

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 4 月 7 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02618

研究課題名(和文) ナノ結晶一粒子に対するマルチスケールX線構造解析システムの開発

研究課題名(英文) Development of a multi-scale X-ray structure analysis system for single nanocrystals

研究代表者

大和田 謙二 (Ohwada, Kenji)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 放射光科学研究センター・グループリーダー

研究者番号：60343935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,600,000円

研究成果の概要(和文)：ナノ結晶一粒子に対するマルチスケールX線構造解析システムの開発を実施した。特に基幹技術であるBragg-CDI法を国内で初導入し共用化まで達成した。本手法では40 nmから500 nmまでのナノ結晶一粒子の3次元構造可視化まで可能であり、精密粉末X線構造解析と組み合わせることで、マルチスケール構造解析を達成した。これにより、ナノ結晶の示すサイズ効果解明へ向けて本質的な議論が可能となった。本手法は他の結晶系へも応用され大きな展開を見せている。本技術の開発とナノ結晶への応用は学会合でも高く評価され受賞対象となったほか、いくつもの学術的会合において招待講演を実施、もしくは実施予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ結晶一粒子の3次元構造を可視化する技術が確立したことで、一粒子のサイズや内部歪、ドメインなどこれまで直接的に観測することが出来なかった構造とナノ結晶の物性と直接関連付けて議論することを可能とした。ナノ結晶の構造物性的理解やその応用に対し革新をもたらすものと期待される。本技術は本計画期間内に共用化(2022年度開始)まで達成し、すでに大学や企業からの問い合わせを受けた。期待の高さがうかがえる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a multi-scale X-ray structure analysis system for a single nanocrystal. In particular, the Bragg-CDI method, which is the core technique, was introduced for the first time in Japan and opened to public use. This method enables visualization of the three-dimensional structure of a single nanocrystal from 40 nm to 500 nm, and achieved multi-scale structural analysis by combining it with precision powder X-ray structural analysis. This made it possible to have an essential discussion toward elucidating the size effect of nanocrystals. This method has been applied to other materials and is showing great progress. The development of this technique and its application to nanocrystals have been highly evaluated and awarded at academic meetings, and invited lectures have been or will be set at several academic meetings.

研究分野：構造物性

キーワード：ナノ結晶 一粒子まるごと計測 コヒーレントX線 ブラッグコヒーレントX線回折イメージング チタン酸バリウム ドメイン 歪み

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

チタン酸バリウム( $\text{BaTiO}_3$ )は積層セラミックコンデンサー (MLCC: MultiLayer Ceramic Condenser)などに広く使われる強誘電体材料であるが、「サイズ効果」が古くから知られ議論されてきた[1]。図1に示すように、 $\text{BaTiO}_3$  ナノ粉末の比誘電率は結晶の平均粒径が小さくなると大きく上昇し(高機能化)ある臨界サイズを超えると急激に減少する。しかし、その臨界サイズや最大誘電率は報告毎に大きくばらつく[1,2]。報告される「ナノ結晶」の物性は通常、大量合成されたナノ結晶集合の平均値である。そこでは粒度分布もあれば、結晶個々の状態も大きく違う。図1に示すような「ドメイン」構造や核(正方晶系)と殻(立方晶系)を結ぶ「構造傾斜領域[1]」等複数の構造が複雑に絡むため、試料作成方法、試料環境、計測方法などにより結果が大きく左右される。このため現在に至っても強誘電体ナノ結晶は各論の域を出ず、高機能化の起源に迫る本質的な議論ができる段階にない。

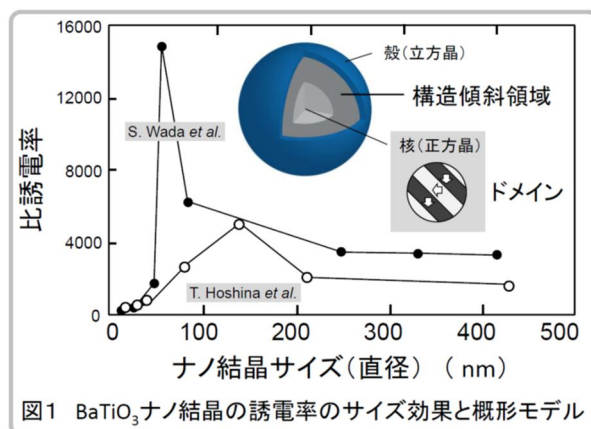


図1  $\text{BaTiO}_3$  ナノ結晶の誘電率のサイズ効果と概形モデル

「ドメイン」構造や核(正方晶系)と殻(立方晶系)を結ぶ「構造傾斜領域[1]」等複数の構造が複雑に絡むため、試料作成方法、試料環境、計測方法などにより結果が大きく左右される。このため現在に至っても強誘電体ナノ結晶は各論の域を出ず、高機能化の起源に迫る本質的な議論ができる段階にない。

