

SiO₂/p-GaN 界面の熱酸化過程の放射光 XPS 分析Synchrotron Radiation XPS Study of Thermal Oxidation of SiO₂/p-GaN Interface

阪大院工¹, 産総研², 原子力機構³, ○(P)山田 高寛¹, (M2)寺島 大貴¹, 野崎 幹人¹
山田 永², 高橋 言諸², 清水 三聡², 吉越 章隆³, 細井 卓治¹, 志村 考功¹, 渡部 平司¹

Osaka Univ.¹, AIST², JAEA³ ○Takahiro Yamada¹, Daiki Terashima¹, Mikito Nozaki¹,

Hisashi Yamada², Tokio Takahashi², Mitsuaki Shimizu², Akitaka Yoshigoe³,

Takuji Hosoi¹, Takayoshi Shimura¹, and Heiji Watanabe¹

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

【はじめに】MOS 型 GaN パワーデバイスの実現には、高品質な絶縁膜/GaN 界面が必要である。これまで我々は n 型 GaN (n-GaN) 表面の熱酸化について詳細な検討を行い[1]、800°C で熱酸化を施した SiO₂/GaO_x/n-GaN 積層構造において、伝導帯近傍の界面準位密度が 10¹¹ cm⁻²eV⁻¹ 台以下に減少することを報告してきた[2]。一方、p 型 GaN (p-GaN) 表面の熱酸化に関する報告はほとんどなく、詳細な酸化過程はまだ明らかになっていない。また、第一原理計算による理論予測から、p-GaN 表面は n-GaN に比べて酸化しにくいことが指摘されている[3]。そこで本研究では SiO₂/p-GaN 界面の熱酸化過程を放射光 XPS 分析によって調べた。

【実験方法と結果】n-GaN 自立基板上に p-GaN エピ層 (Mg 濃度: 約 1×10¹⁹ cm⁻³) を成長した試料を 5% HCl 溶液で洗浄した後、TEOS-PECVD により SiO₂ 層 20 nm を成膜した。成膜条件は、RF 電力 30 W、TEOS/O₂ 流量 0.5/250 sccm、成膜圧力 79 Pa、基板温度 370°C である。その後、O₂ (流量 1 L/min) 雰囲気中 500~1000°C の範囲で 30 分間の熱酸化処理を施した。図 1 に SiO₂/p-GaN 試料の SiO₂ 膜厚を約 2 nm まで薄層化し、hv = 1253.6 eV の放射光 XPS により取得した Ga 2p_{3/2} スペクトルを示す。比較のため、洗浄後の p-GaN 表面から取得したスペクトルも示している。結合エネルギー (BE) は N 1s ピークで較正し、Ga-N (青線) と Ga-O (赤線) 結合成分を用いて行ったピーク分離の結果も示す。ここで、1000°C 酸化試料の BE 較正は O 1s ピークも用いて行った。洗浄後の p-GaN 表面から取得したスペクトルはほぼ対称な形状を示し、GaN 基板由来の Ga-N 成分 (約 1118.3 eV) が支配的である。一方、SiO₂ 成膜直後の as-depo. 試料では Ga-O 成分の増加が確認された。これは SiO₂ 成膜初期の O₂ プラズマ照射によって p-GaN 表面が酸化されたためであり、SiO₂/GaO_x/p-GaN 積層構造が形成されたこと示している。この積層構造に対して熱酸化処理を施すと、Ga 2p_{3/2} スペクトルは徐々に高 BE 側へシフトし、1000°C 酸化した試料ではほぼ Ga-O 成分 (約 1119 eV) から成ることがわかった。この Ga-N と Ga-O 成分間の BE 差は約 0.7 eV と見積もられ、n-GaN の場合 (約 0.4 eV) と比べて大きなケミカルシフトを示した。この両成分の面積強度比 Ga-O/Ga-N の熱酸化温度依存性を図 2 に示す。比較のため、n-GaN 試料の結果も示した。酸化温度の上昇とともに、p-GaN 試料の Ga-O/Ga-N 強度比は 800°C までほぼ酸化が進行せず、n-GaN の結果と比べても酸化成分が少ないことがわかった。一方、850°C 以上では Ga-O/Ga-N 強度比の顕著な増加が確認され、p-GaN 表面の酸化が進行したことがわかった。しかしながら、その増加傾向は非常に緩やかであり、p-GaN 表面の酸化反応は n-GaN と比べて明らかに遅いことがわかった。

【謝辞】本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代パワーエレクトロニクス」(管理人: NEDO) によって実施されました。また放射光 XPS 分析は JAEA の支援 (Proposal No. 2018A3833) を受け、SPring-8 BL23SU で実施しました。

【参考文献】 [1] T. Yamada *et al.*, J. Appl. Phys. **121**, 035303 (2017). [2] T. Yamada *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 015701 (2018). [3] K. Chokawa *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 031002 (2018).

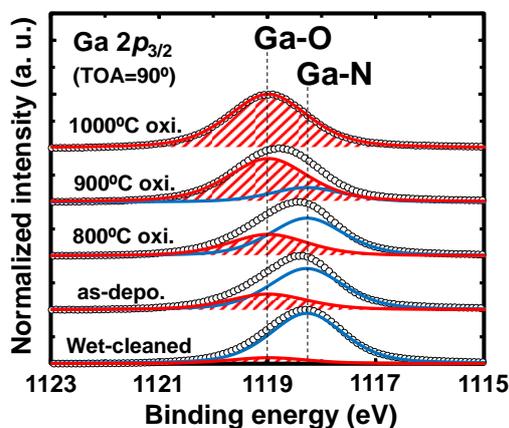


FIG. 1. Ga 2p_{3/2} core-level spectra obtained from SiO₂/GaO_x/p-GaN stacked samples without and with thermal oxidation at temperatures from 800 to 1000°C for 30 min. The spectrum for a reference wet-cleaned p-GaN surface is also shown. Results of peak deconvolution with Ga-N and Ga-O components are indicated by the blue and red lines, respectively.

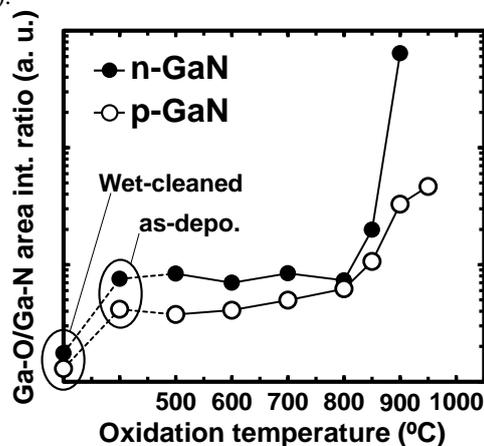


FIG. 2. Change in the area-intensity ratio between Ga-O and Ga-N (Ga-O/Ga-N) components in Ga 2p_{3/2} core-level spectra of p-GaN and n-GaN samples as a function of oxidation temperature. The results from the wet-cleaned GaN surfaces and as-deposited samples are also shown.