

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360283

研究課題名(和文) リラクサーのヘテロナノ組織形成機構と誘電物性の解明

研究課題名(英文) Mechanism of hetero nano-structure formation and electrical properties of relaxor ferroelectric thin films

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：緩和型強誘電体(リラクサー)の巨大誘電特性発現に關与するナノ組織の解明を目指し、化学的溶液法によってPb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃(PMN)単相の高結晶性エピタキシャル薄膜成長に成功した。バルク結晶の1/2程度の低温で結晶化した薄膜について、リラクサー特有のMg/Nb原子の秩序/無秩序構造とその形成挙動について、収差補正電子顕微鏡の特長を活かして原子分解能で解明した。原子分解能での組成分析により、Mg/Nbの秩序構造に関する直接的根拠が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study examined that the formation behavior of chemically ordered regions (CORs) in Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ (PMN) thin film. CORs nucleated at the crystallization temperature of 650°C, which was as half as the processing temperature for bulk PMN crystals. The formation of CORs was occurred mainly by nucleation under the post annealing treatments at 700°C or 800°C, and they grow by contacting each other. An atomic resolution compositional analysis was attempted to directly detect Mg/Nb atomic arrangements in the PMN lattice. These results show that the nano-structure design of PMN, inhibition of the growth of COR, would improve electrical properties of PMN.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・無機材料・物性

キーワード：リラクサー 極性ナノ領域 化学的秩序構造 ヘテロナノ組織 原子変位 HAADF-STEM TEM 局所弾性場

1. 研究開始当初の背景

Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃(PMN) 及び PbTiO₃との固溶体(PMN-PT)は、巨大圧電・巨大誘電応答・高い2次電気光学効果を示す代表的緩和型強誘電体(リラクサー)として注目されている酸化物結晶であり、MLCCS(Multi-Layer Ceramic Capacitor)やDRAM(Dynamic Random Access Memory)用のキャパシタ材料、不揮発性メモリであるFeRAM(Ferroelectric Random Access Memory)、さらには圧電トランジスタへの応用が期待されている。また、強誘電体は圧力や温度を変化させると誘起電荷量が変動する圧電効果や焦電効果が顕著でありMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)や赤外センサー等への応用も精力的に行われている。

PMNは複合ペロブスカイト型構造をとり、AサイトにPb、BサイトにMgまたはNbが位置する。リラクサーと通常の強誘電体との違いは、誘電率の周波数依存性にある。リラクサーでは周波数に依存したブロードな誘電率ピークを示し、誘電率のピーク値も強誘電体より一桁高い。このような特異な誘電物性の起源としては、これまでに物性論の立場からBサイト組成変調に依存したキュリー温度の分布モデル、Super paraelectricモデル、ランダム場モデルといった種々のメカニズムが提案されてきたが、現時点では、「Mg-O、Nb-Oのランダムな結合に起因した不均一結晶場(ランダム場)の存在によって、極性領域に長距離秩序が存在せず強誘電体分域構造を形成することができないため、極性ナノ領域(Polar Nano Region (PNR))と呼ばれる数nmの極性領域が非極性領域中に存在する」という考え方が注目されている。

ナノ組織の立場からは、リラクサーには2種類の特異な構造を内包することが明らかになっている。つまり、Bサイト原子が1:1に規則配列した化学的規則領域(Chemical Order Region(COR))とBサイト原子が不規則配列した前述のPNRである。既往の研究から、いずれも数nm程度の大きさであると考えられており、単結晶であっても両者が共存したヘテロナノ組織を形成する。そして、PNRがリラクサーの起源であることが指摘され、PNRはCORの間のBサイト原子が無秩序配列した領域にランダム場の影響で形成されると信じられている。従って、CORの核生成・成長の制御がPNRの発達に重要な役割を果たすと言える。しかし、CORがどの段階で形成されるのか理解されていないだけでなく、既往のリラクサーの組織研究は、バルク結晶に限られる。

