

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	配向および歪み制御による高性能圧電特性を有するPb(Zr,Ti)O ₃ および (Na _{1/2} Bi _{1/2})TiO ₃ -BaTiO ₃ 薄膜に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	岡本庄司
Author(English)	Shoji Okamoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10977号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:舟窪 浩,神谷 利夫,北本 仁孝,細田 秀樹,東 正樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10977号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

題目

配向および歪み制御による高性能圧電特性を有する $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ および $(\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ 薄膜に関する研究

論文概要

本論文は全6章から構成されている。MOCVD法で作製した鉛系圧電体のチタン酸ジルコン酸鉛 [$\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$, PZT] 薄膜と、RFマグネトロンスパッタ法で作製した非鉛圧電体のチタン酸ナトリウムビスマスとチタン酸バリウムの固溶体 [$(\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$, NBT-BT] 薄膜について、鉛量削減に向けた圧電性の高性能化を目的とし、配向および歪み制御の影響を検討した。

第1章「序論」では、研究の背景、特に圧電MEMSデバイスにおける鉛系強誘電体薄膜の特徴および現状を述べ、本研究の目的を明らかにしてある。また、薄膜の作製方法ならびに評価方法について述べている。

第2章「Si基板上面内配向制御 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 薄膜の特性評価」では、圧電MEMS用基板として使用されている $(111)\text{Pt}/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/(100)\text{Si}$ 基板上に、導電性酸化物であるルテニウム酸ストロンチウム [SrRuO_3 , SRO] 薄膜の配向制御について検討を行った。ニッケル酸ランタン [LaNiO_3 , LNO] バッファ層を導入することにより、 $(100)_c$ および $(111)_c$ 配向を持った一軸配向 SRO 薄膜の作製に成功した。さらに、これら配向制御された SrRuO_3 薄膜上に MOCVD 法にて $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ 薄膜を膜厚 $2\mu\text{m}$ で成膜を行い、得られた膜の X 線回折から SRO 薄膜の配向に従い $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ 薄膜を $(001)/(100)$ および (111) 配向に制御できることを確認した (Fig. 1)。また得られた $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ 薄膜は、これら得られた強誘電体特性が、チタン酸ストロンチウム [SrTiO_3 , STO] 基板上に作製した完全 c 軸配向のエピタキシャル $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ 薄膜で予想値とほぼ一致することを明らかにした (Fig. 2)。

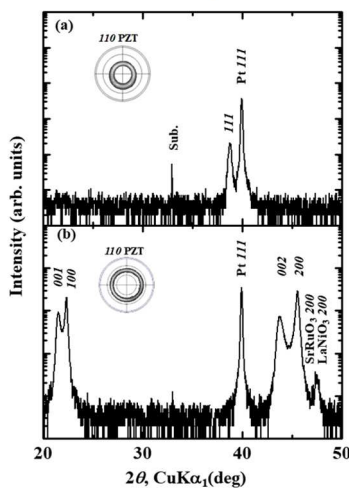


Fig. 1 XRD patterns and X-ray pole figure plots fixed at the 2θ angles corresponding to 110 PZT diffraction peak for PZT films deposited on (a) $(111)_c \text{SrRuO}_3 / (111)\text{Pt}/\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2 / (100)\text{Si}$ and (b) $(100)_c \text{SrRuO}_3 / (100)_c \text{LaNiO}_3 / (111)\text{Pt}/\text{TiO}_2 / (100)\text{Si}$ substrates.

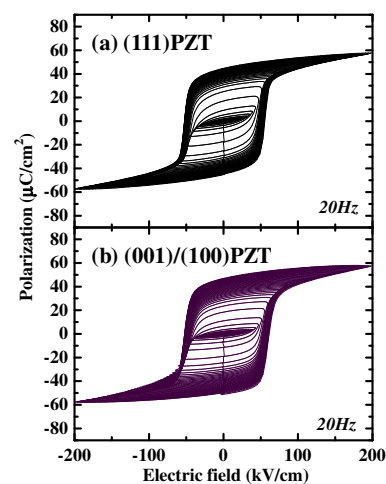


Fig. 2 Polarization-electric field (P - E) hysteresis loops measured at 20 Hz for (a) (111) - and (b) $(001)/(100)$ -oriented fiber-textured PZT films grown on Si substrates.

