

車載メインインバータ用 BlueIGBT 7 の開発

Development of BlueIGBT 7 for Automotive Main Inverters

松田 成修*
Shigenobu Matsuda

概要 近年、自動車・白物家電・産業機器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、低損失・高効率に求められている。特に、車載用パワー半導体デバイスに対しては、高耐圧・低損失・高耐量が強く要求される中で、当社では、車載メインインバータ用の FS (Field Stop)-IGBT の開発を進めている。本稿では、その開発検討状況について報告する。

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、変換、供給を行うためのスイッチングデバイスである。

近年、SDGsで謳われる持続可能な世界を実現するために、エコロジー・省エネ・クリーンエネルギーに関連する分野において、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。

とりわけ自動車関連分野においては、電気自動車やプラグインハイブリッドに代表される xEV において市場規模拡大が予想され、DC/DC コンバータや駆動用モータ用インバータなど自動車を構成する多くの部品にパワー半導体デバイスが多数使用される。図 1 に示すように、低耐圧・中耐圧系と高耐圧系で使い分けられてお

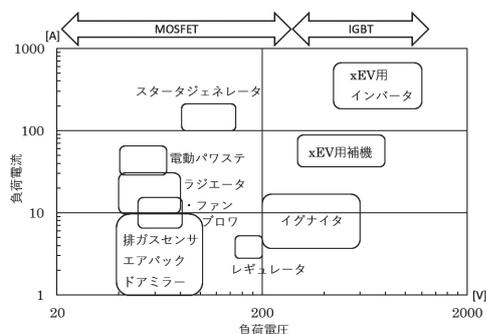


図 1 車載用パワー素子の電流と電圧

り、低・中耐圧系は MOSFET (Metal-Oxide-Silicon Field Effect Transistor)、高耐圧系は IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が主に使われている。ただし、上記 Si デバイス以外に、化合物半導体の SiC-SBD や SiC-MOSFET デバイスなどが実用化され普及してきており、パワーデバイスのシェア競争が激化しつつある。

図 2 にインバータの構成例を示すが、今回の開発ターゲットとしている車載メインインバータは、昇圧回路により数百 V の電圧が印加され、且つ数百 A に及ぶ電流を扱うため、当社で実績がある Si デバイスの IGBT を選択し開発をスタートした。

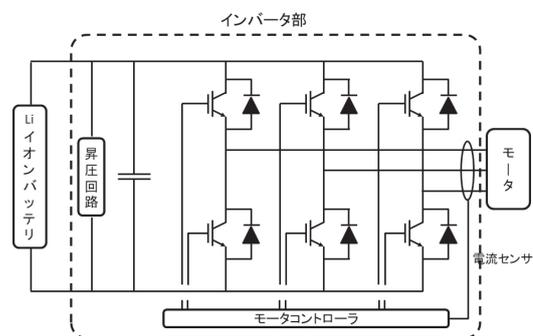


図 2 インバータの構成例

メインインバータに限らず他の用途でも当てはまるが、発熱抑制・エコ省エネ・それらに伴うコスト低減の観点から、低い導通ロス (低オン抵抗特性) やスイッチングロス (高速スイッチング特性) が求められ、動作中にパワーデバイスが破壊しない堅牢性 (高破壊耐量) を加えた 3 つがパワーデバイスに必要とされる重要な特性

* 技術開発本部 プロセス技術統括部
パワーデバイス開発部 デバイス開発課

である。これらはトレードオフ関係にあるため、3つ全ての特性を改善するIGBTを検討することにした。

本稿では新たに検討したIGBT開発について報告する。

2. BlueIGBT 7の特徴

2.1 BlueIGBT 7とは

今回当社が開発したBlueIGBT 7とは、当社従来IGBTよりオン電圧とターンオフスイッチング損失(=E_{off})のトレードオフ特性を改善し、かつ、短絡破壊耐量(=SCSOA)を確保した新しいプロセスプラットフォームとなる新世代のフィールドストップ型IGBT(FS-IGBT)である。

2.2 IGBT開発経緯

当社のIGBT開発はプレーナ型パンチスルーIGBT(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に当社の従来トレンチIGBT(PT構造, FS構造)とBlueIGBT 7の構造と特徴を示す。

