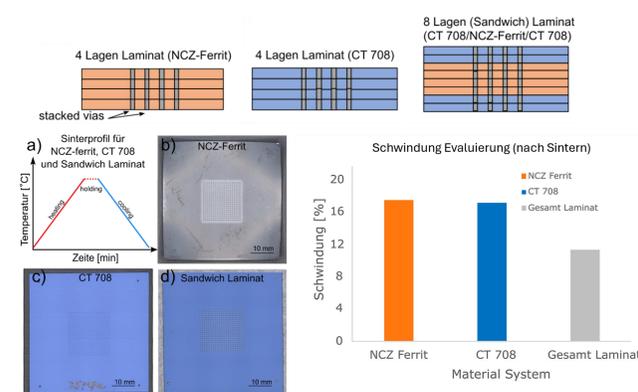


Abbildung 3: Laminierung, Sintern und Schwindung: (a) Sinterprofil. (b) NCZ-Ferrit-Laminat. (c) CT 708-Laminat. (d) Sandwich-Laminat. (e) Schwindungsauswertung.

Wechselwirkungsuntersuchungen LTCC-Tapes

Das Cofiring von NCZ-Ferrit- und LTCC-Folien wurde auf mögliche Grenzflächenreaktionen untersucht. Co-Laminare wurden nach optimiertem Sinterprofil gesintert. Optische Mikroskopie und FESEM zeigten delaminationsfreie Strukturen und eine ca. 2 µm dicke Grenzschicht, die gute Haftung und Materialverträglichkeit bestätigt.

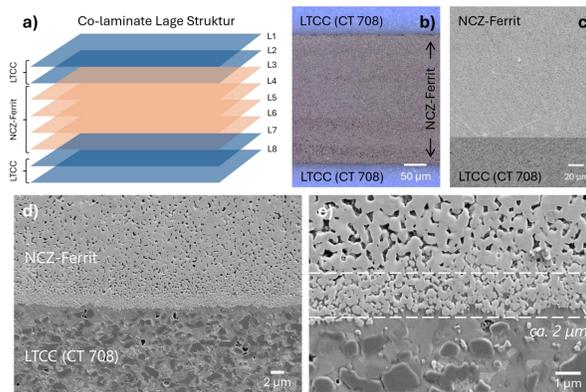


Abbildung 4: Wechselwirkungsuntersuchungen LTCC-Tapes: (a) Lagestruktur Co-Laminat. (2 LTCC-Lagen/4 NCZ-Ferrit-Lagen/2 LTCC-Lagen). (b, c) Querschnitt nach Sintern/REM bild. (d, e) Interface Layer ca. 2 µm.

Entwicklung von siebdruckfähigem Metall und Ferritpasten (Vorbereitung Demonstrator 1 und 2 Durchführung)

Metall- und Ferritpastenspulen wurden im Siebdruck hergestellt, wobei handelsübliche Metallpasten und eine maßgeschneiderte Ferritpaste (IKTS) getestet und die Schichtdicken optimiert wurden. Anschließend wurden die Spulen erfolgreich auf NCZ-Ferritfolien gedruckt und zwischen CT 708-Schichten als Sandwich aufgebaut.

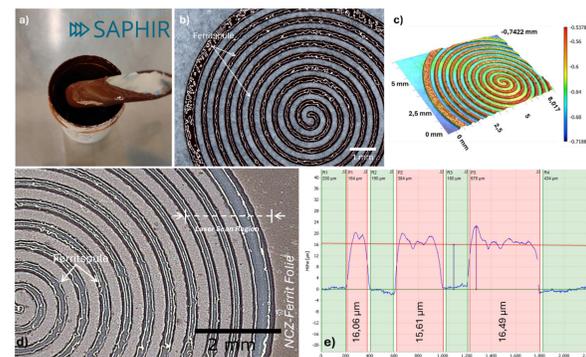


Abbildung 5: Entwicklung von siebdruckfähigem Metall und Ferritpasten: (a) Entwickelt Ferritpaste (IKTS). (b) gedruckte Spule auf Testfolie. (c) 3D-Struktur. (d) Spule auf NCZ-Ferrit Folie. (e) Schichtdicke per Laserscan.

Integration von Ferritkomponenten in Dickschicht- und LTCC-Modulen Demonstrator 1:

Metallpasten (Au/AgPd) wurden per Siebdruck auf NCZ-Ferritfolien gedruckt und im CT 708 LTCC-System eingebettet. Zur Evaluierung wurden monolithische Laminare verwendet. Alle Proben wurden mit SAPHIR VP3-Profil gesintert.

