

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360296
 研究課題名(和文) オーロラ PLD 法による構造誘起マルチフェロイック薄膜の合成と巨大相互作用発現
 研究課題名(英文) Preparation of structure induced multiferroic thin film by aurora PLD and its giant interaction
 研究代表者
 脇谷 尚樹 (WAKIYA NAOKI)
 静岡大学・工学部・教授
 研究者番号：40251623

研究成果の概要(和文)：強誘電体(BaTiO₃)と強磁性体(CoFe₂O₄またはNiFe₂O₄)を複合化したエピタキシャル成長薄膜を作製し、強誘電性と強磁性の相互作用について検討を行った。複合薄膜の強誘電特性に及ぼす外部磁場の印加効果を調べたところ、磁場印加によって強誘電性が変調されることを見いだした。SrRuO₃/(La,Sr)MnO₃/CeO₂/YSZ/Si 基板上に作製したBaTiO₃-NiFe₂O₄エピタキシャル成長複合薄膜の断面TEM観察結果より、作製した薄膜はともにナノ粒子状のBaTiO₃とNiFe₂O₄がエピタキシャル成長関係を保ちながら分相している、0-0型の複合構造をしていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this work, composite-type multiferroic thin films composed of BaTiO₃ and CoFe₂O₄ or NiFe₂O₄ were prepared, and interaction between ferroelectricity and ferromagnetism was considered. BaTiO₃-CoFe₂O₄ composite film was epitaxially grown on the substrates. The effect of application of external magnetic field on the P-E hysteresis curve measurement, and it was clarified that polarization of ferroelectric thin film can be modified by external magnetic field. By cross sectional TEM observation of BaTiO₃-NiFe₂O₄ epitaxial composite film deposited on the substrate, it was clarified that the film has 0-0 type composite structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：機能性セラミックス薄膜(電子セラミックス)

科研費の分科・細目：無機材料・物性

キーワード：マルチフェロイック、オーロラ PLD、薄膜、強磁性、強誘電性

1. 研究開始当初の背景

強誘電性と強磁性を併せ持つ「マルチフェロイック」という考え方が注目を集めている。

マルチフェロイックには1つの物質が強誘電性と強磁性を併せ持つものと、強誘電体と強磁性体を複合させたものの2種類に分類され

るが、前者では強誘電性のキュリー温度または強磁性のキュリー温度の少なくともどちらか一方が数K程度の極低温領域に存在する。これに対して、強誘電体と強磁性体の複合型の場合にはともに室温より高いキュリー温度を有する物質を複合化することができるため、室温以上で強誘電性と強磁性の相互作用を引き出せる可能性がある。実際、 BaTiO_3 と CoFe_2O_4 の複合薄膜において BaTiO_3 の相転移温度の近傍で磁化率に変曲点が見られることが報告されている (Zheng et al., Science, 303 (2004)661-663)。

しかしながら、強誘電性と強磁性間における相互作用についてはあまり報告例が見られていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は強誘電性と強磁性間における相互作用を明らかにすること、およびその原因を解明することにある。

3. 研究の方法

本研究では真空チャンバー中に電磁石を設置したオーロラ PLD 装置を用いて PLD 法により薄膜を作製した。PLD 成膜には KrF エキシマレーザーを用いた。成膜用の基板としては主に自然酸化膜付きの $\text{Si}(001)$ を用いた。Si 基板は 2-プロパノールで洗浄後使用した。Si 基板上に酸化物薄膜をヘテロエピタキシャル成長させるために YSZ (イットリア安定化ジルコニア) バッファ層を形成し、その上に酸化物電極との格子のミスマッチを低減させるために CeO_2 バッファ層を形成した。酸化物電極としては $(\text{La}, \text{Sr})\text{CoO}_3$ (LSCO) を成膜した。このような LSCO/ CeO_2 /YSZ/Si 基板上に BaTiO_3 - CoFe_2O_4 複合薄膜を作製した。 BaTiO_3 - CoFe_2O_4 複合薄膜は BaTiO_3 と CoFe_2O_4 の混合物の焼結体をターゲットとして用いることにより作製した。また、比較のため、LSCO/ CeO_2 薄膜を形成した YSZ(001)単結晶も基板に用いた。なお、本研究では必要に応じて他の酸化物電極

