

Die Anwendung gedruckter Wärmeleitpasten zur Verbesserung der Wärmeableitung auf Leiterplatten

**Eigenschaften, Anwendung, Rationalisierungs- und
Kosteneinsparungspotentiale, z. B. im Bereich von
LEDs und Hochstromgeräten**

**Paolo Serafino, Serigroup s.r.l.
Johannes Tekath, Lackwerke Peters GmbH & Co. KG
Dr. Manfred Suppa, Lackwerke Peters GmbH & Co. KG**

Inhalt

Einleitung	2
Theoretische Grundlagen zur Wärmeableitung.....	2
Der Einsatz von Wärmeleitpasten in IMS (I nsulated M etal S ubstrate) - Anwendungen	4
Die Wärmeabfuhr in einer IMS-Leiterplatte	4
Verschiedene Thermal Interface Materialien (TIM) im Vergleich	5
Wärmeleitpasten „Thermal Grease“	6
Wärmeleitfolien	6
Siebdruckfähige und lötbeständige Thermal Interface-Paste (TIP)	6
Thermomechanisches Entkoppeln	7
Die Anwendung von druckfähigen Heatsink-Pasten bei doppelseitig bestückten Leiterplatten....	8
Verfahrensschritte bei der Heatsink-Montage	9
Das gedruckte Heatsink	9
Kombination druckfähiger Heatsinks und Thermal Interface-Materialien.....	10
Die druckfähige Wärmeleitpaste.....	11
Aufbau der druckfähigen Thermal Interface Paste / Heatsink-Pasten	11
Eigenschaften der druckfähigen Wärmeleitpaste.....	11
Das Aufbringen der druckfähigen Wärmeleitpaste auf die Leiterplatte	11
Die Lötbeständigkeit.....	12
Weitere technische Anforderungen	12
Kosteneinsparungspotential	12
Schlussbetrachtung	12
Literaturhinweise.....	12
Anhang.....	13

Einleitung

Die Bestückungsdichte der elektrischen Bauteile auf den Leiterplatten nimmt immer mehr zu, da immer komplexere Schaltungen auf immer kleinerem Raum (Miniaturisierung) unterzubringen sind. Hierdurch und durch den Einsatz von Leistungsbau-elementen, die teilweise eine hohe Verlustleistung in Form von Wärme erzeugen, ist eine gezielte Abführung der entstehenden Verlustwärme vom Entstehungsort und deren Abgabe an die Umgebung notwendig. Andernfalls würde es zu einer Überhitzung der Bauteile kommen, welche Fehlfunktionen und im Extremfall auch eine Zerstörung des Bauteils zur Folge hätte. Bei verschiedenen Anwendungen kommt erschwerend hinzu, dass am Einsatzort der Leiterplatte bereits erhöhte Temperaturen herrschen.

Um die Wärmeabfuhr von den Wärmequellen auf der Leiterplatte zu erreichen, werden nach dem Stand der Technik sogenannte "Wärmesenken" eingesetzt, für die sich der englische Ausdruck „Heatsink" eingebürgert hat. Es handelt sich hierbei um metallische Kühlkörper, die einerseits durch die gute Wärmeleitung von Metallen für einen Abfluss der Wärme vom Entstehungsort sorgen und andererseits durch eine große Oberfläche zur Umgebungsluft hin die Abgabe der Verlustwärme an die Umgebung ermöglichen.

In diesem Referat werden zwei druckfähige Wärmeleitpasten beschrieben, die ELPEPCB® Thermal Interface Paste TIP 2792 und die ELPEPCB® Heatsink-Pasten der Reihe HSP 2740, die eine Optimierung des Wärmemanagements ermöglichen.

Theoretische Grundlagen zur Wärmeableitung

Die Wärmeleitung ist ein Energietransport infolge atomarer und molekularer Wechselwirkung. Sie wird hervorgerufen durch eine ungleiche Temperaturverteilung und fließt entsprechend dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik immer vom wärmeren zum kälteren Teil. Das Vermögen zur Wärmeleitung – die Wärmeleitfähigkeit – ist eine spezifische Stoffeigenschaft. Die beste Wärmeleitfähigkeit besitzen Metalle, gefolgt von anorganischen Feststoffen. Dann folgend organische Feststoffe und Flüssigkeiten. Die schlechteste Wärmeleitfähigkeit besitzen Gase. In Tabelle 1 sind hierzu einige Zahlenwerte aufgelistet.

	λ in W/m K
Zinn, Aluminium, Kupfer	64, 200, 400
Luft	ca. 0,02 – 0,03
Polymere	ca. 0,2 – 0,4

Tab. 1: Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Stoffe

Der Wärmewiderstand (R_{th}) eines Körpers nimmt mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit (λ) und größerer Kontaktfläche (A) ab und mit zunehmender Dicke (t) zu.

$$R_{th} = \frac{t}{\lambda \cdot A} \quad \text{Gleichung 1}$$

Der Wärmewiderstand R_{th} definiert den spezifischen Widerstand und ist ein Merkmal eines Stoffes.

Der Wärmeübergangswiderstand R_j oder $R_{th} \times A$ charakterisiert den Wärmefluss im Kontaktbereich (Interface) zweier Medien und beinhaltet:

- die Ausbildung der Kontaktflächen zwischen Wärmequelle / Wärmesenke und TIM (Fläche, Rauheit)
- den Anpressdruck
- die Temperaturdifferenz.

