



CeramCool®
Das Keramiksystem für
Hochleistungs-Packages
Immer dort, wo es heiß her geht

CeramTec
THE CERAMIC EXPERTS

„ Die Physik kann man nicht außer Kraft setzen. “

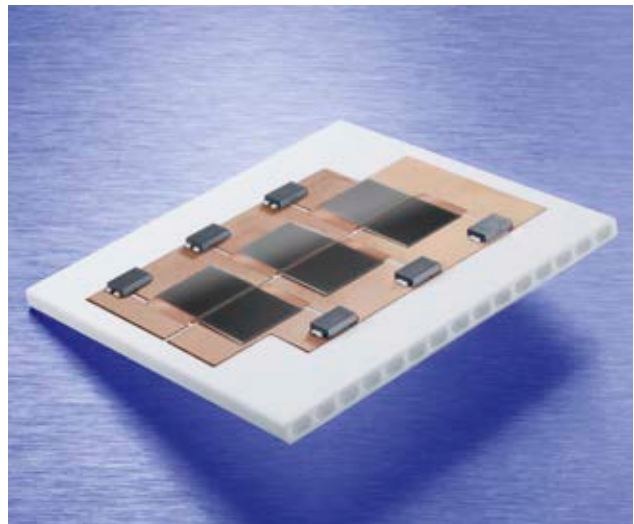
Die durch CeramCool® möglichen Vorteile können jedoch unterschiedlich genutzt werden. Dieses Booklet soll Sie beim Design Ihrer Systeme unterstützen. Dafür geben wir grundlegende Tipps und zeigen Vorteile wie auch Grenzen des keramischen CeramCool®-Systems auf. Es eignet sich für zahlreiche Optimierungsstufen: vom Isolator über das metallisierte Substrat bis hin zum vollkeramischen, bestückten Kühlkörper – dem perfekten Package für hoch belastete Bauelemente.

Im Kern bedeutet das: **CeramCool® ist überall dort nutzbringend, wo es heiß her geht.**



Warum Keramik?

Keramik kombiniert zwei wichtige Eigenschaften: elektrische Isolierung und thermische Leitfähigkeit. Sie bietet eine gute elektro-magnetische Verträglichkeit und verfügt über einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der nahezu dem von Halbleitermaterialien entspricht. Im Gegensatz zu anderen Materialien sind Ausdehnungskoeffizient und thermische Leitfähigkeit bei Keramik jedoch in allen Richtungen gleich. Darüber hinaus ist Keramik wasserdicht sowie UV- und korrosionsbeständig. Kein anderes Material vereint all diese Eigenschaften in dieser Performance.



Ganz einfach.

Der CeramCool® Kühlkörper ist einfach und extrem zuverlässig. Dank seiner exzellenten thermischen Leitfähigkeit und Stabilitätseigenschaften sowie seiner kompakten Form ermöglicht er leistungsstarke Lösungen bei temperaturempfindlichen Komponenten und Schaltkreisen. CeramCool® ist idealer Kühlkörper oder Package-System für Hochleistungs-LEDs und andere Hochleistungskomponenten.

Vereinfachung und Miniaturisierung

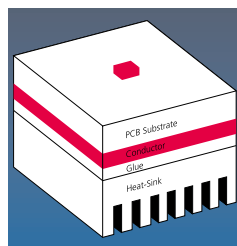
Wärmeempfindliche Halbleiterkomponenten werden häufig auf herkömmlichen Substraten montiert. Diese müssen elektrische Isolierung, aber gleichzeitig auch eine angemessene Wärmeleitfähigkeit bieten. Das Ergebnis ist oft eine „Sandwich-Komponente“ mit mehreren Schichten aus unterschiedlichen Materialien. Jede Schicht birgt dabei individuelle Risiken und beeinträchtigt die Wärmeleitfähigkeit. Mit CeramCool® dagegen ist das Substrat selbst bereits der Kühlkörper.

Exzellentes Thermomanagement – lange Lebensdauer

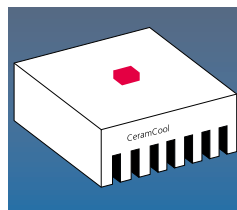
Die vereinfachte Konstruktion, kombiniert mit dem direkten und dauerhaften Bonding zwischen Elektronikkomponente und CeramCool®, schafft ideale Betriebsbedingungen. Einfacher gesagt: Was nicht da ist, unterliegt auch nicht dem Verschleiß. Und Materialien, die sich gleichermaßen ausdehnen, trennen sich nicht voneinander. Damit ist Delaminierung kein Problem mehr. Darüber hinaus erhöht der Betrieb des Systems bei geringeren Temperaturen die Lebensdauer.

