

1200V FS-IGBT の開発

Development of 1200V FS-IGBT

松田成修*
Shigenobu Matsuda

概要 近年、産業機器・民生家電・自動車など幅広い分野で用いられているパワー半導体デバイスに対し、アプリケーションの多様化やエコ省エネの観点から、高耐圧化かつ低損失化の市場要求が強くなっている。当社では、この市場からの多様な要求に応えるべく、1200VクラスのFS-IGBTの開発を進めており、本稿では、その製品化検討について報告する。

1. まえがき

パワー半導体デバイスは、大きな電流や電力の制御や変換、供給をおこなうためのスイッチングデバイスである。近年、SDGsに代表される持続可能な世界を実現するために、エコ・クリーンエネルギー・省エネ関連分野において、自動車、白物家電、産業機器などあらゆる製品で省電力化・高効率化が注目されており、その中でパワー半導体デバイスの果たす役割は大きい。今後も市場規模は拡大していくことが予想され、図1パワー半導体デバイスのアプリケーションに示すように、それぞれのアプリケーションに適したパワー半導体デバイスを開発、製品化し、市場へ提供し続けていくことが当社における持続可能な社会への貢献の一つと考える。

パワー半導体の代表的なデバイスとして、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が挙げられる。IGBTは、制御に要する消費電力が少なく高速なMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) の長所と低抵抗で大電流を流せるバイポーラトランジスタの長所をあわせもつデバイスである。当社では600VクラスのIGBTを中心に製品開発をおこなっており、エアコンやIHヒーターといった民生機器用途から、インバータ、UPSなどの産業機器用途や車載用途に至るまで、幅広く製品化してきた⁽¹⁾が、アプリケーションの多様化にともない、高耐圧かつ低損失といった市場要求に応えるため、

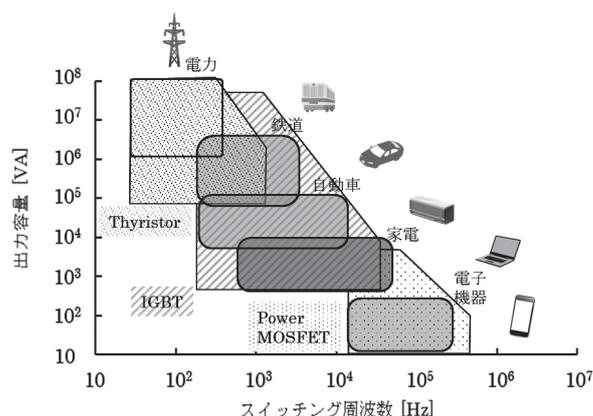


図1 パワー半導体デバイスのアプリケーション⁽²⁾

1200VクラスのIGBT開発、および製品開発を進めてきた。

1200VクラスのIGBT開発は、製品の小型化にともなうチップサイズの縮小、安全動作領域(SOA)を犠牲にすることなく損失の低減ができるかが課題となっていた。セルピッチ微細化によるチップサイズの縮小、ウェーハ薄厚化によるFS (Field Stop) 構造の採用、MOS構造の最適化による短絡耐量の確保をおこなうことで、1200VクラスのFS-IGBTを開発した⁽³⁾。

本稿では1200V FS-IGBTの製品化検討について報告する。

*半導体事業本部 マーケティング本部 プロセス技術統括部
デバイス開発部 デバイス設計1課

2. 開発コンセプト

本開発品は、市場要求が高まっている太陽光PCS、各種インバータ回路、急速充電器などの再生エネルギー分野、産業分野をターゲットとしている。この分野では大きな出力容量の他に優れたスイッチング特性や高い短絡耐量が要求されており、図2 FS-IGBT開発コンセプトに示すように、使用するIGBTにFS構造を適用することによりPT (Punch Through) 構造では実現が困難であった高速化・高耐量化を図った。

開発品の耐圧は、市場の要求より1200Vとし、パッケージはディスクリット製品として一般的なTO-247パッケージを採用した。

IGBTと同梱するFRDについては、既存流動チップを使用して特性確認を実施した。最終的な製品は V_F やリカバリ特性を最適化したFRDとする。

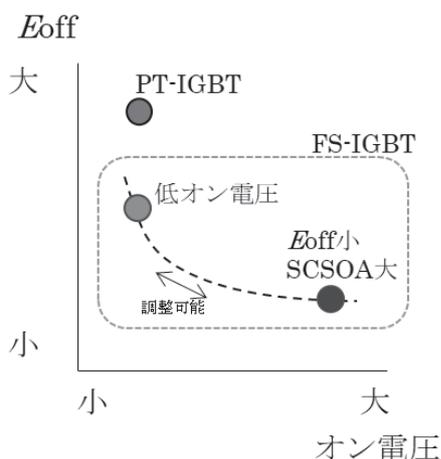


図2 FS-IGBT 開発コンセプト

3. 1200V FS-IGBTのプロセス開発

当社のIGBT開発はプレーナ型PT-IGBTからスタートし、低オン電圧のトレンチゲート型PT-IGBTへと世代を進めてきたが、より高周波化へ進化する機器の需要に追従するために、従来以上の高速化・高耐量化を求めFS-IGBTの開発をおこなった。表1に当社のトレンチIGBT (PT構造, FS構造) の構造と特徴を示す。

