

ダイレクトリード接合型 大容量パワーモジュール

菊池正雄* 中島 泰**
上田哲也* 平岡功治**
新飼雅芳*

Direct Lead Bonded High Performance Power Module

Masao Kikuchi, Tetsuya Ueda, Masayoshi Shinkai, Dai Nakajima, Koji Hiraoka

要 旨

三菱電機では、パワーデバイスを搭載した絶縁基板をケースに収納してゲル充填(じゅうてん)したゲル封止型モジュールの構造・製造合理化を目的に、半導体パッケージング技術を応用したトランスファーモールド型パワーモジュール(Transfer molded-Power Module: T-PM)を1997年に上市した。生産規模が大きい家電向け等の小容量機種から容量増加を進め、現在では産業用途に使用可能な300Aクラスのパワーモジュールまで適用範囲を拡大してきた。

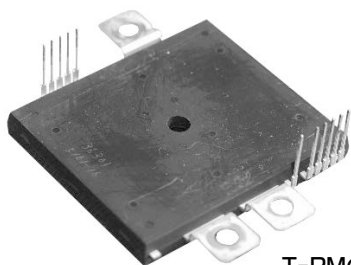
T-PMでは、従来のゲル封止構造と異なっており、硬質のモールド樹脂で封止する構造となっているため、デバイスと被接合材との熱応力を分散する効果が、信頼性向上に大きく貢献した。このことは、産業用途等の分野におけるT-PMの大きな強みとなっている。

さらに、当社独自のT-PMのパッケージ構造を進化さ

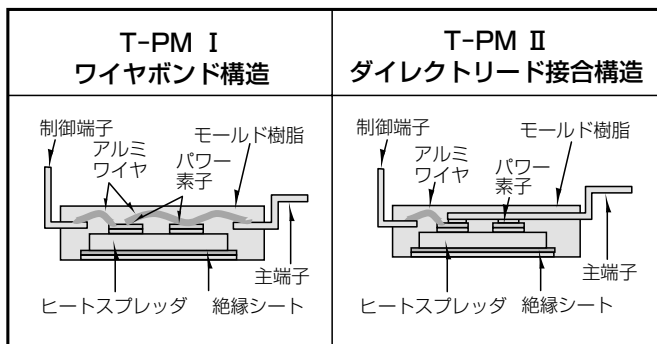
せるため、新しい配線構造を提案した。すなわち、元来リードフレームによって配線を形成するため、リードフレームに設けたインナーリードをデバイス上部まで延長し、直接デバイス表面の電極に接合することで、ワイヤボンドを必要としないパワーモジュールが製造可能となった。当社では、このT-PMを“ダイレクトリード接合型パワーモジュール(DLB T-PM)”と呼び、新しいパワーモジュールとして提供している。

DLB T-PMは、これまでのワイヤバンド構造に対して大面積接合構造となるため、パッケージの特性面や、特に熱応力に起因する信頼性の点で、より大きな電流容量に適したパワーモジュールとなっている。

本稿では、DLB T-PMの特長及び製造上の工夫について述べる。

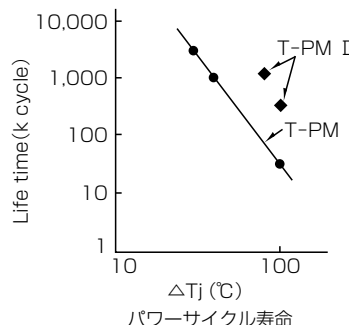


T-PMの外観と内部構造



DLB T-PMの特長

- ①内部配線の省スペース化
- ②接合強度の向上
- ③内部配線抵抗の低減
- ④自己インダクタンスの低減
- ⑤接合部信頼性の向上



DLB T-PMの構造と特長

上下アームで回路構成されたT-PMの外観と内部構造を模式的に示す。DLB T-PMでは、多数のワイヤボンドからリードフレームを延長した1枚のリードに、デバイス上の配線材を置き換えた。DLB構造では、T-PM本来のメリットに加え要旨で述べた特長を備えた、大容量化に非常に適したパワーモジュールである。

1. ま え が き

当社は、半導体パッケージング技術を応用した“トランスファーモールド型パワーモジュール (Transfer molded-Power Module : T-PM)”を、製造合理化の効果が大きい家電向け等の小容量機種から供給を開始して以来徐々に容量増加を図り、現在では産業用途に使用可能な300Aクラスまで適用範囲を拡大してきた⁽¹⁾。

