

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23631

研究課題名(和文)高性能青色EL素子のための高発光性ペロブスカイト材料の開発

研究課題名(英文) Emissive Perovskite Materials for Blue Electroluminescence Devices

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) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：ハロゲン化鉛ペロブスカイト半導体は、塗布による成膜が可能であり、その優れた光・電子物性から、太陽電池の光吸収材料のみならず、塗布型EL素子の発光材料としても注目を集めている。本研究では、ペロブスカイト材料のナノ粒子において、長いアルキル配位子(炭素数18)を短い配位子(炭素数4)に交換することで、粒子間の空隙を減少させ、EL素子において電荷注入を向上できることを見出した。また、従来の溶液を用いた合成法よりも簡便でスケールアップが容易な、ボールミルを用いた固体反応により、緑色発光性ペロブスカイト材料が合成できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した、ペロブスカイトナノ粒子の配位子の交換手法は、ナノ粒子への電荷注入・輸送を改善し、ナノ粒子を用いた塗布型EL素子の特性と耐久性の向上につながる成果である。また、ボールミルによる固体合成は、スケールアップが容易で材料利用効率が高い手法であり、将来の実用化・工業化に向けた知見を与える成果であると言える。

研究成果の概要(英文)：Lead halide perovskites have attracted attention not only as light absorbing materials for solar cells but also as light emitting materials for solution-processed electroluminescence (EL) devices. In the present work, replacing the long alkyl chain ligands attached to the perovskite nanoparticles with shorter ligands decreases the spacing between the nanoparticles, leading to the improved carrier injection in the EL devices. In addition, we successfully synthesized green-emissive perovskite materials by solid-state reaction using ball-milling, which are more simple and scalable synthetic method compared with conventional solution-based synthesis.

研究分野：構造有機化学、有機エレクトロニクス、ペロブスカイト

キーワード：ペロブスカイト ナノ粒子 発光材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト半導体は、塗布による成膜が可能であり、その優れた光・電子物性から、太陽電池の光吸収材料のみならず、塗布型 EL 素子の発光材料としても注目を集めている。ペロブスカイト構造を 20 nm 以下にナノ結晶化し、表面を有機配位子で被覆したペロブスカイトナノ粒子は、高い蛍光量子収率を示し、化学組成や粒径サイズにより可視光全域で容易に発光波長を制御できる。有機配位子として長鎖アルキル基を用いることで溶媒への高い分散性が得られる一方、電気的に絶縁性である長鎖アルキル基は薄膜中でのナノ粒子間の電子的な相互作用を妨げてしまうため、電荷輸送・注入特性が低く、15 nm 以上の厚膜化ができない。これが EL 素子の特性と耐久性低下の原因の一つとなっていた。また、ナノ粒子の合成には、前駆体を 140~200 °C の高温で過飽和溶液に注入したのち数秒間で急冷する「ホットインジェクション」法が一般的に用いられているが、反応系を均一に冷却する必要がありスケールアップ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、(1) 短い配位子への構造変換によるナノ粒子への電荷の注入および輸送の向上、(2) ホットインジェクション法に代わるスケールアップ容易な手法による発光性ペロブスカイト材料の開発、を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず、(1) 長鎖アルキル基 (オレイン酸、オレイルアミン) を用いた緑色発光性 CsPbBr₃ ナノ粒子に対して、後処理による短い配位子 (ブチルアミン) への交換手法の開発に取り組んだ。さらに、(2) スケールアップ可能で材料利用効率の高い手法として、ボールミルを用いた固体反応に着目し、本手法を用いた発光性ペロブスカイト材料の開発に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) ペロブスカイトナノ粒子におけるリガンド交換手法の開発

本研究では、まず、報告されている手法¹に基づいて、長鎖アルキル配位子 (オレイン酸、オレイルアミン) を用いたホットインジェクション法により、CsPbBr₃ ナノ粒子の合成を行った (図 1a)。得られたナノ粒子の分散液は半値幅 119 meV、量子収率 65% の緑色発光 (ピーク波長 : 516 nm) を示した (図 1b)。透過電子顕微鏡観察により、10 nm 程度の比較的サイズの揃ったナノ粒子が得られていることがわかった (図 1c)。

