

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2005～2008

課題番号：17560294

研究課題名（和文） 強誘電体ドメイン制御を利用した新規圧電デバイスおよび材料の創出

研究課題名（英文） New Piezoelectric Devices and Materials Utilized Domain Controlling

研究代表者

小川 敏夫 (OGAWA TOSHIO)

静岡理科大学・理工学部・教授

研究者番号：40247573

研究成果の概要：リラクサ圧電単結晶板において、巨大横効果圧電性(巨大 k_{31})をもつ要因を結晶面と分極温度・分極方向との関係および P-E ヒステリシス曲線・変位特性と印加電界との関係からそれぞれ明らかにした。また、分極電界に対する強誘電体ドメインの振動挙動を有限要素法により解析し、巨大 k_{31} の起源を明らかにした。更に、巨大 k_{31} をもつ単結晶板を使用し、エネルギー変換効率で約 5 倍の高効率を有するバイモルフ素子の開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	1,200,000	0	1,200,000
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,500,000	360,000	3,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子電気材料工学

キーワード：電子電気材料、誘電体物性、先端機能デバイス、セラミックス、圧電単結晶、巨大横効果圧電性、ドメイン制御、DC 分極電界依存

1. 研究開始当初の背景

$\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ (PZNT91/09) リラクサ圧電単結晶は、これまで縦振動モード電気機械結合係数 k_{33} が 90%以上と PZT セラミックスの 70%をはるかに凌ぐことが明らかにされていたが(1982 年)、その横振動モードの k_{31} は 49～62%と PZT セラミックス並みと報告されていた(~2000 年)。この単結晶の強誘電体ドメイン構造を分極電界の制御により、マルチドメインからシングルドメイン化したところ、巨大 k_{31} (>80%) が得られることを世界に先駆けて見出した。この巨大 k_{31} は、板状 PZNT91/09 単結晶サンプル(13^Lx4^Wx0.36^T mm)の厚み(0.36^T mm)方向【分極方向と同方向】の強誘電体ドメインだけでなく、分極電

界方向に垂直な面内(13^Lx4^W mm)のドメインが揃ってはじめて実現できた。

2. 研究の目的

従来の強誘電体セラミックス分野での材料開発は、電子デバイスに要求される誘電・圧電特性をもつセラミック化学組成を見出すことが主流であった。一方、我々の研究室では PZT 圧電セラミックスを中心に強誘電体ドメインの電界に対する挙動を調べてきた。特に、誘電・圧電特性を支配するドメイン反転・回転の分極電界による制御に注目してきた。この方法により、「セラミック組成が同じでも異なったドメイン構造をもつ、ひいては新たな誘電・圧電特性をもち得るドメイン構造制御

セラミックス」の研究開発を行う。

3. 研究の方法

圧電セラミックス・圧電単結晶について、化学組成探索とは違った方向から、強誘電体ドメインの配向分極、即ち、電界による自発分極の配向性に着目し、高圧電性に必要とされる要因を検討する。

具体的には電気機械結合係数 k や圧電歪み (d) 定数は圧電性を付与する分極処理過程での強誘電体ドメインの分極配向プロセスにより決まるので、このプロセスの解析を通してドメインの反転・回転に関する知見を得る。分極配向プロセスの解析手段として、①ある一定の分極処理条件下、例えば、分極温度 40°C 、分極時間 10 分に固定し、DC 分極電界強度 E を $0 \rightarrow +1.0 \rightarrow 0 \rightarrow -1.0 \rightarrow 0 \rightarrow +1.0$ kV/mm と 0.1 kV/mm または 0.2 kV/mm 間隔で変化させ、それぞれの E でその誘電 (比誘電率 ϵ_r /誘電損失 $\tan\delta$)・圧電 (k , d 定数等) 特性を測定し、 $[\epsilon_r, \tan\delta, k, d]$ vs. $[E]$ の関係を明らかにし、強誘電体ドメインの電界による反転・回転の知見を得る「誘電・圧電特性の分極電界依存法」による解明方法を既に我々の研究室で開発しているので、これを非鉛系も含めた圧電セラミックス・圧電単結晶に適用する。更に、測定時の印加電界強度を変えて、分極 vs. 電界 (P - E) ヒステリシスを観測し、その抗電界 $\pm E_c$ と上述のドメイン反転・回転電界強度との関係を明らかにすることにより、ドメイン配向の難易度に関する知見を得て、より高 k , d 定数に繋がる高配向分極を得る方法を見出す。

