

国際科学技術協力基盤整備事業  
日本－台湾研究交流  
終了報告書 概要

1. 研究課題名：「**HfO<sub>2</sub> 強誘電体を用いた機能性トランジスタの開発**」
2. 研究期間：2020年4月～2023年3月
3. 主な参加研究者名：  
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	浅沼周太郎	主任研究員	産業技術総合研究所	研究統括、成膜、構造解析、電気特性測定
主たる共同研究者	森田行則	研究グループ長	産業技術総合研究所	成膜、構造解析、電気特性測定
主たる共同研究者	太田裕之	研究グループ長	産業技術総合研究所	成膜、構造解析、電気特性測定
主たる共同研究者	右田真司	総括研究主幹	産業技術総合研究所	成膜、構造解析、電気特性測定
主たる共同研究者	女屋崇	産学官制度来所者	産業技術総合研究所	成膜、構造解析、電気特性測定
研究期間中の全参加研究者数			5名	

台湾側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Chang-Liao Kuei-Shu	Professor	National Tsing Hua University	研究統括、FinFETの作製
研究期間中の全参加研究者数			1名	

4. 研究交流の概要

本課題の目的は人工知能(AI)システムが必要としている高効率で低消費電力なコンピュータを実現するために、メモリとロジックを融合した機能を持つ機能性トランジスタ、具体的には HfO<sub>2</sub> 系強誘電体をゲート絶縁体に用いた FinFET の技術構築を実現することである。HfO<sub>2</sub> 系強誘電体に関する研究で実績のある産総研がゲート絶縁体の材料開発及び成膜を担当し、FinFET の作製で実績のある国立清華大学が FinFET への加工を担当することで技術構築の実現を目指した。

5. 研究交流の成果

5-1 共同研究の研究・開発成果

当初の計画では、日本側が HfO<sub>2</sub> 系強誘電体の性能を改善するための材料開発を行い、その知見を反映させながら台湾側と FinFET 作製のための課題抽出等を進める予定であった。材料開発については目的をほぼ達成し Endurance 特性向上のための設計指針を得ることが出来た。しかし、FinFET 作製のための課題抽出についてはコロナの影響が深刻で予定が遅れ、目的の達成には至らなかった。

#### 5-2 国際連携による相乗効果

一から技術開発を行う場合、まず何が課題であるかが分からず、手探りで課題を探すことになる。しかし、お互いが得意とする技術やこれまでに培った知見を持ち寄ることにより、迅速に課題を抽出し、課題の解決に取り組むことが出来る。本課題でも、メールや Teams を用いた議論を通じてお互い協力し合うことで、迅速に課題の本質を捉え対処することが出来た。

#### 5-3 共同研究成果から期待される波及効果および進展

近年、AI 技術は急速に発展し、AI 用途に特化したデバイスの開発の必要性は増すばかりである。本課題で得られた成果は  $\text{HfO}_2$  系強誘電体をゲート絶縁体に用いた FinFET 開発にとって重要な知見となっており、今後産総研と清華大学でこれらの研究を進める上での基礎となるものである。AI 技術の波及効果を考慮すると、現在開発中の技術が実用化された際の波及効果も大きいと予想される。

#### 5-4 研究交流の有効性・継続性（研究交流を通じた人材育成、協働関係の継続・発展性）

上記の通り、異なる技術を持った者同士が協力し合うことは迅速な課題抽出と解決に繋がるため、研究を進める上で極めて重要である。今後も  $\text{HfO}_2$  系強誘電体をゲート絶縁体に用いた FinFET の開発を目的とした共同研究を継続する。

Infrastructure Development for Promoting International S&T Cooperation  
Japan – Taiwan Joint Research Exchange Program  
Executive Summary of Final Report

1. Project Title : 「Development of functional transistors using ferroelectric HfO<sub>2</sub> films」
2. Project Period : April, 2020 ~ March, 2023
3. Main Participants :

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role
PI	Shutaro Asanuma	Senior Researcher	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Principal Investigator, film deposition, structural analysis, electrical characteristics measurement
Co-PI	Yukinori Morita	Group Leader	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	film deposition, structural analysis, electrical characteristics measurement
Co-PI	Hiroyuki Ota	Group Leader	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	film deposition, structural analysis, electrical characteristics measurement
Co-PI	Shinji Migita	Principal Research Manager	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	film deposition, structural analysis, electrical characteristics measurement
Co-PI	Takashi Onaya	Collaborating Visitors	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	film deposition, structural analysis, electrical characteristics measurement
Total number of participating researchers in the project: 5				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role
PI	Chang-Liao Kuei-Shu	Professor	National Tsing Hua University	Principal Investigator
Total number of participating researchers in the project: 1				