次に、得られたナノ粒子に対して、短いアルキルアミン (ブチルアミン等) の臭化物塩を作用させることで、配位子の交換を行った (図 1d)。¹H NMR 測定により、オレイン酸、オレイルアミンの配位子に由来するピークが焼失し、配位子が交換できていることを確認した。配位子交換を行ったナノ粒子の分散液は、半値幅が 98 meV と減少し、量子収率 72% の緑色発光 (ピーク波長 : 515 nm) を示した (図 1e)。また、配位子交換前後の透過型電子顕微鏡画像を比較すると、ナノ粒子のサイズは変わらずナノ粒子間の空隙が 1.8 nm から 1.3 nm へと減少していることがわかった (図 1f)。これは、長いアルキル配位子 (オレイン酸、オレイルアミン) が短い配位子 (ブチルアミン) に置き換わったことに対応しており、EL 素子において電荷注入の向上が期待できる。実際に、合成したナノ粒子を用いてペロブスカイト EL 素子を作製したところ、短い配位子を用いることによって、駆動電圧を低下できることがわかった。

さらに、配位子交換にアルキルアミンの臭化物塩と塩化物塩の混合物を用いることにより、ハライド交換を同時に行い CsPbBr_{3-x}Cl_x の組成をもつナノ粒子が得られることを見出した。得られたナノ粒子分散液は量子収率 45% の青色発光 (ピーク波長 : 487 nm) を示し、発光波長のチューニングも可能であることがわかった。

¹ L. Protesescu et al. *Nano Lett.* **2015**, *15*, 3692.

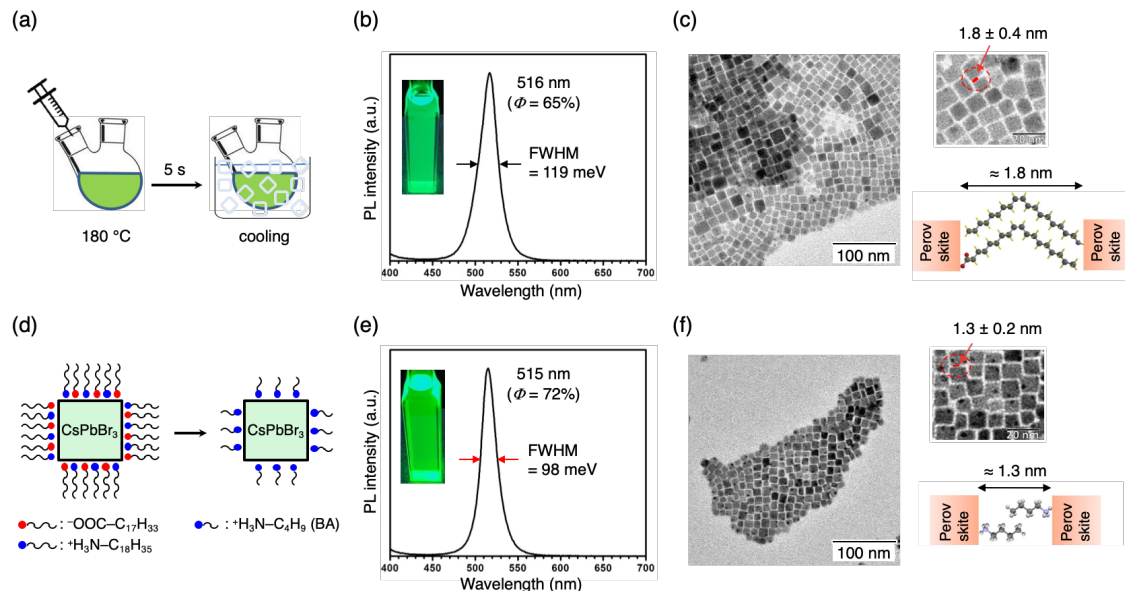


図 1. (a) ホットインジェクション法の概略図、(b) ナノ粒子分散液の蛍光スペクトルおよび (c) 透過電子顕微鏡 (TEM) 画像。(d) 配位子交換の概略図、配位子交換後のナノ粒子分散液の (e) 蛍光スペクトルおよび (f) TEM 画像。