4. 研究成果

(1) 巨大横効果圧電性、即ち、巨大電気機械結合係数 k_{31} および圧電 d_{31} 定数を利用した圧電デバイス(センサ/アクチュエータ/トランスデューサ)の開発に成功し、これまでの数倍以上の感度をもつセンサや数分の一程度の低電圧で駆動可能な大変位素子の実現が可能となった (平成 17 年度)。

PZNT91/09 単結晶板 ($13^L \times 4.0^W \times 0.36^T$ mm) を用い、種々のプロセス処理を経て、横振動モードで巨大電気機械結合係数 $k_{31} (>80\%)$ を実現した。この巨大 k_{31} を利用して、圧電ユニモルフおよびバイモルフを作製し、従来の PZT 系セラミックス製ユニモルフ・バイモルフとの比較検討を行った。42 ニッケル材質シム板 ($15^L \times 4.0^W \times 0.10^T$ mm) に k_{31} が 86.2% (PZNT91/09 単結晶板) および 37.3% (PZT セラミック板) を貼り付けたユニモルフの屈曲振動の電気機械結合係数 k_b を測

定したところ、それぞれ 64.7%, 20.6% が得られた。更に、PZNT91/09 単結晶板 ($k_{31}=85.6\%$) および PZT 板 ($k_{31}=37.0\%$) をユニモルフに貼り付け、シリーズ型バイモルフを作製した。インピーダンスの周波数応答から求めた k_b は、それぞれ 69.8% (PZNT91/09), 31.2% (PZT) であった。

(2) 強誘電体ドメイン制御リラクサ圧電単結晶の新規物性創出の一貫として、リラクサ圧電単結晶での巨大横効果圧電性について原因究明した (平成 18 年度)。

(100) 面および (110) 面 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMNT68/32, PMNT74/26) 単結晶板 ($13^L \times 4.0^W \times 0.34^T / 0.47^T$ mm) での強誘電特性の DC 分極およびパルス分極電界依存を調べた。 40°C での比誘電率 ϵ_r および k_{31} の DC 分極電界依存では、(100) 面 PMNT91/09 単結晶板の ϵ_r は 300 V/mm でピークをもち、その後減少傾向を示した。一方、(110) 面の ϵ_r は $E=200$ V/mm で急に立ち上がり、その後、一定値をとる。 k_{31} は (100) 面で 66%、(110) 面で 86% 以上の巨大 k_{31} が得られた。これらの傾向はパルス分極電界依存でも確認された。P-E ヒステリシス曲線は、(110) 面でパルス電界強度 $E \geq 800$ V/mm で非対称になり、同時に巨大 k_{31} が得られたが、(100) 面では対称であった。以上の結果より、巨大 k_{31} の実現には結晶面と分極方向との相互関係が重要であることが明らかとなった。

(3) 有限要素法 (FEM) による圧電単結晶内の強誘電体ドメインの解析 (平成 19 年度)。

巨大 k_{31} をもつ (100) 面 PZNT91/09 単結晶板および (110) 面 PMNT74/26 単結晶板のドメイン構造を明らかにするために、FEM を用いて k_{31} , k_{32} および k_t モードのインピーダンス周波数応答解析を行った。解析では、単結晶板の長さ方向および幅方向のポアソン比 α_1^E , α_2^E の値を変化させることで、測定したインピーダンス応答と一致したシミュレーション結果が得られた。また、(100) 面 PZNT91/09 単結晶板において、ポアソン比の異なる振動体の合成周波数応答から、単結晶板のドメイン挙動を明らかにすることができた。

