

## Ausgereifte Packaging-Technologie

# Leistungsfähigere und zuverlässigere Bauteile mit höherer Lebensdauer

Hochleistungsanwendungen, wie beispielsweise in den Bereichen Automotive, Windkraft, Solar oder Industrieantrieben, benötigen Powermodule, die sehr zuverlässig sowie thermisch und elektrisch robust sind. Diese Anforderungen lassen sich mit modernen Packaging-Technologien wie lötfreie Federkontakte und Sinter-Technologie erfüllen.

» Christian Göbl



*Bild 1: Die SKiiP-Module der vierten Generation: fünffach höhere thermische Lastwechselfestigkeit durch die Silber-schicht*

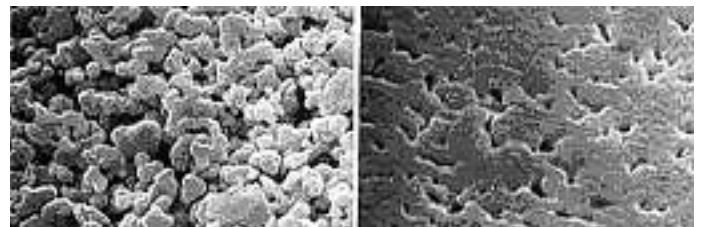
Die Silber-Sinter-Technologie zur Verbindung der Halbleiterchips mit ihren Substraten ist seit 1994 bekannt. Bereits damals wurden die Eigenschaften gesinterter Silber-Bondschichten und deren Vorteile für die Zuverlässigkeit analysiert und im Rahmen zahlreicher internationaler Kongresse veröffentlicht. Zu dieser Zeit war die Technologie jedoch noch nicht reif für die industrielle Serienfertigung.

### Eine Sinterverbindung herzustellen ist relativ einfach

Die gesinterten Chip-Substrat-Verbindungen bestehen nur aus speziellen Silberpartikeln, die unter gezielten Bedingungen Sinterbrücken bilden, die zu einer zuverlässigen Verbindung der beiden Verbundpartner führen. Bild 2 zeigt die Silberpartikel vor und nach dem Sintern. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass jedes einzelne Partikel von

einem speziellen Beschichtungsmaterial umgeben ist. Eine Sinterverbindung herzustellen ist relativ einfach: Man gibt die für die gewünschte Schichtdicke erforderliche Menge an Partikeln zwischen beide Fügepartner und presst sie unter einem bestimmten Druck bei einer speziellen Temperatur für eine definierte Zeit zusammen. Das Ergebnis ist eine stabile Sinterverbindung. Dieser elementare Prozess eignet sich jedoch nur für anfängliche Evaluierungen der Technologie.

*Bild 2: Die Silber-Diffusionsschicht vor (links) und nach (rechts) dem Sinterprozess*



### Angewandter Prozess unterliegt ständiger Weiterentwicklung

Die letzten Jahre dienten der Weiterentwicklung der Sinter-Technologie für die Anwendung bei industriellen Prozessen. Es wurde eine spezielle Sinterpaste entwickelt, die heute die Grundlage der von Semikron freigegebenen und angewendeten Sinterpaste bildet. Zusätzlich wurden spezielle Sinterprozesswerkzeuge entwickelt, um Multichip DCBs (Direct Copper Bond) im Format 5"×7" produzieren zu können. Die Sinterpresse wurde speziell dafür ausgelegt, Drücke entsprechend dem jeweiligen Prozessschritt aufzubringen. Die für die Sintermontage verantwortlichen Produktionsmitarbeiter wurden intensiv geschult, der angewandte Prozess unterliegt ständiger Weiterentwicklung.