(2) ボールミル法による発光性ペロブスカイト材料の合成

高温で溶液を混合し数秒後に急冷するホットインジェクション法では、再現性の低さやスケールアップが困難であるという問題点が見えてきた。そこで、溶液法に替わる合成手法として、再現性よく材料のスクリーニングが行え、スケールアップも容易な、ボールミルを用いた固体反応に着目し、本手法を用いたペロブスカイト半導体の開発に取り組んだ。

ボールミルを用いた固体反応により、3次元ペロブスカイト構造をもつ CsPbBr_3 および、0次元ペロブスカイトと呼ばれる Cs_4PbBr_6 の合成に取り組んだ。原料である CsBr と PbBr_2 を 1:1 の割合で容器に加え、ボールミルを用いて混合したところ、3次元 CsPbBr_3 が選択的に得られた (図 2a)。一方、 CsBr と PbBr_2 を 4:1 の割合で反応させたところ、0次元 Cs_4PbBr_6 が選択的に得られた。これらの結果は、 CsBr と PbBr_2 を 4:1 の割合で溶かした溶液を用いてスピコートにより作製した薄膜では CsPbBr_3 と Cs_4PbBr_6 の混合物が得られたこととは対照的であり、前駆体材料の量比に合わせて選択的に生成物が得られるというボールミル法の特徴を示す結果である。ボールミル法によって得られた Cs_4PbBr_6 粉末は、520 nm に蛍光量子収率 14% の固体発光を示した (図 2b)。さらに、合成した CsPbBr_3 粉末にアルキル配位子を加えてボールミル反応を行うことで、10 nm 程度の大きさの CsPbBr_3 ナノ粒子が合成できることも見出した。

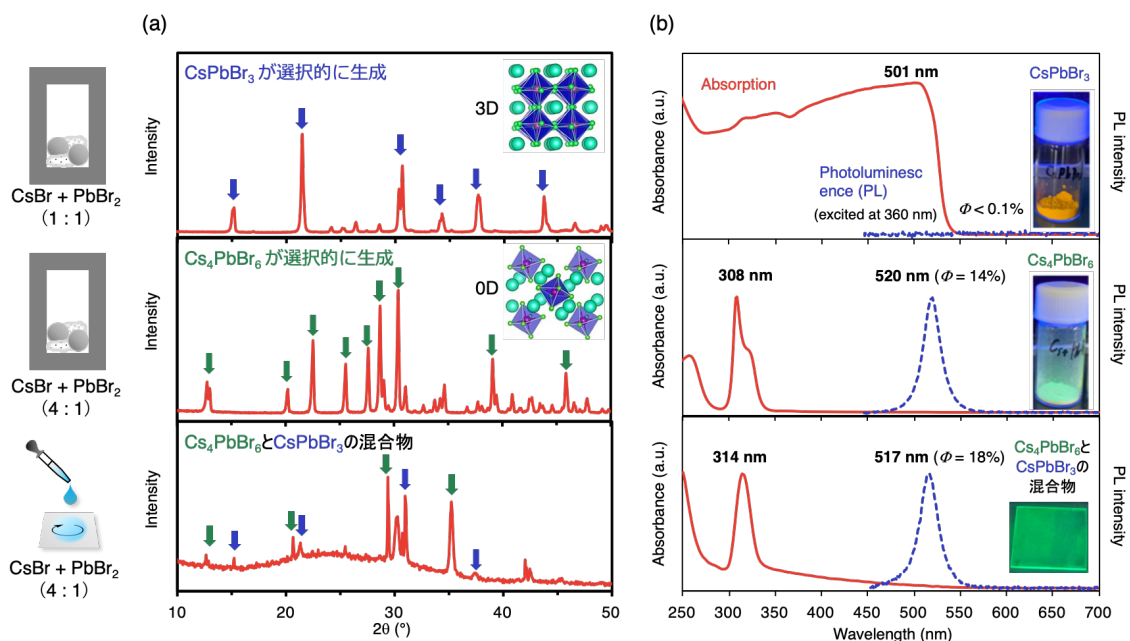


図 2. ボールミル法による CsPbBr_3 (上), Cs_4PbBr_6 (中) の合成および溶液法 (下) との比較。合成した粉末あるいは薄膜の (a) X 線回折 (XRD) パターンおよび (b) 吸収・発光スペクトル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 2件）

