

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02603

研究課題名（和文）一次元ディラック電子系物質における巨大熱電応答と熱・電気エネルギー変換機能

研究課題名（英文）Giant thermoelectric response and thermoelectric functions in one-dimensional Dirac electron materials

研究代表者

岡本 佳比古（Okamoto, Yoshihiko）

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：90435636

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）：一次元ディラック電子系物質Ta₄SiTe₄の巨大熱電応答を活用することにより、高性能な熱電変換材料の開発を目指した。合成された単結晶試料を用いた反射率測定により0.1 eV程度ととても小さいエネルギーギャップと数倍程度の光学伝導度の異方性の存在が明らかになり、高い熱電変換性能と電子状態の相関が明らかになった。また、実用材料として不可欠な同族元素との固溶にも成功した。Ta₄SiTe₄と同様の電子状態の特徴をもつと予想される物質の新規開拓により、Ti置換したTa₂Ni₃Te₅が室温で125 μV K⁻¹と、金属的な電気伝導を示す物質としては大きなゼーベック係数を示すことを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においてTa₄SiTe₄の太さ数100 μmの単結晶が初めて得られたことにより、本物質の反射率やホール抵抗を初めて測定することができた。これにより本物質系において「穏やかな一次元性をもつディラック電子系」の電子状態が巨大な熱電応答をもたらしていることを実験的に示せた。これは新たな低温用材料設計指針であり、熱電変換の分野にとって意義をもつ。実際本研究では、この指針に従って物質探索を行うことにより、有望な新材料候補Ta₂Ni₃Te₅を見出した。今後、化学組成の制御により大幅な性能向上が期待される。

研究成果の概要（英文）：We aimed to develop high-performance thermoelectric materials by utilizing giant thermoelectric response of Ta₄SiTe₄, which is a one-dimensional Dirac electron system. Reflectance measurements on the single crystals indicated the presence of a narrow gap of approximately 0.1 eV and moderately strong anisotropy, which is related to the high thermoelectric performance in this system. We also succeeded in synthesizing solid solutions between Ta₄SiTe₄ and Nb₄SiTe₄, which is necessary for practical materials. We developed new materials that are expected to have similar electronic state to Ta₄SiTe₄, and found that Ti-substituted Ta₂Ni₃Te₅ exhibited a large Seebeck coefficient of 125 microV K⁻¹ at room temperature, which is considerably high for a metallic material.

研究分野：固体化学、物性物理学

キーワード：熱電変換 ディラック電子 低次元電子系 新材料開拓

1. 研究開始当初の背景

熱電変換は、熱をタービンなどの動力に変換することによる発電や、一般家庭の冷蔵庫のような冷媒ガスの圧縮・膨張による冷却と異なり、固体中の電子の熱輸送を利用した熱・電気エネルギーの直接変換である。全固体の電子デバイスであるため、我々の身の回りの温度差や廃熱から電気を得る環境発電や、各種センサーやデバイスの冷やしたい箇所だけを冷却する局所冷却など幅広い用途への応用が期待される。しかし、熱電変換の現状の実用は、ペルチェ素子を利用した室温付近における赤外線センサーの冷却、核燃料の崩壊熱を利用した宇宙用電源といった限定された用途に留まっている。

