

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05666

研究課題名(和文)ペロブスカイト太陽電池のエイジング及びパッシベーション効果の検証

研究課題名(英文)Ageing and Passivation Effects in Perovskite Solar Cells

研究代表者

MURDEY Richard (Murdey, Richard)

京都大学・化学研究所・講師

研究者番号：20447931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：この研究プロジェクトは、ペロブスカイト太陽電池の安定性と耐久性を向上させることを目的としています。材料やセル構造設計の革新は、デバイスの動作寿命を評価し、劣化や損失のメカニズムを調査することによって知らされます。私は、環境光利用アプリケーションの潜在的な候補として、分子単層正孔抽出層(HEL)であるMeO-2PACzで作製したp-i-nペロブスカイト太陽電池の評価を行いました。これらのデバイスの耐久性は、Spiro-OMeTAD正孔輸送層に基づくn-i-p構造を有する以前の参照デバイスよりも著しく優れていることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Metal-halide perovskites are cheap and efficient materials for generating solar power, but are currently much less stable than silicon. Monitoring the degradation of perovskite solar cells is a key aspect to realize their successful commercial development and decrease our reliance on fossil fuels.

研究成果の概要(英文)：This research project is aimed at improving the stability and durability of perovskite solar cells. Innovations in materials and cell structure design are informed by evaluating the operating lifetime of the devices and investigating the mechanisms for the degradation and loss.

I evaluated p-i-n perovskite solar cells fabricated with MeO-2PACz, a molecular monolayer hole extraction layer (HEL), as potential candidates for ambient light harvesting applications. The durability of these devices was found to be significantly better than previous reference devices with n-i-p structure based on Spiro-OMeTAD hole transport layers.

研究分野：Solar Energy

キーワード：Solar Energy Perovskite Solar Cells Device Characterization Electrical Measurements Metal-Halide Perovskites Operational Testing Degradation Pathways Environmental Stability

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1 . 研究開始当初の背景

(1) Perovskite solar cells are promising devices for sustainable energy production, with high efficiency (>25%) and low potential fabrication costs. One of the most significant challenges for commercializing this technology is the relatively poor stability of perovskite solar cells compared to the silicon solar cells that are already on the market. It is therefore important to study the operational lifetime of perovskite solar cells under different environmental conditions.

(2) Perovskite solar cells can be broadly divided into two device architectures, the so-called p-i-n and n-i-p structures and two classes of perovskite materials, lead-based perovskites and lead-free, tin-based perovskites. The choice of device architecture effects the device lifetime, as well as the choice of perovskite material, but there is little quantitative lifetime data available to help guide the development of longer-lasting perovskite solar cells.

2 . 研究の目的

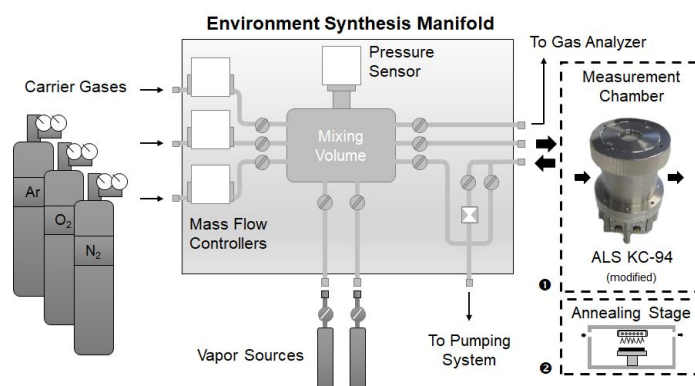
(1) In this study, we will develop we will construct an in situ measurement system to evaluate the electrical characteristics (J-V characteristics and impedance characteristics) of perovskite solar cells under light irradiation and exposure to different environmental gasses such as humid air, dry air, and nitrogen. The durability of different materials used in the different device structures will be evaluated and compared.

(2) The effectiveness of passivation techniques used in lead-free, Sn-based solar cells to prolong the operational lifetime of these devices will be examined.

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

3 . 研究の方法

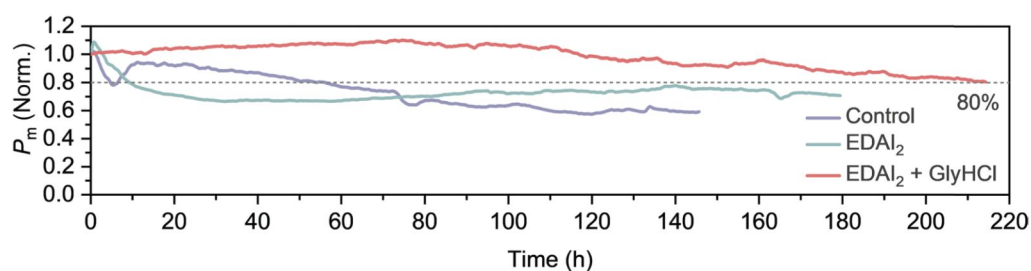
(1) The apparatus to measure perovskite solar cells under different atmospheres was constructed as shown in the figure below:



(2) Apparatus to track and report the maximum power point of the solar cells was also developed. The system is based on a Keithley 2450 Sourcemeter and Labview programming environment.