1. 著者名 Tomoya Nakamura, Nobutaka Shioya, Takeshi Hasegawa, Yasujiro Murata, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya	4. 巻 84
2. 論文標題 Phthalimide Based Transparent Electron Transport Materials with Oriented Amorphous Structures: Preparation from Solution Processed Precursor Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 1396-1404
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/cplu.201900274	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 Fengjiu Yang, Jinzhe Liu, Zheng Lu, Pengfei Dai, Tomoya Nakamura, Shenghao Wang, Luyang Chen, Atsushi Wakamiya, Kazunari Matsuda	4. 巻 7
2. 論文標題 Recycled Utilization of a Nanoporous Au Electrode for Reduced Fabrication Cost of Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 1902474
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/advs.201902474	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, Yakumaru Shinya, Truong Minh Anh, Kim Kyusun, Liu Jiwei, Hu Shuaifeng, Otsuka Kento, Hashimoto Ruito, Murdey Richard, Sasamori Takahiro, Kim Hyung Do, Ohkita Hideo, Handa Taketo, Kanemitsu Yoshihiko, Wakamiya Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Sn(IV)-free tin perovskite films realized by in situ Sn(0) nanoparticle treatment of the precursor solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-16726-3	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 Hashimoto Ruito, Anh Truong Minh, Gopal Anesh, Imanah Rafieh Alwani, Nakamura Tomoya, Murdey Richard, Wakamiya Atsushi	4. 巻 33
2. 論文標題 Hole-Transporting Polymers Containing Partially Oxygen-Bridged Triphenylamine Units and Their Application for Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 505 ~ 516
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.33.505	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 Nishimura Hidetaka, Okada Iku, Tanabe Taro, Nakamura Tomoya, Murdey Richard, Wakamiya Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Additive-free, Cost-Effective Hole-Transporting Materials for Perovskite Solar Cells Based on Vinyl Triarylamines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 32994 ~ 33003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c06055	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, Handa Taketo, Murdey Richard, Kanemitsu Yoshihiko, Wakamiya Atsushi	4. 巻 2
2. 論文標題 Materials Chemistry Approach for Efficient Lead-Free Tin Halide Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 3794 ~ 3804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00859	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 Sekiguchi Fumiya, Hirori Hideki, Yumoto Go, Shimazaki Ai, Nakamura Tomoya, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 126
2. 論文標題 Enhancing the Hot-Phonon Bottleneck Effect in a Metal Halide Perovskite by Terahertz Phonon Excitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 77401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.077401	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40件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 中村 智也, 若宮 淳志
2. 発表標題 高品質ハライドペロブスカイト材料の開発
3. 学会等名 東工大元素戦略拠点 (TIES) テクニカルシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 智也, Minh Anh Truong, Shuaifeng Hu, 大塚 健斗, Richard Murdey, 半田 岳人, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 高純度前駆体材料を用いた高性能スズ系ペロブスカイト太陽電池の開発
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 2020年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, and Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Accerated Lifetime Testing of Mixed Composition Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 PVSEC-30 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Minh Anh Truong, Shuaifeng Hu, Kento Otsuka, Richard Murdey, Taketo Handa, Yoshihiko Kanemitsu, and Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Tin-based Perovskite Solar Cells using Precursor Materials Purified by Sn(0) Nanoparticle Treatment
