

平成 30 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04118

研究課題名(和文) 協奏的フラストレーションに着目したリラクサー組成相境界形成のダイナミクス

研究課題名(英文) Elucidation of Formation Mechanism of Morphotropic Phase Boundary of Relaxor Thin Films based on Frustration of Coexisting Phases

研究代表者

木口 賢紀 (Takanori, Kiguchi)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：70311660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.3}-PbTiO₃(PMN-PT)緩和型強誘電体は、組成相境界(MPB)において巨大誘電・圧電特性を示すことから、電子・エネルギー材料として期待される特異な強誘電体である。本研究では、薄膜化によってPMN-PTのMPB組成がシフトする現象について、代表的なリラクサー強誘電体薄膜PMN-PTにおけるMPBがどのような要因によって決定されるのか、局所弾性場に着目して組織学的な観点から微視的メカニズムを調べた。特に、薄膜中の局所原子変位場と局所電子構造の解析によって、緩和型強誘電体の本質である相安定性のフラストレーションの観点からその支配因子を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Relaxor ferroelectrics show many attractive electrical properties such as high dielectric constant, high piezoelectric constant, small temperature dependence, dielectric dispersion in the low frequency range, and electromechanical coupling factors at a composition around the morphotropic phase boundary (MPB). We have elucidated the MPB shift phenomena of relaxor and ferroelectric thin films from the viewpoint of the local strain field analysis and the nanoscale phase stability between the frustrating phases. The opposing forces between the thermal strain and the strain induced from the misfit dislocations complexly bias the stability of the frustrating pseudo cubic and tetragonal phases. Strictly, these phase act as the intermediate monoclinic phases, in which the spontaneous polarization can rotate easily between the two phases. Thus, the true nature of the characteristic morphology at a MPB composition of PMN-PT epitaxial thin films are strain induced monoclinic phases.

研究分野：無機材料物性、結晶構造、電子顕微鏡

キーワード：リラクサー 薄膜 歪み誘起相転移 組成相境界 弾性場 分極回転 電子顕微鏡 結合状態

1. 研究開始当初の背景

リラクサー強誘電体(リラクサー)は、高い誘電率、低い誘電損失、低い温度依存性、高い圧電数に加え、リラクサーであることを特徴付ける誘電率の周波数分散といった特徴をしめすことから、スーパーキャパシター、超音波モーターなどのアクチュエーター、超音波プローブなどのアプリケーションにとって魅力的な材料であると言える。最も代表的なリラクサーに $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMN) が挙げられる。ペロブスカイト型構造の A サイトに Pb^{2+} 、B サイトに複数種の Mg^{2+} 及び Nb^{5+} イオンが規則的/不規則的に占有する複合ペロブスカイト型構造をとり、 BaTiO_3 などの単純ペロブスカイト型強誘電体と比べて巨大な誘電特性を示す。

$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ に PbTiO_3 (PT)を固溶した $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT) は、 $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 等に見られる組成相境界(MPB)を示し、2 相共存すると同時に誘電特性が極大値を示すと考えられてきた。MPB では、擬立方晶(PC)相の PMN と正方晶(T)相の PT との間では、PC 相と T 相の 2 相間の相安定性のゆらぎ(フラストレーション)が存在することになる。したがって、MPB 発現の根幹にはこの 2 相の安定性の拮抗した状態にあると考えられる。この MPB における巨大誘電特性の発現は、学術的にも極めて興味深い現象であると同時に、工業的にもその利用が必須であるが、MPB 発現の微視的な機構の学術的理解には至っていない。

既往の報告ではバルク結晶において 30-35mol% PT 組成付近で現れ、そこで誘電特性や圧電特性が極大値を取ることが知られている。また、薄膜化に伴って MPB 組成がシフトするが、これまで残留歪みと関係すると考えられてきた。しかし、このような MPB のシフトの微視的なメカニズムは理解されていない。よって、PMN-PT 薄膜の MPB 組成はバルクと異なり、バルク結晶の組成情報を薄膜にはそのまま適用できないといった重大な事実を示している。

