

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02421

研究課題名(和文) 構造傾斜領域の創出によるリラクサー薄膜のドメインエンジニアリング

研究課題名(英文) Domain engineering of relaxor thin films using structure gradient region

研究代表者

木口 賢紀(Kiguchi, Takanori)

熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・教授

研究者番号：70311660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：基板の弾性的拘束による歪みがPb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ (PMN-PT)薄膜の組織形成に及ぼす影響を系統的に調べた。(001)SrTiO₃、(001)LSAT、(001)KTaO₃単結晶基板上に成長したPMN-PT薄膜において、MPB組成域は熱応力に起因する歪みにより変化した。一方、ミスフィット転位芯の歪み場が正方晶相の90°ドメイン核生成サイトとして作用し、ドメイン間の空間的干渉によってドメイン幅が決定される。このように、薄膜-基板間の熱および格子ミスマッチがPMN-PT薄膜のMPB・ドメインエンジニアリングの支配因子であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、リラクサー薄膜の強誘電性・圧電性を決定づける組成相境界(MPB)組成域とドメイン構造が、それぞれ薄膜基板間の熱応力と格子ミスマッチにより決定されることを実験的に解明した点に学術的な意義を持つ。特に、組成だけでなく残留歪み状態が機能発現の要であるMPBを決定づけることから、リラクサーや強誘電体薄膜の材料設計において歪み状態の制御が重要な意味を持つことが明らかとなり、これからのIoT社会に不可欠である圧電センサーやアクチュエーターの材料開発の基盤として、社会的意義をもつ。

研究成果の概要(英文)：The effect of elastic strain of substrates on Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ epitaxial thin films was elucidated. The composition of the morphotropic phase boundary (MPB) of PMN-PT thin films deposited on SrTiO₃(001), LSAT(001), KTaO₃(001) substrates was changed by the strain induced by the thermal stress. On the other hands, the strain fields around the misfit dislocation core acted as the nucleation sites of the 90 degree domains of the tetragonal phase, and the width was decided by the interference among the domains. Thus, the thermal and lattice mismatches between the film and the substrate was found to be the dominant factor of the MPB and the domain engineering, respectively.

研究分野：材料工学、結晶工学、電子顕微鏡学

キーワード：リラクサー ドメインエンジニアリング MPBエンジニアリング PMN-PT 薄膜 弾性場 STEM EELS

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

代表的なリラクサー強誘電体 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMN)は、極性ナノ領域と呼ばれる僅か数 nm のナノドメインの分極ゆらぎが大きな誘電特性の起源である。さらに、リラクサーと強誘電体との固溶体 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ — PbTiO_3 (PMN-PT)は、組成相境界と呼ばれる擬立方晶と正方晶の2相が共存したナノ組織を形成して巨大な誘電特性を示すため、大容量キャパシタ、超音波振動子、センサ、アクチュエータなど 微小電気機械システム(MEMS)や医療用デバイスに不可欠な材料である。この組成相境界と呼ばれる組成域では、擬立方晶相、正方晶相など複数の相安定性が競合して多相共存ナノ組織が形成される。異相間の境界層は構造傾斜領域、すなわち異種結晶構造間の相境界領域に歪み勾配・分極ゆらぎが存在し、ナノドメインの分極ゆらぎに加えて巨大誘電・圧電特性の起源の一つとされており、その制御と有効利用が「MPB エンジニアリング」として注目されている。

一方、ナノサイズのドメインの配向や密度を制御して非 180°ドメイン(以下ドメイン)を固定し、電場に対するドメイン境界の振動すなわち分極のゆらぎによって巨大な誘電・圧電応答を発現する「ドメインエンジニアリング」という概念が注目されている。配向 BaTiO_3 セラミックスではドメインを固定できない単結晶と比べ 10 倍の圧電特性が報告されている。重要なことは、固定されたドメイン境界が高密度に存在して、同一の結晶構造のドメイン境界領域、歪み勾配を内包した分極ゆらぎが起こることである。

近年の IoT 社会の急速な発展やカーボンニュートラル実現への強い社会的要請に向けて、電子デバイスのモバイル化、省エネルギー化に向けた、強誘電体の薄膜化が求められている。従来、基板との格子ミスマッチが強誘電体薄膜のドメイン構造や誘電特性制御の重要な因子として注目されてきた。特に、ミスフィット歪みによってドメイン構造が決定される。しかし、材料設計において MPB エンジニアリングとドメインエンジニアリングは相互に深く関係し合い、これらの複合的な組織形成メカニズムの理解が求められる。

