

# アバランシェ降伏現象観測可能な垂直深掘りメサ型 pn ダイオードの電気的特性評価

## Electric characteristics evaluation of pn diode with vertical deep etched mesa structure and avalanche capability

名大院工<sup>1</sup>, 名大未来材料・システム研究所<sup>2</sup>, 名大赤崎記念研究センター<sup>3</sup>, 名大VBL<sup>4</sup>, 物質・材料研究機構<sup>5</sup>  
<sup>○</sup>福島 颯太<sup>1</sup>, 宇佐美 茂佳<sup>1</sup>, 安藤 悠人<sup>1</sup>, 田中 敦之<sup>2,5</sup>, 出来 真斗<sup>2</sup>, 久志本 真希<sup>1</sup>, 新田 州吾<sup>2</sup>,  
 本田 善央<sup>2</sup>, 天野 浩<sup>2,3,4,5</sup>

Dept. of Electronics, Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Nagoya Univ. IMASS<sup>2</sup>, Nagoya Univ. ARC<sup>3</sup>, Nagoya Univ. VBL<sup>4</sup>, NIMS<sup>5</sup>  
<sup>○</sup>H.Fukushima<sup>1</sup>, S.Usami<sup>1</sup>, Y.Ando<sup>1</sup>, A.Tanaka<sup>2,5</sup>, M.Deki<sup>2</sup>, M.Kushimoto<sup>1</sup>, S.Nitta<sup>2</sup>,  
 Y.Honda<sup>2</sup>, and H.Amano<sup>2,3,4,5</sup>

E-mail: h\_fukusi@echo.nuee.nagoya-u.ac.jp

【背景】 GaN は高耐圧かつ高速動作可能なパワー半導体デバイス材料として注目されている。しかし、実際はフィールドプレート構造やガードリング構造といった電界緩和構造が無い場合には理論耐圧以下で素子端部を起点とした絶縁破壊が生じる問題がある<sup>1,2</sup>。本研究では pn ダイオード(PND)を用いて新たな素子端部の電界緩和構造を検討・作製し、シンプルなメサ構造によって電界緩和を可能とした。また、このデバイスにおいて低リーク電流、高耐圧化が実現されたことにより GaN の物性限界を示すアバランシェ降伏現象が観測されたため、これを報告する。

【実験方法】 GaN 縦型 PND に高電圧を印加した際の素子端部への電界集中がより緩和できる構造をメサ深さ、角度などをパラメータとして、Silvaco 社のデバイスシミュレータ ATLAS により解析した。シミュレーションにより電界緩和が見込めるメサ構造を実デバイスで確認した。貫通転位密度  $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$  の GaN 基板へ、シミュレーションで使用したのと同じ PND 構造を MOVPE にて作製した。基板のキャリア密度は  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であり、n-GaN (Si:  $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , 10  $\mu\text{m}$  厚), p-GaN (Mg:  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , 500 nm 厚), p+-GaN (Mg:  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , 30 nm 厚)を成長させた。次に、Cl<sub>2</sub> ガスを用いた ICP-RIE にてメサ構造を形成したのち、電極形成、ポリイミドによるパッシベーションを経てデバイスを作製した。エッチング深さは 1  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$  とし、メサ構造がデバイス耐圧やリーク電流に与える影響を電気特性測定によって評価した。高耐圧・低リーク電流を実現したデバイスについては、逆方向電圧印加時の温度特性を測定することにより、アバランシェ降伏現象の確認を行った。また、エミッション顕微鏡を用いて高電圧印加時の電流増幅箇所の観察を行った。

【結果と考察】シミュレーションの結果より、素子分離のためのメサを深くするほど素子端部の電界集中が緩和され、耐圧が向上する(Fig.1)。また、電圧印加時の空乏層幅よりもメサを深く垂直にエッチングすることによって均一な電界分布が得られることも確認された。実デバイスでの耐圧評価においては、メサを深くエッチングすることによって耐圧が向上し、リーク電流も軽減されていることを確認した(Fig.2)。メサを 10  $\mu\text{m}$  エッチングしたデバイスの逆方向電圧印加時の温度特性を測定したところ、温度上昇に伴うリーク電流の増加と耐圧の上昇が見られ、アバランシェ降伏現象が確認された(Fig.3)。また、エミッション顕微鏡によるアバランシェ降伏時の電流増幅箇所の観察により、素子内部全体での電流増幅を確認した。しかし、電流増幅箇所には不均一性が見られ、これは素子面内の不純物濃度の不均一性を反映しているものと考えられる。このデバイスにおける絶縁破壊電界は 2.5 MV/cm を示しており理論値との乖離が見られるが、この原因は不純物濃度の不均一性によるものと考えられる。

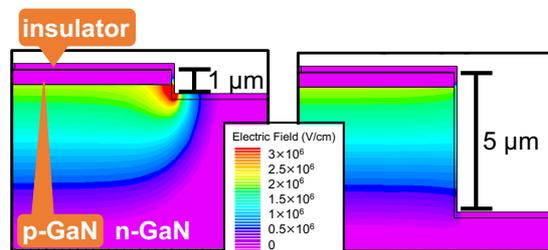


Fig.1 メサのエッチング深さによる電界分布変化のシミュレーション結果

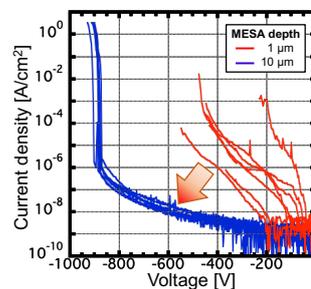


Fig.2 J-V 特性のメサエッチング深さ依存性

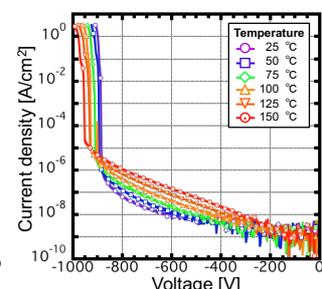


Fig.3 アバランシェ降伏時の J-V 特性温度依存性

【謝辞】本研究の一部は文部科学省「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」の委託を受けたものである。

<sup>1</sup> B. J. Baliga: Fundamentals of Power Semiconductor Devices (Springer Science, New York, 2008), Chapter 3, pp. 130-137.

<sup>2</sup> Y. Hatakeyama *et al.*, J. Appl. Phys. **52** 028007 (2013)