

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21360316
 研究課題名（和文） 高品質チタン酸ジルコン酸鉛単結晶膜の作製とその基礎特性解明
 研究課題名（英文） Growth of High quality Lead Zirconium Titanate Single-crystalline Films and Their Basic Property
 研究代表者
 舟窪 浩（FUNAKUBO HIROSHI）
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授
 研究者番号：90219080

研究成果の概要（和文）： MOCVD法を用いて作製した高品質の $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 膜を用いて、これまで実験的に明らかになっていなかった基礎物性を明らかにすることを試みた。その結果、分極値の結晶方位依存性や非分極軸のドメインの体積分率依存性等の基礎特性を実験的に初めて明らかにした。分極値は、分極値の電界印階方向と分極軸のなす角度の関係から説明できた。また分極軸配向の体積分率に直線的に変化した。

研究成果の概要（英文）： Fundamental property of $\text{Pb}(\text{Zr, Ti})\text{O}_3$ was investigated using high-quality films grown by MOCVD. Orientation dependency and the contribution of non- 180° domain on the electrical and electro-mechanical properties were experimentally observed for the first time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

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：単結晶・チタン酸ジルコン酸鉛・基礎特性

1. 研究開始当初の背景

(1)本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ

$\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ は、通常の圧電体結晶作製で広く用いられている融液からの合成は状態図から不可能なため、これまでの多くの努力にもかかわらず、“単結晶の合成は不可能”と考えられてきた。

一方、融液を経ない方法でも、冷却過程で

常誘電体相から強誘電体への相転移（キュリー温度）があり、相転移時に強弾性ドメイン（たとえば正方晶結晶の場合は、 90° ドメイン）が導入されてしまうため、単結晶の作製は非常に難しかった。

単結晶が得られないため $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ の基礎物性は明らかになっておらず、圧電体の教科書は $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ の特性記述に多くのページを割いているものの、単結晶の圧電特性や

誘電率の方位依存性といった非常に基礎的かつ重要な特性が現在でもまったく記述されていないのが実情である。

また単結晶で大きな物性が期待されている分野でも、 $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ の応用は多結晶に限定されてきた。たとえば圧電特性は $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ の場合、単結晶によって多結晶の30倍の特性が得られているが、 $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ では単結晶作製の難しさから、応用はいまだに多結晶に限定されていた。

(2)本研究の着想

本申請の着想に至った最大の研究成果は、申請者が応力の少ない $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ 単結晶厚膜作製に成功した点にある。具体的には、以下である。

- 世界に先駆けて基板の結晶格子の拘束を用いて、膜厚100nmまでの単結晶膜の作製に成功し、 $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ の巨大な自発分極値を世界で初めて確認した。
- CaF_2 を基板に用いることで、従来の40倍の膜厚の4nmまでの単結晶厚膜の合成に世界で初めて成功した。
- CaF_2 上で作製した膜では、強誘電体相に相転移した後(キュリー温度以下)の膜内の残存歪みは非常に小さく、高品質な単結晶の作製が可能なることを明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、以下の2項目を行う。

- (1) 更に高品質の単結晶を作製する。
- (2) 得られた単結晶を用いて基礎物性を明らかにする。

3. 研究の方法

パルスMOCVD法を用いて、高品質の膜の作製を行った。膜厚は製膜時間で、 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 比は、原料供給量比で制御した。

(1)高品質サンプルを作成する実験

$(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.93})\text{SnO}_3$ [LSSO]膜は、これまで下部電極に用いてきた SrRuO_3 より大きな格子定数を有し、PZTとの格子整合性も高い。

本研究では、LSSOを下部電極に用いた製膜を行った。

(2)基礎物性の把握

基板の結晶方位およびバッファ層を最適化することで、 SrRuO_3 基板上に種々の方位のPZT膜の作製を行った。

得られた膜は、XRDの評価に加えて顕微ラマン分光による評価を行った。得られた結果と電気特性および電気機械特性結果を比較検討した。

(3)新規単結晶の作製

基礎研究を一步進めて、 CaF_2 の大きな面内圧縮歪みを用い、通常は菱面体の $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 比が0.65の膜の作製を行った。

4. 研究成果

(1) $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.93})\text{SnO}_3$ [LSSO]膜下部電極を用いたPZT膜の合成

LSSOを下部電極として $(100)\text{cLSSO}/(110)\text{CaF}_2$ および $(100)\text{cLSSO}/(100)\text{SrTiO}_3$ 基板上に $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ 膜を作製した。 SrTiO_3 基板上では、 $(100)/(001)$ 配向した膜が作製できたのに対し、 $(110)\text{CaF}_2$ 基板上では、 (001) に単一配向した膜が得られた。