2. 研究の目的

薄膜化に伴う MPB 組成のシフトとドメイン構造形成の複合的・微視的なメカニズムの理解に向けて、本研究では薄膜・基板間の熱的・格子ミスマッチの観点からリラクサー薄膜における MPB エンジニアリングおよびドメインエンジニアリング実現のための基礎学理の解明を目指した。特に、熱的・格子ミスマッチの効果を切り分けられるよう、エピタキシャル薄膜で印加可能な異方的な弾性場に注目し、バルクセラミックスでは実現困難な歪み状態を形成した。

3. 研究の方法

$\text{Pb}_{1.1}(\text{Mg}_{(1.1/3)}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ および $\text{Pb}_{1.1}\text{TiO}_3$ 組成の有機金属錯体(MOD)原料溶液を用いた化学溶液堆積(CSD)法を用いて、PMN-xPT($x=0$ –100)固溶体薄膜を堆積した。異なる熱的・ミスフィット歪み状態の発現のために、3 種類の 100 配向単結晶基板 SrTiO_3 (STO, 格子定数 $d=0.3905$ nm, 熱膨張係数 $\alpha=11.4\times 10^{-6}$ K⁻¹), (LaAlO_3) – $(\text{SrAl}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3)$ (LSAT, $d=0.3868$ nm $\alpha=9.7\times 10^{-6}$ K⁻¹), KTaO_3 (KTO, $d=0.3988$ nm, $\alpha=7.6\times 10^{-6}$ K⁻¹)を使用した。既存のスピンコーターと赤外線急速アニール(RTA)炉を用いて、図 1 の

工程によりエピタキシャル薄膜を各基板上に堆積した。相同定・配向性については XRD 法で調べ、相同定と薄膜面内外の格子定数やドメイン構造に起因する結晶の傾斜角等を算出し、擬立方晶(PC)相・正方晶(T)相の 2 相共存組成域を MPB として決定した。HAADF-STEM 法による原子分解能イメージングとその幾何学位相解析(GPA)による原子変位場・弾性場解析を行い、界面構造、ドメイン構造、MPB 組成における微細組織とその発現メカニズムを検討した。

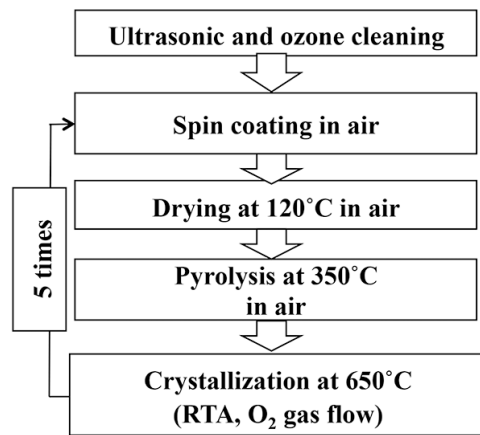


図 1 MOD 法による成膜工程

4. 研究成果

(1) PMN-PT 薄膜の MPB 組成域に及ぼす基板種の影響

図2に(100)STO、(100)LSAT、(100)KTO 基板上に堆積した(1-x)PMN-xPT 薄膜の XRD $2\theta/\omega$ プロファイルと断面方向から観察した電子回折図形のうち STO 基板上に成長した PMN-xPT 薄膜のデータを示す。全ての試料において、パイロクロア相を含まないペロブスカイト相単相が得られ、<001>方向への配向が確認できる。また、TEM 観察を行った試料において、電子回折図形から面内方向に対しても配向を確認できたことから、(1-x)PMN-xPT 薄膜が何れの基板に対しても (100)/(001)_{PMN-PT}/(100)_{STO}, [100]/[001]_{PMN-PT}/[100]_{STO} の cube on cube の方位関係を持ってエピタキシャル成長をしたことを示している。

