

# 1200V FS-IGBT の開発

## Development of 1200V FS-IGBT

石 井 孝 明\*

Takaaki Ishii

概要 近年、地球規模での環境保護対策や持続可能な社会を実現するために、エネルギーを効率的に利用し省エネルギー化に貢献できるパワーエレクトロニクス技術への要求がますます高まっている。当社では、産業、民生、自動車など幅広い分野で用いられるパワー半導体デバイスとして、600VクラスのIGBTを製品化し市場へ提供し続けている。また一方で高耐压かつ低損失、様々なアプリケーションへの市場要求に応えるべく、1200VクラスのIGBT開発を進めている。1200V FS-IGBT開発ではトレンチゲート構造による高電流密度化、薄厚ウェーハ加工技術による低損失化、MOS構造の最適化による短絡耐量の確保を検討した。本稿では1200V FS-IGBTの開発について報告する。

### 1. まえがき

パワー半導体デバイスとは、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、エネルギーを効率的に利用しようとする省エネルギー対策の重要性が増しており、パワー半導体デバイスへの注目度が上がっているため、今後も市場規模の拡大が継続することが予測されている。図1パワー半導体デバイスのアプリケーションに示したように、当社では、耐压や電流領域に応じて、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る。その中で特に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を中心にプロセス開発を進めIGBTを搭載した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、インバーター、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ている<sup>(1)</sup>。

また一方でラインナップの拡充やアプリケーションの

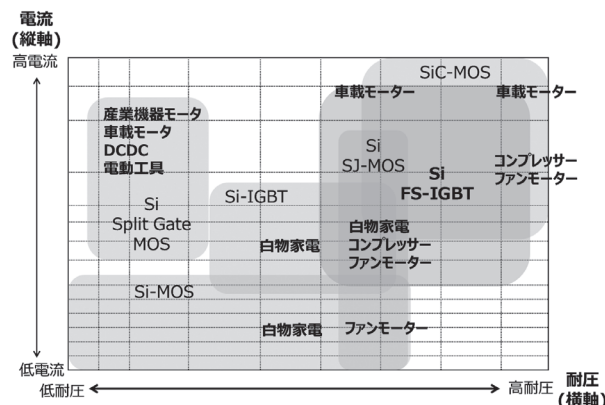


図1 パワー半導体デバイスのアプリケーション

多様化、高耐压かつ低損失といった市場要求に応えるため、1200VクラスのIGBT開発を並行して進めている。

1200VクラスのIGBT開発は、600Vクラスをベースとした検討をおこなっており、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る。それらの課題に対して、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った。本稿では、1200V FS-IGBTの開発について報告する。

\*デバイス事業本部 技術本部 プロセス技術統括部  
デバイス開発部

## 2. 1200V FS-IGBTの特徴

### 2.1 FS (Field Stop) 構造

図2に当社のIGBT開発経緯と1200V FS-IGBT検討構造を示す。当社のIGBT開発は(a)プレーナ型PT (Punch Through)-IGBTからスタートしている。PT構造は、コレクタ・エミッタ間に順方向に電圧を印加したときの空乏層の広がりNバッファ層で阻止されるために、Nドリフト層の幅を狭くでき、オン電圧を下げるのに有効な構造である。しかし、高不純物濃度のp形基板をPコレクタ層として用いているために、正孔注入量が大きく、ターンオフスイッチング損失が大きくなる。そのためイオン照射等のライフタイム制御をおこなうことで、ターンオフ時の余剰キャリアを早期に消滅させて損失低減をおこなってきたが、オン電圧の増大やリーク電流の増加など特性的な悪影響があり、ターンオフスイッチング損失低減への限界があった。これに対し、(c) FS構造は、PT構造の低オン電圧特性を生かし、それに加えてPコレクタ層の濃度を利用して正孔注入制御をおこなっている構造である。高不純物濃度のp形基板を用いずに、イオン注入により裏面拡散層を形成するので、イオン注入条件を調整することでPコレクタ層の濃度を制御したPコレクタ層を形成することができる。正孔注入抑制が容易となったため、ターンオフスイッチング損失低減が可能となり、トレードオフ特性の良化だけでなく、注入効率の制御のみで高速動作などの要求仕様に適した構造を広範囲の条件で実現している。

