

## 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 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340078

研究課題名（和文）強誘電体における量子効果による巨大物性制御

研究課題名（英文）Huge response of physical properties in ferroelectrics by quantum effects

研究代表者

符 徳勝（DESHENG FU）

静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点 特任准教授

研究者番号：30422546

研究成果の概要（和文）：強誘電体における双極子相互作用に着目して量子効果による巨大な物性発現制御を試みた。量子強誘電体相転移の起こった  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$  に対して調査した結果、量子相転移点に巨大な誘電・圧電応答等が存在することを明らかにした。量子効果が 0K 付近だけではなく、100K の広範な温度範囲にも及ぶことがわかった。それに基づいて開発された  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3(x=0.233)$  はコンデンサー・圧電材料として 0K～370K の広範な温度範囲内に使用できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focus on the effects of quantum fluctuation on the coupling effects of electric dipoles in ferroelectrics. We found that there is a huge response of physical properties such as the dielectric and piezoelectric constants around the quantum phase transition of the  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$  system. We also show that the influences of quantum effects are not limited to merely the temperatures close to 0 K, but can cover a large temperature range of ~100 K. We further show that  $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3(x=0.233)$  having a quantum phase transition has an extremely stable temperature dependence of dielectric and electromechanical responses in a large temperature range of 0 K~370 K, which may be interesting for the applications of the capacitive and piezoelectric devices working for a wide temperature range.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
23年度	2,400,000	720,000	3,120,000
24年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	12,600,000	3,780,000	16,380,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学，物性 I

キーワード：誘電体，圧電体，強誘電体，量子効果

## 1. 研究開始当初の背景

電気双極子の強い相互作用に由来する強誘電体には自発分極と電場，熱，圧力，光などの外場との間で強い相互作用が起こり，優れた誘電効果，焦電効果，圧電効果，電気光学効果，非線形光学効果などの多くの物理現

象が現れる。それらの効果に基づいて作製された積層コンデンサー，人体検知センサー，圧電アクチュエーター，光変調器，強誘電体メモリーなどの素子はエレクトロニクス製品などに幅広く使われている。工業的には  $\text{BaTiO}_3(\text{BTO})$  や  $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3(\text{PZT})$  等の酸化物

が主に利用されている。これらのペロブスカイト酸化物の物性は一般的に温度に強く依存する。コンデンサー材料のBTOの場合は、その誘電率は室温付近に3000を超えた値を示すが、低温ではそれより一桁小さい値を示さない。圧電セラミックス材料PZTも類似した挙動を示す。PZTは室温付近で極めて高い圧電常数をもつ。しかし、低温になると、その値も十分の1までに小さくなる。従って、より広い温度領域で動作できるデバイスを実現するために、BTOやPZTより優れた温度特性を示す新規材料の開発が求められている。

## 2. 研究の目的

BTOやPZT等のペロブスカイト酸化物強誘電体の強誘電性は主に結晶中のイオン変位に由来する。その変位は光学ソフトフォノン（格子振動）の凍結によって生じるものである。一般的にソフトフォノンは温度（熱揺らぎ）に対して非常に敏感である。それはBTOやPZT等のペロブスカイト酸化物強誘電体における誘電率や圧電定数等物性の強い温度依存性の原因であると考えられる。

温度の低下につれ、熱揺らぎは小さくなる。一方、低温領域では量子揺らぎが存在する。量子揺らぎ効果を利用することで新規の強誘電体材料を創出することが十分に考えられる。これは本研究の主要な目的である。

## 3. 研究の方法

上記の目的を実現するために、量子揺らぎ効果が顕著に現れる材料を探索する必要がある。ここで、我々は $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$ 系に注目する。 $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$ 結晶は独特の相図を示している（図1）。Caの置換量で母体BTOにおける電気自発分極の基底状態を制御することが可能となる。それ故に、変位型相転移現象や量子飽和効果等の観察に適する系を提供する。本研究は、 $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$ 結晶を研究対象とし、誘電・圧電・構造・格子ダイナミクス等の観測をし、強誘電体における量子効果による巨大な物性発現機構を解明するとともに新規材料開発の探索を

