

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02605

研究課題名（和文）量子物質を用いた非従来型赤外光電変換学理の開拓

研究課題名（英文）Study on unconventional infrared photovoltaics using quantum materials

研究代表者

宮内 雄平（Miyuchi, Yuhei）

京都大学・エネルギー理工学研究所・教授

研究者番号：10451791

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：ワイル半金属 TaIrTe<sub>4</sub>と Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>の結晶を合成した。については、光電流計測デバイスを作製し、波長4μmの光照射下で光電流の偏光分解空間マッピング、および照射光周波数依存性の測定を行った。その結果、光電流の起源として物質内部の光熱電効果と、トポロジカル効果に由来すると解釈可能な表面近傍での非線形光学応答の寄与を分離して捉えられることが明らかとなった。については、偏光分解ラマン散乱測定によりフォノンモードを同定し電子ラマン散乱の寄与によるFano効果の存在を明らかにした。またWTe等原子細線の大面積合成とワイル半金属WTe<sub>2</sub>等のリボン状大面積ネットワークへの転換技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

TaIrTe<sub>4</sub>における赤外光電流の起源を切り分けて捉えられることを示した成果は、非従来型赤外光電変換機構の解明に向けた重要な手がかりを与えるものである。単結晶Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>のラマン散乱スペクトル構造とその起源を明らかにした成果は、結晶の簡易構造同定や、フェルミエネルギー近傍の低エネルギー電子状態プローブとしてのラマン分光の可能性を示したもので、今後赤外光応答を含む各種物性研究の発展に寄与すると期待される。また、本研究で開発したWTe等原子細線の大面積合成と、そのWTe<sub>2</sub>等のリボン状大面積ネットワークへの転換技術は、今後のカルコゲナイド系試料を利用した大面積素子作製の基盤となる成果である。

研究成果の概要（英文）：Weyl semimetal crystals TaIrTe<sub>4</sub> and Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub> were synthesized for various experiments. Using TaIrTe<sub>4</sub>, devices were fabricated for polarization-resolved spatial mapping of photocurrent under infrared light (4 μm wavelength) irradiation and for measuring its dependence on the irradiation light frequency. As a result, it was found that the contributions of thermoelectric effect inside the material and nonlinear optical response near the surface could be separately captured by the frequency dependent measurements; the latter can be interpreted as originating from the topological effect. For Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>, the phonon modes and frequencies were identified via polarization-resolved Raman scattering measurements, and Fano effect due to the electron Raman scattering contribution was revealed. In addition, methods for synthesis of large-area atomic wires such as WTe and their conversion to ribbon-like large-area networks such as Weyl semimetal WTe<sub>2</sub> were developed.

研究分野：光物性物理、物質科学、熱工学

キーワード：ワイル半金属 赤外光電流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、安心安全な自動運転やセキュリティ、エネルギー有効利用等への社会的要請の高まりから、高速・高感度赤外線カメラ/サーモグラフィや超小型・高感度赤外分光光度計、ひいては工業排熱源からの直接ふく射エネルギーハーベスティングを可能にする中赤外光電変換における技術革新が強く望まれている。可視光や近赤外光(波長 $0.4\sim 2\mu\text{m}$ )領域では、従来から半導体pn接合を用いた高効率な量子型光起電力素子(いわゆる太陽電池)が提案され、実用化されてきた。一方で、 $2\sim 3\mu\text{m}$ 程度より長波長の中赤外光領域では、室温(非冷却)条件で高効率動作が可能な量子型光起電力素子が存在せず、中赤外での高感度赤外光検出には素子冷却が必須となり、高価な上、用途も限定されている。もし中赤外光領域において室温動作、高効率、高速応答可能な量子型光起電力生成が可能となれば、上記のような社会的意義の大きい未踏技術の実現につながると期待される。上記背景のもと、近年カルコゲナイド系 Type-II ワイル半金属( $\text{TaIrTe}_4$ ,  $\text{WTe}_2$ 等)において、特異な電子状態に由来する室温での巨大な赤外バルク光起電力効果の発現が理論予測されていた。赤外光電流は、特徴的な線形バンド分散(図1)によりワイル点近傍の Berry 曲率が発散することに関連して発生すると予想され、将来の超高効率光電変換素子の動作原理として期待されている。特に Type-II 型ワイル半金属では、長波長極限で大きな応答を持つことが予測されており、赤外光電変換において有利な特性を有する可能性がある。

### 2. 研究の目的

(1)ワイル半金属物質に赤外光を照射した際に、電極での界面効果や熱効果等、多様な原因で生じうる光電流の生成要因を実験的に切り分けつつ、その物理的機構を同定する。これにより、代替技術の存在しない温度・波長領域で動作可能な非従来型素子実現への指針を得る。  
(2)化学気相成長(CVD)法による大面積試料の合成も可能となっている層状半導体( $\text{WSe}_2$ ,  $\text{MoS}_2$ など)とは異なり、実用的なデバイス作製に必要な大面積・高品質試料の合成も、それを用いたデバイス作製も未開拓な層状ワイル半金属物質について、大面積・高品質層状カルコゲナイド試料合成方法を開拓する。

### 3. 研究の方法

(1-1)昇華再結晶法により、Type-II ワイル半金属  $\text{TaIrTe}_4$  結晶試料の合成を行い、X線構造解析により、狙い通りの組成を持つ化合物結晶が合成できていることを確認した。さらに試料上に微細電極を形成することで、電流計測が可能なデバイスを作製した。次に、赤外光電流計測に向けて、波長 $4\mu\text{m}$ の赤外光源(中赤外量子カスケードレーザー)を導入し、光電流測定系、赤外光検出光学系の整備など、必要な一連の測定システムを整備した。最終的に、最適化した  $\text{TaIrTe}_4$  薄片試料と電極構造および測定系を用いて光電流測定実験を行った。波長 $4\mu\text{m}$ の光照射のもとでの光電流の偏光分解空間マッピング測定、および照射光の変調周波数と赤外光電流の関係を測定することで、光照射によって表面近傍で発生する光電流と、熱効果による寄与の切り分けを試みた。

(1-2)昇華再結晶法により Type-I 型ワイル半金属候補物質  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  の合成を行い、X線構造解析により、狙い通りの組成を持つ化合物結晶が合成できていることを確認した。本化合物については、これまで構造同定に便利な基本的光学応答の一つであるラマン散乱スペクトルが報告されていなかったため、まず構造同定を容易にするため、偏光ラマン分光測定を行い、群論解析により各ピークのフォノンモードの同定を行った。

(2)CVDにおけるカルコゲナイド系半金属の合成条件の探索を行った。原料として、MoもしくはWの酸化物、Teを利用し、成長促進剤としてKBr等の塩を利用した。これらの原料を、酸化膜付きシリコン基板等と一緒に石英管内に置き、窒素・水素雰囲気中で2台の電気炉を利用して加熱した。特に、Teの加熱温度、および遷移金属酸化物と基板の加熱温度を調整することで、基板上に原料のガスを供給し、遷移金属カルコゲナイドの薄膜成長を試みた。

### 4. 研究成果

(1-1) 図1に、本研究で合成した  $\text{TaIrTe}_4$  結晶試料と結晶構造を示す。結晶構造については、単結晶 X線回折の測定によって確認した。この結晶を剥離し、結晶切片を使って図2(a)に示すようなデバイスを作製した。図2(b)には、 $4\mu\text{m}$ の赤外光連続照射下で測定した光電流マップを示す。主に電極端上及び右側に照射した場合に、光電流の発生が確認されている。この試料を用いて、次に、 $4\mu\text{m}$

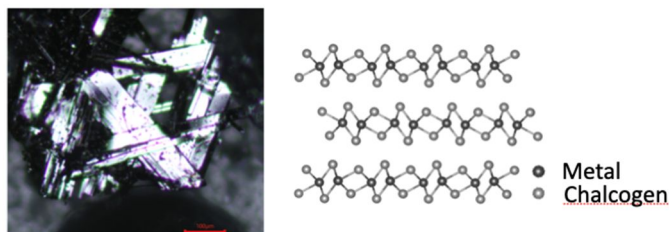


図1. 合成した  $\text{TaIrTe}_4$  結晶(左)と構造(右)

