



DIE FACHZEITSCHRIFT FÜR  
ELEKTRONIK &  
ENTWICKLUNG

E&E-MARKTREPORT



AXEL LENTZER, VORSITZENDER DER  
FACHGRUPPE MIKROSYSTEMTECHNIK  
IM ZVEI, ÜBER POTENZIALE DER MIKRO-  
SYSTEMTECHNIK UND ZUKÜNFTIGE  
TECHNOLOGISCHE TRENDS

**Semikron**

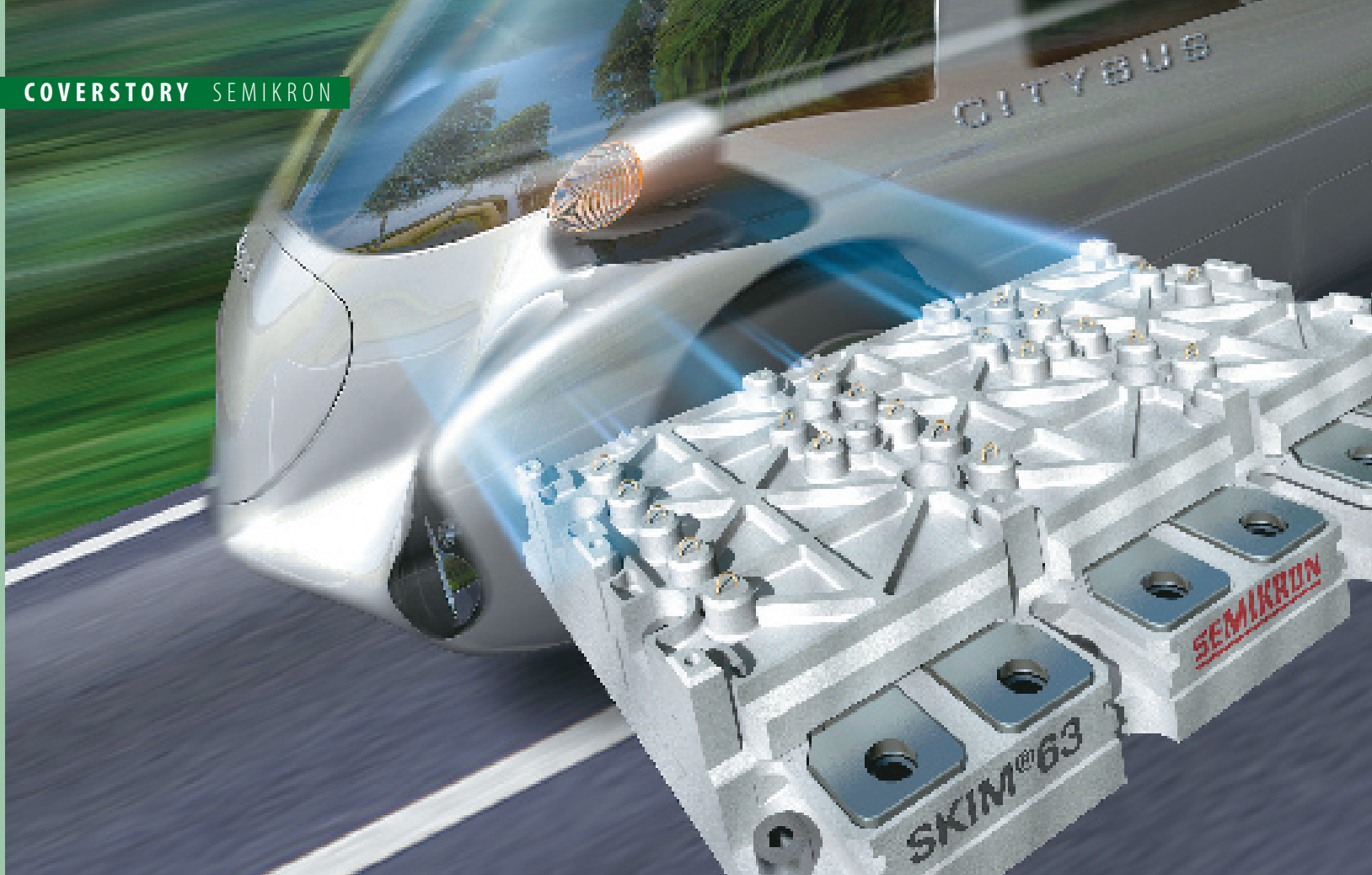
# Power-Module für die hohen Ströme

Modernes Power-Management  
**Was Motoren und Netzteile  
noch effizienter macht**