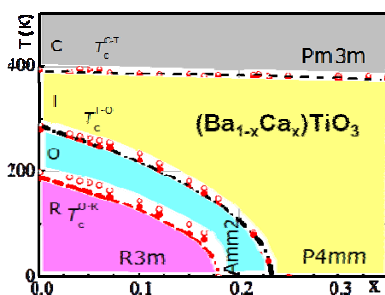


図1.  $(\text{Ba,Ca})\text{TiO}_3$ の相図

行った。

## 4. 研究成果

(1) 量子相転移点における巨大誘電応答：図1に示す相図より、絶対ゼロケルビンにおいて $x=0.18$ と $x=0.233$ の組成に量子強誘電体相転移が起こると予測される。熱での相転移に類似し、化学置換によって誘起された量子相転移も相転移点で物性の異常を示す。図2はその結果を示す。臨界組成 $x_c=0.233$ の結晶が純粋なBTOの20倍以上の大きな値を示すことが確認された。

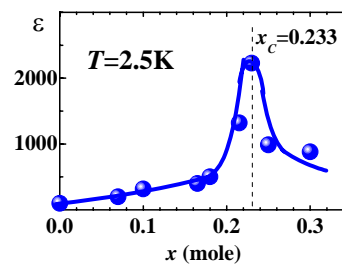


図2.  $T=2.5\text{K}$ における誘電率の組成依存性。

(2) 量子臨界組成 $x_c=0.233$  (BCTO-0.233)結晶における巨大誘電応答の起源：図3に示す様に、BCTO-0.233結晶において、極低温での大きな誘電応答は370Kまでの広範な温度領域内にほぼ維持されている。この温度特性はBTOに比べて非常に対照的であり、応用上にも極めて重要な意味をもつ。分光測定より、この巨大且つ平坦の誘電応答が主にソフトモードに起因することが判明した。図3(b)はこのソフトモードの温度依存性を示す。誘電率とソフトモードはLyddane-Sachs-Teller関係で結ばれているため、両者が同様な温度変化をもつことが予想通りであった。また、ソフトモードは

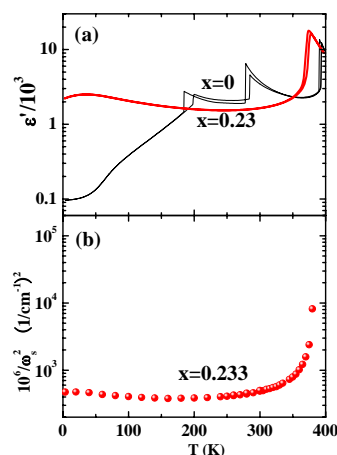


図3. BCTO-0.233の誘電率及びソフトモードの温度依存性。

低温に向かってハード化ではなく、ソフト化挙動を示す。このソフト化が量子揺らぎによるものと考えられる。

(3) 量子飽和温度 $\theta_s$ : 量子効果の効く温度領域を見積もるために、BCTO-0.233 結晶の格子定数の温度変化を測定した (図 4)。図 4(b)は正方晶の格子歪み  $c/a$  を示す。正方晶の格子歪み  $c/a$  が強誘電性的なもので、オーダーパラメーター $Q$  に比例すると見なされている。図 4(b)から、 $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$  系の強誘電体相転移がランダウ理論で解釈できることがわかった。しかし、100K 以下になると、ランダウ理論の予測より逸脱することも判明した。それは量子飽和効果が顕著に現れるからであると考えられる。Saljeらの量子論 ( $Q^2=1-\coth(\theta_s/T)/\coth(\theta_s/T_c)$ , 飽和温度 $\theta_s$  が量子効果の効く温度を表す) を用いて全温度範囲内の格子歪みを記述することが出来た (図 4(c))。飽和温度 $\theta_s$  は 99.8K であった。この値は図 4(a)に示した格子定数の飽和温度はほぼ一致する。

