

# 第7世代「Xシリーズ」1,700V IGBT モジュール “PrimePACK™”

“PrimePACK™” of 7th-Generation “X Series” 1,700-V IGBT Modules

山本 拓也 YAMAMOTO, Takuya

吉渡 新一 YOSHIWATARI, Shinichi

岡本 有人 OKAMOTO, Yujin

産業、民生および自動車などの分野や再生可能エネルギーの分野に使用される電力変換装置向けに、大容量 IGBT モジュールの需要が拡大している。富士電機は、第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールの系列において、“PrimePACK™”を開発した。半導体チップの特性改善によって消費電力を低減するとともに、開発した高放熱絶縁基板を用いることで熱抵抗を大幅に低減した。また、 $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量の向上と絶縁用シリコンゲルの耐熱性の向上により、連続動作保証温度を従来の150℃から175℃に上げ、従来の技術では困難であった最大定格電流1,800Aの製品を実現した。

The demand for large-capacity IGBT modules has been expanding for power conversion equipment used in various sectors such as the industrial, consumer, automotive and renewable energy. Fuji Electric has developed the “PrimePACK™” as 7th-generation “X Series” IGBT modules. The module reduces power consumption through characteristic enhancement of semiconductor chip and significantly reduces thermal resistance by using a newly developed high heat radiation insulating substrate. Furthermore, by improving the capacity of  $\Delta T_{vj}$  power cycle and the heat resistance of insulating silicone gel, the module has increased the guaranteed continuous operating temperature from 150℃ to 175℃. With these technical development, Fuji Electric has achieved a product with a maximum rated current of 1,800A using newly developed technologies.

## 1 まえがき

近年、地球温暖化を防止するため、CO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。このような中、パワーエレクトロニクス技術への期待が高まり、産業、民生および自動車などといったさまざまな分野においてパワー半導体を用いた電力変換装置の適用が進んでいる。中でも、太陽光発電や風力発電といった導入が急激に伸びている再生可能エネルギーの分野に使用される電力変換装置のキーデバイスとして、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの需要が拡大している。

富士電機はこれまで多くの技術革新により、IGBT モジュールの小型化、低損失化および高信頼性を達成し、電力変換装置の小型化や高効率化に貢献してきた。今日、

電力変換装置のさらなる小型化や高効率化の要求に応えるため、第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールの製品系列において、“PrimePACK™”を開発した。

## 2 特徴

図1にXシリーズPrimePACK™の外観を示す。「M271」と「M272」の2種類のパッケージタイプがあり、パッケージの形状は、従来製品「Vシリーズ」IGBT モジュールのPrimePACK™と同じである。表1に製品のラインアップを示す。定格電圧は1,200Vと1,700Vの2種類で、最大定格電流はどちらも1,800Aである。従来製品の最大定格電流1,400Aに対して、XシリーズPrimePACK™では約29%拡大した。また、チップ特性およびパッケー

表1 XシリーズPrimePACK™のラインアップ

パッケージ	定格		型式	絶縁基板	絶縁耐圧	CTI*	T <sub>vjop</sub>
	電圧	電流					
M271	1,200V	900A	2MBI900XXA120P-50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.0kVAC	>600	175℃
		1,200A	2MBI1200XXE120P-50	AlN			
	1,700V	900A	2MBI900XXA170-50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		1,200A	2MBI1200XXE170-50	AlN			
M272	1,200V	1,400A	2MBI1400XXB120P-50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		1,800A	2MBI1800XXF120P-50	AlN			
	1,700V	1,000A	2MBI1000XXB170-50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		1,400A	2MBI1400XXB170-50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		1,800A	2MBI1800XXF170-50	AlN			

\* 対トラッキング係数 (comparative tracking index)

