Abb.10: Wertschöpfungskette Smart-p²-Pack

litäten anbieten. Durch die p²-Pack Technologie kann wertvoller Bauraum bereits in den Leiterplatten-Lösungen eingespart werden. In dem abgebildeten Demonstrator, der von SCHWEIZER zusammen mit Infineon entwickelt wurde, konnten die Leiterplatten für den Nebenaggregatsantrieb gegenüber der konventionellen Lösung zum Beispiel um circa 15 % verkleinert werden.

9. *Erhöhte Zuverlässigkeit:* Durch den Ersatz von Bond-Drähten oder DCB-Keramik wird die Zuverlässigkeit wesentlich gesteigert. In thermischen Zyklentests mit einer Temperaturdifferenz dT von 120 K konnten Aufbauten über 700 000 aktive Zyklen meistern.
10. *Reduktion der Systemkosten:* Durch die Einsparung von Steckverbindungen und Kabeln, die geringeren Kühlmaßnahmen, die Reduzierung der notwendigen Chip-Flächen bei den Leistungsbauelementen, die Verwendung kleinerer passiver Bauelemente, die verminderten EMV-Maßnahmen sowie durch die bereits gegebene Isolation und die Bauraumeinsparung insgesamt, werden erheblich Systemkosten eingespart.

Paradigmen-Shift im Business-Modell

Die eigentliche Herausforderung besteht aber nicht in der technischen Umsetzung sondern in der Veränderung des Geschäftsmodells, da sich die Systemgrenzen verschieben werden. Im Bereich Chip-Embedding arbeiten idealerweise die Halbleiter- und die Leiterplattenhersteller eng zusammen, um zum Wohl der Kunden die optimale Lösung zu finden. Durch die Kooperation mit Infineon mit Fokus auf Leistungselektronik kann SCHWEIZER ihren Kunden dies mittlerweile anbieten.

Infineon stellt die Power-MOSFETs bereit, die für das Chip-Embedding mit einer Kupfermetallisierung speziell angepasst werden. SCHWEIZER stellt das Leadframe bereit mit den entsprechenden Kavitäten, die den Chip später aufnehmen.

Infineon macht den sogenannten ‚Die-attach' bei dem die Rückseite der Chips mit dem Leadframe verbunden werden und in der Folge ein Power Test durchgeführt wird. SCHWEIZER ist für den p²-Pack Aufbau mit den entsprechenden Tests verantwortlich.

Analog zur Herstellung des Inlay Boards wird bei der Smart-p²-Pack-Technologie anstelle eines Inlays ein p²-Pack in die Leiterplatte integriert. Die bereits zuverlässig erprobte Inlay-Technologie kommt somit auch in der neuen Produktlösung Smart p²-Pack zur Anwendung.

Für Applikationen mit hohen Strömen, die schnelles Schalten erfordern und bei denen die Größe des Bauraums wesentlich ist, steht mit dem Smart-p²-Pack eine revolutionäre Lösung zur Verfügung. Erste Anwendungen werden für das neue 48-V-Board des Automotive-Board-Netz bereits realisiert und sollen ab 2019/2020 in die Volumenfertigung gehen.

Schaltungsträger für Radarsensoren

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Schauer, Dipl.-Ing. (FH) Ralph Fiehler, KSG Leiterplatten GmbH

Sensoren sind heute wesentlicher Bestandteil elektronischer Regelsysteme im Kraftfahrzeug und haben die Aufgabe, physikalische oder chemische Größen (z. B. Temperaturen, Drehzahlen, Abstände, Drücke sowie Konzentrationen) zu erfassen und in elektrische Signale umzuwandeln. In den letzten Jahren ist die Variantenvielfalt von sensorischen Systemen im Automobil explosionsartig angestiegen. Vor allem im Bereich der Sicherheits- und Komfortelektronik haben eine Vielzahl von neuen Sensortypen Einzug gehalten. Diese Sensorsysteme unterliegen, neben den hohen technischen Anforderungen, auch immer höheren Ansprüchen hinsichtlich Kosten, Miniaturisierung, Qualität und Zuverlässigkeit. Hierbei spielt die Leiterplatte, als Trägersystem der elektronischen Baugruppe, eine entscheidende Rolle und muss sich dem Trend der steigenden Integrationsdichte, Komplexität und dem Einsatz von Hochfrequenzmaterialien stellen.