基板種ごとの比較を行うため、図 3 に 004 反射近傍の拡大図を示す。x=0.3 では、いずれの基板上でも基板のピークよりも低角側に、擬立方晶のピークのみが観測された。x=0.6 で各基板上においてブロードな薄膜ピークまたはピークのスプリットが確認され、以降 x の増大に伴い薄膜のピークが、低角側と高角側に分離し、スプリット幅が大きくなっていく様子がわかる。低角側に現れるピークは、c 軸が面外

方向に配向した正方晶 c ドメインによるものであり、x が増加するに伴い面外方向への異方性が増大している。

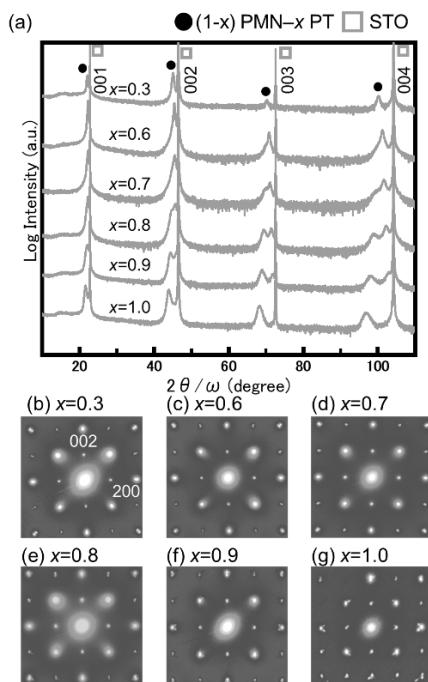


図 2 (a)STO 基板上に成長した(1-x) PMN-x PT (x=0.3-1.0) 薄膜の XRD プロファイルと(b)-(g) 制限視野電子回折図形。

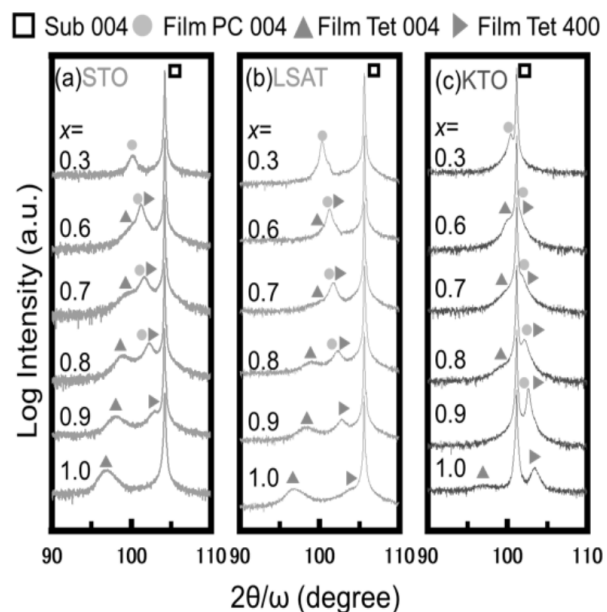


図 3 (a)STO, (b)LSAT, (c)KTO 基板上に成長した(1-x) PMN-x PT (x=0.3-1.0) 薄膜の 004 近傍の XRD プロファイル。

さらに、 c ドメインのピーク強度を同組成で基板ごとに比較すると、 $\text{STO} > \text{LSAT} > \text{KTO}$ となっており、正方晶相の成長が抑制されていると考えられる。高角側に出現しているピークは擬立方晶または正方晶 a ドメイン(正方晶の c 軸が面内に配向)に由来するものであり、面外方向の格子定数は PT 組成 x の増大に伴い減少した。

(2) PMN-PT 薄膜の巨視的歪み状態に及ぼす基板種の影響

(1)では、大きな熱歪みの予測される KTO 基板上において、MPB 組成域がより PT 高濃度側にシフトすることを確認した。本節では、各種基板上の結晶組織に残存している歪みを議論する。非対称反射 $\bar{1}03$ 近傍の逆空間マップ(RSM)から面内方向の格子定数 d_{\parallel} 、面外方向の格子定数 d_{\perp} を、擬立方晶および正方晶 c ドメインそれぞれについて算出し、各基板上の薄膜の擬立方晶相(PC)と正方晶相(Tet)の tetragonality(d_{\perp}/d_{\parallel} で定義される軸比)を組成に対してプロットしたのが図4である。全ての組成、結晶相において Tetragonality の値は、バルク>STO>LSAT>KTO である。これは、PMN-PT の薄膜化において引張り歪みが発生し、その大きさは基板の熱膨張係数の値に依存していることを示している。加えて正方晶 c ドメインの基板ごとの差は、MPB 組成域である $x=0.6-0.8$ で比較的大きく、正方晶単相である $x=0.9, 1.0$ では値が非常に近接している。これは、PT 高濃度側では正方晶 c 軸の異方性が、熱歪みによる異方性よりも大きく影響しているためだと説明される。

