

Hf/(Si+Hf)組成の異なる HfSiO_x/GaN(0001)の光電子分光分析

Photoemission Study of HfSiO_x/GaN Structure

名大¹, 物材機構² [○]大田 晃生¹, 牧原 克典¹, 生田目 俊秀², 塩崎 宏司¹, 宮崎 誠一¹

Nagoya Univ.¹, NIMS², [○]A. Ohta¹, K. Makihara¹, T. Nabatame², K. Shiozaki¹, S. Miyazaki¹

E-mail: a_ohta@nuee.nagoya-u.ac.jp

序 HfSiO_x は、SiO₂ や Al₂O₃ に比べて比誘電率が大きいことから、電氣的に等価なゲート絶縁膜厚を維持して物理膜厚を厚く設定できるため、GaN-MOSFET の耐压特性を向上できる材料候補として研究が進められている[1]。これまでに、我々は光電子収率分光法(PYS)により、GaN(0001)表面や SiO₂/GaN 構造の電子占有状態のエネルギー分布を定量してきた[2]。本研究では、GaN(0001)上に形成した HfSiO_x や HfO₂ において、化学構造や電子占有状態密度のエネルギー分布を評価した。

実験方法 n⁺型 GaN(0001)自立基板上に厚さ 5μm の n 型 GaN(2×10¹⁶cm⁻³)をホモエピタキシャル成長したウェハを BHF により化学溶液洗浄した後、原料ガスに TDMA-Hf と TDMA-Si、酸素プラズマを用いたプラズマ支援 ALD により、HfO₂ と SiO₂ の ALD サイクル比を 2:1 および 3:1 とし、HfO₂/SiO₂ 比の異なる HfO₂/SiO₂ ラミネート層を 15nm 堆積した。その後、シリケート化と欠陥低減のために N₂ 雰囲気中で 800°C、5 分の熱処理を行った。また、比較として、HfO₂/GaN 構造も別途作成した。

結果及び考察 Fig.1 に、GaN 上に形成した HfSiO_x および HfO₂ において、単色化 AlKα 特性 X 線を用いた XPS により測定した内殻光電子スペクトルを示す。Hf/(Si+Hf)組成の減少と共に、Hf4f および Si2p 信号は高結合エネルギー側へ化学シフトする。このエネルギーシフトは Hf 原子(χ_{Hf}=1.30)よりも電気陰性度の高い Si 原子(χ_{Si}=1.90)が、Hf の O を介した第二近接位置に配位したと解釈でき、Si-O-Hf ネットワークの形成を示唆する。さらに、HfSiO_x に比べて、HfO₂ の Hf4f 信号が鋭くなっているのは、熱処理によって HfO₂ の結晶化が進行したと考えられる。Fig.2 に、同様の試料の PYS スペクトルを示す。PYS では、紫外光照射によって放出される全光電子数を、入射光エネルギーの関数として計測する。入射エネルギーが ~7.5eV 以上の領域で観測される PYS 信号の顕著な増大は、HfO₂ および HfSiO_x の価電子帯から放出され光電子に相当し、それよりも低入射エネルギー側で観測される PYS 信号は、バンドギャップ内に存在する電子占有欠陥準位からの光電子放出に相当する。Hf/(Si+Hf)組成が 75% および 66% のどちらの HfSiO_x においても、GaN(0001)の価電子帯上端(E_v: ~6.8eV)近傍の電子占有状態密度は HfO₂ に比べて増大するものの、ミッドギャップから伝導帯下端(E_c: ~3.4eV)近傍の領域の電子占有欠陥密度は 1 桁程度低減することが分かった。nMOS キャパシタの C-V 特性の解析において、伝導帯側の欠陥密度が顕著に低減することが分かっており[1]、PYS の結果と整合する。

結論 N₂ 雰囲気中 800°C で熱処理した HfSiO_x/GaN(0001)構造において、GaN の E_c 近傍の電子占有欠陥密度は HfO₂ を大きく低減できることが分かった。

参考文献 [1] T. Nabatame *et al.*, Appl. Phys. Express, **12**, 011009 (2019). [2] A. Ohta, et al., Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 06KA08 (2018).

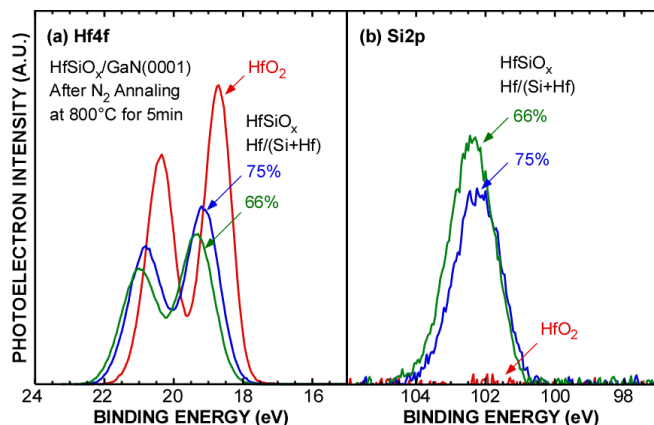


Fig. 1 (a) Hf4f and (b) Si2p spectra taken for 15nm-thick HfSiO_x with different compositions in Hf/(Hf+Si) formed on GaN(0001). Intensity normalization was made by integrated intensity of O1s signals.

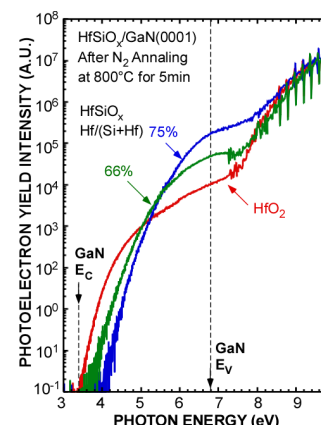


Fig. 2 PYS spectra taken for 15nm-thick HfSiO_x/GaN(0001) structures shown in Fig. 1.