

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14694

研究課題名（和文）2次元拡張 スズ系ペロブスカイト太陽電池の高性能化

研究課題名（英文）Two-Dimensionally Expanded pi-Systems for High-Performance Tin Perovskite Solar Cells

研究代表者

中村 智也（Nakamura, Tomoya）

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号：90850371

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：スズハライドペロブスカイト太陽電池は、環境負荷の少ない塗布型太陽電池として期待されている。しかし、スズペロブスカイトの伝導帯準位が浅いため、一般的に用いられる電子輸送材料であるフラレンC60のLUMO準位との間のエネルギーギャップが大きく、低い開放電圧しか得られないことが課題であった。そこで本研究では、浅めのLUMO準位をもつ電子輸送材料として、(1) 開口フラレン誘導体および、(2) フェニレン架橋ビスピリジノフラレン誘導体を開発した。本材料を電子輸送材料として用いたスズペロブスカイト太陽電池において、最高で0.86 Vの開放電圧と12.3%の光電変換効率を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

浅めのLUMO準位をもつフラレン誘導体としては、インデン-C60二付加体（ICBA）が一般的に用いられている。しかし、二付加体は合成においてさまざまな異性体が生じ、それらを分離するのが困難であるという課題があった。本研究で開発した開口フラレン誘導体およびビスピリジノフラレン誘導体は、多くの異性体を生じることなく簡便に大スケールで合成可能であるという特徴をもつ。スズペロブスカイト太陽電池の実用化にもつなげる成果である。

研究成果の概要（英文）：Tin halide perovskite solar cells are attracting attention as environmentally-friendly solution-processed solar cells. However, the shallow conduction band energy level of tin perovskite results in a large energy gap with the LUMO level of fullerene C60, a commonly used electron transport material, resulting in a low open-circuit voltage. In this study, as electron transport materials with shallow LUMO levels that match the shallow conduction band level of tin perovskites, (1) open-cage fullerene derivatives and (2) phenylene-bridged bispyridinofullerene derivatives were developed. The tin perovskite solar cells using these materials as electron transport materials exhibited open-circuit voltages of up to 0.86 V and photoelectric conversion efficiencies of 12.3%.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：ペロブスカイト 太陽電池 電子輸送材料 フラレン

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ABX<sub>3</sub> 型 (A=CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CH<sup>+</sup>など, B=Pb<sup>2+</sup>, Sn<sup>2+</sup>など, X=I, Br, Cl) の金属ハライドペロブスカイト半導体を光吸収材料に用いたペロブスカイト太陽電池 (Pb 系および Sn 系) が、塗布法で作製できる次世代の高性能太陽電池として注目を集めている (図 1a)。これまでは、鉛を原料に含む Pb 系ペロブスカイト太陽電池が主に研究されてきたが、鉛が及ぼす環境や人体への影響が危惧されている。そのため、実用化の観点から、鉛を用いない新たなペロブスカイト材料の開発が強く求められており、鉛の代わりにスズを原料に用いた Sn 系ペロブスカイト材料はその有力候補として期待を集めている。しかし、Sn 系ペロブスカイト太陽電池の光電変換効率は Pb 系よりも低く、最高でも 15%程度にとどまっているのが現状である。

Sn 系ペロブスカイト太陽電池の課題のひとつに、得られる開放電圧が低いことが挙げられる。これは、Sn 系ペロブスカイトの伝導帯準位が浅いため、一般的に用いられる電子輸送材料であるフラレン C<sub>60</sub> の最低非占有分子軌道 (LUMO) 準位との間のエネルギーギャップが大きくなることが原因と考えられている<sup>1</sup>。したがって、高い開放電圧を得るためには、より浅い LUMO 準位をもつ電子輸送材料の開発が強く望まれていた。C<sub>60</sub> よりも浅い LUMO 準位をもつフラレン誘導体としては、フェニル-C<sub>61</sub>-酪酸メチルエステル (PCBM) とインデン-C<sub>60</sub> 二付加体 (ICBA) が一般的である (図 1b)。しかし、一付加体である PCBM では LUMO 準位が十分には浅くなく、一方、二付加体である ICBA では、合成においてさまざまな異性体が生じ、それらを分離するのが困難であるという課題があった。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、Sn 系ペロブスカイトの浅い伝導帯準位に合う浅めの LUMO 準位をもつ電子輸送材料の開発に取り組んだ。これにより、Sn 系ペロブスカイト太陽電池の高性能化を実現することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、まず、(1) 開口フラレン誘導体を合成し、本化合物の Sn ペロブスカイト太陽電池の電子輸送材料としての評価を行った。また、(2) フェニレン架橋ビスピリジノフラレン誘導体を合成し、本材料を電子輸送材料として用いた Sn ペロブスカイト太陽電池の作製・評価を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 開口フラレン誘導体の開発