Chip on heat-sink – das optimierte Package

CeramCool® lässt sich direkt metallisieren. Seine gesamte Oberfläche kann als Schaltungsträger genutzt werden, dicht bestückt mit Komponenten auf kundenspezifischen Schaltungslayouts. Die elektrische Isolierung ist stets garantiert. Der Prozess lässt sich durch das direkte Bonding der Chips auf die speziell metallisierte CeramCool®-Oberfläche noch vereinfachen. Chip on heat-sink! Kompakt und einfach.



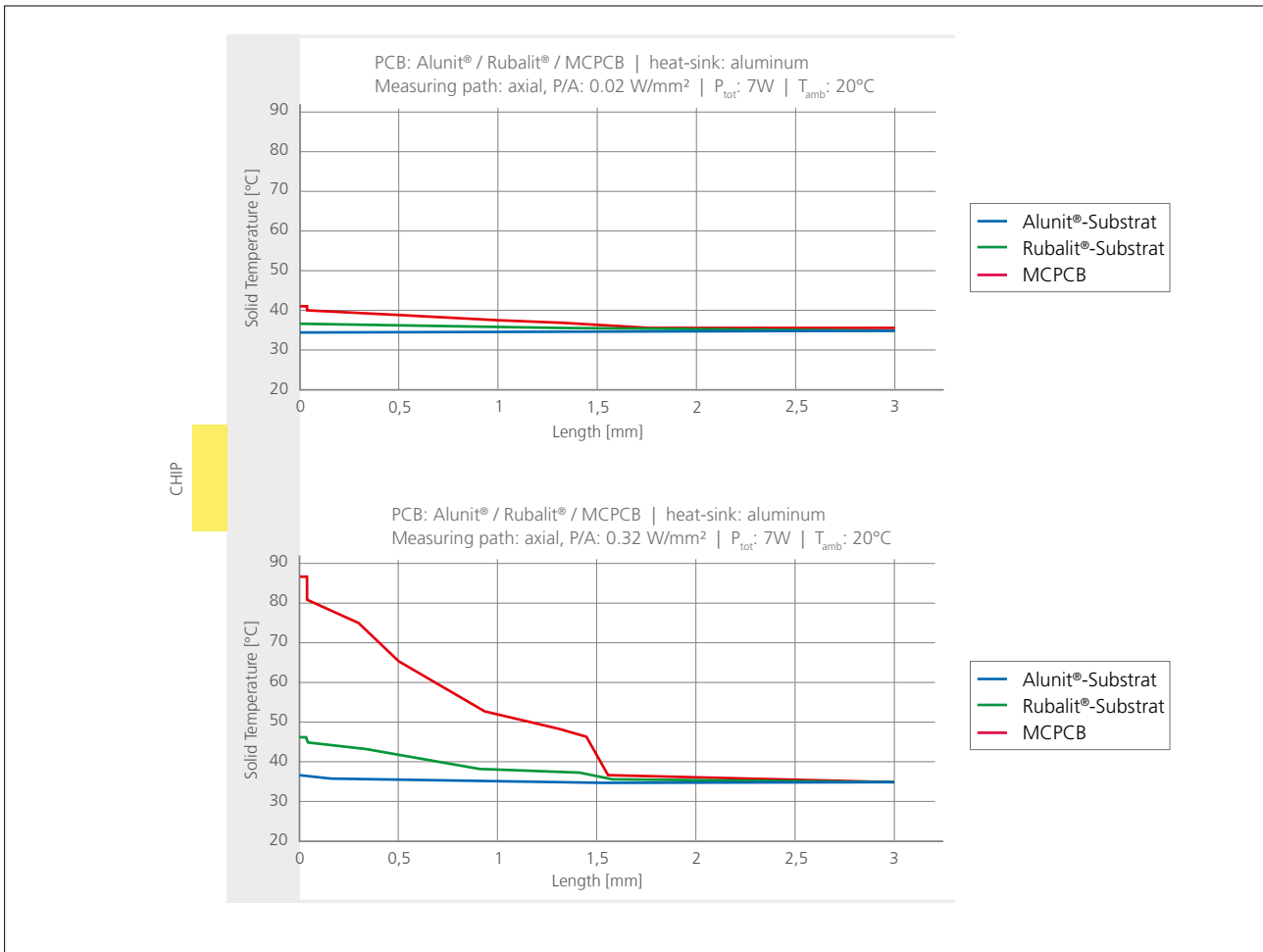
Typisches System mit mehreren Schichten und unterschiedlichen TCEs.
Mögliche Risiken:
Delaminierung, Korrosion



Einfacheres und kleineres System mit CeramCool®.
Optimiert das Wärme-management mit direkter Metall-Metall-Verbindung.
Vorteil: lange Lebensdauer

Get close.