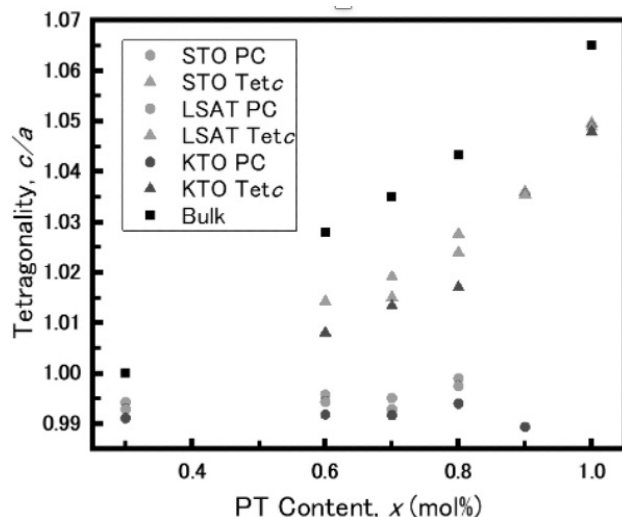


図4 STO, LSAT, KTO 基板上に成長した PMN-xPT 薄膜中の各相の Tetragonality の PT 組成依存性。

以上より、PMN-PT 薄膜の結晶組織において、巨視的に生じている歪みは格子ミスマッチよりも熱歪みが支配的であり、基板の熱膨張係数が小さいほど、大きな引張り歪みが室温まで残存していることが示唆された。この熱歪みは、相転移温度から室温までの冷却過程で生じると考えられる。

(3) PMN-0.8PT 薄膜の微細組織に及ぼす基板種の影響

次に、基板種が微細組織に及ぼす影響を STEM 像、およびそれを基にした GPA によって調査した。最も正方晶の軸比が大きく歪みマップにおけるコントラストが明瞭な PMN-0.8PT 薄膜に注目する。ここで、歪みマップ、の語句における「歪み」とは、単結晶基板の単位胞を参照格子とした場合の相対的な原子変位場を歪みとして表現した物理量であり、薄膜の組織形成で発生する歪みとは定義が異なる。基板種による比較に先立ち、KTO 基板上の PMN-PT 薄膜における、歪みマップに現れるアーチファクトについて説明する。図5に STO, KTO 上に成膜した PMN-PT 薄膜の界面近傍の HAADF-STEM 像と、GPA による面内垂直歪みマップ、面外垂直歪みマップを示す。KTO 基板上では、STO 基板上には見られない界面に沿った偽像が生じるが、結果の解釈を変更するものではないので以降言及しない。図5はそれぞれ、STO, LSAT, KTO 上に成膜した PMN-0.8PT 薄膜の 2 相共存領域における底角環状暗視野 STEM(LAADF-STEM)像と GPA による解析結果である。STO, LSAT 基板上の(e)回転マップでは、基板/薄膜界面近傍に、 $[011]$ 方向に伸びるコントラストが確認される。これは c ドメインと(011)面を共有するために数度回転した a ドメインに由来するものであり、 90° ドメイン構造の存在を示している。 90°