本研究では、分子内包フラレンの合成中間体である開口フラレンの 1 種である OC に注目し、本化合物を Sn 系ペロブスカイト太陽電池の電子輸送材料として用いることを着想した (図 1b)。本化合物は、PCBM よりも高い LUMO 準位をもつとともに、異性体の混合物を生じずに純粋な化合物として合成できると期待した。

合成した開口フラレン OC の薄膜を作製し、電気化学測定 (サイクリックボルタンメトリー) により LUMO 準位を見積もったところ、本化合物は、ICBA (-3.95 eV) よりも若干深い PCBM (-4.14 eV) より浅い -3.98 eV に LUMO 準位をもつことがわかった (図 1c)。Sn 系ペロブスカイト材料の伝導帯準位 (-3.66 eV) との差は 0.32 eV と、PCBM の場合 (0.48 eV) よりも小さくなり、太陽電池の開放電圧の損失が小さくなることが期待された。そこで、本化合物を電子輸送材料に用いてスズ系ペロブスカイト太陽電池を作製したところ、PCBM を用いた場合 (0.57 V) よりも高い 0.72 V の開放電圧と、9.6%の光電変換効率が得られた (図 1d)。

さらに、開口フラレン OC は、PCBM や ICBA よりも優れた熱安定性を示すことがわかった。フラレン誘導体の熱重量測定を行ったところ、ICBA では約 140 °C、PCBM では約 370 °C から熱分解による重量減少が見られたのに対し、OC は約 450 °C まで安定で、500 °C でも元の重量の 93% (-7%) を保持できることがわかった (図 1e)。そこで、真空蒸着法による OC の成膜を試みたところ、若干の化合物の分解は見られたものの、蒸着膜を用いた太陽電池素子でも 7.6% の光電変換効率が得ることができた<sup>2</sup>。

