U シリーズ IGBT モジュール（1,200 V）

小野澤　勇一（おのざわ　ゆういち）　吉渡　新一（よしわたり　しんいち）　大月　正人（おおつき　まさひと）

1　まえがき

汎用インバータや無停電電源装置（UPS）に代表される電力変換機器は，常に高効率化・小型化・低価格化・低騒音化が要求されている。このため，インバータ回路に用いられる電力変換用素子にも高性能化・低価格化が求められている。電力変換用素子にはその低損失性，駆動回路の容易さから，現在では IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）が主に使われており，富士電機においても 1988 年の製品化以来，さらなる低損失化・低価格化を進めてきた。本稿では，トレンチゲート構造とフィールドストップ（FS）構造の採用により，第四世代 IGBT モジュール（S シリーズ）に対して，大幅にトレードオフ特性を改善した第五世代 IGBT モジュール（U シリーズ）のうち，主に海外の 400 V AC 電源ラインで使用される 1,200 V 系について紹介する。

2　新型 IGBT の特徴

図 1 に今回開発を行った新型 IGBT（トレンチ FS-IGBT）のコレクタ－エミッタ間飽和電圧（$V_{CE\ (sat)}$）とターンオフ損失のトレードオフを，**図 2** に出力特性の比較を示す。**図 1** から，1,200 V U シリーズ IGBT のトレードオフが，前世代の S シリーズ〔プレーナ NPT（Non Punch Through）－IGBT〕に対して飛躍的に改善されていることが分かる。上記の劇的な特性改善は NPT を進化させたフィールドストップ構造と，MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）で培われたトレンチゲート構造の採用によるものである。次節でそれぞれの構造を解説する。

2.1　フィールドストップ構造

図 3 にプレーナ NPT-IGBT とプレーナ FS-IGBT の断面図を示す。NPT-IGBT ではオフ時に空乏層がコレクタ側に接触しないようにドリフト層を厚くする必要があるが，FS-IGBT では空乏層を止めるためのフィールドストップ層が形成されているため，NPT に対してドリフト層の厚さを薄くできる。このため，$V_{CE\ (sat)}$ を低減することができる。また FS-IGBT ではドリフト層の厚さが薄いため過剰キャリヤが少なく，また空乏層が伸びきった状態での中性領域の残り幅が少ないため，ターンオフ損失を低減することができる。

図１　$V_{CE\ (sat)}$ － ターンオフ損失間のトレードオフ

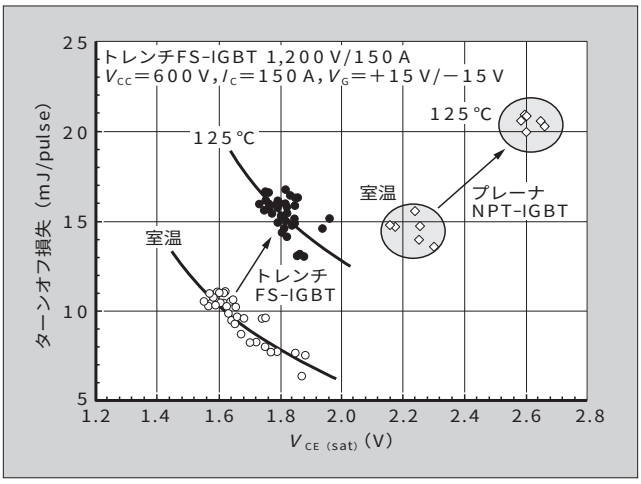
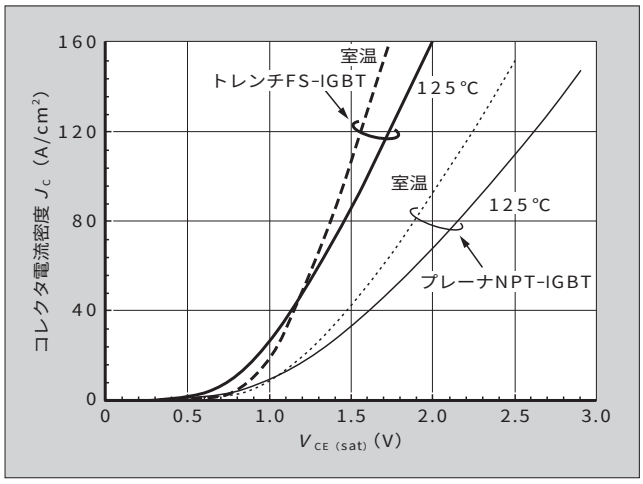


