

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02445

研究課題名（和文）HfO₂系強誘電体の分極揺らぎの制御による新奇物性の探索研究課題名（英文）Exploration of novel physical properties of HfO₂-based ferroelectrics by controlling polarization fluctuations

研究代表者

浅沼 周太郎（Asanuma, Shutaro）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員

研究者番号：30409635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：HfO₂系強誘電体は有望な強誘電体材料であるが、抗電界等に課題があるためまだ実用化に至っていない。そこでHfO₂系強誘電体に電荷揺らぎやドメイン制御を導入することで特性の改善を試みる研究を行った。全体の電荷平衡を保ったままHf⁴⁺を3価Y³⁺及び5価のNb⁵⁺で置換し局所的な電荷不均一を導入したY_xNb_xHf_{1-2x}O₂薄膜を作製したところEndurance特性が劣化しない薄膜の成膜に成功した。また、ナノラミネート膜を使用することで結晶化温度の低減に成功し、電界印加による酸素欠陥形成に関する物証の一つを発見した。また、HfO₂系強誘電体の自発分極の温度依存性を光学的に観察することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

HfO₂系強誘電体は10nm以下の膜厚でも強誘電性を示すことからFeFET等の材料として期待されており、AI等に用いるインメモリーコンピューティング等への応用を目指して研究が進められている。しかし、ペロブスカイト型強誘電体と比較してEndurance特性及び抗電界の面で課題があるためまだ実用化に至っていない。本課題の研究成果は、リラクサー的挙動を示すHfO₂系強誘電体の発見と言う点で学術的意義が大きいだけでなく、Endurance特性及び抗電界特性の改善、延いてはHfO₂系強誘電体を用いたFeFET等の実用化に貢献するものであり、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：HfO₂-based ferroelectrics are promising ferroelectric materials, but they have yet to be put into practical use due to issues such as coercive electric fields. Therefore, we researched to improve their characteristics by introducing charge fluctuations and domain control into HfO₂-based ferroelectrics. We successfully created Y_xNb_xHf_{1-2x}O₂ thin films that introduced local charge inhomogeneity by replacing Hf⁴⁺ with trivalent Y³⁺ and pentavalent Nb⁵⁺ while maintaining overall charge balance and succeeded in forming films that do not degrade endurance characteristics. Also, we successfully reduced the crystallization temperature by using nanolaminate films and discovered evidence of oxygen defect formation due to the application of an electric field. Furthermore, we succeeded in optically observing the temperature dependence of spontaneous polarization in HfO₂-based ferroelectrics.

研究分野：酸化物エレクトロニクス

キーワード：強誘電体 HfO₂ リラクサー 薄膜 第二高調波 バンドエンジニアリング ドメインエンジニアリング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 強誘電体はエレクトロニクス産業を支える重要な材料であり、例として IC カードや医療機器の中の強誘電体メモリとして社会に広く普及している。現在の主流材料はペロブスカイト型結晶の $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) である。2011 年に蛍石型結晶の HfO_2 系で強誘電性が報告されて以来 [1]、その材料物性と産業応用の両面で強誘電体が再び脚光を浴びている。 HfO_2 系は Pb フリーで環境に優しく、強誘電特性が得られる膜厚がわずか 10 ナノメートル程度と非常に薄い。 HfO_2 系材料の強誘電体メモリが PZT に置き換わって製造できれば、メモリ容量を従来の 1000 倍以上に増加できることが試算されている [2]。さらに強誘電体の分極反転挙動を利用して低消費電力なトランジスタを製作しようという研究 [3,4] も盛り上がり、次世代の集積回路を高性能化する新しい機能材料として、 HfO_2 系強誘電体は注目を集めている。

(2) HfO_2 系強誘電体の電気特性の大きな特徴として、分極反転に必要な電界強度、いわゆる抗電界 (EC) がペロブスカイト型結晶に比べて非常に大きいことが挙げられる。膜厚 100 nm 程度の PZT 膜で分極反転に必要な電圧が 1V 程度なのに対し、膜厚 10 nm 程度の HfO_2 系は膜厚が 10 分の 1 程度の薄さにも関わらず、分極反転に必要な電圧は PZT と同等の 1 V 程度である。すなわち HfO_2 系では 10 倍以上の電界強度が分極反転に必要である。このことは HfO_2 系強誘電体では分極状態を反転するために乗り越えるべきエネルギー障壁が非常に大きいことを示している。

