

■ Wärmemanagement

# Kraftvoller Kontakt

## Effekte und Optimierung thermischer Kontaktflächen

Sehr gut leitfähige Wärmeleitmaterialien sind nur dann als Elemente in der Kühlkette optimal, wenn der thermische Kontaktwiderstand annähernd null ist. Um den den Widerstand erhöhenden Einfluss von Rauigkeiten und Welligkeiten zu minimieren, werden in der Praxis thermische Interface-Werkstoffe mechanisch über eine Feder vorgespannt. Die Federkraft und die Spannungsverteilung in der Feder lassen sich über eine Finite-Elemente-Simulation optimieren, was zu einer besseren Kühlwirkung und letztendlich zu einer höheren Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit der Anwendung führt.

Wilhelm Pohl, Jürgen Schmidt,  
Erwin Nagy\*

■ Bei der Kühlung elektronischer Bauelemente ist der thermische Gesamtübergangswiderstand von der Wärmequelle bis zur Wärmesenke entscheidend. Dabei kommt es vor allem auf die thermische Anbindung des Halbleitergehäuses an die Wärmesenke über ein die Verlustwärme leitendes Interface-Material an. Der thermische Widerstand dieses Gliedes im thermischen Pfad setzt sich aus zwei Kontaktwiderständen und dem Innenwiderstand des Wärmeleitmaterials zusammen (Gleichung 1).

$$R_{th} = R_{th \text{ Kontakt 1}} + R_{th \text{ Material}} + R_{th \text{ Kontakt 2}}$$

Der Anteil des Innenwiderstands ist im Wesentlichen abhängig von der Materialdicke  $d$  und der thermischen Leitfähigkeit  $\lambda$  des Interface-Werkstoffs sowie der Kontaktfläche  $A$  gemäß Gleichung 2.

$$R_{th \text{ Material}} = d / (\lambda A)$$

Die thermischen Kontaktwiderstände hängen vor allem vom auf das Material ausgeübten Druck und der Beschaffen-



heit der Oberflächen ab. Dabei beeinflussen Gestaltabweichungen in Form von Welligkeiten und Rauigkeiten den thermischen Übergang und den Übergangskoeffizienten  $\alpha$ . Es gilt Gleichung 3.

$$R_{th \text{ Kontakt}} = 1 / (\alpha A)$$

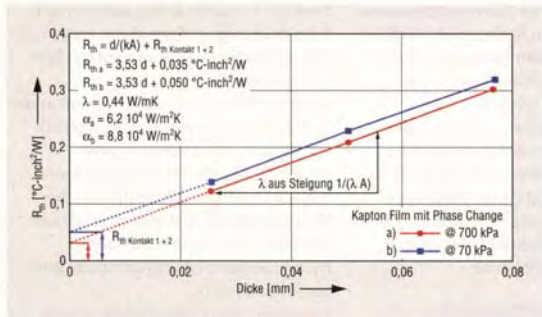
### Rauigkeit und Welligkeit bei Halbleitermodulen

Typische Abweichungen bei Halbleitergehäusen oder Halbleitermodulen von der idealen, planen Oberfläche sind Rauigkeitswerte  $R_a$  von etwa 0,5 bis 5  $\mu\text{m}$  und Werte für die Welligkeiten  $W$ , im Bereich von 10 bis 50  $\mu\text{m}$  in Quer- und Längsrichtung.

Je geringer der thermische Innenwiderstand des Werkstoffs ist, desto größer ist der Anteil der thermischen Kontaktwiderstände. Der Einfluss der Kontaktwiderstände ist bei dünnen, thermisch sehr gut leitfähigen Interface-Materialien besonders groß. Bild 1 zeigt die druckabhängigen Kontaktwiderstände von mit PCM\*\* beschichteten wärmeleitenden Kaptonfilmen unterschiedlicher Dicke im Verhältnis zu den thermischen Gesamt-

\*Dr. Wilhelm Pohl ist Geschäftsführer der HALA Contec GmbH & Co. KG in Ottobrunn, Jürgen Schmidt arbeitet als Consultant Wärmemanagement bei der Serviceforce.Com GmbH in Frankfurt; Erwin Nagy ist Geschäftsführer des Konstruktionsbüros KBN in Germering.  
\*\*PCM – Phase Change Materials, Werkstoffe mit Phasenwechsel (z.B. Wachs)

