

令和 2 年 5 月 31 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03890

研究課題名（和文）2次元無機有機ペロブスカイト材料によるハイブリッド特有の光学応答

研究課題名（英文）Unique optical property of two-dimensional hybrid perovskite materials

研究代表者

江馬 一弘（Ema, Kazuhiro）

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：40194021

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、無機と有機が複合したペロブスカイト材料のハイブリッド特有の光学応答を顕著に出現させることである。前半は、新しいタイプのレーザー（キャビティポラリトン）の研究を中心に、後半は、励起子特性や太陽電池応用の研究を行った。前半では、2次元材料を含むマイクロキャビティの作製に成功し、光と励起子との強結合を確認し、ポラリトンレーザーへの道筋を切り拓いた。励起子特性では、3次元材料において、励起子 励起子散乱発光を観測し、様々な励起子パラメータの確定に成功した。また、太陽電池応用では、ペロブスカイト薄膜作製時にエアフローを行うことにより、ピンホールの少ない良質な薄膜の作製に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キャビティポラリトンという新しいタイプのレーザーに関して、結合の大きさを表す真空ラビ分裂エネルギーは160 meVと見積もられ、通常の無機半導体に比べて、1桁大きいものが得られた。これは、可視光全範囲にわたる室温でのポラリトンレーザーの実現へ大きく貢献する成果である。本研究では、「材料組み合わせの豊富さ」や「無機と有機の結合」などのハイブリッドの特徴を十分に発揮させることが目的であったが、「無機と有機の結合」のような最も特徴的な部分への進展はあまり見られなかった。しかし、注目されている太陽電池応用だけでなく、発光デバイス・非線形デバイスなどへの応用の道を切り開くことには成功したと考えている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to bring out the optical response peculiar to the hybrid of the perovskite material in which inorganic and organic compounds are combined. The first half focused on research on new types of lasers (cavity polaritons), and the second half researched on excitonic characteristics and solar cell applications. In the first half, we succeeded in producing a microcavity containing a two-dimensional material, confirmed the strong coupling between light and excitons, and opened the way to the polariton laser. Regarding excitonic properties, we observed the exciton-exciton scattering in three-dimensional materials and succeeded in estimating various exciton parameters. In the solar cell application, we succeeded in producing a high-quality thin film with few pinholes by performing airflow during the production of perovskite thin films.

研究分野：光物理学，光物性，光エレクトロニクス

キーワード：ハイブリッド材料 励起子 ポラリトン ペロブスカイト材料 マイクロキャビティ 太陽電池

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当時(2016年頃)は、ハイブリッドペロブスカイト材料を用いた太陽電池が世界中で注目を集めだした頃であった。図1に示すように、最初に報告されてから数年の短い期間で、変換効率の大幅な改善が進み、次世代の太陽電池として大きな注目を集めていた。

この材料系は、図2に示すように、ハロゲン化鉛の正八面体を基本として、ペロブスカイト構造の陽イオンサイトに有機物が配置されている。その有機物質の選び方によって、0次元から3次元まで様々な次元の構造を自己組織的に形成することができる。つまり、高度な結晶成長技術を利用せずに、低次元構造が作製できるという**次元の制御性が最大の特徴**である。

太陽電池として注目されているのは、このうち3次元構造(以下「3D」と表記)であるが、この材料系の3Dにおいては、有機物質(CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>)が、陽イオンサイトにスペーサーとして位置するだけであり、無機と有機がハイブリッドになっている特徴は何も出ていない。**ハイブリッド材料の最大の魅力は材料組み合わせの自由度と無機と有機の相互作用**にあるが、それを有効に活用できるのは低次元構造のみである。

