

Elektronik

Fachzeitschrift für industrielle Anwender und Entwickler

IGBT-Module:

Elektroautos – 900 A im Griff

>> Seite 32

Elektronische Schaltungen aus dem Tintenstrahldrucker

>> Seite 24

Großer Vergleichstest: Industrie-Schaltnetzteile – Teil 1

>> Seite 56

3D-Integration: Chipstapel im Gehäuse

>> Seite 42

Ansteuerung für Piezo-Aktoren

>> Seite 46



TIDC 2007

„Jedes Mal, wenn wir die Leistungsaufnahme um eine oder zwei Größenordnungen senken, bereiten wir einer Vielzahl von neuen Anwendungen den Weg.“

>> Seite 18

Galvanische Koppler im Vergleich

>> Seite 36

Top 111 – Produkte des Jahres: Die Gewinner

>> Seite 12

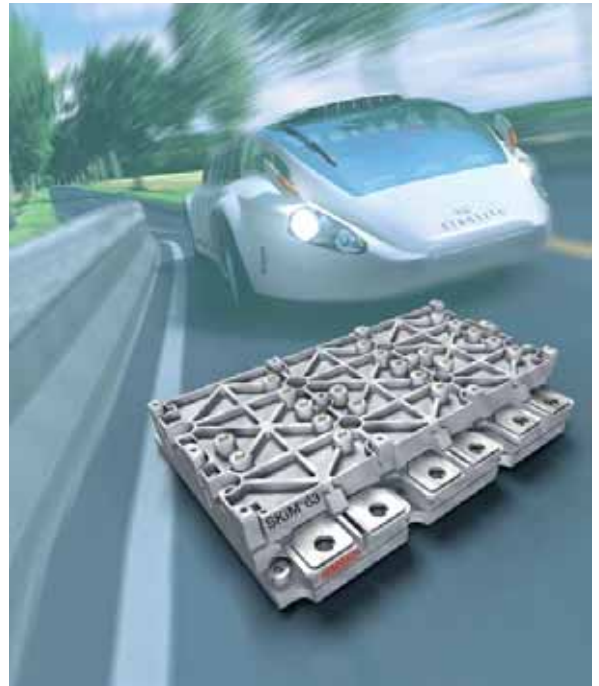
Richard Templeton, President und CEO von Texas Instruments, auf der TI Developer Conference in Dallas/Texas

900 Ampere zuverlässig in Bewegung

SKiM – Ein zukunftsweisendes IGBT-Modulkonzept für Automobil-Anwendungen

Die Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes und nachhaltiges Wirtschaften stehen weltweit weit oben auf der Prioritätenliste. Ein Beitrag zur Lösung ist die möglichst weite Verbreitung von geregelten elektrischen Antrieben. Vor allem der Automobil-Sektor hat hier Nachholbedarf. Die derzeit erhältlichen Leistungsmodule erfüllen jedoch nicht die dort gestellten Anforderungen. Abhilfe schafft hier ein speziell auf Automobil-Anwendungen abgestimmtes IGBT-Modul.

Von Christian Daucher



Die Anforderungen an ein leistungselektronisches System, das in Elektrofahrzeugen oder Fahrzeugen mit Hybridantrieben eingesetzt wird, sind hoch: Die Module müssen klein und leicht, gleichzeitig aber hohen Schock- und Vibrationsbelastungen gewachsen sein. Die Umgebungstemperaturen liegen während des Betriebs meist über 125 °C, können aber bei Stillstand unter den Gefrierpunkt fallen. Das Kühlmittel hat meist Temperaturen um 105 °C, kann aber kurzfristig noch wärmer werden, so dass im Inneren des Moduls die Chip-temperaturen T_j auf über 150 °C ansteigen. Aus diesen Temperaturen resultieren extreme Temperaturwechselbelastungen, die bekannterweise die Lebensdauer eines herkömmlichen Moduls stark reduzieren [1]. **Tabelle 1** fasst die Anforderungen zusammen.

■ Hitze, Schock und Vibration im Griff

Herkömmliche IGBT-Module, wie sie auch Semikron anbietet, sind auf einer 3 mm dicken Grundplatte aufgebaut, die als Basis dient (**Bild 1**). Auf diese Trägerplatte werden eine oder mehrere

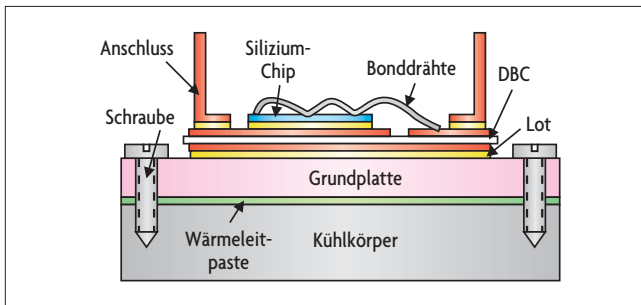
DCB-Substrate (Direct Bonded Copper) mit den eigentlichen IGBT-Chips sowie Anschluss terminals aufgelötet. Aluminium-Bonddrähte kontaktieren die Oberseite der Silizium-Chips mit dem Substrat.

