

硫黄元素による電流制御で、SiC パワー半導体素子の性能を向上
電磁ノイズの影響を受けにくい動作原理を世界で初めて考案

三菱電機株式会社と国立大学法人東京大学は、パワーエレクトロニクス機器に搭載されるSiC^{*1} パワー半導体素子において、外部からの電磁ノイズの影響を受けにくい動作原理を世界で初めて^{*2} 考案しました。SiCパワー半導体素子内に硫黄元素を加えることで、電流経路内の電子の一部が捕獲され、素子の電気抵抗を増大させることなくスイッチング動作開始時の制御電圧を高められることを実証しました。今回考案した動作原理の適用により、外部からの電磁ノイズへの耐性が高まり、SiCパワー半導体素子の誤動作が低減することで、パワーエレクトロニクス機器の信頼性を高めていきます。

なお、本研究成果を「IEDM2018 (The International Electron Devices Meeting)」(於：アメリカ San Francisco、12月1日から開催)にて12月4日(日本時間)に発表しました。

※1 Silicon carbide (炭化ケイ素)

※2 2018年12月4日現在(三菱電機調べ)

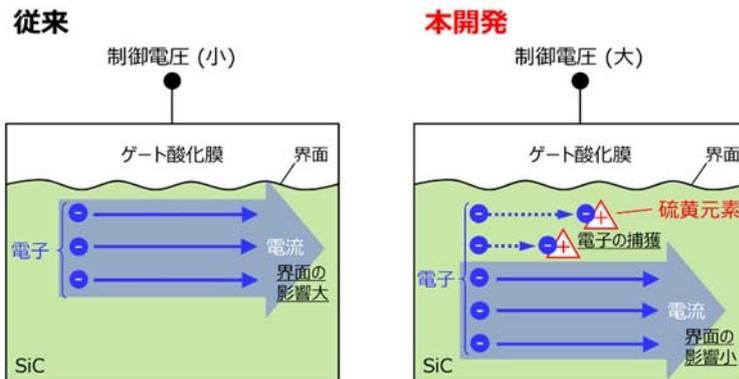


図1. SiC パワー半導体素子における硫黄元素の効果

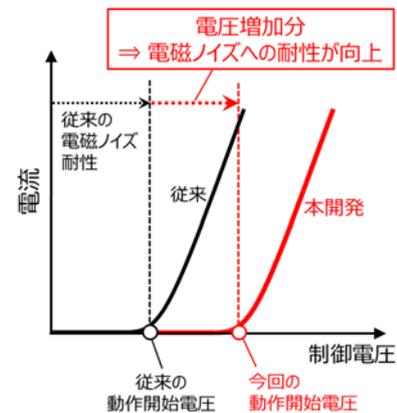


図2. 素子電流と動作開始電圧の関係

開発の特長

1. 硫黄元素を加え、電磁ノイズの影響を受けにくい動作原理を世界で初めて考案

- SiCパワー半導体素子において、ゲート酸化膜との界面下に硫黄元素を加える(図1右)ことで、電流に寄与する電子の一部が硫黄元素に捕獲され、電流が流れる制御電圧を従来と比較してより大きくする効果を発見
- 素子内の硫黄元素の分布を最適化することで、素子のスイッチング動作開始時の制御電圧を高くし、電磁ノイズの影響を受けにくい動作原理を世界で初めて考案
- ゲート酸化膜との界面近傍における電子散乱について、磁場を用いた半導体評価技術による測定を行い、想定した動作を確認

2. SiCパワー半導体素子を作製し、高い動作開始電圧を実証

- 低い素子抵抗を維持したまま、素子のスイッチング動作開始電圧が増加することを実証(図2)
- 電磁ノイズの影響を受けにくくなり、パワーエレクトロニクス機器の信頼性向上に貢献

今後の展開

今後三菱電機は本成果をもとに SiC-MOSFET^{*3} の設計と試作評価を実施し、よりいっそう動作開始時の制御電圧を高くすることで、パワーエレクトロニクス機器の使いやすさ向上につながる SiC パワー半導体素子の実現に向けた研究開発を推進します。

