



NEUER AUFBAU- UND VERBINDUNGS- ANSATZ FÜR HOCHSTROM-INVERTER

Miniaturisierung von Hochleistungselektronik bedeutet, Schaltungsverluste so gut wie möglich zu minimieren und Verlustleistung auf engem Raum effizient abführen zu können. Die Verwendung der p²-Pack-Technik der Schweizer Electronic AG ermöglicht, Module mit einer Dicke von lediglich 1 bis 1,4 mm zu bauen, die eine geringere Verlustleistung und ein verbessertes Schaltverhalten aufweisen. Dies gelingt, weil Embedding-Technik und -Prozesse aus der Leiterplattenindustrie verwendet werden.

AUTOREN



**DIPL.-ING. (FH)
THOMAS GOTTWALD**
ist Director Innovation bei der
Schweizer Electronic AG
in Schramberg.



**DIPL.-WIRTSCH. ING. (FH)
CHRISTIAN RÖSSLE**
ist Vice President Sales & Marketing
bei der Schweizer Electronic AG in
Schramberg.

HERAUSFORDERUNGEN

Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Hybrid- und Elektrofahrzeugen (HEV und EV) steigen der Strombedarf und die Leistungsverteilung von Hochleistungsmodulen ständig an. Gegenwärtig werden Hochleistungsmodule verwendet, die auf Keramik basieren, der sogenannten Direct Bonded Copper (DBC)- oder Direct Copper Bonded (DCB)-Keramik. Diese erfüllen die hohen Anforderungen, die eine Kombination aus hoher Stromtragfähigkeit, elektrischer Isolationsfestigkeit und thermischem Management mit sich bringt. Leistungshalbleiter werden auf der Oberfläche des DCB verbaut. Die Verbindung wird durch Aluminium-Dickdrahtbonden hergestellt. Mehrere parallele Drähte sind notwendig, um die gewünschte Stromtragfähigkeit des Moduls zu gewährleisten. Ein typisches Hochleistungsmodul besteht aus drei DCBs (einem pro Phase), die auf eine Basisplatte gelötet werden. Auf der Basisplatte wird ein Kunststoffrahmen mit Verbindungspins befestigt. Bonddrähte verbinden die Pins (Die) elektrisch mit dem DCB und das DCB wiederum mit dem Rahmen. Die Anzahl der Prozessschritte und die Herausforderung an eine vollflächige Lötung des DCB-Substrats, das Drahtbonden und der Verguss mit den entsprechenden Kostenthemen werden aufgrund fehlender Alternativen akzeptiert.

Steigende Leistungen und Stromstärken sowie größere Schaltfrequenzen machen einen näheren Blick auf die parasitären Effekte solcher Module notwendig, insbesondere auf die induktiven Parasiten. Neben dem statischen Widerstandsanteil sind auch die dynamischen Schaltverluste bedeutsam, da das Volumen des Wechselrichters durch die erhöhte Schaltfrequenz reduziert werden kann. Höhere Frequenzen erhöhen allerdings auch die entsprechenden Schaltverluste. Überspannungen, die nach Abschaltung des Systems auftreten, bergen ein hohes Risiko, die Bauteile zu beschädigen. Eine Quelle von parasitären Induktivitäten bei konventionellen Modulen sind die Bonddrähte, und zwar aufgrund ihrer Loops und der Toleranzen ihrer Form, der Anzahl der Bonddrähte und deren Länge. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Schaltungsgeschwindigkeit ist der Abstand zwischen Gate-Trei-

PCIM
EUROPE



Internationale Messe und Konferenz
für Leistungselektronik, Intelligente
Antriebstechnik, Erneuerbare Energie
und Energiemanagement
Nürnberg, 20. – 22.05.2014

