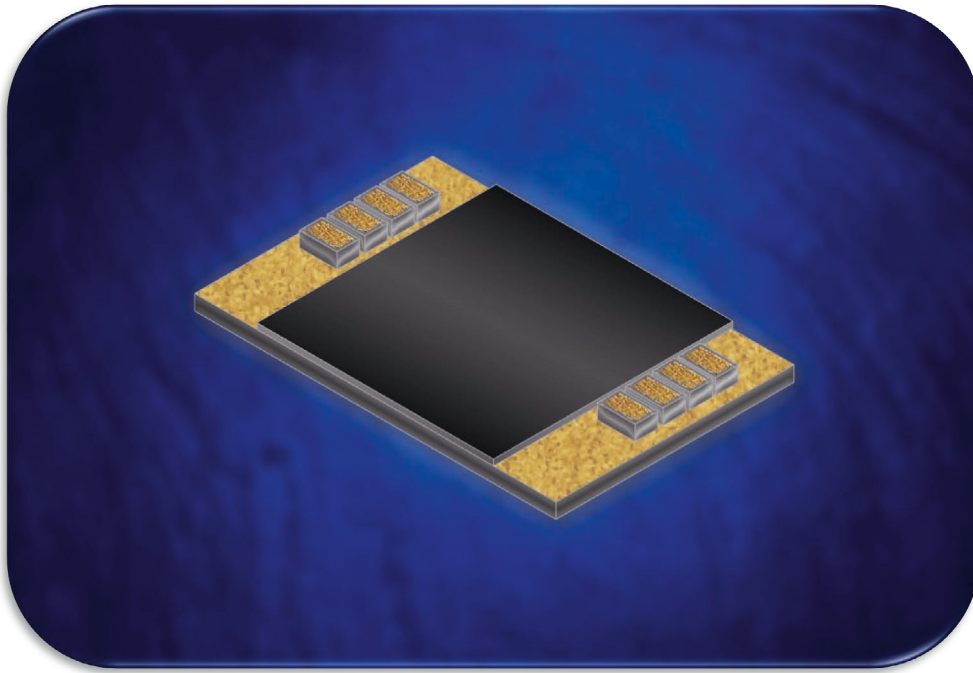


Die-on-Tab für Verbindungshalbleiter: Basis für fortschrittliche HF-Leistungssysteme

Dieser Artikel erläutert, was Die-on-Tab ist, wie es funktioniert und warum es für Bauelemente aus Verbindungshalbleitern besonders wichtig ist, wobei der Schwerpunkt auf GaN-basierten HF-Leistungsanwendungen liegt.



Verbundhalbleiter wie Galliumnitrid (GaN) und Galliumarsenid (GaAs) treiben Innovationen in Hochfrequenz- und Hochleistungsanwendungen voran, von 5G-Basisstationen und Radarsystemen bis hin zur Satellitenkommunikation und Leistungselektronik.

Diese Materialien, insbesondere GaN, bieten eine überragende Elektronenbeweglichkeit, eine hohe Durchbruchspannung und eine außergewöhnliche Leistungsdichte. Doch genau jene Eigenschaften, die sie so wertvoll machen, bringen auch erhebliche Herausforderungen bei der Gehäusegestaltung und dem Wärme-Management mit sich.

Unter den neuen Gehäusetechniken, die diese Herausforderungen angehen, hat der „Die-on-Tab“-Ansatz besondere Aufmerksamkeit erlangt. Durch die Montage des Halbleiters auf einer metallischen Lasche vor der Befestigung auf dem Substrat oder der Leiterplatte verbessert diese Methode die thermische Leistung und die mechanische Zuverlässigkeit – zwei Schlüsselfaktoren für die Langlebigkeit und Effizienz von Verbindungshalbleitern.

Was ist Die-on-Tab?

