



## Anspruchsvolles Wärmemanagement für LEDs

Dank ihrer Robustheit, Energieeffizienz und langen Lebensdauer gelten LEDs als Lichtquellen der Zukunft. Aber sie erzeugen nicht nur hohe Lichtausbeuten, die damit einhergehende Verlustleistung führt auch zu einer massiven Erwärmung des Bauteils. Nur mit einem optimalen Wärmemanagement kann daher das Leistungspotenzial von High-Power-LEDs wirklich genutzt werden.

**TEXT:** Wolfgang Reitberger, Kunze Folien GmbH **FOTO:** macrofun73, Osram Opto Semiconductors, Kunze Folien [www.euc24.net/PDF/EE611804](http://www.euc24.net/PDF/EE611804)

Der Siegeszug der LED hat spätestens mit Entwicklung der High-Power-LEDs eingesetzt. Fortschreitende Verbesserungen bei Lichtausbeute, Lichtfarbe und Kosten-Nutzen-Verhältnis ermöglichen neue Anwendungsgebiete. LEDs sind robuster als herkömmliche Leuchtmittel, haben eine hohe Energieeffizienz, eine lange Lebensdauer, geringe Abmessungen und niedrige Betriebsspannungen. Allerdings ist die Lichtausbeute stark abhängig von Bestromung und Ansteuerung, der Umgebungstemperatur, der Aufbauqualität und dem Wärmemanagement. Vor allem Letzteres muss beim praktischen Einsatz beachtet werden, um Alterungs- und Schädigungsprozesse zu vermeiden. Obwohl im Halbleiter der größte Teil der elektrischen Leistung als Verlustleistung in Wärme umgesetzt wird, gehen viele Anwender immer noch davon aus, dass sich LEDs nicht erwärmen können. Das Licht selbst enthält auch keine IR-Anteile und setzt somit keine Wärme frei, wohl aber dessen Erzeugung. Bei der Entwicklung einer LED hat daher ein gutes thermisches Management entscheidenden Einfluss auf die Realisierung der gewünschten Eigenschaften.

## Alterungsfaktoren

Als Ansteuerschaltungen für lineare oder getaktete Stromversorgungen werden Energiequellen (Batterie, Netzstrom, Ladungspumpe) verwendet. Zur Steigerung der Lichtemission einer LED kann die elektrische Leistung erhöht werden. Da dann zwangsläufig aber auch die in der LED transformierte (dissipierte) Joule'sche Wärme zunimmt und die Temperatur steigt, verkürzt sich die Lebensdauer. LED-Hersteller erreichen eine effektive Wärmeabfuhr vom Chip durch besondere Bauformen der LED und der Platinen und ermöglichen eine höhere Lichtausbeute, ohne die Lebensdauer signifikant zu verringern. Auch durch hohe oder stark schwankende Umgebungstemperaturen kann die Lebensdauer verkürzt werden.

LEDs sollten stets mit einem Sicherheitsabstand von ca. 25 bis 27 % unterhalb der laut Hersteller maximal zulässigen Sperrschichttemperatur  $T_{jmax}$  betrieben werden. Eine typische Angabe ist z.B.  $T_{jmax} = 120^\circ\text{C}$ . Da die Sperrschicht im Halbleiter für Messungen in der Regel schwer zugänglich ist, betrachtet man stattdessen meist die Arbeitstemperatur  $T_s$  am

Lötkontakt, dem sogenannten Solder point, und macht dann eine Abschätzung über die Differenz zur Sperrschichttemperatur. Dieser Korrekturwert wird als  $T_c$  bezeichnet, er ergibt sich aus dem Wärmewiderstand  $R_{th}$  der LED, sowie der Vorwärtsspannung  $U_F$  und dem Vorwärtsstrom  $I_F$ . Hier zur Veranschaulichung eine Beispielrechnung [1] für eine 4W-LED bei  $25^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur:

$$T_c = R_{th} \times I_F \times U_F = 6^\circ\text{C/W} \times 0,56 \text{ A} \times 9,3 \text{ V} = 31,25^\circ\text{C} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$T_{smax} = T_{jmax} - T_c = 120^\circ\text{C} - 31,24^\circ\text{C} = 88,75^\circ\text{C} \quad (\text{Gl. 2})$$

Das bedeutet, dass eine für  $T_{jmax} = 120^\circ\text{C}$  spezifizierte LED höchstens bei einer am Lötkontakt gemessenen maximalen Arbeitstemperatur  $T_{smax} = 88,75^\circ\text{C}$  betrieben werden darf – besser aber  $30\text{--}35^\circ\text{C}$  darunter.

