

# エポキシ樹脂封止パッケージ技術

原田啓行\* 梶 勇輔\*\*  
井本裕児\* 藤野純司\*\*\*  
近藤 聡\*

Packaging Technologies by Epoxy Resin Sealing

Hiroyuki Harada, Yuji Imoto, Satoshi Kondo, Yusuke Kaji, Junji Fujino

## 要 旨

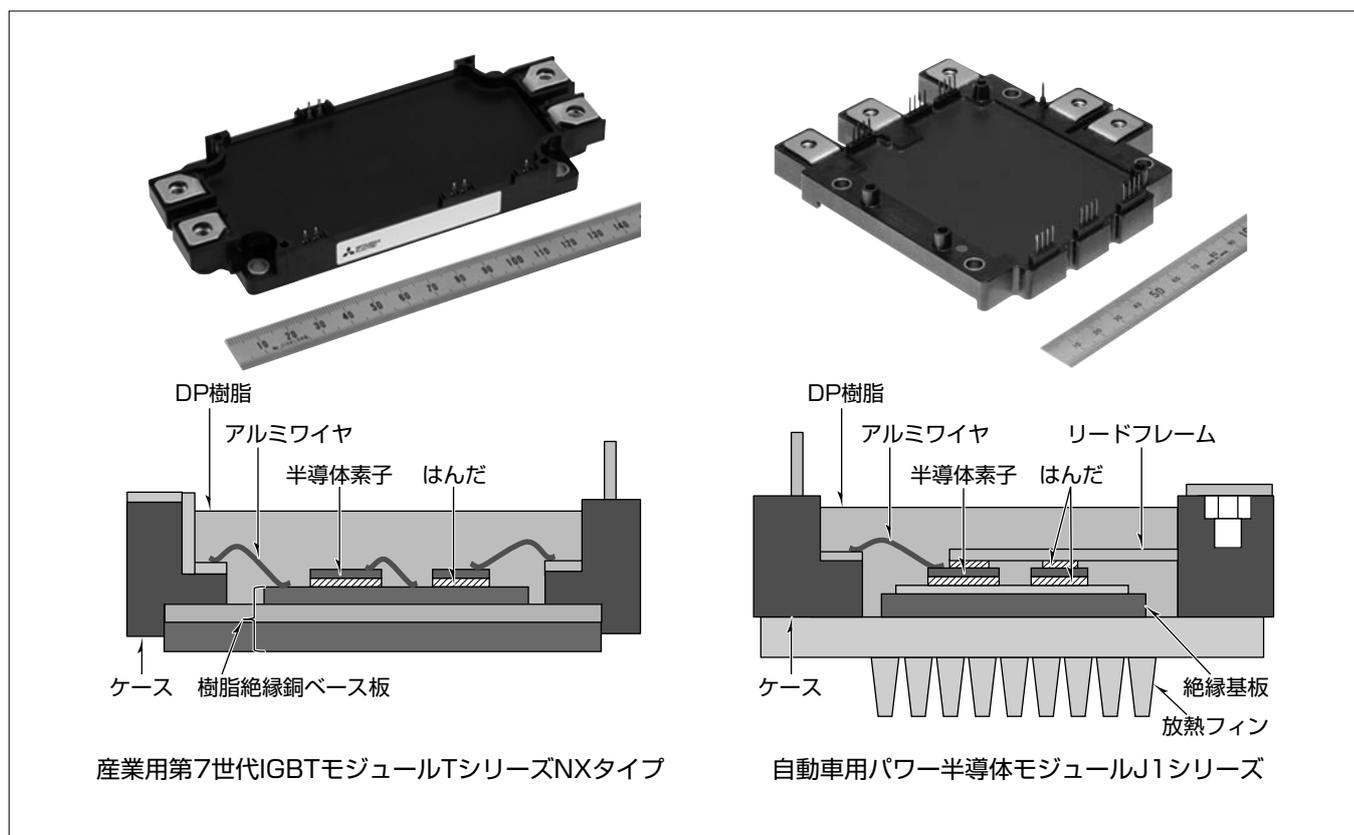
近年、世界中で環境負荷低減や低炭素社会への貢献が求められており、産業機器や電鉄、自動車の開発の進展とともに、それらに搭載されるパワーモジュールの開発が加速している。そこで、三菱電機ではパワーモジュールの安定な動作性能と高い信頼性を確保するため、耐熱性や絶縁性を含めたパッケージング技術の開発を進めてきた。