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

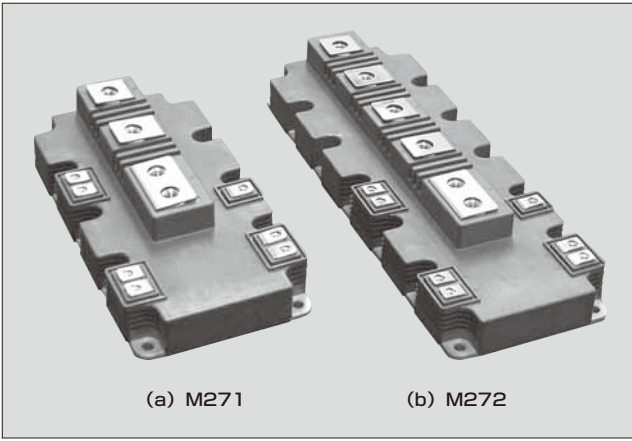


図1 Xシリーズ PrimePACK™

シの長期信頼性を向上することで、連続動作時接合温度  $T_{vjop} = 175^\circ\text{C}$  を実現した。

### 3 電気的特性

エネルギー変換効率を改善するためには、IGBT モジュールの発生損失の低減が重要である。この発生損失は、IGBT や FWD (Free Wheeling Diode) といった搭載している半導体チップの特性によって決まる。X シリーズ PrimePACK™ では、最新の微細化技術や薄ウェーハ化技術などを含む X シリーズのチップ技術を適用した半導体チップを採用することで、従来製品よりも発生損失を大幅に低減した<sup>(1)</sup>。また、高温動作時の信頼性および破壊耐量を向上させることで、従来よりも  $25^\circ\text{C}$  高い  $T_{vjop} = 175^\circ\text{C}$  を達成した。

#### 3.1 IGBT 特性

X シリーズの IGBT では、最新の微細化技術および薄ウェーハ化技術を適用して、飽和電圧とターンオフ損失のトレードオフを大幅に改善した。図2に、X シリーズ PrimePACK™ と従来製品のトレードオフ特性を示す。飽

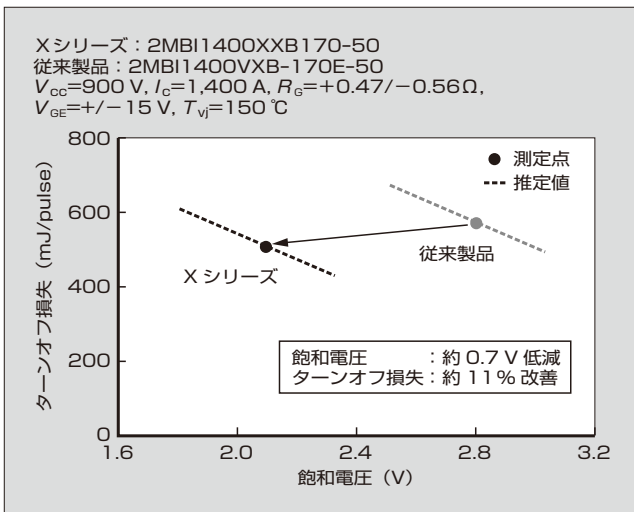


図2 トレードオフ特性 (IGBT)

和電圧を約 0.7 V 低減し、ターンオフ損失を約 11% 低減してトレードオフ特性を改善した。フィールドストップ層を最適化することで、薄ウェーハ化による素子耐圧の低下およびターンオフ時の電圧振動を抑制した。

#### 3.2 FWD 特性

X シリーズの FWD では、ドリフト層を薄くすることにより順方向電圧を低減した。さらに、ライフタイム制御の最適化により、滑らかな逆回復波形を実現するとともに逆回復損失を改善した。図3にトレードオフ特性を示す。順方向電圧を約 0.15 V 低減し、逆回復損失を約 16% 低減してトレードオフ特性を改善した。ドリフト層を薄くすると、逆回復動作時での電圧振動やサージ電圧が大きくなるという課題があり、裏面構造を最適化することで、現行製品と同等以下の特性とした。

