

車載および半導体用伝熱材料の開発

西山 雅史 芦田 桂子 厨子 敏博

Development of Thermal Interface Materials for Automobiles and Semiconductors

Masashi NISHIYAMA Keiko ASHIDA Toshihiro ZUSHI

Abstract

We have developed “low viscosity type”, “ultra-low viscosity type” and “high thermal conductivity type” thermal interface materials. The low-viscosity type can be used as a heat countermeasure for power cards installed in the power control units of electric vehicles, which are expected to spread rapidly toward a decarbonized society. The ultra-low viscosity type is a heat countermeasure material that can be injected into very narrow gaps. In addition, the high thermal conductivity type is a heat countermeasure material for semiconductors. This paper introduces these developed products.

キーワード：伝熱，放熱，二液硬化，低粘度，パワーカード

1. はじめに

2020 年 10 月，日本は，「2050 年カーボンニュートラル」を宣言した¹⁾。また，2021 年 4 月には，2030 年度の新たな温室効果ガス削減目標として，2013 年度から 46% 削減することを目指し，さらに 50% の高みに向けて挑戦を続けるとの新たな方針も示されている。

特に自動車では，2035 年までに，乗用車新車販売において電動車（電気自動車（EV），プラグインハイブリッド自動車（PHV），ハイブリッド自動車（HV））100% を実現できるよう，包括的な措置を講じるとされている。また，商用車では，8 トン未満の小型の車について，2030 年までに，新車販売で電動車 20～30%，2040 年までに，新車販売で，電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて 100% を目指し，車両の導入やインフラ整備の促進等の包括的な措置を講じるとされている。

また，英国，EU では 2035 年に EV，FCV で 100%，米国では 2030 年に EV，PHV，FCV で 50%，中国では 2035 年に EV，PHV，FCV で 50%，HEV で 50% と海外においても同様な新車販売目標が立てられており，今後，電動車の販売台数の大幅な増加が見込まれている。

電動車はガソリン車と異なり，動力源に電気を使用するため動力部の構造が大きく異なる。EV では駆動用バッテリーとモーターそしてパワーコントロールユニット（PCU）が搭載されており，これらから発生した熱の対策は重要である。

本報では PCU の熱対策として開発した二液硬化型低粘

度タイプの伝熱材料および超低粘度タイプ，さらに高熱伝導率タイプの伝熱材料について報告する。

2. 車載パワーカード向け二液硬化型伝熱材料の開発

2.1 背景

PCU はインバータや DC-DC コンバータを一体化したもので，この PCU を構成するキーデバイスにパワーカードと呼ばれるモジュールがある。パワーカードには，IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor 絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）と呼ばれるパワー半導体が配置されている。これによりインバータ全損失の約 90% を占め，この損失による発熱のためパワーモジュールが壊れてしまうリスクがあり，放熱対策は重要である²⁾。放熱には冷却水が流れる冷却器とパワーカードを密着させる事で実現している（図 1）。しかしながら，パワーカード

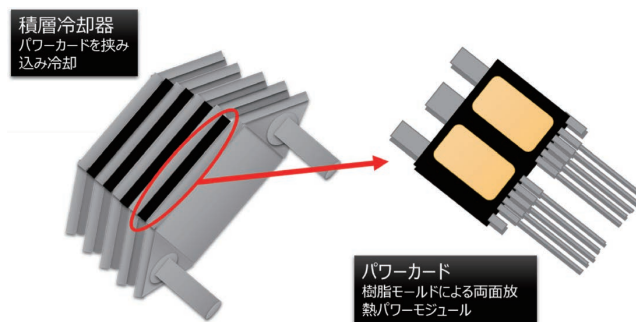


図 1 冷却器，パワーカード
cooling device, power card

の半導体の放熱部分と冷却器が接触する部分に隙間ができ界面熱抵抗が生じ、このためにパワーカードが十分に冷却できないことが問題であった。この問題を解決するために界面熱抵抗を低減させる伝熱材料を開発することとした。

2.2 二液硬化型伝熱材料の開発

パワーカード用の伝熱材料として、高い熱伝導率であり、低い押し付け圧力でも薄く伸び、半導体の放熱部分と冷却器が接触する部分の狭い隙間に追従できるものが良好と考え、高熱伝導率で付設時に低粘度である伝熱材料を開発することとした。さらに、車載用であるため耐熱温度 150℃とした。