Zusammen mit dem Wärmewiderstand R_{th} der beteiligten Materialien bilden die Wärmeübergangswiderstände R_j den thermischen Impedanz-Widerstand R_{Θ} eines Wärmeleitpfades.

$$R_{\Theta} = R_{th} + R_{j1} + R_{j2}$$

Gleichung 2

R_{Θ} = thermischer Impedanz-Widerstand

R_{th} = Wärmewiderstand

j = Verbindungsstelle, Interface

R_j = Wärmeübergangswiderstand

Ein sehr wichtiger Punkt bei diesem Aufbau ist der Wärmeübergangswiderstand zwischen zwei Körpern. So besitzt ein Stab von 10 cm Länge eine bessere Wärmeleitfähigkeit als 2 Stäbe des gleichen Materials von 5 cm Länge, die einen direkten mechanischen Kontakt haben. In der technischen Wärmelehre wird hier mit sogenannten Wärmeübergangskoeffizienten oder Wärmeübergangswiderständen gerechnet. Zu erklären ist das durch die Rauigkeit, die jede Körperoberfläche besitzt. Bei einem direkten Kontakt von Festkörperflächen ist die „reale“ Kontaktfläche durch mikroskopische „Lufteinschlüsse“ verkleinert, so dass der Wärmestrom nur durch eine reduzierte Fläche fließen kann.

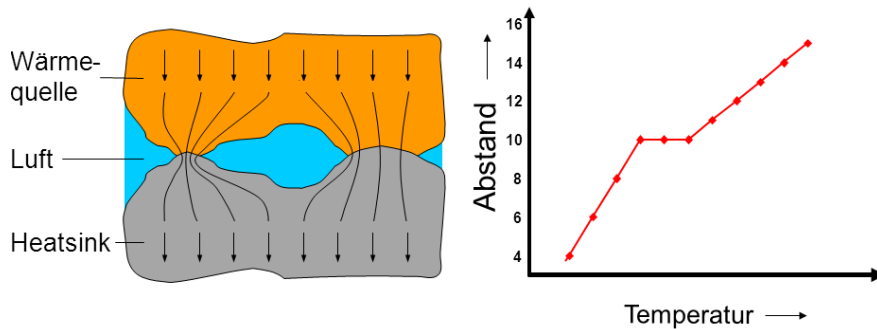


Abb. 1: Klassischer Wärmeübergang

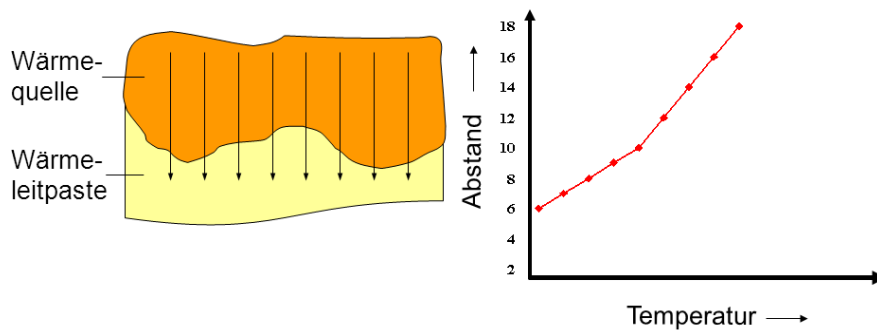


Abb. 2: Wärmeübergang mit gedruckter Wärmeleitpaste

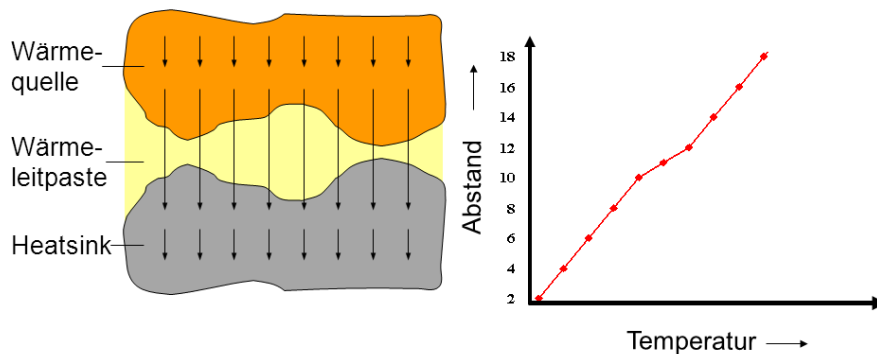


Abb. 3: Wärmeübergang mit einer Kombination aus Wärmeleitpaste und Heatsink

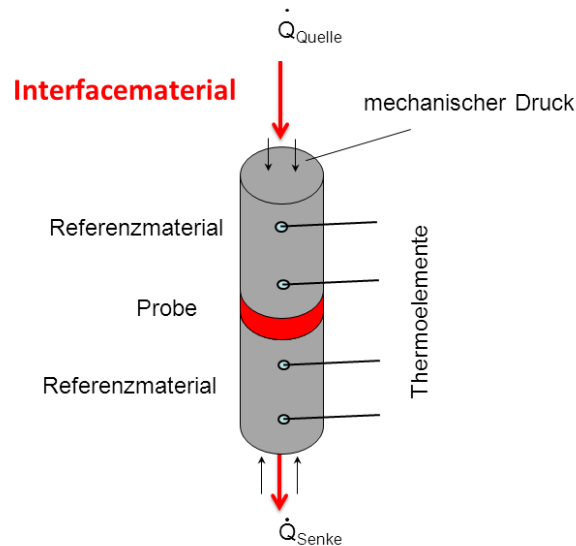


Abb. 4: Schematische Darstellung zur Prüfung von Interface Material
(Quelle: ZFW - Zentrum für Wärmemanagement Stuttgart)

Der Einsatz von Wärmeleitpasten in IMS (Insulated Metal Substrate) - Anwendungen

Die Wärmeabfuhr in einer IMS-Leiterplatte

Bei einer typischen IMS-Anwendung wird die Wärme eines Bauteils, z. B. einer Hochleistungs-LED, in eine Aluminium-Schicht der Leiterplatte abgeleitet und dort verteilt. Es kann jedoch notwendig oder vorteilhaft sein, ein weiteres Kühlelement anzuschließen.

