

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656372

研究課題名(和文) 内部ポテンシャル変調に着目した強誘電体薄膜リーク機構の解明

研究課題名(英文) Mechanism of leakage current of ferroelectric thin films based on internal potential

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では異相の生成を抑制するための成膜条件を探索すること、種々の成膜条件がBiFeO<sub>3</sub>及びPb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>薄膜の組織に与える影響について調べ、電子顕微鏡法(TEM、STEM)により、薄膜の形成機構を明らかにする。また、電子顕微鏡(HRTEM)画像に基づく波面再構築による内部ポテンシャル解析により、BiFeO<sub>3</sub>やPb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>などの強誘電体・リラクサー薄膜で問題となっているリーク現象を微細構造からの理解を試みた。

研究成果の概要(英文)：This study was investigated the effect of processing conditions of BiFeO<sub>3</sub> and Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> thin films on their microstructure using electron microscopies, the transmission electron microscopy (TEM) and the high-angle annular dark field-scanning transmission electron microscopy (HAADF-STEM). The mechanism of leakage current was also investigated from the point of microstructure. It has been attempted that the analysis of the average internal potential in these thin films using the wave function reconstruction of the focal series of HRTEM images in order to elucidate the electronic structure in these thin films.

研究分野：無機材料・物性

キーワード：強誘電体 組織 マルチフェロイクス リラクサー 電子顕微鏡 出射波動場 波面再構築 内部ポテンシャル

## 1. 研究開始当初の背景

BiFeO<sub>3</sub> や Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> などの強誘電体・リラクサー薄膜で問題となっているリーク現象の微視的機構の理解は、誘電特性発現の観点から重要である。これらの薄膜の作製には気相法や液相法など様々なプロセス手法が使われている。しかし、成膜時の異相の生成が誘電特性低下の問題を引き起こす。異相の生成に関し、その生成機構について組織的観点からの理解は進んでおらず、微視的な観点から薄膜の成長機構を理解する必要がある。また、組織的な観点からリーク機構の理解が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では異相の生成を抑制するための成膜条件を探索すること、種々の成膜条件が BiFeO<sub>3</sub> 及び Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> 薄膜の組織に与える影響について調べ、電子顕微鏡法 (TEM、STEM) により、薄膜の形成機構を明らかにする。また、電子顕微鏡 (HRTEM) 画像に基づく波面再構築による内部ポテンシャル解析により、BiFeO<sub>3</sub> や Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> などの強誘電体・リラクサー薄膜で問題となっているリーク現象を微細構造から理解することを目的とする。

なお、本研究結果については、紙面の制約から主に BiFeO<sub>3</sub> 薄膜について報告するとともに、薄膜の形成機構に関する研究の必要性が生じたため、こちらに重点を置いた。

## 3. 研究の方法

### (1) 成膜

薄膜作製の原料は、MOD 溶液を用いた化学溶液堆積 (CSD) 法で行った。基板は 1 辺 15mm の正方形の SrTiO<sub>3</sub> (001) 単結晶基板を使用した。基板洗浄後、MOD 溶液を塗布してスピコートした。スピコート後、350°C で仮焼、窒素中または酸素中 550-650°C 結晶化した。その後、窒素または酸素中で 650 ~ 800°C でポストアニールした。本焼とポストアニールには RTA 法で行った。

### (2) 構造評価

作製した薄膜の結晶相同定、配向性は平行ビームを用いた X 線回折測定で評価した。Bruker 社製の D8discover を使用し、Cu をターゲットとした回転体陰極により発生した X 線を Göbel ミラーおよび Ge 単結晶 220、4 単結晶モノクロメータにより、発散角 0.08° の CuKα1 (λ=0.15406nm) に単色化した。測定には位置敏感型比例計数管を用いた。これにより基板に対して垂直方向以外に現れるピークの確認が可能になり、単結晶と多結晶のピークの区別が容易になる。配向性を調べるために BiFeO<sub>3</sub> 002 のピークのロッキングカーブを 2θ 方向に積分し、その半値幅を用いて

配向性を評価した。2θ 方向のステップ角度は 0.01°、X 軸方向のステップ角度は 0.1° に設定して解析した。SrTiO<sub>3</sub> の ICDD データ (00-005-0634) と実験結果が一致するように補正した。また BiFeO<sub>3</sub> 202 の測定においては、SrTiO<sub>3</sub> の格子定数を用いて角度を校正した。異相と BiFeO<sub>3</sub> 002 ピークの積分強度比を算出し、種々の成膜条件に対する異相の割合を評価した。

