

産業用第7世代IGBTモジュール“Tシリーズ”

宮澤雅臣*
大原孝太*

7th Generation IGBT Module "T Series" for Industrial Applications

Masaomi Miyazawa, Kota Ohara

要 旨

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールは産業機器分野でモータ制御などに広く使用されている。また、医療機器や溶接機、停電対策用バックアップ電源であるUPS(Uninterruptible Power Supply)で使用されるなど応用機器の分野は拡大している。さらに近年では、太陽光や風力を始めとする再生可能エネルギーを利用した発電の電力変換用としてIGBTモジュールの需要が増加しており、今後ますます役割は大きくなると予想される。

今回、新たに開発した第7世代IGBTとダイオードを搭載し、新規構造のパッケージを適用した産業用第7世代IGBTモジュール“Tシリーズ”を開発した。幅広い産業用途のニーズに応えるため、NXタイプパッケージとstdタイプパッケージとで48品種(2016年5月現在)と幅広いラ

インアップをそろえた。NXタイプパッケージでは、絶縁部と銅ベース部が一体化された樹脂絶縁銅ベース板とダイレクトポッティング樹脂充填を組み合わせたSLC(SoLid Cover)技術を適用した。一方、stdタイプパッケージでは、US(Ultra Sonic)接合と厚銅セラミック基板を使用するTMS(Thick Metal Substrate)技術を適用した。これらの新規パッケージ技術と三菱電機独自のCSTBT(Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor:電荷蓄積型トレンチゲートバイポーラトランジスタ)構造を採用した第7世代IGBT及びダイオードチップを組み合わせることで、応用製品の低損失化、パッケージ内部インダクタンスの低減、信頼性の向上を可能とした。



NXパッケージ(62×152(mm))

stdパッケージ(62×108(mm))

第7世代IGBTモジュール“Tシリーズ”(2in1タイプ)

第7世代IGBTモジュールでは、絶縁部と銅ベース部が一体化した新構造パッケージ技術の導入と第7世代チップの適用によって、低損失かつ高信頼性の製品を開発した。48品種(2016年5月現在)をラインアップすることで、幅広い用途の産業機器に対応する。

1. ま え が き

当社産業用IGBTモジュールは、低損失性、高信頼性を特長として、これまでインバータ、サーボアンプ、風力・太陽光発電、UPSなどの産業用市場の幅広い応用機器製品で採用されてきた。近年、エネルギー利用の効率化や機器の長寿命化のため、更なる低消費電力と高信頼性の要求が高まっている。これらに応えるため、今回、第7世代IGBTとダイオードを搭載し、新構造のパッケージを適用した新製品として、第7世代IGBTモジュール“Tシリーズ”を開発した。

本稿では、第7世代NXタイプパッケージ、stdタイプパッケージの特長と製品特性について述べる。

2. Tシリーズの特長

2.1 低損失性

図1に、インバータ動作時の発生損失を第6世代と第7世代IGBTモジュールとで計算した結果を示す。Tシリーズは、第7世代のIGBTとダイオードチップの適用によって、第6世代IGBTモジュールと比較して約10%の損失低減を実現した。