PT構造は、N buffer層でCollector-Emitter間高圧印加時の空乏層を止めることで耐圧を確保しつつ、P Collector側からのキャリア高注入で低オン電圧を実現している。ただし、高不純物濃度のP型基板をそのままP Collector層として用いるため、オフ時のテール電流が大きく、ライフタイムキラーでの高速化もオン電圧増大やリーク電流増加の特性悪影響が伴うので、ターンオフスイッチング損失の低減には限界があった。

FS構造はウェーハを薄くした後にイオン注入で裏面不純物層を形成するので、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、表面セル構造に合わせて裏面拡散層の調整をおこなう自由度があるため、高破壊耐量化できる。

ただし、BlueIGBT 7では、市場要求から従来FS-IGBTに対し、さらなる特性の改善が求められているため、セル構造の微細化を行なってオン電圧を低減し、ゲート構造やエミッタ構造の最適化、及び、ワイドフィールドストップ層形成により、スイッチングノイズを抑制した高速スイッチング動作と高耐量保持を実現し、トレードオフを同時に改善することを目標とした。

表1 当社 FS-IGBT の構造と特徴

構造	PT-IGBT (Punch Through)	FS-IGBT (Field Stop)	BlueIGBT 7 (Field Stop)		
断面図					
チップ厚	厚い	>	薄い	≥	薄い
オン電圧	≒				
負荷短絡耐量	弱い	<	強い	≤	強い
E _{off}	大きい	>	小さい	≥	小さい

2.3 薄厚ウェーハのプロセス技術

FS構造を形成するため、薄いウェーハでのプロセスが必要となり開発した⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、ウェーハ薄化により機械的強度低下やウェーハ破損のリスクをとるため、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。

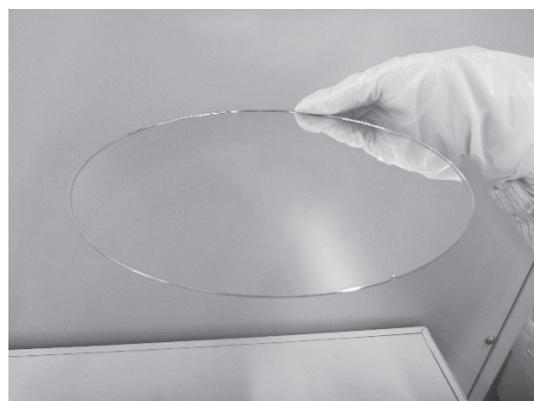


図3 薄化プロセスを適用したウェーハ

2.4 車載メインインバータ用IGBT目標定格

今回、車載メインインバータ用BlueIGBT 7の目標定格を下表のように定め、開発をおこなった。

表2 車載メインインバータ用 BlueIGBT 7の目標定格

目標定格	BlueIGBT 7
V _{CES}	750V
I _C	225A
SCSOA	> 3us@175°C

3. BlueIGBT 7 750V 検討結果

3.1 電気特性

図4に検討したIGBTトレードオフ特性, 図5, 図6にターンオフ波形及びターンオン波形を示す。

各図は750V/225A定格のチップを想定した場合であり, スwitchingの測定条件はコレクタ-エミッタ間電圧 $V_{CE}=400V$, コレクタ電流 $I_C=225A$, ゲート電圧 $V_{GE}=+15V/-8V$, 温度 $T_j=25^{\circ}C$ である。

BlueIGBT 7は従来構造よりオン電圧とターンオフスイッチング損失(=Eoff)や短絡耐量(=SCSOA)のトレードオフが改善しており, ターンオフ波形から, テール電流が少なくオフ時間も短くなっていることを確認した。また, 微細化したにも関わらずターンオン特性の増加が無いことを確認した。

