

3.3 kV IGBT モジュールの系列拡大

Expansion of the 3.3 kV IGBT Module Series

福知 輝洋 FUKUCHI Akihiro

金子 悟史 KANEKO Satoshi

近年、再生可能エネルギーの市場が急速に伸びており、大容量 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールのニーズは急激に拡大している。富士電機ではこれに応えるため、3.3 kV の IGBT モジュールで定格電流を 25% 向上した新製品を系列化した。0.8 kA 品と同じパッケージの 3.3 kV/1.0 kA と、1.2 kA 品と同じパッケージの 3.3 kV/1.5 kA の製品である。チップ配置をシンメトリーにしたことにより、高スイッチング耐量を確保している。また、絶縁基板には放熱能力向上のため AlN 基板を、ベース材料には高い信頼性を確保するため AlSiC ベースを採用している。

In recent years, there has been a rapid growth in the market for renewable energy, and the needs for high-capacity insulated gate bipolar transistor (IGBT) modules have expanded quickly. To answer these needs, Fuji Electric has arranged a new line of products that have a 25% higher current rating into 3.3 kV modules. These are 3.3 kV/1.0 kA products of the same package as 3.3 kV/0.8 kA devices, and 3.3 kV/1.5 kA products of the same package as 1.2 kA devices. By reappraising chip configuration and using a symmetric configuration, we can ensure high switching capacity. Also, to improve the heat-dissipation capability, we use an AlN substrate as the insulating substrate, and to ensure reliability, we use an AlSiC base plate as the base material.

1 まえがき

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールは、その低損失性・高破壊耐量・駆動回路の設計の容易さから広く普及している。高耐圧・大容量分野においても、これまで広く適用されてきた GTO (Gate Turn-off) サイリスタから IGBT モジュールに置き換えられてきており、大容量インバータや高圧インバータ装置などに広く応用されている。特に近年、地球温暖化防止のため再生可能エネルギー (風力発電・太陽光発電) の市場が急速に伸びており、この分野で適用されるインバータ装置の大容量化が進み、大容量 IGBT モジュールのニーズは急激に拡大している。

富士電機では、これまで大容量分野への適用を狙った IGBT モジュールの製品展開を行ってきた。1,200 V・1,700 V 製品をラインアップ^{(1)~(4)}するとともに、2010 年には、産業・電鉄分野向けに 3.3 kV/0.8 kA、3.3 kV/1.2 kA を量産化^{(5),(6)}している。

今回、さらなる大電流化のニーズを受けて新しいチップを開発し、0.8 kA 品と同じパッケージの 3.3 kV/1.0 kA と、1.2 kA 品と同じパッケージの 3.3 kV/1.5 kA の製品を系列化した。どちらも定格電流を 25% 向上させている。本稿では、その概要・性能について述べる。

2 製品系列

図 1 に、3.3 kV IGBT モジュールの外観を示す。パッケージは、130×140 (mm) と、190×140 (mm) の 2 種類があり、他社モジュールとの互換性を持っている。1 in 1 3.3 kV/1.5 kA モジュールを例として、最大定格および特性を表 1 に示す。

