

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17104

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20408

研究課題名（和文）ナノ構造制御による多機能性磁気熱電変換複合材料の創製

研究課題名（英文）Development of multi-functional magneto-thermoelectric composites using nanostructuring techniques

研究代表者

三浦 飛鳥（MIURA, ASUKA）

九州工業大学・環境エネルギー融合研究センター・助教

研究者番号：10911274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：磁性熱電現象の一つであるゼーベック駆動横型熱電効果の原理解明・出力向上に向けた研究を推進した。報告されている半導体であるバルクSiと強磁性体であるCo₂MnGa薄膜を組み合わせた系に比べ、バルクSiとバルクCo₂MnGaを用いた系において、出力が1桁向上することを実証した。また、熱電半導体としてハロゲン化ペロブスカイトにも注目し熱電変換に関する研究を行った。本研究では、従来ほぼ報告が行われていなかったn型ハロゲン化ペロブスカイト熱電変換材料に関しては、Cs₂SnI₆の熱電変換性能が従来材料に比べ1～2桁高い性能を有していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱エネルギーの有効利用と再利用は、持続的社会的の実現に向けた大きな課題である。この課題の解決に向けた候補技術として、温度差から電力を取り出す熱電変換が注目されている。また、熱電変換技術は自己発電可能・小型軽量・高信頼性などの特長を有しているため、近年ではIoT機器用自立電源として期待され盛んに研究が進められている。本研究で得られた材料系や性能向上手法によってカーボンニュートラルに向けた革新的なエネルギー技術の開発に大きく貢献できると期待している。

研究成果の概要（英文）：In this work, the Seebeck-driven transverse thermoelectric generation, one of the magneto-thermoelectric phenomena has been investigated in all-bulk hybrid materials. The bulk Si/bulk Co₂MnGa demonstrated an order of magnitude improvement in output power compared to the reported value for bulk Si/Co₂MnGa thin film.

We also focused on halide perovskites as thermoelectric materials. In this study, We have developed Cs₂SnI₆ as an n-type halide perovskite thermoelectric material and the thermoelectric conversion performance was found to be one to two orders of magnitude higher than that of the conventional materials.

研究分野：熱工学

キーワード：熱電変換 強磁性体 ハロゲン化ペロブスカイト

1. 研究開始当初の背景

熱エネルギーの有効利用と再利用は、持続的社会的実現に向けた大きな課題である。この課題の解決に向けた候補技術として、温度差から電力を取り出す熱電変換が注目されている。代表的な原理はゼーベック効果と呼ばれ、熱励起された電子が温度差により駆動され起電力が生じる現象である。熱電変換技術は、自己発電可能・小型軽量・高信頼性などの特長を有しているため、近年ではIoT機器用自立電源として期待され盛んに研究が進められている。また、磁性体における熱電効果にゼーベック駆動横型熱電効果[1]がある。ゼーベック駆動横型熱電効果とは、強磁性導電体と熱電半導体を組み合わせて閉回路を構築した系において温度勾配と直交する方向に強磁性体単体に比べ大きな熱起電力が発生する現象である。ゼーベック駆動横型熱電効果は Co_2MnGa 薄膜/バルク Si[1]やバルク Co_2MnGa /バルク Si[2]において観測に成功しているが、任意の強磁性体導電体・熱電半導体に適用可能であるため材料の組み合わせを変えることで熱電変換性能を向上可能であると示されている[3]。そのためゼーベック駆動横型熱電効果のさらなる出力向上には熱電半導体の開発も非常に重要である。

