

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760470
 研究課題名(和文)
 ビスマス層状構造強誘電体を用いた非鉛セラミックレゾネータの実用化に関する開発研究
 研究課題名(英文)
 Development and research of lead-free ceramic resonator using bismuth layer-structured ferroelectrics
 研究代表者
 永田 肇 (NAGATA HAJIME)
 東京理科大学・理工学部・電気電子情報工学科・助教)
 研究者番号：70339117

研究成果の概要：

本研究は、セラミックレゾネータ応用に求められる性能を十分に満足する材料を、環境にやさしい非鉛系ビスマス層状構造強誘電体(BLSF)セラミックスを用いて開発しようとするものである。BLSF セラミックスの結晶方位を制御することより、セラミックレゾネータの温度安定性を向上させることが出来た。その結果、レゾネータ応用に求められる基本的な性能を満足する非鉛 BLSF セラミックスを得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	240,000	3,140,000

研究分野：材料工学

科研費の分科・細目：無機材料・物性

キーワード：機能性セラミックス、非鉛圧電セラミックス、セラミックレゾネータ、機械品質係数、共振周波数温度特性、ビスマス層状構造強誘電体

1. 研究開始当初の背景

近年、環境保全に対する意識の高まりを受け、電子部品におけるPb, Hg, Cd, Cr⁶⁺などの有害元素を排除する動きが欧州を中心として活発となり、2006年7月1日から、特定有害物質使用制限指令(RoHS指令)の施行が開始された。現在、実用化されている圧電セラミックスの大部分はPb系(PZT系)強誘電体セラミックスであり、多量の酸化鉛(PbO)を含んでいる。現段階で、圧電セラミックス中に含まれる鉛は、性能面の問題(代替物質が無いこと)からRoHS指令の対象か

ら除外されている(例外規定)。しかし、今後も鉛系圧電セラミックスの使用延長が認められるかどうかは不透明であり、非鉛圧電材料の研究・開発は必要不可欠かつ急務であると考えられる。

PZT系強誘電体セラミックスの圧電的諸特性を全ての面で上回る非鉛圧電材料は見つからないものの、個々の非鉛圧電材料の特長を強調させた圧電材料の開発を推進することで、鉛系で実用化されているアプリケーションを一つ一つ置き替えていくことは可能であると考えられる。表題のビスマス層状構造強誘電体(BLSF)は、

鉛系圧電材料と較べて、電気機械結合係数 k は小さいものの、機械的品質係数 Q_m が大きいことや、共振周波数の温度安定性が優れているなどの特長を有している。

圧電セラミックスを用いた共振器(レゾネータ)は、鉛系圧電セラミックスを用いてすでに実用化されている。市場では比較的高価だが共振周波数精度の極めて高い水晶発振器だけでなく、テレビのリモコンなどに使用されている簡単で安価なセラミック発振器が要求されている。セラミックレゾネータ応用において、圧電素子はコルピッツ発振回路などのインダクタンス(L)成分として利用されるため、大きな電気機械結合係数や圧電定数よりも、機械的・電気的品質係数などの性能が重要視される。上述の BLSF セラミックスの特長を活かすことで、これらの性能をクリアできる可能性は高いと考えられる。前出の RoHS 指令は、4 年に一度の見直しがあり、圧電デバイス応用の中でも共振子への応用は例外規定からはずされる可能性が高いと指摘されている。このような状況に鑑み、非鉛セラミックレゾネータの実用化に向けた検討は、必要かつ急務であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、レゾネータ応用に求められる性能を十分に満足するセラミックレゾネータ材料を、非鉛系 BLSF セラミックスを用いて開発しようとするものである。レゾネータの発振安定性や高い共振周波数精度、さらには温度安定性を実現するための具体的な目標としては、以下に示した点が挙げられる。

- A. 大きな機械品質係数 Q_m (>2000)
- B. 大きな電気的品質係数 Q_{emax} (>30)
 $(Q_{\text{emax}} = \tan \theta_{\text{max}}, \theta_{\text{max}} :$
 インダクタンス領域の位相 θ の最大値)
- C. 小さな共振周波数温度係数 $TC-f$
 $(\leq \pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C})$