熱電変換の広範な実用を阻んでいるのは、エネルギー変換効率の低さである。1960年代に開発された Bi_2Te_3 系などの古典的な材料が現在でも使用され、例えば発電モジュールのエネルギー変換効率は高々15%と他の実用技術と比べて低い。また、低温で高性能な材料が存在せず、マイナス100以下の温度域では実用化されていない。近年、300を超える高温領域では、階層的な乱れ構造の導入による熱伝導率の抑制[引用文献]など、新しい指針に基づいた新材料候補が開発されつつある。しかし、室温以下で高性能を発揮する新材料候補はほとんど見出されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、室温以下の温度領域で実用水準を超える高いエネルギー変換効率をもつ熱電変換材料の開発である。研究代表者は、新しい材料設計指針：「一次元ディラック電子系」に着目した新材料開発によりこれを達成する。代表者らは最近、一次元テルル化物 Ta_4SiTe_4 の針状試料が、2 mm cmの低い電気抵抗率を示しながら、 $-400 \mu\text{V K}^{-1}$ を超える巨大なゼーベック係数をマイナス100の低温で示すことを見出した[引用文献]。 Ta_4SiTe_4 は、一次元性の強い電子バンドからなるディラック点(バンドの交差点)において、約0.1 eVの小さいバンドギャップが、スピン軌道結合の効果により開いた特徴的なバンド構造をもつ。このように一次元バンドと小さいスピン軌道ギャップが共存した「スピン軌道ギャップが開いた一次元ディラック電子系」と呼べる状況が巨大なゼーベック係数をもたらしていると予想されるが、バルクサイズの試料が得られていないため物性データが不足しており、詳細は明らかでない。また、ゼーベック係数、電気抵抗率と並んで熱電変換のエネルギー変換効率を左右する熱伝導率が不明である。本課題の目的は、このように革新的な高性能を示すポテンシャルをもつが開拓途上の物質系である「一次元ディラック電子系」に着目した新材料開発により、室温用の実用材料である Bi_2Te_3 系材料と比べて高性能、より低温動作可能な新しい熱電変換材料を確立することにある。以下の3つの課題に取り組むことにより、この目的を達成する。

(1) Ta_4SiTe_4 系バルク試料の合成と熱電変換性能の最適化 これまで得られていない mm サイズの Ta_4SiTe_4 試料を合成する。また、元素置換による熱伝導率の低減や性能最適化により、室温で Bi_2Te_3 系実用材料を大きく超える $ZT = 2$ 、 -100 の低温で実用水準に達する $ZT = 1$ の無次元性能指数を達成するバルク試料の合成を目指す。[無次元性能指数： $ZT = (\text{ゼーベック係数})^2 \times \text{温度} / (\text{電気抵抗率} \times \text{熱伝導率})$ で表される熱電変換のエネルギー変換効率の指標]

(2) 巨大熱電応答の発現機構解明 Ta_4SiTe_4 における巨大なゼーベック係数が、どのような物性パラメータを示す状況で現れているのか不明であり、巨大熱電応答の発現機構解明の妨げとなっている。 Ta_4SiTe_4 系のバルク試料を用いたホール係数や反射率、光電子分光などの各種物性測定と、一次元ディラック電子系の熱電応答の理論構築を組み合わせることで、本物質系における巨大熱電応答の発現機構を解明する。

(3) 一次元ディラック電子系の新物質開拓 (2)により得られた知見に基づき、各種データベース・第一原理計算・様々な合成法を駆使した新材料探索を行う。これにより、 Ta_4SiTe_4 と同様の状況が、より実用化に適した状況で実現する候補物質を見出す。

3. 研究の方法

本研究では、目的(1)から(3)を達成し、低温でこれまでにない高い性能を示す熱電変換材料を開発するため、以下の方法に従って研究を遂行した。

(1) Ta_4SiTe_4 系バルク試料の合成と熱電変換性能の最適化 合成方法の工夫や合成条件の最適化により、これまでの研究で得られていない Ta_4SiTe_4 の mm サイズのバルク結晶を合成する。また、化学置換を中心とする様々な手法により熱電変換性能を最適化する。例えば、 Bi_2Te_3 - Bi_2Sb_3 固溶体に代表されるように、同族元素による固溶は熱伝導率を減少させ、バンド幅を制御する手段を与えるため、熱電変換材料探索にとって重要な手法である。

(2) (1)で合成した Ta_4SiTe_4 単結晶を用いて、高い熱電特

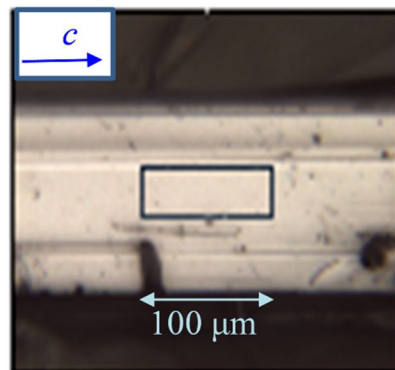


図1. Ta_4SiTe_4 の単結晶.

