

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K05252

研究課題名（和文）角度分解偏光ラマン分光の多変量解析 - リラクサー強誘電体に潜む不均一性の解明

研究課題名（英文）Multivariate analysis of angle-resolved polarized Raman spectroscopy - inhomogeneity in relaxor ferroelectrics

研究代表者

塚田 真也 (Tsukada, Shinya)

島根大学・学術研究院教育学系・准教授

研究者番号：90570531

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：結晶の構造やダイナミクスを調べることができる「角度分解偏光ラマン分光法」に多変量曲線分解を適用して、データの情報を落とすことなく簡便に解析する手法を確立した。そして、リラクサー強誘電体の角度分解偏光ラマンスペクトルを種々の条件で大量に取得し、多変量曲線分解を用いてそれぞれを比較することにより、相境界における大きな電場応答の機序を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

角度分解偏光ラマン顕微鏡の開発と解析手法の発展により、これまでのラマンマッピングの情報に偏光の情報が付与され、物質の性質をより深く知ることができるようになった。この新しい光計測で明らかにしたリラクサー強誘電体の巨大電場応答のメカニズムを基に強誘電体の性能が上がれば、「超音波検出感度向上による超音波画像の改善」や「強力超音波発生による診断装置の小型化」など、次世代の超音波診断装置開発に役に立つと考えている。

研究成果の概要（英文）：We established a straightforward method for analyzing data without loss of information by applying multivariate curve resolution to angle-resolved polarized Raman spectroscopy, which can investigate the structure and dynamics of crystals. Using this method, we obtained angle-resolved polarized Raman spectra of relaxor ferroelectrics under various conditions and elucidated the large electric field response mechanism at phase boundaries.

研究分野：物性物理学

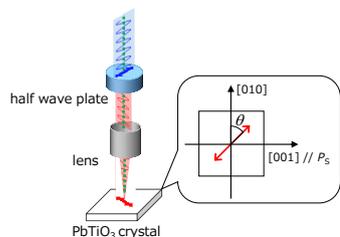
キーワード：誘電体 ラマン分光法 相転移 構造物性 多変量解析

1. 研究開始当初の背景

角度分解ラマン分光法の有用性と問題点

ラマン分光において、強度のデータは定性的に扱われてきた。しかし、「角度分解偏光ラマン分光法」は、結晶試料において1点から光の偏光方向(θ)を変えた大量のスペクトルを取得することができて、強度の θ 依存性から分極率を定量的に議論できる。図1に概略図を載せる。この手法を用いることで、図1(b)のようなラマンスペクトルの偏光角度依存性が得られ、物質の格子ダイナミクスだけでなく、結晶点群のような構造情報や格子振動の振動変位パターンの情報が得られ、従来のラマン分光法で得られる情報の質が格段に上がる。しかし、研究開始時である2019年時点では、大量のラマンスペクトルの解析が困難であり、頻繁に活用できる状況になかった。角度分解偏光ラマン分光法に簡便な解析手法が加われば、1つの試料から位置(x, y, z)や時間(t)、温度(T)といった条件を変えながら豊富な情報を取得できるため、分域構造を含む物質の不均一性の評価や相転移に付随するソフトモードの観測に役に立つと考えた。