図２　出力特性の比較



小野澤　勇一

パワー半導体デバイス，MOS ゲートパワーデバイスの研究開発に従事。現在，松本工場半導体基盤技術開発部。

吉渡　新一

IGBT モジュール開発設計および応用技術開発に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ（株）松本事業所開発設計部。

大月　正人

パワー半導体デバイス，MOS ゲートパワーデバイスの研究開発に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ（株）松本事業所開発設計部。

図３　IGBT 単位セルの断面比較

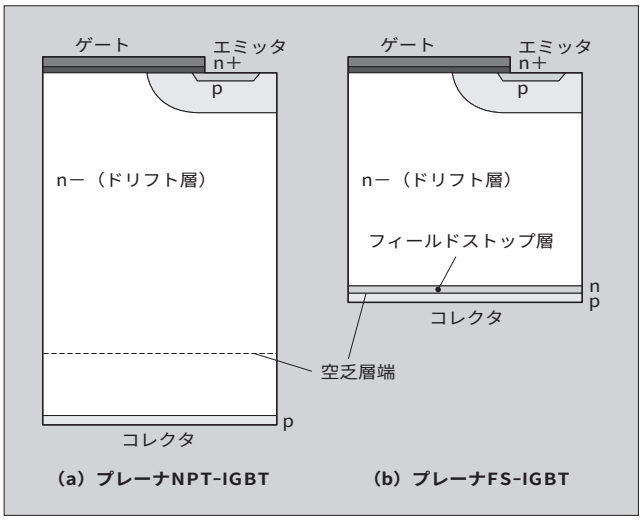
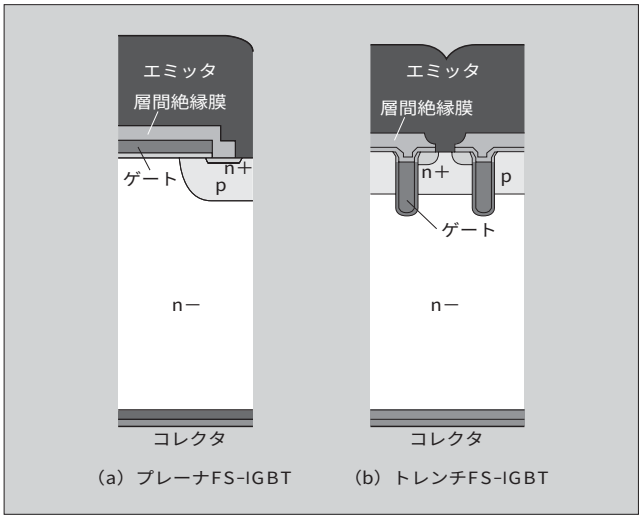


図４　IGBT 単位セルの断面比較



2.2　トレンチゲート構造

図４にトレンチ FS-IGBT の断面図を示す。トレンチゲート構造を用いることによって，チャネル密度を向上させることができるとともに，プレーナでセル密度が上がると問題になる J_{FET} 部分の抵抗も零にできるため，$V_{CE\ (sat)}$ を大幅に低減することができる。

一方でトレンチ IGBT ではチャネル密度が高いため，短絡耐量が低いことが問題になるが，本構造では MOS の総チャネル長を最適化することにより，$V_{CE\ (sat)}$ を犠牲にすることなく，高い短絡耐量を実現している（**図５**）。

3　新型 FWD の特徴

IGBT の高速化に伴い，スイッチング時の振動が大きな問題になっている。富士電機では，FWD（Free Wheeling Diode）の表面構造とバルクの不純物プロファイルを最適化することにより，ソフトリカバリー化を実現し，高 di/dt においても振動を抑制することに成功した（**図６**）。

