

高速ディスクリート IGBT 「High-Speed W シリーズ」

High-Speed Discrete IGBT “High-Speed W-Series”

原 幸仁 HARA, Yukihito

内藤 達也 NAITO, Tatsuya

加藤 由晴 KATO, Yoshiharu

無停電電源装置（UPS）や太陽光発電用パワーコンディショナ（PCS）においては、電力の変換効率が重要な性能であるため、使用するスイッチングデバイスに対して低損失化が求められている。また、小型のインバータ溶接機においては、持ち運びを容易にするため、使用するデバイスには高速スイッチングが可能で低損失であることが求められる。開発し、製品化した高速ディスクリート IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）は、活性部における寄生容量の低減、フィールドストップ層の最適化などにより、従来品に対して 650 V 品で約 10%、1,200 V 品で約 19% の低損失化を達成した。

Since power conversion efficiency is an important factor for uninterruptible power systems (UPSs) and power conditioning sub-systems (PCSs) for photovoltaic power generation, switching devices used in the equipment are required to reduce the power loss. For compact inverter welding machines, utilized devices are required to have low-loss characteristics and high-speed switching to make conveyance easier. The high-speed discrete insulated-gate bipolar transistor (IGBT) that we have developed and released reduces parasitic capacitance in active parts and optimizes the field stop layer, thereby achieving a 10% reduction in loss for 650 V products and a 19% reduction in loss for 1,200 V products when compared to the previous product.

1 まえがき

近年、世界のエネルギー需要は増加の一途をたどっている。インターネット社会を支えるサーバやデータセンターなどでは、信頼性の高い電源が必要である。一方で、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの普及により、エネルギー供給の分散化が進み、電力変換の需要が増えている。サーバやデータセンターでは省電力化が、エネルギー供給では電力変換効率の向上が求められ、パワーエレクトロニクス技術に寄せられる期待は非常に大きい。

世界的にデータ使用量が増える中、データを保障するためサーバやデータセンターには無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）が導入されている。以前は、100 kVA 以上の用途では、大容量 UPS を 1 台導入することが一般的であった。しかし、サーバやデータセンターでは高い信頼性を確保するため冗長構成が必要であり、最近では 10～50 kVA 程度の中容量ユニットを組み合わせて並列冗長動作としている。また、太陽光発電では、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 Sub-system）が使用されている。これら UPS や PCS では電力の変換効率が重要な性能であるため、スイッチングデバイスに対する低損失化の要求が強い。いずれも IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を 20～40 kHz でスイッチングさせることが多いため、高速スイッチングによるスイッチング損失の低損失化が求められる。

一方、建設現場などで使用される小型のインバータ溶接機においては、持ち運びを容易にするため小型・軽量化が求められる。使用するデバイスを高速スイッチングで低損失にし、かつ高周波で駆動させることにより、トランスやコイルが小型化できるため、溶接機本体の小型・軽量化に

貢献できる。

今回、UPS、PCS、インバータ溶接機を高性能化するために、オン電圧とスイッチング特性のトレードオフを改善した高速ディスクリート IGBT 「High-Speed W シリーズ」を開発し、製品化した。本稿では、最大定格電圧が 650 V と 1,200 V の High-Speed W シリーズについて、製品の概要とその適用効果について述べる。

2 「High-Speed W シリーズ」の概要

図 1 に High-Speed W シリーズの外観を、図 2 に主な用途を示す。表 1 に、High-Speed W シリーズの主要最大定格と電気的特性を示す。

650 V 系は 40～60 A の IGBT チップと 20～60 A の FWD（Free Wheeling Diode）チップを、1,200 V 系は 25、40 A の IGBT チップと 12、20、40 A の FWD チップを、ディスクリート製品として一般的なパッケージである TO-247 に搭載したものである。系列をそろえて、装置の

