

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03477

研究課題名(和文) X線ラマン散乱を用いたCaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>の誘電異常と電子構造の相関の研究研究課題名(英文) Study of correlation between dielectric anomaly and electronic structure of CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub> by means of X-ray Raman scattering.

研究代表者

手塚 泰久 (Tezuka, Yasuhisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20236970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：Aサイト秩序ペロブスカイトであるCaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(CCTO)は、室温を含む広い温度範囲で極めて大きな誘電率を示す一方で、約100K付近で構造変化を伴わずに誘電率が急減するという誘電異常を示す。高工研PFにおいて軟X線及び硬X線ラマン散乱(XRS)と蛍光X線ホログラフィー(XFH)実験を行った。X線ラマン散乱では、非占有Cu 3d及びTi 3d状態、占有O 2p状態の電子構造の研究を行った。Cu 3d状態が、100K近傍で急増しており、誘電異常に対する電子構造の影響を示唆している。XFH実験では、100K付近でTiサイトの秩序化が起こっていることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>のような絶縁体(誘電体)における電子構造の研究は非常に難しい。本研究におけるX線ラマン散乱の実験は、誘電体の電子構造研究に強力な手法となると考えられる。XRS実験によって、巨大誘電率や誘電異常など誘電的性質に対する電子構造の効果を明らかにされることが期待される。誘電体を用いたデバイスの性能向上などにも寄与するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：A-site ordered perovskite CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(CCTO) shows a giant dielectric constant within a wide temperature-range include the room temperature, while it shows dielectric anomaly as rapid decrease of the dielectric constant at about 100K without structure change. Soft and hard X-ray Raman scattering (XRS) and X-ray fluorescence holography (XFH) measurements were performed in Photon Factory, KEK. Unoccupied Cu 3d and Ti 3d states and occupied O 2p state were studied using the XRS. The Cu 3d state increased rapidly at about 100K, then it suggests an effect of electronic structure to the dielectric anomaly. In the XFH experiments, an ordering of Ti-site was found under 100K.

研究分野：光物性

キーワード：誘電異常 電子構造 X線ラマン散乱 共鳴X線非弾性散乱 X線発光 蛍光X線ホログラフィー 高圧実験 Aサイト秩序ペロブスカイト

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

Aサイト秩序型ペロブスカイト $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  (CCTO) (図1(a))は、強誘電体でないにもかかわらず $\epsilon \sim 10^4$ という極めて巨大でかつ一定の誘電率を広い温度範囲(100–600 K)で示す一方で、低温で構造変化を伴わずに誘電率が急減する誘電異常を示す(図1(b))。高誘電物質として電子デバイスの高密度化などの新規材料として注目を集めている他に、低温で反強磁性を示したり強相関物質としての側面も持つなど多様な物性を示している。更には、Cu化合物として高温超電導体との関連性も非常に興味深い。その一方で、CCTOの誘電異常の本質は解明されていない。これまでに電子的な誘電応答を指摘する報告[2]があるのに対して、本質的でない欠陥や双晶による内部静電容量を指摘する報告もある[3]。また、約25 Kで反強磁性相転移を起こすが、低温相では(可視)ラマン散乱でマグノンが観測され、高温相では磁化率がCurie-Weiss則的に変化していて、磁氣的秩序化と誘電率の相関が指摘されている[4]。一方で、光電子分光による研究は、試料の高い絶縁性による帯電のために室温付近の測定に限られている[5]。これらの電子及び磁気構造変化が誘電異常と密接に関係していると考えられるが、その理解のためには電子構造の温度変化や方位角依存性の詳細な測定が必要である。本研究で行うX線ラマン散乱(XRS)は、photon-in/photon-outの手法であるので、絶縁体の電子構造の研究に有効であり、バルク電子状態の測定が可能である。

- [1] A.P. Ramirez, *et al.*, *Solid State Commun.* **115**, 217 (2000).
- [2] M.H. Cohen, *et al.*, *J. Appl. Phys.* **94**, 3299 (2003).
- [3] Y. Zhu, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 037602 (2007).
- [4] A. Koitzsch, *et al.*, *Rhys. Rev.* **B65**, 052406 (2002).
- [5] H.J. Im, *et al.*, *Rhys. Rev.* **B88**, 205133 (2013).

