

Wärmemanagement mit keramischer Kühllösung für Drive Inverter

Richard Boulter¹

Kühllösungen für die Leistungselektronik können E-Mobilität mithilfe umweltschonender, nachhaltiger und zugleich wirtschaftlicher Technologien ermöglichen. Die eingesetzten Werkstoffe müssen dabei hohe Anforderungen erfüllen. Hochleistungskeramik leistet hier einen entscheidenden Beitrag.

Elektroautos sind auf dem Vormarsch. Angeführt von Pionieren wie Tesla und von der Bundesregierung gefördert, erreichten die Verkaufszahlen in Deutschland neue Höchststände. Immer mehr Menschen steigen auf E-Autos um, die leiser sind, keine direkten Emissionen verursachen und dabei helfen, die Feinstaubbelastung in Städten zu bekämpfen. Bei der Weiterentwicklung der Antriebsstränge stößt die Automobilindustrie jedoch auf einige Herausforderungen, allen voran knapper Bauraum, steigende Leistungsanforderungen und der Anspruch an die Reichweite. Halbleiterchips erreichen dank neuer Materialien immer höhere Leistungsdichten, die jedoch mit erhöhter Wärmeerzeugung einhergehen. Das bedeutet, dass thermische Widerstände gesenkt werden müssen, um

die Leistungssteigerung umzusetzen. Alternative, wegweisende Konzepte der Entwärmung sind gefordert.

An Kühllösungen für die Leistungselektronik, besonders im Hinblick auf Elektrifizierung und E-Mobilität, arbeitet Ceramtec zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) in Erlangen. Ziel ist es, Mobilität mithilfe umweltschonender, nachhaltiger und zugleich wirtschaftlicher Technologien sicherzustellen. Dabei geht es in der E-Mobility um innovative Lösungen für verschiedene Arten von Antrieben, die Optimierung des Motors und neue Systeme zur Energieerzeugung, -speicherung, -übertragung und -verteilung. Um diese komplexen Aufgaben zu bewältigen, müssen Werkstoffe hohe Anforderungen erfüllen.

Hochleistungskeramik als Allrounder-Werkstoff

Genau das bietet die Hochleistungskeramik. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine hohe Festigkeit besitzt, gute tribologische Eigenschaften aufweist (Reibung und Verschleiß), elektrisch isoliert, gut thermisch leitet und temperaturwechselbeständig, chemisch resistent sowie korrosionsfest ist. Technische Keramik kommt an vielen Stellen in Elektroautos zum Einsatz. So messen beispielsweise piezokeramische Sensoren Durchfluss- und Füllstände, elektrische Isolierkomponenten werden in PTC-Hochvoltheizern für die Innenraumbeheizung oder Erwärmung von Flüssigkeiten eingesetzt, während keramische Gleitlager besonders langlebig und verschleißfest und damit auch für den Einsatz unter rauen Bedingungen geeignet



Bild 1 Leistungsmodul für Drive Inverter. (© CeramTec)

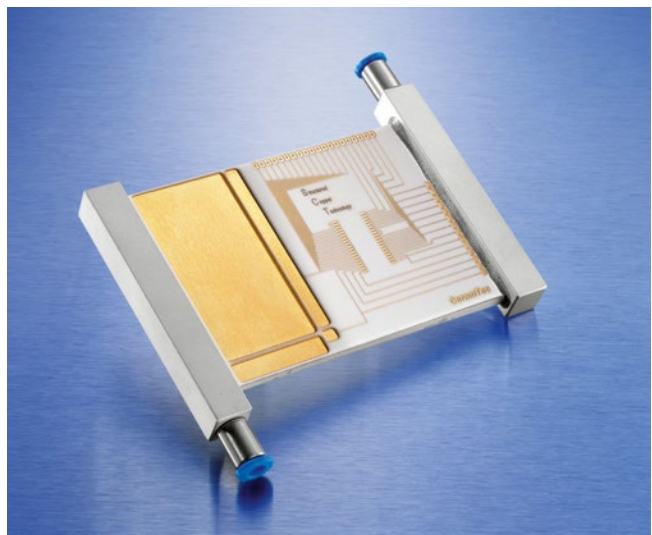
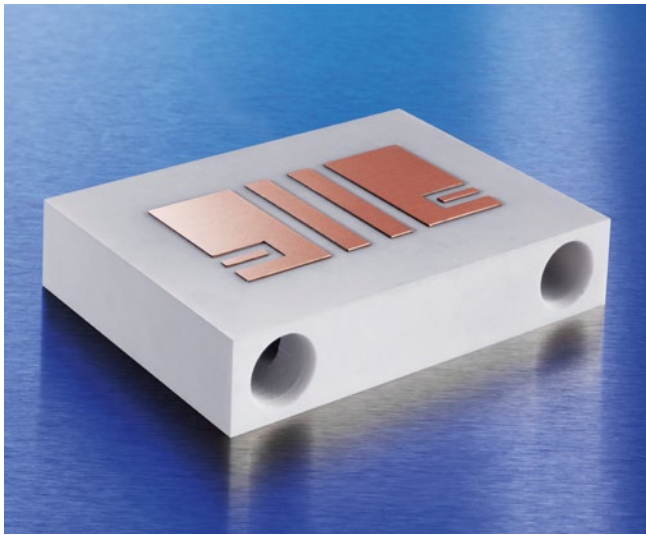