$(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$ や SrRuO_3 も下部電極として用いた。また、 BaTiO_3 - NiFe_2O_4 薄膜についても同様に PLD 法で作製した。

4. 研究成果

本研究の成果は、①エピタキシャル成長 BaTiO_3 - CoFe_2O_4 複合薄膜の作製と強誘電性と強磁性の相互作用発現および②耐熱性と高電気伝導度を併せ持つ酸化物電極の作製と、この電極上に作製した BaTiO_3 - NiFe_2O_4 薄膜の微構造観察からなる。電性と強磁性の相互作用発現、の 3 つの部分からなる。

①エピタキシャル成長 BaTiO_3 - CoFe_2O_4 複合薄膜の作製と強誘電性と強磁性の相互作用

発現：

作製した BaTiO_3 - CoFe_2O_4 複合薄膜の X 線回折図形を図 1 に示す。

図 1 より、すべての物質について(001)の回折線のみが観測されており、c-軸配向膜であることがわかる。また、面内の配向性を調査するため 4 軸型の X 線回折装置を用いて極点図形観察を行ったところ、LSCO までは Si 基板に対して LSCO(001)[001]// CeO_2 (001)[011]//YSZ(001)[011]//Si(001)[011] の関係でエピタキシャル成長しており、 BaTiO_3 (BT) と CoFe_2O_4 (CFO) は LSCO に対して BT(001)[001]//LSCO(001)[001] および CFO(001)[001]//LSCO(001)[001] の関係でともにエピタキシャル成長していることが明らかになった (図 2)。

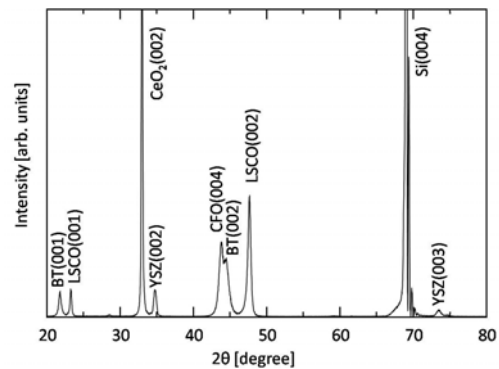


図 1 BaTiO_3 - CoFe_2O_4 /LSCO/ CeO_2 /YSZ/Si(001)薄膜の X 線回折図形

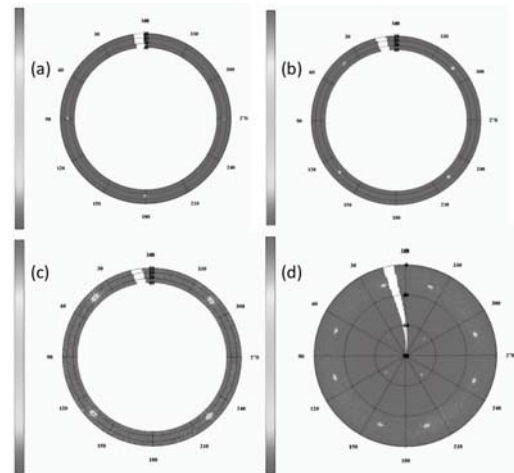


図 2 BaTiO_3 - CoFe_2O_4 /LSCO/ CeO_2 /YSZ/Si(001)薄膜の極点図形。(a)Si(111), (b)LSCO(111), (c)BT(111), (d)CFO(113)