熱電変換の変換効率は無次元性能指数 $ZT = S^2\sigma T/\kappa$ により評価できる(S : ゼーベック係数、 σ : 電気伝導率、 κ : 熱伝導率、 T : 絶対温度)。よって、高い ZT を得るためには、高い電気特性(S 、 σ)および低い熱伝導特性(κ)を有する材料を用いる必要がある。本研究ではハロゲン化ペロブスカイトに注目した。ハロゲン化ペロブスカイトは、簡易な塗布プロセスにより薄膜合成が可能な材料であり環境負荷の低い元素のみで構成することもできるという特長から次世代太陽電池として期待されている材料で、実用化に向け産学が連携し研究開発が進んでいる[4]。中でも p 型ハロゲン化ペロブスカイトである CsSnI_3 は特異な低熱伝導率と高い電気特性から将来有望な熱電材料である[5]。一方で、n 型ハロゲン化ペロブスカイト熱電変換材料の報告は非常に限定的で、これまでに報告されているものは p 型材料を基礎材料として非化学量論組成での材料合成により生成した格子欠陥やドーピング・元素置換などを利用することにより n 型材料の合成を達成していた[6-8]。しかしながら、その電気特性は p 型材料の $1/10^5$ 以下の非常に低い性能となっており実用化に向け大きな課題となっている。

2. 研究の目的

高性能な n 型ハロゲン化ペロブスカイト熱電変換材料の開発を目的とする。

3. 研究の方法

真空蒸着法・スピコート法を組み合わせたプロセス[4]を用いて Cs_2SnI_6 を合成する。まず斜め蒸着法によりアルミナ基板上に CsI 薄膜を成膜する。斜め蒸着法は、真空蒸着法を用いて薄膜を形成する際に基板を蒸発源に対して大きく傾斜させて配置して成膜を行う手法である。斜め蒸着法を用いることで基板に対して膜厚方向に傾斜して成長した柱状構造が形成され、基板を蒸発源に対して傾斜させない一般的な蒸着の場合に比べ比較的空隙率の高い薄膜を作製可能である。本研究では、蒸発源に対して75°傾斜させた治具を用いてアルミナ基板を傾斜させた状態で固定し、 CsI 薄膜を成膜した。また、蒸着源として用いた CsI 粉末の重さを0.06 g、0.09 g、0.12 g、0.15 g、0.60 gと変化させ、それぞれ120 nm、230 nm、260 nm、350 nm、1015 nmの異なる膜厚を有する5種類の CsI 薄膜を成膜した。作製した CsI 薄膜に対して、 SnI_4 溶液200 μL を滴下した後スピコート法により3000 rpm、30秒の条件で基板上に均一に塗布した。なお、 Cs_2SnI_6 の合成を促進するために、 SnI_4 を滴下してから10秒後にトルエン500 μL を基板上に滴下した。その後、試料をホットプレート上で110°C、10分の条件で焼成を行った。 SnI_4 溶液は、無水エタノールに対してホットスターラーを用いて40°C、300 rpm、3時間の条件で SnI_4 粉末を濃度が0.2 Mとなるように溶解させ調液を行った。スピコート法による試料の作製は、全て水と酸素の濃度を0.1 ppm以下に保ったグローブボックス内で行った。焼成後の試料の膜厚はそれぞれ220 nm、285 nm、605 nm、548 nm、1266 nmとなった。

4. 研究成果

斜め蒸着法を用いて成膜した CsI 薄は、基板を蒸発源に対して傾斜させない一般的な蒸着の場合に比べ、膜厚が薄いにもかかわらず透明度が低くなった。これは一般的な蒸着に比べ斜め蒸着法により成膜した薄膜の空隙率が高く可視光が散乱しているためである。この高い空隙率により CsI 薄膜表面から膜厚方向の深い位置まで SnI_4 が浸透し、より大部分で Cs_2SnI_6 が形成された。焼成後の薄膜表面の微細構造を比較した場合においても、斜め蒸着法を用いた場合は比較的空隙率が

高く結晶粒径・空隙径はともに小さいことを確認した。一般的に、空隙率が低いほど、結晶粒径が大きいほど、空隙径が小さいほど材料の電気特性が向上するため、一般的な蒸着法および斜め蒸着法を用いて作製した試料の微細構造の違いから熱電性能が変化すると予測される。