Sensors today are a significant part of the electronic control system in an automobile. They are tasked with gathering physical or chemical properties (i.e. temperatures, rotational speeds, distances. pressures and material concentrations) and converting them into electrical signals. Over the last years the variety of sensor systems used in automobiles has increased exponentially. Especially in the realm of safety and convenience electronics a multitude of new sensor types has been introduced. These sensor systems, besides meeting the high technical requirements placed on them, have to fulfill ever higher demands in regard to cost, miniaturization, quality and reliability. In this context the printed circuit board, as the carrier of electronic components, plays a decisive role. It must conform to the trend of rising integration density, complexity and the usage of high-frequency materials.

Auf dem Entwicklungsweg zum autonomen Fahren übernimmt schon heute eine Vielzahl an Sensoren entscheidende Funktionen, die das Autofahren teilautonom und damit komfortabler bzw. sicherer gestalten. Radarsensoren übernehmen hierbei eine Schlüsselfunktion, insbesondere wenn es um Abstands- und Geschwindigkeitsregelung, Einparkhilfen, Stop & Go-Funktionen, Brems- oder Totwinkelassistenten oder zusammenfassend um Kollisionsvermeidung geht.

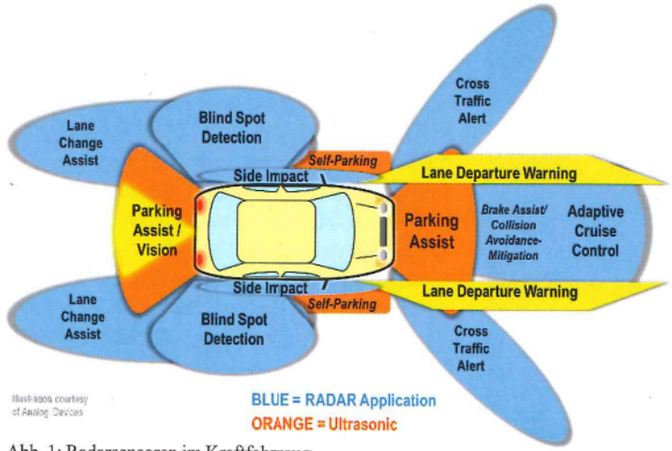
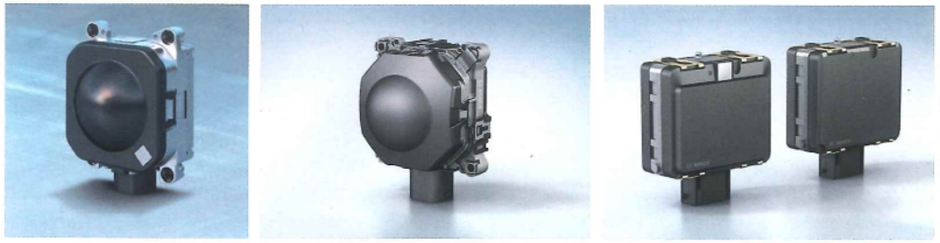


Abb. 1: Radarsensoren im Kraftfahrzeug

Die KSG Leiterplatten GmbH (KSG) verarbeitet jährlich ca. 50 000 m² Basismaterial für die unterschiedlichsten Hochfrequenzanwendungen. Einen Schwerpunkt bilden hierbei Schaltungsträger für die Kfz-Elektronik, dabei insbesondere Radarsysteme im Millimeterwellen-Bereich. Dieser besonderen Anforderung an die Leiterplatte als Baugruppenträger hat sich KSG Leiterplatten gestellt und



www.products.bosch-mobility-solutions.com

Abb. 2: Beispielfotos Radarapplikationen: Long range radar 3. und 4. Generation, sowie mid range radar

Tab. 1: Materialbeispiele für HF-Produkte

Hersteller	*Material-Bezeichnung*	*εr 10 GHz*	*tanδ 10 GHz*	*Zusammensetzung*
Isola	Astra MT77	3,0	0,0017	Glas, Harz, Füllstoffe
Neltec	NH9300	3,0	0,0023	Glas, PTFE, Keramik
Taconic	EZ IO	2,8	0,0012	Glas, PTFE, Keramik Nanopartikel
Rogers	RO3003	3,0	0,0013	PTFE, Keramik
Panasonic	LCP R-F705	3,0	0,0016	Liquid crystal polymer

Tab. 2: Typische Anforderungen an Radarsensoren der Automobilindustrie

Prüfung	*Anforderungen*
Temperaturwechseltest	1000 Zyklen von -40 bis 140 °C
Temperaturlagerung	1000 h bei 125 °C
Lötwärmebeständigkeit	3x Reflow-Simulation (bleifrei)
Lötbadbeständigkeit	20 s bei 288 °C (schwimmend auf Lot)
CAF-Test	85 °C / 85 % r. F. 1000 h

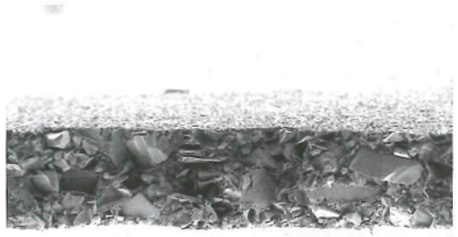
fertigt für die Automotive-Branche diese Produkte in Serie.