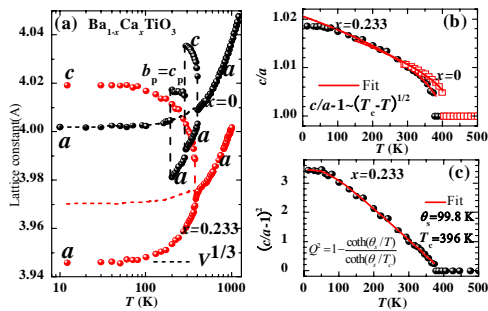


図 4. (a) $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$ ( $x=0,0.233$ )格子定数の温度変化. (b) &(c)正方晶の格子歪み  $c/a$  の温度変化.

(4) 優れた温度特性を有する BCTO セラミックスの開発: コンデンサーや圧電体デバイスは主にセラミックス材料を利用している。そのため、BCTO-0.233 結晶をセラミックス化し、材料特性を明らかにする必要がある。図 5 は開発した BCTO-0.233 セラミックスの誘電率、弾性コンプライアンス、電気機械結合常数、圧電定数等の特性を示す。これらの物性が水の沸点から絶対ゼロケルビン付近までの広範な温度範囲には殆ど変化しない。この材料を用いることによって、極低温環境でも安定に動作するコンデンサー・圧電デバイスが出来る可能性が示され、極低温環境や宇宙開発等への応用が期待される。

以上の物性発現の機構や物質開発は革新的であり、誘電体の研究分野に新たな展開をもたらすことを期待する。

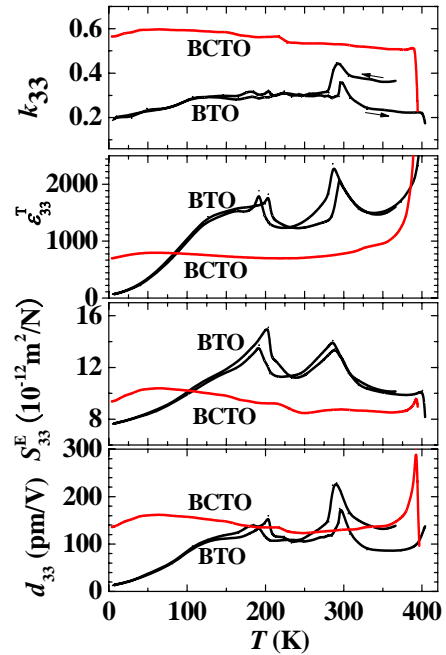


図 5.  $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{TiO}_3$ ( $x=0,0.233$ )セラミックスにおける  $k_{33}, \epsilon_{33}^T, S_{33}^E, d_{33}$  の温度変化.  $d_{33}=k_{33}(\epsilon_{33}^T \cdot S_{33}^E)^{1/2}$ .

## 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 Desheng Fu, Mitsuru Itoh and Shin-ya Koshihara, “Invariant lattice strain and polarization in  $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3$  ferroelectric alloys”, J. Phys.: Condens. Matter. **22**, 052204 (2010). 査読有
- ② Naoki Wakiya, Maya Yamasaki, Tomoyuki Adachi, Akihiro Inukai, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Osamu Sakurai, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Preparation of hydroxyapatite–ferrite composite particles by ultrasonic spray pyrolysis”, Mater. Sci. Eng. B **173**, 195 (2010). 査読有
- ③ Naonori Sakamoto, Haruka Sugiura, Desheng Fu, Naoki Wakiya, and Hisao Suzuki, “Effect of substrate on growth mechanism of flower structured InN fabricated by APHCVD”, Key Engineering Materials **445**, 209-212 (2010). 査読有
- ④ Shigeki Sawamura, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Kazuo Shinozaki, Hisao