Bei der herkömmlichen Halbleiterhäusung wird das Bauelement direkt auf einen Leiterahmen oder ein Substrat gebondet und anschließend mit Kunststoff vergossen. Ein Hochfrequenz-Bauelement (HF) wird in der Regel in ein Gehäuse eingebaut, da seine Leistung von einem darüber liegenden Luftraum profitiert. Im Gegensatz dazu wird beim Die-on-Tab-Verfahren der Chip auf eine metallische Lasche – auch als Wärmeverteiler oder Submount bezeichnet – montiert, die als Zwischenschicht zwischen dem Bauelement und der übergeordneten Baugruppe dient, bei der es sich in der Regel um die Leiterplattenbaugruppe handelt. Diese metallische Lasche erfüllt mehrere entscheidende Funktionen:

- Sie bietet einen hochleitfähigen Wärmepfad, um Wärme aus dem aktiven Bereich des Bauelements abzuleiten.
- Er wirkt als mechanischer Puffer und mindert die Auswirkungen unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten der Materialien.

Quelle:

Die-on-Tab for Compound Semiconductors: Enabling Advanced RF Power Systems
Casey Krawiec
VP of Global Sales
StratEdge Corporation
www.stratedge.com

übersetzt von FS

- Er bietet strukturelle Unterstützung und stellt sicher, dass der Chip während der Montage und des Betriebs eben und mechanisch stabil bleibt.

Zu den gängigen Materialien für Tabs gehören Kupfer (Cu), Kupfer-Molybdän (CuMo), Kupfer-Wolfram (CuW) und Kupferlamine. Jedes Material wird aufgrund seines ausgewogenen Verhältnisses von Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) und Kosten ausgewählt.

Zweck und Funktion des Anschlussstücks

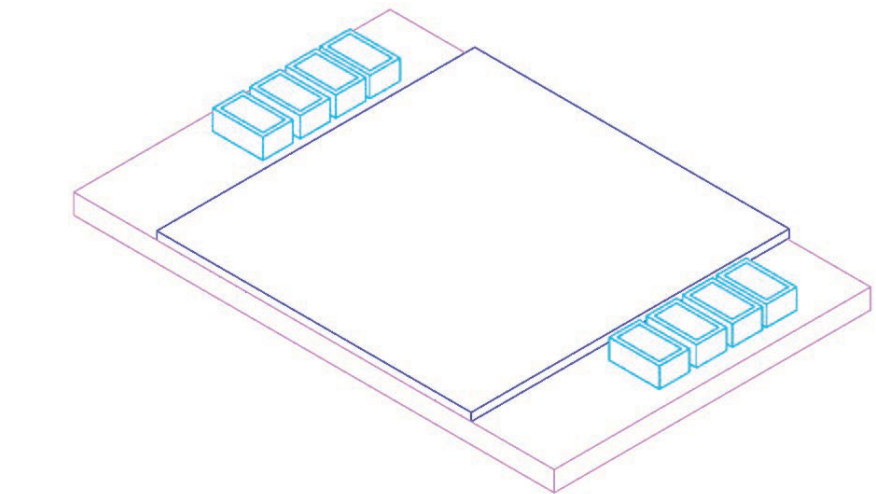
Die Hauptzwecke des metallischen Anschlussstücks bei der Verpackung von Verbindungshalbleitern sind das Wärme-Management, die Minderung von CTE-Unterschieden und die mechanische Verstärkung. Es kann auch kommerzielle Gründe für die Montage des Halbleiters auf einem Anschlussstück geben.

1. Wärme-Management

GaN-Bauelemente, insbesondere GaN-auf-Siliziumkarbid (SiC), können sehr hohe Ströme und Spannungen verarbeiten, was in HF-Anwendungen zu außergewöhnlichen Leistungsdichten führt, die manchmal 8 W/mm überschreiten. Diese Wärmeentwicklung erfordert eine schnelle und effiziente Ableitung. Das Metall-Tab dient als Wärmeverteilungsschicht, die die Wärme gleichmäßiger verteilt und sie vom aktiven Bereich weg zur Leiterplatte oder zum Kühlkörper leitet. Dies senkt die Sperrschichttemperatur, hält die Bauteil-Temperaturen innerhalb sicherer Betriebsgrenzen und verhindert lokale Hot-spots, die die Leistung beeinträchtigen.