(a) 偏光回転の機構と偏光角度と結晶軸の関係



(b) スペクトルの偏光角度依存性

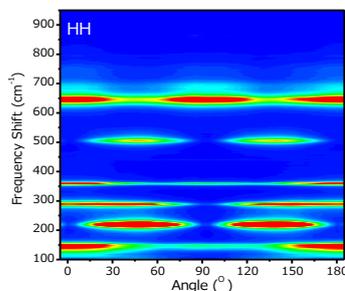


図1. (a) 偏光回転の概略図。2分の1波長板を用いて偏光角度 θ を変える。(b) 異なる θ で取得されたPbTiO₃のラマンスペクトル。

リラクサー強誘電体：複数の不均一構造が存在する物質

強誘電体に関わる応用物理学の分野では、本質的な不均一性を有している鉛系リラクサーと通常の強誘電体の固溶体である「鉛系リラクサー強誘電体」が非常に大きな電場応答(=誘電率や圧電定数が非常に大きい性質)を示すため、その分極のダイナミクスが大変注目を集めている。図2に鉛系リラクサー強誘電体の温度変化に伴う不均一な構造の変化を示す。Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃やPb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃といった物質系では、ペロブスカイト構造ABO₃のBサイトが部分的に配列している化学的秩序領域(Cheical Ordered Region: COR)や常誘電相の強誘電相関領域である極性ナノ領域(Polar Nano Region: PNR)といった平均構造とは異なる領域が重要な役割を果たしていることが分かっており、それら不均一構造が位置や温度とともにどのように変化し巨視的な性質に結びついているか明らかにすることが望まれている。つまり、「不均一な構造の解明」と「不均一な構造が巨視的な性質に与える影響の解明」がリラクサーで観られる諸現象を理解するために必要となる。そこで、温度変化によって結晶格子の振動がどのように変化するか調べるためにラマン

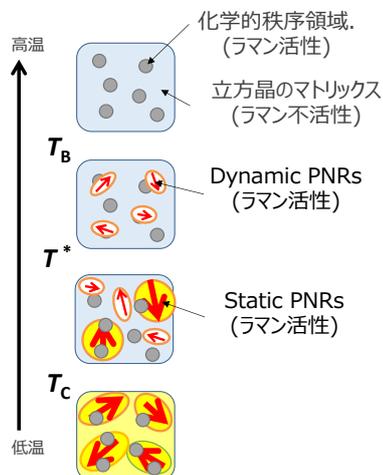


図2. リラクサー強誘電体に観られる、不均一な構造の温度変化。

散乱測定がなされてきた。しかし、リラクサー強誘電体のラマンスペクトルは、平均構造や不均一な構造に由来する複数の結晶構造からの光散乱が混在しているために解釈が定まらず、実験手法の進展が望まれている状況にあった。

2. 研究の目的

角度分解偏光ラマン分光法に多変量曲線分解を適用して、データの情報を落とすことなく簡便に解析する手法を確立する。そして、リラクサー強誘電体の角度分解偏光ラマンスペクトルを種々の条件で取得し、大きな電場応答の機序を明らかにする。

3. 研究の方法

角度分解偏光ラマン分光法における多変量解析

(S. Tsukada and Y. Fujii, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SKKA03 (2020).)

角度分解偏光ラマン分光法で得られるデータは、図 3(a)のようにスペクトルを偏光角度 θ ごとに並べた等高線図である。定性的には等高線図とラマンテンソルから計算で得られるピーク強度の偏光角度依存性を比較すれば、各ピークのモードを同定できる。しかし、異なる結晶試料や温度を変化させてスペクトルを取得する場合には、等高線図が多数得られるため、等高線図同士の比較が非常に難しい。そこで、様々な試料や偏光角度、温度・電圧下で取得する大量のスペクトルから、物質に関わる情報を省くことなく効率的に解析する手法が求められる。その 1 つの解決法に(等高線図を作る際に用いる)行列の分解がある。行列を分解するにあたり多変量解析で標準的に用いられている主成分分析や特異値分解は純粋な数学的操作なので負の光散乱強度が現れることがあり、実験結果の解釈に向いていない。そこで、得られる行列の成分が負にならないように制約を課して行列を分解することができる(交互最小二乗)多変量曲線分解が有用である。

多変量曲線分解の概略を図 3 に示す。データ行列 $M(m \times n$ 行列)を主要スペクトル $W(m \times k$ 行列)と角度プロファイル $H(k \times m$ 行列)に分けて、最小二乗法により残差 $E(m \times n$ 行列)を小さくなるよう W と H を決定する。図 3(a)の等高線図は、 4027×39 行列の M に対応している。この M の行列を分解した結果、 4027×3 行列で表される 3 本の主要スペクトル W と 3×39 行列で表される 3 本の角度プロファイル H に分解された。つまり、等高線図の特徴を W と H の 6 つにまとめることができ、他の等高線図との比較が容易になった。