## 2. 研究の目的

内殻素励起による X 線ラマン散乱は、古くから知られていた実験ではあるが、未だに未知の側面が存在する。最近本報告者は非占有準位電子構造研究への有効性を見出したが、これまでにあまり知られていない、オリジナルな測定法であると言える[6, 7]。非占有準位研究によく使われる逆光電子実験では難しい絶縁体の研究に有効であり、その元素選択性は、A サイト秩序ペロブスカイト(CCTO 他)などの複雑な結晶構造をもつ物質の電子構造研究に有効である。また、二次光学過程であるため、共鳴効果などによって電子構造の微小変化を強調して観測できるので、一次過程である X 線吸収などに対しても優位性を持っている。CCTO は  $\text{CuO}_4$  クラスタを含み反強磁性転移や強相関的性質も示していることから、詳細な電子構造ダイナミクスの研究は、高温超電導体などさまざまな物性研究への波及効果が期待される。また、強誘電体  $\text{BaTiO}_3$  や量子常誘電体  $\text{SrTiO}_3$  などペロブスカイト型物質における誘電性と電子構造の本質を明らかにする可能性を持っていると考えている。

- [6] Y. Tezuka, *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**, 014707 (2014).
- [7] Y. Tezuka, *et al.*, *J. Elec. Spec. Relat. Phenom.* **220**, 114-117 (2017).

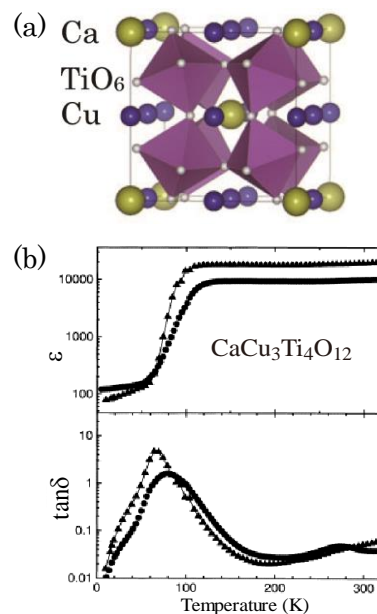


図1 (a) CCTO の結晶構造 (b) 誘電率の温度依存性 [1]。

### 3. 研究の方法

これまでTi酸化物の正・逆光電子やX線発光などの研究を行った結果、内殻素励起のX線ラマン散乱が非占有電子状態の研究に有効であることが判ってきた[6]。図2が、[放射]光励起におけるX線発光のダイアグラムである。図はTi K端励起の場合であり、Ti  $K\alpha$  蛍光近傍の発光スペクトルを測定する。図の最上部が十分高い励起エネルギーの場合の $K\alpha$  蛍光過程、その下(a)は共鳴X線ラマン散乱過程、その下が本研究で行うX線ラマン散乱過程である。励起エネルギーが吸収端より十分低い場合は非共鳴(c)であり、 $2p4p$  (下線は正孔の意) のような偶パリティの単極子や四重極子が本質的に活性である。吸収端直下の励起エネルギー(b)では、本来禁制な $2p3d$ などの奇パリティの双極子が共鳴効果で活性になり観測される。エネルギーが一定である内殻からの素励起を測定することで、非占有準位の電子状態を反映したスペクトルが得られる。X線ラマン散乱は、単結晶の測定が可能であることと二次光学過程であることから、吸収実験では得られにくい元素選択的及びサイト選択的で方位角依存の電子状態が測定可能である。

