

次世代車載器に向けた接着性耐電圧伝熱シートの開発

片桐 由理

Development of Adhesive Sheets with Thermal Conductivity and Insulation for Advanced xEV Electronics

Yuri KATAGIRI

Abstract

The demand for thermal interface materials (TIMs) is increasing due to the diverse issues in thermal management. We are developing TIM sheets with both thermal conductivity and high-voltage insulation properties. This report discusses the investigations conducted to enhance the adhesive characteristics of the TIM sheets. We have succeeded in improving adhesion through the optimization of the TIM formulation. Additionally, we adjusted the adhesion conditions by assisting the reaction with additives. These advancements indicate significant potential for the application of our TIM sheets in various thermal management requirements.

キーワード：熱マネジメント，伝熱，耐電圧，接着，樹脂

1. はじめに

伝熱材料（Thermal Interface Material，略称 TIM）は、発熱部材と放熱部材の間に挟み込むことで、熱を効率的に伝える役割を果たす。当社の開発した伝熱材料は、とくに形状追従性に優れている点が特長である。図 1 に示すように、従来のラバー状の伝熱材料は、相手材との密着性が低く、TIM と相手材の間に隙間が生じやすいため、熱伝導が不十分になるという課題が存在する。一方、当社の伝熱材料は、相手材の形状に容易に追従し、隙間なく密着することができるため、従来の材料よりも効率的に熱を伝えることが可能である。

近年、xEV や半導体の高性能化に伴い、車載システム内のさまざまな箇所で発熱量が増加しており、熱マネジメントの課題が多様化・高度化している。このため、用途に応じた TIM の開発が不可欠となっている。また、xEV の大電流（>300 A）および高電圧化（400～800 V）

に伴い、高電圧部品周辺ではさらなる伝熱特性と耐電圧特性が求められ、そのニーズはxEV 市場の拡大とともに増大している。当社では、これら 2 つの特性を併せ持つ「耐電圧伝熱シート」の開発に成功している。本稿では、「耐電圧伝熱シート」への更なる付加価値として、接着性の付与を検討した結果について報告する。

2. 接着性耐電圧伝熱シートの開発

2.1 耐電圧伝熱シート

従来、伝熱特性と耐電圧特性が求められる箇所において、図 2 に示すように発熱部材の半導体素子と放熱部材のヒートシンクの間に絶縁シートと TIM シートを敷設していた¹⁾。この場合、敷設の工程数が多く、絶縁シートがヒートシンクと接触するため、界面熱抵抗が高いという課題があった。

一方、われわれの開発した「耐電圧伝熱シート」は、伝熱特性と耐電圧特性を一枚のシートで両立させること

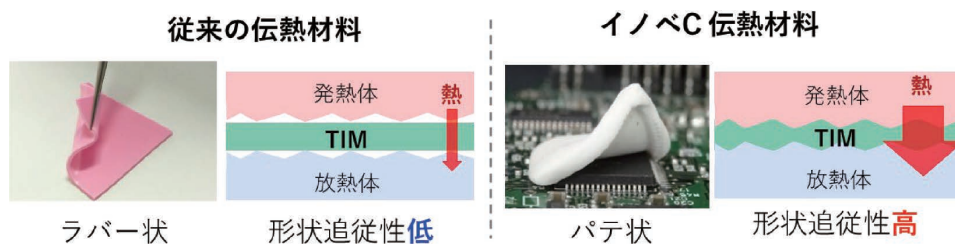


図 1 当社伝熱材料の特長

Features of our thermal interface materials

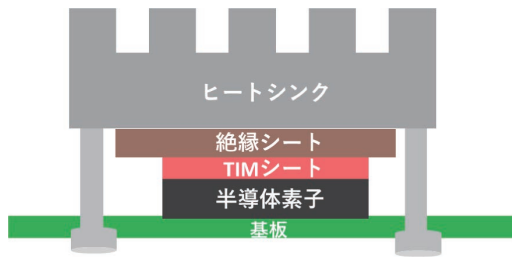


図2 従来の敷設方法
Conventional installation method

を実現した。この伝熱シートにより、敷設の工程数を削減でき、また、ヒートシンクや半導体素子の形状に容易に追従するため、界面熱抵抗を低減することが可能となった。さらに、耐電圧伝熱シートに接着性を付与することで、界面の密着性の更なる向上による熱伝導率の安定化と、振動や衝撃環境下での信頼性の向上が期待される。そこで、耐電圧伝熱シートに接着性を付与するための検討を実施した。

2.2 耐電圧伝熱シートへの接着性の付与

接着性の向上には、二つの重要な要素がある。一つ目は、伝熱シートの表面が相手材と十分に密着する「界面の密着性」である。界面の密着性が不足すると、伝熱シートと相手材の界面において剥離が発生し、接着を維持することができない。二つ目は、伝熱シートの強度を担保する「内部の粘り強さ」である。この粘り強さが不足すると、伝熱シートに亀裂が入り、割れが発生するため、接着状態を保つことができない。これら2つの要素を向上させるため、伝熱シートの構成要素である、樹脂と添加剤の配合検討を実施した。検討した配合に基づいて伝熱シートを作製し、接着力を評価した。接着力の評価は、図3に示すとおり、二枚のアルミ板の間に伝熱シートを挟み、200℃で加熱して接着させた試料を一軸引張試験でせん断を与えた際に生じる最大応力を測定することにより実施した。

