

1,200 V ディスクリート IGBT 「XS シリーズ」

“XS Series” 1,200-V Discrete IGBTs

原 幸仁 HARA, Yukihito

加藤 由晴 KATO, Yoshiharu

田村 隆博 TAMURA, Takahiro

スイッチング周波数 20 kHz 程度で使用される UPS や太陽光発電用 PCS 向けに、導通損失とスイッチング損失のトレードオフ特性を改善したディスクリート IGBT を開発し、製品化した。定格は 1,200 V/40 A, 75 A であり、従来品に対してターンオフスイッチング損失を約 6%、コレクタ・エミッタ飽和電圧を 0.55 V 低減し、トレードオフ特性を 20% 以上改善した。3 レベルインバータ T-type の模擬回路において、ディスクリート IGBT のケース温度を測定した結果、従来品に比べてケース温度が 2.4 ~ 3.4 °C 低くなることを確認した。

Fuji Electric has developed and released a discrete IGBT for photovoltaic power generation PCSs and UPSs with a switching frequency of about 20 kHz. This device has enhanced trade-off characteristics of conductive loss and switching loss. It comes with ratings of 1,200 V/40 A, 75 A. Compared with conventional products, it reduces the turn-off switching loss by about 6% and collector-emitter saturation voltage by 0.55 V and improves the trade-off characteristics by 20% or more. The temperature of the discrete IGBT case in the simulated circuit of a T-type three-level inverter was 2.4°C to 3.4°C lower than conventional products.

1 まえがき

近年、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、CO₂ などの温室効果ガスを発生しないことや自国生産が可能なことなどの利点から、普及が進んでいる。これに伴い、エネルギーの分散化が進み、電力変換装置の需要が増加している。このような中、太陽光で発電した直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナ（PCS：Power Conditioning System）などの電力変換装置への高効率化の要求が高まっている。

情報・通信システムの高度化が進む中、IoT（Internet of Things）やビッグデータ、人工知能（AI：Artificial Intelligence）などの活用において、クラウド化が進み、データ使用量が世界的に増加している。データを取り扱うサーバやデータセンターでは、高品質な電力を供給する無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）の高効率化も不可欠である。

PCS や UPS を高効率化する上で、使用する半導体スイッチングデバイスのさらなる低損失化は極めて重要である。

富士電機は、オン電圧とスイッチング損失のトレードオフ特性を改善し、UPS や PCS の高効率化に貢献する、650 V 耐圧のディスクリート IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）「XS シリーズ」を量産供給している⁽¹⁾。本稿では、新たに開発して製品化した XS シリーズの 1,200 V 耐圧品の概要とその効果について述べる。