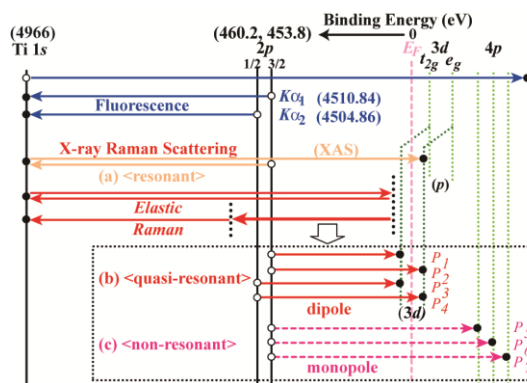


図2 X線発光のエネルギーダイアグラム

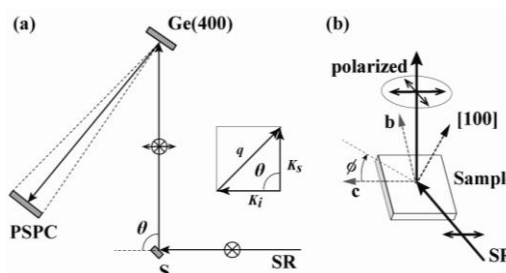


図3 (a) 硬X線発光分光器の散乱配置、(b)方位角依存性測定概念図。

図3に、XRS実験の配置図を示す。本課題では、Attocube社製の極低温対応ローテータを購入し、放射光の偏光方向を試料面内で回転させ、XRSスペクトルの、試料方位角依存性を測定した。測定試料は、FZ法で作製した単結晶と熱合成法で作製した多結晶を用いた。実験は、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設フotonファクトリーで行った。硬X線XRSの実験はBL7Cで行い、軟X線XRSの実験はBL13で行った。

XRS実験以外に、蛍光X線ホログラフィー(XFH)の実験をBL6Cで行った。XFHの実験からは、CuやTi、Ca原子の周りの局所構造の知見が得られる。

### 4. 研究成果

図4は、多結晶試料におけるCu K端での吸収スペクトルである。主構造はCu  $4p$  であるが、吸収端にCu  $3d$  構造が観測されている。縦の線は、共鳴XRSの励起エネルギーである。

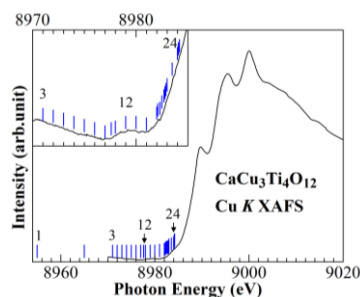


図4 CCTOのCu K XAFS スペクトル。

図5は、多結晶試料のCu K共鳴XRSスペクトルである。図4で示した励起エネルギーで測定したCu  $K\alpha$  線付近の発光スペクトルを、励起エネルギーからのエネルギーロス(Raman Shift)で示したものと、そ

の強度マッピングである。全体が内殻  $L_{III}$ 、 $L_{II}$  に対応した繰り返しになっているが、それぞれ5本のラマンピークが観測されている。 $P_1$ 、 $P_2$ は  $Cu\ 3d$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$ は  $Cu\ 4p$  に対応している。吸収端の  $Cu\ 3d$  に共鳴したときに、 $P_1$  及び  $P_2$  が共鳴増大していることが判る。

図6は、多結晶試料における  $Cu\ K$  端での各種スペクトルを比較したものである。(e)の X 線吸収スペクトル(XAS)を便宜的に  $Cu\ 1s$  の結合エネルギーを差し引いた相対エネルギーで示しており、 $0\ eV$  はおよそそのフェルミエネルギー ( $E_F$ )を示している。矢印が X 線ラマン散乱における励起エネルギー位置を示しており、各ラマンスペクトルはそれらの構造を吸収に対応させて示してある。最も低エネルギーで励起した(d)の X 線ラマン散乱は、ほぼ非共鳴であると考えられ、非占有  $Cu\ 4p$  状態を反映している。吸収端付近で励起した(b) や (c)では、それぞれ( $P_1$ ,  $P_1'$ )や( $P_2$ ,  $P_2'$ )が共鳴増大している。吸収端構造は  $Cu\ 1s \rightarrow 3d$  の四重極子遷移と考えられるので、これらのピークは  $Cu\ 3d$  状態を反映していると考えられる。 $P_1$ や  $P_1'$ は、過去の研究から  $CuO$  など  $Cu^{2+}$ の物質で観測されることが判っており[7]、CCTO 中の  $Cu$  が 2 価 ( $3d^9$ ) になっていることを示唆している。

図7(a)は、 $Cu\ K$  共鳴 XRS の温度依存性の結果である。強度変化しない  $4p$  ピークに対して、 $3d$  ピーク強度が変化していることが観測された。図7(b)は、 $3d$  ピーク強度の気温度依存性である。 $3d$  ピーク強度は  $100K$  付近で急減しており、誘電異常との相関が強く示唆される。この XRS は非占有準位密度を反映しているので、低温で強度が低下することは、占有状態における  $Cu\ 3d$  電子が増大していることを示している。