## Wärmemanagement



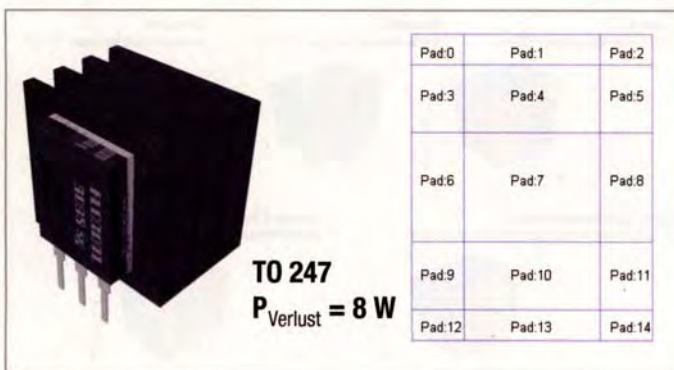
■ Bild 1:  
Thermischer  
Kontaktwider-  
stand

wurden grafisch bei einer theoretischen Dicke von 0 mm ermittelt. Die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeübergangskoeffizienten lassen sich ebenfalls hinreichend genau abschätzen. Elektrisch nicht isolierende Werkstoffe wie Metalle mit sehr hohen Leitfähigkeiten (z.B. Aluminium – 99,5% – mit  $\lambda = 221 \text{ W/mK}$ ) funktionieren nur dann richtig, wenn die Kontaktwiderstände, die den Großteil des thermischen Widerstands ausmachen, gegen null gehen. Bei solchen Werkstoffen lassen sich Oberflächenrauigkeiten in ihrer Wirkung auf den thermischen Widerstand meist durch Kontaktbeschichtungen (z.B. durch Phasenwechsel-Wachse oder andere Polymere) ausgleichen. Luft einschließen mit der sehr niedrigen Leitfähigkeit von  $0,025 \text{ W/mK}$  werden unter Druckeinwirkung weitgehend eliminiert. Einschränkungen betreffen die maximal erreichbaren bzw. tolerierbaren Drücke und die Kosten für ein aufwändiges Oberflächenfinish. Welligkeiten sind Gestaltabweichungen niedriger Ordnung und haben entschei-

denden Einfluss auf die thermische Kontaktfläche. Sie können nur durch abgestimmte Befestigungslösungen in ihrer Wirkung verringert werden.

### Richtige Federgeometrien bestimmen

Um die mechanische Vorspannung bei der Befestigung zu erhöhen, sind die dünnen Halbleiterbasisplatten in der Regel konvex geformt. Aus dieser Tatsache ergibt sich eine Abhängigkeit der Kontaktfläche vom Ort der Krafteinleitung und der Höhe der durch ein Befestigungselement generierten Kraft. Um den notwendigen Anpressdruck zu erzeugen und Bauteiltoleranzen auszugleichen, werden dazu meist Federelemente verwendet. Der Kraftbereich einer Feder muss so dimensioniert sein, dass die Arbeitspunkte auf der charakteristischen Druck-Widerstandskennlinie des eingesetzten thermischen Interface-Werkstoffs weitgehend im asymptotischen Bereich liegen. Das muss auch im Fall unvermeidbarer



■ Bild 2:  
Segmentaufteilung der Halbleiterbasisplatte

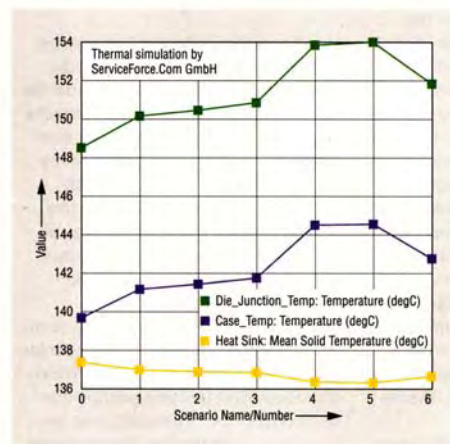
## Wärmemanagement

maximaler negativer Summentoleranzen gewährleistet sein. Andererseits darf bei maximalen positiven Toleranzen die Federstahllegierung mechanisch nicht überbeansprucht werden. Durch hohe Federkraft allein wird die Kontaktfläche nur bedingt vergrößert. Entscheidend ist ebenfalls der Ort der Krafteinleitung und damit die bessere Anpassung der Basisplatte an die Auflagefläche der Wärmesenke. Resultat ist eine höhere Kontaktfläche.