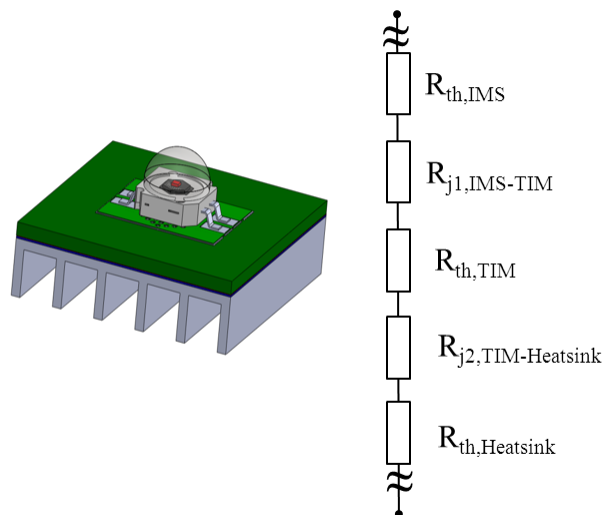


Abb. 5 links: Beispiel für ein IMS Substrat mit LED-Bestückung
(Quelle: ZFW - Zentrum für Wärmemanagement Stuttgart)
rechts: äquivalentes Schaltbild der Wärmeabfuhr von der IMS zum Heatsink

Vereinfachte schematische Darstellung:

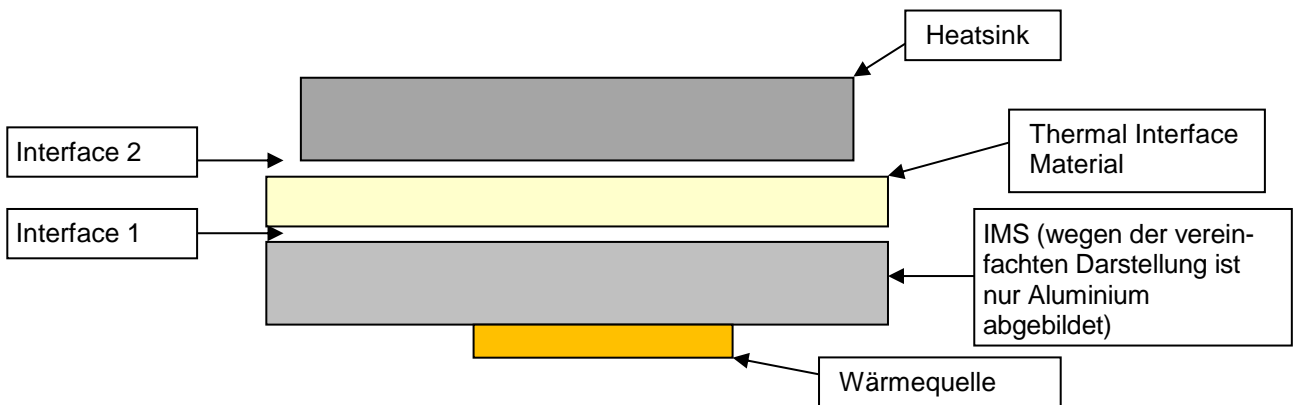


Abb. 6: Schematischer Aufbau einer IMS-Leiterplatte (vereinfachte Darstellung)

In der Analogiebetrachtung zum elektrischen Schaltkreis können die Wärmewiderstände als Widerstände in einem Schaltkreis betrachtet werden, die entweder parallel oder in Reihe geschaltet sind. Die besondere Aufmerksamkeit ist dann den höchsten Wärmewiderständen bzw. Wärmeübergangswiderständen zu widmen, die in letzter Konsequenz den gesamten Wärmestrom bestimmen. Den Kurvenverläufen kann folgender Wärmestrom entnommen werden:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{alumina IMS}} + R_{\text{Interface 1}} + R_{\text{TIM}} + R_{\text{Interface 2}} + R_{\text{alumina cooling element}} \quad \text{Gleichung 3}$$

Hierbei werden mit TIM alle Interface-Materialien wie Pasten, „Thermal Grease“, Klebstoffe und Folien beschrieben. Der Wärmewiderstand von Aluminium und TIM ist bekannt bzw. kann ermittelt werden.

Der Wärmewiderstand der beiden Interfaces bedarf einer genaueren Betrachtung. Je höher der Kontaktdruck, desto besser die Verbindung zwischen den Schichten und desto niedriger der Wärmewiderstand. Bei der Verwendung von Leitfolien sind jedoch die Wärmewiderstände beider Interfaces zu berücksichtigen. Nach Maßgabe der Rauheit der Folienoberfläche und insbesondere des Elastizitätsmoduls ergeben sich mehr oder weniger relevante Widerstände.

Im Falle einer vollständigen Benetzung, wie man sie z. B. von Benetzungsfluiden her kennt, ist der Wärmewiderstand des Interface praktisch als gleich Null zu betrachten.

$$R_{\Theta} = R_{\text{th}} (R_{j1} + R_{j2} \text{ angenommener Wert} = 0) \quad \text{Gleichung 4}$$

$j1 + j2 = \text{benetzte Interfaces des Fluids}$

Folglich ist bei der Verwendung flüssiger Interface Materialien wie „Thermal Grease“ oder thermisch leitenden Klebstoffen der Wärmewiderstand der Interfaces 1 und 2 nicht relevant.

Flüssige Pasten, die im Siebdruck auf die Leiterplatte gedruckt und anschließend gehärtet werden, benetzen Interface 1 wie ein Fluid und verhalten sich wie eine thermisch leitende Folie bei Interface 2. Somit ist Interface 2 bei der Betrachtung des Wärmestromes mit einzubeziehen.

$$R = R_{\text{th}} + R_{j2} (R_{j1} \text{ angenommener Wert} = 0) \quad \text{Gleichung 5}$$

$j1 = \text{benetztes Interface des Fluids}$

Verschiedene Thermal Interface Materialien (TIM) im Vergleich

Neben der Untersuchung des Wärmewiderstandes der Schnittflächen sollte auch dem Thermal Interface Material (TIM) besondere Aufmerksamkeit zukommen. Selbstverständlich ist die Wärmeleitfähigkeit ein wichtiges Merkmal; allerdings ist die Schichtdicke des TIM in der Applikation ebenfalls ausschlaggebend.