### (3) 組織解析

TEM 観察用に薄膜の断面試料を作製した。基板を [100] 方向に切りだし、膜面同士をエポキシ樹脂により貼り合わせたのち、切断、研磨加工を行い、Ar イオンミリング法を用いて薄片試料を作製した。作製した試料の組織観察には明視野像を用い、構造解析には制限視野回折図形を用いた。薄膜中の組成分析にはエネルギー分散型 X 線分光法 (EDS) 分析を行った。TEM 観察には、EM-002B (加速電圧 200keV、球面収差係数 0.4mm、Topcon)、Titan 80-300 (加速電圧 300keV、球面収差係数 ~1μm (補正後)、FEI)、JEM-3000F (加速電圧 300keV、収差係数 0.6mm、JEOL) と JEM-3011 URP (加速電圧 300keV、球面収差係数 0.6mm、JEOL) を用いた。HRTEM 像の波面再構築は、Through Focus で撮影した連続する 5 枚の画像を Iterative Wave Function Reconstruction (IWFR) 法により行った。ディフォーカス量は、4nm ステップで -4nm から -20nm で変化した。

## 4. 研究成果

### (1) 窒素中でアニールした BFO 薄膜

#### ① 結晶構造

図 1 に窒素雰囲気中で本焼、ポストアニールを行った薄膜試料の 2 次元 XRD マップを示す。(a) は本焼のみ、他は本焼に加えて (b) 650、(c) 700、(d) 750、(e) 800°C でポストアニールを行った試料である。各ピークはそれぞれ 22.5° が BiFeO<sub>3</sub> 001、22.8° が SrTiO<sub>3</sub> 001、30.0° が Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> 002、35.2° が Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> 310、46° が BiFeO<sub>3</sub> 002、46.5° が SrTiO<sub>3</sub> 002 のピークを示している。(a)、(b) では BiFeO<sub>3</sub> 002 と SrTiO<sub>3</sub> 002 のピークが分離できていない。これは BiFeO<sub>3</sub> 薄膜のピークがブロードで面間隔の変動が大きいことを示している。700°C 以上のポストアニールにより、Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> の生成が確認された。これらは図に示す通りピークがスポット状に現れていることから、母相である BiFeO<sub>3</sub> 及び SrTiO<sub>3</sub> 基板に対し方位関係を保つことを示しており、膜厚方向に少なくとも一軸配向していることを示している。なお、後述するように、電子回折図形より面内方向に対してもほぼ一定の方位を保持しており、エピタキシャル成長していると考えてよい。

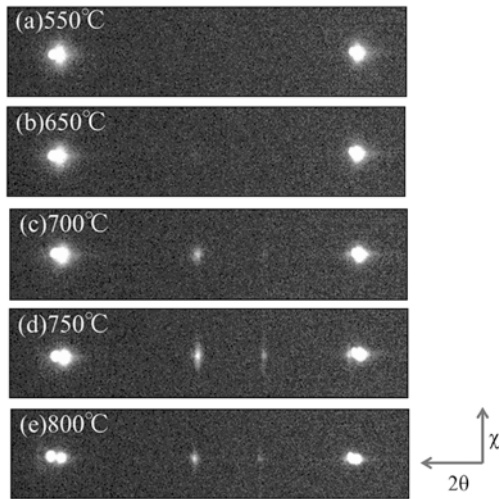


図1 窒素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の2次元 XRD パターン

図2の(a)は図1の試料のXRDプロファイルであり、(b)は $\text{BiFeO}_3$  002のロックンングカーブであり、FWHMはロックンングカーブの半値幅である。高温ポストアニールによって半値幅が減少していることから、高温ポストアニールによって $\text{BiFeO}_3$  薄膜の配向のゆらぎが減少し結晶性がよくなっていることが明らかとなった。

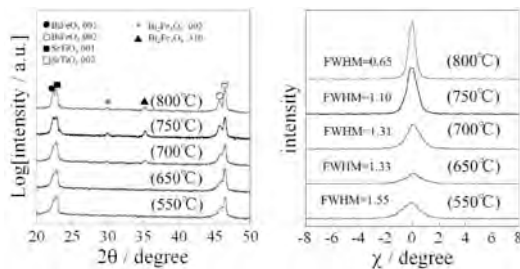


図2 窒素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の (a)  $2\theta$ - $\omega$  XRD プロファイル、(b)  $\text{BiFeO}_3$  002 のロックンングカーブ