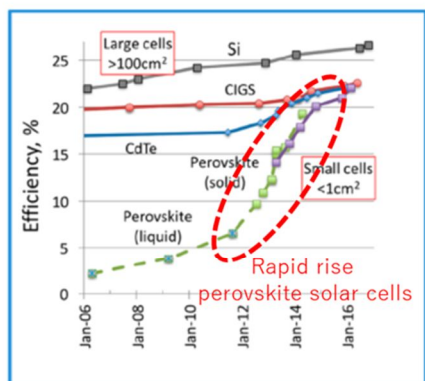


図1 様々な材料系の太陽電池変換効率の推移。赤の破線が囲ったように、ハイブリッドペロブスカイト材料は数年で急激な効率の上昇を示した。

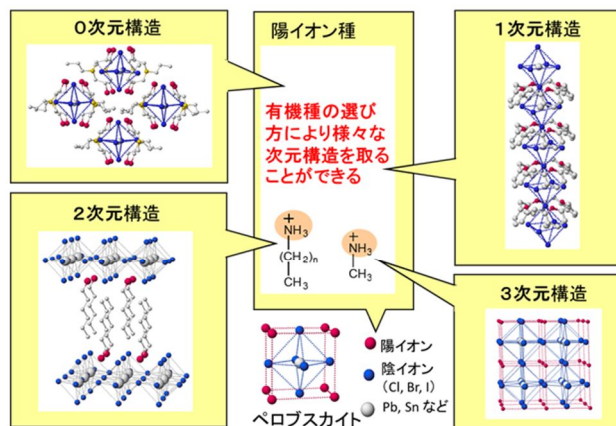


図2 ハイブリッドペロブスカイト構造：次元の制御性が最大の特徴である

## 2. 研究の目的

本研究では、太陽電池研究では顕著に使われていない「**次元の制御性**」、「**材料組み合わせの自由度**」、「**無機と有機の相互作用**」というハイブリッドペロブスカイト材料の特徴を最大限生かした光学応答に着目した。具体的には、最も安定である2次元構造(以下「2D」)に着目して、発光デバイス・非線形デバイス応用に向けた、新規光学応答の探索と詳細な光物性研究を行うことを目的とし、研究開始当時は以下の項目を設定した。

1. 2Dの発光メカニズムの確定、室温での発光効率向上、室温EL素子の作製
2. 2D+マイクロキャビティによる室温ポラリトンレーザーの実現
3. ハイブリッド励起子の実現と非線形光学効果の確認

実際に行った研究では、上記3の研究には着手できず、代わりに2Dおよび3D材料に関しての励起子物性の研究、および太陽電池応用に関する研究を行った。本報告書では、以下の研究成果について報告する。

- A) 2D材料を用いたマイクロキャビティによる室温ポラリトンレーザーの実現
- B) 2D・3D材料の励起子物性
- C) 2D・3D材料を利用した太陽電池応用

## 3. 研究の方法

本研究に参加した研究者の役割分担を図3に示す。このメンバー間では、以前よりこの材料系に関する共同研究を行っており、研究者間の有機的なつながりを維持しながら研究を遂行していくことができた。図には示していないが、いくつかのグループには大学院生が1~2名つき、研究協力者の立場で研究に参加した。

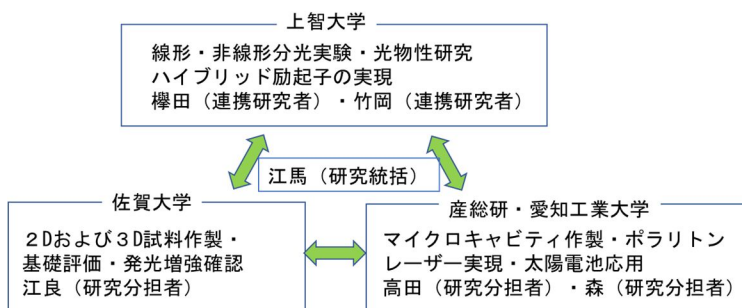


図3 研究者間の相互関係

それぞれの研究項目の具体的な研究方法については、次の「4. 研究成果」の中で説明する。

## 4. 研究成果

### A) 2D材料を用いたマイクロキャビティによる室温ポラリトンレーザーの実現

本研究では、2D材料として $(C_6H_9C_2H_4NH_3)_2PbI_4$  (略称CHEPbI4)を採用し、図4に示すようなキャビティ構造を作製した。誘電体スタックミラー(DBR)は $[TiO_2/SiO_2] \times 5$ 組(中心波長530nm)を用いた。CHEPbI4はスピンコート法、 $\alpha$ -NPD及びAlは真空蒸着法で成膜した。2D材料は分担者の江良から提供され、キャビティ構造は分担者の高田が作製し、代表者の江馬らとともに、ポラリトン特性の評価を行った。