この薄膜の逆格子空間マッピングの結果を図 3 に示す。

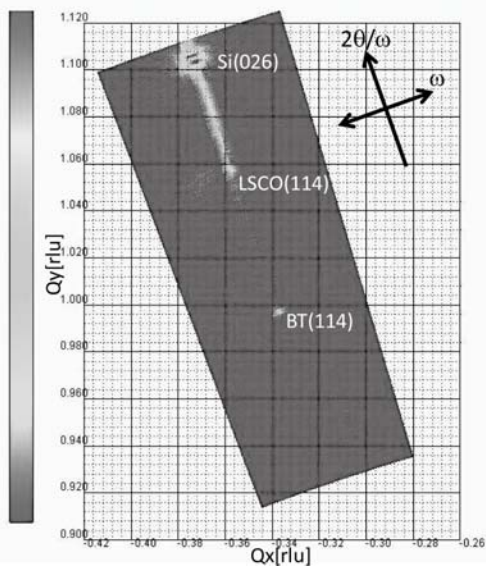


図3 逆格子空間マッピングの測定結果

図3より BaTiO_3 の格子定数を算出したところ、in-plane および out-of-plane の格子定数はそれぞれ 0.4239 および 0.4060nm となった。このことから、 BaTiO_3 薄膜には引っ張り応力が印加されていることがわかった。この薄膜の P-E 特性を横方向から 2000G の磁場を印加した場合と印加しなかった場合で測定した結果を図4に示す。

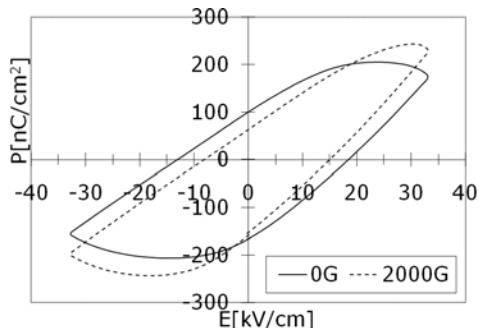


図4 $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4/\text{LSCO}/\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{Si}(001)$ 薄膜の P-E 特性の磁場印加による変化

この図から P-E 測定時に横方向の磁場を印加すると分極が低下することが明らかになった。この結果は磁場の印加によって CoFe_2O_4 に磁歪が発生し、発生した磁歪が BaTiO_3 に印加されたために生じたと考えられた。ここで、図3からわかるように Si 基板上に作製した $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ 薄膜には引っ張り応力が印加されていたが、これは Si の熱膨張係数が 3.9×10^{-6} と小さいためであると考えられた。一方、YSZ は 10.6×10^{-6} という高い熱膨張係数を有しているため、YSZ 単結晶を基板として用いた場合には圧縮応力が印加されると期待された。そこで、YSZ(001)単結晶基板上に CeO_2 および LSCO 酸化物電極層を作製し、

その上に $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ 薄膜を作製した。YSZ 単結晶基板上に作製した薄膜は Si 基板上に作製したものと結晶構造や配向性に違いは見られなかったが、逆格子空間マッピング測定より、 BaTiO_3 の in-plane および out-of-plane の格子定数はそれぞれ 0.4040 および 0.4065nm となった。この結果から確かに YSZ 単結晶基板上に作製した BaTiO_3 薄膜には圧縮応力が印加されていることがわかった。また、この薄膜の P-E 特性を同様に横方向に 2000G の磁場を印加して測定したところ、Si の場合とは逆に分極が増加する現象が観測された。これらの結果より、強誘電体と強磁性体の複合薄膜では磁場の印加によって磁歪が誘起されるが、薄膜には基板との熱膨張係数差に基づく歪みが発生していて、この歪みと磁歪の相互作用によって強誘電特性が変化すると結論ができることが明らかになった。

②耐熱性と高電気伝導度を併せ持つ酸化物電極の作製ならびにこの電極上に作製した $\text{BaTiO}_3\text{-NiFe}_2\text{O}_4$ 薄膜の微構造観察：