Belastbare Kondensatoren  
**Verbesserte Architektur  
sorgt für weniger Brüche**

Ergonomisches PCB-Design  
**Klare Regeln erleichtern  
den Leiterplattenentwurf**





# Haltbar und robust – wie nie zuvor

Bodenplattenloses IGBT-Modul unterstützt hohe Ströme in Nutzfahrzeugen

Für Hybrid- und Elektrofahrzeuge aller Art hat Semikron ein isoliertes Leistungshalbleitermodul ab 22 kW entwickelt, das Eigenschaften wie lötfreie Federkontakttechnik, bodenplattenlose Konstruktion, eine spezielle Aufbau- und Verbindungstechnik im Bereich der Chipkontaktierung sowie erstmals auch das Sintern von Multichipmodulen in einem Modell vereint. Anders als die bisherigen Power-Module für Fahrzeuge des Herstellers besteht dieses Modell lediglich aus vier Grundbausteinen: aus zwei IGBTs und zwei Dioden, die mit den IGBTs parallel geschaltet sind. ■ Sabine Grothe



**Peter Beckedahl**  
ist Leiter Forschung & Entwicklung bei Semikron



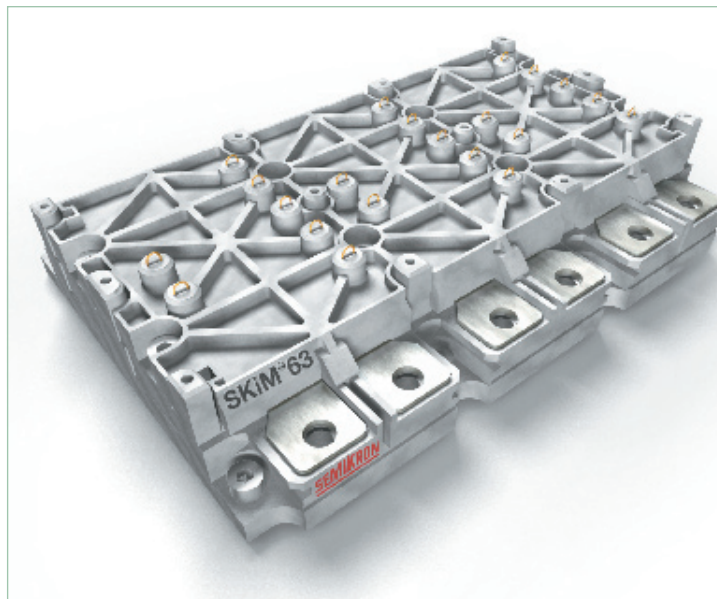
**Thomas Grasshoff**  
ist Leiter Internationales Produktmanagement bei Semikron

**W**eil sich die Produzenten von elektronischen Komponenten für Fahrzeuge immer öfter Komplettlösungen verschreiben, fällt es inzwischen auf, wenn ein Anbieter bewusst aus diesem Gefolge ausscheidet.

Semikron, internationaler Hersteller von Leistungselektronik mit Hauptsitz in Nürnberg, wird zur diesjährigen PCIM ein aktuelles Leistungshalbleitermodul vorstellen, dessen Eigenschaften das Unternehmen mit dem Stichwort

„Back to the Roots“ umschreibt. Will heißen: SKiM („SK“ steht für Semikron, „iM“ für integriertes Modul) ist ein IGBT-Modul, das für Leistungsklassen von 22 bis 150 kW ausgelegt ist und für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen sowie in Elektrobussen konzipiert wurde. Doch anders als bei den bisherigen Power-Modulen für Fahrzeuge des Herstellers, besteht dieses Modell aus lediglich vier Grundbauteilen: aus zwei IGBTs, die beide als Schalter fungieren – einer oben, einer unten am Modell angebracht –, und zwei Dioden, die mit den IGBTs parallel geschaltet sind (Abbildung 1).