一般にナノ結晶においてはバルク結晶とは一線を画する高機能や新機能が発現する[3]。ナノ結晶化による高機能物性の発現メカニズムを解明するには、単位格子内の原子位置だけを調べる従来の粉末構造解析法では不十分である。ナノ結晶一粒子においてサイズや形状、内部の構造(核や殻、構造傾斜領域、ドメイン等)原子配置までを含む「マルチスケール構造」と「物性」を一対一に対応させることができれば「ナノ構造物性」といえる研究分野を格段に進展させることができるが、現在そのような統合的な計測環境は存在しない。

[1] 保科拓也: 日本結晶学会誌 51, 300-305 (2009). [2] S. Wada *et al.*, J. J. Appl. Phys. 42, 6188 (2003). [3] 加藤一実(産総研): 2018年秋日本物理学会シンポジウム。

### 2. 研究の目的

従来の構造解析では欠けていたナノ結晶一粒子のサイズや形状、内部のドメイン等の観察を、コヒーレント X 線を利用したナノ結晶の 3 次元非破壊イメージング技術や最新の情報科学で受け持ち、精密 X 線構造解析技術と統合することで「マルチスケール構造」の計測を達成する。得られた「マルチスケール構造」と別途取得する「物性」を一対一に対応させることにより高機能化の起源に迫る。まずは研究の蓄積と応用が進んでいる強誘電体材料  $\text{BaTiO}_3$  ナノ結晶を主たる対象として開発・研究を行い、「サイズ効果」の議論に決着をつける。しかる後に  $\text{PbTiO}_3$  ナノ島(island) ナノ磁性体等への展開を図り、「ナノ構造物性」を格段に進展させる。

### 3. 研究の方法

本申請で用いるナノ結晶の 3 次元非破壊イメージング技術は、ブラッグ回折を利用したコヒーレント X 線回折イメージング(Bragg-CDI)法[4]であり、本申請において国内で本格的に導入する。ブラッグ反射は結晶内部の原子配列に極めて敏感であるため、ナノ結晶内部の構造傾斜領域やドメイン分布に起因する原子配列の変化を位相変化として明瞭に検出する事が可能となる。あるブラッグ反射に注目し、試料をわずかに回転させるだけで結晶の概形情報を含むコヒーレント X 線回折データを 3 次元的に取得し、位相回復計算を行うことでナノ結晶の内部構造も含めた 3 次元実像を取得できる。

[4] I. Robinson *et al.*, Nature Materials. 8, 291-298 (2009).

### 4. 研究成果

まず、当初計画からの変更点を述べたうえで、得られた主な成果について紹介する。原著論文の公表のほか、学会での講演、研究会での招待講演等を行った。主な発表論文等では挙げられないが、本研究代表者が指導する量研の研究員が関連技術開発とその応用に関する発表で受賞するなど、関連研究分野における本手法への期待は高まりつつある。コロナ禍の影響で 2022 年度まで延期となってしまったが、国際会議 ISFD-15 (15th International Symposium on Ferroic Domains & Micro- to Nano-scopic Structures (ISFD-15)、8/28-31 開催予定)にて招待講演を行うことは計画期間内に決定している。また、計画期間内の登録には間に合わなかったため本報告対象外ではあるが、本実験要素技術の一部において、特許仮出願(特願 2022-090513「ナノ粒子の非破壊内部観察方法(仮)」、本報告執筆時点)を行っていることを附記しておく。

(1) 当初計画からの変更点

当初 100 nm を下限としていた Bragg-CDI 法による一粒子計測サイズであるが、40 nm 級の良質な結晶が得られるようになってきたこと、また 100 nm 級結晶のイメージングを実施する中で 40 nm 級でも可能であるとの感触を得たため、40 nm まで拡大した。これによりサイズ効果をより詳細に調べることが可能になった。