(4) P-E 曲線および変位特性からみたリラクサ圧電単結晶板での巨大 k_{31} (平成 20 年度前半)。

リラクサ圧電単結晶板での巨大 k_{31} および単結晶板での巨大 k_{33} と強誘電体特性および変位特性との関係を明らかにした。(100) 面 PZNT91/09 および (110) 面 $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{TiO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ [PMNT(1-x)/x] ($x=0.251$ - 0.301) 単結晶板 [$13^L \times 4.0^W \times 0.47^T$ (PZNT)/ 0.25^T mm (PMNT)] を温度 40°C 、時間 10 分、

DC 電界強度 1000 V/mm で分極処理を行い、単結晶板振動子を得た。巨大 k_{31} の出現とその P-E 曲線および変位特性との関係から、リラクサ圧電単結晶板で巨大 k_{31} が得られる電界は、P-E 曲線が非対称やトリプルヒステリシスになる電界と一致した。また、変位 vs. 電界特性で変位履歴が起こる電界強度とも一致していた。これらの結果はリラクサ単結晶の本質的な物性である巨大 k_{31}/k_{33} の由来の解明に役立つものと考えられた。

(5)ニオブ酸アルカリ系非鉛圧電セラミックスの圧電特性 (平成 20 年度後半)。

非鉛系組成からなるニオブ酸アルカリ系 $(1-x)(\text{Na,K,Li,Ba})(\text{Nb}_{0.9}\text{Ta}_{0.1})\text{O}_3\text{-xSrZrO}_3$ ($x=0.00\text{-}0.07$)セラミックスの強誘電体ドメイン挙動を明らかにする予備実験として、その基礎圧電特性を明らかにした。各種組成からなる円板(直径 14 mm, 厚さ 0.5 mm)を分極処理(150°C/ 30 分/ $E=4.0$ kV/mm)した時の電気機械結合係数 k_p およびその周波数定数 f_{c_p} (バルク波伝搬速度の 1/2)と SrZrO₃(SZ)置換量との関係を調べた。その結果、高 k_p (48%), 高 d_{33} (307 pC/N)が得られる SZ 量 $x=0.04\text{-}0.06$ において、 f_{c_p} が極小値を示した。 f_{c_p} の減少はヤング率の減少(材料が軟らかくなる)に相当し、分極時に容易に体積変化を起こすことにより、結果として配向性が高まるものと考えられた。

以上のように、リラクサ圧電単結晶 $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ (PZNT91/09)および $\text{Pb}[(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{(1-x)}\text{Ti}_x]\text{O}_3$ (PMNT(1-x)/x; $x=0.251\text{-}0.293$) における新規物性の創出(ドメイン制御による横振動モードでの巨大 k_{31} の発見) [米国・日本・EU 特許取得済み]に伴う ①巨大 k_{31} 発見メカニズムの物性面での究明と共に、②強誘電体ドメイン制御により巨大 k_{31} を利用した新規デバイス(屈曲振動モードで 70%の高変換効率をもつ PZNT91/09 単結晶バイモルフ) [日本・EU 等へ特許出願中]を実現することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者および連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 22 件)

- ① T. Ogawa, Giant Piezoelectric d_{31} Constant in Relaxor Single Crystals -Characterization and Application-, Proc. of the 22nd International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 235-238, 2005. 有
- ② T. Ogawa, Relationship between Crystal Plane and Poling Direction to Realize Giant Electromechanical Coupling Factor of k_{31} Mode

in Relaxor Single Crystals, Proc. of the 12th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 141-144, 2005. 無

③ T. Ogawa, M. Matsushita and Y. Iwasaki, Giant Piezoelectricity on k_{31} Mode in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ Single Crystals, Jpn. J. Appl. Phys., 44, 7028-7031, 2005. 有