Beim Vergleich mehrerer TIMs sind alle Elemente der Gleichung 2 (s. Seite 3) gleichwertig zu berücksichtigen.

Neben dem Wärmemanagement sind weitere Faktoren bei der Auswahl des TIM von Bedeutung.

Folgende Techniken zum Schließen der Lücke zwischen der typischen Rauheit des Heatsink und des Substrates sind weit verbreitet:

- Auftrag einer elektrisch nicht isolierenden Wärmeleitpaste „Thermal Grease“ auf die Oberflächen durch Dispensen oder Siebdruck
- Verwendung von Wärmeleitfolien

Beide Techniken sind Produktionsschritte, die im Anschluss an den Lötvorgang der Bauteile durchgeführt werden.

Wärmeleitpasten „Thermal Grease“

„Thermal Grease“ steigert zwar die Effizienz eines Heatsinks, jedoch kann bei Temperaturschwankungen eine Art „Ausbluten“ („Pump Out“ Effekt) entstehen. Dieses Phänomen bewirkt, dass das Material aus der ursprünglichen Position herausgedrückt wird, wodurch sich die Wirksamkeit langfristig verringert.

Darüber hinaus ist das Auftragen von „Thermal Grease“ im Produktionsvorgang nicht sehr beliebt, da es keinen sehr sauberen Arbeitsgang darstellt. Die Kosten sind eher niedrig anzusetzen.

Wärmeleitfolien

Bei den Wärmeleitfolien oder auch Wärmeleit-Pads handelt es sich um vorgeformte quadratische oder rechteckige Ausschnitte, die zugeschnitten werden müssen. Sie bestehen aus festem Material, das die gleiche Funktion hat wie „Thermal Grease“. Sie sind elektrisch isolierend und auch in selbstklebender Ausführung erhältlich.

Diese Alternative zu „Thermal Grease“ ist eine saubere Lösung, bei der kein „Ausbluten“ entsteht. Zudem sind sie einfacher anzubringen.

Allerdings leiten Wärmeleitfolien weniger gut als eine kleinere Menge „Thermal Grease“, da sie zwar in Stärken ab 120 µm erhältlich sind, aber meistens Stärken von 200 µm oder mehr verwendet werden.

In der Regel liegen die Kosten hier weitaus höher als bei „Thermal Grease“. Darüber hinaus sind die Zuschnitte als Rollenmaterial in Standardgrößen erhältlich, so dass die Gesamtkosten für diese Wärmeleitfolie stark von der Größe und dem Format der Bauteile abhängen, für die sie als Kontaktfläche eingesetzt werden.

Siebdruckfähige und lötbeständige Thermal Interface-Paste (TIP)

Eine technische Neuheit stellt die siebdruckfähige Thermal Interface-Paste dar, eine elektrisch isolierende und lötbeständige Paste.

Dieses Produkt wurde in Partnerschaft zwischen dem deutschen Unternehmen Lackwerke Peters GmbH & Co. KG (Hersteller von High Tech-Lacken für die Elektronik) und dem italienischen Unternehmen Serigroup s.r.l. (Hersteller von Leiterplatten für Leistungselektronik) entwickelt.

Die Beschichtung und Aushärtung erfolgt beim Substrathersteller vor dem Lötprozess auf der unbestückten Leiterplatte selektiv im gewünschten Layout. So hat der Endverbraucher den Vorteil, dass er die Leiterplatten bereits zusammen mit der TIP erhält.

Die endgültige Schichtdicke nach Siebdruck und Aushärtung beträgt typischerweise zwischen 50 und 70 μm .

Da bei der Thermal Interface Paste TIP kein „Pump out“ Effekt auftritt, bleiben die thermomechanischen Entkopplungseigenschaften auch bei dauerhaften Temperaturzyklen erhalten.

Die Gesamtkosten können aus folgenden Gründen im Vergleich zur Wärmeleitfolie auf ein Minimum reduziert werden:

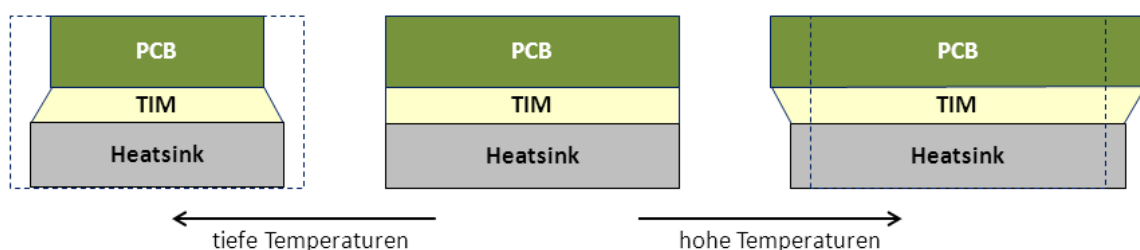
- 100% Materialausbeute durch selektiven Siebdruckprozess
- Einsparungen durch Wegfall von Zuschnitten
- Prozessschritte bei der Bestückung werden reduziert, es verbleibt lediglich das Lötten und das mechanische Fixieren im Anschluss.

Thermomechanisches Entkoppeln

Neben der optimierten Wärmeableitung hat der Einsatz von Thermal Interface Material auch eine größere Auswirkung auf die thermomechanische Entkopplung. Ein wichtiger Faktor in diesem Zusammenhang ist das Schubmodul des Thermal Interface Materials.