第3章「Si基板上面内配向制御 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 薄膜の特性評価」では、Si基板上に形成したPZT薄膜の物性に与える面内配向の影響を調査した。この評価を行うため、(100)Si基板上にイットリア安定化ジルコニア(YSZ)、酸化セリウム(CeO_2)およびLNOをバッファー層として作製することで、(100)配向を有しエピタキシャル成長したSRO薄膜の作製を行った。このSRO薄膜を下部電極とすることで、Si基板上に(100)/(001)に配向を有しエピタキシャルPZT薄膜の作製に成功した。この結果をもとに、面外方向に(001)/(100)配向を有し、面内がランダムな一軸配向PZT薄膜と、面内も配向したエピタキシャルPZT薄膜および一軸配向PZT薄膜をMOCVD法にて異なるZr/(Zr+Ti)比について膜厚 $2\mu\text{m}$ で作製を行った。得られたPZT薄膜のX線逆格子マッピング(XRD-RSM)解析から、面内配向の有無によりドメイン構造が変化することを明らかにした。特に、正方晶領域ではエピタキシャルPZT薄膜の方がcドメインの割合が少なく形成されているものの、格子定数には両社に差異が見られなかった。これらの薄膜について、強誘電性特性(P - E ヒステリシス曲線)の評価を行い、正方晶領域($\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti}) < 0.57$)の一軸配向膜の P_{sat} および P_r がエピタキシャルPZT薄膜と比較し大きく、X線回折の解析からcドメイン体積分率の差異によるものであると説明した。また、これらの値が組成に対し変化しないことを示し、 90° ドメインのスイッチング量が組成に対し変化する可能性を示した。圧電特性のZr/(Zr+Ti)比依存性の評価を行い、ヒステリシス曲線から得られた $P_{\text{max}}^2 - P_r^2$ と電界誘起歪の組成依存性の傾向が両社で一致することを明らかにした(Fig. 3)。

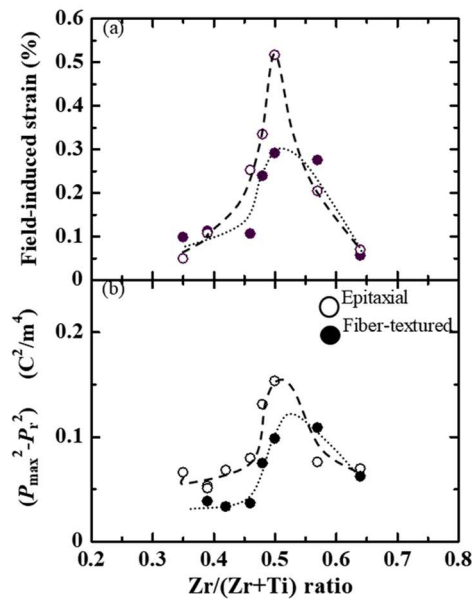


Fig. 3 Zr/(Zr+Ti) ratio dependences of (a) field-induced strain measured at 5 Hz from 0 to 100 kV/cm after poling and (b) $(P_{\text{max}}^2 - P_r^2)$ for PZT films deposited on (○) $(100)_c\text{SrRuO}_3 // (100)_c\text{LaNiO}_3 // (100)\text{CeO}_2 // (100)\text{YSZ} // (100)\text{Si}$ and (●) $(100)_c\text{SrRuO}_3 // (100)_c\text{LaNiO}_3 // (111)\text{Pt/TiO}_2 / \text{SiO}_2 // (100)\text{Si}$ substrates.