これらの目標に対し、様々なBLSFセラミックスを作製し、BLSF特有の結晶構造や欠陥構造に起因する特性変化(Q_m や $TC-f$ への影響)を明らかにする。例えば、高 Q_m 化、高 Q_e 化に対しては、Vなどの添加物効果を検討し、低 $TC-f$ に対しては、結晶方位制御を検討する。これにより得られた新たな材料設計の指針を基に、実用化に耐える非鉛BLSF系セラミックスを作製する。

3. 研究の方法

本実験で作製したBLSFセラミックスは、Fig.1に示したSr-Bi-Nb-Ti-O系であり、一般式で示すと $(\text{Sr}_{m-3+x}, \text{Bi}_{4-x})(\text{Ti}_{m-x}, \text{Nb}_x)\text{O}_{3m+3}$ である。ここで m はBLSF中に含まれる酸素八面体数である。 $m=2$ の右のエンドメンバーは $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBN)で、 $m=3$ の左のエンドメンバーは $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BIT)である。本報告では、SBNにVを添加した $\text{SrBi}_2\text{Nb}_{1.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_9$ (SBNV-0.05)について示す。

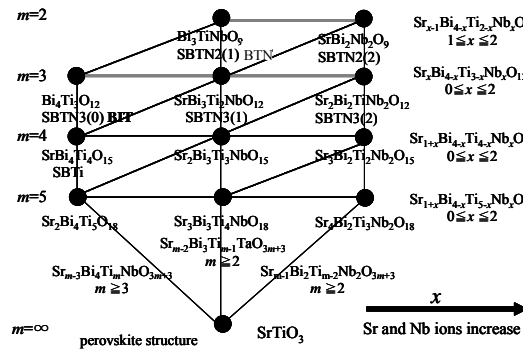


Fig. 1 Phase relation for Sr-Bi-Nb-Ti-O based system BLSF system ($m=2-5$).

普通焼成試料(Ordinary firing: OF)は通常の固相反応法により作製した。出発原料は Bi_2O_3 , SrCO_3 , Nb_2O_5 , V_2O_5 の純度 99.9 %以上の原料を使用した。これらの原料をボールミルにより混合し、 $800-850^\circ\text{C}$ で2時間仮焼成をした。その後、粉碎し冷間等方加圧法(CIP)を用いて150 MPaの圧力を5分間加えた後、 $950-1150^\circ\text{C}$ で2時間の本焼成を行った。

粒子配向試料の作製はHot-Forging (HF)法[3]を用いて6時間の本焼成を行い、焼成中に4時間の加圧を行った(最大加圧 50 kg/cm^2)。HF法とは試料焼成中に一軸性の圧力を加えて圧縮成形させるホット・ワーキング法の一つである。BLSFにHF法を適用すると、BLSFの c 面のすべりが起こり、最終的には圧力を加えた方向に c 軸が揃った粒子配向型セラミックスが得られる。

得られた試料は、X線回折により酸素八面体の数を表す層数 $m=2$ のビスマス層状構造単一相であることを確認し格子定数を決定した。電気的諸特性測定には相対密度が95%以上の試料を使用し、抵抗率、誘電温度特性、圧電特性などの電気的諸特性の評価を通常の測定方法で行った。強誘電体セラミックスに圧電性を付与するための分極処理は、印加電界 $E_p=5-10 \text{ kV/mm}$ 、温度 $T_p=150-200^\circ\text{C}$ および時間 $t_p=5-10 \text{ min}$ の条件で行った。圧電特性はEMAS標準規格に基づき、インピーダンスアナライザ(HP4294A)を用いて、共振—反共振法で測定した。電気的品質係数 Q_{emax} は、共振周波数 f_r と反共振周波数 f_a の間、すなわちインダクタンス領域における最大位相角 θ_{max} の正接(tangent)をとることにより求めた。共振および反共振周波数 f の温度特性は、恒温槽(TABAI-ESPEC SU-240)で温度制御を行い、温度範囲は $-25 \sim 125^\circ\text{C}$ で測定した。温度係数($TC-f$)は以下の式(1)を用いて算出した。

$$TC - f = \frac{f_{r[125^\circ\text{C}]} - f_{r[-25^\circ\text{C}]}}{f_{r[20^\circ\text{C}]} \times T} \quad (1)$$

f []はそれぞれの温度での共振あるいは反共振周波数、 T は温度変化幅(150°C)を示す。

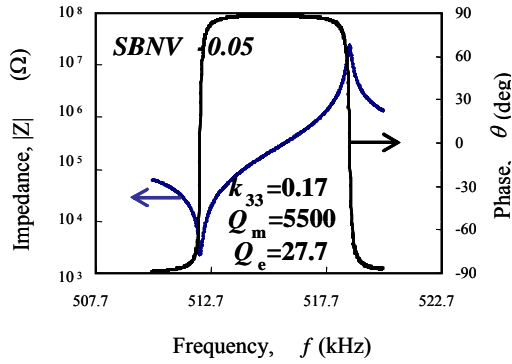


Fig. 2 Frequency characteristics of impedance, Z, of OF SBNV-0.05 ceramic.

