

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01844

研究課題名(和文) 強誘電性の抑制による新規フォノン物性の開拓と格子ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Novel quantum properties and lattice dynamics caused by suppression of ferroelectricity

研究代表者

石井 悠衣 (Ishii, Yui)

大阪公立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50708013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、音響ソフトモードに起因する構造相転移を抑制した構造量子臨界点付近において、結晶の周期性と非晶質のランダムネスを併せ持つ「副格子ガラス状態」が実現していることを見出した。この特殊な状態では、明らかに結晶質固体であるにもかかわらず、過剰格子比熱、低温格子比熱のT-linear項、熱伝導率プラトーなど、非晶質固体で一般に見られる熱的特性を示すことが分かった。またこの副格子ガラスの原子振動状態は、非晶質固体が示す原子振動状態と、特徴が一致していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子臨界点の研究はこれまで磁気秩序などスピンのかわる秩序相を対象として発展し、それに隣接して現れる新奇量子相の研究は、今日に至るまで物性物理学の一大分野を築いている。しかしながら、スピンと並びフォノンも固体中の基本的な量子の1つであるにもかかわらず、フォノンが主役となって現れる量子臨界点の研究はほとんど進んで来なかった。本研究で得られた成果は、従来のスピン主体の量子臨界研究をフォノン系に展開するための足がかりとなると期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have revealed that a “sublattice glass state” appears at the structural quantum critical point where an acoustic-phonon-driven structural phase transition is suppressed down to the absolute zero temperature. This state possesses both crystalline periodicity and glasslike atomic arrangement. As a result of the glasslike atomic arrangement, the lattice-specific heat shows an excess approximately at 10 K and a T-linear term at the lowest temperatures, and the thermal conductivity shows a plateau, all of which are the typical characteristics of amorphous solids. In addition, it was found that the atomic vibrational state of this state resembles that amorphous solids typically exhibit.

研究分野：固体化学

キーワード：構造量子臨界点 ソフトモード

1. 研究開始当初の背景

量子臨界点とは、2次の相転移が絶対零度まで抑制されることで現れる、絶対零度での相転移点を指す。量子臨界点の研究はこれまで磁気秩序などスピンのかかわる秩序相を対象として発展し、それに隣接して現れる新奇量子相の研究は、今日に至るまで物性物理学の一大分野を築いている。一方、スピンと並びフォノンも固体中の基本的な量子の1つである。例えばソフトモードが引き起こす2次の構造相転移の抑制によっても、同様に量子臨界点が現れる。しかしながら、この「構造の」量子臨界点は、フォノンを主役とした量子臨界現象という意味においては、これまであまり研究が進んで来なかったのが現状である。このため、量子臨界現象という通常、スピンのかかわる秩序相の抑制および、それによって現れる量子現象を指すことが多い。

ソフトモードがかかわる構造量子臨界点の研究は、歴史的には1970年頃の、 SrTiO_3 や KTaO_3 といった量子常誘電体の発見に遡る。両物質はともに光学ソフトモードをもつ構造量子臨界物質であるが、磁気的な量子臨界点との対比というよりは、どちらかというとその強誘電体としての特異性に焦点が当てられていた。ところが最近、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_{3-\delta}$ が示す強誘電性と超伝導の共存状態の報告を機に、構造量子臨界性と超伝導の関係に新たな注目が集まっている。また、ほぼ同時期には、擬スクッテルダイト型化合物などの強相関電子系物質においても構造量子臨界性が議論されるようになり、構造量子臨界点は近年、量子物性研究の新たな舞台として認識され始めている。

フォノンの性質が直接現れる巨視的物性には、格子比熱、格子熱伝導率、弾性定数などがある。ここで、磁気的な量子臨界点においてその相転移の駆動力がスピンの量子揺らぎであることを考えると、構造量子臨界点でのそれはフォノンの揺らぎであると類推される。従って、「フォノンの揺らぎとは、どのような状態を指すのか?」が焦点の1つとなる。