Die durch die Sinterverbindung erreichte Kontaktfestigkeit zwischen Chips und Substraten ist sehr hoch. Bei den Zuverlässigkeitstests zeigten die gesinterten Schichten eine hohe Lastwechselfestigkeit. Ein weiterer Vorteil der Sinterertechnik liegt darin, dass keine Lötstopppbeschichtung abgestrippt werden muss. Die Positioniergenauigkeit des Chips auf dem Substrat erreicht Werte von

nur 50 µm. Bei der Löttechnologie erreicht man dagegen nur 400 µm, was eine grosse Herausforderung für die nachgeschalteten Bildverarbeitungsprozesse darstellt.

### Sinterschicht ist viel dünner als eine gelötete Standardschicht

Die gesinterte Schicht ist 4,5-mal dünner als eine vergleichbare gelötete Standardschicht und bietet eine vierfach höhere thermische Leitfähigkeit, woraus sich optimale thermische Eigenschaften ergeben. Die Hauptursache für deutlich höhere Lastwechselfestigkeit der gesinterten Verbindung liegt in der vierfach höheren Schmelztemperatur des Silbers im Vergleich zu üblichen bleifreien Lotlegierungen. Die langjährige Entwicklung und Optimierung hat sich ausgezahlt. Semikron verfügt heute über eine serienreife und vollständig lötfreie Packaging-Technologie.

### Anwendungen der Sinter-Technologie

Die Sinter-Technologie kommt in der SKiM-IGBT-Modulfamilie für Umrichter der Antriebseinheit bei Elektro- und Hybridfahrzeugen im Leistungsbereich von 22 bis 150 kW zum Einsatz. Im Vergleich zu Modulen mit Grundplatte und gelöteten Anschlüssen besitzt das SKiM-Modul eine fünffach höhere thermische Lastwechselfestigkeit.

Anstatt dass man das zur Isolierung erforderliche Keramiksubstrat DCB mit der Kupfergrundplatte verlötet, stellt man die Verbindung zum Kühlkörper bei allen thermischen und elektrischen Kontakten über die Druckkontakttechnik her (Bild 4). Die Druckpunktanordnung direkt neben dem Chip sorgt für eine gleichmässige Verbindung des DCB. Der Verzicht auf die Grundplatte stellt eine hohe thermische Lastwechselfestigkeit sowie einen niedrigen thermischen Widerstand dar. Bild 4 zeigt ein Schnittbild des Modulgehäuses mit der Darstellung der Druckkontakt-Technologie sowie den Federkontakten der Gateanschlüsse.

### Maximal zulässige Chiptemperatur steigt kontinuierlich an

Lötverbindungen sind vollständig eliminiert. Somit ist die SKiM-Familie meines Wissens die erste 100 Prozent lötfreie Modulbaureihe

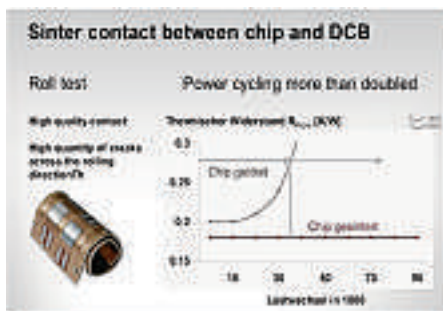


Bild 3: Lastwechselfestigkeit gesinterner Chips im Vergleich zu gelöteten Chips

auf dem Markt. Der Einsatz der Sinter-Technologie in Verbindung mit der Druckkontakt-Technologie und dem grundplattenlosen Aufbau stellt eine zuverlässige Aufbau- und Verbindungs-Technologie dar.

In den letzten 15 Jahren ist die maximal zulässige Chiptemperatur kontinuierlich angestiegen. Heute kann man Siliziumchips, wie IGBT4/CAL4-Dioden, bei maximal 175°C Chiptemperatur betreiben. Künftig wird der Einsatz von Siliziumkarbid (SiC) noch viel höhere Anforderungen an die thermische Lastwechselfestigkeit der Verbindungsschichten stellen, da sich SiC-Bauteile bis zu 300°C betreiben lassen. Die von Semikron entwickelte Sinter-Technologie eignet sich ideal für so hohe Temperaturen. Das ist dem hohen Schmelzpunkt von 961°C bei den Verbindungslagen zu verdanken, der damit zirka 740°C über dem Schmelzpunkt der heute üblichen Lotlegierungen liegt. Diese hohe Temperaturstabilität führt dazu, dass die Verbindungsschichten nicht altern, wie Tests gezeigt haben.

