

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01804

研究課題名（和文）巨大エピタキシャル歪みが誘起する新奇超伝導の探索と解明

研究課題名（英文）Elucidation of novel superconductivity induced by giant epitaxial strain

研究代表者

打田 正輝（Uchida, Masaki）

東京工業大学・理学院・准教授

研究者番号：50721726

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ルチル型酸化物RuO<sub>2</sub>の薄膜において発見された超伝導の研究を深め、巨大エピタキシャル歪みが誘起する電子格子状態の変化の解明と新奇超伝導の学理の構築を目指した。同じ基板方位及び膜厚で超伝導を示す薄膜と超伝導を示さない薄膜を作りわけたのち、X線吸収分光によってRuサイトの軌道準位とOサイトとの混成強度の変化を明らかにした。具体的には、もともと等価であった2種類のRuサイトが巨大なエピタキシャル歪みによって非等価になり、フェルミレベル近傍の軌道状態が大きく変化することが明らかになった。さらに、薄膜に対し外部から歪みを印加する手法を開発し、RuO<sub>2</sub>薄膜の超伝導転移温度の変化を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい物性を開拓していく上で、結晶の格子定数ないしボンド長を変化させる歪みは極めて重要なパラメータである。一方で、3%以上の巨大なエピタキシャル歪みを遷移金属酸化物に適用し物性開拓を進めた研究はこれまでほとんどなかった。本成果は、巨大なエピタキシャル歪みによってルチル型酸化物RuO<sub>2</sub>の電子格子状態が劇的に変化し超伝導が誘起されることを示しており、今後様々な酸化物への研究展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have deepened research on superconductivity discovered in thin films of rutile-type oxide RuO<sub>2</sub>, aiming to elucidate the change in electronic and lattice states induced by giant epitaxial strain. After fabricating superconducting and non-superconducting thin films with the same substrate orientation and thickness, we have clarified the change in the hybridization strength between the orbital level of the Ru site and the O site by X-ray absorption spectroscopy. Specifically, it was found that the two types of Ru sites, which were originally equivalent, become inequivalent due to the giant epitaxial strain, resulting in a significant change in the orbital state near the Fermi level. Furthermore, we have developed a method of applying external strain to the thin film and clarified the change in the superconducting transition temperature of the RuO<sub>2</sub> thin film.

研究分野：物性物理学

キーワード：ルテニウム酸化物 薄膜 超伝導体

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

新しい物性を開拓していく上で、結晶の格子定数ないしボンド長を変化させる歪みは極めて重要なパラメータである。特に、異方的な一軸歪みの場合には、系の対称性を破ったり、破れる方位を制御したりすることも可能となる。バルク単結晶に印加できる歪みの量はかなり限られているが、薄膜では基板との格子定数の違いを利用して1%以上のエピタキシャル歪みをかけることが可能である。さらに、単純な二元系化合物の場合には、印加可能な歪みの量は3%以上と極めて巨大なものになることが知られている。一方で、このような二元系特有の巨大エピタキシャル歪みを遷移金属酸化物に適用し物性開拓を進めた研究はこれまでほとんどなかった。薄膜においてかけることができる歪み量は、ルチル型構造における二種類のボンド長の大小関係を逆転させるほど大きなものであり、結晶場分裂の逆転による軌道状態の変化やフォノンのソフト化等、強相関酸化物における様々な自由度を変化させると期待される。

### 2. 研究の目的

研究代表者は、ルチル型酸化物  $\text{RuO}_2$  に3%を超える巨大エピタキシャル歪みをかけることで、超伝導状態を誘起することに新たに成功した (M. Uchida *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 147001 (2020))。この発見は、単純な二元系化合物において可能となる巨大エピタキシャル歪みが、遷移金属酸化物における強相関電子の自由度や超伝導をはじめとする物性の制御において強力なツールになることを示唆している。本研究では、分子線エピタキシー技術によって初めて可能になる  $\text{RuO}_2$  超伝導薄膜の作製を進め、巨大エピタキシャル歪みが誘起する新奇超伝導の学理構築を目指して研究を進めた。