Die Hauptausfallursache bei Temperaturwechselbelastung dieser herkömmlichen Module ist Ermüdung bzw. die Ausbreitung von Rissen in den Lötstellen. In Folge der Ermüdung steigt der thermische Widerstand des Moduls. Dieser Prozess beschleunigt sich selbst. Die Ursache für diese Ermüdung sind Änderungen der thermisch induzierten mechanischen Spannungen, die aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten entstehen, wenn die stoffschlüssig verbundenen Werkstoffe erwärmt und wieder abgekühlt werden. Je höher die Temperaturspanne ΔT ist, desto schneller schreitet dieser Prozess voran. Anforderungen, wie sie in **Tabelle 1** zusammengefasst sind, können mit diesen Modulen nicht erreicht werden.

Ein typischer Weg zur Lösung dieses Problems ist die Verwendung von Werkstoffen mit thermisch besser angepassten Materialien. Grundplatten aus AlSiC (Aluminium-Siliziumkarbid) werden häufig in Hochleistungsmodulen eingesetzt, da sie einen sehr viel kleineren Ausdehnungskoeffizienten als Kupfer haben. Allerdings hat AlSiC einen niedrigeren thermischen Leitwert und ist zudem teurer, so dass es für ein Modul im Automotive-Sektor nicht geeignet ist.

Umgebungsbedingungen	
Umgebende Luft	-40 bis +135 °C
Kühlflüssigkeit	-40 bis +105 °C
Chip-Temperatur	-40 bis +175 °C
Vibration	$10 \times 9,81 \text{ m/s}^2$
Schock	$50 \times 9,81 \text{ m/s}^2$
Zuverlässigkeit	
Lebensdauer	15 Jahre
Lastwechsel	30 000 Zyklen bei $\Delta T = 100 \text{ K}$
Temperaturwechsel	1000 Zyklen bei $\Delta T = 165 \text{ K}$

! Tabelle 1. Anforderungen an Leistungsmodule für den Einsatz in Fahrzeugen mit Hybridantrieb



! Bild 1. Schematischer Aufbau eines herkömmlichen IGBT-Moduls.

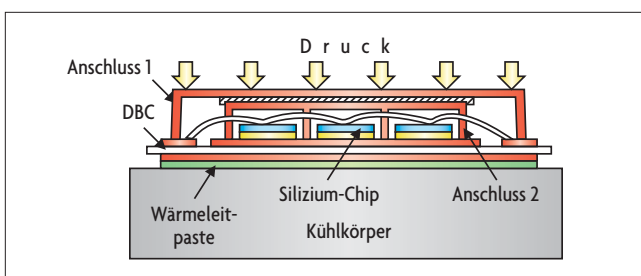
Semikron hat schon vor vielen Jahren einen anderen Weg eingeschlagen und die SKiiP-Modultechnologie (Semikron integrated intelligent Power) entwickelt. Dabei wird sowohl auf die Grundplatte wie auch möglichst auf Lötverbindungen verzichtet (**Bild 2**).

Das Substrat mit den Silizium-Chips wird über ein mechanisches Drucksystem auf den Kühlkörper gedrückt. Da es nicht fest mit dem Kühlkörper verbunden ist, kann es sich bei Temperaturänderungen ausdehnen und zusammenziehen, ohne dass es zu den gefürchteten mechanischen Spannungen kommt. Die Lötungen der Chips sind zum einen flächenmäßig klein und zum anderen ist das DCB-Substrat von seinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten her gut an die Chips angepasst. Module auf Basis dieses Konstruktionsprinzips zeigen folglich eine deutlich höhere Temperaturwechselfestigkeit als herkömmliche Grundplattenmodule.

■ Optimiert für den Automobileinsatz: SKiM 63 und SKiM 93

Für das Modulkonzept SKiM (Semikron integrated Module) ist die SKiiP-Technologie konsequent weiterentwickelt worden, um langzeitzuverlässige und höchst kompakte Module realisieren zu können. Die Module SKiM 63 und SKiM 93 sind die ersten beiden Module dieser Art, die auf der SKiiP-Technologie basieren und bereits als Prototypen zur Verfügung stehen. Sie wurden speziell für elektrisch betriebene Fahrzeuge mit hohen Ansprüchen an die elektrische Leistungsdichte sowie an die Umgebungsbedingungen entwickelt.

Beim SKiM handelt es sich um ein Sixpack-Modul, das drei unabhängige Halbbrücken in einem gemeinsamen Gehäuse unterbringt. Jede Halbbrücke ist mit einem eigenen NTC-Tempersensoren ausgestattet. Die DC- und AC-Hauptanschlüsse sind – wie heute üblich – 17 mm hoch ausgeführt und auf den gegenüberliegenden Seiten des Moduls angeordnet. Auf der Ober-



! Bild 2. Schematischer Aufbau eines IGBT-Moduls in SKiiP-Technologie (Semikron integrated intelligent Power).

seite befinden sich die Steueranschlüsse. Die Treiberplatine wird lötfrei über Federkontakte angeschlossen, so dass man auch hier konsequenterweise keine anfälligen Lötverbindungen hat.

