

ディスクリート IGBT 「XS シリーズ」 の系列拡大

“XS Series” Discrete IGBTs Line-up Expansion

原 幸仁 HARA, Yukihito

前田 涼 MAETA, Ryo

坂井 琢磨 SAKAI, Takuma

無停電電源装置（UPS）やパワーコンディショナ（PCS）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、装置の高効率化において極めて重要である。そこで富士電機は、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、UPS や PCS を高効率化する 650 V および 1,200 V 耐圧のディスクリート IGBT 「XS シリーズ」を量産供給している。スイッチング損失のさらなる低減が可能なサブエミッタ端子を追加した TO-247-4 パッケージ品を開発し、系列に加えた。定格は 1,200 V/75 A で、従来の TO-247 パッケージ品に比べスイッチング損失を 20 ～ 30% 低減している。

To further improve the efficiency of electric systems, reducing power loss is pivotal to the semiconductor switching devices used in uninterruptible power systems (UPSs) and power conditioning systems (PCSs). Fuji Electric has thus been mass producing 650-V and 1,200-V “XS Series” discrete IGBTs, which improve conduction loss and switching loss trade-off characteristics to enhance the efficiency of UPSs and PCSs. We have developed and added a module to the product line-up that uses a TO-247-4 package, which has a sub-emitter terminal capable of further reducing switching loss. The new module has a rated capacity of 1,200 V/75 A and lower switching loss than the conventional TO-247 package products by 20% to 30%.

1 まえがき

近年、IoT（Internet of Things）やビッグデータ、人工知能（AI: Artificial Intelligence）などの活用が進む中、情報・通信システムの高度化やクラウド化によってデータ使用量が増加している。このようなデータを扱うサーバやデータセンターでは省電力化に対する要求が強く、これらの装置に高品質な電力を供給する無停電電源装置（UPS: Uninterruptible Power System）の高効率化による省電力化も不可欠となっている。

また、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及が進んでいる。例えば、太陽光発電では、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の高効率化は最重要課題になっている。

これらの UPS や PCS などを使用される半導体スイッチングデバイスのさらなる低損失化は、装置の高効率化において極めて重要である。

富士電機は、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、UPS や PCS を高効率化する 650 V および 1,200 V 耐圧のディスクリート IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）「XS シリーズ」を量産している。新たに XS シリーズの 1,200 V/75 A の TO-247-4 パッケージ品を開発し、系列に加えた。本稿では、本製品の概要と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。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 UPS や PCS をターゲットとしている。

