光電子ホログラフィーによる Al₂O₃/GaN 界面 GaO_x 層の評価 Analysis of GaO_x Layer at Al₂O₃/GaN Interface using Photoelectron Holography 奈良先端大¹, 桑原田 進吾¹, 上沼 睦典¹, 富田 広人¹, 田中 晶貴¹, 孫 澤旭¹, 橋本 由介¹, 松下 智裕¹, 浦岡 行治¹

NAIST¹, S. Kuwaharada¹, M. Uenuma¹, H. Tomita¹, M. Tanaka¹, Z. Sun¹, Y. Hashimoto¹, T. Matsushita¹, Y. Uraoka¹ E-mail: kuwaharada.shingo.kn4@ms.naist.jp, uemuma@ms.naist.jp

- 1. 背景・目的 GaN パワーデバイスを実現するうえで、ゲート絶縁膜/GaN 界面の品質はデバイスの 移動度や閾値電圧の安定性に直接関係するため重要である。GaN の場合、ゲート絶縁膜には必ず堆積 膜が必要となるため、界面にはさまざまなプロセスダメージによる原子配置の乱れや不純物欠陥が考 えられる。特に、GaN 表面の GaOx 層は、その存在が D_{it}の低減に寄与している可能性があること[1] や水素含有ガス中でのアニールによる GaOx 層と水素の反応に伴う異常界面固定電荷の生成[2]、SiO₂ /p-GaN 界面の窒素を酸素が置換することでトラップされるホールが放出されにくくなる可能性があ る[3]などが報告されている。また、GaN 基板の最表面に存在する自然酸化膜については、β-Ga₂O₃[4] と同様の構造を含んでいることが報告されているが、アモルファス構造なども考えられるため、詳細 な構造を解明する必要がある。一方、近年、放射光を利用した光電子ホログラフィーが利用できるよ うになった。光電子ホログラフィーは、特定の原子周辺の局所立体構造を観測する手法であり、表面・ 界面の原子構造を 3 次元的に解析することが可能である[5, 6]。そこで、本研究では Al₂O₃/GaN 界面 の GaOx 層の局所構造を光電子ホログラフィーによって測定した。
- <u>2. 実験方法</u> n-GaN エピ層(Si 濃度:4×10¹⁶cm⁻³)を持つ自立 GaN 基板(C面)に ALD により Al₂O₃ 膜を 堆積させた後、HF により 1 nm 以下まで薄膜化した。この試料について、SPring-8 の BL25SU に設置 してある高分解能阻止電場型電子エネルギー分析装置(RFA)により Ga3d および N2s, O1s の光電子ホ ログラフィーを測定した。
- **3. 結果・考察** 図1のように *E*_K=700 eV 付近に Ga3d の Ga-N 結合および Ga-O 結合に起因するピークがあり、*E*_K=704 eV 付近に N2s の N-Ga 結合に起因する N2s のピークがみられる。それらを3つの ピークに分離し、光電子ホログラムを解析した。図2に示すように、得られた Ga-O 結合の光電子ホ ログラムは、Ga-N 結合や N2s の N-Ga 結合の強度分布とは明らかに異なっており、原子構造が異な っていることがわかる。また、Ga-O のホログラムパターンから、Ga-O 結合をしている Ga 原子の直 上に酸素原子が存在していることが考えられる。一方、O1s の光電子ホログラムは、明確なパターン が観測されなかったため、GaOx 層の大部分はアモルファスであることが示唆される。



[1] T. Yamada, et al., APL 110, 261603 (2017). [2] H. Mizobata et al., APEX 13 081001(2020) [3] 辻英徳 他、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021) 23a-P10-11 [4] J. Houston Dycus, et al., ACS Appl.Mater.Interfaces 10,10607-10611(2018) [5] J.J.Barton, et al., Phys.Rev.Lett., 61,1356(1988). [6] 田中晶 貴、松下智裕 他, 日本物理学会 2021 年秋季大会