(3) HfO_2 系強誘電体の抗電界を小さくできれば、低電圧動作する低消費電力メモリの開発が発展する。さらに分極応答による非線形な振る舞いを維持したままで抗電界をゼロへと近づけることができれば、ペロブスカイト型強誘電体に現れるリラクサーと同等の物性が実現できることになり、携帯機器や車載用のスーパーキャパシタ材料開発への期待も高まる。

(4) しかし、現在まで、抗電界の低減を意図した研究は報告例がなく、実現されていない。このような背景のもと我々は、「科学的材料設計指針に基づいて、 HfO_2 系強誘電体の抗電界を低減する技術は開発可能か」という「問い」に至った。

2. 研究の目的

我々は、材料内部に分極揺らぎ状態を導入しこれを制御することができれば、抗電界の低減が狙えるのではないかと考えた。このコンセプトを図 1 に示す。先に記したように、 HfO_2 系強誘電体は、分極反転に必要な抗電界が非常に大きい。これは 2 つの分極状態の間を遷移する際のエネルギー障壁が大きいことを意味する (図 1 (a))。これに対して何らかの手段でエネルギー障壁を下げることで小さな外部電界でも状態間の遷移が可能になり抗電界が低減できる (図 1 (b))、さらに熱揺らぎと同等にまでエネルギー障壁を下げることでヒステリシスを伴わずに遷移できる状態となり、リラクサー的な振る舞いを作り出せる (図 1 (c))。すなわち、エネルギー障壁を下げる何らかの技術手段の開発にこそ、抗電界を低減する鍵があると考えた。そこで本研究では、エネルギー障壁を低下させる技術として、次の 2 つの方法を実践して抗電界の低減効果を検証し、 HfO_2 系材料の誘電特性の新しい設計指針を構築することを目的とする。また、作製した強誘電体薄膜の分極挙動の電氣的・光学的評価を目的とする。以上の目的をまとめると次の 3 項目になる。

ドーピングによってバンドギャップを狭小化し分極反転を容易化 (バンドエンジニアリング)
非平衡な結晶成長技術を用いてナノ粒子化し分極揺らぎを促進 (ドメインエンジニアリング)
 HfO_2 系強誘電体薄膜の分極挙動の電氣的・光学的評価

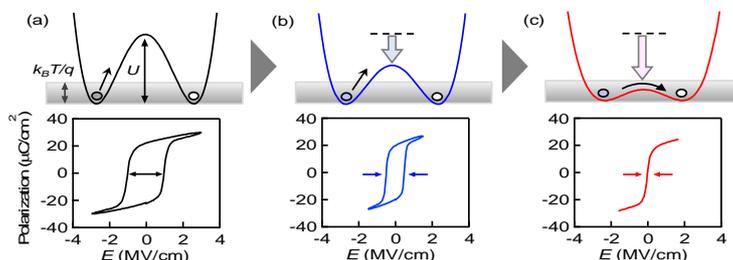


図 1. 本研究で検証する、 HfO_2 系強誘電体の特性を変調するためのエネルギー障壁 (U) の設計コンセプト。(a) 通常の強誘電体状態。U が大きく、抗電界が大きい。(b) U を低下することで抗電界の低減を狙う。(c) さらに熱揺らぎレベルまで U を低下することでリラクサー的挙動の発現が期待される。

3. 研究の方法

本研究の手法及びその独自性を説明する。HfO₂系強誘電体の研究ではこれまでに金属元素のドーピング効果に関する研究が多数報告されているが、常にバンドギャップを大きく維持する元素が選ばれており、バンドギャップの狭小化を狙う研究はこれまで実践されていない。また極薄膜を結晶化するアニール技術も数多く報告されているが、結晶粒を小さく制御しようという狙いは報告例がない。バンドエンジニアリングやドメインエンジニアリングを積極的に取り入れて抗電界の低減を狙い、HfO₂系強誘電体材料の新しい可能性を見出そうという研究はこれまでに実践されておらず、本研究の独自性は高い。そしてこれらの実験・評価に基づいてHfO₂系強誘電体材料の新しい誘電特性設計指針を構築するという目標は、低消費電力なメモリ技術やスーパーキャパシタの開発に貢献する、創造性が高い内容であると確信している。