2. 研究の目的

磁気的な量子臨界点での相転移の駆動力がスピンの揺らぎであることを考えると、構造量子臨界点での相転移の駆動力はフォノンの揺らぎということになる。従って、それが具体的にどのような性質を示すのかを明らかにすることが、構造量子臨界点研究の主目的の1つとなる。しかしながら現時点では、物質例や物性の報告が限られており、情報が十分蓄積されているとは言えない。そこで本研究ではまず、スピンや伝導電子の寄与のない $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ 強誘電体を対象物質とし、構造量子臨界点近傍で見られる局所構造変化、それによって発現する格子ダイナミクスや特異な量子物性の解明に取り組んだ。さらに、sQCP付近で超伝導転移温度の上昇が見られる $(\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x)_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ を対象物質として、構造量子臨界性の特徴について調べた。

3. 研究の方法

$\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ に関しては、固相反応法により作製した粉末試料を用い、PDF解析と中性子非弾性散乱を行った。また、SPS焼結により得られた高密度焼結体に対して比熱測定および熱伝導率測定を行った。 $(\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x)_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ に関しては、単体金属を出発原料としてSnフラックス法により単結晶育成を行った。得られた結晶について比熱、電気抵抗率測定などを行った。

4. 研究成果

4-1. マクロ物性面での特徴

充填トリジマイト型酸化物 BaAl_2O_4 は、頂点共有によって連結した AlO_4 四面体がネットワーク構造を作り、その隙間をBa原子が占有した結晶構造を有す。フォノン計算によると、高温相(空間群 $\text{P6}_3\text{22}$)は既約表現 M_2 , K_2 で表される2種類のソフトモードを音響横波分枝を持つ[1]。これらのモードはともに、 AlO_4 四面体の傾斜と O1 サイトの面内回転振動によって特徴づけられ、またエネルギー的に同程度の不安定性を示すが、 K_2 モードは M_2 モードに比べ AlO_4 四面体の歪みが大きい。このため K_2 モードは衰退し、 M_2 モードの凍結によって約450 Kで構造相転移が起こる。この転移は2次転移である[1]。低温相(空間群 P6_3)の結晶構造は M_2 モードの原子変位パターンを反映して、 $2a \times 2b \times c$ の大きさの単位胞を持ち、またBa原子がc軸方向にわずかに変位することで強誘電性を示す。構造相転移はBaサイトのSr置換によって抑えられ、 $x=0.1$ 付近で構造量子臨界点が現れる[2]。本研究によって得られた成果を含め、構造量子臨界点の特徴は以下のようにまとめられる。

- (1) sQCP近傍では長距離にわたる低温相構造が発達しない。
- (2) sQCP組成に向かってデバイ温度が低下する。
- (3) sQCP組成に向かって、10 K付近での格子比熱が増大する[4]。
- (4) 2 K付近で格子比熱にT-linear項が現れる[4]。
- (5) 10 K付近で格子熱伝導率にプラトーが現れる[2]。

これらのうち(3),(4),(5)の特徴は、非晶質固体が示す典型的な熱物性として知られている。

よく似た格子比熱の特徴が、 $x=0.9$ にsQCPを持つ擬スクッテルダイト型化合物

($\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x$) $_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ でも見られることが、本研究により明らかになった。母物質の $\text{Sr}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ は常圧で $T_c = 4.7$ K の超伝導体である[5]。高温相 (空間群 Pm-3n) では Sn を包接する Sn20 面体が CsCl 型に配置しており、Sn20 面体と RhSn_6 三角柱が面共有することで生じる隙間を Sr が占有している。また音響横波分枝の M 点にソフトモードを持つ[6-9]。フォノン計算によると、このモードは Sn20 面体を作る隙間の伸長・収縮によって特徴づけられ[10]、このモードの凍結によって、Sn20 面体の隙間が互い違いに歪む結果、 $2a \times 2b \times 2c$ の大きさの単位胞をもつ低温相(I-43d)に、138 K で構造相転移する (2次転移)[6]。