第4章「配向制御した $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 薄膜の結晶構造および特性に及ぼす応力の影響」では、基板の熱歪み応力の影響を与える結晶構造および特性への影響を評価するため、SRO薄膜を下部電極として作製したSTO基板にも、(100)/(001)に配向したエピタキシャルPZT薄膜の作製を行

った。得られた膜の XRD-RSM 解析から、正方晶と菱面体晶との共存領域が $Zr/(Zr+Ti)=0.5$ 付近に存在することが確認された。また、正方晶および MPB 近傍組成領域においては、格子定数に各基板で差異が見られなかった。一方で、菱面体晶領域においては、STO 基板上的 PZT 薄膜に圧縮の残留歪みが残留し、Si 基板上では引っ張り残留歪みが見られた。強誘電体特性の評価を行った結果、STO 基板に作製した PZT 薄膜では、Si 基板上的 PZT 薄膜では観察されなかった、 $Zr/(Zr+Ti)=0.5$ 付近の飽和分極値の最小値や抗電界の最大値が存在することが明らかになった。さらに、STO 基板に作製した PZT 薄膜では、Si 基板上的膜で観察された $Zr/(Zr+Ti)=0.5$ 付近の圧電性の増大が認められないことを確認した。これらの圧電特性の差異について、Intrinsic な圧電特性の理論予測から考えられる電歪定数の差異では説明できず、Si 基板上的圧電特性については Extrinsic な寄与が強く働いていることを明らかにした(Fig. 4)

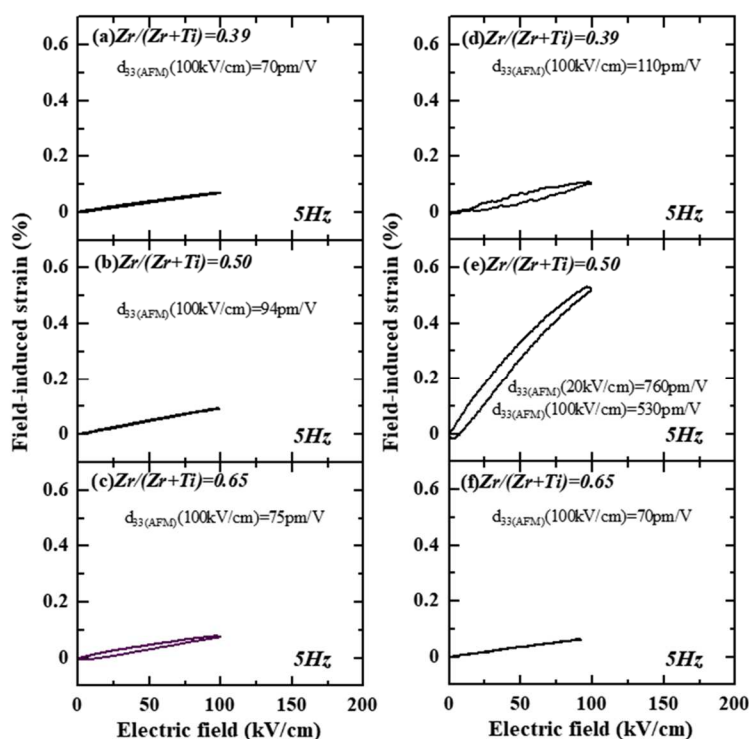


Fig. 4 Field-induced strain vs electric field measured at 5 Hz under unipolar electric field from 0 to 100 kV/cm after the pooling process for PZT films with various $Zr/(Zr+Ti)$ ratios deposited on (a - c) $(100)_c \text{SrRuO}_3 // (100) \text{SrTiO}_3$ substrates and (d - f) $(100)_c \text{SrRuO}_3 // (100)_c \text{LaNiO}_3 // (100) \text{CeO}_2 // (100) \text{YSZ} // (100) \text{Si}$ substrates.