①では LSCO を下部電極用の酸化物電極として用いたが、LSCO は熱的安定性が低く、約 800°C 以上では電気伝導性を失う。一方、 BaTiO_3 の結晶性を向上させるためには 800°C 程度の高温が必要である。このため、強誘電体と強磁性体の複合マルチフェロイック薄膜を作製するためには 800°C の熱処理でも電気伝導性を失わない酸化物電極の開発が必要となる。このような電極の候補としては $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ (LSMO) と SrRuO_3 (SRO) があるが、LSMO は $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{Si}$ 基板上にエピタキシャル成長可能であるが、電気伝導度が低い。一方、SRO は電気伝導度は高いが $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{Si}$ 基板上にはエピタキシャル成長ができない ((110)配向膜となる) という特徴を有する。そこで、本研究では $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{Si}$ 基板上に LSMO 薄膜をエピタキシャル成長用のバッファ層として作製し、その上に SrRuO_3 薄膜を作製した SRO/LSMO/ $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{Si}(001)$ 構造の酸化物電極を作製した。図5は LSCO、LSMO および SRO (SRO と表記しているが実際には SRO/LSMO) 薄膜を各温度で熱処理した後の抵抗率の変化を示す。

この図から SRO/LSMO 積層酸化物電極では高い耐熱性と電気伝導度が両立できることがわかる。このようにして熱的に安定性が向上した電極を用いて強誘電体と強磁性体の複合マルチフェロイック薄膜の微構造を透過型電子顕微鏡を用いた断面観察によって調査した。この観察は BaTiO_3 と NiFe_2O_4 の複合薄膜について行った。この複合薄膜も $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ 薄膜と全く同じ配向関係を有していた。

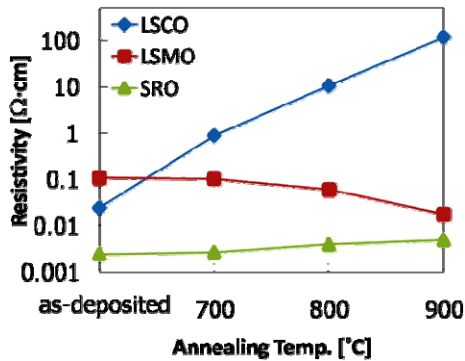


図5 LSCO、LSMOおよびSRO(LSMO)酸化物電極の熱処理後における電気抵抗の変化

図6に BaTiO₃-NiFe₂O₄/SRO/LSMO/CeO₂/YSZ/Si(001)薄膜の断面TEM観察結果を示す。この図から、BaTiO₃とNiFe₂O₄はともに長さ30-50nm程度、幅20nm程度の微粒子状で分散していること、すなわちいわゆる0-0型と呼ばれている複合構造を有していることが明らかになった。大変興味深いのはBaTiO₃とNiFe₂O₄はBT(001)[001]/LSCO(001)[001]およびCFO(001)[001]/LSCO(001)[001]のエピタキシャル関係を維持しながら薄膜中に0-0状態で分散している点である。このような微構造はこれまで報告例がほとんどないため、大変興味深い微構造であることが明らかになった。

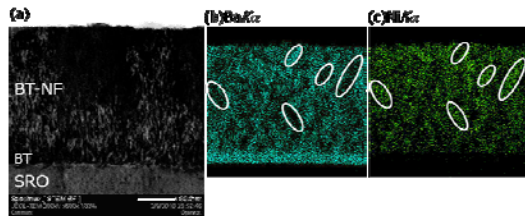


図6 BaTiO₃-NiFe₂O₄/SRO/LSMO/CeO₂/YSZ/Si(001)薄膜の断面TEM観察像。(a)明視野像、(b)BaK_α像、(c)NiK_α像

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)