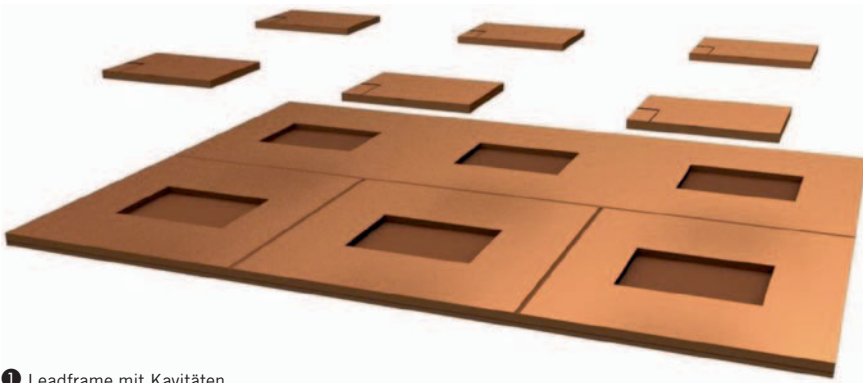
**Leistungsstark?
...dann sind Sie
hier richtig!**



**Der Marktplatz für Entwickler
und Innovatoren.
Hier entsteht Zukunft!**

Weitere Informationen unter +49 711 61946-0
pcim@mesago.com oder pcim-europe.com

mesago
Messe Frankfurt Group



① Leadframe mit Kavitäten

ber und Gate-Kontakt des Leistungsbau- teils und deren entsprechenden parasitä- ren Effekte.

Die Bonddrähte erweisen sich im Hin- blick auf Zuverlässigkeitsaspekte auch als kritisch. Aufgrund des enormen Un- terschieds beim Koeffizienten der Wärme- ausdehnung (CTE) zwischen Aluminium und Silizium, ist die Ablösung der Drähte von der Oberfläche des Silizium-Halbleit- ers einer der am häufigsten auftretenden Fehlermöglichkeiten. Je höher der Tem- peraturzyklus in der Anwendung ist, desto schneller tritt dieser Fehler auf. Auch die Lötstellen zwischen Die und DBC sind ein Schwachpunkt im Design. Dies ist ein Grund dafür, dass Silbersin- tern für hochzuverlässige Applikationen ein steigendes Interesse erfährt.

OPTIMIERUNGEN

Um das Problem der Zuverlässigkeit von Bonddrähten und Lötstellen zu lösen, setzen führende Hersteller von Leistungs- modulen auf die Silbersinter-Technik, die zunehmend das Weichlöten einerseits und auch das Drahtbonden andererseits ablösen soll. Bonddrähte werden in die- sen Konstruktionen durch aufgesinterte flexible Verbindungselemente ersetzt. Die keramischen Schaltungsträger selbst sind immer noch Teil des Systems.

p²-PACK-TECHNIK

Mit der p²-Pack-Technik steht eine neu- artige Technik zur Herstellung von Leis- tungsmodulen zur Verfügung. Durch Verwendung von Materialien und Pro- zessen aus der industriellen Leiterplat- tenteknik entstehen sehr kompakte und leistungsfähige Module. Ausgangspunkt dieser Technik sind „Leadframes“, in die

Kavitäten zur Aufnahme von Leistungs- halbleitern eingebracht werden, ①. Diese hier gezeigten Kavitäten werden im nächsten Schritt mit Leistungshalbleitern bestückt, mit dem Ziel, die Oberfläche des Halbleiters eben zur Oberfläche des Leadframes zu gestalten. Die so aufge- bauten Leadframes werden mithilfe von klassischen Leiterplatten-Prozessen zu einem dreilagigen Aufbau laminiert. Die Bonddrähte werden dabei durch eine Verdrahtungsebene über dem Chip ersetzt. Die Ansteuerung der Gates wird mit Leiterbahnen realisiert, die „Source Pads“ werden flächig ausgeführt, um sowohl eine niederohmig elektrische Anbindung als auch eine gute thermi- sche Spreizung der abgeführten Verlust- leistung zu erzielen, ②. Die Ankontaktie- rung an die Oberseite der Chips erfolgt auf galvanischem Weg durch kupferge- füllte Sacklöcher. Die Halbleiter müssen eine für diese Prozesse kompatible

