

日本-V4 国際共同研究「先端材料」 平成 28 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	高い安定性を有する GaN-MOS トランジスタスイッチ
研究課題名（英文）	Highly Safe GaN Metal-Oxide-Semiconductor Transistor Switch
研究代表者氏名	橋詰 保
研究代表者所属・役職	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター ・教授
研究期間	平成 28 年 4 月 1 日～平成 29 年 3 月 3 1 日

1. 日本側の研究実施体制

ワークパッケージ②	デバイス動作安定性の向上	
氏名	所属機関・部局・役職	役割
橋詰 保	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・教授	Al ₂ O ₃ /AlGa _N /Ga _N 構造の制御プロセスと CV 解析
赤澤 正道	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・准教授	MOS 構造の SIMS および XPS 分析

ワークパッケージ③	離散ドナー準位の評価と制御	
氏名	所属機関・部局・役職	役割
橋詰 保	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・教授	AlGa _N 表面の制御プロセス
佐藤 威友	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・准教授	AlGa _N 表面の電気化学酸化
赤澤 正道	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・准教授	AlGa _N の表面分析

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

ALD で作製した $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ 構造および $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ 構造に間接熱酸化処理制御プロセスを適用し、MOS 界面準位特性との相関を求める。ALD で堆積した Al_2O_3 膜には、高濃度の水素および炭素が不純物元素として含まれることが、2 次イオン質量分析 (SIMS) より判明している。600~800°C の酸素雰囲気アニールにより、これらの不純物濃度分布がどのように変化するかを（特に $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}$ 界面近傍）、SIMS および光電子分光法で評価する。スロバキアチームから提供された AlGaIn/GaN 構造に種々の表面処理を行う。これまでの研究より、離散ドナー準位が AlGaIn 表面の窒素空孔欠陥に関連する可能性が示唆されるため、1) 表面を数 nm 酸化して溶液除去した表面、2) N_2O ラジカル照射を行った表面、3) 故意に高温処理して窒素空孔欠陥を増加させた表面の 3 条件の表面を準備する。これらの表面を光電子分光法 (XPS) 等で分析し、化学結合状態、酸化状態、化学量論的組成等を評価し、同時に CV 特性に与える影響を明らかにする。

3. 日本側研究チームの実施概要

本研究は、MOS ゲート構造の界面電子準位を制御し、窒化ガリウム MOS 型高電子移動度トランジスタ (GaN MOS-HEMT) の動作安定性を飛躍的に向上させることを目的とする。本年度の具体的研究として、日本側は、原子層堆積 (ALD) 法により $\text{Al}_2\text{O}_3/n\text{-GaIn}$ 構造を形成し、独自に開発した大気中での逆バイアスアニール法を適用して界面制御を試みた。容量-電圧 (C-V) 評価を実施し、1Hz~1MHz の広い周波数領域で容量値の分散は観測されなかった。また、計算値に極めて近い実験値が得られ、界面電子準位密度の大幅な減少を確認した。また、安定なフラットバンド電圧特性を示し、200°C の高温測定においても、室温とほぼ同様の CV 特性が得られた。大気中逆バイアスアニールにより、界面準位密度の低い高安定 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaIn}$ 構造を達成することができた。また、700~750°C の酸素雰囲気アニールにより、界面準位密度の減少を示唆する C-V 結果を得ることができたが、フラットバンド電圧が順バイアス方向に 3-5V シフトすることが分かり、この原因を明らかにすることが重要である。 GaIn あるいは AlGaIn の表面ダメージ層を制御する目的で、光電気化学プロセスを開発した。 GaIn 表面に対しては、パルス光照射を利用し、正孔を電解液/ GaIn 界面に供給することで均一な酸化膜形成が可能となった。その後の溶液処理で酸化膜を除去することにより、表面層のエッチングを実現した。この手法を ICP ドライエッチングされた GaIn 表面に適用し、処理前後の GaIn 表面に形成したショットキー接合の I-V 特性を評価することにより、ドライエッチングで導入された表面損傷層の除去が確認された。 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ HEMT 構造に対しては、 AlGaIn 層のみで電子-正孔対を生成して局所的な電界集中が生じない光照射条件を見いだすことにより、数 10nm の AlGaIn 表面エッチングを可能とし、RMS ラフネス値 0.41nm の優れた平坦性を達成した。通常のドライエッチングと比較すると、電気化学プロセスは室温・低エネルギー環境の特長を有し、低損傷エッチングが期待される。今後、光電気化学処理と逆バイアスアニール処理を基盤として、絶縁ゲートの界面制御を行い、 GaIn MOS-HEMT の動作安定性を効果的に向上させるデバイス構造・プロセスを確立する。