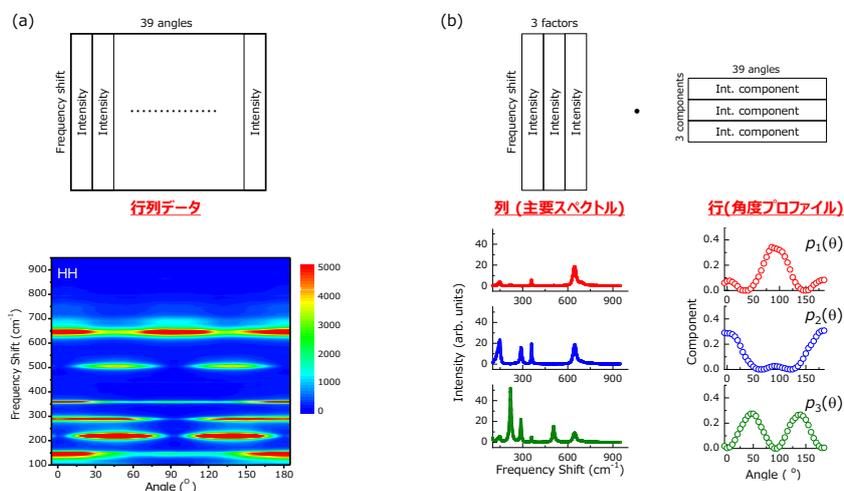


図 3. (a) 角度分解偏光ラマン分光で得られるデータ行列。(b) 3 成分で多変量曲線分解を実行した結果。3 つの主要スペクトルと 3 つの角度プロファイルに分解された。

4. 研究成果

4.1 (1-x)Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-xPbTiO₃ 結晶(PZN-100xPT)からの角度分解偏光ラマン分光 (A. Kanagawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **60**, SFFA04 (2021).)

Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ と PbTiO₃ の固溶体である (1-x)Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-xPbTiO₃ (PZN-100xPT)における相図では、高温の常誘電相はどの組成も同一の立方晶の平均構造 ($Pm\bar{3}m$: ラマン不活性)を示し、低温の強誘電相では組成により菱面体晶($R3m$: ラマン活性)や正方晶($P4mm$: ラマン活性)の平均構造を示す。強誘電相でラマン散乱測定を行うと、COR($Fm\bar{3}m$: ラマン活性)や PNR($R3m$: ラマン活性)・平均構造(ラマン活性)とそれぞれの結晶構造からのラマン散乱が重なるため、議論することが難しい。そこで、800 K において 6 つの x で角度分解偏光ラマン散乱測定を行って 6 つの等高線図を作成し、それらを多変量曲線分解して比較した。

5 組成における角度分解偏光ラマンスペクトルを多変量曲線分解の結果と合わせて図 4 に示す。ここで等高線図同士の比較は難しいので、多変量曲線分解で得られた 4 つの特徴を比較する。それぞれの組成において $\rho_1(\theta)$ と $\rho_2(\theta)$ が同様であることが分かる。 $I_1(\nu)$ と $I_2(\nu)$ に関しては、各組成で同様のスペクトル形状を取るが強度が大きく変化していることが分かる。ここで、 $I_1(\nu)$ よりも COR からの $I_2(\nu)$ の強度が大きく支配的である。 $I_2(\nu)$ は $x \sim 0.07$ で強度が大きくなった。これは、COR の振動振幅が大きくなっていることを示唆している。室温において、誘電率や圧電定数が $x \sim 0.07$ で大きくなるが、常誘電相においてもこの傾向が残り、COR 内のイオンが大きく揺らいでいると解釈している。

