ALD-Al₂O₃の膜質が Al₂O₃/AlGaN/GaN MIS 構造の電気的特性に及ぼす影響 Effect of ALD-Al₂O₃ film quality on electrical properties of Al₂O₃/AlGaN/GaN MIS structures 奈良先端大¹, 三菱電機(株)², ⁰柴田 匠哉¹, 上沼 睦典¹, 山田 高寛², 西村 邦彦², 吉嗣 晃治², 浦岡 行治¹ NAIST¹, Mitsubishi Electric Corp.², ⁰Takuya Shibata¹, Mutsunori Uenuma¹, Takahiro Yamada², Kunihiko Nishimura², Koji Yoshitsugu², Yukiharu Uraoka¹

E-mail: shibata.takuya.sn5@ms.naist.jp , uenuma@ms.naist.jp

- 背景・目的 AlGaN を用いた MIS デバイスを作製する際、堆積により高品質なゲート絶縁膜および界面を 形成する必要がある。ALD で Al₂O₃ を成膜する際には、Al 原料ガス としては TMA (trimethylaluminum, Al(CH₃)₃)が一般的である。しかし、ALD プロセスにおいては、目的の生成物への原料ガス由来不純物混入 の問題が課題となる。そこで、我々は、メチル基が一つ水素で置換された DMAH (dimethylaluminum hydride, Al(CH₃)₂H)に注目している。Al₂O₃ 中の炭素濃度低減可能であり、これまでに、Si や GaN MOS 構造にお いて DMAH を用いることでデバイスの界面準位密度 (D_{it})が大幅に改善されることを報告してきた[1-4]。 本研究では、ALD による Al₂O₃ 成膜時の成膜条件により、膜中炭素濃度が硬 X 線光電子分光法 (HAXPES) のスペクトルに与える影響について評価し、膜中炭素濃度と膜中固定電荷と相関を明らかにした。
- 2. 実験方法 n型 Si 基板および AlGaN/GaN 基板に ALD を用いて Al₂O₃ を成膜した。ALD 成膜時の原料ガス(TMA, DMAH)・酸化剤(O₃, H₂O)・成膜温度(150°C, 225°C, 300°C)条件をそれぞれ変更し、成膜した。HAXPES 測定を行う試料には測定時の帯電防止のため、表面に Os をコーティングした。HAXPES による厚膜分析により膜中固定電荷や Al 原子及び酸素原子の結合状態及び基板の表面酸化状態を評価した。HAXPES の測定には SPring-8 の BL16XU を利用し、各試料の Os3d_{5/2},Si1s,Al1sO1s のスペクトルを測定した。また膜中炭素不純物については D-SIMS を用いて炭素の定量評価を行った。
- 3. 結果・考察 HAXPES により測定した、Al₂O₃/Si 試料の Al1s スペクトルの半値幅(FWHM)の温度依存性 であり、成膜温度の上昇につれて半値幅が大きくなる傾向がみられた(Fig.1)。成膜原料に DMAH を用いた 場合では TMA を用いた場合より、半値幅が大きくなる傾向がみられる。酸化剤については H₂O を用いた 場合では O₃を用いた場合より、半値幅が大きくなる傾向がみられる。この傾向は Al₂O₃/AlGaN/GaN 試料 に対しても同様の傾向がみられている。

この半値幅の変化は Al1s 結合状態による変化ではなく、Al₂O₃ 膜中の固定電荷に起因すると考えられる。 また、SIMS から得られた Al₂O₃ 膜中炭素濃度と HAXPES の Al1s 半値幅の逆数を Log-Log プロットすると 1 次の相関が見られた(Fig.2)。したがって HAXPES により測定した Al1s 半値幅の増大は膜中炭素由来であ ると考えられる。

また、膜中炭素濃度と Al₂O₃/AlGaN/GaN MOS 構造から得られた界面準位密度(D_{it}) は 1 次の相関関係 が見られた(Fig.3)。このことから、半値幅の逆数と D_{it} を Log-Log プロットしても同様の相関性がみら れる。これらの結果より、これまで Al₂O₃の原料として利用されている TMA にくらべ、DMAH は膜中炭 素濃度を低減可能であり、炭素由来の固定電荷や界面準位を減らすことができる。特に高温条件で酸化剤に H₂O を用いた場合には、その差は顕著となり DMAH 原料が有用であることが明らかとなった。





Fig.2 Log-Log plot of Al1s FWHM⁻¹ and carbon concentration in Al₂O₃ Fig.3 Correlation between carbon concentration in Al_2O_3 film and D_{it}

[1]吉嗣 晃治,石河 泰明,高橋 清,浦岡 行治,第 63 回応用物理学会春季学術講演会 20p-S221-5 (2016)
[2] M. Uenuma, K. Takahashi, S. Sonehara, Y. Tominaga, Y. Fujimoto, Y. Ishikawa, and Y. Uraoka, AIP Advances 8, 105103 (2018)
[3]東 雅人,上沼 睦典,吉嗣 晃治,柳生 栄治,石河 泰明,浦岡 行治,第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 20a-E301-11 (2019)
[4]東 雅人,上沼 睦典,吉嗣 晃治,柳生 栄治,石河 泰明,浦岡 行治,第 67 回応用物理学会秋季学術講演会(2020)