Vergleich PCB Konfigurationen



Der keramische Vorteil wächst mit steigender Leistungsdichte bzw. sinkt prinzipbedingt, wenn sie reduziert wird. Bei 0,02W/mm² werden in diesem Beispiel nur 4K bzw. 6K (Rubalit®/Alunit®) erreicht. Bei einer Leistungsdichte von ca. 0,32W/mm² entsteht ein Temperaturvorteil von 42K bzw. 50K durch die Verwendung eines Rubalit®- bzw. Alunit®-Substrates. Das MC-PCB (Metal Core Printed Circuit Board) wies eine Dicke von 1,5mm bei einer gemittelten Wärmeleitfähigkeit von 4W/mK auf. Es wurden 7 Watt entwärmt.

GUT ZU WISSEN

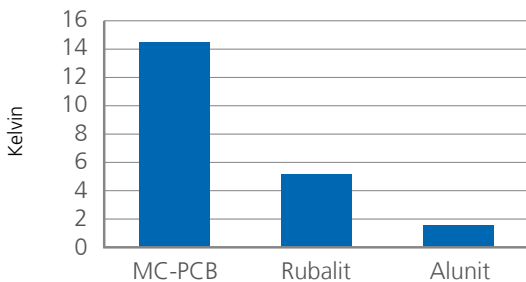
- Je näher man mit Keramik an der Hitzequelle ansetzt, desto größer ist der Entwärmungsvorteil.
- Der Vorteil des keramischen Systems steigt mit der Leistungsdichte.

Rubalit® = CeramTec Aluminiumoxidkeramik

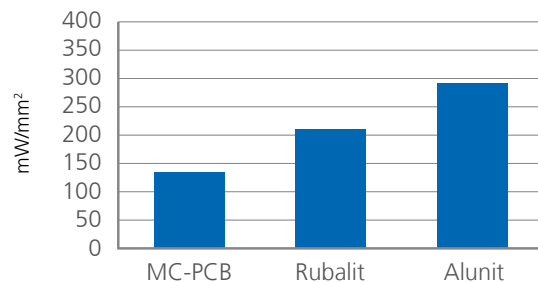
Alunit® = CeramTec Aluminiumnitridkeramik

Einfach mal vergessen.

Wie bereits erwähnt, wirkt Keramik elektrisch isolierend und lässt sich direkt metallisieren. Damit eignet sie sich perfekt dazu, herkömmliche PCB-IMS (isolierte Metallsubstrate) zu ersetzen. Mit Rubalit®-Substraten halbieren Sie den Wärmewiderstand eines PCB um fast 50%. Mit Alunit® können Sie den Wärmewiderstand sogar (fast) ganz vergessen und den erzielbaren Vorteil maximal ausnutzen. Der gewonnene Vorteil kann für unterschiedliche Ziele genutzt werden: Reduzierung des Wärmewiderstands oder Steigerung der Leistungsdichte.



- Rubalit®: Halbierung des Wärmewiderstands
- Alunit®: Wärmewiderstand vernachlässigbar



- Rubalit®: bis zu 50% höhere Leistungsdichte
- Alunit®: bis doppelte Leistungsdichte



GUT ZU WISSEN

Das Ersetzen eines herkömmlichen PCB durch Keramik ermöglicht:

- Halbierung der Substratfläche
- Verdopplung der Leistungsdichte

LED Chips werden häufig auf keramischen Substraten, meist Rubalit®, aufgebracht. Ihre Wärmeleitfähigkeit ist höher als die herkömmlicher PCBs. Obendrein ist die Ausdehnung der Keramik in alle Richtungen gleich. Thermische Spannungen, beispielsweise in der Lotschicht zwischen ungehäustem Chip und Keramiksubstrat, sind daher gering.

Der direkte Weg.

Kundenspezifische Layouts können direkt auf die Keramik gedruckt werden. Wenn beide Seiten metallisiert sind, lassen sie sich einfach über gefüllte Durchbrüche verbinden. Mit Substratabmessungen, die sich für den Einsatz von 3D-Pick-und-Place-Maschinen eignen, können elektronische Bauteile direkt und einfach montiert werden. Die fertige Platine wird danach in einzelne Bauelemente zerteilt.



Wählen Sie Ihren Vorteil.

Optimierung der Durchschlagfestigkeit

Keramische Substrate sind ideal zur Erhöhung der Durchschlagfestigkeit. Schon 1 mm Alunit® vervielfacht gängige Durchschlagfestigkeiten auf 20kV – bei konstanter Temperatur.

Alternativ kann ein vollkeramischer Kühlkörper eingesetzt werden. Das hoch wärmeleitende Alunit® bietet eine Alternative zum Aluminiumkühlkörper. Aus Kostengründen beschränkt sie sich jedoch auf Anwendungen, die weitere keramische Vorteile nutzen. Dies sind u.a. Applikationen im UV-Bereich oder in aggressiver Umgebung.



