

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26286043

研究課題名(和文) 電場による瞬間的な原子の動きと化学結合の変化を可視化する時分割構造計測技術の開発

研究課題名(英文) Development of time-resolved structure measurement technique to visualize momentary atomic motion and change in chemical bonding under applied electric field

研究代表者

黒岩 芳弘 (Kuroiwa, Yoshihiro)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40225280

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)： X線チョッパーを用いて、SPring-8の蓄積リングに蓄積された電子のシングルバンチからの放射光パルスX線を試料に照射するタイミングと試料に電場を印加するタイミングを同期させるシステムを開発し、50ピコ秒の時間分解能でポンプ-プローブ法により時分割X線回折実験を行うシステムの構築に成功した。このシステムを使って、強誘電体の分極反転に伴う構造変化や共振状態にある水晶の構造変化を原子位置レベルで構造解析した。また、電場印加下で巨大格子歪みをもつ新奇非鉛圧電セラミックスも見出した。

研究成果の概要(英文)： We have developed the time-resolved X-ray Diffraction experiment system by the pump-probe method with time resolution of 50 ps, in which the irradiation timing of synchrotron radiation pulse X-ray from the single bunch of electrons accumulated in the storage ring of SPring-8 is synchronized with the timing of the electric field applied to a sample by the X-ray chopper. We succeed in capturing the atomic motion in ferroelectric crystals associated with the polarization reversal and in a resonantly vibrating quartz crystal using the system. Novel lead-free piezoelectric ceramics with a huge lattice strain under applied electric field are found.

研究分野： 構造物性

キーワード： 誘電体物性 ペロブスカイト X線回折 電場印加実験 時分割実験 結晶構造解析 放射光

1. 研究開始当初の背景

チタン酸バリウム BaTiO₃ やチタン酸ジルコン酸鉛 Pb(Zr,Ti)O₃ (通称 PZT) のような強誘電体に外部から電場を印加すると、逆圧電効果により歪みが生じ、結晶は伸縮・変形する。このような圧電性を示す強誘電体に高電場を印加すると、電場誘起相転移が起こったり、極めて大きく歪んだ通常では観測できない特異な化学結合をもつ結晶が電場印加の瞬間に出現したりすると考えられてきた。

我々のグループでは、放射光実験施設 SPring-8 において、単結晶時分割 X 線回折実験により、マイクロ秒の時間分解能で物質の格子定数の時間変化を計測できるシステムを開発してきた。この実験技術により、図 1 に示すように、ペロブスカイト型構造をもつ BaTiO₃ (正方晶) の *c* 軸に沿って分極を反転させる方向に急激に電場を印加した時、単位格子がバネのように伸縮を繰り返しながら一定のサイズに収束するという圧電振動の様子を格子歪みレベルで初めて明らかにした。このとき、圧電振動の一瞬に BaTiO₃ が通常以上の大きな正方晶歪み Δa をもつことも同時に発見した。大きな正方晶歪みは、急激な電場によって加速されたイオンが安定位置を超えてオーバーシュートした瞬間に出現したと考えられる。この成果は大変注目され、2012 年度の応用物理学会優秀論文賞を受賞した (C. Moriyoshi, *et. al.*, Synchrotron Radiation Study on Time-resolved Tetragonal Lattice Strain of BaTiO₃ under Electric Field, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 09NE05/1-4.)

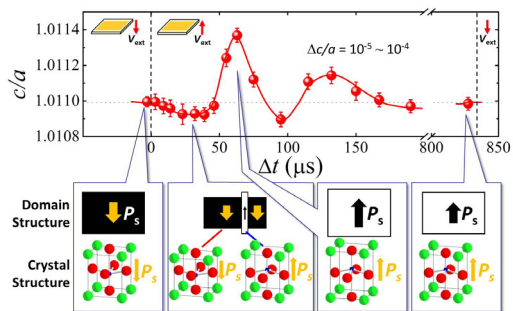


図 1. *c* 軸方向の急激な電場反転に対する BaTiO₃ 単結晶の正方晶歪み c/a の時間変化。電場反転させた約 60 μ s 後に最大の正方晶歪みが観測された。

この時点で達成できていた時分割 X 線構造解析は、マイクロ秒の時間分解能で格子定数レベルの構造解析であった。ナノ秒またはピコ秒の時間分解能で、原子位置レベル以上の構造解析が達成されることに大きな期待が寄せられた。

