

Kälte im Griff: Präzise Wärmeleitfähigkeitsmessung von Silikon-TIMs bei tiefen Temperaturen

Dorothea Stobitzer und Fabia Beckstein, Applications Laboratory Selb

Einleitung

„Silikonbasierte Gap Pads“ werden häufig als thermische Interface-Materialien, sogenannte Thermal Interface Materials (TIMs), in Elektronikkomponenten, Leistungsmodulen und Batteriesystemen eingesetzt. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, Lücken zwischen wärmeerzeugenden Bauteilen und Kühlkörpern zu überbrücken und gleichzeitig Oberflächenrauheiten sowie mechanische Toleranzen auszugleichen. Neben der mechanischen Anpassungsfähigkeit ist die Wärmeleitfähigkeit des Pads eine der entscheidenden Kenngrößen für die Bewertung seiner Eignung in einem thermischen Managementsystem.

Methode und Messbedingungen

Um aussagekräftige Wärmeleitfähigkeitswerte zu erhalten, insbesondere auch bei tiefen Temperaturen, wird die LFA-Messung idealerweise mit einer DSC-basierten Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität ergänzt. Die Kombination aus LFA-, DSC- und Dichtedaten liefert ein vollständiges und zuverlässiges Bild der thermischen Leistungsfähigkeit des Materials.

In dieser Untersuchung wurde die Temperaturleitfähigkeit mittels Laser Flash Analyse mit der NETZSCH LFA 717 HyperFlash® bestimmt. Die spezifische Wärmekapazität (c_p) wurde separat mit der NETZSCH DSC 204 **F1 Phoenix**® gemessen. Zusammen mit der Dichte der Probe wurde daraus die Wärmeleitfähigkeit berechnet nach:

$$\lambda = \alpha \cdot c_p \cdot \rho$$

mit:

λ = Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)

α = Temperaturleitfähigkeit in mm²/s

c_p = spezifische Wärmekapazität in J/(g·K)

ρ = Dichte in g/cm³

Die Messungen wurden unter Stickstoffatmosphäre durchgeführt. Die DSC-Messung diente zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität sowie zur Erfassung energetischer Übergänge des Silikonpads. Insgesamt wurden drei Proben untersucht; für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit wurden die gemittelten c_p -Werte verwendet. Die LFA-Messung lieferte die temperaturabhängige Temperaturleitfähigkeit des Materials. Die Messbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Messbedingungen für DSC und LFA

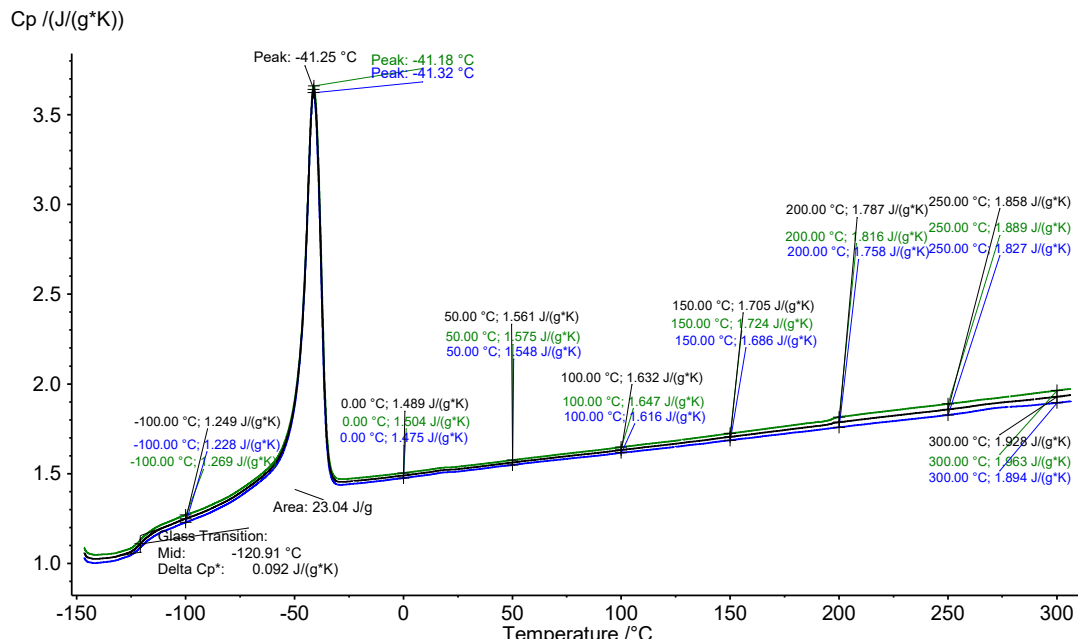
Methode	DSC	LFA
Gerät	DSC 204 F1 Phoenix ®	LFA 717 HyperFlash®
Atmosphäre	Stickstoff	Stickstoff
Temperaturprogramm	-150 °C bis 310 °C	-100 °C bis 300 °C
Heizrate	10 K/min	10 K/min
Probenmasse	Probe 1: 11,205 mg; Probe 2: 11,224 mg	-
Probenabmessungen	Ø 4 mm, 1 mm dick	20 mm x 20 mm x 0,8 mm
Sensor/Thermoelement	DSC 204 F1 t-Sensor, Typ E	MCT, Typ K

APPLICATIONNOTE Kälte im Griff: Präzise Wärmeleitfähigkeitsmessung von Silikon-TIMs bei tiefen Temperaturen