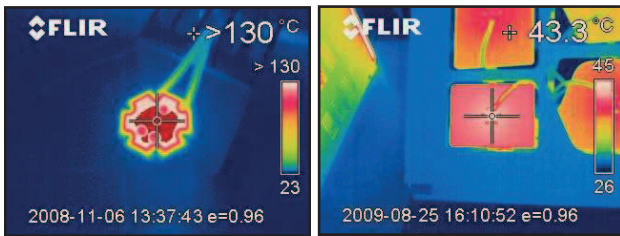
Steigt bei LEDs mittlerer Helligkeitsgruppen die Arbeitstemperatur  $T_s$  von  $25^\circ\text{C}$  auf ca.  $85^\circ\text{C}$ , fällt die mittlere Lebensdauer bereits auf ein Fünftel, also von ca. 50.000 auf nur mehr 10.000 Betriebsstunden. Im grenzwertigen Einsatz bei  $T_s \approx 150^\circ\text{C}$  und  $T_j \approx 175^\circ\text{C}$  bricht die mittlere Lebensdauer sogar auf nur noch 100 Betriebsstunden ein [2].

## Thermischer Widerstand einer LED

Ein wichtiger Parameter bei der Entwicklung des thermischen Managements einer LED ist ihr Wärmewiderstand  $R_{th}$ , der unabhängig von den Umgebungsbedingungen angegeben wird. Er nimmt ab, je größer die Kontaktfläche  $A$ , je höher die thermische Leitfähigkeit  $k$  und je kleiner die Schichtdicke  $d$  ist:

$$R_{th} = d/(k \cdot A) \quad (\text{Gl.3})$$

Der thermische Gesamtübergangswiderstand  $R_{th \text{ Total}}$  wird meist in der Einheit  $\text{K/W}$  (oder  $^\circ\text{C/W}$ ) angegeben und setzt sich wie folgt zusammen:  $R_{th \text{ Total}} = R_{th \text{ JS}} + R_{th \text{ SB}} + R_{th \text{ BA}}$  (Gl.4). Dabei stehen die Indizes J, S, B und A für Sperrschicht (junction), Lötstelle (solder point), Grundplatte (board) und Umgebung (ambient).



Links das Wärmebild einer Ostar-LED (4W), 10 sek. ohne Kühlkörper, rechts nach 10-minütigem Betrieb mit Kühlkörper und Wärmeleitmaterial.

Der Entwickler muss also nicht nur den Wärmeübergangswiderstand  $R_{th\,JS}$  innerhalb der LED und  $R_{th\,BA}$  von der LED zur Umgebung kennen, sondern auch den quasi in der Mitte des Aufbaus liegenden thermischen Kontaktwiderstand  $R_{th\,SB}$  zwischen Lötstelle und Platine. Um diesen Widerstand möglichst gering zu halten und unabhängig von der Oberflächen-Bearbeitungsqualität eine optimale Kontaktierung zu gewährleisten, wird zwischen Grundplatte und Wärmesenke eine dünne Schicht eines sehr gut wärmeleitenden Thermal-Interface-Mate-

rials (TIM) eingebracht. Werden diese Parameter berücksichtigt, kann die Arbeitstemperatur eingehalten werden, die Sperrschichttemperatur wird nicht überschritten.

Häufig treten im Aufbau zudem baugruppenbezogene Abweichungen auf, zu deren Berücksichtigung Korrekturfaktoren ermittelt oder berechnet werden müssen. Diese Werte müssen in den thermischen Kontaktwiderstand mit einbezogen werden. Sie haben wesentlichen Einfluss auf die Wärmeleitung zwischen den beteiligten Oberflächen. Diese weisen immer eine Rauheit auf, die in den Unebenheiten eingeschlossene Luft verschlechtert mit ihrem sehr geringen thermischen Leitwert den Wärmeübergang und verringert die effektive Kontaktfläche. Besonders berücksichtigt werden sollten dabei größere Gesamtfächen und starre Geometrien. Der thermische Kontaktwiderstand ist also abhängig von der Fläche, der Oberflächengüte, der Ebenheit, der mechanischen Anpassungsfähigkeit des Wärmeleitmaterials und dem Druck. In der Praxis sind in der Regel die Abmessungen der Kontaktflächen durch die Komponentengehäuse vorgegeben. Die Mindestdicke des Wärmeleitmaterials ist begrenzt hinsichtlich seiner Durchschlagfestigkeit und durch Unebenheiten oder Grate, die ausgeglichen werden müssen.

