様々なドーピング密度を有する

GaN p⁺-n および p-n⁺接合ダイオードの絶縁破壊電界 Breakdown field of GaN p⁺-n and p-n⁺ diodes with various doping concentration <u>°前田拓也</u>^{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^{1*}, T. Narita², S. Yamada^{3,4}, T. Kachi³, T. Kimoto¹, M. Horita^{1,3,5}, J. Suda^{1,3,5}

Kyoto Univ.¹, TOYOTA Central R&D Labs.², Nagoya Univ. IMaSS³, ULVAC AIT⁴, Nagoya Univ.⁵ *e-mail: tmaeda@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (the 1st 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GaNp⁺-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⁺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GaNp-n⁺接合およびp-n⁺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(d_{drift}), エッチング深さ (detch), 容量-電圧(C-V)特性から求めた実効ドーピング密度(N_dN_a/(N_d+N_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 4.1×10¹⁷ cm⁻³であ る P3 においては 4.0 MV/cm と極めて高い E_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(o)[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⁺ 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

【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 $p-n^+$ and p^+-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.