HfO₂系強誘電体とペロブスカイト型強誘電体については、抗電界の他に Endurance 特性(書き換え特性)についても差があることが知られている。Endurance 特性は 10¹⁵ 回程度であるのに対し、HfO₂系強誘電体の Endurance 特性が 10¹² 回程度であり、ペロブスカイト型強誘電体の Endurance 特性と比較して小さい。この原因については、HfO₂系強誘電体中の酸素欠陥が電界印加により移動し強誘電性が劣化する状態に再配置することが原因と考えられている。一方、HfO₂系強誘電体においては、酸素欠陥の存在が強誘電性を示す直方晶の安定化に重要な役割を果たしていると考えられており、単に酸素欠陥を減らせば Endurance 特性が改善すると言う問題ではない。単純に考えると、抗電界が大きいと言うことは一回の分極反転時に結晶に加わる電界の影響が大きいと言うことである。そのため、抗電界の大きさは Endurance 特性とも関連があることが予想される。そこで、抗電界低減のために酸素欠陥の挙動を明らかにする研究についても取り組んだ。

ドーピングによるバンドギャップ狭小化(バンドエンジニアリング)

実験にはパルスレーザー堆積法(PLD)とスパッタ法を用いて、それぞれの特徴を活かしたドーピング効果の研究を行った。

PLD 法は、自前で組成調整して合成したターゲットを用いて迅速に成膜実験が行えることから、ドーパント材料のスクリーニングを効率的に行える成膜法である。本研究では PLD 法を用いて共添加(Co-doping)に取り組んだ。従来の研究の1度に1種類の元素を添加する方法の場合、価数平衡を保つために酸素欠損が生じることが問題となる。これを解決するためには、価数を補償するドーパントを同時に添加(Co-doping)することが望ましい。そこでバンドギャップの狭小化に働く元素と全体の価数平衡を保つ元素を Co-doping することで、抗電界の低減効果を狙う。格子整合に優れたイットリア安定化ジルコニア(YSZ)単結晶基板や SrTiO₃(STO)単結晶基板を使用して、高品質の結晶成長を維持しながら Co-doping の効果を検証した。

産総研が保有するスパッタ装置は、複数のスパッタターゲットを用いて原子層精度の成膜が可能装置である。この装置の特徴を生かして、層状にドーパントを挿入するデルタドーピング(Delta doping)についても検討した。PLD 法の Co-doping が薄膜試料全体の変調を試みるのに対して、スパッタ法では膜内部に局所的なバンドギャップの狭小化を引き起こし分極反転のトリガーを形成する狙いである。以上の2つの成膜方法を活用して、最適なドーパント元素の探索とその導入技術を研究した。

酸素欠陥も一種のドーピングである。そこで、この研究の一環として酸素欠陥の形成やその影響についても研究を行った。

ナノ粒子化による分極揺らぎの導入(ドメインエンジニアリング)

HfO₂系強誘電体結晶のナノ粒子化によるドメインエンジニアリングを試みた。スパッタ法で室温堆積した膜は非晶質状態である。これまでに、通常の熱処理を行って結晶膜を生成すると、結晶粒径が 50~100 nm になることを確認している。そこで非平衡な結晶成長を促して、10 nm レベルのナノ粒子化を目指した。原子層レベルよりも希薄なデルタドーピングで成長の核となる元素を分散導入し、結晶核を多数発生させる実験や、結晶粒の成長を阻害する層を挿入して結晶核の成長拡大を阻止する実験を行った。結晶粒同士の方位ばらつきや、粒子体積に対する界面面積の急増による不安定化が作用することで、これまでの大型結晶粒とは異なる振る舞いが現れると予想した。また、この研究の一環として、結晶核の成長温度を制御する技術の開発にも取り組んだ。