- Suzuki, and Naoki Wakiya, "Comparison of thermal stability of epitaxially grown  $(\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})\text{CoO}_3$  and  $(\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4})\text{MnO}_3$  thin films deposited on Si substrate", Key Engineering Materials 445, 160-163 (2010).
- ⑤ Dai Iwasaki, Miho Maruyama, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Naoki Wakiya, and Hisao Suzuki, "Tunable barium strontium titanate thin films by CSD", Key Engineering Materials 445, 156-159 (2010). 査読有
- ⑥ T. Arioka, H. Taniguchi, M. Itoh, K. Oka, Ruiping Wang, and Desheng Fu, "Ferroelectricity in  $\text{NaNbO}_3$ : Revisited", Ferroelectrics 401, 51 (2010). 査読有
- ⑦ Takao Shimizu, Takuro Era, Hiroki Taniguchi, Desheng Fu, Tomoyasu Taniyama, and Mitsuru Itoh, "Phonon dynamics in  $\text{BiFeO}_3$  studied by Raman scattering", Ferroelectrics 403, 187 (2010). 査読有
- ⑧ Omoya Ohno, Kazuhisa Uchida, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Naoki Wakiya, Takeshi Matsuda, and Hisao Suzuki, "Preparation and characterization of alkoxide-derived lead-free piezoelectric barium zirconate titanate thin films with different compositions", Jpn. J. Appl. Phys. 49, 09MA11 (2010). 査読有
- ⑨ Takaharu Miyazakia, Takayuki Imai, Naoki Wakiya, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, and Hisao Suzuki, "Low-temperature crystallization of CSD-derived PZT thin film with laser annealing", Mater. Sci. Eng. B 173, 89-93 (2010). 査読有
- ⑩ Masaomi Nagasaka, Dai Iwasaki, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Naoki Wakiya and Hisao Suzuki, "Microstructure and electrical properties of  $\text{BaTiO}_3$  thin films by modified CSD", J. Ceram. Soc. Jpn 119, 498-501 (2011).
- ⑪ Kohei Fukamachi, Naonori Sakamoto, Tomoya Ohno, Desheng Fu, Naoki Wakiya, Takeshi Matsuda, and Hisao Suzuki, "Effect of stress engineering on the electrical properties of  $\text{BaTiO}_3$  thin film", Jpn J. Appl. Phys. 50, 09NA03 (2011). 査読有
- ⑫ Desheng Fu, Makoto Endo, Hiroki Taniguchi, Tomoyasu Taniyama, Mitsuru Itoh and Shin-ya Koshihara, "Ferroelectricity of Li-doped silver niobate  $(\text{Ag,Li})\text{NbO}_3$ ", J. Phys.: Condens. Matter. 23, 075901 (2011). 査読有
- ⑬ Hiroki Taniguchi, Mitsuru Itoh, and Desheng Fu, "Raman Scattering Study on the Soft Mode in  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ", J. Raman Spectrosc. 42, 706 (2011). 査読有
- ⑭ Desheng Fu, Takahiro Arioka, Hiroki Taniguchi, Tomoyasu Taniyama, and Mitsuru Itoh, "Ferroelectricity and electromechanical coupling in  $(1-x)\text{AgNbO}_3\text{-xNaNbO}_3$  solid solution", App. Phys. Lett. 99, 012904 (2011). 査読有
- ⑮ Akihisa Aimi, Tetsuhiro Katsumata, Daisuke Mori, Desheng Fu, Mitsuru Itoh, Tôru Kyômen, Ko-ichi Hiraki, Toshihiro Takahashi, and Yoshiyuki Inaguma, "High-pressure synthesis and correlation between structure, magnetic and dielectric properties in  $\text{LiNbO}_3$ -type  $\text{MnMO}_3$  ( $\text{M}=\text{Ti}, \text{Sn}$ )", Inorganic Chemistry 50, 6392-98 (2011). 査読有
- ⑯ 符徳勝, 谷口博基, 伊藤満, 森茂生, "リラクサーの謎の解明に向けて—分極, 分光測定と電顕観察より—", 物理学会誌 66(No.4), 270-276 (2011). 査読有
- ⑰ Masatomo Yashima, Shota Matsuyama, Rikiya Sano, Mitsuru Itoh, Kenji Tsuda, and Desheng Fu, "Structure of ferroelectric silver niobate  $\text{AgNbO}_3$ ", Chem. Mater. 23, 1643 (2011). 査読有
- ⑱ Takao Shimizu, Desheng Fu, Hiroki Taniguchi, Tomoyasu Taniyama, and Mitsuru Itoh, "Origin of the dielectric response in  $\text{Ba}_{0.767}\text{Ca}_{0.233}\text{TiO}_3$ ", App. Phys. Lett., 100, 102908 (2012). 査読有
- ⑲ Hiroki Moriwake, Craig A. J. Fisher, Akihide Kuwabara, and Desheng Fu, "A First-Principles Study of the Ferroelectric Phase of  $\text{AgNbO}_3$ ", Jpn J. Appl. Phys. 51, 09LE02 (2012). 査読有
- ⑳ Lizhu Huang, Guorong Li, Desheng Fu, Suzie Sheng, Jiangtao Zeng, and Huarong Zeng, "Large and temperature-independent piezoelectric response in  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-BaTiO}_3$ -