Chronologisch sieht das Unternehmen sein jüngstes Mitglied als Nachfolgemodell des Leistungshalbleitermoduls SKAI von 2001 (bereits 1999 gab es ein IGBT-Modul ohne Bodenplatte, das mit dem jüngsten Modell jedoch nur den Namen gemeinsam hat). Beim SKAI-Modul handelt es sich um ein spezielles System für Elektro- und Hybridantriebe, das der Hersteller, der in den letzten Jahren zunehmend stärker ins Systemgeschäft eingestiegen ist, als Package-Lösung aus Halbleitern, Kondensatoren, Ansteuerlektronik, Sensorik, Stromerzeugung und Controller als komplett integrierten Umrichter vertreibt. Obwohl sich das Modell durch eine hohe Leistungsdichte und eine kompakte Bauform auszeichnet, besitzt es dennoch einen gewissen Formfaktor. „Bei diesem Modul haben wir die Erfahrung gemacht, dass Automobilprojekte und auch andere Hybridfahrzeugprojekte nicht die großen Stückzahlen fordern, weswegen sich die Hersteller kaum auf eine hochintegrierte Entwicklung einlassen. Bei Hybridfahrzeugen sprechen wir je nach Anwendung von Stückzahlen über 10.000 im Jahr“, sagt Peter Beckedahl, Leiter Forschung und Entwick-



**Abb. 1:** Verzicht auf Ansteuerlektronik und passive Komponenten: Das Power-Modul SKiM beinhaltet zwei IGBTs und zwei Dioden, die mit den IGBTs parallel geschaltet sind.

lung bei Semikron. Im Klartext: Weil im Fahrzeug extreme Platzprobleme herrschen, möchte jeder Hersteller einen individuellen Formfaktor haben. Das SKAI-Modul passte somit nicht in alle Anwendungen. „Hinzu kommt“, ergänzt Thomas Grasshoff, Leiter Internationales Produktmanagement bei Semikron, „dass der Anwender oft bereits eigene Bauteillösungen aus anderen Projekten besitzt, die er weiter verwenden und durch einen eigenen Kühlkörper und einen eigenen Treiber ergänzen möchte. Dadurch kann er seinen Entwicklungsaufwand geringer halten“.

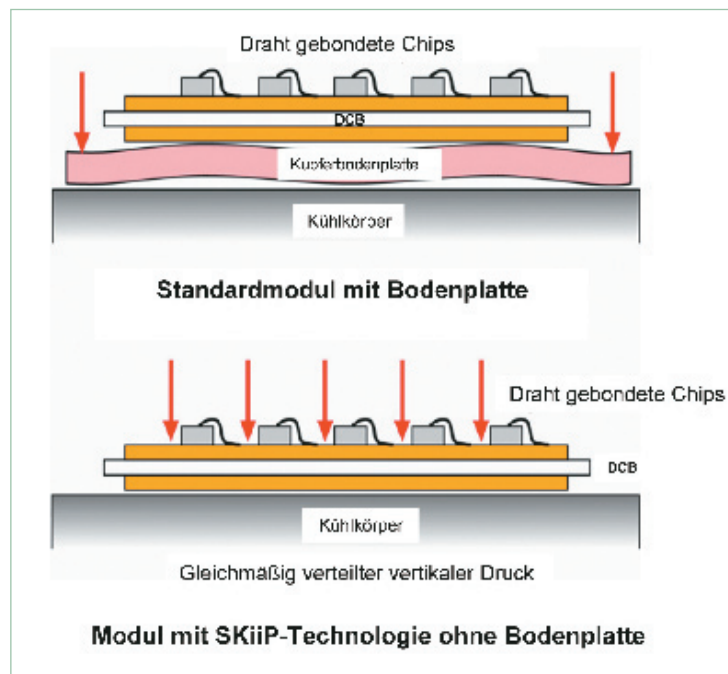
Für den Hersteller lag es daher nahe, mit SKiM „einen Schritt zurück“ zum Einzelmodulkonzept zu gehen, um modularer zu sein für die zahlreichen individuellen Anwendungen,