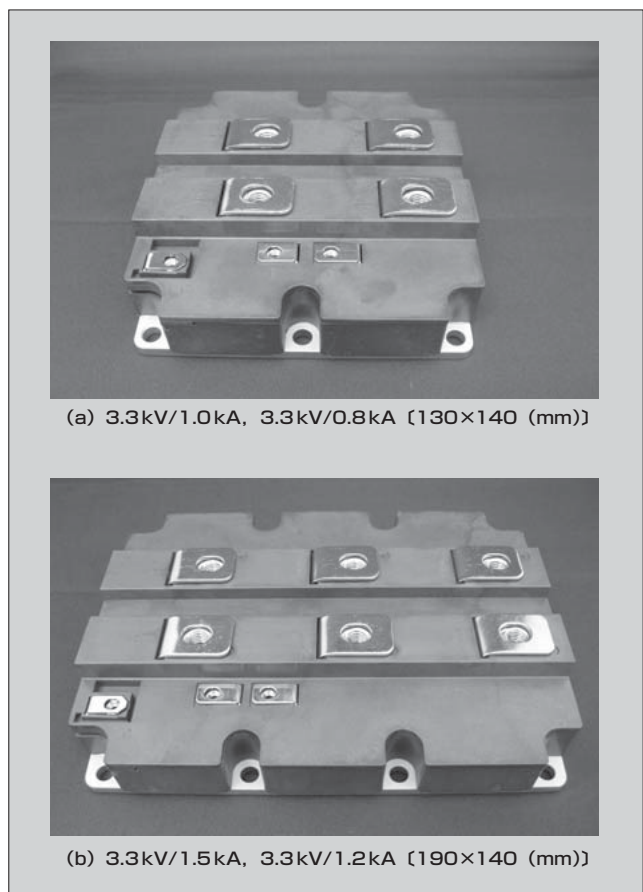


図 1 3.3 kV IGBT モジュール

3 電気的特性

3.1 I-V 特性

図 2 にモジュールの飽和電圧-コレクタ電流特性を、図

表1 最大定格および特性 (型式: 1MBI1500UE-330)

(a) 最大定格 (指定なき場合は, $T_j = T_c = 25^\circ\text{C}$)

項目	記号	条件	定格	単位
コレクター-エミッタ電圧	V_{CES}	$V_{GE}=0\text{V}$	3,300	V
ゲート-エミッタ間電圧	V_{GES}	—	± 20	V
コレクタ電流	I_C (DC)	連続 $T_c=95^\circ\text{C}$	1,500	A
	I_C (Pulse)	1 ms	3,000	A
最大損失	P_c	—	15.6	kW
最大接合温度	$T_{j\max}$	—	150	$^\circ\text{C}$
保存温度	T_{stg}	—	$-40 \sim +125$	$^\circ\text{C}$
絶縁耐圧	V_{iso}	AC: 1 min	6.0	kV
部分放電消滅電圧	V_e	AC, $Q \leq 10\text{pC}$	2.6	kV

(b) 電気的特性 (指定なき場合は, $T_j = T_c = 25^\circ\text{C}$)

項目	記号	試験条件	最小	標準	最大	単位	
コレクター-エミッタ間漏れ電流	I_{CES}	$V_{GE}=0\text{V}, V_{CE}=3,300\text{V}$	—	—	1.0	mA	
ゲート-エミッタ間漏れ電流	I_{GES}	$V_{GE}=\pm 20\text{V}$	—	—	4.8	μA	
ゲート-エミッタ間しきい値電圧	$V_{GE(th)}$	$V_{CE}=20\text{V}, I_C=1.5\text{A}$	6.0	6.75	7.5	V	
飽和電圧 (chip)	$V_{CE(sat)}$	$V_{GE}=+15\text{V}$ $I_C=1,500\text{A}$	$T_j=25^\circ\text{C}$	—	2.46	2.96	V
			$T_j=150^\circ\text{C}$	—	3.43	—	
入力容量	C_{ies}	$V_{GE}=0\text{V}, V_{CE}=10\text{V}, f=1\text{MHz}$	—	300	—	nF	
ターンオン時間	t_{on}	$V_{CC}=1,800\text{V}, I_C=1,500\text{A}$ $V_{GE}=\pm 15\text{V}, T_j=150^\circ\text{C}$ $R_g=\pm 1.6\Omega, L_m=160\text{nH}$	—	3.1	—	μs	
	t_r		—	2.2	—		
ターンオフ時間	t_{off}		—	2.6	—		
	t_f		—	0.5	—		
順電圧 (chip)	V_F	$V_{GE}=0\text{V}$ $I_F=1,500\text{A}$	$T_j=25^\circ\text{C}$	—	2.35	2.95	V
			$T_j=150^\circ\text{C}$	—	2.61	—	
逆回復時間	t_{rr}	$V_{CC}=1,800\text{V}, I_F=1,500\text{A}, T_j=150^\circ\text{C}$	—	1.0	—	μs	

(c) 熱的特性

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	IGBT	—	—	8.0	$^\circ\text{C}/\text{kW}$
		FWD	—	—	15.0	