一般にPMNバルク結晶は1200-1300の高温プロセスを経る。これに対して、デバイス化を視野に入れたPMN薄膜成長では、600

付近からPbOの蒸気圧の増加が顕著になるため、一般的に700以下の基板温度で製膜が行われ、バルク結晶と比べて1/2程度の低温で結晶成長することになる。従って、結晶化温度における原子の拡散距離、PbOの蒸気圧、相安定性に大きな相違がある。また、PMNでは600付近でPb欠損型の低誘電率のパイロクロア相がペロブスカイト相よりも安定性が高くなる温度域が存在するために、PbOの蒸発と共にパイロクロア相の生成が問題となってきた。ナノ組織の観点から考えた場合、プロセス温度の違いは原子の拡散距離に指数関数的な違いをもたらすはずであり、MgとNbの配列秩序、すなわちCORの形成挙動や間接的にPNRの形成に影響を及ぼす。

2. 研究の目的

本研究では、薄膜におけるリラクサー現象の基礎となるCORの形成解明のために、代表的なリラクサー材料のうち最も基本的かつ重要なPMNに着目し、(1)PMN単相のエピタキシャル薄膜成長条件の確立、(2)電子顕微鏡を活用したリラクサーのヘテロナノ組織形成、特に低温プロセスにおけるCORの形成挙動の学理の究明、以上2点について研究を行った。ここでは、紙面の関係から(2)を中心に報告する。

3. 研究の方法

成膜はMOD(有機金属化合物の熱分解)法により以下の手順で行った。MOD原料溶液には、Pb10at%過剰組成のPb_{1.1}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃(P_{1.1}MN)を使用した。基板洗浄後、UV(185,254nm)照射によるオゾン洗浄を大気中で10min行った。室温でスピコートを用い、500rpm 5secでMOD原料溶液をSrTiO₃(001)基板に均一に塗布した。大気中120で溶媒乾燥後、大気中350で有機金属錯体を熱分解、赤外線ランプアニール炉での急速加熱による結晶化を行った。以上のスピコート～結晶化の行程を繰り返し積層した。大気中700-800で10minポストアニールした。結晶化とポストアニールの過程においては表面をむき出しにした標準アニール条件と同組成の薄膜を対向配置した対向アニール条件の2通りを検討した。

PMN薄膜の結晶化の有無、結晶相の確認、配向性についてはX線回折法(XRD)、組成についてはEPMA及びTEM-EDS法で評価した。

電子顕微鏡試料は、エポキシ樹脂で薄膜同士を接着し鏡面研磨した後、イオンミリング法により薄膜断面観察用製した。特に最終工程では500V以下の低加速Arイオンビームを照射して、イオンビーム照射ダメージ層の生成を可能な限り抑制した。

組織観察は、通常の高分解能透過型電子顕微鏡(HRTEM)に加えて、収差補正高分解能分析電子顕微鏡(TEM/STEM)を用い、原子分解能

観察を行った。特に、STEM 観察は、高角度環状暗視野 (HAADF) 像の観察を行った (収束半角 23mrad, 取り込み半角 90- 170mrad)。また、STEM-EDS 法による原子分解能元素分析により、B サイトにおける Mg、Nb の分布と HAADF-STEM 像との対応についても検討した。

4. 研究成果

本研究で作製した PMN エピタキシャル薄膜は、制限視野電子回折図形から、ペロブスカイト相 PMN は STO 基板上に $(001)_{\text{PMN}} // (001)_{\text{STO}}$ 、 $[100]_{\text{PMN}} // [100]_{\text{STO}}$ の Cube-on-cube の配向関係でエピタキシャル成長に示すように、パイロクロア相 $\text{Pb}_{1.86}\text{Mg}_{0.24}\text{Nb}_{1.76}\text{O}_{6.5}$ 含まないペロブスカイト相単相であり、800 °C までのポストアニールでもパイロクロア相は生成しなかった。XRD による 2 次元回折パターンの測定でも整合する結果が得られた。

すなわち、微視的にも巨視的にも得られた PMN 薄膜に対して収差補正 HRTEM/STEM による原子分解能観察を行い、バルク結晶と比較して 1/2 程度の温度で作製された PMN エピタキシャル薄膜における特異な原子変位場、及び B サイト原子 (Mg/Nb) の短距離秩序の発達について明らかになった知見について述べる。

図 1 に $[1-10]$ 方向から投影した制限視野電子回折図形を示す。650 °C で結晶化した状態でも既に微弱な $[h/2 k/2 l/2]$ 超格子反射が現れており、結晶化の段階で $\langle 111 \rangle$ 方向に 2 倍周期の秩序構造が形成されていることを示している。アニール温度の増加によって超格子反射の強度は増加しているが、薄膜断面を見ているため強度そのものが微弱であり詳細な解析は困難であった。