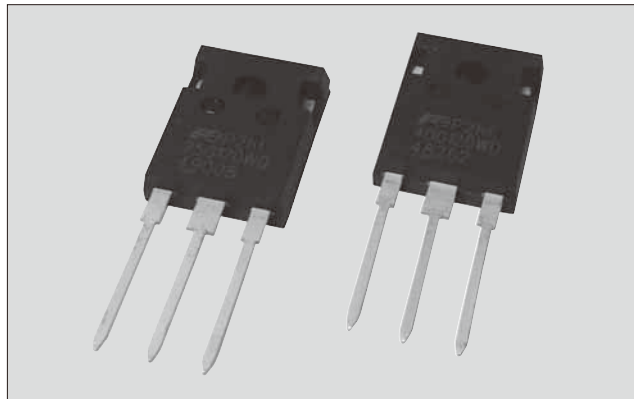


図1 高速ディスクリート IGBT 「High-Speed W シリーズ」

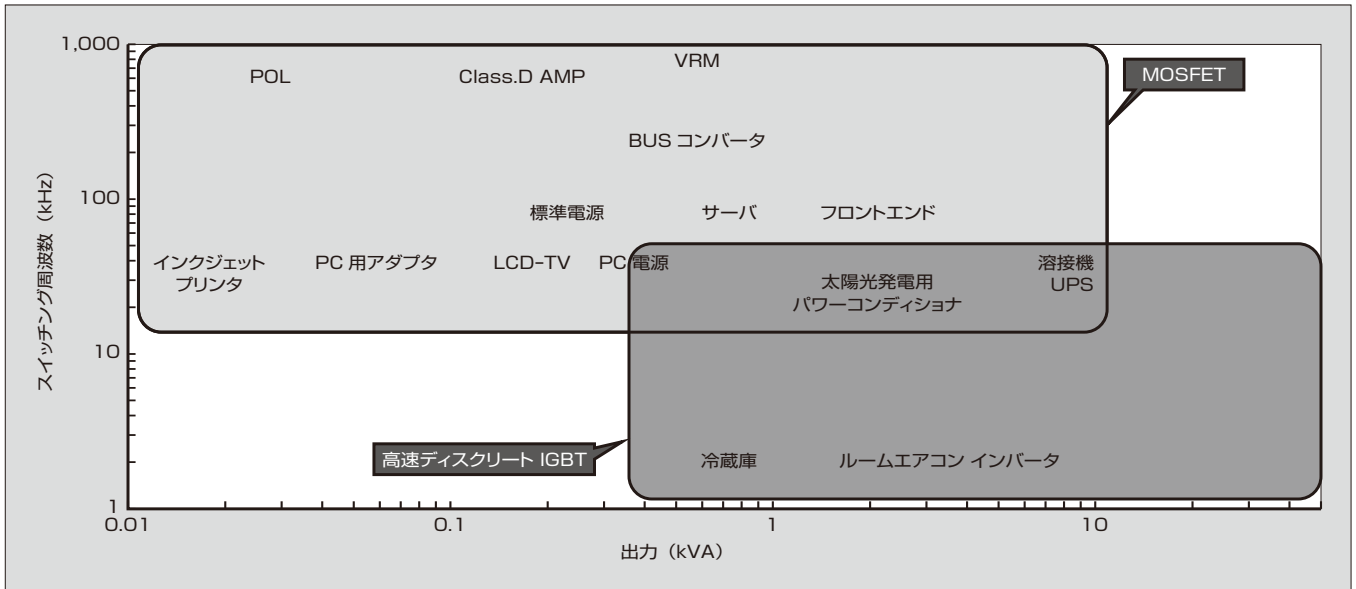


図2 「High-Speed W シリーズ」の主な用途

表1 「High-Speed W シリーズ」の主要最大定格と電気的特性

型 式	タイプ	パッケージ	最大定格				電気的特性			
			IGBT			FWD	IGBT		FWD	
			V_{CES}	I_C ($T_j=100^\circ\text{C}$)	I_{CP}	I_F ($T_j=100^\circ\text{C}$)	$V_{CES(sat)}$ ($T_j=25^\circ\text{C}$ typ)	$V_{CES(sat)}$ ($T_j=125^\circ\text{C}$ typ)	V_F ($T_j=25^\circ\text{C}$ typ)	V_F ($T_j=125^\circ\text{C}$ typ)
			(V)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(V)
FGW40N65WD	Ultra Fast FWD	TO-247	650	40	160	20	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW50N65WD	Ultra Fast FWD	TO-247	650	50	200	25	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW60N65WD	Ultra Fast FWD	TO-247	650	60	240	30	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW40N65WE	Ultra Fast FWD	TO-247	650	40	160	40	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW50N65WE	Ultra Fast FWD	TO-247	650	50	200	50	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW60N65WE	Ultra Fast FWD	TO-247	650	60	240	60	1.80	2.05	2.5	1.9
FGW40N65W	w/o FWD	TO-247	650	40	160	-	1.80	2.05	-	-
FGW50N65W	w/o FWD	TO-247	650	50	200	-	1.80	2.05	-	-
FGW60N65W	w/o FWD	TO-247	650	60	240	-	1.80	2.05	-	-
FGW25N120WD	Ultra Fast FWD	TO-247	1,200	25	100	12	2.0	2.4	2.2	2.05
FGW40N120WD	Ultra Fast FWD	TO-247	1,200	40	160	20	2.0	2.4	2.2	2.05
FGW40N120WE	Ultra Fast FWD	TO-247	1,200	40	160	40	2.0	2.4	2.4	2.2
FGW25N120W	w/o FWD	TO-247	1,200	25	100	-	2.0	2.4	-	-
FGW40N120W	w/o FWD	TO-247	1,200	40	160	-	2.0	2.4	-	-