Bild 2 Variante der Chip-On Heatsink-Technologie der Produktfamilie Ceramcool. (© CeramTec)

sind. Zudem befinden sich keramische Schaltungsträger in der Xenon-, LED- und Laser-Lichttechnologie. Aber auch bereits in der Produktion kommen Keramikelemente zur Anwendung: Zum Gießen von Motor- und Fahrwerkskomponenten sowie in Felgen aus Aluminium werden Steigrohre und Düsen aus Keramik genutzt, genauso wie bei Gießkernen für komplexe Gießbauteile mit Hinterschnitt oder Setterplatten im Herstellungsprozess von MIM-Bauteilen.

Kühlkörper für leistungstärkere Elektroautos

Auch im Bereich des Wärmemanagements erfüllt Hochleistungskeramik als leistungsfähiger Kühlkörper das Anforderungsprofil. Keramische Kühlkörper können mittels der Chip-on-Heatsink-Technologie von Ceramtec Kühlkörper und Platine in einem sein. Der Körper wird direkt und beidseitig metallisiert, entweder mit Aluminiumoxid (Rubalit) oder dem hochwertigeren Aluminiumnitrid (Alunit), und hat eine Entwärmungsleistung von bis zu 1000 W/cm². Zudem kann das Produkt für nahezu jede Kühlleistung skaliert werden und ist designtechnisch bei Bedarf vielfältig anpassbar.

Die Einsatzgebiete sind zahlreich: für die Entwärmung der Leistungselektronik, beispielsweise von Spannungswandlern, der Antriebssteuerung oder Ladeinheit über

das Thermomanagement von Hochleistungs-LEDs bis hin zu Photovoltaik-Anlagen. Im Elektroauto muss beispielsweise für den Motor Gleichstrom zu Wechselstrom umgewandelt werden. Das übernimmt ein Inverter (Antriebswechselrichter). Dieser muss angemessen gekühlt werden, damit die Halbleiter-Chips keiner zu hohen Hitzebelastung ausgesetzt sind. Je geringer dabei der Abstand zwischen den Chips und der Kühlflüssigkeit ist, desto besser ist die Entwärmung. Da herkömmliche Aufbauten aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien bestehen, um sowohl elektrische Isolierung als auch angemessene Wärmeleitfähigkeit zu schaffen, sind die Bauteile größer und die Kühlung nicht ideal.

Aus diesem Grund sollten Antriebswechselrichter aus möglichst leichten, kompakten und hochtemperaturfesten Komponenten bestehen, um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen und eine maximale elektrische Leistung zu erzeugen. Halbleiter auf Basis von Siliziumkarbid (SiC) vereinen diese Eigenschaften und sorgen für eine verbesserte Leistungsdichte bei höherer Schaltfrequenz und gleichzeitiger Energieeinsparung.

Die Chip-on-Heatsink-Technologie

Das Problem der effizienten Entwärmung wird durch die neue Generation keramischer

Kühlsysteme mittels der Chip-on-Heatsink-Technologie gelöst, bei der sich die Chips direkt auf dem metallisierten Kühlkörper und dadurch nah an der Kühlflüssigkeit befinden. Dafür werden die strukturierten Kupferbleche direkt auf der Vorder- und Rückseite des Keramikkühlers aufgebracht, womit es möglich ist, beide Seiten als Schaltungsträger zu nutzen und gleichzeitig zu kühlen (Bild 1). Ein- und Auslass für die Kühlflüssigkeit befinden sich auf der Rückseite und über Dichtungen besteht eine einfache Anbindung an den Kühlkreislauf. Je nach Einbausituation können die Ein- und Auslässe auch in anderer Form gestaltet werden. Die innere Kühlstruktur der Keramik ist als Pin-Fin-Struktur aufgebaut und vergrößert so nicht nur die Wärmeübertragungsfläche des Kühlkörpers deutlich, sondern sorgt durch die gewählte Anordnung auch für eine gleichmäßige Umspülung der Oberfläche, wodurch sich die Wärme schnell abtransportieren lässt. Zugleich erhöht die Struktur die mechanische Festigkeit und kann so Druck-, Torsions- und Biegekräfte gut aufnehmen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sich die Struktur auf den Footprint der SiC-Halbleiter abstimmen lässt, sodass sich jeweils gleich viele Pin-Fins unterhalb der Chipfläche befinden, um den Chip bestmöglich zu entwärmen.