位相回復計算においてはスパースモデリングを導入する予定であったが、GPU を用いた計算並列化に加え、段階的なサポート更新を行う Shrink-wrap 法が有効であったため、期間内はこちらの整備に注力した。

ナノ結晶の単一粒子構造解析を実施するよりも粉末 X 線構造解析にて平均構造を得る方がナノ結晶の場合精度が高いことが判明した。ナノ結晶では相転移等に伴うピークスプリットが不鮮明であり、ピーク分離が極めて難しいことが判明した。このため複数相共存状態が解析可能な精密粉末 X 線構造解析の方がより確かな平均原子配列を得ることが出来ると判断した。そこで、まず精密粉末 X 線構造解析で基本情報を得、その中から抽出された複数粒子に対して Bragg-CDI 法を適用し、最終的に構造情報を統合化するという手法を確立した。

物性計測は我々の Bragg-CDI 法で用いた試料チップをそのまま搭載可能な準弾性光散乱による誘電物性計測を実施することとした。R3 年度後半から実証実験を開始した。

ナノ島、ナノ磁性体等基板上に作成されたナノ結晶は基板の影響で大きく歪んでおり、Bragg-CDI 法の適用が現状では難しいことが判明したため、まずは孤立粒子系を対象として展開することとした。

(2) Bragg-CDI 法の国内初導入と高度化

Bragg-CDI 法は米国 Advanced Photon Source 等海外の放射光実験施設で先行して導入された技術であるが、日本国内で実施できる施設は存在しなかった。そこで我々は本申請において大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL22XU に設置する大型 X 線回折計をベースに Bragg-CDI 専用装置を構築することを計画した。システムとして完成し広く一般に開放できるところまでを目標とした。本計画の事前準備として 2018 年末までには Bragg-CDI が実施可能であるとの感触を得ていたため、本計画がスタートした 2019 年度中には精密試料位置制御装置一式を導入して大型回折計に実装し 300 nm 級ナノ結晶試料の 3 次元構造可視化に成功した [K. Ohwada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SLLA05 (2019)]. 図 2 に基本的な実験概要を示す。基板上に固定された微小結晶一粒子に対しコヒーレント X 線を照射し、試料を ±1 度程度回転させて回折 X 線を 3 次元的に収集。位相回復計算 (Hybrid Input Output 法と Error Reduction 法の併用) を行って歪等内部構造を含む試料形状を回復する。基板は X 線コヒーレンスを乱さない窒化シリコン薄膜が主であるが、この形態がアモルファスか結晶かが重要な局面が出てきた (後述)。また試料の事前調整において高分解能の顕微鏡が必要であることから、キーエンスのデジタル光学顕微鏡 VHX-7000 を導入 (共同購入) し、実験前後においてナノ結晶試料の特定が可能となった (300 nm 級以上)。

ここにおいて、次の課題が見えてきた。

初期の成果を得る中で、暫定的ではあるが 100 nm 級結晶のイメージングが可能である感触を得た。データの解析を行う過程において、バックグラウンドの低減が解析の高品質化に非常に重要であることが判明した。このことはシミュレーションでも確認した。今後計測粒子サイズを小さくしてゆくためには、極めて弱いシグナルを S/N 比良く計測する必要がある。