4 . 研究成果

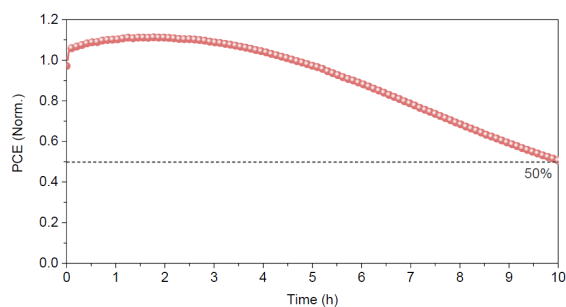
(1) Lifetime data for mixed tin-lead perovskite solar cells with 23.6% power conversion efficiency with top-surface passivation under inert atmosphere and 1 SUN conditions:



Energy Environ. Sci. 2022, 15, 2096-2107. DOI: 10.1039/d2ee00288d

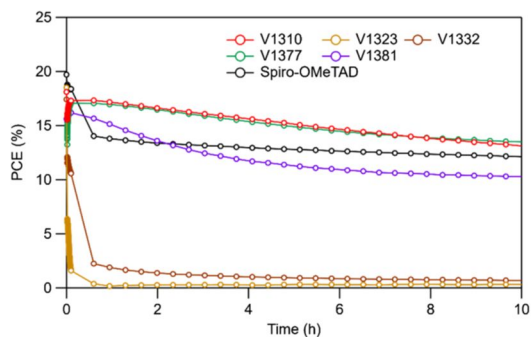
様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

(2) Maximum power point tracking measurements for maltol-treated tin-lead perovskite solar cells with increased carrier lifetimes:



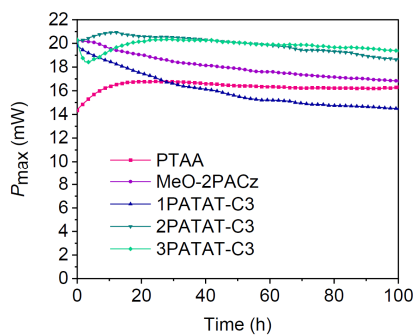
Chem. Sci. 2021, 12, 13513-13519. DOI: 10.1039/D1SC04221A

(3) Lifetime data for perovskite solar cells with starburst carbazole hole transporting materials:



Solar RRL, 2022, 6, 2100877. DOI: 10.1002/solr.202100877

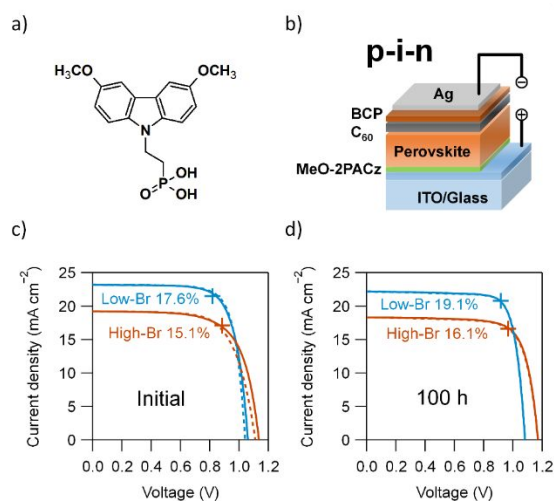
(4) Maximum power point tracking data for perovskite solar cells with tripodal triazatruxene derivative hole transporting materials:



J. Am. Chem. Soc. 2023, 143, 7528-7539. DOI: 10.1021/jacs.3c00805

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

(5) A comparison the durability of p-i-n and n-i-p perovskite solar cells was also published to demonstrate the superior operational stability of p-i-n structures with monolayer hole extraction layers.



Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2022, 245, 111885. DOI: 10.1016/j.solmat.2022.111885

(6) I have also measured the operation lifetime of encapsulated devices and modules prepared by Enecoat Technologies, a venture company spin-off from our laboratory. 30 new apparatus based on this apparatus will be installed in our laboratory for stability measurements of perovskite solar cells. The measurement algorithm and systems technology used here were developed as part of the Kakenhi project:



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hu Shuaifeng, Truong Minh Anh, Otsuka Kento, Handa Taketo, Yamada Takumi, Nishikubo Ryosuke, Iwasaki Yasuko, Saeki Akinori, Murdey Richard, Kanemitsu Yoshihiko, Wakamiya Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Mixed lead tin perovskite films with >7 μ s charge carrier lifetimes realized by maltol post-treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 13513 ~ 13519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC04221A	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 該当する

