

## 講演会報告

### シンポジウム「SiC パワーエレクトロニクス技術の最前線

～広範な実用化を展望し、残された課題を探る～

開催日時 2013年3月27日(水)、13:00~17:20

日産自動車 谷本智、電中研 土田秀一

半導体素子の利用分野の急速な拡大とともに、従来の Si や GaAs 等を中心とした半導体の性能限界を打ち破るべく、SiC 半導体材料による各種素子の開発と、そのための基礎研究の充実が強く望まれている。最近では、家電、産業機器、自動車、鉄道などの分野において SiC デバイスの開発、実用化展開が一段と加速している。このような状況下、本シンポジウムは、「先進パワー半導体研究会」の企画により、SiC ウェハ開発からデバイス、パワーエレクトロニクス技術開発の各分野での開発、実用化展開の最前線について講演いただくことで、周辺分野も含めて、今後の研究開発課題や技術展開を議論することを目的として開催された。

シンポジウムの冒頭では、京都大学名誉教授の松波先生より、SiC バルク結晶、エピタキシャル成長、デバイス技術の進展と、最近の応用・実用化の状況、将来展開についての概説をいただいた。産業界での SiC 技術の実用化展開が進められる一方、酸化膜界面制御など、材料・デバイスプロセスの基礎研究の重要性があらためて指摘された。次に、藤本氏(新日鐵住金)、佐藤氏(昭和電工)より、それぞれ SiC 単結晶基板、エピタキシャルウェハの開発動向について講演いただいた。最近では SiC ウェハの大口径化に開発の視点が大きく移行し、6 インチ口径の SiC 基板、エピタキシャル膜の製造技術に向けた取組がなされていることが紹介された。また、単結晶中に存在する各種の拡張欠陥についても、その密度低減に向けた技術開発が進められていることが報告され、両氏による講演と質疑応答での議論を通じて、大口径 SiC ウェハの量産、高品位化に向けた今後の研究開発の方向性が示された。

オン抵抗を一段と低減するために SiC パワー MOSFET においてもトレンチゲート MOS 化が技術トレンドであるが、SiC ではチャネル遮断時にトレンチ底部に Si の約 10 倍の電界がかかるため破壊しやすく、開発が停滞していた。中村氏(ローム)は、この問題を克服するためにダブルトレンチ構造を採用し、高耐圧と低抵抗を両立させた結果を報告した。既に 600V 耐圧で特性オン抵抗  $0.79\text{m}\Omega\text{cm}^2$  のパワー素子ができている。一方、横山氏(日立中研)よりは、ノーマリオフ型の JFET とノーマリオン型の JFET を開発の進捗が紹介された。どちらもトレンチ構造を有する縦型 FET である。ノーマリオフ JFET の耐圧は 700V 以上で室温のオン抵抗は  $27\text{m}\Omega$  (室温) ほどである。オン抵抗の温度変化が非常に小さいのが特徴で高温動作に適している。ノーマリオン JFET と Si-MOSFET をカスコード接続させたハイブリッド JFET も商品化の視野に入っていると講演者からコメントがあっ

た。

市販エアコンや汎用インバータをはじめ、SiC デバイスを使った高効率インバータの実機搭載が加速している。SBD の用途は還流ダイオードである。松本氏（富士電機）よりは、還流時の逆回復損失だけでなく、Si-IGBT のターンオン損失も減少し、キャリア周波数 15kHz で 1%以上の効率向上を達成したことが報告された。市場ニーズの強い体積削減を狙ってオール SiC の汎用インバータも開発しているという。松井氏（FUPET）よりは、小型軽量化にポイントに絞って技術開発を行った成果として、出力約 25kW、出力パワー密度 70kW/L の三相 SiC インバータが発表された。一年前に比べて出力密度が 75%向上している。中山氏（三菱電機）よりは、主回路をフル SiC にした 5kW 太陽光パワーコンバータにおいて、同等の Si 製品と比較して効率が 2 ポイント改善され、約 100W の省エネを達成したことが報告された。さらに、SiC-SBD を鉄道車両に実機搭載することで、エネルギー回生とモータ損失低減を合わせて、従来のインバータシステムより 30%の省エネを達成した実例が紹介された。

ハイブリッド等の電動車が SiC デバイスや SiC 機器の大きな潜在市場である。鶴田氏（デンソー）は、大容量の SiC パワーモジュールを開発し、これを用いたインバータで市販ハイブリッド車の三相同期モータ（出力 30kW）を安定駆動できたことを報告した。パワーモジュールの SiC 化で高出力パワー密度化（～60kW/L）と高効率化(98%)がともに図れるとしている。SiC 素子が自動車で使用される全ての温度領域（-40℃～200℃）でサージ耐量と短絡耐量を満たすか検証するのが課題と結んだ。

最後に正田先生（鉄道総研）から鉄道におけるパワーエレクトロニクス応用の未来と課題と題するご講演をいただいた。鉄道用の電力変換器は高圧大容量であり信頼性の高いものでなくてはならないとし、SiC デバイスにはより高耐圧のデバイスの実現と冷却システムの簡素化につながる技術開発を望むと大きな期待が寄せられた。

本シンポジウムでは、200 数十～300 名程度の参加者で会場がいっぱいとなり、当該分野に対する幅広い関心と高まる期待が改めて認識された。講演者による各分野における技術開発・応用に関する最前線のご紹介、聴講者からの活発な質問、議論により、目的とした SiC 技術の広範な実用化の展望、ならびに残された課題の探索を行うことができたと考える。

本シンポジウムの開催にあたり、ご講演いただいた皆様、ならびに企画段階での有意義なご議論をいただきました先進パワー半導体研究会幹事諸兄に感謝します。