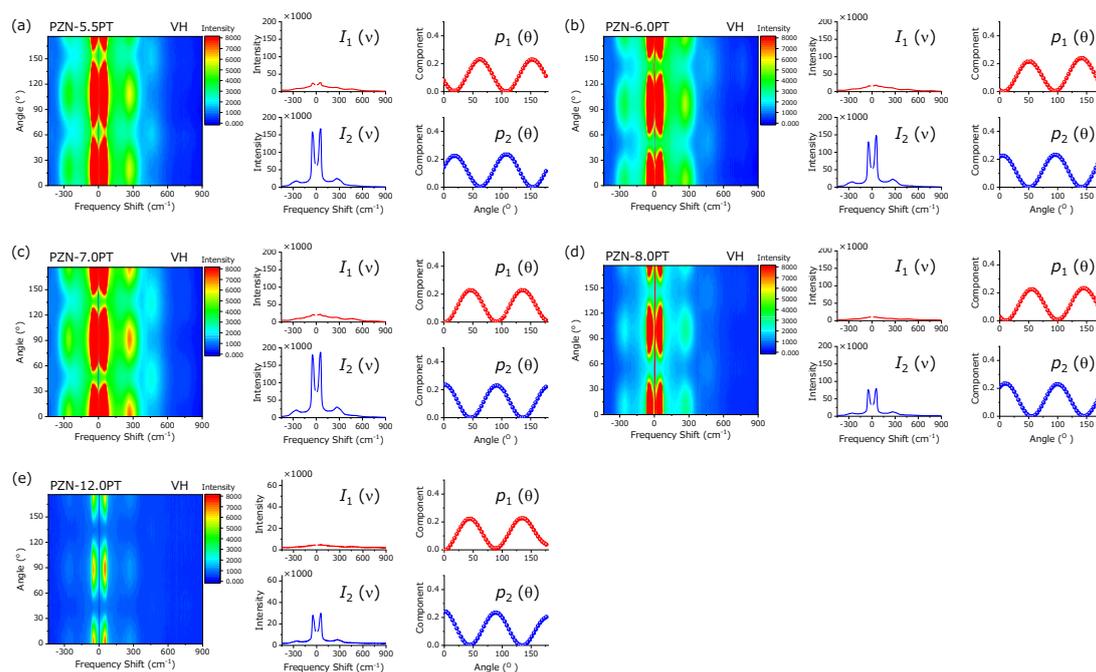


図 4.5 組成における角度分解偏光ラマンスペクトルと多変量曲線分解の結果。

以上のように、多変量曲線分解を角度分解偏光ラマンスペクトルの解析に活用して、角度分解偏光ラマンスペクトルの等高線図を容易に比較することが可能となり、リラクサー強誘電体の不均一性、特に COR の振動の振幅について知見を得た。

4.2 組成傾斜リラクサー強誘電体結晶からの角度分解偏光ラマンマッピング

(S. Tsukada, et al., Commun. Phys. **60**, SFFA04 (2023).)

$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ と PbTiO_3 の混合比率が誘電性に与える影響を詳しく調べるために、図 5 のように混合比率を連続的に変化させながら育成した $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ 結晶結晶を使って、 x , y (観測座標)を変えながら角度分解偏光ラマンスペクトルを取得する「角度分解偏光ラマンマッピング」を行った。

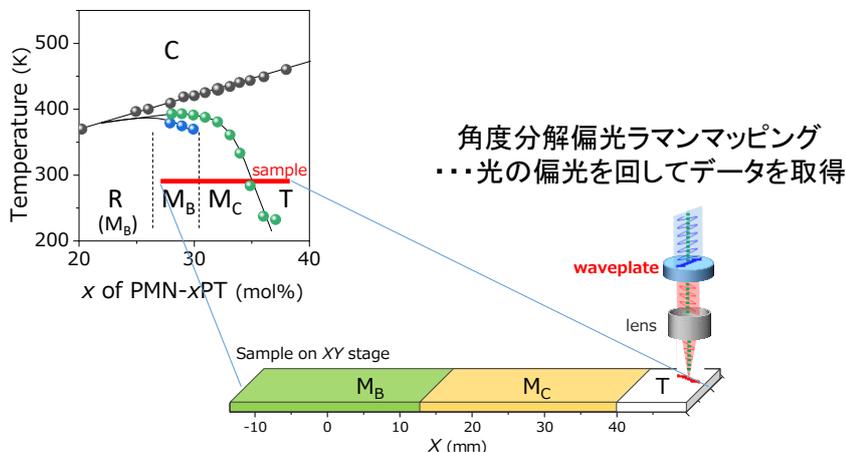


図 5. 組成傾斜を有する $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 結晶に、光の偏光方向を制御しながら光を当てる位置を変える角度分解偏光ラマンマッピングの概略図。

大量のスペクトルを含む角度分解偏光ラマンマップを多変量曲線分解で処理することで、強誘電体の分極情報を情報科学に基づいて正確かつ効率的に抽出できた。その結果、従来手法では困難であった、結晶内における分極の配置やナノメートルサイズに分極領域の揺れる速さを場所ごとに決めることができ、図 6 のように分極が揺れる速さを様々な混合比率 x で比較したところ、「ナノメートルサイズに分極領域がゆっくりと揺れる混合比率で、誘電率が大きくなる」ことが明らかになった。これは、「大きくてゆっくりと揺れる分極を物質内に創れば高性能化するであろう」という材料開発における重要な指針を含んでいる。