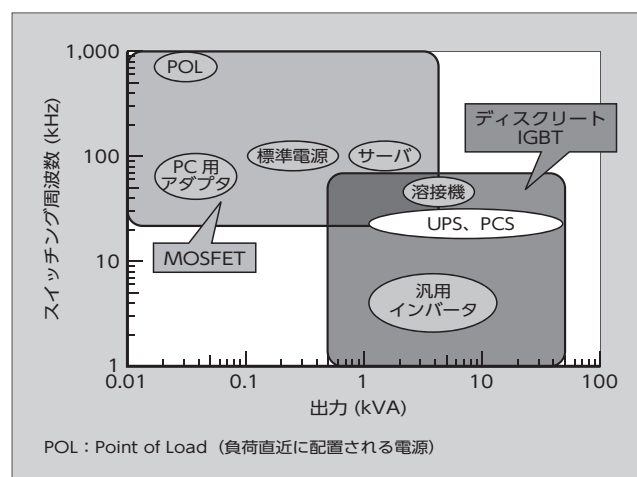


図1 ディスクリート IGBT の主な用途

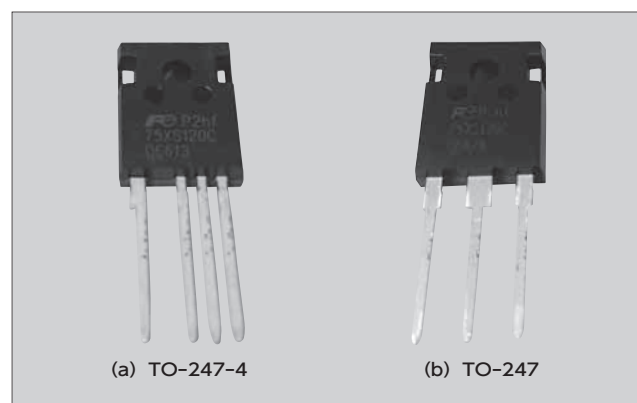


図2 パッケージ外観

今回開発した 1,200 V XS シリーズ TO-247-4 パッケージ品は、IGBT と FWD（Free Wheeling Diode）チップを搭載している。図2にパッケージの外観を、

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)
FGZ75XS120C*	あり	TO-247-4	1,200	75	300	75	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
FGW75XS120	なし		1,200	75	300	—	1.60	1.85	—	—
FGW40XS120C	あり		1,200	40	160	40	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW40XS120	なし		1,200	40	160	—	1.60	1.85	—	—

*新規系列化

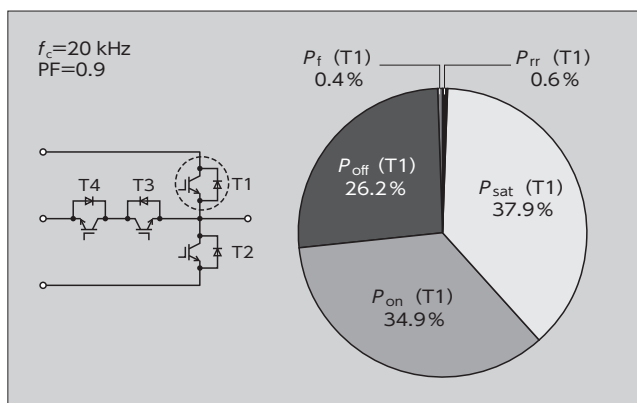


図3 デバイス損失分析結果 (T-type)

表1にXSシリーズの主要最大定格と電気的特性を示す。数kVA～数10kVAのUPSやPCS向けに、40Aや75Aと大きな電流定格を持つ製品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UPSやPCSでは、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。

T-type 3レベルインバータのメインスイッチ部(T1、T2)における1,200V定格のIGBTの損失内訳を図3に示す。IGBTの発生損失の約40%を占める導通損失 P_{sat} と約60%を占めるスイッチング損失(P_{on} と P_{off} の合計)を低減することが重要である。

④ 1,200V「XSシリーズ」とTO-247-4パッケージの特徴

1,200V XSシリーズは、第7世代「Xシリーズ」IGBTとFWDのチップ技術をもとに、駆動周波数20～40kHz程度で使用されるディスクリート製品である。

75A定格品のように電流定格が大きい製品では、1素子当たりに流れる電流が大きい。さらに、従来のTO-247パッケージのような3端子品では、エミッタ・コモンインダクタンスやゲート・エミッタループの配線インダ

クタンスがスイッチング損失に影響を及ぼす。そこで4.3節で述べるように、パッケージにはサブエミッタ端子を追加したTO-247-4を採用し、3端子のTO-247と比較してスイッチング損失が向上している。

4.1 IGBT チップ

図4にIGBTチップの断面構造を示す。第6世代「Vシリーズ」IGBTを元にした従来品の「High-Speed W(HSW)シリーズ」に比べ、XSシリーズでは、第7世代XシリーズIGBTをベースにして、駆動周波数20～40kHz向けのディスクリートIGBTとして最適となる表面構造、フィールドストップ層(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基板の薄化などによって、図5に示すように、従来製品と比較してターンオフ損失 E_{off} を約6%低減すると同時に、コレクタ・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を0.35V低減し、トレードオフ特性を改善した。

4.2 FWD チップ

図6にFWDチップの断面構造を示す。順電圧 V_F とリカバリ損失 E_{rr} のトレードオフ特性を改善した第7世代XシリーズFWDをベースにして、Si基板の薄化とライフタイムキラー量を最適化したFWDである。 E_{rr} を従来の