性の発現機構の解明に繋がる物性測定を行い、 Ta_4SiTe_4 における高い熱電変換性能の発現機構を解明すると同時に、さらなる興味深い電子物性発現の可能性を追求する。

(3) 一次元ディラック電子系の新物質開拓 (2) により得られた知見に基づき、各種データベース・第一原理計算・様々な合成法を駆使した新材料探索を行う。これにより、 Ta_4SiTe_4 と同様の状況が、より実用化に適した状況で実現する候補物質を見出す。

4. 研究成果

(1) より大きな Ta_4SiTe_4 単結晶の合成 これまでの Ta_4SiTe_4 のウィスカー結晶の合成において、ごくまれに 100 μm 程度の太さ、数 mm の長さをもつウィスカー結晶が得られていた。本研究において、 Ta_4SiTe_4 の結晶成長条件の見直しと、最適化を網羅的に行い、数は多くないものの、数 100 μm の太さ、数 mm の長さをもつ Ta_4SiTe_4 単結晶試料を安定して合成できる条件を確立できた。単結晶の写真を図 1 に示す。これらの試料を用いて、反射率測定およびホール抵抗測定を行うことができた。これらの結果については後述する。

(1) Ta_4SiTe_4 - Nb_4SiTe_4 固溶体試料の合成と熱電特性 Ta_4SiTe_4 と Nb_4SiTe_4 の固溶体に対して、様々な元素置換した試料を合成し、熱電変換特性を評価した。格子の熱伝導率が低いと期待される固溶体試料において p 型、 n 型の高い熱電変換特性を実現することに成功した。図 2 に、 $(Ta_{1-x}Nb_x)_4SiTe_4$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$) ウィスカー結晶の、 c 軸方向に測定した熱起電力 S と電気抵抗率の温度依存性を示した。いずれの試料の熱起電力も測定された全温度範囲で負の値を示し、電子キャリアが支配的である。 n 型試料が得られたことを意味する。全ての試料において、室温から温度を減少すると $|S|$ が増大し、150-200 K で最大値をとる。ここから温度を減少すると $|S|$ は緩やかに減少し、さらに 50 K 以下で急激に減少し、 $T = 0$ で $|S| = 0$ に向かう。 $|S|$ の値は、最も大きな Ta_4SiTe_4 から最も小さい Nb_4SiTe_4 まで、組成とともに系統的に変化した。固溶体の約 100 K 以上で Ta_4SiTe_4 と Nb_4SiTe_4 の値とほとんど一致した。室温付近では組成によらず 1 m cm 程度であり、温度減少とともに緩やかに増大し、100-200 K では約 2 m cm のほとんど一定値を示した。さらに低温では、 Ta_4SiTe_4 の電気抵抗率は急激に増大するが、固溶体の電気抵抗率は最大で $x = 0.9$ の組成まで Nb_4SiTe_4 と同様にほとんど一定値を示した。図 2(c) に、 $(Ta_{1-x}Nb_x)_4SiTe_4$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$) ウィスカー結晶の出力因子 $P = S^2/\rho$ を示す。出力因子は、最も大きな Ta_4SiTe_4 から最も小さい Nb_4SiTe_4 まで、組成とともに系統的に変化した。 $x = 0.75$ では 70-250 K、 $x = 0.5$ では 130-190 K の温度範囲において、 Bi_2Te_3 系材料の室温付近の値を超える大きな値を示した。

