

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03543

研究課題名（和文）スピン・軌道揺動系における未知物性の探索

研究課題名（英文）Search for novel physical properties in spin-orbit fluctuated systems

研究代表者

奥田 哲治（Okuda, Tetsuji）

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：20347082

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）：本課題では、スピン・軌道揺らぎが増強される元素置換した擬ブルッカイト型Ti305において新物性探索を実施した。Ti305の低温相においては、Ti3+/Ti4+の電荷整列を示すと同時に、隣接Ti3+が対となったスピン一重項の二量体形成が起きる。本課題では、同構造のAlTi205との混晶の単結晶育成に成功し、Al量に応じて室温で、相が逐次的に現れ、相と相において二量体相関が色濃く残留した相関伝導相が実現している可能性を見出した。さらに、相と相間の相境界近傍において、二量体形成の揺らぎに起因する特異な磁気特性や、高温域で比較的に高い熱電電力因子を示すことも見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピン一重項の二量体形成は一般的な量子現象であり、Ti305やTi407の低温での二量体形成は古くから知られていた。ところが、Ti305の相やTi407の中間相ではバイポーラ・スピン液体状態や異常コヒーレント状態などが提案されており、それらの磁気・電子状態は未解明のままであった。さらに、近年、理論や実験の進展に伴い、スピン・軌道整列が起源となる多量体形成が多く物質で見出され、その物性研究が進展しつつある。以上の背景のもと、本課題で育成に成功した元素置換したTi305やTi203の単結晶での発見は、二量体物性の理解を深化させ、さらに、巨大熱電応答など新量子物性につながる重要なものと思われる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we searched for novel physical properties in chemically substituted pseudobrookite Ti305 with enhanced spin-orbit fluctuations. In the low temperature phase of Ti305, a spin-singlet dimerization between the neighboring Ti3+ ions occurs with accompanying Ti3+/Ti4+ charge ordering. We succeeded in growth of the single crystals mixed with AlTi205 having the similar structure and found that the , , and phases sequentially appeared at room temperature with the change in the Al content and that the correlated conductive state where the dimer correlations strongly remained were realized even in the paramagnetic and phases. Furthermore, we found unique magnetic properties and relatively good high-temperature thermoelectric properties, originating in the fluctuations of dimerization, near the phase boundary between the and phases.

研究分野：物性実験

キーワード：強相関電子材料 二量体 電荷整列 熱電特性 擬ブルッカイト

1. 研究開始当初の背景

近藤効果、超巨大磁気抵抗、遍歴透明強磁性、重い電子、非従来型超伝導などの多彩な量子物性は、物質中の局在スピンや電子軌道の揺らぎと遍歴電子の相関が起源となる。これらの量子現象は、磁性不純物をドーブした金属・半導体や、様々な相互作用の拮抗によりスピン・軌道モーメントの揺らぎが臨界増大する相境界近傍の臨界領域などにおいてしばしば見出される。本課題では、スピン・軌道モーメントの揺らぎが増強する新たな系を探索し未知物性を見出すことを目指した。

2. 研究の目的

本研究課題では、「結晶格子と結合したスピン・軌道揺らぎの制御の有効性の真偽」を核心的な問いと設定した。この問いに対して、新たな電荷・軌道整列候補物質の単結晶育成および物性評価を試み、「結晶格子と結合する増強されたスピン・軌道揺らぎと輸送・熱特性の相関を起源とする優れた熱電特性などの未知物性、巨大物性を見出すこと」を本研究の目的とした。特に、本課題では、電荷整列と同時にスピン重項の二量体を形成する擬ブルッカイト型酸化物 Ti_3O_5 と類縁物質に着目し単結晶育成と物性探索を行った。

3. 研究の方法

(1) 単結晶育成

擬ブルッカイト型酸化物 $AlTi_2O_5$ と Ti_3O_5 の混晶系 ($Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$, $0 \leq x \leq 1$) の単結晶をフローティング・ゾーン法 (FZ 法) により還元雰囲気下で育成し、全ての x の範囲において単結晶を育成することに成功した。[1] また、FZ 法により、同じ擬ブルッカイト型構造を持つ $MgTi_2O_5$ と Ti_3O_5 の混晶系 ($Mg_{1-x}Ti_{2+x}O_5$, $0 \leq x \leq 1$)、および、類縁物質であるイルメナイト型酸化物 $MgTiO_3$ とコランダム型酸化物 Ti_2O_3 の混晶系 ($Mg_{1-x}Ti_{1+x}O_3$) の一部の組成域においても結晶育成に成功した。

