# SiC レクチャーシリーズ

## 11. 産業用 SiC チップ技術

# 産業用 SiC チップ技術

耐圧 1200V 級の MOSFET は Si では抵抗が非常に高くなり実現が難しいです。このため、1200V 級 SiC MOSFET は SiC の優位性を大いに発揮できるデバイスであり、産業用途や自動車用途など、広く用いられています。現状、1200V 級 SiC MOSFET は多くのデバイスメーカが主力製品に位置付けており、開発競争も激しくなっています。今回は、三菱電機における 1200V 級の SiC MOSFET の技術開発の概要を説明します。

2024 年時点において、三菱電機では第二世代プレーナ型 SiC MOSFET を生産し、様々なモジュールに搭載して製品化しています。図 1 に第二世代プレーナ型 SiC MOSFET の MOS セル部の断面構造を特長とともに示しています。まず MOS セルの JFET 領域に対して n 型イオン注入技術(JFET doping)を用いて構造の最適化を実施し、JFET 領域の抵抗の低減を実現しています。加えて、従来と比較し MOS セルのサイズを縮小し、MOS チャネル密度の向上による抵抗の低減や SiC 基板の薄板化による抵抗の低減を行っています。図 2 に示すようにこれらの改善効果によって三菱電機の第二世代 SiC MOSFET は第一世代と比較し、オン抵抗を 30%以上低減できています。また、第二世代 SiC MOSFET の耐圧を保持するための終端構造には FLR (Field Limiting Ring)を採用し、適切な表面保護膜を形成しています。

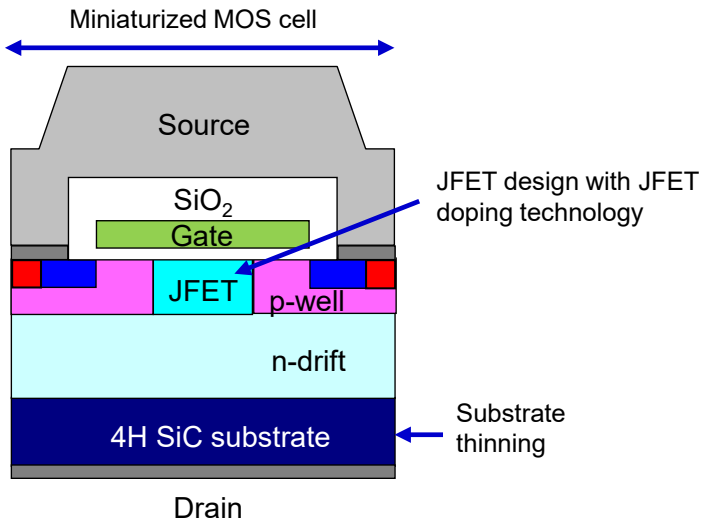


図 1　第二世代プレーナ型 SiC MOSFET の MOS セル部の断面構造

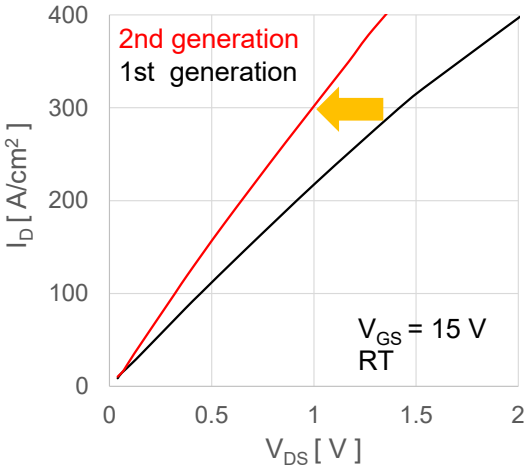


図 2　SiC MOSFET のオン特性 第一世代と第二世代の比較

これまで三菱電機の第二世代 SiC MOSFET は市場において多くのシステムで使われており、故障が少なく、特性が安定していることが十分に実証されています。現在も第二世代 SiC MOSFET の構造をベースとしてさらに改良を加え、使いやすい SiC MOSFET の実現に向けた開発を継続中であり、性能および信頼性に優れたモジュールの製品化を進めています。

三菱電機では、耐圧 1200V 級 SiC MOSFET の次世代品として、第四世代となるトレンチ型 SiC MOSFET の開発を進めています。なお、三菱電機の第三世代 SiC MOSFET は SBD 内蔵構造を適用した MOSFET であり、次項で紹介します。図 3 に開発中のトレンチ型 SiC MOSFET の構造を示します。

三菱電機のトレンチ型 SiC MOSFET はイオン注入技術を駆使して形成した独自の MOS セル構造を有しています。特長として、高電界が集中しやすいトレンチ底部に p 型のイオン注入を行って(BPW: Bottom p-well)電界強度を下げていること、トレンチ側壁に p 型および n 型のイオン注入を行い、BPW の電位を一定に保ってスイッチング時の安定動作を確保し、さらに、電流経路の抵抗を下げていることが挙げられます。これらによって三菱電機のトレンチ型 SiC MOSFET では高信頼性や安定動作、低いオン抵抗を実現できます。