#### 3.3 消費電力

図4に消費電力の計算結果を示す。上述の半導体チップ特性を改善し、X シリーズ PrimePACK™ は消費電力を従

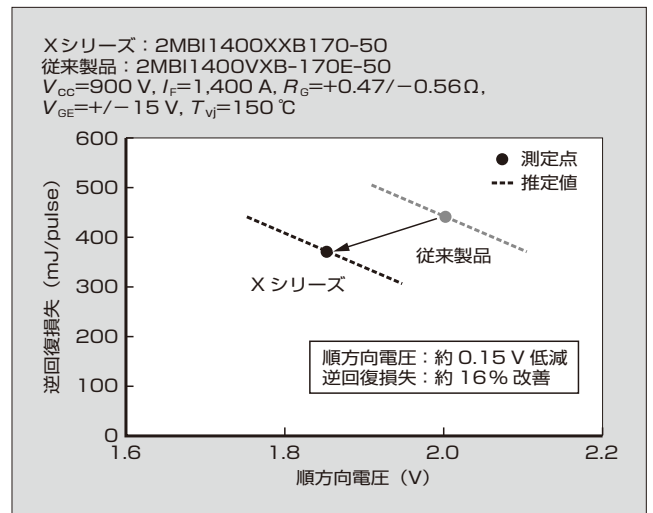


図3 トレードオフ特性 (FWD)

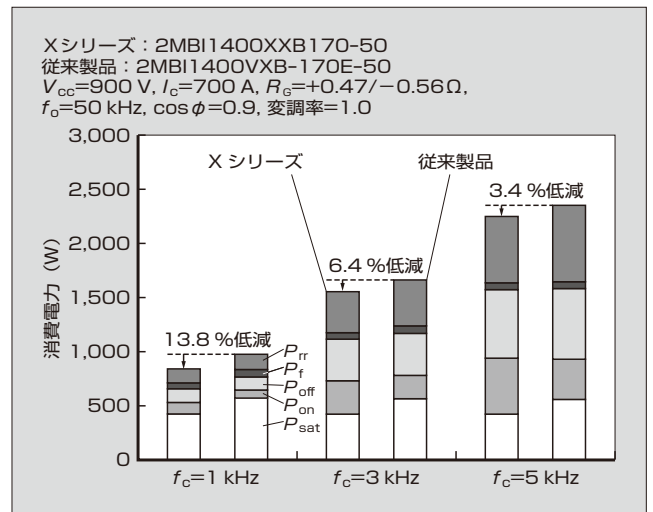


図4 消費電力

来製品に対して、キャリア周波数1kHzで約13.8%低減し、電力変換装置の高効率化を可能にした。

#### 4 パッケージ技術

表2にパッケージ構造の比較を示す。Xシリーズ PrimePACK™ は、従来製品に対してさらなる高パワー密度化を達成するため、パッケージサイズを維持したままで出力電流の向上を図った。これを達成する上で、半導体チップの温度上昇と長期信頼性の低下が懸念される。本製品では、Xシリーズのパッケージ技術を適用することにより、チップ温度の上昇を抑制するとともに、連続動作温度を150℃から175℃に上げた<sup>(2),(3)</sup>。さらに高温の連続動作に対する長期信頼性を確保した。

表2 Xシリーズ PrimePACK™ のパッケージ構造

	Xシリーズ PrimePACK™	従来製品
定格電圧	1,200V, 1,700V	1,200V, 1,700V
最大定格電流	1,800A	1,400A
絶縁基板	AlN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
連続動作時接合温度 $T_{vjop}$	175℃	150℃
シリコンゲルの耐熱温度	175℃	150℃