分極挙動の電気的/光学的評価

電気特性評価は産総研で実施した。上記のコンセプトで作成した薄膜試料にリソグラフィ技術で電極形成を行い、保有する強誘電体特性評価装置や半導体パラメーターアナライザーを使用して分極特性や電流特性を測定し、狙いとする機能の発現を検証する。デバイス作成技術と迅速な測定体制はすでに構築済みである。

一方の光学特性評価は北大において実施した。偏光ラマン分光装置や自作の広帯域レーザー分光システムを用いて、ラマンスペクトルや2次高調波(SHG)を計測した。温度可変の試料ステージを活用して光学信号の温度依存性を分析し、相転移温度の同定や分極特性の異常振る舞いの出現を系統的に調べた。同位体酸素を用いた試料の光学特性評価も重要である。研究分担者らは SrTiO₃ 単結晶において、酸素質量の変化によって強誘電体のソフトモードに変化が現れるこ

との観測に成功している。これを HfO₂ 系強誘電体で試みることで、強誘電特性の起源を明らかにする有益な成果発信を目指した。

4. 研究成果

ドーピングによるバンドギャップ狭小化 (バンドエンジニアリング)

HfO₂ 系強誘電体の分極疲労には酸素欠陥が関係している一方で、強誘電性を示す直方晶の形成にも酸素欠陥が関係していることが HfO₂ 系強誘電体の Endurance 特性改善を困難にしていた。そこで、酸素欠陥なしでも強誘電相が安定化する様に HfO₂ 系強誘電体に元素を添加することを検討した。単元素を添加し強誘電相を安定化させる研究については、これまでも Y³⁺や La³⁺等様々な元素の添加が試みられ、報告されている。しかし、Hf⁴⁺を3価の元素で置換すると、電荷平衡を保つために必然的に酸素欠陥が生じてしまうため、これらの強誘電体でも酸素欠陥が起因と考えられる分極疲労等が生じている。そこで、本研究では Hf⁴⁺を3価及び5価等の元素を共添加することで置換し、全体の電荷平衡を保ったまま局所的な電荷不均一を導入することで強誘電相を安定化させることを試みた。この様に複数の元素を電荷平衡を保つ様に HfO₂ に共添加する研究はこれまでに報告されておらず、世界初の試みである。

HfO₂ に Y³⁺ を添加した Y:HFO の強誘電性については既に複数の報告が行われている。そこで、この知見を活かし、Y:HFO にさらに Nb⁵⁺ を添加した Y_xNb_xHf_{1-2x}O₂ (YNHO) をパルスレーザーデポジション (PLD) 法を用いて成膜し、強誘電性を評価する実験を行った。具体的には導電性 Nb:SrTiO₃ の (001) 基板上に Buffer 層として La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ 層を形成し、その上にエピタキシャルな YNHO 膜の成膜を試みた。その結果、基板温度 600-750 °C、酸素圧 75 mTorr の成膜条件において x = 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1 のエピタキシャル YNHO 膜の成膜に成功した。これらの内、x = 0.06、膜厚 8.9 nm の試料を微細加工し、PUND 測定法を用いて強誘電性を評価したところ、印加電圧 2 V で 2Pr = 12 μC/cm²、抗電界 E_c = 0.77 MV/cm の自発分極を示した。また、Endurance 特性を測定したところ、10¹⁰ 回まで Wake-up 特性も疲労特性も示さない安定な Endurance 特性を示した。これは電界印加により酸素欠陥が移動していないことを示唆しており、想定通り酸素欠陥なしで強誘電相が安定化している HfO₂ 系強誘電体の作製に成功した可能性がある。ただし、エピタキシャル薄膜は基板や電極層からの応力の影響を強く受けているため、応力によって歪んで強誘電性が生じている可能性がある。現在、この物質は特許出願に向けて多結晶膜のデータを収集中であり、まだ外部への発表は行っていない。多結晶膜での強誘電性が確認出来次第特許を出願する予定である。

この成果に関連した酸素欠陥を低減させる技術について

Dalton Transactions, 2022, 51, 2531-2537、DOI: 10.1039/D1DT03984A

で誌上発表した。

Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂(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の時点から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。

この成果については

Japanese Journal of Applied Physics, 2022, 61, SC1070、DOI: 10.35848/1347-4065/ac48ce

で誌上発表した他、International Conference on Solid State Devices and Materials 2021、第 70 回応用物理学会春季学術講演会で学会発表を行った。