Während ihrer Lebensdauer werden elektronische Baugruppen unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt. Bei Baugruppen mit einem gekoppelten Heatsink sind die Wärmeausdehnung der Leiterplatte und des Heatsink-Materials im Einzelnen zu berücksichtigen. Da sie aus unterschiedlichen Materialien bestehen können, sind auch die Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE = Coefficient of Thermal Expansion) unterschiedlich. Bei der Verbindung der Leiterplatte mit dem Heatsink ist die Baugruppe einer hohen Belastung ausgesetzt, und es besteht die Gefahr einer Verformung auf Grund unterschiedlicher Ausdehnungen und Kontraktionen durch den CTE, dem sogenannten Thermal Mismatch. Bei Thermal Interface Materialien auf Silikonbasis mit niedrigem Schubmodul wird dieser Stress in höherem Maße reduziert als bei Materialien mit einem hohen Schubmodul.

Ein gedrucktes Thermal Interface Material, z. B. eine Thermal Interface Paste, wird an die Leiterplatte angebunden, während das Heatsink-Material nur auf die andere Seite gepresst wird. Auf diese Weise wird die Belastung nochmals reduziert. Das Schubmodul eines Thermal Interface



Materials wird durch die Struktur des Materials einschließlich Polymer-Matrix, Vernetzungsdichte, Molekulargewicht und Füllmittel bestimmt.

Abb. 7: Unterschiedliche Ausdehnungen und Kontraktionen von Leiterplatte und Heatsink, die mittels TIM verbunden sind, über mehrere Wärmezyklen

Die Anwendung von druckfähigen Heatsink-Pasten bei doppelseitig bestückten Leiterplatten

In der Leiterplattentechnologie sind häufig Wärmequelle und mögliche Fläche zur Wärmeabgabe – das Heatsink bzw. die Wärmesenke – auf verschiedenen Seiten der Leiterplatte angeordnet. Die meisten Leiterplattenmaterialien zeigen eine relativ geringe Wärmeleitfähigkeit in der Größenordnung von ca. 0,3 bis 0,5 W/m K. Durch Schichtung mit Materialien mit guter Wärmeleitfähigkeit – in der Regel Metallen – erreicht man bei Metal Core Boards sehr gute Wärmeableitungen. Ein anderes Verfahren ist das Anbinden von Wärmequellen an den Heatsink über sogenannte Wärmekoppler (Abb 8).

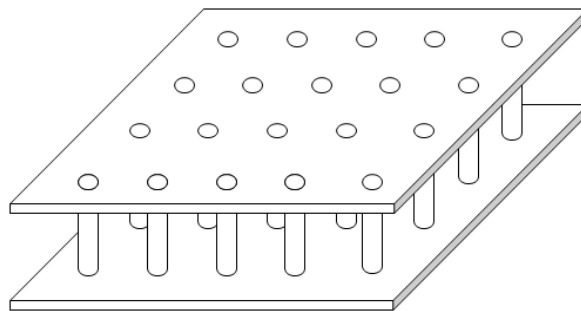


Abb. 8: Skizze eines Wärmekopplers

Die Wärmekoppler bestehen aus einer Anzahl von Durchkontaktierungen – Heat Vias – zwischen zwei Kontaktflächen. Die Wärmequelle und die Wärmesenke müssen hier mit dem geringsten Wärmeübergangswiderstand angeschlossen werden. Bei der Konstruktion der Wärmekoppler ist die metallische Durchkontaktierung bestimmend für den thermischen Gesamtwiderstand des Wärmekopplers. Eine höhere Anzahl von Durchkontaktierungen verringert den thermischen Widerstand ebenso wie zunehmende Dicke der Metallhülse.

Die klassische Anbindung von metallischen Heatsinks an den Wärmekoppler erfolgt beispielsweise über eine Klebung (Abb. 9). Ein geforderter gut wärmeleitender Übergang von der genannten Wärmesenke über die metallisierten Hülsen einer Anzahl von Bohrlöchern (Heat Vias) (1), bei welchen die Verlustwärme der Vorderseite der Leiterplatte (6) (B-Seite) „ankommt“, wird dabei durch die (Klebe-) Folie (3) zwischen der rückseitigen Wärmesenke und der Metallkaschierung als auch durch die jeweiligen spezifischen Wärmeübergangswiderstände zwischen Leiterplatte und Klebefolie sowie Klebefolie und Heatsink reduziert.

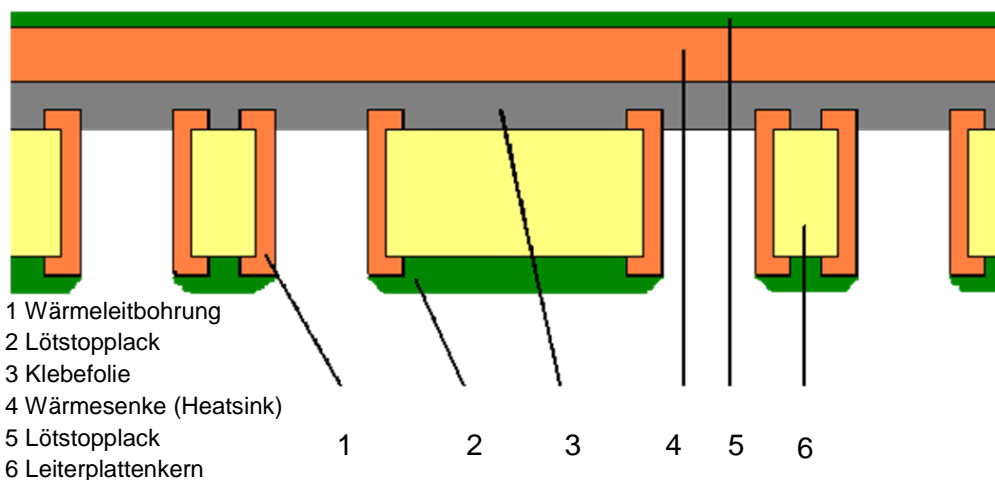


Abb. 9: Das „klassische“ Heatsink einer doppelseitigen durchkontaktierten Leiterplatte - gilt auch für Multilayer

