

白物家電用モータドライバ IC SIM2-151 の開発

Development of the motor driver IC SIM2-151

前川 祐也*
Yuya Maekawa

境 春彦**
Haruhiko Sakai

概要 近年、白物家電製品向け高圧三相モータドライバICに対し、小型化、高品質化、高効率化のニーズが益々高まっている。それら市場要求を満たすべくSIM2-151を開発した。

SIM2-151では高放熱を実現できるDirect Bonded Copper (DBC) 基板と高電流密度化したField Stop IGBT (FS-IGBT) を採用することで、放熱性能を損なわずにパッケージサイズの小型化とパワー素子の低損失化を実現した。また、端子数および端子配置を最適化し、周辺基板パターン面積の削減を実現しつつも、高電位差間の端子間距離を確保する相反する市場要求を実現した。その他に差別化となる保護機能強化もおこない、特にエアコン・コンプレッサ駆動に適した製品となっている。

1. まえがき

近年、世界各地で気候変動や自然災害が頻発し、SDGsが社会に浸透してきたことなどから、省エネルギーに対応した製品を求める声が増え、省エネが見せている。このことは日常生活に関わりの深い白物家電においても同様であり、この要求に答えるべく当社では省エネが実現可能なインバータ化で有用となるモータドライバICの開発から生産、販売をおこなってきている。また、最近では白物家電製品に内蔵する制御基板に対し小型化、高品質化、高効率化の要求が高まっている。この要求はモータドライバICも影響し、パッケージサイズおよび実装面積の小型化が求められている一方、導電性異物による端子間ショート防止のため、高電位差端子間の間隔を広げたいという小型化とは逆行する要求もある。

パッケージの小型化を目指す際、熱容量の低下が重大な課題となる。熱容量の低下はパワー素子の放熱性能にも悪影響を及ぼすため、高放熱に適した材料の選定や構造の検討が重要となる。また、小型化はパワー素子のステージサイズ削減も必要となることから、さらなる低損失化を実現できる高電流密度化可能なIGBTプロセスの開発が必要である。さらに、パッケージサイズを小型化

するため制御用端子数の削減ならび端子配置の最適化をおこなうことで、市場要求に適合した製品を開発した。

2. 開発品SIM2-151の概要

図1に今回開発したSIM2-151の外観を示す。本製品は、出力素子、プリドライバおよび制限抵抗付きブートストラップダイオードを1パッケージにした高圧三相モータ用ドライバであり、出力素子にはField Stop IGBT (FS-IGBT) を採用している。

製品の構造は、DBC基板上にIGBTとFRDをはんだで実装し、銅フレームをDBC基板上へ接続することで端子への電気的な接続をおこなっている。MICは制御側のフレーム上に実装している。IGBT、FRD部は太線ワイヤーを、Monolithic Integrated Circuit (MIC) 部は細線ワイヤーを使用し、端子への電気的な接続をおこなっている。パッケージサイズは、縦14.6mm×横35.7mm×厚み4.2mmとなる。

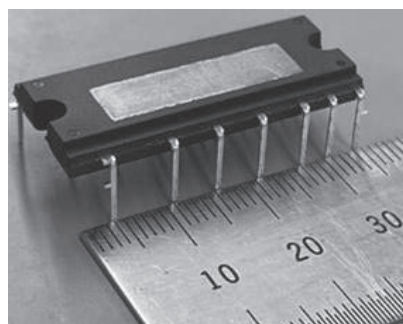


図1 SIM2-151

* 半導体事業本部 マーケティング本部 パワーモジュール開発統括部
IPM 開発部 開発1課

** 半導体事業本部 マーケティング本部 アセンブリ技術統括部
アセンブリ開発部 開発1課

図2にSIM2-151の内部ブロック図を示している。保護機能は、制御電源低下保護 (UVLO)、過電流保護 (OCP)、サーマルシャットダウン (TSD)、温度モニタ出力 (Thermal Monitor) を搭載している。保護機能の項目は従来品と同様となるが、過熱時における動作温度の変更や精度の改善をすることでアブノーマル時の熱破壊によるリスクの低減を図っている (表1)。

