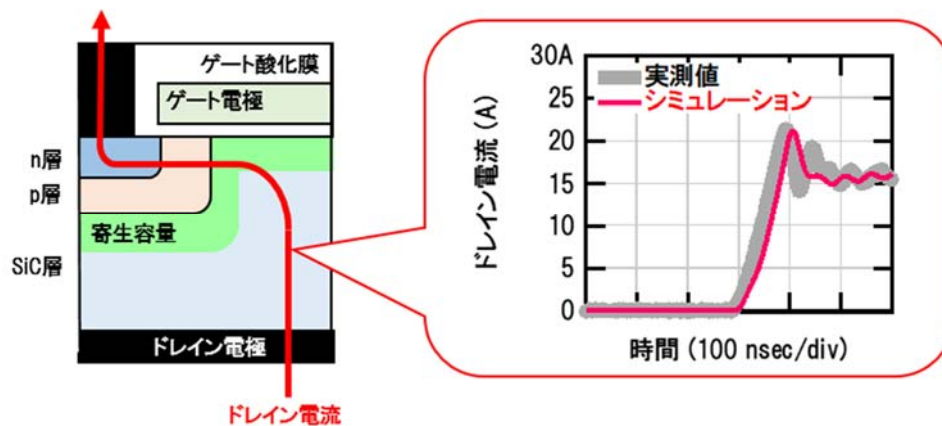


パワーエレクトロニクス機器の回路設計効率化に貢献
パワー半導体「SiC-MOSFET」の高精度回路シミュレーション技術を開発

三菱電機株式会社は、パワー半導体「SiC-MOSFET^{※1} 1200V-N シリーズ^{※2}」が搭載されるパワーエレクトロニクス機器設計時の回路シミュレーション技術として、高精度 SPICE（スパイス）^{※3} モデルを開発しました。独自の実験手法による詳細な評価データをモデルに反映することで、業界最高精度^{※4}で半導体素子の高速スイッチング動作のシミュレーションが可能になり、パワーエレクトロニクス機器の回路設計の効率化に貢献します。

なお、本開発成果の詳細はオンラインで開催された「PCIM^{※5} Europe 2020」（ドイツ時間 7月7日～7月8日）で7月8日に発表しました。

- ※1 Silicon Carbide：炭化ケイ素
Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor：金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ
- ※2 2020年7月にサンプル提供を開始予定
リリース URL：<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/news/2020/pdf/0616.pdf>
- ※3 Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis：電子回路の素子動作を解析するシミュレーションプログラム
- ※4 2020年7月9日現在、当社調べ
- ※5 Power Conversion and Intelligent Motion：パワーエレクトロニクスに関する国際学会兼見本市（www.pcim-europe.com） 学会発表名「T. Masuhara, T. Horiguchi, Y. Mukunoki, T. Terashima, N. Hanano, and E. Suekawa, “Development of an Accurate SPICE Model for a new 1.2-kV SiC-MOSFET Device”, *PCIM Europe 2020*.”



p層：アルミイオンが注入された SiC 層、n 層：窒素イオンが注入された SiC 層

図1 SiC-MOSFETの断面構造図（左）とスイッチング動作の解析事例（右）

開発の特長

1. 独自の高精度SPICEモデル開発でパワーエレクトロニクス機器の回路設計を効率化

- ・ MOSFET端子に印加される電圧によりMOSFET内部に発生する寄生容量^{※6}が変化する現象を独自の実験手法で詳細に評価し、得られたデータを反映することで実測とほぼ同等のシミュレーションが可能な独自の高精度SPICEモデルを開発
 - ・ 従来のSPICEモデルでは十分に解析できなかった高速スイッチング動作時の電流波形の高精度シミュレーションを実現し、パワーエレクトロニクス機器の回路設計を効率化
 - ・ 電流立ち上がり時の波形シミュレーションの誤差を従来の40%から15%に削減^{※7}
- ※6 半導体材料の境界面に発生する電荷を蓄積する容量。この値が小さいとスイッチング速度が速くなる
※7 当社従来モデルとの比較