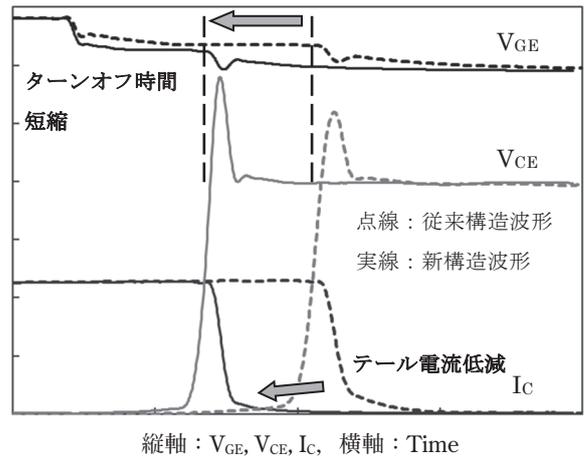


図5 検討IGBTのターンオフ波形

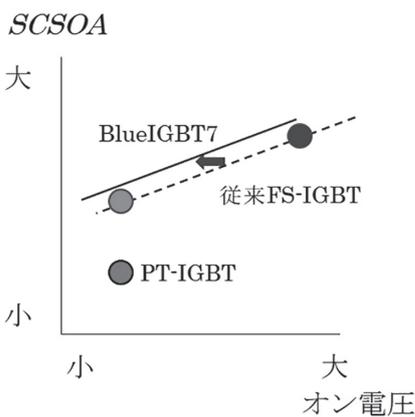
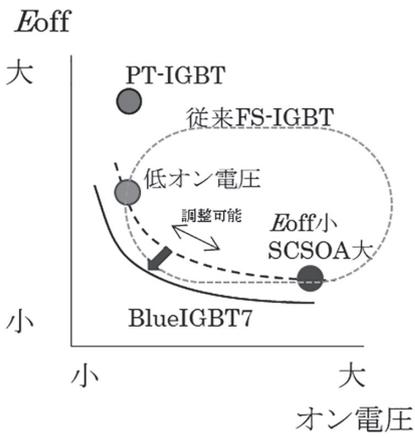


図4 オン電圧とターンオフスイッチングロス(=Eoff) (上) と オン電圧と短絡耐量(=SCSOA) (下) のトレードオフ

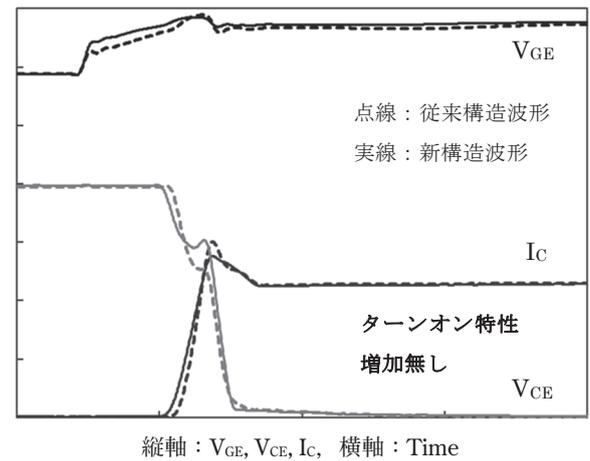
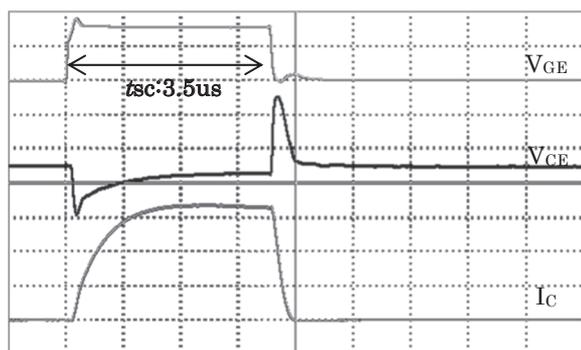


図6 検討IGBTのターンオン波形

3.2 短絡試験

図7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-エミッタ間電圧 $V_{CE}=450V$, ゲート電圧 $V_{GE}=+15V/0V$, 温度 $T_j=175^{\circ}C$ であり, その結果, ゲートパルスは $3\mu s$ において非破壊となり, 十分な短絡耐量を確保した。



縦軸：V_{GE}, V_{CE}, I_c, 横軸：Time

図7 BlueIGBT 7の短絡波形

5. むすび

今回の開発にて、車載メインインバータ用IGBTチップとして、従来のFS-IGBTより大幅な特性改善を得ることができ、BlueIGBT 7のプロセスを確立した。

当社ではラインナ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、新製品の開発を進めている。今後はBlueIGBT 7のプロセスを用い、自動車市場や白物家電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) 石井：サンケン技報, vol.52, p.17-20, (2020.11)
- (2) 松田：サンケン技報, vol.53, p.50-53, (2021.12)