

PRESSEARTIKEL

Version 21.01.2016



CMC Klebtechnik GmbH
Rudolf-Diesel-Strasse 4
67227 Frankenthal

Gerald Friederici
06233 872 356
friederici@cmc.de

Warum Kühlung sich lohnt - Wärmeleitende Produkte für die Elektronik

Die Lebenserfahrung zeigt, dass gekühlte Lebensmittel länger frisch bleiben. Das gilt im übertragenen Sinne auch für die Lebensdauer von elektronischen Geräten. Denn bei höheren Temperaturen wird die Wirkung von Abbauprozesse immer bedeutsamer.

Eine Faustregel aus der Elektronik spiegelt das wieder: 10°C Temperaturreduktion bedeuten eine Verdopplung der Lebensdauer (MTBF). Hat also ein Gerät z.B. bei 100°C Betriebstemperatur eine Lebensdauer von einem Jahr, hat es nach dieser Faustformel bei 70°C eine deutliche längere Lebensdauer von 8 Jahren. Dieser Vergleich macht deutlich, welche vorrangige Bedeutung die Betriebstemperatur eines Bauteils auf seine Lebensdauer hat.

Beispielhaft: Lebensdauer bis zum statistischen Ausfall

- bei 100°C – angenommen: nach einem Jahr
- bei 70°C - rechnerisch erst nach ca. 8 Jahren

Vor allem in der Leistungselektronik ist die innere Wärmeentwicklung ein wichtiger Faktor, weswegen ein Bauteil vorzeitig versagen kann. Darum spielt die ausreichende Entwärmung eine bedeutende Rolle in der Konstruktion elektronischer Komponente und Geräte.

Der Wärmepfad – Reihenschaltung von Widerständen

Diese „Entwärmung“ folgt einem so genannten Wärmepfad, der am Entstehungsort der Wärme beginnt und dort endet, wo diese (meistens) an die Umgebungsluft abgegeben wird. Das bedeutet konkret: vom Halbleiterkristall über die interne Struktur des Halbleiterbauteils (Die) bis zu der (meistens metallischen oder heute auch keramischen) Gehäuse-Abschlußfläche. Ab hier beginnt der für den Entwickler durch konstruktive Maßnahmen beeinflussbare Bereich. Denn nun entscheiden verwendete Materialien und Verfahren darüber, wie hoch der weitere thermische Widerstand bis zum Kühlkörper ist.

Wärme fließt stets von einem höheren Niveau zu einem niedrigeren. Das heißt, ein „Strom“

von Wärme bewegt sich von der Quelle zu einer Senke. Die Geschwindigkeit, mit der die Wärme transportiert wird, ist ein Maß, wie groß der Widerstand gegen den Wärmestrom ist.

Die Wärmeleitfähigkeit von Materialien ist eine materialspezifische Kennzahl mit der Einheit $W/m \cdot K$ (richtiger wäre eigentlich: $W \cdot m/(m^2 \cdot K)$; ein „m“ wird weggekürzt).

Diamant erreicht bis zu $15.000 W/m \cdot K$, Kupfer liegt bei etwa $400 W/m \cdot K$ und die meisten Kunststoffe bei $0,1 \dots 0,4 W/m \cdot K$. Echte Isoliermaterialien wie Styropor liegen noch weit darunter.

Bei dieser Gegenüberstellung erkennt man schon, warum für Kühlflächen meistens Aluminium oder Kupfer verwendet wird. Denn Kunststoffe sind im Allgemeinen schlechte Wärmeleiter.

Ein wenig Theorie: der Wärmepfad als Reihenschaltung von Widerständen

Im Prinzip stellt jedes Material einen Widerstand dar, der den Wärmestrom hemmt. Er ist ein Maß dafür, welche Temperaturdifferenz beim Hindurchtreten eines Wärmestroms entsteht.

$$\Delta T = R_{th} \cdot \dot{Q}_v$$

Sofern die durchströmte Fläche und das Material homogen sind, kann man den Wärmewiderstand mittels des materialspezifischen Kennwerts λ berechnen.