Besonders hohe Leistungsdichten werden mit Flüssigkühlern erreicht, da Wasser

oder Glykol-Gemische im Vergleich zu Luft eine signifikant höhere Entwärmungsleistung erreichen. Die Eigenschaften der Hochleistungskeramik erlauben es, neben traditionellen keramischen Herstellverfahren wie extrudieren oder pressen auch Kühlkörper mit nahezu beliebiger innerer Aufteilung zu konzipieren, dadurch sind beispielsweise auch beliebige Pin-Fin-Strukturen möglich. Für die Herstellung werden hierbei zunächst mehrere keramische Grundkörper, wie keramische Folien oder Blöcke, einzeln strukturiert, dann übereinandergelegt und gemeinsam in einem Brennofen bei hohen Temperaturen zu einem monolithischen Körper versintert. So sind Flüssigkeitskühler möglich, die nur im Bereich der Chips eine turbulente Strömung mit einer hohen Wärmeableitung aber größerem Strömungswiderstand erzeugen und außerhalb der Chipfläche laminare Strömungen mit niedrigem Strömungswiderstand aber geringer Wärmeableitung herstellen. Somit ist es durch die interne Struktur möglich, gezielt unter den Chips einen hohen Wärmeübergang zur signifikanten Reduzierung der Halbleitertemperatur bei einem ansonsten möglichst homogenen Durchflussverhalten zu erzeugen. In einem Leistungsvergleich flüssigkeitsgekühlter Systeme wurde ein direkt metallisierter keramischer Kühlkörper (Chip-on-Heatsink, Bild 2) mit einem konventionellen metallischen Flüssigkeitskühler mit traditionellem Leiterplattenaufbau verglichen. Das Ergebnis: Bei gleicher zugeführter Leistung beträgt der thermische Widerstand im Ceramcool Systemaufbau nur die Hälfte des Wertes, der von einem herkömmlich aufgebauten Kühlsystem erzielt wird.

Kühlkörper und Schaltungsträger zugleich

Eine solche Bauweise wurde auch für eine neue keramische Kühllösung – ein Leistungsmodul zum Einsatz in Antriebswechselrichtern in der E-Mobilität – angewandt. Das neue keramikbasierte Leistungshalbleitermodul, das für die Kühlung der Leistungselektronik im Antriebsstrang eine wichtige Rolle spielt, besteht aus einem flüssigkeitsdurchströmten Aluminiumnitrid-

Kühler mit beidseitiger Kupfermetallisierung und optimierter Pin-Fin-Struktur.

Im Mittelpunkt steht das Moduldesign, welches speziell für die Nutzung keramischer Kühler mit SiC-Chips entwickelt wurde und diese effizient entwärmt, während die Chipfläche bestmöglich ausgenutzt und die Baugröße zugleich so klein wie möglich gehalten wird. Allein durch diesen Aufbau lässt sich ein um 29 % geringerer Wärmewiderstand gegenüber einem Standardaufbau mit metallischem Kühler und der gleichen Pin-Fin-Struktur erreichen. Wird die Geometrie für Keramik optimiert, kann sogar ein um 50 % geringerer Wärmewiderstand erreicht und auch bei hoher elektrischer Leistung, bei der viel Wärme produziert wird, auf kleinem Raum schnell entwärmt werden. Die Keramik selbst ist dabei nur 3 mm dick, zusammen mit der Metallisierung kommt der Kühler auf eine Dicke von 3,6 mm bei einem Gewicht von lediglich 10 g. Trotz dieser kleinen und leichten Bauweise ist der Kühler extrem stabil und lässt sich problemlos silbersintern. Das macht das Leistungsmodul für Drive Inverter zu einem Hochleistungskühler mit einem geringen Wärmewiderstand und einer hohen Packungsdichte, der sich außerdem für spezifische Anforderungen entsprechend modifizieren lässt. ◀

Kontakt:

CeramTec GmbH,
73207 Plochingen,

www.ceramtec-group.com/de

Keramik der Zukunft.



Das ganze Fachwissen der Keramiktechnologie, in allen anwendungsrelevanten Bereichen auf technisch-wissenschaftlichem Niveau mit den neuesten signifikanten Trends und Entwicklungen. Informieren Sie sich fünf Mal im Jahr mit der exklusiven Kombination aus **Printausgabe** und **interaktivem E-Magazin** sowie der **einzigartigen Wissensdatenbank** des **Online-Archivs mit pdf-Download**.

**JETZT
KOSTENLOS
TESTEN!**



www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift

1 Präsident Industrial der CeramTec-Gruppe