Hatten in der Vergangenheit 24-GHz-Systeme einen großen Anteil, so sind diese in den letzten Jahren verstärkt durch 77-GHz-Systeme ergänzt bzw. abgelöst worden. Höhere Frequenzen mit höheren Bandbreiten ermöglichen eine bessere Objekterkennung, eine genauere Geschwindigkeitserfassung und eine bessere räumliche Auflösung. Diese Vorteile gehen allerdings mit einem höheren Qualitätsanspruch an den Schaltungsträger einher, welcher im Folgenden näher beleuchtet werden soll.

Materialien

Damit die Signale im hohen GHz-Bereich möglichst verlustarm und ohne Beeinträchtigung der Signalform gesendet und empfangen werden können, spielt die Stabilität der elektrischen Eigenschaften (insbesondere Dielektrizitätskontante und Verlustfaktor) über einen großen Temperaturbereich eine entscheidene Rolle. Die Hersteller der Basismaterialien für Laminate, Kupferfolien und Prepregs bieten hier den Anwendern mittlerweile ein umfangreiches Materialportfolio an (Beispiele siehe *Tab. 1*), das sich unter Berücksichtigung des Entwicklungsstandes stetig erweitert.

Jedoch genügt alleinig eine gute elektrische Materialperformance nicht, um den Erfordernissen der Automobilindustrie gerecht zu werden. Passen die elektrischen Eigenschaften zur Anwendung, schließen sich umfangreiche Zuverlässigkeitsuntersuchungen an (Beispiele siehe *Tab. 2*), die nur wenige Materialien ohne Defekte im Materialverbund bestehen.



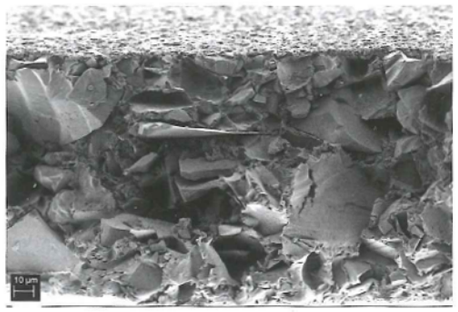


Abb. 3: Materialbeispiel Dielektrikum RO3003 ohne Kupferkaschierung nach Kryo-Bruch

hend aus FR4, Glasmatte, Kupfer, PTFE und Keramikpartikel, werden keine Qualitätseinschränkungen hinsichtlich Schnittqualität mechanischer Werkzeuge akzeptiert (*Abb. 4*). Das erfordert Modifikationen hinsichtlich Paketierung, Werkzeugauswahl und Verfahrensparameter für den Bohr- und Fräsprozess.

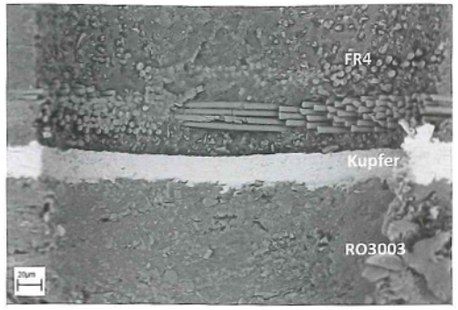


Abb. 4: Lochinnenwandung unmittelbar nach dem Bohrprozess

Für den Frequenzbereich 77 GHz haben sich bislang PTFE-basierende (Polytetrafluorethylen) Materialien mit unterschiedlichen Füllstoffkomponenten durchgesetzt, die sich durch ihre hohe Zuverlässigkeit und guten elektrischen Eigenschaften auszeichnen. Als Nachteile zeigen sich allerdings die höheren Einkaufskosten gegenüber Standardmaterialien sowie der geringere Yield aufgrund der leichten plastischen Verformbarkeit (mechanische Empfindlichkeit).

Hier ist ein hohes Erfahrungspotenzial bei der Verarbeitung in den mechanischen und nasschemischen Prozessen der Leiterplattenfertigung gefragt. Um die anteiligen Materialkosten des Schaltungsträgers so gering wie möglich zu halten, kommt das hochwertige HF-Basismaterial nur auf den zwingend notwendigen Lagen des Multilayers (Realisierung der Patch-Antennen) zum Einsatz. Daraus resultiert oft ein unsymmetrischer Schichtaufbau mit bekannter Neigung zur Verwindung und Verwölbung, dem durch eine geeignete Wahl an Prepreg- und Laminatkombination begegnet werden kann.