- ①Shigeki Sawamura, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, Naoki Wakiya, “Comparison of thermal stability of epitaxially grown (La_{0.5}Sr_{0.5})CoO₃ and (La_{0.6}Sr_{0.4})MnO₃ thin films deposited on Si substrate”, Key Engineering Mater., 査読有, 445 (2010) 160-163
- ②Hyun-young Go, Naoki Wakiya, Takanori Kiguchi, Tomohiko Yoshioka, Osamu Sakurai, Jeffrey S. Cross, Junzo Tanaka, Kazuo

Shinozaki, “Ferroelectric Properties of epitaxial BiFe_{0.97}Mn_{0.03}O₃ thin films with different crystal orientations deposited on buffered Si substrate”, Key Engineering Mater., 査読有, 445 (2010) 111-114

③Toshinari Noda, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Kazuki Komaki, “Enhanced electrical properties of ferroelectric thin films with electric field induced domain control”, Mater. Sci. Eng. B, 査読有, (2010) (in press)

④Tomoya Ohno, Barbara Malic, Hiroaki Fukazawa, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Takeshi Matsuda, Marija Kosec, “Stress engineering of the alkoxide derived ferroelectric thin film on Si wafer”, J. Ceram. Soc. Jpn., 査読有, 117 [10] (2009) 1089-1094

⑤Naoki Wakiya, Shigeki Sawamura, Kazuki Tanemura, Manami Sano, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Preparation of MgIn₂O₄ Epitaxial Oxide Electrode with Spinel Structure and Heteroepitaxial Growth of BaTiO₃-NiFe₂O₄ Multiferroic Composite Thin Film”, Jpn. J. Appl. Phys. 査読有, 48 (2009) 09KB06-1-5

⑥Naoki Wakiya, Yusuke Kimura, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Toru Hara, Takashi Ishiguro, Takanori Kiguchi, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Doping effect of Dy on leakage current and oxygen sensing property of SrTiO₃ thin film prepared by PLD”, J. Ceram. Soc. Jpn., 査読有, 117 [9] (2009) 1004-1008

⑦Tomoya Ohno, Barbara Malic, Marija Kosec, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Takeshi Matsuda, “Effect of Back-Etching on Electrical Properties of (111)-oriented PZT thin films”, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 査読有, 34[1] (2009) 113-116

⑧Tomoyuki Adachi, Naoki Wakiya, Naonori Sakamoto, Osamu Sakurai, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Spray Pyrolysis of Fe₃O₄-BaTiO₃ Composite Particles”, J. Am. Ceram. Soc., 査読有, 92 (2009) S177-180

⑨Naoki Wakiya, Akinori Higuchi, Naonori Sakamoto, Nobuyasu Mizutani, Takanori Kiguchi, Hisao Suzuki, Kazuo Shinozaki, “Preparation of Epitaxial Pt Bottom Electrode and Tunability of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Film Deposited on Si Substrate”, Ferroelectrics, 査読有, 370 (2008) 132-139.

⑩Ji-Won Moon, Naoki Wakiya, Takanori Kiguchi, Tomohiko Yoshioka, Junzo Tanaka,

Kazuo Shinozaki, “Role of SrTiO₃ seed layer on low temperature crystallization of Pb(Zr,Ti)O₃ thin films prepared by metallorganic chemical vapor deposition”, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 査読有, 1034E, 10-28 (2008)

⑪ Shigeki Sawamura, Naoki Wakiya, Naonori Sakamoto, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Modification of Ferroelectric Properties of BaTiO₃-CoFe₂O₄ Multiferroic Composite Thin Film by Application of Magnetic Field”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 47, 7603-7606 (2008)

⑫ Tomoya Ohno, Barbara Malic, Hiroaki Fukazawa, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Takeshi Matsuda, Marija Kosec, “Origin of Compressive Residual Stress in Alkoxide Derived PbTiO₃ Thin Film on Si Wafer”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 47, 7514-7518 (2008)

⑬ Kazuo Shinozaki, Shogo Hayashi, Naoki Wakiya, Takanori Kiguchi, Junzo Tanaka, Nobuo Ishizawa, Keisuke Sato, Masao Kondo, Kazuaki Kurihara, “Fabrication and optical properties of Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ thin films on Si substrates using the PLD method”, IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, 査読有, 55[5] (2008) 1023-1028.