赤外光の照射周波数をチョッパーによって制御して、光電流の偏光分解ロックイン計測を行った。図3に、変調周波数 1000 Hz で測定した光電流の絶対値を示す。図3aが、a軸方向の偏光、図3bがb軸方向の偏光照射に対する光電流応答である。周波数変調測定では、連続（直流）測定よりも大きな光電流が得られた。偏光方向で比較すると、a軸方向偏光に対する応答は、b軸方向偏光に対する応答よりも大きいことがわかった。特に、電極右端側面における応答の違いが大きい一方、電極直上への光照射に対する応答には、大きな偏光依存性見られなかった。図4に、大きな偏光依存性を示した電極右端側面への光照射に対する光電流の周波数依存性を示す。a軸偏光（赤丸, a-axis）の場合の光電流値と比べ、b軸偏光（白丸, b-axis）の光電流値は小さく、両方とも、2000 Hz 以上では、周波数が大きくなるにつれて、光電流応答が小さくなる、という周波数依存性を示した。特に、5000 Hz 以上の高周波数領域での周波数 ( $f$ ) 依存性は、ほぼ  $f^{-0.5}$  に比例する特徴的傾向を示している。この  $f$  依存性は、周期加熱における熱侵入深さの周波数依存性と同様であり、光電流への熱効果（物質内部（バルク）での熱電効果）の寄与を示唆している。一方、a軸偏光とb軸偏光の応答の差（青四角, difference）については、ほとんど照射赤外光の変調周波数によらないという結果が得られた。この結果は、偏光応答の違いが、バルクの熱電応答由来のものではなく、物質表面近傍の瞬間的な光応答に由来していることを示唆している。TaIrTe<sub>4</sub> では、ワイル半金属特有のワイルノード近傍でのBerry曲率発散に由来する非線形シフト電流応答が予測されており、表面近傍の偏光に依存し、照射光変調周波数に依存しない光応答は、後者の応答と解釈できる。このように、本研究で実施した周波数・偏光分解空間マッピング測定によって、光電流の起源として、物質内部の光熱電効果と、トポロジカル効果に関連すると解釈可能な表面近傍での非線形光学応答を切り分けて捉えられることが示された。本成果は、TaIrTe<sub>4</sub> における、非従来型赤外光電変換機構を理解するための重要な示唆を与えるものである。これらの成果は論文として投稿準備中である。

(1-2) 図5に、本研究で合成したCo<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>単結晶薄片試料と結晶構造を示す。結晶構造は単結晶 X線回折測定により確認した。本研究では、この試料について、偏光分解ラマン散乱分光測定を行い、Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>単結晶の指紋となる偏光分解ラマンスペクトルを測定し、群論解析により、各ラマンピークの構造同定を行った。図6に、VV（入射/出射偏光が平行）及びVH（入射/出射偏光が直交）測定に関する偏光分解ラマンスペクトルを示す。VV測定で2つ、VH測定で1つのラマン散乱ピークが観測された。Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub>のユニットセルはD<sub>3d</sub>対称性を持ち、ユニットセルあたり7つの原子を含むため21個のフォノンモードが存在するが、群論解析により、その中で、ラマン活性モードは非縮退のA<sub>1g</sub>モードと二重縮退のE<sub>g</sub>モードのみであることがわかった。それぞれに対応するラマンテンソルから、VV測定のみで観測されたモードはA<sub>1g</sub>、VV、VH測定両方で観測されたモードがE<sub>g</sub>モードとアサインできた。さらに、スペクトル形状の解析から、A<sub>1g</sub>モードのピークは、Fano効果に由来すると考えられる非対称性を持つことが明らかとなった。フェルミエネルギー近傍の電子に由来する連続的な電子ラマン散乱と、離散的なA<sub>1g</sub>フォノンモードの間のFano共鳴に由来す

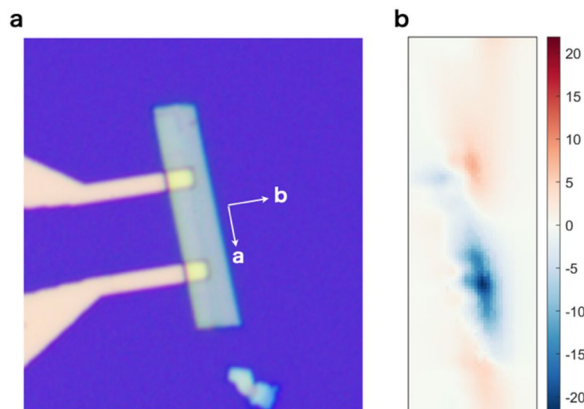


図2. (a) TaIrTe<sub>4</sub> 切片で作製したデバイス. (b) 光電流の空間マッピング. 単位は nA.

