

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01701

研究課題名(和文) エピタキシャル膜を用いた蛍石構造強誘電体の特性支配因子の解明

研究課題名(英文) Investigation of ferroelectric character in Wurtzite ferroelectrics using epitaxial films

研究代表者

舟窪 浩 (FUNAKUBO, Hiroshi)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：90219080

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 膜厚依存性：膜厚14-111nmの0.07Y01.5-0.9+3HfO₂膜では、膜厚に依存せず強誘電性が確認でき、大きな膜厚依存性は認められなかった。(2) 相転移温度：組成、結晶方位、膜厚にかかわらず、昇温と降温時の相転移温度に大きな温度差があることを見出した。(3) 相転移：0.05Y01.5-0.95(0.5HfO₂-0.5ZrO₂)膜は正方晶であったが、電界印加で直方晶相となる電界誘起の相転移が確認された。(4) 低温合成：スパッタ法を用いて非加熱合成で作製した0.07Y01.5-0.9+3HfO₂膜では、1000℃で加熱した後と遜色ない強誘電性が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強誘電体の研究は、長年ペロブスカイト構造とその関連構造の酸化物について主に行われてきたが、2011年に蛍石構造を有するHfO₂基酸化物薄膜において強誘電性が見出された。しかし現有の強誘電体理論では説明できない点も多く、新たな理論の構築が待たれる状況にある。最大の課題は、蛍石強誘電体の強誘電特性の起源が解明されていないことにある。本研究は、研究代表者が世界で初めて作製に成功したエピタキシャル膜を用いて、蛍石構造強誘電体の特性支配因子を明らかにすることである。結晶構造やドメイン構造を制御する特性支配因子を解明することによって、従来の理論では説明できなかった蛍石構造強誘電体の強誘電性の起源に迫った。

研究成果の概要(英文)：Stable ferroelectricity was observed for the films with 14-111 nm in thickness. Phase change temperature between tetragonal and orthorhombic phases shows large hysteresis. Field induced strain from tetragonal to orthorhombic phase was discovered. Sputtered film without heating shows good ferroelectric properties compatible to that of heat-treated one at 1000℃.

研究分野：無機材料科学 機能性薄膜

キーワード：酸化ハフニウム 強誘電性 特性支配因子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の学術的背景

・ 蛍石構造強誘電体の発見と現状

強誘電体の研究は、長年ペロブスカイト構造とその関連構造の酸化物について主に行われてきたが、2011年に蛍石構造を有する HfO_2 基酸化物薄膜において強誘電性が見出された。しかし、現有の強誘電体理論では説明できない点も多く、新たな理論の構築が待たれる状況にある。

・ 蛍石構造強誘電体の課題

最大の課題は、蛍石強誘電体の強誘電特性の起源が解明されていないことにある。

・ 問題を解決する研究代表者の手法

研究代表者は、2015年に方位制御した強誘電体相単相から成るエピタキシャル膜の作製に世界で初めて成功した。エピタキシャル膜を用いて蛍石型強誘電体の特性支配因子を明らかにすることで、その強誘電性についての起源を解明する可能性が示唆された。

(2) 研究課題の核心をなす学術的「問い」

・ 蛍石構造強誘電体は、ペロブスカイト構造強誘電体で構築された従来の強誘電体理論とは整合せず、説明できない以下のような特徴がある。

i) 従来の理論では、静電相互作用の長距離秩序が乱れ、強誘電相は薄膜化で不安定化するため、薄膜化すると強誘電性が発現しないとされてきた。これに対し蛍石構造強誘電体では2単位格子まで薄膜化しても強誘電特性が劣化しない。

ii) 従来の理論では、酸化物の強誘電性の発現には2つ以上の陽イオンの結晶サイトの存在が不可欠とされてきた。これに対し、蛍石構造強誘電体では、1種類の陽イオンサイトで従来の物質と遜色ない強誘電性が発現する。

・ 蛍石構造強誘電体の上記特徴を説明できる新しい理論を構築し、強誘電性の起源を明らかにするためには、強誘電特性の支配因子を解明する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が世界で初めて作製に成功したエピタキシャル膜を用いて、蛍石構造強誘電体の特性支配因子を明らかにすることである。