※3 Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor：金属酸化膜半導体電界効果型トランジスター

開発の背景

家電製品から産業・鉄道車両用機器などで使用されるパワーエレクトロニクス機器では、さらなる高効率・小型化・高信頼性が求められています。このニーズに応えるために、パワーエレクトロニクス機器のキーパーツであるパワー半導体モジュールの素子に、従来のSi（ケイ素）パワー半導体素子に比べ抵抗が低いSiCパワー半導体素子を採用し、電力損失の低減を実現する動きが加速しています。しかし、SiCパワー半導体素子の低抵抗化をさらに進めようとする、スイッチング動作開始時の制御電圧が低くなり、外部からの電磁ノイズによる素子の誤動作が増加するため、電磁ノイズに対する影響が少ない素子の実現が望まれています。

特長の詳細

1. 硫黄元素を加え、電磁ノイズの影響を受けにくい動作原理を世界で初めて考案

昨年、三菱電機株式会社と国立大学法人東京大学は、SiCパワー半導体素子において、電子の流れをゲート酸化膜とSiCとの界面下に存在する電荷から遠ざけることで電子散乱を抑制し、界面下の抵抗を低減できることを世界で初めて※4 解明しました。

今回、この知見に基づき、ゲート酸化膜との界面から通電領域を離して形成するために、界面近傍に硫黄元素を加えました。従来から用いられている窒素やリンなどとは異なり、硫黄元素はSiC結晶内で電子を放出しにくい、すなわち、電子を捕獲しやすい性質があることに着目し、今回のSiCパワー半導体素子へ適用しました。これにより、ゲート酸化膜に沿う方向に流れる電子の一部が硫黄元素に捕獲され、電気伝導に寄与しなくなることを確認しました。

本現象をもとに素子に加えた硫黄元素の分布を最適化することにより、SiCパワー半導体素子のスイッチング動作開始時の制御電圧を高くする動作原理を世界で初めて考案しました。評価用素子を作製し、ゲート酸化膜とSiCとの界面近傍における電子散乱について磁場を用いた半導体評価技術による測定・検証を行い、SiCパワー半導体素子の特性と合わせて解析することで、想定した動作を確認しました。

※4 2017年12月5日時点（三菱電機調べ）

2. SiCパワー半導体素子を作製し、高い動作開始電圧を実証

SiCパワー半導体素子を動作させるためには、制御電圧を印加して電気伝導に必要な電子をゲート酸化膜とSiCとの界面近傍に誘起させることが必要です。今回、硫黄元素を加えることで一部の電子が捕獲されるため、電気伝導に必要な電子をより多く供給するには、印加する制御電圧を従来よりもさらに大きくしなければなりません。これは、スイッチング動作時など電気伝導が始まる動作開始電圧を増加させる効果をもたらし、外部からSiCパワー半導体素子に印加される電磁ノイズによる素子の誤動作を抑制することができます（図2）。

図3に示すように、作製したSiCパワー半導体素子において、従来よりも素子抵抗の低減と、2.5Vから4.0Vとより高い動作開始電圧が得られることをそれぞれ実証しました。

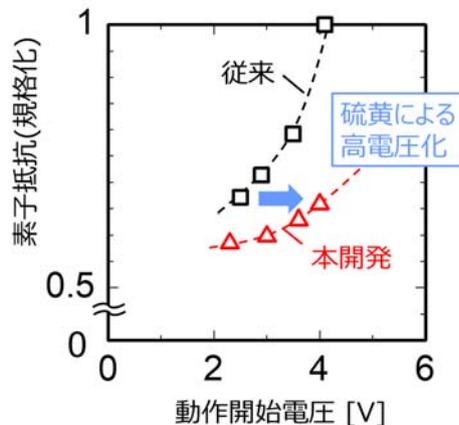


図3. 素子抵抗と動作開始電圧の関係

開発体制

機関名	担当内容
三菱電機	SiC パワー半導体素子および評価用素子の設計、製造、解析
東京大学	評価用素子における電子移動度の実測評価（喜多准教授）

本件は、SiC パワー半導体素子の高性能化を目的として、三菱電機と国立大学法人東京大学の共同研究により開発した成果です。三菱電機は SiC パワー半導体素子および評価用素子の設計・製造・解析を、東京大学は磁場を用いた半導体評価技術により電子散乱の測定を実施しました。

お問い合わせ先**【報道担当】**

三菱電機株式会社 広報部 川瀬

国立大学法人東京大学工学部・大学院工学系研究科
広報室

【開発担当】

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科