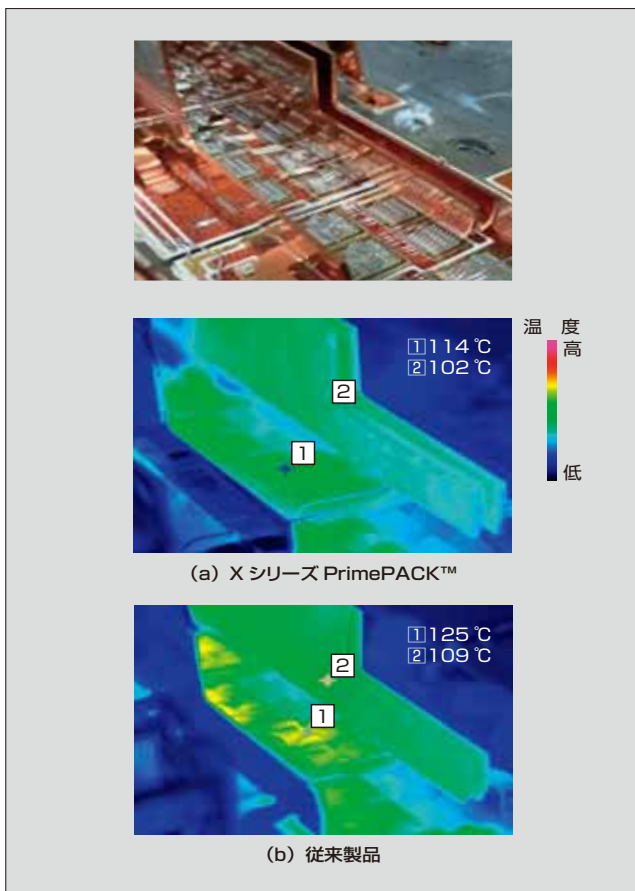


図5 温度上昇の測定結果

#### 4.1 新規高放熱絶縁基板の適用

半導体チップの発生損失による発熱や主端子の発熱を効率よく放熱するためには、接合部-ケース間の熱抵抗を改善することが重要である。Xシリーズ PrimePACK™ では、熱伝導率の高いAlN（窒化アルミニウム）基板を用いた高放熱絶縁基板を開発した。これにより、従来製品のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（アルミナ）絶縁基板と比較して、同一チップサイズにおいて接合部-ケース間の熱抵抗を約45%低減した。図5にパッケージ内部の温度上昇の測定結果を示す。Xシリーズ PrimePACK™ は従来製品に対して、IGBT部の温度を約11℃低減した。また、主端子部の温度を約7℃低減した。

#### 4.2 連続動作時接合温度 $T_{vjop}$ の拡大

Xシリーズ PrimePACK™ では、さらに高い出力電流を達成するために、 $T_{vjop}$  を従来製品の150℃から175℃に上げた。動作温度を上げるためには、繰返しの熱ストレスに対する耐量（ $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量）の向上が必要である。

図6に $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量を示す。従来製品では、 $T_{vjmax}=150℃$  に対して175℃に温度を上げると、 $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量が低下する。これに対して、Xシリーズ PrimePACK™ では、はんだ材の新規開発と半導体チップ上の新配線接合技術の適用により、 $T_{vjmax}=175℃$ 、 $\Delta T_{vj}=50℃$  の条件で従来製品に比べて約2倍の耐量の向上を実現した。

この結果、Xシリーズ PrimePACK™ の $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量は、 $T_{vjmax}=175℃$  動作においても従来製品の $T_{vjmax}=150℃$  動作を超える耐量を実現した。

