

# ベベルメサ構造 GaN p-n 接合ダイオードの電界分布シミュレーション

## Simulation Study on Electric Field in GaN PN Diodes with Beveled-Mesa Structure

前田拓也<sup>1</sup>, 成田哲生<sup>2</sup>, 上田博之<sup>2</sup>, 兼近将一<sup>2</sup>, 上杉勉<sup>2</sup>, 加地徹<sup>3</sup>, 木本恒暢<sup>1</sup>, 堀田昌宏<sup>1,3,4</sup>, 須田淳<sup>1,3,4</sup>

京大院工<sup>1</sup>, 豊田中央研究所<sup>2</sup>, 名大未来材料・システム研究所<sup>3</sup>, 名大院工<sup>4</sup>

T.Maeda<sup>1</sup>, T.Narita<sup>2</sup>, H.Ueda<sup>2</sup>, M.Kanechika<sup>2</sup>, T.Uesugi<sup>2</sup>, T.Kachi<sup>3</sup>, T.Kimoto<sup>1</sup>, M.Horita<sup>1,3,4</sup>, J.Suda<sup>1,3,4</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, TOYOTA Central R&D Labs.<sup>2</sup>, Nagoya Univ. IMASS<sup>3</sup>, Nagoya Univ.<sup>4</sup>

E-mail: maeda@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

近年, GaN 基板上 GaN 縦型パワーデバイスが次世代パワーデバイスとして注目を集めている. GaN パワーデバイスにおいては, Mg イオン注入による p 領域形成が難しいため, Field plate [1,2] や Ion implantation isolation termination [3], Bilayer edge termination [4]などが端部終端構造として用いられている. これらは高耐圧な素子を実現しているものの, 電界集中を完全に緩和することは難しく, 平行平板破壊電界( $E_{pp}$ )が絶縁破壊電界( $E_{cr}$ )に達する前に絶縁破壊が生じている. 本研究では, 端部終端構造としてベベルメサ構造に着目し, その電界集中緩和効果についてさまざまなドーピング密度に関して TCAD シミュレーション[5]を用いて系統的に調べたので報告する.

メサ角( $\theta$ ), p 層アクセプタ密度( $N_a$ ), n 層ドナー密度( $N_d$ )をパラメータとして, 逆バイアス電圧印加時のベベルメサ構造 GaN p-n 接合ダイオードにおける 2次元電界分布を計算した. 図1に電界分布の1例を示す. 平行平板部の電界強度は $E_{pp} = \sqrt{2e\{N_a N_d / (N_a + N_d)\}(V - V_d) / \epsilon_s}$ から計算できる( $V_d$ は拡散電位,  $\epsilon_s$ はGaNの誘電率). 端部は電界集中しており, 最大電界 $E_{max}$ となる. この $E_{pp}$ と $E_{max}$ の比は, 耐圧維持層の膜厚が十分に大きいノンパンチスルー条件では,  $N_a$ と $N_d$ の比および $\theta$ によって決まる. 図2に $\theta = 1^\circ, 10^\circ, 30^\circ$ の場合における $E_{pp}/E_{max}$ の $N_a/N_d$ 依存性を示す. ネガティブベベル構造( $N_a/N_d > 1$ )の場合, 電界集中が生じるが, 上部 p 層の $N_a$ を低くし,  $\theta$ を小さくすることで, 電界集中を緩和できる[6]. 例えば,  $\theta \sim 10^\circ$ の場合,  $N_a/N_d < 4$ となるように設計すれば,  $E_{pp}/E_{max} > 95\%$ が得られることが分かった. なお, ポジティブベベル構造( $N_a/N_d < 1$ )の場合, メサ表面において空乏層が伸びやすく電界集中が生じない( $E_{pp} = E_{max}$ ). 図2に示した関係は, 実効ドーピング密度 $N_a N_d / (N_a + N_d)$ や印加電圧に依存せず, 所望の耐圧に応じてスケールアップすることができる. ただし, 数 kV 級の高耐圧の素子への適用は, 低濃度・厚膜の p, n 層や深掘りエッチングの技術が必要であるため難しいと考えられる.

ベベルメサ構造は, 比較的低耐圧( $\sim 1.2$  kV)のパワーデバイス, あるいは, 絶縁破壊特性の基礎研究のための端部終端構造として有用であると考えられる. 発表においては, 実際に作製したベベルメサ構造 GaN p-n 接合ダイオードの絶縁破壊特性についても議論する.

【参考文献】 [1] K. Nomoto *et al.*, *EDL* **37**, 2 (2016). [2] Y. Saitoh *et al.*, *APEX* **3**, 081001 (2010).

[3] I. C. Kizilyalli *et al.*, *EDL* **36**, 10 (2015). [4] J. R. Dickerson *et al.*, *TED* **63**, 1 (2016). [5] Sentaurus J-2014.09, Synopsys Inc.

[6] B. J. Baliga, "Fundamentals of Power Semiconductor Devices" (Springer, 2008) pp. 91-166.

【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」(管理人: NEDO)によって実施された.

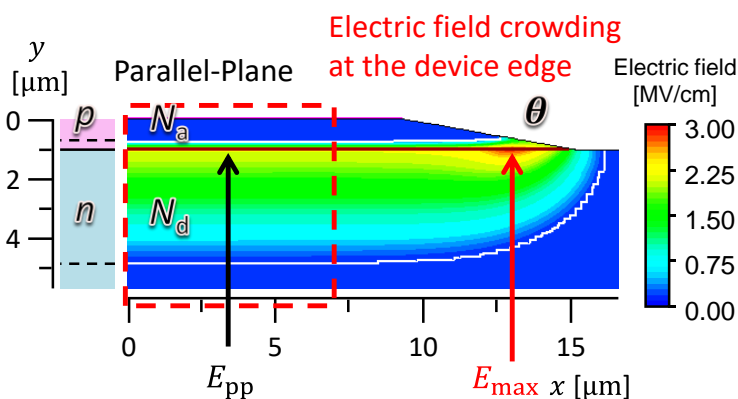


Fig.1. Two-dimensional electric-field (2-D E-field) distribution simulated by TCAD. The 2-D E-field distributions were simulated for various parameters ( $N_a$ ,  $N_d$  and  $\theta$ ). The ratio of  $E_{pp}/E_{max}$  are determined by the ratio of  $N_a/N_d$ .

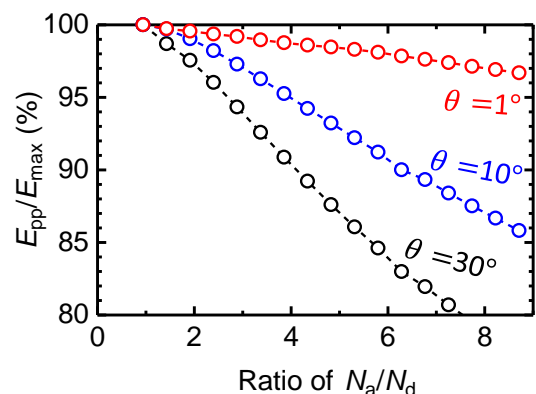


Fig.2.  $E_{pp}/E_{max}$  vs.  $N_a/N_d$  for  $\theta = 1^\circ, 10^\circ$ , and  $30^\circ$ . The suppression of electric field can be obtained with decreases in  $N_a/N_d$  and  $\theta$ .