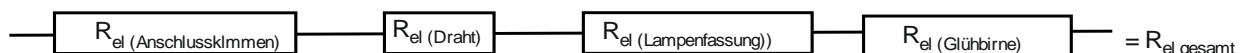
$$R_{th} = l/(\lambda \cdot A)$$

In der Praxis handelt es sich meist um mehrere Wärmewiderstände, durch die der Wärmestrom hindurchtreten muß. Für einen Transistor, der galvanisch getrennt von dem Kühlkörper montiert ist, ergibt sich also der folgende Wärmepfad incl. der Wärmeübergangswiderstände:



$$R_{th(die)} + R_{th(Gehäuse-Isolator)} + R_{th(Isolator)} + R_{th(Isolator-Kühlkörper)} + R_{th(Kühlkörper-Luft)} = R_{th gesamt}$$

Die Analogie mit dem elektrischen Widerstand am Beispiel einer Stromquelle und einer Glühbirne ist also gut zu erkennen:



$$R_{el(Anschlussklemmen)} + R_{el(Draht)} + R_{el(Lampenfassung)} + R_{el(Glühbirne)} = R_{el gesamt}$$

Während bei dem elektrischen Stromkreis ein Spannungsabfall über die Reihenschaltung der Widerstände erfolgt, entsteht im Wärmestrompfad eine Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Senke (Kühlkörper). Umso höher der Widerstand, desto höher fällt diese Differenz aus, desto schlechter wird das Bauteil entwärmt.

Der Wärmewiderstand und seine praktische Bedeutung

Wie man an der Formel

$$R_{th} = l / (\lambda * A)$$

erkennen kann, ist der Wärmewiderstand neben dem verwendeten Material (λ) von der Dicke (l) und der Fläche (A) abhängig. Rechnet man diese Formel aus, erhält man als Einheit K/W. In einer konkreten Einbausituation, bei der verschiedenen Materialproben (z.B. Glimmer, Wärmeleitpaste, Kapton® MT und Silikon-Wärmeleitpads) vermessen werden, ist die Querschnittsfläche für den Wärmestrom immer gleich. Meist wird dafür zum Beispiel ein Fläche von einem inch^2 oder ein TO220 Gehäuse verwendet.

Da sich im direkten Vergleich bei gleicher Fläche diese heraus kürzt, ist der Wärmewiderstand (im Vergleich) nur noch von der materialspezifischen Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des Materials abhängig!

Geringe Materialstärke versus gute Wärmeleitfähigkeit

Die Abhängigkeit von der Länge des wärmeleitenden Weges macht deutlich, warum trotz der erheblich schlechteren Wärmeleitfähigkeit von Isolationsfolien diese dennoch gut wärmeleitenden Silikon-Wärmeleitpads überlegen sein können. Denn sie sind sehr dünn bei gleichzeitig guter Spannungsfestigkeit.

Sofern also die Fläche normiert ist, ergibt sich mit der Dicke eines homogenen Materials die folgende Formel:

$$R_{th} = K/W$$

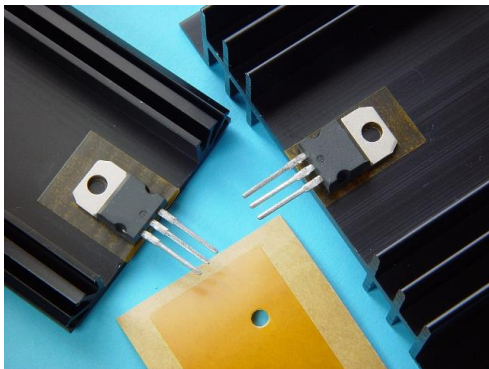
Praktisches Beispiel:

Ein 3 mm dickes Sil-Pad mit 3 W/m K spezifischer Leitfähigkeit und ein Kapton® MT-Klebeband mit 0,35 W/m K errechnet sich folgender (theoretischer und bezogen auf die Fläche normierter) Wärmewiderstand:

