

# 1,200V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール

1,200 V Withstand Voltage SiC Hybrid Module

小林 邦雄 KOBAYASHI, Kunio

北村 祥司 KITAMURA, Shoji

安達 和哉 ADACHI, Kazuya

富士電機は、省エネルギーに貢献するインバータ用のパワーデバイスとして、1,200 V 耐圧の SiC ハイブリッドモジュールの開発を推進している。このハイブリッドモジュールには、独立行政法人 産業技術総合研究所と共同で開発し、富士電機で量産立ち上げを行った SiC-SBD (Schottky Barrier Diode) チップを採用した。IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) には、富士電機製で最新の第 6 世代「V シリーズ」IGBT チップを採用した。300 A 品において、従来の Si モジュールに比べて約 25% 低い発生損失を確認した。

Fuji Electric is working on the development of a 1,200 V withstand voltage SiC hybrid module as a power device for inverters that contribute to energy conservation. This hybrid module uses a SiC-Schottky barrier diode (SiC-SBD) chip, which has been developed jointly with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology and has been mass-produced by Fuji Electric. As the insulated-gate bipolar transistor (IGBT), Fuji Electric's latest 6th-generation "V Series" IGBT chip was adopted. For its 300 A products, the generated loss has been reduced by approximately 25% compared with conventional Si modules.

## 1 まえがき

地球温暖化を防止するために、これまで以上に CO<sub>2</sub> などの温室効果ガスの削減が求められている。その削減手段の一つに、パワーエレクトロニクス機器の省エネルギー化がある。その中で重要なアイテムが、インバータを構成するパワーデバイス、回路、制御などの技術革新によるインバータの高効率化である。低損失の要求が強いパワーデバイスで、代表的な IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールは、今まで Si (シリコン) の IGBT チップと FWD (Free Wheeling Diode) チップを用いてきた。しかし、Si デバイスの性能は、物性に基づく理論的限界に近づきつつある。そこで、Si の限界を超える耐熱性と高破壊電界耐量を持った SiC (炭化けい素) デバイスが、装置の高効率化や小型化を実現するものとして期待されている。

本稿では、今回系列化した 1,200 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール (2 in 1 パッケージ) について述べる。

## 2 製品の構成

富士電機の SiC ハイブリッドモジュールの系列を表 1 に示す。これまでに 200 V 系用の 600 V 耐圧 SiC-SBD (Schottky Barrier Diode) や 400 V 系用の 1,200 V 耐圧 SiC-SBD を使った EP パッケージと PC パッケージ<sup>(1)</sup>のハイブリッドモジュール、ならびに 690 V 系用の 1,700 V 耐圧 SiC-SBD を使った 2 in 1 パッケージのハイブリッドモジュールを製品化している。これらのハイブリッドモジュールを使った装置では、従来の Si-IGBT モジュールに比べて発生損失が約 25% 減少する。

今回系列化した 1,200 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール

表 1 SiC ハイブリッドモジュールの系列

用途	構成	パッケージ
200 V系	600 V耐圧 SiC-SBD+ VシリーズIGBT	EPパッケージと PCパッケージ
400 V系	1,200 V耐圧 SiC-SBD+ VシリーズIGBT	
400 V系	1,200 V耐圧 SiC-SBD+ VシリーズIGBT	2 in 1パッケージ
690 V系	1,700 V耐圧 SiC-SBD+ VシリーズIGBT	2 in 1パッケージ

□: 開発品



図 1 SiC ハイブリッドモジュール (2 in 1 パッケージ)

ルのパッケージには、Si モジュールと同じ 2 in 1 パッケージを採用した (図 1)。従来の EP パッケージと PC パッケージに加えて広く普及している 2 in 1 パッケージを採用することで、従来の Si モジュールから容易に置き換えることができる。FWD には、独立行政法人 産業技術総合研究所と共同で開発して、富士電機で量産化した SiC-SBD チップを使用し<sup>(3)</sup>、IGBT には、富士電機製で最新の第 6 世代「V シリーズ」IGBT チップを採用した。300 A 品において、従来の Si モジュールに比べて約 25% 低い発生損失

を確認した。

### 3 特性

#### 3.1 FWD の順方向特性

図 2 に、SiC ハイブリッドモジュールと Si モジュールの FWD の順方向特性を示す。ジャンクション温度  $T_j$  が 25℃ で定格電流 300 A における SiC ハイブリッドモジュールの順方向電圧  $V_F$  は、Si モジュールの  $V_F$  と同等である。125℃ での  $V_F$  は、Si モジュールに比べて SiC ハイブリッドモジュールが高くなるものの、3.2 節に示すようにトータル損失は、SiC ハイブリッドモジュールが小さくなる。

#### 3.2 スイッチング損失

図 3 に、SiC ハイブリッドモジュールと Si モジュールのスイッチング損失の比較を示す。SiC ハイブリッドモジュールのターンオン損失  $E_{on}$  は、Si モジュールよりも約

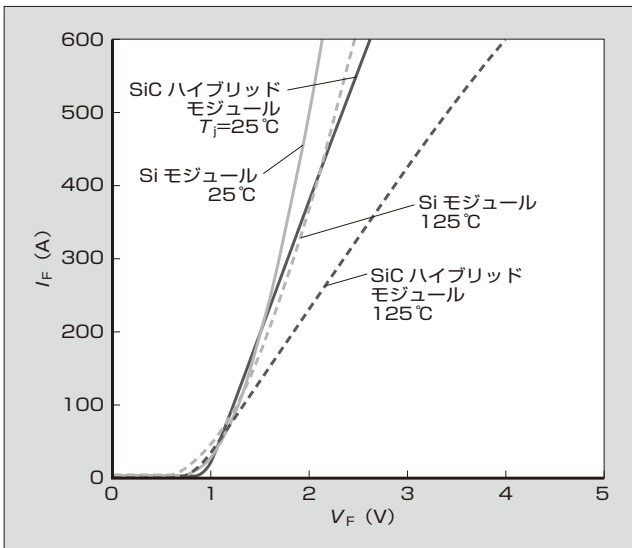


図 2 FWD の順方向特性

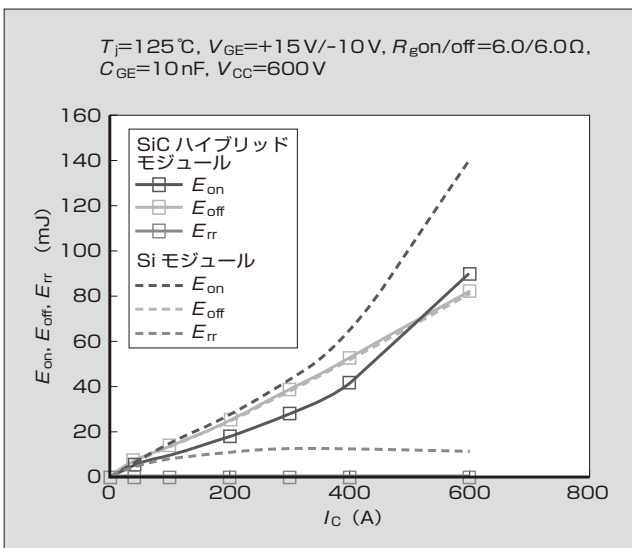


図 3 スイッチング損失

35% 小さく、逆回復損失  $E_{rr}$  はほぼ 0 である。ターンオフ損失  $E_{off}$  は SiC ハイブリッドモジュールと Si モジュールとの差がほとんどない。

#### (1) ターンオン波形

図 4 に、ターンオン波形の比較を示す。SiC-SBD の逆回復ピーク電流は対向アーム側の IGBT ターンオン電流に影響し、SiC ハイブリッドモジュールの  $E_{on}$  は Si モジュールよりも約 35% 低い。

#### (2) ターンオフ波形

図 5 に、ターンオフ波形の比較を示す。SiC-SBD は Si-FWD と比較してドリフト層が非常に低抵抗であるため、過渡オン電圧が低減される。したがって、SiC ハイブリッドモジュールでは、ターンオフ時のサージ電圧を低く抑えることができる。

#### (3) 逆回復波形

図 6 に、逆回復波形の比較を示す。SiC ハイブリッドモジュールは逆回復ピーク電流がほとんどなく、 $E_{rr}$  はほぼ 0 である。これは SiC-SBD がユニポーラデバイスであるため、少数キャリアの注入が起きないことに起因する。

#### 3.3 負荷短絡評価

図 7 に、SiC ハイブリッドモジュールの  $T_j$  が  $-40 \sim +125^\circ\text{C}$  のときの負荷短絡波形を示す。低温から高温までの領域で問題ないことを確認した。