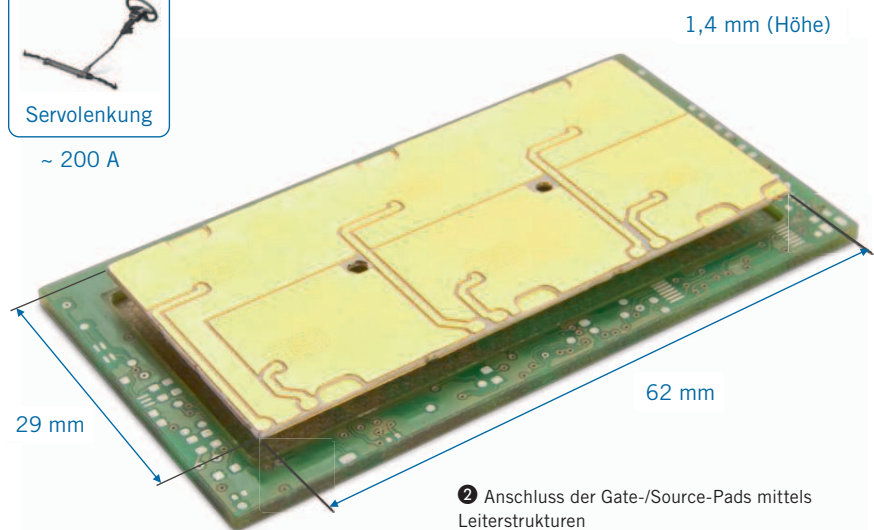
Oberflächenmetallisierung aufweisen. Der Aufbau des p² Packs ist symmetrisch gehalten, was zu einem minimierten Pumpeffekt bei thermischen Zyklen führt. Die massiv ausgeführten Kupferla- gen über und unter dem Leadframe füh- ren konstruktiv zu einer doppelseitigen Kühlung des Halbleiters, obwohl nur die Unterseite an einen Kühlkörper ange- schlossen werden muss. Die Wärme- ströme verteilen sich dabei im Verhältnis 1/3 zu 2/3 zwischen Oberseite und Un- terseite, da die auf die Oberseite geführte Wärme durch zwei Dielektrikums-Lagen nach unten abgeführt wird.

OPTIMIERTE EIGENSCHAFTEN

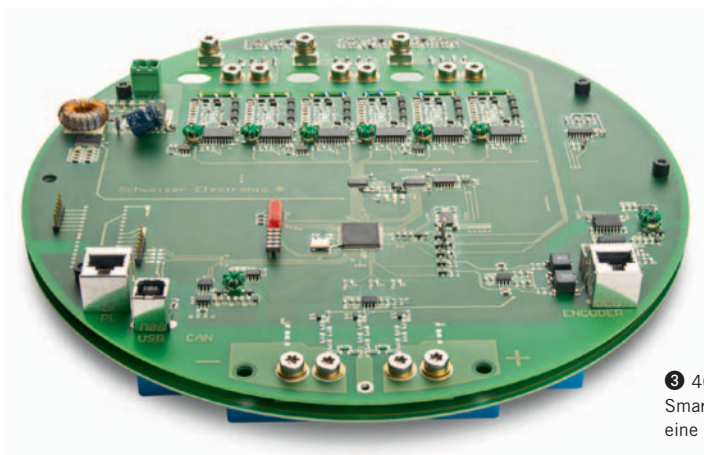
Thermische Simulationen haben erge- ben, dass mit dieser Technik der thermi- sche Widerstand gegenüber herkömmli- chen DCB-Substraten deutlich verringert werden kann. Da Leiterplattenmateri- alien und -techniken zur Produktion eingesetzt werden, ist das entstandene p² Pack nicht nur robuster sondern vor- aussichtlich auch kostengünstiger her- zustellen. Durch den Ersatz der Bond- drähte durch kupfergefüllte Microvias sinkt der Einschaltwiderstand (R_{on}) des gesamten Packages signifikant ab. Erste Auswertungen zeigten einen verbesserten R_{on}, bei denen das gesamte p² Pack nahezu den gleichen R_{on} wie der Chip selbst hatte. Durch die Verwendung von Durchkontaktierungen anstelle von Bonddrähten konnte der Package-Anteil des R_{on} fast um den Faktor 100 reduziert werden.