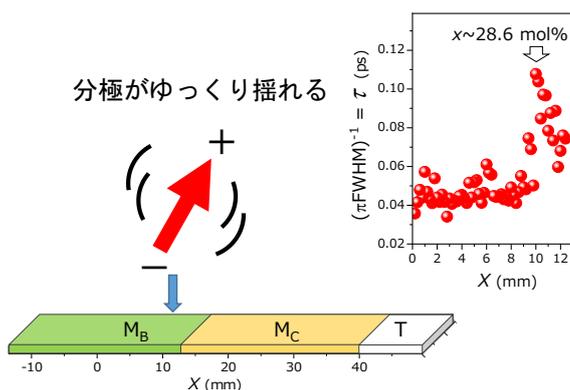


図 6. 静的 PNR の緩和時間が場所によって変化する様子。誘電率が大きくなる混合比率($X = 10$ mm の場所)でゆっくり揺れることが分かった。

角度分解偏光ラマン顕微鏡の開発と解析手法の発展により、これまでのラマンマッピングの情報に偏光の情報が付与され、物質の性質をより深く知ることができるようになった。この新しい光計測で明らかにしたメカニズムを基に、リラクサー強誘電体の性能が上がれば、「超音波検出感度向上による超音波画像の改善」や「強力超音波発生による診断装置の小型化」など、次世代の超音波診断装置開発に役に立つと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tsukada Shinya, Kanagawa Akari, Ohwada Kenji	4. 巻 62
2. 論文標題 Temperature-gradient investigation of phase transitions in ferroelectrics using cooling and heating stage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 106501 ~ 106501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acf908	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 Oshime Norihiro, Ohwada Kenji, Machida Akihiko, Fukushima Nagise, Shirakawa Kosuke, Ueno Shintaro, Fujii Ichiro, Wada Satoshi, Sugawara Kento, Shimada Ayumu, Ueno Tetsuro, Watanuki Tetsu, Ishii Kenji, Toyokawa Hidenori, Momma Koichi, Kim Sangwook, Tsukada Shinya, Kuroiwa Yoshihiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Lattice strain visualization inside a 400 nm single grain of BaTiO ₃ in polycrystalline ceramics by Bragg coherent X-ray diffraction imaging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SM1022 ~ SM1022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ace832	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, Fujii Yasuhiro, Kanagawa Akari, Akishige Yukikuni, Ohwada Kenji	4. 巻 6
2. 論文標題 Polarization behavior in a compositionally graded relaxor?ferroelectric crystal visualized by angle-resolved polarized Raman mapping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-023-01219-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Miyazaki Hidetoshi, Yamashita Yosuke, Tsuji Takeshi, Yeh Wenchang, Tsukada Shinya	4. 巻 49
2. 論文標題 Improvement of dielectric and ferroelectric properties by laser sintering of pulsed EPD BaTiO ₃ films	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 12745 ~ 12749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2022.12.139	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 塚田真也, 宮崎英敏	4. 巻 57
2. 論文標題 ラマン分光法による強誘電体の評価-準弾性光散乱に注目して-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 609-613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 N. Oshime, K. Ohwada, A. Machida, N. Fukushima, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, K. Sugawara, A. Shimada, T. Ueno, T. Watanuki, K. Ishii, H. Toyokawa, K. Momma, S. Kim, S. Tsukada, and Y. Kuroiwa	4. 巻 61
2. 論文標題 The ferroelectric phase transition in a 500 nm sized single particle of BaTiO ₃ tracked by coherent X-ray diffraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac7d94	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 H. Miyazaki, Y. Yamashita, T. Tsuji, W. Yeh, and S. Tsukada	4. 巻 49
2. 論文標題 Improvement of dielectric and ferroelectric properties by laser sintering of pulsed EPD BaTiO ₃ films-	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 12745-12749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2022.12.139	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(Zn _{1/3} Nb _{2/3}) ₀ ₃ -xPbTiO ₃ 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 Miyazaki Hidetoshi, Yamashita Yosuke, Yamada Katsumi, Kubota Takeshi, Omata Kohji, Tsukada Shinya	4. 巻 272
2. 論文標題 Lowering BaTi ₂ O ₅ Curie temperature by Sr facile hydrothermal ion-exchange while retaining the original particle morphology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 125037 ~ 125037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchemphys.2021.125037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 塚田真也	4. 巻 33
2. 論文標題 角度分解偏光ラマン分光と多変量曲線分解 ~ 強誘電体結晶、チタン酸鉛を例に ~	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 超音波テクノ	6. 最初と最後の頁 84-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Miyazaki Hidetoshi, Yamada Katsumi, Kitano Yuta, Makinose Yuki, Kubota Takeshi, Omata Kohji, Tsukada Shinya	4. 巻 129
2. 論文標題 Synthesis of Sr substituted BaTi ₃ nanoparticles by hydrothermal treatments with maintaining the source material form and particle size	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 143 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/JCERSJ2.20196	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 Kitahara Kuninori, Tsukada Shinya, Kanagawa Akari, Hara Akito	4. 巻 60
2. 論文標題 Raman scattering spectroscopy for solid-phase and metal-induced crystallization of extremely thin germanium films on glass	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 035505 ~ 035505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ABE2B7	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 -