樹脂は加熱されると、樹脂鎖が反応して網目構造を形成する。樹脂の配合検討において、適度に密な網目構造を形成する配合では、接着力の向上が見られた。これは、網目構造が密になることで、弾性が高くなり、伝熱シート内部の粘り強さが増すため、接着力が向上したと考えられる。ただし、網目構造が過密になると、樹脂鎖が動くことができず、伝熱シートが割れてしまうため、接着力が低下することも明らかになった。さらに、添加剤により、樹脂鎖の動きやすさを微調整することで、接着力の向上が可能であることを見出した。具体的には、適度に密な網目構造を形成する樹脂配合に添加剤を加えることで、樹脂鎖の可動性がわずかに増して相手材表面に追従しやすくなり、界面の密着性が向上した結果、接着力が向上することが明らかとなった。一方で、過剰に添加剤を加

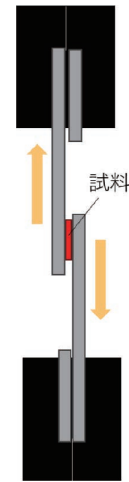


図3 接着力の評価方法
Method for evaluation of adhesive strength

えると、樹脂鎖が過剰に動きやすくなるため、内部の粘り強さが低下し、シート構造を維持できないことも明らかとなった。

このように、樹脂と添加剤の配合を最適化し、界面の密着性と内部の粘り強さを両立することで、1 MPa以上の強い接着力を得ることに成功した。

2.3 接着温度の低減検討

本開発品は加熱することで、相手材に接着する。相手材である半導体素子の耐熱温度を考慮すると、150℃以下での接着が望ましい。2.2項で得られた伝熱シートを150℃で接着すると、接着力は0.2 MPaまで低下した。そこで、接着力を保ちつつ、接着温度の低減を図るために添加剤の検討を実施した。まず、網目構造を形成する反応を起こりやすくするために、添加剤Aの添加を検討した。その結果、低温においても十分に密な網目構造が形成され、150℃での加熱接着で1.2 MPaの接着力を達成した。さらに接着温度を低下させるため、低温での反応の進行を補助する添加剤Bを加えた。その結果130℃での接着において1.2 MPaの接着力を達成し、接着温度を200℃から130℃まで低減することに成功した。

表1に130℃の接着条件における接着性耐電圧伝熱

表1 接着性耐電圧伝熱シートの特性
Properties of the adhesive sheets with thermal conductivity and insulation

項目	特性（代表値）
シート厚さ	0.25 mm
熱伝導率	2.2 W/m・k
耐電圧	5.0 kV AC 以上
接着力	1.2 MPa

シートの特性を示す。

2.4 耐久性評価

耐久性の評価として、一軸引張試験機を用いて試験開始点を基準に上下に 0.1 mm ずつ往復させる動作を毎分 1000 mm の速さで繰り返すことにより、車の振動を模擬した試験を実施した。この試験では、評価中に剥がれないこと、試験中に接着力が低下しないことをポイントに評価した。2.3 項で得られた配合を評価すると、少なくとも 6000 回の往復に接着力の低下なく耐えられることが明らかとなった。

2.5 伝熱特性の評価

今回開発した接着性耐電圧伝熱シートの伝熱特性について、ASTM D5470 に準拠した方法により、測定温度 50℃において接触圧を変化させながら熱抵抗値を評価した。比較として、伝熱特性と耐電圧特性を有する 2 種の他社製品と併せて評価を行った。図 4 に示す結果から、当社開発品が最も低い熱抵抗値を示し、とくに低接触圧において顕著な改善が見られることが明らかになった。この結果は、当社の伝熱材料の特長である形状追従性に起因しており、低接触圧においても相手材との密着性が高く、低熱抵抗を実現することができたと考えられる。

3. おわりに

本稿では、伝熱特性と耐電圧特性を兼ね備えた「耐電圧伝熱シート」への接着性の付与について報告した。樹脂や添加剤の配合組成の最適化により、界面の密着性と内部の粘り強さを向上させることで、接着性を付与することに成功した。さらに、添加剤の配合検討の結果、接着温度の低減を達成し、当初 200℃であった接着温度を 130℃まで大幅に低減することに成功した。本開発品は

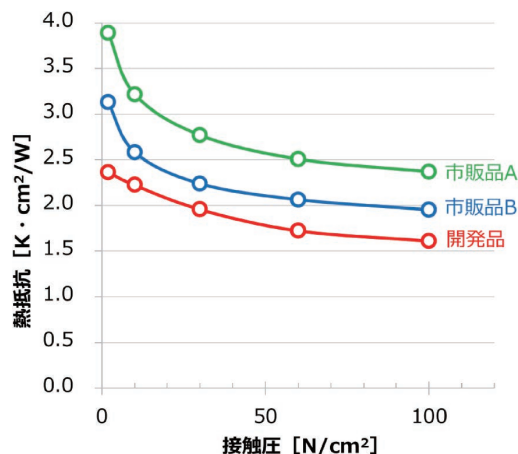


図 4 市販品との伝熱特性の比較

Comparison of thermal conductive properties with commercial products

xEV 市場にとどまらず、大電流および高電圧を取り扱う幅広い分野に応用可能であり、熱マネジメント課題の解決に貢献していきたいと考える。

文 献

- 1) Infineon Technologies AG, application note, AN_2101_PL52_2103_112902.



片桐 由理 Yuri KATAGIRI
開発 PMO-B5
研究員