無転位 GaN p-n 接合における逆バイアス下のバンド間トンネルリーク電流

Reverse leakage current due to band-to-band tunneling in dislocation-free GaN pn junctions

豊田中研 [1]，ミライズ・テクノロジーズ [2]，名古屋大 [3]
○成田 哲生 [1]，庄司 智幸 [1]，長里 喜隆 [2]，兼近 将一 [3]，近藤 健 [3]，上杉 勉 [3]，冨田 一義 [3]，
池田 智史 [2]，森 朋彦 [1]，山口 聡 [1]，木本 康司 [1]，小島 淳 [3]，須田 淳 [3]
Toyota CRDL.[1], MIRISE Technologies[2], Nagoya Univ.[3], °Tetsuo Narita[1], Tomoyuki Shoji[1],
Yoshitaka Nagasato[2], Masakazu Kanechika[3], Takeshi Kondo[3], Tsutomu Uesugi[3], Kazuyoshi Tomita[3],
Satoshi Ikeda[2], Tomohiko Mori[1], Satoshi Yamaguchi[1], Yasuji Kimoto[1], Jun Kojima[3], and Jun Suda[3]
E-mail: tetsuo-narita@mosk.tytlabs.co.jp

[目的] ほぼ無転位の GaN p-n 接合において、逆方向リーク電流の伝導メカニズムを解析した。

[方法] 平均転位密度 3 × 10^4 cm^{-2} 以下の酸性アモノサーマル法自立 GaN 基板上に、有機金属気相成長法を用いて、Mg および Si ドーピング濃度を変えて、設計耐圧 130～1000 V の pn 接合層を積層した。脱水素熱処理後、6～7° の極浅ベベルメサ終端構造[1]を用いて、接合直径 440 μm の円形ダイオード領域を形成した。直径 100 μm の Ni/Au アノード電極、基板裏面にカソード電極を形成した。放射光 X 線トポグラフィ法（SPring-8 BL16B2、BL20B2 にて実施）を用いて、ダイオード領域内の転位数を評価した。-40～100 ℃で逆方向の電流-電圧特性を評価した。

[結果] 耐圧 245 V の p-n 接合の逆方向電流-電圧特性を図 1 に例示する。各設計耐圧の素子において、図 1 と同様に温度とともに破壊電圧が増加する良好なアバランシェ降伏特性を得た。破壊電圧のネットドーピング濃度依存性は、Maeda らの先行研究[2]と一致した。X 線トポグラフィ像より、この素子には 1 本のみ貫通転位が観測された。図 1 において、150 V 以上の逆バイアスでリーク電流が観測された。リーク電流の温度依存性は極めて小さく、トンネル電流が支配的と考えられる。直接遷移型半導体におけるバンド間トンネル（BTBT）電流は、次の経験式で表される[3]。

$$G = AF^2 exp\left(-\frac{B}{F}\right) \ (1), \qquad A = \frac{q^2 m_r^{\frac{1}{2}}}{18\pi\hbar^2 E_g^{\frac{1}{2}}} \ (2), \ B = \frac{\pi m_r^{\frac{1}{2}} E_g^{\frac{3}{2}}}{2q\hbar} \ (3)$$

BTBT 電流および先行研究の衝突イオン化係数[2]を考慮した TCAD 計算結果（図 1 実線）は実験特性（ドット）をよく再現しており、ほぼ無転位の GaN pn 接合の逆バイアス特性が BTBT リーク電流に支配されることが明らかとなった。一方、1000 V の pn 接合ではリーク電流は検出下限であり、kV 級の高耐圧素子では BTBT 電流は実用上問題とならないことが分かった[4]。

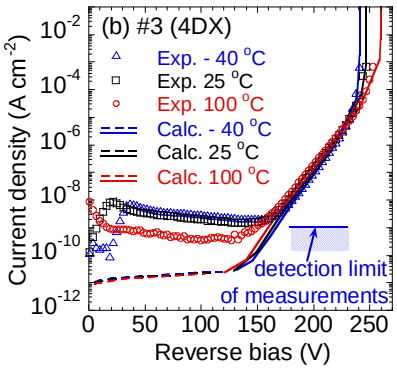

図 1. 逆方向電流-電圧特性
[4] T. Shoji *et al.* © JSAP 2021

[1] T. Maeda *et al.*, IEEE IEDM 2018, p. 687
[2] T. Maeda *et al.* J. Appl. Phys. **129**, 185702 (2021).
[3] E. O. Kane, J. Phys. Chem. Solid Pergamon Press **12**, 181 (1959).
[4] T. Shoji *et al.* Appl. Phys. Express **14**, 114001 (2021).