図５　短絡波形

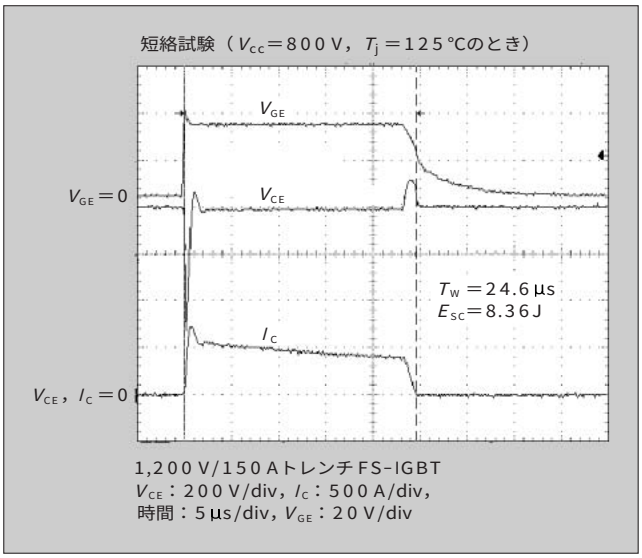


図６　ターンオン波形比較

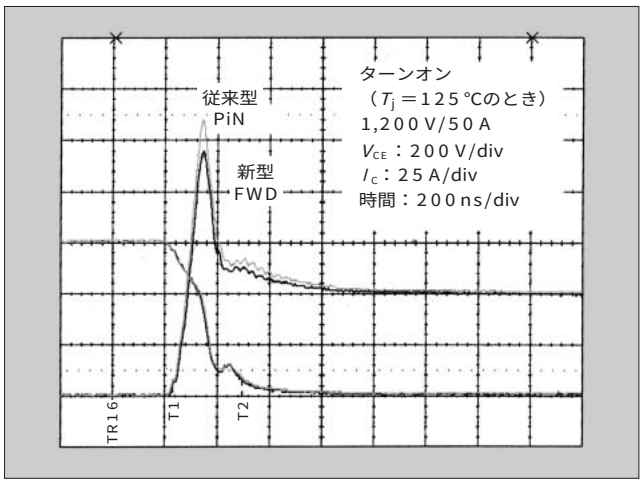
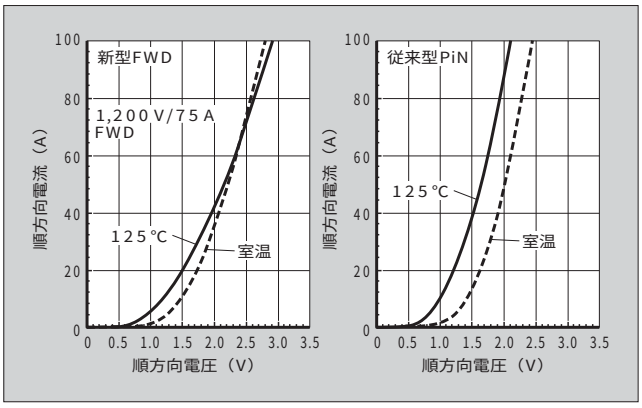


図７　FWD の出力特性の比較



また，今回開発した FWD ではライフタイムキラーの最適化により出力特性の温度係数を正にしたことにより，並列運転に適したデバイスとなった（**図７**）。

表１　1,200 V U シリーズ IGBT モジュールの特性

(a) 絶対最大定格（記述がなければ T_c＝25 ℃）

項　目	記　号	条　件		最大定格	単位
コレクタ－エミッタ間電圧	V_{CES}			1,200	V
ゲート－エミッタ間電圧	V_{GES}			±20	V
コレクタ電流	I_C	連続	T_c＝25 ℃	150	A
			T_c＝80 ℃	100	
	$I_{C\ pulse}$	1ms	T_c＝25 ℃	300	
			T_c＝80 ℃	200	
	$-I_C$			100	
	$-I_{C\ pulse}$	1ms		200	
最大損失	P_c	1素子		600	W
接合温度	T_j			150	℃
保存温度	T_{stg}			－40～＋125	℃
絶縁耐圧（パッケージ）	V_{iso}	AC：1min		2,500	V
ねじ締めトルク	マウンティング			3.5	N・m
	ターミナル			3.5	

(b) 電気的特性（記述がなければ T_c＝25 ℃）

項　目	記　号	条　件		特　性 min.	typ.	max.	単位
コレクタ－エミッタ間漏れ電流	I_{CES}	V_{GE}＝0 V, V_{CE}＝1,200 V		—	—	1.0	mA
ゲート－エミッタ間漏れ電流	I_{GES}	V_{CE}＝0 V, V_{GE}＝±20 V		—	—	0.2	μA
ゲート－エミッタ間しきい値電圧	$V_{GE(th)}$	V_{CE}＝20 V, I_C＝100 mA		—	7.0	—	V
コレクタ－エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$ (Terminal)	V_{GE}＝15 V, I_C＝100 A	T_j＝25℃	—	1.95	—	V
			T_j＝125℃	—	2.2	—	
	$V_{CE(sat)}$ (Chip)		T_j＝25℃	—	1.75	—	
			T_j＝125℃	—	2.0	—	
入力容量	C_{ies}	V_{GE}＝0 V, V_{CE}＝10 V, f＝1MHz		—	13.3	—	nF
出力容量	C_{oes}			—	0.8	—	
帰還容量	C_{res}			—	1.2	—	
ターンオン時間	t_{on}	V_{CC}＝600 V, I_C＝100 A, V_{GE}＝±15 V, R_g＝4.7 Ω		—	—	1.2	μs
	t_r			—	—	0.6	
ターンオフ時間	t_{off}			—	—	1.0	
	t_f			—	—	0.3	
ダイオード順電圧	$V_{F(Terminal)}$	I_F＝100 A	T_j＝25℃	—	2.0	—	V
			T_j＝125℃	—	2.0	—	
	$V_{F(Chip)}$		T_j＝25℃	—	1.8	—	
			T_j＝125℃	—	1.8	—	
逆回復時間	t_{rr}	I_F＝100 A		—	—	0.35	μs