そこで、HAADF-STEM 法を使用して原子分解能観察により秩序構造の解析を行った。

図 2 に代表的な HAADF-STEM 像と各原子カラムの HAADF-STEM 像と (a)-(c) の原子カラム

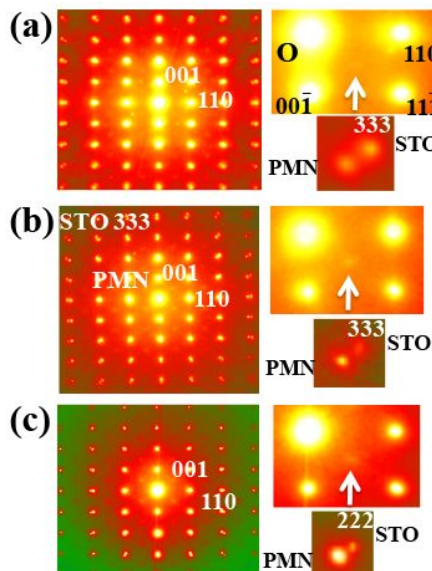


Fig. 1 Selected area diffraction patterns of (a) as-crystallized at 650 °C, annealed at (b) 700 °C and (c) 800 °C.

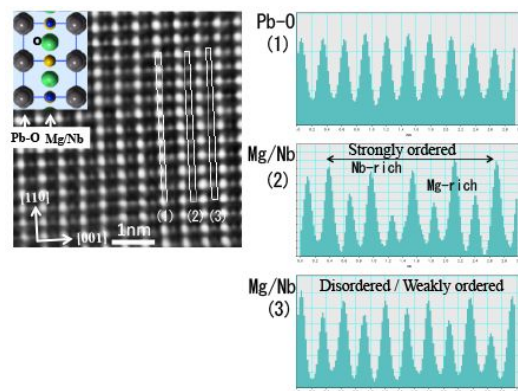


Fig.2 HAADF-STEM image of a typical PMN and line profiles along (a)-(c).

上の強度プロファイルを示す。ここで、HAADF-STEM 像のコントラストは一般的にビーム位置における平均の原子番号 Z の 2 乗に比例するため Z コントラストと呼ばれ、HRTEM と異なって像の直観的解釈が可能である。また、本研究では、収差補正 STEM を使用して照射系の収差を補正しているため、一般的な STEM と比較して電子ビームを大角度に収束でき、空間分解能の向上と共に、収束角の 2 乗に反比例して焦点深度が浅くなる。本研究では、23mrad の収束角を使用したため焦点深度は 5nm 程度と推定される。従って、試料の厚さが 5nm 以上合った場合でも、電子線入射

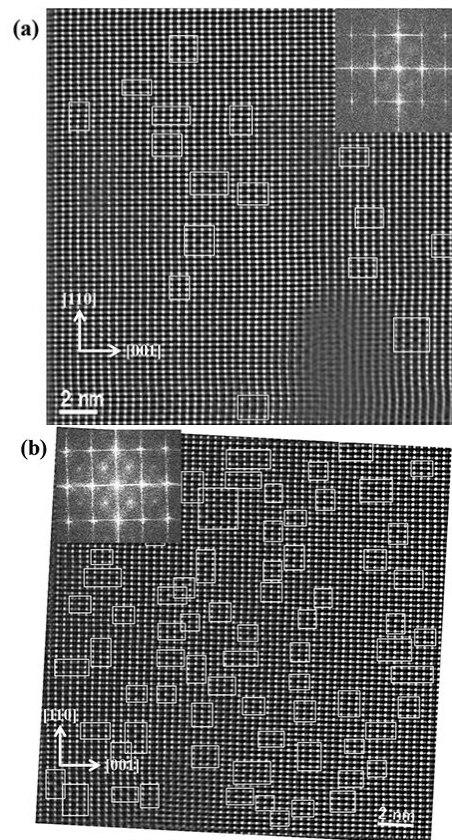


Fig.3 HAADF-STEM images with diffractograms of (a) as-crystallized and (b) annealed at 800 °C. Rectangular region in images show strongly B-site ordered regions.