2. 研究の目的

AC 電場印加下での誘電体材料について、ある時間における瞬間の結晶構造を X 線回折で調べるための実験要素技術の開発を行い、電場誘起相転移や分極反転のダイナミクス、また、共振状態にある圧電材料の巨大格

子歪みの発現機構等を原子レベルで明らかにすることが本研究の目的である。そのために、電場印加のタイミングに同期させて時分割放射光 X 線回折実験を行い、結晶構造を可視化する ‘picosec-crystallography’ の確立を目指した。

このような構造解析の手法が確立されれば、圧電材料に限らず、外場応答する物質の相転移や準安定状態を電子論の立場から実空間で議論するという実験研究分野が開拓できると期待する。また、動作している電子デバイス内部の材料の挙動を非破壊で構造評価できるようになり、実用材料開発や故障解析の観点において、産業界への波及効果も高いと思われる。

3. 研究の方法

以前我々が SPring-8 の単結晶構造解析ビームライン BL02B1 に導入していた電場印加下で時分割 X 線回折実験ができる計測システムをアップグレードすることから研究を開始した。従来のシステムでは、SPring-8 の RF 周波数と試料への X 線照射タイミングを非同期としていたが、これを同期させることで時間分解能に優れた高強度パルス入射 X 線を効率的に得ることを目指した。

電場印加下での時分割実験では、試料に周期的な AC 電場を印加し、各周期の同じ位相 (時刻) における回折パターンを繰り返し記録するポンプ・プローブ法を採用した。図 2 に X 線チョッパーによるポンプ・プローブ型電場印加構造計測の概念図を示す。試料に印加される周期的な外部電圧と X 線チョッパーの回転のタイミングを同期し、一周期のうちの任意の位相 (遅延時間 Δt) に X 線パルスを照射する。1 回の X 線照射による回折強度は極めて小さいが、各周期の各 Δt で同様に X 線を試料に照射し、それらの強度を繰り返し IP に記録することにより、時刻 Δt の構造解析に十分な回折強度を得ることができた。したがって、SPring-8 の運転モードが H モードのとき、シングルバンチからの X 線のみを X 線チョッパーにより切り出すことで、時間分解能 50 ps の測定が可能になった。また、D モードや F モードにおけるトレインバンチからの X 線を切り出した場合、時間分解能は数 100 ns になるが、大強度の入射 X 線を使った時分割回折実験が可能になった。

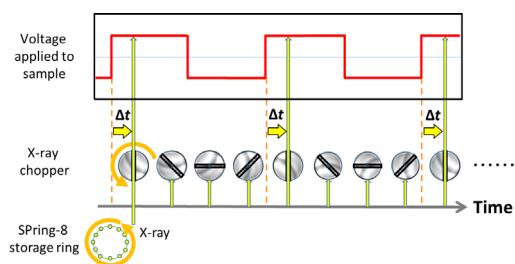


図 2. X 線チョッパーを用いたポンプ・プローブ型時分割構造計測の概念図

4. 研究成果

(1) 強誘電体単結晶 BaTiO₃ の分極反転

Fモードにおけるトレインバンチからの30keVのパルスX線(時間分解能:342 ns)をX線チョッパーで切り出して、1msの繰り返し間隔で試料に照射し、電場印加のタイミングに同期させたポンププローブ法で時分割X線回折実験を行った。リングと同期していなかった以前の実験と比較して、入射X線の強度が強くなったので、時間分解能を高くしても十分な統計精度をもつ回折強度を得ることができ、原子位置レベルで構造解析することに成功した。図1で最大の正方晶歪みが観測された瞬間では、予想される原子変位パターンではなく、構成イオンが安定位置を大幅に超えて配位している様子が実際に可視化できた。これらのイオンが安定位置に戻る際の振動パターンがマクロな圧電振動として観測されることを明らかにした。国内外の学術会議では報告したが、現在投稿論文としてまとめているところである。一方、この研究で開発したX線チョッパーシステムについては、投稿論文として公表した〔雑誌論文(1)〕。

(2) 共振状態にある水晶の構造解析

HモードにおけるシングルバンチからのパルスX線(時間分解能:50 ps)を用いて、30MHzで共振している水晶の瞬間の構造解析を行うことに成功した〔雑誌論文(10)〕。この成果により、ピコ秒で時分割X線回折実験を行う手法を確立した。また、共振を利用して特定のフォノンモードを励起し、その基準振動のパターンを原子位置レベルで可視化したものとしても高く評価された。