1. 著者名 Jegorove Aiste, Truong Minh Anh, Murdey Richard, Daskeviciene Maryte, Malinauskas Tadas, Kantminiene Kristina, Jankauskas Vygintas, Getautis Vytautas, Wakamiya Atsushi	4. 巻 6
2. 論文標題 Starburst Carbazole Derivatives as Efficient Hole Transporting Materials for Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2100877 ~ 2100877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202100877	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 該当する

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 15
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 2096 ~ 2107
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Truong Minh Anh, Lee Hayoon, Shimazaki Ai, Mishima Ryota, Hino Masashi, Yamamoto Kenji, Otsuka Kento, Handa Taketo, Kanemitsu Yoshihiko, Murdey Richard, Wakamiya Atsushi	4. 巻 4
2. 論文標題 Near-Ultraviolet Transparent Organic Hole-Transporting Materials Containing Partially Oxygen-Bridged Triphenylamine Skeletons for Efficient Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1484 ~ 1495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c02677	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 該当する

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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

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/acсами.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 該当する

1. 著者名 Nakamura Tomoya, Yakumaru Shinya, Truong Minh Anh, Kim Kyusun, Liu Jiewei, 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 該当する

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 15
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 2096 ~ 2107
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Murdey Richard, Ishikura Yasuhisa, Matsushige Yuko, Hu Shuai Feng, 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 該当する

1. 著者名 Vaitukaityte Deimante, Truong Minh Anh, Rakstys Kasparas, Murdey Richard, Funasaki Tsukasa, Yamada Takumi, Kanemitsu Yoshihiko, Jankauskas Vyintas, Getautis Vytautas, Wakamiya Atsushi	4. 巻 6
2. 論文標題 Molecular Engineering of Enamine Based Hole Transporting Materials for High Performing Perovskite Solar Cells: Influence of the Central Heteroatom	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2200590 ~ 2200590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202200590	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 該当する

1. 著者名 Hu Shuai Feng, 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/acsami.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 該当する

1. 著者名 Hu Shuai Feng, Zhao Pei, Nakano Kyohei, Oliver Robert D. J., Pascual Jorge, Smith Joel A., Yamada Takumi, Truong Minh Anh, Murdey Richard, Shioya Nobutaka, Hasegawa Takeshi, Ehara Masahiro, Johnston Michael B., Tajima Keisuke, Kanemitsu Yoshihiko, Snaith Henry J., Wakamiya Atsushi	4. 巻 35
2. 論文標題 Synergistic Surface Modification of Tin-Lead Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2208320 ~ 2208320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202208320	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 該当する

1. 著者名 Truong Minh Anh, Funasaki Tsukasa, Ueberricke Lucas, Nojo Wataru, Murdey Richard, Wakamiya Atsushi et al.	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 該当する

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Richard Murdey, Yuko Matsushige, Yasuhisa Ishikura, Yasuko Iwasaki, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Strategies for Assessing and Improving the Stability of Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 The 13th Asian Conference on Organic Electronics (A-COE 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yuko Matsushige, Yasuhisa Ishikura, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, and Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 室内光向きペロブスカイト太陽電池
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 ~ 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 2021年 ~ 2022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～2021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
4. 発表年 2020年～2021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～2021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 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～2021年

1. 発表者名 中村 智也, Minh Anh Truong, Shuafeng Hu, 大塚 健斗, 橋本 壘人, 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 2020年～2021年

1. 発表者名 中村 智也・Minh Anh Truong・Shuafeng Hu・大塚 健斗・橋本 壘人・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 2020年～2021年

1. 発表者名 Shuafeng 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 2020年～2021年

1. 発表者名 タン テンセイ, 中野 修一, Shuafeng Hu, Minh Anh Truong, Richard Murdey, 中村 智也, 若宮 淳志
2. 発表標題 BAr ₂ 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 2020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 2020年～2021年

1. 発表者名 Richard Murdey, Namrata Pant, Minh Anh Truong Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Stability and Low Light Performance of Mixed Composition Metal Halide Perovskite Solar Cells with Sputtered Nickel Oxide Hole Transport Layers
3. 学会等名 2021年第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年～2021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～2021年

1. 発表者名 大塚 健斗・Shuai Feng 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 2020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 2020年～2021年

1. 発表者名 Richard Murdey, Minh Anh Truong, Kento Otsuka, Ruito Hashimoto, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Mixed Composition Metal Halide Perovskite Solar Cells for Ambient Light Energy Harvesting: Low Light Current-Voltage Behavior
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Richard Murdey, Minh Anh Truong, Ai Shimazaki, Ryuji Kaneko, Tomoya Nakamura, and Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Operational stability and low light performance of wide-bandgap perovskite solar cells
3. 学会等名 International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC-33 (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Richard Murdey, Yasuhisa Ishikura, Yuko Matsushige, Shuafeng 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 IPEROP-23 (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Richard Murdey, Ai Shimazaki, Ryuji Kaneko, Minh Anh Truong, Tomoya Nakamura, Atsushi Wakamiya
2. 発表標題 Minimizing Voltage Losses in Stable Wide Bandgap Mixed Halide Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023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
---------	---------