表面から 5nm 程度の領域からの像コントラストへの主要な寄与となる。つまり、5nm 程度厚さに入る構造を見ていることになる。図 2 において、(a)Pb-O 原子カラム上では一定の Z^2 コントラストを示すのに対し、B サイト上の (b) (c) では秩序化に応じて周期的な強度変調が確認できる。本研究では、特に (b) に見られる強い強度変調の箇所を化学的秩序領域 (COR) として扱う。

図 3 に (a)650 で結晶化した PMN 薄膜と (b)800 でポストアニールした PMN 薄膜の HAADF-STEM 像とそのディフラクトグラム (Fourier スペクトル) を示す。結晶化の段階で既に (110) 面と (001) 面で囲まれた 1-2nm 角のサイズで COR が形成されており、図 18 と整合する。ただし、COR の数が少なくディフラクトグラムではブロードで弱い超格子反射しか現れていない。これに対し、800 でポストアニールすると、個々の COR の大きさはほぼ同じであるが、数が大きく増加していることが分かる。一部の COR は隣接する COR と重なるか、合一して $\langle 110 \rangle$, $\langle 001 \rangle$, $\langle 112 \rangle$ 方向へ繋がったような組織を形成する。これに応じてディフラクトグラムでは高次まで明瞭な超格子反射が現れている。650 で結晶化した薄膜、及び 800 で 10 分間酸素アニールを行った薄膜における HAADF-STEM 像の Z コントラストからサイズ分布を解析したところ、800 程度までのアニールでは、個々の COR の成長よりも数の増加が顕著である傾向を示していた。従って、COR の生成は核生成律速で起こると言える。この原因として、PMN 特有の構造フラストレーションに起因していると考えられる。すなわち、PMN では、B サイト原子の Mg と Nb の間でイオン半径差だけでなく電荷の大きな差が存在する。両原子が 100%イオン化したと仮定すると、6 配位状態での Mg^{2+} と Nb^{5+} のイオン半径はそれぞれ 0.072nm、0.064nm となる。従って、(111) 面上に Mg:Nb=1:1 で秩序化することで局所的な歪みエネルギーを極小化する。しかし、電荷中性条件の観点から Mg:Nb=1:2 で秩序化することで平均的に 4+ となることで局所的な静電エネルギーを極小化する。両者のフラストレーションによって 1:1 型の秩序化が起こるが大きく成長できないと考えられる。Yan らは COR が大きく成長するよう A サイトの Pb の 25% を La で置換した PMN において Charge-balanced random-layered model ($Mg_{2/3}Nb_{1/3}$):Nb=1:1 による秩序構造モデルを提唱している。しかし、本研究のような無ドープの PMN において、僅か 1-2nm 程度の微小な COR においてもこのモデルが当てはまるのか分かっていない。

そこで、原子分解能で B サイト原子カラムの組成分析を試みた。図 4 は 800 でポストアニールして COR を増加させた PMN 薄膜の (a)HAADF-STEM 像と (b)点線上の Mg-K 線及び Nb-L 線の特徴 X 線強度 (EDS) のラインプロファイルである。Mg-K 線の強度はノイズであ

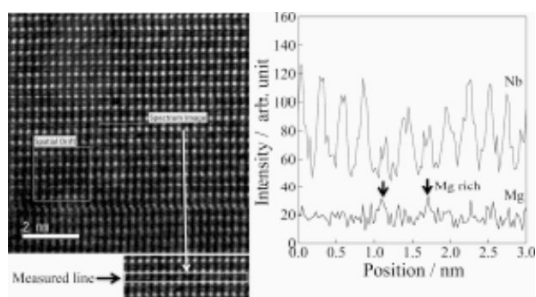


Fig.4 HAADF-STEM image of PMN thin film annealed at 800°C, and line profiles of characteristic X-ray of Mg-K and Nb-L along the broken line in (a).

るが、HAADF-STEM 像の中心付近の B 原子カラム上の輝度の弱い原子カラム位置において、Mg-K 線の強度が両隣の原子カラムと比べてピークを持ち Nb-L 線の強度が両隣の原子カラムよりも低下していることから、秩序化した領域に対応すると考えられる。一方、右側の領域では Nb-L 線と Mg-K 線が少し強度を持っており原子カラム間での大きな強度変化が見られないため、Mg/Nb が無秩序配列した領域に対応していると考えられる。ここで、秩序化したと考えられる領域でも Nb-L 線は相応の強度を持っている。これは、Nb の方が Mg よりも特性 X 線の励起確率が高いだけでなく、秩序化した COR の領域でも全ての B サイトに Nb が存在すること、つまり Mg の秩序化した (111) 面上にも Nb の存在を示唆している。