電源容量や適用される回路に応じた選択肢を設けている。

③ ディスクリット IGBT の課題

図3 に UPS におけるディスクリット IGBT の適用例を、図4 に PCS における適用例を示す。

UPS では電力損失を最小限に抑えること、PCS では太陽光パネルで発電した直流電力を交流電力に変換する際の損失を最小限に抑えることが重要である。

UPS や PCS の数 kVA ～数十 kVA の容量帯では、インバータ部の電力効率を改善するため、3 レベル電力変換技

術が広く採用されており、ディスクリット IGBT のスイッチング周波数は 20 ～ 40 kHz 程度で動作させることが多い。

溶接機では、本体の小型・軽量化のため、体積と質量の占有率の高いトランスを小さくすることが求められている。このため、スイッチング周波数を高周波化する傾向が近年高まっている。一部では、50 kHz 以上の周波数でディスクリット IGBT のスイッチングを行う溶接機が市場に展開されている。

図5 に、5 kVA クラスの UPS および 8.5 kVA クラスの溶接機のインバータにおけるディスクリット IGBT の損失分析結果を示す。損失全体のうち、IGBT のスイッチング

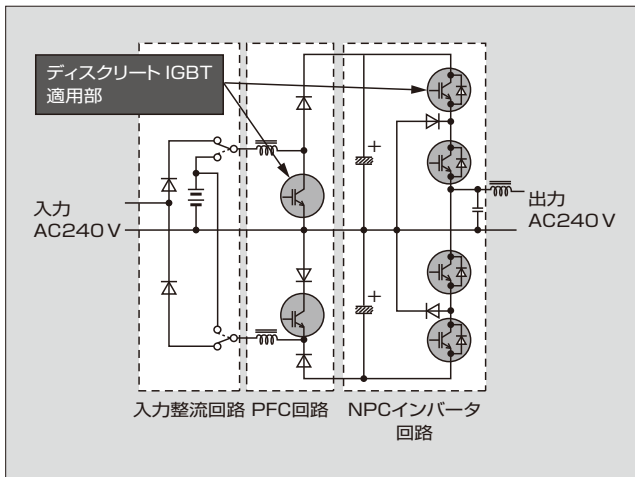


図3 UPSにおけるディスクリート IGBT 適用例 (3レベルI-Type)

