

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05261

研究課題名(和文)希土類元素導入ペロブスカイト系太陽電池の最適組成の理論的探索と導入効果の検証

研究課題名(英文)Theoretical research for optimized composition of lanthanide doped perovskite solar cells and investigation of effect of incorporation

研究代表者

鈴木 厚志 (Suzuki, Atsushi)

滋賀県立大学・工学部・講師

研究者番号：30281603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ハロゲン化鉛系ペロブスカイト太陽電池は、従来の太陽電池よりも高い開放電圧、光電変換効率を有しているが、長期安定性に乏しく、実用化する上で光活性層であるペロブスカイト結晶の劣化抑制や構造最適化が求められている。本研究では希土類元素を導入したペロブスカイト結晶の電子構造解析から性能を予測し、光活性層の劣化を抑制しながら性能向上と長期安定化を行った。フォノン分散、IR/Ramanの振動モード、熱伝導率の挙動からフォノンの影響を検証した。正孔輸送層にフタロシアニン錯体を導入することにより光活性層の表面形態を改善した。長期安定性かつ高性能なペロブスカイト太陽電池の開発が可能となり、実用化が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

希土類元素の導入によりペロブスカイト結晶の電子構造を制御し、ペロブスカイト太陽電池の性能向上と長期安定性の改善を行うことができた。第一原理計算によるバンド構造から電子相関、電子-格子相互作用、安定性を検証し、性能予測と実験的検証による設計指針を確立し、従来のデバイスの開発方法より高性能な特性と開発期間の短縮をすることができた。さらに光活性層の表面にフタロシアニン錯体を導入することにより劣化抑制や界面の構造最適化により光起電力特性や安定性を向上することができた。ペロブスカイト太陽電池の性能や安定性が大幅に向上し、建築用、自動車用のみならず異分野市場に加速度的に普及することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Perovskite solar cell have high performance of photovoltaic properties, such as open circuit voltage, and conversion efficiency rather than conventional solar cells. The perovskite crystals have lack of long-term stability. Degradation inhabitation and structural optimization are required for practical use. In this study, photovoltaic performance was predicted by the electron structure analysis of lanthanide doped perovskite crystals, and performance improvement and stabilization were achieved while suppressing degradation the photoactive layer. Influence of acoustic phonon, vibration mode in IR/Raman, thermal conductive behavior was investigated. Incorporation of phthalocyanine complex on hole-transporting layer improved surface morphology of the photoactive layer. The perovskite solar cells with high performance and long-term stability can be developed for practical use.

研究分野：ペロブスカイト太陽電池 第一原理計算

キーワード：ペロブスカイト太陽電池 電子構造 第一原理計算 分子動力学 X線回折 表面形態 光起電力特性
フォノン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト太陽電池は従来のシリコン系太陽電池に代わる太陽電池として期待され、実用化に向けた研究が行われている。ペロブスカイト太陽電池は変換効率に優れ、ペロブスカイト結晶の組成、結晶構造制御、結晶性や界面の不動態化を行うことにより性能を向上することができる。しかし、ペロブスカイト層は劣化、分解しやすく、太陽電池として実用化するうえで光起電力特性の長期安定性に課題がある。最近、希土類元素を導入したペロブスカイト太陽電池が作製され、光起電力特性、結晶構造、電子構造、光起電力機構が明らかにされつつある[1, 2]。

2. 研究の目的

本研究は、希土類元素 (Eu, Tb, Sm, Gd, Nd, Yb) を導入したペロブスカイト結晶の電子構造、フォノン、IR / Raman, 熱力学的性質、安定性を第一原理計算から予測し、光起電力特性の測定結果から希土類元素の導入効果を検証することを目的とする。特に、価電子帯、伝導帯付近のバンド構造、状態密度(DOS)、電子密度分布、熱伝導率、分子運動性からキャリア移動度、短絡電流密度、光電変換効率、安定性を予測し、実験結果と比較検討した。