第5章「Si 基板上 NBT-BT 薄膜の巨大圧電特性の実現」では、非鉛圧電体薄膜の圧電 MEMS 応用への可能性を検証するため、Si 基板上に作製した NBT-BT 薄膜で PZT 薄膜に匹敵する圧電特性を実現するための検討を行った。成膜温度で発生する Si 基板上での引っ張り歪みによる特性劣化の課題に対し、LNO バッファ層を作製した Ir 電極付き Si 基板上に RF スパッタマグネトロンスパッタ法で成膜パラメータを調整することで、各種結晶歪(c/a)を持った(001)NBT-BT 薄膜の作製可能であることを明らかにした。また、得られた NBT-BT 薄膜の電気特性の評価を行

い、低 c/a で作製された NBT-BT 薄膜は、Si 基板の上に量産されている PZT 薄膜と同等の圧電特性とキュリー温度を示すことを明らかにした(Fig. 5, Fig. 6)。更に、巨大な圧電特性を示した要因について、TEM による電子線回折結果から、この膜では、菱面体晶($R3c$)および正方晶($P4bm$)の共存が見られ、 $P4bm$ の電界誘起の相転移が高い圧電特性の起源になっている可能性を明らかにした。

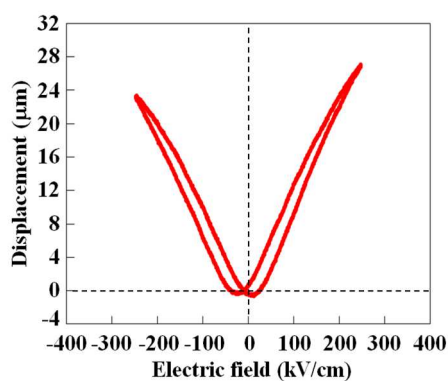


Fig. 5 S-E properties with applied bipolar electric field for (001)-oriented NBT-BT thin film with low c/a ratio grown on (100)Si substrate.

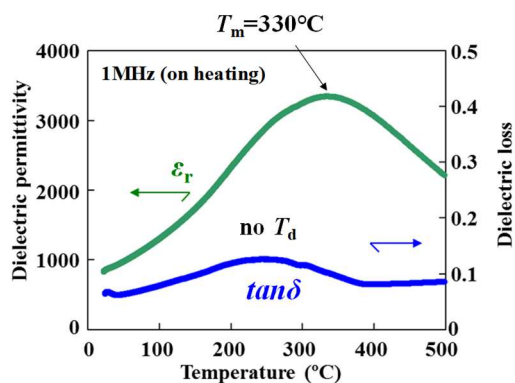


Fig. 6 Temperature dependence of dielectric permittivity (ϵ_r) and dielectric loss ($\tan\delta$) for NBT-BT thin films with low c/a ratio grown on Si substrates.

第 6 章「結論」では、本論文の結論と今後の課題・展望について述べている。

研究業績一覧

1 投稿論文

第 2 章関連論文

- [1] S. Okamoto, S. Yokoyama, Y. Honda, G. Asano, and H. Funakubo. “Crystal Orientation Dependence on Electrical Properties of Pb(Zr,Ti)O₃ Thick Films Grown on Si Substrates by Metalorganic Chemical Vapor Deposition” Jpn. J. Appl. Phys. **43**(9B), 6567 (2004).

第 3 章関連論文

- [2] S. Okamoto, T. Watanabe, K. Akiyama, S. Kaneko, H. Funakubo, and S. Horita. “Epitaxial Pt Films with Different Orientations Grown on (100)Si Substrates by RF Magnetron Sputtering” Jpn. J. Appl. Phys. **44**(7A), 5102 (2005).
- [3] S. Okamoto, P. S. Krishnan, S. Okamoto, S. Yokoyama, K. Akiyama, and H. Funakubo. “In-plane orientation and composition dependences of crystal structure and electrical properties of {100}-oriented Pb(Zr, Ti)O₃ films grown on (100)Si substrates by metal organic chemical vapor deposition” Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 10PF12-1-5 (2017).