2. 研究の目的

では、PMN-PT 薄膜の MPB 組成がなぜ薄膜化に伴う歪みによってなぜシフトするであろうか。本研究では、薄膜化が相安定性に及ぼす効果を、共存相間の相安定性のゆらぎに対する歪み場による摂動と考え、薄膜中の歪み分布がどのように PC 相と T 相の 2 相共存状態を決定するのかその起源の微視的な解明を目指す。

3. 研究の方法

$\text{Pb}_{1-x}\text{Mg}_{(1-x/3)}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ および $\text{Pb}_{1-x}\text{TiO}_3$ 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($x=0-100$)固溶体薄膜を堆積する。具体的には、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半導性の $\text{La:SrTiO}_3(001)$ 単結晶基板の上に堆積した。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的位相解析による原子変位場・弾性場解析を行い、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。薄膜の組成は、STEM-EDS 法により測定した。また、電子状態については、STEM-EELS 法により MPB 組成における結晶場が二相共存に及ぼす効果を調べたが、紙面の制限から省略する。

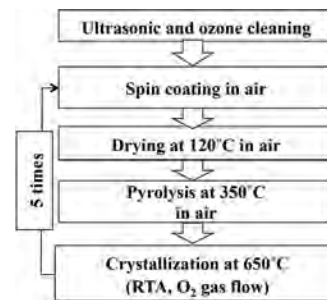


図 1 MOD 法による成膜工程

4. 研究成果

図 2 に、(a) PMN-xPT ($x=0-100$)/STO 薄膜の XRD $2\theta/w$ スペクトル、代表として PMN/STO 薄膜断面の (b) 制限視野電子回折図形(SAED)、及び (c) HAADF-STEM 像を示す。XRD スペクトル(a)より、全ての組成で PMN-xPT と STO 基板の 001 ピークのみ観察されることから、パイロクロア相などの異相は存在せずペロブスカイト相単相の配向膜である。これだけでは面内の配向関係が不明であるが、SAED (b) より配向関係、 $(001)_{\text{PMN}} // (001)_{\text{STO}}$ $[100]_{\text{PMN}} // [100]_{\text{STO}}$ であることから、Cube-on cube なエピタキシャル成長した薄膜であることを示している。また、薄膜と基板の $h00$ 反射が分離していることから、ミスフィット転位の導入により格子ミスマッチが緩和した半整合界面を形成している。HAADF-STEM 像 (c) より、PMN-xPT 薄膜の膜厚はおよそ 80 nm であり、スピンコート 1 層当たり 16 nm に相当することが分かった。また、膜中にボイドと思われる粒状のコントラストが見られるものの、均質なコントラストを示しているため、このスケールでは膜中の組成は均質であると考えて良い。積層界面とみられる層状のコントラストは見られないことから、積層界面における組成ずれはなく、スピンコートの積層の際に組成ずれやラミネーションのような欠陥は生じていないことを意味する。

また、XRD スペクトル(a)の PMN-PT 004 ピークに着目すると、PMN-60PT を境にしてピーク分離が起き、PT 濃度とともにその分列幅

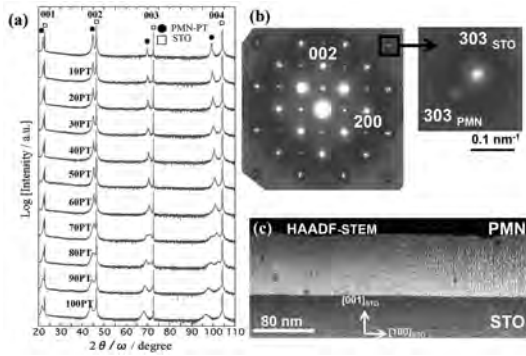


図 2 (a) PMN-xPT ($x=0-100$)/STO 薄膜の XRD $2\theta/\omega$ スペクトル、PMN/STO 薄膜断面の (b) 制限視野電子回折図形、(c) HAADF-STEM 像。