⑭ Ji-Won Moon, Naoki Wakiya, Keisuke Fujito, Naohiko Iimori, Takanori Kiguchi, Tomohiko Yoshioka, Junzo Tanaka, Kazuo Shinozaki, “Effect of seed layer deposition time and thickness on low-temperature crystallization and electrical properties of Pb(Zr,Ti)O₃ films by metalorganic chemical vapor deposition”, Materials Science and Engineering B, 査読有, 148, 22-25 (2008)

⑮ Kazuaki Kurihara, Masao Kondo, Keisuke Sato, Masatoshi Ishii, Naoki Wakiya, Kazuo Shinozaki, “Electrooptic Properties of Epitaxial Lead Zirconate Titanate Films on Silicon Substrates”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 46, 6929-6932 (2007)

⑯ Yoshihiro Sakamaki, Hiroaki Fukazawa, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Kazuo Shinozaki, Tomoya Ohno, Marija Kosec, “Effect of Film Thickness on Electrical Properties of Chemical Solution Deposition-Derived Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃/LaNiO₃/Si”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 46, 6925-6928 (2007)

⑰ Shogo Hayashi, Naoki Wakiya, Takanori Kiguchi, Junzo Tanaka, Kazuo Shinozaki, “Fabrication and microstructural change

of PMN-PT thin films on Si substrates by PLD with mask and double-pulse laser excitation”, Key Engineering Materials, 査読有, 350, 111-114 (2007)

⑱ Hyun-young Go, Naoki Wakiya, Hiroshi Funakubo, Keisuke Satoh, Masao Kondo, Jeffrey S. Cross, Kenji Maruyama, Nobuyasu Mizutani, Kazuo Shinozaki, “Effect of Oxygen Annealing on Ferroelectricity of BiFeO₃ Thin Films by Pulsed Laser Deposition”, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 46, 3491-3494 (2007)

⑲ Naoki Wakiya, Toyokazu Nagamune, Ji-Won Moon, Takanori Kiguchi, Nobuyasu Mizutani, Hisao Suzuki, Kazuo Shinozaki, “The effect of SrTiO₃ seed and application of in-situ magnetic field on the preparation of Pb(Zr,Ti)O₃ thin film by pulsed laser deposition”, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 査読有, 32, 99-104 (2007)

⑳ Naoki Wakiya, Keishu Muraoka, Teiko Kadowaki, Takanori Kiguchi, Nobuyasu Mizutani, Hisao Suzuki, Kazuo Shinozaki, “Preparation of ferromagnetic zinc-ferrite thin film by pulsed laser deposition in the magnetic field”, J. Mag. Mater., 査読有, 310, 2546-2548 (2007)

[学会発表] (計 12 件)

① 澤村茂輝, 坂元尚紀, 符徳勝, 篠崎和夫, 鈴木久男, 脇谷尚樹, “種々の酸化物電極の熱安定性と、その上に作製したエピタキシャル成長マルチフェロイック薄膜の電気的磁気的性質”, 第 29 回エレクトロセラミックス研究討論会、2009 年 10 月 24 日 (東京理科大学)

② 脇谷尚樹, 澤村茂輝, 佐野真奈美, 坂元尚紀, 符徳勝, 鈴木久男, 篠崎和夫, “スピネル構造を有する MgIn₂O₄ 電極上への BaTiO₃-NiFe₂O₄ 複合マルチフェロイック薄膜の作製”, 第 33 回日本磁気学会学術講演会、2009 年 9 月 14 日 (長崎大学)