1. 著者名 Yamada Katsumi, Miyazaki Hidetoshi, Tsukada Shinya	4. 巻 46
2. 論文標題 Synthesis of ferroelectric BaTi205 nanoparticles via modifying peroxopolytitanic acid solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 23232 ~ 23235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.CERAMINT.2020.06.107	査読の有無 無
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, Fujii Yasuhiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Multivariate curve resolution for angle-resolved polarized Raman spectroscopy of ferroelectric crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKA03 ~ SKKA03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab78e8	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 S. Kojima, Y. Hidaka, S. Tsukada, Y. Bing, Z.-G. Ye	4. 巻 556
2. 論文標題 Brillouin Scattering Studies of Ordered Pb(Sc _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ Crystal with Vacancies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ferroelectrics	6. 最初と最後の頁 44-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00150193.2020.1713341	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 該当する

1. 著者名 S. Tsukada and Y. Fujii	4. 巻 40
2. 論文標題 Multivariate Curve Resolution for Angle-resolved polarized Raman Spectroscopy of Ferroelectrics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Symposium on Symposium on Ultrasonic Electronics	6. 最初と最後の頁 1J3-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 塚田真也, 大和田謙二	4. 巻 32
2. 論文標題 Pb(In ₁ /2Nb ₁ /2)O ₃ におけるIn/Nbのイオン配列と不均一性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 209-216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 M.M. Rahaman, S. Tsukada, S. Svirskas, J. Banys, and S. Kojima	4. 巻 538
2. 論文標題 Vibrational Dynamics of Ferroelectric K(Ta _{1-x} Nb _x)O ₃ Studied by Inelastic Light Scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ferroelectrics	6. 最初と最後の頁 96-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00150193.2019.1569991	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 該当する