ナノ粒子化による分極揺らぎの導入 (ドメインエンジニアリング)

結晶核の成長を制御する技術として、核成長温度の制御から試みた。

HfO₂ 系強誘電体において強誘電性を発現させるには通常 600 °C 程度で結晶化させる必要があるが、これは通常の半導体プロセスで使用する温度(400 °C)よりも高いため、このままでは HfO₂ 系強誘電体以外の場所に熱ダメージが入る、界面において元素が相互拡散する等の問題が生じるためプロセスに取り入れるのは困難である。そのため、出来るだけ低温で HfO₂ 系強誘電体を結晶化させる技術が必要になる。我々はこの課題に対し、主に結晶化温度が HfO₂ よりも低い ZrO₂ を結晶化の核として用いるアプローチで解決を試みた。

その一つとして、スパッタ装置を用いて nm レベルの膜厚の HfO₂ と ZrO₂ のラミネート膜と Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ の固溶体薄膜を成膜し、積層周期や構造が結晶化温度や強誘電特性にどのような影響を及ぼすかを調査し比較した。その結果、ナノラミネート膜は 600 °C 10 分のアニーリングでも結晶化し強誘電性を示したのに対し、固溶体膜は強誘電性を示さなかった。また、700 °C でアニーリングした場合、積層周期 0.25 nm のナノラミネート膜は 1 分のアニーリング時間で十分に結晶化が進み 2Pr = 40 μC/cm² を超える自発分極を示したのに対し、固溶体薄膜は同様の自発分極を発現させるのに 100 分のアニーリング時間を必要とした。これらの結果は、結晶化温度の低い

ZrO₂ を結晶化の核とすることで、結晶化温度下げ、アニーリング時間を短縮することが出来ることを示している。

この成果については

Applied Physics Express, 2021, 14, 051006、DOI:10.35848/1882-0786/abfa75

で誌上発表を行った。この論文は APEX 誌の Spotlights 論文に選定され、その後、2022 年度の応用物理学会優秀論文賞に選ばれた。また、第 83 回応用物理学会秋季学術講演会、International Microprocesses and Nanotechnology Conferences 2022 で学会発表を行った

分極挙動の電氣的/光学的評価

電氣的評価については の成果でも触れているので、ここでは光学的評価の結果を示す。

HfO₂系強誘電体の温度依存相転移に関する報告はまだほとんどなく、HfO₂系強誘電体の相転移機構解明に関する研究は十分になされていない。一方、理論的には第一原理計算により正方晶構造(P42/nmc)から直方晶構造(Pca21)への強誘電性相転移に伴うソフトモードの存在が示唆されており実験的な検証が求められていた。そこで、Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ (HZO) 薄膜試料について高分解能広帯域スペクトルの温度依存性を測定してフォノンダイナミクスの視点から HfO₂系強誘電体を示す強誘電性相転移の発現機構の解明を試みた。試料には Si 基板上に RF スパッタ法を用いて成膜した膜厚 30-50 nm の HZO 薄膜試料を用いた。広帯域スペクトルの測定には光源として波長 532 nm の DPSS レーザーを用い、散乱光をタンデム式ファブリ・ペロー干渉計とトリプルモノクロメータを用いて分光した。振動数 1 GHz から 30 THz の帯域で高分解能広帯域スペクトルを測定した結果、室温において約 3THz と約 18 THz にそれぞれ中心周波数をもつ非常にブロードな二つのピーク構造を観測した。これらの試料を加熱した結果、膜厚 30 nm の試料では約 800 K、膜厚 50 nm の試料では 750 K でフォノンの異常が観測された。この異常は強誘電体相転移を示唆するものであり、Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 薄膜は厚さが薄くなるにつれて転移温度が高温側にシフトすることが示唆された。