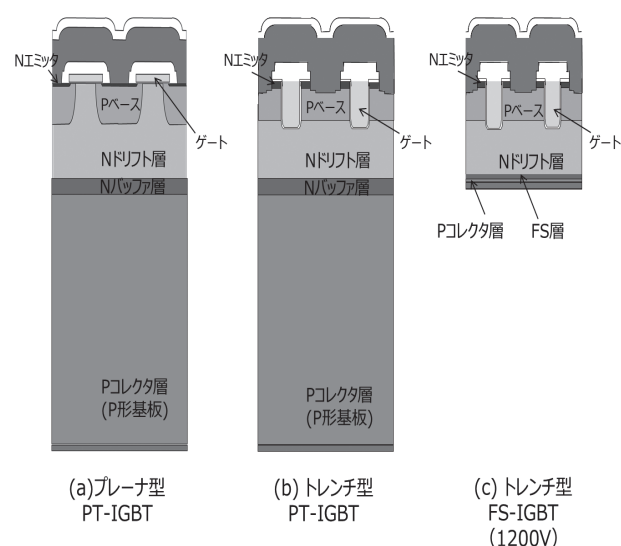


図2 当社検討 1200V FS-IGBT

### 2.2 トレンチ型ゲート構造

表面セル構造については、開発当初は(a)プレーナ型のゲート構造であったが、(b)トレンチ型のゲート構造を採用した。トレンチ型のゲート構造は素子表面から深さ方向にトレンチ(溝)を形成した構造であり、プレーナ型ゲート構造のセル間のPベースに発生するJFET抵抗成分をなくすことでNエミッタ層からの電子注入量を多くし、オン電圧を低減させている。さらにはNエミッタ層にあたるチャンネル領域を素子表面に対し垂直方向に形成するため単位面積あたりに配置できるゲート数が各段に増えたことにより、高電流密度化を実現した。そのため、チップサイズの縮小や低価格化、より小さいパッケージ製品への搭載が可能となった。

### 2.3 短絡時における安全動作領域

IGBTでは大容量の電力を扱うために、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、破壊耐量を確保する必要がある。負荷が短絡した場合や他の素子が破壊した場合でも、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は破壊せずに耐える設計にしなければならない。IGBTの電流飽和特性を生かし、表面nエミッタ層にあたるチャンネル領域を調整し、MOS構造を最適化することで、飽和電流を抑制し、製品に必要な破壊耐量を確保できるようにした。

### 2.4 ウェーハ薄厚化加工のプロセス技術

IGBTの電流損失低減するアプローチには、前述したFS構造を実現するためのウェーハ薄厚化加工のプロセス技術開発が必要であり、当社ではトレンチ構造MOSFETのオン抵抗低減対策をはじめとし、早期から薄いウェーハの加工技術開発に取り組んできている<sup>(2)</sup>。IGBTにおいてウェーハの薄厚化はIGBTのNドリフト層の幅を狭くできオン電圧抵抗を下げるのに有効な手段である一方、薄く高精度に半導体ウェーハを研削し研磨する加工技術だけでなく、その研磨面となる裏面に拡散層を形成する技術など、様々な高度な技術が必要とされる。また、薄厚化ウェーハ反りによる搬送エラーやハンドリング時のウェーハ割れによる歩留まり低下など、薄厚化プロセスにおける技術課題も多い。そのため、当社ではこれらの技術課題を克服する技術開発をおこなってきており、8インチウェーハを用いたFS-IGBTのプロセス開発に成功した。