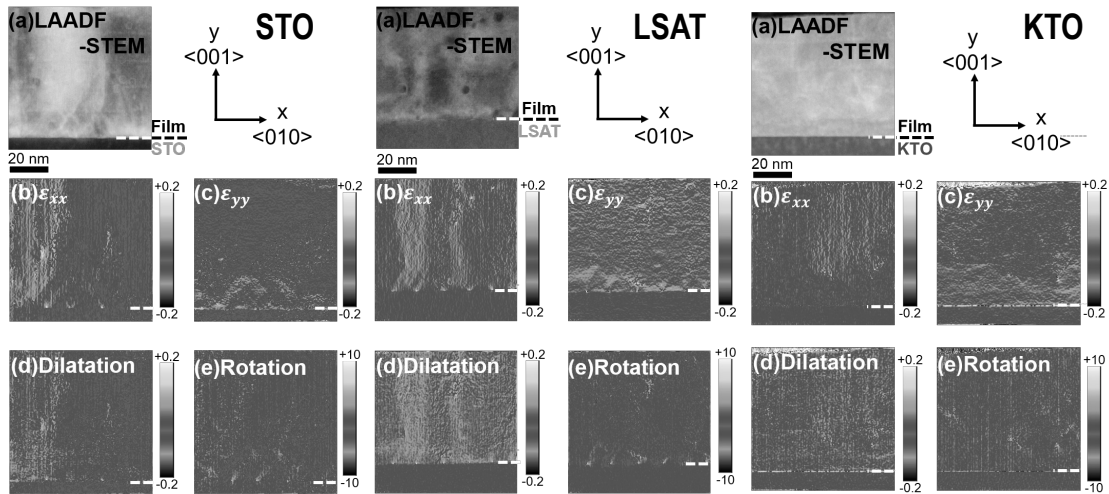


図5 STO, LSAT, KTO 基板上に成膜した PMN-0.8PT 薄膜断面の(a)LAADF 像と GPA 解析: (b)面内垂直歪み, (c)面外垂直歪み, (d) 膨張, (e) 剛体回転マップ。

メインの下端部にはミスフィット転位が存在しており、我々の既往の研究と同様の傾向が見られた。また、ミスフィット転位は、LSAT 基板上でより密に導入されており、90°ドメイン数も多い。(e)回転マップで見られた 90°ドメインに相当する領域は正方晶であり、薄膜上部は擬立方晶が支配的な領域である。一方、KTO 基板上では擬立方晶と正方晶の分布は共通しているが、基板直上の正方晶領域には(e)回転マップから明瞭な 90°ドメインが見られない。これは、格子ミスマッチが小さく整合界面を形成するため、90°ドメインの核生成サイトと考えられるミスフィット転位が存在しないことに起因すると考えられる。同様に正方晶単相領域の(e)回転マップを比較すると、LSAT, STO, KTO の順で 90°ドメインが粗大化した。

さらに、複数の視野から、正方晶 90°ドメインの数密度、ドメイン幅、格子ミスマッチの関係を調べ、ドメインの数密度は、格子ミスマッチが増加するほど、すなわち、ミスフィット転位密度が増加するほど同様に増加することが明らかになった。格子ミスマッチの増加、すなわちミスフィット転位の増加に伴い平均ドメイン幅が減少した。これらの結果より、ミスフィット転位の増加にともなって幅の狭い 90°ドメインが多数形成され、ミスフィット転位が 90°ドメインの高密度化・微細化を促進することを示している。