3. 研究の方法

$\text{CH}(\text{NH}_2)_2\text{PbI}_3$ (FAPbI₃) ペロブスカイト結晶 (Cubic, $Pm\bar{3}m$, $a = 6.36 \text{ \AA}$) の結晶構造に基づいてスーパーセル(2×2×2) を作製した。中央の位置のPb原子を希土類元素(Eu²⁺, Sm²⁺, Tb²⁺, Sm³⁺, Gd²⁺, Nd²⁺, Yb²⁺) に部分置換した。Eu³⁺, Tb³⁺, Sm³⁺, Gd²⁺, Nd²⁺, Yb²⁺系では PBE 汎関数, Eu²⁺系では DFT+U 法 (Hubbard U = 6 eV) を用いた。価電子帯、伝導帯付近の DOS から希土類元素の p, d, f 軌道の影響を検討した。バンド構造の曲率から有効質量比 (m^*/m_0) を計算した。

$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, PbI_2 (モル比 1:1) 溶液にランタノイド ($\text{L}^{2+} = \text{Eu}^{2+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Gd}^{2+}, \text{Nd}^{2+}, \text{Yb}^{2+}$) 化合物 2% を加えた $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{0.8}(\text{Ln})_{0.2}\text{I}_3$ ペロブスカイト前駆体溶液を準備した。洗浄した FTO 電極に電子輸送層として 0.15 M Compact TiO₂ 前駆体溶液をスピコートし、125°C、5 分間熱処理を行い、550°C、30 分間熱処理した。Mesoporous TiO₂ 前駆体溶液をスピコートし、550°C、30 分間熱処理を行った。ペロブスカイト溶液を 3 回スピコートした。最後の製膜途中でポリシラン溶液を滴下し、190°C、5 分間熱処理を行った。ホール輸送層として Spiro-OMeTAD をスピコートし、最後に対向電極として Au を真空蒸着し、デバイスを完成した。Eu を導入したペロブスカイト結晶構造と太陽電池セルの概略図を Fig. 1 に示す。光起電力特性として照射下の電流電圧 (JV) 特性と外部量子効率 (EQE) を評価した。X 線回折により結晶成長、配向性を評価した。

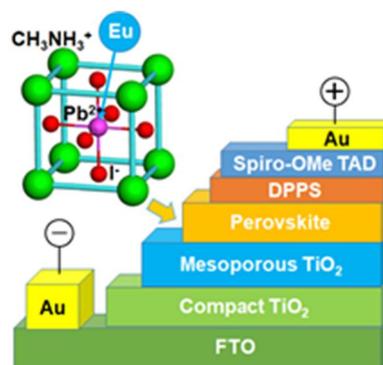


Fig. 1 Schematic diagram of Eu-doped perovskite crystal and perovskite solar cell.

4. 研究成果

Eu²⁺, Sm³⁺, Tb³⁺, Ce³⁺を導入した FAPbI₃ のバンド構造や pDOS を Fig. 2 に示す。Eu 導入系では価電子帯付近に I 5p 軌道と Eu d 軌道が広域分散化した。Eu d 軌道-I 5p 軌道間の電荷移動によりホール生成の促進が予想される。ホールの有効質量比 (m_h^*/m_0) は FAPbI₃ 系の m_h^*/m_0 に近い値となり、同程度のホール移動度が予想される。Sm³⁺導入系では価電子帯付近に局在した 3d 軌道によりホール移動の低下が予想される。Tb³⁺導入系では価電子帯付近に f 軌道が縮退しながら分布し、I 5p 軌道にホール生成や電荷移動が促進されず、ホール輸送の低下が予想される。バンドギャップが小さくなり、開放電圧の低下が予想される。希土類元素の d, f 軌道と配位子 I の p 軌道との重なりによってキャリア移動、短絡電流密度、変換効率が影響される。

Gd を導入した FAPbI₃ 結晶の電子密度は価電子帯に Gd d 軌道と I 5p 軌道が広域に分布し、ホール生成やホール移動が促進する。伝導帯では Pb 6p 軌道と Gd の 4f 軌道と 5d 軌道が分布した。電子、ホールの有効質量比は 0.02, 0.02、バンドギャップ $E_g = 1.52 \text{ eV}$ となり、FAPbI₃ 系と同程度の性能が予想される。Gd-FAPbI₃, FAPbI₃ の全エネルギーは -4662 eV / cell, -3745 eV / cell となり、Gd-FAPbI₃ は FAPbI₃ より安定性を示した。Gd-FAPbI₃ のエンタルピーと運動エネルギーの MD 計算を 300 K で行った。緩和過程に伴い、エンタルピーの緩やかな低下が生じ、結晶の安定性を示した。運動エネルギーは穏やかに低下しながら平衡に達した。Gd-FAPbI₃ 結晶中の Gd²⁺ と I との金属-配位子結合間距離の変動に伴う配位構造の歪みにより FA の N-H の挙動や H⁺ の拡散を抑制した。FAPbI₃ では FA の H⁺ が I, Pb²⁺ より早く拡散し、分解を促進した。