### 3. 研究の方法

研究代表者は、これまで長年に渡って、ルテニウムをはじめとする高融点原料について電子ビーム加熱を利用した酸化物分子線エピタキシー成長の技術蓄積を続けてきた。この独自の薄膜作製技術を  $\text{RuO}_2$  に適用することで、巨大エピタキシャル歪みによる超伝導状態の誘起に成功し、さらに  $\text{RuO}_2$  薄膜を様々な結晶方位の  $\text{TiO}_2 \cdot \text{MgF}_2$  基板上に作製しエピタキシャル歪み量と輸送特性の変化を調べた結果、ルチル型構造における二種類のボンド長の大小関係を逆転することで  $\text{RuO}_2$  が  $T_c = 1.7 \text{ K}$  の超伝導を示すことが明らかになった。本研究では、この技術を生かして、(1)酸素量調整・ドーピングによる歪み量と超伝導転移温度の制御、(2)巨大エピタキシャル歪みを利用した二元系酸化物超伝導体の横断的開拓、(3)接合の作製と超伝導対称性の解明、の三項目の研究を進めた。

### 4. 研究成果

まず、成膜条件を細かく調節することで、歪み量及び超伝導転移温度が成膜ごとに大きくばらつく原因を解決し、巨大エピタキシャル歪みの制御手法を確立することに成功した。具体的には、オゾンの実効的な供給量及び基板表面の状態に強く依存して歪み量が変化することを明らかにした。これにより、同じ基板方位 ( $\text{TiO}_2(110)$ 面) 及び膜厚 (約 30nm) で超伝導を示す  $\text{RuO}_2$  薄膜と超伝導を示さない  $\text{RuO}_2$  薄膜を作り分けられるようになり、X線吸収分光等によって電子格子状態の変化を比較することが可能になった。

次に、この同じ基板方位及び膜厚で超伝導を示す RuO<sub>2</sub> 薄膜と超伝導を示さない RuO<sub>2</sub> 薄膜について、X線吸収分光によって Ru サイトの軌道準位と O サイトとの混成強度の変化を明らかにした。具体的には、X線の偏光を変えて OK 端の X線吸収スペクトルを測定し、O 2p 軌道と Ru 4d 軌道の混成から生じるプリエッジピークの検出を通して、フェルミ準位近傍の軌道状態を含む電子構造に対するエピタキシャル歪みの影響を明らかにした (C. A. Occhialini, M. Uchida *et al.*, Phys. Rev. Mater. **6**, 084802 (2022))。