第 4 章関連論文

- [4] S. Okamoto, S. Okamoto, S. Yokoyama, K. Akiyama, and H. Funakubo. “Composition dependences of crystal structure and electrical properties of epitaxial Pb(Zr,Ti)O₃ films grown on Si and SrTiO₃ substrates” Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 10TA08-1-5 (2016).

第 5 章関連論文

- (1) Y. Tanaka, S. Okamoto, K. Hashimoto, R. Takayama, T. Harigai, H. Adachi, and E. Fujii. “High electromechanical strain and enhanced temperature characteristics in lead-free (Na,Bi)TiO₃-BaTiO₃ thin films on Si substrates” Scientific Reports **8**, 7847 (2018).

付録の関連論文

- [5] S. Okamoto, S. Okamoto, S. Yokoyama, and H. Funakubo. “Thickness and temperature dependence of dielectric properties in {111}- oriented epitaxial Pb(Mg_{1/3},Nb_{2/3})O₃ and 0.6Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ – 0.4PbTiO₃ films” Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 0902BA (2018).
- (2) S. Okamoto, S. Yokoyama, S. Okamoto, K. Saito, H. Uchida, S. Koda, and H. Funakubo. “Strong Dependence on Thickness of Room-Temperature Dielectric Constant of (100)-Oriented Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ Epitaxial Films Grown by Metal Organic Chemical Vapor Deposition” Jpn. J. Appl. Phys. **45**(40), L1074 (2006).
- (3) H. Funakubo, S. Okamoto, S. Yokoyama, S. Okamoto, J. Kimura, and H. Uchida. “Orientation and

film thickness dependencies of (100)- and (111)-oriented epitaxial $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ films grown by metal organic chemical vapor deposition” *J. Materiomics*. **1**, 188 (2015).

その他の論文

- (4) T. Watanabe, H. Morioka, S. Okamoto, M. Takahashi, Y. Noguchi, M. Miyayama, and H. Funakubo. “Effect of Thermal Strain on Domain Fraction in a-/b-axis-oriented Epitaxial $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Films” *Mater. Res. Soc. Proc.* **784**, C4.2.1- C4.2.6, 109-114 (2004).
- (5) S. Kaneko, K. Akiyama, Y. Shimizu, T. Ito, S. Yasaka, M. Mitsuhashi, S. Ohya, K. Saito, T. Watanabe, S. Okamoto, and H. Funakubo. “Effect of Buffer Layer on Epitaxial Growth of YSZ Deposited on Si Substrate by Slower Q-switched 266 nm YAG Laser” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**(4A), 1532 (2004).
- (6) S. Kaneko, K. Akiyama, T. Ito, H. Yusa, S. Yasuda, M. Mitsuhashi, S. Ohya, K. Saito, T. Watanabe, S. Okamoto, and H. Funakubo. “Epitaxial Ytria-stabilized Zirconia (YSZ) Film Deposited on Si(100) Substrate by YAG Laser” *Journal of the Vacuum Society of Japan*, **47-7** 581 (2004).
- (7) S. Yokoyama, Y. Honda, H. Morioka, S. Okamoto, T. Iijima, H. Matsuda, K. Saito, and H. Funakubo. “Comparison Study of (001)-/(100)-Oriented Epitaxial and Fiber-Textured $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ Thick Films Prepared by MOCVD” *Integ. Ferro.*, **64**, 217 (2004).
- (8) H. Nakaki, H. Uchida, S. Okamoto, S. Yokoyama, H. Funakubo, and S. koda. “Improvement of Ferroelectric Properties of Lead Zirconate Titanate Thin Films by Ion- substitution using Rare-earth Cations” *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **830**, D3.3.1 (2005).
- (9) H. Uchida, H. Nakaki, S. Okamoto, S. Yokoyama, H. Funakubo, and S. Koda. “Enhanced Spontaneous Polarization of Dysprosium-substituted Lead Zirconate Titanate Thin Films by a Chemical Solution Deposition Method” *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **830**, D6.21.1 (2005).
- (10) S. Ito, K. Takahashi, S. Okamoto, I. P. Koutsaroff, R. Cervin-Lawry, and H. Funakubo. “Orientation Dependence of Epitaxial and One-Axis-Oriented $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})\text{TiO}_3$ Films Prepared by RF Magnetron Sputtering” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**(9B), 6881 (2005).
- (11) K. Nishida, M. Osada, S. Wada, S. Okamoto, R. Ueno, and H. Funakubo “Raman Spectroscopic Characterization of Tetragonal $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ Thin Films: A Rapid Evaluation Method for c-Domain Volume” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**(25), L827 (2005).
- (12) S. Okaura, M. Suzuki, S. Okamoto, H. Uchida, S. Koda, and H. Funakubo. “MOCVD Growth of $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_7$ (BZN) Epitaxial Thin Films and Their Electrical Properties” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**(9B), 6957 (2005).
- (13) H. Nakaki, H. Uchida, S. Koda, S. Okamoto, H. Funakubo, K. Nishida, T. Katoda, and K. Saito “Enhancement of spontaneous polarization in lead zirconate titanate thin films by Dy^{3+} substitution” *Appl. Phys. Lett.* **87**, 182906 (2005).
- (14) Y. K. Kim, H. Morioka, S. Okamoto, T. Watanabe, S. Yokoyama, A. Sumi, H. Funakubo, and K.