1. 著者名 B. Aryal, D. Morikawa, K. Tsuda, S. Tsukada, Y. Akishige, and M. Terauchi	4. 巻 3
2. 論文標題 Electron diffraction study of crystal structures of (Sr _{1-x} Ba _x) ₂ Nb ₂ O ₇	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 44405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.044405	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40件(うち招待講演 8件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 町田晃彦, 福島凧世, 白川皓介, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 菅原健人, 島田歩, 上野哲朗, 綿貫徹, 石井賢司, 豊川秀訓, 門馬綱一, Kim Sangwook, 塚田真也, 黒岩芳弘
2. 発表標題 BraggコヒーレントX線回折イメージング法による数十 - 数百nmサイズ結晶一粒子の非破壊観察
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shinya Tsukada, Yasuhiro Fujii, Hidehiro Ohwa, Kenji Ohwada
2. 発表標題 Raman Spectroscopy Study on the Relationship between B-Site Arrangement and Relax or Antiferroelectric Behavior in Pb(In _{1/2} Nb _{1/2})O ₃
3. 学会等名 MNC2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 町田晃彦, 福島凧世, 白川皓介, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 菅原健人, 島田歩, 上野哲朗, 綿貫徹, 石井賢司, 豊川秀訓, 門馬綱一, Kim Sangwook, 塚田真也, 黒岩芳弘
2. 発表標題 BraggコヒーレントX線回折イメージングによるBaTiO ₃ セラミクス中ひと粒内部の格子歪みの可視化
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚田真也, 押目典宏, 大和田謙二, Sangwook Kim, 黒岩芳弘
2. 発表標題 ラマン分光法による BaTiO ₃ 微粒子の構造と物性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Tsukada, Y. Fujii , and K. Ohwada
2. 発表標題 Polarization behavior in a compositionally graded relaxor-ferroelectric crystal
3. 学会等名 The 15th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 町田晃彦, 福島風世, 白川皓介, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 菅原健人, 島田歩, 上野哲朗, 綿貫徹, 石井賢司, 豊川秀訓, 門馬綱一, Kim Sangwook, 塚田真也, 黒岩芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折を利用した焼結体中結晶粒の非破壊イメージング
3. 学会等名 第40回強誘電体会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚田真也, 金川茜里, 大和田謙二
2. 発表標題 温度勾配と強誘電性相転移
3. 学会等名 第40回強誘電体会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 島田歩, 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, 門馬綱一, 石井賢司, 豊川秀訓, 塚田真也, 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 II
3. 学会等名 強誘電体学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田真也, 押目典宏, 大和田謙二, Sangwook Kim, 黒岩芳弘
2. 発表標題 ラマン分光法による BaTiO ₃ 微粒子の構造と誘電応答
3. 学会等名 強誘電体学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江角太智, 藤井康裕, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 ラマン分光法と第一原理計算を組み合わせたBaTi ₂ O ₅ における強誘電性相転移の微視的描像の解明
3. 学会等名 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Ohwada, N. Oshime, K. Sugawara, A. Shimada, N. Fukushima, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, K. Momma, K. Ishii, H. Toyokawa, S. Tsukada, and Y. Kuroiwa
2. 発表標題 3D Imaging of Nanocrystals by Coherent X-ray Diffraction
3. 学会等名 15th International Symposium on Ferroic Domains & Micro- to Nano-scopic Structures (ISFD-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕, 金川茜里, 秋重幸邦, 大和田謙二
2. 発表標題 濃度傾斜リラクサー強誘電体の角度分解偏光ラマンマッピングと多変量曲線分解
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 島田 歩, 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, 門馬綱一, 石井賢司, 豊川秀訓, 塚田真也, 黒岩芳弘
2. 発表標題 500 nm級BaTiO ₃ の強誘電相転移と常誘電相における不均質構造
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 島田 歩, 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, 門馬綱一, 石井賢司, 豊川秀訓, 塚田真也, 黒岩芳弘
2. 発表標題 コヒーレントX線回折による数100 nm級強誘電体一粒子の内部歪観察
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕, 金川茜里, 秋重幸邦, 大和田謙二
2. 発表標題 角度分解偏光ラマンマッピングで観た濃度傾斜(1-x)Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -xPbTiO ₃ 結晶II
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江角太智, 藤井康裕, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 BaTi ₂ O ₅ のZr置換効果
3. 学会等名 強的秩序とその操作に関わる第 15 回夏の学校
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, A. Shimada, N. Fukushima, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, K. Momma, K. Ishii, H. Toyokawa, S. Kim, S. Tsukada, and Y. Kuroiwa
2. 発表標題 Bragg Coherent X-ray diffraction for visualization of the inhomogeneous structure of a single ferroelectric particle