~ 200 A



② Anschluss der Gate-/Source-Pads mittels Leiterstrukturen



③ 40-kW-Demonstrator in Smart-p²-Pack-Technik; eine IGBT-Anwendung

Die Anforderungen an das Schaltverhalten bemessen auch die Größe der passiven Bauelemente, zum Beispiel Spulen und Kondensatoren. Je schneller man schaltet, desto kleiner kann die Größe des Bauteils sein. Der Nachteil ist, dass schnelleres Schalten die dynamischen Verluste des Systems erhöht und es somit weniger effizient macht. Die ersten B6-Brückenmodule in der p²-Pack-Technik wurden auf Schaltgeschwindigkeiten im Vergleich zu DCB-basierten Leistungsmodulen getestet. Die schnellsten Spannungsanstiege und Spannungsabfälle sind indirekte Indikatoren für geringere parasitäre Induktivitäten im p²-Pack-Aufbau.

SMART p² PACK

Das p² Pack selbst kann als 1:1-Ersatz eines bestehenden DCB-Substrats mit einem Logik-Kontroll-Board kombiniert werden. Aufgrund der Tatsache, dass das p² Pack nur 1 bis 1,4 mm hoch ist, ist es möglich, noch einen weiteren Schritt zu gehen und ein solch flaches Bauteil in ein Logik-Kontroll-Board einzubetten. So erreicht man sehr kurze Verbindungen vom Gate-Treiber zu den Gate-Kontakten der Hochleistungsbaulemente. Der Treiber-Baustein kann auf das Kontroll-Board direkt über den Leistungshalbleiter platziert werden, während die Verbindung zum Gate durch kupfergefüllte Durchkon-

taktierungen von der Außenlage zum p² Pack hergestellt wird.

Die Konstruktion des Smart p² Pack ist an der Unterseite der Leiterplatte offen. So kann ein Kühlkörper ganz einfach an der Unterseite angebracht werden, entweder durch die Verwendung eines thermischen Interface-Materials oder durch Sinter-Techniken, um den thermischen Widerstand von der Sperrschicht zur Umgebung zu reduzieren.

In Kooperation mit der ETH in Zürich wurde ein kompletter Wechselrichter für einen 40-kW-Motor entworfen und realisiert, ④. Dieser verwendet 1200-V-IGBTs sowie entsprechende Freilaufdioden und basiert auf einer klassischen B6-Topologie.

Bei dem Messedemonstrator, der im Aufmacherbild dieses Artikels zu sehen ist, sind Elektronik und Motor zu einem Gehäuse zusammengefasst und nutzen das gleiche Kühlsystem. Obwohl das System nur bis zu 18 kW getestet werden konnte, zeigte es bereits eine Effizienz von fast 98 %. Die Effizienzkurve bewegt sich immer noch in Richtung höherer Wirkungsgrade, ④.

AUSBLICK

Um die Zuverlässigkeit weiter zu verbessern, werden neue Materialien für Leadframes mit dem Ziel bewertet, das Ungleichgewicht des CTE zwischen Chip

HEUTE PRÜFEN, WAS DIE MENSCHEN MORGEN BEWEGT

scienlab
electronic systems

Überlegene Technologien benötigen überlegene Testsysteme.

Für den E-Antrieb ist die frühzeitige Überprüfung der Komponenten an sich und untereinander elementar. Scienlab kennt die Wünsche und Anforderungen an die Applikation und entwickelt jedes Testsystem zu 100% nach Kundenwünschen.

Das gesamte Know-how ist bei Scienlab inhouse – für individuelle Lösungen ohne Kompromisse. Das Ergebnis: konkurrenzlos effiziente, komfortable Prüfmöglichkeiten, mit denen alle Komponenten des E-Antriebs umfassend und schnell getestet werden können.

Betriebsstrategien für Hybrid- und E-Fahrzeuge schon vor dem Prototyp festlegen.

Unsere Simulation zur Auslegung der Betriebsstrategie macht es möglich!