$Ti\ K$  共鳴 XRS も同様に測定している。ただし、 $Ti\ K$  共鳴では、 $Ti-O$  の方位が一樣でない上に XRS 強度が弱いことなどが理由で、急激な強度変化は観測できていないが、緩やかな  $3d$  強度の減少 ( $Ti\ 3d$  電子の増大) は観測されている。一方で、軟 X 線での  $Ti\ 2p$  共鳴 XRS では、低温で  $O\ 2p$  状態密度が減少していることが観測されている。これらの結果は、共有結合している  $O$  から  $Cu$ 、 $Ti$  に電荷が移動していること、つまり共有結合性が増大していることを示唆している。構造転移をしない CCTO においても、電子構造の変化が誘電異常に強く関与していることが明らかになった。

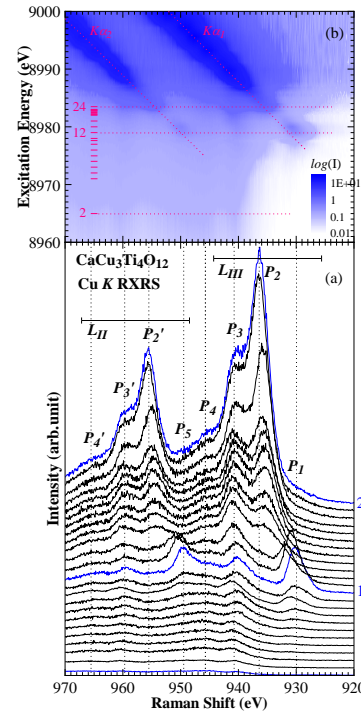


図5 CCTO の  $Cu\ K$  共鳴 XRS スペクトル(下)と強度マッピング(上)。

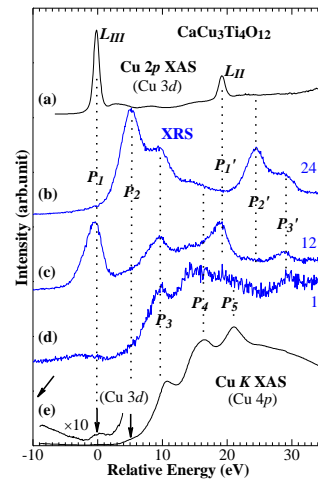


図6 CCTO の種々のスペクトルの比較。(a)  $Cu\ 2p$  XAS、(b)(c)(d) XRS、(e)  $Cu\ K$  XAS

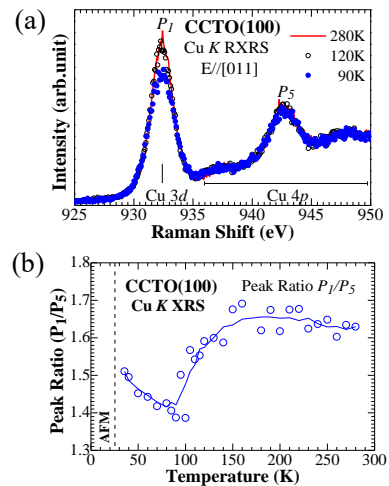


図7 (a) CCTO(100)の  $Cu\ K$  RXRS (b)  $Cu\ 3d$  ピークの温度依存性。

図8(a)、(b)は、それぞれ CCTO(100)における Cu K 及び Ti K XRS の方位角依存性である。(100)面内で励起光偏光の方向を[001]から  $5^\circ$  ずつ  $180^\circ$  まで変化させて測定した結果である。それぞれ上のパネルは強度マッピングになっている。励起光は、XRS ピークが顕著に表れる吸収端のエネルギーになっている。非占有の Cu 4p 及び Ti 4p 状態は方位角依存性を示さない一方で、Cu 3d 及び Ti 3d 状態は顕著な方位角依存性を示しており、Cu 3d は[001]方向、Ti 3d は[011]方向に状態を持っていることが観測されている。本課題では達成できなかったが、誘電異常温度以下や反強磁性相での測定では、これら状態の変化が期待される。