結晶構造やドメイン構造を制御する特性支配因子を解明することによって、従来の理論では説明できなかった蛍石構造強誘電体の強誘電性の起源に迫る。

(2) 学術的独自性と創造性

・ 研究代表者の独自の成果に基づいている点

本研究は、研究代表者が世界で初めて作製に成功したエピタキシャル膜を用いて行う研究であり、種々の組成や結晶方位を持つエピタキシャル膜を作製することができる研究代表者のみが可能な、独創性の高い研究である。

・ 新規材料の強誘電体について新しい理論が構築できる点

本研究により未解明であった蛍石構造強誘電体の特性支配因子が明らかになることで、従来の理論では説明できなかった蛍石構造強誘電体材料の特性発現機構の解明と全く新しい強誘電体理論の構築が期待できる創造的な研究である。

3. 研究の方法

薄膜は主に PLD 法を用いて、低温合成にはスパッタリング法も用いた。基板は(111)ITO//(111)YSZ、(100)ITO//(100)YSZ および(111)Pt/SiO₂/Siを用いた。作製した膜は、窒素中で 800-1000 で熱処理した。膜組成は主に 0.07Y_{0.5}-0.93HfO₂(YH07)を用い、0.5HfO₂-0.5ZrO₂、0.05Y_{0.5}-0.95(0.5HfO₂-0.5ZrO₂)組成も用いた。

4. 研究成果

(1) 膜厚依存性

図1に、(111)ITO//(111)YSZ基板上に作製した膜厚14-111nmのYH07膜の分極電界(P-E)特性を示す。どの膜厚でも強誘電性が確認でき、大きな膜厚依存はほとんど認められなかった。0.5HfO₂-0.5ZrO₂は膜厚が50nm以上ではほとんど強誘電性が認められなかったのと比較すると、YH07では広い膜厚範囲で安定した強誘電特性が得られていると言える。さらに膜厚は1μmまで安定して特性が得られることを確認した。

図2に、分極が0μC/cm²となる電界である抗電界(E_c)の膜厚依存を他の強誘電体と比較して示した。YH07のE_cの膜厚依存性は他の物質と比較して小さいことが明らかになった。