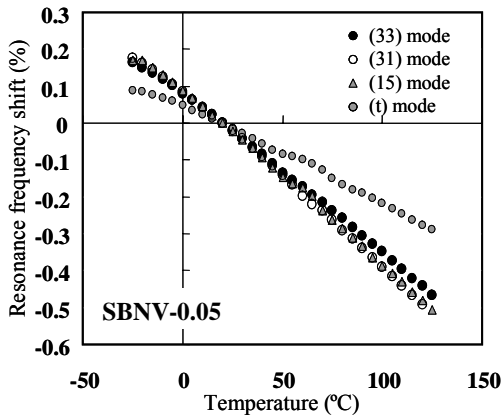


Fig. 3 Temperature dependences of the resonant frequency shift in some vibration (31), (31), (15) and (t) modes for OF SBNV-0.05 ceramic.

Table 1 Q_m , Q_{emax} and $|TC-f_r|$ of some vibration modes for OF SBNV-0.05 ceramic.

mode	Q_m	Q_{emax}	$ TC-f_r $ (ppm/°C)
33	5500	27.7	42.1
31	7100	2.90	46.0
15	5700	15.3	67.0

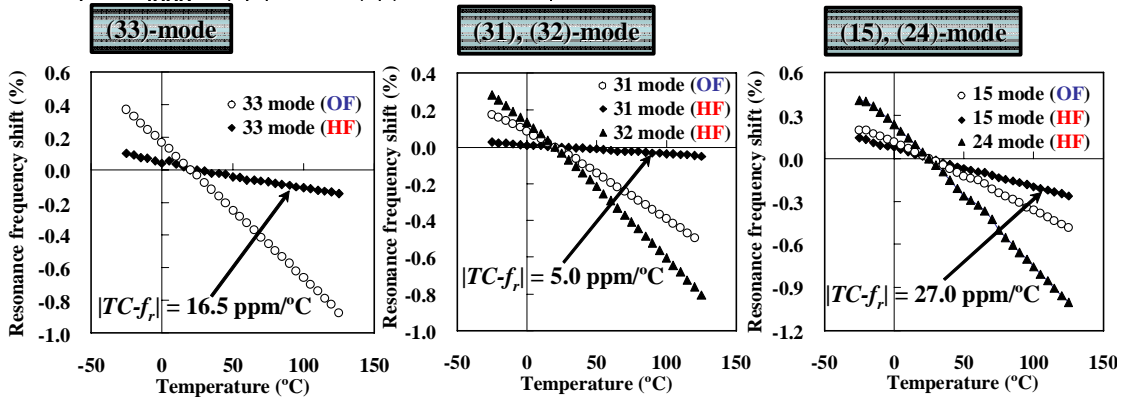


Fig. 5 Temperature dependences of the resonant frequency shift in each vibration mode for OF and HF SBNV-0.05 ceramic.

4-1. 普通焼成試料(OF)の圧電諸特性

950°Cで焼成したSBNVセラミックスは、X線回折測定より $m=2$ のBLSF単一相であることを確認した。X線回折結果から求めた理論密度 ρ_s と実測密度 ρ_0 から、得られた試料の相対密度 ρ_0/ρ_s は97%であった。また、室温付近の抵抗率 ρ は、 $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上を示し、良好な絶縁性を持つことがわかった。

Fig. 2に、SBNVの(33)モードにおけるインピーダンス共振周波数特性を示す。十分に位相が反転した良好な共振一反共振波形を示していることがわかる。このとき、電気機械結合係数は $k_{33}=0.17$ 、 Q_m および Q_{emax} はそれぞれ5500、28となり、それぞれは圧電セラミックレゾネータとして応用するのに十分大きな値を示した。このような良好な共振一反共振波形が得られた原因としてVイオンの添加が挙げられる。V添加により焼成温度を低下することが出来たため、Biイオンの揮発に伴う酸素空孔が減少し、ドメイン反転を容易にしたものと考えられる。本研究で実施した他のBLSFセラミックス(Fig. 1)においてもV添加に良好なより同様な傾向を示すことが明らかとなった。

