

パッケージ技術ロードマップ

The Packaging Technology Roadmap

吉崎 茂雄*
Shigeo Yoshizaki

概要 当社は白物家電用途等の高圧モータドライバの製品開発に力を入れている。この製品は国内外での評価も高く、高シェアを維持している。しかし、市場競争は激化しており、シェアを維持拡大していくためには、更に市場ニーズに合った製品化を行っていく必要がある。
その中でも製品の価値を左右するパッケージング技術はロードマップに基づいた開発を行っておりその内容を述べる。

1. まえがき

白物家電、環境対応自動車(EV・PHEV)、産業用などに使われる高耐圧インバータ用途の製品は、動作回路が形成されたモジュールパッケージで構成される。

パワー素子、ドライバ(MIC)、受動部品等を1つのモールドパッケージに実装し、インバータ動作回路を形成した、Inverter Power Module(IPM)として認知されていて、白物家電を中心に採用が増えている。将来的にはモールドモジュールの需要は電動車両を中心とした車載用途で更に増加していくと予想される。

その中でも特に重要なキーとなるのは、インバータ動作時にパワー素子から発生した熱を、速やかにセット側の放熱フィンに熱を逃がしパワー素子の動作温度を T_j (ジャンクション温度)以下に保持する技術である。

2. 現在までのモジュールパッケージ開発

当社では家電用途の高圧モータドライバを中心として有機系絶縁放熱板を搭載したモールドモジュールを市場展開している。

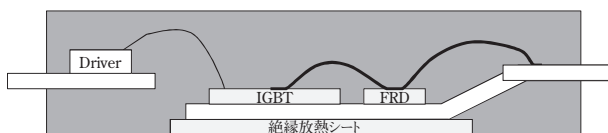


図1 SCM1200MFシリーズ

パワー素子からモジュール放熱板への伝熱の改善は熱抵抗値(R_{thJ-C})を小さくすることで達成できる。

この構造で $I_c = 30A$ 製品の熱抵抗(R_{thJ-C})は $3.0^{\circ}C/W$ である。

この構造は放熱部の熱抵抗が大きく、高放熱化を行うために放熱材料の検討に着手した。

有機系絶縁放熱シートは熱伝導率が低く、熱抵抗が下がらないため、熱伝導率が高い無機系放熱基板を使ったモールドモジュール構造を開発した⁽¹⁾。

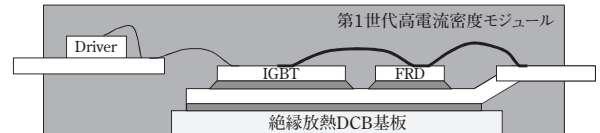


図2 第1世代高放熱モジュールSAE6500シリーズ

この構造で $I_c = 30A$ 品の熱抵抗(R_{thJ-C})は $1.0^{\circ}C/W$ に大幅向上した。

3. 第2世代高電力密度モジュール

第1世代高放熱モジュールで $R_{thJ-C} = 1.0^{\circ}C/W$ の構造を確立したが、市場での競争力を維持するために更なる電力密度向上を行いパッケージの小型化が必要である。

また、電力密度向上のためにはパワー素子の損失低減とパッケージ高放熱化の技術開発が必須である。

当社では継続して次世代低損失FS-IGBTを開発しており、その改善効果により第1世代の $R_{thJ-C} = 1.0^{\circ}C/W$ を維持したままで、従来2層のはんだづけレイヤ構造を1層に簡素化できる目途づけができてきた。現在低損失パワー素子を使った第2世代高放熱モジュールを開発中である。

* デバイス事業本部 技術本部 アセンブリ技術統括部
アセンブリ要素開発部

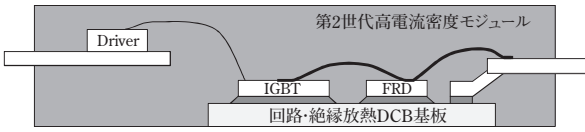


図3 第2世代高放熱モジュール

表1は第2世代高放熱モジュール構造をプラットフォームとした場合の各用途むけの現行パッケージサイズのシュリンク率をまとめたものである。

表1 第2世代高放熱モジュールのサイズシュリンク率

	Current model Lead Frame	Development DCB Substrate	Size shrink	Rth J-C	L/O
650V 30-50A			-22%	$I_c=30A$ $1.0^{\circ}C/W$ ※	CY2022
650V 15-30A			-20%	$I_c=15A$ $1.7^{\circ}C/W$ ※	CY2021
650V 10-15A			-39%	$I_c=15A$ $1.8^{\circ}C/W$ ※	CY2021

※ IGBT1 素子当たり

電流密度を上げたことでいずれの用途でもパッケージサイズを20%以上小型にすることが可能になる見込みである。

4. 今後の高電力密度化

高電力密度を実現するためのDCB基板の高放熱化について述べる。表2は市場展開されている無機系放熱基板の一覧である。現状最も流通しているのは、セラミックが96%アルミナで構成されているタイプで、複数社が製造している。

表2 DCB基板の比較

Material	Al2O2	ZTA	ALN	SiN	Unit
	96% Alumina	Zirconia Toughened Alumina	Aluminum Nitride	Silicon Nitride	
Ceramic CTE	6.8	7.1	4.7	2.5	ppm/°C
Ceramic Thermal conductivity	24	26	170	90	W/m.k
Bending Strength	450	600	350	700	N/mm ²
Standard material combinations	0.38/0.63	0.32	0.63	0.32	mm
Layer Cu/ceramic/Cu					
Process	DCB	DCB	DCB	AMB	
Cost	Most affordable	Reasonable	Expensive	More Expensive	

モジュールの電力密度を向上するためには、熱を逃がせる技術を取りこむことが必要で3つの手法が考えられる。図4にその手法をまとめた。

構造	内容
	セラミックを高熱伝導化して熱を逃げやすくする ALN/SiNなど
	セラミックを薄厚化して熱を通しやすくする
	銅を厚くして横方向の熱伝わりを大きくする

図4 DCB基板の放熱向上手法(2)

それらの組合せで熱抵抗Rth J-Cの低減が見込める。これらの手法がどの程度効果が見込めるか熱シミュレーションで確認した結果を図5に示した。

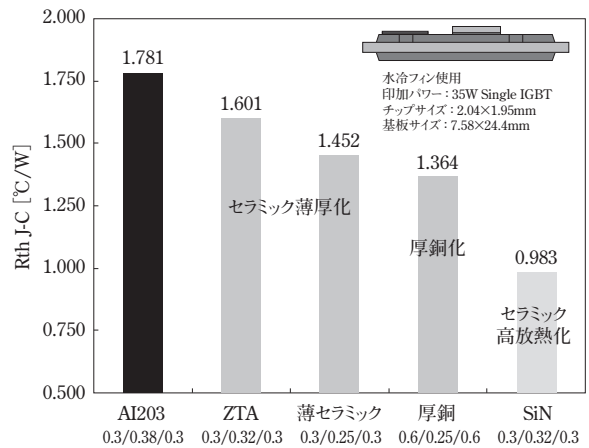


図5 DCB基板種類と熱抵抗シミュレーション結果

シミュレーション結果より、放熱部の熱抵抗Rth J-Cを低くするためにはセラミックを高熱伝導率化する手法が最も効果的で約37%低熱抵抗となった。セラミック薄厚化が次に効果があり、約10%の効果が見られた。厚銅化は約6%の効果が見られた。

窒化ケイ素 (SiN) を採用することで、大幅な熱抵抗Rth J-Cの低減が見込めるが、SiNが高価で更にセラミックと銅の接合はAMB (Active Metal Brazing) プロセスが必要で高価である。このセラミック基板はモールドタイプには向いていないと考えられる。

一方、セラミックの薄厚化や厚銅化の手法はアルミナならば、DCB (Direct Copper Bonding) プロセスが使えて、かつセラミックも安価なので、チップの低損失化と合わせることで比較的安価に熱抵抗Rth J-Cの低減できる可能性がある。

5. パッケージ技術ロードマップ

今後市場展開予定の2025年までのパッケージロードマップを図6に示した。

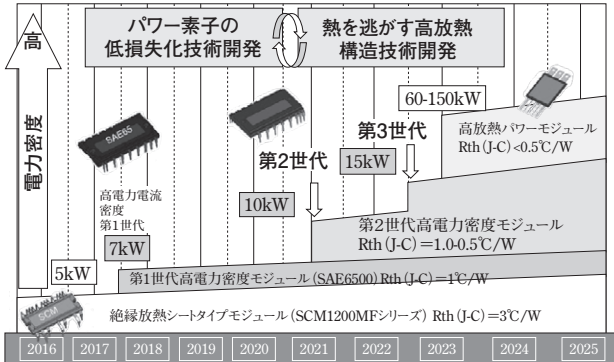


図6 高電流密度パッケージ開発ロードマップ

DCB基板モジュール構造プラットフォームをコア技術としたパッケージ開発を継続していくロードマップとなっている。構造の要になるDCB基板については更なる高放熱化に対応できる組合せを引き続き検討し、高電力密度モジュールを目指していく。

6. 今後のアセンブリ技術開発について

パッケージロードマップの実現のためにはモジュールパッケージを組み立てるためのアセンブリ要素技術開発が特に重要である。表3に今後の高放熱構造モジュール組み立てに必要な要素技術をまとめた。低損失パワー素子を組み込むための技術開発やDCB基板の高放熱化や部品実装の技術開発、環境対応材料の量産技術開発などを中心に進めて高電力密度モジュール開発と量産を行っていく。

7. むすび

高電力密度を目指したモールドモジュールのロードマップを作成した。アセンブリ要素技術開発を確実に進めて高電力密度モジュールパッケージを市場展開していく所存である。

参考文献

- (1) サンケン技報2016 P27
- (2) JEITA 2019年度版実装技術ロードマップ P231-235

表3 今後のアセンブリ要素技術開発

要素技術開発完了年度		2017	2021
高放熱モジュール世代		第1世代	第2世代
薄厚ウェハー加工	組込可能シリコン厚み	80 μ m	60 μ m
	ダイアタッチボイド低減リフロー技術	はんだ真空リフロー	はんだ高品質真空リフロー
モジュール低熱抵抗化	DCB基板モジュール	放熱セラミックDCB基板2層構造	薄厚セラミックDCB基板単層構造
制御保護回路	受動部品搭載	—	DCB基板上搭載NTCコンデンサ抵抗
環境対応	有害物質不使用材料採用	RoHS対応材料	鉛フリーはんだ 難燃剤Sb/Br樹脂 フリーモールド材