(3) 巨大格子歪みをもつ非鉛圧電セラミックス材料の探索

物質探索として、新奇非鉛圧電材料の探索を時分割実験と並行して行った。0.3BaTiO₃-0.1Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O₃-0.6BiFeO₃というセラミックス材料が極めて大きな圧電歪みをもつことを見出した。X線回折実験の結果、PZT等とは異なり、結晶格子の本質的な歪みによりマクロな結晶歪みが生じることを明らかにした〔雑誌論文(6)〕。今後、開発した時分割X線回折システムにより電場印加下で巨大格子歪みが生じる起源を原子レベルで明らかにする予定である。

物質探索も含め、本研究では、20件の論文および解説記事を発表した。また、国内外の学会及び国際会議等で67件の研究成果の発表を行った。そのうち、1件は国際会議での基調講演、13件は招待講演(国際会議7件、国内会議6件)、7件は国内会議での依頼講演であった。

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) H. Osawa, T. Kudo and S. Kimura, Development of High-repetition-rate X-ray Chopper System for Time-resolved Measurements with Synchrotron Radiation, Jpn. J. Appl. Phys. 56 (2017) 048001/1-3. 査読有

DOI: 10.7567/JJAP.56.048001

(2) H. Osawa, T. Ohkochi, M. Fujisawa, S. Kimura and T. Kinoshita, Development of Optical Choppers for Time-resolved Measurements at Soft X-ray Synchrotron Radiation Beamlines, J. Synchrotron Rad. 24 (2017) 560-565. 査読有

DOI: 10.1107/S1600577517002399

(3) S. Takeda, S. Yasuda, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, A. Honda, N. Inoue, S. Higai and A. Ando, Off-centering of Rare-earth Ion in (Ba, R)(Ti, Mg)O₃ (R = Gd, Dy), Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2016) 10TC08/1-5. 査読有

DOI: 10.7567/JJAP.55.10TC08

(4) S. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, S. Takeda, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Time-resolved Crystal Structure Analysis of Resonantly Vibrating Langasite Oscillator, Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2016) 10TC05/1-6. 査読有

DOI: 10.7567/JJAP.55.10TC05

(5) Y. Kitanaka, K. Hirano, M. Ogino, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Polarization Twist in Perovskite Ferrielectrics, Sci. Rep. 6 (2016) 32216/1-11. 査読有

DOI: 10.1038/srep32216

(6) I. Fujii, R. Iizuka, Y. Nakahira, Y. Sunada, S. Ueno, K. Nakashima, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada, Electric Field Induced Lattice Strain in Pseudocubic Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O₃-modified BaTiO₃-BiFeO₃ Piezoelectric Ceramics, Appl. Phys. Lett. 108 (2016) 172903/1-4. 査読有

DOI: 10.1063/1.4948264

(7) L-P. Oloff, A. Chainani, M. Matsunami, K. Takahashi, T. Togashi, H. Osawa, K. Hanff, A. Quer, R. Matsushita, R. Shiraishi, M. Nagashima, A. Kimura, K. Matsuishi, M. Yabashi, Y. Tanaka, G. Rossi, T. Ishikawa, K. Rossnagel and M. Oura, Time-resolved HAXPES Using a Microfocused XFEL Beam: From Vacuum Space-charge Effects to Intrinsic Charge-carrier Recombination Dynamics, Sci. Rep. 6, (2016) 35087/1-10. 査読有

DOI: 10.1038/srep35087

(8) 黒岩芳弘, 森吉千佳子, 藤井一郎, 和田智志, 電場印加下の強誘電体の構造研究,

日本結晶学会誌 58 (2016) 167-173. 査読有
DOI: 10.5940/jcrsj.58.167

(9) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 短パルス X線回折による水晶の振動機構の解明, SPring-8 利用者情報 21 (2016) 78-83. 査読有
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=33680>

(10) S. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, A. Fujiwara, S. Takeda, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Atomic Motion of Resonantly Vibrating Quartz Crystal Visualized by Time-resolved X-ray Diffraction, Appl. Phys. Lett. 107 (2015) 201905/1-5. 査読有
DOI: 10.1063/1.4935591

(11) S. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, M. Iwata, S. Takeda, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Crystal Structure Analysis of LiTaO₃ under Electric Field, Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 10NB03/1-5. 査読有
DOI: 10.7567/JJAP.54.10NB03