さらに近年では、これまでデバイスからの配線方法として主流であったワイヤボンド方式にとって代わり、インナーリードを直接デバイス表面に接合する“ダイレクトリード接合型パワーモジュール (Direct Lead Bond T-PM : DLB T-PM)”を開発し、より高い信頼性、生産性を備えたパワーモジュールの提供を続けている。

本稿では、当社独自のDLB T-PMの特長並びに工夫点について述べる。

2. ダイレクトリード接合型パワーモジュールの構造的特徴

2.1 従来構造との比較

表1に、当社パワーモジュールの構造を比較した。従来構造であるゲル封止構造では、パワーデバイスを搭載した絶縁基板をベース板にはんだ付けする。パワーデバイスの電極面と基板、ケースに取り付けられた金属ターミナルはアルミワイヤをワイヤボンディングして配線する。その後、シリコンゲルを充填してケース内部を保護する。

一方、第1世代T-PMの場合、熱拡散を目的としたヒートスプレッダにパワーデバイスを直接はんだ付けし、主端子及び制御端子とデバイスをワイヤボンドで配線する。その後、これらの部材をトランスファーモールドによって封止し、部材を保護、保持する。T-PMでは、ケースとゲルといった複数の保護材を必要とせず、また、あらかじめ端子をケースに保持する工程も不要となるため、生産性が高い構造となっている。

しかしながら、ワイヤボンド(W/B)構造の場合、大容量化に伴って多数のワイヤを接合する必要がある。それに対して、DLB構造では、主端子となるインナーリードがデバイスの直上まで延ばされ、直接デバイス表面にはんだ付けすることによって、従来のゲル封止構造では困難であった多数のワイヤの1本の金属リードへの置き換えを実現

した。なお、デバイス表面電極には、はんだ付け可能なメタライズ層を形成している。

2.2 DLB構造の性能上のメリット

これまで述べてきたDLB構造、その構造的特徴によって、次のような大容量化に適した利点を持つ。

(1) パッケージ内部配線の省スペース化

ボンディング作業に必要なスペースを削減できる。

(2) 接合強度が向上

W/B構造に比べて大きな接合部を形成することができる。

(3) 内部配線抵抗を低減

図1(a)のように、W/B構造では、ワイヤボンド部へとデバイス表面の薄い電極層の通電抵抗が大きくなる。一方、DLB構造では、図1(b)のようにデバイス表面に面積が大きい銅リードを接合するため、電流経路はデバイス厚さ方向のみに短縮される。このため、後者の方が配線抵抗が小さくなり、当社実績では配線抵抗が半減している。

(4) 自己インダクタンスの低減

配線が平面構造となることや、リードとヒートスプレッダを近接配置できるため、図2に示すように、DLB構造はW/B構造に対して、約40%低減できる。

さらに、DLB構造は、W/B構造に対して、デバイスの配線接合部に対する長期信頼性の飛躍的な向上を実現できるが、これに関しては3章で述べる。

3. ダイレクトリード接合部の信頼性

元来、T-PMは、デバイスの配線接合部の温度サイクルに対して高い信頼性が得られる構造となっている⁽²⁾。これは、図3に示すように、ゲルに比べて硬いモールド樹脂が、線膨張係数差が大きいシリコンからなるデバイスとアルミワイヤ、又はヒートスプレッダ間に発生する熱応力を分散することによる。DLB構造の場合も同様に、モールド樹脂による応力分散効果で、信頼性の向上が実現できる。