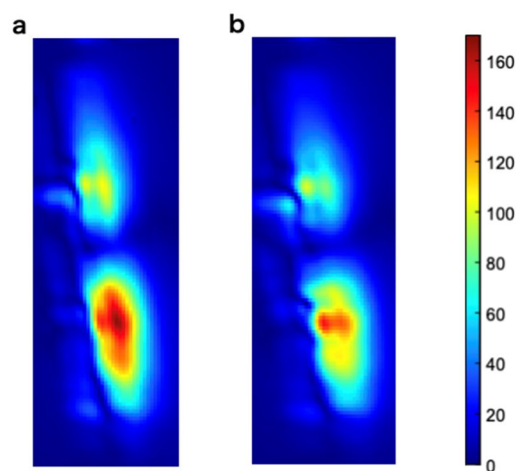


図3. (a) a軸偏光に対する光電流応答. (b) b軸偏光に対する光電流応答. 変調周波数は 1000 Hz. 単位は nA.

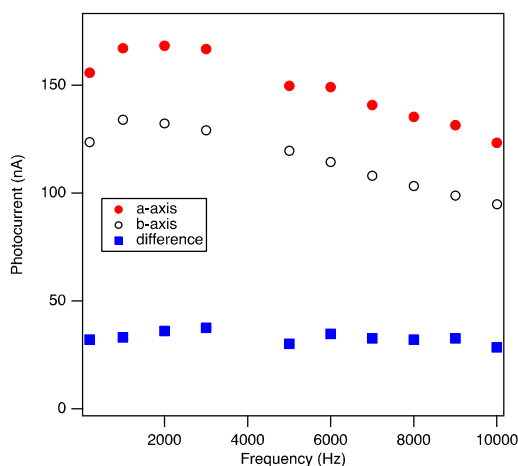


図4. 光電流の偏光及び周波数依存性

るものと考えられる。このように、単結晶  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  のラマン散乱スペクトルが、単に結晶構造の指紋としてのみならず、低エネルギー電子状態の情報をも含むものであることを示した本成果は、 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  結晶の簡易構造同定や、フェルミエネルギー近傍の低エネルギー電子状態のプロープとしてのラマン散乱分光の可能性を明らかにしたものであり、今後、赤外光応答を含む、 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  の各種物性研究の発展に寄与すると期待される。

(2) 成長条件を調整することで、 $\text{WTe}_2$  等の層状の遷移金属ダイカルコゲナイドだけでなく、組成が  $\text{WTe}$  で表される遷移金属モノカルコゲナイドのナノワイヤーが成長することが明らかとなった。 $\text{WTe}$  ワイヤーに関しては、束状の  $\text{WTe}$  ワイヤーのネットワーク状薄膜として得られる。この薄膜は、温度低下で電気抵抗が減少する金属的な振る舞いを示し、低温では強いスピン軌道相互作用に由来する弱反局在効果が観測された。また、カルコゲン雰囲気ですらに加熱することで、ワイヤーをテンプレートとした  $\text{WS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ ,  $\text{WTe}_2$  等のリボン状ネットワークを大面積で形成できることも明らかとなった。また、異なる合成法による派生的な成果として、遷移金属ダイカルコゲナイド横ヘテロ構造における一方向性励起子エネルギー輸送が見出された。今後、これらのカルコゲナイド試料を利用した赤外光応答および光素子の研究へと展開していく。

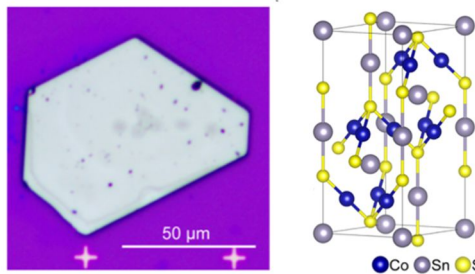


図 5. 合成した  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  単結晶薄片試料の写真(左)と結晶構造(右)。