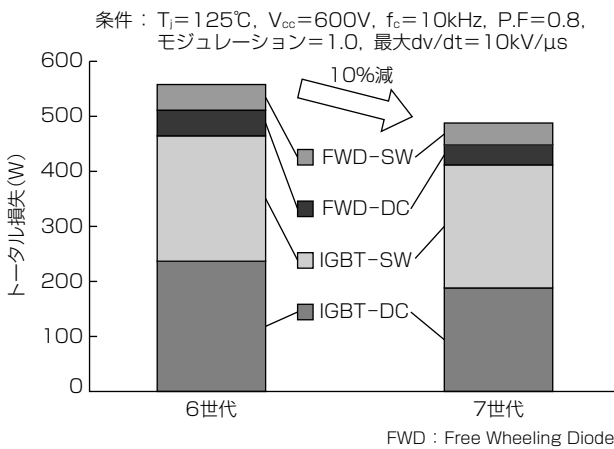


図1. 1,200V/450A素子におけるトータル損失の比較

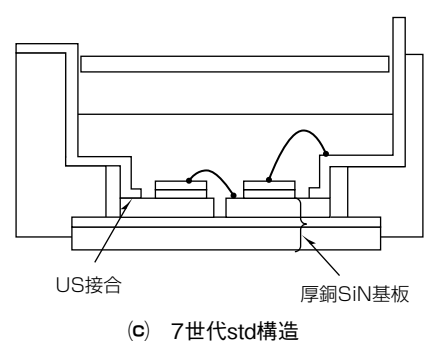
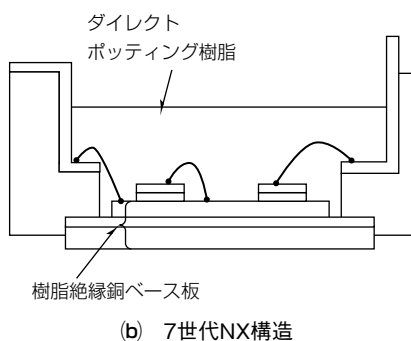
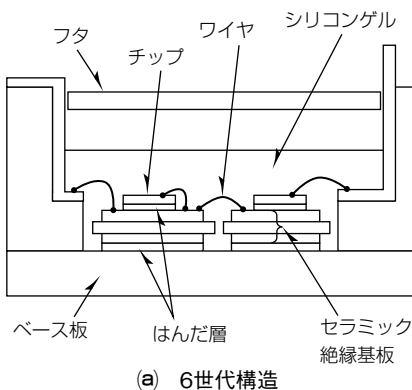


図2. 構造の比較

2.2 高信頼性

システムの起動、停止によってIGBTモジュールのケース温度 T_c は大きく変化する。モジュールは複数の素材から構成されているので、線膨張係数の差によってそれぞれの境界には強い応力がかかり疲労を起こす。これを模擬した試験がサーマルサイクル試験であり、通電、停止を繰り返すことで T_c を変化させて製品の寿命を評価する。6世代構造⁽¹⁾、7世代NX構造⁽²⁾及び7世代std構造⁽³⁾を図2に示す。6世代構造では特に応力が高くなる絶縁基板下のはんだ層にクラックが発生することが耐量を決める要因であったが、これは銅やセラミックに比べはんだがもろいためであった。一方、7世代構造では絶縁部と銅ベース部を一体化した構造を採用することで基板下のはんだ層を排除し、サーマルサイクル性の向上を可能とした。図3に、6世代構造及び7世代NX構造の初期及び同一サイクル後のSAT (Scanning Acoustic Tomograph) 画像を示す。

6世代構造では、セラミック絶縁基板下のはんだ層にクラック発生が観察されるのに対し、7世代構造では、はんだ層はなく、樹脂絶縁銅ベース板の樹脂層にも異常は見られない。

2.3 製品ラインアップ

表1にTシリーズの製品ラインアップを示す。今回、第7世代IGBTモジュールとしてNXパッケージ(はんだ付け端子/プレスフィット接続端子)、stdパッケージ、650V

	6世代構造	7世代NX構造
初期		
サイクル後		

図3. サーマルサイクル後のSAT画像比較

及び1,200V耐圧の48品種と幅広いラインアップを開発した。プレスフィット接続端子は、プリント基板にセットしてプレスするのみで接続が完了するため、ユーザーでの工程が従来のはんだ付け端子に比べて簡素化できる。NXタイプパッケージではプレスフィット接続端子を新たにラインアップに追加し、従来のはんだ付け端子とプレスフィット接続端子を選択することが可能となった。stdタイプパッケージでは、外形寸法W62×D108(mm)のパッケージでこれまで製品化されていなかった1,200V/600A品を新たにラインアップに追加した。また、表1の48品種全てに対してPC-TIM(Phase Change Thermal Interface Material)塗布のオプションを準備しており、これを選択することで、ユーザーでの放熱グリースを塗布していた作業が不要となり、工程の簡素化が実現できる。

表1. 製品ラインアップ

パッケージタイプ	形名	定格電圧	定格電流	回路構成	外形 W×D(mm)			
NXタイプ はんだピン パッケージ + プレス フィット パッケージ	CM300DX-13T CM300DXP-13T	650V	300A	2in1	62×152			
	CM450DX-13T CM450DXP-13T		450A					
	CM600DX-13T CM600DXP-13T		600A					
	CM100TX-13T CM100TXP-13T		100A					
	CM150TX-13T CM150TXP-13T		150A	6in1	62×122			
	CM200TX-13T CM200TXP-13T		200A					
	CM150RX-13T CM150RXP-13T		150A	7in1	62×137			
	CM200RX-13T CM200RXP-13T		200A					
	CM225DX-24T CM225DXP-24T		1,200V	225A	2in1	62×152		
	CM300DX-24T CM300DXP-24T			300A				
	CM450DX-24T CM450DXP-24T			450A				
	CM600DX-24T CM600DXP-24T			600A				
	CM1000DX-24T CM1000DXP-24T			1,000A	6in1	110×137		
	CM100TX-24T CM100TXP-24T			100A				
	CM150TX-24T CM150TXP-24T			150A				
	CM200TX-24T CM200TXP-24T			200A				
	CM100RX-24T CM100RXP-24T			100A	7in1	62×137		
	CM150RX-24T CM150RXP-24T			150A				
	stdタイプ パッケージ			CM100DY-13T	650V	100A	2in1	34×94
				CM150DY-13T		150A		
CM200DY-13T		200A						
CM300DY-13T		300A						
CM400DY-13T		400A						
CM600DY-13T		600A						
CM100DY-24T		100A		2in1		34×94		
CM150DY-24T		150A						
CM200DY-24T		200A						
CM300DY-24T		300A						
CM450DY-24T		450A						
CM600DY-24T		600A						