PT構造は、Collector-Emitter間に高電圧印加時に広がる空乏層をN buffer層で止めることで、一定耐圧を確保しつつN drift層を薄くし、かつ、P Collector側からキャリアを高注入することで低オン電圧を実現している。PT-IGBTで高速化を図るには、裏面P Collector層からのホール注入抑制、ライフタイムキラーの使用など幾つか方法はあるが、それぞれオン電圧の増大、リーク電流の

増加など特性的な悪影響をとめない、PT-IGBTでのターンオフスイッチング損失低減には限界があった。これは、PT-IGBTでは高不純物濃度のP型基板をそのままP Collector層として用いるので、一定のトレードオフ上でしか調整できないためである。これに対し、FS構造のIGBTはウェーハを薄くした後にイオン注入で裏面拡散層を形成するので、条件を調整することで、要求仕様に適した構造を構築できる。このように裏面構造の最適化により、FS-IGBTはオン電圧やリーク電流の悪化を抑制しつつ、ライフタイムキラーを使用しなくても高速化が可能である。また、表面セル構造に併せて裏面拡散層の調整をおこなう自由度があるため、高耐量化も実現できる。

表1 当社トレンチIGBTの構造と特徴

構造	PT-IGBT (Punch Through)	FS-IGBT (Field Stop)
断面図		
チップ厚	厚い	> 薄い
オン電圧		≒
負荷短絡耐量	弱い	< 強い
Eoff	大きい	> 小さい

しかしながら、FS-IGBTの製造では、ウェーハを薄くすることで機械的強度が低下し、製造過程でウェーハ破損のリスクをとまなう。そのため、チップの製造装置や製造プロセスに対して、従来の製造ラインから全体的に見直しをおこない、安定した薄化プロセスを構築した。

また、オン電圧の低減やターンオフスイッチング損失低減を進める一方で、大容量の電力を扱うためには、負荷が短絡した場合でも、短絡(過電流)保護回路が働きゲート電圧が遮断するまでの一定時間、IGBTは破壊してはならない。そこでIGBTの表面N Emitter層にあたるチャンネル領域を調整することで飽和電流を抑制し、製品要求に応じた必要な破壊耐量の確保を可能とした⁽³⁾。

4. 1200V FS IGBT 製品評価結果

4.1 電気特性

表2に検討したIGBTの主要特性一覧，図3，4にL負荷スイッチング ターンオン/ターンオフ波形を示す。スイッチングの測定条件はコレクター-エミッタ間電圧

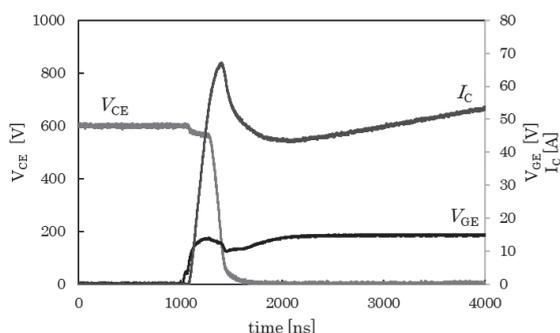


図3 1200V FS-IGBT のターンオン波形

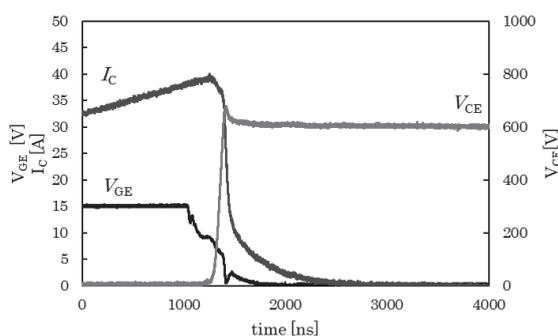


図4 1200V FS-IGBT のターンオフ波形

$V_{CE} = 600V$ ，コレクタ電流 $I_C = 40A$ ，ゲート電圧 $V_{GE} = +15V/0V$ ，温度 $T_J = 175^\circ C$ である。ターンオフ波形から，600VクラスのFS-IGBTと同様⁽¹⁾に，テール電流が少なく発振も少ない波形であることを確認した。

