

Power-Module

Wärmeleitpastenauftrag richtig gemacht

Zu viel Wärmeleitpaste verschlechtert den Wärme-widerstand, zu wenig Paste führt zur thermischen Überlastung des Leistungshalbleiters. Das optimale Aufbringen der Wärmeleitpaste auf die Kontaktfläche Leistungshalbleiter/Kühlkörper ist selbst für den Geübten stets ein Wagnis, weshalb es optional und derzeit einzigartig einen entsprechenden Service von Semikron gibt.

Dieter Esau, Michaela Strube*

Um die Belastbarkeit und Zuverlässigkeit von Leistungsmodulen stetig zu steigern, rücken Halbleiterentwickler die Chips, deren Verbindungstechnik sowie die DCB-Substrate in den Mittelpunkt der Forschung. Doch eine Schwachstelle bleibt: die Fläche zwischen Modul und Kühlkörper. Im Zwischenraum beider Kontaktflächen gibt es winzige Unebenheiten, die Umgebungsluft einschließen. Weil Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, behindert sie auch den Wärmeaustausch zwischen Modul und Kühlkörper. Das Einbringen einer Wärmeleitpaste soll Unebenheiten ausgleichen. Aber dieser Fertigungsschritt ist eine echte Herausforderung. Zur Schließung der „Lücke“ bietet SEMIKRON nicht nur seine professionelle Dienstleistung „Wärmeleitpaste auf Modul“ (mit der bereits über 700.000 Module bedruckt wurden), sondern auch grundlegende Kenntnisse in der Anwendung und der Funktion von Wärmeleitmedien.

Üblicherweise bestehen Wärmeleitmedien aus einem plastischen Trägerstoff (etwa Silikonöl) und wärmeleitenden Füllstoffen wie Zinkoxid, Graphit oder Silber.

Sie werden in Form von Pasten, Klebern, Phase-Change-

Materialien und Folien angeboten. Wärmeleitpasten leiten Wärme besser als Luft. Typischerweise besitzen sie eine spezifische Wärmeleitfähigkeit (Lambda) von 0,5 bis 6 W/mK. Die Wärmeleitfähigkeit von Wärmeleitmedien ist somit etwa 20 bis 200-mal besser als die von Luft. Zur Einordnung der Wärmeleitfähigkeiten der Wärmeleitpaste sind in Tabelle 1 die spezifischen Wärmeleitfähigkeiten von Materialien aufgeführt, aus denen typischerweise ein Leistungsmodul aufgebaut ist. Es wurde beispielhaft die Wärmeleitpaste P12 von Wacker angenommen. Die dargestellten Wärmewiderstandswerte R_{th} ergeben sich abhängig von modultypischer Wärmespreizung.

So dünn wie nur möglich, aber so dick wie nötig

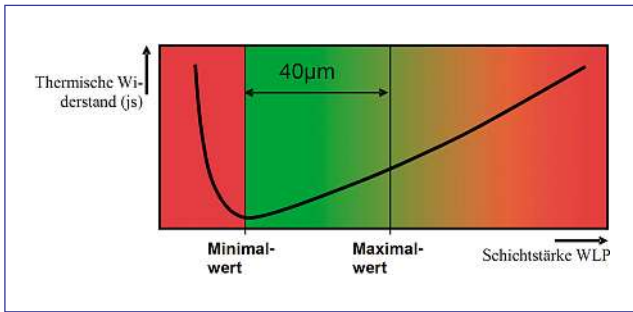
Wird die Wärmeleitfähigkeit von Wärmeleitpaste mit der Wärmeleitfähigkeit anderer Bestandteile eines Leistungsmoduls verglichen (Tabelle 1), so schneidet diese schlecht ab. Der Anteil, den Wärmeleitpaste zum Gesamtwärmewiderstand R_{thjs} des Moduls beträgt je nach Aufbau ca. 20 bis 65%. Aus diesem Grund sollte die Wärmeleitpastenschicht so dünn wie möglich und so dick wie nötig sein (Bild 1).