2. Minderung von CTE-Unterschieden

Eine der größten mechanischen Herausforderungen bei der Verpackung von Verbindungshalbleitern liegt in der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung zwischen dem Chip und seinem Substrat. GaN und GaAs weisen typischerweise CTE-Werte von 5...6 ppm/K auf, während die der zugrundeliegenden Leiterplattenmaterialien, wie beispielsweise keramikgefülltes PTFE, zwischen 9 und 19 ppm/K liegen können. Ohne eine Zwischenschicht können diese Unterschiede während thermischer Zyklen erhebliche thermomechanische Spannungen verursachen, was zu Lötmittermüdung, Delaminierung oder sogar Rissen im Chip führen kann. Der Tab fungiert als CTE-Puffer und sorgt für einen allmählichen Übergang zwischen dem Chip und der Leiterplatte, um Spannungen zu absorbieren und die strukturelle Integrität über tausende von Temperaturzyklen hinweg aufrechtzuerhalten.



Typischer Die-on-Tab-Aufbau mit Chip und acht Kondensatoren

3. Mechanische Unterstützung

Der Tab verstärkt den Chip zudem mechanisch. Er gewährleistet die Planarität während der Montage, sorgt für einen gleichmäßigen Bonddruck und verringert das Risiko von Absplitterungen oder Rissen beim Drahtbonds oder bei der Montage.

4. Kommerzieller Zweck

GaN-Bauelemente können enorme Leistungsdichten erzeugen. GaN-on-SiC-Bauelemente weisen jedoch auch eine etwa sechsmal höhere Wärmeleitfähigkeit als GaAs auf, was bedeutet, dass sie mehr Leistung vertragen, ohne dass die Bauteil-Temperatur ansteigt – vorausgesetzt, die Wärme wird effizient vom Bauteil abgeführt. Daher ist die Qualität der Schnittstelle erster Ebene zwischen dem GaN-Bauelement und dem Montage-Träger von entscheidender Bedeutung. Für ein Unternehmen, das GaN-Bauelemente entwickelt, herstellt und vertreibt, steht viel auf dem Spiel, wenn die Qualität dieser Schnittstelle mangelhaft ist. Anstatt die Montage des Bauteils den Kunden zu überlassen, ist es für das Unternehmen von Vorteil, diesen Schritt selbst durchzuführen. Bei äußerst kritischen Anwendungen kann ein Tab-Material ausgewählt werden, das eine Analyse der Lötstellenqualität mittels Röntgenstrahlen vor der Bestückung der Leiterplatte ermöglicht. Die-on-Tab als Produkt ist eine hervorragende Möglichkeit, einen Mehrwert zu schaffen und potenzielle Enttäuschungen zu vermeiden, falls der Kunde das Bauteil nicht ordnungsgemäß montiert.

Die-on-Tab für GaN-on-PCB-Anwendungen

Die direkte Montage von GaN-Bauelementen auf einer Leiterplatte, auch als Chip-on-Board (COB) bezeichnet, macht das Gehäuse und alle damit verbundenen Kosten überflüssig. Die COB-Montage birgt jedoch Risiken aufgrund thermischer und mechanischer Inkompatibilität. GaN und die Substrate, auf denen es gezüchtet wird, weisen deutlich niedrigere Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) auf als Leiterplattenmaterialien. Bei Betrieb mit hoher Leistung können Unterschiede in der thermischen Ausdehnung die Lötstellen beeinträchtigen und zu einem vorzeitigen Ausfall des Bauelements führen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das GaN-Bauelement mit einem eutektischen Gold-Zinn-Lot (AuSn) befestigt wird; allerdings ist die hohe Reflow-Temperatur von AuSn mit organischen Leiterplattentechnologien nicht vereinbar.