図3にパワー素子損失量とパワー素子温度の関係を示す。従来構造と比較して熱抵抗を44%改善出来るシミュレーション結果が得られた。

表2にSIM2-151の主な仕様を示している。IGBTの出力飽和電圧を1.7V→1.6Vに低減し、低損失化に貢献する仕様となっている。

表1 温度保護精度の改善

項目	SIM2-151	従来品
TSD 保護動作温度および精度	120°C ± 5°C	150°C ± 15°C
温度モニタ出力電圧精度 (125°C時)	± 4%	± 5%

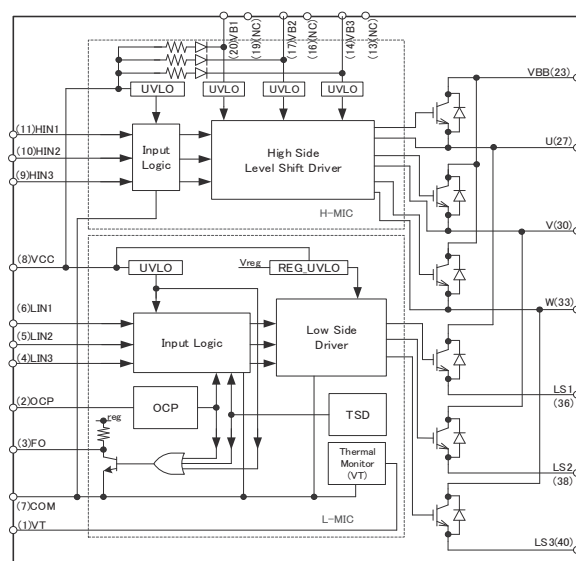


図2 SIM2-151 Block Diagram

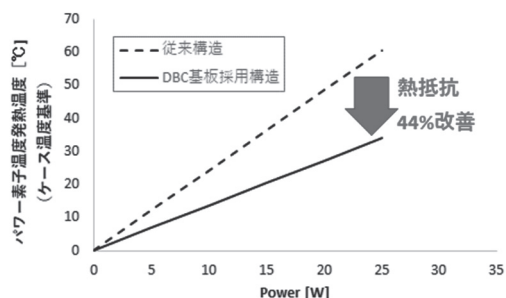


図3 熱特性シミュレーション結果

表2 SIM2-151 主要仕様

項目	記号	仕様値	単位	条件
		SIM2-151		
絶縁耐圧 (MIN)	Viso	2000	[Vrms]	裏面FIN-リード端子間 AC 1分間
熱抵抗 (接合-ケース間)	R(J-C) Q	3.2	[°C/W]	IGBT 1素子当り
	R(J-C) F	3.8	[°C/W]	FRD 1素子当り
定格出力耐圧	VCES	600	[V]	
定格出力電流	Io	15	[A]	
IGBT出力飽和電圧 TYP/MAX	VCE(SAT)	1.6/2.05	[V]	Ic = 15A
FRD順電圧降下 TYP/MAX	VF	2.0/2.4	[V]	IF = 15A
ブートストラップ電源及び制御電源低下保護電圧	VUVLL	11.0 ± 1.0	[V]	
	VUVLH	11.5 ± 1.0	[V]	
過電流保護トリップ電圧	Vtrip	0.5 ± 5%	[V]	
過電流/短絡保護保持時間 MIN/TYP	Tocp	5/10	[ms]	
TSD動作および解除温度 (※1)(※2)	TDH	120 ± 5	[°C]	
	TDL	100 ± 5	[°C]	
温度モニタ出力電圧 (※1)	Vt	3.13 ± 4%	[V]	T _{J(L-MIC)} = 125°C

※1 MICの温度であり、パワーチップの温度ではありません。

※2 過渡状態ではLow side MICとパワーチップの温度差が大きくなるので、この機能で熱破壊防止を保証するものではありません。

3. SIM2-151の特徴

新製品の開発にあたり、前述の課題を解決するための主な開発コンセプトは3つある。

1つ目は、高放熱特性のDBC基板を放熱FINに採用し、パワー素子を直接DBC基板上にダイマウントする構成とすることで従来品から放熱性能を損なうことなくパッケージサイズの小型化を実現する。