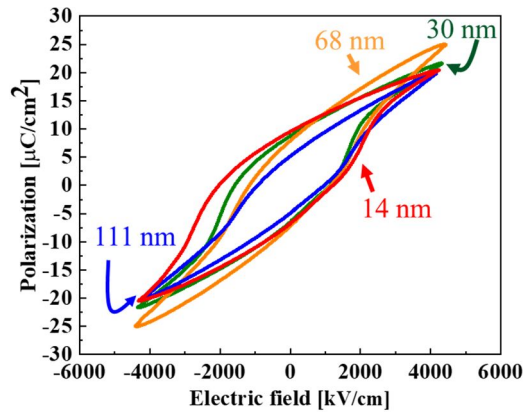


図1 (111)ITO//(111)YSZ 基板上に作製した膜厚 14-111 nm の YH07 膜の分極 電界(P - E)特性

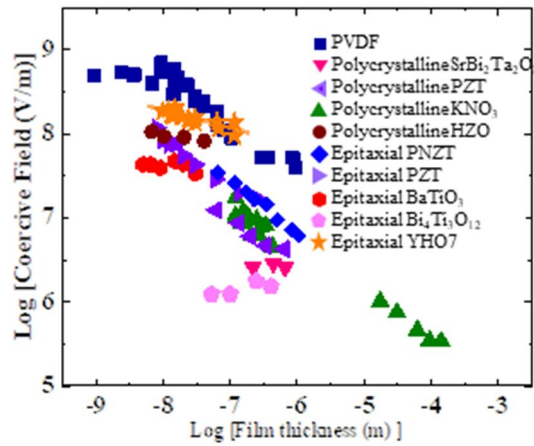


図2 抗電界(E_c)の膜厚依存

(2) 相転移温度

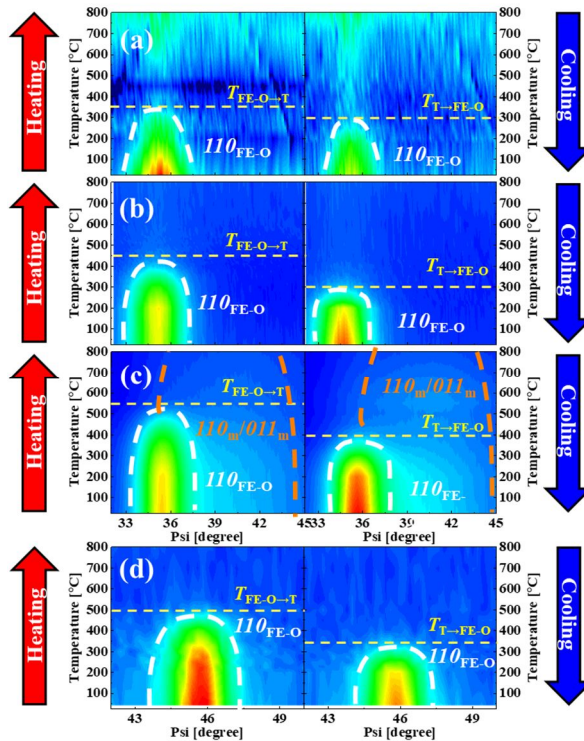


図3 $2\theta = 13.1^\circ$ ($d = 0.0827$ nm)での In-situ 高温 XRD スキャン結果。(111)YSZ 基板上に作製した 膜厚が(a)4.6 nm-, (b)14 nm-, と(c)84 nm の(111)配向 YH07 膜、(d)(100)YSZ 基板上に作製した膜厚が 15 nm の(100)配向 YH07 膜 [左列: 昇温, 右列: 降温]

図3に、(111) YSZ 基板上に作製した膜厚が(a) 4.6 nm, (b) 14 nm および(c) 84 nm の(111)配向した YH07 膜、(d)に(100)YSZ 基板上に作製した膜厚が 15 nm の(100)配向した YH07 膜の 110 回折の In-situ 高温 XRD の スキャン結果を示す。左列が昇温、右列が降温結果である。110の回折が確認されるのが強誘電相の直方晶であるのに対し、確認されないのが常誘電体相の正方晶である。この結果から、結晶方位や膜厚にかかわらず昇温と降温時の相転移温度に大きな温度差があることがわかる。

図4に、昇温と降温時の温度差, ΔT , を横軸に膜厚を取ってまとめた。図中には(111)Pt/SiO₂/Si 基板上に作製した YH07 の多結晶や 0.5HfO₂-0.5ZrO₂の結果を示した。組成、結晶方位、膜厚にかかわらず大きな温度差があることがわかる。この温度差はこれまで報告されている強誘電体物質の中でも最大級であることが明らかになった。

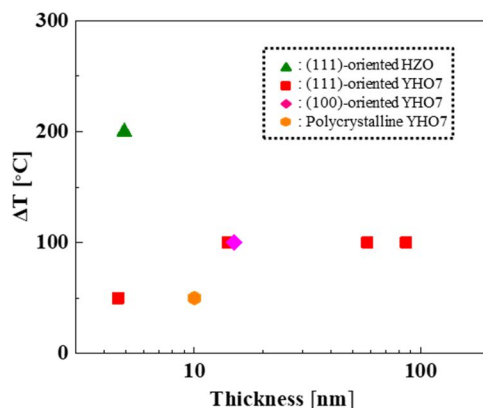


図4 種々のサンプルの昇温と降温時の温度差, ΔT , の膜厚依存性

(3) 相転移

図5に、(111)配向した 0.05YO_{1.5}-0.95(0.5HfO₂-0.5ZrO₂)膜の上部電極の外と内側(電界印加後)の STEM 像を示す。得られた膜は、XRD の構造解析では、正方晶であることを確認しており、図5(a)の STEM の結果とも一致している。これに対して電界印加後は、XRD では 110 の回折が確認されたことから、直方晶に相転移していることが確認されていることが確認できた。電界印加後の直方晶相の存在は図5 (b)に示した STEM でも確認できた。この結果から、電界誘起の相転移が起きることを示している。

