課題番号　:2018A-E18

利用課題名（日本語）　:高性能 MOS 型パワーデバイス実現に向けたヘテロ界面評価とその制御技術の開発

Program Title (English)　:Characterization and control of insulator/semiconductor and metal/semiconductor interfaces for power MOS devices

利用者名（日本語）　:渡部平司 [1)], 細井卓治 [1)], 山田高寛 [1)], 野﨑幹人 [1)]

Username (English)　: H. Watanabe[1)], T. Hosoi[1)], T. Yamada[1)], M. Nozaki[1)]

所属名（日本語）　: 1) 大阪大学大学院工学研究科

Affiliation (English)　: 1) Graduate School of Eng., Osaka University

**キーワード：GaN, oxidation, $Ga_2O_3$**

## 1. 概要（Summary ）

高性能 GaN パワーMOSFET の実現には、絶縁性および界面特性に優れるゲート絶縁膜が必要である。我々はこれまでに $SiO_2$ を成膜した後、熱酸化処理を施して形成した $SiO_2/GaO_x$/n-GaN 構造が良好な MOS 特性を示すことを報告している。また、n-GaN 表面の熱酸化過程の XPS 評価も行い、酸化による Ga 2p スペクトルのピークシフトは 0.4 eV であることを明らかにしている。一方、理論計算によると p-GaN 表面は n-GaN よりも酸化しにくいことが指摘されているが、p-GaN 表面の熱酸化に関する報告はほとんどない。そこで本研究では、$SiO_2$/p-GaN 構造に対する熱酸化過程を放射光 XPS 分析によって調べた。

## 2. 実験（目的,方法）（Experimental）

GaN 自立基板上に p-GaN 層（Mg 濃度 $1\times10^{19}$ $cm^{-3}$）をエピタキシャル成長した試料を洗浄した後、プラズマ CVD により 20 nm の $SiO_2$ 層を成膜した。その後、$O_2$ 雰囲気中 500~1000°C の温度で 30 分間の熱酸化処理を施した。$SiO_2$ 層を 2 nm 程度まで薄層化した試料を SPring-8 BL23SU の表面化学反応解析装置（SUREAC 2000）に導入し、X 線エネルギー1253.6 eV で放射光 XPS 分析を行った。光電子脱出角は 90°とし、Ga 3*d*、N 1*s*、O 1*s*、Si 2*s* スペクトルを取得した。

## 3. 結果と考察（Results and Discussion）

$SiO_2$/p-GaN 構造から取得した N 1*s* スペクトルは、熱処理なし試料と 900°C までの酸化温度では大きな違いは見られなかったものの、950°C 以上の熱酸化を施すと低結合エネルギー側にピークが広がることがわかった。一般的に GaN 中の窒素空孔はドナーとなることから、高温の熱酸化処理により、p-GaN 表面の導電型が n 型となったことによるバンドベンディングが N 1*s* スペクトルの広がりの原因と考えられる。そこで、GaN 基板由来の N 1*s* ピークで結合エネルギー較正した Ga 2*p* スペクトルを 900°C 以下の酸化温度の試料について評価したところ、酸化温度が高くなるほどピークは高結合エネルギー側にシフトし、900°C でのシフト量は p-GaN で 0.53 eV、n-GaN で 0.40 eV となった。ケミカルシフト起因のピークシフトであれば基板導電型に依存しないため、観測された差は n-GaN と p-GaN では $GaO_x$/GaN 界面のエネルギーバンドオフセットが異なることを示唆している。また、Si 2*s* スペクトルを見ると、p-GaN では酸化温度に関係なくほぼ重なったのに対して、n-GaN では 900°C 試料が低結合エネルギー側にシフトしており、界面ダイポールの存在が示唆された。これは、n-GaN から酸化膜側への電子移動が酸化反応を促進すると共に界面ダイポール層を形成するという理論予測とも一致する結果である。すなわち、n-GaN 上の Ga 酸化物のケミカルシフトは過少評価していると言え、p-GaN で見積もった Ga 2*p* スペクトルにおける Ga-N 結合と Ga-O 結合間のケミカルシフトは 0.94 eV となった。これを基にして、p-GaN 試料から取得した Ga 2*p* スペクトルのピーク分離を行い、酸化成分比の酸化温度依存性を評価したところ、800°C 以下の温度では $SiO_2$/p-GaN 界面の酸化物はほぼ一定で、その量は n-GaN より低く、また酸化の進行がみられた 850°C 以上の温度でも n-GaN よりも緩やかな反応であることがわかった。すなわち、p-GaN 表面は n-GaN 表面よりも酸化しにくいと結論できる。

## 4. その他・特記事項（Others）

本研究は、戦略的イノベーション創造プログラム「次世代パワーエレクトロニクス」（管理法人：NEDO）によって実施されました。

共同研究者：吉越章隆（日本原子力研究開発機構）