この構造相転移は Sr サイトの Ca 置換によって抑制され、 $x = 0.9$ で sQCP が現れる[11]。図 1(a) に示す C/T 対 T^2 のプロットからは、 x の増加に伴い C/T の傾きが増加する傾向が見られる。この傾きから見積もったデバイ温度は sQCP に向かって低下する。また切片から見積もった電子比熱係数 γ を用い、全比熱から γT を差し引くことで求めた格子比熱(図 1(b))を見ると、sQCP に向かって 10 K 付近での格子比熱が増加していることがわかる[12]。これらの傾向は、前述(2)、(3)の特徴と一致している。

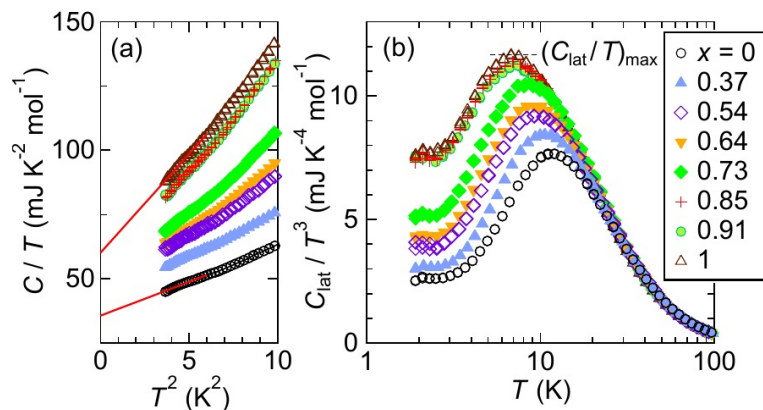


図 1. ($\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x$) $_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ の比熱[12]。(a) C/T の T^2 依存性。C は全比熱。実線は $C/T = \gamma T + \beta T^2$ によるフィッティング結果を示す。(b) 全比熱から電子比熱 γT を差し引くことで求めた格子比熱。

4-2. 局所構造の特徴

構造面での特徴を明らかにするため、 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ に対し X 線二体分布関数解析と中性子非弾性散乱(粉末)を行った[2]。実験的に求めた二体分布関数(PDF, $[g(r)]$)と、計算から求めた $g(r)$ を図 2(a) に示す。計算には PDFgui[13] を利用し、粉末 X 線構造解析から求めた平均構造に対して行っている。 $x = 0$ の $g(r)$ に下向き三角で示したピークは、Ba-Ba, Ba-Al, Al-O 原子相関距離に対応する。これらのピーク位置の Sr 置換量に対する変化を図 2(b)-(d) に丸のプロットで示す。なお図中には、計算から求めた平均構造の各相関距離も併せて示している。対応する原子のペアは図 2 の挿入図に示してある。 x の増加に伴い格子定数は減少するが、これに対応して Ba(Sr)-Ba(Sr) と Ba(Sr)-Al の相関距離が系統的に減少している。一方、Al-O 相関距離においては、平均構造からの局所構造のずれが $x = 0.1$ を境に大きくなっていることがわかる。

$x = 0, 0.07$ の粉末試料に対する中性子非弾性散乱の $|Q|$ - E マップを図 3(a),(b) に示す。図 3(a) の 5 meV 付近に見られる強い散乱は光学モードに起因する。1-3 meV 付近の低エネルギー領域で見られる筋状の弱い散乱は音響モードに起因する。 $|Q| = 2-4 \text{ \AA}^{-1}$ の範囲で積分した散乱強度 (図 3(c)) を見ると、 $x = 0$ で見られるピーク構造が、 $x = 0.03$ ではブロード化し、 $x \geq 0.07$ の組成では完全に失われていることがわかる。音響モードによる散乱強度を $E = 1-2.3$ meV の範囲の積分すると、図 3(d) およびその挿入図に示すように、sQCP 付近の組成に向かって低エネルギー領域の散乱が増大していることがわかる。このことは、マクロ物性面での特徴(3)に挙げた、低温格子比熱の増加と完全に対応している。

