

SLC技術と新PC-TIMによる 熱ストレス低減

増田晃一*
大坪義貴*
稗田智宏*

Relaxing Thermal Stress by SLC Technology and New PC-TIM

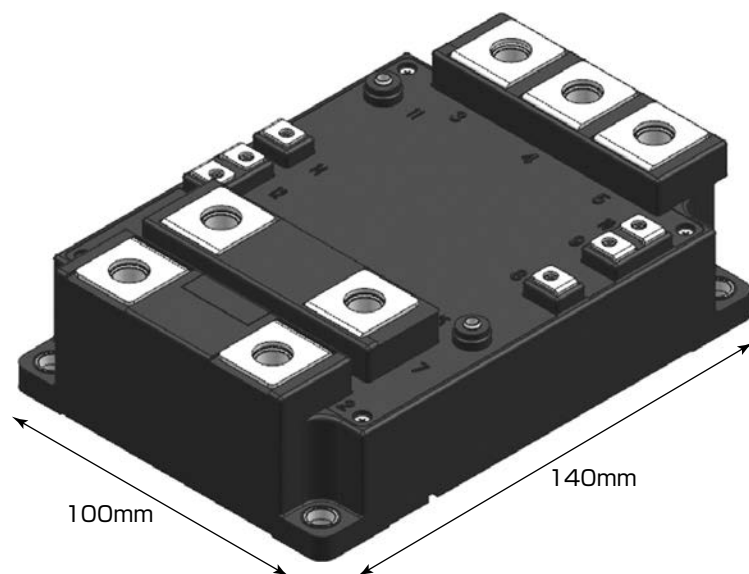
Koichi Masuda, Yoshitaka Otsubo, Tomohiro Hieda

要 旨

近年、汎用インバータ、モータドライブ、風力発電、太陽光発電といった産業用途のパワーエレクトロニクスの応用機器で小型化が進んでいる。これらの機器に用いられるIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とダイオードを搭載したパワーモジュールに対しても大容量化や小型化が求められており、モジュールの高電力密度化と低損失化が必要となっている。第7世代パワーモジュールではこれらの要求を実現するため、パワーチップ技術として第7世代IGBTやRFC(Relaxed Field of Cathode)ダイオード、さらにパッケージ技術として樹脂絶縁銅ベース板を用いたSLC(SoLid Cover)技術や厚銅セラミック基板を使用したTMS(Thick Metal Substrate)技術を採用してきた。

今回、第7世代パワーモジュール技術の大容量パッケージへの展開として、三菱電機で開発を行っている産業用LV100のパッケージにSLC技術を用いることで従来の銅ベース板と絶縁基板を使用した構造に対して熱ストレスの低減を行った。また、新しい高熱伝導のPC-TIM(Phase Change Thermal Interface Material)を組み合わせることで更なる性能向上が可能になった。産業用LV100及び新しいPC-TIMの特長は次のとおりである。

- ① SLC技術による大容量化とパワーチップ搭載面積増加
- ② 温度変化に対するベース板反り形状変化の抑制
- ③ 高熱伝導率と高耐熱性のPC-TIM
- ④ SLC技術と新しいPC-TIMによる熱抵抗の低減



産業用LV100

パッケージ構造としてSLC技術を、チップ技術として第7世代IGBT及びRFCダイオードを採用した次世代デュアルモジュールである。外形サイズは100(W)×140(D)(mm)、ラインアップは1,200V系、1,700V系いずれも800~1,200Aで製品展開予定である。同一外形サイズでアルミベース一体型基板構造であるMCB(Metal Casting direct Bonding)技術を用いた高絶縁製品を1,700V系、3,300V系でラインアップの予定である。

1. ま え が き

汎用インバータ、モータドライブ、風力発電、太陽光発電といった産業用途のパワーエレクトロニクスの応用機器で小型化が進んでいる。これらの機器に搭載されるパワーモジュールに対しても大容量化や小型化が求められており、モジュールの高電力密度化と低損失化が必要となっている。当社はこれらの要求を実現するため第7世代の産業用IGBTモジュールとして、樹脂絶縁銅ベース板を採用したSLC技術を用いた“NXシリーズ”や厚銅セラミック基板を採用したTMS技術を用いた“stdシリーズ”を展開してきた⁽¹⁾⁽²⁾。さらに、第7世代パワーモジュール技術の大容量パッケージへの展開として、SLC技術を用いて大容量モジュールである産業用LV100(100(W)×140(D)(mm))の開発を行っている。