次に、エピタキシャル薄膜特有の格子ミスマッチやミスフィット転位による局所的な弾性場の効果を検討する。図 5 は PMN/STO 界面近傍の COR を観察した HAADF-STEM 像である。界面近傍にミスフィット転位の転位芯近傍の歪みが界面方向に約 10nm 間隔で存在している。しかし、COR に起因した歪み場は観察されないこと、またミスフィット転位と COR との間に位置の相関関係はないことから、両者の間には引力/斥力的な相互作用は無いように見える。図 6 に HAADF-STEM 像のピークペア解析により算出した歪みマップのうち面内/面外方向の垂直歪み成分を示す。基準は STO 基板にとった。界面に沿って約 10nm の間隔でミスフィット転位が配列して

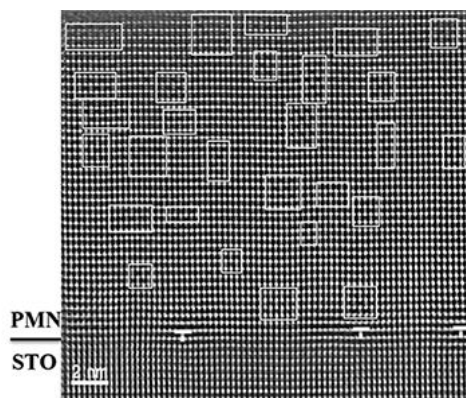


Fig.5 HAADF-STEM image around PMN/STO interface.

いることから、薄膜に残留しているのは主に熱膨張係数差による歪みである。いずれもノイズによる僅かな変動は見られるが、CORに対応した歪みは観察されない。よって、CORはその内部や無秩序マトリックスとの境界に歪みを伴わないことを示している。このため、界面やミスフィット転位と相互作用を示さなかったものと考えられる。従って、1:1型のイオン半径差による局所歪みを緩和するように1:1型の短距離秩序構造を持つと考えるのが妥当である。

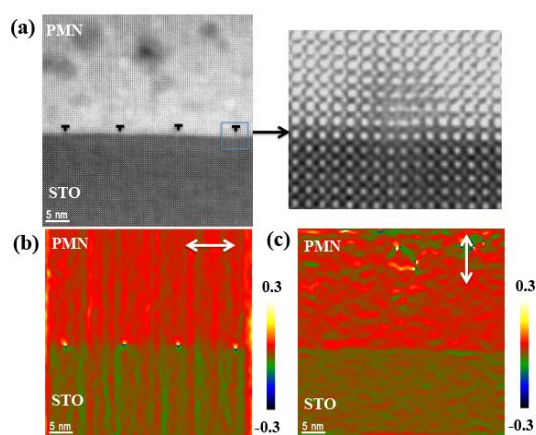


Fig.6 (a) HAADF-STEM image of PMN/STO thin film and (b,c) its strain maps calculated by peak-pair analysis of the image: (b) in-plane normal and (c) out-of plane normal strain.

以上のように、PMN 薄膜における COR はバルク結晶と異なり高温プロセスを経ないため、結晶化温度が低いほど核生成が抑制され COR の体積分率を低下させることが可能である。また、COR 間は弾性場の影響を受けないことがない。また、秩序構造については、原子分解能での像観察と組成分析の両面から、Charge-balanced random-layered model のような 1:1 型の秩序構造を持つことを組成の観点からも実証した。これらの結果から、バルクと比較して低温プロセスで作製される PMN 薄膜においては、COR の核生成を抑制できるため、PNR が成長できる無秩序領域が広くとれるため、ヘテロナノ組織制御による誘電特性の向上に寄与できるものと考えられる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