4. Scope of the joint project

The objective of this project is to realize the development of functional transistors with integrated memory and logic capabilities, specifically FinFETs utilizing HfO<sub>2</sub>-based ferroelectric gate insulators, in order to achieve highly efficient and low-power-consuming computers required by artificial intelligence (AI) systems. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), which has a proven track record in research on HfO<sub>2</sub>-based ferroelectrics, was responsible for material development and deposition of the gate insulator, while National Tsing Hua University, which has a proven track record in FinFET fabrication, was in charge of FinFET processing in order to achieve the realization of the technology.

5. Outcomes of the joint project

5 – 1 Intellectual Merit

Initially, the plan was for the Japanese side to conduct material development to improve the performance of HfO<sub>2</sub>-based ferroelectrics and collaborate with the Taiwanese side to identify challenges for FinFET fabrication, incorporating the gained knowledge. The

material development nearly achieved its objective, and design guidelines for improving endurance characteristics were obtained. However, due to the impact of the coronavirus, the identification of challenges for FinFET fabrication was delayed, and the project did not fully achieve its objective.

#### 5 – 2 Synergy from the Collaboration

When developing technology from scratch, the challenges are often unclear, and one must search for them through trial and error. However, by bringing together each party's expertise and accumulated knowledge, it is possible to identify challenges and work toward their resolution quickly. In this project, by cooperating with each other, we could quickly grasp the essence of the challenges and address them effectively.

#### 5 – 3 Potential Impacts on Society

In recent years, AI technology has rapidly advanced, and the need to develop devices specialized for AI applications continues to grow. The achievements obtained in this project provide essential insights for developing FinFETs using HfO<sub>2</sub>-based ferroelectric materials as gate insulators, serving as a foundation for future research at AIST and National Tsing Hua University. Considering the spillover effects of AI technology, it is anticipated that the practical application of the technologies currently under development will also have significant spillover effects.

#### 5 – 4 Effectiveness and Continuity of Exchange

(Human Resource Cultivation, Development and Sustainability of the Cooperation, etc.)

As mentioned above, cooperation between individuals with different technical expertise leads to the rapid identification and resolution of issues, which is extremely important in advancing research. Moving forward, we will continue our collaborative research aimed at developing FinFETs using HfO<sub>2</sub>-based ferroelectric materials as gate insulators.

共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

\*原著論文（相手側研究チームとの共著論文）

特になし

\*原著論文（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文）

査読有り

1. Shinji Migita、Hiroyuki Ota、Shutaro Asanuma、Yukinori Morita、Akira Toriumi, "Accelerated ferroelectric phase transformation in  $\text{HfO}_2/\text{ZrO}_2$  nanolaminates", Applied Physics Express, 2021, 14, 051006、DOI: 10.35848/1882-0786/abfa75、Spotlights 論文に選定

2. Takashi Onaya, Toshihide Nabatame, Mari Inoue, Tomomi Sawada, Hiroyuki Ota, and Yukinori Morita, "Study of  $\text{SiO}_2$  Interfacial Layer Growth during Fabrication Process of Ferroelectric  $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ -Based Metal-Ferroelectric-Semiconductor", ECS Transactions, 2021, Vol. 104, No. 4, pp. 129-135、DOI: 10.1149/10404.0129ecst

3. Yukinori Morita, Hiroyuki Ota, Shinji Migita, "Anomalous change of carrier transport property of ferroelectric  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  thin films in the first poling treatment," Japanese Journal of Applied Physics. Japanese Journal of Applied Physics, 2022, 61, SC1070、DOI: 10.35848/1347-4065/ac48ce

4. Takashi Onaya, Toshihide Nabatame, Mari Inoue, Tomomi Sawada, Hiroyuki Ota, Yukinori Morita, "Wake-up-free properties and high fatigue resistance of  $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ -based metal-ferroelectric-semiconductor using top  $\text{ZrO}_2$  nucleation layer at low thermal budget (300 C)", APL Materials, 2022, 10, 051110、DOI: 10.1063/5.0091661

5. Shinji Migita, "Perspective of ferroelectric- $\text{HfO}_2$  materials for electron device applications", 2022 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW), 2022, 22093154、DOI: 10.1109/SNW56633.2022.9889014