#### 4.3 高耐熱シリコンゲル

IGBTモジュールの内部には、絶縁性能を確保するためにシリコンゲルを使用している。これは高温になるほど劣化しやすくなり、絶縁性能の低下が懸念される。

図7に、シリコンゲルの温度と寿命の関係を示す。従

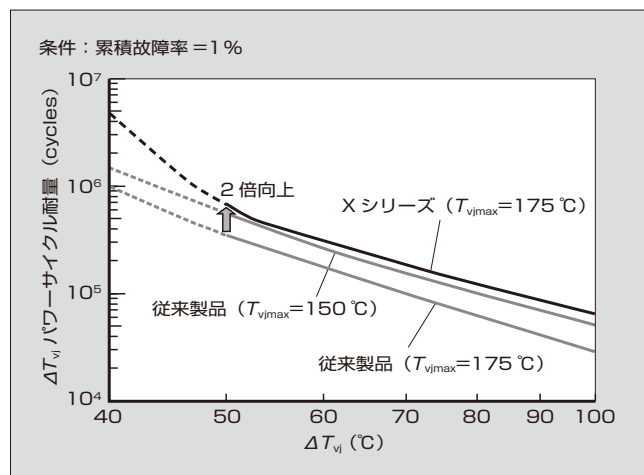


図6  $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量

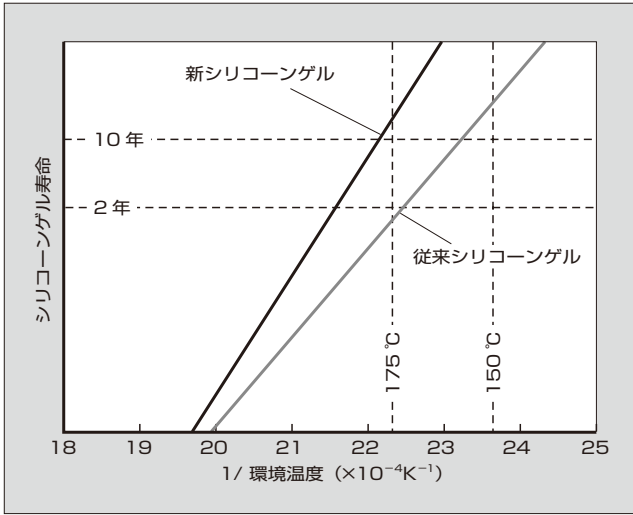


図7 シリコンゲル自体の温度と寿命の関係

来のシリコンゲルでは 150℃の環境下で 10 年以上の寿命があるが、175℃の寿命は約 2 年に低下する。X シリーズでは、新規に開発したシリコンゲルの 175℃における寿命を従来製品のシリコンゲルの 150℃における寿命と同等にすることができ、従来製品の 150℃の環境下と同等の長期絶縁性能を確保した。

5 まとめ

X シリーズ PrimePACK™ では、半導体チップの特性の改善による発生損失の低減、新規高放熱絶縁基板の適用による熱抵抗の改善、ならびに  $\Delta T_{vj}$  パワーサイクル耐量の向上と絶縁用シリコンゲルの耐熱性の向上により  $T_{vjop}=175℃$  を実現した。これにより、インバータなどの

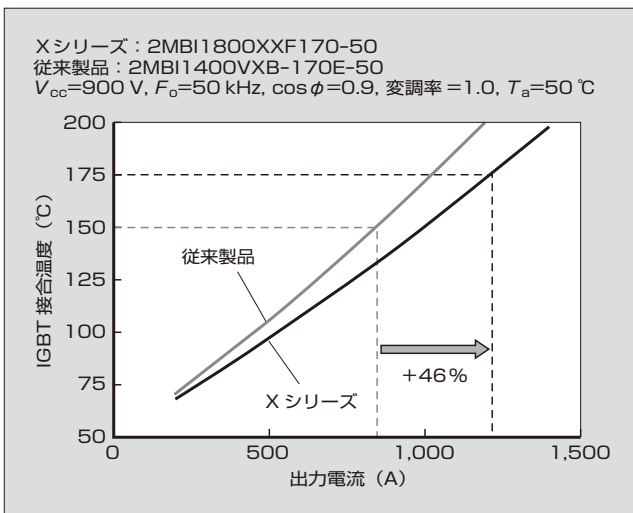


図8 インバータ出力電流と IGBT 接合温度

エネルギー変換効率の向上や実動作時の出力電流の向上を実現できる。

図8に改善効果の例として、インバータ出力電流と IGBT 接合温度の関係を示す。X シリーズ PrimePACK™ の適用によって、従来製品に比べて出力電流が 1.46 倍に向上した。

6 あとがき

第7世代「Xシリーズ」IGBTモジュール“PrimePACK™”は、半導体チップ特性の大幅な改善と新パッケージ技術により、業界トップクラスの定格電流を実現した。本製品の系列化により、電力変換装置のさらなる小型化および高効率化を達成し、安全・安心して持続可能な社会の実現に貢献できると確信している。今後も、新技術を適用した製品を提供することにより、各種電力変換装置の小型化や高効率化、高信頼性化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Onozawa, Y. et al. “Development of the 1200 V FZ-Diode with soft Recovery Characteristics by the New Local Lifetime Control Technique”. Proceeding of ISPSD 2008, p.80-83.
- (2) Momose, F. et al. “The New High Power Density Package Technology for the 7th Generation IGBT Module”, PCIM Europe 2015.
- (3) 吉田健一ほか. 第7世代「Xシリーズ」IGBTモジュール「Dual XT」. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.4, p.251-255.



山本 拓也

IGBTモジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部モジュール技術部。



吉渡 新一

IGBTモジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部モジュール技術部チームリーダー。



岡本 有人

IGBTモジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部モジュール技術部。



\*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。