

日本—台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」 2021年 年次報告書	
研究課題名（和文）	HfO ₂ 強誘電体を用いた機能性トランジスタの開発
研究課題名（英文）	Development of functional transistors using ferroelectric HfO ₂ films
日本側研究代表者氏名	浅沼 周太郎
所属・役職	産業技術総合研究所・主任研究員
研究期間	2020年4月1日 ～ 2023年3月31日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
浅沼 周太郎	産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 主任研究員	薄膜作成、物理分析、電気特性解析、研究全体の取りまとめ
森田 行則	産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門グループ長	薄膜作成、物理分析
太田 裕之	産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門グループ長	薄膜作成、電気特性解析
女屋 崇	産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門	薄膜作成、物理分析、電気特性解析

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

HfO₂系強誘電体で 10¹² 回以上の Endurance 達成を実現するために、金属組成、膜厚、結晶化プロセス電界強度といった種々のパラメータが Endurance と自発分極特性に及ぼす影響を系統的に調査する。スパッタ法を用いてドメインエンジニアリング、PLD 法を用いてバンドエンジニアリングを試み、その結果と電気特性を比較することで HfO₂ 系強誘電体の性能を律速している物理現象を探索する。

3. 日本側研究チームの実施概要

本年度、上記の目標を達成するための研究の一環として（1）半導体-強誘電体界面で生じる SiO₂ 層の膜厚制御法の開発及び（2）Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ の強誘電性への酸素欠陥の影響の研究を行った。

（1）半導体-強誘電体界面で生じる SiO₂ 層の膜厚制御法の開発

HfO₂ 系強誘電体の強誘電特性を評価するだけであれば金属-強誘電体-金属の MFM 構造でも評価可能であるが、HfO₂ 系強誘電体をゲート絶縁体に用いた FeFET を作製すると、金属-絶縁体-半導体の MFS 構造を作製し、その特性を評価する必要が生じる。Si 等の半導体の表面にゲートとして酸化物である HfO₂ 系強誘電体薄膜を成膜すると、強誘電体-半導体界面に SiO₂ 界面層等の酸化物層が生じ、これが強誘電体ゲートの実効的な残留分極値の低下や信頼性の劣化を引き起こすことが知られている。本年度は、本研究の目標である FeFET の開発に向けて、強誘電体-半導体界面に生じる SiO₂ 層の膜厚を制御する技術に関する研究を行った。

原子層堆積法（ALD 法）を用いて Si 基板上に膜厚 10nm の Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 膜を 200-300℃ で成膜後、300-600℃ でアニーリング（PDA : Post-Deposition Annealing）、また上部電極層成膜後 300-600℃ でアニーリング（PMA : Post-Metallization Annealing）し、SiO₂ 界面層の膜厚及び XPS（X 線光電子分光法）の分析結果と PDA 温度及び PMA 温度の関係を調べた。

その結果、成膜・PDA・PMA 温度を 300℃ 以下に抑えることで、SiO₂ 界面層の厚さを 1-2 原子層に抑えられることが分かった。現在、成膜・PDA・PMA 温度を 300℃ 以下に抑えつつ、強誘電性を増強するプロセスについて研究を進めている。

（2）Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ の強誘電性への酸素欠陥の影響の研究

現在、Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂（HZO）の強誘電性には酸素欠陥の存在が影響していることが明らかになって来ている。そこで、HZO の特性に酸素欠陥が与える影響を明らかにする研究の一環として、HZO のリーク電流に関する研究を行った。

通常、強誘電体薄膜は作製時にはドメインの自発分極がドメイン毎に異なる方向を向いている。そのため、最初に測定する際は電界を印加して分極の向きを揃えるポーリングと呼ばれる処置を行う。このポーリング時に流れる電流とそれ以降の分極反転時に流れる電流を測定し、それらの特性を比較した。

その結果、ポーリング後の分極反転時に流れる電流の特性が物質中のトラップ準位の存在に由来する Poole-Frenkel 伝導の関係式で記述出来るのに対し、ポーリング時の電流の特性はこの関係式では記述出来なかった。この結果はポーリング時に印加電圧によって酸素欠陥の再配置が起き、トラップ準位が生じていることを示唆している。

HZO の酸素欠陥の再配置は Endurance 特性とも関係していると考えられているため、Endurance 特性の向上のために酸素欠陥の再配置を制御する方法について検討を進めている。