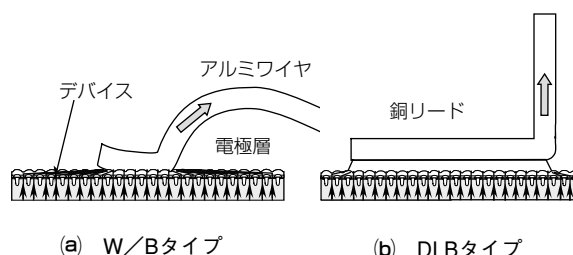


図1. パワーモジュールの接合構造の比較

表1. パワーモジュール構造の比較

ゲル封止構造	第1世代 T-PM W/Bタイプ	第2世代 T-PM DLBタイプ

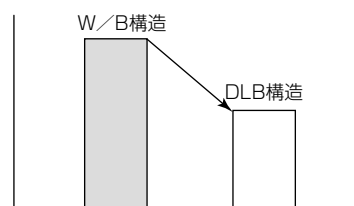


図2. インダクタンスの比較

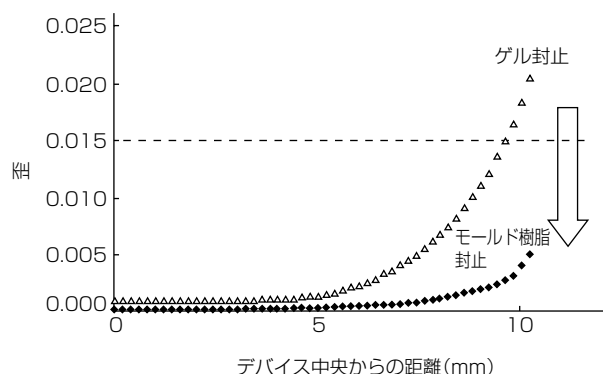


図 3. 接合部の歪(ひずみ)量

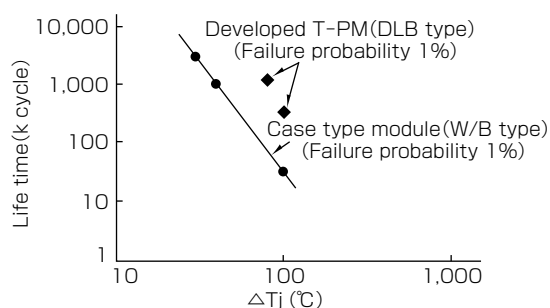


図 4. パワーサイクル寿命

表 2. パワーサイクル試験における接合部の超音波画像(ΔT=70K)

サイクル数	初期	220k	555k
DLB接合部			
ダイボンド部			

図 4 に、表 1 で比較した各々のモジュール構造におけるパワーサイクル試験結果を示す。モールド封止型構造では、ゲル封止型構造に比べて長寿命化されており、さらに、DLB構造のパワーサイクル寿命は、W/B構造よりも 5 倍超に延びる。表 2 は、デバイス表裏面の接合部の超音波画像であるが、DLB接合部、ダイボンド部いずれも初期に比べて、接合部の亀裂(きれつ)の進行がほとんど認められない。

先に述べたように、T-PMはモールド封止によって温度サイクル寿命が向上するが、DLB構造固有の構造的特徴によって一層の長寿命化が図れる。

ここでは、図 1 で示した電流経路の違いに着目し、通電発熱時の温度分布を解析した。その結果、図 5 のように、W/B構造が比較的デバイス中央部に高い温度領域が存在する一方、DLB構造では、接合部下方に温度分布が広が

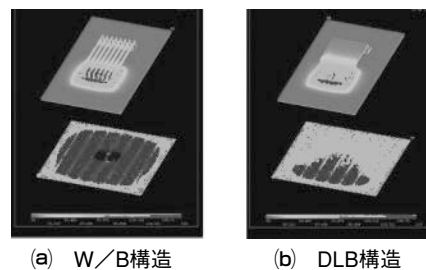


図 5. 通電時の発熱状態(電気-熱連成解析)

りかつ平坦(へいたん)化していることがわかった。W/B構造では、最も熱応力を受ける中央部のワイヤから順次加速的にワイヤの破壊が進行するが、DLB構造では、亀裂導入部となるはんだ付け端部は、比較的低い温度に抑制されるため、亀裂が進行しづらいものと考えられる。すなわち、電流経路による温度分布の違いが寿命の違いとなって現れたものと考えている。

もちろん、亀裂進展に対する寿命は、デバイスとリード間の線膨張ミスマッチを受け持つはんだ層の緩衝作用、すなわち層厚さに依存するため、厚さの適正化並びに制御が必要となる。

パワーモジュールにとって、接合部の信頼性の向上は次の付加価値を生み出す。

(1) システムの高信頼化

近年、環境負荷軽減を背景に自動車分野をはじめ産業、エネルギーなど様々な分野でパワーエレクトロニクスシステムの応用が進んでおり、パワーモジュールの高信頼要求にこたえることができる。

(2) より厳しい動作条件への適用

高い信頼性が確保できれば、パワーデバイスを高温で動作させることが可能となり、高性能化やコストメリットを訴求できる。

今後は、これらのシステム全体の付加価値向上に貢献していきたいと考えている。

4. DLB T-PMの生産設計

4.1 DLB T-PM製造プロセス

DLB T-PMは、広く普及した半導体パッケージのアセンブリ技術をベースとしたフローで製造される。すなわち、図 6 のようにリードフレームでベアチップのアセンブリ工程を流し、トランスファーモールド、リード加工を経て T-PMの形状に仕上げる。当然のことながら、従来の W/B構造とは、デバイス上面の配線接合工程が異なるが、その他の工程はほぼ従来工程をベースに設計されており、十分に実績のあるプロセスで製造されている。

