

電子線支援原子層エッチングにおける GaN 表面フッ素化反応

Fluorination reaction of GaN surface using electron assisted Atomic Layer Etching

名大¹, 九大² 泉 祐輔¹, 堤 隆嘉¹, 近藤 博基¹, 関根 誠¹, 石川 健治¹, 堀 勝¹

Nagoya Univ.¹, Kyushu Univ.², Izumi Yusuke¹, Takayoshi Tsutsumi¹, Hiroki Kondo²,

Makoto Sekine¹, Kenji Ishikawa¹, Masaru Hori¹

E-mail: tsutsumi.takayoshi.j0@f.mail.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに 窒化ガリウム(GaN)は、優れた電気的特性を持つ次世代パワーデバイス材料として注目されている。高速電子移動度トランジスタ(HEMT)をノーマリー・オフにするにはゲートリセス構造が重要であり、本構造を形成するエッチングには材料表面へのダメージ抑制が求められている。^[1] エッチング時のイオン誘起ダメージ抑制のためプラズマ原子層エッチングプロセスが研究されているが^[2], 我々はさらなるダメージ抑制のため、従来のイオン照射に代えて電子線照射による原子層改質プロセスの研究に取り組んでいる。GaN に対して電子と XeF₂ を同時に照射後の表面状態である化学結合や表面荒れの電子エネルギー依存性について調べた。

2. 実験方法 固体の XeF₂ を昇華させ GaN 表面に供給し、同時に電子線を照射することでフッ素化反応を実施した。XeF₂ 導入時のチャンバー圧力は 1.5×10^{-4} Paである。電子のエネルギーを 300 eV~1000 eV, 出力電流値を 20 μ A, 照射距離を 20 cm とし、電子線を照射した。照射時間ごとに In-situX 線光電子分光法(XPS)を用いて化学結合状態を計測し、表面状態の経時変化を計測した。

3. 結果と考察 各電子エネルギーでのフッ素化反応における GaN 表面の組成比と電子ドーズ量の間を Fig 1.に示す。

表面組成は GaN と同じ非弾性平均自由行程(IMFP)を仮定して推定した。電子線照射量が 1.6×10^{16} electrons/cm²までのフッ素化反応では、いずれの電子エネルギーにおいてもN/Ga と O/Ga は電子線照射量の増加とともに減少し、それに伴い F/Ga は急激に上昇した。一方、電子線照射量が 1.6×10^{16} electrons/cm²以降では、500 eV の場合は緩やかに反応を続けるが、1000 eV の場合は反応が飽和した。これらの結果からフッ素化反応における電子の役割として、XeF₂ の解離と GaN の励起作用が挙げられる。C/Ga が計測限界以下にまで低下していることから、CF_xなどの揮発性生成物により脱離したと考えられる。また、Ga 3d のスペクトル形状の結果から、フッ素化ガリウム層は約 1nm 形成しており、表面組成比と類似した変化の傾向を確認できた。講演ではプロセス後の表面形態やダメージについても議論する。

参考文献

[1] Q. Hu et al., IEEE Electron Device Lett. 39, 1377 (2018).

[2] S. Nakamura et al., Low damage atomic layer etching of GaN at high temperature, ISPlasma (2022).

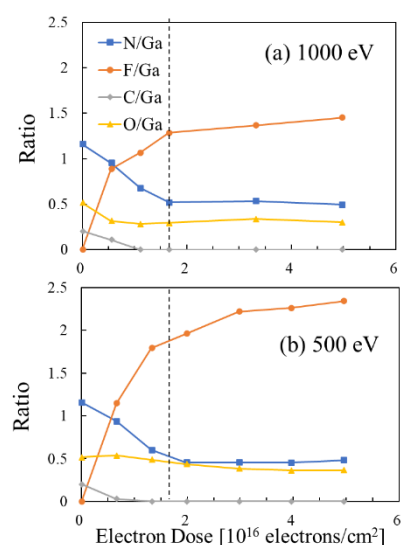


Fig 1. In situ XPS-analyzed surface compositional changes of GaN surface depended on the dosage of electron irradiation, and energy of (a) 1000 eV and (b)500 eV