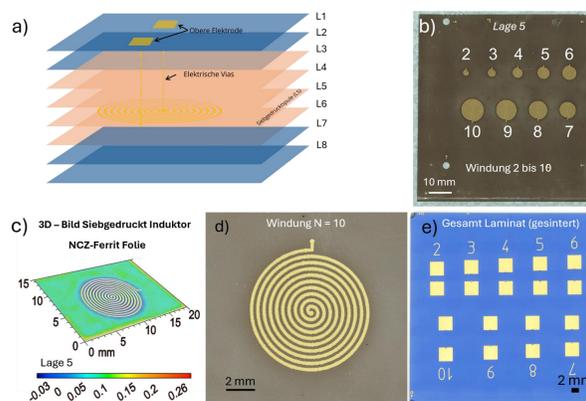


Abbildung 6: Demonstrator 1: (a) Schichtaufbau mit Spule. (b) Draufsicht Spule (2-10 Windungen). (c) 3D-Bild 10-Windungen-Spule. (d) Optisches Bild. (e) Gesintertes 8-lagiges Laminat mit vergrabener Spule.

Integration von Ferritkomponenten in Dickschicht- und LTCC-Modulen: Demonstrator 2

Demonstrator 2 nutzte dickere, siebgedruckte Metallschulen (ca. 28 µm) und eine ausgleichende NCZ-Ferritpaste (IKTS), um den elektrischen Widerstand zu senken und die Leistung zu verbessern. Mehrere Spulenwicklungen wurden auf NCZ-Ferrit Folie neben der Ferritpastenschicht gedruckt.

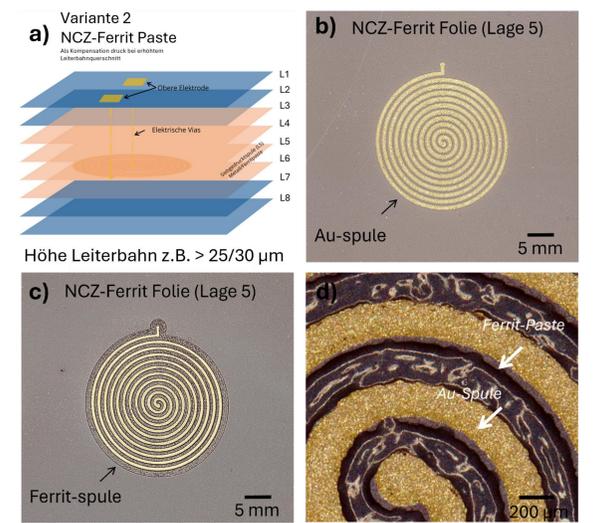


Abbildung 7: Demonstrator 2: (a) Lagestruktur Variante 2 (Laminat mit Ausgleichsdruck). (b) 10-Windungen-Metallschule. (c) Metallschule mit Kompensationsdruck. (d) Vergrößerte Ansicht mit Markierungen.

Elektrische/magnetische Messungen und Mikrostrukturanalyse

Funktionale Tests und Mikrostrukturanalysen zeigten stabile Induktivität bei allen Induktoren. Co-laminierte Varianten entsprachen dem monolithischen NCZ-Ferritsystem. Demonstrator 2 hatte einen geringeren Widerstand als Demonstrator 1. Die Mikrostruktur zeigte dichte, gut integrierte Ferritkomponenten ohne Delamination oder Verformung.

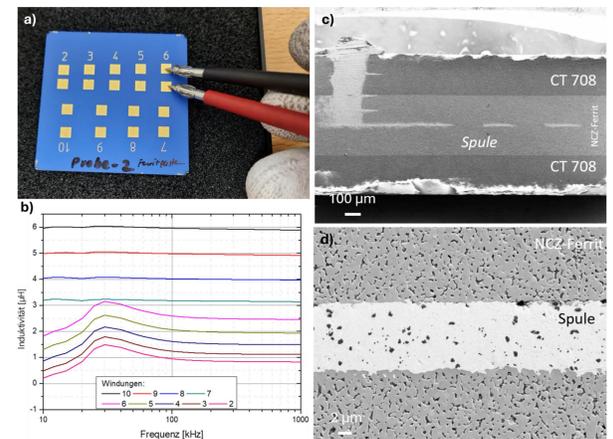


Abbildung 8: Ferritintegration in Dickschicht- und LTCC-Modulen: (a) Probenmessungen. (b) frequenzabhängige Induktivität (2-10 Windungen). (c) REM-bild des Querschnitts. (d) Detail der integrierten Spule.

Zusammenfassung

- Erfolgreiche Integration von NCZ-Ferrit in die LTCC-Technologie als diskrete und laminierte Mehrlagenmodule
- Zwei Demonstratoren: Metallschulen (1) und höhere Leiter mit Ferritpaste (2) entwickelt
- Grünfolien wurden prozessiert und Sinterprofile für dichte, stabile Substrate optimiert
- Entwicklung von Siebdruckpasten (IKTS) und mehrlagige Spulen gesintert
- Analysen zeigen stabile Induktivität, geringeren Widerstand (2) und fehlerfreie Ferritschichten

Danksagung

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

Literatur

- [1] Muhammad, Qaisar Khushi, et al. "Advancing Packaging Solutions: Integrating Power Electronics Using LTCC Technology." 2024 IEEE 10th Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC). IEEE, 2024.
- [2] Bartsch, Heike, et al. "Multilayer ferrite inductors for the use at high temperatures." *Microelectronics International* 37.2 (2020): 73-78.