膜厚の異なるCsI薄膜を用いて作製した焼成後の試料に対して異なる3種類の入射角 ω ($= 1^\circ, 3^\circ, 5^\circ$)においてXRD 2θ 測定を行った。XRD測定の入射角 ω が小さい時は試料表面付近のみ、 ω が大きい時は試料表面から基板付近までの広範囲の材料の組成や結晶構造の情報をそれぞれ得ることができる。 $\omega = 1^\circ$ では、全ての試料において $2\theta = 25.5^\circ$ および 26.5° 付近に Cs_2SnI_6 のピークが存在し、 Cs_2SnI_6 の生成が確認できた。一方で、CsIや SnI_4 などの不純物のピークはなく、試料表面付近には不純物が存在しないことが分かった。また、 ω が大きくなると($\omega = 3^\circ, 5^\circ$)、CsI薄膜の膜厚が大きいほど $2\theta = 27^\circ$ 付近のCsIのピークが大きくなり基板付近に未反応のCsIが多く残存することが分かった。一方で、膜厚120 nmのCsI薄膜を用いて作製した試料では ω が大きい場合でもほぼCsIのピークは見られなかった。

膜厚の異なるCsI薄膜を用いた作製した焼成後の試料のゼーベック係数および電気伝導率の温度依存性を図1に示す。全ての試料でゼーベック係数は負の値となり、n型半導体の性質を示した。測定した温度域においてゼーベック係数の温度依存性はほぼなく、先行研究[9, 10]と傾向が一致した。ゼーベック係数の大きさは先行研究で報告されたバルク材料[9]に比べ小さく、蒸着により直接成膜した Cs_2SnI_3 を酸化することにより作製した Cs_2SnI_6 薄膜[10]と同程度であった。一方で、測定した温度域において電気伝導率は、 Cs_2SnI_6 薄膜の膜厚に依存せず、温度とともに増加する半導体的傾向を示した。電気伝導率の大きさは先行研究で報告されたバルク材料に比べ大きく、酸化により作製した Cn_2SnI_6 薄膜と同程度であった。このように本研究および先行研究で作製された Cs_2SnI_6 ではゼーベック係数および電気伝導率の間に負の相関が確認できた。この負の相関は、作製した薄膜は表面に空隙が多く見られることから、酸化などにより表面に欠陥が形成されキャリア濃度が増加したために生じたと考えられる。Differential 3ω 法を用いて計測した Cs_2SnI_6 薄膜の熱伝導率は膜厚に依存せず $\kappa = 0.34 \pm 0.08 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ であった。これは先行研究で報告されたバルク材料や薄膜材料の熱伝導率の値と同程度であった。本研究で作製した Cs_2SnI_6 薄膜で最もZTが高かったものは膜厚147 nmで、 $ZT = 0.001$ であった。これは先行研究で報告されたバルク材料に匹敵する値で、酸化により作製した Cs_2SnI_6 薄膜に比べZTが1.4倍に向上した。

参考文献

- [1] W. Zhou, *et al.*, *Nature Mater.*, **20**, 463, (2021).
- [2] W. Zhou, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **122**, 062402, (2023).
- [3] K. Yamamoto, *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **129**, 223908, (2021).
- [4] B. Lee, *et al.*, *Electron. Mater. Lett.*, **15**, 192, (2019).
- [5] S. Saini, *et al.*, *J. Heat Transfer*, **142**, 074502, (2020).
- [6] X. Mettan, *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, **119**, 11506, (2015).
- [7] W. Tang, *et al.*, *J. Mater. Chem. A*, **8**, 13594, (2020).
- [8] M. A. Haque, *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, **123**, 14928, (2019).
- [9] A. Bhui, *et al.*, *Chem. Mater.*, **34**, 3301, (2022).
- [10] P. Sebastia-Luna, *et al.*, *ACS Appl. Energy Mater.*, **5**, 10216, (2022).