Die Grundflächen der beiden Module liegen bei $114 \times 160 \text{ mm}^2$ im Falle des SKiM 63 (**Bild 3**) und bei $150 \times 160 \text{ mm}^2$ im Falle des SKiM 93. Bild 2 zeigt, wie die Verschiebung der Hauptanschlüsse neben und zwischen

	SKiM 63	SKiM 93
$R_{\text{thjs IGBT}}$	0,14 K/W	0,95 K/W
$R_{\text{thjs Diode}}$	0,27 K/W	0,18 K/W
$I_{\text{C nom, 600 V}}$	600 A	900 A
$I_{\text{C nom, 1200 V}}$	300 A	450 A
$I_{\text{eff, 600 V}}$	280 A	410 A
$I_{\text{eff, 1200 V}}$	165 A	250 A

Tabelle 2. Elektrische Parameter der Module SKiM 63 und SKiM 93

den Chips lötfrei auf das DCB-Substrat drückt. Dieser Aufbau führt zu einer sehr geringen parasitären Modulinduktivität.

Aufgrund dessen, dass das Substrat an sehr vielen Stellen auf den Kühlkörper gedrückt wird, kommt es zu keinem Bimetalleffekt. Das Substrat liegt flach auf dem Kühlkörper auf. Die Schicht aus Wärmeleitpaste kann mit $20 \mu\text{m}$ sehr viel dünner sein als bei herkömmlichen Modulen mit Grundplatte (typ. $100 \mu\text{m}$ Wärmeleitpaste), so dass trotz der im Vergleich geringeren Wärmespreizung das gleiche thermische Verhalten erreicht wird.

Zukünftig will Semikron sogar gänzlich auf die Chip-Lötung verzichten: Anstatt den Chip auf das Substrat zu löten, wird er bei den beiden SKiM-Modulen mittels einer Niedertemperatur-Sintertechnik [3] aufgebracht. Bei dieser Verbindungstechnik besteht die Verbindungsschicht aus Silber. Wegen der hohen Schmelztemperatur des Silbers von $960 \text{ }^\circ\text{C}$ treten die typischen Ermüdungserscheinungen von Lötsschichten (Schmelztemperatur unter $300 \text{ }^\circ\text{C}$) nicht auf. Damit sind SKiM-Module komplett lötfrei.

Um die gestellten Anforderungen bezüglich der Temperaturbeständigkeit des Gehäuses bestehen zu können, ist der Einsatz neuester Industriekunststoffe erforderlich. Für das SKiM-Modul hat Semikron ein Polyamid mit einem CTI (Comparative Tracking Index) >600 und einem RTI (Relative Temperature Index) von $150 \text{ }^\circ\text{C}$ gewählt.

IGBT – Dioden-Chipsatz

Neben der mechanischen Konstruktion kommt auch der Wahl der richtigen Kombination aus IGBT- und Dioden-Chip eine wesentliche Bedeutung zu. In den anvisierten Anwendungen werden meist Module mit einer Sperrspannung von 600 V und 1200 V benötigt. Wegen der hohen Temperaturanforderungen werden in den SKiM-Modulen für 600 V IGBT-3-Chips von Infineon Tech-



Das SKiM 63 ist ein so genanntes Sixpack-Modul mit einer Grundfläche von $114 \times 160 \text{ mm}^2$.

- [2] *Beckedahl, P.; Tursky, W.; Scheuermann, U.:* Packaging considerations of an Integrated Inverter Module for Hybrid Vehicles. PCIM, Nürnberg 2005.
- [3] *Goebel, C.; Beckedahl, P.; Braml, H.:* Low temperature sinter technology – Die attachment for automotive power electronic applications. APE Conference, Paris 2006.
- [4] *Demuth, V.; Häupl, K.; König, B.; Nichtl-Pecher, W.:* CAL 4: The next Generation 1200V Freewheeling Diode. PCIM China, 2007.

nologies und Dioden des Typs CAL-HD von Semikron sowie für 1200 V die neu entwickelten IGBT-4-Chips und die ebenfalls neu entwickelte Diode CAL I4 [4] der selben Hersteller eingesetzt. Diese Chips weisen eine maximal erlaubte Chip-Temperatur $T_{j \text{ max}}$ von 175 °C auf und sind somit in der Lage, auch noch in Überlastfällen die hohen Temperaturanforderungen zu bestehen.

Mit diesen Chipsätzen werden die in **Tabelle 2** zusammengefassten technischen Daten erreicht. Diese Daten konnten bei ersten Schaltversuchen an zur Verfügung stehenden Prototypen bestätigt werden. gs

Literatur

- [1] *Scheuermann, U.; Hecht, U.:* Power Cycling Lifetime of Advanced Power Modules for Different Temperature Swings. PCIM, Nürnberg 2002.



Christian Daucher

studierte Elektrotechnik an der Universität in Braunschweig und arbeitete dort im Anschluss für drei Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seit 1999 ist er Produktmanager bei der Firma Semikron; zwischen 2004 und 2005 war er als „Expatriate“ bei Semikron Japan tätig.
Christian.Daucher@semikron.com