

# 電子線照射により窒素変位関連欠陥を選択的に導入した ホモエピタキシャル成長 GaN p-n 接合ダイオードの再結合電流解析 Characterization of recombination current in homoepitaxial GaN p-n junction diode with N atoms displacement-related defects introduced by electron beam irradiation

名大院工<sup>1</sup>, 名大未来研<sup>2</sup>, °遠藤慧<sup>1</sup>, 堀田昌宏<sup>1,2</sup>, 須田淳<sup>1,2</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Nagoya Univ. IMASS<sup>2</sup>, °Meguru Endo<sup>1</sup>, Masahiro Horita<sup>1,2</sup>, Jun Suda<sup>1,2</sup>

E-mail: endo.meguru.n8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

窒化ガリウム(GaN)デバイス作製プロセスにおいて GaN 結晶中に様々な点欠陥が導入され、デバイス特性に悪影響を及ぼすことから、点欠陥が形成する深い準位について理解することは重要である。これまでに我々は、電子線照射を用いて窒素(N)変位( $V_N$ ,  $N_i$ )関連欠陥を選択的に導入し、DLTS 測定により評価することで、N 原子変位関連欠陥により形成される伝導帯および価電子帯が 1 eV 以内の電子トラップおよび正孔トラップを報告してきた[1-3]。一方で、N 変位関連欠陥が再結合中心として働くかどうかを系統的に評価した報告はない。

再結合中心の評価手法の一つに、p-n 接合ダイオードの順方向 I-V 特性の(空乏層内)再結合電流成分の解析がある。再結合電流の電流軸切片  $J_{SRH,0}$  は再結合中心密度  $N_T$ 、および再結合レートが最大となる位置における電界強度  $E_0$  と  $J_{SRH,0} \propto N_T E_0^{-1}$  の関係にあることから、再結合電流成分の解析を行うことで支配的な再結合中心の評価が可能となる。本研究では、137 keV の電子線照射により N 変位関連欠陥のみを GaN 中に導入したホモエピタキシャル成長 GaN p<sup>+</sup>-n 接合および p-n<sup>+</sup> 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、n-GaN および p-GaN 中を流れる再結合電流について評価した。

実験には、n 型 GaN 自立基板上に MOVPE 法により成長した GaN p<sup>+</sup>-n 接合ダイオード(p 層 Mg 濃度  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , n 層 Si 濃度  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )および p-n<sup>+</sup>接合ダイオード(p 層 Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , n 層 Si 濃度  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )を用いた。p 層オーミック電極形成後、GaN 表面での照射エネルギーを 137 keV、フルエンスを  $4.7 \times 10^{15} \sim 4.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  とし、電子線照射を行った。Fig. 1 に各 p-n 接合ダイオードのフルエンス  $1.9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  で電子線照射を行った前後の室温における順方向 I-V 特性および n 値を示す。p<sup>+</sup>-n 接合および p-n<sup>+</sup>接合ダイオードともに約 2~2.5 V の範囲で  $n \sim 2$  であり、空乏層内での再結合電流が支配的であることが分かる。 $n \sim 2$  の領域において、電子線照射に伴い再結合電流が増大していることから、電子線照射によりに起因した再結合中心が生成されていることがわかる。Fig. 2 に、 $n = 2$  の領域から外挿して求めた電流軸切片  $J_{SRH,0}$  のフルエンス依存性を示す。電子線照射前後の p<sup>+</sup>-n 接合ダイオード(n-GaN)、p-n<sup>+</sup>接合ダイオード(p-GaN)の C-V 特性から得られた実効ドナー密度  $N_{d,net}$  および実効アクセプタ密度  $N_{a,net}$  の最大の変化量はそれぞれ 10% 以下、20% 以下であり、電界強度  $E_0$  のフルエンス増加に対する変化量は十分小さいとみなせることから、本解析においては  $J_{SRH,0} \propto N_T$  と表せる。 $J_{SRH,0}$  は、n-GaN、p-GaN ともに、フルエンスの増加にしたがってほぼ線形に増加している。すなわち、n-GaN および p-GaN において、支配的な再結合中心の密度がフルエンス増加に対して線形に増加している。これは  $V_N$  または  $N_i$  からなる欠陥が支配的再結合中心として働いていることを示唆している。以上より、GaN 中の N 変位関連欠陥は n 型および p 型のどちらでも再結合中心として働く欠陥を形成することがわかった。

[1] M. Horita, *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 0710 07 (2020). [2] M. Endo, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **120**, 142104 (2022).

[2] M. Endo, *et al.*, IWN2022, AT173 (2022).

【謝辞】本研究は、文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」JPI009777 の助成を受けたものです。

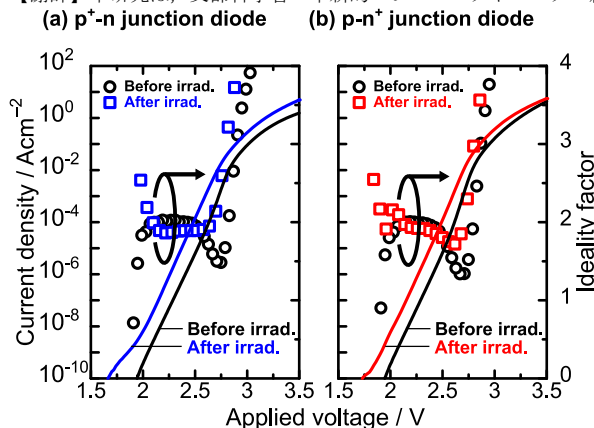


Fig. 1. Forward I-V characteristics of the GaN p-n junction diode at room temperature.

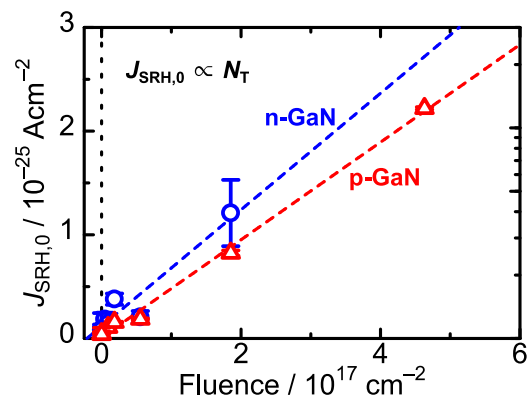


Fig. 2. The extrapolated value to the vertical axis in  $\ln(J) - V$  plots ( $J_{SRH,0}$ ) as a function of fluence of electron beam irradiation.