

GaN ホモエピ膜の TR-PL 信号における遅い時定数成分に対する数値解析

Analyses for slow decay components in TR-PL signals from GaN homoepitaxial layers

名工大¹, 豊田中研², 名大³ ○加藤 正史^{1,3}, (M1)浅田 貴斗¹, 伊藤 健治², 富田 一義², 成田 哲生², 加地 徹³

NItech¹, Toyota Central R&D Labs.², Nagoya Univ.³, °Masashi Kato^{1,3}, Takato Asada¹, Kenji Ito²,

Kazuyoshi Tomita², Tetsuo Narita², Tetsu Kachi³

E-mail: kato.masashi@nitech.ac.jp

GaN ホモエピ膜はパワーデバイスのドリフト層としての利用が期待されており、その品質評価は重要である。我々は時間分解フォトルミネッセンス(TR-PL)法とマイクロ波光導電減衰(μ -PCD)法により n 型 GaN ホモエピ膜を評価してきている。本発表においては TR-PL 信号での遅い時定数成分に対して、深い準位の捕獲・放出の速度方程式を用いた数値解析結果を報告する。

解析モデルは、ドナー濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ を有する n 型 GaN に対して、再結合中心 (エネルギー準位 $E_R = E_V + 1.7 \text{ eV}$ および電子捕獲断面積 $\sigma_n =$ 正孔捕獲断面積 $\sigma_p = 10^{-15} \text{ cm}^2$) と、正孔トラップの 2 つの準位を導入したものである。ここで再結合中心は特定の準位を模したわけではなく、すべての再結合成分をまとめたものとして設定しており、その濃度 N_R はパラメータとした。一方、正孔トラップには炭素との関連が示唆されている H1 を参考にし[1]、エネルギー準位 $E_T = E_V + 0.88 \text{ eV}$ 、 $\sigma_p = 2 \times 10^{-13} \text{ cm}^2$ および濃度 N_T をエピ中の炭素濃度に近い $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ とした。そして、励起されたキャリア (濃度 $\Delta n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) のそれらの準位への捕獲・放出による、伝導帯中の電子濃度 n と価電子帯中の正孔濃度 p の時間変化を計算し、 n と p から見積もられる TR-PL 信号 ($\propto n \cdot p$) を出力した。Fig. 1 に解析モデルのバンド表現による模式図を示す。正孔がトラップされている間、励起された電子が再結合する相手がいないため、伝導帯に残り続け、遅い減衰が起こるといふモデルである。

Fig. 2 に TR-PL 信号の遅い減衰時定数の温度依存性の実験値と[2]、解析による計算値を示す。実験値は $1000/T = 2.2$ (450 K) 程から温度とともに減少しており、計算値も N_R に若干依存するものの実験値とはほぼ同じ温度から減少した。また、450 K 以下の時定数 ($\sim 220 \mu\text{s}$) を再現する σ_n は $3 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$ となり既報値 $1.4 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$ に近いものとなった[3]。したがって、TR-PL 信号の遅い減衰は H1 のような正孔トラップを有するモデルにより再現でき、450K 以下の減衰は正孔トラップへの電子捕獲により律速されている可能性が高いことがわかった。

本研究は「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」(文部科学省)からの委託を受けたプロジェクトの一環として行われています。

[1] Y. Tokuda, ECS Transactions **75**, 39 (2016). [2] 浅田 他、本講演会にて発表。[3] A.Y. Polyakov et al., J. Alloys Compd. **686**, 1044 (2016).

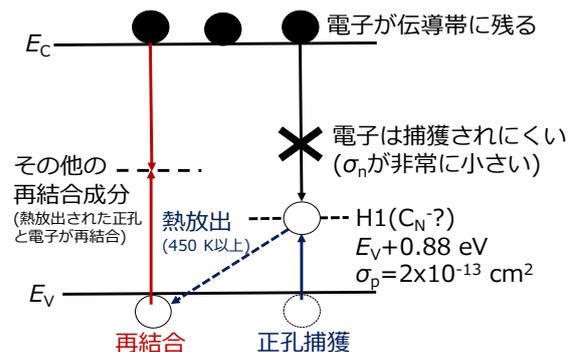


Fig. 1. Schematic of the analysis model by the energy band representation.

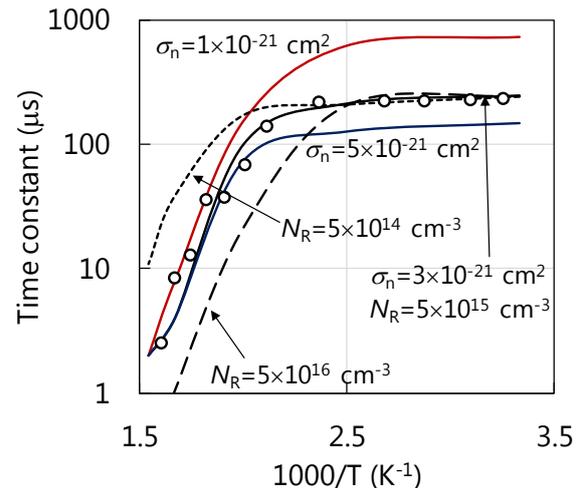


Fig. 2. Temperature dependence of time constants of the slow decay in TR-PL signals. The symbols are experimental values, while the lines are from the calculation. The black solid line is calculated by $N_R = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and $\sigma_n = 3 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$ for the hole trap, and the others are calculated by different N_R and σ_n .