Mechanische Bearbeitung

Trotz unterschiedlicher Materialeigenschaften der Einzelkomponenten von Hybridaufbauten, beste-

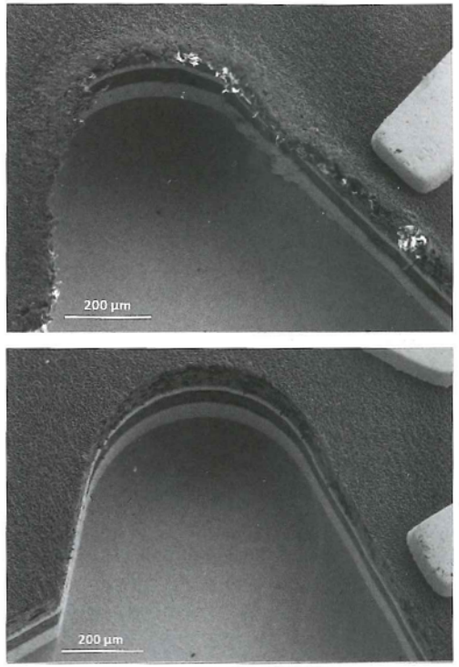


Abb 5: Fräskontur PTFE-Hybridaufbau vor und nach Prozessoptimierung

Insbesondere PTFE-Materialien neigen durch ihre leichte Verformbarkeit beim Fräsprozess gern zu Deformierungen an den Schnittkanten. Als Folge treten Aufwürfe, Ausfaserungen oder lose Partikel an der Fräskontur in Erscheinung, die es zu vermeiden gilt.

Für ein optimales Ergebnis sind oftmals mehrere Testdurchläufe mit Anpassungen der Parametersätze unter Berücksichtigung vertretbarer Prozesskosten für die Serienfertigung notwendig.

Chemische Bearbeitung

Von der Bohrlochreinigung bis zur Realisierung der Endoberfläche ist eine Vielzahl an chemischen Einzelprozessschritten durchzuführen, die vielfach für dieses Produktsortiment modifiziert oder ergänzt werden müssen. So ist nach der Bohrlochreinigung (vgl. *Abb. 6*) eine Aktivierung der HF-Materialien (Plasmabearbeitung) für die sich anschließenden Metallisierungsprozesse unerlässlich.

Hier sind je nach verwendetem HF-Material die Art und Zusammensetzung der Plasmagase, Gasfluss, Temperatur, Druck und Verweilzeiten für den Erfolg einer geschlossenen Metallisierung in den Bohrungen von entscheidender Bedeutung. Neben einer qualitätsgerechten Prozessierung sind auch logistische Besonderheiten zu berücksichtigen, da beispielsweise die Wirkung einer Plasmaaktivierung nur zeitbegrenzt vorliegt.

Strukturierung des Leiterbildes

Auch die Strukturierung des Leiterbildes unterliegt besonderen Anforderungen wie beispielsweise:

- Eingeschränkte Toleranzen für HF-Strukturelemente (+/- 15 µm)
- Steilheit der Ätzflanke < 20 µm (Kopf- zu Fußmaß)
- Konturabweichungen für HF-Patch Antennen (lokale Ausbuchtung oder Einschnürung) bis maximal 15 µm

Das erfordert eine gezielte messtechnische Überwachung relevanter Schaltungselemente nach erfolgter Leiterbildstrukturierung. Dabei sind die Einflüsse der Folgeprozessschritte zu berücksichtigen, damit die Einhaltung dieser Forderungen im Auslieferungszustand gewährleistet werden kann.