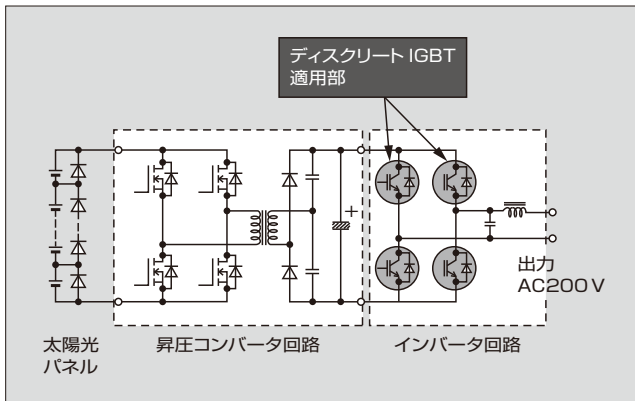


図4 PCSにおけるディスクリート IGBT の適用例

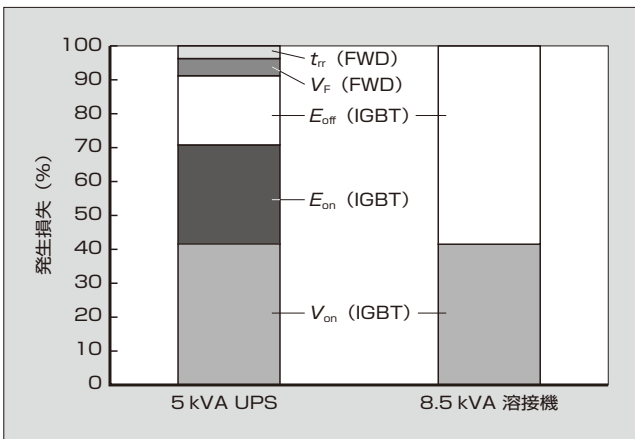


図5 ディスクリート IGBT の損失分析結果 ($f_c = 40 \text{ kHz}$)

損失 $E_{on} + E_{off}$ の割合は UPS で約 50%, 溶接機で約 60% を占めている。また, IGBT のオン電圧損失 V_{on} はいずれも約 40% である。このことから, 高速スイッチング動作により低損失なディスクリート IGBT を実現するためには, $V_{CE(sat)} - E_{off}$ のトレードオフを改善し, 低スイッチング損失と低 V_{on} を両立させることが重要である。特に今回は, 駆動周波数のさらなる高周波化にも対応できるように, 低 E_{off} 特性に重点を置いている。また, FWD においても高周

波化対応として, リカバリ損失の低減を重点課題とした。

4 「High-Speed W シリーズ」の特徴

ディスクリート IGBT は, IGBT チップと FWD チップを 1 つのパッケージに搭載したデバイスである。IGBT, FWD チップのそれぞれの特徴について次に述べる。

4.1 650 V 系列 IGBT チップの特徴

従来品の「High-Speed V シリーズ」の定格電圧は 600 V であった。今回, 電圧マージンを確保したいという市場要求に応えるため定格電圧を 650 V とした。

図 6 に, 650 V IGBT チップの断面構造を示す。従来品は, モジュール用の V シリーズ IGBT をベースに $V_{CE(sat)} - E_{off}$ のトレードオフを改善する設計であった⁽¹⁾。これに対して High-Speed W シリーズでは, 寄生容量を大幅に低減させた活性部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, 基板の薄化などにより, $V_{CE(sat)} - E_{off}$ のトレードオフを改善する設計施策を新たに取り入れた。

図 7 に, 600 V 系 /50 A IGBT チップの $V_{CE(sat)} - E_{off}$ 特性を示す。High-Speed W シリーズでは, 従来品に対して