$$R_{th} = ((m * K) * 0,003 \text{ m}) / (3 \text{ W})$$

Sil-Pad: 0,001 K/W

Kapton® MT Klebeband: 0.00013 K/W

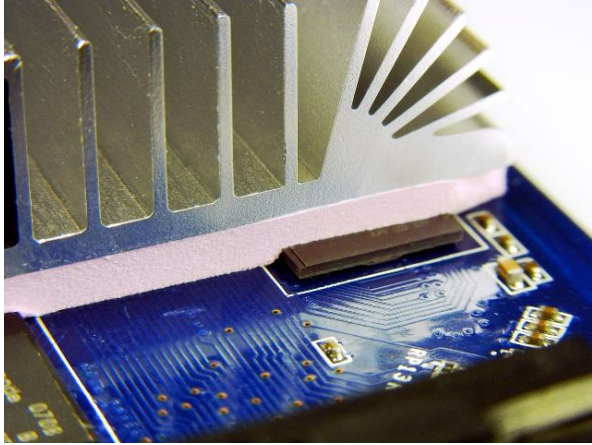


Aufgrund der geringen Materialstärke ist also das beim spezifischen Wärmewiderstand deutlich schlechtere Kapton® MT dem Sil-Pad dennoch überlegen. Für die praktische Überlegungen wichtig ist aber, dass die Wärme-Übergangswiderstände ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Und die sind bei weicheren Materialien üblicherweise deutlich geringer.

Praxisnahe Betrachtung des Wärmepfades

Die oben errechneten Angaben sind theoretische Werte, da in der konkreten Einbausituation meistens unterschiedliche Wärmestromquerschnitte existieren. Also der Transistor mit einer viel kleineren Fläche auf einem großen Kühlkörper sitzt. Allerdings machen sie deutlich, dass eine geringe Materialstärke den Wärmewiderstand deutlich reduziert – trotz geringerer spezifischer Wärmeleitung.

Dennoch ist eine dünne, gut spannungsisolierende Folie wie Kapton® MT nicht immer die beste Wahl. Und das liegt daran, dass es sich um eine harte, steife Folie handelt. Sie kann sich nicht an die Oberflächenrauigkeiten anpassen und verbessert dadurch die Kontaktfläche nicht wesentlich. Es bilden sich durch die Rauigkeit vielmehr Bereiche, in denen Luft als Isolator den Wärmetransport erheblich behindert.



Eine Silikon-Kautschuk-Folie dagegen kann aufgrund seiner Elastizität sich an Oberflächenunebenheiten anpassen und erreicht eine deutlich vergrößerte Kontaktfläche. Entsprechend dicke und weiche Sil-Pads können sogar unterschiedlich hohe Bauteile auf einer Platine effizient thermisch an eine Kühlfläche anbinden.

Nachteil der meisten Sil-Pads ist jedoch die geringe Spannungsfestigkeit, die zudem auch noch von der Kompression abhängig ist. Auch ändert sich die Wärmeleitfähigkeit zum Teil

sehr deutlich in Abhängigkeit von der Kompression.

Für geringere Rautiefen und eine hohe Spannungsfestigkeit bietet sich zur Reduktion des Wärmeübergangswiderstand eine andere Methode an: Wärmeleitende Folien wie Kapton® MT werden bei CMC Klebetechnik mit einem Wärmeleitwachs beschichtet. Dieses schmilzt beim ersten Inbetriebnehmen (Überschreiten der Schmelztemperatur) und füllt die Kavitäten zwischen Isolationsfolie und Metalloberfläche auf. Dadurch kann man fast 100% Kontaktfläche erreichen. Durch die definierte Schichtstärke sind zudem Fehldosierungen wie bei z.B. Wärmeleitpaste nahezu unmöglich.

Neben dem materialspezifischen Wärmewiderstand ist also auch innerhalb des Wärmepfades der Wärmeübergangswiderstand zwischen unterschiedlichen Materialien zu beachten.

Wie man anhand der Formel

$$R_{th} = l / (\lambda * A)$$

erkennen kann, ist neben der Materialstärke l auch die Fläche A für den Widerstand im Wärmestrom wichtig. Das erkennt man am deutlichsten daran, dass Kühlkörper an ihrem Übergang zur Luft besonders große Flächen haben. Aber auch innerhalb des Wärmepfades kann man mit Wärmespreizern (z.B. Kupferinlays in Multilayerplatinen oder einseitig isolierte Kupferfolien) den Wärmewiderstand reduzieren.