図 3(b) の $x \geq 0.07$ で見られるブロードなスペクトルは、非晶質固体で一般に観測されるブロードなピーク(ボゾンピークと呼ばれる)と形状がよく似ており、sQCP 付近では原子配置に強い disorder が生じていることを意味している。図 2(b)-(d) に示す PDF 解析結果からは、sQCP より高 Sr 組成では、Ba および Sr 原子位置は平均構造と一致しているが、Al-O 相関が平均構造からずれていることがわかる。つまり、 AlO_4 ネットワークの酸素サイトに強い disorder が生じていると考えられる。このことは、Ba(Sr)原子は格子の周期性を維持しているものの、 AlO_4 がまさに glass 状のネットワークを形成していることを意味している。

sQCP で見られる上記の変化について、以下のように考えられる。まず、sQCP 付近では超格子反射の発達が抑制され、半値幅が増大する[2,3]。つまり低温相の短距離秩序化が起こっている。透過型電子顕微鏡観察によると、sQCP 付近では強誘電ドメインの微細化が確かに起こっている[14]。このことは、ソフトモードの凍結が、ドメイン毎に異なる位相で起こっていることを意味する。また PDF 解析からわかるように、sQCP では AlO_4 の長距離相関が完全に失われる。つまり sQCP では、インコヒーレントに凍結したソフトモードによって、もともと原子変位の小さい Al と Ba(Sr)原子位置は平均構造と一致するものの、 ab 面内を回っている O1 原子が平均構造から大きくずれ、glass 状の AlO_4 ネットワークを形成していると考えられる。このこ

とは、粉末X線構造解析から得られる温度因子が、O1原子のみ異常に大きいことと一致する[15]。

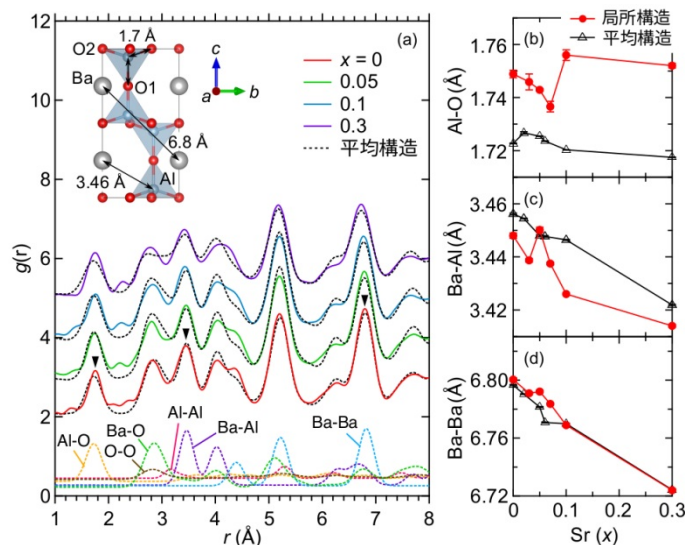


図2. $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ の局所構造解析[2]。(a) 実験的に求めた二体分布関数 ($g(r)$, 実線)および、計算から求めた $g(r)$ (破線)。下段には、 $x=0$ の平均構造に対して各原子相関ごとに分解して計算した部分 $g(r)$ を示している。 $x=0$ において下向き三角で示したピークは、比較的ピーク同士の重なりが小さい Ba-Ba, Ba-Al, Al-O 相関距離に対応する。(b), (c), (d)はそれぞれ、これらのピーク位置から求めた Ba-Ba, Ba-Al, Al-O の相関距離の Sr 置換量 x 依存性を示す。●は実験値を、△は平均構造を用いて計算した各ピーク位置をそれぞれ示す。