### Anwendungsbereiche für Powermodule ändern sich

Im Lauf der Jahre haben sich die Anwendungsbereiche für Powermodule drastisch verändert. Früher setzte man Powermodule in leicht zugänglichen, stationären Schaltschränken mit definierten Kühlungsbedingungen ein. Heutzutage hingegen werden Powermodule auch in mobilen Bereichen verwendet wie bei Fahrzeugen mit Kühlbedingungen bis zu 110°C. Die grosse Herausforderung liegt darin, sicherzustellen, dass der Leistungshalbleiter bei diesen Kühlbedingungen seinen maximal zulässigen Strom  $I_{c\ max}$  tragen kann. Bild 5 zeigt, dass die Schmelztemperatur der Verbindungsschicht bei Modulen mit gesinterten Chips beim sechsfachen Wert der max. zulässigen Chiptemperatur liegt.

### Die Zukunft der Sinter-Technologie

Die Sinter-Technologie ist eine Schlüsseltechnologie, um Bauelemente zu fertigen,

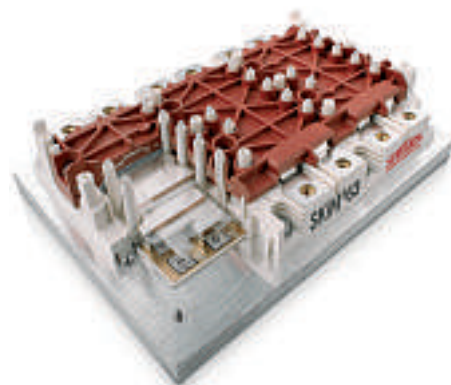


Bild 4: Schnittbild des SKiM 63-Gehäuses

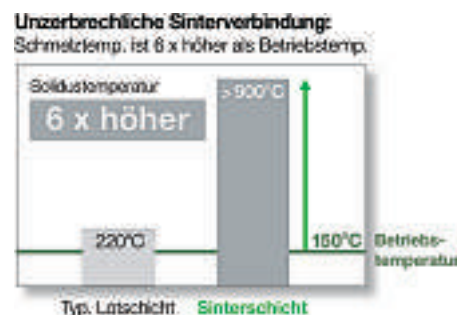


Bild 5: Die Schmelztemperatur bei Modulen mit gesinterten Chips liegt beim sechsfachen Wert der Betriebstemperatur

die bei höherer Lebensdauer leistungsfähiger und zuverlässiger sind. Die gleichen Prinzipien, die bei der SKiM-Modulfamilie für elektrische und hybride Fahrzeuge zum Einsatz kommen – grundplattenlose Module mit Druckkontaktierung und Sinter-Technologie –, wurden auch bei der Entwicklung der vierten Generation der intelligenten Powermodule SKiiP angewendet. Typische Anwendungsbereiche sind hier Wind- und Solarenergie, Aufzugssysteme, Oberleitungsbusse sowie U-Bahn-Züge. Die Vorteile der Sinter-Technologie prägen die SKiiP-Module der vierten Generation: fünffach höhere thermische Lastwechselfestigkeit durch die Silberschicht, robuste Verbindung zwischen Chip und DBC sowie verdoppelte elektrische Lastwechselfestigkeit. <<

#### Infoservice

Semikron AG  
Industriestrasse 19, 8304 Wallisellen  
Tel. 044 914 13 33, Fax 044 914 13 30  
sales.skch@semikron.com, www.semikron.com

#### Autor

Christian Göbl  
Leiter Neue Technologien  
Semikron