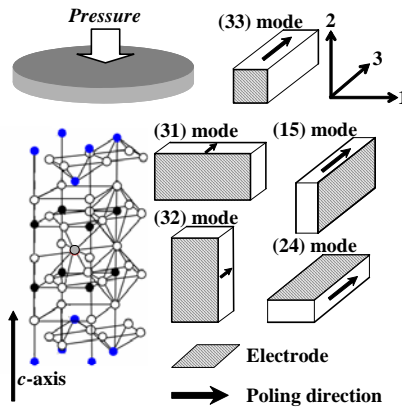


Fig. 4 Crystal structure of SBNV and specimens for each vibration mode.

の温度に対する周波数シフトを示す。全ての振動モードにおいて、温度の上昇とともに f_r は直線的に減少しており、1次の温度依存性を持つことがわかる。これらの傾きから求めた $|TC-f|$ は、(33)および(t)モードにおいて 42.1 および 25.2 ppm/°Cと良好な値を示した。これらの各振動モードにおける $|TC-f|$ と、 Q_m および Q_e をTable 1にまとめた。いずれの振動モードにおいても、大きな Q_m を示し、比較的小さい $|TC-f|$ を持つことが分かった。しかし、 $TC-f$ に対する厳しい要求を満たすには更なる改善が必要である。

4-2. 粒子配向試料(HF)の圧電諸特性

HF法により作製した配向試料のX線回折パターンより、Lotgering法を用いて計算した配向度 F は、ほぼ100%であった。

Fig. 4にSBNの結晶構造とHF試料における各振動モードの形状の関係を示す。OF試料の(31)および(15)モードは粒子配向することで(31)と(32)および(15)と(24)モードにそれぞれ区別される。Table 2に各振動モードにおける圧電特性を示す。HFを施した試料では、特に、(33)および(15)モードにおいて、 $k_{33}=0.31$ および $k_{15}=0.16$ と、普通焼成(OF)のものと比較して1.5~2倍程度大きな値を示した。 Q_{emax} はそれぞれ66((33)モード)、22((15)モード)であり、それぞれのOF試料の28、15と比べて大幅に改善した。 Q_m はそれぞれ2200((33)モード)、4600((15)モード)であり、それぞれのOF試料の5500、5700と比べて低下したものの、レゾネータ用材料として応用するには十分な値を示した。これらは、粒子配向によりドメインが反転しやすくなったことが要因と考えられる。

Fig. 5に、各振動モードにおける共振周波数の温度特性を示す。HF試料では、(33)、(31)および(15)モードの $|TC-f|$ が、それぞれ、16.5、5.0および27.0 ppm/°Cとなり、OF試料の42.1、46.0および67.8 ppm/°Cと比べて大幅に改善することがわかった。

ここで、粒子配向による $|TC-f|$ 値の変化について考察する。例えば、(31)モードの共振周波数 f は(2)式で示される。

$$f = \frac{1}{2x} \sqrt{\frac{1}{\rho \times s_{11}^E}} \quad (2)$$

振動長 x 、密度 ρ は-25~125°Cの範囲ではほとんど変化しないことが確認されており、 f の温度変化($|TC-f|$)は、主として弾性定数 s_{11}^E の温度特性に大きく依存すると考えられる。同様に、(33)、(32)、(15)および(24)モードの $|TC-f|$ は、それぞれ s_{33}^E 、 s_{22}^E 、 s_{55}^E および s_{44}^E に依存すると考えられる。Table 2に各振動モードにおける $|TC-f|$ および s^E を示す。 s^E の小さい振動モードにおいて $|TC-f|$ が小さくなることがわかった。 $|TC-f|$ が大きくなった