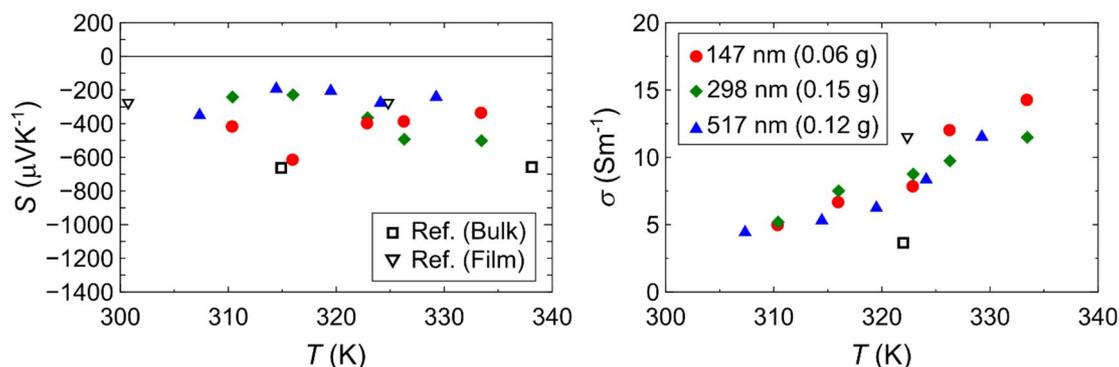


図 1 膜厚の異なる Cs_2SnI_6 層を有する焼成後の試料のゼーベック係数および電気伝導率の温度依存性。 Cs_2SnI_6 薄膜は n 型半導体の性質を示し、真空蒸着法・スピコート法を組み合わせた合成プロセスで作製した試料の熱電変換性能は高い再現性を有していた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Zhou Weinan, Miura Asuka, Hirai Takamasa, Sakuraba Yuya, Uchida Ken-ichi | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Seebeck-driven transverse thermoelectric generation in magnetic hybrid bulk materials | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 062402 ~ 062402 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0126870 | 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 Chatar Keenan, Uehara Shu, Kojima Hiroki, Miura Asuka, Yabuki Tomohide, Miyazaki Koji | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Experimental Analysis of Rotary Freestanding Triboelectric Nanogenerators | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 2021 IEEE 20th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS) conference proceeding | 6. 最初と最後の頁 84-87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/powermems54003.2021.9658403 | 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29件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野 利春, 早川 翔大, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 河野 翔也, 中村 和磨, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 炭窒化チタンサーメットの太陽光吸収材への応用 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 第76期 総会・講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 榊叶大, 安保佑一, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 3 法によるCs ₂ SnI ₆ 薄膜の熱伝導率測定 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 村田龍生, 渡邊厚介, 三浦飛鳥, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 MOD法によるCrN系薄膜の作製と熱電特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 河津光紀, 安保佑一, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 溶液法を用いたスピコートによるCs ₂ SnI ₆ の薄膜作製及び熱電性能評価 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤尚之, 渡邊厚介, 三浦飛鳥, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 フレキシブル熱電塗布膜の作製 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山崎隼, 上原脩, 児嶋広紀, 三浦飛鳥, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 異なるブレード材料からなる回転型トライボエレクトリック発電機の出力特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 早川 翔大, 長野 利春, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 中村 和磨, 宮崎 康史 |
| 2. 発表標題 廃棄物サーメットの太陽光吸収特性 |
| 3. 学会等名 第43回日本熱物性シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Ampo, M. Kawazu, M. Anjum, A. Miura, K. Watanabe, K. Miyazaki |
| 2. 発表標題 Development of Halide Perovskite CsSnI ₃ Coated Films Doped Heavy Metal Ions |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Anjum Mustafa, Asuka, Miura, Kosuke Watanabe, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Thermoelectric properties of MASnI ₃ with Cl dopant |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Susukida, K. Watanabe, A. Miura, K. K. Raut, C. Bourges, T. Mori, K. Miyazaki |
| 2. 発表標題 Development of Printing Films Composed of Rare Earth Free n-type CoSb ₃ with Polyimide |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masaya Fujimura, Asuka Miura, Daiki Masumoto, Ren Umeno, Shrikant Saini, Kosuke Watanabe, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Development of steady-state measurement process with high precision of thermal conductivity of metal wires by using self-Joule heating method |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Kobayashi, Q. Wang, A. Miura, S. Kawano, S. Iikubo, K. Miyazaki |
| 2. 発表標題 Heat conduction across Bi ₂ Te ₃ -CsSnI ₃ interface using molecular dynamics simulation |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Sakura Kishishita, Kosuke Watanabe, Asuka Miura, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Deposition of Bi _{0.4} Sb _{1.6} Te ₃ -CsSnI ₃ Composite Films by Printing Method and Characterization of Thermoelectric Properties |