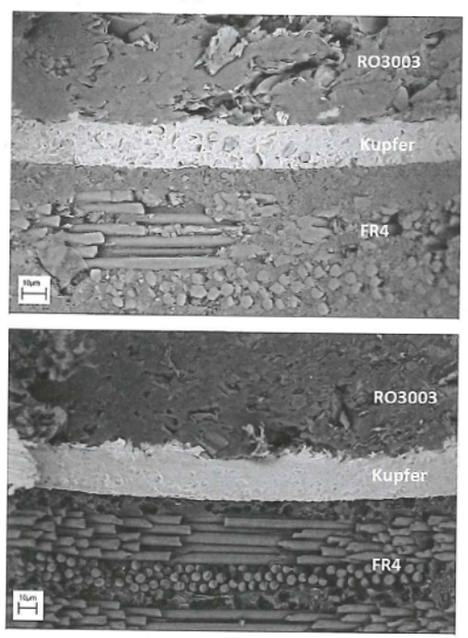


Abb. 6: Lochinnenwandung vor und nach dem Reinigungsprozess

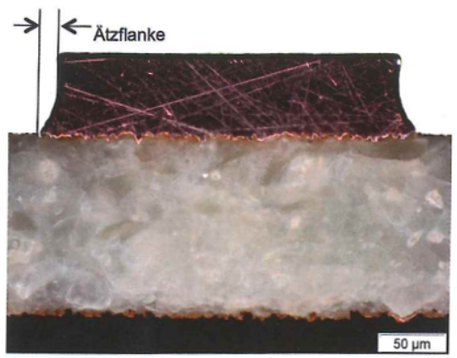


Abb. 7: Querschliff durch HF-Laminat und Leiterbahn

Alle nach der Leiterbildstrukturierung folgenden nasschemischen Prozesse wirken direkt auf das nun teilweise von der Kupferkaschierung freigelegte HF-Basismaterial und können gegebenenfalls die elektrische Performance des HF-Dielektrikums verändern. Das ist bei stabiler Prozessführung unkritisch, kann aber insbesondere bei wechselnden Prozessabläufen, instabilen Prozessparametern oder Nacharbeiten zu messbaren Schwankungen der elektrischen Performance zwischen einzelnen Produktionschargen führen. Darum ist für die Serienfertigung dieser Produktgruppe eine unveränderlich stetige Technologie mit stabiler Prozessführung und gleichbleibenden Bearbeitungsparametern unverzichtbar.

Prüfprozesse

Neben bekannten Standardprüfprozessen (AOI, Impedanzkontrolle, E-Test) sind für diese Produktgruppe zusätzliche Prüfungen, wie die messtechnische Kontrolle der Leiterbilddimensionen, die Steilheit der Ätzflanke, die Konturtreue der HF-Signalleitungen sowie die Kontrolle der Oberflächenbeschaffenheit des HF-Materials unerlässlich. So können z. B. bereits kleinste Abweichungen im µm-Bereich für die Antennen-Patches und deren Zuleitungen zu inakzeptablen Effekten der Antennencharakteristik führen und damit betreffende Schaltungen unbrauchbar machen.

Darum unterliegt die Kontrolle der HF-Strukturen besonderen Anforderungen, denen man am besten mit einer automatischen Finalinspektion am Ende der Prozesskette begegnet. Diese Prüfungsvariante zeigt jegliche Abweichungen zwischen Soll- und Istzustand. Dabei sollen nur die relevanten Fehler zur Anzeige gebracht und daneben die Pseudofehlerrate möglichst gering gehalten werden. Das erfordert für jede Produktgruppe eine gesonderte Lernphase mit umfangreichen visuellen Gegenkontrollen zur optimalen Parametereinstellung ohne Schlupf.

Zusammenfassung

Um dem wachsenden Bedarf an Sensorik im Kraftfahrzeug gerecht zu werden, sind sichere Prozessabläufe zur störungsfreien Serienfertigung der Schaltungsträger unumgänglich. Die speziellen Besonderheiten eines jeden Sensortyps verlangen Kenntnis über die spezifischen Eigenheiten sowie viel Know-how bei der technisch-industriellen Umsetzung. Nur eine kostengünstige und prozesssichere Fertigung kann die breite Markteinführung neuer Sensorsysteme ermöglichen. Diesem Anspruch konnte die KSG Leiterplatten GmbH in den vergangenen Jahren bei einer Vielzahl an umgesetzten Projekten bereits gerecht werden und wird auch künftig mit dem weiteren Ausbau des Geschäftsfeldes die Entwicklung der Fahrzeugelektronik auf dem Weg zum autonomen Fahren intensiv begleiten.

Abb. 8: AOI-Finalinspektion-System ‚Visper'

Kunststoffe in der Elektronik
Ein Handbuch für die Praxis
Von Carsten Weiß. Erste Auflage 2005. 168 Seiten. ISBN 3-87480-204-3. Preis € 64,– inkl. MwSt. zzgl. Porto und Versand.
Mit diesem Fachbuch erhält der Elektroniker ein Grundlagenwerk für den Einstieg in die „Kunststoffwelt".
Eugen G. Leuze Verlag KG
Karlstraße 4 · D-88348 Bad Saulgau · Tel. 07581/4801-0 · Fax 07581/4801-10
buchbestellung@leuze-verlag.de · www.leuze-verlag.de