4.2 短絡試験

図5に検討したIGBT品の短絡試験の波形を示す。測定条件はコレクター-エミッタ間電圧 $V_{CE} = 600V$ ，ゲート電圧 $V_{GE} = +15V/0V$ ，温度 $T_J = 150^\circ C$ であり，その結果，ゲートパルスは $8\mu s$ において非破壊となり，十分な短絡耐量を確保した。

4.3 今後について

今回の製品化検討にて，1200V FS-IGBTを用いたディスプレイ製品で良好な特性が得られていることを確認できたため，ラインアップ展開および他のパッケージへの展開の検討を進めていく。

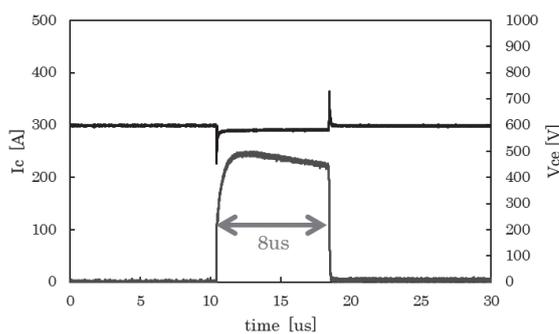


図5 1200V FS-IGBT の短絡波形

表2 検討 IGBT の主要特性

項目	記号	条件	本検討品	単位
コレクター-エミッタ間降伏電圧	$V_{(BR)CES}$	$I_C = 100\mu A, V_{GE} = 0V$	1380	V
ゲートしきい電圧	$V_{GE(TH)}$	$V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$	5.56	V
コレクター-エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(SAT)}$	$V_{GE} = 15V, I_C = 40A$	1.72	V
ターンオン遅れ時間	$t_{d(ON)}$	$T_C = 25^\circ C,$ $V_{CE} = 600V,$ $I_C = 40A,$ $V_{GE} = 15V,$ $R_G = 10\Omega,$ $L = 100\mu H,$	78	ns
ターンオン上昇時間	t_r		95	ns
ターンオフ遅れ時間	$t_{d(OFF)}$		314	ns
ターンオフ下降時間	t_f		317	ns
ターンオンスイッチング損失	E_{ON}	$R_G = 10\Omega,$ $L = 100\mu H,$	4.3	mJ
ターンオフスイッチング損失	E_{OFF}		2.9	mJ
ターンオン遅れ時間	$t_{d(ON)}$	$T_C = 175^\circ C,$ $V_{CE} = 600V,$ $I_C = 40A,$ $V_{GE} = 15V,$ $R_G = 10\Omega,$ $L = 100\mu H,$	71	ns
ターンオン上昇時間	t_r		109	ns
ターンオフ遅れ時間	$t_{d(OFF)}$		320	ns
ターンオフ下降時間	t_f		435	ns
ターンオンスイッチング損失	E_{ON}	$R_G = 10\Omega,$ $L = 100\mu H,$	6.2	mJ
ターンオフスイッチング損失	E_{OFF}		3.7	mJ
ダイオード順方向降下電圧	V_F	$I_F = 40A$	1.56	V
ダイオード逆回復時間	t_{rr}	$I_F = 40A$ $di/dt = 400A/\mu s$	260	ns

5. むすび

今回製品化検討した1200V FS-IGBTの製品内観図を図6、外観図を図7に示す。

当社ではラインアップの拡充やアプリケーションの多様化、高耐圧かつ低損失といった市場要求に応えるため、1200VクラスのFS-IGBTの開発および新たなパッケージの開発を進めている。今回の製品化検討結果をベースとして、産業機器市場や自動車市場などのニーズに応えるべく、様々な製品に向けた新チップ開発を順次進めていく予定である。

参考文献

- (1) 渡邊, 松田: サンケン技報, vol.48, p.29-32, (2016.12)
- (2) 高木: エンジニアの悩みを解決 パワーエレクトロニクス, p.15, コロナ社, (2020.7)
- (3) 石井: サンケン技報, vol.52, p.17-20, (2020.11)

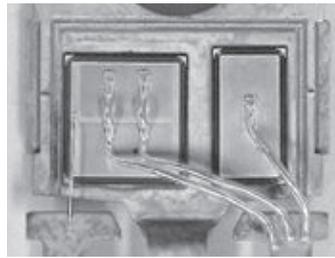


図6 1200V FS-IGBT の検討製品内観図

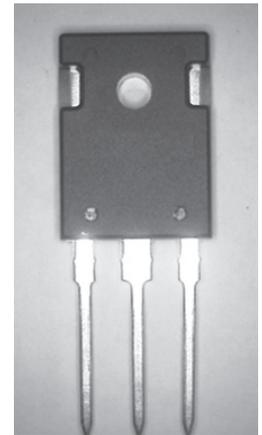


図7 1200V FS-IGBT の検討製品外観図