2 「XS シリーズ」の概要

図 1 に、ディスクリート IGBT の主な用途を示す。今回開発した 1,200 V XS シリーズは、スイッチング周波数

20 kHz 程度で使用される PCS や UPS をターゲットとしている。本製品は、ディスクリート製品として標準的な

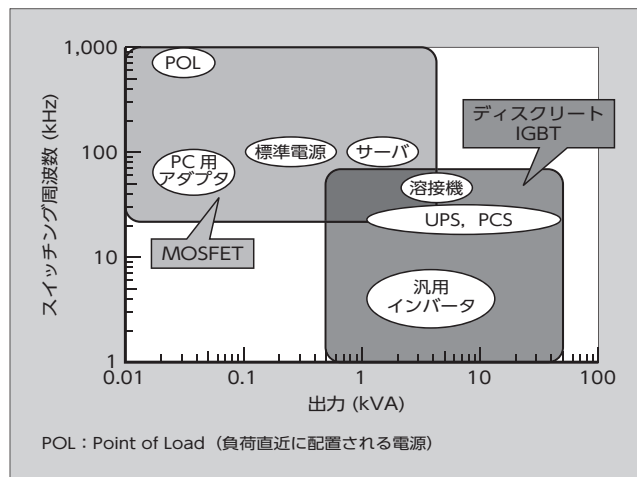


図 1 ディスクリート IGBT の主な用途

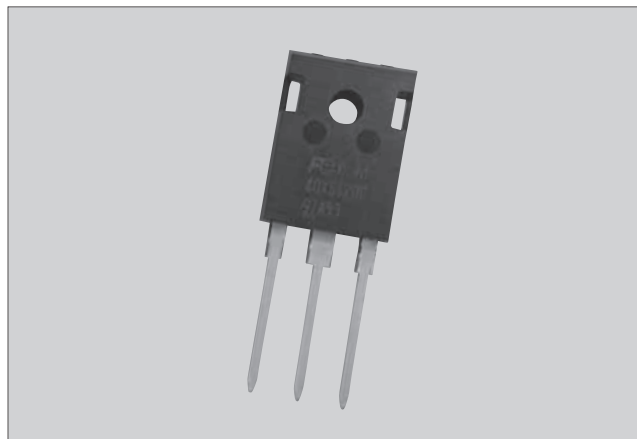


図 2 「XS シリーズ」(TO-247 パッケージ)

表 1 「XS シリーズ」の主要最大定格と電気的特性

型 式	内蔵 FWD	パッケージ	最大定格				電気的特性			
			IGBT			FWD	IGBT		FWD	
			V_{CES}	I_C $T_{vj}=100^\circ\text{C}$	I_{CP}	I_F $T_{vj}=100^\circ\text{C}$	$V_{CE(sat)}$ $T_{vj}=25^\circ\text{C}$ (typ.)	$V_{CE(sat)}$ $T_{vj}=125^\circ\text{C}$ (typ.)	V_F $T_{vj}=25^\circ\text{C}$ (typ.)	V_F $T_{vj}=125^\circ\text{C}$ (typ.)
			(V)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(V)
FGW40XS120C	あり	TO-247	1,200	40	160	40	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW75XS120C	あり	TO-247	1,200	75	300	75	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW40XS120	なし	TO-247	1,200	40	160	—	1.60	1.85	—	—
FGW75XS120	なし	TO-247	1,200	75	300	—	1.60	1.85	—	—

パッケージである TO-247 に、IGBT および FWD (Free Wheeling Diode) チップを搭載している。図 2 に XS シリーズの外観を、表 1 に主要最大定格と電気的特性を示す。数 kVA ~ 数十 kVA の UPS や PCS での使用を想定し、定格電流の大きい 40 A と 75 A 定格をラインアップしている。

③ ディスクリート IGBT の課題

数 kVA 以上の PCS や UPS では、インバータ部の電力変換効率を改善するため、3 レベルインバータが一般的に採用されている。図 3 に 3 レベルインバータの T-type の回路図を示す。

PCS や UPS では、IGBT のスイッチング周波数を 20 kHz 程度で動作させることが多い。1,200 V 定格品が使用される T-type のメインスイッチ部 (T1, T2) における IGBT の損失の内訳を図 4 に示す。T-type における IGBT の発生損失のうち、導通損失 P_{sat} が約 40%、オン時のスイッチング損失 P_{on} とオフ時のスイッチング損失 P_{off} を合計したスイッチング損失が約 60% である。導通損失とスイッチング損失ともに低減させることが重要である。一方、FWD の損失は、IGBT + FWD の素子全体損失のうち、約 3% と小さい。しかし、逆回復時のスイッチング損失 P_{rr} が FWD の損失の約 90% を占めるため、 P_{rr} の低減も必要である。