続いて、固溶体試料においてキャリア数を調節し、さらに p 型試料を得るために、 $(Ta_{0.5}Nb_{0.5})_4SiTe_4$ に対して、化学置換した試料を合成した。 n 型試料は Ta/Nb サイトに対する Mo 置換により、 p 型試料は Ta/Nb サイトに対する Ti 置換により達成した。図 3 に、Ti ドープした $(Ta_{0.5}Nb_{0.5})_4SiTe_4$ 、すなわち、 $(Ta_{0.5-z/2}Nb_{0.5-z/2}Ti_z)_4SiTe_4$ ($z =$

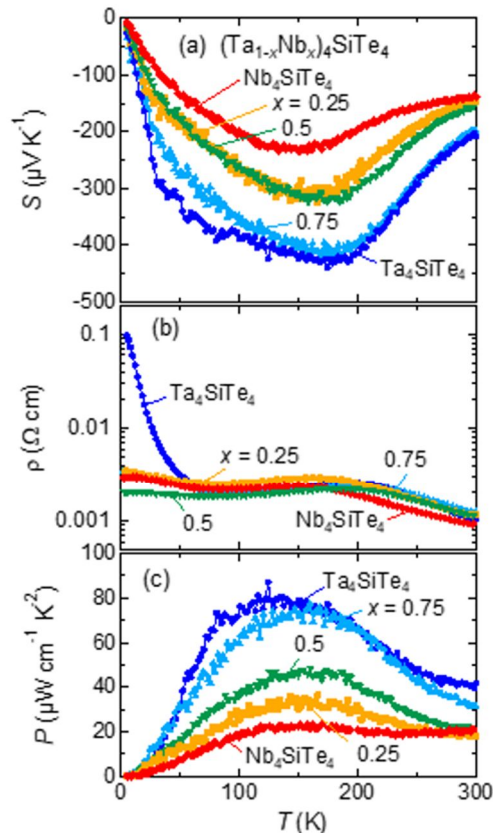


図2. Ta_4SiTe_4 - Nb_4SiTe_4 固溶体の Seebeck 係数 (a), 電気抵抗率 (b), 出力因子 (c) の温度依存性。

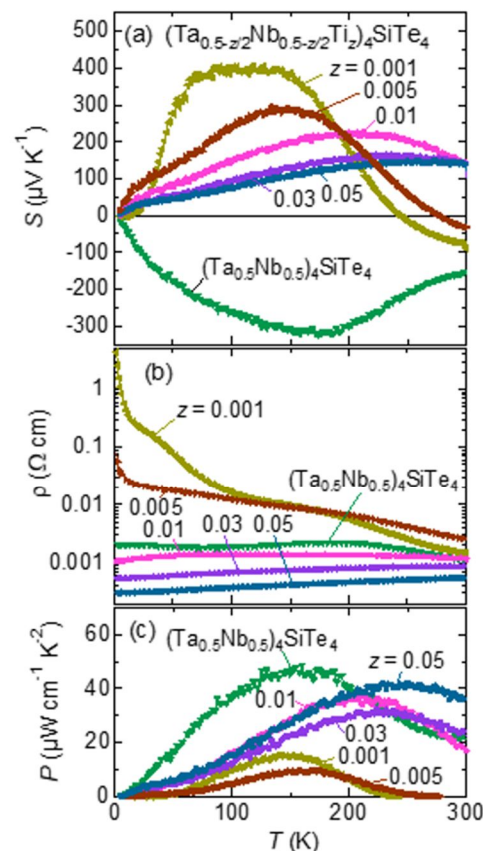


図3. Ti 置換した $(Ta_{0.5}Nb_{0.5})_4SiTe_4$ の Seebeck 係数 (a), 電気抵抗率 (b), 出力因子 (c) の温度依存性。