Verfahrensschritte bei der Heatsink-Montage

Die beschriebene Technik zur Montage von zu verklebenden Heatsinks hat den Nachteil, dass sie ein sehr arbeits- und damit kostenintensives Verfahren darstellt. Zunächst müssen die als Heatsink dienenden Metallfolien in entsprechenden Formen gestanzt werden, was die Herstellung und den Betrieb von entsprechenden Stanzwerkzeugen erfordert. Sodann muss eine doppelseitige Klebefolie auf die ausgestanzten Heatsink aufgebracht werden und diese muss dann zur Positionierung auf die Leiterplatte gebracht werden. Nach der entsprechenden Positionierung auf der Leiterplatte muss die Metallfolie anschließend noch mit entsprechenden Lacksystemen zur elektrischen Isolierung und zum Schutz vor Korrosion beschichtet werden. Hierbei sind definierte Lackschichtdicken mit entsprechenden elektrischen und dielektrischen Eigenschaften erforderlich. Da diese Heatsinks üblicherweise mehrere 100 µm hoch sind, ist eine ausreichende Kanten- bzw. Flankenabdeckung nicht immer prozesssicher zu realisieren. Zudem ist in der Regel eine Oberflächenvorbehandlung der Metallfolie erforderlich, um eine ausreichende Lackhaftung zu erreichen, die zum Beispiel für ein nachfolgendes Wellenlöten oder Reflowlöten notwendig ist.

Die genannten Arbeitsschritte lassen sich in der Regel nicht automatisieren und müssen daher von Hand durchgeführt werden. Sie stellen daher einen erheblichen Zeit- und Personalaufwand dar, und das erhaltene Ergebnis erreicht nicht die geforderte Präzision einer maschinellen Fertigung.

Das gedruckte Heatsink

Die Funktionsweise des **gedruckten Heatsink** entspricht grundsätzlich der des aus einer Metallfolie konzipierten Heatsink.

Beim **gedruckten Heatsink** fallen, wie in Abb. 10 erkennbar ist, sowohl die Wärmeübergangswiderstände zwischen Heatsink und der Klebefolie, zwischen Klebefolie und Leiterplatte und zwischen Klebefolie und Hülse weg, als auch die Klebefolie selbst weg. Durch den Druckvorgang verfüllen sich die Durchkontaktierungen des Wärmekopplers – die Heat Vias – und die Anzahl der Wärmeübergangswiderstände reduziert sich. Das verdruckte Heatsink ist optimal an den Wärmekoppler angebunden.

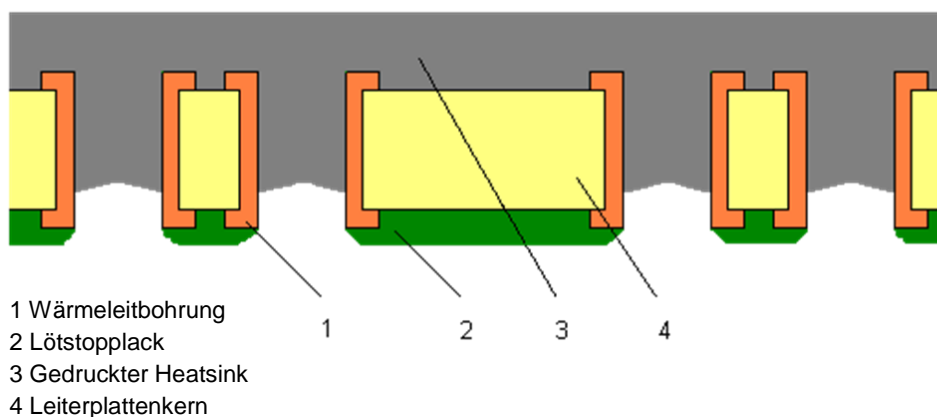


Abb. 10: Das gedruckte Heatsink einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte - gilt auch für Multilayer

Ein großer Vorteil in der Wärmeableitung liegt ferner darin, dass das gedruckte Heatsink die vorhandenen Wärmeleitbohrungen zum Teil ausfüllt (siehe Abb. 10). Hierdurch vergrößert sich die Kontaktfläche zwischen dem wärmeabführenden Heatsink und dem Wärmekoppler auf der Leiterplatte. Diese Vergrößerung der Kontaktfläche begünstigt den Wärmetransport erheblich, da der Wärmeübergangswiderstand mit zunehmender Kontaktfläche abnimmt. Überschlagsmäßig berechnet ergibt sich eine Zunahme der Kontaktfläche um über 50 %, bei einer Ausfüllung der Wärmeleitbohrungen zu 75 %. Dieser Wert kann je nach Layout der Leiterplatte etwas variieren

und ist nur als orientierende Größe zu betrachten. Des Weiteren wird der durch Konvektion bestimmte Wärmetransport in der Hülse durch den effektiveren Wärmetransport in einem festen Medium ersetzt.

Das Heatsink reicht in seiner ebenen Ausdehnung über die Fläche des Wärmekopplers hinaus. Die über die Wärmekoppler hinausreichende Fläche zur Spreitung in der Fläche ist im Falle des druckbaren Heatsink in Versuchen zu optimieren, hier kann das vorliegende Layout durchaus einen Einfluss auf die laterale Wärmespreitung haben. Die laterale Wärmespreitung im gedruckten Heatsink ist – gegeben durch den nichtmetallischen Charakter – geringer als die in Metallfolien. Ein einfacher Austausch von Metallfolie gegen den gedruckten Heatsink ohne thermische Analyse ist nicht möglich.

Das druckbare Heatsink ist auch dort einsetzbar, wo die Wärmesenke ein Teil des Leiterbildes darstellt. Hier lässt sich die zur Wärmeabführung gegebene Fläche im Leiterbild reduzieren und durch einen aufgedruckten Heatsink ergänzen. Untersuchungen haben gezeigt, dass hier über 50 % der zuvor erforderlichen Kupferfläche eingespart werden können. Da das gedruckte Heatsink elektrisch nicht leitend ist, können Leiterabstände zur Wärmesenke reduziert werden und auch direkt mit dem Heatsink überdruckt werden.

