

n 型 GaN 中の正孔トラップ密度の定量評価に向けた サブバンドギャップ光照射時の正孔占有率の評価

Characterization of Hole Trap Occupancy Ratio under Sub-bandgap Light Irradiation for Accurate Evaluation of Hole Trap Concentration in n-Type GaN

○鐘ヶ江 一孝¹, 成田 哲生², 富田 一義², 加地 徹³, 堀田 昌宏¹, 木本 恒暢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)

○K. Kanegae¹, T. Narita², K. Tomita², T. Kachi³, M. Horita¹, T. Kimoto¹, J. Suda^{1,3,4}
(Kyoto Univ.¹, TOYOTA Central R&D Labs.², Nagoya Univ. IMASS³, Nagoya Univ.⁴)

E-mail: kanegae@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

MOVPE 成長したホモエピタキシャル成長 n 型 GaN 層中で支配的な補償アクセプタとして働く正孔トラップ H1 ($E_T = E_V + 0.87$ eV)の存在が報告されており、その起源は残留炭素と推定されている[1,2]。GaN 縦型パワーデバイスのさらなる高耐圧化のために、H1 トラップの低減手法の確立は重要である。そのために、成長条件などを系統的に変えた様々なホモエピタキシャル成長 n 型 GaN 層中の H1 トラップ密度($N_{T,H1}$)を正確に評価する必要がある。

我々は、 $N_{T,H1}$ の正確かつ簡易な評価手法の確立を目指し、Ni/n-GaN ショットキーバリアダイオード(SBD)に対して、光励起等温過渡容量分光法(光励起 ICTS)による評価を行ってきた[3]。我々の提案した光励起 ICTS 法は、サブバンドギャップ光を用いることで、空乏層中の H1 トラップを空間的に均一に光励起して、正孔占有状態にすることを特徴とする。光励起 ICTS 測定から $N_{T,H1}$ を求めるためには、光照射中の H1 トラップの正孔占有率(f_T)が必要だが、光励起 ICTS 法から実験的に f_T を求めることができないという問題があった。本研究では、GaN p⁺-n 接合ダイオード(PND)に対して電流注入 ICTS と光励起 ICTS の両方の測定を行い、それらの比較から光励起時の f_T の評価を行った。 f_T の温度依存性の評価から、任意の試料・測定条件に対する f_T の計算を可能にする電子と正孔に対する光イオン化断面積比(e_n^0/e_p^0)を求めることに成功したので報告する。

p⁺層 Mg 濃度 $3.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ・n 層 Si 濃度 $3.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のエピ層を持つ GaN PND を評価に用いた。電流注入・光励起 ICTS 測定は、一定温度(300~360 K)・一定バイアス電圧(V_{bias} : 1~-10 V)で行った。フィリングパルスとして電流注入 ICTS 測定では順バイアス電圧 3.5 V を 100 ms 印加し、光励起 ICTS 測定では波長 390 nm の励起光を十分な時間照射した。

Fig. 1 に 300 K における電流注入・光励起 ICTS 測定から得られた H1 トラップのピークを示す。放出時定数のアレニウスプロットから両測定とも同一のトラップを検出していることを確認している。 V_{bias} 依存性を考慮した電流注入 ICTS 測定から[4]、 $N_{T,H1} = 1.8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ を得た。また、光励起 ICTS 測定においても V_{bias} 依存性を考慮し、見かけの H1 トラップ密度($f_T N_{T,H1}$)を求めた。Fig. 2 に両者の比から得られた f_T の温度依存性を示す。各温度の ICTS 測定から求めた H1 トラップの正孔の熱的放出レート(e_p^0)を横軸にプロットして、光照射下におけるレート方程式より導かれる f_T のモデル式でフィッティング(図中破線)を行った結果、 $e_n^0/e_p^0 = 3$ を得ることができた。この値を用いることで、GaN SBD を用いた光励起 ICTS 測定において f_T を計算することができ、Ni/n-GaN SBD の光励起 ICTS のみで定量的な $N_{T,H1}$ の評価が可能となる。

【謝辞】本研究は文部科学省「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す。

[1] Y. Tokuda, *ECS Transaction*, **75**, (4) 39-49 (2016). [2] A. Y. Polyakov, et al., *Journal of Applied Physics*, **109**, 123701, (2011).

[3] 鐘ヶ江 他, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 14a-315-4, (2017). [4] K. Kanegae, et al., *Appl. Phys. Express*, **11**, 071002 (2018).

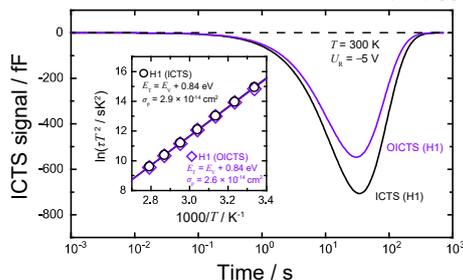


Fig. 1. ICTS peak of H1 trap (black solid line) and OICTS peak of H1 trap (violet solid line) obtained by curve fitting of ICTS data. The inset shows Arrhenius plots of the emission time constants for H1 trap obtained from ICTS and OICTS.

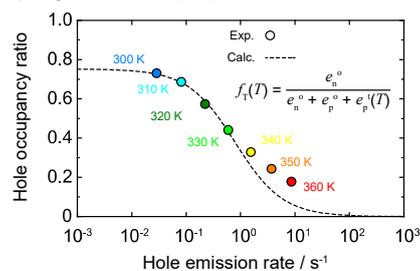


Fig. 2. Dependence of hole occupancy ratio on the hole thermal emission rate. From the curve fitting, the ratio of photoexcitation rates of electron and hole $e_n^0/e_p^0 = 3$ was estimated.