(2) 物性評価

得られた試料の物性評価に関しては、粉末 X 線回折による構造解析、SQUID による磁化測定、四端子法による電気抵抗率測定およびゼーベック係数測定を行った。高温域の磁化測定、比熱測定は上智大学で実施し、電子構造評価を東京理科大学で実施した。ラウエ法による単結晶の方位出しに関しては早稲田大学で行った。

4. 研究成果

(1) $AlTi_2O_5-Ti_3O_5$ 混晶系 ($Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$, $0 \leq x \leq 1$) における物性探索

本課題では、擬ブルッカイト型構造を持つ $AlTi_2O_5-Ti_3O_5$ 混晶系 ($Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$, $0 \leq x \leq 1$) の全組成域で単相の単結晶育成に成功し、大まかな相図を作成した。図 1 に得られた相図を示す。 Ti_3O_5 で温度変化により現れることが知られていた α 相、 λ 相、 β 相 [2,3] は Al 置換することにより室温で逐次的に現れることがわかった。また、CDW 状態が提案されている[4] $AlTi_2O_5$ は、擬ブルッカイト構造の α 相に相当することもわかった。

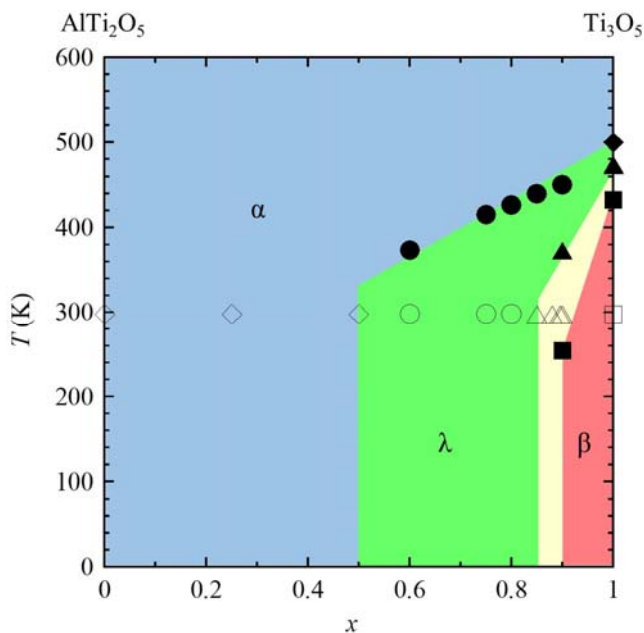


図 1 $AlTi_2O_5-Ti_3O_5$ 混晶系 ($Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$, $0 \leq x \leq 1$) の相図 [1]

白抜き記号は室温での粉末 X 線回折測定の結果、黒丸は高温ゼーベック係数測定の結果、その他の黒色の記号は磁化測定の結果より決定した。 λ 相と β 相の相境界周辺 (黄色の領域) は、 λ 相と β 相が共存する共存領域となっている。

Ti_3O_5 ($x=1$) の低温 β 相においては、 $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}$ の電荷整列が起こると同時に、隣接 Ti^{3+} ($S=1/2$) がスピン一重項の二量体を形成し非磁性になることが知られていた。[2,3] 本課題で得られた混晶系の単結晶の磁化測定により、この二量体の相関が通常の常磁性とされていた α 相と λ 相においても色濃く残存する可能性があることがわかった。図 2 に帯磁率の温度依存を示す。低温での磁化から見積もられる磁性イオンである Ti^{3+} の数は、 α 相の AlTi_2O_5 ($x=0$) においても形式価数から予想される値よりもはるかに小さい。また、形式価数の組成依存から予想される振舞いととは正反対に、図 2 に示すように、 x の増加とともに低温での磁化は抑制される。光電子分光測定によると、Ti の価数は形式価数とほぼ一致していたことから、これらの磁化測定の結果は、 α 相や λ 相においても二量体形成の相関が存在し、 x が増加し β 相に近づくにつれてその相関が発達しているものと推察される。さらに、 λ 相と β 相の相境界近傍の λ 相においては、150 K 付近でブロードなピークを示す特徴的な χ - T 曲線を描くことが観測された。この振舞いは二量体形成の臨界的な揺らぎによるものと考えられる。