1. Y. Misaka, T. Kiguchi, K. Sato, T. Nishimatsu, T. Yamada, N. Usami, and T.J. Konno, "TEM analysis of the nanostructure of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ thin films by MOD method", *Key Eng. Mater.* 査読有, 582, 19-22 (2014). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.582.19
2. C. Fan, T. Kiguchi, T. Yamada, and T.J. Konno, "Aberration-corrected STEM analysis of ordered structure in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ thin films", *AMTC Lett.* 査読無, 4, 200-201 (2014).
3. T. Kiguchi, K. Aoyagi, Y. Ehara, H. Funakubo, T. Yamada, N. Usami, T.J. Konno, "Nanostructure around 90° Domain Wall and Elastic Interaction with Misfit Dislocation in PbTiO_3 Thin Film", *Key Eng. Mater.* 査読有, 566, 167-170 (2013). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.566.167
4. K. Aoyagi, T. Kiguchi, Y. Ehara, H. Funakubo, and T. J. Konno, "Analysis of Lattice Defects in an Epitaxial PbTiO_3 Thick Film by Transmission Electron Microscopy", *Key Eng. Mater.* 査読有, 566, 171-174 (2013). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.566.171
5. T. Kiguchi, Y. Misaka, M. Nishijima, N. Sakamoto, N. Wakiya, H. Suzuki, and T.J. Konno, "Effect of Facing Annealing on Crystallization and Decomposition of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Thin Films Prepared by CSD Technique Using MOD Solution", *J. Ceram. Soc. Jpn.* 査読有, 121, 236-241 (2013). DOI:10.2109/jcersj2.121.236
6. T. Kiguchi, T. Tsukamoto, C. Fan, M. Nishijima, and T.J. Konno, "Effect of Excess Pb on Epitaxial Growth of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Thin Films Prepared by Chemical Solution Deposition Process", *J. Ceram. Soc. Jpn.* 査読有, 121, 638-643 (2013). DOI: 10.2109/jcersj2.121.638
7. T. Kiguchi, T.J. Konno, Y. Ehara, T. Yamada, and H. Funakubo, "Direct Observation of Atomic Arrangement around 90° Domain Wall in Lead Titanate Thin Film.", *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 査読有, 1515, mrsf12-1515-II05-02-01 (6pages) (2013). DOI: 10.1557/opl.2013.1094
8. Y. Minemura, K. Nagasaka, T. Kiguchi, T.J. Konno, H. Funakubo, and H. Uchida, "Fabrication and Evaluation of One-axis Oriented Lead Zirconate Titanate Films using Metal-oxide Nanosheet Interface Layer", *Jpn. J. Appl. Phys.* 査読有, 52, 09KA04 (7pages) (2013). DOI:10.7567/JJAP.52.09KA04
9. K. Aoyagi, Y. Kodama, T. Kiguchi, Y. Ehara, H. Funakubo, and T.J. Konno, "Stacking Faults in an Epitaxially Grown PbTiO_3 Thick Film and Their Size Distribution", *Mater. Sci. Eng. B*, 査読有, 177, 528-531 (2012). DOI:10.1016/j.mseb.2012.01.013
10. T. Nishimatsu, K. Aoyagi, T. Kiguchi, T.J. Konno, Y. Kawazoe, H. Funakubo, A. Kumar, and U.V. Waghmare, "Molecular Dynamics Simulation of 90° Ferroelectric Domains in PbTiO_3 ", *J. Phys. Soc. Jpn.* 査読有, 81, 124702 (5 pages) (2012). DOI:10.1143/JPSJ.81.124702
11. T. Kiguchi, K. Aoyagi, Y. Ehara, H. Funakubo, T. Yamada, N. Usami, and T.J. Konno, "Configuration and Local Elastic Interaction of Ferroelectric Domains and Misfit Dislocation in $\text{PbTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ Epitaxial Thin Films", *Sci. Technol. Adv. Mater.* 査読有, 12, 034413 (9 pages) (2011). DOI:10.1088/1468-6996/12/3/034413
12. K. Aoyagi, T. Kiguchi, Y. Ehara, T. Yamada,

H. Funakubo, and T.J. Konno, "Diffraction Contrast Analysis of 90° and 180° Ferroelectric Domain Structures of PbTiO₃ Thin Films", *Sci. Technol. Adv. Mater.* 査読有, 12, 034403 (6 pages) (2011).

DOI:10.1088/1468-6996/12/3/034403

13. K. Aoyagi, T. Kiguchi, Y. Ehara, H. Funakubo, and T.J. Konno, "TEM Observation on Ferroelectric Domain Structures of PbTiO₃ Epitaxial Films", *Key Eng. Mater.* 査読有, 485, 179-182 (2011).

DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.485.179

14. T. Kiguchi, "Direct Evidence of Elastic Interaction between Ferroelectric Domain and Misfit Dislocation", *KINKEN Research Highlights 2011*, 査読無, 59-60 (2011).

