

# 軟X線光電子分光によるSi基板上窒化物半導体と絶縁体との界面における電子状態解析

## ～ HfO<sub>2</sub>/AlGaN 界面の評価～

久保俊晴、西野剛介、江川孝志  
名古屋工業大学

### 背景・経緯

大口径化が可能なSi基板上のGaN系トランジスタは、次世代パワーデバイスとして期待されている。このGaN-on-Siトランジスタでは、ゲートリーク電流が大きいこと、ノーマリオフ(ゲート電圧が0 V時にソース・ドレイン間に電流が流れない)化が実用化に向けた大きな課題である。これらの課題を克服するためには、ゲート電極部分に絶縁膜を挟んだMIS構造を用いることが有効であり、2015年度前期の実験では、絶縁膜としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を採用した際のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaN界面の化学状態を軟X線光電子分光(XPS)により評価した。2015年度後期の実験ではMIS構造に用いる絶縁膜としてHfO<sub>2</sub>に着目した(図1参照)。HfO<sub>2</sub>を用いた場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いたデバイスよりも初期閾値電圧シフトが低減したが、図2に示したように伝達特性にヒステリシスも見られており、デバイス特性の改善のためには、ポストアニール(Post-deposition annealing: PDA)による膜質向上が必要である<sup>1)</sup>。

本研究では、前期の実験と同様にPDAがHfO<sub>2</sub>/AlGaN界面の化学状態に与える影響を明らかにする。放射光を用いたXPSにより、表面から5nm程度の深い場所にある界面の化学状態を評価する。

測定として、ビームラインBL6N1を用い、Si基板上のAlGaN/GaN表面に堆積した膜厚5nmのHfO<sub>2</sub>膜について、2keVおよび3keVのX線エネルギーによりXPSスペクトルを取得し、HfO<sub>2</sub>/AlGaN界面近傍の状態を調べた。HfO<sub>2</sub>はバンドギャップが5~6 eV、比誘電率が約20と共に高く、絶縁膜として有望な材料である<sup>2)</sup>。PDA温度は400、600 °Cとした。比較のため、PDA無しのAs-depo.の試料についても測定を行った。

[1] 西野 他: 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-A21-6.

[2] 橋詰保: 応用物理 81, 479 (2012).

HfO<sub>2</sub>  
(バンドギャップ5~6, 比誘電率20)

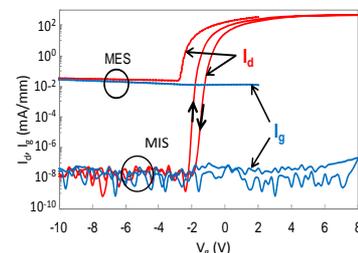
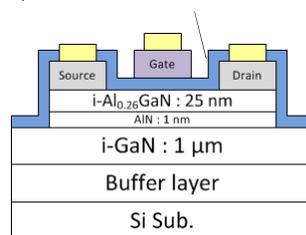


図1 HfO<sub>2</sub>/AlGaN/GaN HEMTの模式図

図2 MIS-HEMTの伝達特性

### 結果

#### Ga 2p<sub>3/2</sub>

- 界面付近でのGaとOの結合は600 °C程度で減少した。
- AlGaN内部でのGaとOの結合は600°Cでもそれ程変化しなかった。

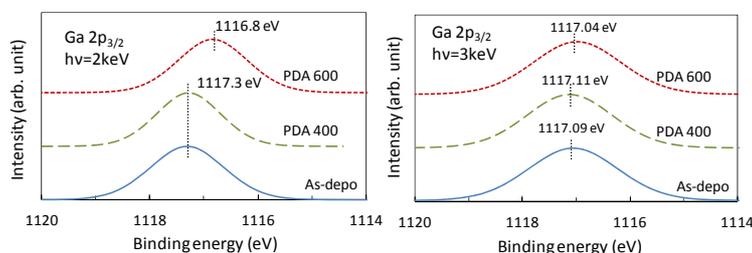
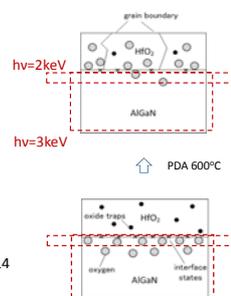


図3 Ga 2p<sub>3/2</sub>スペクトルのPDA温度依存性.



#### Hf 3d<sub>5/2</sub>

- PDA温度の上昇と共にHfとOの結合が増えている。
- PDA温度400 °C程度でHfOの表面およびAlGaN側からOを取り込んだ可能性が示唆された。
- HfO<sub>2</sub>がイオン結合性が強いために酸素欠陥が多く生じており、PDAによりHfO<sub>2</sub>がOを取り込むことが考えられる。

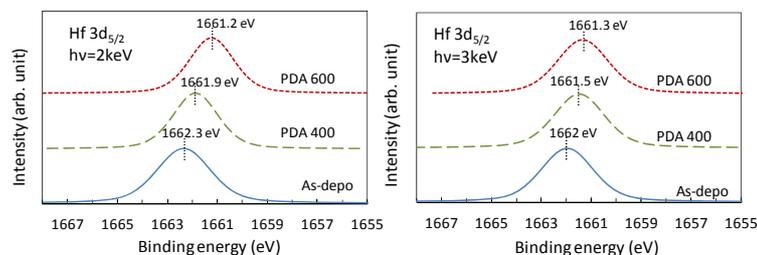
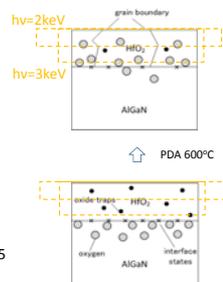


図4 Hf 3d<sub>5/2</sub>スペクトルのPDA温度依存性.



### 期待される効果・社会的インパクト

PDAに対する挙動の異なるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とHfO<sub>2</sub>の積層構造と適切な温度のPDAによりデバイス特性が向上する可能性がある。将来、電気自動車などでGaN-on-Siパワーデバイスが実用化された場合における省エネルギー効果は莫大なものであり、事業化された際に社会に与えるインパクトは非常に大きいものと考えられる。