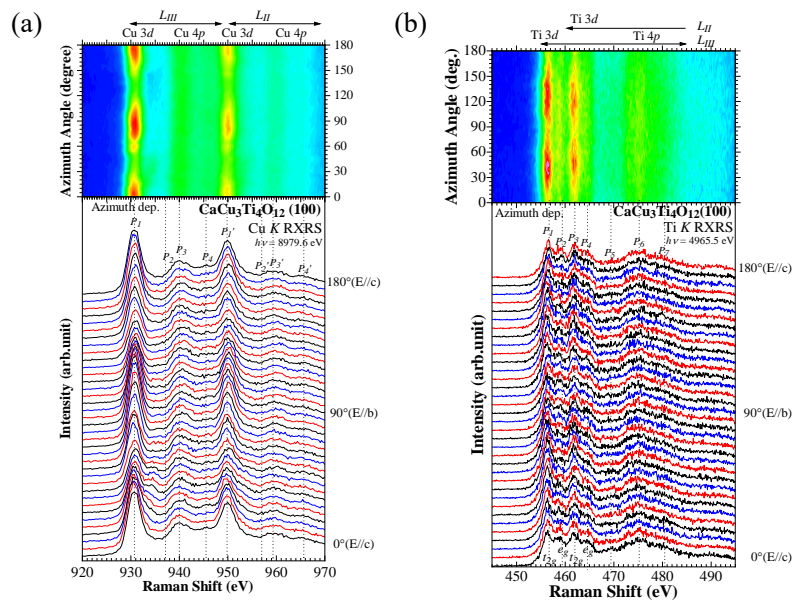


図8 CCTO(100)における XRS の方位角依存性 (下) と強度マッピング (上)。(a) Cu K XRS、(b) Ti K XRS

図9は、Cu K 蛍光を用いた蛍光 X線ホログラフィー (XFH) 実験による、最近接 Ti 面の原子像である。室温(a)と誘電異常温度以下の 80K での結果を示している。白丸は XRD 実験による長距離秩序を持った原子位置である。低温では XRD と同様の結果を示しているが、室温では変位した位置に複数の原子像が観測されている。この結果は、室温で Ti 位置が複数あることを示しており、もし高温で複数位置間を揺動していて低温でそれが収まるとすれば誘電異常の説明が見つかる。XFH のシミュレーションによると、室温で Ti イオンが[111]方向に約  $0.4\text{\AA}$  変位した位置にあるとすると、実験結果を再現することも判った。温度依存性の原因として、低温での O との共有結合性増大が大きな影響を与えていると考えられる。