Die Die-on-Tab-Konfiguration löst dieses Problem durch den Einbau einer metallischen Zwischenschicht zwischen dem Chip und der Leiterplatte. Diese Lasche absorbiert mechanische Spannungen und gewährleistet gleichzeitig eine hervorragende Wärmeleitung. Der Tab ermöglicht zudem eine optimierte Wärmeverteilung und stellt sicher, dass die Wärme über eine größere Oberfläche verteilt wird, bevor sie die Leiterplatte oder den Kühlkörper erreicht. Er ermöglicht außerdem die Verwendung von AuSn-Lötverbindungen vor der Montage des Bauteils auf der Leiterplatte – ein separater Arbeitsschritt, der entweder vom Bauteilhersteller oder einem anderen Die-on-Tab-Montageunternehmen durchgeführt wird.

COB macht die Verwendung eines eigenständigen Gehäuses zum Schutz des Bauteils überflüssig. Dies mag wie eine Vereinfachung erscheinen, erhöht jedoch tatsächlich die Komplexität bei der Montage von HF-Verstärkern. Bei Verwendung eines Gehäuses wird das Bauteil in der Regel in einem Reinraum der Klasse 1000 oder besser montiert, in dem Partikel, elektrostatische Entladungen und andere für das ungehäuste Bauteil schädliche Einflüsse kontrolliert werden. Das verpackte Bauteil kann dann in einer weniger streng kontrollierten Umgebung auf die Leiterplatte montiert werden. Vor der Montage auf der Leiterplatte können zudem Tests auf Gehäuseebene erfolgen.

Entwickler von Systemen, die im Ku- bis E-Band betrieben werden, könnten zu dem Schluss kommen, dass die Vorteile von COB die Nachteile überwiegen. Der Verzicht auf das Gehäuse kann parasitäre Induktivität und Signalverluste reduzieren und das Routing der HF-Schaltungen vereinfachen, insbesondere bei Leistungsverstärkern, die in Telekommunikations- und Verteidigungssystemen zum Einsatz kommen. Im Bereich der Leiterplattenbestückung müssen besondere Handhabungs- und Kontrollmaßnahmen getroffen werden, wenn ungehäuste HF-Bauelemente ohne den Schutz des Gehäuses eingebaut werden. Bei HF-GaN-Verstärkern, bei denen die Bauelemente im gepulsten oder kontinuierlichen Hochleistungsmodus betrieben werden, kann der Die-on-Tab-Ansatz eine höhere Ausgangsleistung, eine stabile Verstärkungsleistung und eine verbesserte mittlere Ausfallzeit (MTTF) ermöglichen.

Auswahl des Tab-Materials

Die Auswahl des geeigneten Tab-Materials ist ein Kompromiss zwischen Wärmeleitfähigkeit, CTE-Kompatibilität, mechanischer Steifigkeit und Kosten. Kupferverbundwerkstoffe wie CuMo und CuW werden häufig für Hochleistungs-HF-GaN-Bauelemente verwendet, da ihr CTE weitgehend dem des GaN-on-SiC-Bauelements entspricht, wodurch Spannungen reduziert werden und gleichzeitig eine gute Wärmeableitung gewährleistet ist. Durch Variieren des Kupferanteils lassen sich die Wärmeleitfähigkeit und der CTE anpassen. Die Eigenschaften von Kupferverbundwerkstoffen variieren je nach Hersteller, daher werden die genauen Anteile und Wärmeleitfähigkeiten nicht angegeben.

Wie bei Kupferverbundwerkstoffen können auch bei Kupferlaminaten die Wärmeleitfähigkeit und der CTE variieren. Die Schichtdicken und die Zusammensetzung der Verstärkungselemente der laminierten Struktur bestimmen die Netto-Wärmeleitfähigkeit in

z-Richtung. An der Bauelementgrenzfläche leitet Kupfer mit seinen 390 W/mK die Wärme effizienter von den Transistoren des Bauelements ab. StratEdge empfiehlt Cu-Mo-Cu im Dickenverhältnis 1:3:1 als beste Lösung für Tabs zur Montage von GaN-on-SiC. Mehr Infos im Originalbeitrag.