今後の展開

今後、現在の室温対応のSPICEモデルに、高温対応のパラメータを追加し、社外への提供を目指します。

報道関係からの
お問い合わせ先

〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 TEL 03-3218-2359 FAX 03-3218-2431
三菱電機株式会社 広報部

開発の背景

近年、電力損失を大幅に低減できる SiC パワー半導体への期待が高まっており、当社は SiC-SBD^{※8}や SiC-MOSFET を搭載した SiC パワー半導体モジュールを 2010 年に製品化して以来、エアコンや産業用機器、鉄道車両などさまざまなインバーターシステムに採用され、低消費電力化と小型・軽量化に貢献しています。また、ディスクリート^{※9}の最新製品であるパワー半導体「SiC-MOSFET 1200V N-シリーズ」のサンプル提供を 2020 年 7 月に開始する予定です。

ディスクリート製のパワー半導体を用いてパワーエレクトロニクス機器を開発する場合、開発者はパワー半導体を用いた電力変換回路や、パワー半導体を駆動するゲートドライブ回路を自分たちで設計し、シミュレーションで動作確認をします。従来の SPICE モデルでは、SiC-MOSFET の高速スイッチング動作時における電流波形の解析精度が十分ではないため、複数の駆動条件での実験データを追加し、SPICE モデルの解析精度を補完する必要性がありました。

今回、当社製パワー半導体「SiC-MOSFET 1200V-N シリーズ」を搭載するパワーエレクトロニクス機器の回路設計時に、素子の高速スイッチング動作をシミュレーションできる高精度 SPICE モデルを開発しました。実測とほぼ同等の値で業界最高精度のシミュレーションが可能になり、SiC-MOSFET を搭載するパワーエレクトロニクス機器の開発者は、回路設計を効率化することができます。

※8 Schottky Barrier Diode : ショットキーバリアダイオード

※9 1つの半導体素子で構成する個別半導体

SiC-MOSFET の特性について

SiC-MOSFET は、導体であるゲート電極に電圧を加えて、ドレイン電極とソース電極間の半導体層を流れるドレイン電流を制御します (図 2)。MOSFET 内部には、電荷を蓄積し、スイッチング速度に影響を与える寄生容量があります。この寄生容量は MOSFET の電極に電圧が加わると、正電荷と負電荷を蓄積する層間の距離および容量値が変化し、結果として SiC-MOSFET のスイッチング速度に影響を及ぼす電圧依存特性^{※10}があります。

※10 層間の距離が縮小すると容量値が増加してスイッチング速度が遅くなり、逆に、層間の距離が拡大すると容量値が減少してスイッチング速度は速くなる

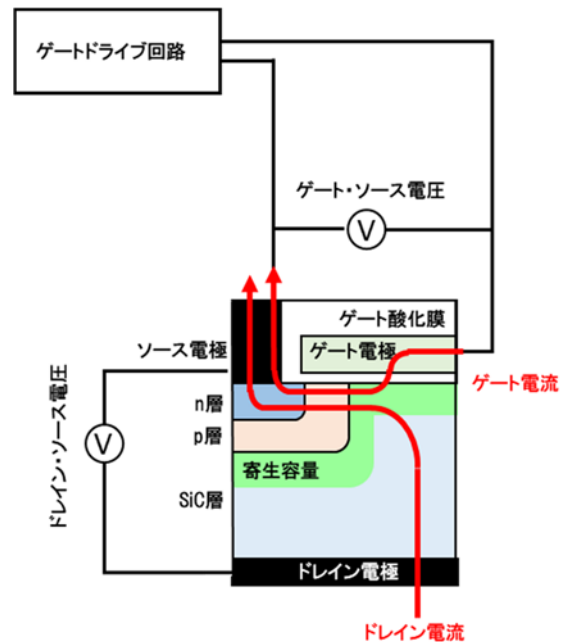


図 2 SiC-MOSFET の断面構造図

特長の詳細

1. 独自の高精度 SPICE モデル開発でパワーエレクトロニクス機器の回路設計を効率化

当社はこれまで、寄生容量の電圧依存特性において、ドレイン-ソース電極間に加えらる電圧に加えて、ゲート-ソース電極間に加えらる電圧も考慮し、2種類の電圧により容量値が変動する寄生容量モデルを考案し、SPICE モデルを開発してきました。しかし、従来のモデルでは、上記 2種類の電圧と容量値の相関関係が正確に模擬されておらず、高速スイッチング動作時における電流波形の解析精度向上が課題でした。

