

第7世代「Xシリーズ」1,200 V/2,400 A RC-IGBT モジュール

7th-Generation “X series” 1,200 V/2,400 A RC-IGBT modules

高崎 愛子* TAKASAKI, Aiko

掛布 光泰* KAKEFU, Mitsuhiro

山野 彰生* YAMANO, Akio

人口増加や経済成長により、エネルギー需要は世界的に拡大の一途をたどっている。CO₂ 排出抑制による地球温暖化対策や、安全・安心で持続可能な社会を実現するために、電気エネルギーを効率的に変換するパワーエレクトロニクス技術への期待が高まっている。中でも、産業、民生、自動車、再生可能エネルギーといった幅広い分野で用いられる電力変換装置のキーデバイスとして、パワー半導体である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの需要が拡大している。

電力変換装置の小型化や低コスト化、高性能化に伴い、IGBT モジュールのパワー出力拡大や高信頼性が求められる。富士電機は、チップおよびパッケージの技術革新により、高いパワー出力および信頼性を実現した第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールを製品化した。

図1に示す IGBT と FWD (Free Wheeling Diode) の機能を1チップ化した RC-IGBT (Reverse-Conducting

IGBT: 逆導通 IGBT) を開発した。この RC-IGBT 技術と前述の X シリーズ技術を組み合わせることで、IGBT モジュール内に搭載する定格電流当たりの半導体チップの総面積を低減した。これにより、同一サイズの製品において定格電流の拡大を実現し、従来技術では困難であったさらなる高パワー出力を達成できる新製品を開発した。

本稿では、開発した第7世代「Xシリーズ」RC-IGBT モジュール“PrimePACKTM 3+” 1,200 V/2,400 A について述べる。

1 特徴

表1に、開発品と従来品の外観およびラインアップを示す。RC-IGBT やパッケージの技術革新によって、耐圧1,200 V の製品において従来 1,800 A が最大であった定格電流を 2,400 A まで拡大した。

2 適用技術

2.1 チップ技術

図2に、Xシリーズ RC-IGBT の断面構造および等価回路を示す。従来品では IGBT と逆並列で接続していた FWD の2チップを必要としたが、RC-IGBT は IGBT と FWD の機能を1チップ化しているため、1チップで従来品と同じように順方向と逆方向の両方に通電することができる。

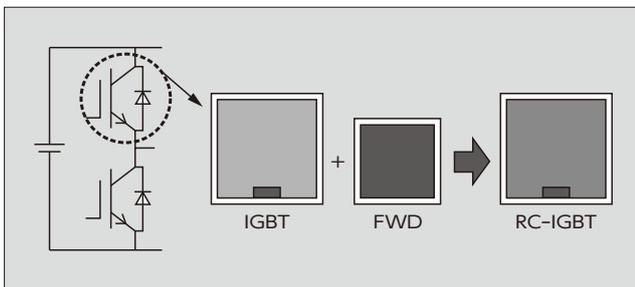


図1 RC-IGBT のチップ概略図

表1 製品の的外観およびラインアップ

		定格電流 (A)		
		1,400	1,800	2,400
1,200 V	Vシリーズ	V-IGBT + V-FWD		
	Xシリーズ	X-IGBT + X-FWD		X-RC-IGBT
製品外観	従来品	 PrimePACK TM *3		(単位: mm) 開発品 PrimePACK TM *3+

* PrimePACKTM: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部産業事業部産業モジュール部