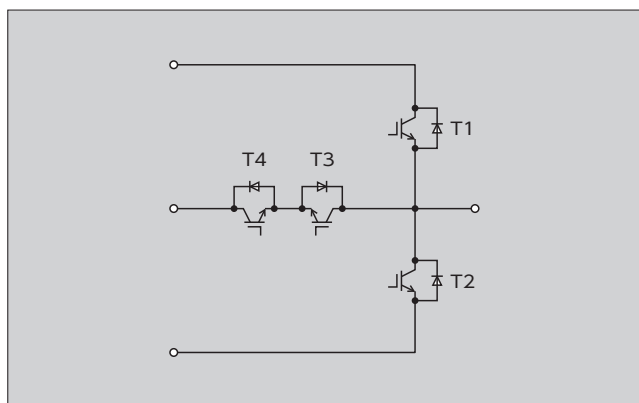


図 3 3 レベルインバータ T-type 回路図

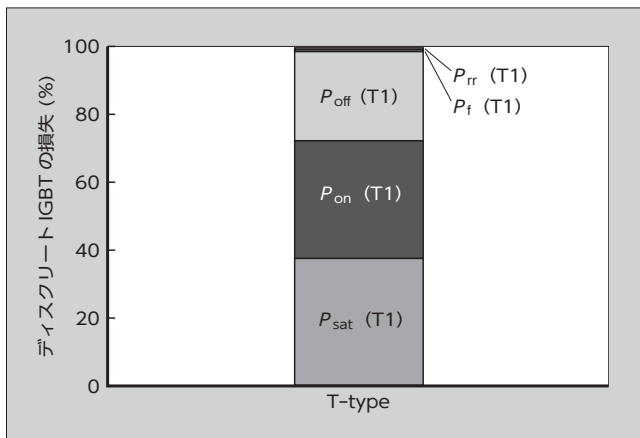


図 4 デバイス損失分析結果 ($f_c=20\text{ kHz}$)

④ 1,200 V 「XS シリーズ」の特徴

1,200 V XS シリーズは、第 7 世代「X シリーズ」IGBT および FWD のチップ技術をベースにして、駆動周波数 20 kHz 程度で使用されるディスクリート製品向けに最適な設計を行っている。

4.1 IGBT チップ

図 5 に IGBT チップの断面構造を示す。従来品である「High-Speed W シリーズ」は、モジュール用の第 6 世

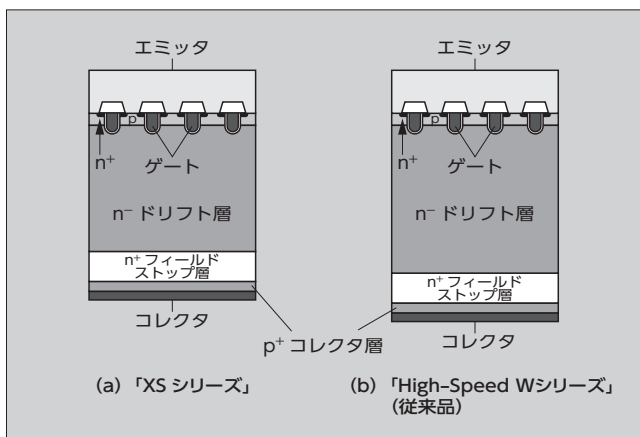


図 5 IGBT チップの断面構造図

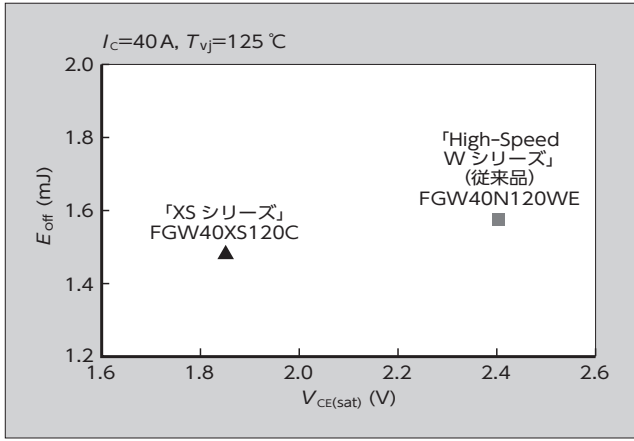


図6 トレードオフ特性 (IGBT)

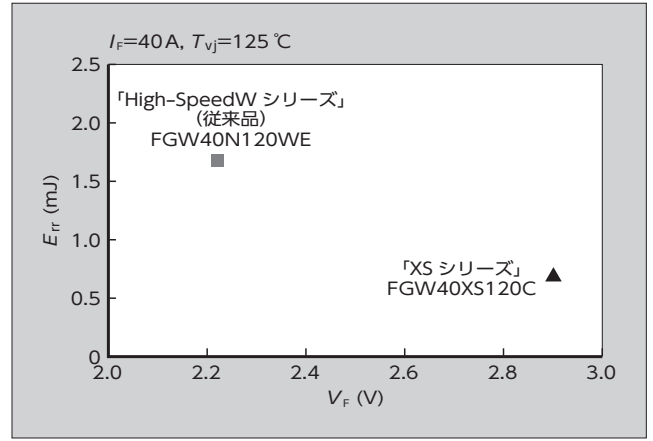


図8 トレードオフ特性 (FWD)