〔学会発表〕(計 14 件)

1. 範滄宇, 木口賢紀, 今野豊彦, 山田智明, PMN-PT 薄膜における規則構造の原子分解能観察、日本セラミックス協会 2014 年年会、2014 年 3 月 18 日、横浜

2. 範滄宇, 木口賢紀, 今野豊彦, 安本洵, 山田智明, 長崎正雅, Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ 薄膜の原子分解能走査型電子顕微鏡観察、日本顕微鏡学会 第 38 回関東支部講演会、2014 年 3 月 8 日、東京

3. 木口賢紀, 範滄宇, 今野豊彦, 安本洵, 長崎正雅, 山田智明, Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ 薄膜における化学的秩序構造、日本セラミックス協会第 52 回セラミックス基礎科学討論会、2014 年 1 月 9 日、名古屋

4. T. Kiguchi, Atomic resolution imaging for Pb-based ferroelectric thin films using aberration-corrected electron microscopy, CMSI/CMRI Workshop for Ferroelectrics and Related Materials, 2014 年 1 月 6 日、仙台

5. 範滄宇, 木口賢紀, 今野豊彦, 安本洵, 山田智明, 長崎正雅, 収差補正電子顕微鏡による Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ 薄膜における化学的秩序構造の原子分解能観察、第 33 回エレクトロセラミックス研究討論会、2013 年 10 月 25 日

6. 木口賢紀, 範滄宇, 塚本倫一人, 今野豊彦, 安本洵, 長崎正雅, 山田智明, 鉛系リラクサー薄膜における化学的秩序構造の原子分解能観察、日本セラミックス協会第 26 回秋季シンポジウム、2013 年 9 月 4 日、長野

7. T. Kiguchi, C. Fan, T. Tsukamoto, J. Yasumoto, T. Yamada, T. Nagasaki, and T.J. Konno, Atomic-Resolution STEM Analysis of Hetero-Nanostructure in Relaxor Thin Films, STAC-7, 2013 年 6 月 22 日、横浜

8. 木口賢紀, 高分解能電子顕微鏡の結像原理と強誘電体薄膜への応用、第 237 回東京工業大学応用セラミックス研究所講演会、2012 年、12 月 21 日、横浜

9. 木口賢紀, 三坂好央, 佐藤和久, 西松毅, 今野豊彦, 山田智明, 舟窪浩, PbTiO₃ エピタキシャル薄膜における 90°ドメインの核生成・成長メカニズム、日本セラミックス協会

第 25 回秋季シンポジウム、2012 年 9 月 21 日、名古屋

10. Y. Misaka, T. Kiguchi, K. Aoyagi, N. Usami, T.J. Konno, Effects of the processing condition of PMN thin films on crystallinity and chemical ordering, STAC-6, 2012 年 6 月 27 日、横浜

11. 木口賢紀, 今野豊彦, 青柳健大, 山田智明, 舟窪浩, PbTiO₃ エピタキシャル薄膜におけるドメイン境界構造の HRTEM 観察、日本金属学会 2012 年春期大会、2012 年 9 月 21 日、名古屋

12. 西松毅, 青柳健大, 木口賢紀, 今野豊彦, 川添良幸, Anil Kumar, Umesh V. Waghmare, PbTiO₃ の昇温 / 降温分子動力学シミュレーション、日本物理学会第 67 回年次大会、2012 年 3 月 21 日、西宮

13. T. Nishimatsu, K. Aoyagi, T. Kiguchi, T.J. Konno, Y. Kawazoe, A. Kumar, U.V. Waghmare, Heating-up and cooling-down molecular-dynamics simulations of 90-degree domain structures in PbTiO₃, Fundamental Physics of Ferroelectrics and Related Materials 2012, 2012 年 1 月 31 日、アメリカ、アルゴンヌ

14. 木口賢紀, 中村崇昭, 宇佐美徳隆, 内田寛, 坂元尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木久男, 今野豊彦, CSD 法による PMN 薄膜の作製と不均一ナノ組織の解明、日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム、2011 年 9 月 9 日、札幌

〔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〕なし

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

佐藤 和久 (Sato, Kazuhisa)

東北大学・金属材料研究所・助教
研究者番号: 70314424

(3) 連携研究者

西松 毅 (Nishimatsu, Tsuyoshi)

東北大学・金属材料研究所・助教
研究者番号: 70323095

(4) 連携研究者

山田 智明 (Yamada, Tomoaki)

名古屋大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 80509349