Weitere mögliche Einflüsse sind u.a. die Durchbiegung der Gehäuse von Leistungsbauteilen durch die Wärmeentwicklung. Sie kann im Worst-Case-Fall dazu führen, dass nur noch Bruchteil der Auflagefläche direkten Kontakt zum Kühlkörper hat. Ausserdem kann sich durch Migration und Austrocknung die Langzeit-Wärmeleitfähigkeit von Sil-Pads oder Wärmeleitpaste verändern, weshalb Messungen im Neuzustand und nach etlichen 1.000 Betriebsstunden unterschiedlich ausfallen können. Einen ebensolchen Einfluß hat auch ein nachlassender Anpressdruck, da viele (vor allem elastische) Wärmeleitprodukte einen druckabhängigen Wärmewiderstand haben.

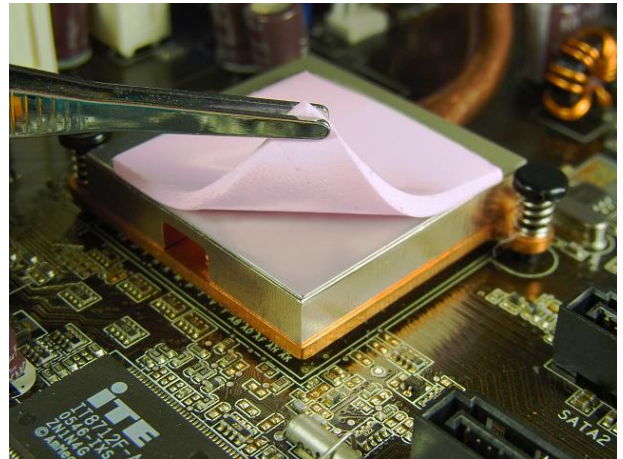
Nicht zuletzt trägt die Geometrie des Kühlkörpers und seine Anordnung dazu bei, dass die

abgeleitete Wärme möglichst effizient an die nur schlecht wärmeleitende Luft abgegeben werden kann. Das Mittel der Wahl ist eine große Oberfläche und ggf. eine forcierte Kühlung (Lüfter oder Flüssigkeitskühlung). Wärmestaus und die Verhinderung einer natürlichen Luftzirkulation können auf der anderen Seite die Wirksamkeit selbst eines gut wärmeleitenden Kühlkörpers (Aluminium mit Kupferkern) stark reduzieren.

Auch die erforderliche Spannungsfestigkeit bestimmt mit, welche Materialien man einsetzen kann. Neben den gestiegenen Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit wird auch das Spannungsniveau in modernen Elektronik-Schaltungen für z.B. Inverter/Frequenzumrichter immer höher. Probleme wie dielektrische Erwärmung und Teilentladungen (Partial Discharge) rücken stärker in den Fokus bezüglich zusätzlich zu beachtender Themen. Sofern keine galvanische Trennung notwendig ist, kann man z.B. Graphit als guten elektrischen und vor allem thermischen Leiter (bis über 1200 W/mK) einsetzen. Mit dem Material kann man punktuelle Wärmeentwicklung schnell auf eine größere Fläche Spreizen. Alternativ werden auch mit elektrisch isolierenden Folien zusammenlamierte Kupferfolien als Wärmespreizer eingesetzt.

Zusammenfassend kann man sagen:

Der Wärmepfad wird beeinflusst durch den material-typische Wärmewiderstand, die Stärke der beteiligten Materialien im Wärmepfad, die Querschnittsfläche und stark durch die Übergangswiderstände von Material zu Material. All diese Parameter sind zwar rechnerisch recht gut erfassbar. Die Summe aller Einflussgrößen ist jedoch so komplex, dass Angaben in Datenblättern und exemplarische Summenbildungen des Wärmewiderstandes stets einer praktischen Überprüfung bedürfen.



CMC Klebetechnik (www.cmc.de) hat im Laufe der vergangenen Jahre ein umfangreiches Sortiment an wärmeleitenden Produkten entwickelt. Klebend beschichtete Kapton® MT – Folien mit hoher Spannungsfestigkeit, weiche Siliconprodukte als Gap-Filler und spezielle Laminare mit z.B. Kupferfolien bieten Entwicklern zahlreiche Lösungsmöglichkeiten. Als Spezialist für Isolationsmaterialien in der Elektrik und Elektronik gehört CMC Klebetechnik damit zu den Top-Lieferanten der deutschen Industrie.