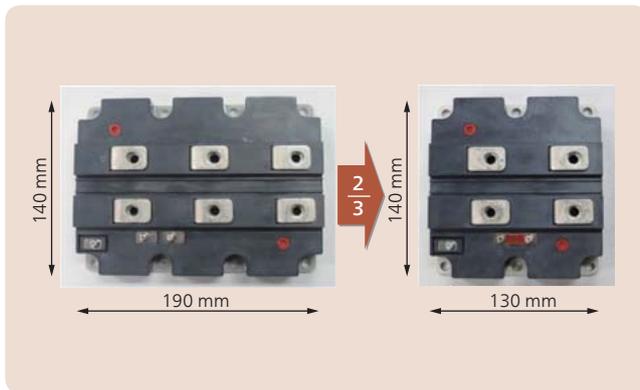


SiCを用いた鉄道車両インバータ用 3.3 kV小型ハイブリッドモジュール

鉄道システムのさらなる省エネルギー化が求められる中、次世代のパワーデバイス材料として注目されるSiCを用いることにより、鉄道車両に搭載されるインバータの電力損失低減や小型化が期待されている。日立グループは、国内の鉄道のほぼ9割を占める1,500 V架線に対応するため、鉄道車両インバータ用3.3 kV小型ハイブリッドモジュールを開発した。従来のSiモジュールに置き換わる小型ハイブリッドモジュールの概要について、研究者たちにインタビューした。



従来品のSiモジュール(左)と開発したSiCハイブリッドモジュール(右)

高電圧向け鉄道車両に対応

近年、環境負荷が少ない輸送システムとして再評価される鉄道でも、どのように省エネルギー化を推し進めるかが課題となっています。高まる省エネルギーニーズに対応するため、モータやインバータの高効率化が追求されています。インバータではSiC(炭化ケイ素)をキーワードに研究開発が進められています。現在、多くの鉄道用インバータのモジュールにはSi(ケイ素)が使われていますが、Siに比べて絶縁破壊電界強度がおおよそ10倍高く、高耐圧であるSiCを採用することにより、電力損失の低減やパワーモジュールの小型化などが期待できるわけです。

そのような中で私たちは、国内の鉄道のほぼ9割を占める1,500 V架線に対応するため、鉄道車両インバータ用の3.3 kV高耐圧モジュールの研究開発に取り組んできました。2009年には3.3 kVの高耐圧SiCダイオードの開発に成功し、それを用いた400 Aのパワーモジュールを試作しました。その後、製品と同じ大容量1,200 Aパワーモジュールの開発を推し進めてきました。

JBS構造の採用と最適化技術

今回開発した3.3 kV小型ハイブリッドモジュールは、3.3 kVのSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)とSi-IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を組み合わせたものです。直流1,500V架線向けであるとともに、従来のSiモジュールと比較して約 $\frac{2}{3}$ のサイズを実現しています。

3.3 kV SiCダイオードチップの作製にあたっては、ショットキー接合とpn接合を組み合わせたJBS(Junction Barrier Schottky)構造を採用しました。本来、pn接合はダイオードの働きとは関係ありませんが、チップに流れる大電流のリーク電流を抑えることが重要だったためです。このようにして損失低減とリーク電流低減を両立させました。そして、デバイスシミュレーションを通じて、素子端部の構造(終端構造)の最適設計やSiC用に開発した新実装構造の適用を図り、鉄道用途に必要な信頼性を確保しました。

一方、Si-IGBTに対しては、鉄道用回路・損失シミュレーション技術を駆使することでデバイス特性の最適化をめざしました。小型3.3 kV/1,200 Aハイブリッドモジュールは、このようにして開発することができたのです。

SiCインバータの市場展開に向けて

さらに、このモジュールを搭載した鉄道車両用インバータの開発にも取り組みました。冷却機の小型化を図るなどして、Siモジュールを適用したインバータに比べ、容積・質量を40%低減、電力損失を35%低減することに成功しています。SiCインバータをドイツで開催された鉄道国際見本市「InnoTrans2012」に出展したところ、海外の車両メーカーから大きな反響を得られました。

今後は性能と信頼性の向上の一方でコスト削減をめざし、鉄道市場での実用化に向けた取り組みを加速させます。



日立製作所 日立研究所 情報制御研究センター パワーエレクトロニクスシステム研究部の石川勝美 部長代行(左)、中央研究所 エレクトロニクス研究センター エネルギーエレクトロニクス研究部の横山夏樹 主任研究員(右)