BENUTZERHANDBUCH

UG012 | Phasenveränderliches Material – WE-PCM

Sebastian Mirasol-Menacho

1. EINFÜHRUNG ZU WE-PCM

Das phasenveränderliche Material WE-PCM stellt eine Alternative zu Wärmeleitpasten und Fetten dar, die einfacher zu handhaben ist und eine elektrische Isolierung zwischen den Kontaktflächen gewährleistet. Aufgrund seiner wachsartigen Beschaffenheit bleibt es bei Raumtemperatur ein formbarer Feststoff; sobald es jedoch seine Erweichungstemperatur von 45 bis 60 °C erreicht, geht das Pad in die flüssige Phase über. Nach dem Übergang kann es mikroskopische Unregelmäßigkeiten in den Kontaktflächen ausfüllen und eine dünne Klebefuge erzielen, die mit der von Wärmeleitpaste vergleichbar ist.

Einer der entscheidenden Vorteile von WE-PCM ist es, dass das Material eine gleichbleibende Wärmeleistung über einen breiten Bereich von Betriebsbedingungen bietet.

Anders als herkömmliche Wärmeleitpasten, die mit der Zeit austrocknen oder abfließen können, behält WE-PCM seine Integrität und Wirksamkeit während des gesamten Lebenszyklus bei, da es mit den Betriebszyklen des Geräts zwischen den Phasen wechselt. Diese Stabilität gewährleistet ein zuverlässiges Wärmemanagement, das für die Langlebigkeit und Leistungsfähigkeit elektronischer Bauteile von entscheidender Bedeutung ist.

Darüber hinaus ermöglicht WE-PCM ein sauberes und unkompliziertes Anbringen. Da das Material bei Raumtemperatur fest ist, lässt es sich leicht handhaben und auftragen, ohne dass es zu Verschmutzungen kommt, wie dies bei flüssigen Wärmeleitpasten häufig der Fall ist. Nach dem Aufbringen passt sich das Material aufgrund seiner phasenveränderlichen Eigenschaften perfekt an Oberflächenunebenheiten an und gewährleistet so einen optimalen Wärmekontakt und minimalen Wärmewiderstand.

2. MATERIALSPEZIFIKATIONEN

Das phasenveränderliche Material besteht aus vier Hauptkomponenten, wie in Abbildung 1 dargestellt.

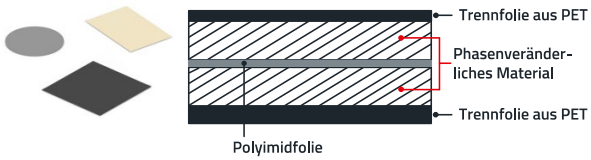


Abbildung 1: WE-PCM im Querschnitt.

- **Trennfolie aus PET:**

Schutz- und Trägerfolie auf der Oberseite, die dafür sorgt, dass keine Fremdkörper an der klebrigen Oberfläche des phasenveränderlichen Materials haften bleiben. Sie sollte nach dem Aufbringen des Pads entfernt werden.

- **Phasenveränderliches Material:**

Hauptbestandteil des Produkts, der eine Kontaktfläche mit geringem Wärmewiderstand gewährleistet.

- **Polyimidfolie:**

Diese ist in den Standardteilen für 1,6 W/m·K und 5 W/m·K enthalten und sorgt für eine elektrische Isolierung zwischen den Kontaktflächen.

Materialeigenschaften			
Wärmeleitfähigkeit	1,6 W/m·K	3 W/m·K	5 W/m·K
Farbe	Gelb	Grau	Blau
Stärke	0,2 mm		
Spezifisches Gewicht	1,8 g/cm³	2,7 g/cm³	2,3 g/cm³
Betriebstemperatur	–40 bis +130 °C	–40 bis +130 °C	–40 bis +130 °C
Phasenwechseltemperatur	55 °C		

Tabelle 1: Materialeigenschaften von WE-PCM.

Thermische Eigenschaften (bei 34,5 N/cm² Druck)			
Wärmeleitfähigkeit	1,6 W/m·K	3 W/m·K	5 W/m·K
Wärmeimpedanz	2,91 K·cm²/W	1,03 K·cm²/W	0,77 K·cm²/W

Tabelle 2: Thermische Eigenschaften von WE-PCM.