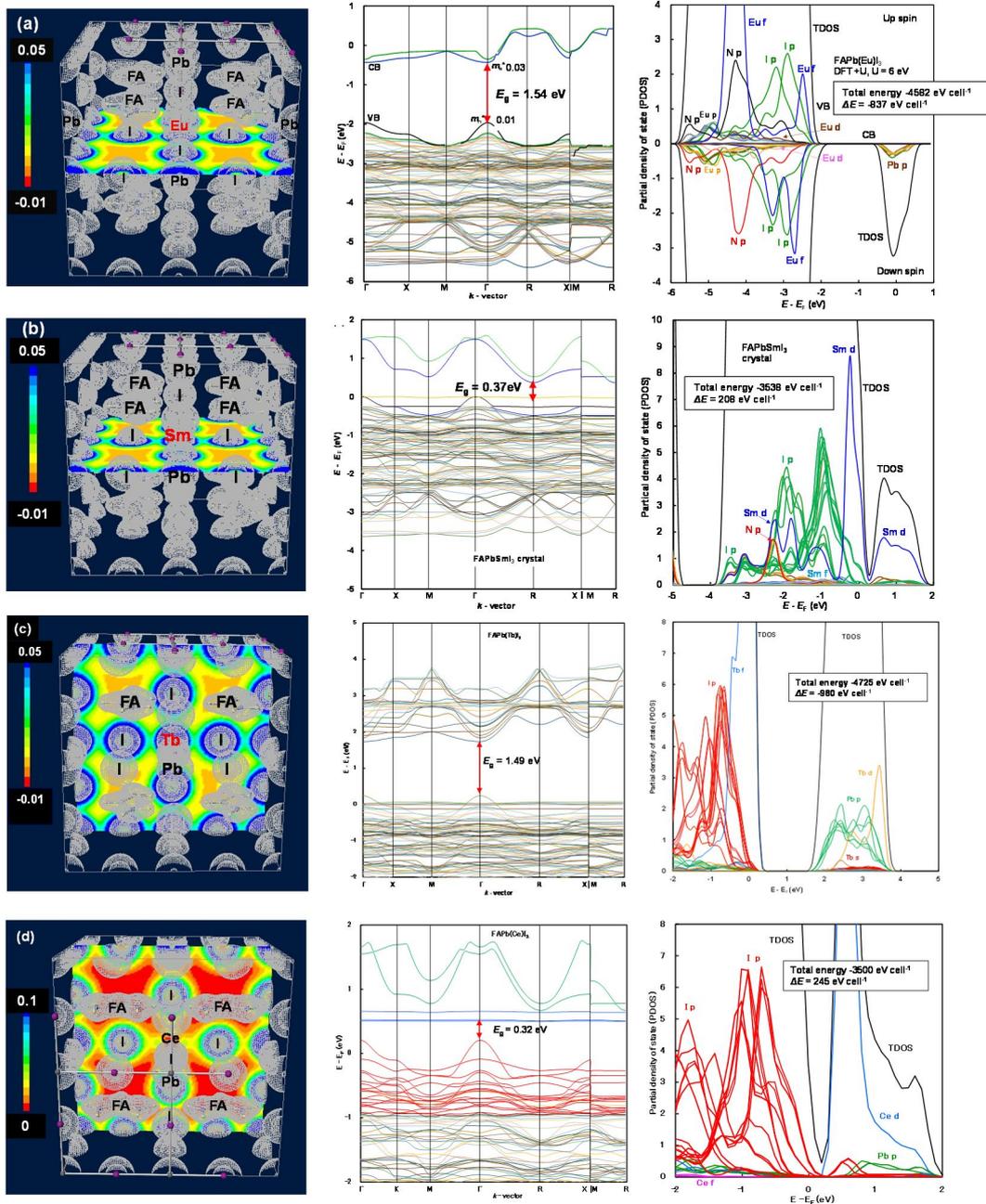


Fig. 2 Band structures and DOS of the perovskite crystals doped with (a) Eu, (b) Sm, (c) Tb and (d) Ce ions.