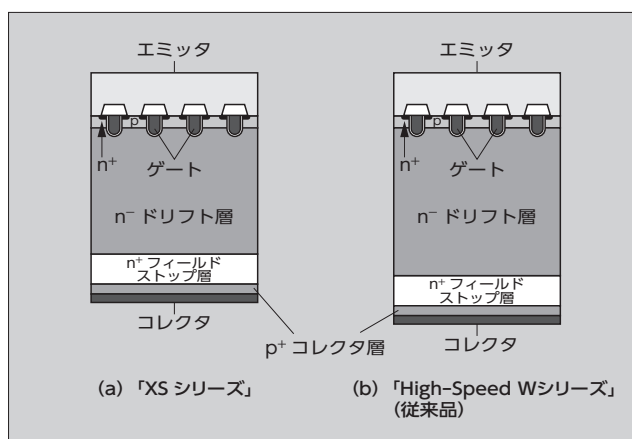


図4 IGBTチップの断面構造図

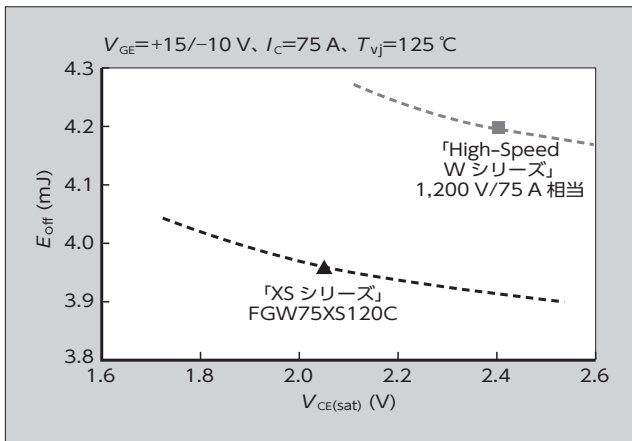


図5 トレードオフ特性 (IGBT)