③ 足立朋之, 坂元尚紀, 符徳勝, 櫻井修, 篠崎和夫, 鈴木久男, 脇谷尚樹, “超音波噴霧熱分解法による Fe₃O₄-BaTiO₃ コアシェル型複合微粒子の合成”, 第 33 回日本磁気学会学術講演会、2009 年 9 月 14 日 (長崎大学)

④ 澤村茂輝, 坂元尚紀, 符徳勝, 篠崎和夫, 鈴木久男, 脇谷尚樹, “PLD 法による BaTiO₃-NiFe₂O₄ マルチフェロイック薄膜の作製と磁場が与える電気特性への影響”, 第 70 回応用物理学会学術講演会、2009 年 9 月 10 日 (富山大学)

⑤ 脇谷尚樹, 澤村茂輝, 大串徹, 坂元尚紀, 符徳勝, 鈴木久男, 篠崎和夫, “スピネル構造を有する MgIn₂O₄ 電極上に作製した

BaTiO₃-NiFe₂O₄ 薄膜の電氣的磁氣的性質”、第 26 回強誘電体応用会議、2009 年 5 月 29 日(京都府京都市)

⑥ Naoki Wakiya, Kiyotaka Yamashita, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Effect of in-situ magnetic field for the preparation of ferroelectric thin film by PLD”, IMF-ISAF2009, 2009 年 8 月 25 日(中国、シアン)

⑦ Naoki Wakiya, Naonori Sakamoto, Desheng Fu, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Crystal structure and electrical properties of ferroelectric thin film deposited under magnetic field by pulsed laser deposition”, ICMA T2009, 2009 年 7 月 1 日(シンガポール)

⑧ Shigeki Sawamura, Naoki Wakiya, Naonori Sakamoto, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Modification of BaTiO₃-CoFe₂O₄ multiferroic composite thin film and interaction between ferroelectric and ferromagnetic”, IUMRS-ICA2008、2008 年 12 月 10 日(愛知県名古屋市)

⑨ 澤村茂輝、坂元尚紀、脇谷尚樹、篠崎和夫、鈴木久男、“PLD 法によるエピタキシャル成長マルチフェロイックハイブリッド薄膜の作成と強誘電特性”、第 24 回日本セラミックス協会関東支部研究発表会、2008 年 7 月 24 日(神奈川県箱根町)

⑩ 澤村茂輝、脇谷尚樹、坂元尚紀、篠崎和夫、鈴木久男、“BaTiO₃-CoFe₂O₄ エピタキシャル成長マルチフェロイックハイブリッド薄膜における強誘電特性の磁場依存性”、第 25 回強誘電体応用会議、2008 年 5 月 29 日(京都府京都市)

⑪ Tomoyuki Adachi, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Osamu Sakurai, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, “Preparation of Fe₃O₄-BaTiO₃ hybrid particles by ultrasonic spray pyrolysis”, ICCPS2008, 2008 年 5 月 26 日(愛知県犬山市)

⑫ Naoki Wakiya, “Design and consideration of multiferroic properties in PZT-ferrite system”, 24th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2007 年 11 月 21 日(静岡県掛川市)

[図書] (計 2 件)

① 脇谷尚樹、鈴木久男、篠崎和夫、『セラミックス製造プロセス、応用技術大全集：気相合成法』、技術情報協会、(2007)、49-58 (2007) (分担)

② 脇谷尚樹、鈴木久男、篠崎和夫、『セラミックス製造プロセス、応用技術大全集：スパッタリング法による圧電薄膜の作製と評価』、技術情報協会、(2007)、571-581 (2007) (分

担)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~tnsakam/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

脇谷 尚樹 (WAKIYA NAOKI)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：40251623

(2) 研究分担者

鈴木 久男 (SUZUKI HISAO)

静岡大学・創造科学技術大学院・教授

研究者番号：70154573

(3) 連携研究者

篠崎 和夫 (SHINOZAKI KAZUO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00196388