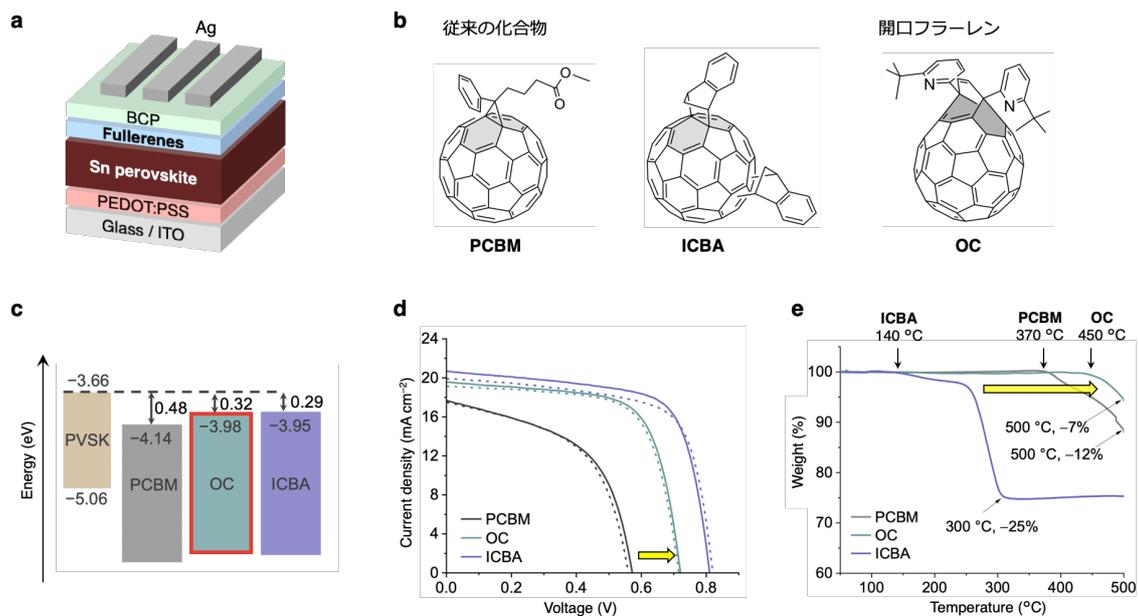


図 1. (a) Sn ペロブスカイト太陽電池の素子構造、(b) フラーレン誘導体の分子構造、(c) エネルギー準位図、(d) 太陽電池素子の電流-電圧曲線、および (e) フラーレン誘導体の熱重量測定結果。

## (2) フェニレン架橋ビスピリジノフルラーレン誘導体の開発

さらに、2つのピロリジン環をフェニレン架橋したビスピリジノフルラーレン誘導体 **Bis-PC** では、置換位置が定まり純粋な異性体が得られることに着目した。ピロリジン環を  $C_{60}$  に一つあるいは二つ付加した **Mono-PC** および **Bis-PC** を合成し、Sn ペロブスカイト太陽電池の電子輸送材料としての評価を行った (図 2a)。

電気化学測定により LUMO 準位を見積もったところ、モノ付加体 **Mono-PC** では  $-3.96$  eV、ビス付加体 **Bis-PC** では  $-3.76$  eV と、ビス付加体の方が  $0.2$  eV ほど LUMO 準位が浅いことがわかった (図 2b)。Sn ペロブスカイト  $PEA_{0.15}FA_{0.85}SnI_3$  (PEA: phenylethylammonium) を光吸収層として用いた太陽電池を作製した。二付加体 **Bis-PC** を用いた場合の開放電圧 ( $V_{oc}$ ) は  $0.78$  V、光電変換効率 (PCE) は  $9.7\%$  となり、一付加体 **Mono-PC** ( $V_{oc} = 0.54$  V, PCE =  $6.6\%$ ) の場合よりも高い特性が得られることがわかった (Fig. 1b)。さらに、ペロブスカイトの組成として、A サイトに MA を少量加えた  $PEA_{0.15}(FA_{0.87}MA_{0.13})_{0.85}SnI_3$  を用いることで、最高で  $12.3\%$  の光電変換効率 ( $V_{oc} = 0.86$  V) と、不活性雰囲気下で  $3,000$  時間以上保管しても初期性能を維持する高い安定性が得られた (図 2c)。

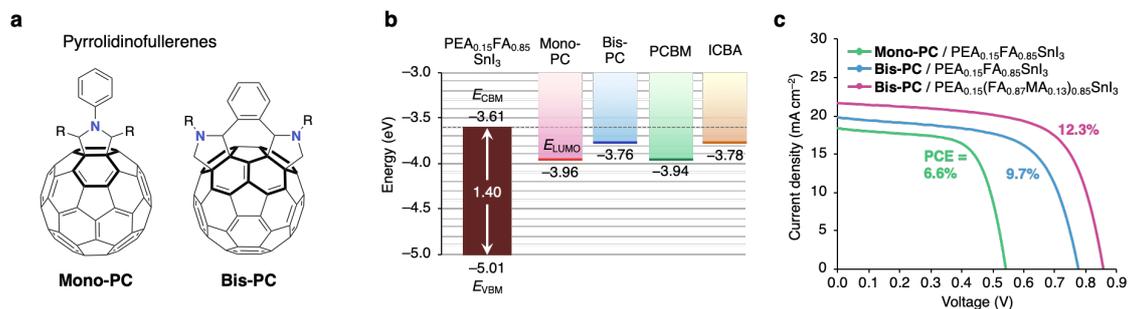


図 2. (a) ピリジノフルラーレン誘導体の分子構造、(b) エネルギー準位図、および (c) 太陽電池素子の電流-電圧曲線。

<sup>1</sup> X. Jiang, F. Wang, Q. Wei, H. Li, Y. Shang, W. Zhou, C. Wang, P. Cheng, Q. Chen, L. Chen and Z. Ning, *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 1245.