しかし $(100)\text{cLSSO}/(110)\text{CaF}_2$ 基板上の $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ は絶縁性が悪く、その原因は、LaとSnの $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ への拡散と考察できた。

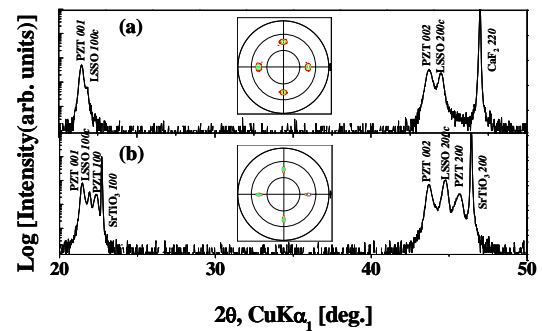


図1 (a) $(100)\text{cLSSO}/(110)\text{CaF}_2$ および (b) $(100)\text{cLSSO}/(100)\text{SrTiO}_3$ 基板上に作製した $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ のXRD回折図形とX線極点図形

(2)基礎物性の把握

①分極軸配向の体積制御

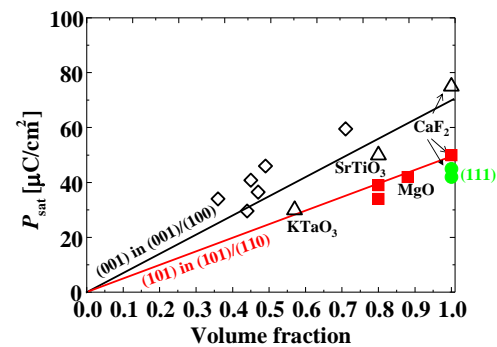


図2 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ における、体積分率と飽和分極値の関係

強弾性ドメインの体積制御のために、基板からの圧縮歪みを用いた。その結果、製膜温度から、キュリー温度までに膜に印加させる歪み量を制御することで、 $(100)/(001)$ 、 $(110)/(101)$ 、 $(111)/(11-1)$ の配向の体積分率の制御が可能であった。

飽和分極値は配向の体積分率によって直線的に変化することが明らかになった。ただし、非分極軸配向の膜の体積が多い場合には、電界印加によって体積分率が変化するため、この直線からずれる事が明らかになった。

②結晶方位依存

CaF₂の基板では、面内方向に大きな圧縮歪みが印加されることを用いて、非180°ドメインの効果を排除した膜の作製に成功した。得られた膜の飽和分極値は、分極軸の電界印加方向からの傾きから予想されるものと良く一致した。

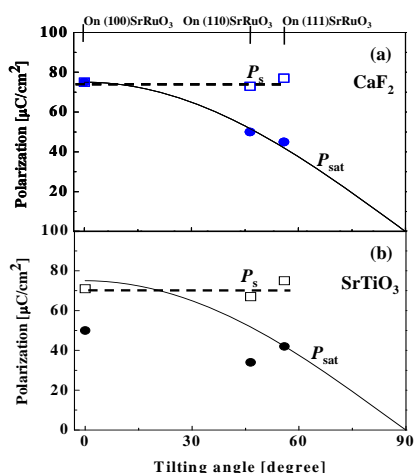


図3 分極軸のチルト角による飽和分極値およびそこから予想される自発分極値の変化。(a) SrTiO₃基板, (b) CaF₂基板

③ソフトモード周波数の評価

残留歪みの小さな分極軸配向した正方晶膜について、自発分局値の2乗は、結晶歪み $[(c/a)-1]$ と、 $A_1(1T0)$ の2乗と比例関係にあることを始めて実験的に明らかにした。

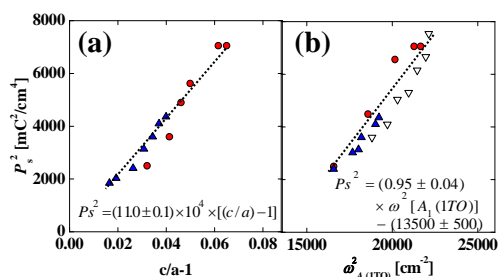


図4 正方晶PZTにおける P_s^2 と (a) 結晶の異方性 $[(c/a)-1]$ と、(b) $\omega^2[A_1(1T0)]$ の関係

(3)新規単結晶の作製

CaF₂基板上に作製したエピタキシャル膜では、通常は菱面体晶を有するZr/(Zr+Ti)比が

0.65の膜でも200nm以下の膜厚では正方晶系を有する可能性が明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