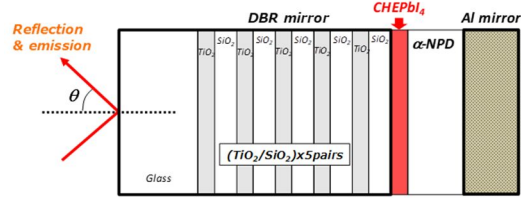


図4 用いたキャビティ構造

ポラリトン特性を観測するために、反射スペクトル・PLスペクトル・過渡PL(蛍光寿命)の角度依存性を計測した。反射スペクトル測定にはXeランプ、PLスペクトル及び過渡PLの励起光源としてCW半導体レーザー(450nm)及び半導体パルスレーザー(405nm)を用いた。全ての実験は室温で行った。

図5に得られたポラリトン特性の測定結果を示す。非交差のUP・LPモードが観測され、励起子ポラリトンの形成が確認できた。ラビ分裂エネルギー( )は160meVにも達し、室温で安定な励起子ポラリトンの実現

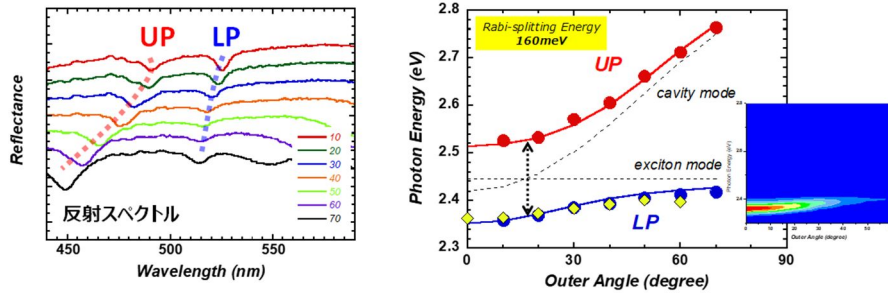


図5 励起子ポラリトン形成を示す反射スペクトル(左図)、及びE- $\theta$ 分散曲線 [ラビ分裂エネルギー: 160meV, ○: 共鳴反射、◇: PL](右図)

に成功した。また、450nm CWレーザーを用いて異なる励起光強度における発光強度のk空間分布を観測した。図6に示すように、低励起域では、 $k=0$ ( $\theta=0^\circ$ )の発光強度は線形的に増加したが、235mW近傍では発光強度の非線形増大が確認され、BEC凝縮の兆候を捉えることに成功した。さらに、図7に示すように、励起密度とともに $k=0$ の発光エネルギーの非線形シフトが観測され、励起子多体効果の存在も明らかになった。

本研究では、ポラリトンレーザー発振までは至らなかったが、160 meVにも及ぶ巨大な真空ラビ分裂エネルギーの確認とともに、BECの兆候、非線形効果などが観測され、室温でのポラリトンレーザーの達成に大きく近づく結果が得られた。