die gegenwärtig auf dem Markt sind. Das IGBT-Modul ist deshalb ohne passive Komponenten und Ansteuerlektronik, dafür aber als kleine Familie in zwei Gehäuseformen, erhältlich. Den Grund erklärt Grasshoff so: „Wir haben auch gelernt, dass es verschiedene Umrichterkonzepte gibt und dass teilweise in einem Fahrzeug unterschiedliche Leistungsklassen verbaut sind. Den Plattformgedanken entwickelten wir, um bei den mittleren bis großen Leistungsklassen mit einem Aufbaukonzept arbeiten zu können.“

## Resistent gegen Stoß, Schock, Temperatur

Das aktuelle Power-Modul ist laut Hersteller optimiert für hohe Ströme bis 1.200 V und unterstützt damit die hohen Anforderungen des Marktes für Nutzfahrzeuge – vor allem im Hinblick auf Leistungsdichte, Vibration und Schock. Entscheidend seien aber auch die hohe Temperaturwechselfestigkeit und die Lastwechselfestigkeit, führt Beckedahl aus und erklärt: „Sie steigen in ein Fahrzeug ein, das draußen in eisiger Kälte steht, und starten den Motor. Kurz darauf hat sich der Motor aufgewärmt auf 90 oder 100 Grad Kühltemperatur. Das muss das Bauteil mitmachen – selbst wenn Sie Ihr Fahrzeug 15 Jahre und länger in Sibirien einsetzen an vielen Tagen im Jahr mit minus 20 Grad.“

Dass das SKiM-Bauteil diesen Einsatz überstehen würde, schreibt der Hersteller auch dem Umstand zugute, dass man erneut eine grundplattenlose Konstruktion gewählt habe. „Für traditionelle Leistungshalbleitermodule mit Bodenplatte wird es bei passiven Temperaturwechseln schnell kritisch“, erläutert Beckedahl, „denn ein IGBT-Modul verwendet verschiedene Materialien, wie Kupfer, Keramik und Kunststoff, >



**Abb. 2:** Leistungsmodul mit und ohne Kupferbodenplatte: In der grundplattenlosen Variante wird das Keramiksubstrat auf den Kühlkörper direkt, das heißt ohne Lötverbindung, aufgedrückt

# Den IGBTs gehört noch länger die Zukunft

Im E&E-Interview: Peter Beckedahl, Leiter Forschung & Entwicklung, und Thomas Grasshoff, Leiter Internationales Produktmanagement, Semikron

## ■ E&E: Gibt es bei Power-Modulen für hohe Leistungen in Zukunft eine Alternative zu IGBTs?

**Beckedahl:** Im Prinzip gibt es kaum andere Möglichkeiten als IGBTs. Es gibt MOSFETs, aber die sind für hohe Ströme bei Spannungen über 200 Volt nicht geeignet. Stark diskutiert werden gegenwärtig neue Materialien, beispielsweise Siliziumcarbid. Hier gibt es Schottky-Dioden, die wir bereits in Prototypen verbauen. Da wird sich in den nächsten Jahren Einiges tun. Man spricht auch über einen Siliziumcarbid-MOSFET, der eine Konkurrenz zum IGBT werden könnte. Doch es gibt bislang keine verlässlichen Daten, die das tatsächlich belegen. Ich rechne daher nicht so bald mit einer Alternative zum IGBT.

## ■ E&E: Was kann ein Hersteller wie Semikron tun, um immer kleinere, leistungsfähigere Module zu entwickeln?

**Grasshoff:** Beim Leistungshalbleiter geht es im Prinzip um Kühlung. Das heißt, das ganze System wird immer begrenzt durch den thermischen Faktor. Die Chips muss man aber kühlen durch eine gute thermische Anbindung. Natürlich hat dies seine Grenzen im Hinblick auf die Packaging-Technik. Es gibt daher zwei Ansätze: Entweder macht man eine bessere Kühlung, um mehr Energie vom Chip wegzubringen und höhere Ströme zu erzielen. Oder man nutzt eine bessere Chip-technik und kommt auf weniger Verluste. Wir arbeiten parallel an beiden Ansätzen mit jeder neuen Generation.