<sup>2</sup> W. Liu, G. Huang, C.-Y. Chen, T. Tan, F. Harata, S. Hu, T. Nakamura, M. A. Truong, R. Murdey, Y. Hashikawa, Y. Murata, A. Wakamiya, *Chem. Commun.* **2024**, *60*, 2172.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakanishi Eita, Nishikubo Ryosuke, Ishiwari Fumitaka, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Saeki Akinori	4. 巻 4
2. 論文標題 Multivariate Analysis of Mixed Ternary and Quaternary A-Site Organic Cations in Tin Iodide Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Materials Letters	6. 最初と最後の頁 1124 ~ 1131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmaterialslett.2c00229	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 Handa Taketo, Hashimoto Ruito, Yumoto Go, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Metal-free ferroelectric halide perovskite exhibits visible photoluminescence correlated with local ferroelectricity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabo1621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abo1621	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 Yumoto Go, Sekiguchi Fumiya, Hashimoto Ruito, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Rapidly expanding spin-polarized exciton halo in a two-dimensional halide perovskite at room temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabp8135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abp8135	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 Murdey Richard, Ishikura Yasuhisa, Matsushige Yuko, Hu Shuaifeng, Pascual Jorge, Truong Minh Anh, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi	4. 巻 245
2. 論文標題 Operational stability, low light performance, and long-lived transients in mixed-halide perovskite solar cells with a monolayer-based hole extraction layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 111885 ~ 111885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2022.111885	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 Nakamura Tomoya, Otsuka Kento, Hu Shuaifeng, Hashimoto Ruito, Morishita Taro, Handa Taketo, Yamada Takumi, Truong Minh Anh, Murdey Richard, Kanemitsu Yoshihiko, Wakamiya Atsushi	4. 巻 5
2. 論文標題 Composition-Property Mapping in Bromide-Containing Tin Perovskite Using High-Purity Starting Materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 14789 ~ 14798
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c02144	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 Hu Shuaifeng, Pascual Jorge, Liu Wentao, Funasaki Tsukasa, Truong Minh Anh, Hira Shota, Hashimoto Ruito, Morishita Taro, Nakano Kyohei, Tajima Keisuke, Murdey Richard, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi	4. 巻 14
2. 論文標題 A Universal Surface Treatment for p-i-n Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 56290 ~ 56297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acсами.2c15989	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 Truong Minh Anh, Funasaki Tsukasa, Ueberricke Lucas, Nojo Wataru, Murdey Richard, Yamada Takumi, Hu Shuaifeng, Hira Shota, Nakamura Tomoya, Shioya Nobutaka, Kan Daisuke, Tsuji Yuta, Iikubo Satoshi, Yoshida Hiroyuki, Shimakawa Yuichi, Hasegawa Takeshi, Kanemitsu Yoshihiko, Suzuki Takanori, Wakamiya Atsushi	4. 巻 145
2. 論文標題 Tripodal Triazatruxene Derivative as a Face-On Oriented Hole-Collecting Monolayer for Efficient and Stable Inverted Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 7528 ~ 7539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c00805	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 Hashimoto Ruito, Nakamura Tomoya, Truong Minh Anh, Murdey Richard, Wakamiya Atsushi	4. 巻 215