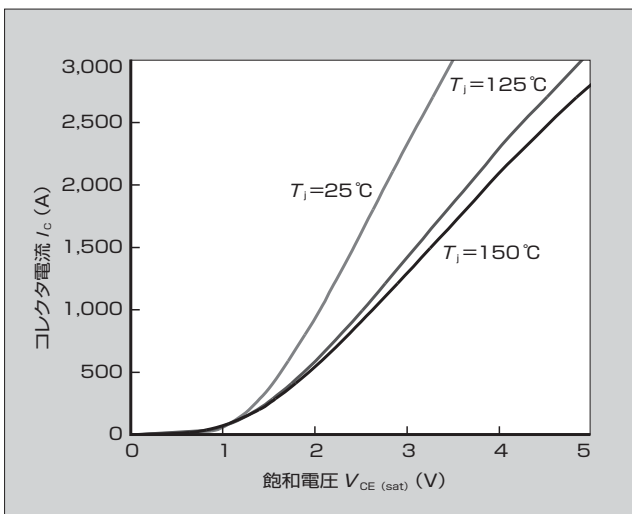


図2 飽和電圧-コレクタ電流特性

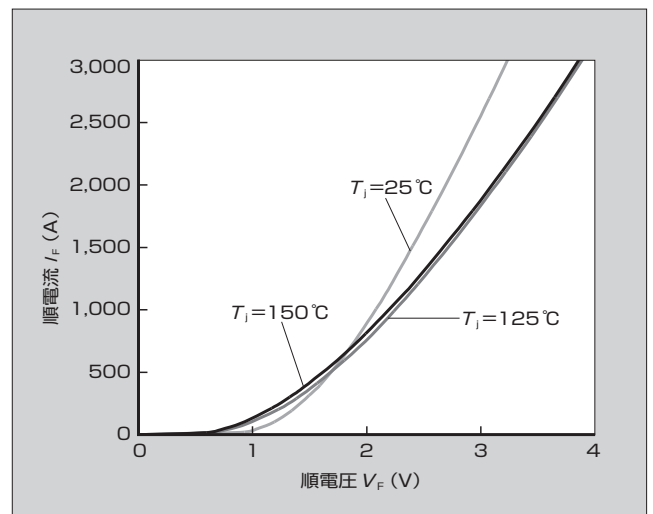


図3 順電圧-順電流特性

3 に順電圧-順電流特性を示す。IGBT および FWD(Free

Wheeling Diode) チップは、ともに飽和電圧および順

電圧が正の温度係数を持つ。正の温度係数を持つチップは、接合温度が高くなると内部抵抗が高くなり、電流が流れにくくなる。そのため、チップの並列接続数の多い大容量 IGBT モジュール内部でチップ間の接合温度 T_j を均一化するように働き、電流バランスを自動的に調整する。1.2kA モジュールは、IGBT チップ（定格 50 A）24 個・FWD チップ（定格 100 A）12 個を並列に接続している。1.5kA モジュールでは、IGBT チップ（定格 62.5 A）24 個・FWD チップ（定格 62.5 A）24 個を同一モジュールに配置できるように絶縁基板内に配置し、定格電流を 25% 向上させた。

3.2 スイッチング特性

図 4 に、 $V_{CC}=1,800\text{ V}$ 、 $R_g = \pm 1.6\ \Omega$ 、 $T_j=150^\circ\text{C}$ における定格電流（1,500 A）でのスイッチング特性を示す。発振などのノイズや大きなサージ電圧は発生しておらず、良好な波形である。