偏光に対する選択則から、 $t_{2g}$  状態との結合を担う酸素軌道の対称性を決定することができた。また、超伝導を示す薄膜と超伝導を示さない薄膜の測定を比較した結果、 $c$  軸方向の巨大な圧縮歪みに関連した軌道のエネルギーシフトと混成強度の変化が起きていることがわかり、歪み量の関数としてスペクトルが変化する振る舞いが明らかになった。さらに重要なことには、もともと等価であった 2 種類の Ru サイトが巨大なエピタキシャル歪みによって非等価になり、フェルミレベル近傍の軌道状態が大きく変化することが明らかになった。すなわち、 $B_{2g}$  的な歪みの成分が 2 種類のサイトの縮退を破り、フェルミ準位の状態密度の増加やフォノンのソフト化を引き起こしている可能性が示唆される。これらの結果は、(110) RuO<sub>2</sub> 薄膜における正方晶  $P4_2/mnm$  から斜方晶  $Cmmm$  への対称性の低下の重要性と、超伝導及び磁性との関連性を意味するものである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 S. Nishihaya, A. Nakamura, M. Ohno, M. Kriener, Y. Watanabe, M. Kawasaki, and M. Uchida	4. 巻 124
2. 論文標題 Intrinsic insulating transport characteristics in low-carrier density EuCd <sub>2</sub> As <sub>2</sub> films	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 023103 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0183907	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. Nakazawa, R. Kurihara, M. Miyazawa, S. Nishihaya, M. Kriener, M. Tokunaga, M. Kawasaki, and M. Uchida	4. 巻 93
2. 論文標題 Edge and Bulk States in Weyl-Orbit Quantum Hall Effect as Studied by Corbino Measurements	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 023706 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.93.023706	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 A. Nakamura, S. Nishihaya, H. Ishizuka, M. Kriener, M. Ohno, Y. Watanabe, M. Kawasaki, and M. Uchida	4. 巻 109
2. 論文標題 Berry curvature derived negative magnetoconductivity observed in type-II magnetic Weyl semimetal films	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121108 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.109.L121108	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 R. Oshima, T. Hatanaka, S. Nishihaya, T. Nomoto, M. Kriener, T. C. Fujita, M. Kawasaki, R. Arita, and M. Uchida	4. 巻 109
2. 論文標題 Ferromagnetic state with large magnetic moments realized in epitaxially strained Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> films	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121113 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.109.L121113	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 J. P. Clancy, H. Gretarsson, A. Lupascu, J. A. Sears, Z. Nie, M. H. Upton, J. Kim, Z. Islam, M. Uchida, D. G. Schlom, K. M. Shen, and Y.-J. Kim	4. 巻 107
2. 論文標題 Magnetic excitations in the square-lattice iridate Ba <sub>2</sub> IrO <sub>4</sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054423-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.054423	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 C. A. Occhialini, L. G. P. Martins, S. Fan, V. Bisogni, T. Yasunami, M. Musashi, M. Kawasaki, M. Uchida, R. Comin, and J. Pellicciari	4. 巻 6
2. 論文標題 Strain-modulated anisotropic electronic structure in superconducting RuO <sub>2</sub> films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 084802-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.084802	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 M. Uchida, S. Sato, H. Ishizuka, R. Kurihara, T. Nakajima, Y. Nakazawa, M. Ohno, M. Kriener, A. Miyake, K. Ohishi, T. Morikawa, M. S. Bahrany, T. Arima, M. Tokunaga, N. Nagaosa, and M. Kawasaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Above-ordering-temperature large anomalous Hall effect in a triangular-lattice magnetic semiconductor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabi5381-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abi5381	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 S. Nishihaya, M. Uchida, Y. Nakazawa, M. Kriener, Y. Taguchi, and M. Kawasaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Intrinsic coupling between spatially-separated surface Fermi-arcs in Weyl orbit quantum Hall states	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2572-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-22904-8	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 M. Ohno, M. Uchida, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, A. Miyake, M. Tokunaga, Y. Taguchi, and M. Kawasaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Molecular beam deposition of a new layered pnictide with distorted Sb square nets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 051107-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0043453	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 M. Ohno, M. Uchida, R. Kurihara, S. Minami, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, M. Hirayama, A. Miyake, Y. Taguchi, R. Arita, M. Tokunaga, and M. Kawasaki	4. 巻 103
2. 論文標題 Quantum transport observed in films of the magnetic topological semimetal EuSb2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165144-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.165144	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. Ohno, S. Minami, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, R. Arita, M. Kawasaki, and M. Uchida	4. 巻 105
2. 論文標題 Maximizing intrinsic anomalous Hall effect by controlling the Fermi level in simple Weyl semimetal films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L201101-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L201101	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35件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 M. Uchida
2. 発表標題 Triangular-Lattice Magnetic Semiconductor Producing Giant Anomalous Hall Signals
3. 学会等名 2023 MRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Uchida
2. 発表標題 Control of magnetic ground states in largely strained Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> films
3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村彩乃, 西早辰一, Markus Kriener, 渡辺悠斗, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 磁性ワイル半金属EuCd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> 薄膜における磁気輸送特性の磁場方位依存性
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西早辰一, 中村彩乃, 大野瑞貴, Markus Kriener, 渡辺悠斗, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 ワイル半金属候補物質EuCd <sub>2</sub> As <sub>2</sub> の薄膜作製による低キャリア濃度化
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 磁性ワイル半金属薄膜における磁気輸送現象