〈注〉 PrimePACKTM: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

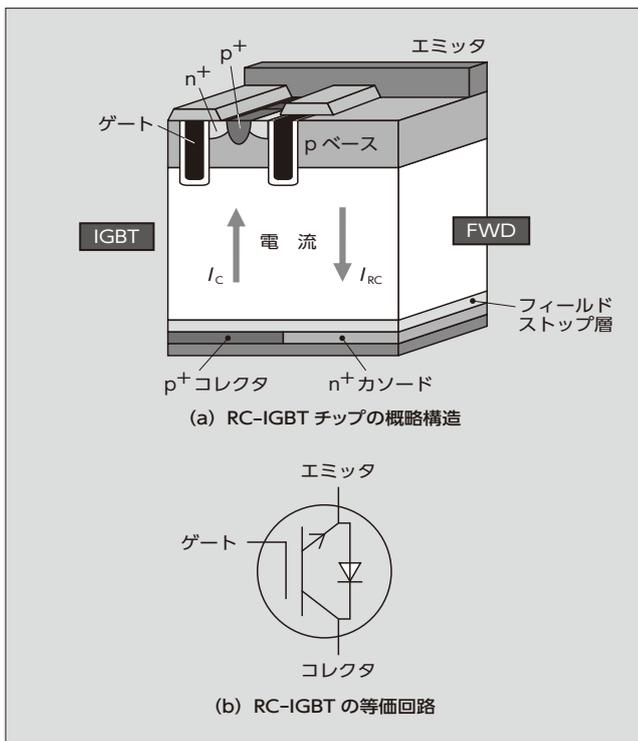


図2 第7世代「Xシリーズ」RC-IGBTの断面構造および等価回路

また、Xシリーズの表面構造をさらに微細化するチップ技術と薄ウエーハ化技術を適用することで、同一スイッチングエネルギー E_{off} の場合、Xシリーズ IGBT モジュールは従来の「Vシリーズ」と比較してコレクタ・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を約0.6V低減した。一般的に、薄ウエーハ化技術の適用は、耐圧低下やターンオフ時の電流・電圧発振が懸念される。この課題に対し、Xシリーズのチップ技術である裏面に設けたフィールドストップ (FS) 層の最適化によって、耐圧低下や発振を抑制した。

2.2 パッケージ技術

Xシリーズ IGBT モジュールではさらなるパワー出力拡大のために、従来のVシリーズと比較して、動作時のチップ接合温度 T_{vjop} を150℃から175℃に拡大した。しかしながら、この動作保証温度の拡大に伴って熱による材料の強度が落ちるだけでなく、熱応力も拡大するため、チップ上のアルミニウムワイヤ接合部やはんだ接合部の劣化が加速し、製品寿命が低下する懸念がある。また、一般的にシリコンゲルは高温環境下において、ゲルが裂けて絶縁性能が低下する懸念がある。Xシリーズでは、ワイヤボンディングの最適化、はんだ材料およびシリコンゲル材料を開発し、これらの課題を解決した。

さらに、高放熱 AlN 絶縁基板を採用することで、チップ接合部-ケース間の熱抵抗を低減し、放熱性を向上させている。

Xシリーズではこれらの技術革新により、パワー出力の拡大と高信頼性の両立を実現した。

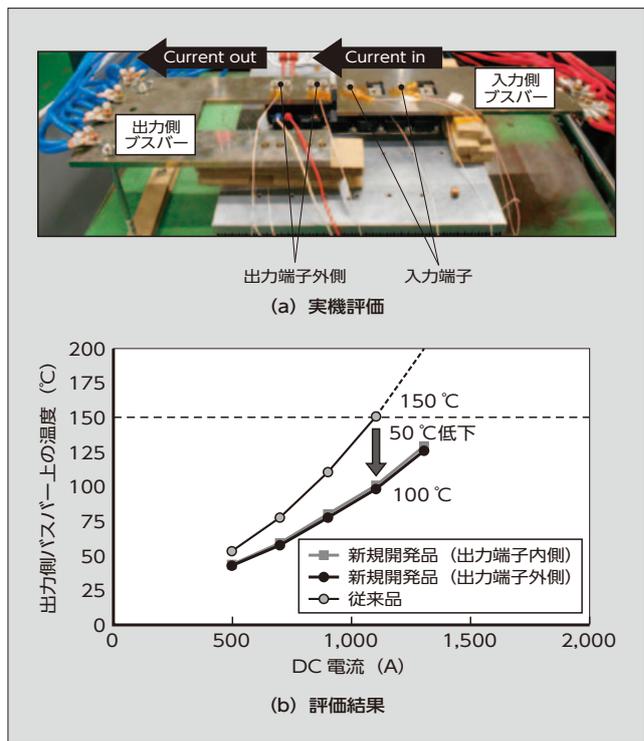


図3 通電評価と端子温度評価結果

3 端子温度低減によるパワー出力拡大

高いパワー出力の実現のためには、半導体チップの特性改善だけでなく、パッケージの通電能力の拡大も必要である。これは大きな出力電流を流すと、端子温度が過剰に上昇する懸念があるためである。