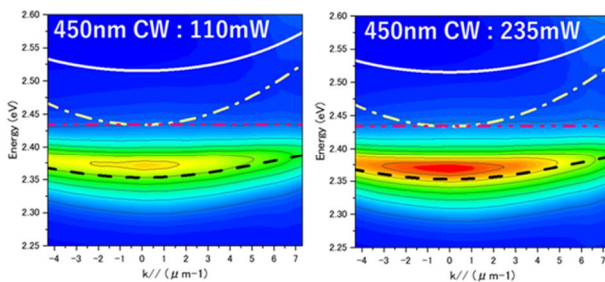


図6 発光強度のk空間分布: BEC形成の兆候

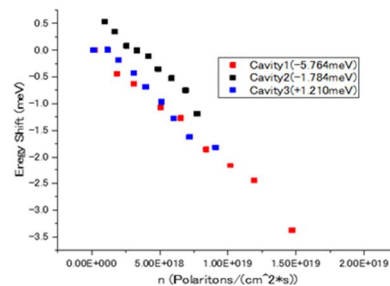


図7 発光エネルギーの励起密度によるシフト

### B) 2D・3D材料の励起子物性

2D材料の励起子物性はすでに多くの研究があるが、励起子微細構造やそのダイナミクスについては、まだ未解明な部分もある。本研究では、2D材料に関して励起子の微細構造を詳細に調べた。図8は $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ の発光スペクトルである。励起子微細構造( $\Gamma_5, \Gamma_2, \Gamma_1$ )が明瞭に観測され、さらに励起強度を上げると低エネルギー側に励起子分子発光(M発光)が立ち上がっていくのが見られた。また、分担者の江良は、ヨウ素系2D材料 Cyclohexenyethyl ammonium iodide (CHEI)を用いて、励起子発光の偏光依存性を測定し、図9のように、微細構造の対称性を確認するこ

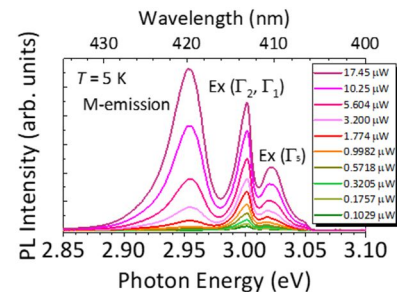


図8  $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ の発光スペクトルの励起強度依存性

とで、我々の解釈の正しさを証明した。

2D 材料の励起子物性が良く研究されていることと対照的に、3D 材料の励起子物性は、まだ殆ど明らかにされていない。特に、室温においても光励起キャリアが励起子を形成しているか、強いスピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れによって生じる、ラシュバ効果が存在するかなどは、近年議論の的となっている。それどころか、最も基本的な励起子物性である励起子束縛エネルギーについても、幅広い報告があり、確定的な値が得られていない状況であった。

本研究では、非線形発光である励起子・励起子散乱 (P 発光) を測定することにより、直接的に励起子束縛エネルギーを評価することに成功した。また、反射スペクトル、発光スペクトル等を詳細に解析することにより、様々な励起子パラメータの決定に成功した。

図 10 は、3D 材料の  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  の低温における発光のストリーク像の一例である。励起密度を大きくしていくと、時刻 0 付近に P 発光が現れる。この P 発光位置と励起子発光のエネルギー差から直接励起子束縛エネルギーを見積もることができる。その結果、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  は約 25 meV、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  は 10 ~ 15 meV の励起子束縛エネルギーを持つことが判明した。さらに、ローレンツモデルを用いた詳細な解析により、表 1 に示すような励起子パラメータの決定に成功した。

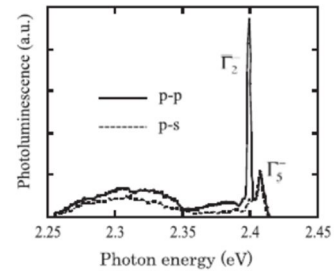


図 9 CHEI の発光スペクトルの偏光依存性

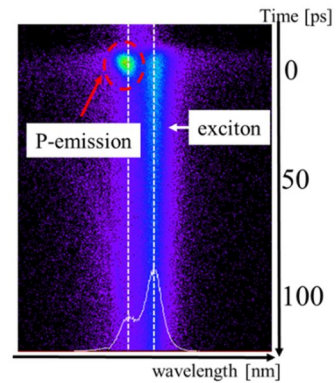


図 10  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  の発光ストリーク像の例

	Binding Energy (meV)	Oscillator Strength	Bohr Radius $a_B$ (nm)	Reduced Mass $\mu$
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$	10 ~ 15	0.003	3.4	$0.21m_0$
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$	~ 25	0.012	2.5	$0.23m_0$

表 1  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  と  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  の励起子パラメータ

### C) 2D・3D 材料を利用した太陽電池応用

3D 材料を利用した太陽電池応用に関しては、分担者の森が高品質な膜の作製に成功した。具体的には、ペロブスカイト薄膜作製時にエアフローを行うことにより、ピンホールの少ない良質な薄膜を作製することができた。ただし、ピンホールがなくなることにより、膜自体の性能は向上するが、結晶サイズが小さくなるので変換効率の高いセルは作製できない。これを改善するために、後処理として、薄膜形成後に良溶媒の飽和蒸気雰囲気中に放置して結晶成長を促す「ソルベントアニール法」を利用した。エアフロー処理とこの後処理を利用することにより、ペロブスカイト膜の結晶とグレインサイズの大型化に成功し、変換効率も 18% までに向上した。