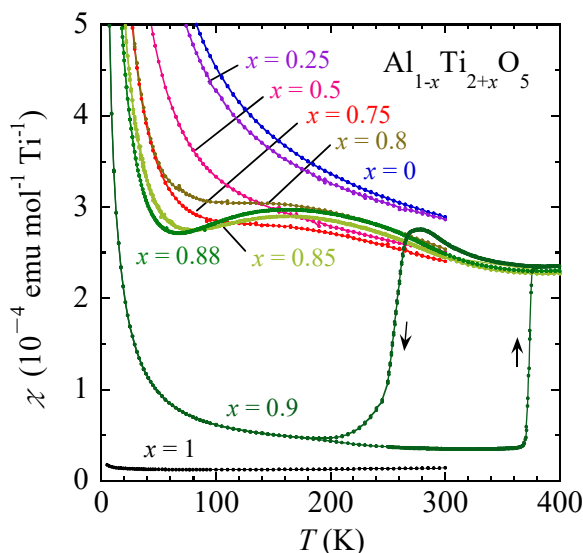


図 2 $\text{Al}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 1$) の χ - T 曲線

0.5 Tesla の磁場下での帯磁率の測定結果。 $x=0.9$ のヒステリシスは、 λ 相と β 相の間の一次相転移によるもの。

図 3 に AlTi_2O_5 - Ti_3O_5 混晶系 ($\text{Al}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$, $0 \leq x \leq 1$) の 290 K と 1000 K の抵抗率の組成依存、図 4 に 1000 K のゼーベック係数と熱電電力因子をまとめる。この混晶系の電気抵抗率は全組成域において絶縁体的な振舞いを示すが、両端の母結晶よりも二量体形成の揺らぎが最も増強されている λ 相と β 相の相境界近傍で、最良の電気伝導性を示すことが図 3 よりわかる。 x の増加による Ti^{3+} の増加は二量体相関の発達により相殺され、 x の増加に対してほとんどキャリア数は変化しない。そのため、相境界近傍での最良の電気伝導は、二量体相関の発達により磁性不純物となる孤立 Ti^{3+} が消失し、系の乱れが抑制されていることによるものと想像される。

x の増加に対してキャリア量が大きく変化しないため、図 4 に示すように、 $x=0$ での比較的大きなゼーベック係数は劇的には減少せず比較的に大きな値を相境界近傍まで維持し続ける。その結果、 λ 相と β 相の相境界近傍で、実用化の 1/10 程度の熱電電力因子を示す。このような比較的優れた熱電特性は、電気良導相である α 相と λ 相においても色濃く残存する二量体形成の揺らぎが起因している可能性がある。

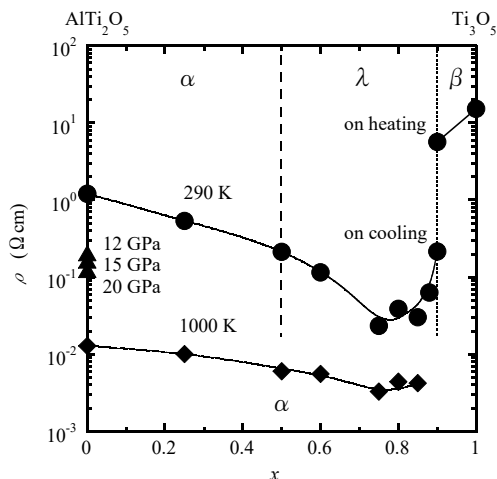


図 3

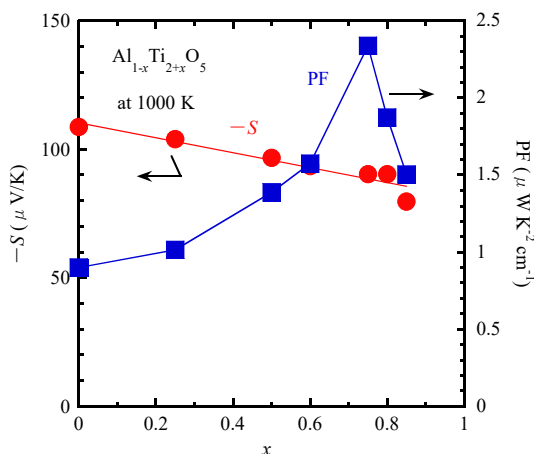


図 4

(2) 類縁酸化物における物性探索

① $\text{MgTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 混晶系 ($\text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$, $0 \leq x \leq 1$) の単結晶育成と物性探索