今回、SiC-MOSFET のスイッチング中の電圧・電流波形から寄生容量の特性を詳細に評価し、その評価結果をより正確に SPICE モデルに反映することで、実験とほぼ同等のスイッチング波形のシミュレーションが可能な独自の高精度 SPICE モデルを開発しました。

高精度 SPICE モデルの開発により、従来実現できなかった高速スイッチング時の電流波形の高精度なシミュレーションを可能としました。例えば、SiC-MOSFET が非導通から導通へと変わるターンオンスイッチング波形の解析では、全ての電圧、電流で実験した測定値とシミュレーション結果がほぼ一致しました (図 3)。特にドレイン電流の波形では、電流立ち上がり波形の誤差

を従来の 40%から 15%に削減しました (図 3 右下)。開発した高精度 SPICE モデルは、定格電流全域においてドレイン電流の高精度なシミュレーションが可能で、実験によるデータ補完作業を軽減できます。これにより、パワーエレクトロニクス機器の開発初期段階から回路設計の効率化に貢献します。

また、今回開発した SPICE モデルにより、従来は十分に解析できなかった SiC-MOSFET を駆動する電流波形 (ゲート電流波形) の高精度シミュレーションも実現しました (図 3 左下)。

これにより、SiC-MOSFET を駆動するゲートドライブ回路の設計において、要求される電流値に対する最適な素子の選定が可能となるなど駆動回路設計のコスト削減にも貢献します。

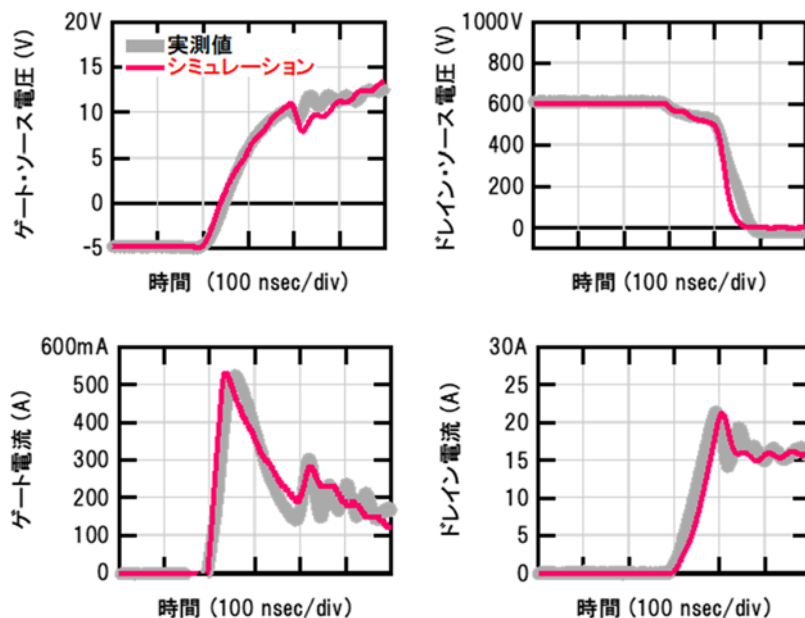


図 3 ターンオンスイッチング波形の解析事例

環境への貢献

SiC-MOSFET を搭載するパワーエレクトロニクス機器の回路設計作業を効率化し、SiC-MOSFET の適用を推進することで、家電や産業用機器の低消費電力化に貢献します。

開発担当研究所

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町八丁目 1 番 1 号

FAX 06-6497-7289

http://www.MitsubishiElectric.co.jp/corporate/randd/inquiry/index_at.html