- Saito “Comparison of electrical properties of (100)/(001)-oriented epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.35}\text{Ti}_{0.65})\text{O}_3$ thin films with the same (001) domain fraction grown on (100)Si and (100)SrTiO₃ substrates” *Appl. Phys. Lett.* **87**, 182907 (2005).
- (15) M. Osada, K. Nishida, S. Wada, S. Okamoto, R. Ueno, H. Funakubo, and T. Katoda. “Domain distributions in tetragonal $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ thin films probed by polarized Raman spectroscopy” *Appl. Phys. Lett.* **87**, 232902-1-3 (2005).
- (16) S. Yokoyama, Y. Honda, H. Morioka, S. Okamoto, H. Funakubo, T. Iijima, H. Matsuda, K. Saito, T. Yamamoto, H. Okino, O. Sakata, and S. Kimura. “Dependence of electrical properties of epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ thick films on crystal orientation and Zr/(Zr+Ti) ratio”, *J. Appl. Phys.* **98**, 094106-1-8 (2005).
- (17) S. Yokoyama, S. Okamoto, S. Okamoto, H. Funakubo, H. Matsuda, T. Iijima, K. Saito, H. Okino and T. Yamamoto. “ PbTiO_3 content dependence of crystal structure and electrical properties of (100)-/(001)-oriented epitaxial $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 films grown by metalorganic chemical vapor deposition” *J. Appl. Phys.* **98**, 086112-1-3 (2005).
- (18) H. Kuwabara, A. Sumi, S. Okamoto, S. Yokoyama, and H. Funakubo. “Local Epitaxial Growth of Tetragonal (111)-Oriented $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Thin Film” *Integ. Ferro.*, 75(2005)3-9.
- (19) S. Ito, K. Takahashi, S. Okamoto, I.P. Koutsaroff, A. C. Lawry, J. Sakai, N. Ito, and H. Funakubo. “Thermal Stability of Epitaxial SrRuO₃ Bottom Electrodes and Their Contribution to the Characteristics of $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})\text{TiO}_3$ Films Grown on Them” *Integ. Ferro.* **77**, 3 (2005).
- (20) K. Takahashi, M. Suzuki, S. Okamoto, and Funakubo. “Impact of SrRuO₃/LaNiO₃ Doubly-Stacked Bottom Electrode on the Characteristics of c-Axis-Oriented $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Films” “Advances in Dielectric Materials and Electronic Devices”, Proceedings of the 107th Annual Meeting of The American Ceramic Society, Baltimore, Maryland, USA 2005, *Ceramic Trans.* **174**, 155-164 (2005).
- (21) H. Funakubo, A. Sumi, H. Morioka, S. Okamoto, and S. Yokoyama. “Dominant Factor of Squareness in P-E Hysteresis Loops of MOCVD-PZT Films” *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 902E 0902-T04-04.1 (2006).
- (22) S. Yokoyama, K. Takahashi, S. Okamoto, A. Nagai, J. Minamidate, K. Saito, N. Ohashi, H. Haneda, O. Sakata, S. Kimura, K. Nishida, T. Katoda, and H. Funakubo. “Preparation and Structural Analysis of Micro-patterned $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Film by Metalorganic Chemical Vapor Deposition” *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 5102 (2006).
- (23) Y. K. Kim, H. Morioka, S. Okamoto, S. Yokoyama, and H. Funakubo. “Intrinsic Properties of (100)/(001)-Oriented Epitaxial PZT Thin Films Grown on (100)Si and (100)SrTiO₃ Substrates” *Integ. Ferro.* **78**, 223 (2006).
- (24) K. Nishida, M. Osada, S. Wada, S. Okamoto, R. Ueno, H. Funakubo, and T. Katoda. “A New Method to Characterize a Relative Volume to the c-Domain in PZT Films Based on Raman