④ T. Ogawa, Impedance Response Analysis of Domain Structures in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystal with Giant k_{31} , Transactions of the Materials Research Society of Japan, 30, 83-86, 2005. 有

⑤ T. Ogawa, From Single Crystals to Ceramics on $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Composition, J. European Ceramic Society, 25, 2373-2377, 2005. 有

⑥ T. Ogawa, Giant k_{31} in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Piezoelectric Single Crystals -Characterization and Application-, Proc. of the 3rd Fulrath Memorial International Symposium on Advanced Ceramics, 83-88, 2005. 無

⑦ T. Ogawa, Piezoelectric Bimorph with Giant Electromechanical Coupling Factor of Bending Mode Nearly 70% Fabricated by Low Symmetry Mono-Domain $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystals, Ferroelectrics, 320, 115-123, 2005. 有

⑧ T. Ogawa, M. Sakai and T. Yamada, Low Symmetry Mono-Domain $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystal with Giant Electromechanical Coupling Factor of k_{31} Mode, Proc. of the 14th IEEE International Symposium on Application of Ferroelectrics (ISAF), 193-196, 2005. 無

⑨ T. Ogawa, M. Sakai and T. Yamada, Application of $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystal with Giant k_{31} Mode to Piezoelectric Bimorph, Proc. of the 14th IEEE International Symposium on Application of Ferroelectrics (ISAF), 73-76, 2005. 無

⑩ R. Kato and T. Ogawa, Characterization of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ Single Crystals with Giant Piezoelectricity on k_{31} Mode, Proc. of the 23rd International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 51-54, 2006. 有

⑪ T. Ogawa, Domain Distribution in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single-Crystal Plates, Conference Proc. of the Materials Science and Technology (MS&T) 2006, Materials and Systems, 1, 701-706, 2006. 有

⑫ R. Kato, T. Ogawa, D. Sugiyama and K. Kayukawa, Chemical Composition Dependence of Giant Piezoelectricity on k_{31} Mode in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ Single Crystals, Jpn. J. Appl. Phys., 45, 7418-7421, 2006. 有

⑬ T. Ogawa, Evaluation of Ferroelectric Domain Size by Impedance Response in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystal, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 31,

31-34, 2006. 有

⑭ R. Kato and T. Ogawa, Impedance Response Analysis of Relaxor Single Crystal-Plates with Giant Piezoelectricity on k_{31} Mode, Proc. of the 24th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 525-528, 2007. 有

⑮ T. Ogawa and R. Kato, Giant Piezoelectricity on k_{33} Mode based on Existence of Giant k_{31} Mode in Relaxor Single Crystals, Proc. of the 13th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 93-96, 2007. 無

⑯ R. Kato and T. Ogawa, Frequency Response Analysis by Finite Element Method in Relaxor Single-Crystal Plates with Giant k_{31} , Jpn. J. Appl. Phys., 46, 7058-7062, 2007. 有

⑰ T. Ogawa, Domain Evaluation in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystals by Impedance Response, Ferroelectrics, 348, 13-18, 2007. 有

⑱ T. Ogawa, M. Matsushita and K. Yoshioka, Giant Electromechanical Coupling Factor of k_{31} Mode in $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 and $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 Single Crystals, Ferroelectrics, 339, 3-11, 2007. 有

⑲ T. Ogawa, Relaxor Single Crystals with Giant k_{31} Mode, Advances in Science and Technology, 45, 2412-2421, 2007. 有

⑳ T. Ogawa, Giant Piezoelectricity on k_{31} and k_{33} Modes in Relaxor Single Crystals, Proc. of the 25th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 151-154, 2008. 有

㉑ T. Ogawa and M. Furukawa, Ferroelectric Domain Evaluation in Lead Free Piezoelectric Ceramics by Measuring Poling Field Dependence of Piezoelectric Properties, Proceedings of Electroceramics 11, D2-009-O, 2008. 無