液状エポキシ樹脂で封止するダイレクトポッティング樹脂(DP樹脂)封止は、シリコングル封止と比較して高い透湿耐性を持ち、半導体素子下部のはんだ材料の熱サイクルに伴う劣化を抑制することが期待されるため、過酷な使

用環境下でも高信頼性を実現できるものと期待される。

一方、DP樹脂封止では、樹脂粘度、弾性率が高い特徴を持つために、狭ギャップ領域へのボイドレス封止、各種部材との線膨張率差で生じる応力起因の剥離や、モジュール反(そ)りへの影響を考慮する必要があるため、最適な樹脂の材料設計と封止プロセスが重要となる。

開発したエポキシ樹脂封止パッケージ技術を、産業用第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュール“TシリーズNXタイプ”と自動車用パワー半導体モジュール“J1シリーズ”に適用した。



## エポキシ樹脂封止パッケージ技術適用のパワーモジュール

産業用第7世代IGBTモジュールTシリーズNXタイプと、自動車用パワー半導体モジュールJ1シリーズのパッケージ外観及び断面模式図を示す。開発したパッケージでは、高信頼化を実現するためにダイレクトポッティング樹脂封止を採用した。

1. ま え が き

近年、世界中で環境負荷低減や低炭素社会への貢献が求められており、産業機器や電鉄、自動車の開発の進展とともに、それらに搭載されるパワーモジュールの開発が加速している。そこで、当社ではパワーモジュールの安定な動作性能、高い信頼性を確保するため、耐熱性や絶縁性を含めたパッケージング技術の開発を進めてきた。

本稿では、産業用第7世代IGBTモジュールTシリーズNXタイプと自動車用パワー半導体モジュールJ1シリーズで適用したエポキシ樹脂封止パッケージ技術について述べる。

2. 構造の特徴

2.1 パッケージ構造の特徴

産業用第7世代IGBTモジュールTシリーズNXタイプのパッケージと自動車用パワー半導体モジュールJ1シリーズのパッケージ外観を図1に示す。

図2に示すように、産業用TシリーズNXタイプでは、従来構造で適用されてきた銅ベース板とセラミック絶縁基板にシリコンゲル封止を組み合わせた構造から、高い放熱性と絶縁性を兼ね備えた樹脂絶縁銅ベース板に、エポキシ樹脂からなるDP樹脂を封止したことを特徴とする。また、構成部材の線膨張率を考慮したDP樹脂を採用することで、各部材との線膨張率のミスマッチを低減し、熱サイクルに伴う樹脂の剥離耐性を向上させた<sup>(1)</sup>。

また、自動車用パワー半導体モジュールJ1シリーズの断面模式図を図3に示すが、J1シリーズでは、セラミック絶縁基板と放熱フィンとを一体化した構造を適用すること

で冷却性能を向上させ、銅フレームを半導体素子に直接はんだ接合するDLB(Direct Lead Bonding)構造の適用によって、通電能力向上、配線抵抗低減、インダクタンス低減を図った。さらに、封止樹脂にDP樹脂を適用したことで、DLB構造を持ったトランスファーモールド型パワーモジュールT-PM(Transfer-molded Power Module)と同様に信頼性の高いモジュール構造を実現するとともに、2in 1回路を3個並べた三相インバータ回路構成を1パッケージ化した6in 1構造化を実現した<sup>(2)</sup>。

2.2 樹脂封止技術の特徴

パワーモジュールは、使用用途に応じて、パッケージ構造や構成部材が異なり、パッケージの性能に応じた適切な樹脂

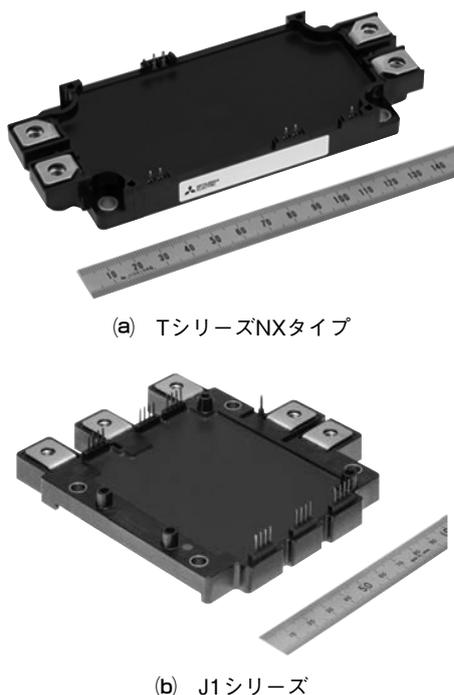


図1. パワーモジュールのパッケージ

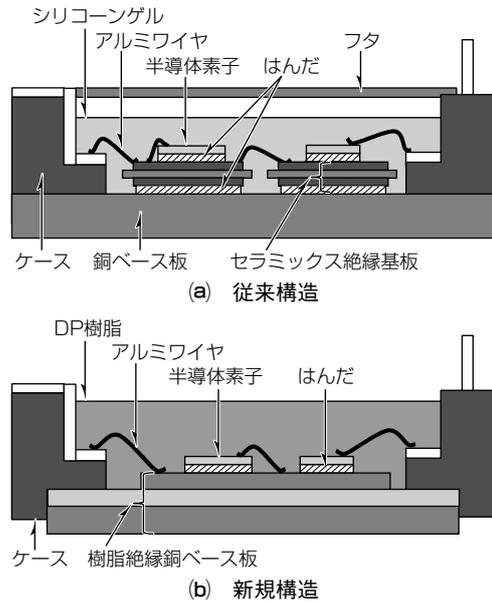


図2. TシリーズNXタイプの断面模式図

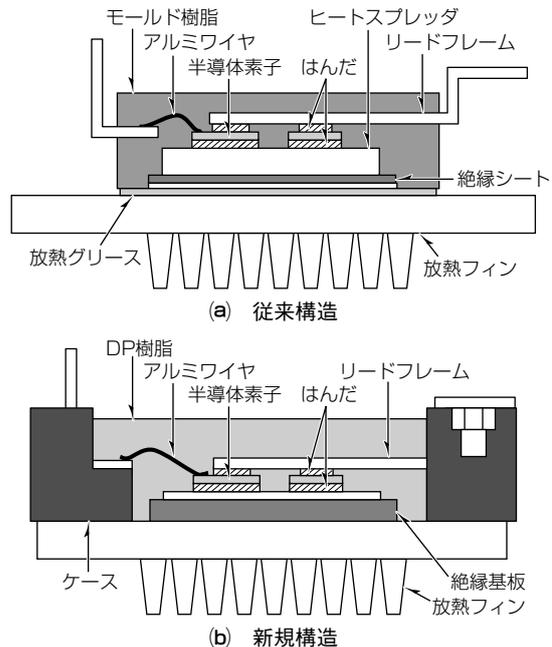
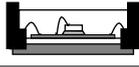
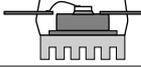


図3. J1シリーズの断面模式図

表 1. 樹脂封止技術の比較

|          | ケース型モジュール   |   | トランスファー成形   |
|----------|---|---|---|
|          | シリコンゲル封止  | DP樹脂封止  | モールド樹脂封止  |
| 構造       |  |  |  |
| 信頼性      | ○   | ◎   | ◎   |
| 大型パッケージ化 | ○   | ○   | △   |
| 線膨張率     | 高   | 低   | 低   |
| 弾性率      | 低   | 高   | 高   |

封止が要求される。樹脂封止は、トランスファー成形で用いられる個体エポキシ樹脂からなるモールド樹脂封止、一般的なケース型モジュールへの封止で用いるシリコンゲル封止、それに加え、液状エポキシ樹脂からなるDP樹脂封止の3種に分類され、樹脂封止技術ごとに異なる特徴を持つ(表1)。

モールド樹脂封止では、トランスファー成形によって封止され高い信頼性を持つが、成形金型が必要であるため、モジュール構造変更に伴う自由度は少なく、大型モジュールへの封止に対しては、金型サイズに制限があるため、生産性が低下することが課題である。

シリコンゲル封止は、耐熱性、絶縁性に優れており、低粘度材料であるため注入性も良好であるが、今後のパワーモジュール開発では、更なる高耐熱化、高信頼性が要求されている。

これら封止技術への課題に対し、液状エポキシ樹脂で封止するDP樹脂封止は、成形金型が不要であり、シリコンゲルと比較して高い透湿耐性を持ち、半導体素子下部のはんだ材料の熱サイクルに伴う劣化を抑制することが期待されるため、過酷な使用環境下でも高い信頼性を実現できるものと期待される。一方、DP樹脂封止では、樹脂粘度、弾性率が高い特徴を持つために、狭ギャップ領域へのボイドレス封止、各種部材との線膨張率差で生じる応力起因の剥離や、モジュール反りへの影響を考慮する必要があるため、最適な樹脂の材料設計と封止プロセスが重要となる。DP樹脂封止での樹脂材料設計と封止プロセスの詳細については、3章で述べる。

### 3. 樹脂封止パッケージ技術

#### 3.1 DP樹脂材料設計

DP樹脂は、主にエポキシ樹脂、セラミックファイラー、及び難燃剤等の各種添加剤で構成されており、各モジュールに最適の樹脂特性を持つ材料を開発した。

自動車用J1シリーズでは、モジュール構造にセラミック絶縁基板を持つため、セラミックの低い線膨張率に合わせた低線膨張率のDP樹脂を選定する必要があった。樹脂の線膨張率に関しては、図4に示すように、樹脂中のファイラー充填量を変更することで調整できるが、ファイラー充填量増加に伴って樹脂粘度は増加し、流動性が低下する

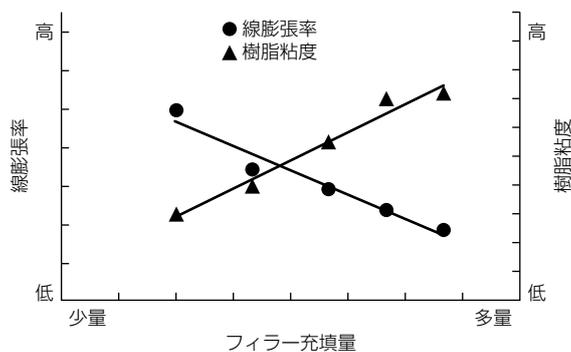


図4. フィラー充填量に対する線膨張率と樹脂粘度の関係

ことが課題であった。樹脂の流動性は、基礎評価によってモジュール内の狭ギャップ領域でもボイドレスな樹脂封止が可能な流動限界粘度を算出することで、流動性良好なファイラー充填量領域を見極め、要求された樹脂特性を持つDP樹脂を開発した。

#### 3.2 DP樹脂封止プロセス技術

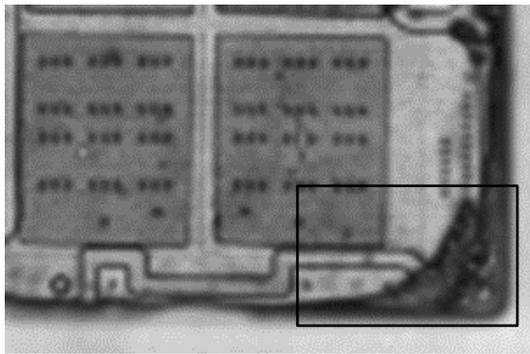
ボイドレスな樹脂封止を実現するためには、樹脂特性を理解した最適な注入プロセスが必要となる。近年、パワーモジュールの小型・高密度化やDLB構造等の適用によって、モジュール内部では、1mm以下の狭ギャップ領域が増加する傾向にあり、樹脂注入プロセスの最適化に対する要求が高まる傾向にある。注入プロセスに関しては、評価から得られた最適条件で樹脂注入を実施することによって、ボイドレスで品質の高い樹脂封止を実現した。

#### 3.3 信頼性試験

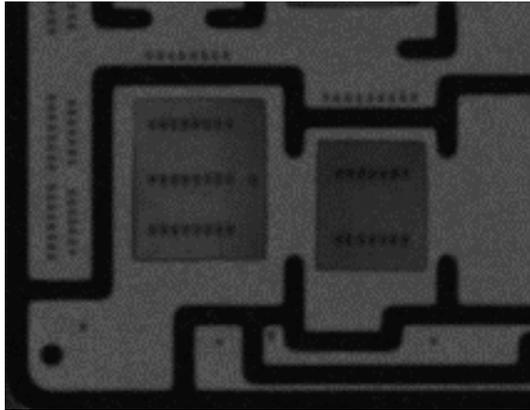
従来のセラミックス絶縁基板へのシリコンゲル封止構造と、樹脂絶縁銅ベース板へのDP樹脂封止構造である産業用TシリーズNXタイプでの温度サイクル試験(-40~125℃)600サイクル後のSAT(Scanning Acoustic Tomograph)画像を図5に示す。また、各封止構造の断面模式図を図6に示す(3)。

シリコンゲル封止構造では、温度サイクル試験の経過とともに、セラミックス絶縁基板下部のはんだ層端部からクラックが僅かに伸展するのに対し、DP樹脂封止構造では、一体型絶縁基板の適用によってベース板との接合にはんだ接合層を持っていないため、温度サイクル試験後も各種部材での劣化は確認されなかった。加えて、各構造ともに半導体素子下部のはんだ接合層に関しては、温度サイクル試験による劣化は確認されなかった。

シリコンゲル封止構造では、半導体素子に対してセラミック絶縁基板の線膨張率が比較的近い値であるため、はんだ接合層への応力が高くない。一方、DP樹脂封止構造では、半導体素子と樹脂絶縁銅ベース板の線膨張率差が大きいこと、はんだ接合層へかかる応力は大きいことが分かっているが、高弾性かつ高接着なDP樹脂がはんだ接合層を覆うことで、はんだ接合層に発生する応力を緩和した



(a) シリコンゲル封止構造



(b) DP樹脂封止構造

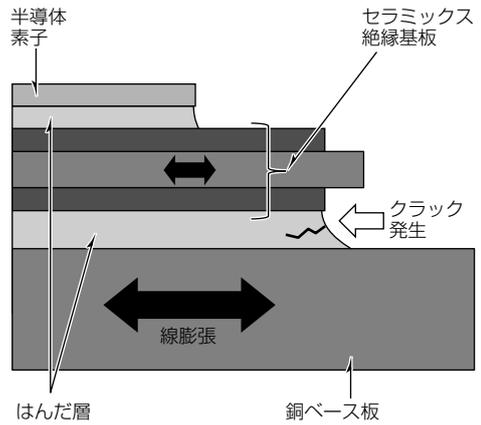
図5. 温度サイクル試験後のSAT観察像

ものと推測される。

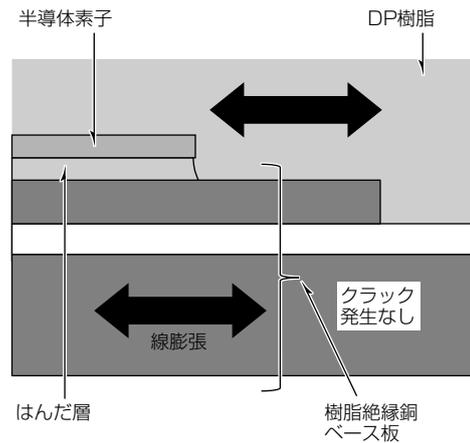
また、パワーサイクル試験に関しても、従来構造と同等以上のパワーサイクル寿命結果が得られており、DP樹脂封止による樹脂封止技術の信頼性が高いことが示された。

#### 4. むすび

当社の産業用第7世代IGBTモジュールTシリーズNXタイプと自動車用パワー半導体モジュールJ1シリーズでは、従来のケース型モジュールで主流であったシリコンゲル封止から、エポキシ樹脂によるDP樹脂封止を採用することで、パワーモジュールの高信頼性を実現した。今後も、材料及び製造プロセスを含めた封止技術の高性能化によって、次世代パワーモジュールの開発を加速し、省エネルギー化社会への貢献を目指していく。



(a) シリコンゲル封止構造



(b) DP樹脂封止構造

図6. 各封止構造の断面模式図<sup>(1)</sup>

#### 参考文献

- (1) 浅田晋助, ほか: 産業用高信頼性パッケージ技術, 三菱電機技報, **90**, No.5, 291~294 (2016)
- (2) 吉松直樹, ほか: 自動車用パワー半導体モジュール“J1シリーズ”のパッケージ技術, 三菱電機技報, **88**, No.5, 317~320 (2014)
- (3) Kaji, Y., et al.: Novel IGBT Modules with Epoxy Resin Encapsulation and Insulating Metal Baseplate, Proceedings of the 2016 28th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD), 475~478 (2016)