## ②微細組織

図3に $\text{BiFeO}_3$  薄膜の断面 TEM 試料の明視野像と  $\text{SrTiO}_3$  基板を含む薄膜の制限視野電子回折図形を示す。(a)は本焼のみ、他は本焼に加えて (b) 650、(c) 700、(d) 750、(e) 800°Cでポストアニールを行った試料である。本焼のみの試料では薄膜の表面が均一に平らになっており、電子回折図形には異相を示すスポットは確認されなかった。本焼のみでは膜が3層積層したブロック状の組織が確認でき、典型的なモザイク構造である。膜厚はおよそ60nmであることから、1層積層するごとに15~20nmの膜を積むことができることが分かった。650°Cでは550°Cに見られたような積層界面は消えており、粒のようなコントラストがついていた。これは配向がわずかに異なる結晶粒を生成していることによる

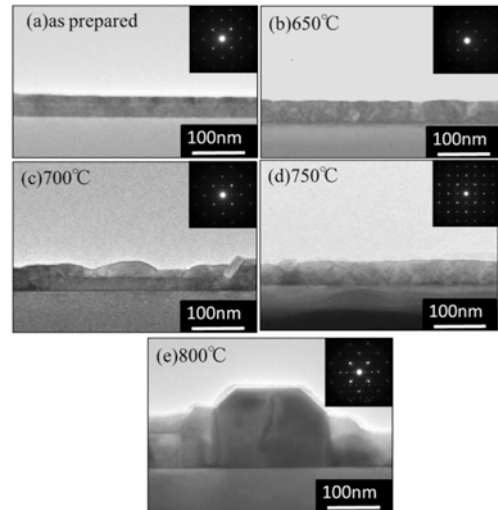


図3 窒素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の断面 TEM 明視野像と回折図形

回折コントラストであると考えられる。

また、長方系型の強い回折コントラストの粒が観察された。これは、TEM-EDS 分析の結果から  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  であった。700°Cの試料でも同様に、膜表面に強い回折コントラストがついた四角い形状の  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  が生成していた。同様に EDS の結果から  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  とと思われる強い回折コントラストの粒も存在していた。800°Cの試料では局所的に膜厚が著しく増減した島状組織を形成した。この島は、主に  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  と  $\text{BiFeO}_3$  から構成されており、島のすその部分には Bi が 90at% の Bi リッチ相の存在も確認された。この相は X 線の結果には現れていないが、過去の文献を参照すると  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  であると推察される。

次に図4に HAADF-STEM 像を示す。(a)は本焼のみ、他は本焼に加えて (b) 650°C、(c) 700°C、(d) 750°Cでポストアニールを行った試料である。本焼のみの試料の HAADF-STEM 像においては濃淡のあるコントラストが確認された。HAADF-STEM 像のコントラストは原子番号の約2乗に比例

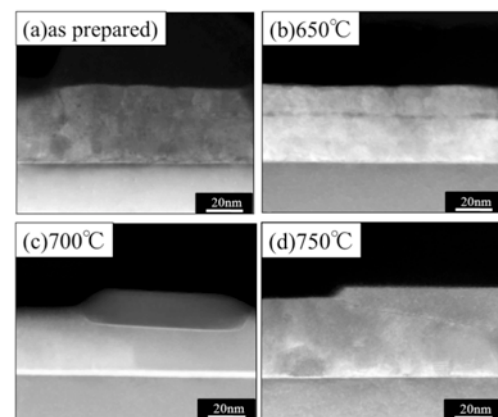


図4 窒素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の HAADF-STEM 像。(a) 本焼のみ、(b) 650、(c) 700、(d) 750°C。

する（Zコントラスト）と考えられているので、強い Z コントラストは重元素である Bi、弱い Z コントラストのところには Bi と比較し軽い元素の Fe が偏析していると判断できる。XRD では異相の生成を確認することができなかったが、本焼のみの  $\text{BiFeO}_3$  薄膜にも異相が生成していることを示唆している。700°Cでは膜の表面に Bi が欠損した化合物の生成が見られており、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  であると考えられる。また、ポストアニールをした試料では基板近傍に強い Z コントラストが確認された。これは  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  の生成によって過剰となった Bi が基板近傍に偏析したものと考えられる。