(12) R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, I. Fujii, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada, Large Electric-field-induced Strain in Pseudo-cubic BaTiO₃-Bi(Mg_{0.5}Ti_{0.5})O₃-BiFeO₃ Ceramics, Transactions of the Materials Research Society of Japan 40 (2015) 295-299. 査読有
DOI: 10.14723/tmrsj.40.295

(13) 森吉千佳子, 黒岩芳弘, SPring-8 での研究成果例, 物質科学, 時分割構造 X線回折「Time-resolved Structural X-ray Diffraction Capturing Atomic Movement of Millionths of a Second」, SPring-8 パンフレット英語版(2015) 10. 査読無

(14) 森吉千佳子, 黒岩芳弘, SPring-8 での研究成果例, 物質科学, 時分割構造 X線回折「電子の動きを 100 万分の 1 秒でとらえる」, SPring-8 パンフレット(2015) 10. 査読無

(15) M. Ogino, Y. Noguchi, Y. Kitanaka, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Polarization Rotation and Monoclinic Distortion in Ferroelectric (Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃-BaTiO₃ Single Crystals under Electric Fields, Crystals 4 (2014) 273-295. 査読有
DOI: 10.3390/cryst4030273

(16) R. Mitsui, I. Fujii, K. Nakashima, N. Kumada, Y. Kuroiwa and S. Wada, Chemical Composition of Dielectric and Piezoelectric Properties for BaTiO₃-Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O₃-BiFeO₃ System Ceramics, Key Engineering Materials 582 (2014) 84-87. 査読有
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.84

(17) I. Fujii, A. Shimamura, K. Nakashima, N. Kumada, H. Funakubo, Y. Kuroiwa and S. Wada, Preparation of Bismuth Based

Perovskite Oxides and Their Electric Properties, Key Engineering Materials 582 (2014) 71-75. 査読有
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.71

(18) K. Yanai, H. Onozuka, Y. Kitanaka, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Polarization Switching Dynamics of Ferroelectric (Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃ Single Crystals, Key Engineering Materials 582 (2014) 51-54. 査読有
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.51

(19) S. Ishikawa, Y. Kitanaka, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Domain Dynamics under Unipolar Electric Fields for BaTiO₃ Single Crystals, Key Engineering Materials 582 (2014) 40-43. 査読有
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.40

(20) S. Wada, T. Kita, I. Fujii, K. Nakashima, T. Takei, N. Kumada, T. Suzuki, Y. Uchikoshi, Y. Sakka, Y. Miwa, S. Kawada, M. Kimura and Y. Kuroiwa, Preparation of Barium Titanate Grain-oriented Ceramics by Electrophoresis Deposition Method under High Magnetic Field using Single-domain Nanoparticles, Key Engineering Materials 582 (2014) 27-31. 査読有
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.27

〔学会発表〕(計 67 件)

(1) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 武田博明, ランガサイト圧電振動子の交流電場下時分割結晶構造解析, 日本物理学会第 72 回年次大会, 豊中, 2017 年 3 月 17-20 日.

(2) 黒岩芳弘, 放射光 X線回折によるナノ構造解析技術の進展, 日本セラミックス協会 2017 年年会, 東京, 2017 年 3 月 17-19 日. (招待講演)

(3) Y. Kuroiwa, SXRd study on Materials Structure Physics of Perovskite-type Ferroelectrics, The 14th Japan-Korea Joint Workshop on Advanced Materials, Busan, Korea, February 19-21, 2017. (招待講演)

(4) 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, AgNbO₃ フェリ誘電体単結晶の電場下結晶構造解析, 第 55 回セラミックス基礎討論会, 岡山, 2017 年 1 月 12-13 日.

(5) 牧角康平, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, (Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃ 系強誘電体単結晶の物性評価と電場応答解析, 第 55 回セラミックス基礎討論会, 岡山, 2017 年 1 月 12-13 日.