$\text{AlTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 混晶系 ($\text{Al}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$, $0 \leq x \leq 1$) においては、Al は三価であったため、Ti の形式価数は 3.5 価から 3.33 価の比較的狭い範囲であった。そこで、Al の代わりに Mg を用いた、 $\text{MgTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 混晶系 ($\text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$, $0 \leq x \leq 1$) の単結晶育成と物性評価も本課題では試みた。Mg は二価であるため、Mg 混晶系では Ti の形式価数が 4 価から 3.33 価と広がるため、Al 混晶系での議論を深めることができると考えた。Mg 混晶系については、多結晶試料の合成は既に報告 [5] されていたが単結晶についての報告はなかった。本課題では、Al 同様に還元雰囲気下での FZ 法によりほぼ全ての組成域で単結晶育成に成功する [7] までには至っている。今後は、Al 混晶系との比較検討により、擬ブルッカイト系における二量体物性の全容を明らかにしていく。

② $\text{MgTiO}_3\text{-Ti}_2\text{O}_3$ 混晶系 ($\text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_{1+x}\text{O}_3$) の合成と物性探索

コランダム型酸化物 Ti_2O_3 も、隣接 Ti^{3+} が対なりスピナー重項の二量体を形成 [6] することが知られている。一方、ほぼ同構造のイルメナイト型酸化物 MgTiO_3 は、Ti の形式価数が 4 価のバンド絶縁体である。本課題では、擬ブルッカイト型の $\text{MgTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 混晶系の単結晶育成を試みる中、偶然に、 $\text{MgTiO}_3\text{-Ti}_2\text{O}_3$ 混晶系 ($\text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_{1+x}\text{O}_3$) の結晶を一部の組成域で育成できること [8] を見出した。現在までに、育成できた $x=1/3$ の結晶が室温においてイルメナイトとコランダムの混合相となり、図 5 に示すように、比較的優れた電気伝導性を示すこと [8] を見出している。今後は全ての組成域での結晶育成を行い、この新たな混晶系の物性を調査していく予定である。