㉒ T. Ogawa, Giant Transverse-Mode Electromechanical Coupling Factor and Piezoelectric Strain in Relaxor Single-Crystal Plates Evaluated Using P-E Hysteresis Loop, Jpn. J. Appl. Phys., 47, 7655-7658, 2008. 有

〔学会発表〕(計 43 件)

① 小川敏夫、鈴木秀幸、高瀬将光、鈴木満、松下三芳： $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 単結晶での強誘電特性の分極電界依存、第 52 回応用物理学関係連合講演会、2005.3.30. 東京

② 小川敏夫、木月博之、山崎佳久、松下三芳：巨大 k_{31} をもつ $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 単結

晶のインピーダンス周波数応答解析、第 52 回応用物理学関係連合講演会、2005.3.30. 東京

③ 小川敏夫、高瀬将光、鈴木満、松下三芳： PZNT91/09 単結晶のシングルドメイン化プロセスでのインピーダンス周波数応答解析、第 52 回応用物理学関係連合講演会、2005.3.30. 東京

④ T. Ogawa: Giant k_{31} in $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Piezoelectric Single Crystals -Characterization and Application-, The 3rd Fulrath Memorial International Symposium on Advanced Ceramics (Invited Lecture), 2005.4.6. 東京

⑤ T. Ogawa: Characterization and Application of $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.91}\text{Ti}_{0.09}]\text{O}_3$ Single Crystals with Giant k_{31} , The 107th Annual Meeting of the American Ceramic Society (Invited Lecture), 2005.4.13. 米国

⑥ 小川敏夫、松下三芳、岩崎洋介： $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 単結晶での巨大横効果圧電性、第 22 回強誘電体応用会議、2005.5.25. 京都

⑦ T. Ogawa: Giant Piezoelectricity on k_{31} Mode in Relaxor Single Crystals -Fundamental and Application-, Electronic Ceramics Department of Jozef Stefan Institute (Invited Lecture), 2005.8.29. スロベニア

⑧ T. Ogawa, M. Matsushita and K. Yoshioka: Giant Electromechanical Coupling Factor of k_{31} mode in $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 and $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 Single Crystals, The 11th International Meeting on Ferroelectricity (IMF-11), 2005.9.7. ブラジル

⑨ T. Ogawa: Relationship between Crystal Plane and Poling Direction to Realize Giant Electromechanical Coupling Factor of k_{31} Mode in Relaxor Single Crystals, The 12th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 2005. 11.7. 米国

⑩ T. Ogawa: Giant Piezoelectric d_{31} Constant in Relaxor Single Crystals -Characterization and Application-, The 22nd International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2005.11.25. 名古屋

⑪ 小川敏夫、鈴木秀幸、高瀬将光、鈴木満： $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 単結晶での巨大横効果圧電性、平成 17 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2005.12.2. 名古屋

⑫ 小川敏夫、木月博之、山崎佳久：巨大 k_{31} をもつ $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 単結晶板の

面内異方性、平成 17 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2005.12.2. 名古屋

⑬加藤楽子、杉山大介、粥川宏作、小川敏夫：Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ 単結晶での横効果圧電性の組成依存、平成 17 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2005.12.2. 名古屋

⑭小川敏夫、高瀬将光、鈴木満：インピーダンスの周波数応答解析による強誘電体ドメインサイズの評価、平成 17 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2005.12.2. 名古屋

⑮小川敏夫：Pb[(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.91}Ti_{0.09}]O₃ 単結晶での強誘電体ドメインサイズのインピーダンス応答による評価、第 16 回日本 MRS 学術シンポジウム、2005.12.10. 東京

⑯T. Ogawa: Piezoelectric Ceramics -From Pore Free to Domain Structure-, The Seminar of the Denmark Research Association on Electronic Materials (Invited Lecture), 2006.2.23. デンマーク

⑰T. Ogawa: Relaxor Single Crystals with Giant k₃₁ -Fundamentals and Applications-, The Seminar of the Institute of Materials for Electronics and Magnetism at Parma, Italy (Invited Lecture), 2006.3.1. イタリア