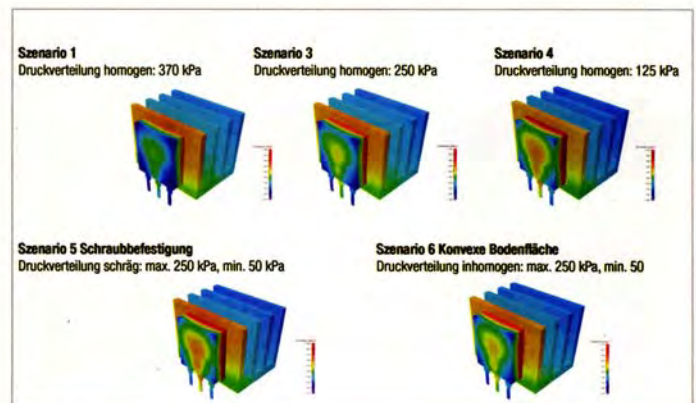
### Effekte unterschiedlicher Krafteinwirkungen

Um die Effekte unterschiedlicher Krafteinwirkungen mittels CFD-Thermosimulation zu analysieren, wurde die Halbleiterbasisplatte in mehrere unterschiedlich große Segmente aufgeteilt. Durch die

Steifigkeit und die örtlich unterschiedliche Wölbung der Basisplatte wirken unterschiedlich hohe Drücke auf das Wärmeleitmaterial. Somit stellen sich je nach Segment andere Arbeitspunkte auf der charakteristischen Widerstands-Druck-Kurve ( $R_{th} = f(p)$ ) des Wärmeleitmaterials und folglich unterschiedliche thermische Widerstände ein. Dabei wird angenommen, dass der thermische Kontakt flächendeckend ist und Luftspalte ausgeschlossen sind. Es wurden sechs Szenarien bei einem Verlustleistungseintrag von 8 W durch einen MOSFET im TO-247-Gehäuse (Bild 2) untersucht:  
 ■ Szenario 0: Annahme eines idealen Kontaktwiderstandes von  $0 \text{ K/W}$   
 ■ Ideal homogene Druckverteilungen: Szenario 1) 370; 2) 300; 3) 250; 4) 125 kPa



■ Bild 3:  
Szenarioabhängige Temperaturen im thermischen Pfad



■ Bild 4:  
CFD simulierte Wärmeverteilung

## Wärmemanagement

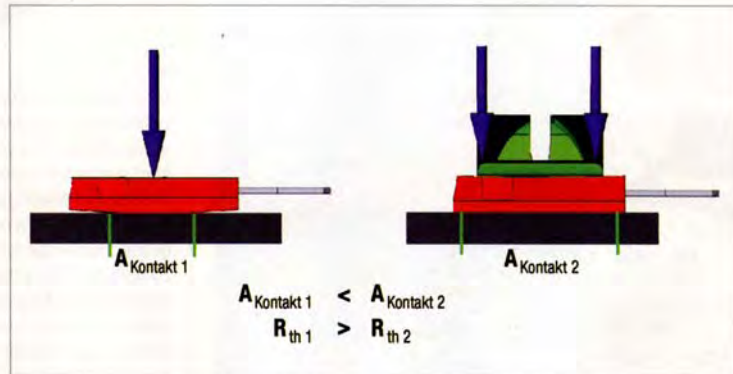
■ Szenario 5: Simulation einer einseitigen Schraubbefestigung mit Kippmoment und mit inhomogener Druckverteilung durch in Längsrichtung des Gehäuses von 250 auf 50 kPa absinkenden Drücken  
 ■ Szenario 6: Simulation einer zentralen Kräfteinleitung mit inhomogener Druckverteilung durch die konvexe Basisplatte