## Übersicht verschiedener Wärmeleitmaterialien

Nimmt man die Rückseite einer Ostar-LED mit einer Wärmebildkamera auf, dann zeigt sich ohne gezielte Entwärmung nach 10 Sekunden eine Situation wie im Bild links auf S. 75, die LED überhitzt auf 130°C. Im Bild rechts wird dagegen das Ergebnis einer optimalen Wärmeabfuhr mit Wärmeleitmaterial und Kühlkörper veranschaulicht. Im Folgenden werden verschiedene wärmeleitende Materialien vorgestellt.

## Graphitfolien

Graphit (Kohlenstoff) hat eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit, sowie bei einem Reinheitsgrad von 97 bis 99 Prozent eine hohe Temperaturbeständigkeit bis 450 °C; Hochleistungskohlenstoffe weisen sogar eine Temperaturfestigkeit bis 650 °C

## IMPRESSUM

**Herausgeber** Kilian Müller

**Redaktion** Chefredaktion: Michael Brunn (verantwortlich, -17); Redaktion: Kathrin Veigel (-14),

**Freie Mitarbeiter** Roland R. Ackermann, Dominik Gierke, Miriam Leunissen-Weikl, Olaf Meier, Michael Suck; eue.redaktion@publish-industry.net

**Anzeigen** Anzeigenleitung: Saskia Albert (verantwortlich, -50); Media Sales: Nadine Kulla (-42); sales@publish-industry.net; Anzeigenpreisliste: vom 01.01.2011

**Disposition** Josephine Ebert (-32); dispo@publish-industry.net

**Marketing & Vertrieb** Anja Müller

**Herstellung** Veronika Blank

**Verlag** publish-industry Verlag GmbH  
Nymphenburger Straße 86, 80636 München, Germany  
Tel. +49.(0)89.50 03 83-0, Fax +49.(0)89.50 03 83-10  
info@publish-industry.net, www.publish-industry.net

**Geschäftsführung** Kilian Müller, Frank Wiegand

**Abo-/Einzelvertrieb** Babette Schmidt (-48); vertrieb@publish-industry.net

**Abonnement** Das Abonnement enthält die regelmäßige Lieferung der E&E (derzeit 9 Ausgaben pro Jahr inkl. redaktioneller Sonderhefte und Messe-Taschenbücher) sowie als Gratiszugabe das jährliche, als Sondernummer erscheinende E&E-Kompendum.

**Jährlicher Abonnementpreis**

Ein JAHRES-ABONNEMENT der E&E ist zum Bezugspreis von 57,60 € inkl. Porto/Versand innerhalb Deutschland und MwSt. erhältlich (Porto Ausland: EU-Zone zzgl. 11,25 € pro Jahr, Europa außerhalb EU zzgl. 33,75 € pro Jahr, restliche Welt zzgl. 67,50 € pro Jahr). Jede Nachlieferung wird zzgl. Versandkosten und MwSt. zusätzlich berechnet. Im Falle höherer Gewalt erlischt jeder Anspruch auf Nachlieferung oder Rückerstattung des Bezugsgeldes. Studentenabonnements sowie Firmenabonnements für Unternehmen, die E&E für mehrere Mitarbeiter bestellen möchten, werden angeboten. Fragen und Bestellungen richten Sie bitte an vertrieb@publish-industry.net.

**Gestaltung & Layout** Schmucker-digital, Hohenlindner Str. 22, 85622 Feldkirchen, Germany

**Druck** Firmengruppe APPL, sellier druck GmbH, Angerstraße 54, 85354 Freising, Germany

**Nachdruck** Alle Verlags- und Nutzungsrechte liegen beim Verlag. Verlag und Redaktion haften nicht für unverlangt eingesandte Manuskripte, Fotos und Illustrationen. Nachdruck, Vervielfältigung und Online-Stellung redaktioneller Beiträge nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags.

**Mitglied der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern e.V. (IWV), Berlin**



ISSN-Nummer 1869-2117

Postvertriebskennzeichen 30771

Gerichtsstand München

So erreichen Sie uns:

Wenn es um Ihr Abonnement geht

Babette Schmidt; vertrieb@publish-industry.net

Bei Fragen an die Redaktion

Tel. +49.(0)89.50 03 83-17;

eue.redaktion@publish-industry.net; www.EuE24.net

Der Versand der E&E erfolgt CO<sub>2</sub>-neutral.