⑱加藤楽子、小川敏夫、杉山大介、粥川宏作：巨大 k₃₁ をもつ Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ 単結晶の組成依存、第 53 回応用物理学関係連合講演会、2006.3.26. 東京

⑲ T. Ogawa: Domain Evaluation in Pb[(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.91}Ti_{0.09}]O₃ Single Crystals, The 8th Russia/ CIS/ Baltic/ Japan Symposium on Ferroelectricity (RCBJSF-8), 2006.5.17. 筑波

⑳加藤楽子、小川敏夫、杉山大介、粥川宏作：Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ 単結晶での巨大横効果圧電性の組成依存、第 23 回強誘電体応用会議、2006.5.26. 京都

㉑T. Ogawa: Relaxor Single Crystals with Giant k₃₁ Mode, The 11th International Conferences on Modern Materials & Technologies (Invited Lecture), 2006.6.5. イタリア

㉒T. Ogawa and R. Kato: Realization of Giant Piezoelectricity on k₃₁ Mode in Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ Single-Crystal Plates, The 8th European Conference on Applications of Polar Dielectrics (ECAPD-8), 2006.9.5. フランス

㉓ T. Ogawa: Domain Distribution in Pb[(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.91}Ti_{0.09}]O₃ Single-Crystal Plates, Materials Science & Technology

2006 Conference (Invited Lecture), 2006.10.17. 米国

㉔R. Kato and T. Ogawa: Characterization of Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ Single Crystals with Giant Piezoelectricity on k₃₁ Mode, The 23rd International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2006.11.23. 韓国

㉕ T. Ogawa and R. Kato: Giant Piezoelectricity on k₃₁ over 80% in Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ Relaxor Single-Crystal Plates with Single-Domain Structure, The 5th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-5), 2006.12.11. タイ

㉖小川敏夫、加藤楽子：リラクサ単結晶における巨大 k₃₁ と k₃₃ との関係、第 54 回応用物理学関係連合講演会、2007.3.27. 東京

㉗加藤楽子、小川敏夫：巨大 k₃₁ をもつリラクサ単結晶板振動子の有限要素法による周波数応答解析、第 54 回応用物理学関係連合講演会、2007.3.27. 東京

㉘加藤楽子、小川敏夫：巨大 k₃₁ をもつリラクサ単結晶振動子の有限要素法による周波数応答解析、第 24 回強誘電体応用会議、2007.5.25. 京都

㉙ T. Ogawa and R. Kato: Relationships between Giant Piezoelectricity on k₃₁ and k₃₃ Modes in Relaxor Single Crystals, The 10th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society (ECERS-10), 2007.6.20. ドイツ

㉚ T. Ogawa: Giant Piezoelectricity on k₃₁ and k₃₃ Modes in Relaxor Single Crystals, Materials Science & Technology 2007 Conference (Invited Lecture), 2007.9.17. 米国

㉛ T. Ogawa and R. Kato: Giant Piezoelectricity on k₃₁ Mode based on Existence of Giant k₃₁ Mode in Relaxor Single Crystals, The 13th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 2007.11.5. 兵庫

㉜ R. Kato and T. Ogawa: Impedance Response Analysis of Relaxor Single-Crystal Plates with Giant Piezoelectricity on k₃₁ Mode, The 24th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2007.11.20. 静岡

㉝小川敏夫：リラクサ単結晶での巨大横効果圧電性の発現とその応用、平成 19 年度定例会スマート・アクチュエータ/センサ委員会第 69 回公開定例会(招待講演)、2007.11.26. 東京

㉞加藤楽子、小川敏夫：リラクサ圧電単結晶板振動子の有限要素法解析、平成 19 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2007.12.8. 名古屋

㉔小川敏夫、加藤楽子：巨大 k_{31} をもつリラクサ圧電単結晶板の強誘電体および変位特性、平成 19 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2007.12.8. 名古屋