代「V シリーズ」IGBT をベースに、寄生容量を大幅に低減させた表面構造とフィールドストップ (FS) 層の最適化、ホールの注入を抑制するコレクタ層、Si 基板の薄化などにより、高速スイッチング特性に特化している。これに対して XS シリーズでは、第 7 世代 X シリーズ IGBT をベースにして、UPS や PCS 向けのディスクリート IGBT として最適となる表面構造、FS 層とホールの注入を抑制するコレクタの最適化層と Si 基板の薄化など、第 6 世代と比較してコレクタ・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ とターンオフスイッチング損失 E_{off} のトレードオフ特性を改善する設計とした。これにより、図 6 に示すように従来製品と比較して E_{off} を約 6% 低減すると同時に、 $V_{CE(sat)}$ を 0.55 V 低減し、トレードオフ特性を 20% 以上改善した。

4.2 FWD チップ

図 7 に FWD チップの断面構造を示す。FWD は、順電圧 V_F と逆回復動作時のスイッチング損失 E_{rr} のトレードオフ特性が最も進んだ第 7 世代 X シリーズ FWD をベースに、Si 基板の薄化とライフタイム制御の最適化を行った。図 8 に V_F と E_{rr} のトレードオフ特性を示す。PCS や UPS 向けとして最適となるように、 E_{rr} を High-Speed W シリーズに比べて約 60% 改善することで、スイッチング損失を低減した。

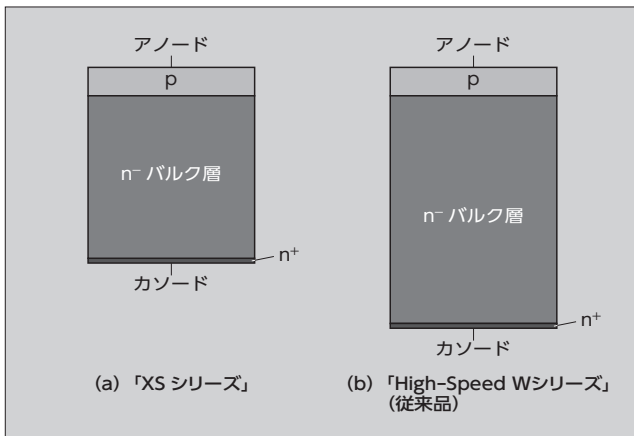


図7 FWD チップの断面構造図

4.3 パッケージ

業界標準の TO-247 パッケージを採用している。チップとリードフレームを接続するダイはんだには、鉛フリーはんだを採用している。さらに、規制物質が 6 物質から 10 物質に拡大された改正 RoHS (RoHS2) 指令 (2011/65/EU) にも適合している。

5 「XS シリーズ」の効果

5.1 デバイス損失シミュレーション結果

図 9 に、3 レベルインバータ T-type のディスクリート IGBT の発生損失のシミュレーション結果を示す。1,200 V 品を使用するメインスイッチ T1 と 650 V 品を使用する AC スイッチ T4 のそれぞれに、XS シリーズと従来製品である High-Speed W シリーズを搭載した場合を比較した。1,200 V XS シリーズは、High-Speed W シリーズに比べて $V_{CE(sat)}$ と E_{off} のトレードオフ特性が改善し、T1 の損失が低減することを確認した。

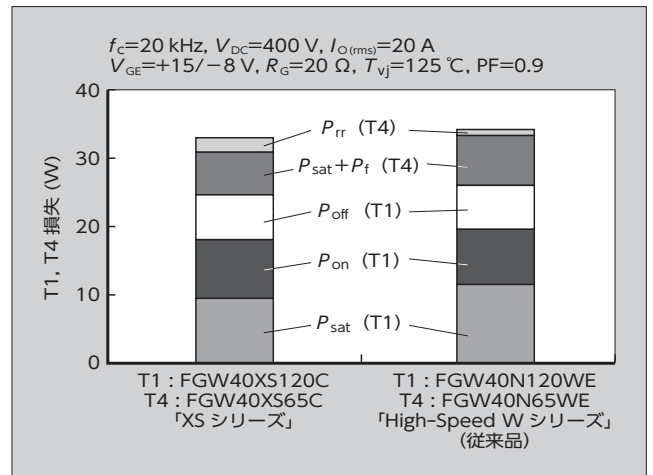


図9 デバイス損失 (3 レベル T-type)