Der CO<sub>2</sub>-neutrale Versand mit der Deutschen Post

aus. Es ist besser als die meisten anderen Materialien zur Entwärmung von LEDs geeignet. Da Graphitfolien aus kompaktierten Flocken bestehen, ist ihre Wärmeleitung anisotrop: Sie bewirken eine besonders schnelle Wärmespreizung in XY-Richtung, aber auch eine effiziente Wärmeableitung in Z-Richtung. Graphitfolien sind allerdings nicht elektrisch isolierend und können nur minimale Oberflächenunebenheiten wie leichte Kratzer ausgleichen. Voraussetzung für einen optimalen Wärmefluss ist daher eine entsprechend hohe Oberflächengüte.

## Polyimidfolien

Polyimidfolien werden vorwiegend zur elektrischen Isolation in Bauelementen eingesetzt. Sie weisen eine sehr hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit auf und sind zugleich mechanisch zäh und flexibel. Trotz ihrer relativ geringen Wärmeleitfähigkeit können sie bei geringen Dicken von 25 bis 125  $\mu\text{m}$  aufgrund ihres niedrigen Wärmeübergangswiderstandes auch als Wärmeleitmaterial eingesetzt werden. Voraussetzung ist hier jedoch eine sehr gute Oberflächenbearbeitung, da die feste Struktur der Polyimidfolie keine Hohlräume ausgleicht. Durch ihre Stabilität sind sie hervorragend als Substratträger zur Beschichtung mit wärmeleitendem Silikon sowie mit phasenwechselndem Wärmeleitwachs geeignet.

## Phasenwechselmaterialien

Bei Phasenwechselmaterialien handelt sich hierbei um eine spezielle Wärmeleitwachsmischung, die bei 50 bis 60  $^{\circ}\text{C}$  ihre Konsistenz von fest in weich verändert, dabei eine Volumenexpansion um ca. 10 Prozent vollzieht und die natürlichen Rauheiten der Oberflächen benetzt. Durch diesen Vorgang werden alle unerwünschten Lufteinschlüsse ausgetrieben, was eine hervorragende thermische Verbindung garantiert. Bei Unterschreiten der Temperatur kehrt das Medium wieder in den festen Zustand zurück, ohne dass sich die Verbindung der Kontaktoberflächen verschlechtert. Mit dieser Methode wird in der Regel der geringstmögliche Wärmeübergangswiderstand erzielt. Je nach Anbieter sind diese phasenwechselnden Mate-

rialien in unterschiedlichen Anlieferformen erhältlich. Es gibt sie sowohl in der ursprünglichen Folienform, deren Verarbeitung relativ aufwändig ist, als auch beidseitig auf einem sehr dünnen Substratträger aufgebracht. Dieser ist je nach Anforderung elektrisch isolierend oder elektrisch leitend.

## Keramiken

Keramische Isolierscheiben bestehen vorwiegend aus Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid. Die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Isolation der Keramikscheiben sind hervorragend. Zum Ausgleich von Unebenheiten der Kontaktoberflächen ist auch hier eine geeignete plastische Zwischen-



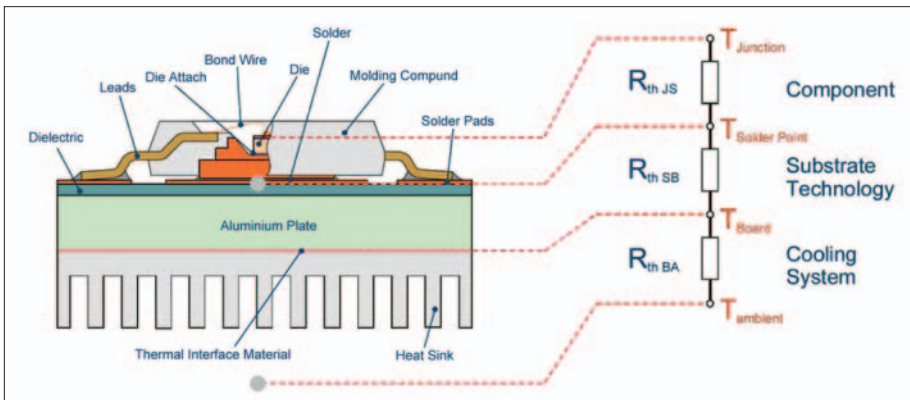
**Hochwärmeleitendes  
Phase Change Material**  
mit silikonfreiem Crayotherm®  
Wärmeleitwachs

- Schnelle, saubere und prozeßsichere Montage
- Geringste Wärmeübergangswiderstände bis zu 0,009  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- Garantierte Schichtdicken
- Aktive Benetzung der Kontaktwiderstände durch volumetrische Expansion um ca. 15-20%
- Eigene Fertigung ermöglicht uns die schnelle und präzise Herstellung aller kundenspezifischen Formen sowie Muster und Prototypen

**Kunze**  
The Heatmanagement Company

... die beste Alternative zur Wärmeleitpaste.