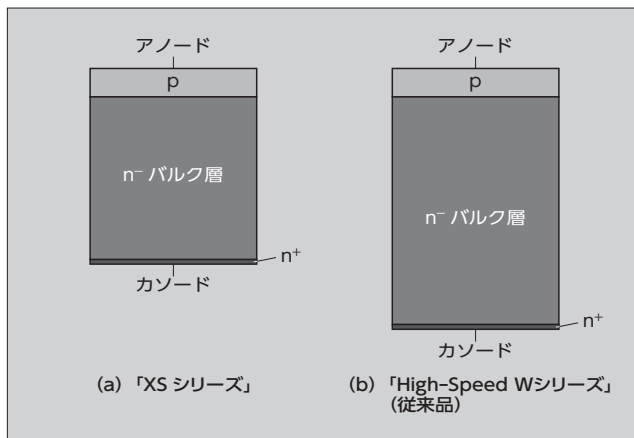


図6 FWD チップの断面構造図

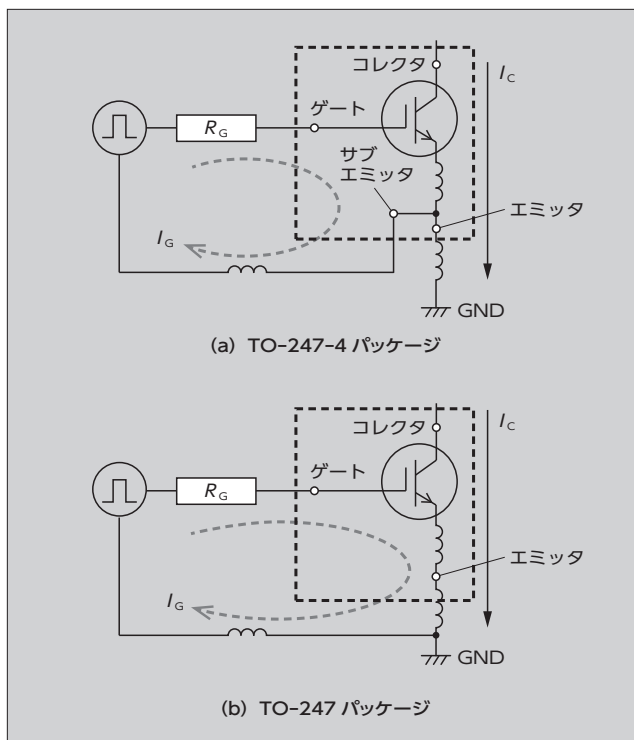


図7 TO-247-4 パッケージと TO-247 パッケージのゲート電流ループ

HSW 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。

4.3 パッケージ

サブエミッタ端子を追加するため、TO-247-4 パッケージを採用した。これにより図7に示すように、ゲート電流とコレクタ電流 I_C が分離できるため、ターンオンやターンオフ時のコレクタ電流とエミッタの配線インダクタンスによって生じる逆起電力がゲート電圧に与える影響を抑えられるため、スイッチング損失が減少する。

⑤ 「XS シリーズ」 TO-247-4 の効果

5.1 スwitching 損失

図8に、1,200 V/75 A 定格の TO-247-4 パッケージ品と TO-247 パッケージ品のスイッチング損失の I_C 依存性を示す。サブエミッタを追加した TO-247-4 パッケージ品のスイッチング損失（ターンオン損失 E_{on} + ターンオフ損失 E_{off} ）は、TO-247 パッケージ品と比較して、定格電流 75 A のときに 30% 低下している。

図9に、スイッチング損失のゲート抵抗依存性を示す。

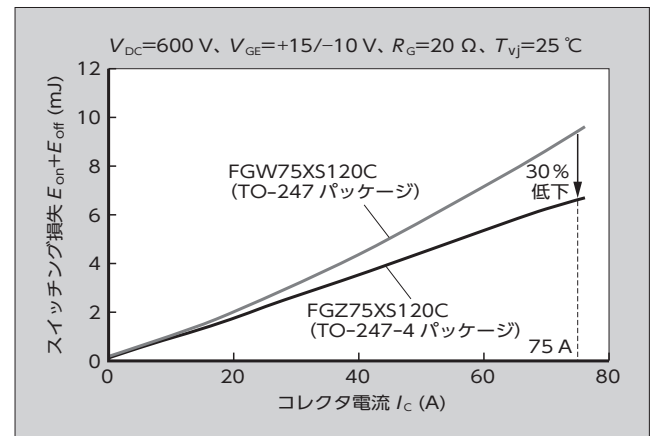


図8 TO-247-4 パッケージ品と TO-247 パッケージ品のスイッチング損失比較 (I_C 依存性)

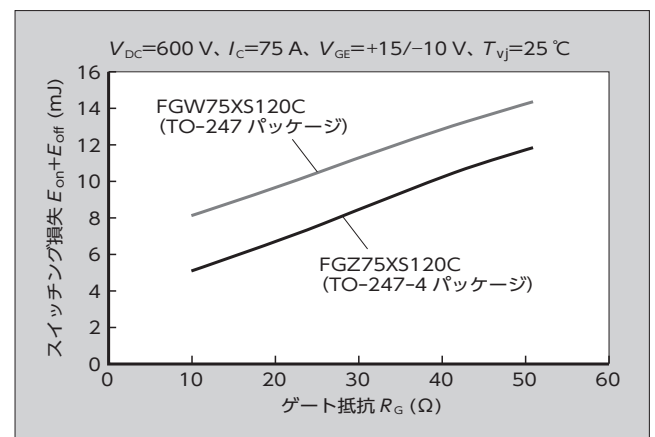


図9 TO-247-4 パッケージ品と TO-247 パッケージ品のスイッチング損失比較 (R_G 依存性)