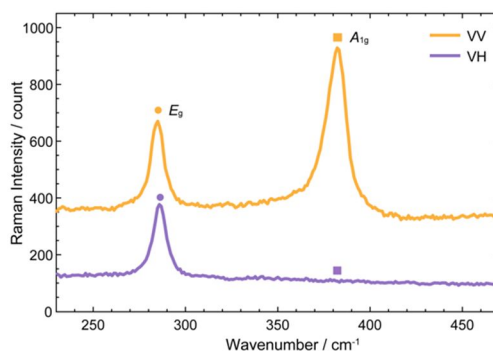


図 6.  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  単結晶の偏光分解ラマンスペクトル。

#### <引用文献>

- Polarized Raman spectroscopy on topological semimetal  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$   
 K.Tanaka, T. Nishihara, A. Takakura, Y. Segawa, K. Matsuda, and Y. Miyauchi, *Journal of Raman Spectroscopy* 54, 93-100 (2023).
- Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires  
 H. E. Lim, Y. Nakanishi, Z. Liu, J. Pu, M. Maruyama, T. Endo, C. Ando, H. Shimizu, K. Yanagi, S. Okada, T. Takenobu, Y. Miyata, *Nano Lett.* 21, 243-249 (2021).
- Nanowire-to-Nanoribbon Conversion in Transition-Metal Chalcogenides: Implications for One-Dimensional Electronics and Optoelectronics  
 H. E. Lim, Z. Liu, J. Kim, J. Pu, H. Shimizu, T. Endo, Y. Nakanishi, T. Takenobu, Y. Miyata, *ACS Appl. Nano Mater.* 5, 1775-1782 (2022).
- Directional Exciton-Energy Transport in a Lateral Heteromonolayer of  $\text{WSe}_2$ - $\text{MoSe}_2$   
 M. Shimasaki, T. Nishihara, K. Matsuda, T. Endo, Y. Takaguchi, Z. Liu, Y. Miyata, and Y. Miyauchi, *ACS Nano* 16, 8205-8212 (2022).
- Anisotropic exciton drift-diffusion in a monolayer  $\text{WS}_2\text{xSe}(2-2\text{x})$  alloy with a gradually changing composition  
 M. Shimasaki, T. Nishihara, N. Wada, Z. Liu, K. Matsuda, Y. Miyata, and Y. Miyauchi, *Appl. Phys. Express* 16, 012010(1-5) (2023).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shimasaki Masafumi, Nishihara Taishi, Wada Naoki, Liu Zheng, Matsuda Kazunari, Miyata Yasumitsu, Miyauchi Yuhei	4. 巻 16
2. 論文標題 Anisotropic exciton drift-diffusion in a monolayer WS <sub>2</sub> xSe(2-2x) alloy with a gradually changing composition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 012010 ~ 012010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acae1a	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 Shimasaki Masafumi, Nishihara Taishi, Matsuda Kazunari, Endo Takahiko, Takaguchi Yuhei, Liu Zheng, Miyata Yasumitsu, Miyauchi Yuhei	4. 巻 16
2. 論文標題 Directional Exciton-Energy Transport in a Lateral Heteromonolayer of WSe <sub>2</sub> -MoSe <sub>2</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 8205 ~ 8212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.2c01890	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 Tanaka Kenya, Nishihara Taishi, Takakura Akira, Segawa Yasutomo, Matsuda Kazunari, Miyauchi Yuhei	4. 巻 54
2. 論文標題 Polarized Raman spectroscopy on topological semimetal Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Raman Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 93 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jrs.6459	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 Konabe Satoru, Nishihara Taishi, Miyauchi Yuhei	4. 巻 46
2. 論文標題 Theory of exciton thermal radiation in semiconducting single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3021 ~ 3024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/ol.430011	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 Pu Jiang, Zhang Wenjin, Matsuoka Hirofumi, Kobayashi Yu, Takaguchi Yuhei, Miyata Yasumitsu, Matsuda Kazunari, Miyauchi Yuhei, Takenobu Taishi	4. 巻 33
2. 論文標題 Room Temperature Chiral Light Emitting Diode Based on Strained Monolayer Semiconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2100601-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202100601	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 Nishihara Taishi, Takakura Akira, Shimasaki Masafumi, Matsuda Kazunari, Tanaka Takeshi, Kataura Hiromichi, Miyauchi Yuhei	4. 巻 11
2. 論文標題 Empirical formulation of broadband complex refractive index spectra of single-chirality carbon nanotube assembly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 1011~1020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2021-0728	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 Lim Hong En, Liu Zheng, Kim Juan, Pu Jiang, Shimizu Hiroshi, Endo Takahiko, Nakanishi Yusuke, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 5
2. 論文標題 Nanowire-to-Nanoribbon Conversion in Transition-Metal Chalcogenides: Implications for One-Dimensional Electronics and Optoelectronics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1775~1782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c03160	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 Ou Hao, Matsuoka Hirofumi, Tempia Juliette, Yamada Tomoyuki, Takahashi Togo, Oi Koshi, Takaguchi Yuhei, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu, Chen Chang-Hsiao, Li Lain-Jong, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 15