0.05) ウィスカー結晶の、 c 軸方向に測定された S との温度依存性を示した。わずかに 0.1% の Ti 置換により、230 K 以下で正の S を示した。 $z = 0.001$ のデータを見ると、室温付近では S は負値をとるが、温度減少とともに増大し、60-150 K において最大値 $400 \mu\text{V K}^{-1}$ を示した。さらに温度を減少すると、 S は急激に減少し 0 に向かう。この振る舞いは、低温領域における S の符号を除いて、 $(\text{Ta}_{0.999}\text{Ti}_{0.001})_4\text{SiTe}_4$ の S の振る舞いとよく似ている。Ti 置換量の増大とともに、最大の熱起電力を示す温度は高温側にシフトする。 $z = 0.005$ の温度依存性は、Ti 置換した Nb_4SiTe_4 の振る舞いとよく似ている。しかし、Ti 置換量を増大すると S の最大値が $\sim 100 \mu\text{V K}^{-1}$ に減少した Nb_4SiTe_4 の場合と異なり、 $(\text{Ta}_{0.5-2/2}\text{Nb}_{0.5-2/2}\text{Ti}_z)_4\text{SiTe}_4$ では、本研究における最大置換量である $z = 0.05$ においても、 S は最大で $180 \mu\text{V K}^{-1}$ と熱電変換材料として十分に大きな値を示した。

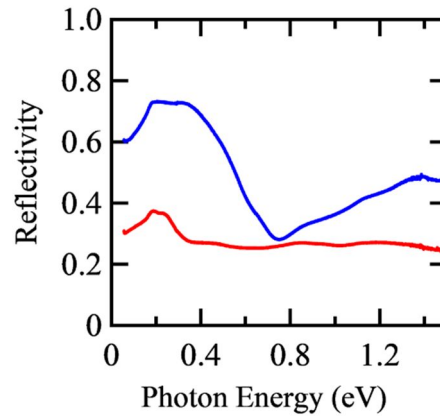


図4. Ta_4SiTe_4 単結晶の反射率。青、赤のデータはそれぞれ c 軸に平行、垂直な方向のデータを示す。

(2) Ta_4SiTe_4 の反射率測定 合成された単結晶試料を用いて、初めて反射率測定を行った。図4に、室温で測定された Ta_4SiTe_4 単結晶試料の反射率を示した。 Ta_4SiTe_4 鎖と平行である、 c 軸と平行方向に振動する直線偏光を用いて測定された結果と、それと垂直な方向に振動する直線偏光を用いて測定された結果が示されている。 c 軸と平行方向の反射率は、垂直方向と比べて高い反射率を示した。この結果は、 c 軸と平行方向の電気伝導性が、垂直方向と比べてかなり高いことを示す。電子状態計算によって予測された、一次元の強い電子状態をもつことと辻褃の合う結果である。 Ta_4SiTe_4 では一次元の強い電子状態をもつことが、高い熱電特性の実現にとって重要な役割を果たしていると予想されており、本結果はそれを実験的に裏付ける結果といえる。また、低エネルギー側に向かうにつれて、反射率は増大する傾向が現れたが、0.2 eV 以下で減少する振る舞いを示した。現状では予備的な評価に留まるが、クラマース・クローニツヒ変換により反射率の実験データから光学伝導度を評価すると、 c 軸と平行方向の光学伝導度が 0.3 eV 付近にピークをもち、0.2 eV 以下で急激に減少することが明らかになった。このような振る舞いが、第一原理計算により指摘された、 Ta_4SiTe_4 においてフェルミエネルギー付近に存在する 0.1 eV 程度の非常に小さいバンドギャップに対応していれば興味深い。今後は、 Nb_4SiTe_4 の単結晶合成条件の見直しも行い、大きな単結晶試料を合成し、反射率測定も行う予定である。 Nb_4SiTe_4 では、 Ta_4SiTe_4 と比べてスピン軌道結合が弱いため、フェルミエネルギー付近に開いたスピン軌道結合に由来するバンドギャップが小さいと予想されている。Nb 系の結果を Ta 系と比較することで、本物質系の高い熱電性能や最適動作温度に対するスピン軌道結合の役割など、本物質系における熱電変換特性に関する理解が進むと期待される。