Überlegungen zu Schnittstellen und Montage

Die Leistung einer Die-on-Tab-Baugruppe hängt stark von der Qualität der Schnittstellen zwischen Chip, Tab und Substrat ab. Die Wahl des Chip-Befestigungsmaterials beeinflusst sowohl die thermische als auch die mechanische Leistung. Zu den gängigen Befestigungsmaterialien gehören:

- **AuSn-Eutektiklot (80Au/20Sn)**
hervorragende Wärmeleitfähigkeit und Hochtemperaturstabilität
- **Silbersinterpaste**
überragende Wärmeleitung und robuste Verbindungsfestigkeit bei niedrigeren Verarbeitungstemperaturen
- **leitfähiges Epoxidharz**
kostengünstig und einfach zu verarbeiten, jedoch mit deutlich geringerer Leitfähigkeit und niedrigeren Temperaturgrenzen

Die ordnungsgemäße Kontrolle von Hohlräumen, der Dicke der Verbindungslinie und der Oberflächenebenheit ist entscheidend. Hohlräume oder ungleichmäßige Verbindungslinien können zu lokalem Wärmewiderstand und Spannungskonzentrationen führen, was die Gesamtzuverlässigkeit beeinträchtigt.

Vorteile von Die-on-Tab-Strukturen

1. Verbesserte Wärmeableitung

Der Tab fungiert als Wärmeverteiler, senkt die Übergangstemperatur und verbessert sowohl die Leistung als auch die Zuverlässigkeit des Bauelements.

2. Reduzierte thermomechanische Belastung

Die Minderung von CTE-Unterschieden verhindert Risse und Delaminationen und verlängert die Lebensdauer des Bauelements.

3. Verbesserte elektrische Leistung

Da der Chip näher an der Leiterplatte montiert werden kann, werden parasitäre Induktivität und Widerstand minimiert.

4. Mechanische Robustheit

Der Tab bietet strukturelle Unterstützung, wodurch die Montageausbeute und die Überlebensfähigkeit bei Vibrationen oder Stößen verbessert werden.

5. Design-Flexibilität

Es können verschiedene Tab-Materialien und -Dicken ausgewählt werden, um spezifische thermische und kostenseitige Ziele zu erreichen.

6. Gesicherte Leistung

Mit Die-on-Tab kann der Bauelementhersteller verhindern, dass Fehler, die beim Die-Attach entstehen, die Leistung des Bauelements beeinträchtigen.

Zukunftsaussichten

Da HF- und Leistungselektronik immer höhere Leistungsdichten und Betriebsfrequenzen anstreben, müssen sich die Gehäusetechnologien entsprechend weiterentwickeln. Das Die-on-Tab-Konzept wird durch neue Verbundwerkstoffe, verbesserte Sinterverfahren sowie die Weiterentwicklung von Materialien und Prozessen, die die Wärmeabfuhr weiter verbessern, kontinuierlich vorangetrieben.

Neue Materialien wie Diamant-Kupfer- und Diamant-Silber-Verbundwerkstoffe werden untersucht, um eine noch bessere thermische Leistung bei gleichbleibender mechanischer Kompatibilität zu erzielen. Unabhängig davon, ob Die-on-Tab als Einsatz in einem Gehäuse oder als COB verwendet wird, könnten die außergewöhnlichen Wärmeleitfähigkeiten dieser Materialien die zusätzlichen Kosten lohnenswert machen. Die Kosten lassen sich minimieren, indem die Lasche möglichst genau auf die Größe des Bauelements zugeschnitten wird, anstatt eine gesamte Gehäusebasis oder eine PCB-Münze aus diesen teuren Materialien herzustellen.

Für GaN- und GaAs-Bauelemente der nächsten Generation, die in der 6G-Kommunikation, in Radarsystemen und in der Satellitenkommunikation zum Einsatz kommen, wird Die-on-Tab eine unverzichtbare Verpackungsstrategie bleiben, die die Lücke zwischen hochleistungsfähigen Halbleiterbauelementen und praxistauglichen, herstellbaren Systemen schließt.

Da die Nachfrage nach höherem Wirkungsgrad, kleineren Formfaktoren und höheren Leistungsdichten wächst, wird Die-on-Tab eine zunehmend wichtige Rolle dabei spielen, das volle Potenzial von GaN und anderen Verbindungshalbleitern auszuschöpfen. ◀