2. 論文標題 Effects of electron-accepting substituents on the fluorescence of oxygen-bridged triarylamine	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 111281 ~ 111281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dyepig.2023.111281	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 Zhenya, Hirori Hideki, Sekiguchi Fumiya, Shimazaki Ai, Iwasaki Yasuko, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 3
2. 論文標題 Ultrastrong coupling between THz phonons and photons caused by an enhanced vacuum electric field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L032021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L032021	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 Kajino Yuto, Otake Shuji, Yamada Takumi, Kojima Kazunobu, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko, Yamada Yasuhiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Anti-Stokes photoluminescence from CsPbBr3 nanostructures embedded in a Cs4PbBr6 crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 L043001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.L043001	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 Hu Shuaifeng, Otsuka Kento, Murdey Richard, Nakamura Tomoya, Truong Minh Anh, Yamada Takumi, Handa Taketo, Matsuda Kazuhiro, Nakano Kyohei, Sato Atsushi, Marumoto Kazuhiro, Tajima Keisuke, Kanemitsu Yoshihiko, Wakamiya Atsushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimized carrier extraction at interfaces for 23.6% efficient tin-lead perovskite solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ee00288d	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63件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Kento Otsuka, Shuaifeng Hu, Tarou Morishita, Ruito Hashimoto, Taketo Handa, Yoshihiko Kanemitsu, Richard Murdey, Minh Anh Truong, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Composition-Property Mapping in Bromide-Containing Tin Perovskite
3. 学会等名 The 8th K-J Joint Seminar on PV (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Kento Otsuka, Shuaifeng Hu, Ruito Hashimoto, Tarou Morishita, Taketo Handa, Takumi Yamada, Minh Anh Truong, Richard Murdey, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Systematic Investigations on Properties of Bromide-Containing Tin Perovskites
3. 学会等名 Global Photovoltaic Conference 2022 (GPVC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Kento Otsuka, Shuaifeng Hu, Ruito Hashimoto, Tarou Morishita, Taketo Handa, Takumi Yamada, Minh Anh Truong, Richard Murdey, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Composition-Property Mapping in Bromide-Containing Tin Perovskite Using High Purity Starting Materials
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Sciece and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Kento Otsuka, Shuaifeng Hu, Ruito Hashimoto, Tarou Morishita, Taketo Handa, Takumi Yamada, Minh Anh Truong, Richard Murdey, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Composition-Property Mapping in Bromide-Containing Tin Perovskite Preapred with High Purity Starting Materials
3. 学会等名 Perovskite and Organic Photovoltaics and Optoelectronics (IPEROP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 高純度材料を用いたスズ系ペロブスカイト太陽電池の開発
3. 学会等名 日本太陽光発電学会 ペロブスカイト太陽電池分科会2022年度研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 材料化学アプローチによる高性能ペロブスカイト太陽電池の開発
3. 学会等名 応用物理学会 有機バイオエレクトロニクス分科会3月研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 智也
2. 発表標題 高純度材料を用いたASnI <sub>3</sub> -xBr <sub>x</sub> 型スズペロブスカイト材料の系統的物性評価
3. 学会等名 学際統合物質科学研究機構 成果報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 スピンコータを用いたフィルム型ペロブスカイト太陽電池の作製
3. 学会等名 技術情報協会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 智也, 原田 布由樹, 山田 琢允, 金光 義彦, Minh Anh Truong, Richard Murdey, 若宮 淳志
2. 発表標題 イオン混合型スズペロブスカイト単結晶の合成と物性
3. 学会等名 応用物理学会 2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Tomoya Nakamura, Minh Anh Truong, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Low light performance evaluation of mixed-halide perovskite solar cells with monolayer hole extraction layers