Logischer Schritt:

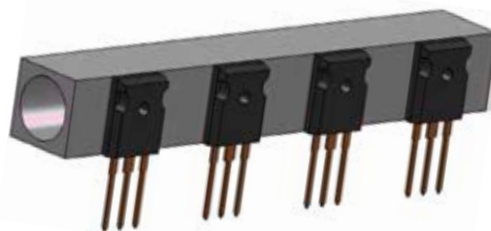
In spezifischen Anwendungen kann durch die direkte Aufbringung der Komponenten auf den keramischen Kühlkörper erhebliches Optimierungspotential erschlossen werden.

Kühlkörper/ Material	Zwischenschicht	erzielte Durchschlagfestigkeit [kV/mm]	Temperatur [°C]	Wärme-widerstand [K/W]	Weitere Vorteile
Aluminium	0,32 mm Alunit®	6,40	122,4	0,49	
Aluminium	0,32 mm Rubalit®	6,40	132,9	0,54	doppelte Biegefestigkeit zu AlN
Aluminium	0,32 mm HSS	8,00	134,0	0,54	2,5-fache Biegefestigkeit zu AlN

200W Wärme aus einem 15x15mm IGBT abgeführt über einen ca. 130x70x50mm Aluminium Kühlkörper bei 25°C Außentemperatur und erzwungener Konvektion.

Optimierung des thermischen Managements

Wie immer können die keramischen Vorteile für unterschiedliche Optimierungsziele genutzt werden. Neben der Erhöhung der Durchschlagfestigkeit ist dies meist die Optimierung des thermischen Managements.



Gleiche Durchschlagfestigkeit bei niedrigeren Temperaturen:

- 4x besser mit R_{th} mit nur 0,2 mm Alunit® und Aluminiumkühlkörper (im Vergleich zu Aluminium und Isolierfolie)
- 4x besser mit keramischem extrudiertem Alunit®-Kühlkörper – plus alle CeramCool®-Vorteile:
keine Delaminierung, weniger Schichten, Direkt-Bonding

Von allen Vorteilen profitieren.

Keramik bietet sich für unterschiedliche Optimierungstufen an. Schon der Einsatz als dünnes Substrat bringt erhebliche Vorteile. Das Optimierungspotential wird jedoch erst beim vollkeramischen CeramCool® vollständig ausgeschöpft.

Das CeramCool®-Konzept

Der keramische Kühlkörper CeramCool® ist eine effektive Kombination von Platine und Kühlkörper zur sicheren Entwärmung thermisch sensibler Komponenten und Schaltungen. Er ermöglicht die direkte und dauerhafte Verbindung der Komponenten. Zudem ist Keramik per se elektrisch isolierend und kann durch Metallisierungspads Bondflächen anbieten. Auch kundenspezifische Leiterbahnenstrukturen können aufgebracht werden, bei Bedarf auch dreidimensional. Der Kühlkörper wird so zum Baugruppenträger und kann wie eine herkömmliche Platine dicht mit LEDs oder anderen Komponenten bestückt werden. Das System leitet Wärme ohne thermische Barrieren direkt ab. Wie funktioniert das?

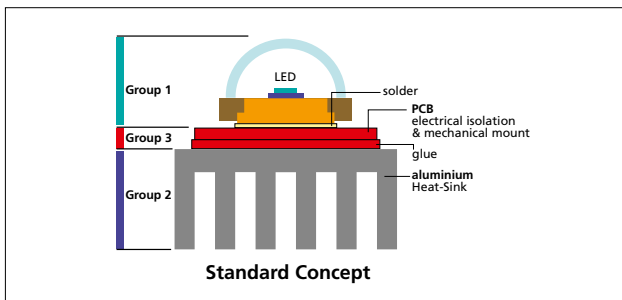
Zwei Optimierungsgruppen

Gruppe 1 ist die LED selbst. Ihr Kern ist der Die und der Heat Slug, ein Kupferstück, welches den Die mit dem unteren Ende der LED verbindet. Thermisch gesehen ist es ideal, die

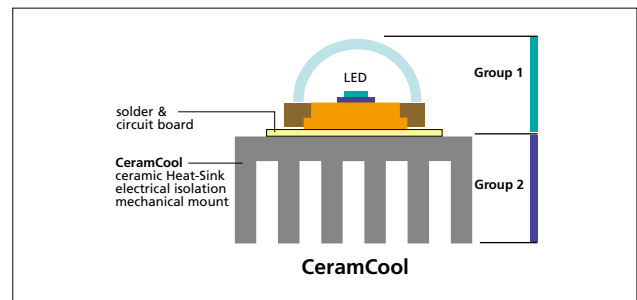
LED-Chips direkt auf den Kühlkörper zu bonden. Diese werden direkt auf flache keramische Substrate gebondet.

