



## 世界初 ルチル型 GeO<sub>2</sub> 結晶によるショットキーバリアダイオード動作を確認

Patentix 株式会社は、ルチル型二酸化ゲルマニウム(*r*-GeO<sub>2</sub>)単結晶薄膜上に、ショットキーバリアダイオードを形成し、その動作を確認することに成功しました。これは *r*-GeO<sub>2</sub> で実現された世界初の半導体デバイスであり、*r*-GeO<sub>2</sub> パワー半導体デバイスの実現に向けた重要な一歩です。

### [背景]

現在、私たちが使用している家電製品や電気自動車のモーターには、パワー半導体を用いた様々な電力変換回路で変換された電力が用いられています。電力を変換する際に発生する熱は電気エネルギーの損失です。発電所から私たちが使うまでには何度も電力変換が行われているため、その損失を低減することは脱炭素社会の実現において重要な課題となっています。

従来パワー半導体に広く使われていたシリコン(Si:バンドギャップ 1.12eV)は物理的な限界に達しており、バンドギャップが 3.3eV と広いシリコンカーバイド(SiC)や窒化ガリウム(GaN)を用いたパワー半導体デバイスへの置き換えが進んでいます。近年、急速に普及している SiC は Si に比べて約 40%の省エネ効果があるとされていますが、バンドギャップが 4.6eV とさらに広い *r*-GeO<sub>2</sub> を用いることで、SiC を上回る省エネ効果を得られると期待されています。また、*r*-GeO<sub>2</sub> と同程度のバンドギャップを持つ半導体として、酸化ガリウム(Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の研究が広く行われていますが、*r*-GeO<sub>2</sub> は酸化ガリウムでは困難とされる不純物ドーピングによるP型の発現が理論的に予測されており、より幅広いデバイス応用が期待されます。

Patentix 株式会社では、*r*-GeO<sub>2</sub> にドナー型不純物を導入することで、 $1 \times 10^{18}$  から  $1 \times 10^{20}$  [cm<sup>-3</sup>]という高濃度の N 型ドーピング(N<sup>+</sup>ドーピング)を達成していましたが、*r*-GeO<sub>2</sub> を用いた半導体デバイスを実現するには、ドナー不純物濃度が  $1 \times 10^{17}$  [cm<sup>-3</sup>]以下の N<sup>-</sup>層の実現が不可欠であり、*r*-GeO<sub>2</sub> を用いた半導体デバイスの動作実証も未達成の状態でした。

### [成果]

今回、Patentix 株式会社は N<sup>+</sup>層の *r*-GeO<sub>2</sub> 結晶膜上に  $1 \times 10^{17}$  [cm<sup>-3</sup>]程度のドナー不純物を導入した N<sup>-</sup>層の *r*-GeO<sub>2</sub> 結晶を成膜することに成功し、国立研究開発法人物質・材料研究機構(以下「NIMS」)との共同研究を通じて世界で始めてショットキーバリアダイオード(以下「SBD」)の動作を確認しました。まず Patentix において、絶縁性 TiO<sub>2</sub> 基板の上に N<sup>+</sup>の *r*-GeO<sub>2</sub> 単結晶膜を成膜し、続いて N<sup>-</sup>の *r*-GeO<sub>2</sub> 単結晶膜を N<sup>+</sup>層の上に成膜しました。続いて NIMS によって、N<sup>-</sup>層をドライエッチングして N<sup>+</sup>層を露出させ、電極を成膜・形成することで疑似縦型構造の SBD を形成し(図 1)、その電流電圧特性(I-V 特性)を評価しました。



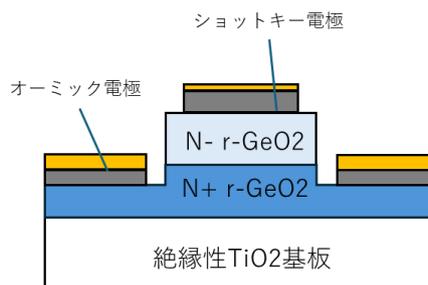


図1：今回試作した  $r\text{-GeO}_2$  単結晶膜を用いた疑似縦型のSBDの構造模式図

評価の結果、試作した  $r\text{-GeO}_2$  SBD がダイオード動作することが確認されました(図2)。ON/OFF 比は 7 桁を示しており、良好な整流特性が得られています。また、容量電圧測定 (C-V 測定) によって N-層のドナー不純物濃度を解析したところ、約  $1 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$  を示すことが確かめられました(図2 右)。

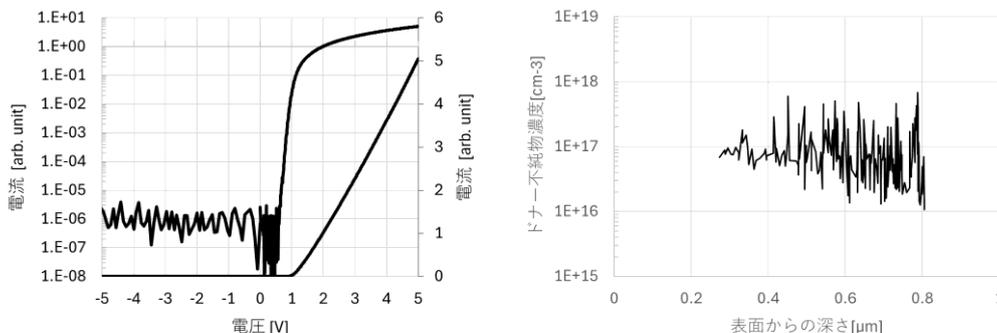


図2:  $r\text{-GeO}_2$  SBD の I-V 特性(左)とN-層の不純物濃度の測定結果(右)

今回の成果は  $r\text{-GeO}_2$  を用いた半導体デバイスの世界初の実証であり、 $r\text{-GeO}_2$  という新しい材料で脱炭素社会の実現に貢献するという当社の目標における重要な一歩です。

[将来展望]

今回の成果に基づいて、 $r\text{-GeO}_2$  の半導体デバイスの開発をさらに加速していきます。今回試作したデバイスは疑似縦型構造でしたが、次に縦型構造のSBDの実現を目指します。また、結晶膜の高品質化や半導体デバイスの応用を広げる上で必須となるP型の実現にも引き続き取り組んでいきます。