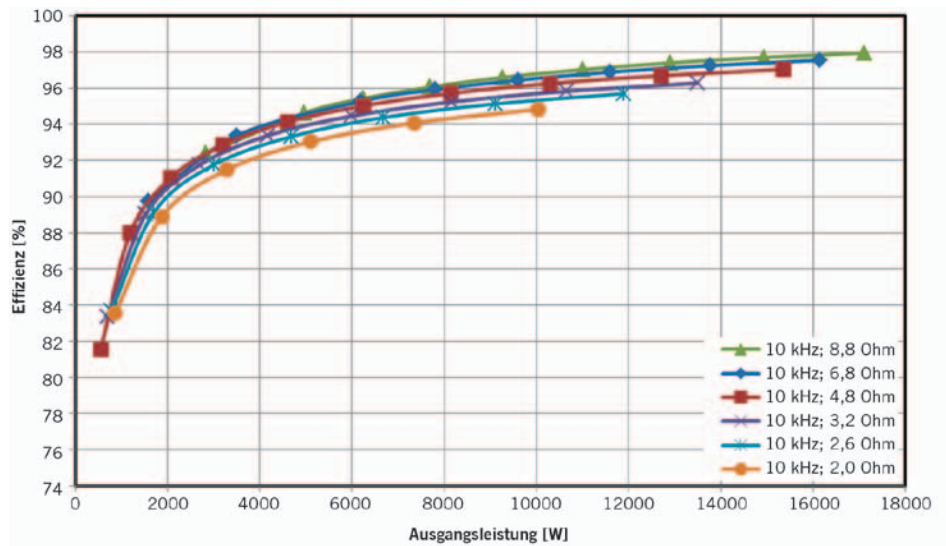
Darüber hinaus unterstützen wir Sie durch den gesamten Entwicklungszyklus – von der Anforderungsanalyse bis hin zu Implementierung, Test und Absicherung. Profitieren Sie auch von unserer umfangreichen Projekterfahrung im gesamten Umfeld der Elektromobilität – von der Betriebsstrategie über Reichweiten- und Batteriemangement bis hin zu Ladestrategie und Bordnetzmanagement.

ITK Engineering AG – Ihr Entwicklungspartner für die Antriebskonzepte der Zukunft.

www.itk-engineering.de



ENTWICKLUNG BAUELEMENTE



4 Effizienzkurve eines 32-kW-Demonstrators in der Smart p²-Pack-Technik

und Leadframe weiter zu reduzieren. Dies wird den thermischen Stress des Aufbaus weiter verringern und damit die Zyklusfähigkeit der gesamten Konstruktion zusätzlich erhöhen. So stellt das p² Pack eine ideale Plattform für thermisch robuste Systeme in Kombination mit robusten Halbleitertechniken wie IGBT und Mosfet dar.

Um die Herausforderungen zu meistern, die durch neue Applikationen entstehen, darf die Optimierung allerdings nicht auf der Bauteilebene enden. Systeme müssen auf Systemebene optimiert werden. Ein weiterer Ansatz, der allerdings noch nicht veröffentlicht werden kann, ist, die Vorteile der p²-Pack-Topologie mit der niederinduktiven Verbindung zum Zwischenkreiskondensator herzustellen, was wiederum die parasitären Induktivitäten eines ganzen Systems verringert und dazu beiträgt, die Größe eines Hochleistungs-Wechselrichters in Zukunft zu reduzieren.

FAZIT

Auch wenn sich die Entwicklung der p²-Pack-Technik noch in den Anfängen befindet, konnte bereits gezeigt werden, dass eine herausragende Leistung in Bezug auf Formfaktor, elektrischer und thermischer Eigenschaften erzielt werden kann. Aufgrund der Reduktion von parasitären Effekten können Schaltfrequenzen erhöht werden, in dem man diese neuartige Packaging-Technik ver-

wendet. Dies macht das p² Pack zu einem idealen Partner für neue Halbleiter, beispielsweise SiC.

Die heutigen Hochleistungsanwendungen, wie elektrische Servolenkungen und Lüfterkompressoren in der Autoindustrie oder Wechselrichter im Bereich der erneuerbaren Energien, können direkt mit dem 1:1-Ersatz von DCB-Substraten durch die p²-Pack-Technik adressiert werden. Eine weitere Miniaturisierung mit dem Smart p² Pack ist der nächste evolutionäre Schritt für solche Anwendungen.

DANKE

Die Autoren bedanken sich für die hilfreichen Beiträge zu diesem Artikel bei Infineon Technologies, der ETH Zürich, der Enertronics GmbH (Zürich) und dem Fraunhofer Institut ENAS.



DOWNLOAD DES BEITRAGS

www.springerprofessional.de/ATZelektronik



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com