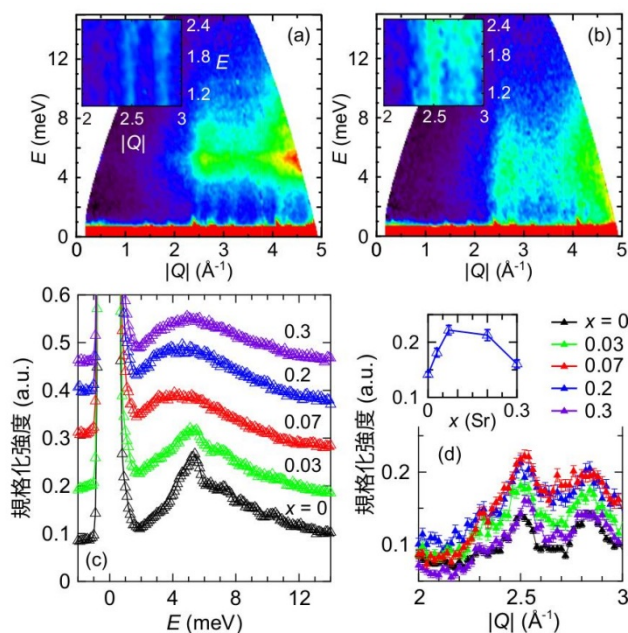


図3. $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ 粉末に対する中性子非弾性散乱の結果 (100 K) [2]。(a) $x=0$ および(b) $x=0.07$ の $|Q|$ - E マップ。入射中性子のエネルギー E_i は 17.255 meV である。挿入図は $E_i = 8.485$ meV で測定した低エネルギー部分の拡大図を示す。(c) Q で積分した非弾性散乱スペクトル ($E_i = 17.255$ meV)。積分範囲は $|Q| = 2-4 \text{ \AA}^{-1}$ 。(d) E で積分した非弾性散乱スペクトル ($E_i = 8.485$ meV)。積分範囲は $E = 1-2.3$ meV。挿入図は、 $|Q| = 2.5 \text{ \AA}^{-1}$ 付近に見られる音響モード由来のピーク強度を表す。sQCP 組成の $x = 0.1$ 付近で音響モードに由来する散乱強度が最大となっていることがわかる。