2つ目は、高電流密度を可能とするFS-IGBTを開発し搭載することで、パワー素子の小型化を実現し搭載面積を削減することでパッケージサイズの小型化と同時に、低損失化を実現する。

最後に端子間の絶縁距離の確保がある。製品構成の見直しを実施することで端子数の削減、端子配置の最適化を実施する。

3.1 高放熱特性DBC基板の採用

当社では、アセンブリ材料および生産装置の共通化をおこなうためにDBC構造をサンケン・パワーエレクトロニクス・プラットフォーム (SPP) として開発を進めてきた。DBCは高放熱特性を持つセラミックにCuを直接接合した基板である。

図4に従来品との放熱構造の違いを示す。DBC基板採用構造では、エッチング加工によって電気的に分離されたCuパターンへ直接パワー素子をボンディングし、セラミックへ放熱することで高放熱特性を実現している。セラミック材料は高絶縁特性も兼ね備えており、厚みを抑えても外部に対し十分な絶縁性を確保できるため、より優れた放熱構造を目指しやすい。従来構造では絶縁層

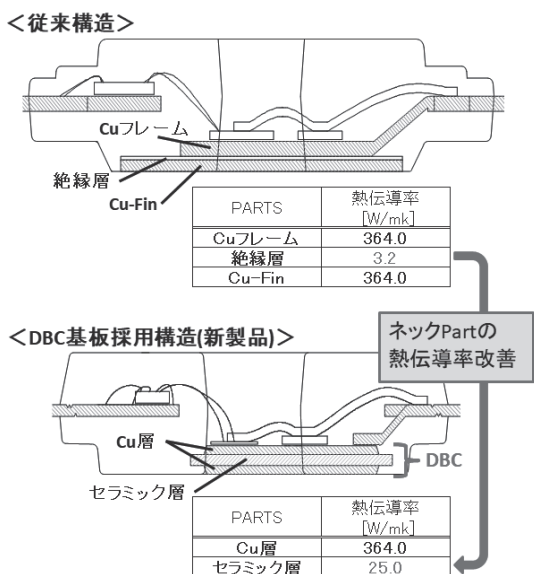


図4 パッケージ放熱構造比較

の熱伝導率が3.2 [W/mK]と悪く放熱を大きく阻害する原因となっていたが、開発品では絶縁層の働きを兼ねるセラミックの熱伝導率が25 [W/mK]と良いことから熱伝導率の改善を実現している。その結果、SIM2-151は従来品に対しパッケージ面積を42%削減しているにもかかわらず、実用電流帯で従来品と同等のパワーチップ発熱温度を実現した。

3.2 高電流密度FS-IGBTの開発

当社のトレンチIGBT開発はPT-IGBT (Punch Through) からスタートし、FS-IGBTへと世代を進めてきた。図5にこれらIGBTの構造を示す。PT-IGBTは高不純物濃度のP型基板の上にN型エピ層を形成することで低VCE (sat) を実現していた。この構造の場合、Pコレクタ層が厚くホールが多く存在することから、ターンオフ時の引き抜きに時間がかかり損失が増大する問題があった。その対策としてライフタイムキラーを注入することでホールを調整する手法を用いているが、VCE (sat) の増大など背反事項がありトレードオフ改善には限界があった。

一方FS-IGBTでは、P型基板は使用せず裏面からイオン注入することでP層を形成するので、イオン注入量を精度良く調整することで最適なホール注入量を実現出来る。その結果、VCE (sat) とスイッチング損失のトレードオフ特性の向上が可能となったが、開発品の低損失化

