

2色のサブバンドギャップ光を用いた過渡容量分光法による n 型 GaN 成長層中の炭素関連欠陥密度の高速定量手法

Quick measurement method for carbon-related defect density in n-type GaN layer
by dual-color-sub-bandgap-light-excited isothermal capacitance transient spectroscopy

○鐘ヶ江一孝^{1,4}, 成田哲生², 富田一義², 加地徹³, 堀田昌宏^{1,3,4}, 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. Horita^{1,3,4}, T. Kimoto¹, and 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 n 型 GaN 中で支配的な深い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、残留炭素が窒素サイトを置換した点欠陥 $C_N(0/-)$ と推定されている[1,2,3]。我々はこれまで、サブバンドギャップ光を励起光に用いた光等温過渡容量分光法(sub- E_g 光 ICTS)により、n 型 GaN 中の H1 トラップ密度を正確に求める手法を提案してきた[4]。この方法では、Fig. 1(a)のように短波長の紫外光照射により H1 トラップの電子を光励起し、H1 トラップを正孔占有状態とする。その後、紫外光を遮断し、Fig. 1(b)のように正孔占有状態となった H1 トラップから正孔が価電子帯へ熱的に放出される際の接合容量の過渡変化を測定する。しかし、H1 トラップの正孔の熱的放出時定数は室温で 30 s と大きいと、測定に長い時間を要するという問題があった。本研究では、Fig. 1(c)のように、容量過渡変化の測定中に別の適切な長波長の光照射を行い、正孔の熱的放出に加えて光励起を生じさせることで、H1 トラップ密度(N_T)の測定精度を保ったまま、測定時間の大幅な短縮を試みたので報告する。

GaN 基板上に MOVPE 成長した Si 濃度 $3.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の n 型 GaN 表面に Ni ショットキー電極を形成した。我々が提案した sub- E_g 光 ICTS から、 N_T は $2.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ と求まっている[4]。また、SIMS から得られた C 濃度が $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であることから、この n 型 GaN 中の H1 トラップの起源は $C_N(0/-)$ であると考えられる。本研究では、正孔占有化のために短波長光(390 nm)を、正孔の放出のために長波長光(660 nm)を用いた 2 波長 sub- E_g 光 ICTS を 300 K で行った。

Fig. 2 に 300 K における通常の sub- E_g 光 ICTS と 2 波長 sub- E_g 光 ICTS のスペクトルを示す。スペクトルから、正孔の熱的放出時定数 33 s と、光励起と熱的放出による正孔の放出時定数 1.5 s が得られた。正孔の光励起により、300 K での H1 トラップの検出に要する時間を 1/10 以下に短縮できた。2 波長 sub- E_g 光 ICTS から得られた H1 トラップ密度に対して、通常の sub- E_g 光 ICTS と同様に空乏層端補正と正孔占有率を考慮することで[4]、 $N_T = 2.2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ が得られた。この値は、通常の sub- E_g 光 ICTS から求めた N_T や C 濃度と良い一致を示し、2 波長 sub- E_g 光 ICTS においても、正確に N_T を求めることができることが確認された。

本研究では、2 波長 sub- E_g 光 ICTS による H1 トラップの測定を行った。通常の sub- E_g 光 ICTS に対して、トラップ密度の精度を維持しつつ、測定時間を 1/10 以下に短縮することに成功した。この高速評価手法は、n 型 GaN 中の H1 トラップ密度のウェハマッピング測定に有用であり、GaN ウェハの品質管理、成長条件の改善に大きく貢献できる。

【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] J. L. Lyons, et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 152108 (2010). [4] K. Kanegae, et al., *IWN 2018* (Kanazawa, Japan), CR-16-1.

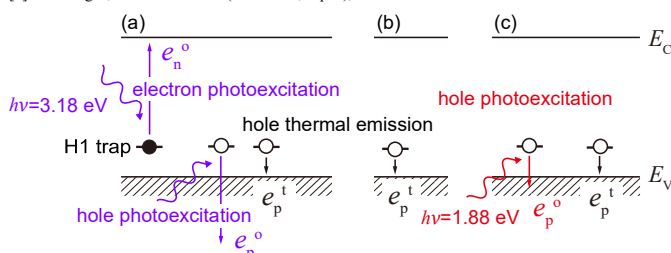


Fig. 1. Band diagram of the H1 trap in n-type GaN during (a) filling pulse period and measurement period in (b) standard and (c) dual-color-sub- E_g -light ICTS, respectively.

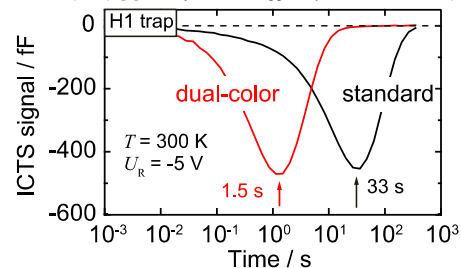


Fig. 2. Sub- E_g -light ICTS spectra at $U_R = -5$ V and 300 K. The black solid line is spectrum of standard method. The red solid line is spectrum of dual-color method.