〈引用文献〉

- [1] Y. Ishii, S. Mori, Y. Nakahira, C. Moriyoshi, J. Park, B. G. Kim, H. Moriwake, H. Taniguchi, and Y. Kuroiwa, *Phys. Rev. B* **93**, 134108 (2016).
- [2] Y. Ishii, A. Yamamoto, N. Sato, Y. Nambu, S. Ohira-Kawamura, N. Murai, K. Ohara, S. Kawaguchi, T. Mori, and S. Mori, *Phys. Rev. B* **106**, 134111 (2022).
- [3] Y. Ishii, H. Tsukasaki, E. Tanaka, and S. Mori, *Sci. Rep.* **6**, 19154 (2016).
- [4] Y. Ishii, Y. Ouchi, S. Kawaguchi, H. Ishibashi, Y. Kubota, and S. Mori, *Phys. Rev. Materials* **3**, 084414 (2019).
- [5] N. Kase, H. Hayamizu, and J. Akimitsu, *Phys. Rev. B* **83**, 184509 (2011).
- [6] S. K. Goh, D. A. Tompsett, P. J. Saines, H. C. Chang, T. Matsumoto, M. Imai, K. Yoshimura, and F. M. Grosche, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 097002 (2015).
- [7] Y. J. Hu, Y. W. Cheung, W. C. Yu, M. Imai, H. Kanagawa, J. Murakawa, K. Yoshimura, and S. K. Goh, *Phys. Rev. B* **95**, 155142 (2017).
- [8] Y. W. Cheung, J. Z. Zhang, J. Y. Zhu, W. C. Yu, Y. J. Hu, D. G. Wang, Yuka Otomo, Kazuaki Iwasa, Koji Kaneko, Masaki Imai, Hibiki Kanagawa, Kazuyoshi Yoshimura, and Swee K. Goh, *Phys. Rev. B* **93**, 241112 (2016).
- [9] Y. W. Cheung, Y. J. Hu, M. Imai, Y. Tanioku, H. Kanagawa, J. Murakawa, K. Moriyama, W. Zhang, K. T. Lai, K. Yoshimura, F. M. Grosche, K. Kaneko, S. Tsutsui, and S. K. Goh, *Phys. Rev. B* **98**, 161103(R) (2018).
- [10] D. G. Mazzone, S. Gerber, J. L. Gavilano, R. Sibille, M. Medarde, B. Delley, M. Ramakrishnan, M. Neugebauer, L. P. Regnault, D. Chernyshov, A. Piovano, T. M. Fernández-Díaz, L. Keller, A. Cervellino, E. Pomjakushina, K. Conder, and M. Kenzelmann, *Phys. Rev. B* **92**, 024101 (2015).
- [11] W. C. Yu, Y. W. Cheung, P. J. Saines, M. Imai, T. Matsumoto, C. Michioka, K. Yoshimura, and S. K. Goh, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 207003 (2015).
- [12] Y. Terasaki, R. Yamaguchi, Y. Ishii, Y. Tada, A. Yamamoto, and S. Mori, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 113704 (2021).
- [13] C. L. Farrow, P. Juhás, J. W. Liu, D. Bryndin, E. S. Božin, J. Bloch, Th. Proffen, S. J. L. Billinge, *J. Phys.: Condens. Matter* **19**, 335219 (2007).
- [14] Y. Ishii, H. Tsukasaki, E. Tanaka, S. Kawaguchi, and S. Mori, *Phys. Rev. B* **94**, 184106 (2016).
- [15] S. Kawaguchi, Y. Ishii, E. Tanaka, H. Tsukasaki, Y. Kubota, and S. Mori, *Phys. Rev. B* **94**, 054117 (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Yui Ishii, Arisa Yamamoto, Shigeo Mori	4. 巻 61
2. 論文標題 Comparative study on the specific heat of ferroelectrics with a structural quantum critical point	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SN1017-1, 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac8047	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 Y. Ishii, A. Yamamoto, N. Sato, Y. Nambu, S. Ohira-Kawamura, N. Murai, K. Ohara, S. Kawaguchi, T. Mori, and S. Mori	4. 巻 106
2. 論文標題 Partial breakdown of translation symmetry at a structural quantum critical point associated with a ferroelectric soft mode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134111-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.134111	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 Zhong C, Ishii Y, Tassel C, Zhu T, Kato D, Kurushima K, Fujibayashi Y, Saito T, Ogawa T, Kuwabara A, Mori S, Kageyama H	4. 巻 61
2. 論文標題 Lone-Pair-Induced Intra-and Interlayer Polarizations in Sillen-Aurivillius Layered Perovskite Bi4Nb08Br	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inorganic chemistry	6. 最初と最後の頁 9816, 9822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.2c01358	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 Y. Terasaki, R. Yamaguchi, Y. Ishii, Y. Tada, A. Yamamoto, and S. Mori	4. 巻 90