(32)および(24)モードは Bi_2O_2 層を介した振動モードである。 Bi_2O_2 層のBiイオンと酸素八面体のOイオンの結合性は他のイオン同士の結合性よりも弱いことが報告されている。そのため、(32)および(24)モードでは弾性定数 s が大きくなり、 $|TC-f|$ が大きくなるのが推測できる。一方、HFを施した(33)、(31)および(15)モードは結晶構造に対して ab 軸方向の振動であり、OF試料の(33)、(31)および(15)モードよりも Bi_2O_2 層の影響が少ないため、 s が小さくなり、 $|TC-f|$ が改善されると推測できる。さらに、(33)モードの配向度 F に対する s_{33}^E および $|TC-f|$ の関係を調べると、 F が大きくなるにつれて、すなわち、振動方向に ab 軸成分が増加するにつれて、 s_{33}^E が小さくなり、 $|TC-f|$ は改善される。これらのことから、結晶構造の異方性が大きいBLSFは共振周波数の温度特性が結晶構造の異方性と深く関係していることが示唆された。

共振周波数温度特性に対して結晶構造異方性が強く寄与する傾向は、SBNVセラミックスのみならず、本研究で実施した他のBLSFセラミックス(Fig. 1)においても同様な傾向を示すことが明らかとなった。すなわち、弾性コンプライアンス定数 s が小さくなる振動モードにおいて、小さな $TC-f$ が得られることが明らかとなった。

Table 2 Piezoelectric properties of each vibration mode for OF and HF SBNV-0.05 ceramic.

mode	k (%)	Q_m	Q_e
33(OF)	0.17	5500	27.7
33(HF)	0.31	2200	66.0
31(OF)	0.04	7100	2.9
31(HF)	0.01	-	-
32(HF)	0.05	9300	5.7
15(OF)	0.11	5700	15.3
15(HF)	0.16	4600	21.6
24(HF)	0.10	7200	14.7

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 永田肇、晝間裕二、鈴木宗泰、竹中正「高い機械的品質係数を持つビスマス層状構造強誘電体セラミックス」電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) 127-C No. 8 (2007) pp. 1141-1146 (査読有)。
- ② Hajime Nagata, Kenji Matsumoto, Tadayuki Hirotsue, Yuji Hiruma, and Tadashi Takenaka, "Fabrication and Electrical Properties of Potassium Niobate Ferroelectric Ceramics",

- Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 46, No. 10B (2007) pp. 7084-7088 (査読有).
- ③ T. Takenaka, H. Nagata, Y. Hiruma, Y. Yoshii and K. Matsumoto, "Lead-free piezoelectric ceramics based on perovskite structures", *Journal of Electroceramics*, Vol. 19, (2007) pp. 259-265 (査読有).
 - ④ M. Suzuki, S. Inai, T. Tokutsu, H. Nagata and T. Takenaka, "Ferroelectric property of $\text{Bi}_3\text{TiTaO}_9$ based ceramics with Nd substitution", *Ferroelectrics*, 356 (2007) pp. 62-66 (査読有).
 - ⑤ K. Yoshii, Y. Hiruma, M. Suzuki, H. Nagata and T. Takenaka, "The piezoelectric properties of La_2O_3 doped $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ ceramics", *Ferroelectrics*, 358 (2007) pp. 134-138 (査読有).
 - ⑥ S. Inai, J. Sato, R. Aoyagi, Y. Hiruma, M. Suzuki, H. Nagata and T. Takenaka, "Piezoelectric Properties of V and Ba Substituted $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ Ceramics", *Ferroelectrics*, 358 (2007) pp. 148-152 (査読有).
 - ⑦ K. Matsumoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka, "Piezoelectric Properties of KNbO_3 Ceramics prepared by Ordinary Sintering", *Ferroelectrics*, 358 (2007) pp. 169-174 (査読有).
 - ⑧ Yuji Hiruma, Hajime Nagata and Tadashi Takenaka, "Phase Transition Temperatures and Piezoelectric Properties of $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{Bi}_{1/2}\text{Li}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ ", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 54, No. 12 (2007) pp. 2393-2499 (査読有).
 - ⑨ Y. Hiruma, Y. Imai, Y. Watanabe, H. Nagata and T. Takenaka, "Large electrostrain near the phase transition temperature of $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - SrTiO_3 ferroelectric ceramics", *Applied Physics Letters*, Vol. 92, (2008) pp. 262904-1~3 (査読有).
 - ⑩ H. Nagata, S. Matsuzawa, T. Tokutsu, S. Inai, M. Suzuki, Y. Hiruma and T. Takenaka, "Temperature dependence of piezoelectric properties on Nd and V co-substituted $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Ceramics for Ceramic Resonator Applications", *Ceramic International* Volume 35, Issue 1, January (2009), pp. 163-167 (査読有).
 - ⑪ Shinya Inai, Yuji Hiruma, Muneyasu Suzuki, Hajime Nagata and Tadashi Takenaka, "Temperature Dependences of Piezoelectric Properties of $(\text{Sr}, \text{Me})\text{Bi}_2(\text{Nb}, \text{V})_2\text{O}_9$ (Me=Ba, Ca, $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}$) Ceramics", *Ceramic International*, Vol. 34, 4 (2008) pp. 741-744 (査読有).
 - ⑫ K. Matsumoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka, "Electric-field-induced Strain in Mn-doped KNbO_3 Ferroelectric Ceramics", *Ceramic International*, Vol. 34, 4 (2008) pp. 787-791(査読有).
 - ⑬ H. NAGATA, T. TOKUTSU, D. NAKAI, Y. HIRUMA, and T. TAKENAKA, "High Temperature Piezoelectric Properties of Vanadium doped $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Ceramics with Grain Orientation", *Ferroelectrics*, Volume 368, Issue 1, 2008, pp. 202 – 208 (査読有).
 - ⑭ Hajime Nagata, "Electrical properties and tracer diffusion of oxygen in some Bi-based lead-free piezoelectric ceramics", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 116[2] (2008) pp. 271-277 (査読有).
 - ⑮ Tadashi Takenaka, Hajime Nagata, and Yuji Hiruma, "Current Developments and Prospective of Lead-Free Piezoelectric Ceramics", *Japanese Journal of Applied Physics*, 47 (2008) pp. 3787-3801 (査読有).
 - ⑯ Masahiro Nemoto, Yuji Hiruma, Hajime Nagata, and Tadashi Takenaka, "Fabrication and Piezoelectric Properties of Grain-Oriented $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ - BaTiO_3 Ceramics", *Japanese Journal of Applied Physics*, 47 (2008) pp. 3829-3832 (査読有).
 - ⑰ Yuji Hiruma, Hajime Nagata, and Tadashi Takenaka, "Phase diagrams and electrical properties of $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ -based solid solutions", *Journal of Applied Physics*, (2008) 104 124106 (査読有).
 - ⑱ Yuji Hiruma, Kazushige Yoshii, Hajime Nagata, and Tadashi Takenaka, "Phase transition temperature and electrical properties of $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - $(\text{Bi}_{1/2}\text{A}_{1/2})\text{TiO}_3$ (A=Li and K) lead-free ferroelectric ceramics", *Journal of Applied Physics*, (2008) 103 084121 (査読有).
 - ⑲ Yuji Hiruma, Hajime Nagata, and Tadashi Takenaka, "Thermal depoling process and piezoelectric properties of bismuth sodium titanate ceramics", *Journal of Applied Physics*, (2009) 105 084112 (査読有).
 - ⑳ Hajime Nagata, Tadayuki Hirose, Kouhei Hikita, Yuji Hiruma, and Tadashi Takenaka, "Evaluation of Piezoelectric Properties for KNbO_3 -Based Ceramics", *Ferroelectrics*, 381:1-5, (2009) (査読有).
- [学会発表] (計 19 件)
- ① 永田 肇、稲井慎也、中井大祐、得津統司、晝間裕二、竹中 正 :「粒子配向したピスマス層状構造強誘電体セラミックスの圧電温度特性」第 36 回 EMシンポジウム、2007 年 5 月 17 日、東京
 - ② 永田 肇、松本研司、広末忠之、花神大樹、晝間裕二、竹中 正 :「 KNbO_3 系強誘電体