が増加している。従って、PMN-60PT以上の組成において二相共存もしくはT相の90°ドメイン構造の形成など組織学的な変化が生じていることを示唆する。また、PMN-PT 002ピークのロッギングカーブのFWHMは、PMN-50PT以下の組成では 0.1° 程度であったが、ピーク分離が見られるPMN-60PT以上の組成では、単調に増加したことからT相の90°ドメイン構造の形成を示唆している。

次に、図2に示した各組成のPMN-PT薄膜について、特にPMN-60PT以上の組成について、結晶相とその面間隔について詳細に調べるため、STO 204ピーク近傍のX線逆空間マップを測定し、代表的な結果を図3に示す。PMN-50PTまでは基板と薄膜の2つのピークの存在が認められ、薄膜ピークが基板ピークのある高角側に移動することから、MPBが存在せずに面間隔が単調減少していることを示している。一方、PMN-60PTでは薄膜側のピークの外形に変化が現れ、微細組織に何らかの変化を生じていることを示しているが、これだけでは詳細は分からない。PMN-80PTでは、薄膜側のピークが複雑に分裂し、PC相、90°ドメインに対応したT相のバリエーションに相当するピークとして指数付けできる。

以上の結果から、PC相及びc軸が面外配向したT相について薄膜の面内、面外方向の $d(100)$ 、 $d(001)$ 面間隔を組成に対してプロットしたのが図4である。PT組成の増加に対して、PC相では面内、面外の面間隔が単調減少して

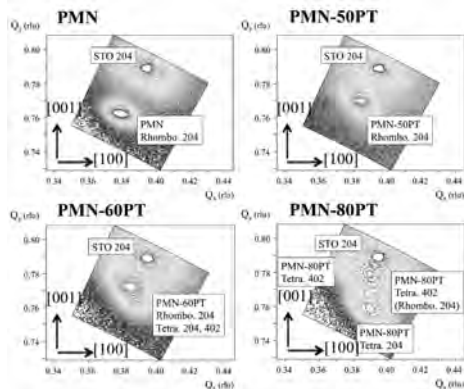


図 3 代表的組成のSTO204ピーク近傍のX線逆空間マップ

いるのに対し、60PT以上ではT相が出現してc軸が単調増加、a軸が単調減少する。両相の境界は60-80PT組成域にあり、ここで二相共存つまりMPBが形成されていることを示す。

同様にT相側の100PT (PT) 組成についても同様にバルク結晶よりも面外方向(c軸)が短く、面内方向(a軸)が長いことから歪んだT相と呼ぶべきである。以上の歪みは、薄膜内部の平均的な歪みと考えるべきものであり、薄膜は見かけ上基板からの弾性的拘束によって面内2軸引っ張り応力を受け、残留歪みを生じたということができる。その詳細なメカニズムは、熱応力、相転移応力を考慮しなければいけないがPMN-PTにおける熱膨張挙動は 300°C 以下の範囲で極めて複雑かつ基礎データが不明であるため、これ以上の考察は略す。では、この二相共存状態はどのような微細組織を形成しているのであろうか。HAADF-STEM法により代表的組成のPMN-PT薄膜の基板界面近傍を原子分解能で観察し、その画像の幾何学的位相解析、つまり原子配列の2次元的な周期性や方位関係を幾何学的位相という観点から解析し、非線形弾性論に基づいて歪みマップを算出した。ここでは、 SrTiO_3 基板を基準としたときの薄膜中の面間隔や方位関係の変化率という意味で歪みという言葉を使用する。本研究で重要な意味を持つ面外方向の垂直歪みマップと剛体回転マップを対応するHAADF-STEM像とあわせて図5に示す。ここで、歪みマップの色は右端に示した温度スケールに対応する。図5最上段から分かるように、HAADF-STEM像は歪みに対応するコントラストが主体ではないため組織的な特徴が見えにくい。そこで同じ視野に対応する歪みマップに着目する。まず、中段の垂直歪みマップであるが、MPB組成域のPMN-50PTでは明確な2層構造となっている。つまり、基板界面直上におよそ10 nmの厚さで赤色の明るい層が存在し、それより上の層よりも面外方向の面間隔が大きいことを示している。また、この層内に $\{101\}$ 面を境界とする暗い板状コントラストが見られる。これより、この界面層はc軸配向したT相であり、数nmサイズの90°ドメイン構造を伴っている。一方、上方の層は共存するPC相でありT層のa軸に近い面間隔をとっている。また、