本稿では、モジュールの大容量化と高電流密度化の課題である放熱性の改善手法として、SLC技術と新しい高熱伝導のPC-TIMの有用性について述べる。

2. SLC技術

図1にSLC技術の構造と従来技術である銅ベース板+絶縁基板構造(以下“従来構造”という。)の比較を示す。また、表1に大容量のモジュールでのSLC技術の特長を示

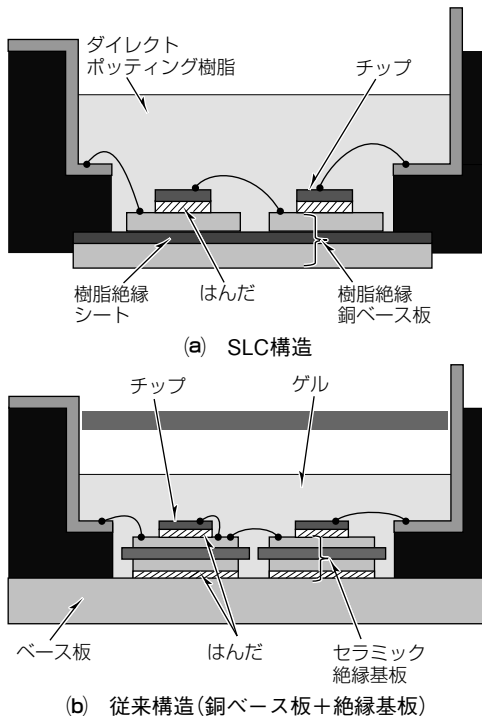


図1. 構造の比較

表1. SLC技術の特長

項目	長所
一体型基板	チップ搭載面積拡大
構成材料の線膨張係数の最適化	材料間の線膨張係数の差による熱ストレスを低減
高熱伝導の樹脂絶縁材料	熱抵抗の低減

す。産業用LV100ではSLC技術を採用することで従来構造に対してより大容量・高電力密度化が可能になった。

従来構造を用いたパワーモジュールでは定格電流1,000Aを超えるような場合、セラミック基板のクラックを防止するため絶縁基板を複数枚に分割する必要があった。それに対してSLC技術を用いた場合、絶縁基板を分割せずに1枚化できるため基板上の金属パターン面積を拡大できる。図2に示すように産業用LV100の外形サイズでは、従来構造に対して約20%パターン面積を拡大した。また、基板を分割せずに一枚化することによって端子接合部の面積を集約化することで金属パターン面内のチップ搭載部の面積比率を更に拡大可能になった。チップ搭載面積の拡大によって従来構造に対して熱抵抗を低減し、モジュールの出力を上げることができる。

また、SLC技術では構成材料の線膨張係数の最適化を行っている。従来構造にあったセラミック基板と基板下はんだをなくし、線膨張係数が近い材料でモジュールを構成することによってヒートサイクル耐量を改善している⁽³⁾。図3に温度変化に対するベース板平坦(へいたん)度の測定結果を示す。LV100のようなベース板面積が大きいモジュールでもSLC技術を用いることで、温度変化に対するベース板の変位量を抑制できる。ベース板変位量を抑えることによって従来構造に対してポンピングアウト耐性の改善やシリコングリースやPC-TIMなどの放熱材の薄厚化が可能になる。

さらに樹脂絶縁シートの熱伝導率を第7世代1,200V系NXシリーズに用いられている従来のシート材から改善した。表2に示すようにシート材の熱伝導率の向上によって、シート厚みを厚くすることで絶縁耐電圧を従来の2,500Vから4,000Vに向上させながらも熱抵抗を6%低減した⁽⁴⁾。絶縁耐電圧4,000Vを実現できたことによって、SLC技術の1,700V系パワーモジュールへの適用が可能になった。なお、この高熱伝導のシート材は第7世代1,700V系NXシリーズから適用している。

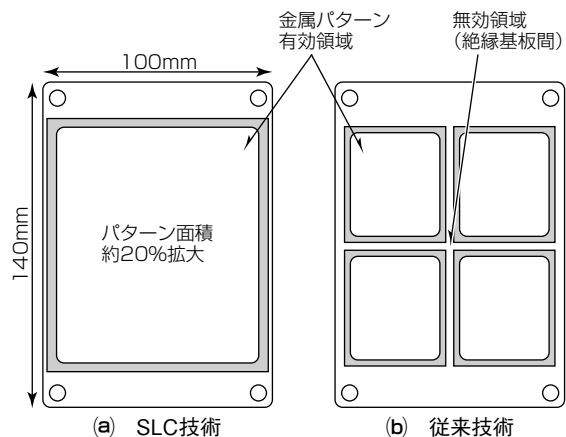
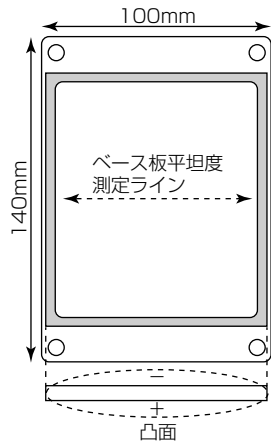


図2. パターン面積の比較



条件：Tc=25℃, 125℃, IGBT通電によってモジュール発熱
(a) 測定条件, 箇所

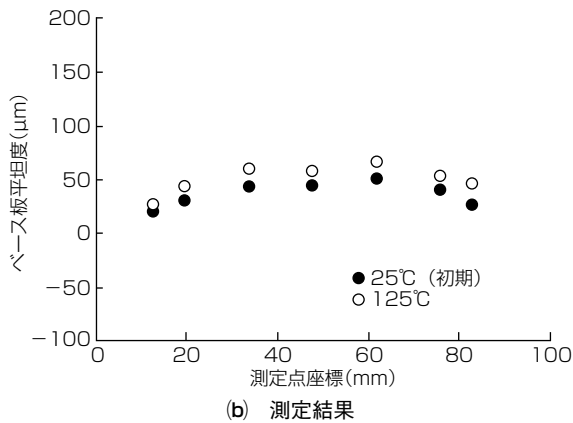


図3. ベース板平坦度測定結果

表2. SLC技術の特長

適用製品	樹脂絶縁シート	絶縁耐電圧	熱抵抗Rthj-c比 ^(注1)
第7世代1.200V系NXシリーズほか	従来仕様	2,500V	1.00
第7世代1.700V系NXシリーズ, 産業用LV100ほか	高熱伝導仕様	4,000V	0.94

(注1) 同一チップサイズ条件でのジャンクション-ケース間の熱抵抗比

3. 高熱伝導・高耐熱仕様のPC-TIM

熱ストレスを低減するにはパワーモジュールの放熱性能改善とともにベース板とヒートシンク間の接触熱抵抗を低減することが重要である。当社では第7世代NXシリーズ, stdシリーズからPC-TIMの塗布対応を行っており, 熱伝導率及び耐熱性を更に改善したPC-TIMの採用を検討している。表3に従来仕様と採用検討中の高熱伝導・高耐熱仕様のPC-TIMの比較を示す。高熱伝導・高耐熱仕様のPC-TIMでは熱伝導率を4.0W/(m・K)に向上させ, 150℃温度条件下でも使用可能になっている。図4にPC-TIMの濡れ(ぬ)れ広がり性の評価結果を示す。PC-TIMの熱伝導率と濡れ広がり性はフィラーの含有量によって性能のトレードオフ関係にあり(図5), 熱伝導率を向上させると濡れ広がり性低下が懸念される。しかし新しいPC-TIMでは構成材料, フィラー径を最適化することで濡れ

表3. PC-TIMの比較

PC-TIMの仕様	熱伝導率(W/(m・K))	最大使用温度(℃)
従来仕様	3.4	125
高熱伝導・高耐熱仕様	4.0	150

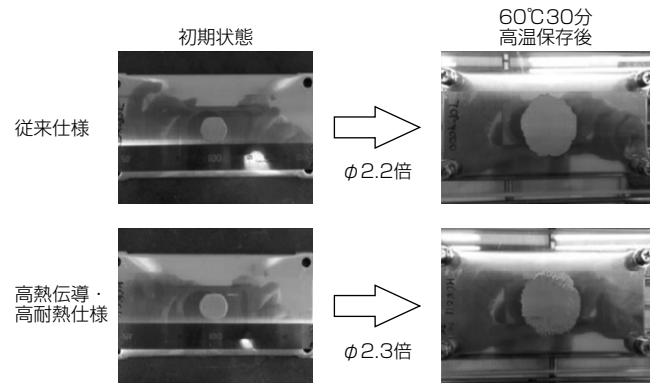


図4. 濡れ広がり性の評価結果

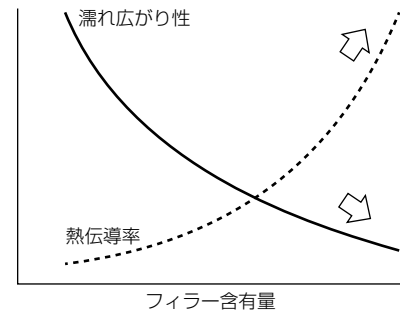


図5. PC-TIMトレードオフのイメージ図

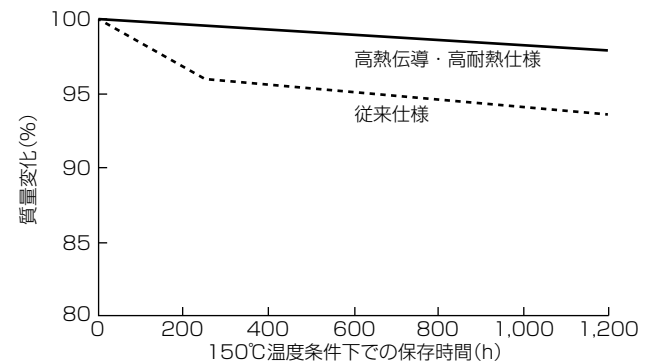


図6. PC-TIMの質量変化率

広がり性を損なうことなく熱伝導率を改善した。

また, 図6に150℃の高温保存試験でのPC-TIMの質量変化率を示す。高熱伝導・高耐熱仕様では熱分解温度を高くすることによって高温時の質量変化率を低減した。この改善によって150℃温度条件下でも使用可能である。

4. 熱抵抗の低減

前述のSLC技術と高熱伝導・高耐熱のPC-TIMを組み合わせることで熱抵抗の低減が可能になる。表4に放熱性能確認のために行った定常熱解析のモデル条件を示す。解

表4. 定常熱解析のモデル条件

モデル	構造	放熱材 ^(注2)	外形サイズ
新技術	SLC構造	PC-TIM 4.0W/(m・K) 50μm	100×140(mm)
従来技術	従来構造 (銅ベース板+薄 Al ₂ O ₃ 絶縁基板)	シリコングリース 0.9W/(m・K) 100μm	

(注2) 放熱材厚は各構造の推奨厚み

5. む す び

第7世代パワーモジュール技術の大容量パッケージへの展開として、SLC技術と熱伝導率を向上させるPC-TIMを用いることによって熱ストレスを低減した。SLC技術の採用によってチップ搭載面積を拡大するとともに温度変化に対するベース板の反り形状変化を抑制した。またPC-TIMでは構成材料の最適化によって、接触熱抵抗の低減と150℃条件下での使用が可能になった。さらにこれらの技術を組み合わせることによって、従来技術に対して熱抵抗を低減してモジュールの放熱性の向上が可能であることを確認した。

参 考 文 献

- (1) 鈴木健司, ほか: 高性能・高破壊耐量第7世代パワーチップ技術, 三菱電機技報, 88, No.5, 281~284 (2014)
- (2) 宮澤雅臣, ほか: 産業用第7世代IGBTモジュール“Tシリーズ”, 三菱電機技報, 90, No.5, 295~298 (2016)
- (3) 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)
- (4) Takahashi, T., et al.: A 1700V-IGBT module and IPM with new insulated metal baseplate(IMB) featuring enhancing isolation properties and thermal conductivity, PCIM, 342~347 (2016)

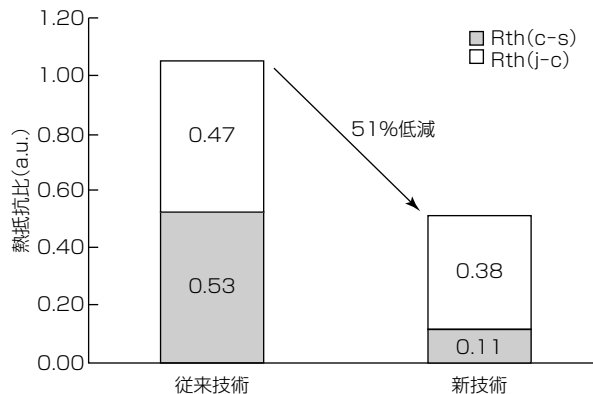


図7. 熱抵抗シミュレーション結果

析モデルは産業用LV100の外形サイズを採用し、比較素子として、モジュール構造はAl₂O₃(アルミナ)絶縁基板、放熱材はシリコングリースを用いたモデルでも解析を行った。また、SLC構造での放熱材厚は、温度変化に対するベース板変位量を従来構造より低減できるため50μmとした。図7に定常熱解析によって算出した熱抵抗の比較を示す。解析結果から、従来技術のモデルに対して新技術のモデルでは熱抵抗が約半減した。この結果から、SLC技術と高熱伝導・高耐熱のPC-TIMによる放熱性向上を確認した。