3. 学会等名 The 8th K-J Joint Seminar on PV (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 舟崎 司・ユーバリッケ ルーカスバイト・フ シュアイフェン・中村 智也・マーディ リチャード・チョン ミンアン・若宮 淳志
2. 発表標題 シクロオクタテトラインドール骨格を用いたテトラポッド型正孔回収単分子膜材料の開発
3. 学会等名 第19回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Wakamiya, Shuafeng Hu, Tomoya Nakamura, Taketo Handa, Takumi Yamada, Minh Anh Truong, Richard Murdey, Yoshihiko Kanemitsu
2. 発表標題 Materials to Improve the Performance of Sn-Based Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 The 29th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD22) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 舟崎 司, Lucas Ueberricke, Shuafeng Hu, 中村 智也, Richard Murdey, Minh Anh Truong, 若宮 淳志
2. 発表標題 高性能ペロブスカイト太陽電池のための新たなトリポッド型正孔回収性単分子膜材料の開発
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wentao Liu, Shuaifeng Hu, Jorge Pascual, Taro Morishita, Takumi Yamada, Richard Murdey, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Morphology Control of Indene-C60 bisadduct Film for Efficient Tin Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下太郎・金子竜二・タン テンセイ・チョン ミンアン・マーディ リチャード・中村智也・若宮淳志
2. 発表標題 添加剤を用いたペロブスカイト半導体の結晶成長制御
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noboru Ohashi, Ryuji Kaneko, Chikako Sakai, Kenji Yazawa, Hirokazu Tahara, Taketo Handa, Tomoya Nakamura, Richard Murdey, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Ultrathin flexible perovskite solar cells using internal stress-controlled bilayer indium tin oxide electrode
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryuji Kaneko, Ai Shimazaki, Noboru Ohashi, MinhAnh Truong, Tomoya Nakamura, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Optimization of wide-bandgap perovskite solar cells for Si/perovskite tandem cells
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Richard Murdey, Minh Anh Truong, Ai Shimazaki, Ryuji Kaneko, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Operational stability and low light performance of wide-bandgap perovskite solar cells
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minh Anh Truong, Tsukasa Funasaki, Lucas Ueberricke, Wataru Nojo, Richard Murdey, Takumi Yamada, Shuaifeng Hu, Tomoya Nakamura, Nobutaka Shioya, Takeshi Hasegawa, Yoshihiko Kanemitsu, Takanori Suzuki, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Efficient Inverted Perovskite Solar Cells Enabled by Multipodal Hole-Collecting Monolayers Based on Triazatruxene Skeleton
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下 太郎・金子 竜二・Minh Anh Truong・Richard Murdey・中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池の大面積塗工に向けたインク組成 および添加剤の探索
3. 学会等名 第49回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Shuaifeng Hu, Jorge Pascual, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Halide segregation and the operational stability of monolayer-based p-i-n perovskite solar cells
3. 学会等名 Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics (IPEROP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 布由樹・中村 智也・Minh Anh Truong・Richard Murdey・若宮 淳志
2. 発表標題 溶液法を用いたスズ系ペロブスカイト半導体膜の表面処理法の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 悠季・中村 智也・Minh Anh Truong・Richard Murdey・若宮 淳志
2. 発表標題 ロダニン骨格を用いたペロブスカイト太陽電池の単分子電子回収材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平 翔太・舟崎 司・Richard Murdey・中村 智也・Minh Anh Truong・若宮 淳志
2. 発表標題 スクアリン骨格を用いたペロブスカイト太陽電池の正孔回収単分子膜材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東村 智佳・湯本 郷・中村 智也・橋本 壘人・若宮 淳志・廣理 英基・金光 義彦
2. 発表標題 二次元層状ハライドペロブスカイトの発光特性のAサイトカチオン依存性
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湯本 郷・関口 文哉・橋本 隼人・中村 智也・若宮 淳志・金光 義彦
2. 発表標題 二次元層状ハライドペロブスカイトにおける励起子スピンの時間分解イメージング
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大穀裕介・山田琢允・嶋崎愛・舟崎司・チョンミンアン・中村智也・若宮淳志・金光義彦
2. 発表標題 混合ハロゲン化物ペロブスカイト薄膜の光学特性の空間マッピング