Gruppe 2 ist der Kühlkörper, welcher Energie von der Wärmequelle zur Wärmesenke (Umgebung/Luft) abführt. Je ansprechender das verwendete Material ist, umso geringer ist die Notwendigkeit es zu kaschieren und umso effizienter arbeitet die Kühlung. Einzelne Hersteller nutzen bereits ansprechende und wertige Materialien, die Luft oder Wasser direkt ausgesetzt werden können und die gezielt sichtbar und Design bestimmend eingesetzt werden.

Gruppe 3 verbindet die genannten Blöcke mechanisch, isoliert elektrisch und dient dem Wärmetransfer. Das erscheint widersprüchlich, da die meisten Materialien mit guter Wärmeleitfähigkeit auch elektrisch leiten. Umgekehrt bildet nahezu jedes elektrisch isolierende Material eine Wärmebarriere. Meist wird die LED auf ein PCB gelötet und auf den metallischen Kühlkörper geklebt. Die ursprüngliche Funktion des PCBs kann so beibehalten werden. Obwohl PCBs mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten existieren, bleiben sie ein Hindernis für die Wärmeableitung.



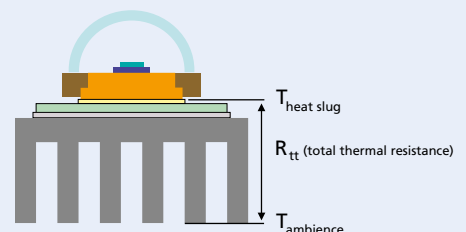
Drei Gruppen bilden das thermische Managementsystem und werden auf Optimierungspotential untersucht. Warum nicht Gruppe 3 eliminieren?



Das CeramCool®-System mit nur zwei Blöcken – für Langzeitstabilität und hohe Zuverlässigkeit.

Der thermische Gesamtwiderstand R_{tt}

Der thermische Widerstand von LEDs (Die bis Heat Slug) und Kühlkörpern wird vom Hersteller bekannt gegeben. Leider wird bei der Betrachtung oft der erhebliche Einfluß von Gruppe 3, den Schichten, vernachlässigt. Addiert man alle thermischen Widerstände vom LED Heatslug bis zur Umgebung entsteht der thermische Gesamtwiderstand R_{tt} . Der R_{tt} erlaubt den korrekten Vergleich von Thermomanagementlösungen zur ersten Effizienz-Einschätzung.



$R_{tt} = (T_{\text{heatslug}} - T_{\text{ambience}}) / \text{Wärme-Emission LED}$
 Der R_{tt} gibt den thermischen Gesamtwiderstand vom LED Heat Slug zur Umgebung an. Der aussagekräftige Wert erleichtert den Vergleich von Kühlsystemen und ihrer Effizienz.

Validierung und Proof of concept.

Das Konzept wurde von der Altair Engineering GmbH in mehreren Simulationsmodellen überprüft. Um das thermische Verhalten unterschiedlicher Designs vorherzusagen, wurde eine Computational Fluid Dynamics (CFD) nutzende Simulationsmethode entwickelt. Ein Kühlkörper wurde für die 4W-Entwärmung optimiert und diente als Vergleichsbasis. Die optimierte Geometrie erlaubt bei CeramCool® den Betrieb einer 4W LED mit einer Maximaltemperatur unter 60°C. Die Simulationsergebnisse wurden mit Messungen validiert. Das Design ist quadratisch (38 x 38 x 24 mm) und besteht aus längeren, dünneren Finnen mit einem größeren Abstand. Die identische Geometrie aus Aluminium mit einer 4W LED auf einem PCB zeigt signifikant höhere Werte. Abhängig von der thermischen PCB-Leitfähigkeit ($\lambda = 4 \text{ W/mK}$ bis $\lambda = 1,5 \text{ W/mK}$) nimmt die Temperatur um 6 bis 28K zu.

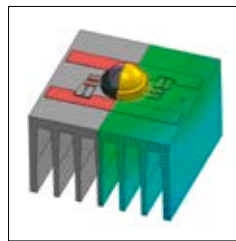
Schon 6K weniger bedeuten eine deutliche Entlastung der kritischen Komponente. Der thermische Gesamtwiderstand des keramischen Rubalit® Aufbaus ist mindestens 13% besser als bei einer Aluminium-Baugruppe identischer Bauform. Bei Verwendung von Alunit® erreicht die Mindestverbesserung von CeramCool® sogar 31%. Diese ausgezeichneten Ergebnisse werden von beiden Keramikdesigns noch weit übertroffen, wenn der Wärmeabfall von 28K berücksichtigt wird.