3. 学会等名 PVSEC-30 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 智也, Minh Anh Truong, Shuaifeng Hu, 大塚 健斗, Richard Murdey, 半田 岳人, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 8 電子系ジヒドロピラジン誘導体を還元剤として用いた高性能スズ系ペロブスカイト太陽電池の開発
3. 学会等名 基礎有機化学会 若手オンラインシンポジウム (第0回)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 智也, Minh Anh Truong, Shuafeng Hu, 大塚 健斗, Richard Murdey, 半田 岳人, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 還元処理による高純度前駆体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 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚 健斗・Shuafeng Hu・金子 竜二・半田 岳人・Minh Anh Truong・Richard Murdey・中村 智也・金光 義彦・若宮 淳志
2. 発表標題 高純度化材料を用いたBrを含むスズ系ペロブスカイト半導体の開発
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 智也・Minh Anh Truong・Shuafeng Hu・大塚 健斗・橋本 聖人・Richard Murdey・笹森 貴裕・Hyung Do Kim・大北 英生・半田 岳人・金光 義彦・若宮 淳志
2. 発表標題 Sn(IV)スカベンジャー法を用いた高純度スズ系ペロブスカイト半導体膜の作製
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Richard Murdey・松重 優子・石倉 靖久・Minh Anh Truong・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効率的な安定性評価
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 智也, Minh Anh Truong, Shuaifeng Hu, 大塚 健斗, 橋本 隼人, Richard Murdey, 笹森 貴裕, Hyung Do Kim, 大北 英生, 半田 岳人, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 高純度前駆体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 「統合物質創製化学研究推進機構」オンライン国内シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 タン テンセイ, 中野 修一, チョン ミンアン, 中村 智也, マーディー リチャード, 若宮 淳志
2. 発表標題 BAr2で架橋したアザフルベンダイマー誘導体の合成と物性
3. 学会等名 第47回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本 隼人, チョン ミンアン, 中村 智也, 若宮 淳志
2. 発表標題 ドナー・アクセプター性を有する酸素架橋トリアリールアミン誘導体の合成と物性
3. 学会等名 第47回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuaifeng Hu, Kento Otsuka, Minh Anh Truong, Taketo Handa, Tiancheng Tan, Richard Murdey, Tomoya Nakamura, Yoshihiko Kanemitsu, and Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Improved Performance of Mixed Lead-Tin Perovskite Solar Cells by Surface Treatment with a Flavor Enhancer
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下 純・嶋崎 愛・金子 竜二・中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 ボールミル法による発光性金属ハライドペロブスカイト材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本 聖人・チョン ミンアン・中村 智也・若宮 淳志
2. 発表標題 酸素架橋型トリアリールアミン骨格における電子受容性置換基の光物性に及ぼす効果
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 タン テンセイ, 中野 修一, Shuailfeng 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の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野 修一・中村 智也・マ - ディ - リチャ - ド・チョン ミンアン・若宮 淳志
2. 発表標題 ベンゼン環に酸素架橋トリアリールアミン骨格を複数導入した 共役分子の開発
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura
2. 発表標題 Weakly Interacting Hydrogen Bond Networks for Controlling Molecular Orientation of Organic Semiconductor Thin Films
3. 学会等名 The 1st Germany-Japan-China Joint Workshop on Extremely Large pi-Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 智也
2. 発表標題 独自の分子設計に基づいた有機機能性材料の開発
3. 学会等名 京都大学インストリアルデイ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 智也
2. 発表標題 薄膜エレクトロニクスのためのn型有機半導体の分子配向制御
3. 学会等名 第16回SPring-8産業利用報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Shinya Yakumaru, Jiewei Liu, Yoshihiko Kanemitsu, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Tin-based Perovskite Solar Cells using Precursor Materials Purified by Reducing Agents
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 智也, 薬丸 信也, Jiewei Liu, Minh Anh Truong, Kyusun Kim, 大塚 健斗, 半田 岳人, 金光 義彦, Richard Murdey, 若宮 淳志
2. 発表標題 還元剤を用いた高性能スズ系ペロブスカイト太陽電池の開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Shinya Yakumaru, Jiewei Liu, Minh Anh Truong, Kyusun Kim, Kento Otsuka, Taketo Handa, Yoshihiko Kanemitsu, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Tin-based Perovskite Solar Cells using Dihydropyrazine as Reducing Agent
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚 健斗, Jiewei Liu, 半田 岳人, 中村 智也, Richard Murdey, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 高純度化材料を用いたスズ系ペロブスカイト半導体膜の作製と物性評価