Elektrische Eigenschaften			
Wärmeleitfähigkeit	1,6 W/m·K	3 W/m·K	5 W/m·K
Durchschlagspannung	5 kV	-*	3 kV
Spezifischer Durchgangswiderstand	10^{12} Ω·cm	10^{14} Ω·cm	10^{7} Ω·cm
*Da die Variante für 3 W/m·K ohne Polyimidschicht geliefert wird, ist die elektrische Isolierung zwischen den Kontaktflächen nicht gewährleistet.			

Tabelle 3: Elektrische Eigenschaften von WE-PCM.

Die Eigenschaften der WE-PCM-Pads aus phasenveränderlichem Material lassen sich in drei Kategorien einteilen: Materialeigenschaften sowie thermische und elektrische Eigenschaften. Diese sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgeführt.

3. KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

Phasenveränderliche Materialien werden auf die gleiche Weise wie alle anderen Füllstoffe entwickelt, wobei die Wärmewiderstandsformel zur Validierung unseres Konzepts verwendet wird:

$$R = \frac{L}{\lambda \cdot A} \qquad (1)$$

Hierbei gilt:

- L ist die Stärke der Klebefuge, also die Stärke des phasenveränderlichen Materials.
- λ ist die Wärmeleitfähigkeit des Materials.
- A ist die Fläche der Kontaktfläche.

Die Hauptvorteile phasenveränderlicher Materialien als Alternative zu Wärmeleitpasten sind die gute Handhabbarkeit und Zuverlässigkeit:

- **Benutzerfreundlichkeit**: Das phasenveränderliche Material kann bei Raumtemperatur wie jedes andere Wärmeleitpad auf jede Oberfläche aufgebracht werden, ohne dass eine Dosieranlage erforderlich wäre.
- **Garantie der elektrischen Isolierung**: Wärmeleitpaste ist zwar ebenfalls nicht leitend, jedoch entsteht keine physische Barriere zwischen den Kontaktflächen. Wird ungleichmäßiger Druck auf die Kühlbaugruppe ausgeübt, kann die Paste herausgedrückt werden und es kann zum elektrischen Kontakt kommen. WE-PCM hingegen bietet durch die dünne Polyimidfolie eine physische Barriere.
- **Langzeitstabilität**: Phasenveränderliche Materialien sind beständiger gegen ein Herauspumpen als Pasten. Der Hauptvorteil des Phasenveränderungseffekts besteht darin, dass beim PCM die Übergänge zwischen festem und flüssigem Zustand mit den Stromzyklen des Geräts synchronisiert sind, wodurch die Bildung von Luftspalten innerhalb des TIM (Thermal Interface Material) vermieden wird. Wenn das Material flüssig wird, werden etwaig entstehende Lücken durch Kapillarwirkung gefüllt.

Im Hinblick auf die Pad-Form wird empfohlen, einen Abstand von 2 mm zum Profil der Wärmequelle einzuhalten, um eine Ausdehnung beim Phasenwechsel zu ermöglichen. Dadurch wird verhindert, dass phasenveränderliches Material über die Grenzfläche hinaus austritt.

3.1 Design mit WE-PCM

Betrachten wir das folgende Szenario: Wir möchten ein FPGA (Field Programmable Gate Array) kühlen. Wir wissen zwar nicht genau, wie viel Verlustleistung in Form von Wärme abgeleitet werden muss, aber die Ableitung muss schnellstmöglich erfolgen. Uns ist außerdem bekannt, dass

ein Kühlkörper verwendet wird, weshalb ein möglichst dünner Spalt benötigt wird.

Es gibt mehrere Tools von FPGA-Herstellern, mit denen sich genau abschätzen lässt, wie viel Leistung unsere Konstruktion in Form von Wärmeenergie abgibt. Für unsere Konstruktion gehen wir von den folgenden Eigenschaften aus, die wir den Datenblättern des FPGA und des Kühlkörpers sowie unseren definierten Konstruktionsparametern entnehmen:

Parameter	Wert
Leistung	20 W
Kontaktbereich	4 cm²
Max. Umgebungstemperatur (T_A)	50 °C
Min. Sperrschichttemperatur (T_J)	85 °C
Luftdurchsatz	400 LFM
Wärmewiderstand des Kühlkörpers R_{HS}	1,35 °C/W
Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Gehäuse R_{JC}	0,13 °C/W
Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Platine R_{JPCB}	7,4 °C/W

Tabelle 4: Eigenschaften laut FPGA-Datenblatt.