〈注〉 RoHS 指令：電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についての EU (欧州連合) の指令

また、650 V 品を使用する AC スイッチ部においても、XS シリーズは High-Speed W シリーズに比べて損失が低減する。メインスイッチ部と AC スイッチ部の両方に XS シリーズを使用すると、さらなる損失低減が可能である。

5.2 実動作評価結果

3 レベルインバータ T-type の模擬回路にて、メインスイッチ T1 に 1,200 V 品、AC スイッチ T4 に 650 V 品を使用した際の IGBT ケース温度測定結果を図 10、図 11 に示す。IGBT のスイッチング周波数は 20 kHz である。

全ての負荷領域において、XS シリーズは従来製品である High-Speed W シリーズに比べて、ケース温度が 2.4

～ 3.4 °C 低くなることを確認した。

6 あとがき

1,200 V のディスクリート IGBT 「XS シリーズ」について述べた。3 レベルインバータ T-type において、メインスイッチ部に 1,200 V の XS シリーズ、AC スイッチ部に 650 V の XS シリーズを合わせて使用することが効果的であることを確認した。

本製品は PCS や UPS を主な対象として開発したが、スイッチング電源の PFC 回路や産業機器向けなどにも広く搭載することができる。

今後もデバイスのさらなる低損失化を進め、市場の要求に応える製品を供給していくことで、省エネルギー化、電力変換の高効率化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 原幸仁ほか. 650 V ディスクリート IGBT 「XS シリーズ」. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.4, p.236-240.
- (2) 原幸仁ほか. 高速ディスクリート IGBT 「High-Speed W シリーズ」. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.296-300.

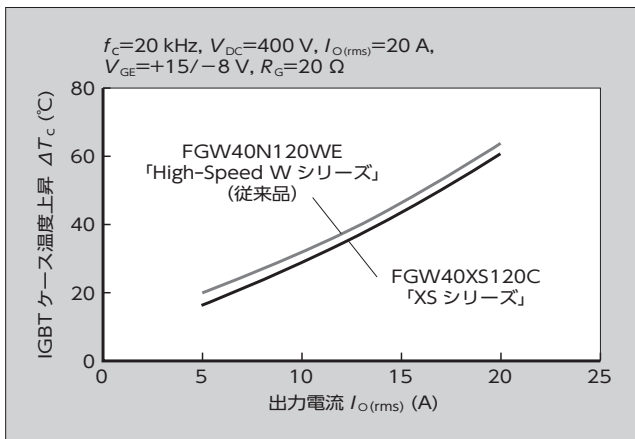


図 10 IGBT ケース温度上昇

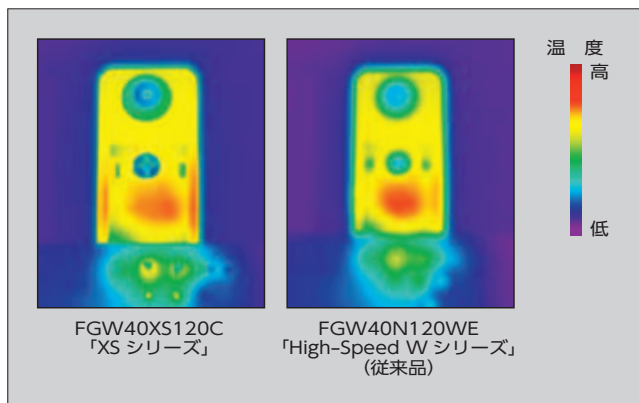


図 11 IGBT ケース温度 ($I_{O(rms)}=20 A$)



原 幸仁

ディスクリート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産業事業部産業ディスクリート部。



加藤 由晴

パワー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。



田村 隆博

パワー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。



*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。