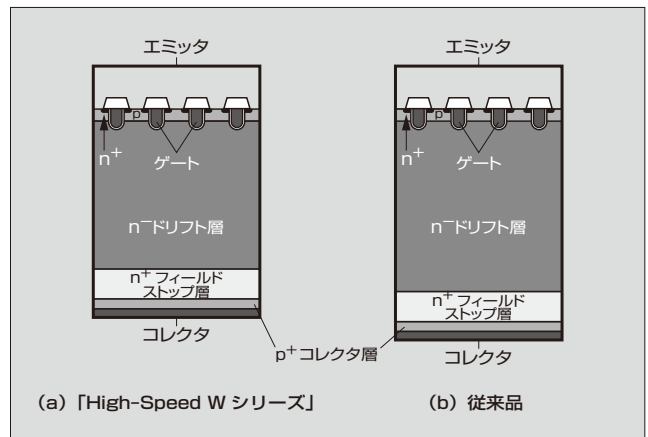


図6 IGBT チップの断面構造

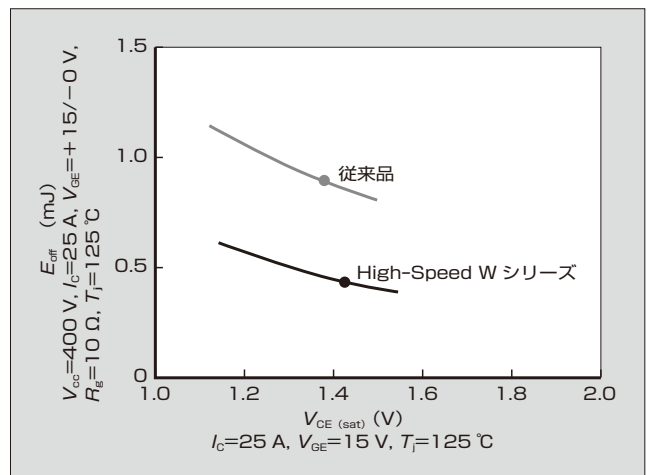


図7 600 V 系 /50 A IGBT チップの $V_{CE(sat)} - E_{off}$ 特性

$V_{CE(sat)}$ の悪化を最小限に抑えつつ、 E_{off} を約 48% 低減している。

4.2 650 V 系列 FWD チップの特徴

従来品の FWD は高速スイッチングに特化した設計である。High-Speed W シリーズでは、この FWD をベースにドリフト層の厚さを最適化することで、低リカバリ損失特性を維持したまま、650 V 保証の FWD とした。

4.3 1,200 V 系列 IGBT チップの特徴

前述の 650 V 系列 IGBT チップと同様の施策を行い、1,200 V 系列では、活性部における寄生容量の低減、コレクタ層におけるホールの注入の抑制、基板の薄化などを行った。図 8 に、1,200 V/40 A IGBT のターンオフ波形を示す。High-Speed W シリーズでは、ターンオフ時のテール電流を大幅に改善し、 E_{off} を大幅に低減した。図 9 に、 $V_{CE(sat)}-E_{off}$ 特性を示す。High-Speed W シリーズでは、 E_{off} を約 40% 低減している。

4.4 1,200 V 系列 FWD チップの特徴

High-Speed W シリーズの FWD は、従来品と同様に低リカバリ損失特性を持った FWD を使用している。

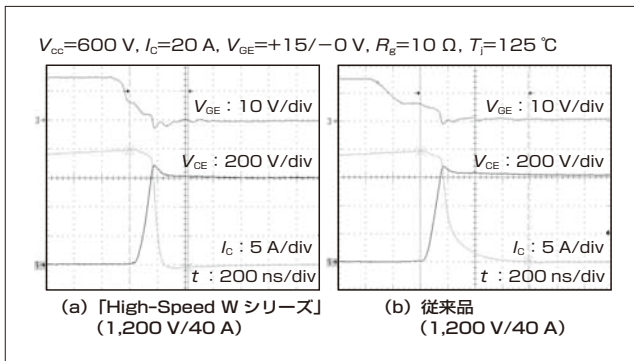


図 8 1,200 V/40 A IGBT のターンオフ波形

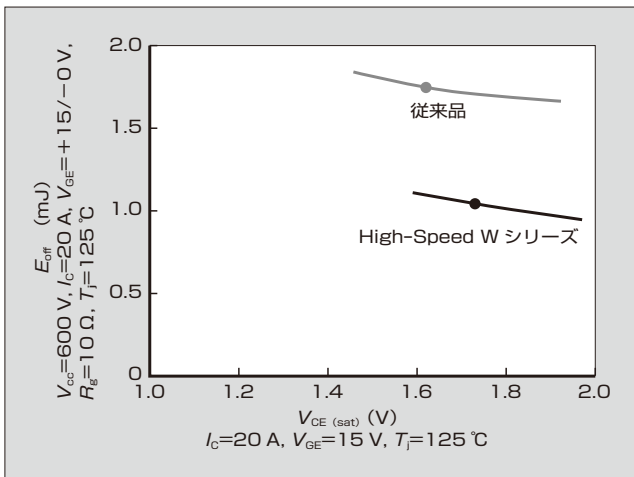


図 9 1,200 V/40 A IGBT の $V_{CE(sat)}-E_{off}$ 特性

5 「High-Speed W シリーズ」の適用効果

図 10 と図 11 に、5 kW 出力の UPS を想定した発生損失のシミュレーション結果を示す。スイッチング周波数は 40 kHz のフルブリッジ回路 PWM (Pulse Width Modulation) を模擬している。

図 10 の 600 V 系の IGBT では、High-Speed W シリーズは、従来品と比べてトータル損失が約 10% 低減することが見込まれる。また、図 11 の 1,200 V 系 IGBT では、約 19% の損失低減が見込まれる。いずれの発生損失においても、約 30% を占めている E_{off} を大きく低減させたことが、トータル損失の低減に大きく寄与している。