Simulationsmodelle für kundenspezifische Lösungen

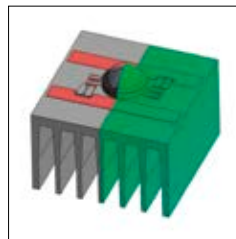
Da die meisten CeramCool® Anwendungen kundenspezifische Details aufweisen, ist es wichtig, die Performance neuer Lösungen zu überprüfen bevor teure Prototypen gebaut werden. Mithilfe intensiver Untersuchungen wurde ein Simulationsmodell entwickelt und dessen Ergebnisse mit verschiedenen physischen Tests verglichen. Die Korrelation ist zuverlässig. Auf diesem Wissen aufbauend können neue Konzepte oder Variationen von der Altair Engineering GmbH evaluiert werden.



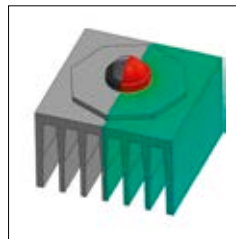
CeramCool®-Geometrie für 4-W-Kühlung. Mit Rubalit® ist der Gesamtwärme-widerstand R_{tt} der Baugruppe gegenüber Aluminium um mindestens 13% besser, mit Alunit® sogar um 31%!



Rubalit®
13% bessere Leistung
 $R_{tt} = 11.0 \text{ K/W}$
Max. Temp. Heat slug 59,7°C



Alunit®
31% bessere Leistung
 $R_{tt} = 8.7 \text{ K/W}$
Max. Temp. Heat slug 51,3°C



Aluminium und PCB
 $R_{tt} = 12.7 \text{ K/W}$
Max. Temp. Heat slug 65,9°C

Zur Validierung wurde ein Simulationsmodell entwickelt. Simulationsbedingungen $R_{tt} = (T_{\text{heat slug}} - T_{\text{ambience}}) / (P \times 90\%)$ mit $T_s = 20^\circ\text{C}$ und $P = 4\text{W}$. Alle Ergebnisse wurden mit physischen Tests verifiziert.

Für extreme Leistungsdichten.

Nahezu jede Kühlleistung

Bei hohen Leistungsdichten stößt Luftkühlung an ihre Grenzen, Flüssigkühlung ist notwendig. Das Konzept folgt dem gleichen Prinzip wie bei Konvektionskühlung: Möglichst kurze Wege zwischen Wärmequelle und Wärmesenke. Hier ist Keramik unschlagbar: Mit CeramCool® ist die Kühlflüssigkeit nur 1mm vom Hotspot entfernt. Kein anderes Konzept kann dies bei gleicher Langlebigkeit erreichen. Das Ergebnis spricht für sich: CeramCool®-Flüssigkeitskühlung ermöglicht nahezu jede Kühlleistung.

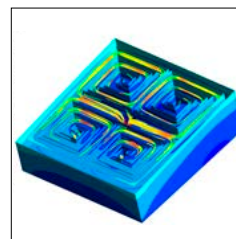
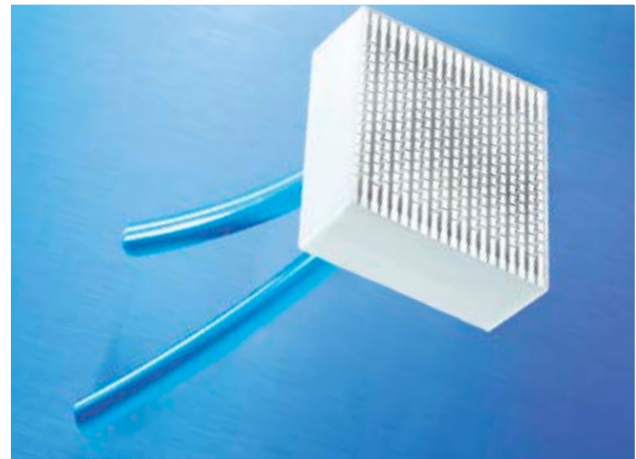
Formen und Varianten

Form und Anzahl der Kühlkanäle richten sich nach den spezifischen Anforderungen. Schon einfache lineare Rohrsysteme bringen erstaunliche Kühlleistungen. Aber auch komplexe Spiralkörper für besonders homogene Entwärmung sind möglich.

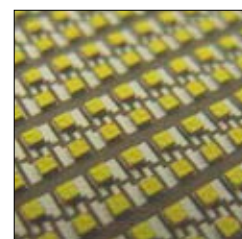
Die kompakte CeramCool®-Box zielt auf die homogene und effiziente Entwärmung von Packungsdichten bis $100\text{W}/\text{cm}^2$. Mit $16 \times 40 \times 40$ mm Kantenlänge kühlt sie 1600W Gesamtleistung auf 90°C . Dies entspricht einem Temperaturdelta von 60K zum Kühlmedium. Sie ist in jede Richtung skalierbar, eine Nut vereinfacht die Montage. Die Zahl der Kühlwasseranschlüsse ist auf einen einzigen Ein- und Auslaß beschränkt. Dies erleichtert die Handhabung bei der Systemintegration. Die Stärke der Keramikwände beträgt im Außenbereich 2mm , innen nur 1mm . Als Werkstoff wurde Alunitkeramik gewählt, welche mit ihrer Wärmeleitfähigkeit $> 170 \text{W}/\text{mK}$ in Kombination mit einer direkten Ag/Pt Metallisierung für Chip on heat-sink Montage einen ausgezeichneten Wärmetransport vom heat slug zum Kühlmedium garantiert.