## (2) 酸素中でアニールした BFO 薄膜

### ① 結晶構造

図 5 に酸素雰囲気中で (a) 本焼のみ、本焼に加えて (b) 650、(c) 700、(d) 750、(e) 800°Cでポストアニールした試料の XRD プロファイルを示す。650、700°Cでは、窒素雰囲気中でポストアニールした試料の結果と同様の異相の生成が確認された。しかし、800°Cでは複数の異相のピークが現れており多結晶化していた。これらのピーク位置は ICDD の  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  および  $\text{Bi}_{25}\text{Fe}_{40}$  もと一致していた。高温でポストアニールすることで、 $\text{BiFeO}_3$  002 のロックンカーブの半値幅が減少していることから、 $\text{BiFeO}_3$  薄膜の結晶性が向上したことが明らかとなった。酸素雰囲気中のポストアニールでは、750°Cでロックンカーブの半値幅が 0.88°と大きく向上していた。これは 700°C~750°Cの間で組織に大きな変化があることが示している。また 800°Cでは  $\text{BiFeO}_3$  002 のピーク強度が著しく低下しており、 $\text{BiFeO}_3$  の分解が促進されたと考えられる。

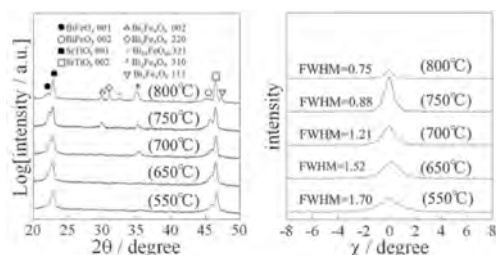


図 5 酸素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の  $2\theta$ - $\omega$ XRD プロファイル (a)  $2\theta$ - $\omega$ XRD プロファイル、(b)  $\text{BiFeO}_3$  002 のロックンカーブ。

### ② 微細組織

図 6 に酸素雰囲気中で (a) 本焼のみ、本焼に加えて (b) 650、(c) 700、(d) 750、(e) 800°Cでポストアニールした試料の断面 TEM 明視野像を示す。650°Cでは膜表面に強い回折コントラストの粒が生成していた。EDS 分

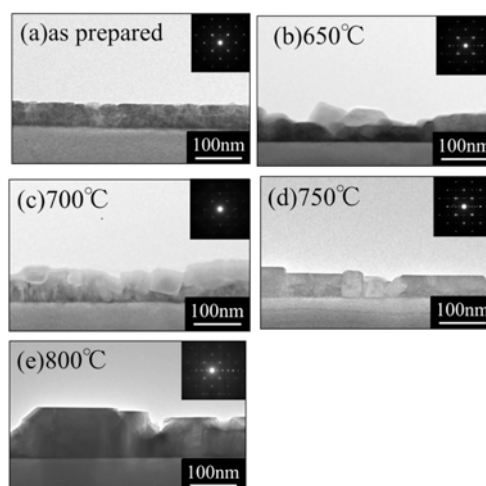


図 6 酸素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の断面 TEM 明視野像と回折図形 (a) 本焼のみ、(b) 650、(c) 700、(d) 750、(e) 800°C。

析の結果から  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  であることが確認された。700°Cではこの粒の量が増え膜表面を覆うようになった。膜表面での  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  の生成は、膜表面からの Bi の揮発の可能性を示唆している。750°Cでは四角い自形をもつ組織となっており、場所によっては島状組織となっていた。800°Cでは本来の膜厚の 3 倍を超える厚さ 200nm にもおよぶ島状組織を形成しており、島の大部分は  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  で構成されていた。

酸素雰囲気中でのアニールにおける組織変化をまとめると (1) 平滑な膜、(2) 表面に  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  の生成、(3) 長方形の膜、(4) 膜厚の増加した島状組織となる。既往の研究では酸素雰囲気中でのアニールによって異相の生成が起りやすいと報告されており本研究の結果とも一致する。

図 7 に酸素中で (a) 本焼のみ、本焼に加えて (b) 650、(c) 700、(d) 750°Cでポストアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の HAADF-STEM 像を

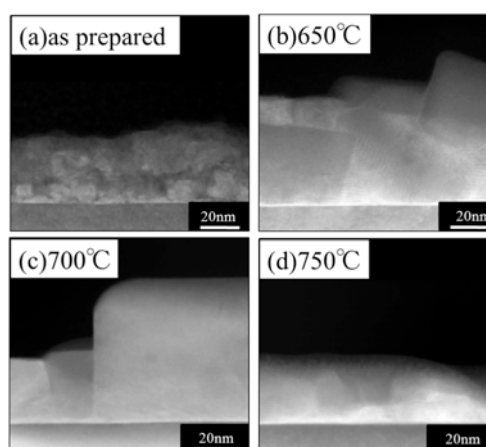


図 7 酸素雰囲気中でアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の HAADF-STEM 像. (a) 本焼のみ、(b) 650、(c) 700、(d) 750°C。