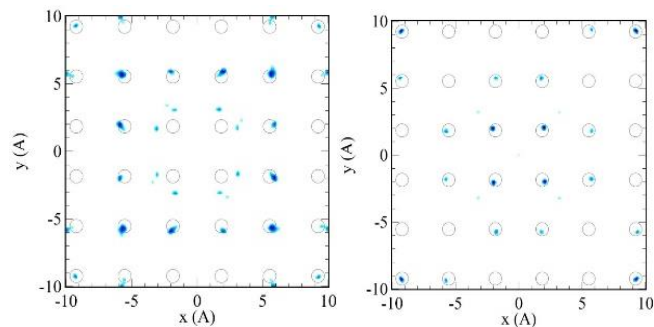


図9 Cu K XFH による最近接 Ti 原子位置の原子像。(a)室温、(b) 80K。白丸は XRD から求められる長距離秩序の位置。

XRS の結果と合わせると、高温(室温)では、傾いた  $\text{TiO}_6$  内で Ti-O の結合が弱くなり、Ti の安定位置が多様化することで、高い誘電率を示すと考えられる。低温では Ti-O 間の共有結合が強くなることで、Ti が動けなくなり、誘電率の低下が起こると考えられる。一方で、XRS 実験では、誘電異常の温度で Cu 3d ピークが急減した後、より低温で変化が増大に転ずることが観測されている(図7)。約 25K には反強磁性転移が確認されており、その転移との関係が想定される。Cu K における電子構造の変化は誘電異常の本質ではなく、誘電異常の協調現象あるいは前兆現象であって、反強磁性転移に伴って更に変化を伴うものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 M. Takahashi, S. Nozawa, N. Nakajima, T. Iwazumi, Y. Tezuka	4. 巻 37
2. 論文標題 Temperature dependent electronic structure of SrTiO <sub>3</sub> by means of resonant X-ray Raman scattering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2019	6. 最初と最後の頁 47
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Aiura, K. Ozawa, Y. Tezuka, M. Minohara, A. Samizo, K. Bando, H. Kumigashira, and K. Mase	4. 巻 21
2. 論文標題 In-gap state generated by La-on-Sr substitutional defects within the bulk of SrTiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 14646-14653
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c9cp02307k	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. Kamide, H.J. Im, T. Watanabe, N. Happo, K. Kimura, K. Hayashi, S. Hosokawa, and Y. Tezuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Local Structure Study of A-site Ordered Perovskite CaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> by means of X-ray Fluorescence Holography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2018	6. 最初と最後の頁 191
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tezuka Yasuhisa, Nozawa Shunsuke, Nakajima Nobuo, Iwazumi Toshiaki	4. 巻 104
2. 論文標題 Temperature dependence of electronic structure on the ferroelectric phase transition of BaTiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235148-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.235148	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. Asari, H.J. Im, T. Watanabe, N. Happo, K. Kimura, K. Hayasi, S. Hosokawa, and Y. Tezuka	4. 巻 38
2. 論文標題 Temperature Dependent Local Structure of A-Site Ordered Perovskite CaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> Measured by X-Ray Fluorescence Holography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2020	6. 最初と最後の頁 177
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 R. Kato, H. Im, T. Watanabe, N. Nakajima, and Y. Tezuka	4. 巻 38
2. 論文標題 Polarization Dependent Ti 2p Resonant X-Ray Raman Scattering Study of CaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2020	6. 最初と最後の頁 178
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也, 手塚泰久
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造の研究
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 高橋瑞樹, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱によるSrTiO <sub>3</sub> の電子構造の温度依存性
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 中島伸夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造研究II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 中島伸夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造研究III
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋瑞樹, 浅利真人, 加藤梨沙, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 手塚泰久
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱によるTi酸化物の電子構造の研究
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 手塚泰久, 高橋瑞樹, 浅利真人, 加藤梨紗, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 高橋瑞樹, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱によるTi酸化物電子構造の温度依存性と方位角依存性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也, 手塚泰久
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造の研究
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 高橋瑞樹, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱によるSrTiO <sub>3</sub> の電子構造の温度依存性
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 中島伸夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造研究II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手塚泰久, 中本星也, 西山賢司郎, 任皓 駿, 渡辺孝夫, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩 住俊明
2. 発表標題 軟X線及び硬X線ラマン散乱によるCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の電子構造研究IV
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 中島伸夫, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の局所構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝夫, 野沢俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 八方直久, 木村耕治, 林好一, 細川伸也
2. 発表標題 種々のX線発光実験を用いたCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の電子構造及び局所構造の研究
3. 学会等名 第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓駿, 渡辺孝男, 中島伸夫, 石井啓文, 平岡望, 山岡人志
2. 発表標題 高压X線ラマン散乱によるCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> 電子構造の圧力依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Tezuka, H. Kamide, H. Im, T. Watanabe, S. Nozawa, N. Nakajima, T. Iwazumi, N. Happo, K. Kimura, K. Hayashi, and S. Hosokawa
2. 発表標題 Temperature dependent crystal and electronic structures of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ .
3. 学会等名 the 40th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 手塚泰久、浅利真人、加藤梨紗、野澤俊介、中島伸夫、岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究II
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 手塚泰久、浅利真人、加藤梨紗、野澤俊介、中島伸夫、岩住俊明
2. 発表標題 共鳴X線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅利真人、加藤梨紗、上出晴輝、任皓駿、渡辺孝夫、八方直久、木村耕治、林好一、細川伸也、手塚泰久
2. 発表標題 蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイト $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の局所構造研究
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 手塚泰久, 浅利真人, 加藤梨紗, 任皓駿, 渡辺孝男, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明
2. 発表標題 Aサイト秩序型ペロブスカイトCaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> の電子構造の角度依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島伸夫, 坂野碩保, 柿原瑛樹, 符徳勝, 手塚泰久
2. 発表標題 共鳴X線発光分光による圧電体Ba(Ti <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> )O <sub>3</sub> のSn 置換効果
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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