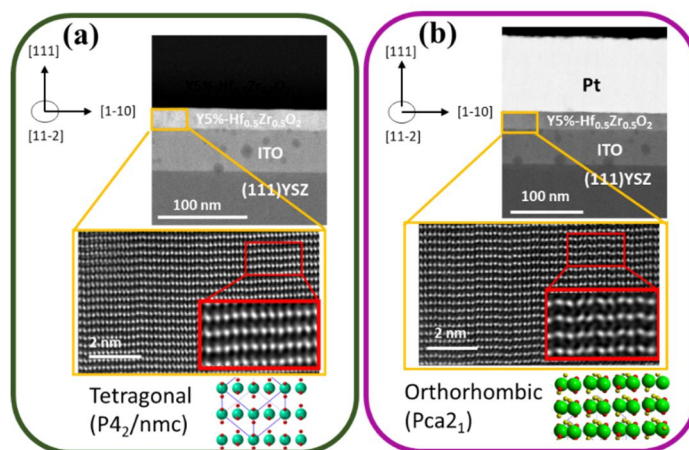


図5 上部電極の(a)外と(b)内側(電界印加後)の STEM 像

(4) 低温合成

図6に、スパッタ法を用いて非加熱合成で(111)ITO/(111)YSZ 基板上に作製した YH07 膜の分極 電界(P - E)特性を示した。1000 で加熱した後と遜色ない強誘電性が確認できた。この結果は、従来の強誘電体であるペロブスカイト構造等は2つ以上の陽イオンサイトがあるのに対し、蛍石構造が1つしかない単純な構造を有しているため、結晶相を低温で得られるためだと考えられる。

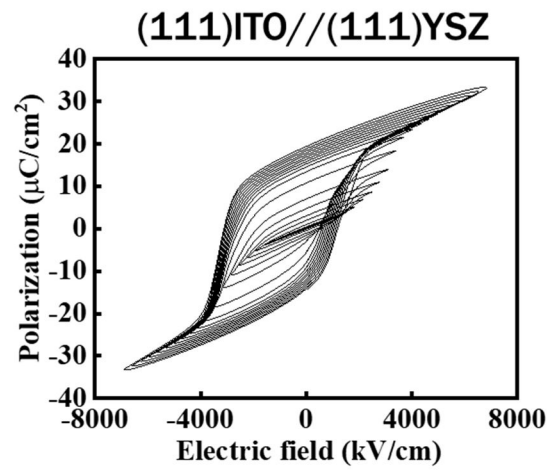


図6 スパッタ法を用いて非加熱合成で(111)ITO//(111)YSZ基板上に作製したYH07膜の分極電界(P - E)特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Reijiro Shimura, Takanori Mimura, Akinori Tateyama, Takao Shimizu, Tomoaki Yamada, Yoshitomo Tanaka, Yukari Inoue, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 60
2. 論文標題 Preparation of 1 μ m thick Y-doped HfO ₂ ferroelectric films on (111)Pt/TiO _x /SiO ₂ /(001)Si substrates by a sputtering method and their ferroelectric and piezoelectric properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 031009-031009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe72e	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 118
2. 論文標題 Large thermal hysteresis of ferroelectric transition in HfO ₂ -based ferroelectric films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 112903-112903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0040934	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 Takao Shimizu, Yuki Tashiro, Takanori Mimura, Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Toyohiko J. Konno, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 -
2. 論文標題 Electric Field Induced Ferroelectricity in 5%Y-doped Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ : Transformation from the Paraelectric Tetragonal Phase to the Ferroelectric Orthorhombic Phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica status solidi	6. 最初と最後の頁 2000589-2000589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssr.202000589	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Hiroshi Uchida, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 116
2. 論文標題 Room-temperature deposition of ferroelectric HfO ₂ -based films by the sputtering method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 062901-062901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5140612	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 59
2. 論文標題 Thickness- and orientation- dependences of Curie temperature in ferroelectric epitaxial Y doped HfO ₂ films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SGGB04-SGGB04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab6d84	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 Joel Molina-Reyes, Takuya Hoshii, Shun-Ichiro Ohmi, Hiroshi Funakubo, Atsushi Hori, Ichiro Fujiwara, Hitoshi Wakabayashi, Kazuo Tsutsui, and Kuniyuki Kakushima	4. 巻 59
2. 論文標題 NiSi ₂ as a bottom electrode for enhanced endurance of ferroelectric Y-doped HfO ₂ thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SGGB06-SGGB06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab6b7c	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 該当する