In der weiteren Betrachtung gilt es nun, die Wärmequelle optimal – d. h. mit geringsten Wärmeübergangswiderständen – an den Wärmekoppler anzubinden. Die beste thermische Anbindung wäre beispielsweise durch Löten zu erreichen, auch ein Kleber oder ein partieller Verguss mit einer gut wärmeleitenden Vergussmasse wäre denkbar. Ist die thermische Anbindung an dieser Stelle schlecht, z. B. über einen großen Luftspalt, kann dieser Wärmeübergangswiderstand limitierend in der Wärmeübertragung werden.

Das gesamte System – Wärmequelle, Wärmekoppler, Heatsink – kann als eine Reihenschaltung von Widerständen betrachtet werden und der höchste Widerstand wird dann limitierend für den Wärmestrom.

Genauere Berechnungen sind möglich, gestalten sich jedoch sehr komplex. Bei der hier angestellten Betrachtung ist die Problematik auf einen eindimensionalen Wärmestrom reduziert worden. In der Praxis sind aber – insbesondere bei Multilayern – die Einflüsse von benachbarten Leiterbündeln ebenso zu berücksichtigen wie der Wärmefluss parallel zur Wärmequelle. Die elektrisch-thermische Analogie gilt weiterhin, verkompliziert sich jedoch um die Schachtelung verschiedenster Reihen- und Parallelschaltungen.

Die Heatsink-Paste kann auch direkt an den Heatsink angebunden werden. Im optimalen Fall kann ein Wärmewiderstand von ca. $1 \text{ K} \times \text{cm}^2/\text{W}$ erreicht werden. Strukturen der Leiterplatte können nicht in allen Fällen ausgeglichen werden (Kombination mit der Thermal Interface Paste, die sich durch ein elastisches und eher kunststoffähnliches Verhalten auszeichnet).

Kombination druckfähiger Heatsinks und Thermal Interface-Materialien

Bei einigen Applikationen wie z. B. LED-Straßenbeleuchtungen oder bestimmten High Power-Anwendungen, bei denen Leiterplatten hohen Betriebsspannungen ausgesetzt sind, ist eine doppelte Isolationsschicht erforderlich wenn nicht sogar gesetzlich vorgeschrieben.

Diese Anforderung kann durch eine Kombination mit druckfähigen Heatsinks und der siebdruckfähigen TIM über dem Heatsink gelöst werden.

Auf Grund der Härte der verdruckten Heatsink-Paste stellt diese eine effiziente Basis für die Thermal Interface-Paste dar.

Die Heatsink-Paste wird hierbei zum Verfüllen der Wärmeleitbohrungen sowie zur Wärmespreitung verwendet. Die optimale Anbindung an das Heatsink wird durch die Thermal Interface Paste TIP erreicht (Abb. 11).

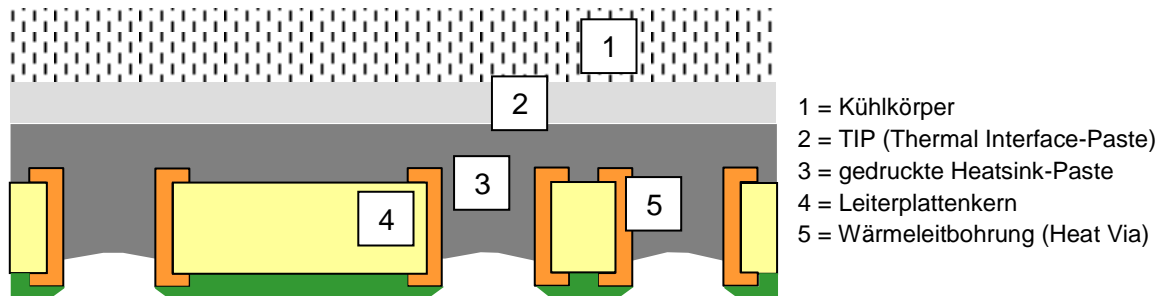


Abb. 11: Kombination von Heatsink- und Wärmeleitpaste

Die druckfähige Wärmeleitpaste

Die druckfähige Wärmeleitpaste hat gegenüber alternativen Materialien wie „Thermal Grease“, Folien und Klebern zahlreiche Vorteile. Es sei hier auf die vereinfachten – insbesondere automatisierbaren – Verfahren hingewiesen.

Aufbau der druckfähigen Thermal Interface Paste / Heatsink-Pasten

Die Paste besteht aus einer speziellen Polymermatrix, die es ermöglicht, das System im Sieb- oder Schablonendruck auf die Leiterplatte aufzubringen und nach einem Härtingsprozess funktionsfähig zu fixieren. Dieses Polymer ist gefüllt mit speziellen, feinverteilten (dispergierten) Feststoffpartikeln, welche letztendlich für die erforderliche Wärmeleitfähigkeit sorgen. Das druckfähige Heatsink ist idealerweise als 1-Komponenten-System verfügbar, lösemittelfrei und lässt sich problemlos in bestehenden üblichen Trocknungseinrichtungen – Konvektionsöfen oder durch IR-Trockenanlagen - aushärten.