**Beckedahl:** Außerdem ist die Größe eines Halbleitermoduls oft bestimmt durch die äußeren Anschluss terminals. Obwohl der Halbleiter immer kleiner wird,

muss man draußen immer noch eine Kupferschiene anschließen, um den Strom wegzubringen. Deshalb werden die Möglichkeiten, immer kleiner zu werden,



*„Innovationsfähigkeit ist unsere klare Stärke ...“*

*Thomas Grasshoff*

geringer. Wirkliche Schritte, um noch einmal Platz zu sparen, sind hochintegrierte Lösungen, bei denen man auf diese Terminals verzichtet und direkt vom Kondensator auf den Halbleiter geht. Allerdings lohnt sich dies nur, wenn die Stückzahlen dem entsprechend sind.

## ■ E&E: Warum bieten Sie erstmals ein IGBT-Modul mit aufgedruckter Wärmeleitpaste an?



*„... ihr verdanken wir, dass wir seit Jahren stetig wachsen, im letzten Jahr sogar um 30 Prozent.“*

*Peter Beckedahl*

**Beckedahl:** Wir erschließen uns damit einen neuen Geschäftsbereich in Sachen Service. Der Anwender soll den Prozessschritt des Wärmeleitpaste-Auftrags bei einem Modul ohne Bodenplatte abgeben können. Erstens passt dieser Prozessschritt nicht immer in den Fertigungsfluss und generiert daher zusätzliche Kos-

ten. Zweitens ist es relativ schwierig, die richtige Menge an Paste aufzutragen. Oftmals geht ein Fertigungsmitarbeiter davon aus, „Wärmeleitpaste ist etwas Gutes,

da tue ich extra viel drauf“. Damit er aber wirklich einen guten Kontakt erreicht, ist eine sehr dünne Wärmeleitpastenschicht das Optimum. Im Gegensatz dazu muss man bei Modulen mit Grundplatte mehr auftragen, weil es dort größere Verwerfungen gibt. Die Bodenplatte biegt sich stärker und besitzt zudem nur Anschraubpunkte im äußeren Bereich. Dagegen nutzt man die Vorteile der bodenplattenlosen

geben diesen Vorteil an den Anwender weiter.

## ■ E&E: Sie bieten Entwicklern aber noch weitere Unterstützung an?

**Beckedahl:** Ja – einen besonderen Applikationssupport. Mit Semisel stellen wir dem Entwickler eine Simulationsumgebung übers Internet zur Verfügung, mit der er thermische Simulationen ausführen und beispielsweise Auslegungen für Umrichter prüfen kann. Zudem stellen wir umfangreiches Know-how bereit, denn gerade im Bereich Leistungselektronik ist nicht immer das notwendige Fachwissen vorhanden. Auch geben unsere Vertriebsmitarbeiter mit diesem Tool vor Ort beim Anwender die Simulationsparameter ein und rechnen mit ihm gemeinsam eine Schaltung durch. Das gehört zur technischen Beratung.