1. 著者名 Reijiro Shimura, Takanori Mimura, Takao Shimizu, Yoshitomo Tanaka, Yukari Inoue, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 128
2. 論文標題 Preparation of near-1- μ m-thick {100}-oriented epitaxial Y-doped HfO ₂ ferroelectric films on (100)Si substrates by an RF magnetron sputtering method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Ceram. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 539-543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20019	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Takanori Kiguchi, Akihiro Akama, Toyohiko J. Konno, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of heat treatment and in-situ high temperature XRD study on the formation of ferroelectric epitaxial Y doped HfO ₂ film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SBBB09-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aafed1	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 115
2. 論文標題 Ferroelectricity in Y01.5-Hf02 films around 1 μ m in thickness	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 032901-032901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5097880	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 T. Shiraishi, S. Choi, T. Kiguchi, T. Shimizu, H. Funakubo, and T. J. Konno	4. 巻 114
2. 論文標題 Formation of the orthorhombic phase in Ce02-Hf02 solid solution epitaxial thin films and their ferroelectric properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 232902-232902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5097980	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 Takahisa Shiraishi, Sujin Choi, Takanori Kiguchi, Takao Shimizu, Hiroshi Uchida, Hiroshi Funakubo, and Toyohiko J. Konno	4. 巻 57
2. 論文標題 Fabrication of ferroelectric Fe doped Hf02 epitaxial thin films by ion-beam sputtering method and their characterization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 11UF02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.11UF02	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 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Hiroshi Uchida, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 113
2. 論文標題 Thickness-dependent crystal structure and electric properties of epitaxial ferroelectric Y203-Hf02 films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 102901-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040018	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 Shuhei Nakayama, Hiroshi Funakubo, and Hiroshi Uchida	4. 巻 57
2. 論文標題 Crystallization behavior and ferroelectric property of HfO ₂ -ZrO ₂ films fabricated by chemical solution deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 11UF06-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.11UF06	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 Taisei Suzuki, Takao Shimizu, Takanori Mimura, Hiroshi Uchida, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 57
2. 論文標題 Epitaxial ferroelectric Y-doped HfO ₂ film grown by the RF magnetron sputtering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 11UF15-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.11UF15	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 Takao Shimizu, Takanori Mimura, Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Toyohiko Konno, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 113
2. 論文標題 Ferroelectricity mediated by ferroelastic domain switching in HfO ₂ -based epitaxial thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 212901-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5055258	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27件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 志村礼司郎、三村和仙、館山明紀、清水荘雄、白石貴久、舟窪浩
2. 発表標題 スパッタリング法によるY-HZO強誘電体厚膜の室温製膜とその電気特性および圧電特性評価
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志村礼司郎、三村和仙、館山明紀、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 スパッタリング法によるHfO ₂ 基強誘電体厚膜のシリコン基板上への室温製膜とその電気特性および圧電特性評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水荘雄、田代裕貴、三村和仙、舟窪浩
2. 発表標題 HfO ₂ 基材料における強誘電相生成機構
3. 学会等名 第40回電子材料研究討論会プログラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志村礼司郎、三村和仙、館山明紀、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 スパッタリング法によるHfO ₂ 基強誘電体厚膜の室温製膜とその電気特性評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三村和仙、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 エピタキシャルHfO ₂ 基膜を用いた直方晶相安定化の調査
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田代裕貴、三村和仙、清水荘雄、勝矢良雄、坂田修身、木口賢紀、白石貴久、今野豊彦、舟窪浩
2. 発表標題 HfO ₂ 基薄膜のZr, Yドープによる結晶相変化と強誘電相の安定性
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takao Shimizu, Takanori Mimura, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Robust ferroelectricity in thick HfO ₂ -based film