以上より、基板/薄膜の格子ミスマッチが PMN-PT 薄膜のドメイン構造に及ぼす影響を考察した。格子ミスマッチが大きいほど、それを解放するようにミスフィット転位が高密度に導入される。ミスフィット転位周辺には転位による応力場が発生しているため、格子の回転が容易になり、相転移温度において熱歪み解放のために、90°ドメインの核生成サイトとして働く。従って、格子ミスマッチが大きいほど 90°ドメインが高密度化するが、ドメイン同士が干渉するために、一つ一つのドメイン幅が減少する。これらの理由により、半整合界面では格子ミスマッチの増加によりドメインの高密度化・および微細化が生じることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Lorenzo Patrick D., Materano Monica, Mittmann Terence, Buragohain Pratyush, Gruverman Alexei, Kiguchi Takanori, Mikolajick Thomas, Schroeder Uwe	4. 巻 8
2. 論文標題 Harnessing Phase Transitions in Antiferroelectric ZrO ₂ Using the Size Effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2100556 ~ 2100556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202100556	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 Hamasaki Yosuke, Yasui Shintaro, Katayama Tsukasa, Kiguchi Takanori, Sawai Shinya, Itoh Mitsuru	4. 巻 119
2. 論文標題 Ferroelectric and magnetic properties in BiFeO_3 epitaxial film	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 182904 ~ 182904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0063021	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 木口賢紀、今野豊彦	4. 巻 56
2. 論文標題 STEMの焦点深度に着目した蛍石型強誘電体ナノ構造解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 479-483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shimizu Takao, Tashiro Yuki, Mimura Takanori, Kiguchi Takanori, Shiraishi Takahisa, Konno Toyohiko J., Sakata Osami, Funakubo Hiroshi	4. 巻 15
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 (RRL) Rapid Research Letters	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 KIGUCHI Takanori, SHIMIZU Takumi, SHIRAIISHI Takahisa, KONNO Toyohiko J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Epitaxial growth mechanism of Pb(Zr,Ti)O ₃ thin films on SrTiO ₃ by chemical solution deposition via self-organized seed layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 501 ~ 511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20027	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 SHIMIZU Takumi, KIGUCHI Takanori, SHIRAIISHI Takahisa, KONNO Toyohiko J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Interface reaction between PbTiO ₃ epitaxial thin films and La-doped SrTiO ₃ (001) substrates through edge dislocations induced by 90° domain formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 492 ~ 500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20028	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 Okamoto Kazuki, Yamada Tomoaki, Nakamura Kentaro, Takana Hidenori, Sakata Osami, Phillips Mick, Kiguchi Takanori, Yoshino Masahito, Funakubo Hiroshi, Nagasaki Takanori	4. 巻 117
2. 論文標題 Enhanced intrinsic piezoelectric response in (001)-epitaxial single c-domain Pb(Zr,Ti)O ₃ nanorods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 042905 ~ 042905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0012998	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 Shiraishi T., Suzuki S., Kiguchi T., Konno T. J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Energy storage properties of epitaxially grown xCaZrO ₃ -(1-x)NaNbO ₃ thin films prepared with chemical solution deposition method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 044102 ~ 044102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0004239	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 Kiguchi Takanori, Kodama Yumiko, Shimizu Takumi, Shiraishi Takahisa, Wakiya Naoki, Konno Toyohiko J.	4. 巻 58
2. 論文標題 Interface structure of Pb(Zr,Ti)O ₃ /MgO(001) epitaxial thin film in early stage of Stranski-Krastanov growth mode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SLLA08 ~ SLLA08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab3b13	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 Bae In-Ta, Yasui Shintaro, Ichinose Tomohiro, Itoh Mitsuru, Shiraishi Takahisa, Kiguchi Takanori, Naganuma Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Short range biaxial strain relief mechanism within epitaxially grown BiFeO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6715-1 ~ 6715-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-42998-x	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 Hamasaki Yosuke, Katayama Tsukasa, Yasui Shintaro, Shiraishi Takahisa, Akama Akihiro, Kiguchi Takanori, Taniyama Tomoyasu, Itoh Mitsuru	4. 巻 8
2. 論文標題 Switchable third ScFeO ₃ polar ferromagnet with YMnO ₃ -type structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4447 ~ 4452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC07006K	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25件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 木口賢紀, 渋谷直生, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 強誘電体薄膜における固相エピタキシーのSTEM-EELS 解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木口賢紀