3. パッケージ

3.1 NXパッケージ

7世代NXパッケージでは、当社の従来構造である6世代パッケージから大きく構造を変更した。6世代構造は、チップ下の材料としてセラミック絶縁基板、銅ベース板、チップ下及び基板下のはんだで構成されていた。図2(b)に示すように7世代NX構造では、絶縁部と銅ベース部が一体化された樹脂絶縁銅ベース板を新規採用した。樹脂絶縁銅ベース板は、銅ベース部及び厚銅パターン層、放熱性と絶縁性確保のために最適化された絶縁シートで構成されている。また、銅ベース部及びパターンの厚みを最適化したことによって、6世代比で15%の質量低減を実現した。図2(a), (b)に示すように複数枚の絶縁基板を搭載していた6世代構造と比較して、7世代NX構造では単一の樹脂絶縁銅ベース板を搭載している。これによって、基板間を電気接続するためのワイヤが不要となり、内部インダクタンスを6世代比(1,200V/300A品)で30%低減した。

6世代構造では、基板上のチップとワイヤボンドを覆うための封止材としてシリコーンゲルが採用されてきたが、7世代NX構造では、ボンディングワイヤへの機械的なストレスを低減するために最適化されたダイレクトポッティング樹脂で封止する技術を開発した。熱サイクルによるストレスを6世代構造から低減させることで、パワーサイクル性の向上を可能とした。

3.2 stdパッケージ

7世代stdパッケージでは、絶縁基板と銅ベース板を一体化した構造として樹脂絶縁銅ベース板ではなく厚銅SiN(窒化ケイ素)基板を採用したので、その特長を次に述べる。厚銅SiN基板は、従来のAlN(窒化アルミニウム)基板とはセラミック基板という点で同じだが、銅パターンの厚み、絶縁層の材質及び厚みが異なる。チップ側の銅パターン厚みを従来の約3倍としたことで、熱伝導に不利な絶縁層を通過する前での熱拡散量を大きくし、また、より細かい回路パターン幅で大電流を流すことを可能にした。絶縁層の材質をAlNからSi₃N₄へ変更することで基板の機械的強度を上げ、基板サイズの拡大と絶縁層の薄厚化を可能にし、また、US接合に対する高い信頼性を確保した。銅パターンを厚くしたことで基板サイズの拡張は、従来の基板間ワイヤを排除し、チップ搭載可能エリアの拡大とより理想的な大電流回路パターンの配置を可能にした。これらの利点によって7世代stdシリーズでは、従来パッケージサイズと互換ながら、より小型のパッケージへの大容量チップの搭載を実現した。