ゲート抵抗 10 ～ 51 Ω の範囲で TO-247 パッケージ品と比較して、TO-247-4 パッケージ品のスイッチング損失はおよそ 20 ～ 30% の範囲で低下した。

5.2 実動作評価

インバータ回路を模擬した模擬回路を使い、1,200 V/75 A 定格の TO-247-4 パッケージ品と TO-247 パッケージ品をそれぞれ動作させたときのパッケージ温度を図 10 に、IGBT ケースの温度 R_G 依存性を図 11 に示す。TO-247-4 パッケージ品のケース温度は、TO-247 パッケージ品と比較して最大で 4.5 $^{\circ}\text{C}$ 低くなることを確認した。ケース温度が低くなったことで、デバイスを取り付ける放熱フィンの小型化や、より大きな電力を扱うことが期待できる。

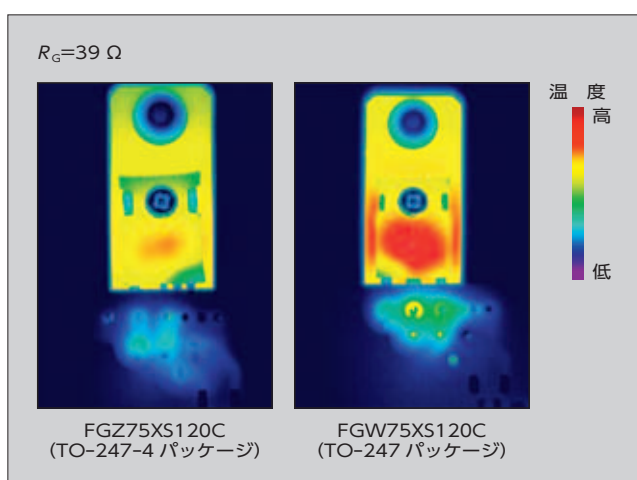


図 10 IGBT ケース温度 ($I_{O(rms)} = 20 \text{ A}$)

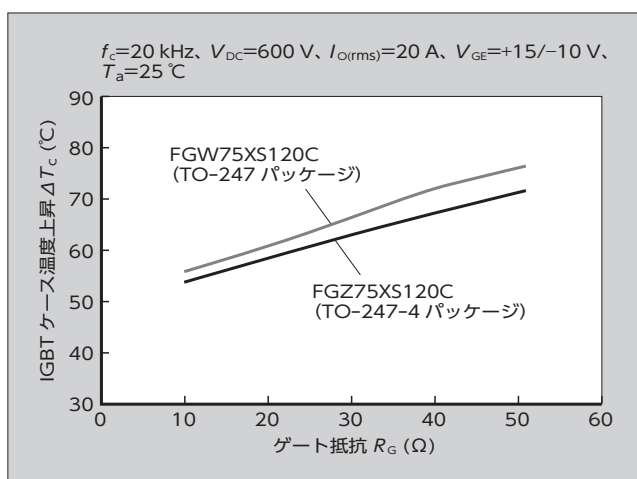


図 11 IGBT ケース温度 R_G 依存性

⑥ あとがき

ディスクリート IGBT「XS シリーズ」の系列拡大について述べた。サブエミッタ端子を追加した TO-247-4 パッケージ品がスイッチング損失とパッケージ温度上昇の低減に効果的であることを確認した。

本製品は、UPS や PCS を主な対象として開発したが、スイッチング電源の PFC 回路や産業機器などにも使用できる。

今後もデバイスのさらなる低損失化を進め、お客さま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. 1,200 VディスクリートIGBT「XSシリーズ」. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.4, p.247-250.
- (2) 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.
- (3) Heinzl, T. et al. "The New High Power Density 7th Generation IGBT Module for Compact Power Conversion Systems". PCIM Europe 2015.
- (4) Yoshida, K. et al. "Power Rating extension with 7th generation IGBT and thermal management by newly developed package technologies". PCIM Europe 2017.



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。



前田 涼

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。



坂井 琢磨

パワー半導体のフィールドアプリケーションエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部営業統括部応用技術部。



＊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。