ベースポリマーの選定により耐熱温度 150℃を実現、また、付設時に低粘度とするために二液硬化型とし、ディスペンサーでの吐出を検討した。その結果、混合前の二液それぞれの粘度が 200 Pa・s 以下でないとディスペンサーで吐出できないことがわかった。しかしながら、これまで使用していたベースポリマーで伝熱材料の熱伝導率を高くした場合、粘度が 200 Pa・s を大きく超えてしまうことがわかり、これを改善するためにベースポリマーの配合および使用するフィラーの粒子径の調整を行った。この伝熱材料のディスペンサー吐出直後の外観を図 2 に示す。また、主な特性を表 1 に示す。



図 2 二液硬化型伝熱材料（ディスペンサー吐出直後）
Two-component curable thermal interface material (immediately after dispensing from dispenser)

2.3 まとめ

パワーカードの放熱補助剤として二液硬化型の伝熱材料を開発した。ベースポリマーならびにフィラーの配合調整により、熱伝導率が 4 W/m・K を超え、かつ硬化前に低粘度とすることでディスペンサーでの吐出を実現した。また、硬化前の粘度が低いため、パワーカードと冷却器の間の隙間を低い押し付け圧力で十分に埋めることが可能なため、界面熱抵抗をより低減することが期待できる。さらに常温硬化できる伝熱材料のため、硬化時に 80℃ 以上加熱する必要が無いため、モジュールの部品に熱によるダメージを与えることなく硬化させることもできる。今後、パワーカード以外の放熱部材に対しても展開していきたい。

3. 超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料の開発

3.1 背景

放熱が必要なモジュールの中には、非常に微細な構造をした部品が組み合わさって構成されているものがある。微細な構造のため、各部品の周囲に非常に狭い隙間ができ界面熱抵抗が生じるため効果的に放熱できないことが考えられる。これを解決するため、非常に狭い隙間に注入して充填可能な二液硬化型伝熱材料を開発することとした。

3.2 超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料の開発

微細な構造の部品周囲に非常に狭い隙間ができしてしまうために生じる界面熱抵抗を低減する方法として、この隙間に充填可能な非常に低粘度な伝熱材料を使用することが考えられる。しかしながら市販の二液硬化型の伝熱材料では、このような狭い隙間に充填することは困難であり、さらなる低粘度化が必要と考えた。

これを満足する伝熱材料が「超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料」である。超低粘度であるため微細な隙間に充填することができ、二液硬化型でさらに常温硬化型（24 時間硬化）であるため、充填途中に固まることを防ぐことができる。また、所定の粒子径のフィラーを混合

表 1 二液硬化型伝熱材料の特性
Characteristics of two-component curing type thermal interface material

	単位	特性値（代表値）	条件
粘度 A 液／B 液 混合前	Pa・s	A:120/B:110	せん断速度 23.56 sec ⁻¹ 10 rpm
粘度 混合直後	Pa・s	112	せん断速度 23.56 sec ⁻¹ 10 rpm
密度	g/cm ³	3.27	—
熱伝導率	W/m・K	4.3	定常法
硬化条件 (熱負荷 80℃／室温)	時間	0.5/24	—
低分子シロキサン量	ppm	75.1	Σ3～Σ10



図3 超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料

Ultra-low viscosity two-liquid curing thermal interface material

表2 超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料の特性

Characteristics of ultra-low-viscosity two-liquid curing thermal interface material

	単位	特性値（代表値）	条件
粘度 硬化前	Pa・s	4	せん断速度 23.56 sec ⁻¹ 回転速度 10 rpm
	Pa・s	17	せん断速度 2.356 sec ⁻¹ 回転速度 1 rpm
粘度 硬化後	Pa・s	850	せん断速度 2.356 sec ⁻¹ 回転速度 1 rpm
熱伝導率	W/m・K	1.2	定常法
硬化条件 (熱負荷 80℃／室温)	時間	0.5/24	—
低分子シロキサン量	ppm	75.1	Σ3～Σ10

したものを使用しており、熱伝導率が1 W/m・Kを超えていることも特徴である。この伝熱材料の外観を図3に示す。非常に低粘度であるため、約1秒で左図から右図のように垂れ落ちる様子を示している。

