

両側空乏ベベルメサ構造を有する GaN p-n 接合ダイオードにおける 均一なアバランシェ破壊の実現および平行平板破壊電界の評価

Uniform Avalanche Breakdowns and Parallel-Plane Breakdown Fields in GaN-on-GaN PN Diodes with Double-Side-Depleted Shallow Bevel Termination

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

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, 名大院工⁴

T.Maeda¹, T.Narita², H.Ueda², M.Kanechika², T.Uesugi², T.Kachi³, T.Kimoto¹, M.Horita^{1,3,4}, J.Suda^{1,3,4}

Kyoto Univ.¹, TOYOTA Central R&D Labs.², Nagoya Univ. IMaSS³, Nagoya Univ.⁴

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。既に複数の試作報告が存在しており, 優れた特性を示しているが, 素子端部における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。本研究では浅いメサ角度で「ほぼ同濃度」の p, n 層を有する「両側空乏」ベベルメサ構造を有する GaN p-n 接合ダイオード(PND)を提案, 作製することで電界集中のない接合面内均一な絶縁破壊を実現し, そのアバランシェ破壊特性について精密に評価したので報告する[1]。

図1に GaN PND のデバイス構造, 表1に用いた素子 PN1-4 の p 層と n 層の膜厚・ドーピング密度を示す。各素子において, p 層 Mg 濃度と n 層 Si 濃度はほぼ同濃度であり, 深さ方向均一に分布していることを SIMS 分析により確認している。エピ層中 C 濃度は $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり, また, 広電圧範囲の容量-電圧(C-V)測定の結果から求めた $N_d N_a / (N_d + N_a)$ と $[\text{Si}][\text{Mg}] / ([\text{Si}] + [\text{Mg}])$ がよく一致していることから, 補償の影響は無視できる程度であると考えられる。メサ角は 10° 程度, メサ高さは $3.5 \mu\text{m}$ 程度である。逆方向電流-電圧(I-V)特性を測定したところ, どの素子もリーク電流は非常に小さく, 絶縁破壊しても物理的な破壊に至らない高いアバランシェ耐量が確認された。図2に耐圧・平行平板破壊電界のドーピング密度依存性を示す。ドーピング密度が増加するにつれて, 耐圧は 480, 385, 250, 180 V と低下し, 破壊電界は 2.8, 2.9, 3.2, 3.5 MV/cm と増大した。絶縁破壊特性の温度依存性を測定したところ, 温度上昇につれて耐圧がほぼ線形に増加した。これは, 温度上昇に伴いフォノン散乱レートが大きくなり衝突イオン化係数が低下することによるアバランシェ破壊の典型的な温度依存性である。絶縁破壊時の発光について観察したところ, p-n 接合全面でほぼ均一な白色発光が見られた。これは, 均一なアバランシェ破壊が生じていることを示唆する結果である。なお, 本研究で得られた破壊電界 2.8-3.5 MV/cm は, これまでのノンパンチスルー型 GaN デバイスの報告において最大の値である。本研究で用いた両側空乏ベベルメサ構造は, GaN パワーデバイスおよび GaN の絶縁破壊に関する基礎研究において有用である。

【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。

【参考文献】 [1] T. Maeda, et al., in *IEDM Tech. Digest*, 2018, pp. 30.1.1-30.1.4.

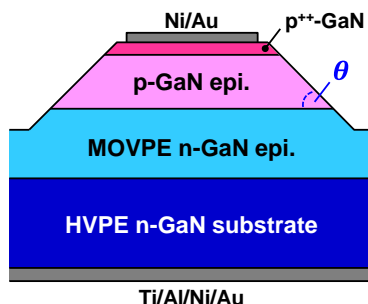


Fig.1. Schematic cross section of the GaN PND with the double-side-depleted shallow bevel termination. The smooth mesa surfaces without any structural defects were obtained.

	PN1	PN2	PN3	PN4
d_p (μm)	3.3	2.5	2.0	1.5
$[\text{Mg}]$ (cm^{-3})	1.2×10^{17}	1.4×10^{17}	2.7×10^{17}	3.9×10^{17}
d_n (μm)	3.3	2.5	2.0	1.5
$[\text{Si}]$ (cm^{-3})	7.6×10^{16}	1.2×10^{17}	2.1×10^{17}	4.1×10^{17}
$\frac{[\text{Mg}][\text{Si}]}{[\text{Mg}] + [\text{Si}]}$ (cm^{-3})	4.7×10^{16}	6.5×10^{16}	1.2×10^{17}	2.0×10^{17}
$\frac{N_a N_d}{N_a + N_d}$ (cm^{-3})	4.7×10^{16}	6.4×10^{16}	1.2×10^{17}	1.9×10^{17}

Table. I. The thicknesses of the p-layers (d_p), the Mg concentrations in the p-layers ($[\text{Mg}]$), the thicknesses of the n-layers (d_n), and the Si concentrations in the n-layers ($[\text{Si}]$) in the GaN PNDs (PN1-4).

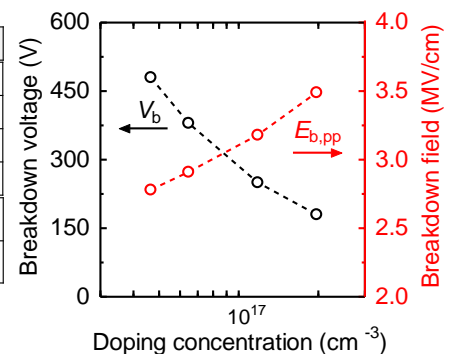


Fig.2. Breakdown voltages and (parallel-plane) breakdown fields in PN1-PN4 at room temperature.