- (1) 【掲載確定】 Yoshitaka Ehara, Satoru Utsugi, Mitsumasa Nakajima, Mohamed Tahar, Chentir, Tomokai Yamada, Takashi Iijima, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, and Hiroshi Funakubo, “Non-contact probe method of ferroelectric property estimation of PbTiO₃ based films for micro electro mechanical systems”, J. Mater. Res., 査読有, 2012.
- (2) 【掲載確定】 Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Takashi Iijima, Valanoor Nagarajan, and Hiroshi Funakubo, “Temperature and Frequency Dependencies of Ferroelectric Properties in Rhombohedral Epitaxial Pb(Zr,Ti)O₃ Films with Perfect (111) Orientations Grown on CaF₂ Substrates”, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 査読有, 2012.
- (3) Yoshitaka Ehara, Satoru Utsugi, Mitsumasa Nakajima, Tomoaki Yamada, Takashi Iijima, Hiroki Taniguchi, Mitsuru Itoh, and Hiroshi Funakubo, “Spontaneous polarization estimation from the soft mode in strain-free epitaxial polar axis-oriented Pb(Zr,Ti)O₃ thick films with tetragonal symmetry”, Appl Phys Lett., 査読有, 98, 2011, 141914-1-3.
- (4) Mitsumasa Nakajima, Syoji Okamoto, Hiroshi Nakaki, Tomoaki Yamada, and Hiroshi Funakubo, “Enhancement of piezoelectric response in (100)/(001) oriented tetragonal PZT films by controlling tetragonality and volume fraction of the (001) orientation”, J. Appl. Phys., 査読有, 109, 2011, 091601-1-5.
- (5) Kenta Aoyagi, Takanori Kiguchi, Yoshitaka Ehara, Hiroshi Funakubo, and Toyohiko Konno, “TEM Observation on Ferroelectric Domain Structure of PbTiO₃ Epitaxial Films”, Key Eng. Mater., 査読有, 485, 2011, 179-182.
- (6) M. T. Chentir, Yoshitaka Ehara, Y. Sugiyama, Y. Tasaki, H. Ishiura, and H. Funakubo, “Intrinsic Characteristics of Bi(Zn_{1/2}Ti_{1/2})O₃ - substituted Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.6})O₃ Thin Films”,

