

SiO₂/GaN MOS デバイスにおける 水素ガスアニール起因の異常な固定電荷生成の理解 Unusual Fixed-Charge Generation due to Forming Gas Annealing in SiO₂/GaN MOS Devices

阪大院工¹ ○溝端 秀聡¹, 和田 悠平¹, 加賀 三志郎¹, 野崎 幹人¹,
細井 卓治¹, 志村 考功¹, 渡部 平司¹

Osaka Univ.¹, °Hidetoshi Mizobata¹, Yuhei Wada¹, Sanshiro Kaga¹, Mikito Nozaki¹,
Takuji Hosoi¹, Takayoshi Shimura¹, and Heiji Watanabe¹

E-mail: mizobata@mls.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】GaN MOSFET は、従来の Si パワーデバイスに比べて高出力かつ高温動作可能な次世代スイッチング素子として期待されている。我々は、極薄 GaO_x 界面層を有する SiO₂/GaO_x/GaN 構造に熱酸化処理を施すことにより、高品質な MOS 構造が実現できることを報告してきた[1]。一方、同様の MOS 構造に水素ガスアニール (Forming Gas Annealing: FGA) を施すと、フラットバンド電圧 (V_{FB}) が負バイアス側へ大きくシフトすることも以前報告しているが[2]、その物理的起源についてはわかっていない。そこで本研究では、FGA を施した GaN MOS 構造中の固定電荷分布を評価するとともに、大気中での電極形成後熱処理 (PMA) の効果についても検証した。

【実験方法と結果】Si 添加 n-GaN エピ層 (Si 濃度: $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) をもつ自立 GaN 基板を試料基板として用いた。50% HF で洗浄後、TEOS/O₂-PECVD により SiO₂ 層 (膜厚~100 nm) を成膜した。このとき、熱酸化処理による SiO₂ 中への Ga 拡散を抑制するため、初期の SiO₂ 層 (膜厚~5 nm) は、窒素添加雰囲気中で成膜した[1]。その後、大気圧 O₂ 雰囲気中で、800°C, 30 min の熱酸化処理を施し、さらに、400°C, 30 min で FGA (3% H₂/N₂) を行った。最後に、Ni ゲート電極を形成し、SiO₂/GaN MOS 構造を作製した。図 1 に、FGA 処理していない試料 (黒線, w/o) と FGA 処理した試料 (赤線, w/ FGA) の双方向 C-V カーブを示す。先の報告と同様、FGA を行うことで V_{FB} は負バイアス方向へ大きくシフトした。これは、SiO₂ 膜中または SiO₂/GaN 界面に正電荷が存在することを示唆する。次に、この電荷の分布について調べるため、FGA 後の SiO₂ 膜を傾斜エッチングした後、様々な酸化膜厚をもつ MOS 構造に対して C-V 測定を行い、V_{FB} および容量等価膜厚 (CET) を求めた結果を図 2 に示す。データは直線によくフィッティングできたことから、V_{FB} シフトの要因となる正電荷は SiO₂/GaN 界面に局在していることがわかり、また、その固定電荷密度は $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ となった。Si 基板において同様の方法で作製した MOS 構造では、このような異常な V_{FB} の負方向シフトは見られなかったことから、FG 中の H₂ が GaN または GaO_x と反応することで生じる欠陥が界面の固定電荷の起源として考えられる。一方、絶縁膜/GaN 界面の欠陥が PMA により回復することが報告されている[3]。そこで、FGA 処理した MOS キャパシタに大気中 300°C, 30 min で PMA を行ったところ、正方向の V_{FB} シフトが見られた (図 1 中の青線, w/ FGA+PMA)。さらに、C-V カーブの傾きも急峻になっていることから、FGA により形成された SiO₂/GaN 界面の欠陥が、PMA により一部回復したと考えられる。

【謝辞】本研究は、科研費 (19H00767) の助成および文部科学省「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ある。

【参考文献】[1] T. Yamada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCD06 (2019). [2] 山田他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9a-M121-4 (2019). [3] T. Hashizume *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 124102 (2018).

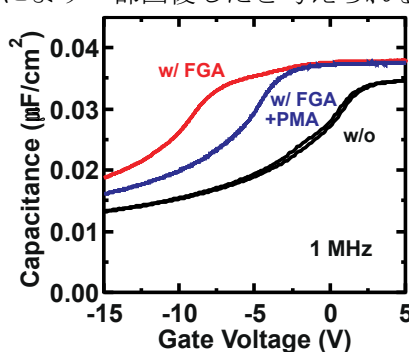


Fig. 1 Bidirectional C-V curves of SiO₂/GaN MOS capacitors without (black) and with FGA (red), and with PMA after FGA (blue).

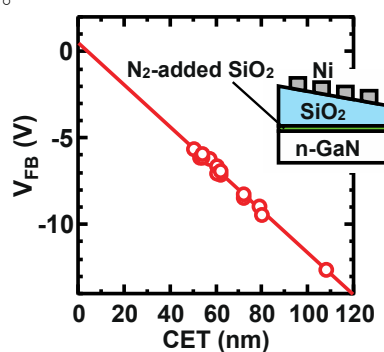


Fig. 2 Relationship between V_{FB} and CET of SiO₂/GaN MOS capacitors with FGA. The V_{FB} vs. CET plots are fitted well with a linear line.