開発品では、この端子温度の上昇を抑えるため、表1の製品外観の白枠箇所に示すように、出力端子の数を従来品の1端子から2端子に増やしている。

図3に、従来品と開発品の端子温度を評価した結果を示す。開発品では出力端子数が増えたことで、通電時の電流を分流させることができる。これにより、従来品と比較して端子温度が50℃低くなった。

この高い通電能力によって、従来品に比べて端子を流れる電流による発熱を大幅に下げたことで、より高い出力に対応することのできる。

4 “1,200V/2,400A” IGBT モジュールの特性

前述のとおり RC-IGBT では、従来方式である IGBT と FWD の組合せに対して、半導体チップ総面積は減少する。ただし、従来方式の IGBT チップと FWD チップと個別に比較すると、チップ面積は RC-IGBT の方が大きい。そのため、RC-IGBT は IGBT や FWD に比べてチップ接合部-ケース間の熱抵抗が低減し、高い放熱能力を持つという長所がある。

図4に、インバータ動作時の消費電力計算結果を示す。開発品は従来品に対してほぼ同等のインバータ消費電

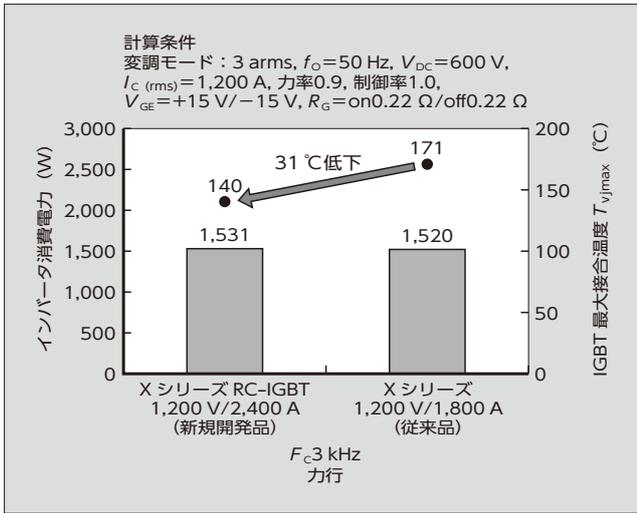


図4 インバータ動作時の消費電力計算結果

力を示している。この同等の消費電力と RC-IGBT の特徴である高い放熱能力により、開発品は従来品に比べて T_{vjmax} が 31°C も低下する。

次に、図5 にインバータ出力電流と IGBT 最大接合温度 T_{vjmax} の計算結果を示す。開発品を採用した電力変換装置の出力電流を、従来品に比べて 23% 拡大できる。

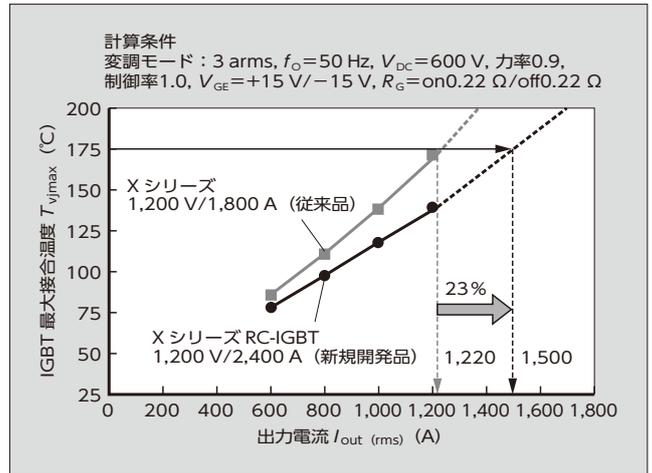


図5 出力電流と IGBT 最大接合温度の関係

発売時期

2020年1月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
 電子デバイス事業本部営業統括部営業第一部
 電話 (03) 5435-7152



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。