㉕小川敏夫：P-E 曲線および変位特性からみたリラクサ圧電単結晶板での巨大 k_{31} 、第 25 回強誘電体応用会議、2008.5.30. 京都

㉖ T. Ogawa and R. Kato: Mono-Domain Relaxor Single Crystal-Plate with Giant k_{31} Evaluated by FEM Analysis of Impedance Response, 第 9 回日露 CIS バルチック強誘電体シンポジウム(RCBJSF-9), 2008.6.16. リトアニア

㉗ T. Ogawa and R. Kato: FEM Analysis of Impedance Response on Giant k_{31} Mode in Relaxor Single Crystal-Plates, The 9th European Conference on Application of Polar Dielectrics (ECAPD-9), 2008.8.26. イタリア

㉘ T. Ogawa and M. Furukawa: Ferroelectric Domain Evaluation in Lead Free Piezoelectric Ceramics by Measuring Poling Field Dependence of Piezoelectric Properties, Electroceramics 11, 2008.9.2. 英国

㉙ T. Ogawa and M. Furukawa: Ferroelectric Domains in Lead Free Piezoelectric Ceramics, Materials Science & Technology 2008 Conference (Invited Lecture), 2008. 10.7. 米国

㊀ T. Ogawa: Giant Piezoelectricity on k_{31} and k_{33} Modes in Relaxor Single Crystals, The 25th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2008.11.20. 韓国

㊁ T. Ogawa: Case Study of Trouble Shouting R&D of PZT in Murata (Invited Lecture), The 25th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2008.11.20. 韓国

㊂小川敏夫、古川 正仁：ニオブ酸アルカリ系非鉛圧電セラミックスの分極電界依存、平成 20 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2008.12.6. 名古屋

[図書] (計 2 件)

①小川敏夫、強誘電体ドメイン制御セラミックスおよび単結晶の研究開発、The Annual Report of the Murata Science Foundation, 19, 30-37, 2005.

②加藤楽子、小川敏夫、杉山大介、粥川宏作、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ 単結晶での巨大横効果圧電性の組成依存、静岡理科大学紀要、14, 25-30, 2006.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

①圧電デバイス、小川敏夫、小川敏夫、JEF ミネラル(株)、特願2003-433017、平成15年12月26日。

②Piezoelectric Device, T. Ogawa, T. Ogawa and JFE mineral Co. LTD., EPO (GB, DE, FR) No. 04807733.3, July 21, 2006.

○取得状況 (計 5 件)

① Domain Controlled Piezoelectric Single Crystal and Fabrication Method Therefor, T. Ogawa, M. Matsushita and Y. Tachi, T. Ogawa and JFE Mineral Co. LTD., Singapore Patent No.115497, Nov. 30, 2005.

② Domain Controlled Piezoelectric Single Crystal, T. Ogawa, M. Matsushita and Y. Tachi, T. Ogawa and Kawatetsu Mining Co., LTD., European Patent No. EP 1349220B1, Nov. 15, 2006.

③ドメイン制御圧電単結晶素子、小川敏夫、松下三芳、舘義仁、小川敏夫、JFE ミネラル(株)、日本国特許第 3987744 号(特願 2002-83702)、平成 19 年 7 月 20 日。

④ Piezoelektrischer Einkristall mit kontrollierter Domanenstruktur (Domain Controlled Piezoelectric Single Crystal), T. Ogawa, M. Matsushita and Y. Tachi, T. Ogawa and Kawatetsu Mining Co., LTD., Deutsches Patent No. DE 60216039T2, May 24, 2007.

⑤ Domain-Controlled Piezoelectric Single Crystal, T. Ogawa, M. Matsushita and Y. Tachi, T. Ogawa and Kawatetsu Mining Co., LTD., European Patent No. 1655789, Aug. 20, 2008.

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

小川敏夫 (OGAWA TOSHIO)

静岡理科大学・理工学部・教授

研究者番号：40247573

(2)研究分担者

(3)連携研究者