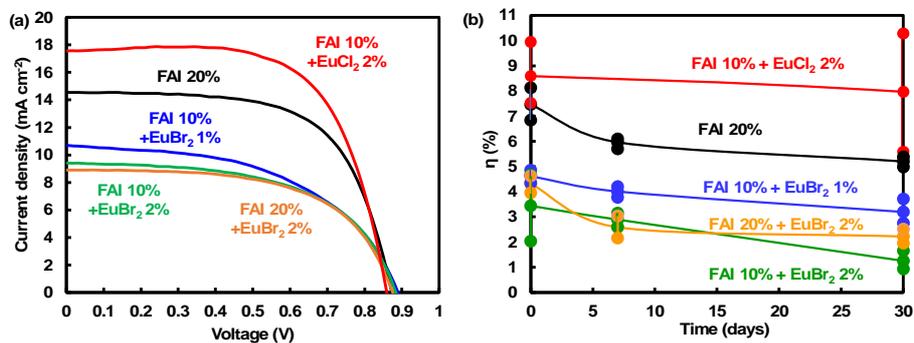


Fig. 3 (a) J - V curves and (b) stability of η of the doped perovskite solar cells.

J - V 特性と変換効率の経時変化を Fig. 3 (a), (b) に示す。得られた特性値を Table 1 に示す。EuCl₂, FAI 導入系では短絡電流密度、FF が改善し、変換効率 η は 9.9% に達した。経時変化の結果より η は 30 日維持した。一方、Tb²⁺, Sm³⁺ 導入系では $\eta = 5.2\%$, 1.3% を示し、熱処理 210°C では $\eta = 7.9\%$, 4.6% となった。Tb²⁺, Sm³⁺ 導入系の η は 1 週間で低下し、長期安定性を示さなかった。

Table 1 Photovoltaic properties of the perovskite solar cells with FAI, EuCl₂ and EuBr₂.

Perovskite 190	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	FF	R_s (Ω cm ²)	R_{sh} (Ω cm ²)	η (%)	η_{ave} (%)
FAI 20%	14.5	0.874	0.640	7.46	3950	8.13	7.40
FAI 10%+EuCl ₂ 2%	17.6	0.860	0.659	6.57	3960	9.94	8.30
FAI 10%+EuBr ₂ 1%	10.7	0.889	0.510	14.6	622	4.85	4.66
FAI 10%+EuBr ₂ 2%	9.40	0.883	0.563	11.5	1690	4.67	3.59
FAI 20%+EuBr ₂ 2%	8.90	0.875	0.594	12.3	4760	4.62	4.34

ペロブスカイト層の配向性、結晶成長の影響をX線回折測定により評価した。X線回折測定の結果を Fig. 4 に示す。FAI, EuCl₂ 導入系ではペロブスカイト結晶の(100)が配向し、結晶成長を示した。配向性や結晶成長に伴って、キャリア移動が促進し、変換効率が向上したと考えられる。Eu²⁺導入による光起電力特性の向上はペロブスカイト層の分解抑制と結晶成長、配向性の促進によってキャリア移動が向上したと考えられる。一方、Tb²⁺, Sm³⁺導入系では熱処理により配向性や結晶性の改善は示したが、変換効率の長期安定性は示さなかった。Tb²⁺, Sm³⁺系では導入により分解抑制は働かず、性能が低下した。

以上のことから、第一原理計算の予測と実験結果に基づいて希土類元素の導入効果を実証した。特に、Eu, Gd- FAPbI₃ 結晶は高性能かつ長期安定性を有する太陽電池デバイスとしてさまざまな産業分野に応用できることを示した。

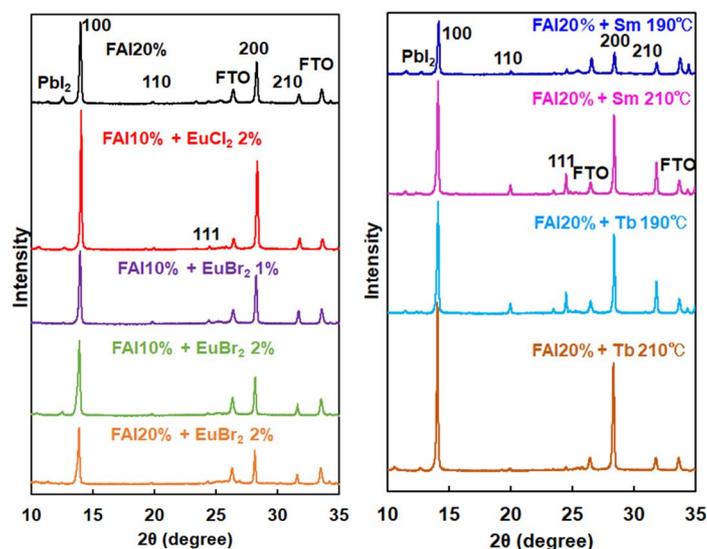


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of the perovskite solar cells.