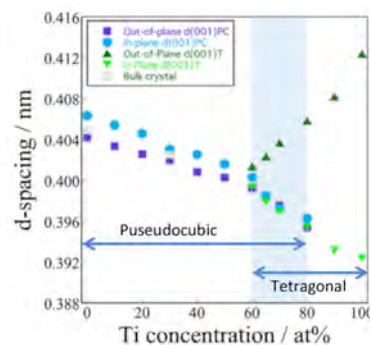


図 4 PMN-xPT ($x=0-100$)/STO 薄膜の面内 $d(100)$ 及び面外 $d(001)$ の面間隔。

PMN-90PTでは薄膜中全面にわたりT相特有の90°ドメイン構造が形成されていることからT相単相と考えられる。

以上の弾性場解析に基づく組織変化はXRDによる面間隔の組成依存性(図4)と整合しており、薄膜状態におけるPMN-PT薄膜におけるMPB組成シフトに対するMPB組織とその形成過程をナノスケールで初めて解明した成果であり、局所的な弾性場がフラストレートした2相間の相安定性を明確に示している。

最後に、図5で明らかになった歪み界面層の存在について、歪みの起源と分極回転に及ぼす効果について考える。図6に界面歪み層を示すPMN-30PT薄膜断面のSTEM-EDSマップと面外方向の組成プロファイルを示す。この結果から、薄膜内部だけでなく界面歪み層においてもPb, Mg, Nb, Tiは均一に分布しており、組成分布に関する特異性は見られない。よって、この界面歪み層形成の起源は化学的なものではなく基板の拘束による弾性的な効果に起因すると推察される。

次に、界面近傍の原子分解能HAADF-STEM像及び歪みマップについて考える。図7は、PMN-20PT界面近傍の(a)HAADF-STEM像、(b)面内外方向の垂直歪みマップ、(c)(b)の断面プロファイル、(d)歪みと分極回転モデルとの対応を示す。(a)より薄膜基板界面にはおよそ10 nm間隔で $b=a[100]$ の刃状転位が配列し、薄膜基板間の格子ミスマッチを緩和している。この結果、マクロに考えた場合のミスフィット歪みは緩和されることになるものの、ナノスケールで考えるとミスフィット転位が局所的な歪みを誘起して、転位芯近傍が塑性変形しPMN-PTの(100)面が大きく湾曲している。歪みマップ(b)とその断面プロファイル(c)から、ミスフィット転位の間の領域ではPMN-PTの(100)面間隔が薄膜内部よりも小さく、逆に面外方向には面間隔が増加しており、転位の間の領域では面内方向への2次元的圧縮状態にあることを意味している。このミスフィット転位によって誘起された局所弾性場がPMN-PT/STO界面における界面歪み層の起源であることが明らかになった。この様な界面層の面内圧縮歪み場によって、PC相の分極 P_s は(d)においてR方向からT相の方向へ回転し M_A 相となる。これはA型の単斜晶相と呼ばれる。図