(c) 熱抵抗特性

項　目	記　号	条件	特　性 min.	typ.	max.	単位
デバイスの熱抵抗（1素子）	$R_{th(j-c)}$	IGBT	—	—	0.21	℃/W
		FWD	—	—	0.33	
ケース－フィン間熱抵抗	$R_{th(c-f)}$		—	0.05	—	

表２　1,200 V U シリーズ IGBT モジュールの系列概要

電圧定格（V）	パッケージ	電流定格（A）	型　名	発売時期
1,200	小容量 PIM	10	7MBR10UE120	2003年4月
		15	7MBR15UE120	
	EP2	10	7MBR10UA120	
		15	7MBR15UA120	
		25	7MBR25UA120	
		35	7MBR35UA120	
	EP3	35	7MBR35UB120	
		50	7MBR50UB120	
		75	7MBR75UB120	
	HEP2	10	7MBR10UC120	
		15	7MBR15UC120	
		25	7MBR25UC120	
		35	7MBR35UC120	
	HEP3	35	7MBR35UD120	
		50	7MBR50UD120	
		75	7MBR75UD120	
	新型 PC2	75	6MBI75UA-120	
	新型 PC3	75	6MBI75UB-120	
		100	6MBI100UB-120	
		150	6MBI150UB-120	
		75	6MBI75UC-120	
		100	6MBI100UC-120	
		150	3MBI150UC-120	
	新型 PC2	150	3MBI150U-120	
	7in1（M631 または P611）	75	7MBI75UD-120	
		100	7MBI100UD-120	
		150	7MBI150UD-120	
	M232	75	2MBI75UA-120	
		100	2MBI100UA-120	
		150	2MBI150UA-120	
	M233	150	2MBI150UB-120	
		200	2MBI200UB-120	
	M234	200	2MBI200UC-120	
		300	2MBI300UC-120	
	M235	300	2MBI300UD-120	
	M238	300	2MBI300UE-120	
		450	2MBI450UE-120	
	大容量モジュール	225	6MBI225U-120	
		300	6MBI300U-120	
		450	6MBI450U-120	

4　1,200 V U シリーズ IGBT モジュールの系列と特性

1,200 V U シリーズ IGBT モジュールの特性を**表１**，系列概要を**表２**に示す。また，1,200 V U シリーズ IGBT のパッケージ一覧を**図８**，系列相関を**図９**に示す。