(3) 一次元ディラック電子系の新物質開拓 $\text{Nb}_4(\text{M}, \text{Si})\text{Te}_4$ ($\text{M} = \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$)、 BaTiS_3 、 $\text{Ta}_2\text{Ni}_3\text{Te}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$ 、 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$ 、 BaTiSe_3 といった物質を合成し、熱輸送特性を調べた。これらの物質はこれまで合成の報告はあるが、物性測定の結果は報告されていない[例えば、引用文献]。 $\text{Ta}_2\text{Ni}_3\text{Te}_5$ については、Ta サイトを系統的に Ti 置換することで正孔ドーピングした単結晶試料を合成し、これらの試料の熱電変換特性の測定を行った。その結果、Ta サイトのうち 5% を Ti で置換した試料において、金属的な電気伝導を示しながら、室温で $125 \mu\text{V K}^{-1}$ と、金属としてはかなり大きなゼーベック係数を示すことを明らかにした。出力因子は実用材料の値に匹敵し、今後、電子状態の制御によりさらなる高性能の実現が期待される。 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$ および元素置換した $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$ では、ゼーベック係数は小さい値にとどまったものの、それぞれ超伝導転移温度 $T_c = 3.3 \text{ K}$ 、 $2-4 \text{ K}$ の新超伝導体であることが明らかになった。

< 引用文献 >

K. Biswas, J. He, I. D. Blum, C. Wu, T. P. Hogan, D. N. Seidman, V. P. Dravid, M. G. Kanatzidis, *Nature* **489**, 414-418 (2012).

T. Inohara, Y. Okamoto, Y. Yamakawa, Y. Yamakage, and K. Takenaka, *Appl. Phys. Lett.* **110**, 183901(1-5) (2017).

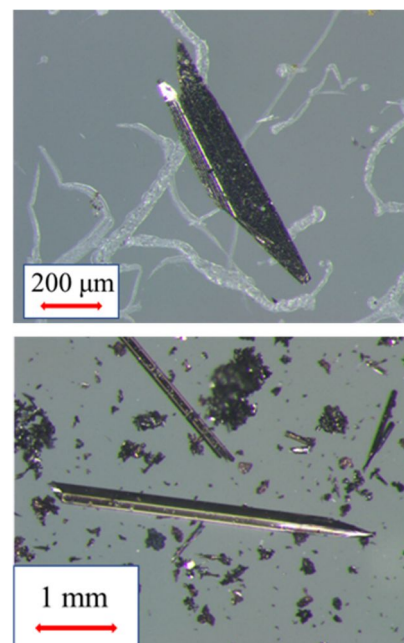


図5. 合成された $\text{Ta}_2\text{Ni}_3\text{Te}_5$ (上)、 BaTiSe_3 (下) の単結晶。

Y. Okamoto, Y. Yoshikawa, T. Wada, and K. Takenaka, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 043901(1-5) (2019).