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湯本 郷・関口 文哉・橋本 隼人・中村 智也・若宮 淳志・金光 義彦
2. 発表標題 偏光分解ポンプ・プローブ顕微鏡を用いた二次元層状ハライドペロブスカイトにおける励起子スピンイメージング
3. 学会等名 応用物理学会第83回秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 半田 岳人・橋本 隼人・湯本 郷・中村 智也・若宮 淳志・金光 義彦
2. 発表標題 メタルフリー強誘電ハライドペロブスカイトにおける局所的な強誘電性と相関した可視光発光の観測
3. 学会等名 応用物理学会第83回秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湯本 郷・関口 文哉・橋本 隼人・中村 智也・若宮 淳志・金光 義彦
2. 発表標題 偏光分解ポンプ・プローブ顕微分光法の開発と超高速二次元励起子スピン輸送の観測
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東村 智佳, 湯本 郷, 中村 智也, 原田 布由樹, 若宮 淳志, 廣理 英基, 金光 義彦
2. 発表標題 二次元層状ハライドペロブスカイトの格子歪みが光学特性に及ぼす効果
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大藪裕介、山田琢允、嶋崎愛、森下太郎、金子竜二、中村智也、若宮淳志、廣理英基、金光義彦
2. 発表標題 混合ハロゲン化物ペロブスカイト薄膜の光誘起イオン移動
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 睦・山口 世力・本橋 真優・Yihuang Wang・中村 智也・若宮 淳志・丸本 一弘
2. 発表標題 PEAを含むSnペロブスカイト太陽電池の電荷状態と素子劣化機構の解析
3. 学会等名 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Atsushi Sato, Mayu Motohashi, Yihuang Wang, Dong Xue, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya, Kazuhiro Marumoto
2. 発表標題	Study for PEA-containing tin perovskites by observation of charge transfer from PEDOT:PSS to perovskite using ESR spectroscopy
3. 学会等名	ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Atsushi Sato, Seira Yamaguchi, Mayu Motohashi, Yihuang Wang, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya, Kazuhiro Marumoto
2. 発表標題	Analysis of charge states and device degradation mechanisms in PEA-containing tin perovskite solar cells
3. 学会等名	33rd International Photovoltaic Sciece and Engineering Conference (PVSEC-33) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	佐藤 睦・山口 世力・本橋 真優・Yihuang Wang・中村 智也・若宮 淳志・丸本 一弘
2. 発表標題	PEAを含むSnペロブスカイト太陽電池における電荷輸送層の電荷状態と素子劣化機構
3. 学会等名	第61回電子スピンスイエンズ学会年会 (SEST2022)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Atsushi Sato, Seira Yamaguchi, Mayu Motohashi, Yihuang Wang, Kazuhiro Marumoto, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題	ESR study on charge states and device degradation mechanisms in PEA-containing tin perovskite solar cells
3. 学会等名	13th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 佐藤 睦・山口 世力・本橋 真優・Yihuang Wang・中村 智也・若宮 淳志・丸本 一弘
2. 発表標題 PEAを含むSnペロブスカイト太陽電池における電荷移動と電子輸送層における電荷状態
3. 学会等名 応用物理学会第83回春季学術講演会（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 章振亜、廣理英基、関口文哉、嶋崎愛、岩崎保子、中村智也、若宮淳志、金光義彦
2. 発表標題 Ultrastrong coupling between THz phonons and photons caused by an enhanced vacuum electric field
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本 隼人・中村 智也・Truong Minh Anh・若宮 淳志
2. 発表標題 電子受容性置換基を導入した酸素架橋トリアリールアミン誘導体の光物性
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minh Anh Truong・能條航・Lucas Veith Ueberricke・舟崎司・中村智也・Richard Murdey・鈴木孝紀・若宮淳志
2. 発表標題 トリアザトルキセン骨格を用いたペロブスカイト太陽電池の正孔回収材料の開発
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tiancheng Tan・中野修一・Shuaifeng Hu・Minh Anh Truong・Richard Murdey・中村智也・若宮淳志
2. 発表標題 BAr2で架橋したアザフルベン二量体を用いた近赤外吸収色素の開発
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 チョン ミンアン, 能條 航, ユーバリッケ ルーカスバイト, 舟崎 司, 堀内 保, 中村 智也, マーディー リチャード, 鈴木 孝紀, 若宮 淳志
2. 発表標題 高性能ペロブスカイト太陽電池のためのマルチポッド型正孔回収材料の開発
3. 学会等名 第18回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 マーディー リチャード, 松重 優子, 石倉 靖久, チョン ミンアン, 中村 智也, 若宮 淳志
2. 発表標題 室内光向きペロブスカイト太陽電池 Perovskite solar cells for ambient light harvesting
3. 学会等名 第18回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuaifeng Hu, Kento Otsuka, Richard Murdey, Tomoya Nakamura, Minh Anh Truong, Takumi Yamada, Taketo Handa, Kazuhiro Matsuda, Kyohei Nakano, Atsushi Sato, Kazuhiro Marumoto, Keisuke Tajima, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Interface Modification Strategies Using Surfactants for 23.6% Efficient Tin-Lead Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 第18回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuaifeng Hu, Kento Otsuka, Richard Murdey, Tomoya Nakamura, Minh Anh Truong, Takumi Yamada, Taketo Handa, Kazuhiro Matsuda, Kyohei Nakano, Atsushi Sato, Kazuhiro Marumoto, Keisuke Tajima, Yoshihiko Kanemitsu, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 23.6%-高効率スズ - 鉛混合型ペロブスカイト太陽電池：アンモニウム基をもつ表面添加剤の効果