2. 論文標題 Spatial Control of Dynamic p-i-n Junctions in Transition Metal Dichalcogenide Light-Emitting Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 12911~12921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c01242	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 Ogura Hiroto, Kaneda Masahiko, Nakanishi Yusuke, Nonoguchi Yoshiyuki, Pu Jiang, Ohfuchi Mari, Irisawa Toshifumi, Lim Hong En, Endo Takahiko, Yanagi Kazuhiro, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Air-stable and efficient electron doping of monolayer MoS2 by salt-crown ether treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 8784 ~ 8789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NR01279G	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 Zhang Yan, Shinokita Keisuke, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Goto Masato, Kan Daisuke, Shimakawa Yuichi, Moritomo Yutaka, Nishihara Taishi, Miyauchi Yuhei, Matsuda Kazunari	4. 巻 32
2. 論文標題 Controllable Magnetic Proximity Effect and Charge Transfer in 2D Semiconductor and Double Layered Perovskite Manganese Oxide van der Waals Heterostructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2003501 ~ 2003501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202003501	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 Zhang Yan, Shinokita Keisuke, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Miyauchi Yuhei, Matsuda Kazunari	4. 巻 31
2. 論文標題 Magnetic Field Induced Inter Valley Trion Dynamics in Monolayer 2D Semiconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2006064 ~ 2006064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ADFM.202006064	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 Lim Hong En, Nakanishi Yusuke, Liu Zheng, Pu Jiang, Maruyama Mina, Endo Takahiko, Ando Chisato, Shimizu Hiroshi, Yanagi Kazuhiro, Okada Susumu, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 21
2. 論文標題 Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 243 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c03456	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17件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 宮内雄平
2. 発表標題 Optical spectroscopic studies on 1D and 2D nanomaterials
3. 学会等名 東北プラズマフォーラム 令和4年度 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyuchi Yuhei
2. 発表標題 Optical Spectroscopic characterizations on emerging materials
3. 学会等名 The 12th A3 Symposium on Emerging Materials: Nanomaterials for Electronics, Energy, and Environment（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮内雄平
2. 発表標題 低次元ナノ物質の物性と機能
3. 学会等名 北海道大学理学研究科化学部門 Open Seminar（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyuchi Yuhei
2. 発表標題 Toward applications of excitonic properties in carbon nanotubes and atomically thin semiconductors
3. 学会等名 The 11th Asian Nanomaterials (A3) Symposium on Emerging Materials（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Miyachi Yuhei
2. 発表標題 Exciton properties in one- and two-dimensional semiconducting nanomaterials and their applications
3. 学会等名 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2022) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyata Yasumitsu
2. 発表標題 CVD growth of 1D and 2D transition metal chalcogenides
3. 学会等名 GMSI Seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田耕充
2. 発表標題 二次元半導体の成長と機能開拓
3. 学会等名 パーク・システムズ電気測定ウェビナーシリーズ(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田耕充
2. 発表標題 二次元物質の成長と集積化
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 遷移金属カルコゲナイド原子層の化学気相成長
3. 学会等名 第75回CVD研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyata Yasumitsu
2. 発表標題 Creation of a 2D electronic system with 1D wired materials
3. 学会等名 The 5th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and related 2D Material (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyata Yasumitsu
2. 発表標題 Growth and transport properties of transition metal chalcogenide atomic wires
3. 学会等名 The 11th Asian Nanomaterials (A3) Symposium on Emerging Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田 耕充
2. 発表標題 一次元遷移金属カルコゲナイドの成長と評価
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 Tanaka Kenya, Takakura Akira, Segawa Yasumoto, Nishihara Taishi, Matsuda Kazunari, Miyauchi Yuhei
2. 発表標題 Raman Spectroscopy of Weyl Semimetal Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
3. 学会等名 第61回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth and device applications of in-plane heterostructures based on layered chalcogenides
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Growth of transition-metal-dichalcogenide in-plane heterostructures
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮内 雄平
2. 発表標題 カーボンナノチューブ・原子層半導体の新物性開拓
3. 学会等名 第3回超高速光エレクトロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hong En Lim, Yusuke Nakanishi, Zheng Liu, Jiang Pu, Takahiko Endo, Chisato Ando, Hiroshi Shimizu, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Controlled, Wafer-Scale Growth of Transition Metal Chalcogenide Nanowires
3. 学会等名 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
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
研究分担者	宮田 耕充  (Miyata Yasumitsu)  (80547555)	東京都立大学・理学研究科・准教授    (22604)	

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