超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料の主な特性を表2に示す。

3.3 まとめ

車載用の非常に微細な構造をした部品の周囲にできる非常に狭い隙間を埋め、効果的に放熱するために超低粘度タイプ二液硬化型伝熱材料を開発した。また、常温硬化（24時間）可能であり、高温加熱できない部品の隙間を埋め放熱を補助する案件について調査し展開していきたい。

4. 高熱伝導率タイプ伝熱材料の開発

4.1 背景

近年、半導体パッケージは高集積化に伴い、電子部品の温度上昇が大きくなり、放熱が課題になっている。高温環境での使用や半導体チップの発熱量の増加、パッケージの小型化により放熱が困難となり、半導体の電気的性能への影響だけでなく、製品寿命が短くなってしまうことが考えられる。これを解決するため、高熱伝導率タイプの伝熱材料を開発することとした。

4.2 高熱伝導率タイプ伝熱材料の開発

半導体チップ内部のトランジスタなどのデバイスには、その構造上局所的に電界の大きな箇所が発生し、周囲よりも温度が高くなる箇所（ホットスポット）が存在する。このため、ホットスポットの温度は周囲の温度より高くなり、半導体チップの電気的特性の劣化および製品寿命が短くなることが考えられる。これらを改善するため図4のように水平方向に高い熱伝導率特性をもつ伝熱材料を開発した。図5にその外観を示し、表3に主な特性を示す。この伝熱材料によりホットスポットの熱は水平方向に拡散でき、ホットスポットの温度を下げることで、電気特性劣化の抑制および製品寿命の延長が期待できる。

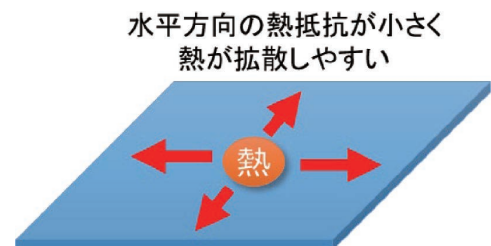


図4 高熱伝導率タイプ伝熱材料の熱拡散イメージ

Heat diffusion image of high thermal conductivity type thermal interface material

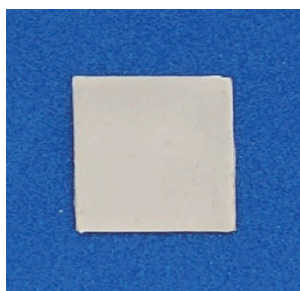


図5 高熱伝導率タイプ伝熱材料の外観

Appearance of high thermal conductivity type thermal interface material

表3 高熱伝導率タイプ伝熱材料の特性

Characteristics of high thermal conductivity type thermal interface material

	単位	特性値 (代表値)	条件
形状	mm	30×30 (最大)	
厚さ	μm	約 500	
熱伝導率	W/m・K	22.5	レーザーフラッシュ法

4.3 まとめ

半導体チップのホットスポットの温度を下げるために、水平方向に高い熱伝導率特性をもつ伝熱材料を開発した。今後、伝熱材料の量産を考慮した製造方法を確立し、半導体デバイスの放熱助剤として展開したい。

5. おわりに

脱炭素社会に向けた動きは世界中に広まっており、2021年4月現在、125カ国・1地域が「2050年カーボンニュートラル」を宣言している。これによって急速な普及が見込まれるEVのPCUに搭載されているパワーカードの熱対策として二液硬化型低粘度タイプの伝熱材料を開発した。また、「超低粘度タイプ」として、非常に狭い

隙間に注入して充填可能な伝熱材料を、さらには、「高熱伝導率タイプ」として半導体の熱対策に有効な伝熱材料を開発した。これらの伝熱材料がカーボンニュートラルの実現の一翼を担えることを期待する。

文 献

- 1) 経済産業省ホームページ, https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html
- 2) 株式会社デンソーホームページ, https://www.denso.com/jp/ja/driven-base/event/techlinks_electrification_2/



西山 雅史 Masashi NISHIYAMA
樹脂複合領域 専任研究員



芦田 桂子 Keiko ASHIDA
樹脂複合領域 主任研究員



厨子 敏博 Toshihiro ZUSHI
樹脂複合領域 上席研究員