

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

～ Al₂O₃/AlGa_{0.25}GaN 界面の評価 ～

久保俊晴、三好実人、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る(図1参照)。MIS構造を用いた際に良好なデバイス動作を実現するためには、電子捕獲準位の少ない半導体/絶縁体界面が必要であり、我々を含め多くのグループで原子層堆積(Atomic layer deposition: ALD)による絶縁膜形成が行われているものの¹⁾、デバイスの閾値電圧に初期閾値シフトが生じ(図2参照)、形成温度以上でのポストアニール(Post-deposition annealing: PDA)による膜質向上が必要となっている。

本研究では、絶縁膜堆積のデバイスプロセス、特にPDAが窒化物半導体/絶縁体界面の電子状態に与える影響を明らかにする。放射光を用いた軟X線光電子分光(XPS)により、一般的な光電子分光法では得られない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AlGa_{0.25}GaN表面に堆積した膜厚5nmのAl₂O₃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、Al₂O₃/AlGa_{0.25}GaN界面近傍の状態を調べた。Al₂O₃はバンドギャップが6~7 eV、比誘電率が約9と共に高く、絶縁膜として有望な材料である²⁾。PDA温度は500, 600, 750 °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] T. Kubo, et. al., Semicond. Sci. Technol. 29, 045004 (2014).
- [2] C. Mizue, et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 50, 021001 (2011).

Al₂O₃
(バンドギャップ7~9, 比誘電率9)

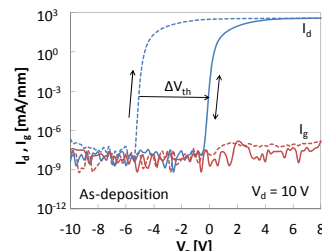
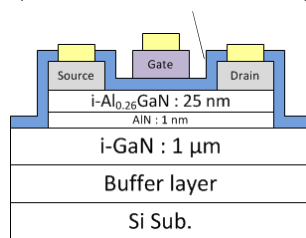


図1 Al₂O₃/AlGa_{0.25}GaN HEMTの模式図

図2 初期閾値シフトの様子

結果

Ga 2p_{3/2}

- As-depo.のピーク位置から、界面付近のGaは成膜時に若干酸化されていることが考えられる。
- 界面付近でのGaとOの結合は600 °C程度で急激に増加する。
- AlGa_{0.25}N内部でのGaとOの結合は500 °C程度でも生じている。

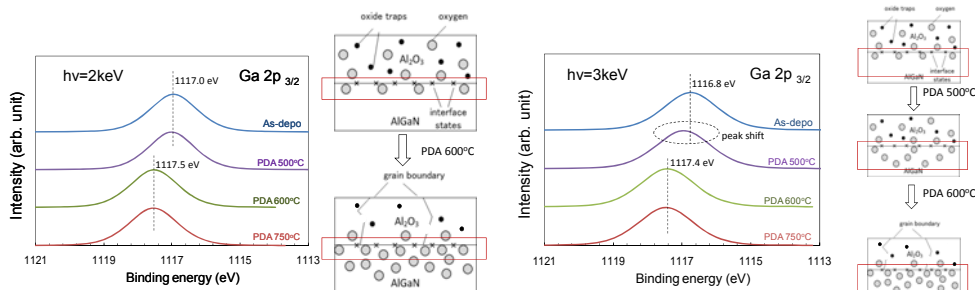


図3 Ga 2p_{3/2}スペクトルのPDA温度依存性。

Al 1s

- Ga 2pの場合と同様、600 °C程度で急激に変化が生じた。
- Gaの場合と同様、AlGa_{0.25}N内部でのAlとOの結合は500 °C程度でも生じていた。
- デバイスの I_d 特性から、初期閾値電圧シフトを起こす電子トラップは600 °C程度のPDA後、更なる温度上昇によって消滅する可能性が示唆される。

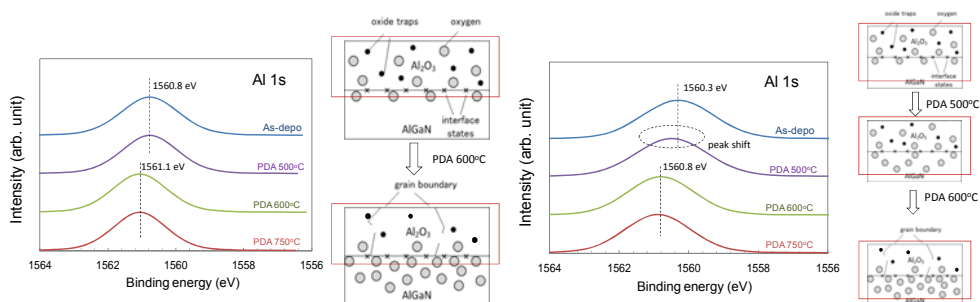


図4 Al 1sスペクトルのPDA温度依存性。

期待される効果・社会的インパクト

窒化物半導体材料を用いたデバイスの特性を明らかにし、トランジスタ開発の指針を先んじて得ることで、国内半導体メーカーの競争力を高めることができる。将来、電気自動車などで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。