3. 学会等名 第48回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lucas Ueberricke, 能條 航, 舟崎 司, 中村 智也, Richard Murdey, Minh Anh Truong, 鈴木 孝紀, 若宮 淳志
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池の効率的な正孔取り出しを実現するマルチポット型単分子膜材料
3. 学会等名 第48回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本隼人, Wentao Liu, 森下太郎, Shuaifeng Hu, Towhid Hossain Chowdhury, Minh Anh Truong, Richard Murdey, 中村智也, 若宮淳志
2. 発表標題 エチレンジアンモニウム塩を用いた表面処理によるスズ系ペロブスカイト太陽電池の高性能化
3. 学会等名 第48回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Wakamiya, Tomoya Nakamura, Shuaifeng Hu, Kento Otsuka, Ruito Hashimoto, Minh Anh Truong, Richard Murdey
2. 発表標題 Sn-and Pb-Based Perovskite Solar Cells Using Highly Purified Materials
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 智也, 大塚 健斗, Shuaifeng Hu, 森下 太郎, 橋本 隼人, 半田 岳人, 金光 義彦, Minh Anh Truong, Richard Murdey, 若宮 淳志
2. 発表標題 ASnI3-xBrx型スズペロブスカイト材料の系統的物性評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wentao Liu, Shuaifeng Hu, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Solution-Processed Electron Extraction Contacts for Efficient Tin Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 竜二, 嶋崎 愛, 大橋 昇, 中村 智也, チョン ミンアン, Richard Murdey, 若宮 淳志"
2. 発表標題 ペロブスカイト/結晶シリコン二端子タンデム型太陽電池に向けたワイドバンドギャップ - ペロブスカイト太陽電池開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大橋 昇, 金子 竜二, 酒井 智香子, 石倉 靖久, 矢沢 健児, 田原 弘量, 半田 岳人, 金光 義彦, 中村 智也, Richard Murdey, 若宮 淳志
2. 発表標題 内部応力による変形を抑制した積層ITOを用いた超薄膜ペロブスカイト太陽電池
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Performance Evaluation of Mixed-Halide Perovskite Solar Cells with Monolayer Hole Transporting Layers
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹脇由佳, 中野 修一, 中村 智也, Minh Anh Truong, Richard Murdey, 若宮 淳志
2. 発表標題 強い電子受容性をもつBAr <sub>2</sub> 架橋ジヒドロキシジオン骨格の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野 修一, 中村 智也, リチャード マーディー, ミンアン チョン, 若宮 淳志
2. 発表標題 ベンゼンを核構造に用いた酸素架橋トリアリールアミンのバンドル化分子の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 舟崎 司・ユーベリック ルーカス・能條 航・チョン ミンアン・マーディー リチャード・山田 琢允・中村 智也・フ シュアイフェン・金光 義彦・鈴木 孝紀・若宮 淳志
2. 発表標題 トリアザトリキセン骨格を用いた高性能ペロブスカイト太陽電池の正孔回収単分子膜材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ユーバリック ルーカス、船崎 司、中村 智也、リチャード マーデー、ミンアン チョン、若宮 淳志
2. 発表標題 シクロオクタテトラインドール骨格を用いたテトラポッド型正孔回収単分子膜材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 聖人、Wentao Liu、森下 太郎、Shuaifeng Hu、Minh Anh Truong、Richard Murdey、中村 智也、若宮 淳志
2. 発表標題 スズペロブスカイト太陽電池の高性能化のためのエチレンジアンモニウム塩を用いた表面処理手法の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TIANCHENG TAN、SHUAIFENG HU、MINH ANH TRUONG、RICHARD MURDEY、中村 智也、若宮 淳志
2. 発表標題 BAr <sub>2</sub> 架橋5員環構造をもつアザフルベン化合物の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Sato、Mayu Motohashi、Yihuang Wang、Dong Xue、Tomoya Nakamura、Atsushi Wakamiya、Kazuhiro Marumoto
2. 発表標題 Study for PEA-containing tin perovskites by observation of charge transfer from PEDOT:PSS to perovskite using ESR spectroscopy
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Sato, Mayu Motohashi, Yihuang Wang, Dong Xue, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya, Kazuhiro Marumoto
2. 発表標題 Direct Observation of Charge Transfer in PEA-Containing Tin Perovskite Solar Cells by Electron Spin Resonance
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021(MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 睦, 山口 世力, 本橋 真優, 王 &#24328;&#29852;; 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 "PEAカチオンを含むスズペロブスカイト太陽電池における電荷移動の 電子スピン共鳴による直接観測"
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022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
---------	---------