PbTiO<sub>3</sub>”, Appl. Phys. Lett. 101, 192901 (2012). 査読有.

[学会発表] (計 80 件)

- ① 平塚祐也, 中島伸夫, 符徳勝, 圓山裕, X線吸収分光による(Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)TiO<sub>3</sub>の電子状態の研究, 日本物理学会第68回年次大会, 2013/3/26, 広島大学.
- ② 符徳勝, Aサイト設計によるABO<sub>3</sub>型ペロブスカイト構造非鉛圧電体の開発, 平成24年度計算材料科学研究拠点(CMRI) 第二回シンポジウム, 2013/1/21, 東北大学金属材料研究所, 仙台.
- ③ Desheng Fu, Tuning the structures of BaTiO<sub>3</sub>-based systems by Ca off-centering effects, China-Russian Forum on Ferroelectric/Optical Materials and Applications (CRFFORMA-2012), Apr.25, 2012, Shanghai Institute of Ceramics, CAS, Shanghai, China. **(Invited)**
- ④ 符徳勝, 鎌井勇人, 鈴木久男, 伊藤満, 斜方晶と正方晶相境界における圧電性の増強, 日本セラミックス協会第25回秋季シンポジウム, 2012/9/19-21, 名古屋大学, 名古屋市.
- ⑤ 符徳勝, 鎌井勇人, 鈴木久男, 伊藤満, 斜方晶-正方晶相境界による圧電性の増強, 日本物理学会 2012 秋季大会, 2012/9/18-21, 横浜国立大学, 横浜市.
- ⑥ 符徳勝, 伊藤満, 量子相転移を示す(Ba,Ca)TiO<sub>3</sub>の電気機械結合特性の温度変化, 日本物理学会 2012 秋季大会, 2012/9/18-21, 横浜国立大学, 横浜市.
- ⑦ Desheng Fu, Yuto Kamai, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki and Mitsuru Itoh, Phase diagram and piezoelectricity of (Ba,Ca)Zr<sub>0.1</sub>Ti<sub>0.9</sub>O<sub>3</sub> alloys, Joint ISFD-11th-RCBJSF Symposium, August 20-24, 2012, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.
- ⑧ Desheng Fu, Yuto Kamai, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki and Mitsuru Itoh, Effects of Ca-substitution on the phase evolution and piezoelectric properties of (Ba,Ca)(Zr,Ti)O<sub>3</sub> alloys, ISAF-ECAPD-PFM-2012, July 9-13, 2012, University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
- ⑨ Desheng Fu, Yuto Kamai, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki and Mitsuru Itoh, Role of Ca in the modification of polarization state in Ba(Zr,Ti)O<sub>3</sub> systems, The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-6), June 26-28, 2012, Yokohama.
- ⑩ 符徳勝, 鎌井勇人, 坂元尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木久男, 伊藤満, (Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)(Zr<sub>0.1</sub>Ti<sub>0.9</sub>)O<sub>3</sub> 固溶体の圧電性, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012/3/15-18, 早稲田大, 東京.