\*その他の著作物（相手側研究チームとの共著のみ）（総説、書籍など）

特になし

\*その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）

特になし

2. 学会発表

\*口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：0件（招待講演：0件）

\*口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：12件（招待講演：2件）

招待講演

1. Shinji Migita, "Perspective of ferroelectric- $\text{HfO}_2$  materials for electron device applications", 2022 Silicon Nanoelectronics Workshop, 2022年6月

2. 右田真司、他、「 $\text{HfO}_2$ - $\text{ZrO}_2$  Nanolaminate 構造における強誘電相の生成促進」、第70回応用物理学会春季学術講演会、2023年3月

#### 一般講演

1. 森田行則、「強誘電体薄膜  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  および  $\text{HfO}_2$  の強誘電特性の比較」、2020 年日本表面真空学会学術講演会、オンライン開催、2020 年 11 月
2. Yukinori Morita, et. al., "Carrier Transport properties of Ferroelectric  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  Thin Films in Poling Treatment", International Conference on Solid State Devices and Materials 2021, Online, 2021 年 9 月
3. 女屋崇、他、「 $\text{TiN}/\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2/\text{Si}$ -MFS 作製における  $\text{SiO}_2$  界面層成長の抑制」、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会、オンライン、2021 年 9 月
4. Takashi Onaya, et. al., "Study of  $\text{SiO}_2$  Interfacial Layer Growth during Fabrication Process of Ferroelectric  $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ -Based Metal-Ferroelectric-Semiconductor", 240th ECS Meeting, G02-0927, Virtual Meeting, 2021 年 10 月
5. 女屋 崇、他、「強誘電性の向上へ向けた  $\text{TiN}/\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$  界面の  $\text{TiO}_x\text{Ny}$  層の重要性」、電子デバイス界面テクノロジー研究会－材料・プロセス・デバイス特性の物理－（第 27 回研究会）、6-1、オンライン開催、2022 年 1 月
6. 女屋 崇、他、「 $\text{ZrO}_2$  核生成層による  $\text{TiN}/\text{ZrO}_2/\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ -MFS 構造の  $\text{SiO}_2$  界面層抑制及び強誘電性の改善」、第 69 回応用物理学会春季学術講演会、24p-E105-5、ハイブリッド開催(青山学院大学 相模原キャンパス+オンライン)、2022 年 3 月
7. 女屋 崇、他、「異なる酸化剤を用いた原子層堆積法により作製した強誘電体  $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2/\text{TiN}$  の構造評価」、第 69 回応用物理学会春季学術講演会、24p-E105-5、ハイブリッド開催(青山学院大学 相模原キャンパス+オンライン)、2022 年 3 月
8. 右田真司、他、「 $\text{HfO}_2$ - $\text{ZrO}_2$  Laminate 構造が強誘電相生成をアシストするメカニズム」、第 83 回応用物理学会秋季学術講演会、オンライン、2022 年 9 月
9. Shinji Migita, et. al., "Transition of Ferroelectric and Antiferroelectric Properties in Atomic-Scale-Engineered  $\text{HfO}_2$  and  $\text{ZrO}_2$  Superlattice Films", International Microprocesses and Nanotechnology Conferences, 2022 年 11 月
10. 森田行則、他、「製膜後の最初の電界印加によって誘起される  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  薄膜の伝導特性の変化および強誘電化」、第 70 回応用物理学会春季学術講演会、2023 年 3 月

#### 2. 学会発表

\*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：0 件

\*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：1 件

1. 森田 行則, "ポーリング処理前後における強誘電性  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  薄膜の不可逆的な伝導特性変化" 電子デバイス界面テクノロジー研究会, オンライン, 2022 年 1 月

#### 3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

#### 4. 研究交流の実績

##### 【合同ミーティング】

・2022 年 9 月 15 日：オンラインミーティング(Teams)

それ以外に毎月メールで進捗状況等について話し合いを行った。

また、日本側と台湾側で作製する試料のやり取りを行い、加工を進めた。

・2022 年 12 月：台南で開催された JST-NSTC Workshop 2022 に参加し、その後新竹で Chang-Liao 教授と進捗状況等について対面で話し合いを行った。

#### 5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0 件

6. 受賞・新聞報道等

2022 年度応用物理学会論文賞、右田真司、太田裕之、浅沼周太郎、森田行則、鳥海明、  
2023/3/15

7. その他

特になし