2. 論文標題 Superconductivity Enhanced by Abundant Low-Energy Phonons in (Sr1-xCax)3Rh4Sn13	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 113704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.113704	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. Shiono, H. Ishibashi, Y. Nagayoshi, H. Ikeno, S. Kawaguchi, M. Hagihara, S. Torii, T. Kamiyama, K. Ichihashi, S. Nishihara, K. Inoue, Y. Ishii, Y. Kubota	4. 巻 163
2. 論文標題 Structural phase transition in cobalt oxyfluoride Co ₃ Sb ₄ O ₆ F ₆ observed by high-resolution synchrotron and neutron diffraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics and Chemistry of Solids	6. 最初と最後の頁 110568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpcs.2021.110568	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15件(うち招待講演 2件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yasuhiro Terasaki, Ratsuki Yamaguchi, Yui Ishii, Yurina Tada, Arisa Yamamoto, and Shigeo Mori
2. 発表標題 Low-Energy Phonons Enhanced near the Structural Quantum Critical Point of the Strong-Coupling Superconductor (Sr _{1-x} Ca _x) ₃ Rh ₄ Sn ₁₃
3. 学会等名 LT29 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ishii, A. Yamamoto, N. Sato, Y. Nambu, S. Ohira-Kawamura, N. Murai, K. Ohara, S. Kawaguchi, T. Mori, and S. Mori
2. 発表標題 Glasslike thermal properties caused by a structural quantum critical point
3. 学会等名 IInd INTERNATIONAL WORKSHOP - THERMAL CONDUCTIVITY OF SOLID STATES at low temperatures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井 悠衣, 山本 有梨沙, 森 茂生
2. 発表標題 構造量子臨界点をもつ強誘電体の比熱に関する比較研究
3. 学会等名 第39回強誘電体会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉翔太, 石井悠衣, 森茂生
2. 発表標題 Ag _{1-x} AuxCrSe ₂ の熱伝導率に対するAu置換効果
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Ishii, Y. Fujibayashi, K. Kurushima, K. Uchihashi, S. Mori, C. Zhong, D. Kato, H. Kageyama
2. 発表標題 Ferroelastic Domain and Low-Temperature Structures of Sillen-Aurivillius-type Photocatalysts Bi ₄ Nb _{0.8} X (X = Cl, Br)
3. 学会等名 International Conference on Mixed-Anion Compounds (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Oka, Y. Nambu, M. Ochi, N. Hayashi, Y. Kusano, T. Aoyama, Y. Ishii, K. Kuroki, S. Mori, M. Takano, N. Noma, M. Iwasaki and H. Kageyama
2. 発表標題 Spin reorientation in layered perovskite oxyfluoride Pb ₃ Fe ₂ O ₅ F ₂
3. 学会等名 International Conference on Mixed-Anion Compounds (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大迫 明弘, 吉年 規治, 中島 宏, 石井 悠衣, 原田 研, 森 茂生
2. 発表標題 ナノ結晶軟磁性合金の微細構造と磁気特性
3. 学会等名 日本顕微鏡学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井悠衣, 山本有梨沙, 佐藤直大, 南部雄亮, 河村聖子, 村井直樹, 森孝雄, 森茂生
2. 発表標題 Ba _{1-x} Sr _x Al ₂ O ₄ が示すフォノンの低エネルギー励起
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中平夕貴, 若松徹, 石井悠衣, 森茂生, 寺崎一郎, 谷口博基, 森吉千佳子
2. 発表標題 放射光 X 線回折による酸素四面体の頂点共有ネットワークをもつ強誘電体の構造相転移
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井悠衣, 寺崎保裕, 山口羅月, 多田有里奈, 山本有梨沙, 森茂生
2. 発表標題 (Sr _{1-x} Cax) ₃ Rh ₄ Sn ₁₃ の強結合超伝導と低エネルギーフォノン
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井悠衣, 山本有梨沙, 佐藤直大, 森孝雄, 森茂生
2. 発表標題 充填トリジマイト型酸化物Ba _{1-x} Sr _x Al ₂ O ₄ の熱物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Mori, A. Kawaguchi, A. Kotani, H. Numakura, Y. Ishii and K. Harada
2. 発表標題 Hollow-cone Foucault imaging of magnetic microstructures in large magnetostrictive FeGa alloy
3. 学会等名 M&M 2020 Conference
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鴨井 智宏、塚崎 裕文、中島 宏、林 直顕、石井 悠衣、森 茂生
2. 発表標題 蓄光型蛍光体Sr1-x-yEuxBaYAl2O4の微細構造と発光特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内橋 研人、塚崎 裕文、Fernando Cubillas、石橋 広記、久保田佳基、石井 悠衣、森 茂生、山崎 順
2. 発表標題 六方晶マンガン酸化物におけるTi置換に伴う結晶構造変化と特異なドメイン構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森茂生、大迫明弘、中島宏、石井悠衣、原田研
2. 発表標題 ホロコーン暗視野法/フーコ法を用いた磁性材料の微細構造解析
3. 学会等名 日本結晶学会
4. 発表年 2020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
---------	---------