2. 発表標題 先端電子顕微鏡法を用いた強誘電体薄膜の材料組織解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2021年年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木口賢紀, 粟飯原雅矢, 渋谷直生, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 STEM-EELS法によるCSD法によるPb(Zr,Ti)O ₃ エピタキシャル成長メカニズムの解明
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 Takanori Kiguchi, Yumiko Kodama, Yuichiro Hayasaka, Tomoyuki Tanikawa, Toyohiko J. Konno
2. 発表標題 Core structure of threading dislocations in GaN
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木口賢紀, 粟飯原雅矢, 渋谷直生, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 CSD法により堆積したPZT薄膜のエピタキシャル成長における前駆体の構造
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木口賢紀, 栗飯原雅矢, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 CSD法により堆積したPZT薄膜前駆状態の解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会電子材料部会第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宋俊東, 山田智明, 海老原洋平, 坂田修, 木口賢紀, 吉野正人, 長崎正雅
2. 発表標題 Pb(Zr _{0.4} Ti _{0.6}) ₀₃ /Pb(Zr _{0.6} Ti _{0.4}) ₀₃ 人工超格子膜の分極回転がもたらす圧電応答の増大
3. 学会等名 日本セラミックス協会電子材料部会第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗飯原 雅矢, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 基板がPMN-PTエピタキシャル薄膜の結晶構造 に及ぼす影響
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木口賢紀, 清水匠, 栗飯原雅矢, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 化学溶液堆積法によるPZT薄膜エピタキシャル成長における前駆状態の解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 粟飯原雅矢, 木口賢紀, 今野豊彦
2. 発表標題 PMN-PT エピタキシャル薄膜の結晶構造に及ぼす基板種の影響
3. 学会等名 令和2年度 第19回 日本金属学会東北支部研究発表大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 粟飯原雅矢, 木口賢紀, 今野豊彦
2. 発表標題 PMN-PT エピタキシャル薄膜の結晶構造に及ぼす基板種の影響
3. 学会等名 第139 回 金属材料研究所講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木口賢紀, 清水匠, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 基板種に依存したPZT 薄膜のMPB 組織の変化
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木口賢紀, 清水匠, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 MPB組成におけるPZT薄膜の組織と結合状態に及ぼす基板種の影響
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 清水匠, 粟飯原雅矢, 木口賢紀, 白石貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 PZT薄膜のMPB組成域における微細組織に及ぼすミスフィット転位の影響
3. 学会等名 2019年度 東北大学金属材料研究所 共同利用・共同研究ワークショップ 強誘電体関連物質の機能発現に関する構造科学の新展開
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Kiguchi, Takumi Shimizu, Takahisa Shiraishi, Toyohiko J. Konno
2. 発表標題 Structure and Electronic State of Misfit Strain Induced Morphotropic Phase Boundary Shift in Pb(Zr,Ti)O ₃ Epitaxial Thin Films on Various Substrate
3. 学会等名 MRS 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水匠, 粟飯原雅矢, 木口賢紀, 白石貴久, 今野豊彦
2. 発表標題 PZT薄膜のMPB組成域における微細組織に及ぼす格子ミスマッチの影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Shimizu, Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Toyohiko J Konno
2. 発表標題 Effect of elastic field on domain structure of PZT thin films in MPB composition
3. 学会等名 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Takanori Mimura, Takao Shimizu, Hiroshi Funakubo, Toyohiko J. Konno
2. 発表標題 Nanodomain Structure of Ferroelectric HfO ₂ -Based Epitaxial Thin Films
3. 学会等名 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 英久, 清水 荘雄, 木口 賢紀, 白石 貴久, 舟窪 浩
2. 発表標題 組成相境界近傍組成のPZT膜の電界による構造変化と圧電性の評価
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 清水 匠, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 PZT薄膜における組成相境界近傍の ドメイン構造に及ぼす弾性場の影響
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 木口 賢紀, 清水 匠, 粟飯原 雅矢, 白石 貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 電子エネルギー損失分光法によるPZT薄膜の結合状態の分析
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 In-Tae Bae, 安井 伸太郎, 一ノ瀬 智浩, 伊藤 満, 白石 貴久, 木口 賢紀, 永沼 博
2. 発表標題 Short range biaxial strain relief mechanism within epitaxially grown BiFeO ₃
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 T. Kiguchi, T. Shiraishi, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo, T.J. Konno
2. 発表標題 Nanostructure Analyses of Hafnia-Based Ferroelectric Thin Films by Aberration-Corrected Electron Microscopy
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 PbTiO ₃ 薄膜の界面急峻性に及ぼす導電性SrTiO ₃ 基板の影響
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦
2. 発表標題 PZTエピタキシャル薄膜の組成相境界近傍の微細構造
3. 学会等名 第36回強誘電体応用会議 (FMA36)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 木口賢紀（共著）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 503-526
3. 書名 エレクトロニクス用セラミックスの応用、開発と評価手法、第12章 セラミックスの特性評価手法、状態観察手法、第4節 電子セラミックスの微細組織，組成，電子状態の評価	

〔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	山田 智明 (Yamada Tomoaki) (80509349)	名古屋大学・工学研究科・教授 (13901)	
研究分担者	今野 豊彦 (Konno Toyohiko J.) (90260447)	東北大学・金属材料研究所・教授 (11301)	
研究分担者	白石 貴久 (Shiraishi Takahisa) (50758399)	東北大学・金属材料研究所・助教 (11301)	

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
---------	---------