5 wurde eine Befestigungslösung mittels dezentraler Verschraubung mit Kippmomentbildung in Längsrichtung simuliert. Die resultierende Druckverteilung führt zur schlechtesten Anbindung. In Szenario 6 bleibt die Basisplatte durch die zentrale Kräfteinwirkung konvex. Die inhomogene Druckverteilung führt zu nur sehr

mittelmäßigen thermischen Ergebnissen. Bild 4 zeigt die simulierten Temperaturverteilungen der Szenarien 1 bis 6. Technisch lässt sich eine Annäherung an eine homogene Druckverteilung nur durch ein individuelles Design der federnden Befestigungslösung und deren Geometrie erreichen. So führt die univer-

### Individuelles Design der Befestigung durch FE-Simulation

Die Ergebnisse in Bild 3 zeigen die szenarioabhängigen Unterschiede der sich an verschiedenen Stellen des thermischen Pfades einstellenden Temperaturen. Szenario 0 ist mit idealen Kontaktwiderständen von 0 K/W thermisch am besten, wengleich unrealistisch. Die homogene Druckverteilung mit 370 kPa führt bei Szenario 1 zum besten praktischen thermischen Ergebnis. Bei den homogenen Druckverteilungen der Szenarien 2 bis 4 entscheidet jeweils der Druck über die Höhe des thermischen Kontaktwiderstands. In Szenario



■ Bild 5: Gewinn von thermischer Kontaktfläche durch abgestimmte Federgeometrie: a) zentrale Kräfteinwirkung (links), b) optimierte Kräfteinwirkung (rechts)

## Wärmemanagement



■ Bild 6: Weit gehend homogene Biegespannungsverteilung durch FE-optimierte Geometrie

selle Federformgebung gemäß Bild 5, rechte Seite zu einer vorteilhaften Kräfteinleitung in die Außenbereiche von Halbleitergehäusen wie z.B. von TO-220- und TO-247-Gehäusen. Dadurch wird wertvolle thermische Kontaktfläche gewonnen und der thermische Widerstand gemäß  $R_{th} \sim 1/A$  sowohl bei Quer- als auch bei Längsorientierung der auf das Halbleitergehäuse aufgebrauchten Federkraft verringert. Gleichzeitig führt die mithilfe der Finiten-Elemente-Simulation optimierte Federgeometrie gemäß Bild 6 mit ihrer charakteristischen taillierten Aussparung zu einer weitgehend homogenen Biegespannungsverteilung. Darüber hinaus kann eine günstigere Federkennlinie im Unterschied zu massiven Federelementen oder punktförmig wirkenden Geometrien eingestellt werden.

Mit diesem integrierten Lösungsansatz können der thermische Kontakt mit unmittelbarem Einfluss auf die Kühlung der Leistungshalbleiter und die Leistungsfähigkeit sowie die Betriebssicherheit der Anwendung verbessert werden. (kr)

HALA Contec  
 Serviceforce.Com  
 KBN

Tel. +49(0)89 66547783  
 Tel. +49(0)69 3650905500  
 Tel. +49(0)89 84938846

## Bessere Leistung und Betriebssicherheit von Halbleitermodulen

Um eine optimale thermische Kontaktierung zu erreichen, ist das Zusammenspiel von thermischen Interface-Materialien und Druck auf meist konvexen Basisplatten von Halbleitern oder Leistungsmodulen entscheidend. Eine gute Abschätzung der Kontakteffekte erfolgt mittels thermischer CFD-Simulation. Mit einer durch FE-Simulation optimierten Formgebung der Befestigungsfeder und durch günstige Einstellung der Federkennlinie kann die thermische Kontaktfläche von Halbleitergehäusen wirkungsvoll vergrößert werden. Die Druckverteilung verläuft weitgehend homogen. Die Summentoleranzen werden im gesamten Betriebsbereich kompensiert, die Belastungsgrenzen des Federstahls nicht überschritten. Dieser integrierte Ansatz verbessert die Kühlung und erhöht die Leistungsfähigkeit sowie die Betriebssicherheit der Anwendung.

[www.elektronikpraxis.de](http://www.elektronikpraxis.de)

Dienstleistungsportfolio von HALA Contec

Dienstleistungsangebot von Serviceforce

InfoClick

190059