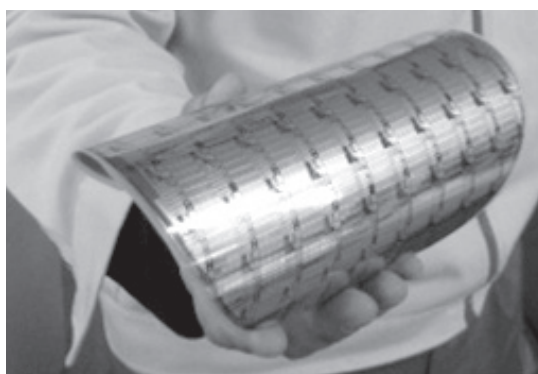


図3 当社が製造した8インチ極薄ウェーハ

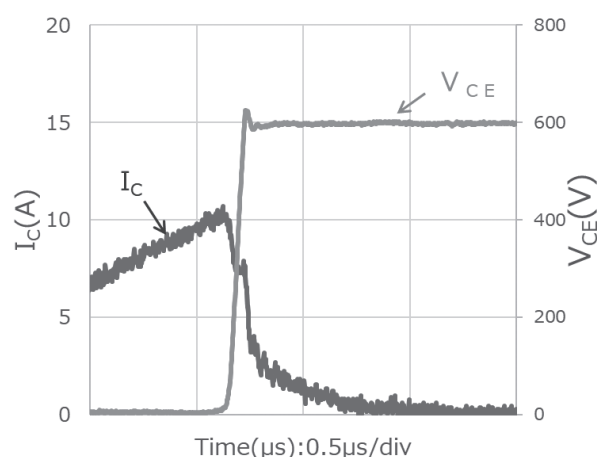


図5 検討IGBTのターンオフ波形

### 3. 1200V FS IGBT検討結果

#### 3.1 電気特性

図4と図5に開発したIGBTトレードオフ特性およびターンオフ波形を示す。1200V/10A定格のチップを想定した場合であり、測定条件はコレクター-エミッタ間電圧  $V_{CE} = 600V$ 、コレクタ電流  $I_C = 10A$ 、ゲート電圧  $V_{GE} = +15V/0V$ 、温度  $T_j = 150^\circ C$  である。ターンオフ波形から、600VクラスのFS-IGBTと同様<sup>(1)</sup>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。FS構造による薄厚化およびコレクタ層からのキャリア注入量を最適化した1200V FS-IGBTを開発した。

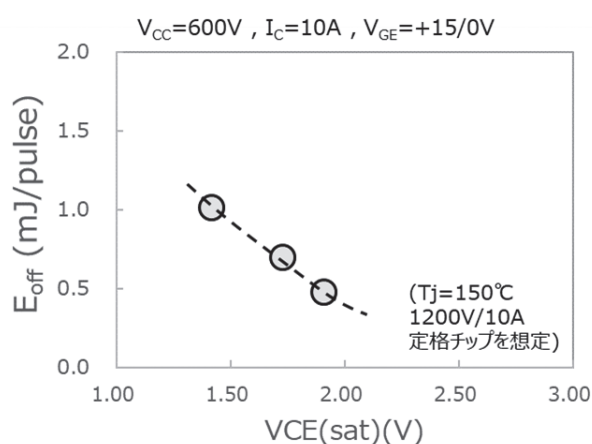


図4 検討IGBTのトレードオフ特性

#### 3.2 短絡試験

図6に開発したIGBT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。

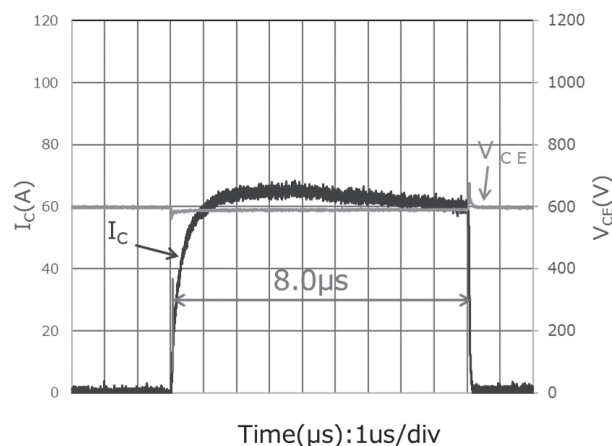


図6 検討IGBTの短絡波形

#### 3.3 今後について

今回の開発にて、1200V FS-IGBT素子としての製品要求を満足できる特性が得られており、1200V FS-IGBTの薄厚化プロセスについて確立した。今後、製品展開フェーズへと進める。

#### 4. むすび

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。今回の開発結果をベースにして, 産業機器市場や自動車市場などからのニーズに応えるべく, 様々な製品向けの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) 近藤: サンケン技報, vol.49, p.31-34, (2017.11)