ペロブスカイト膜の作製方法には、すべての原料を溶解した溶液から一気にペロブスカイト膜を形成する 1 ステップ法と前駆体を形成の後ペロブスカイト化を行う 2 ステップ法がある。本来前者は結晶核の成長が一斉に生じるので、大きな結晶は成長しづらいので、性能が低下する可能性がある。しかしながら、高変換効率を報告しているペロブスカイト太陽電池は 1 ステップ法のものが多く、2 ステップ法は少ない。これは上記の後処理が重要な役割を果たしている。2 ステップ法では前駆体を一方向から順次ペロブスカイト化するので、適切に制御することにより良質なペロブスカイト膜を作製できる可能性がある。ここでは  $\text{PbI}_2$  を形成し、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$  (MAI) によりペロブスカイト化した  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  の評価を行った。ペロブスカイト膜の膜質は  $\text{PbI}_2$  の膜質に大きく影響される。膜厚を変化させて MAI からのペロブスカイト化を検討したが、MAI の  $\text{PbI}_2$  中への拡散は単調な拡散現象では説明できないことがわかった。ペロブスカイト化した界面での MAI の拡散が抑制されていることが原因である。このような知見が得られたことは、今後の一層の高品質化に大きく貢献すると期待できる。

2D 材料の太陽電池応用に関してもいくつかの成果が得られた。2D 材料の井戸層は通常は基板に対して平行に成長するが、その構造では、電荷の取り出し効率が悪く、太陽電池応用には向かない。本研究では、基板に対して井戸層が垂直配向するための作製方法についていくつかの取り組みを行った。完全な垂直配向には到達していないが、ランダム配向するところまで達成できた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15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 Mori Tatsuo, Aoyama Satoru, Seike Yoshiyuki	4. 巻 32
2. 論文標題 Electrical Conduction and Luminescence for Inverted-Type Organic Light-Emitting Diodes with Polyethyleneimine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 571 ~ 576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2494/photopolymer.32.571">https://doi.org/10.2494/photopolymer.32.571</a>	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 Li Xiaowei, Liu Yanling, Eze Vincent Obiozo, Mori Tatsuo, Huang Zhongbing, Homewood Kevin P., Gao Yun, Lei Binglong	4. 巻 196
2. 論文標題 Amorphous nanoporous WOx modification for stability enhancement and hysteresis reduction in TiO2-based perovskite solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 157 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.03.040">https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.03.040</a>	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 Era Masanao, Ema Kazuhiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Optical properties of lead iodide-based layered perovskite quantum well with cyclohexenylethyl ammonium cations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFC01 ~ SFFC01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.7567/1347-4065/ab09cd	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 T. Mori, Y. Kobayashi, H. Akenaga, Y. Seike, K. Miyachi, T. Nishikawa	4. 巻 31
2. 論文標題 Development of Environmentally Controlled Desktop Spray Coater and Optimization of Deposition Conditions for Organic Thin-Film Photovoltaic Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 335-341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2494/photopolymer.31.335">https://doi.org/10.2494/photopolymer.31.335</a>	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 Singh Trilok, Udagawa Yosuke, Ikegami Masashi, Kunugita Hideyuki, Ema Kazuhiro, Miyasaka Tsutomu	4. 巻 5
2. 論文標題 Tuning of perovskite solar cell performance via low-temperature brookite scaffolds surface modifications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 APL MATERIALS	6. 最初と最後の頁 016103 ~ 016103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4973892	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 Hamaguchi R., Yoshizawa-Fujita M., Miyasaka T., Kunugita H., Ema K., Takeoka Y., Rikukawa M.	4. 巻 53
2. 論文標題 Formamidine and cesium-based quasi-two-dimensional perovskites as photovoltaic absorbers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Comm	6. 最初と最後の頁 4366 ~ 4369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cc00921f	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 Chaudhary Bhumika, Kulkarni Ashish, Jena Ajay Kumar, Ikegami Masashi, Udagawa Yosuke, Kunugita Hideyuki, Ema Kazuhiro, Miyasaka Tsutomu	4. 巻 10
2. 論文標題 Poly(4-Vinylpyridine)-Based Interfacial Passivation to Enhance Voltage and Moisture Stability of Lead Halide Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 2473 ~ 2479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201700271	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 Numata Youhei, Kogo Atsushi, Udagawa Yosuke, Kunugita Hideyuki, Ema Kazuhiro, Sanehira Yoshitaka, Miyasaka Tsutomu	4. 巻 9
2. 論文標題 Controlled Crystal Grain Growth in Mixed Cation Halide Perovskite by Evaporated Solvent Vapor Recycling Method for High Efficiency Solar Cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 18739 ~ 18747