Kunze Folien GmbH · Postfach 1562 · D-82036 Oberhaching  
Tel + 49 (0) 89 66 66 82 - 0 · Fax + 49 (0) 89 66 66 82 - 10  
sales@heatmanagement.com · [www.heatmanagement.com](http://www.heatmanagement.com)



Aufbau einer typischen LED.

schicht erforderlich. Typischerweise können die Keramik-scheiben von 0,5 bis 5 mm verwendet werden.

## Elastomere

Das gebräuchlichste Elastomer ist Silikonkautschuk. Neben hoher elektrischer Durchschlagfestigkeit und guter chemischer Stabilität verfügt dieses Basismaterial über eine hohe Temperaturbeständigkeit. Die thermische Leitfähigkeit bei gleichzeitig hoher Isolationsfestigkeit wird bei Silikon durch Beimischung thermischer Keramiken, wie Silica,  $Al_2O_3$ , Aluminium- bzw. Bornitrid erreicht. Je höher der Anteil der verwendeten Keramik ist, desto besser ist die Wärmeleitfähigkeit – allerdings steigt damit auch der Härtegrad des Materials.

Silikon ist hoch isolationsfest, alterungsbeständig, sehr weich und anpassungsfähig. Es weist jedoch ein geringes Ausgasen auf, was in manchen Applikationen nicht erwünscht ist. Durch seine Weichheit kann es relativ leicht mechanisch bearbeitet werden, was auch die Herstellung komplexer Geometrien ermöglicht. Das Spektrum dieser Folien weist üblicherweise eine maximale Wärmeleitfähigkeit von 1 bis 5 W/ m x K auf, in Sonderfällen auch 10 bis 15 W/ m x K. Sie sind erhältlich in einer Dicke von 0,1 bis 15 mm. Zur Erhöhung der mechanischen Stabilität können sie glasfaserverstärkt sein oder auf einen Substratträger aufgebracht werden. Zur Vereinfachung der Montage werden die Materialien auch einseitig oder beidseitig haftend angeboten. Folien dicker als 0,5 mm werden in der Regel als Gap Filler genutzt, durch deren weiche Konsistenz Toleranzen und Unebenheiten wärmetechnisch gut ausgeglichen werden. Die Kompressionsrate beträgt hierbei maximal 40 Prozent, je nach Härte und Füllungsgrad. Durch richtige Wahl

des Anpressdrucks lässt sich somit der geringstmögliche Wärmeübergangswiderstand erreichen.

## Fazit

Die rasante Entwicklung und die stetig wachsende Leistungsdichte von Hochleistungs-LEDs stellt viele Hersteller und Anwender vor neue Herausforderungen im Wärmemanagement. Damit Halbleiter nicht irreparabel in Mitleidschaft gezogen werden, ist es wünschenswert, bei der Entwicklung und Anwendung von LEDs von Beginn an Fachleute des thermischen Managements mit einzubeziehen, um

- die funktionellen und Zuverlässigkeitsanforderungen zu kennen,
- die Stressbedingungen für die TIM-Folie zu diskutieren,
- die topographischen Verhältnisse, wie Wölbung und Oberflächenrauigkeit, zu benennen.

Dann kann die optimale TIM-Folie gewählt und vorgeschlagen werden, so dass deren Eigenschaften in die Simulationsrechnungen einfließen können, was sich letztlich positiv auf die Lebensdauer und Betriebssicherheit der LED auswirken wird. LED-Hersteller tun dies bereits und nehmen die Thematik der Entwärmung sehr ernst. Dabei sind auch Fragestellungen nach dem Kosten-/Nutzenverhältnis, dem zur Verfügung stehenden Platz und der Anwendungseffizienz zu klären. □

## Literatur

- [1] Citizen Electronics Co.,LTD CITED, CL-L251-C4N
- [2] R. Huber, LED-Kühlung, Tagung Elektronikühlung, HdT Essen, 27.02.2008

> [MORE@CLICK.EE61804](mailto:MORE@CLICK.EE61804)