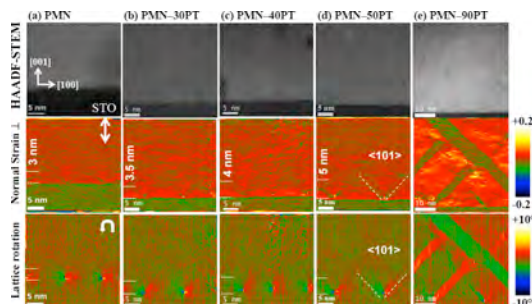


図5 代表的組成のPMN-PT/STO薄膜のHAADF-STEM像と面外方向の垂直歪み成分と剛体回転成分のマップ。

7(a)において、面内方向に直交する二つの[100][010]方向にミスフィット転位が存在することを考慮すると、それぞれが[100][010]方向への歪みを、分極回転をもたらすため全体として[110]方向つまり M_A 方向へ分極回転が起こると見なせる。

一方、図4より薄膜全体としては面内方向

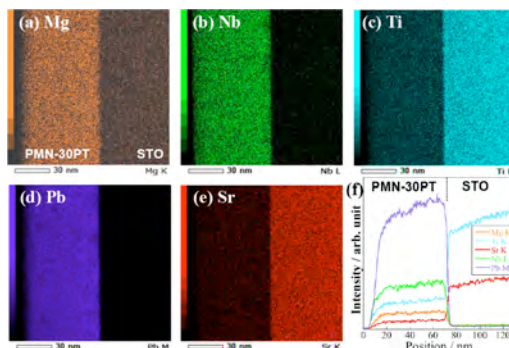


図6 PMN-30PT薄膜断面のSTEM-EDSマップ及び面外方向の組成プロファイル。

に2軸引っ張り状態にあり面内方向に伸張、面外方向に収縮しているため、界面歪み層と逆の応力状態にあり、分極 P_s はR方向からO方向へ回転し、 M_B 相、つまりB型の単斜晶相となる。従って、ここまで共存する2相をPC及びT相を表記してきたが、厳密にはそれぞれ M_B 相、 M_A 相と考えるのが適切である。これら逆向きの応力状態が拮抗することで2相共存組織の形成を支配している。言い換えれば、薄膜基板間の熱膨張係数と格子ミスマッチの差が逆向きの符号を持ち、それぞれの強さがPT組成によって変化する。その結果、両者のバランスが変化して2相が等価な体積分率となる組成、MPB組成、が変調されると考えることで本現象の説明がつく。

この様に、応力フリーなバルク結晶ではPMN-30PT近傍の狭い組成域に限定して自発的に存在した単斜晶相が、エピタキシャル薄膜においては基板による弾性的拘束の結果、ほぼ全組成域で歪み誘起の2種類の単斜晶相が形成され、その結果としてMPB形成のPT組成を変調したものと理解できる。STO単結晶基板上に成長したPMN-PT薄膜におけるMPB組成シフトでは、薄膜全体に生じた引っ張り歪みがPC相からT相への化学的な駆動力による相転移を抑制した結果、MPB組成が高PT組成側へシフトするというMPBシ

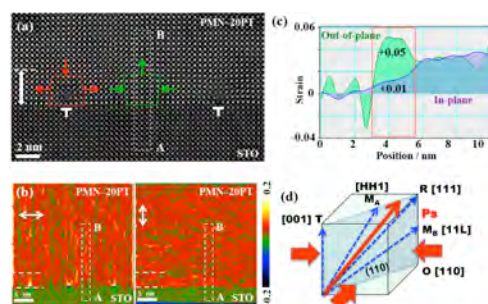


図7 PMN-20PT界面近傍の(a)HAADF-STEM像、(b)面内外方向の垂直歪みマップ、(c)(b)の断面プロファイル、(d)歪みと分極回転モデルとの対応。