| 3. 学会等名 ICOT2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岸下 さくら, 渡邊 厚介, 三浦 飛鳥, 矢吹 智英, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 塗布によるBi _{0.4} Sb _{1.6} Te ₃ -ハロゲン化ペロブスカイト複合膜の作製及び熱電特性評価 |
| 3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野 利春, 早川 翔大, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 河野 翔也, 中村 和磨, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 第一原理計算を用いたTiC/TiN超格子の光学特性計算 |
| 3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Toshiharu CHONO, Syota HAYAKAWA, Asuka MIURA, Kosuke WATANABE, Tomohide YABUKI, Shoya KAWANO, Kazuma NAKAMURA, Koji MIYAZAKI |
| 2. 発表標題 Prediction on thermal radiative properties of TiC/TiN superlattices using first-principles calculation |
| 3. 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安保 佑一, 河津 光紀, Mustafa Anjum, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 金属イオンをドーピングしたハロゲン化ペロブスカイト塗布膜の熱電特性 |
| 3. 学会等名 第19回 日本熱電学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小林 風之介, 王 青, 三浦 飛鳥, 河野 翔也, 飯久保 智, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 Bi ₂ Te ₃ -CsSnI ₃ 界面熱輸送の分子動力学シミュレーション |
| 3. 学会等名 第19回 日本熱電学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 薄田 京, 渡邊 厚介, 三浦 飛鳥, Krushna K. Raut, Cedric Bourges, 森 孝雄, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 スクテルライト型CoSb ₃ による高性能熱電塗布膜の開発 |
| 3. 学会等名 第19回 日本熱電学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宮崎 康次, 松本 稜己, 宮本 翔太郎, 矢吹 智英, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介 |
| 2. 発表標題 Bi ₂ Te ₃ -CsSn ₁₃ の界面熱抵抗測定 |
| 3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野 利春, 早川 翔大, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 河野 翔也, 中村 和磨, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 第一原理計算を用いたTiCN系化合物の波長選択的ふく射特性の予測 |
| 3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shota Hayakawa, Toshiharu Chono, Shoya Kawano, Kazuma Nakamura, Asuka Miura, Kosuke Watanabe, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Absorptance of Ti(C,N) cermet: Experiment and calculation |
| 3. 学会等名 The 2nd Asian Conference on Thermal Sciences (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Izuki MATSUMOTO, Saini SHRIKANT, Kosuke WATANABE, Asuka MIURA, Tomohide YABUKI, Koji MIYAZAKI |
| 2. 発表標題 Measurement of Interfacial Thermal Resistance of Bismuth Telluride-Halide Perovskite Thin Films |
| 3. 学会等名 The 2nd Asian Conference on Thermal Sciences (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 上原 脩, Chartar Keenan, 児嶋 広紀, 三浦 飛鳥, 矢吹 智英, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 回転型トライボエレクトリック発電機の開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会熱工学カンファレンス2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 早川 翔大, 長野 利春, 河野 翔也, 中村 和磨, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 炭窒化チタンサーメット膜の吸収スペクトル測定と特性予測 |
| 3. 学会等名 日本機械学会熱工学カンファレンス2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野 利春, 早川 翔大, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 冷感マスクの赤外域放射特性 |
| 3. 学会等名 第42回日本熱物性シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安保佑一, 松本稜己, SAINI Shrikant, 渡邊厚介, 三浦飛鳥, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 錫・鉛混合ハロゲン化ペロブスカイトの熱電性能評価 |
| 3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第53回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 児嶋広紀, 上原脩, Keenan Chartar, 三浦飛鳥, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 回転型トライボエレクトリック発電機の発電特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第53回学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Keenan Chatar, Shu Uehara, Hiroki Kojima, Asuka Miura, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Experimental Analysis of Rotary Freestanding Triboelectric Nanogenerators |
| 3. 学会等名 20th IEEE International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, PowerMEMS (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 |
|---------|---------|
|---------|---------|