

GaN p-n 接合ダイオードの再結合電流解析による ホモエピタキシャル成長 p-GaN における SRH 寿命の評価

Characterization of a Shockley-Read-Hall lifetime in homoepitaxial p-GaN

based on the analysis of the recombination current in GaN p-n junction diodes

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, 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.Horita¹, 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

GaN を様々なデバイスに応用展開するためには, GaN の物性を詳細かつ系統的に評価し, その理解を深めることが重要である. 近年, ホモエピタキシャル成長により, 貫通転位の影響をほとんど受けない GaN p-n 接合ダイオードが作製可能になり, p⁺-n 接合の順方向 I-V 特性の解析により, 空乏層が広がる n-GaN における SRH 寿命を求めた報告がある[1]. 本研究では, p-n⁺接合ダイオードを作製し, その順方向 I-V 特性の解析により, p-GaN における SRH 寿命の評価を行った.

実験には, n 型 GaN 自立基板上に MOVPE 法により成長した p 層 Mg 濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, n 層 Si 濃度 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の GaN p-n⁺接合メサ型ダイオードを用いた. 図 1 に室温における順方向 I-V 特性および n 値を示す. 1.8–2.7 V の広い電圧範囲で $n = 2$ であり, 空乏層内での再結合電流成分が支配的であることが分かる. 電流軸切片は, $J_{nr0} = 1.0 \times 10^{-25} \text{ A/cm}^2$ であった. 図 2 に J_{nr0} のサイズ依存性を示す. 横軸を P/A 比とすることで, 傾きから表面成分, 切片からバルク成分を求めることができる. 傾きはほぼゼロであり, この再結合電流はバルク成分が支配的であることが分かった.

文献[1]の解析モデルを p-n⁺ダイオードに適用すると, 再結合電流は次式で表すことができる.

$$J_{nr} = 2e \int_{-x_p}^{x_n} U_{SRH} dx \sim \frac{2\pi k T n_i}{\tau_{SRH} E_0} \cdot \sinh\left(\frac{eV}{2kT}\right), \quad E_0 \sim \sqrt{\frac{N_a k T (2 \cdot \ln(N_a) - 2 \cdot \ln(n_i) - eV/kT)}{\epsilon_s}}$$

E_0 は再結合レート U_{SRH} が最大となる位置における電界強度である. 上式を用いて再結合電流を計算し, 実験値にフィッティングして SRH 寿命を求めたところ, $\tau_{SRH} = 91 \text{ ps}$ となった. 文献[1]での n-GaN (実効ドナー密度 $2.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) における SRH 寿命は $\tau_{SRH} = 12 \text{ ns}$ であり[1], 本研究で得られた p-GaN における SRH 寿命は桁違いに短い. 秩父らは時間分解フォトルミネッセンス測定から MOVPE 成長 p-GaN (Mg 密度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) の少数キャリア寿命 $\sim 28 \text{ ps}$ を報告しており[2], 本研究と同じオーダである. これは, p-GaN においては再結合中心密度が多い, あるいは, p-GaN 中の再結合中心の捕獲断面積が大きいことを示唆していると考えられる.

【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] Z. Hu, et al., *Appl. Phys. Lett.* **107**, 243501 (2015). [2] S. F. Chichibu et al., *Appl. Phys. Lett.* **112**, 211901 (2018).

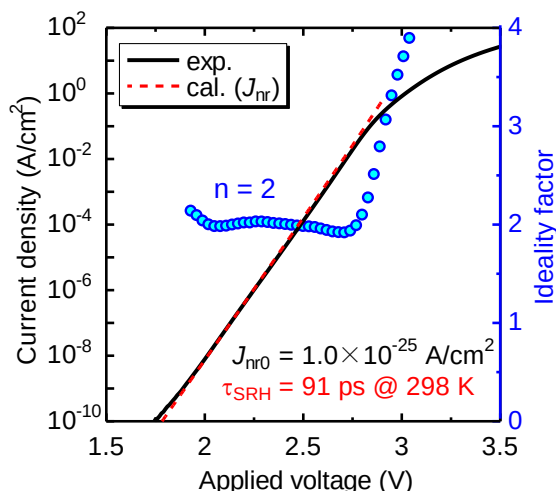


Fig.1. Forward I-V characteristics of the GaN p-n⁺ junction diode. The ideality factor of 2 was obtained in the range of 1.8–2.7 V. The calculated SRH recombination current (J_{nr}) was fitted to the experimental result and $\tau_{SRH} = 91 \text{ ps}$ was obtained.

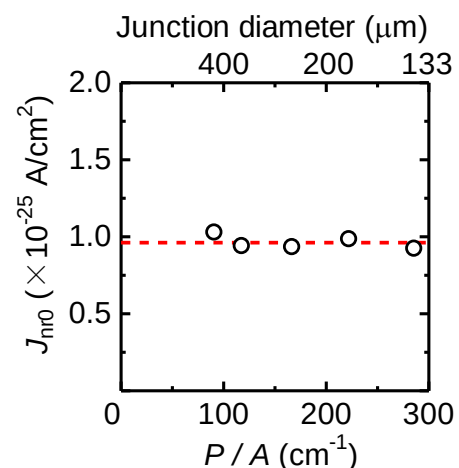


Fig.2. The extrapolated value to the vertical axis in $\ln(J) - V$ plot (J_{nr0}) as a function of perimeter-to-area ratio (P/A). J_{nr0} does not depend on P/A . Thus, the recombination current is a bulk component.