

GaN pn 接合の容量過渡分光法においてフィリングパルス 0 V 印加にもかかわらず観測される少数キャリアシグナルの起源

Origin of minority carrier signal observed in capacitance transient spectroscopy of GaN pn junction diodes applying a filling pulse of 0 V.

○清水威杜¹, 大橋拓斗¹, 富田一義², 堀田昌宏^{1,2}, 須田淳^{1,2} (1名大院工, 2名大 IMASS)

○Taketo Shimizu¹, Takuto Ohashi¹, Kazuyoshi Tomita², Masahiro Horita^{1,2}, Jun Suda^{1,2}
(1 Nagoya Univ., 2 IMASS Nagoya Univ.)

E-mail: shimizu.taketo.z2@s.mail.nagoya-u.ac.jp

窒化ガリウム(GaN)は次世代パワーデバイス材料として期待されている。高品質な GaN デバイス実現を目指すうえで、デバイス作製プロセス中に意図せず導入される様々な点欠陥が課題である。これらの点欠陥はバンドギャップ中に深い準位を形成するため、キャリア補償や移動度の低下など、デバイス特性に悪影響を及ぼす。したがって、形成される準位の理解とその起源解明は必要不可欠である。多くの先行研究では GaN 中点欠陥準位の評価方法として容量過渡分光法(DLTS)が用いられ、様々な点欠陥準位が報告されている^[1]。DLTS では、pn 接合やショットキー接合に対してフィリングパルス(V_p)を印加することで深い準位にキャリアを捕獲させ、続けて逆バイアス (V_r) を印加しキャリアを放出させる。そして、放出における空乏層容量の過渡変化を解析することで、深い準位の密度、活性化エネルギー及び捕獲断面積を算出することができる。pn 接合において V_p がゼロあるいは負の場合は多数キャリアトラップ(正のピーク)のみが観測されるため、少数キャリアトラップ (負のピーク)を観測するためには V_p を正にして少数キャリア注入を行う必要がある。しかし、GaN pn 接合を用いた等温容量過渡分光法(ICTS)において、 $V_p = 0$ V, $V_r = -5$ V の条件下にもかかわらず負のピークが観測された。本研究では、この負のピークが観測されるメカニズムとその起源を、TCAD シミュレーションを用いて検討したので報告する。

n^+ 型 GaN 自立基板上に MOVPE 法により n -型 GaN 層を $3 \mu\text{m}$ 、 p^+ 型 GaN 層を $0.1 \mu\text{m}$ 成長させた pn 接合ダイオードを用いた。室温における $V_p = 0$ V, $V_r = -5$ V の ICTS 測定結果を Fig.1 に示す。この条件では、 n -層において多数キャリアである電子がトラップから放出されることで、正のピークが観測されるはずであるが、実際には負のピークが観測された。TCAD シミュレーションによる pn 接合界面付近のバンド図を Fig.2 に示す。SIMS 測定から得られた Si, Mg, C 濃度から $N_D = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, C_N を起源とするホールトラップ H1 を $E_V + 0.87 \text{ eV}$, $N_{H1} = 6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ として計算した。 $V_p = 0$ V 印加時のバンド図(a)では、 L_p 以下の領域においてフェルミ準位(E_f)よりも H1 の準位の方が高く、 n 層側の空乏層中で H1 が正孔捕獲状態となる。次に、 $V_r = -5$ V 印加時のバンド図(b)では、 L_r までは正孔が捕獲されたままであるが、正孔の疑フェルミ準位(E_{fp})との位置関係から $L_r \sim L_p$ の領域で H1 に捕獲されていた正孔は放出される。つまり、pn 接合界面近傍のわずかな領域の n 層中において、意図せず正孔の捕獲と放出が発生し、空乏層容量が過渡的に減少したため、ICTS シグナルでは負のピークが観測されたと考えられる。この負のピークの温度特性より得られたアレニウスプロットから、活性化エネルギー E_T と捕獲断面積 σ_p はそれぞれ、 $E_T = 0.73 \text{ eV}$ と $\sigma_p = 5.3 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ であることが分かった。これは先行研究の H1 の値とおおむね一致する^[1]。また、SIMS 結果から得られた C 濃度を用いたシミュレーションから容量変化量 ΔC を算出すると $\Delta C = -167 \text{ fF}$ であり、ICTS 測定から得られた負のピークの強度 ($\Delta C = -25 \text{ fF}$)と同程度の値を得られたことから、本研究で観測された負のピークの起源は pn 接合界面近傍の H1 トラップ(C_N)と考えている。

【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 JPJ009777 の助成を受けたものです。

[1] Yutaka Tokuda, *ECS Trans.* **75**, 39, (2016)

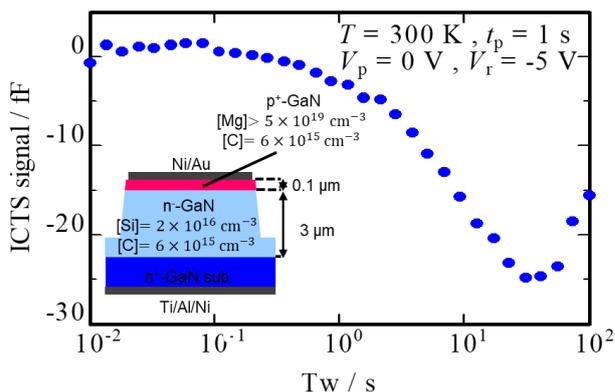


Fig.1 Structure of GaN p^+n^- diodes and ICTS signal at 300 K.

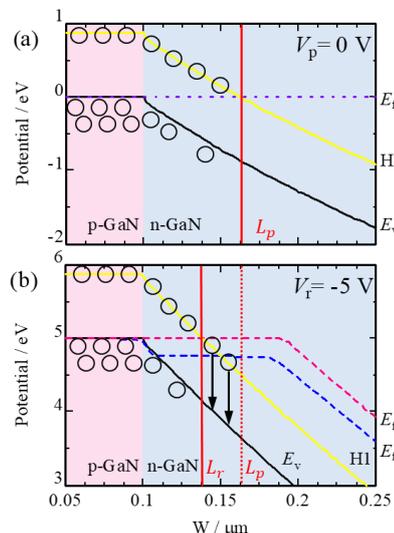


Fig.2 Band diagram at $V_p = 0$ V (a) and $V_r = -5$ V (b) calculated by TCAD simulation.