フトに関すること、半整合界面における転位芯が生み出す局所的な面内圧縮歪み層が、T相の核生成サイトとなるとともに、転位芯上に局在した面内引っ張り歪み場と剛体回転場がT層内の90°ドメインの核生成サイトとして機能していることが明らかになった。厚膜やバルク結晶においては基板の弾性的拘束の寄与は無視しうようになり、弾性的に自由な状態で組織形成が行われる。したがって、薄膜化がMPB組成変調に及ぼす効果は、薄膜基板間の様々な弾性相互作用の帰結として発現する現象であることを微視的な組織形成メカニズムの観点から初めて明らかにすることができた。本成果に基づけば、基板種を選択だけでなく、複合化・積層化などによって、層間の格子ミスマッチ、熱応力など薄膜中の歪み分布を積極的に制御することによって、MPB組成における巨大誘電・圧電特性を発現するリラクサーそして広く強誘電体材料の組織制御、物性制御に展開できると考えている。以上の弾性場解析に基づく組織変化はXRDによる面間隔の組成依存性(図4)と整合しており、薄膜状態におけるPMN-PT薄膜におけるMPB組成シフトに対するMPB組織とその形成過程をナノスケールで初めて解明した成果であり、局所的な弾性場がフラストレートした2相間の相安定性をコントロールしていることを微細組織の観点から示している。

以上のように、本研究ではPMN-PT薄膜におけるMPB組成シフトとは、薄膜全体に生じた引っ張り歪みがPC相からT相への化学的な駆動力による相転移を抑制した結果、MPB組成が高PT組成側へシフトするというMPBシフトに関する微視的なメカニズムを明らかにした。また、半整合界面における転位芯が生み出す局所的な面内圧縮歪み層が、T相の核生成サイトとなるとともに、転位芯上に局在した面内引っ張り歪み場と剛体回転場がT層内の90°ドメインの核生成サイトとして機能していることを明らかにした。厚膜やバルク結晶においては基板の弾性的拘束の寄与は無視しうようになり、弾性的に自由な状態で組織形成が行われる。したがって、MPB組成の薄膜サイズ効果という現象は、この様な薄膜基板間の様々な弾性相互作用を介した帰結として発現する現象であることを微視的な組織形成メカニズムの観点から初めて明らかにすることができた。本成果に基づけば、基板種を選択だけでなく、複合化・積層化などによって、層間の格子ミスマッチ、熱応力など薄膜中の歪み分布を制御できればリラクサー、そして広く強誘電体材料のMPB組成の意図的な変調による組織制御、物性制御に展開できると考えている。

5. 主な発表論文

[雑誌論文] (計 8 件)

1. 木口賢紀, 舟窪浩, 今野豊彦, 「整合界面をもつ強誘電体薄膜のドメイン構造形成に及ぼす局所弾性場の影響」, までりあ, **57**, 97-105 (2018) 査読有.
2. T. Kiguchi, C. Fan, T. Shiraishi, and T. J.

Konno, “Strain-induced nanostructure of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 on SrTiO_3 epitaxial thin films with low PbTiO_3 concentration”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 10PB12 (5 pages) (2017) 査読有.