今後の展開や共用化を考えると、試料調整方法の規格化が必要である。

実験を行うその場で像回復を行い、試料形状を調べたいが、シングルコアの計算では時間がかかりすぎるため、並列化が必要である。

実空間拘束条件の高度化が必要である。

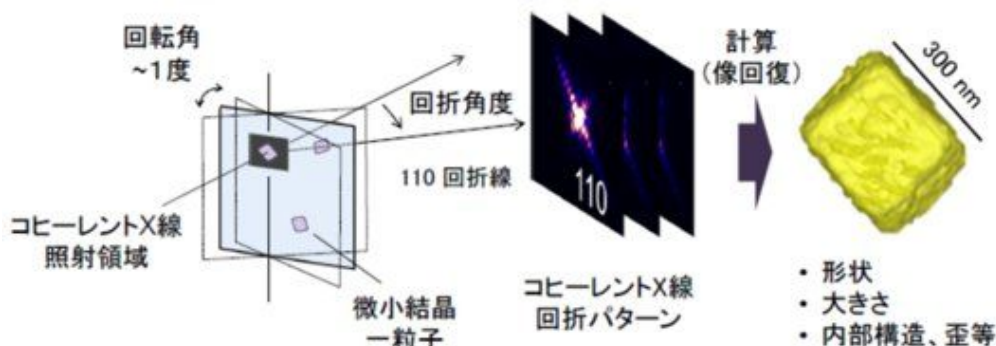


図 2 : Bragg-CDI 実験概要図

以上の課題に対して、我々は次の対策を講じた。

計測上の主なノイズ源は空気散乱と基板からの散乱である。前者は試料を真空チャンバ

ー内に設置することで、後者は単結晶の窒化シリコン薄膜基板を用いることで、バックグラウンドレベルを低減した。特に後者において、アモルファス基板との違いは大きく、100 nm を突破する一つの鍵となった。

市販の電顕用メンブレングリッドや窒化シリコン薄膜を利用できるように、試料ホルダーの改良を行った。

位相回復計算のプログラムを GPU 対応化し、計算機に GPU (NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti、メモリ 11GB) を導入した。これにより従来の 1/50 以下の時間短縮を達成した。

Shrink-wrap 法を導入した。これは と連動している。実空間拘束条件をアップデート (サポート更新) しながら位相回復計算を繰り返すため、1 回の計算の短時間化が鍵であった。

これにより、本申請者らは 100 nm を超えて 40 nm 級 (今回は Pd 結晶) までのナノ結晶のイメージングに成功した [N. Oshime *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, SFFA07 (2021)]。これにより我々は 40 nm 級から 500 nm 級のナノ結晶においてその 1 粒子の 3 次元構造を詳細に調べることが可能となり、ナノ結晶特有のサイズ効果を調べるための強力な実験手段を手にした。尚、40 nm 級結晶では試料のドリフトを抑えるために金蒸着を実施し、固定した。これら一連の開発成果を「コヒーレント X 線回折を利用したナノ結晶の 3 次元イメージング」というタイトルにて第 38 回強誘電体会議 (2021 年実施) において論文発表したところ、本研究代表者が指導した現量研研究員 (受賞当時は博士研究員) の押目典宏氏が優秀発表賞を受賞した。本会議は基礎から応用、学術関係者から企業関係者まで幅広い分野の研究者が集う国内最大規模の誘電体関係の会議であり、受賞は、広範な研究開発分野から期待と支持を得た結果であると考えられる。

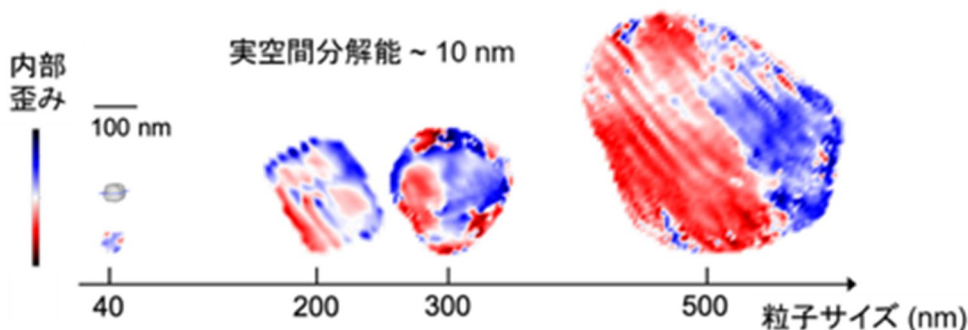


図 3 : 40 nm から 500 nm までの粒子の位相 (歪) 断面図

これにより別途実施される粉末 X 線構造解析とあわせることにより 40 nm-500 nm 結晶に対する系統的なマルチスケール構造計測を達成し、サイズ効果を直接的に議論する情報を得ることが出来るようになった (論文投稿準備中)。