- Materials Science and Engineering, 査読有, 18, 2011, 092008-1-4.
- (7) Y. Ehara, S. Yasui, J. Nagata, D. Kan, V. Anbusathaiah, T. Yamada, O. Sakata, H. Funakubo, and V. Nagarajan, “Ultrafast switching of ferroelastic nanodomains in bilayered ferroelectric thin films”, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 99, 2011, 182906-1-3.
- (8) Takanori Kiguchi, Kenta Aoyagi, Yoshitaka Ehara, Hiroshi Funakubo, Tomoaki Yamada, Noritaka Usami, and Toyohiko 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, 2011, 034413-1-9.
- (9) Kenta Aoyagi, Takanori Kiguchi, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Hiroshi Funakubo, and Toyohiko J Konno, “Diffraction contrast analysis of 90° and 180° ferroelectric domain structures of PbTiO_3 thin films”, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 査読有, 12, 2011, 0344031-6.
- (10) Hiroshi Nakaki, Satoru Utsugi, Takashi Fujisawa, Mitsumasa Nakajima, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Hitoshi Morioka, Toshihiro Ifuku, and Hiroshi Funakubo, “Determination Factors of Strain-relaxed Complex Domain Structure Observed in Thick Epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ Films”, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 査読有, 1199, 2010, 1199-F08-08.
- (11) Takanori Kiguchi, Kenta Aoyagi, Toyohiko J. Konno, Satoru Utsugi, Tomoaki Yamada, and Hiroshi Funakubo, “Geometric Phase Analysis of Nano-Scale Strain Fields Around 90° Domains in $\text{PbTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ Epitaxial Thin Film”, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 査読有, 1199, 2010, 1199-F09-08.
- (12) Satoru Utsugi, Takashi Fujisawa, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Shintaro Yasui, Mohamed-Tahar Chentir, Hitoshi Morioka, Takashi Iijima, and Hiroshi Funakubo, “Orientation control of (001) and (101) in epitaxial tetragonal $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ films with (100)/(001) and (110)/(101) mixture orientations”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, 118[8], 2010, 627-630.
- (13) Mitsumasa Nakajima, Takashi Fujisawa, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Hiroshi Funakubo, Hiroshi Naganuma, Soichiro Okamura, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, and Minoru Osada, “Single crystal-like selection rules for unipolar-axis oriented tetragonal $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ thick epitaxial films”, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 97, 2010, 111901-1-3.
- (14) Satoru Utsugi, Yoshitaka Ehara, Hidenori Tanaka, Tomoaki Yamada, Hiroshi Funakubo, and Hiroshi Uchida, “Growth of polar axis-oriented tetragonal $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ films on CaF_2 substrates with transparent $(\text{La}_{0.07}\text{Sr}_{0.93})\text{SnO}_3$ ”, *J. Crystal Growth*, 査読有, 312, 2010, 3127-3130.
- (15) Mitsumasa Nakajima, Hiroshi Nakaki, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, Minoru Osada, and Hiroshi Funakubo, “In-situ Raman spectroscopy for characterization of the domain contributions to electrical and piezoelectric responses in $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ films”, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 97, 2010, 181907-1-3.
- (16) Ken Nishida, Minoru Osada, Shintaro Yokoyama, Takafumi Kamo, Takashi Fujisawa, Keisuke Saito, Hiroshi Funakubo, Takashi Katoda, and Takashi Yamamoto, “Investigation of Oxygen vacancies in Micro-patterned PZT Thin Films using Raman spectroscopy”, *Key Eng. Mater.*, 査読有, 421-422, 2010, 135-138.
- (17) Satoru Utsugi, Takashi Fujisawa, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Masaaki Matsushima, Hitoshi Morioka, and Hiroshi Funakubo, “Experimental evidence for orientation property of $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ by manipulating polar axis angle using CaF_2 substrate”, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 96, 2010, 1029051-1-3.
- (18) Hiroshi Nakaki, Yong Kwan Kim, Shintaro Yokoyama, Rikyu Ikariyama, Hiroshi Funakubo, Ken Nishida, Keisuke Saito, Hitoshi Morioka, Osami Sakata, Hee Han, and Sunggi Baik, “Strain-relaxed structure in (001)/(100)-oriented epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ films grown on (100) SrTiO_3 substrates by metal organic chemical vapor deposition”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, 105, 2009, 014107-1-5.
- (19) Takashi Yamamoto, Mitsutaka Yamamoto, Ken Nishida, Hiroshi Funakubo, Takashi Iijima, Toru Aiso, and Yasuko Ichikawa,