- ⑪ 符徳勝, 負圧効果による強誘電体相転移の制御, 元素戦略 WG「電子材料の部」実験・計算連携検討会(計算物質科学イニシアティブ (CMSI)「元素戦略」WG), 2011/12/5, 東京大学, 東京.
- ⑫ Desheng Fu, Development of Novel Piezoelectric Materials, Lecture of Shanghai Institute of Ceramics, Dec. 18, 2011, Shanghai Institute of Ceramics, CAS, Shanghai, China.
- ⑬ Desheng Fu, Kouhei Fukamachi, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Mitsuru Itoh, and Takeshi Nishimatsu, Enhancing Ferroelectric T<sub>c</sub> by Frozen Negative Pressure Effect, 3<sup>rd</sup> China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Nov. 13-17, 2011, Xiangtan, China.
- ⑭ 符徳勝, 伊藤満, (Ba,Ca)TiO<sub>3</sub>の格子定数の温度変化, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011/9/21-24, 富山大, 富山.
- ⑮ Desheng Fu, Kouhei Fukamachi, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Mitsuru Itoh, Takeshi Nishimatsu, High-T<sub>c</sub> BaTiO<sub>3</sub> produced by an energetic plasma process, ISAF-PFM-2011, July 24-July 27, 2011, Vancouver, Canada.
- ⑯ T. Koyama, S. Mori, D. Fu, T. Shimizu, H. Taniguchi and M. Itoh, Ferroelectric domain structure in (Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)TiO<sub>3</sub>, ISAF-PFM-2011, July 24-July 27, 2011, Vancouver, Canada.
- ⑰ Desheng Fu, Kouhei Fukamachi, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Mitsuru Itoh, Takeshi Nishimatsu, Tuning the ferroelectric phase transition of BaTiO<sub>3</sub> by negative pressure effects, European Meeting on Ferroelectricity (EMF2011), June 26-July 2, 2011, Bordeaux, France.
- ⑱ Takao Shimizu, Desheng Fu, Hiroki Taniguchi, Tomoyasu Taniyama, and Mitsuru Itoh, Phonon Dynamics in Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> Studied by Raman Scattering, European Meeting on Ferroelectricity (EMF2011), June 26-July 2, 2011, Bordeaux, France.
- ⑲ 符徳勝, 深町浩平, 坂本尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木久男, 伊藤満, 西山毅, 負圧効果による BaTiO<sub>3</sub> の強誘電相転移温度の巨大増加, 日本物理学会第 66