(6) Y. Kuroiwa, Valence Electron Density

Study on Emergence of Polar Lattice Distortion in Perovskite-type Ferroelectrics, International Conference on Technologically Advanced Materials and Asian Meeting on Ferroelectricity (ICTAM-AMF10), Delhi, India, November 7-11, 2016. (招待講演)

(7) Y. Kuroiwa, Structural Characteristics of Perovskites Containing Lone-pair Cations, IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Qingdao, China, October 20-24, 2016. (招待講演)

(8) Y. Kuroiwa, Materials Structure Physics of Ferroelectrics, The 8th Japan-China Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (JCFMA8), Tsukuba, September 29 - October 2, 2016. (基調講演)

(9) 黒岩芳弘, 強誘電体の分極反転に伴って変化する結晶構造の時間分割計測, 錯体化学会第 66 回討論会, 福岡, 2016 年 9 月 10-12 日. (招待講演)

(10) 黒岩芳弘, 強誘電体材料の分極状態を創発させる結晶構造に関する放射光構造計測科学の進展, 日本セラミックス協会第 29 回秋季シンポジウム, 東広島, 2016 年 9 月 7-9 日. (招待講演)

(11) 森吉千佳子, 河口彰吾, 強誘電体セラミックスの電場印加放射光回折実験, 日本セラミックス協会第 29 回秋季シンポジウム, 東広島, 2016 年 9 月 7-9 日. (依頼講演)

(12) B. Iversen, J. Overgaard, V. Hathwar, M. Sist, Y. Kuroiwa and E. Nishibori, Activities at BL02B1 in PU project 0078 for 2016, SPring-8 シンポジウム 2016, 三田, 2016 年 8 月 29-30 日.

(13) Y. Nakahira, M. Ohmoto, S. Takeda, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, H. Osawa, K. Sugimoto, Y. Kitahara, Y. Noguchi and M. Miyayama, Time-course Measurements of BaTiO₃ Structural Changes associated with Polarization Reversal under Suddenly-applied Electric Field, 11th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (KJC-FE11), Seoul, Korea, August 7-10, 2016.

(14) Y. Sunada, Y. Nakahira, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, I. Fijii, R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima and S. Wada, Origin of High Piezoelectric Response in BaTiO₃-Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O₃-BiFeO₃ Ceramics revealed by SXRD, 11th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (KJC-FE11), Seoul, Korea, August 7-10, 2016.

(15) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 共振状態のラングサイト振動子の時分割結晶構造解析, 第 33 回強誘電体応用会議 (FMA-33), 京都, 2016 年 5 月 25-28 日.

(16) 青柳忍, 青柳鮎美, 大沢仁志, 杉本邦

久, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 岩田真, Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ の交流電場下時分割 X 線回折, 日本物理学会第 71 回年次大会, 仙台, 2016 年 3 月 19-22 日.

(17) 森吉千佳子, 放射光回折による強誘電体の構造とダイナミクスの研究, 第 308 回応用セラミックス研究所講演会, 横浜, 2016 年 1 月 8 日. (依頼講演)

(18) 黒岩芳弘, 酸化物強誘電体の極性構造歪みに関する放射光精密構造物性研究, 第 15 回東北大学多元物質科学研究所研究発表会, 仙台, 2015 年 12 月 22 日. (依頼講演)

(19) C. Moriyoshi, Phase Transition and Atom Substitution Effect in Ferroelectric Barium Titanates by Synchrotron X-ray Diffraction, 25th Annual Meeting of Materials Research Society of Japan, Yokohama, December 8-10, 2015. (招待講演)

(20) C. Moriyoshi, Electron Density Study of Ferroelectric Oxides by Synchrotron X-ray Diffraction, 2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2015), Tokyo, November 19-21, 2015. (招待講演)

(21) 黒岩芳弘, 電場印加下の強誘電体構造研究, 日本結晶学会平成 27 年度年会, 堺, 2015 年 10 月 17-18 日. (招待講演)

(22) 大本優, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, BaTiO₃ の分極反転に伴う構造変化の時分割測定, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 吹田, 2015 年 9 月 16-19 日.

(23) 黒岩芳弘, ペロブスカイト型強誘電体の放射光精密構造物性, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋, 2015 年 9 月 13-16 日. (招待講演)

(24) B. Iversen, J. Overgaard, V. Hathwar, M. Sist, C. Lecomte, C. Wilson, Y. Kuroiwa and E. Nishibori, Activities at BL02B1 in PU project 0078, SPring-8 シンポジウム 2015, 福岡, 2015 年 9 月 13-14 日.