Zu geringe Wärmeleitpastenschichtstärken führen zu verbleibenden Luftenschlüssen zwischen der Modulunterseite und der Kühlkörperoberfläche und damit zu einem hohen thermischen Widerstand $R_{th}(cs)$. Nach Erreichen des Optimums steigt der thermische Widerstand zwischen Gehäuse und Kühlkörper mit zunehmender Wärmeleitpastenschichtstärke erneut schnell an, da die spezifische Wärmeleitfähigkeit der Wärmeleitmedien (verglichen mit anderen Materialien eines Leistungshalbleitermoduls) sehr gering ist. Der Minimal- bzw. Optimalwert der Wärmeleitpastenschichtstärke ist bei jedem Modul auf Kühlkörper un-

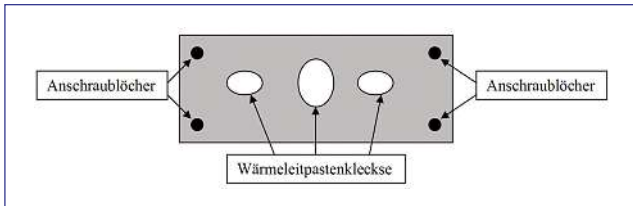


Die Wabenstruktur der Modulunterseite sorgt dafür, dass sich die aufgetragene Wärmeleitpaste gleichmäßig verteilt

*Dieter Esau ist Prozessingenieur und Dr. Michaela Strube arbeitet in der Service-Entwicklung bei SEMIKRON, Nürnberg.



■ Bild 1: Abhängigkeit des thermischen Widerstands von der Wärmeleitpastenschichtdicke



■ Bild 2: Modulunterseite mit kritisch aufgetragener Wärmeleitpaste

terschiedlich und muss in Tests definiert werden.

R(th)-Tests haben ergeben, dass die sich im Anwendungsfall einstellende Wärmeleitfähigkeit einer Wärmeleitpaste nicht nur von ihrer spezifischen Wärmeleitfähigkeit, sondern auch von ihrer Zusammensetzung abhängt. Je größer die in einer Wärmeleitpaste enthaltenen Füllstoffpartikel sind, desto höher ist die spezifische Wärmeleitfähigkeit. Die Partikelgröße der Füllstoffe gibt die Mindestschichtstärke vor. D.h. die Wärmeleitpastenschicht kann nicht dünner aufgetragen werden als die größten enthaltenen Partikel. Eine Paste mit kleinen Partikeln (beispielsweise P12: Partikelgröße 0,04 bis 4 µm) erlaubt an Stellen mit einem hohen Anpressdruck nach mehreren Temperaturzyklen einen annähernden „Metall-zu-Metall-Kontakt“, was in der Regel zu einer starken Verringerung des R(thcs) führt.

Die Wärmeleitpaste kann entweder auf das Modul oder auf den Kühlkörper aufgerollt oder aufgedruckt werden Zum

Aufrollen wird typischerweise ein Gummiroller verwendet. Beim Aufdrucken kommen meist Sieb- oder Schablonendruckverfahren zum Einsatz. Der Auftrag von Wärmeleitpaste mittels Gummiroller kann zu ausreichenden Ergebnissen führen, wenn dieser Montageschritt von erfahrenen und für diesen Prozess geschulten Mitarbeitern durchgeführt wird. Dieser Prozess bringt jedoch Nachteile wie Inhomogenität, mangelnder Reproduzierbarkeit und Verschmutzungsgefahr mit sich.