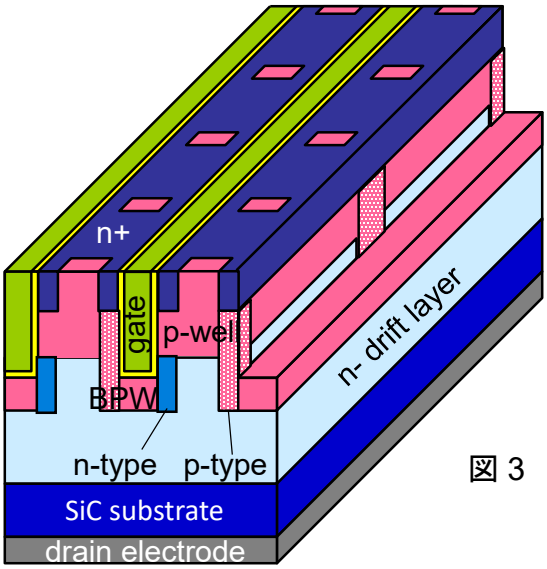


図 3　第四世代トレンチ型 SiC MOSFET の MOS セル部の断面斜視図

図 4 に三菱電機のトレンチ型 SiC MOSFET とプレーナ型 SiC MOSFET のオン抵抗を比較して示します。トレンチ型 MOSFET ではオン抵抗が大幅に低減されていることが分かります。室温での特性オン抵抗は 2mΩcm$^2$ 程度でトップレベルの値が実現できています。トレンチ型ではしきい値電圧が高い場合、プレーナ型と比較した場合のオン抵抗の低減の割合が大きいです。これは、MOS チャネルを(0001)面と直交する面に形成していることに起因し、MOS チャネルの実効移動度が比較的大きいというトレンチ型 SiC MOSFET の利点であります。三菱電機のトレンチ型 MOSFET は構造上、イオン注入の濃度や領域などの設計の自由度が高いため、諸特性の調整を行えることも特長と言えます。

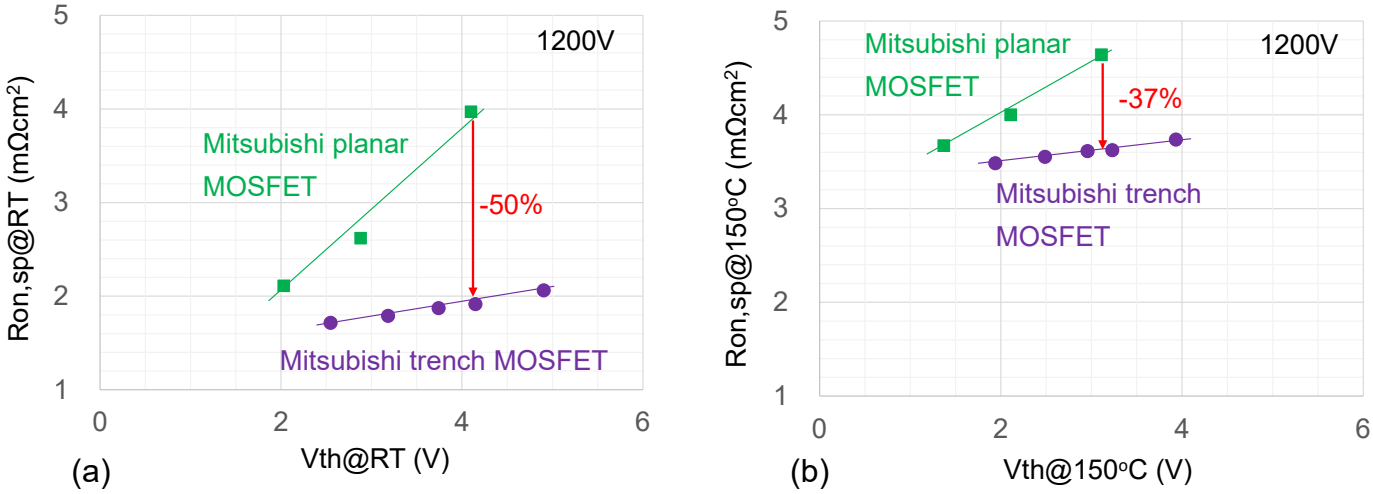


図 4　三菱電機のトレンチ型 SiC MOSFET とプレーナ型 SiC MOSFET のオン抵抗比較
(a) 室温　(b) 高温(150℃)

三菱電機の第四世代トレンチ型 SiC MOSFET は高いしきい値電圧と低いオン抵抗が強く求められる xEV に最適であり、初めの適用製品として xEV 向けのモジュールを計画しています。今後、様々な用途に対してトレンチ型 SiC MOSFET の適用を進めていく予定です。

以上

2025 年 1 月