図 12 に、8.5 kVA クラスの溶接機に 600 V 系の IGBT を搭載した際のデバイス温度の評価結果を示す。一般的に溶接機では、温度保護機能が働くと溶接機としての動作を止めるため、温度の上昇幅が小さい IGBT が強く要求されている。図 5 に示したように、溶接機においては損失全体の約 60% を E_{off} による損失が占めている。そのため、従来品より大幅に E_{off} を低減させた High-Speed W シリーズの適用効果は大きく、デバイスの温度上昇分が従来品より約 5 °C (約 20%) 低く抑えられている。このため、High-Speed W シリーズは、従来品より溶接機の連続運転時間

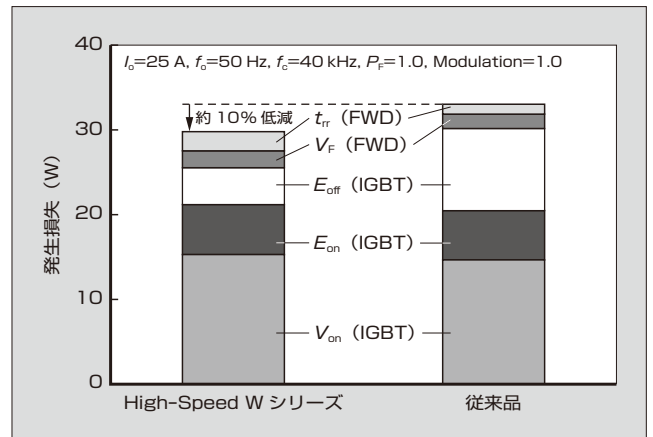


図 10 600 V 系 /50 A IGBT の損失シミュレーション

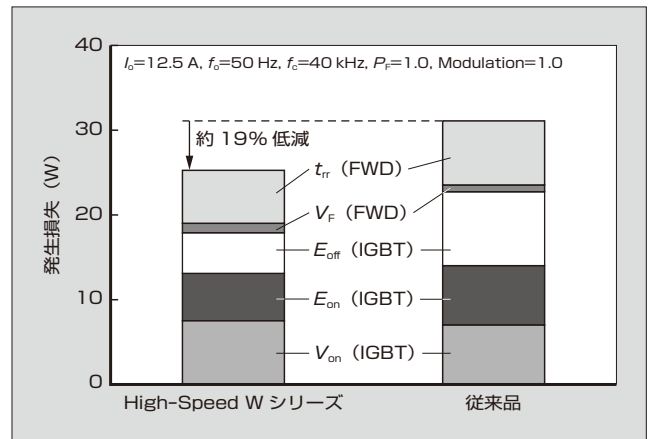


図 11 1,200 V 系 /25 A IGBT の損失シミュレーション

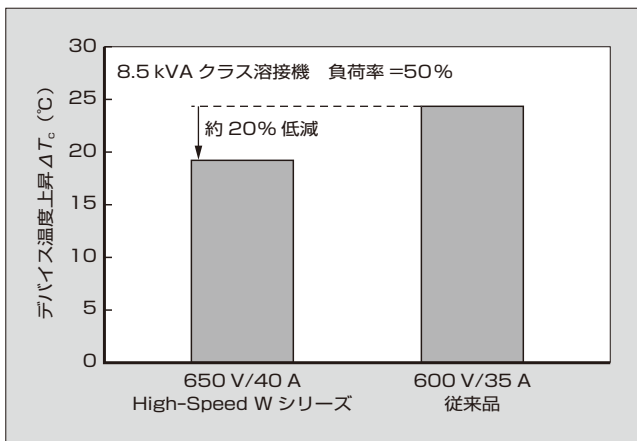


図 12 600 V 系 IGBT 搭載の溶接機のデバイス温度評価結果

を長くとることが可能となった。

6 あとがき

本稿では、650 V と 1,200 V の高速ディスクリート IGBT 「High-Speed W シリーズ」の概要とその適用効果について述べた。本製品は、UPS、PCS、溶接機を主な対象として開発したが、スイッチング電源の PFC (Power Factor Correction) 回路や産業機器向けなどにも広く適用が可能である。

今後も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、装置の小型・軽量化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 渡島豪人ほか. 高速ディスクリート IGBT 「High-Speed V シリーズ」富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.393-397.



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事業統括部ディスクリート・IC 技術部。



内藤 達也

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。



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。





*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。