W. Tremel, *Angew. Chem., Int. Ed.* **32**, 1752-1755 (1993).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7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 Kanematsu Tomoya, Okamoto Yoshihiko, Takenaka Koshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Large magnetic-field-induced strain at the magnetic order transition in triangular antiferromagnet AgCrS ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 142404 ~ 142404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0046522	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 Higashihara Naoya, Okamoto Yoshihiko, Yoshikawa Yuma, Yamakawa Youichi, Takatsu Hiroshi, Kageyama Hiroshi, Takenaka Koshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Superconductivity in Nb ₂ Pd ₃ Te ₅ and Chemically-Doped Ta ₂ Pd ₃ Te ₅	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 063705 ~ 063705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.063705	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 Okamoto Yoshihiko, Kanematsu Tomoya, Kubota Yuki, Yajima Takeshi, Takenaka Koshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Large Magnetic-Field-Induced Strain at the Spin-Reorientation Transition in A-Site Ordered Spinel Oxide LiFeCr ₄ O ₈	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 023710 ~ 023710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.023710	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 Yoshikawa Yuma, Wada Taichi, Okamoto Yoshihiko, Abe Yasuhiro, Takenaka Koshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Large thermoelectric power factor in whisker crystals of solid solutions of the one-dimensional tellurides Ta ₄ SiTe ₄ and Nb ₄ SiTe ₄	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 125505 ~ 125505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abcc3d	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 Okamoto Yoshihiko, Niki Kenta, Mitoka Rikuto, Takenaka Koshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Electrical and Thermal Transport Properties of the γ -Pyrochlore Oxide CsW ₂ O ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124710 ~ 124710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.124710	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 Okamoto Yoshihiko, Saigusa Kazushige, Wada Taichi, Yamakawa Youichi, Yamakage Ai, Sasagawa Takao, Katayama Naoyuki, Takatsu Hiroshi, Kageyama Hiroshi, Takenaka Koshi	4. 巻 102
2. 論文標題 High-mobility carriers induced by chemical doping in the candidate nodal-line semimetal CaAgP	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115101(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.115101	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 Kanematsu Tomoya, Mori Masaki, Okamoto Yoshihiko, Yajima Takeshi, Takenaka Koshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Thermal Expansion and Volume Magnetostriction in Breathing Pyrochlore Magnets LiACr ₄ X ₈ (A = Ga, In, X = O, S)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073708 ~ 073708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.073708	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 岡本佳比古	4. 巻 29
2. 論文標題 低温用の熱電素子に使用できる高性能材料	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 クリーンエネルギー	6. 最初と最後の頁 46-50
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6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Yoshihiko Okamoto, Naoya Higashihara, Yuma Yoshikawa, Youichi Yamakawa, Hiroshi Takatsu, Hiroshi Kageyama, and Koshi Takenaka
2. 発表標題 Superconductivity in One-Dimensional Tellurides Nb ₂ Pd ₃ Te ₅ and Chemically-Doped Ta ₂ Pd ₃ Te ₅
3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2021 (QLC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本佳比古
2. 発表標題 Superconductivity in layered tellurides Nb ₂ Pd ₃ Te ₅ and chemically-doped Ta ₂ Pd ₃ Te ₅
3. 学会等名 新学術領域「量子液晶の物性科学」令和3年度領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本佳比古、東原直也、吉川侑磨、植松直斗、山川洋一、高津浩、陰山洋、竹中康司
2. 発表標題 一次元テルル化物Nb ₂ Pd ₃ Te ₅ と化学置換したTa ₂ Pd ₃ Te ₅ における超伝導
3. 学会等名 第5回固体化学フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本佳比古、三枝一茂、篠田祐作、山影相、山川洋一、笹川崇男、片山尚幸、高津浩、陰山洋、竹中康司
2. 発表標題 元素置換したノーダルライン半金属CaAgPに現れる高移動度キャリアと超伝導
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 岡本佳比古
2. 発表標題 High-Mobility Carriers and Superconductivity Induced by Chemical Doping in the Candidate Nodal-Line Semimetal CaAgP
3. 学会等名 新学術領域「量子液晶の物性科学」令和2年度領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本佳比古
2. 発表標題 特徴的な結晶構造・電子構造に着目した遷移金属化合物の物質開拓
3. 学会等名 ISSPワークショップ「量子物質研究の最近の進展と今後の展望」
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
研究 分担者	山川 洋一 (Yamakawa Youichi) (60750312)	名古屋大学・理学研究科・講師 (13901)	
研究 分担者	山影 相 (Yamakage Ai) (90750290)	名古屋大学・理学研究科・講師 (13901)	

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
---------	---------