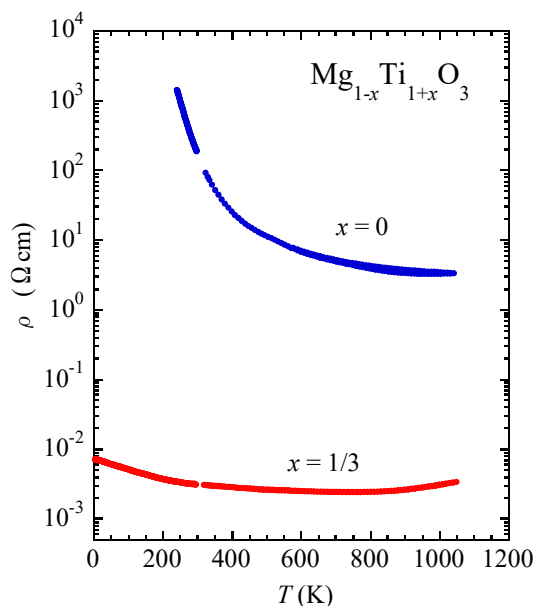


図 5

<引用文献>

- [1] R. Takahama, T. Ishii, D. Indo, M. Arizono, C. Terakura, N. Takeshita, Y. Tokura, M. Noda, H. Kuwahara, T. Saiki, T. Katsufuji, R. Kajimoto, and T. Okuda, *Phys. Rev. Materials* **4**, 074401 (2020).
- [2] L. N. Mulay and W. J. Danley, *J. Appl. Phys.* **41**, 877 (1970).
- [3] M. Onoda, *J. Solid State Chem.* **136**, 67 (1998).
- [4] T. Toyama, R. Ogura, K. Yoshinaga, S. Naito, N. Miyagawa, and E. Kaneshita, *J. Phys. Chem. Solids* **127**, 252 (2019).
- [5] I. E. Grey, C. Li, and I. C. Madsen, *J. Solid State Chem.* **113**, 62 (1994).
- [6] M. Uchida, J. Fujioka, Y. Onose, and Y. Tokura, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 066406 (2008).
- [7] 犬童代悟、有菌実駿、松木大成、松瀬諒太、奥田哲治、第 126 回 日本物理学会九州支部例会 概要集 B-8 (2020).
- [8] 有菌実駿、高須和也、石崎大悟、犬童代悟、白崎巧、桑原英樹、奥田哲治、日本物理学会第 76 回年次大会概要集 14aH1-4 (2021).