#### 3.4 インバータ発生損失

図 8 に示すように、SiC ハイブリッドモジュールを使っ

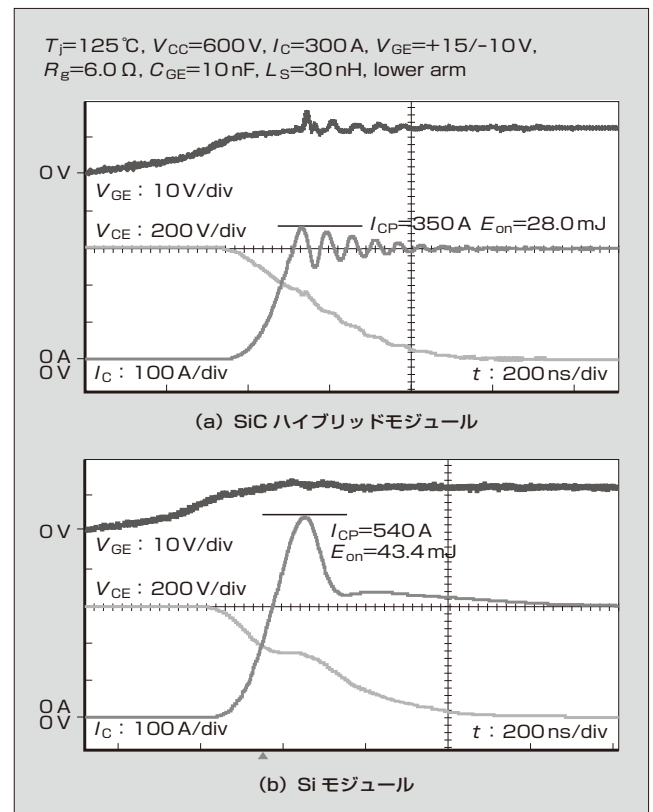


図 4 ターンオン波形

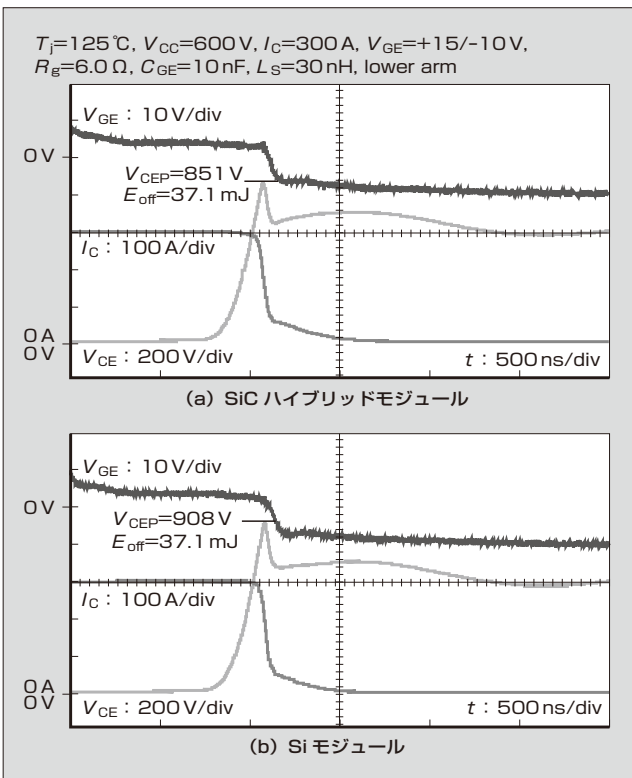


図5 ターンオフ波形

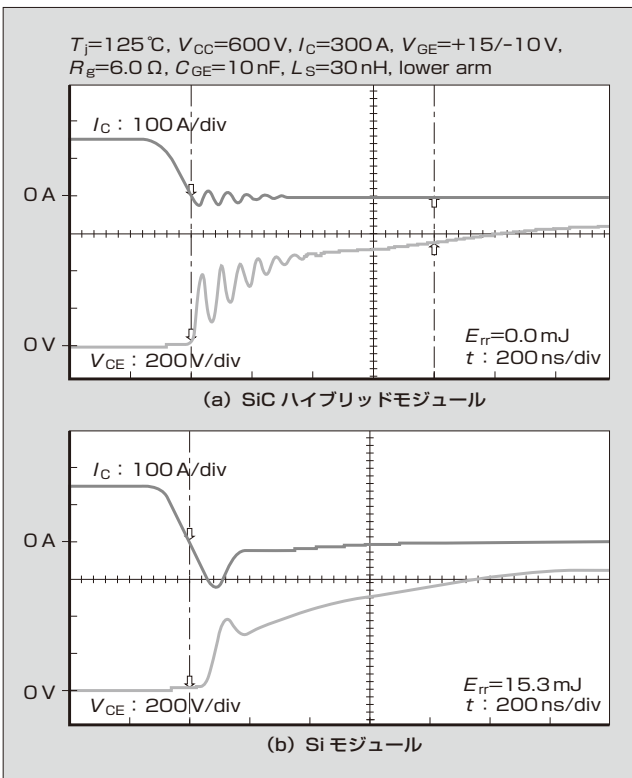


図6 逆回復波形

たインバータの発生損失はSiモジュールを使った場合に比べて12~28%低く、キャリア周波数が高いほど低減率が高い。したがって、SiCハイブリッドモジュールは、高周波動作においてより有利である。