Pastenauftrag per Rolle oder im Siebdruck

Im Schablonen- und Siebdruckprozess können wesentlich bessere Ergebnisse als im Aufrollprozess erzielt werden, wenn dieser automatisch durchgeführt wird. Erfolgt die Prozessdurchführung manuell, können auch hier größere Prozessschwankungen entstehen. Die Entwicklung eines Prozesses mit einem automatischen Schablonendrucker und ei-

Material	Spez. Wärmeleitfähigkeit Lambda [W/(m·K)]	Dicke [µm]	R(th)-Anteile eines SKiM-Moduls
Chip	106	120	2,92%
Chip Lot	57	70	3,65%
DCB (Kupfer)	394	300	1,94%
DCB (Al2O3)	24	380	32,91%
DCB (Kupfer)	394	300	1,31%
Wärmeleitpaste (P12 von WACKER)	0,81	30	57,26%

■ Tabelle: Spezifische Wärmeleitfähigkeiten typischer Materialbestandteile eines Leistungshalbleitermoduls



"EXTREME MEASURING"

Genaue Messergebnisse...

...auch unter Druck!

Mehr dazu:

www.omicron-lab.com/extreme

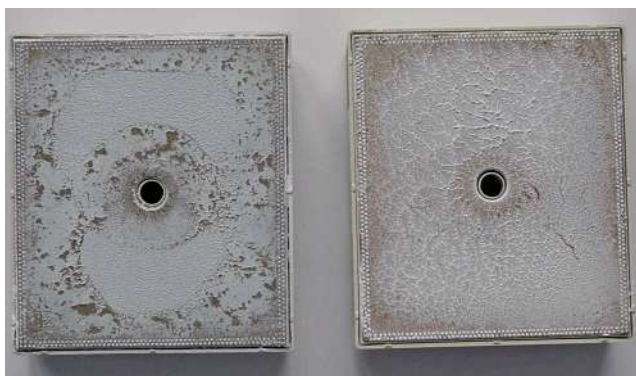


Vektor-Netzwerkanalysator Bode 100 (1 Hz – 40 MHz) und Future.Pad Tablet PC von www.ibd-aut.com



Smart Measurement Solutions

■ Bild 3:
Modul mit mangelndem (links) und gutem (rechts) Wärmeleitpastenauftrag



ner kontinuierlichen Prozessüberwachung erfordert hohe Investitionen, die sich erst mit hohen Stückzahlen amortisieren.

Die Wärmeleitpastenschicht muss homogen sein

Neben der Einhaltung einer definierten Schichtstärke ist beim Aufbringen der Wärmeleitpaste darauf zu achten, dass die Wärmeleitpastenschicht gleichmäßig und homogen auf die Modulunterseite oder die Kühlkörperoberfläche aufgetragen wird. Inhomogenität der Wärmeleitpastenschicht (Extremfall: Auftragen eines oder mehrerer Wärmeleitpastenkleckse) kann zu Brüchen der DCB-Keramik führen (Bild 2). Dies gilt nicht nur für bodenplattenlose Module, sondern auch für Module mit Bodenplatte. Darüber hinaus kann Inhomogenität der Wärmeleitpaste auch zu lokalen Überhitzungen führen, wenn Bereiche mit Luftpneinschlüssen zwischen Modulunterseite und Kühlkörperoberfläche verbleiben. Wärmeleitpastenschichtstärken können direkt oder indirekt ermittelt werden. Ein

indirektes Verfahren ist beispielweise eine Messung des Gewichtes der Wärmeleitpaste über eine Tara-Wägung mit einer geeigneten Waage. Direkte berührungslose Messungen der Wärmeleitpastenschicht lassen sich beispielsweise mit einem optischen Profilometer, wie dem μ SCAN (Hersteller Nano Focus) durchführen. Messgeräte, die die Wärmeleitpastenschicht direkt messen, jedoch teilweise zerstören, sind z.B. Nassfilmprüfkämme (etwa ZND 2050-2054 von Zehntner oder Elcometer Instruments) oder Nassfilmprüfräder (wie ZWW 2100-2108 ebenfalls von Zehntner). Die optimale Mindestschichtstärke einer bestimmten Wärmeleitpaste in Verbindung mit einer bestimmten Kühlkörperoberfläche kann in einem definierten Prozess festgelegt werden, der bei einer Mindestschichtstärke von ca. 10 μ m gestartet und in 10- μ m-Schritten angehoben wird (alternierende Schritte sind ebenfalls möglich). Dabei wird die Wärmeleitpaste auf das Modul oder den Kühlkörper bzw. eine Aluminiumplatte aufgetragen, die den Vorgaben des Modulherstellers entsprechen. Das Anziehen

der Befestigungsschraube sollte mit dem Drehmoment erfolgen, das der Modulhersteller vorgibt. Um einen entspannten Zustand des System zu simulieren, muss das aufgeschraubte Modul drei Temperaturzyklen (20 °C/100 °C/1h) unterzogen werden.