- “Electric-Field-Induced Transverse Displacement in Pt/Pb(Zr, Ti)O₃ Film/Pt/Si Structure”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 48, 2009, 09KA04-1-4.
- (20) Shintaro Yokoyama, Hiroshi Funakubo, Hitoshi Morioka, Keisuke Saito, Tomoaki Yamada, and Mutsuo Ishikawa, “Composition dependency of epitaxial Pb(Zr, Ti)O₃ films with different film thickness”, Ferroelectrics, 査読有, 389[1], 2009, 10-17.
- [学会発表] (計 23 件)
- (1) 江原祥隆・安井伸太郎・及川貴弘・山田智明・飯島高志・坂田修身・舟窪浩、“分極軸配向エピタキシャル Pb(Zr, Ti)O₃ 膜の強誘電特性”、日本セラミックス協会 2012 年年会(招待講演)、2012 年 3 月 19 日～21 日、京都大学 吉田キャンパス
- (2) 木口賢紀、青柳健大、今野豊彦、江原祥隆、舟窪浩、“PbTiO₃ 薄膜における 90° ドメイン底部境界構造の解明”、第 37 回セラミックスに関する顕微鏡写真展 (日本セラミックス協会 2012 年年会) (招待講演)、2012 年 3 月 19 日～21 日、京都大学 吉田キャンパス
- (3) 青柳健大・木口賢紀・今野豊彦・和田亜由美・江原祥隆・舟窪浩、“MPB 近傍 PZT 圧膜におけるインコメンシュレート相の発見”、第 37 回セラミックスに関する顕微鏡写真展 (日本セラミックス協会 2012 年年会) (招待講演)、2012 年 3 月 19 日～21 日、京都大学 吉田キャンパス
- (4) 青柳健大・木口賢紀・今野豊彦・和田亜由美・江原祥隆・舟窪浩、“MPB 近傍 PZT 薄膜の 90° ドメインと帯電した菱面体晶ドメイン境界”、第 37 回セラミックスに関する顕微鏡写真展 (日本セラミックス協会 2012 年年会) (招待講演)、2012 年 3 月 19 日～21 日、京都大学 吉田キャンパス
- (5) 江原祥隆、安井伸太郎、森岡仁、山田智明、舟窪浩、“CaF₂ 基板上の作製したエピタキシャル Pb(Zr, Ti)O₃ 膜の結晶構造および強誘電特性の Zr/(Zr+Ti) 比依存性”、2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会 (招待講演)、2012 年 3 月 15 日～18 日、早稲田大学 早稲田キャンパス
- (6) Yoshitaka Ehara, Shintaro Yasui, Takahiro Oikawa, Mitsumasa Nakajima, Tomoaki Yamada, and Hiroshi Funakubo, “Crystal Structure and Ferroelectric property of Epitaxial Rhombonal Pb(Zr, Ti)O₃ Films”, Electronic Materials and Applications (EMA)2012(招待講演), January 18-20, 2012, DoubleTree by Hilton Orlando at Sea World, Orlando, FL, USA.
- (7) Hiroshi Funakubo, Mitsumasa Nakajima, Yoshitaka Ehara, Ayumi Wada, Tomoaki Yamada, Nobuyasu Mizutani, Takashi Iijima, Hiroki Taniguchi, Mitsuru Itoh, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, and Minoru Osada, “Proving of the Ferroelectric and Piezoelectric Properties of Pb(Zr, Ti)O₃ Films by Raman Spectroscopy”, 2011 MRS Fall Meeting(招待講演), November 28-December 2, 2011, Hynes Convention Center, Boston, MA, USA
- (8) Ayumi Wada, Yoshitaka Ehara, Shintaro Yasui, Mitsumasa Nakajima, Megu Wada, Soichiro Okamura, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, Takeshi Kobayashi, Hitoshi Morioka, and Hiroshi Funakubo, “Proving of Strain Relaxation by and under Applying Electric Field in Pb(Zr, Ti)O₃ Thick Films”, 15th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics(招待講演), November 6-9, 2011, Shiroyama Kanko Hotel, Kagoshima.
- (9) 青柳健大、木口賢紀、今野豊彦、江原祥隆、舟窪浩、“PbTiO₃ 厚膜における格子欠陥の TEM 解析”、第 31 回エレクトロセラミックス研究討論会(招待講演)、2011 年 10 月 28 日～29 日、東京大学 駒場 II リサーチキャンパス
- (10) 木口賢紀、青柳健大、江原祥隆、舟窪浩、山田智明、宇佐美徳隆、今野豊彦、“PbTiO₃ 薄膜の 90° ドメイン境界の構造とミスフィット転位との弾性相互作用”、第 31 回エレクトロセラミックス研究討論会(招待講演)、2011 年 10 月 28 日～29 日、東京大学 駒場 II リサーチキャンパス
- (11) 青柳健大、兒玉裕美子、木口賢紀、宇佐美徳隆、今野豊彦、江原祥隆、舟窪浩、山田智明、“積層欠陥を含む PbTiO₃ 厚膜の組織解析”、日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム(招待講演)、2011 年 9 月 7 日～9 月 9 日、北海道大学、札幌キャンパス
- (12) 木口賢紀、青柳健大、江原祥隆、舟窪浩、山田智明、宇佐美徳隆、今野豊彦、“ミスフィット転位との弾性相互作用による PbTiO₃ 薄膜 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 24 回秋季シンポジウム(招待講演)、2011 年 9 月 7 日～9 月 9 日、北海道大学、札幌キャンパス
- (13) 江原祥隆、宇津木覚、中島光雅、山田智明、飯島高志、舟窪浩、“菱面体晶 Pb(Zr, Ti)O₃ エピタキシャル膜の結晶構造と強誘電特性”、第 71 回応用物理学学会学術講演会、2010 年 9 月 14 日～17 日、長崎大学 文教キャンパス (長崎市)