- Spectra” Integ. Ferro. **78**, 281 (2006).
- (25) S. Yokoyama, S. Okamoto, S. Okamoto, T. Iijima, K. Saito, H. Okino, T. Yamamoto, and H. Funakubo. “Crystal Orientation Anisotropy of Epitaxial $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ Thick Films Grown by MOCVD” Integ. Ferro. **80**, 67 (2006).
- (26) S. Ito, T. Yamada, K. Takahashi, S. Okamoto, T. Kamo, H. Funakubo, I. Koutsaroff, M. Zelter, and A. C. Lawry. “Effect of bottom electrode on dielectric property of sputtered-(Ba,Sr) TiO_3 films” J. Appl. Phys. **105**, 061606-1 (2009).
- (27) H. Kuwabara, A. Sumi, S. Okamoto, H. Hoko, J. S. Cross, and H. Funakubo. “Low Temperature Preparation of (111)-oriented $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ Films Using Lattice – matched (111) SrRuO_3/Pt Bottom Electrode by Metal Organic Chemical Vapor Deposition” Jpn. J. Appl. Phys. **48(4)**, 04C067-1 (2009).
- (28) M. Nakajima, S. Okamoto, H. Nakaki, T. Yamada, and H. 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. **109**, 091601-1-5 (2011).
- (29) A. Sumi, T. Oikawa, H. Morioka, S. Okamoto, S. Yokoyama, T. Watanabe, Y. Ehara, and H. Funakubo. “Squarness Control in Polarization - Electric Field Hysteresis Curves in Rhombohedral $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Films” Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 04CD09-1-5 (2013).

2 学会発表（筆頭のみ）

1. Shoji Okamoto, Takayuki Watanabe, Hitoshi. Morioka, Shintaro Yokoyama, Kensuke Akiyama, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), Kazuki. Muranaka, Susumu. Horita(JAIST) “Establishment of orientation control method of epitaxial ferroelectric thin film on Si substrate” The Japan Society of Applied Physics, The 64th Autumn Meeting 2003, Fukuoka Univ., August 30-September 2, 2003. Extended Abstracts, 2a-V-5, p508.
2. Shoji Okamoto, Takayuki Watanabe, Shintaro Yokoyama, Gouji Asano, Yoshihisa Honda, Hitoshi. Morioka, Kensuke. Akiyama, Hiroshi Funakubo(Tokyo Tech.), “Fabrication and evaluation of orientation control of PZT thick film on Si substrate by MOCVD” The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, The 51st Spring Meeting 2004, Tokyo Univ. of Tech., March 28-31, 2004. Extended Abstracts, 29p-ZL-5, p604.
3. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Yoshihisa Honda, Gouji Asano, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), Keisuke Saito (Panalytical), “Orientation dependence of electric characteristics of $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ thick film oriented on Si substrate by MOCVD” The meeting on Ferroelectric Materials and their Applications (FMA-21), Coop-Inn Kyoto, Kyoto, Japan, May 2004. Extended Abstracts, 26-F-4

4. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Satoshi Okamoto, Kensuke Akiyama, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), “Characterization of in-plane orientation controlled PZT Thick Film grown on Si Substrates by MOCVD” The Japan Society of Applied Physics, The 65th Autumn Meeting 2004, Tohoku Gakuin Univ., September 1-4, 2004. Extended Abstracts, 3p-Y-16
5. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Yoshihisa Honda, Gouji Asano, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), “Fabrication and evaluation of orientation control of PZT thick film on Si substrate by MOCVD” The Ceramic Society of Japan, The 17th Fall Meeting of the Ceramic Society of Japan, JAIST, September 17-19, 2004. Extended Abstracts, 1P-08.
6. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Satoshi Okamoto, Yong Kwan Kim, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), Kensuke Akiyama (KISTEC), Keisuke Saito (Bruker), Minoru Osada (NIMS), “New proposal to realize large piezoelectric characteristics of PZT thick film” The 51st Spring Meeting 2005, Saitama Univ., March 29-April 1, 2005. Extended Abstracts, 30a-P2-12
7. Shoji Okamoto, Kazuya Hashimoto, Yoshiaki Tanaka, Takakiyo Harigai, Hideaki Adashi, Eiji Fujii (Panasonic), “Crystal structure and Piezoelectric properties of (001) oriented (Na,Bi)TiO₃-BaTiO₃ thin films” The Japan Society of Applied Physics, The 75th Autumn Meeting 2014, Hokkaido Univ., September 17-20, 2014. Extended Abstracts, 18a-A9-3
8. Shoji Okamoto, Ryoichi Takayama, Kazuya Hashimoto, Yoshiaki Tanaka, Takakiyo Harigai, Hideaki Adashi, Eiji Fujii (Panasonic), “Crystal structure and Piezoelectric properties of epitaxial and poly-crystal (001) oriented (Na,Bi)TiO₃-BaTiO₃ thin films” The Ceramic Society of Japan, The 34th Electronics Division Meeting of the Ceramic Society of Japan, Tokyo Institute of Technology, October 24-25, 2014. Extended Abstracts, 2A02.
9. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Satoshi Okamoto, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), Kensuke Akiyama (KISTEC), “Composition dependence of electrical properties and crystal structure of epitaxial PZT thin films on Si substrate and SrTiO₃ substrates” The meeting on Ferroelectric Materials and their Applications (FMA-33), Coop-Inn Kyoto, Kyoto, Japan, May 2016. Extended Abstracts, 27-T-12
10. Shoji Okamoto, Shintaro Yokoyama, Satoshi Okamoto, Hiroshi Funakubo (Tokyo Tech.), Kensuke Akiyama (KISTEC), “Characterization of in-plane orientation controlled PZT Thin Film grown on Si Substrates by MOCVD” The meeting on Ferroelectric Materials and their Applications (FMA-34), Coop-Inn Kyoto, Kyoto, Japan, May 2017. Extended Abstracts, 02-T-

11. Shoji Okamoto, Yoshiaki Tanaka, Kazuya Hashimoto, Ryoichi Takayama, Takakiyo Harigai, Hideaki Adashi, Eiji Fujii (Panasonic), “Piezoelectric properties of strain-controlled (Na,Bi)TiO₃-BaTiO₃ thin film on Si Substrate and its Application Characteristics” The 30th Fall Meeting of the Ceramic Society of Japan, Kobe University, September 19-21, 2017. Extended Abstracts, 1D-07

3 受賞

The Ceramic Society of Japan, Best Award for the Presentation of Symposium Poster, The 17th Fall Meeting of the Ceramic Society of Japan, 2004, Japan Advanced Institute of Science and Technology, Ishikawa