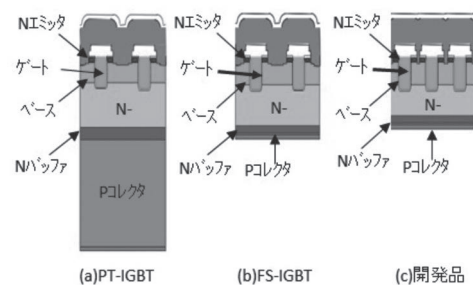


図5 当社IGBTの構造図

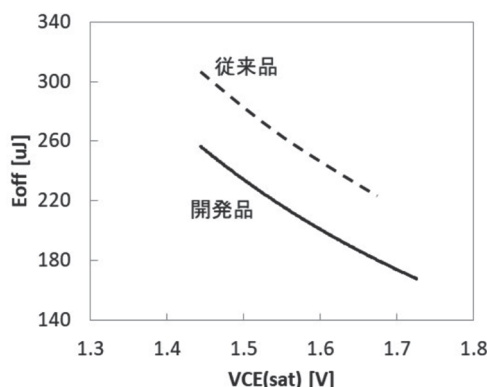


図6 VCE (sat)-Eoffトレードオフ特性

要求が高く、要求スペックを満足できないことが分かった。そこで、さらなる低損失化のため、N-ドリフト層の薄厚化ならびセルピッチの微細化を実施した。その結果、PT-IGBTに比べ1.7倍の高電流密度化を実現出来、トレードオフ特性改善が可能となり大幅な低損失化が可能となった。図6にVCE(sat)-Eoffトレードオフ特性を示す。

3.3 端子間の絶縁距離不足の改善

以上、高放熱を実現出来るDBC構造と小型で低損失なFS-IGBTを開発することで小型化に向け必要な技術を確立できたが、近年市場から要求されることが多くなった端子間の絶縁距離確保を考慮したパッケージ設計が必要となった。言うまでもなくパッケージサイズの小型化を進めることで端子間距離を確保するのは難しくなるため、端子数の削減、ならび端子配置の最適化をおこない端子間の絶縁距離を確保する設計をおこなった。図7にSIM2-151と従来品の端子間距離を示す。パッケージを小型化しつつも最小の空間距離を2.788mm、沿面距離を4.334mm確保することで、市場から要求される端子間距離以上を満たす端子間距離を実現した。今回の端子配置の見直しにより、従来品に比べ絶縁距離を考慮すべき端子が削減されることで基板上においても配線間距離を必要とするパターンが削減されるため、周辺パターン面積縮小効果により基板の小型化に寄与できる。

4. むすび

新製品SIM2-151は、高放熱特性のDBC基板と高電流密度化したFS-IGBTを採用することで、放熱性能を損なわずにパッケージサイズの小型化とパワー素子の低損失化を実現した。また、制御端子数および端子配置の最適化により、パターン占有面積削減、端子間距離不足の改

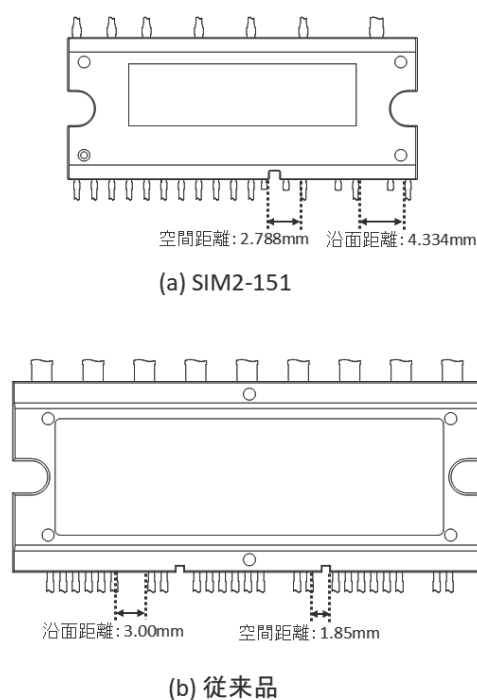


図7 端子間距離

善も実現したことから、市場要求である小型化、低損失化、高品質化を満たす製品となった。

機能面においては、業界トップクラスの高精度温度モニタ出力機能とサーマルシャットダウン機能を備え、アブノーマル時の発熱に対し熱破壊してしまうリスクを低減。市場競争が激しい15A定格帯において競争力のある差別化機能を実現した。

今後も幅広い市場ニーズに答えられるようモータドライバICの開発に注力し省エネルギー化社会に貢献し続けられる製品の開発を進めていく。