- 回年次大会, 2011/3/25-28,新潟大学,新潟.
- ⑳ 符 徳勝, 深町 浩平, 坂本 尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木 久男, 伊藤 満, 高い  $T_c$  をもつ(Ba,Ca)TiO<sub>3</sub> 膜,日本物理学会第 66 回年次大会, 2011/3/25-28 新潟大学,新潟.
- 21 小山 司, 尾崎 友厚, 森 茂生, 符 徳勝, 清水 荘雄, 谷口 博基, 伊藤 満, (Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)TiO<sub>3</sub> の透過型電子顕微鏡における微細構造評価,日本物理学会第 66 回年次大会, 2011/3/25-28,新潟大学,新潟.
- 22 清水 荘雄, 符 徳勝, 谷口 博基, 谷山智康, 伊藤 満, 強誘電体 Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> における相転移機構,日本物理学会第 66 回年次大会, 2011/3/25-28,新潟大学,新潟.
- 23 T. Shimizu, D. Fu, H. Taniguchi, T. Taniyama, and M. Itoh, "Phonon Dynamics and Phase Transition in Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> Studied by Raman Scattering", 3rd International Congress on Ceramics (ICC3), Nov.14-16, 2010, Osaka, Japan,.
- 24 清水 荘雄, 符 徳勝, 谷口 博基, 谷山智康, 伊藤 満, ラマン散乱による Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> の構造転移の研究, 25aWY-6,日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010/9/23-26, 堺市, 大阪府立大.
- 25 小山 司, 尾崎 友厚, 森 茂生, 符 徳勝, 清水 荘雄, 谷口 博基, 伊藤 満, (Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)TiO<sub>3</sub> の透過型電子顕微鏡における微細構造評価, 24aPS-130,日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 /9/ 23-26, 堺市, 大阪府立大.
- 26 Takao Shimizu, Desheng Fu, Hiroki Taniguchi, Tomoyasu Taniyama, and Mitsuru Itoh, Phonon dynamics in Ba<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> studied by Raman scattering, P2e-10, The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (RCBJSF10), June 20-24, 2010, Yokohama.
- 27 Desheng Fu, Kouhei Fukamachi, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, and Hisao Suzuki, and Mitsuru Itoh, Increase in ferroelectric transition temperature of strained Ba<sub>0.767</sub>Ca<sub>0.233</sub>TiO<sub>3</sub> thin films, P2g-11, The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (RCBJSF10), June 20-24, 2010, Yokohama.
- 28 符 徳勝, 深町浩平, 坂元尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木久男, 腰原伸也, 伊藤 満, (Ba,Ca)TiO<sub>3</sub> の強誘電性における小イオンの off-centering と基板歪の効果, 29-B-15, 第 27 回強誘電体応用会議, 2010 /5/26-29,京都,.
- 29 符徳勝, 谷口博基, 伊藤満, 腰原伸也, 山本直紀, 森茂生, PMN リラクサーにおける多重スケール不均一性, 20pHS-11,日本物理学会第 65 回年次大会, 2010/3/20-23, 岡山大学, 岡山.
- 30 符徳勝, 池田純一, 坂元尚紀, 脇谷尚樹, 鈴木久男, 伊藤満, (Ba<sub>0.767</sub>Ca<sub>0.233</sub>)TiO<sub>3</sub>-SrTiO<sub>3</sub> 固溶体の誘電, 2010 年日本セラミックス協会年会, 2010/3/22-24, 東京農工大学, 東京.
- 31 符 徳勝, A サイト設計による A B O<sub>3</sub> 型ペロブスカイト圧電体の探索, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010/9/23-26, 大阪府立大, 堺市. (招待講演).
- 32 符徳勝, 誘電体結晶における巨大効果一不均一性効果と量子効果を例として一, 2010 年度応用セラミックス研究所所長賞記念講演, 2010/9/22, 東京工業大学, 横浜.
- 33 その他 47 件
- [図書] (計 2 件)
- ① Desheng Fu, Hiroki Taniguchi, Mitsuru Itoh, and Shigeo Mori, "Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> (PMN) Relaxor: Dipole Glass or Nano-Domain Ferroelectric?", Advances in Ferroelectrics, Aimé Peláiz Barranco (Ed.), ISBN: 978-953-51-0885-6, InTech, Rijeka, Croatia, 2012, pp.51-67.
- ② Desheng Fu and Mitsuru Itoh, "Ferroelectricity in Silver Perovskite Oxides", Ferroelectrics-Material Aspects, Mickael Lallart (Ed.), ISBN: 978-953-307-332-3, InTech, Rijeka, Croatia, 2011, pp.413-442.
- [その他]  
ホームページ等  
<http://www.grl.shizuoka.ac.jp/~ddsfu/index.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
符 徳勝 (DESHENG FU )  
静岡大学 若手グローバル研究リーダー  
育成拠点 特任准教授  
研究者番号: 30422546
- (2) 研究分担者 なし
- (3) 連携研究者 なし