図８　1,200 V U シリーズ IGBT モジュールのパッケージ一覧

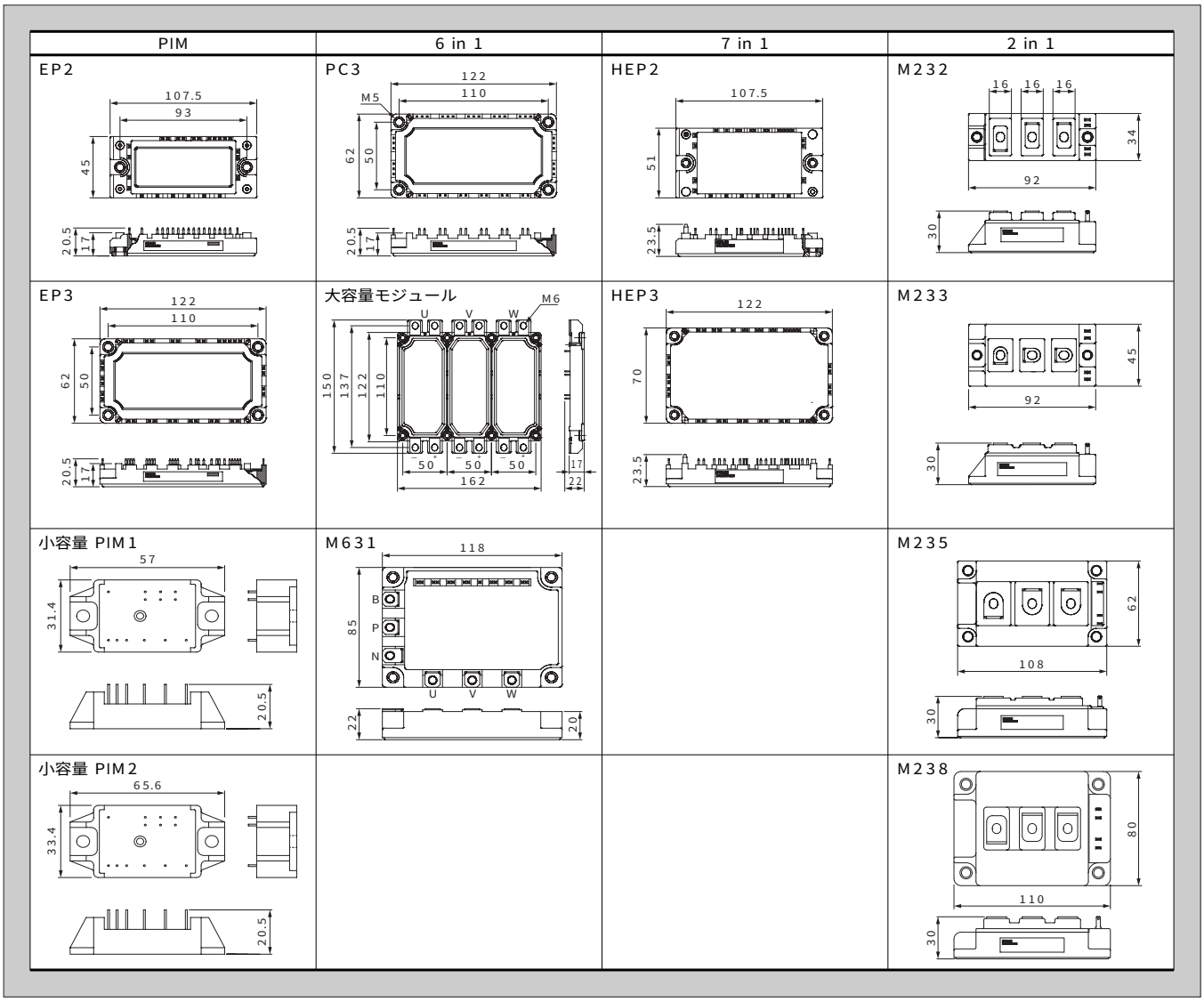
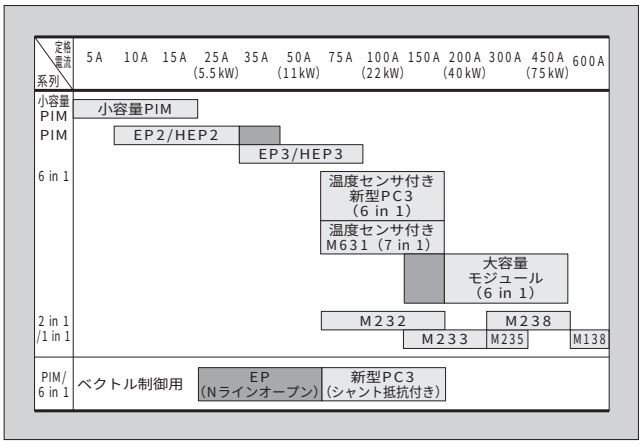


図９　1,200 V U シリーズ IGBT モジュールの系列相関図



5　あとがき

1,200V U シリーズについて概略を紹介した。特にこのシリーズの IGBT は，トレンチゲート構造とフィールドストップ構造という二つの新しい技術の採用により，非常に低損失なデバイスとなっており，装置の小型化・低損失化に大きく貢献できると確信している。

今後も，デバイスの高性能化・高信頼性化に取り組み，パワーエレクトロニクスの発展に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　Laska, T. et al.　The Field Stop IGBT（FS IGBT）――A New Power Device Concept with a Great Improvement Potential. Proc. 12th ISPSD．2000，p.355–358.

(2)　西村武義ほか．トレンチゲート MOSFET．富士時報．vol.72，no.3，1999，p.180–182.

e-Front runners

＊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。