Am Abdruckbild lässt sich die Kontaktgabe überprüfen

Nach dem Durchlaufen der Temperaturzyklen kann ein grundplattenloses Modul nach dem Lösen der Schrauben nicht ohne weiteres zerstörungsfrei abgelöst werden, da sich durch das Anpressen des Moduls an den Kühlkörper bzw. die Aluminiumplatte und das Verteilen der klebrigen Wärmeleitpaste im Zwischenraum eine enorme Haftkraft entwickelt hat. Um ein zerstörungsfreies Ablösen zu ermöglichen, sollte das Modul nach dem Lösen der Schraube etwa 12 Stunden unter Raumtemperatur verweilen oder ein bis zwei Temperaturzyklen unterzogen werden.

Nach dem Abschrauben des Moduls lässt sich anhand des Abdruckbildes bewerten, ob die aufgetragene Wärmeleitpastenmenge zu einem optimalen Kontakt zwischen dem Modul und dem Kühlkörper geführt hat. Bild 3 links: auf der Modulunterseite sind große Stellen mit unberührter Wärmeleitpaste sichtbar, die auf einen zu dünnen Wärmeleitpastenauftrag (ca. 30 μ m) hinweisen. Bild 3 rechts: die Modulunterseite ist vollständig mit Wärmeleitpaste bedeckt, abgesehen von Stellen mit sehr hohem Druck, an denen ein „Metall-zu-Metall-Kontakt“ erreicht wird. Das weist auf einen optimalen Wärmeleitpastenauftrag (ca. 50 μ m) hin.

Mit einer Wärmeleitpastenschichtstärke, die individuell für ein System „Modul auf Kühlkörper“ ausgelegt ist und in einem automatisierten Prozess mit gleichbleibender Qualität aufgetragen wird, können die Schwächen des Wärmeleitmediums bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden. Die „Lücke“ zwischen dem Leistungsmodul und dem Kühlkörper bleibt jedoch weiterhin das Element mit dem höchsten Verbesserungspotenzial. (ku)

SEMIKRON
Tel. +49(0)911 65590

 www.elektronikpraxis.de

 Service Wärmeleitpastenauftrag

InfoClick

336913

Wärmeleitpastenauftrag als Dienstleistung

Der von Semikron als Dienstleistung angebotene Wärmeleitpastenauftrag vereinfacht die Montage der Leistungshalbleitermodule auf den Kühlkörper. Dieser Produktionsschritt fällt weg und spart daher Kosten. Die Handschuhe des Fertigungsmitarbeiters bleiben sauber und die Wärmeleitpaste kann nicht in die Produktion verschleppt werden. Durch die optimierte modulspezifisch eingestellte Wärmeleitpastenschichtstärke sinkt der Gesamtwärmewiderstand und das DCB-Bruch-Risiko. Die Wärmeleitpaste wird in einem automatischen Schablonendruck-

prozess aufgebracht. Die modulspezifisch eingestellten Wärmeleitpastenschichtstärken haben eine Genauigkeit von $\pm 10 \mu$ m. Der Prozess wird mit SixSigma-Methoden überwacht. Der Transport der Module mit Wärmeleitpaste erfolgt in speziell entwickelten und patentierten Verpackungen, die die Wärmeleitpaste berührungslos transportieren. In diesen Verpackungen lassen sich die Module mit Wärmeleitpaste bis zu 18 Monaten lagern. Die Dienstleistung gibt es für SKiM 63 und 93, SEMIPACK 2, SEMITRANS 2 und MiniSKiP.