- (14) Hiroshi Funakubo, Mitsumasa Nakajima, Satoru Utsugi, Yoshitaka Ehara, Hiroshi Nakaki, Tomoaki Yamada, and Hitoshi Morioka, “Domain Density Control of PZT Thick Films and Their Piezoelectricity Enhancement”, The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (JKC-FE08), August 3-6, 2010, Egret Himeji, Himeji, Japan.
- (15) 江原祥隆、宇津木覚、中島光雅、山田智明、舟窪浩、飯島高志、木口賢紀、今野豊彦、“歪みの少ないエピタキシャル正方晶分極軸配向 Pb(Zr, Ti)O₃ 厚膜を用いたソフトモードによる強誘電性の見積もり”、第 27 回強誘電体応用会議(FMA-27)、2010 年 5 月 26~29 日、コープイン京都(京都市)
- (16) Hiroshi Funakubo, Mitsumasa Nakajima, Hiroshi Nakaki, Tomoaki Yamada and Hitoshi Morioka, “Enhancement of Piezoelectric response in tetragonal Pb(Ti, Zr)O₃ thick films by 90° -domain wall density control”, 2010 U.S. Navy Workshop on Acoustic Transduction Materials and Devices, May 11-13, 2010, The Penn State Conference Center Hotel, State College, Pennsylvania, USA.
- (17) 木口賢紀、青柳健大、今野豊彦、宇津木覚、山田智明、舟窪浩、“PbTiO₃/SrTiO₃ 薄膜における 90° ドメイン構造の歪み場イメージング”、日本セラミックス協会 2010 年年会、2010 年 3 月 22 日、東京農工大
- (18) 木口賢紀、今野豊彦、青柳健大、宇津木覚、山田智明、舟窪浩、“幾何学的位相解析による PbTiO₃ 薄膜 90° ドメインの局所歪み場解析”、2010 年 3 月 19 日、東海大学
- (19) 江原祥隆、宇津木覚、中島光雅、森岡仁、山田智明、舟窪浩、“CaF₂ 基板上の作製した菱面体組成エピタキシャル Pb(Zr, Ti)O₃ 膜の結晶構造および強誘電特性”、2010 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 18 日、東海大学
- (20) 江原祥隆、宇津木覚、中島光雅、山田智明、飯島高志、舟窪浩、“分極軸単一配向した歪みの少ないエピタキシャル正方晶 Pb(Zr, Ti)O₃ 厚膜を用いたソフトモードによる強誘電性の見積もり”、2010 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 17 日、東海大学
- (21) Satoru Utsugi, Takashi Fujisawa, Yoshitaka Ehara, Tomoaki Yamada, Shintaro Yasui, Hitoshi Morioka, Takashi Iijima, and Hiroshi Funakubo, “(001), (101), (111)-Single-oriented Epitaxial Pb(Zr, Ti)O₃ Films Grown on CaF₂

Substrates and their Characterization”, 2009 MRS Fall Meeting, November 30, 2009, Hynes Convention Center and Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, U.S.A.

- (22) Masamichi Nishide, Hiroshige Takeuchi, Ken Nishida, Takashi Yamamoto, Shintaro Yokoyama, Shintaro Yasui, Hiroshi Funakubo, and Takashi Katoda, “Characterization of Tetragonal and Rhombohedral Pb(Zr, Ti)O₃ Phase in MPB Using Raman Spectroscopy -- In-depth profile of Volume Fraction on Epitaxial Pb(Zr, Ti)O₃ Thick Films”, ISIF² 2009, September 29, 2009, Antlers Hilton Colorado Springs, Colorado Springs, CO, USA.
- (23) 江原祥隆、宇津木覚、中島光雅、森岡仁、山田智明、舟窪浩、“CaF₂ 基板上に作製したエピタキシャル Pb(Zr, Ti)O₃ 膜の強誘電特性の組成依存”、2009 年秋季第 70 回応用物理学学会学術講演会、2009 年 9 月 11 日、富山大学

[図書] (計 1 件)

- (1) Chentir Mohamed-Tahar, Hitoshi Morioka, Keisuke Saito, Yoshitaka Ehara, Shintaro Yokoyama Takahiro Oikawa, and Hiroshi Funakubo, INTECH, “Ferroelectrics, Characterization and Modeling”, edited by Mickael Lallert, Chapter 12, “Change of Crystal Structure and Electrical Properties with Zr/(Zr+Ti) Ratio for Epitaxial Pb(Zr, Ti)O₃ films Grown on (100)cSrRuO₃//(100)SrTiO₃ Substrates by Metal Organic Chemical Vapor Deposition”, 2011, 229-244.

[その他]

ホームページ等

<http://f-lab.iem.titech.ac.jp/f-lab.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舟窪 浩 (FUNAKUBO HIROSHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授

研究者番号：90219080

(2) 研究分担者／連携研究者

和田 智志 (WADA SATOSHI)

山梨大学・医学工学総合研究部・教授

研究者番号：60240545