3. 学会等名 The 14th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Tsukada, Y. Fujii, A. Kanagawa, Y. Akishige, and K. Ohwada
2. 発表標題 Angle-resolved polarized Raman mapping on a compositionally graded $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$
3. 学会等名 The 14th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金川茜里, 藤井康裕, 大和田謙二, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 (1-x)Pb(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -xPbTiO ₃ の常誘電相における不均一構造とラマン散乱
3. 学会等名 強誘電体応用会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田真也, 江角太智, 藤井康裕, 秋重幸邦
2. 発表標題 BaTi ₂ O ₅ セラミックスのラマン散乱と強誘電性相転移
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田真也, 江角太智, 藤井康裕, 秋重幸邦
2. 発表標題 BaTi205のラマン散乱と強誘電性相転移
3. 学会等名 第19回医用分光学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江角太智, 藤井康裕, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 BaTi205のラマン散乱と強誘電性相転移
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田真也, 金川茜里
2. 発表標題 強誘電体結晶における角度分解偏光ラマンマッピング
3. 学会等名 第18回医用分光学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井 康裕, 秋重 幸邦, 大和田 謙二
2. 発表標題 角度分解偏光ラマンマッピングで観た濃度傾斜(1-x)Pb(Mg ₁ /3Nb ₂ /3)O ₃ -xPbTiO ₃ 結晶
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕, 金川茜里, 秋重幸邦, 大和田謙二
2. 発表標題 濃度傾斜結晶(1-x)Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -xPbTiO ₃ の角度分解偏光ラマンマッピング
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金川茜里, 藤井康裕, 大和田謙二, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 MPB近傍Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ のラマン散乱と多変量曲線分解
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林誠, 塚田真也
2. 発表標題 力学台車により等速直線運動を観察する方法
3. 学会等名 応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚田真也
2. 発表標題 角度分解偏光ラマン分光法と多変量曲線分解で明らかにする強誘電性相転移
3. 学会等名 日本分光学会中国四国支部年次講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北野祐大, 牧之瀬佑旗, 塚田真也, 宮崎英敏
2. 発表標題 水熱イオン交換法による(Ba,Sr)TiO ₃ の合成
3. 学会等名 26回 ヤングセラミスト・ミーティングin中四国
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕
2. 発表標題 強誘電体の角度分解偏光ラマン分光における多変量曲線分解
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田勝海, 塚田真也, 宮崎英敏
2. 発表標題 NH ₃ で調整した過酸化ポリチタン酸溶液を用いた単分散BaTiO ₃ ナノ粒子の作製
3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Tsukada, Y. Fujii, and Y. Akishige
2. 発表標題 Angle-Resolved Polarized Raman Spectroscopy to Study Ferroelectric Phase Transitions of Ba-Ti-O System
3. 学会等名 PACRIM 13 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田真也, 大和田謙二, 藤井康裕, 森茂生, 大和英弘, 秋重幸邦
2. 発表標題 Pb(In ₁ /2Nb ₁ /2) ₀₃ のIn/Nb配列とラマン散乱
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金川茜里, 藤井康裕, 大和田謙二, 秋重幸邦, 塚田真也
2. 発表標題 角度分解偏光ラマン分光法で観る鉛系リラクサー強誘電体の相転移
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤沢裕太, 森茂生, 塚田真也
2. 発表標題 LaAlO ₃ における双晶分域の温度変化
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕
2. 発表標題 角度分解偏光ラマン分光法で観る強誘電性相転移のソフトモード
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花岡軍, 橋爪一治, 塚田真也
2. 発表標題 技術と理科の接続を考えたゲルマニウム傘ラジオの教材化の研究
3. 学会等名 日本産業技術教育学会中国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 茂生, 平野迅郷, 石井悠衣, 武田博明, 大和田謙二, 塚田真也
2. 発表標題 Eu ²⁺ 置換したSrAl ₂ O ₄ の発光特性と微細構造
3. 学会等名 強誘電体応用会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田真也, 藤井康裕, 金川茜里, 秋重幸邦, 大和田謙二
2. 発表標題 角度分解偏光ラマンマッピングで観た濃度傾斜結晶(1-x)Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -xPbTiO ₃
3. 学会等名 強誘電体応用会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Tsukada and Y. Fujii
2. 発表標題 Inhomogeneity in Ferroelectrics Probed by Angle-Resolved Polarized Raman Spectroscopy
3. 学会等名 Symposium on Weak Molecular Interaction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田中耕平 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 405
3. 書名 ラマン分光 スペクトルデータ解析事例集	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>[受賞] 第40回強誘電体学会, 最優秀講演賞 塚田真也(島根大学) 温度勾配と強誘電性相転移 https://conference.wdc-jp.com/fma-meeting/presentation.html</p> <p>Webサイト 塚田研究室 http://physics.edu.shimane-u.ac.jp/ 個人 http://physlab.web.fc2.com/</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	藤井 康裕 (Fujii Yasuhiro) (50432050)	立命館大学・理工学部・講師 (34315)	

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
---------	---------