また、高耐压モジュールは、その適用用途から高い信頼性が求められ、高スイッチング破壊耐量を持つことが必須

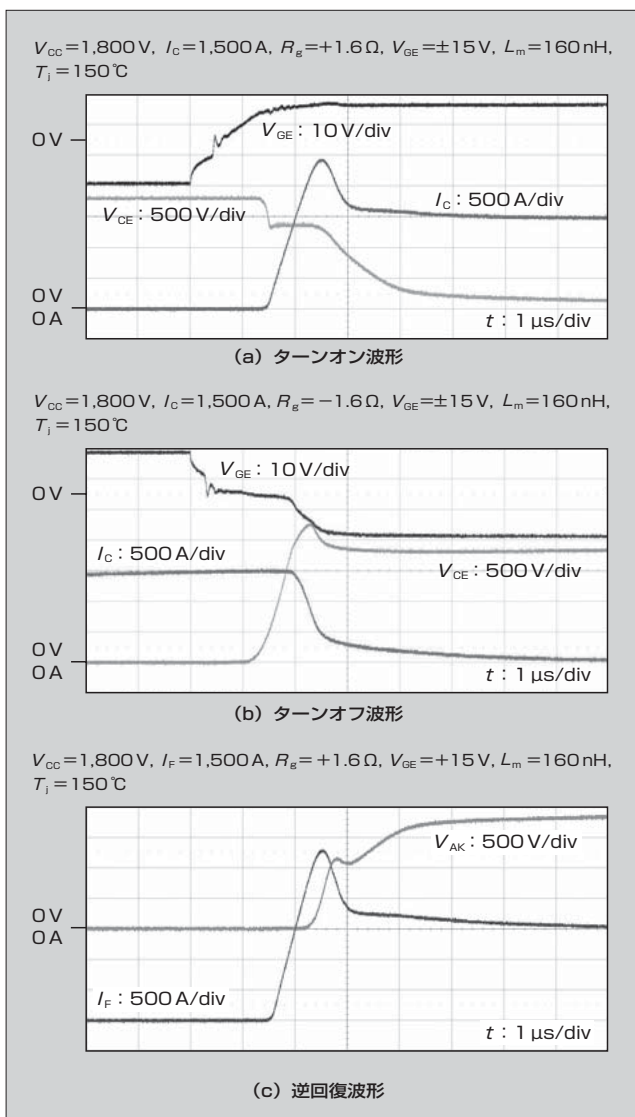


図 4 定格電流でのスイッチング特性

である。

図 5 (a) に、 $V_{CC}=2,500\text{ V}$ 、 $R_g = -1.6\ \Omega$ 、 $T_j=150^\circ\text{C}$ におけるターンオフ波形を示す。 $I_C=4,700\text{ A}$ （定格の 3 倍以上）を遮断できる能力を持っている。図 5 (b) に、 $V_{CC}=2,300\text{ V}$ 、 $R_g = +1.6\ \Omega$ 、 $T_j=150^\circ\text{C}$ における短絡波形を示す。20 μs 以上の短絡でも正常にターンオフできる。図 5 (c) に、