4. チップ

4.1 第7世代IGBT

第7世代IGBTの断面構造を図4に示す。7世代では、

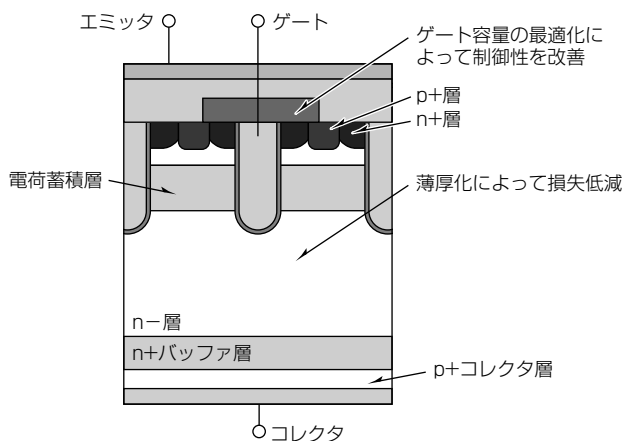


図4. 第7世代IGBTの断面構造図

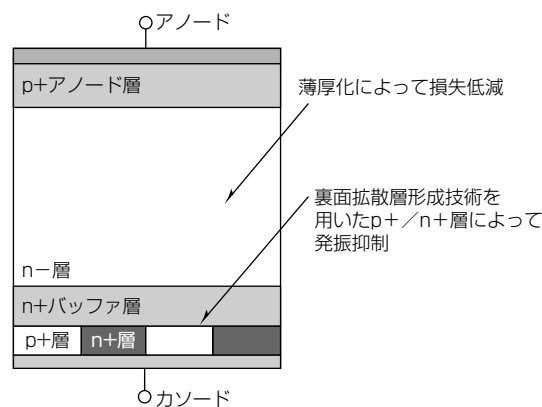


図7. 第7世代ダイオードの断面構造図

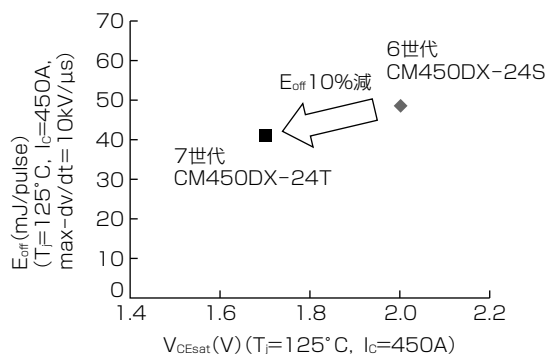


図5. VCEsat-Eoff比較

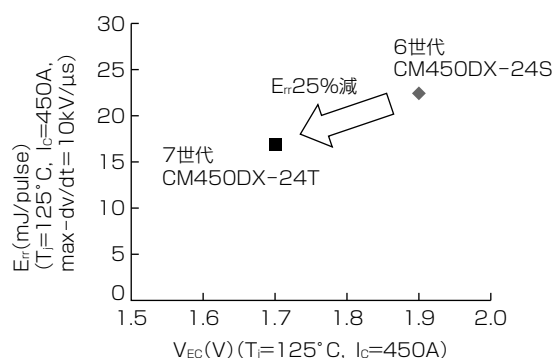


図8. VEC-Err比較

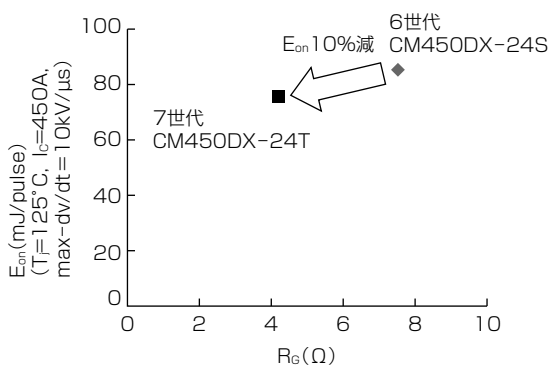


図6. Rg-Eon比較

6世代より約10%ウェーハを薄厚化し、コレクタ-エミッタ間飽和電圧 V_{CEsat} とターンオフ損失 E_{off} のトレードオフ性能を改善した(図5)。MOS部のゲート容量調整、表面のn+層とp+層の面積比率調整を行うことで薄チップでの破壊耐量を確保し、ゲート抵抗 R_g によるリカバリー dv/dt の制御性を改善した。すなわち、従来より小さい R_g でリカバリー dv/dt を下げることができ、これによって同一リカバリー dv/dt 時のターンオン損失 E_{on} を10%低減した(図6)。

4.2 第7世代ダイオード

第7世代ダイオードの断面構造図を図7に示す。7世代では、6世代より約20%ウェーハを薄厚化し、裏面拡散層形成技術を用いてカソードにp+/n+構造を形成したRFC(Relaxed Field of Cathode)ダイオードを採用した。この効果によって、ウェーハの薄厚化で一般に問題となる発振

を抑制しつつウェーハを薄くすることが可能となり、従来型ダイオードと比べて順電圧降下 V_{EC} とリカバリー損失 E_{rr} のトレードオフを改善した(図8)。

5. むすび

第7世代IGBTモジュールでは、絶縁部と銅ベース部が一体化した新構造パッケージ技術の導入と第7世代チップの適用によって、低損失かつ高信頼性の製品を開発した。さらに、NXパッケージ、stdパッケージでのラインアップの充実化、PC-TIMを備えたモジュールを選択可能としたことで、ユーザーの多様なニーズに応える製品となっている。今後、第7世代IGBTモジュールを市場に展開していくことで、省エネルギー化社会に貢献していく。

参考文献

- (1) 西山建人, ほか: 6世代IGBTモジュール“NXシリーズ”, 三菱電機技報, 84, No.4, 240~243 (2010)
- (2) Ohara, K., et al.: A New IGBT Module with insulated Metal Baseplate(IMB) and 7th Generation Chips, PCIM Europe 2015, 1145~1148 (2015)
- (3) Miyazawa, M., et al.: 7th Generation IGBT Module for Industrial Applications, PCIM Europe 2014, 34~38 (2014)