これらの成果については第 2021 年日本物理学会秋季大会及び 2022 年日本物理学会春季大会で学会発表を行った。

<引用文献>

- [1] T. S. Böске *et al.*, “Ferroelectricity in hafnium oxide thin films,” *Appl. Phys. Lett.* **99**, 102903 (2011).
- [2] J. Müller *et al.*, “Ferroelectric Hafnium Oxide: A CMOS-compatible and highly scalable approach to future ferroelectric memories,” *Tech. Dig. IEDM 2013*, pp. 230-233.
- [3] Sayeef Salahuddin and Supriyo Datta, “Use of Negative Capacitance to Provide Voltage Amplification for Low Power Nanoscale Devices,” *Nano Lett.* **8**, 405 (2008).
- [4] M. Alam, *et al.*, “A critical review of recent progress on negative capacitance field-effect transistors,” *Appl. Phys. Lett.* **114**, 090401 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 S. Asanuma	4. 巻 51
2. 論文標題 Synthesis of rhombohedral LaCuO ₃ thin films using the oxidation effect of NaClO solution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 2531, 2537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D1DT03984A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Morita, H. Ota and S. Migita	4. 巻 61
2. 論文標題 Anomalous change of carrier transport property of ferroelectric Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ thin films in the first poling treatment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SC1070-1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac48ce	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 S. Migita, H. Ota, S. Asanuma, Y. Morita, A. Toriumi	4. 巻 14
2. 論文標題 Accelerated ferroelectric phase transformation in HfO ₂ /ZrO ₂ nanolaminates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 051006 ~ 051006
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/abfa75	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 S. Migita	4. 巻 2022
2. 論文標題 Perspective of ferroelectric-HfO ₂ materials for electron device applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW)	6. 最初と最後の頁 22093154
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SNW56633.2022.9889014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Yukinori Morita, Hiroyuki Ota, Shinji Migita
2. 発表標題 Carrier Transport properties of Ferroelectric Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ Thin Films in Poling Treatment
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 森田行則、太田裕之、右田真司
2. 発表標題 ポーリング処理前後における強誘電性Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ 薄膜の不可逆的な伝導特性変化
3. 学会等名 電子デバイス界面テクノロジー研究会
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 目貫巧、武貞正樹、森田行則、太田裕之、齊藤雄太、右田真司、浅沼周太郎
2. 発表標題 Fluctuation of polarization in HfO ₂ -based ferroelectric thin film
3. 学会等名 2022年日本物理学会春季大会
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 目貫巧、水野大樹、武貞正樹、右田真司、森田行則、太田裕之、齊藤雄太、浅沼周太郎
2. 発表標題 ハフニア系強誘電体薄膜の分極揺らぎ
3. 学会等名 2021年日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 武真正樹、水野大樹、目貫巧、右田真司、森田行則、太田裕之、齊藤雄太、浅沼周太郎
2. 発表標題 ハフニア系強誘電体薄膜Hf0.5Zr0.5O2におけるラマン散乱
3. 学会等名 2022年日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 右田 真司、森田 行則、浅沼 周太郎、太田 裕之、齊藤 雄太
2. 発表標題 HfO2-ZrO2 Laminate構造が強誘電相生成をアシストするメカニズム
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shinji Migita
2. 発表標題 Perspective of ferroelectric-HfO2 materials for electron device applications
3. 学会等名 2022 Silicon Nanoelectronics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shinji Migita, Shutaro Asanuma, Yuta Saito, Yukinori Morita, Hiroyuki Ota
2. 発表標題 Transition of Ferroelectric and Antiferroelectric Properties in Atomic-Scale-Engineered HfO2 and ZrO2 Superlattice Films
3. 学会等名 International Microprocesses and Nanotechnology Conferences (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 森田行則、女屋崇、浅沼周太郎、太田裕之、右田真司
2. 発表標題 最初の電界印加によって誘起されるHf0.5Zr0.5O2薄膜の伝導特性の変化および強誘電化
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 右田真司、太田裕之、浅沼周太郎、森田行則、鳥海明
2. 発表標題 HfO2-ZrO2 Nanolaminate構造における強誘電相の生成促進
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年～2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	武貞 正樹 (Takesada Masaki) (30311434)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	森田 行則 (Morita Yukinori) (60358190)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究グループ長 (82626)	
研究分担者	太田 裕之 (Ota Hiroyuki) (70356640)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究グループ長 (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	右田 真司 (Migita Shinji) (00358079)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・総括研究主幹 (82626)	
研究分担者	齊藤 雄太 (Saito Yuta) (50738052)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究グループ長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関