Dem FPGA-Datenblatt können wir entnehmen, dass der Wärmewiderstand vom Chip (Siliziumkern des integrierten Schaltkreises) zum Gehäuse (R_{JC}) fast zwei Größenordnungen niedriger ist als vom Chip zur Leiterplatte (R_{JPCB}). Daher können wir davon ausgehen, dass der Großteil der Wärme vom FPGA über den Kühlkörper, der mit dem Gehäuse unserer Wärmequelle verbunden ist, an die Umgebung abgegeben wird.

Die folgenden Abbildungen zeigen das gesamte Wärmesystem:

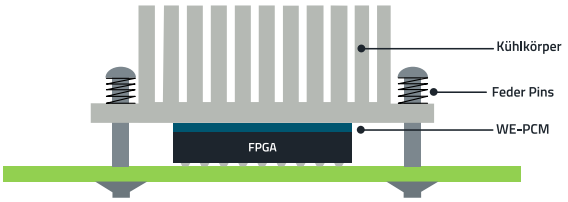
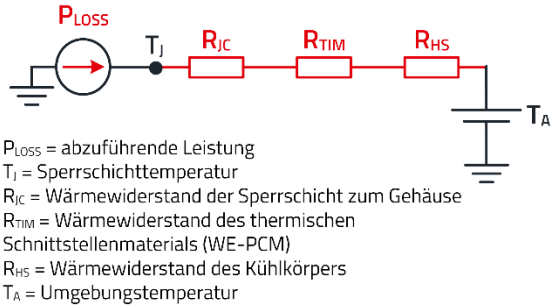


Abbildung 2: FPGA mit Thermal Interface Material (WE-PCM) und Kühlkörper



P_{LOSS} = abzuführende Leistung
T_J = Sperrschichttemperatur
R_{JC} = Wärmewiderstand der Sperrschicht zum Gehäuse
R_{TIM} = Wärmewiderstand des thermischen Schnittstellenmaterials (WE-PCM)
R_{HS} = Wärmewiderstand des Kühlkörpers
T_A = Umgebungstemperatur

Abbildung 3: Ersatzschaltbild der Wärmeableitung

$$T_J = T_A + P_{LOSS} \cdot (R_{JC} + R_{TIM} + R_{HS}) \qquad (2)$$

Sobald wir die maximale Umgebungstemperatur (T_A), bei der unsere Konstruktion betrieben werden soll, und eine Zieltemperatur für den Chip (T_J) bestimmt haben, können wir R_{TIM} berechnen, um den maximalen Wärmewiderstand zu ermitteln, den unser Grenzflächenmaterial zur Erreichung unseres Konstruktionsziels zulässt.

$$85\,°C = 50\,°C + 20\,W\left(0.13\,\frac{°C}{W} + R_{TIM} + 1.35\,\frac{°C}{W}\right) \qquad (3)$$

$$R_{TIM} = 0.27\,\frac{°C}{W}$$

Da wir nun den angestrebten Wärmewiderstand für das Grenzflächenmaterial kennen, können wir ihn mit den Werten für die Wärmeimpedanz aus der Tabelle der thermischen Eigenschaften in Kapitel 2 vergleichen. Die Wärmeimpedanz und die Wärmeleitfähigkeit von WE-PCM werden in Tabelle 5 erneut aufgeführt.

Wärmeleitfähigkeit	Wärmeimpedanz
1,6 W/m·K	2,91 K·cm²/W
3 W/m·K	1,03 K·cm²/W
5 W/m·K	0,77 K·cm²/W

Tabelle 5: Wärmeleitfähigkeit und -impedanz von WE-PCM.

