Quartz-free-HVPE 成長 n 型 GaN 層における補償アクセプタの起源解明

Identification of a compensating acceptor in quartz-free-HVPE grown n-type GaN layers ^O鐘ヶ江 一孝¹,藤倉 序章²,乙木 洋平²,今野 泰一郎²,吉田 丈洋²,堀田 昌宏^{1,3,4}, 本本 恒暢¹,須田 淳^{1,3,4}

(京大院工¹, SCIOCS², 名大未来材料・システム研究所³, 名大院工⁴)

°K. Kanegae¹, H. Fujikura², Y. Otoki², T. Konno², T. Yoshida², M. Horita^{1,3,4}, T. Kimoto¹, and J. Suda^{1,3,4} (Kyoto Univ.¹, SCIOCS Co., Ltd.², Nagoya Univ. IMaSS³, Nagoya Univ.⁴) E-mail: kanegae@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

GaN 縦型パワーデバイスの作製には低ドープかつ低トラップ密度の GaN ドリフト層のエピタ キシャル成長技術が必要となる。これまで MOVPE 法による研究が精力的に行われてきたが、新 たな選択肢として、quartz-free-HVPE (QF-HVPE)法が藤倉らにより提案された¹⁾。100 µm/h 以上の 高速成長が可能な QF-HVPE 法は、原材料に炭素を含まないため、ドナーを補償する深いアクセプ $タ[C_N(-/0)]^{2)}$ の大幅な低減が期待されるが、深い準位に関する系統的な研究の報告はない。今回、 低ドープ QF-HVPE 成長 n 型 GaN 層中の不純物と深い準位の密度を詳しく調べたので報告する。

HVPE 成長 n⁺型 GaN 自立基板上に、異なる条件で QF-HVPE 成長した Si ドープ n 型 GaN 層 (sample A~E)を評価した。Si 濃度([Si])を depth profile mode SIMS で、O と C 濃度([O]・[C])を高感 度な raster change mode SIMS で測定した。[Si]は 10^{15} cm⁻³ 台で制御され、深さ方向に均一に分布し ていた。また、石英フリーにしたことで、[O]は検出限界(5× 10^{14} cm⁻³)以下であった。装置や成長 条件の改良により、[C]は 10^{14} cm⁻³ 台に低減されていることが確認された。これらの試料に Ni ショットキー電極を形成し、*C-V* 測定から実効ドナー密度($N_{d,net}$)を求めた。電圧パルスと光パルス (390 nm)を用いた DLTS と ICTS を行い、トラップの種類と密度を評価した。

電子トラップとして、E1 (0.22 eV)、E3 (0.60 eV)、E_{f1} (0.71 eV)が検出された。E1、E3 は MOVPE 成長 n 型 GaN 層で³⁾、E_{f1} は従来の HVPE 成長 n 型 GaN 層で⁴⁾報告されている。これらの中で、 E3 トラップが支配的であったが、その密度は $N_{d,net}$ の 1/10 程度と小さかった。正孔トラップとし て、H1 (0.87 eV)、H2 (0.38 eV)、H3 (0.38 eV)、H_{f1} (0.44 eV)、H_{f2} (0.55 eV)、H_{f3} (0.66 eV)、H5、H6 が検出された。H1、H2、H3 は MOVPE 成長 n 型 GaN 層で³⁾、H_{f1}、H_{f2}、H_{f3}、H5、H6 は従来の HVPE 成長 n 型 GaN 層で^{4,5)}報告されている。これら電子および正孔トラップの中で、H1 トラッ プが最も支配的に検出された。我々が提案した H1 トラップ密度($N_{T,H1}$)の定量評価を実施し⁶、[C] と比較した結果を Fig. 1 に示す。 $N_{T,H1}$ は[C]とよく一致しており、我々の QF-HVPE 成長 n 型 GaN において、H1 トラップが C_N (-/0)であることが示された。また、Fig. 2 に、 $N_{d,net}$ と[Si] - [C]の相関 関係を示す。両者は一致しており、今回調べた 10¹⁵ cm⁻³ 台の QF-HVPE 成長 n 型 GaN では、Si ド ナーを補償するアクセプタは H1 トラップ(C_N)でほぼすべて説明できることが明らかになった。

1) H. Fujikura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 56, 085503 (2017). 2) J. L. Lyons et al., Appl. Phys. Lett. 97, 152108 (2010). 3) Y. Tokuda, ECS Trans. 75, 39 (2016). 4) I.-H. Lee et al., J. Vac. Sci. Technol. B 30, 021205-1 (2012). 5) A. Y. Polyakov et al., Am. J. Appl. Sci. 11, 1714 (2014). 6) K. Kanegae et al., IWN CR-16-1 (2018).



Fig. 1. Relationship between the carbon and H1 trap concentrations.



Fig. 2 Relationship between the silicon compensated by carbon concentration and net donor concentration.