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.7b02924	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 Era Masanao, Shironita Yu, Soda Koichi	4. 巻 57
2. 論文標題 Lead bromide-based layered perovskite Langmuir-Blodgett films having $\pi$ -conjugated molecules as organic layer prepared by using squeezed out technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03EG07 ~ 03EG07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.03EG07">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.03EG07</a>	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 Eze Vincent Obiozo, Seike Yoshiyuki, Mori Tatsuo	4. 巻 46
2. 論文標題 Efficient planar perovskite solar cells using solution-processed amorphous WO <sub>3</sub> /fullerene C <sub>60</sub> as electron extraction layers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 253 ~ 262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.orgel.2017.04.024">https://doi.org/10.1016/j.orgel.2017.04.024</a>	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 Hideyuki Kunugita, Yuki Kiyota, Yosuke Udagawa, Yuko Takeoka, Yuiga Nakamura, Junro Sano, Tomonori Matsushita, Takashi Kondo, and Kazuhiro Ema	4. 巻 55
2. 論文標題 Exciton-exciton scattering in perovskite CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> single crystal	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys	6. 最初と最後の頁 060304-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://doi.org/10.7567/JJAP.55.060304">http://doi.org/10.7567/JJAP.55.060304</a>	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 Ryuki Hamaguchi, Masahiro Yoshizawa-Fujita, Tsutomu Miyasaka, Hideyuki Kunugita, Kazuhiro Ema, and Masahiro Rikukawa	4. 巻 53
2. 論文標題 Formamidine and cesium-based quasi-two-dimensional perovskites as photovoltaic absorbers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Comm.	6. 最初と最後の頁 4366-4369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/c7cc00921f	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 Masanao Era, Yumeko Komatsu, and Naotaka Sakamoto	4. 巻 16
2. 論文標題 Enhancement of exaction emission in lead-halide based layered perovskite organic-inorganic superlattice films by cation mixing	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Nanosci. and Nanotech.	6. 最初と最後の頁 3338-3342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12295">https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12295</a>	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 Masanao Era, Takeshi Yasuda, Kento Mori, Norio Tomotsu, Naoki Kawano, Masanori Koshimizu, and Keisuke Asai	4. 巻 16
2. 論文標題 PbBr-Based Layered Perovskite Organic and Inorganic Superlattice Having Carbazole Chromophore; Hole-Mobility and Quantum Mechanical Calculation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Nanosci. and Nanotech.	6. 最初と最後の頁 3159-3162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12320">https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12320</a>	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 Yushi Oishi, Masahiko SHinoda, Tkayuki Narita, Koichi Sakaguchi, and Masanao Era	4. 巻 45
2. 論文標題 Color-tunable Langmuir Film with Layered Perovskite Structure by Controlling the Composition Ratio of Halogen Species	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1418-1420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1246/cl.160833">http://dx.doi.org/10.1246/cl.160833</a>	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38件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 下迫 直樹、長坂 鴻輝、室賀 惟、出原 勇磨、竹岡 裕子、櫻田 英之、江馬 一弘
2. 発表標題 有機無機2Dペロブスカイトナノ粒子薄膜のPLスペクトルの温度依存性
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 室賀 唯、下迫 直樹、出原 勇磨、中村 唯我、松下 智紀、近藤 高志、樺田 英之、江馬 一弘
2. 発表標題 臭化鉛ペロブスカイトにおける励起子-励起子散乱発光の観測
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 長坂 鴻輝、藤田 正博、下迫 直樹、樺田 英之、江馬 一弘、竹岡 裕子、陸川 政弘
2. 発表標題 LARP法を用いた2Dペロブスカイトナノ粒子の作製
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 出原 勇磨、下迫 直樹、室賀 唯、樺田 英之、江馬 一弘
2. 発表標題 二次元臭化鉛ペロブスカイトにおける励起相關発光測定
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 高田 徳幸
2. 発表標題 無機有機層状ペロブスカイト光マイクロキャピティにおける強結合・弱結合状態
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