Bei einer Kontaktfläche von 4 cm² können wir den Wärmewiderstand für WE-PCM mit 3 W/m·K wie folgt berechnen:

$$\frac{1.03\,\frac{°C \cdot cm^2}{W}}{4\,cm^2} = 0.26\,\frac{°C}{W} \qquad (4)$$

Bei diesen Werten bietet WE-PCM mit 3 W/m·K bei einem angewandten Druck von 34,5 N/cm² den TIM-Wärmewiderstand, den wir benötigen, um unsere thermischen Vorgaben zu erfüllen. Wenn wir die maximale Temperatur des Chips besser abfedern wollten, könnten wir

untersuchen, wie sich das phasenveränderliche Material bei höheren Druckkräften verhält. Sollte dies nicht ausreichen, könnten wir auf ein leistungsstärkeres Material wie WE-PCM mit 5 W/m·K ausweichen.

4. WÄRMELEISTUNG

Phasenveränderliche Materialien werden in Anwendungen eingesetzt, bei denen in sehr kurzer Zeit viel Wärmeenergie abgeführt werden muss. In seiner flüssigen Phase kann WE-PCM selbst mikroskopisch kleinste Lücken füllen, um eine möglichst große Kontaktfläche zwischen den Oberflächen zu gewährleisten. Zudem wird so sichergestellt, dass das phasenveränderliche Material einen möglichst dünnen Spalt aufweist.

Abbildung 4 zeigt die Wärmeimpedanz von WE-PCM in Abhängigkeit von der Druckkraft.

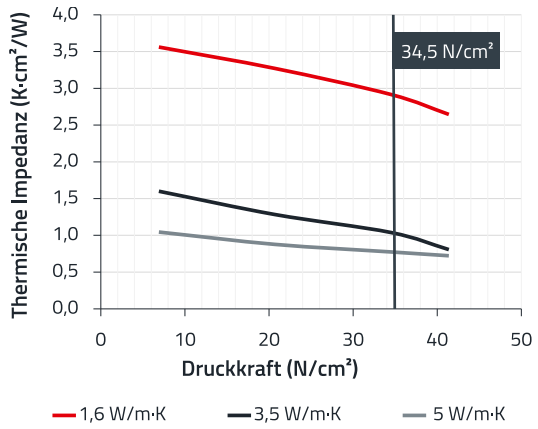


Abbildung 4: Wärmeleistung von WE-PCM.

5. AUFBAU FÜR DIE WÄRMEMESSUNG

Alle in dieser Richtlinie genannten thermischen Parameter wurden intern gemäß dem ASTM-Standardtestverfahren D5470 für die Wärmeleitfähigkeitseigenschaften von wärmeleitenden elektrischen Isoliermaterialien ermittelt.

Die Norm legt den Schwerpunkt auf stabile Wärmeübertragungsbedingungen. Während des Tests wird eine konstante Wärmequelle auf der einen Seite des TIM-Probekörpers angelegt, während eine Kühlvorrichtung für eine Temperaturdifferenz sorgt, um einen Wärmefluss durch das zu testende Material zu erzeugen. Diese Anordnung ermöglicht die Messung der Wärmeleitfähigkeit und -impedanz unter verschiedenen Temperatur- und mechanischen Bedingungen.