Eigenschaften der druckfähigen Wärmeleitpaste

Das Aufbringen der druckfähigen Wärmeleitpaste auf die Leiterplatte

Die Wärmeleitpaste kann mit den üblicherweise in der Leiterplattenfertigung verwendeten Siebdruck- oder Schablonendruckverfahren auf eine Leiterplatte in entsprechenden Formen gedruckt werden, wobei die gewünschte Form sauber und konturenscharf, mit scharfen Grenzen bzw. Flanken erzielbar ist. Die hohe Konturenschärfe und leichte Druckbarkeit ermöglichen die Darstellung von beliebigen wärmeableitenden Flächen auf der Leiterplatte. Die Schichtdicke des Heatsink ist in weiten Bereichen variabel und ermöglicht es somit, verschiedenste Anforderungen zu erfüllen. Die Wärmeleitpaste kann direkt, also ohne Isolationsdruck oder Folie auf metallische Flächen aufgebracht werden, da es ein elektrischer Isolator ist. Hinsichtlich seiner elektrischen Eigenschaften (Oberflächenwiderstand, Kriechstromfestigkeit, Durchschlagsfestigkeit) hat das verdruckte Heatsink Eigenschaften wie ein Isolierlack, so dass auf einen zusätzlichen Isolierlack – sowohl zur Leiterplatte als auch zur Umgebung hin – verzichtet werden kann. Durch das Druckverfahren wird eine hohe Flexibilität bei der Gestaltung unterschiedlichster Heatsinkgeometrien ermöglicht, da lediglich die entsprechenden Siebe bzw. Schablonen ausgetauscht werden müssen.

Die Lötbeständigkeit

Neben seiner thermischen Funktionalität ist des Weiteren gefordert, dass die gedruckte Wärmeleitpaste üblicherweise nach dem Oberflächen-Finish und vor der Bestückung aufgetragen wird. Daher muss es in Lötprozessen wie Wellenlöten und Reflow-Löten beständig sein.

Weitere technische Anforderungen

Die Forderung nach selbstverlöschenden Eigenschaften ist eine weitere wichtige geforderte Grundeigenschaft, die üblicherweise nach dem UL Standard UL 94 der Underwriters Laboratories geprüft und zertifiziert wird.

Kosteneinsparungspotential

Durch den Einsatz von druckbaren Wärmeleitpasten vereinfacht sich die Produktion von Leiterplatten, da hierdurch besonders kosten- und zeitintensive Prozessschritte eingespart werden. Darüber hinaus ist eine Automatisierung in diesem Teilschritt der Produktion möglich. Diese Gründe ergeben in der Summe eine beträchtliche Kostenersparnis. Weiterhin erhöht sich die Prozesssicherheit, welche sich letztendlich ebenfalls positiv auf der Kostenseite niederschlägt. Eine Kostenrechnung ist natürlich von Produktionsbetrieb zu Produktionsbetrieb unterschiedlich, führt aber in jedem Falle zu einem positiven Ergebnis.

Es ist zum Beispiel auch möglich, ganz auf den Einsatz von Heatsinks zu verzichten, und zwar in solchen Fällen, wo die thermischen Eigenschaften des Substrats zwar nicht ausreichend sind, aber die Kühlelemente zu hohe (kostenintensive) Leistungen erbringen.

Schlussbetrachtung

Der hauptsächliche Einsatzbereich des druckbaren Heatsink ist dort zu sehen, wo eine Wärmeabführung über Wärmekoppler zur „Rückseite“ der Leiterplatte möglich ist und Wärmeströme in der Größenordnung von 2 W/m K auftreten. Das druckbare Heatsink bietet sich insbesondere als Lösung für thermische Probleme an, für die die Verwendung von Metallfolien zu kostenintensiv ist oder aus Gründen der Layout Gestaltung eine Metallfolie nicht einsetzbar ist.

Das druckbare Heatsink lässt sich mit Erfolg auch dort einsetzen, wo im Layout Kupferflächen als Wärmesenken eingebracht sind. In diesen Fällen ist eine Flächenreduzierung des Kupfers um über 50 % möglich, indem diese Flächen mit einem gedruckten Heatsink überdeckt werden. Auf eine Isolierbeschichtung könnte hier wegen des isolierenden Charakters des Heatsink verzichtet werden.

Der Einsatz von druckbaren Heatsinks ist nicht nur für die leiterplattenproduzierende Seite vorteilhaft, sondern auch für den „Anwender“ dieser Leiterplatte. Das verdruckte Heatsink zeichnet sich, da es selbst keine elektrische Leitfähigkeit besitzt, durch eine erhöhte Funktionssicherheit aus. Fehlfunktionen durch eine mögliche Kurzschlussbildung sind ausgeschlossen. Neben seiner ausgezeichneten Haftfestigkeit zeichnet es noch eine Gewichtersparnis von etwa 50 % gegenüber einem klassischen Metallkörper aus. Durch das vereinfachte Druckverfahren sind ferner ganz andere Formgestaltungen des Heatsink möglich. Ebenso ist ein schneller Formenwechsel für das Heatsink gegeben.

Literaturhinweise

Um sich einen Überblick über Normen und Literatur zum Thema Wärmemanagement zu verschaffen sei hier vorweg auf eine vom Fachverband Elektronik-Design e.V. erstellte Liste hingewiesen: „Ausgewählte Literaturhinweise zum Wärmemanagement in Bauelementen, auf Leiterplatten, in elektronischen Baugruppen und Geräten“ (FE-22-08).

Hinweise für den Praktiker finden sich im Seminar zum Thema "Thermische Baugruppendimensionierung – Simulation und Messung" des ZμP-Zentrum für mikrotechnische Produktion am Institut für Elektronik-Technologie der Technischen Universität Dresden.

Im Folgenden seien noch einige weitere Literaturhinweise zum Wärmemanagement aufgelistet:

EITI-Seminar - TU Dresden 10.02.2000

U.Grigull, H. Sandner

Wärmeleitung, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1979

H. Müller

Hochtechnology-Multilayer (Kapitel 4.8 Wärmeübertragung, Wärmesenken, Wärmekoppler), Leuze Verlag, Saulgau, 1988

J.R. Culham, P. Teertstra, M.M. Yovanovitch

The Role of Spreading Resistance on effective Conductivity in Laminated Substrates, Future Circuits International, 2000

Anhang

Erläuterungen der Abkürzungen in diesem Referat

TIM	Thermal Interface Material
TIP	Thermal Interface Paste
HSP	Heatsink-Paste
PCB	printed circuit board
IMS	insulated metal substrates