

# 超高耐圧 4H-SiC パワーデバイスを目指した衝突イオン化係数の決定

## Impact Ionization Coefficients in 4H-SiC Toward Ultrahigh-Voltage Power Devices



○(DC)丹羽 弘樹、須田 淳、木本 恒暢(京大院工)  
 ○(DC)Hiroki Niwa, Jun Suda, Tsunenobu Kimoto (Dept. of Electro. Sci. & Eng., Kyoto Univ.)  
 E-mail: niwa@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

**はじめに** 衝突イオン化係数はパワーデバイスの絶縁破壊電圧や安全動作領域などを決定する重要な物性値である。しかし、これまでの 4H-SiC における衝突イオン化係数は報告間の差異も大きく、精密なデバイスシミュレーションの妨げとなっている。特に耐圧 10 kV を越えるような超高耐圧パワーデバイスにおいて重要な低電界(~1 MV/cm)における衝突イオン化係数に関しては、これまで正確な実測値は報告されておらず、超高耐圧 SiC パワーデバイスの精密な設計を行う上で重要な課題となっている。そこで本研究では低電界における衝突イオン化係数の決定を目指し、パンチスルー(PT)型の 4H-SiC フォトダイオードを作製し、光キャリア増倍測定法(Photomultiplication Measurement)により衝突イオン化係数の算出を行った。

**実験と結果** 図 1 に本研究で作製した PT 型の 4H-SiC フォトダイオードの模式図を示す。本研究では n 型耐圧維持層( $N_d=5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , 4.75  $\mu\text{m}$  または 2.13  $\mu\text{m}$ )を p 型基板上に成長後、上部 n 層をイオン注入により形成した。このような PT 型のフォトダイオードでは上部 n<sup>+</sup>/n 層界面近傍に電界集中が発生するため、電界集中緩和を目指して上部 n<sup>+</sup>層にはベベル角 2° の微小ベベルを形成している。またデバイス間の分離として、Cl<sub>2</sub>系 ICP-RIE を用いて p 基板までのディープエッチングを行っている。本デバイスを用いて光キャリア増倍測定を行うことで正孔の増倍係数  $M_p$  を測定し、その結果を基に衝突イオン化係数を算出した。光キャリア増倍測定は Xe ランプに 254 nm のバンドパスフィルターを組み合わせた光源を用いて行った。詳細は文献[1]に記す。

図 2 に算出された正孔の増倍係数  $M_p$  の最大電界依存性を示す。また同図にはノンパンチスルー(NPT)型フォトダイオードにおける結果も示している[1]。雪崩増倍は同じ最大電界において、空乏層内で電界からより多くのエネルギーが得られる低ドーピング密度の場合の方が発生しやすい。したがって、図 2 のように PT 型フォトダイオードは NPT 型よりも低電界から増倍が発生するため、低電界における衝突イオン化係数の算出を行うことができる。図 3 に得られた増倍係数から算出された衝突イオン化係数( $\alpha$ : 電子の衝突イオン化係数、 $\beta$ : 正孔の衝突イオン化係数)の電界依存性を示す。ここでは記号で算出結果を、線でフィッティングを行った結果を示す。図 3 のように本研究では 4H-SiC において初めて 1 MV/cm の低電界まで衝突イオン化係数の実測に成功した。また同図には耐圧維持層ドーピング密度が  $N_d=1.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  の高ドーピング密度の NPT 型フォトダイオードから得られた  $\alpha$  の算出結果も示している。このダイオードを用いることで、4H-SiC においてほとんど報告のない高電界( $E > 3 \text{ MV/cm}$ )における  $\alpha$  の算出にも成功した。本発表では算出された衝突イオン化係数の温度依存性や、実デバイス構造における絶縁破壊電圧の計算および測定結果との比較についても提示する。

本研究の一部は、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)によって実施されました。

**Reference** [1] H. Niwa et al., *Mater. Sci. Forum*, **778-780**, 461 (2014).

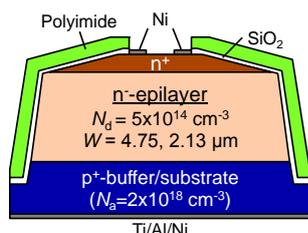


Fig. 1: Schematic cross section of a fabricated photo diode in this study.

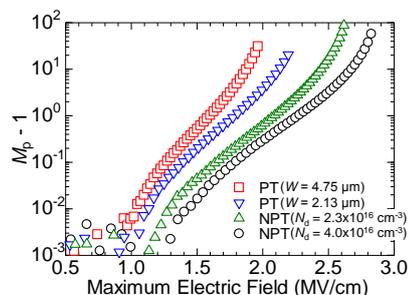


Fig. 2: Measured hole multiplication factors of PT photodiodes and NPT photodiodes.

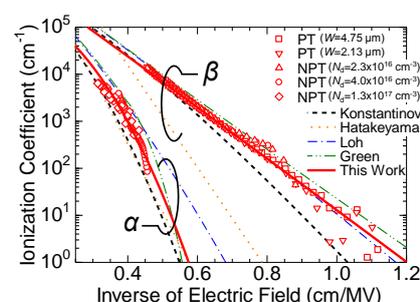


Fig. 3: The determined ionization coefficients (symbols) and the modeled data (lines) obtained at room temperature.