示す。650°Cでは膜表面に長方形の弱い Z コントラストがついており、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  であると考えられる。これらの結果は TEM および EDS の結果とも整合性がある。また 650°C、750°C の写真では  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  と思われる弱い Z コントラストの粒の近傍には、強い Z コントラストのついた領域がある。HAADF-STEM 像では膜厚によって Z コントラストに違いが現れるため、TEM 試料が楔形である以上、連続的に膜表面のコントラストが暗くなることが推測される。しかしながら、数十 nm の膜厚の薄膜において基板近傍の僅か数 nm の厚さの領域のみ強い Z コントラストが生じることは薄片の厚みだけでは考え難く、単相の  $\text{BiFeO}_3$  薄膜中でこのような濃度勾配が現れるとも考えられない。よって、基板近傍の強い Z コントラストの領域では  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$  等の Bi リッチな異相の生成を示唆している。この結果は、 $\text{BiFeO}_3$  薄膜の結晶成長において、薄膜/基板界面における異相の存在が重要な鍵を握っていることを示唆している。

次に異相の生成機構について調べるために、薄膜/基板界面近傍の高分解能 TEM 観察を行った。図 8 は Bi 定比の MOD 溶液を用いて酸素中、700°C、10 分間のポストアニールを行った試料の基板近傍の写真である。写真右下には  $\text{BiFeO}_3$  のペロブスカイト構造が見られるが、それ以外は異相である。異相はエピタキシャルに成長をしているため、格子像が見えており、異相と異相の界面、 $\text{BiFeO}_3$  と異相の界面はシャープになっている。これらの異相は、酸素中アニールで生成していた長方形の  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  と考えられる。 $\text{SrTiO}_3$  基板とわずかに傾いて成長しており、その間にも異相があることから、膜内で核生成した  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  が方位性を持って基板近傍までエピタキシャル成長してきたものと考えられる。

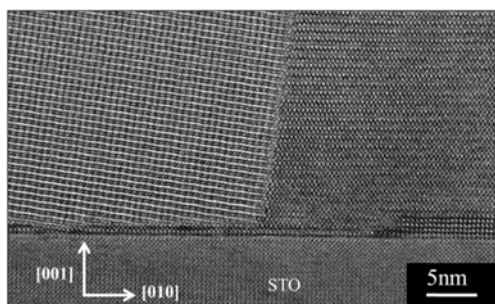


図 8 酸素雰囲気、700°Cでポストアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の高分解能 TEM 像

以上の結果をもとに  $\text{BiFeO}_3$  薄膜のポストアニールによる組織変化を考える。本焼の場合では、膜はレイヤー状に積層されているが、650°Cから  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  の生成が起こり始める。表面近傍で  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  が生成し始めてから Bi が基板近傍に集中していき  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$

を生成する。ポストアニール温度の上昇とともに  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  が成長し、800°Cでは融解を伴って巨大な島状組織を形成する。本研究結果に起いては、この粒界部分における構造の乱れがリークに関係しているものと推察される。

出射波動場の波面再構築の結果については、位相物体として扱える程度の薄い薄片部を用いないと、動力学効果のため、正しい結果が得られない。現時点では、薄膜表面付近においてのみ十分に薄い薄片が得られていないことから、本報告書では薄膜表面近傍について報告する。

図 9 は、窒素雰囲気、750°Cでポストアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の高分解能 TEM 像について、IWR 法で波面再構築を行って算出した試料薄片直下の出射波動場の (a) 振幅像と (b) 位相像である。この結果から、表面から 2nm 付近の位置で位相コントラストの反転が起きており、動力学効果が強く現れていることを示している。しかし最表面領域について注目すると、デフォーカスに伴う像の非局在性は現れておらず、最表面の原子配列に関する情報が明確に捉えられている。よって、リーク現象に関与すると考えられる粒界近傍の解析についても十分適用できることを示唆している。今後、広い領域を薄片化し、粒界近傍における出射波動場の波面再構築を試み、定量的な内部ポテンシャルの変調について解析を進める。