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 2件）

1. 著者名 R. Takahama, T. Ishii, D. Indo, M. Arizono, C. Terakura, N. Takeshita, Y. Tokura, M. Noda, H. Kuwahara, T. Saiki, T. Katsufuji, R. Kajimoto, and T. Okuda	4. 巻 4
2. 論文標題 Structural, magnetic, transport, and thermoelectric properties of the pseudobrookite $\text{AlTi}_2\text{O}_5\text{-Ti}_3\text{O}_5$ system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 074401-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.074401	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 Kenta Takahashi, Ryo Kato, Mario Okawa, Tetsuji Okuda, Akira Yasui, Eiji Ikenaga, Kanta Ono, Noriaki Hamada, and Tomohiko Saitoh	4. 巻 88
2. 論文標題 Electronic Structure of a Delafossite Oxide CuAlO_2 in Comparison with CuCrO_2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 074701-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.074701	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 Ryoichi Kajimoto, Mitsutaka Nakamura, Naoki Murai, Shin-ichi Shamoto, Takashi Honda, Kazutaka Ikeda, Toshiya Otomo, Hiroto Hata, Takahiro Eto, Masaaki Noda, Hideki Kuwahara, Tetsuji Okuda	4. 巻 8
2. 論文標題 Elastic and dynamical structural properties of La and Mn-doped SrTiO_3 studied by neutron scattering and their relation with thermal conductivities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9651-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27984-z	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 T. Okuda, R. Kajimoto, M. Noda, H. Kuwahara	4. 巻 8
2. 論文標題 Schottky specific heat of the lightly Mn-substituted electron-doped SrTiO_3	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 101339-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5042835	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 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト型 Ti 酸化物の単結晶育成と熱電特性
3. 学会等名 早稲田大学材料技術研究所共同利用共同研究拠点（環境整合材料基盤技術共同研究拠点）成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋木琢夫, 犬童代悟, 有園実駿, 奥田哲治, 勝藤拓郎
2. 発表標題 光学測定から見た $Al_{1-x}Ti_2+xO_5$ の相転移
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 有園実駿, 高須和也, 石崎大悟, 犬童代悟, 奥田哲治
2. 発表標題 イルメナイト型酸化物 $Mg_{1-x}Ti_{1+x}O_3$ の絶縁体・金属転移
3. 学会等名 第126回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 犬童代悟, 有園実駿, 松木大成, 松瀬諒太, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト型酸化物 $Mg_{1-x}Ti_2+xO_5$ の単結晶育成と物性評価
3. 学会等名 第126回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高濱隆成, 石井透依, 犬童代梧, 有園実駿, 寺倉千恵子, 十倉好紀, 竹下直, 野田正亮, 桑原英樹, 梶本亮一, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト型酸化物 $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の構造、磁気、輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)、学会現地開催中止によるweb発表
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Takahama, T. Ishii, T. Okuda
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Pseudobrookite $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ for $0 < x < 1$
3. 学会等名 THE 19th JAPAN-KOREA-TAIWAN SYMPOSIUM ON STRONGLY CORRELATED ELECTRON SYSTEMS (JKT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高濱隆成, 石井透依, 寺倉千恵子, 竹下直, 十倉好紀, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト酸化物 $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の熱電特性
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 斎木琢夫, 犬童代梧, 有園実駿, 奥田哲治, 勝藤拓郎
2. 発表標題 光学測定から見た $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の相転移
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 有園実駿, 高須和也, 石崎大悟, 犬童代悟, 奥田哲治
2. 発表標題 イルメナイト型酸化物 $Mg_{1-x}Ti_{1+x}O_3$ の絶縁体・金属転移
3. 学会等名 第126回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 犬童代悟, 有園実駿, 松木大成, 松瀬諒太, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト型酸化物 $Mg_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の単結晶育成と物性評価
3. 学会等名 第126回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有園実駿, 高須和也, 石崎大悟, 犬童代悟, 白崎巧, 桑原英樹, 奥田哲治
2. 発表標題 MgTiO ₃ -Ti ₂ O ₃ 系の磁気・輸送特性
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 斎木琢夫, 吉田大凌, 犬童代悟, 有園実駿, 奥田哲治, 勝藤拓郎
2. 発表標題 Ti ₃ O ₅ における光誘起相転移: 光照射の面方位依存性
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 渡辺慧, 中谷俊介, 芝田悟朗, 有園実駿, 犬童代梧, 保井晃, 高木康多, 奥田哲治, 齋藤智彦
2. 発表標題 硬X線光電子分光による擬ブルカイト型チタン酸化物 $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ ($x=0, 0.75, 1$) の電子構造
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 高橋謙太, 加藤諒, 大川万里生, 奥田哲治, 保井晃, 池永英司, 小野寛太, 浜田典昭, 齋藤智彦
2. 発表標題 デラフォサイト型銅酸化物 $CuCrO_2$ および $CuAlO_2$ の電子構造の比較研究
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会、岐阜大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高濱隆盛, 石井透衣, 犬童代梧, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルカイト型酸化物 $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の磁気・輸送特性
3. 学会等名 2019年度第6回ZAIKENフェスタ、早稲田大学各務記念材料技術研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高濱隆成, 石井透依, 犬童代梧, 有園実駿, 寺倉千恵子, 十倉好紀, 竹下直, 野田正亮, 桑原英樹, 梶本亮一, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルカイト型酸化物 $Al_{1-x}Ti_{2+x}O_5$ の構造、磁気、輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)、学会現地開催中止によるweb発表
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 Hole-doping effect on the d state of delafossite CuCrO_2
3. 学会等名 European Materials Research Society (E-MRS) 2018 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Okuda, R. Kajimoto, M. Noda, H. Kuwahara
2. 発表標題 Schottky specific heat of the lightly Mn-substituted electron-doped SrTiO_3
3. 学会等名 International Conference on Magnetism (ICM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米田智晃, 國守大也, 永田勇平, 奥田哲治
2. 発表標題 磁性不純物をドーピングしたルチル型酸化物 TiO_2 の物性
3. 学会等名 第124回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高浜隆成, 石井透依, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト型酸化物 $\text{Al}_{1-x}\text{Ti}_{2+x}\text{O}_5$ の物性
3. 学会等名 第124回 日本物理学会 九州支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Takahama, T. Ishii, T. Okuda
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of Pseudobrookite $Al_{1-x}Ti_2+xO_5$ for $0 < x < 1$
3. 学会等名 THE 19th JAPAN-KOREA-TAIWAN SYMPOSIUM ON STRONGLY CORRELATED ELECTRON SYSTEMS (JKT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高浜隆成, 石井透依, 寺倉千恵子, 竹下直, 十倉好紀, 奥田哲治
2. 発表標題 擬ブルッカイト酸化物 $Al_{1-x}Ti_2+xO_5$ の熱電特性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>鹿児島大学理工学研究科 奥田研究室ホームページ https://okuda812.wixsite.com/mysite-1</p> <p>鹿児島大学 研究紹介 https://www.kagoshima-u.ac.jp/researcher/2018/05/post-13.html</p> <p>鹿児島大学理工学研究科 研究紹介 https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/researcher/奥田%e3%80%80哲治/</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	梶本 亮一 (Kajimoto Ryoichi) (30391254)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 J - P A R Cセンター・研究主幹 (82110)	

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	齋藤 智彦 (Saitoh Tomohiko) (30311129)	東京理科大学・理学部第一部応用物理学科・教授 (32660)	
研究分担者	桑原 英樹 (Kawahara Hideki) (90306986)	上智大学・理工学部・教授 (32621)	

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