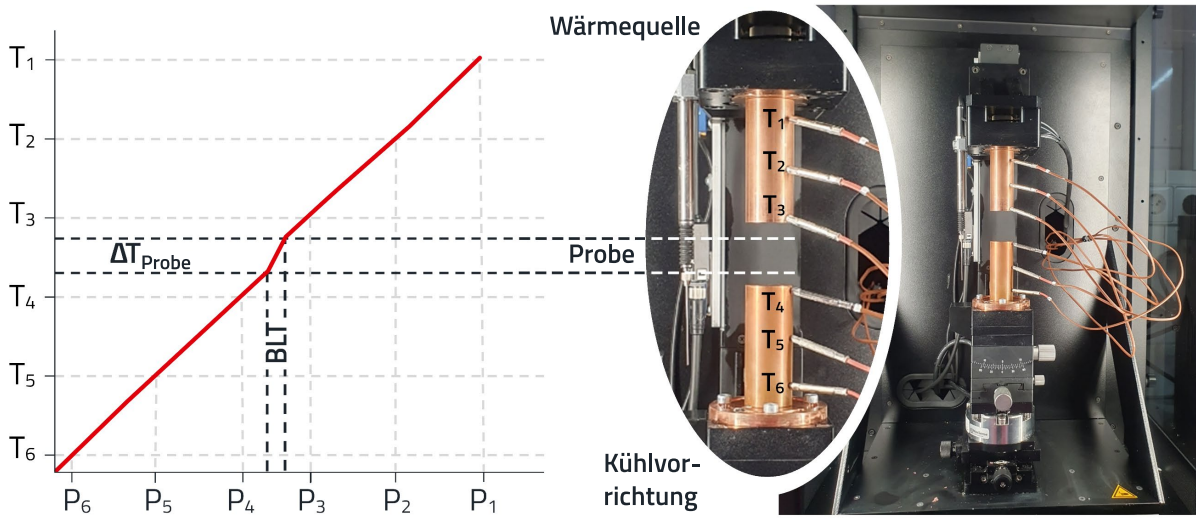


Abbildung 5: Testaufbau nach ASTM D5470.

6. ANBRINGUNG UND HANDHABUNG

Die korrekte Anbringung des Pads aus phasenveränderlichem Material ist entscheidend für eine optimale Wärmeleistung und langfristige Zuverlässigkeit der elektronischen Geräte. Wesentlich ist, dass die Kühlbaugruppe mit Federn, Klammern oder einer anderen mechanischen Befestigungsmethode, die einen konstanten Druck ausübt, an der Wärmequelle befestigt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass ein effektiver thermischer Übergang entsteht, wenn das Pad zum ersten Mal die Phase wechselt.

Um eine korrekte Anwendung zu gewährleisten, werden die folgenden Schritte empfohlen:

1. Die Oberflächen von Komponente und Kühlkörpern müssen sauber und trocken sein. Es wird empfohlen, Partikel auf den Kontaktflächen mit einem mit Isopropylalkohol getränkten, fusselfreien Tuch oder Tupfer zu entfernen.
2. Nehmen Sie das Pad vom Träger und legen Sie es ohne Entfernen der Schutzfolie auf eine der Kontaktflächen. Aufgrund seiner klebrigen Beschaffenheit bleibt es während der Montage in Position.
3. Wenn die Kühlbaugruppe zur Montage bereit ist, entfernen Sie die Trennfolie und befestigen Sie die Kühllösung mit einer Methode zur Montage unter konstantem Druck.
4. Stellen Sie sicher, dass das Gerät die Phasenwechseltemperatur erreicht, dass das Pad den Übergang durchläuft und dabei unter konstantem Druck steht.

Schneiden

WE-PCM kann mit jedem scharfen Gegenstand in Form geschnitten werden. Vom Laserschneiden wird abgeraten, da hierbei die Kanten schmelzen und möglicherweise mit den Trägerfolien verkleben können.

Nacharbeit

Sobald phasenveränderliche Materialien in die flüssige Phase übergegangen sind, kann diese Lösung nicht mehr nachbearbeitet werden. Wenn Sie die Kühlbaugruppe von der Wärmequelle entfernen, wird das WE-PCM zerstört, sodass eine Oberflächenreinigung und das Anbringen eines neuen Pads erforderlich sind.

Entfernen von WE-PCM

Das Entfernen des phasenveränderlichen Materials von einer Oberfläche ist ein anspruchsvoller Vorgang. Um Schäden an den Kontaktflächen oder elektronischen Bauteilen zu vermeiden, sollten Sie das Material mit einer Heißluftpistole erwärmen und die Oberfläche mit einem fusselfreien Tuch und Isopropylalkohol reinigen.

Wenn ein Abkratzen erforderlich ist, verwenden Sie ein Holz- oder Kunststoffwerkzeug, um das gesamte auf den Kontaktflächen verbliebene Material vorsichtig abzuschaben.

WICHTIGER HINWEIS

Das Benutzerhandbuch basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE" genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.

Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt.

Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS

Application Notes
www.we-online.com/app-notes

REDEXPERT Design Plattform
www.we-online.com/redexpert

Toolbox
www.we-online.com/toolbox

Produkt Katalog
www.we-online.com/produkte

CONTACT INFORMATION

appnotes@we-online.com
Tel. +49 7942 945 - 0

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 · 74638 Waldenburg
Germany
www.we-online.com