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡辺悠斗, 西早辰一, Markus Kriener, 中村彩乃, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 EuCd <sub>2</sub> 薄膜における多成分トポロジカルホール効果の特異な履歴特性
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松木優太, 西早辰一, 大島 蓮, 三輪史哉, 打田正輝
2. 発表標題 分子線エピタキシー法により作製したSrRuO <sub>3</sub> 薄膜の量子輸送状態の評価
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 R. Oshima, Y. Matsuki, T. Hatanaka, S. Nishihaya, F. Miwa, T. Nomoto, M. Kriener, T. C. Fujita, M. Kawasaki, R. Arita, M. Uchida
2. 発表標題 Molecular beam epitaxy of Ruddlesden-Popper strontium ruthenates
3. 学会等名 29th International Workshop on Oxide Electronics (iWOE29) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 Controlling magnetic ground states of Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> by epitaxial strain
3. 学会等名 令和5年度 新学術領域「量子液晶の物性科学」領域研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Nakamura, S. Nishihaya, H. Ishizuka, M. Kriener, M. Ohno, Y. Watanabe, M. Kawasaki, M. Uchida
2. 発表標題 Berry curvature derived negative magnetoconductivity in type-II magnetic Weyl semimetal EuCd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> films
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials 2024 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Matsuki, S. Nishihaya, M. Kriener, R. Oshima, F. Miwa, M. Uchida
2. 発表標題 Examining multi-component quantum oscillations in SrRuO <sub>3</sub> films
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials 2024 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Nishihaya, Y. Watanabe, M. Kriener, A. Nakamura, M. Uchida
2. 発表標題 Multi-component topological Hall effect observed in films of a frustrated magnet EuCd <sub>2</sub>
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials 2024 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Oshima, T. Hatanaka, S. Nishihaya, T. Nomoto, M. Kriener, T. C. Fujita, M. Kawasaki, R. Arita, M. Uchida
2. 発表標題 Changing magnetic ground states by epitaxial strain in Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> films
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials 2024 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 酸化物ヘテロ界面における異方的な歪み状態の解明と機能創出
3. 学会等名 新学術領域「機能コアの材料科学」2023年度公開シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松木優太, 西早辰一, Markus Kriener, 大島蓮, 三輪史哉, 打田正輝
2. 発表標題 SrRuO <sub>3</sub> 薄膜における多成分量子振動の解析
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hsiang Lee, 西早辰一, 中村彩乃, Markus Kriener, 渡辺悠斗, 打田正輝
2. 発表標題 Magnetotransport of magnetic Weyl semimetal candidate EuZn <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> films
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村彩乃, 西早辰一, 石塚大晃, Markus Kriener, 渡辺悠斗, 打田正輝
2. 発表標題 磁性ワイル半金属薄膜における面内異常ホール効果の観測
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Uchida, M. Ohno, S. Minami, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, R. Arita, M. Kawasaki
2. 発表標題 Maximizing anomalous Hall effect by tuning the Fermi level in simple Weyl semimetal EuCd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub>
3. 学会等名 2023 American Physical Society March Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村彩乃, 西早辰一, 大野瑞貴, 渡辺悠斗, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 磁性ワイル半金属EuCd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> 薄膜における磁気抵抗の特徴変化
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 渡辺悠斗, 西早辰一, M. Kriener, 中村彩乃, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 EuA <sub>2</sub> (A = Cd, Zn)薄膜におけるトポロジカルホール効果の比較
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 西早辰一, 渡辺悠斗, M. Kriener, 中村彩乃, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 EuCd <sub>2</sub> エピタキシャル薄膜における多成分トポロジカルホール効果の観測
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 大島蓮, 西早辰一, 藤田貴啓, M. Kriener, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 Sr3Ru207薄膜における巨大エピタキシャル歪みにより誘起された強磁性状態
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 M. Uchida
2. 発表標題 Quantum Hall conduction on topological semimetal Fermi arcs
3. 学会等名 15th Asia Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 強磁場を利用した半金属・半導体薄膜の新奇量子輸送状態に関する研究
3. 学会等名 第4回強磁場フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 Fabrication and control of Sr3Ru207 films by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 令和4年度 新学術領域「量子液晶の物性科学」領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 酸化物ヘテロ界面における異方的な歪み状態の解明と機能創出
3. 学会等名 新学術領域「機能コアの材料科学」領域全体会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 分子線エビタキシー成長による人工ネマティック構造の創製
3. 学会等名 新学術領域「量子液晶の物性科学」公募班キックオフミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Ohno, S. Minami, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, R. Arita, M. Kawasaki, M. Uchida
2. 発表標題 Maximizing anomalous Hall effect by tuning the Fermi level in simple Weyl semimetal films
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺悠斗, 西早辰一, 中村彩乃, 打田正輝
2. 発表標題 EuCd <sub>2</sub> 薄膜における巨大なトポロジカルホール効果の観測
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大城蓮, 西早辰一, 藤田貴啓, 川崎雅司, 打田正輝
2. 発表標題 分子線エビタキシー法による高品質Sr <sub>3</sub> Ru <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 薄膜の作製と評価
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 トポロジカル半金属における新しい非散逸伝導機能の開拓
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 磁性ワイル半金属EuCd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> 薄膜における異常ホール角の最大化
3. 学会等名 第13回低温科学研究センター研究交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田正輝
2. 発表標題 トポロジカル半金属とエッジ状態
3. 学会等名 さきがけ「トポロジー」領域 第8回インフォーマルミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Uchida
2. 発表標題 Quantized Transport on Topological Semimetal Fermi Arcs
3. 学会等名 2021 MRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Ohno, M. Uchida, R. Kurihara, S. Minami, Y. Nakazawa, S. Sato, M. Kriener, M. Hirayama, A. Miyake, Y. Taguchi, R. Arita, M. Tokunaga, M. Kawasaki
2. 発表標題 Two-Dimensional Quantum Oscillations Observed in Magnetic Topological Semimetal EuSb <sub>2</sub> Films
3. 学会等名 2021 MRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021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