Freie Wahl des Kühlmediums

Korrosion bei Kühlkörpern führt zur Veränderung der Oberflächen im Kühlkanal mit modifiziertem Fließverhalten des Kühlmediums, wie z.B. Verwirbelungen. Da Keramik inert ist, bietet sie hier einen weiteren Vorteil: Die freie Wahl des Kühlmittels.



Symmetrische Spiralkühler mit Fließpfaden auf mehreren Ebenen sorgen für gleichmäßige Kühlung bis hin zu den Außenbereichen.



Chip on heat-sink garantiert die optimale Entwärmung.

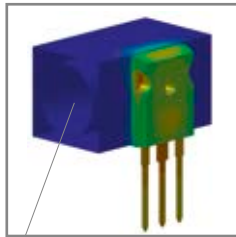
Für extreme Leistungsdichten.

Der extrudierte, lineare CeramCool® dient der Entwärmung von 4x150W Mosfets. Wie immer können die Parameter auf unterschiedliche Ziele optimiert werden. Bei einer ausschließlichen Optimierung bezüglich Durchschlagfestigkeit ist die Nutzung eines keramischen Substrats mit Montage auf klassischem Aluminium Kühlkörper sinnvoll. Eine thermische Optimierung unter Beibehaltung der Durchschlagfestigkeit

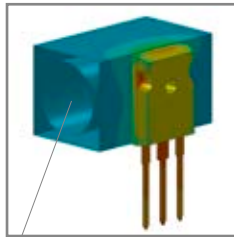
zeigt eine 4-fach verbesserte Kühlleistung bei Verwendung eines flüssig gekühlten Alunitkühlkörpers (21x21x150 mm) versus Aluminiumkühlkörper mit klassischem PCB. Die Nutzung weiterer CeramCool® Vorteile wie hohe Systemlebensdauer, Wegfall des Delaminierungsrisikos etc. rechtfertigen den Einsatz einer Vollkeramiklösung.



Auch einfache Geometrien bringen hohe Kühlleistungen. Dieser extrudierte keramische Kühlkörper dient der Entwärmung von Mosfets bei gleichzeitig hoher Durchschlagfestigkeit.



Twall: 30°C
Tmax = 52.9°C (Alunit)
Tmax = 118.8°C (Rubalit)



Twall: 50°C
Tmax = 72.9°C (Alunit)
Tmax = 138.7°C (Rubalit)



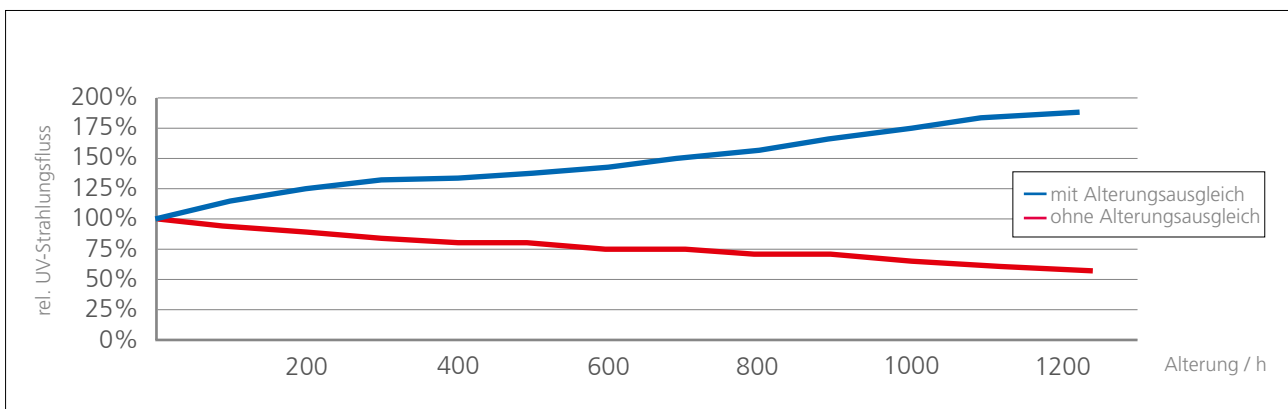
Eine andere lineare CeramCool® Variante dient der Entwärmung von Hochleistungs LEDs. Je nach Anforderung wird bei gleicher Geometrie Rubalit®, respektive Alunit®, eingesetzt. So werden auf 120mm Länge 290W bzw. 640W gekühlt.