Ergebnisse

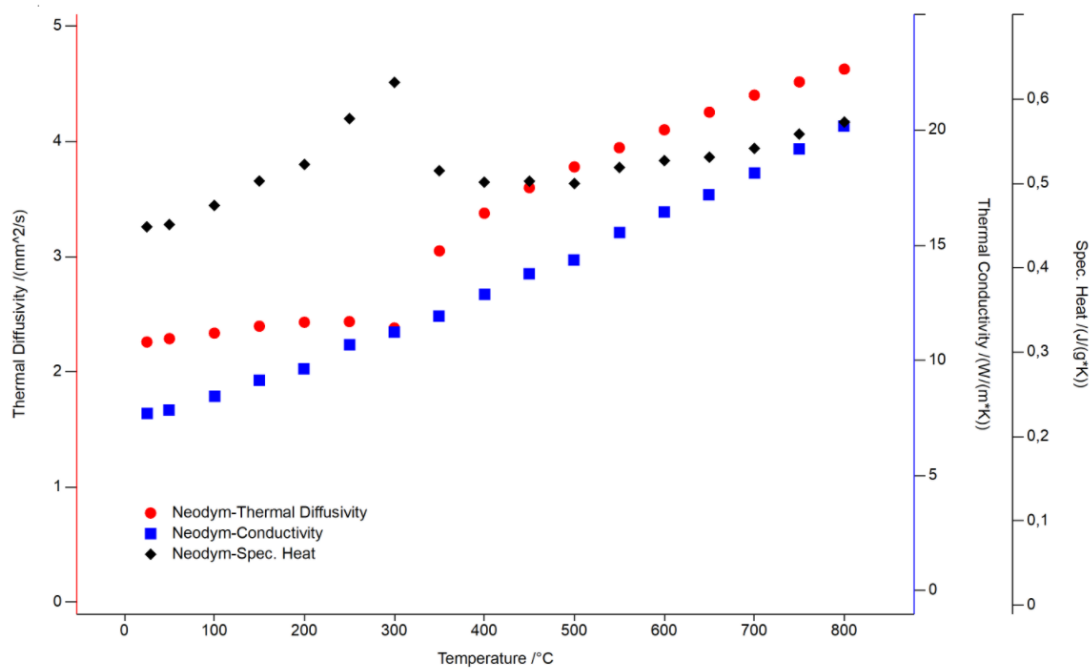
Die DSC-Messung zeigt die temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität des Silikonpads im Bereich von -150 °C bis 310 °C (Abbildung 1). Bei tiefen Temperaturen ist ein Glasübergang bei etwa -121 °C zu erkennen. Die Änderung der spezifischen Wärmekapazität am Glasübergang beträgt etwa 0,09 J/(g·K). Darüber hinaus tritt bei ungefähr -41 °C ein ausgeprägter endothermer Peak auf. Dieser wird dem Schmelzen kristalliner

bzw. geordneter silikontypischer Bereiche zugeordnet. Die ermittelte Schmelzenthalpie beträgt etwa 23 J/g. Die Ergebnisse zeigen eine kontinuierliche Zunahme der spezifischen Wärmekapazität mit steigender Temperatur, wie sie für polymere Materialien typisch ist. Der endotherme Effekt um -41 °C wurde für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit nicht direkt verwendet. Stattdessen wurde die c_p -Kurve in diesem Temperaturbereich interpoliert, um zu vermeiden, dass latente Wärmeanteile fälschlicherweise in die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit einfließen.



1 Scheinbare spezifische Wärmekapazität des Silikonpads

APPLICATIONNOTE Kälte im Griff: Präzise Wärmeleitfähigkeitsmessung von Silikon-TIMs bei tiefen Temperaturen



2 Thermophysikalische Eigenschaften des Silikonpads

Die mit der LFA bestimmte Temperaturleitfähigkeit des Silikonpads nimmt mit steigender Temperatur kontinuierlich ab, siehe Abbildung 2. Bei tiefen Temperaturen um -100 °C liegt sie bei etwa 0,18 mm²/s. Bei Raumtemperatur werden Werte von ungefähr 0,13 bis 0,14 mm²/s erreicht. Bei 300 °C sinkt die Temperaturleitfähigkeit auf etwa 0,08 mm²/s.

Dieses Verhalten ist charakteristisch für polymerbasierte Materialien. Mit zunehmender Temperatur wird der Phononentransport durch steigende molekulare Beweglichkeit und stärkere Streuprozesse weniger effizient. Dadurch sinkt die Temperaturleitfähigkeit, wohingegen die spezifische Wärmekapazität mit der Temperatur zunimmt.

Die berechnete Wärmeleitfähigkeit bleibt über den untersuchten Temperaturbereich in einem vergleichsweise engen Wertebereich. Bei tiefen Temperaturen liegt sie bei etwa 0,25 W/(m·K). Mit steigender Temperatur nimmt sie moderat ab und erreicht bei 300 °C Werte von etwa 0,17 W/(m·K).

Zusammenfassung

Dieses Beispiel zeigt, dass die LFA 717 *HyperFlash*® dank hoher Empfindlichkeit und präziser Temperaturführung auch bei langsam reagierenden, silikonbasierten Interface-Pads über einen breiten Temperaturbereich – einschließlich anspruchsvoller Tieftemperaturbedingungen – zuverlässige Temperaturleitfähigkeitsdaten liefert. Gerade im Tieftemperaturbereich ist die ergänzende Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität mittels DSC entscheidend, da erst die Kombination aus LFA-Daten, c_p -Werten und Dichte eine belastbare Berechnung der Wärmeleitfähigkeit ermöglicht. Diese Fähigkeit, auch unterhalb der Raumtemperatur verlässliche Ergebnisse zu liefern, ist ein klarer Vorteil für die Entwicklung moderner Silikon-TIMs.