3. 学会等名 STAC-11 (The 11th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Shimizu, Takanori Mimura, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Robust Ferroelectricity in Y-Doped HfO ₂ Films
3. 学会等名 F2c 2 2019 (Joint ISAF-ICE-EMF-IWPM-PFM meeting 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Mimura, Takao Shimizu, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Thickness-dependent crystal structure of epitaxial ferroelectric 0.07Y01.5-0.93HfO ₂ and HZO films
3. 学会等名 ISIF 2019 (7th International Symposium on Integrated Functionalities) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Molina Reyes, T. Hoshii, S.-I. Ohmi, H. Funakubo, A. Hori, I. Fujiwara, H. Wakabayashi, K. Tsutsui, and K. Kakushima
2. 発表標題 Endurance Improvement in Ferroelectric Y-doped HfO ₂ Thin Films on NiSi ₂ with Low-Thermal Budget Processing
3. 学会等名 SSDM 2019 (2019 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Minura, T. Shimizu, Y. Katsuya, O. Sakata, and H. Funakubo
2. 発表標題 Thickness- and orientation-dependence of Curie temperature of ferroelectric epitaxial HfO ₂ based films
3. 学会等名 SSDM 2019 (2019 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三村和仙、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 スパッタリング法を用いたY:HfO ₂ 強誘電体膜の室温成膜
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代裕貴、三村和仙、清水荘雄、勝矢良雄、坂田修身、木口賢紀、白石貴久、今野豊彦、舟窪浩
2. 発表標題 HfO ₂ 基薄膜の電界誘起相転移
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-ki Tashiro, Takanori Mimura, Takao Shimizu, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Preparation and characterization of Y, Zr-doped HfO ₂ thin films by PLD method
3. 学会等名 CJFMA11 (The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Shimizu, Takanori Mimura, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 The phase stability and epitaxial growth of HfO ₂ -based ferroelectric materials
3. 学会等名 PACRIM13 (The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-ki Tashiro, Takanori Mimura, Takao Shimizu, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Y, Zr-doped HfO ₂ Thin Film by PLD Method
3. 学会等名 19th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Shimizu, Takanori Mimura, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Recent Progress on Ferroelectric HfO ₂ Epitaxial Films
3. 学会等名 19th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Stability of Ferroelectric Orthorhombic Phase in Epitaxial HfO ₂ -based Films
3. 学会等名 19th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村礼司郎、三村和仙、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 スパッタリング法を用いたY:HfO ₂ 強誘電体厚膜の作製とその電気特性評価
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Funakubo, Takanori Mimura, and Takao Shimizu
2. 発表標題 Phase stability and property control of ferroelectric HfO ₂ films
3. 学会等名 MRM2019 (Materials Research Meeting 2019 (招待講演) (国際学会))
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代裕貴、三村和仙、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 PLD法を用いたY, ZrドープHfO ₂ 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代裕貴、三村和仙、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 PLD法を用いたY, ZrドープHfO ₂ 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Funakubo, Takao Shimizu, and Takanori Mimura
2. 発表標題 Phase Stability of HfO ₂ -based Ferroelectric Materials and Their Property Control
3. 学会等名 2018 KPS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 舟窪浩、清水荘雄、三村和仙
2. 発表標題 HfO ₂ 基強誘電体の相安定性と特性制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanori Mimura, Takao Shimizu, Takanori Kiguchi, Akihiro Akama, Toyohiko J. Konno, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Effects of heat treatment and in situ high temperature XRD study on the formation of ferroelectric epitaxial HfO ₂ based film
3. 学会等名 SSDM 2018 (2018 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taisei Suzuki, Takanori Mimura, Takao Shimizu, Hiroshi Uchida, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Growth of epitaxial Y2O3-doped ferroelectric HfO2 films by sputtering method and their characterization
3. 学会等名 SSDM 2018 (2018 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水莊雄、三村和仙、舟窪浩
2. 発表標題 HfO2基強誘電体厚膜の作製と電気特性制御
3. 学会等名 2018年度セラミックス総合研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 強誘電性薄膜の製造方法、強誘電性薄膜、及びその用途	発明者 舟窪浩、清水莊雄、 三村和仙、中村美子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-086836	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 圧電体の製造方法、圧電体、及び圧電体素子又は装置	発明者 舟窪浩、清水莊雄、 三村和仙、中村美子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-086840	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東京工業大学 物質理工学院 材料系材料コース 舟窪研究室 https://f-lab.iem.titech.ac.jp/

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	清水 莊雄 (SHIMIZU Takao) (60707587)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・独立研究者 (82108)	

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		
メキシコ	国立宇宙物理・光学・電子研究所		