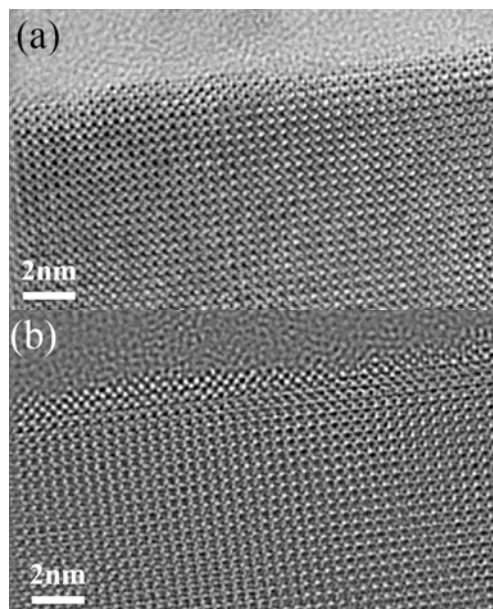


図 9 窒素雰囲気、750°Cでポストアニールした  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の高分解能 TEM 像の (a) 振幅像と (b) 位相像。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

1. C. Fan, T. Kiguchi, A. Akama, and T.J. Konno, "Effect of Ti concentration on the growth

of chemically-ordered regions of  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  epitaxial thin films”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* 123 (2015). in-printing

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.* 4, 200-201 (2014).

3. 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

4. M. Mizugai, T. Kiguchi, N. Usami, K. Shinozaki, T.J. Konno, “Effects of Annealing Process on the Structure of Mn-Doped  $\text{BiFeO}_3$  Thin Films”, *Key Eng. Mater.* 566, 155-158 (2013). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.566.155

5. T. Kiguchi, K. Aoyagi, Y. Ehara, H. Funakubo, T. Yamada, N. Usami, T.J. Konno, “Nanostructure around  $90^\circ$  Domain Wall and Elastic Interaction with Misfit Dislocation in  $\text{PbTiO}_3$  Thin Film”, *Key Eng. Mater.* 査読有, 566, 167-170 (2013). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.566.167

6. K. Aoyagi, T. Kiguchi, Y. Ehara, H. Funakubo, and T. J. Konno, “Analysis of Lattice Defects in an Epitaxial  $\text{PbTiO}_3$  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

7. 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

8. 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

[学会発表] (計 25 件)

1. 範滄宇, 木口賢紀, 赤間章裕, 今野豊彦, PMN-PT 薄膜における MPB シフトと構造評価, 日本セラミックス協会 2015 年年会, 2015 年 3 月 20 日, 岡山大学 (岡山県・岡山市)

2. 範滄宇, 木口賢紀, 赤間章裕, 今野豊彦, STEM-EELS 法による PMN-PT/STO 界面における電子状態分析, 第 34 回エレクトロセラミックス研究討論会, 2014 年 10 月 25 日, 東京工業大学 (東京都・大田区)

3. 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, AMTC4,

2014 年 5 月 9 日, 浜松アクトシティー (静岡県・浜松市)

4. 範滄宇, 木口賢紀, 今野豊彦,  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$  薄膜における秩序構造の原子分解能観察, 日本顕微鏡学会第 70 回学術講演会, 2014 年 5 月 11 日, 幕張メッセ (千葉県・千葉市)

5. 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, 慶應義塾大学 (神奈川県・横浜市)

6. 木口賢紀, 範滄宇, 今野豊彦, 安本洵, 長崎正雅, 山田智明,  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$  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, ウィンク愛知 (愛知県・名古屋市)

7. (招待講演) T. Kiguchi, Atomic resolution imaging for Pb-based ferroelectric thin film s using aberration-corrected electron microscopy, CMSI/CMRI Workshop for Ferro electrics and Related Materials, 2014 年 1 月 6 日, 東北大学 (宮城県・仙台市)

8. 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  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$  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, エポカルつくば (茨城県・つくば市)

9. T. Kiguchi, M. Nishijima, K. Shinozaki, and T.J. Konno, Effect of Deposition Condition on Epitaxial Growth of  $\text{BiFeO}_3$  Thin Films by CSD Method, STAC-7, 2013 年 6 月 22 日, メルパルク横浜 (神奈川県・横浜市)

10. (招待講演) 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, 東京工業大学 (神奈川県・横浜市)

[図書] (計 2 件)

1. 木口賢紀 (共著), 「XAFS/EELS による局所構造解析テクニック」, 情報機構, 79-107 (2014).

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・准教授

研究者番号: 70314424