## ■ E&E: Was ist ECPE?

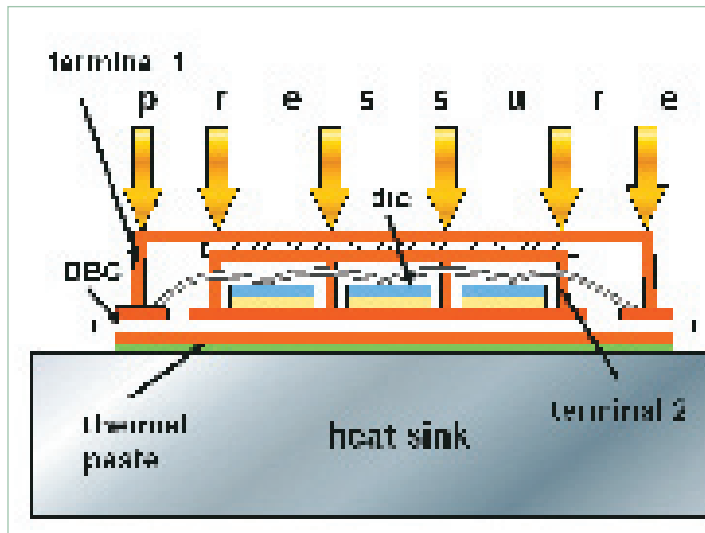
**Grasshoff:** ECPE existiert seit drei Jahren und steht für European Center for Power Electronics. Das ist eine Interessengemeinschaft aus Firmen, die Leistungselektronikmodule herstellen, Anwendern und Institutionen, die gemeinsam versuchen, Entwicklungen und Forschung auf dem Gebiet der Leistungselektronik voranzutreiben. Semikron ist eines der Gründungsmitglieder. Wir erstellen Studien für neue Anwendungsfelder, mit dem Hintergrund, einerseits das Thema Leistungselektronik mehr in die Öffentlichkeit zu tragen, und andererseits den neuen Studenten aufzuzeigen, dass die Leistungselektronik ein attraktives Gebiet ist, für das es sich lohnt, zu lernen und in diesen Bereich einzusteigen.

## ■ E&E: Meine Herren, vielen Dank für das Gespräch.

die jeweils unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten aufweisen“. Das Problem: Aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten beider Materialien kommt es bei passiven Temperaturwechseln zu Ermüdungserscheinungen im Lot zwischen Keramiksubstrat und Kupferbodenplatte. Der Wärmewiderstand geht hoch, das Bauteil fällt aus.

Bei der Semikron-Lösung wird das Keramiksubstrat auf den Kühlkörper direkt aufgedrückt, ohne dass eine Lötverbindung notwendig wäre. Es handelt sich hierbei um eine Druckverbindung bzw. eine Art schwimmende Verbindung (Abbildung 2). Wenn sich nun die beiden Materialien ausdehnen und wieder zusammenziehen, können sie übereinander gleiten. Ergebnis: Es kommt zu keinen Zuverlässigkeitsproblemen. „Wir haben bereits vor vielen Jahren Lösungen für Fahrzeuganwendungen entwickelt (beispielsweise auch für Gabelstapler), die auf eine Kupferbodenplatte verzichten, und uns damit die Vorreiterrolle auf diesem Gebiet erworben. Inzwischen gibt es auch aus dem Wettbewerb erste Lösungen ohne Bodenplatte, diese Module beschränken sich aber auf Applikationen mit kleineren Leistungen und sind nicht für Leistungen von beispielsweise 200 A Dauerstrom bzw. 400 A Überlast geeignet“, so Grasshoff. Eingeführt hatte der Hersteller diese Technik als SKiiP-Technologie bereits 1992 (Abbildung 3). Erfreulicher Nebeneffekt dieser Technik: Da eine bodenplattenlose Technik immer bleifrei ist, hatte der Hersteller keine Probleme bei der RoHS-Umstellung 2006.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass es Alternativen zur Semikron-Konstruktion bzw. zur herkömmlichen Bodenplattenkonstruktion beispielsweise im Bahnbereich gibt. Dort gelten die gleichen Anforderungen bei der Traktion. Anstelle der Kupferbodenplatte arbeitet man mit Aluminium-Siliziumcarbid-Verbundmaterial (AlSiC) – ein Werkstoff, der allerdings in der Herstellung teuer und im Vergleich zu Kup-



**Abb. 3:** Die lötfreie SKiiP-Technologie ist eine spezielle Druckkontakt-Technik für 600- bis 1700-V-Applikationen, mit der Semikron seit 1992 intelligente Power-Module ausstattet

fer weniger optimal in der Wärmeleitung ist. Auch sind die Ausdehnungskoeffizienten der jeweiligen Materialien in beiden Lösungen relativ ähnlich. Um jedoch die schlechtere Kühlung zu kompensieren, muss der Anwender entweder ein besseres Kühlkonzept entwickeln oder mehr Halbleiter einsetzen. Letzteres steigert die Kosten um ein Vielfaches, denn Halbleiter sind die teuerste Komponente eines Leistungsmoduls.

