高速動作パワー素子における表皮効果の二次元拡散方程式に基づくモデル化

Modeling of Busbar Skin Effects using 2D Diffusion Equation for High-Speed Power Devices

産総研，°福田 浩一，服部 淳一，佐藤 佳宏，佐藤 弘，山口 浩

AIST, °Koichi Fukuda, Junichi Hattori, Yoshihiro Sato, Hiroshi Sato, Hiroshi Yamaguchi

ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたパワーデバイスの研究により、従来にない高速・大電流の性能が実現しつつある[1]。SiC パワーモジュールでは、10 ns に 100 A の電流変化が起きる可能性があり、配線の寄生効果が甚大になると予想される。インダクタンスや抵抗への表皮効果の影響について、Si CMOS では周波数に対するモデル化手法が確立されている。一方 SiC パワーモジュールのインダクタンスや抵抗の経時変化はこれまで SPICE などの回路シミュレーションモデルとして確立していない。我々は本来三次元でマクスウェル方程式を解く電磁界解析で予測するところを、電流密度が配線厚方向に拡散する一次元拡散モデルによって、回路シミュレータでも用いることのできるコンパクトなモデルを提案したが、前回[2]ターンオフ時の誤差がターンオン時に比べて大きいことがわかった。

Fig.1 に厚さ 0.3 mm、幅 10 mm、長さ 40 mm の銅配線に電流を流す場合のイメージ図を示す。前回[2]一次元拡散での簡略化を試みたが、誤差が大きいことが判明した。Fig.2 はターンオフ時 10ns 時点での、電磁界解析で求めた配線断面の電流密度分布である。配線内部は正の電流が流れているが、四隅に負の電流が集中しており、これがインダクタンスに大きな影響を与えていることがわかった。

Fig.3 に拡散方程式を配線断面の二次元に拡張した場合の、抵抗及びインダクタンスの時間変化を示す。本手法の結果(線)は、電磁界解析(マーク)とよく一致している。このように配線断面内の厚の二次元電流分布を求め、抵抗・インダクタンスの経時変化を求めることができる。

本研究は総合科学技術イノベーション会議の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代パワーエレクトロニクス／SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理法人：NEDO)により実施されました。

[1] S. Sato et al., ECS Trans., vol. 69, no. 11, pp. 123-132, 2015.
[2] 福田他、第 63 回応用物理学会春季学術講演会

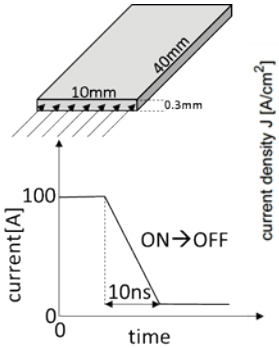

Fig. 1 Current injection to a busbar.

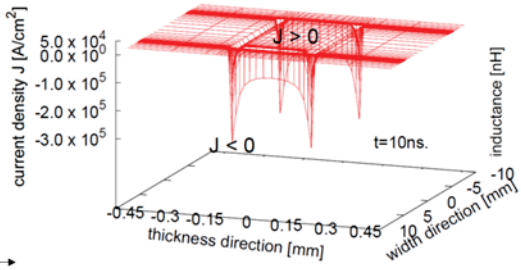

Fig. 2 Skin current diffusion.

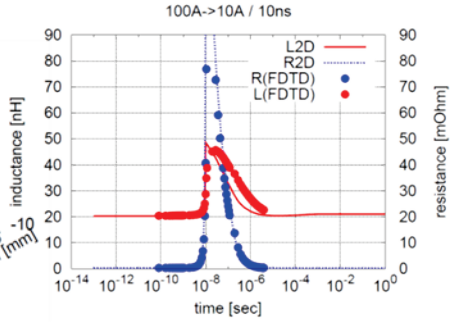

Fig. 3 Inductance and Resistance

© 2017年 応用物理学会