参考文献

- 1) L. Wang, H. Zhou, J. Hu, et. al, Science 363, 265–270 (2019).
- 2) W. J. Mir, T. Sheikh, H. Arfin, Z. Xia and A. Nag, NPG Asia Materials 12, 9 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10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 Atsushi Suzuki, Kyo Kishimoto, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa	4. 巻 287
2. 論文標題 Additive effect of lanthanide compounds into perovskite layer on photovoltaic properties and electronic structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Synthetic Metals	6. 最初と最後の頁 117092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.synthmet.2022.117092	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 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Kai Funayama, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa	4. 巻 34
2. 論文標題 Additive effects of CuPcX4-TCNQ on CH3NH3PbI3 perovskite solar cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J Mater Sci: Mater Electron	6. 最初と最後の頁 588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-023-10001-z	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 Atsushi Suzuki, Masaya Taguchi, Takeo Oku, Masanobu Okita, Satoshi Minami, Sakiko Fukunishi and Tomoharu Tachikawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Additive effects of methyl ammonium bromide or formamidinium bromide in methylammonium lead iodide perovskite solar cells using decaphenylcyclopentasilane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 26449-26464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-021-07023-w	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 Atsushi Suzuki, Kaede Kitagawa, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, and Tomoharu Tachikawa	4. 巻 18
2. 論文標題 Additive effects of copper and alkali metal halides into methylammonium lead iodide perovskite solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronic Materials Letters	6. 最初と最後の頁 176-186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13391-021-00325-5	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 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa	4. 巻 51
2. 論文標題 Effects of Cu, K and guanidinium addition to CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 4317-4328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-022-09688-3	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 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa	4. 巻 62
2. 論文標題 First-principles calculations and device characterizations of formamidinium-cesium lead triiodide perovskite crystals stabilized by germanium or copper	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SK1015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc6d8	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 Chihiro Ogawa, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa	4. 巻 A 220
2. 論文標題 Metallophthalocyanine used interface engineering for improving long-term stability of methylammonium lead triiodide perovskite	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi	6. 最初と最後の頁 2300038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.202300038	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 Atsushi Suzuki and Takeo Oku	4. 巻 62
2. 論文標題 Electronic structures and molecular dynamics of gadolinium-doped FAPbI ₃ perovskite crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SK1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acbec0	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 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Electronic structures and photovoltaic properties of copper- or tin-doped cesium-based perovskite crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Open Ceramics	6. 最初と最後の頁 100476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceram.2023.100476	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 Kotaro Yamamoto, Atsushi Suzuki, Riku Okumura, Ayu Enomoto, Iori Ono, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of neodymium or ytterbium addition to CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells inserted with decaphenylcyclopentasilane	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Results in Surfaces and Interfaces	6. 最初と最後の頁 100224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rsurf.2024.100224	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49件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Kai Funayama, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Additive effect of CuPcX ₄ -TCNQ on CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells
3. 学会等名 Advances in Surfaces, Interfaces and Interphases 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平塚大地, 鈴木厚志, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 Euを添加したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Kai Funayama, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells using CuPcX ₄ doped with TCNQ