- セラミックスの作製プロセスと電気的諸特性」第 24 回強誘電体応用会議、2007 年 5 月 23 日、京都
- ③ H. Nagata, T. Tokutsu, D. Nakai, Y. Hiruma and T. Takenaka : "High Temperature Piezoelectric Properties of some Bismuth Layer-structured Ferroelectrics", *The 11th European Meeting on Ferroelectricity*, Sep 5, 2007, Bled, Slovenia.
- ④ 永田 肇、広末忠之、松本研司、晝間裕二、竹中 正:「KNbO₃系セラミックスにおける圧電諸特性の経時変化」日本セラミックス協会 第 20 回秋季シンポジウム、2007 年 9 月 12 日、名古屋
- ⑤ 渡辺芳則、晝間裕二、永田 肇、竹中正「(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃-BiAlO₃系セラミックスの作製と電気的諸特性」第 27 回エレクトロセラミックス研究討論会、2007 年 10 月 19 日、東京.
- ⑥ M. Nemoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka :「Fabrication and Piezoelectric Properties of Grain Oriented (Bi_{1/2}K_{1/2})TiO₃-BaTiO₃ Ceramics」第 28 回 超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム、2007 年 11 月 15 日、つくば
- ⑦ H. Nagata, T. Hirose, Y. Hiruma and T. Takenaka : "Piezoelectric Properties of Potassium Niobate Based Ferroelectric Ceramics", *Second Japan-Taiwan Workshop on Future Frequency Control Devices*, Dec 5, 2007, Taipei, Taiwan.
- ⑧ 永田 肇、晝間裕二、竹中 正:「ピスマス系無鉛圧電セラミックスの電気的特性と酸素同位体拡散」日本セラミックス協会 2008 年年会、2008 年 3 月 22 日
- ⑨ 今井能孝、渡辺芳則、晝間裕二、永田 肇、竹中 正「(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃-SrTiO₃系非鉛強誘電体セラミックスの相転移温度と巨大電界誘起歪み」第 55 回応用物理学関係連合講演会(2008 年春季)、2008 年 3 月 27 日、千葉.
- ⑩ 渡部朋真、晝間裕二、永田 肇、竹中 正:「(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃系強誘電体セラミックスの大振幅振動時におけるハイパワー特性」第 55 回応用物理学関係連合講演会、2008 年 3 月 27 日、千葉.
- ⑪ 永田 肇、田端総一郎、広末忠之、晝間裕二、竹中 正:「KNbO₃系セラミックスの圧電経時変化特性」第 37 回 EMシンポジウム、2008 年 5 月 8 日、東京
- ⑫ 晝間裕二、渡部朋真、永田 肇、竹中 正:「(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃系非鉛強誘電体セラミックスのハイパワー特性」第 25 回 強誘電体応用会議、2008 年 5 月 28 日、京都
- ⑬ M. Nemoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka : "Fabrication and Piezoelectric Properties of Grain-Oriented (Bi_{1/2}K_{1/2})TiO₃-BaTiO₃ Ceramics", The 6th Asian Meeting on Ferroelectrics AMF-6, August 5, 2008, Taipei, Taiwan
- ⑭ H. Nagata, T. Hirose, K. Hikita, Y. Hiruma, and T. Takenaka : "Evaluation of Piezoelectric Properties for KNbO₃-Based Ceramics", The 6th Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF-6), August 5, 2008, Taipei, Taiwan
- ⑮ H. Nagata, T. Hirose, Y. Hiruma, and T. Takenaka: "Piezoelectric aging behavior of high density KNbO₃-based ceramics.", *Electroceramics XI*, Sep. 2008, Manchester, UK.
- ⑯ 得津統司、宮林宏和、晝間祐二、永田 肇、竹中 正 :「CaBi₂Ta₂O₉系セラミックスの電気的諸特性と圧電温度特性」日本セラミックス協会・第 21 回秋季シンポジウム、2008 年 9 月 17 日、小倉
- ⑰ T. Tokutsu, H. Miyabayashi, Y. Hiruma. H. Nagata, T. Takenaka : "Electrical Properties and Temperature Dependence of CaBi₂Ta₂O₉-Based Ceramics", AMEC6 & 28th Electronics Division Meeting, October 22, 2008, Tsukuba, Japan
- ⑱ H. Nagata, T. Tokutsu, H. Miyabayashi, Y. Hiruma, and T. Takenaka : "Piezoelectric Properties of Bismuth Layer-Structured Ferroelectric Ceramics with Wide Working Temperature", 3rd Japan-Taiwan Workshop on Future Frequency Control Devices, December 1-5, 2008, Taipei, Taiwan.
- ⑲ 永田 肇、渡部朋真、高井広大、晝間裕二、竹中 正:「(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃系非鉛圧電セラミックスの大振幅特性における圧電諸特性」圧電材料・デバイスシンポジウム2009、2009 年 2 月 2 日、仙台

〔図書〕(計 1 件)

- ① 永田 肇 (共著)「無鉛圧電セラミックス・デバイス」pp. 43-61、日本 AEM 学界編、養賢堂、2008 年 9 月

6. 研究組織
研究代表者
永田 肇 (NAGATA HAJIME)
東京理科大学・理工学部・助教
研究者番号：70339117

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし