

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15168

研究課題名（和文）フラットバンド構造を持った酸化物薄膜における電子相制御と機能性開拓

研究課題名（英文）Electronic Phase Control and Development of Functionalities in Oxide Thin Films with Flat-band Structure

研究代表者

藤田 貴啓 (Fujita, Takahiro)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：60839687

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）：本研究では、「擬フラット」と呼ばれる特異なバンド構造を持つことが理論的に予想されている、パイロクロア型酸化物 $A_2B_2O_7$ ($A=Sn, Pb; B=Nb, Ta$)の薄膜化と、そのバンド構造に起因する量子物性の観測と制御を試みた。作製した薄膜試料は、良好な結晶性・化学組成を示したが、いずれも絶縁体であった。光学測定の結果、各化合物間のバンドギャップの傾向は、構成元素の原子軌道のエネルギー準位を用いて説明できた。第一原理計算で報告されているバンド構造に着目し、直接遷移と間接遷移のバンドギャップの差が、擬フラットバンドの「平坦さ」の良い指標となっていることを実験的に確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、「擬フラットバンド」を持つ酸化物における今後のバンドエンジニアリングと機能性開拓につながることを期待される。また、昇華性元素を含む物質、特に未だに報告の限られているパイロクロア型酸化物の薄膜作製において重要な知見を与える。

加えて、本研究の過程において、同様に昇華性の高いBiやRuを含む物質の薄膜化や、当初予定していた薄膜試料への電界効果による物性制御に関する多くの知見を得ることができた。これらの知見を活かして、従来にはない酸化物薄膜・ヘテロ界面試料における創発磁気輸送現象と、その制御に関する研究が進展中である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have attempted to fabricate thin films of the pyrochlore-type oxide $A_2B_2O_7$ ($A = Sn, Pb; B = Nb, Ta$), which is theoretically predicted to possess an unusual “quasi-flat” band structure, and to observe and control emergent quantum properties resulting from the unique band structure. Thin film samples fabricated by pulsed laser deposition exhibit good crystallinity and chemical composition while they are all electrically insulators. Optical measurements clarify that the optical band gaps increase in the order of $Sn_2Nb_2O_7$, $Sn_2Ta_2O_7$, $Pb_2Nb_2O_7$, and $Pb_2Ta_2O_7$. This trend can be explained by considering the energy levels of the atomic orbitals of the constituent elements in each compound. Focusing on the band structure reported in the previous first-principles calculations, we experimentally confirm that the difference in band gaps between direct and indirect transitions is a good indicator of the “flatness” of the quasi-flat band.

研究分野：酸化物薄膜

キーワード：酸化物薄膜 強相関電子系

1. 研究開始当初の背景

固体中の電子は、バンド構造と呼ばれる限られたエネルギー状態に離散化されることが良く知られる。また近年では、バンド構造の幾何学的性質 (トポロジー) に着目し、トポロジーに基づいた物質の分類や物性の理解を行う、トポロジカル物性物理学が爆発的に発展してきている。とりわけ「トポロジカルに非自明」なバンド構造を示す系は、トポロジカル物質群として精力的に研究が行われている。その代表例がグラフェンやトポロジカル絶縁体の表面に現れるディラック電子系であり、固体中のディラック電子は、質量が「ゼロ」の相対論的粒子のように、1電子エネルギーが波数に比例する線形バンドを持つ。このようなディラック電子は、高移動度やスピン・運動量ロッキング等の性質により、次世代エレクトロニクスを担うことが期待されている [1]。他方、ディラック電子状態とは反対に、質量が「重い」極限、すなわち1電子エネルギーが波数に依存しない平坦な (フラット) バンド構造を持つ状態も考えることができる。この状態では、多体電子系の基底状態を非摂動論的に扱えることから、種々の量子物性の発現が理論的に予言されてきた。一方で、電子相関による基底状態の不安定性や、フェルミ準位の位置が問題となり、フラットバンド構造を有する現実の材料系が見つかっておらず、長らく理論的な興味に留まっていた。しかしながら 2018 年に、2層に重ねたグラフェンを「魔法角度」と呼ばれる特殊な角度だけ捻った系においてフラットバンド状態の実現が報告されたことに端を発し、2次元物質をツイストさせたモアレ構造における研究が急速に進展した [2]。

こうした状況の中、パイロクロア型と称される酸化物の一部においては、ほぼ分散のない「擬フラットバンド」が3次元のバルク物質中に存在することが第一原理計算によって予言された [3,4]。パイロクロア型酸化物は、立方晶の結晶構造を持つ典型的な複酸化物である。一般的には $A_2B_2O_7$ と記述されるが、2種類ある酸素サイトを露わに区別すると、 $A_2B_2O(1)_6O(2)$ と表される (図 1(a))。パイロクロア型格子において、A サイトもしくは B サイトのみに着目すると、正四面体が3次元的に頂点を共有した構造を持っている。特に A サイトに磁性希土類元素 (Ln) を配した場合 ($Ln_2B_2O_7$) には、幾何学的フラストレーションの結果、多彩な量子磁性を発現することで有名である [5]。 $Ln_2B_2O_7$ では、A サイトの Ln 由来の電子は局在化しており、フェルミ準位近傍のバンド構造には影響しない。一方、孤立原子対を持つ Sn^{2+} や Pb^{2+} を A サイトに配した $A_2B_2O_7$ ($A = Sn, Pb; B = Nb, Ta$) では、 $A_2O(2)$ 結合に起因した擬フラットバンド状態がフェルミ準位近傍に現れる。本系においては、価電子帯の最上部 (Valence Band Maximum; VBM) が A-ns 軌道と O-2p 軌道、伝導帯の最底部 (Conduction Band Minimum; CBM) が B-nd 軌道と O-2p 軌道の混成によってそれぞれ構成される (図 1(b))。VBM である擬フラットバンド状態は、バンド分散の大きさがバンドギャップよりも十分に小さいことによって特徴づけられ、強磁性、超伝導、量子ホール効果、トポロジカル電子相等の発現が期待されている [6-8]。一方でバルク結晶による先行研究では、平衡条件における価数制御の困難さから、A サイトイオンが B サイトに取り込まれるアンチサイト欠陥や酸素欠損によって化学量論比がずれ、擬フラットバンド構造が消失してしまうという問題が報告されていた [9]。

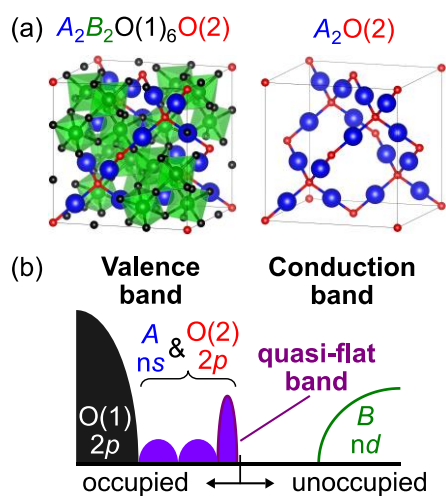


図 1 (a)パイロクロア型酸化物 ($A_2B_2O_7 = A_2B_2O(1)_6O(2)$)の結晶構造と $A_2O(2)$ ネットワーク。(b)バンド構造の模式図。

2. 研究の目的

本研究では、非平衡条件での結晶成長に優れるパルスレーザー堆積 (PLD) 法を用いて、擬フラットバンド構造を有するパイロクロア型酸化物を高品質薄膜化し、本系に特徴的な量子相や量子物性の探索を行うことを目指した。加えて、薄膜試料の特徴を生かし、電界効果や化学置換を駆使したキャリア濃度制御によって、その量子物性を制御することを当初の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 薄膜試料作製

$A_2B_2O_7$ ($A = \text{Sn, Pb}; B = \text{Nb, Ta}$) およびその化学置換薄膜試料は、PLD 法によって、イットリア安定化ジルコニア (Y-ZrO₂; YSZ) の(111)面単結晶基板上に作製した。YSZ 基板は成膜前に、電気炉を用いて大気中 1,350 °C で 3 時間アニールすることで、単原子層のステップテラス構造が見えるように表面処理を行った。PLD 用のターゲットは、SnO₂、PbO、Nb₂O₅、Ta₂O₅、TiO₂ 粉末を原料とし、スパークプラズマ焼結 (SPS) 法を用いて、0.05 MPa の Ar 雰囲気下 80 MPa の機械圧力を印加しながら、Sn₂B₂O₇ は 1,100 °C、Pb₂B₂O₇ は 850 °C で焼結したものを用いた。ターゲットのアブレーションには KrF エキシマレーザー ($\lambda = 248 \text{ nm}$) を使い、レーザーパルスの繰り返し周波数を 5 Hz に固定したうえでレーザーのパワーを調整することで成膜条件を探索した。

(2) 構造特性評価および光学測定

X 線回折測定は、リガク製 SmartLab を用いて、対称面測定および逆格子マッピング測定を行った。薄膜の表面形状は、島津製作所製走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT のコンタクトモードを用いて、1 Hz の走査周波数で測定した。薄膜中の化学組成は、日本電子製走査型電子顕微鏡 JSM-6700F を用いて、電子線を薄膜試料表面から垂直方向に入射しながら、エネルギー分散形 X 線分析 (EDS) によって評価した。光学測定は、島津製作所製 UV-3600 を用いて 200 nm~2,500 nm の範囲において透過率と反射率を測定し、吸収係数に換算した。

4. 研究成果

(1) 高品質薄膜試料の作製

Sn₂Nb₂O₇ をターゲットとし、酸素分圧を 1×10^{-4} Torr で固定し、成長温度と KrF レーザーのフルエンスを変化させた際に得られる結晶相の相図を図 2(a) に示す。フルエンスを 0.7 J/cm^2 に固定した場合、420 °C で単相の Sn₂Nb₂O₇ が得られ、成長温度を高くするにつれて、Nb₂O₅ の不純物相が現れ始め、520 °C では完全に Nb₂O₅ のみとなった。また、Nb₂O₅ の不純物が現れ始める境界温度は、フルエンスを 1.0 J/cm^2 に増加させることで高温側に移動しており、ターゲットからの前駆体の供給量を増やすことで Sn₂Nb₂O₇ の結晶化する温度領域が拡大したことを示している。これらの結果は薄膜の成長過程において、基板表面における SnO の再蒸発と Sn₂Nb₂O₇ の結晶化が同時に起こっており、高温領域においては SnO の蒸発が支配的となっていることを示唆する。

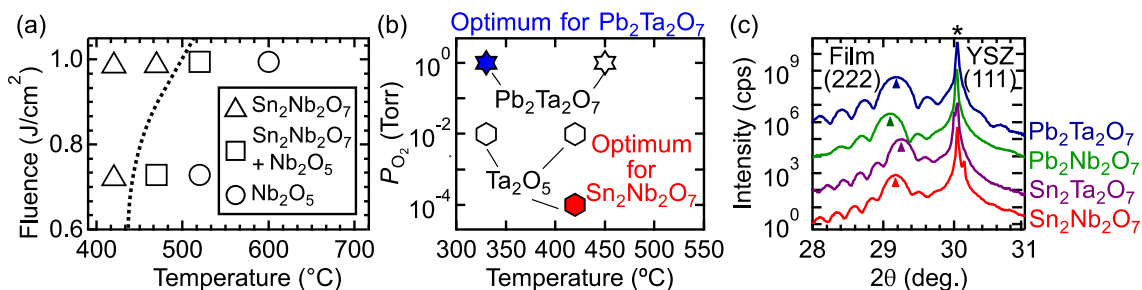


図 2 (a) Sn₂Nb₂O₇ をターゲットとし、酸素分圧を 1×10^{-4} Torr で固定した場合の、レーザーフルエンスと成長温度に対する結晶相図。点線は不純物相が現れる境界を示す。(b) Pb₂Ta₂O₇ をターゲットとした場合の、酸素分圧と成長温度に対する結晶相図。(c) $A_2B_2O_7$ の(222)ピーク周辺における対称面 X 線回折測定結果。三角形は薄膜のピーク位置を表す。

同様の傾向は $\text{Sn}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ をターゲットとした場合でも見られ、 $\text{Sn}_2\text{B}_2\text{O}_7$ においては成長温度 420°C 、フルエンス 1.0 J/cm^2 、酸素分圧 $1 \times 10^{-4}\text{ Torr}$ が最適な成膜条件であった。また、Nb サイトに対して Ti を 1~20% ドープした $\text{Sn}_2(\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x)_2\text{O}_7$ についても、同様の条件で高品質薄膜が得られた。一方で、 $\text{Pb}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ をターゲットとした場合では、上記の $\text{Sn}_2\text{B}_2\text{O}_7$ に対する最適条件で成膜した薄膜は完全に Ta_2O_5 のみとなった。これは PbO が SnO よりも高い蒸気圧を持っていることを反映していると推察され、実際に酸素分圧を 1 Torr に上昇させると PbO の蒸発が抑制され、 320°C および 450°C において単相の $\text{Pb}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ が得られ、同じ条件で $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ も得ることができた。後述の構造特性評価の結果も踏まえ、 $\text{Pb}_2\text{B}_2\text{O}_7$ においては成長温度 320°C 、フルエンス 1.0 J/cm^2 、酸素分圧 1 Torr が最適な成膜条件であった (図 2(b))。

図 2(c)にそれぞれの最適条件で成膜した $A_2B_2O_7$ 薄膜の(222)ピーク周辺における X 線回折パターンを示す。各物質の回折ピークに加え、明瞭なラウエ振動が観測されており、薄膜と YSZ 基板との間に急峻な界面が形成されていることを示唆している。同ピーク周りのロックングカーブ測定における半値全幅はいずれも 0.07° を下回っていた。YSZ(331)周辺の逆格子マッピング測定から、薄膜は基板から緩和して成長していることが確認でき、 ϕ スキャンから YSZ 基板と同様の 3 回対称性を持っていることが分かった。薄膜表面は平坦であり、原子間力顕微鏡で測定した二乗平均平方根粗さは 1 nm オーダー以下であった。EDS 測定の結果、YSZ 基板に含まれる Zr のピークと薄膜中の Nb のピーク位置が重なってしまうため、 $A_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 薄膜の組成は定量できなかったが、 $A_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ においては $A/\text{Ta} \approx 1$ のほぼ化学量論組成を示した。また、 $\text{Sn}_2(\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x)_2\text{O}_7$ の薄膜中の Ti 組成と、ターゲット中の仕込み組成も良い一致を示した。以上の結果はいずれも、本研究で作製した薄膜試料の結晶品質の高さを示している。

(2)電気伝導特性

作製された薄膜は高い結晶品質を示したが、室温においてさえ抵抗値が測定できないほどの完全な絶縁体であった。正孔キャリアのドープを意図して作製した $\text{Sn}_2(\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x)_2\text{O}_7$ でも、電気伝導性は改善しなかった。この原因としては大きく、(i)内因的なバンド構造、(ii)外因的な結晶欠陥、という 2 種類が考えられる。(i)は擬フラットバンド構造由来の大きなキャリア質量により移動度が低く、電気伝導に寄与できていないという可能性である。(ii)はキャリアが薄膜内の結晶欠陥によってトラップや補償されてしまっている可能性である。こうした原因の解明には、バンド構造や微細な結晶構造、より詳細な化学組成の測定が必要であり、これらは今後の課題である。

(3)光学測定

図 3(a)-(c)に薄膜試料の吸収係数 (α) のエネルギー依存性、直接・間接遷移を仮定した際の Tauc プロットを示す。吸収係数の吸収端エネルギー、および直接・間接光学バンドギャップは、いずれも $\text{Sn}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Sn}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pb}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ の順に増加した。この傾向は図 3(f)に示す、各物質の構成元素の原子軌道のエネルギー準位を考慮することで理解できる。本系では、 $A\text{-ns}$ と $\text{O-}2p$ の反結合軌道が VBM、 $B\text{-nd}$ と $\text{O-}2p$ の反結合軌道が CBM を構成しており、バンドギャップはそれらのエネルギーの差となる。ここで、各物質の構成元素の原子軌道のエネルギーは深い方から順に $\text{Pb-}6s$ 、 $\text{Sn-}5s$ 、 $\text{O-}2p$ 、 $\text{Nb-}4d$ 、 $\text{Ta-}5d$ となっていることを踏まえると、今回観測された傾向を再現できる。 $\text{Pb-}6s$ 軌道と $\text{Sn-}5s$ 軌道のエネルギー準位の逆転は一見不可解であるが、電子軌道の貫入と相対論的な効果を考えると説明できることが理論的に報告されており、実験的にも $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{O}$ においてバンドギャップが x に伴って増加するという事が確認されている [10]。

光学バンドギャップに見られたもう一つの興味深い点は、直接遷移と間接遷移のバンドギャップエネルギーの差 ($= \Delta E_g$) である。図 3(d)-(e)にそれぞれの物質の直接遷移と間接遷移のバンドギャップならびに ΔE_g を示す。本系の特に $A_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ については、第一原理計算の先行研究にお

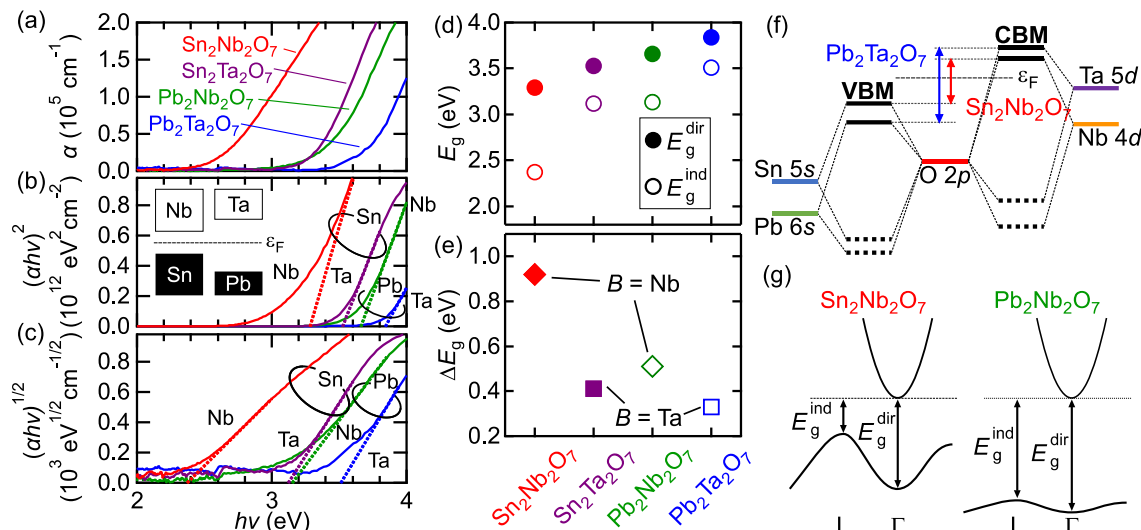


図3(a)作製された薄膜の吸収係数、(b)直接ギャップ、(c)間接ギャップを仮定した場合の Tauc プロット。(b)、(c)の点線の横軸切片が光学バンドギャップを表す。(d)作製された薄膜の直接ギャップ (E_g^{dir}) と間接ギャップ (E_g^{ind})。 (e)直接ギャップと間接ギャップの差。(f)構成元素の軌道エネルギーの模式図。(g)バンド構造と直接・間接光学遷移の模式図。

いてバンド構造が既に報告されており、直接遷移は VBM の Γ 点から CBM の Γ 点、間接遷移は VBM の L 点から CBM の Γ 点への遷移であることが分かっている [3,4]。したがって ΔE_g は、VBM における擬フラットバンドの「平坦さ」を表す良い指標となり得る (図 3(g))。実際に B サイトが共通の化合物間の ΔE_g は、A サイトが Pb の化合物において、有意に減少しており、 $\text{Pb}_2\text{B}_2\text{O}_7$ が $\text{Sn}_2\text{B}_2\text{O}_7$ に比べてより平坦な擬フラットバンドを持っていることを示唆しているが、これは上述の第一原理計算と良く一致している。以上をまとめると、 $\text{Sn}_2\text{B}_2\text{O}_7$ に対して Sn を Pb で置換することで、バンドギャップを増大させるとともに、VBM を平坦化させることが明らかになった。

(4)まとめ

$A_2B_2O_7$ ($A = \text{Sn, Pb}$; $B = \text{Nb, Ta}$) およびその元素置換物質の高品質薄膜化に成功した。これらは昇華性元素を含む物質の薄膜作製において重要な知見であるとともに、未だに数少ないパイロクロア型酸化物の薄膜作製例である。作製した薄膜試料は、X 線回折や EDS 測定では良好な結晶性・化学組成を示したが、いずれも絶縁体であり、当初予定していた電気輸送特性を測定することはできなかった。B サイトを Ti で置換することにより正孔キャリアのドーピングを試みたが、電気伝導特性に改善は見られなかった。光学測定の結果、光学バンドギャップは $\text{Sn}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Sn}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pb}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ の順に増加し、この傾向は各物質の構成元素の原子軌道のエネルギー準位を考慮することで説明できた。第一原理計算で報告されているバンド構造に着目し、直接遷移と間接遷移のバンドギャップの差が、VBM の「平坦さ」の良い指標となっていることを実験的に確認した。これらの結果は、本系における今後のバンドエンジニアリングと機能性開拓につながることを期待される。またこの研究の過程において、同様に昇華性の高い Bi や Ru を含む物質の薄膜化や、当初予定していた薄膜試料への電界効果による物性制御に関する多くの知見を得ることができた。これらの知見を活かして、従来にない酸化物薄膜・ヘテロ界面試料における創発磁気輸送現象と、その制御に関する研究が進展中である。

<引用文献>

- [1] X.-G. Wen, Rev. Mod. Phys. **89**, 041004 (2017). [2] Y. Cao *et al.*, Nature **556**, 7699 (2018). [3] I. Hase *et al.*, Phys. Rev. Lett. **120**, 196401 (2018). [4] I. Hase *et al.*, Nanomaterials **9**, 6 (2019). [5] J. S. Gardner *et al.*, Rev. Mod. Phys. **82**, 53 (2010). [6] L. F. Liu Zheng *et al.*, Chin. Phys. B **23**, 77308 (2014). [7] W. Zhang *et al.*, NPJ Comput. Mater. **5**, 1 (2019). [8] Y. Zhou *et al.*, Phys. Rev. B **99**, 201105 (2019). [9] Y. Aiura *et al.*, J. Phys. Chem. C **121**, 9480 (2017). [10] M. Liao *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol. **4**, Q26 (2015).

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 6件）

1. 著者名 Ohno M., Fujita T. C., Masutake Y., Kumigashira H., Kawasaki M.	4. 巻 11
2. 論文標題 Novel supercell compounds of layered Bi-Rh-O with p-type metallic conduction materialized as a thin film form	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 51107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0147646	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 Nishino R., Fujita T. C., Kawasaki M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Electric field control of anomalous Hall effect in $\text{CaIrO}_3/\text{CaMnO}_3$ heterostructure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 081104 ~ 081104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0097881	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 Fujita T. C., Ito H., Kawasaki M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Trends in bandgap of epitaxial $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (A = Sn, Pb; B = Nb, Ta) films fabricated by pulsed laser deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 051112 ~ 051112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0089731	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 Ito H., Fujita T. C., Kawasaki M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Single crystalline $\text{Sn}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ films with Ti-doping fabricated by pulsed laser deposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 101116 ~ 101116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0060084	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 L.-F. Zhang, T. C. Fujita, and M. Kawasaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Evolution of ferromagnetism captured by magnetotransport in compressively strained Sr1-xPbxRuO3 thin films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 44402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.044402	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 R. Nishino, T. C. Fujita, F. Kagawa, and Masashi Kawasaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Evolution of ferroelectricity in ultrathin PbTiO3 films as revealed by electric double layer gating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67580-8	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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 M. Ohno, T.C. Fujita, Y. Masutake, H. Kumigashira, M. Kawasaki
2. 発表標題 Metallic Bi-Rh-O thin films with p-type conduction
3. 学会等名 APS March Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大野瑞貴、藤田貴啓、川崎雅司
2. 発表標題 界面制御によるパイロクロア型単結晶Bi2Rh2O7薄膜の安定化
3. 学会等名 2023年春季第70回応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 張靈飛、先崎俊亮、藤田貴啓、川崎雅司
2. 発表標題 LnRuO ₃ (Ln = Pr, Sm, Eu, Gd)単結晶薄膜の作製と磁気輸送特性
3. 学会等名 2023年春季第70回応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西嘉祐、藤田貴啓、川崎雅司
2. 発表標題 パイロクロア型磁性絶縁体/非磁性金属界面の異常ホール効果
3. 学会等名 2023年春季第70回応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. C. Fujita, R. Nishino, M. Kawasaki
2. 発表標題 Electrical gate tuning of anomalous Hall effect in CaIrO ₃ /CaMnO ₃ heterointerface
3. 学会等名 The 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Zhang, T. C. Fujita, M. Kawasaki
2. 発表標題 Fabrication and magnetotransport properties of LnRuO ₃ (Ln = La, Nd) single crystalline thin films
3. 学会等名 The 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. C. Fujita, H. Ito, M. Kawasaki
2. 発表標題 Trend in Optical Bandgap of A2B2O7 (A = Sn, Pb; B = Nb, Ta) Thin Films
3. 学会等名 28th International Workshop on Oxide Electronics (iWOE28) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Zhang, T. C. Fujita, M. Kawamura, M. Tokunaga, M. Kawasaki
2. 発表標題 Unconventional anomalous Hall effect in Ru (III) perovskite oxide thin films
3. 学会等名 28th International Workshop on Oxide Electronics (iWOE28) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野瑞貴、藤田貴啓、川崎雅司
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法により作製されたBi-Rh-O新物質薄膜におけるp型導電性
3. 学会等名 2022年第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 大西 嘉祐、藤田 貴啓、川崎 雅司
2. 発表標題 パイロクロア型酸化物ヘテロ界面における“異常な”異常ホール効果
3. 学会等名 第16回日本磁気科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 宏陽、藤田 貴啓、川崎 雅司
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法による単結晶Sn ₂ Nb ₂ O ₇ 薄膜の合成とホールドープの試み
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro C. Fujita, Hiroaki Ito, Masashi Kawasaki
2. 発表標題 Pulsed laser deposition and optical properties of Sn ₂ Nb ₂ O ₇ as a possible candidate of flat-band oxid
3. 学会等名 iWOE27 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 宏陽、藤田 貴啓、川崎 雅司
2. 発表標題 パイロクロア型単結晶A ₂ B ₂ O ₇ (A = Sn, Pb; B = Nb, Ta)薄膜の作製と光学特性
3. 学会等名 2022年春季 第69回応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張靈飛, 藤田 貴啓, 川崎 雅司
2. 発表標題 PbドープSrRuO ₃ 薄膜の強磁性と磁気輸送特性
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
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
---------	---------