### (3) 展開、Bragg-CDI 法の共用化

他の試料への展開としては Pd 金属の水素化過程の観察、 $\text{PbVO}_3$  系負熱膨張材料 ( $\text{Pb}_{0.72}\text{Sr}_{0.18}\text{VO}_3$ ) の 3 次元ドメイン観察 (論文投稿中) 等にすでに適用され、成果が出始めている。また、Bragg-CDI 法では一粒子の中に閉じ込められたドメインの境界 (ドメイン壁) を調べることが可能である。このことにつき、ペロブスカイト型結晶の 90 度ドメイン構造に関してコヒーレント X 線回折パターンをシミュレーションするコードを開発し、ドメイン壁の厚みなどを議論することを可能とした [K. Ohwada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, SFFA05 (2021)]。このコードは  $\text{BaTiO}_3$  ナノ結晶のドメイン構造やドメイン壁の振舞いの理解に欠かせない (論文投稿中)。また、本装置は 2022 年度から ARIM 事業で「コヒーレント X 線回折イメージング装置」として登録され施設共用が開始された。つまり、本研究課題で掲げた共用化を達成した。すでにいくつかの大学や企業から問い合わせをいただいております、産学双方からの発展が期待される。

### (4) 今後

構造と物性の関係を明らかにするという観点から温度変化実験は必須である。我々は電子顕微鏡の技術をベースに、すでにその取り組みを開始している。温度変化は一粒子の構造物性を理解する上で非常に多くの情報を提供してくれるものと期待している。また、一粒子の物性を計測するという点では、我々は準弾性光散乱による誘電物性計測の取り組みを開始し、 $\text{BaTiO}_3$  標準試料 (株式会社堺化学工業製、500 nm、300 nm、100 nm) において、現時点では複数粒子の平均という形にはなるが、計画期間内に誘電率の粒径依存性を得ることが出来た。単一粒子の計測についてはもう少し装置の改良が必要である。位相回復計算の高度化については、計画期間内は Shrink-wrap の導入に傾注したが、現行の解析で行きつくところまで行きついたため、次はいよいよ情報科学を用いた実空間拘束条件の導入に向か

いたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Oshime Norihiro, Ohwada Kenji, Sugawara Kento, Abe Tomohiro, Yamauchi Reiji, Ueno Tetsuro, Machida Akihiko, Watanuki Tetsu, Ueno Shintaro, Fujii Ichiro, Wada Satoshi, Sato Ryota, Teranishi Toshiharu, Yamauchi Miho, Ishii Kenji, Toyokawa Hidenori, Momma Koichi, Kuroiwa Yoshihiro	4. 巻 60
2. 論文標題 Bragg coherent diffraction imaging allowing simultaneous retrieval of three-dimensional shape and strain distribution for 40-500 nm particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFA07 ~ SFFA07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac148b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohwada Kenji, Namikawa Kazumichi	4. 巻 60
2. 論文標題 Observation of 90° domain walls in relaxor ferroelectrics PMN-28.6%PT by focusing upon the CTR scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFA05 ~ SFFA05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac0df7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanagawa Akari, Fujii Yasuhiro, Ohwada Kenji, Akishige Yukikuni, Tsukada Shinya	4. 巻 60
2. 論文標題 Morphotropic phase boundaries of (1-x)Pb(Zn1/3Nb2/3)O3-xPbTiO3 probed by Raman spectroscopy at high temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFA04 ~ SFFA04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac0c6d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohwada Kenji, Sugawara Kento, Abe Tomohiro, Ueno Tetsuro, Machida Akihiko, Watanuki Tetsu, Ueno Shintaro, Fujii Ichiro, Wada Satoshi, Kuroiwa Yoshihiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Development of an apparatus for Bragg coherent X-ray diffraction imaging, and its application to the three dimensional imaging of BaTiO3 nano-crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SLLA05 ~ SLLA05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab38dd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nanikawa K., Ishino M., Matsushita M., Ohwada K., Kishimoto M., Mizuki J., Hasegawa N., Nishikino M.	4. 巻 100
2. 論文標題 Mesoscopic hierarchic polarization structure in the relaxor ferroelectrics Pb[(Mg <sup>1</sup> /3Nb <sup>2</sup> /3) <sup>1-x</sup> Tix]O <sub>3</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184110/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.184110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsukada Shinya, Ohwada Kenji, Kojima Seiji, Akishige Yukikuni	4. 巻 89
2. 論文標題 Local Linear Coupling between Polarization and Strain in KF-substituted Barium Titanate Crystals Probed by Brillouin Scattering and Dielectric Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124702 ~ 124702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.124702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 押目 典宏, 大和田 謙二, 菅原 健人, 島田 歩, 安部友啓, 山内礼士, 上野 哲朗, 町田 晃彦, 綿貫 徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 佐藤良太, 寺西利治, 山内美穂, 石井 賢司, 豊川 秀訓, 黒岩芳弘
2. 発表標題 BraggコヒーレントX線回折を用いたPd水素化物ナノ結晶の3次元イメージング
3. 学会等名 日本物理学会2022年年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 押目 典宏, 大和田 謙二, 菅原 健人, 安部 友啓, 山内 礼士, 上野 哲朗, 町田 晃彦, 綿貫 徹, 石井 賢司, 上野 慎太郎, 藤井 一郎, 和田 智志, 佐藤 良太, 寺西 利治, 山内 美穂, 豊川 秀訓, 黒岩 芳弘
2. 発表標題 Bragg コヒーレントX線回折を用いたナノ結晶の外形、歪分布のイメージング
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 押目 典宏 , 大和田 謙二 , 菅原 健人 , 安部友啓 , 山内礼士 , 上野 哲朗 , 町田 晃彦 , 綿貫 徹 , 上野慎太郎 , 藤井一郎 , 和田智志 , 黒岩芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折を利用したナノ結晶の3次元イメージング
3. 学会等名 第38回強誘電体会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大和田 謙二 , 並河 一道
2. 発表標題 CTR散乱に注目したリラクサー強誘電体70%Pb(Mg1/3Nb2/3)O3-30%PbTiO3 (PMN-30%PT)の90度ドメイン境界の観察
3. 学会等名 第38回強誘電体会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oshime Norihiro , Owada Kenji , Sugawara Kento , Ueno Tetsuro , Machida Akihiko , Watanuki Tetsu , Ishii Kenji , Toyokawa Hidenori , Kuroiwa Yoshihiro
2. 発表標題 Development and improvement of Bragg coherent diffraction imaging for expanding observable particle-size range
3. 学会等名 Twenty-Fifth Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大和田謙二
2. 発表標題 Bragg-CDI法による結晶ナノ粒子の観察
3. 学会等名 令和3年度文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 JAEA & QST微細構造解析プラットフォーム合同地域セミナー 最新の電子状態・表面反応・結晶構造解析-
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 大和田謙二, 菅原健人, 安部友啓, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 黒岩芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折を利用したBaTiO <sub>3</sub> ナノ結晶の3次元イメージングII
3. 学会等名 第37回強誘電体応用会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大和田謙二
2. 発表標題 コヒーレントX線を利用したナノ結晶の構造解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第63回シンポジウム「顕微鏡オンラインフォーラム2020」共催セッション「微細構造解析プラットフォーム特別講演会(成果事例報告)」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大和田 謙二, 菅原 健人, 安部 友啓, 町田 晃彦, 綿貫 徹, 上野 慎太郎, 藤井 一郎, 和田 智志, 黒岩 芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折を利用したBaTiO <sub>3</sub> ナノ結晶の3次元イメージング
3. 学会等名 第36回強誘電体応用会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大和田 謙二
2. 発表標題 放射光・中性子散乱を利用した誘電体の構造・ダイナミクス研究 バルク、境界、単一粒子
3. 学会等名 第6回 大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム-物質構造の階層性とフォノン物性の理解-(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大和田謙二
2. 発表標題 コヒーレントX線回折によるBaTiO <sub>3</sub> ナノ結晶の3次元イメージング
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所共同利用・共同研究ワークショップ「強誘電体関連物質の機能発言に関する構造科学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大和田謙二, 菅原健人, 安部友啓, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 黒岩芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折を利用したBaTiO <sub>3</sub> ナノ結晶の3次元イメージング
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>QST放射光科学センター・コヒーレントX線利用研究グループ  <a href="https://www.qst.go.jp/site/kansai-sr/20490.html">https://www.qst.go.jp/site/kansai-sr/20490.html</a></p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	黒岩 芳弘  (Kuroiwa Yoshihiro)  (40225280)	広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授    (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山崎 裕一  (Yamasaki Yuichi)  (70571610)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・統合型材料開発・情報基盤部門・主任研究員    (82108)	
研究分担者	菅原 健人  (Sugawara)  (80831304)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 放射光科学研究センター・技術員    (82502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関