3. H. Uchida, D. Ichinose, T. Shiraishi, H. Shima, T. Kiguchi, A. Akama, K. Nishida, T.J. Konno, and H. Funakubo, “Polarization switching behavior of one-axis-oriented lead zirconate titanate films fabricated on metal oxide nanosheet layer”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 10PF10 (5 pges) (2017) 査読有.
4. C. Fan, T. Kiguchi, A. Akama, and T.J. Konno, “Atomic-resolution analysis for the effects of heat treatment temperatures on the growth of chemically-ordered regions in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ thin films”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **124**, 697-701 (2016) 査読有.
5. 木口賢紀, 青柳健大, 白石貴久, 今野豊彦, 舟窪浩, 「強誘電体薄膜の90°ドメインと整合界面の弾性相互作用」, までりあ, **55**, 585 (2016) 査読有.
6. T. Yamada, Y. Ebihara, T. Kiguchi, O. Sakata, H. Morioka, T. Shimizu, H. Funakubo, T.J. Konno, M. Yoshino, and T. Nagasaki, “Fabrication and characterization of (111)-epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3/\text{Pb}(\text{Zr}_{0.65}\text{Ti}_{0.35})\text{O}_3$ artificial superlattice thin films”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 10TA20 (5 pages) (2016) 査読有.
7. C. Fan, T. Kiguchi, A. Akama, and T.J. Konno, “Effect of Ti concentration on the growth of chemically-ordered regions of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 epitaxial thin films”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **123**, 565-569 (2015) 査読有.
8. T. Yamada, J. Yasumoto, D. Ito, O. Sakata, Y. Imai, T. Kiguchi, T. Shiraishi, T. Shimizu, H. Funakubo, M. Yoshino, and T. Nagasaki, “Negligible Substrate Clamping Effect on Piezoelectric Response in (111)-Epitaxial Tetragonal $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Zr})\text{O}_3$ Films”, *J. Appl. Phys.* **118**, 072012 (6 pages) (2015) 査読有.

[学会発表] (計 20 件)

1. 範 滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 「PMN-PT 超格子薄膜中の弾性場が結晶構造に及ぼす影響」, 2017年5月31日-6月3日, 強誘電体応用会議 FMA34, コーピン京都(京都).
2. 木口賢紀, 範 滄宇, 白石 貴久, 舟窪 浩, 今野 豊彦 日本顕微鏡学会第73回学術講演会, 2017年5月30日-6月1日, 札幌国際会議場(札幌).
3. C. Fan, T. Kiguchi, T. Shiraishi, A. Akama, T. J. Konno, “The Effect of Elastic Fields Induced by Lattice Mismatch of PMN-PT Superlattice Thin films”, 8th International Conference on Electroceramics (ICE2017), May. 28-30, 2016, Nagoya Univ. (Nagoya).
4. 範 滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 今野豊彦,