3. 学会等名 Seventeenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木厚志, 岸本杏人, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 希土類元素を導入したペロブスカイト太陽電池の光起電力特性と電子構造
3. 学会等名 第8回材料WEEK 「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川ちひろ, 鈴木厚志, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 フタロシアニン錯体導入ペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第8回材料WEEK 「材料シンポジウム」若手学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三井蒼大, 鈴木厚志, 小野伊織, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 希土類元素を導入したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第8回材料WEEK 「材料シンポジウム」若手学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平塚大地, 鈴木厚志, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 Euを添加したFACs1-xCsxPbX3 ペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第8回材料WEEK「材料シンポジウム」若手学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 厚志, 岸本 杏人, 奥 健夫, 大北 正信, 福西 佐季子, 立川 友晴, 長谷川 智也
2. 発表標題 希土類元素を導入したペロブスカイト太陽電池の第一原理計算と光起電力特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2022年度 創設75周年記念講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川 ちひろ, 鈴木 厚志, 奥 健夫, 大北 正信, 福西 佐季子, 立川 友晴, 長谷川 智也
2. 発表標題 フタロシアニン錯体を導入したペロブスカイト太陽電池の光電変換特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2022年度 創設75周年記念講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Kyo Kishimoto, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Electronic structures and molecular dynamics of lanthanide-doped perovskite crystal and photovoltaic characteristics
3. 学会等名 The 26th SANKEN International Symposium GREEN TRANSFORMATION For a Sustainable Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chihiro Ogawa, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Effects of introducing phthalocyanine complex on perovskite solar cells
3. 学会等名 The 26th SANKEN International Symposium GREEN TRANSFORMATION For a Sustainable Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of perovskite solar cells using copper phthalocyanine complex with tetracyanoquinodimethane
3. 学会等名 The 3rd International Online Conference on Crystals Section: Hybrid and Composite Crystalline Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki and Takeo Oku
2. 発表標題 Electronic structures of Eu-doped FAPbI ₃ perovskite crystals studied by first-principles calculation
3. 学会等名 The 3rd International Online Conference on Crystals, Section: Hybrid and Composite Crystalline Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Effects of Cu, K and guanidinium addition to CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells
3. 学会等名 The 3rd International Online Conference on Crystals, Section: Hybrid and Composite Crystalline Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木厚志、奥健夫
2. 発表標題 第一原理計算によるアルカリ金属、遷移金属、希土類元素導入FAPbI ₃ ペロブスカイト結晶の電子構造解析
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第1回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本彩佑、浅川由悟、寺田周平、北川楓、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 CH ₃ NH ₃ PbI ₃ ペロブスカイト化合物へのCuCl及びGAI添加効果
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第1回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川遼大、浅川由悟、寺田周平、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 フタロシアニン金属錯体を導入したMAPbI ₃ ペロブスカイト太陽電池の作製と光起電力特性評価
3. 学会等名 材料シンポジウム「若手学生研究発表会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本彩佑、浅川由悟、寺田周平、北川楓、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 Cu を添加したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 材料シンポジウム「若手学生研究発表会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木厚志、岸本杏人、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 希土類元素を導入したペロブスカイト結晶の電子構造解析と実験的検証
3. 学会等名 「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本彩佑、浅川由悟、寺田周平、北川楓、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西 佐季子、立川友晴
2. 発表標題 CH ₃ NH ₃ PbI ₃ ペロブスカイト化合物への Cu及び GA, K添加効果
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木厚志、岸本杏人、奥健夫、大北正信、南聡史、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 希土類元素導入ペロブスカイト系太陽電池の第一原理計算による材料設計と実験的検証
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本彩佑、浅川由悟、寺田周平、北山 楓、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴
2. 発表標題 Cu添加ペロブスカイト太陽電池の作製と光電変換特性評価
3. 学会等名 第11 回CSJ 化学フェスタ 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayu Enomoto, Yugo Asakawa, Shuhei Terada, Kaede Kitagawa, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa
2. 発表標題 Additive effect of Cu doped CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells
3. 学会等名 3rd Coatings and Interfaces Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Masaya Taguchi, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa
2. 発表標題 Additive effects of methyl ammonium bromide or formamidinium bromide in methylammonium lead iodide perovskite solar cells using decaphenylcyclopentasilane
3. 学会等名 3rd Coatings and Interfaces Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Additive effects of Cu and K to perovskite solar cells