4.2 DLB接合プロセスについて

DLB構造では、はんだ接合が品質を支配するため、できるだけ簡便なプロセスを作りこむことによって品質を安定化させることが肝要である。

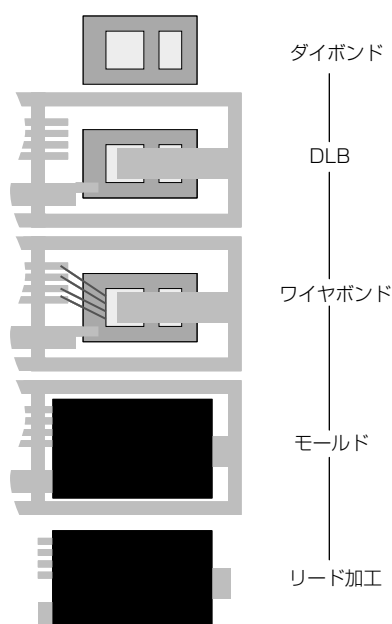


図 6. DLB T-PM製造フロー

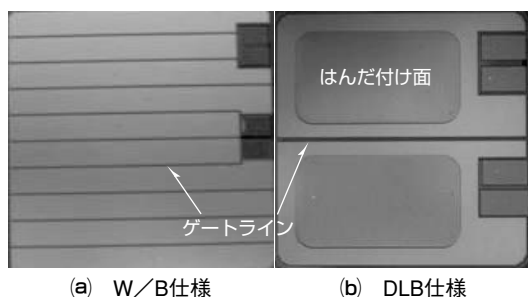


図 7. デバイス表面構造

4. 2. 1 表面電極構造の検討

デバイス表面は、各セル上に金属電極層が形成されているが、当社のこれまでのデバイスは、図 7(a)のように、これらのセルを駆動するゲート電極への複数の配線(ゲートライン)が表面に形成されており、面積が大きいリードを接合すると、ゲートライン上に接合することとなる。したがって、DLB構造では、図 7(b)のようにはんだ付け面にゲートラインが重ならないように設計している。

4. 2. 2 必要なはんだ厚さの確保

DLB構造の寿命設計には、はんだ付け厚さを制御することが重要である。すでに当社では、ゲル封止型モジュールの絶縁基板とベース板とのはんだ付けで、ワイヤバンブによってはんだを所望の厚さ以上にすることで寿命向上を図っており⁽³⁾、ダイレクトリード接合部でも、図 8 のように所定の厚さ以上で応力は飽和して寿命を確保できる。

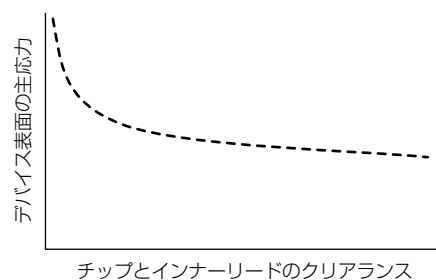


図 8. DLB部はんだ厚さと応力



図 9. DLB部断面

DLB T-PMでは、インナーリードとデバイスとの間隔をパッケージ設計と治具設計によって制御し、はんだを供給することで極めて簡便にはんだ厚さを制御している。図 9 は、DLB接合部断面であるが、リードに穴が形成されており、デバイス上をぬれ広がってなお余剰のはんだはリード上部にぬれ広がることで、十分なはんだ量を供給しつつ、はんだのはみ出しも防止している。

5. む す び

T-PMの新たな取組みであるDLB T-PMでは、①パッケージ本体のパワー密度を増加できる、②ダイレクトリード接合部のヒートサイクル信頼性が高いといったメリットがパワーモジュールの大容量域への適用拡大に極めて有用であり、環境負荷軽減にますます普及の加速が見込まれるパワーエレクトロニクスシステムのダウンサイジングに対して、当社ではDLB T-PMの展開を図るとともに、より進化したパワーモジュールの提供を続けていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 菊池 巧, ほか: モールド型パワモジュール用絶縁シート, 三菱電機技報, **81**, No.5, 365~368 (2007)
- (2) 杉木昭雄, ほか: 樹脂封止型パワーモジュールのAl ワイヤボンド部の信頼性に関する研究, Mate2007論文集 (2007)
- (3) Hayashi, K., et al.: Improvement of Fatigue Life of Solder Joints by Thickness Control of Solder with Wire Bump Technique, ECTC2002