- 「PbTiO₃ エピタキシャル薄膜における 90° ドメイン間の弾性相互作用」, 日本セラミックス協会 2017 年年会, 2017 年 3 月 17-19 日, 日本大学 (東京) .
5. 範 滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 今野豊彦, 「PMN-PT 超格子薄膜における弾性場の変化が結晶構造に与える影響」, 日本セラミックス協会 2017 年年会, 2017 年 3 月 17-19 日, 日本大学 (東京) .
 6. Y. Ebihara, T. Yamada, O. Sakata, T. Kiguchi, H. Morioka, T. Shimizu, H. Funakubo, T.J. Konno, M. Yoshino and T. Nagasaki, “Structural and piezoelectric properties in (111) tetragonal/rhombohedral Pb(Zr,Ti)O₃ artificial superlattice thin films”, 10th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-2016), Dec.4-7,2016 (Taipei, Taiwan).
 7. C. Fan, T. Kiguchi, T. Shiraishi, and T.J. Konno, “Effect of elastic fields on phase stability in the vicinity of MPB composition in PMN-PT superlattice thin films”, 10th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-2016), Dec.4-7, 2016 (Taipei, Taiwan).
 8. 範滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 「PMN-PT 人工超格子薄膜における共存相の安定性に及ぼす局所弾性場の影響」, 日本セラミックス協会第 36 回エレクトロセラミックス研究討論会, 2016 年 10 月 13-14 日, ユニオンビル (川崎).
 9. 範滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 今野豊彦, 「透過電子顕微鏡による PMN-PT 薄膜中の弾性場が組成相境界に与える影響の解析」, 日本セラミックス協会 第 29 回秋季シンポジウム, 2016 年 9 月 6-8 日, 広島大学 (東広島)
 10. (Invited) 木口賢紀, 範滄宇, 白石貴久, 今野豊彦, 「強誘電体薄膜エピタキシャル薄膜のドメイン構造」, 日本セラミックス協会 第 29 回秋季シンポジウム, 2016 年 9 月 6-8 日, 広島大学 (東広島) .
 11. (Invited) T. Kiguchi, C. Fan, T. Shiraishi, and T.J. Konno, “Atomic-resolution analysis of structure of relaxor and ferroelectric epitaxial thin films”, The 11th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (KJC-FE11), Aug. 7-10, 2016, Seoul, Korea.
 12. 範滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 「MPB 組成近傍の緩和型強誘電体薄膜における相界面の構造解析」, 日本セラミック協会 2016 年年会, 2016 年 3 月 14-16 日, 早稲田大学 (東京) .
 13. 木口賢紀, 範滄宇, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 「PMN-PT エピタキシャル薄膜の組織形成における残留歪みの影響」, 日本セラミック協会 2016 年年会, 2016 年 3 月 14-16 日, 早稲田大学 (東京) .
 14. (Invited) T. Kiguchi, C. Fan, T. Shiraishi, and T.J. Konno, “Nano-structure in Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ epitaxial thin films”, The 32nd International Japan-Korea Seminar on Ceramics, Nov. 18-20, 2015, Hotel New Otani (Nagaoka).
 15. 範滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 赤間章裕, 草野修治, 瀬尾公一, 今野豊彦, 「PMN-PT エピタキシャル薄膜の MPB 組成近傍における相転移過程のその場観察」, 第 35 回エレクトロセラミックス研究討論会, 2015 年 10 月 22-23 日, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京).
 16. C. Fan, T. Kiguchi, T. Shiraishi, A. Akama, and T.J. Konno, “Aberration-Corrected STEM Analysis of Ordered Regions in PMN-PT Thin Films”, Workshop of TOHOKU university and SCK•CEN at Tokyo, Oct. 22, 2015, Tokyo - Belgian Embassy (Tokyo).
 17. 範滄宇, 木口賢紀, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 草野修治, 瀬尾公一, 「PMN-PT エピタキシャル薄膜における組成相境界近傍の構造」, 日本セラミック協会 2015 年秋季シンポジウム, 2015 年 9 月 16-18 日, 富山大学 五福キャンパス (富山) .
 18. 木口賢紀, 範滄宇, 白石貴久, 赤間章裕, 今野豊彦, 「リラクサー薄膜における組成相境界の組織解析」, 日本金属学会 第 157 回秋期講演大会, 2015 年 9 月 16-18 日, 九州大学 伊都キャンパス (福岡) .
 19. 範滄宇, 木口賢紀, 赤間章裕, 今野豊彦, 「PMN-PT エピタキシャル薄膜における MPB の組成領域とドメイン構造の変化」, 129 回東北大学金属材料研究所講演会, 2015 年 5 月 29 日, 東北大学 (仙台).
 20. 木口賢紀, 範滄宇, 赤間章裕, 今野豊彦, 「リラクサー強誘電体薄膜における 2 相共存組織」, 日本顕微鏡学会第 71 回学術講演会, 2015 年 5 月 13-15 日, 京都国際会館(京都).
- [図書] (計 0 件)
 [産業財産権]
 ○出願状況 (計 0 件)
 ○取得状況 (計 0 件)
 [その他]
6. 研究組織
- (1)研究代表者
 木口 賢紀 (Kiguchi, Takanori)
 東北大学・金属材料研究所・准教授
 研究者番号：70311660
 - (2)研究分担者
 嶋田 雄介 (Yusuke Shimada)
 東北大学・金属材料研究所・助教
 研究者番号：20756572
 - (3)研究分担者
 山田 智明 (Yamada, Tomoski)
 名古屋大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：80509349
 - (4)研究分担者
 佐藤 和久 (Kazuhisa Sato)
 大阪大学・超高压電子顕微鏡センター・准教授
 研究者番号：70314424