3. 学会等名 第4回フロンティア太陽電池セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚 健斗, Jiewei Liu, 半田 岳人, 中村 智也, Richard Murdey, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 高純度化材料を用いたスズ系ペロブスカイト半導体のバンド構造制御
3. 学会等名 第46回有機典型元素科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚 健斗, Jiewei Liu, 半田 岳人, 中村 智也, Richard Murdey, 金光 義彦, 若宮 淳志
2. 発表標題 高純度化材料を用いたスズ系ペロブスカイト半導体膜の作製と物性評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本 隼人, チョン ミンアン, 中村 智也, マーディー リチャード, 若宮 淳志
2. 発表標題 ペロブスカイト層との界面構造制御を志向した正孔輸送性材料の開発
3. 学会等名 第46回有機典型元素科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本 隼人, チョン ミンアン, 中村 智也, マーディー リチャード, 若宮 淳志
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池用有機半導体: トリアリールアミン誘導体の置換基効果
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Alwani Imanah Rafieh, Ai Shimazaki, Yuko Matsushige, Yasuko Iwasaki, Tomoya Nakamura, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Preparation of Highly Emissive Perovskite Materials for Light-Emitting Diodes
3. 学会等名 統合物質創製化学研究推進機構 第5回国内シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Alwani Imanah Rafieh, Ai Shimazaki, Yuko Matsushige, Yasuko Iwasaki, Tomoya Nakamura, Richard Murdey, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題	Fabrication of Emissive Perovskite Materials by Ligand Exchange for Light-Emitting Diodes
3. 学会等名	The 3rd International Symposium of Integrated Research Consortium on Chemical Sciences (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Kento Otsuka, Ruito Hashimoto, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題	Photocurrent Collection Length and the Fill Factor of Mixed-Composition Metal Halide Perovskite Solar Cells
3. 学会等名	第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	チョン ミンアン, 橋本 隼人, 中村 智也, マーデー リチャード, 若宮 淳志
2. 発表標題	浅いHOMOエネルギー準位をもつトリアリアルアミン誘導体の合成と物性
3. 学会等名	日本化学会第100春季年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	本橋 真優, 木全 晴, 浅井 遥香, 薛 冬, 尾崎 雅司, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題	スズペロブスカイト太陽電池材料における電荷状態のESR研究
3. 学会等名	第58回電子スピンスサイエンス学会年会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 王 奕, 本橋 真優, 鄒 湘濤, 木全 晴, 薛 冬, 佐伯 昭紀, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 混合ハロゲンスズペロブスカイト太陽電池材料の電荷移動のESR分光研究
3. 学会等名 第58回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戴 文超, 鄒 湘濤, 木全 晴, 本橋 真優, 薛 冬, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 光誘起 ESR 分光法を用いた順構造ペロブスカイト太陽電池における電荷状態の解明
3. 学会等名 第58回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鄒 湘濤, 渡邊 孝弘, 木全 晴, 薛 冬, 嶋崎 愛, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 新規正孔輸送材料を用いた鉛ペロブスカイト太陽電池のESR研究
3. 学会等名 第58回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本橋 真優, 木全 晴, 浅井 遥香, 薛 冬, 尾崎 雅司, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 スズペロブスカイト/正孔輸送材料界面の電荷移動のESR分光研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 奕, 本橋 真優, 鄒 湘濤, 木全 晴, 薛 冬, 佐伯 昭紀, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 混合ハロゲンスズペロブスカイト太陽電池界面の電荷移動の直接観察
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戴 文超, 鄒 湘濤, 木全 晴, 本橋 真優, 薛 冬, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 光誘起ESR分光法を用いた順構造ペロブスカイト太陽電池における電荷状態の解明
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鄒 湘濤, 渡邊 孝弘, 木全 晴, 薛 冬, 嶋崎 愛, 中村 智也, 若宮 淳志, 丸本 一弘
2. 発表標題 新規正孔輸送材料を用いた鉛ペロブスカイト太陽電池材料の積層膜界面における電荷移動のESR研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 近赤外吸収材料	発明者 若宮 淳志, 中村 智也, 安田 茂雄, 井上 朋之	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-194469	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 高純度化スズ含有ペロブスカイト半導体材料	発明者 若宮 淳志, 中村 智也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/009134	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 高純度化Sn系ペロブスカイト半導体材料	発明者 若宮 淳志, 中村 智也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-40189	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------