### Federn unterstützen Treiberanschluss

Mit MiniSKiiP, der ersten IGBT-Stromrichter-schaltung für gedruckte Leiterplatten, führten die Nürnberger 1996 eine spezielle Federkontakttechnik für die Treiberanschlüsse ein, von der auch das SKiM-Modul profitiert. Der Hersteller favorisiert diese Aufbautechnik als Kundenschnittstelle. Mit Verweis darauf, dass es sich hierbei um eine einzigartige lötfreie Montage handelt, unterstreicht das Unternehmen sein Alleinstellungsmerkmal auch im Hinblick auf die Kontaktierung zur PCB. Die Technik: Auf der Oberseite des Leistungsmoduls sind Federn angebracht. Die Treiberplatine des Anwenders (beispielsweise die Leistungselektronikansteuerplatine) wird kontaktiert, indem der Entwickler diese auf das Modul setzt und mit den Schrauben am Modul festzieht. Die elektrische Verbindung erfolgt über die Federkontakte. Vorteil: Der Anwender muss das Leistungsmodul nicht durch seinen Leiterplattenlötprozess tragen. Er kann seinen Standardleiterplatten-Herstellungsprozess durchführen und muss erst in der Endmontage des Power-Boards die Ansteuerplatine mit dem Elektronikmodul komplettieren. Dazu Grasshoff: „Statt Federn könnte man Lötstifte verwenden, um die Platine auf dem Modul aufzulöten. Dies erweist sich aber in einem Reflow-Prozess oder in einem Standard-Lötprozess als zu schwierig, weswegen die Hersteller eher auf

Handlötprozesse zurückgreifen. Diese Prozesse sind aber entsprechend unzuverlässig. Und umso größer das Bauteil ist, umso schwieriger wird ein automatischer Fertigungsprozess.“

Auch bei der Chipkontaktierung geht der Hersteller einen neuen Weg. Generell gibt es in jedem Leistungsmodul neben der oben angesprochenen Verbindung noch eine (weitere) Lotverbindung. Das ist die Verbindung vom Siliziumchip auf das Keramiksubstrat. Hier befinden sich die Siliziumhalbleiter, die in einer herkömmlichen Konstruktion gelötet werden. Bauteile bieten heute höhere Junction-Temperaturen. Wenn der Entwickler deshalb mit höheren statt mit niedrigeren Temperaturen arbeitet, führt das schneller zu Verschleißerscheinungen. Um diese Herausforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik zu meistern, hat Semikron eine Möglichkeit entwickelt, die Siliziumhalbleiter zu sintern statt anzulöten. Sintern ist ein Prozess, der bei sehr hohen Temperaturen stattfindet. Vorteil auch hier: Der Anwender ist mit seiner Prozesstemperatur weit entfernt (räumlich gesehen) von der Arbeitstemperatur. „Das steigert die Zuverlässigkeit des Moduls noch einmal, denn wenn man einen gelöteten Chip bei hohen Temperaturen betreibt, auch Lastwechsel berücksichtigt, die noch dazukommen, führt das wiederum zur Lötermüdung. Die Lötstiftung zwischen Silizium und Keramiksubstrat wird mit der Zeit schlechter“, führt Beckedahl aus. Die Folge seien Rissbildungen, die zum Ausfall des Moduls führten, was mit einem gesinterten Chip nicht der Fall sei.

Semikron wird sein IGBT-Modul SKiM im vierten Quartal 2007 auf den Markt bringen. Wer vorab einen Blick auf das Bauteil werfen möchte, kann den Hersteller auf der PCIM in Nürnberg besuchen in Halle 12, Stand 411. ■

Weiterführende Infos auf [www.EuE24.net](http://www.EuE24.net)

**more @ click** EE057000

**Firmendaten**

**SEMİKRON**  
innovation + service

**Unternehmen:** Semikron Elektronik GmbH & Co. KG  
Semikron International GmbH

**Adresse:** Sigmundstraße 200  
90431 Nürnberg

**Gründung:** 1951

**Headquarters:** Nürnberg

**Mitarbeiter:** 2700

**Kontakt:** T +49/911/6559-0  
F +49/911/6559-262  
sales.skd@semikron.com

**Info:** [www.semikron.com](http://www.semikron.com)