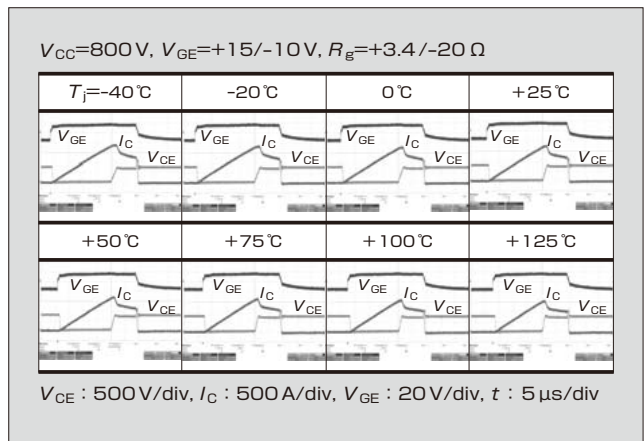


図7 負荷短絡波形

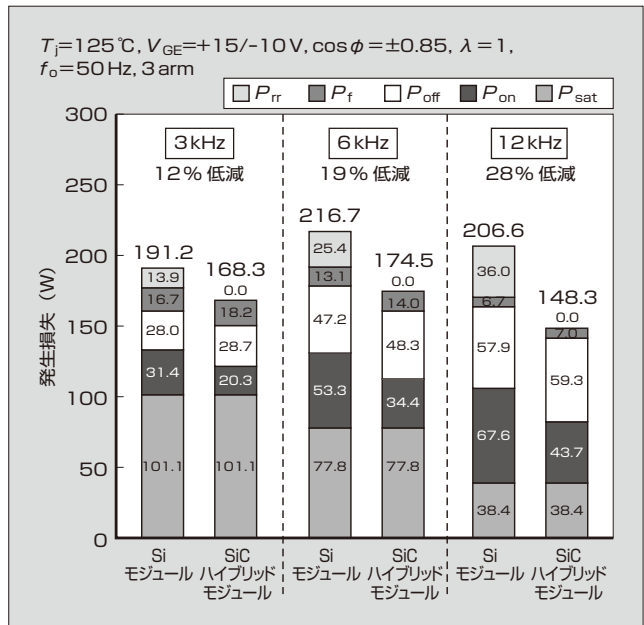


図8 インバータ発生損失

#### 4 あとがき

本稿では、独立行政法人 産業技術総合研究所と共同で開発したSiC-SBDと富士電機の最新Si-IGBT第6世代「Vシリーズ」とを適用したSiCハイブリッドモジュールについて述べた。本製品は、デバイス自身の大幅な損失低減により、インバータの高効率化に大きく貢献できるものとする。今後、耐圧・電流容量・パッケージの系列化を推進し、市場要求に対応していくとともに、SiCチップ製品の適用を進め、パワーエレクトロニクス機器の省エネルギー化により地球温暖化の防止に貢献していく所存である。

SiC-SBDチップの開発にご協力いただいた独立行政法人 産業技術総合研究所先進パワーエレクトロニクス研究センターの関係各位に謝意を表す。

**参考文献**

- (1) 中沢将剛ほか. Si-IGBT・SiC-SBDハイブリッドモジュール. 富士時報. 2011, vol.84, no.5 p.331-335.
- (2) 小林邦雄ほか. 1,700V耐圧SiCハイブリッドモジュール. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.4, p.240-243.
- (3) 木下明将ほか. “高温でのVfを特徴とした600V/1,200VクラスSiC-SBD”. つくば市. 2010-10-21. 応用物理学会SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会第19回講演.

**小林 邦雄**

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。

**北村 祥司**

半導体デバイスの開発・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開発統括部デバイス開発部。

**安達 和哉**

感光体の開発, 有機 EL の開発, IGBT モジュールのパッケージ設計に従事。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。