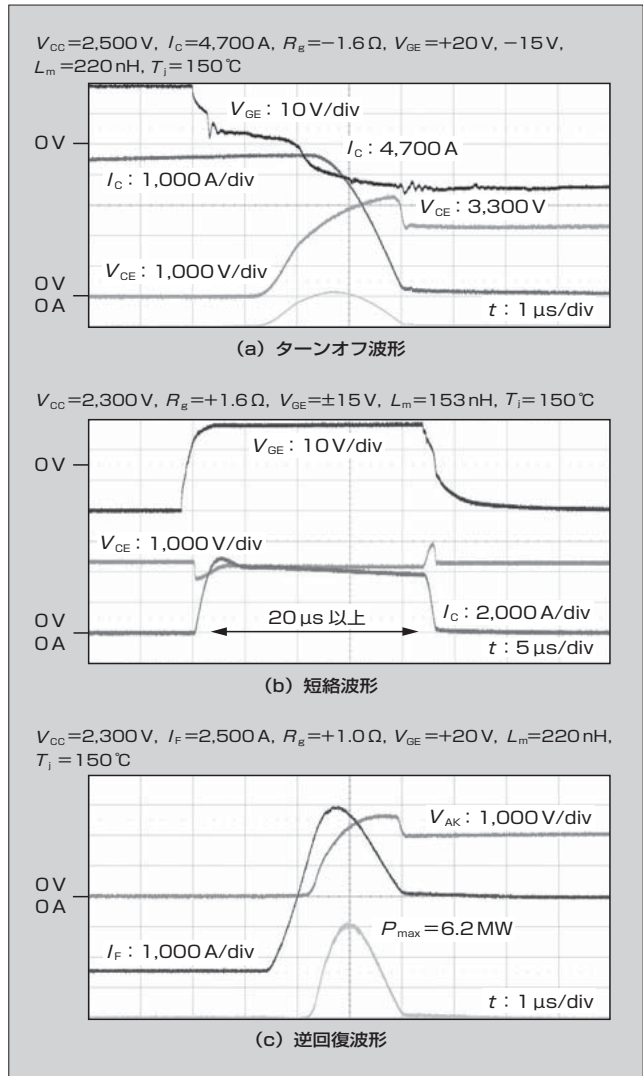


図 5 大電流でのスイッチング特性

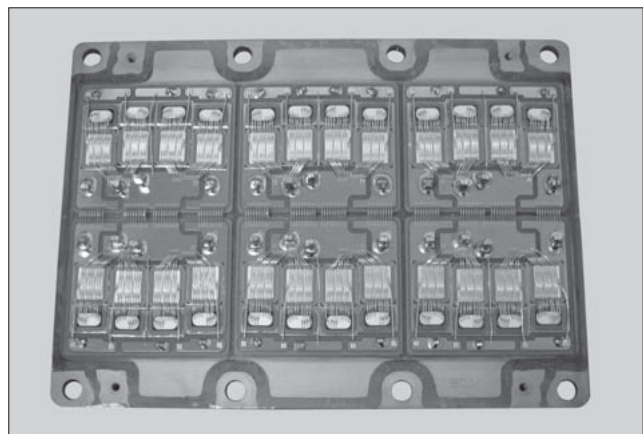


図 6 1.5kA モジュールの製品内部構造

$V_{CC}=2,300\text{ V}$, $R_g=+1.0\ \Omega$, $T_j=150\text{ }^\circ\text{C}$ における逆回復波形を示す。 P_{max} (電流×電圧の瞬時パワー最大値)が6.2MWでも、正常に逆回復動作が可能である。

大容量モジュールは、チップの並列接続数が多く、電流のアンバランスを発生しやすい。図6に、1.5kAモジュールの製品内部構造を示す。チップ配置をシンメトリーにしたことにより、電流のアンバランスを可能な限り小さくし、高スイッチング耐量を確保している。

4 パッケージ構造

大容量インバータ装置に使用されるIGBTモジュールには、高信頼性、高放熱能力(低熱抵抗)が求められる。3.3kV IGBTモジュールでは、絶縁基板の放熱能力向上のため、低耐圧モジュールで一般に採用されているアルミナ(Al_2O_3)や窒化けい素(Si_3N_4)より熱伝導率が2.5~8倍高い窒化アルミニウム(AlN)絶縁基板を採用した。その結果、表1(c)に示す低い熱抵抗を実現した。ベース材料は、低耐圧モジュールでは一般に銅ベースが採用されているが、3.3kV IGBTモジュールでは、高い信頼性を確保するために AlSiC ベースを採用した。 AlSiC はAlとSiCの複合材料であり、熱膨張率が AlN 絶縁基板に近い。このため、銅ベースに比べてヒートサイクル寿命やパワーサイクル寿命が数倍向上する。また、ベースの初期形状を適切に管理することにより、マウント時の平坦(へいたん)性も向上させている。

5 あとがき

本稿では、3.3kV IGBTモジュールの系列拡大について述べた。本モジュールは、電気的特性や熱的特性に優れており、再生可能エネルギー分野および車両分野で貢献でき

る製品と確信している。

今後は、素子のさらなる高性能化・高信頼性化に取り組み、期待に応える製品開発を行っていく所存である。

参考文献

- (1) 西村孝司ほか. IGBTハイパワーモジュール. 富士時報. 2008, vol.81, no.6, p.390-394.
- (2) 西村孝司ほか. 3レベルインバータ対応 大容量IGBTの系列化—高絶縁パッケージ—. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.370-374.
- (3) 山本拓也, 吉渡新一. 新型大容量2 in 1 IGBTモジュール. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.388-392.
- (4) 山本拓也ほか. 大容量第6世代IGBTモジュールの系列拡大. 富士時報. 2011, vol.84, no.5, p.317-321.
- (5) 古閑丈晴ほか. 3.3kV IGBTモジュール. 富士時報. 2007, vol.80, no.6, p.397-401.
- (6) 古閑丈晴ほか. 3.3kV IGBTモジュール. 富士時報. 2009, vol.82, no.6, p.371-374.
- (7) Minghui Zhan, et al. "3.3kV IGBT Modules with Trench Gate FS Structure." PCIM Asia 2011.



福知 輝洋

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パワー半導体事業統括部産業モジュール技術部。



金子 悟史

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パワー半導体事業統括部産業モジュール技術部。





*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。