(25) 森吉千佳子, チタン酸バリウム系強誘電体の相転移と結晶構造に関する元素置換効果, 名古屋市立大学セミナー, 名古屋, 2015 年 9 月 7 日. (依頼講演)

(26) 黒岩芳弘, ペロブスカイト酸化物強誘電体の電場印加放射光構造物性, 豊田理化学研究所特定課題研究「マルチプローブ融合利用による新奇強誘電体材料の物性解明」, 仙台, 2015 年 7 月 31 日. (依頼講演)

(27) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 岩田真, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, LiTaO₃ の電場下結晶構造解析, 第 32 回強誘電体応用会議 (FMA-32), 京都, 2015 年 5 月 20-23 日.

(28) 森吉千佳子, SPring-8 BL02B2 及び BL02B1 を用いた構造物性研究, TDK 講演会, 市川, 2015 年 3 月 30 日. (依頼講演)

(29) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 藤原明比古, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 共振した水晶振動子の巨大な原子ダイナミク

ス, 日本物理学会第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月 21-24 日.

(30) Y. Kuroiwa, Valence Electron Density Study on Phase Transitions in Perovskite-type Ceramics by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction, Energy Materials Nanotechnology (EMN) Meeting on Ceramics, Orlando, USA, January 26-29, 2015. (招待講演)

(31) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 藤原明比古, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 水晶の MHz 交流電場下でのサブナノ秒時分割構造解析, 第 28 回日本放射光学学会年会, 草津, 2015 年 1 月 10-12 日.

(32) R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, I. Fujii, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada, Large Electric Strain for $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ System Piezoelectric Ceramics with Pseudo Cubic Perovskite Structure, The 6th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Yamanashi, November 9-12(10), 2014.

(33) 森吉千佳子, 放射光を使って圧電体中の結晶格子の動きをキャッチ, 第 21 回山梨エレクトロセラミックスセミナー, 甲府, 2014 年 11 月 4 日. (依頼講演)

(34) 青柳忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 藤原明比古, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 水晶の圧電振動のサブナノ秒時分割構造解析, 日本結晶学会平成 26 年度年会, 東京, 2014 年 11 月 1-3 日.

(35) Y. Kuroiwa, Valence Electron Distributions of Ferroactive ions in Perovskite Oxides and Polar Lattice Distortions, 12th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity, Riga, Latvia, September 29-October 2, 2014. (招待講演)

(34) 引地奈津子, 竹田翔一, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 飯塚涼, 和田智志, 藤井一郎, 強誘電体 $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ の電場印加放射光回折, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月 7-10 日.

(36) R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, I. Fujii, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada, Large Electric Strain for $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ System Piezoelectric Ceramics with Pseudo Cubic Perovskite Structure, International Union of Materials Research Societies, International Conference in Asia 2014 (IUMRS-ICA 2014), Fukuoka, August 24-30, 2014.

(37) N. Hikiji, S. Takeda, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, R. Iizuka, S. Wada and I. Fujii, Intrinsic Contribution to Electric-Field-Induced Strain of $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{-BiFeO}_3$, The Summer

School on Ferroelectricity (Future Ferroelectrics 2014), Higashihiroshima, August 20-22, 2014.

(38) N. Hikiji, S. Takeda, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, R. Iizuka, S. Wada and I. Fujii, Lattice Strain of $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ under Electric Field, 10th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (JKC-FE10), Hiroshima, August 17-20, 2014.

(39) M. Ogino, K. Hirano, Y. Kitanaka, T. Oguchi, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Piezoelectric Properties and Crystal Structures of Ferroelectric $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ Single Crystals, 10th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (JKC-FE10), Hiroshima, August 17-20, 2014.

(40) Y. Kitanaka, K. Hirano, M. Ogino, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Electric-Field-Induced Structural Transition with Octahedral Tilting in $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ -Based Single Crystals, 10th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (JKC-FE10), Hiroshima, August 17-20, 2014.

(41) N. Hikiji, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada, X-ray Diffraction of Ferroelectric $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ under Electric Field, 2014 Japan-Korea Student Workshop, Higashihiroshima, July 11-13, 2014.

(42) 森吉千佳子, 放射光 X 線回折による誘電体結晶の構造とダイナミクス研究, 日本セラミックス協会第 48 回基礎科学部会セミナー, 福山, 2014 年 7 月 10-11 日. (招待講演)

[その他]

ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/xtalphys/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒岩 芳弘 (KUROIWA YOSHIHIRO)
広島大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 40225280

(2) 研究分担者

森吉 千佳子 (MORIYOSHI CHIKAKO)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 00325143

大沢 仁志 (OSAWA HITOSHI)
公益財団法人 高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・研究員
研究者番号: 00443549