3. 学会等名 The 25th SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Kyo Kishimoto, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Material design based on first-principles calculation and characterization of lanthanide compound incorporated perovskite solar cell
3. 学会等名 The 25th SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川ちひろ、小野 伊織、鈴木 厚志、奥 健夫、大北 正信、福西 佐季子、立川 友晴、長谷川 智也
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池へのフタロシアニン錯体の添加効果
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2022年度第 1回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎本彩佑、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 銅塩化合物とカリウムを添加したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2022年度第1回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川ちひろ、小野伊織、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 フタロシアニン錯体を添加したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎本彩佑、鈴木厚志、奥健夫、大北正信、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 CuとKを共添加したペロブスカイト太陽電池の光電変換特性
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chihiro Ogawa, Iori Ono, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Effects of silicon phthalocyanine layer on perovskite solar cells
3. 学会等名 Seventeenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Kai Funayama, Takeo Oku, Masanobu Okita, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of CH ₃ NH ₃ PbI ₃ perovskite solar cells using CuPcX ₄ doped with TCNQ
3. 学会等名 Seventeenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎本彩佑, 鈴木厚志, 奥健夫, 大北正信, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 Cuを添加したペロブスカイト太陽電池の第一原理計算と実験による特性評価
3. 学会等名 第8回材料WEEK「材料シンポジウム」若手学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, and Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of the Ge-doped perovskite solar cells
3. 学会等名 The 9th International symposium on organic and inorganic electronic materials and related nanotechnologies (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山 智晴、鈴木 厚志、奥 健夫
2. 発表標題 第一原理計算による遷移金属系ペロブスカイト結晶の電子構造評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大橋 尚稀、鈴木 厚志、奥村 史来、榎本 彩佑、奥 健夫、福西 佐季子、立川 友晴、長谷川 智也
2. 発表標題 フタロシアニン系ペロブスカイト太陽電池の作製と特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 厚志、平塚 大地、奥 健夫、福西 佐季子、立川 友晴、長谷川 智也
2. 発表標題 FA及びEuを添加したペロブスカイト太陽電池の作製と特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度 第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Suzuki, Ryota Hasegawa, Kai Funayama, Chihiro Ogawa, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of MAPbI ₃ perovskite solar cells using metal phthalocyanines as hole-transporting material
3. 学会等名 Eighteenth International Workshop on Supramolecular NanoScience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kotaro Yamamoto, Riku Okumura, Ayu Enomoto, Atsushi Suzuki, Takeo Oku, Sakiko Fukunishi, Tomoharu Tachikawa, Tomoya Hasegawa
2. 発表標題 Fabrication and characterization of Nd-doped perovskite solar cells
3. 学会等名 Eighteenth International Workshop on Supramolecular NanoScience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoharu Yokoyama, Atsushi Suzuki, Takeo Oku
2. 発表標題 Electronic structures of transition metal doped perovskite crystals
3. 学会等名 Eighteenth International Workshop on Supramolecular NanoScience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山智晴、鈴木厚志、奥健夫
2. 発表標題 遷移金属系ペロブスカイト結晶の電子構造の評価
3. 学会等名 第20回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎本彩佑, 鈴木厚志, 奥健夫, 福西佐季子, 立川友晴, 長谷川智也
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池へのGe添加効果
3. 学会等名 第20回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木厚志、奥 健夫
2. 発表標題 第一原理計算によるCsGdCl ₃ およびCsNdCl ₃ ペロブスカイト結晶の電子構造解析
3. 学会等名 第9回材料WEEK「材料シンポジウム」ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本浩太郎、奥村吏来、榎本彩佑、鈴木厚志、奥健夫、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 Nd を導入したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第9回材料WEEK 若手学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大橋尚稀、鈴木厚志、奥健夫、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池におけるフタロシアニン錯体の中心金属の影響
3. 学会等名 第9回材料WEEK 若手学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎本彩佑、鈴木厚志、奥健夫、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 Ge 化合物を導入したペロブスカイト結晶の第一原理計算とデバイス特性評価
3. 学会等名 第9回材料WEEK 若手学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山智晴、鈴木厚志、奥健夫
2. 発表標題 Zn 及びNi 導入Cs ペロブスカイト結晶の電子構造と安定性評価
3. 学会等名 第9回材料WEEK 若手学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木厚志、奥 健夫
2. 発表標題 第一原理計算によるCsGdCl ₃ , CsNdCl ₃ , CsYbCl ₃ ペロブスカイト結晶の電子構造解析
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2023年度第 3 回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中里奈、小野伊織、奥村史来、畔柳圭佑、鈴木厚志、 奥健夫、福西佐季子、立川友晴、長谷川智也
2. 発表標題 希土類元素を共添加したペロブスカイト太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2023年度第 3 回講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

滋賀県立大学 知のリソース (研究者総覧) http://db.spins.usp.ac.jp/html/136_ja.html
--

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