CeramCool® Liquid Cooling für UV-LEDs

UV-LEDs beanspruchen herkömmliche PCBs über Gebühr. Dies führt insbesondere zu frühzeitiger Alterung der LEDs durch mangelhafte Entwärmung und Ausfall durch Delaminierung. Ein direkt metallisierter keramischer CeramCool® mit Chip on Board Montage der LEDs bietet deutliche Vorteile. Versuchsreihen belegen eine effiziente Entwärmung, welche der Degradation der LEDs überdurchschnittlich lange entgegen wirkt. Im Vergleich von Simulation und Meßreihe zeigt sich, dass eine wesentlich geringere Anhebung des LED

Stroms zum Ausgleich des Alterungseffekts notwendig ist als angenommen.

Die Intensitätsdifferenz der UV-LEDs innerhalb des CeramCool® Liquid Cooling Moduls ist vernachlässigbar, wodurch gleichmäßige, großflächige Modulsysteme gefertigt werden können. Da Keramik inert und insbesondere völlig resistent gegenüber UV-Strahlung ist, erhöht sich die Systemlebensdauer deutlich.



UV-Strahlungsfluss und Alterung

High-Tech-Materialien – seit Jahrzehnten bewährt.

CeramCool® ist in bewährten Keramikmaterialien wie Rubalit®708, Alunit®AIN sowie anderen Materialien (auf Anfrage) erhältlich. Der Ausdehnungskoeffizient ist dem von Halbleitermaterialien angepasst, obendrein besitzen sie ausgezeichnete elektrische Eigenschaften. Sie verfügen über eine gute elektromagnetische Verträglichkeit und sind korrosionsbeständig.

Materialeigenschaften	Einheit	Rubalit® 708S	Rubalit® 710	Alunit®
Oberflächenrauheit R_a	µm	≤ 0,8	≤ 0,1	≤ 0,6
Wasserabsorptionsvermögen	%	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Biegefestigkeit [S_0] Dual-Ring-Verfahren 0,63 mm Substratdicke	MPa	≥ 450	≥ 420	≥ 320
Thermische Leitfähigkeit 20°C	W/mK	≥ 22	≥ 26	≥ 170
Durchbruchspannung	KV/mm	≥ 15	≥ 15	≥ 15
Durchgangswiderstand 20°C	Ohm x cm	≥ 10 ¹³	≥ 10 ¹³	≥ 10 ¹²
Dichte	g/cm ³	≥ 3,73	≥ 3,86	≥ 3,23

MATERIAL-EIGENSCHAFTEN

- Gute elektromagnetische Verträglichkeit
- Ideal für die Metallisierung
- Gute thermische Leitfähigkeit
- Elektrische Isolierung
- Hohe Durchschlagfestigkeit
- Thermozyklrierbarkeit
- Keine Korrosion
- Kein Eindringen von Wasser

METALLISIERUNGEN

- Wolfram / Wolfram-Nickel
- Wolfram-Nickel-Gold
- Gold
- Silber / Silber-Palladium / Silber-Platin
- Kupfer
- Mehrseitige Metallisierung
- Durchbrüche / gefüllte Vias
- Metallisierungsstärke bis zu 100 µm

VORTEILE VON CERAMCOOL®

- Effizientes Thermomanagement
- Direktbeschichtung
- Baugruppenträger
- Designfreiheit
- Für Aktiv- und Passivkühlung
- Absorption thermischer Lasten
- Angepasste TCEs
- Systemvereinfachung
- Miniaturisierung



Die hierin aufgeführten Messwerte wurden für Prüflinge ermittelt und sind als Richtwerte anzusehen. Die Werte wurden auf der Grundlage von nationalen oder internationalen Normen festgelegt. Falls solche Normen nicht vorhanden waren, basieren die Messwerte auf internen Spezifikationen von CeramicTec. Aussagen über die Eignung von Produkten für bestimmte Anwendungstypen basieren auf den typischen Anforderungen, die bei allgemeinen Anwendungen oft an CeramicTec-Produkte gestellt werden. Diese dürfen nicht auf Spezialanwendungen übertragen werden. Das gilt auch für die angegebenen Werte. Die hier angegebenen Informationen stellen keine Garantie für bestimmte Eigenschaften dar. CeramicTec und ihre Tochtergesellschaften übernehmen keine Verantwortung für die Richtigkeit dieser Informationen oder für aus der Befolgung dieser Informationen resultierende Schäden. Bitte beachten Sie, dass alle Produkte, Produktspezifikationen und hier angegebenen Informationen jederzeit geändert werden können.

CeramicTec GmbH
CeramicTec-Weg 1
95615 Marktredwitz
Germany
Telefon: +49 9231 69-213
Fax: +49 9231 62-409
electronic_applications@ceramtec.de
www.ceramcool.de