## 様々なドーピング密度を有する GaN p<sup>+</sup>-n および p-n<sup>+</sup>接合ダイオードの絶縁破壊電界

Breakdown field of GaN p<sup>+</sup>-n and p-n<sup>+</sup> diodes with various doping concentration  $^{\circ}$ 前田拓也  $^{1*}$ ,成田哲生  $^2$ ,山田真嗣  $^{3,4}$ ,加地徹  $^3$ ,木本恒暢  $^1$ ,堀田昌宏  $^{1,3,5}$ ,須田淳  $^{1,3,5}$ 京大院工1,豊田中央研究所2,名大未来材料・システム研究所3,アルバック先進研4,名大院工5 T. Maeda<sup>1\*</sup>, T. Narita<sup>2</sup>, S. Yamada<sup>3, 4</sup>, T. Kachi<sup>3</sup>, T. Kimoto<sup>1</sup>, M. Horita<sup>1, 3, 5</sup>, J. Suda<sup>1, 3, 5</sup> Kyoto Univ.<sup>1</sup>, TOYOTA Central R&D Labs.<sup>2</sup>, Nagoya Univ. IMaSS<sup>3</sup>, ULVAC AIT<sup>4</sup>, Nagoya Univ.<sup>5</sup> \*e-mail: tmaeda@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (the 1<sup>st</sup> author is currently in the University of Tokyo)

パワーデバイスの耐圧設計や安全動作領域の予測には、絶縁破壊の理解が不可欠である.近年、 GaN のアバランシェ破壊の基礎研究に進展が見られ、衝突イオン化係数についても複数報告され ている[1-3].これまで,耐圧維持層が n 型である GaN p+-n 接合ダイオードについては複数の試作 報告があるものの[4-7], p-n<sup>+</sup>接合の絶縁破壊は調べられていない. 本研究では, 様々なドーピング 密度の GaN p-n<sup>+</sup>接合および p-n<sup>+</sup>接合における絶縁破壊特性を詳細に調べたので報告する[8].

図1に測定に用いたデバイスの構造を示す. 有機金属気相成長法(MOVPE)により, GaN バルク 基板上にホモエピタキシャル成長を行い、p+-p-n+接合および p+-n-n+接合を形成した. エピ成長後, ドライエッチングによる垂直メサ構造を形成し、素子分離を行なった.この垂直メサ構造は、1次 元的な(端部で電界集中のない)電界分布を実現する終端構造の役割[4]を果たしている.その後、 オーミック電極の形成およびポリイミド表面保護膜の形成を行なった.デバイスプロセスについ ての詳細は文献[8]に記載されている. 作製したデバイスの耐圧維持層膜厚(dgiit), エッチング深さ  $(d_{\text{etch}})$ , 容量-電圧(C-V)特性から求めた実効ドーピング密度 $(N_{\text{d}}N_{\text{d}}/(N_{\text{d}}+N_{\text{a}}))$ については図 1 中の表に 記載している. 作製したデバイス P1-P3, N1-N3 の逆方向電流-電圧(*I-V*)特性を測定したところ, 低 いリーク電流および高いアバランシェ耐量が得られた. 得られた耐圧(BV)・絶縁破壊時の最大電 界( $E_b$ )のデータについて図 1 中の表に示している. 特に, 実効ドーピング密度が  $4.1 \times 10^{17}$  cm<sup>-3</sup> であ る P3 においては  $4.0~\mathrm{MV/cm}$  と極めて高い  $E_\mathrm{b}$  が得られた. 図 2 に絶縁破壊電圧および絶縁破壊電 界の実効ドーピング密度依存性について,本研究で得られた値(☆),過去に報告されている GaN pn接合ダイオードの値(○)[4-7,9], GaNの衝突イオン化係数[3]を用いたシミュレーションによる理 想値を点線で示す. GaN は, 電子の衝突イオン化係数が正孔より数倍小さいため, 厳密には p-n<sup>+</sup> 接合(p型の耐圧維持層)の絶縁破壊電界は p+-n 接合より 3%程度低いが, 実験的には p-n+接合と p+n接合で有意な差は見られず、衝突イオン化係数から決まる理想値に近い値を示した.

本研究は、GaN のアバランシェ増倍現象を理解する上で重要なデータであり、特に superjunction MOSFET など、低濃度 p 層を有する GaN デバイスの絶縁破壊現象を考える上で有用である.

【参考文献】[1] L. Cao, et al., Appl. Phys, Lett. 112, 262103 (2018). [2] D. Ji et al., Appl. Phys, Lett. 115, 073503 (2019).

[3] T. Maeda et al., J. Appl. Phys. 129, 185702 (2021). [4] H. Fukushima et al., Jpn. J. Appl. Phys. 58, SCCD25 (2019).

[5] D. Ji et al., IEEE Electron Device Lett. 41, 264 (2020). [6] Y. Miura et al., ISPSD 2021. [7] M. Matys et al., Appl. Phys. Express 14,

074002 (2021). [8] T. Maeda et al., IEEE Electron Device Lett. 43, 96 (2022). [9] T. Maeda et al., IEDM 2018. 【謝辞】本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代パワーエレクトロ ニクス - GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発」(管理法人: NEDO),および,「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導 体研究開発」事業 JPJ005357 (文部科学省)からの委託を受けたプロジェクトによって実施された。

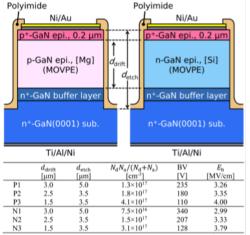
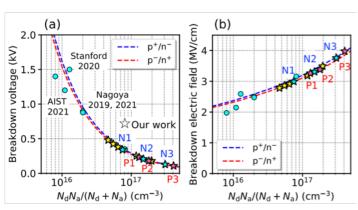


Fig.1. Schematic cross-section of GaN p-n<sup>+</sup> and p<sup>+</sup>-n diodes. Table shows drift layer thicknesses, etching depths, net doping concentrations, BV and  $E_b$ .



**Fig.2.** BV and  $E_b$  of GaN p-n junction diodes as a function of net doping concentration. The ideal BV and critical electric field simulated by using the impact ionization coefficients of GaN [3] are also shown as broken lines.