1. 発表者名 高田 徳幸
2. 発表標題 共振器光子と強結合・弱結合する励起子の光学特性
3. 学会等名 電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会 (OME) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mori
2. 発表標題 Properties of Perovskite Solar Cells Using Low-Temperature Fabricated Amorphous Tungsten Oxide Layer
3. 学会等名 2019 International Symposium on Novel and Sustainable Technology (2019ISNST) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kondo, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 Formation Process of Organic Perovskite Active Layer Usinf 2-Step Method
3. 学会等名 2nd International Workshop on Green Energy System and Devices (IWGESD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mori
2. 発表標題 Advanced Fabrication of Organic Perovskite Solar Cells in AIT
3. 学会等名 2nd International Workshop on Green Energy System and Devices (IWGESD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Hayashi, T. Mori, Y. Seike
2 . 発表標題 Inkjet Deposition Technology of Hole Transport Layer in Inverted Structure Type Perovskite Solar Cell
3 . 学会等名 The 11th Asian Conference on Organic Electronics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Mori, Y. Kondo, Y. Seike
2 . 発表標題 Crystallization Process of Perovskite from PbI2 on 2-Step Solution Fabrication for Organic Perovskite Solar Cells
3 . 学会等名 The 11th Asian Conference on Organic Electronics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kondo, Y. Seike, T. Mori
2 . 発表標題 Conversion Process to Perovskite from PbI2 Fabricated by 2-Step Method in Organic Perovskite Active Layer
3 . 学会等名 The 11th Asian Conference on Organic Electronics, Ming Chi University of Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Mori, E. O. Eze, Y. Seike
2 . 発表標題 Fabrication of Tungsten Oxide Electron Extraction Layer by Low-Temperature Process for Organic Perovskite Solar Cells
3 . 学会等名 The 10th International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mori, S. Aoyama, Y. Seike
2. 発表標題 Correlation between Roll-Off Phenomena and Carrier Injections for OLEDs
3. 学会等名 The 26th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays-TFT Technologies and FPD Materials- (AM-FPD'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mori
2. 発表標題 Carrier Injections and EL Efficiency for Organic Light-Emitting Diodes Using Fluorinated Self-Assembled Monolayer Hole Injection Layer
3. 学会等名 The 10th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Aoyama, Y. Kondo, K. Narita, M. Ito, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 Preparation of CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> Perovskite LEDs and Addition Effect of Lead Acetate
3. 学会等名 The 10th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mori, S. Aoyama, Y. Seike
2. 発表標題 Electrical Conduction and Luminescence for Inverted-Type Organic Light-Emitting Diodes with Polyethyleneimine
3. 学会等名 The 36th Int'l Conf. on Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田徳幸・山本和弥・櫻田 英之・江馬一弘
2. 発表標題 無機有機層状ペロブスカイト光共振器における強結合・弱結合状態
3. 学会等名 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会 (OME)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masanao Era and Kazuhiro Ema
2. 発表標題 Optical properties of lead-iodide based layered perovskite self-organized quantum well
3. 学会等名 The 19th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence & 2018 International Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting (EL2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanao Era
2. 発表標題 Enhancement of photoluminescence in lead bromide-based perovskite by mixing tin bromide
3. 学会等名 The 19th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence & 2018 International Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting (EL2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江良正直
2. 発表標題 Srカチオン置換によるPbBr系ペロブスカイト薄膜での発光増強効果
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江良正直
2. 発表標題 ナフタレン発色団を有機層に導入した臭化鉛系層状ペロブスカイト有機無機量子井戸における燐光発光に対する錫カチオン混合効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江良正直
2. 発表標題 高い発色団を有機層に導入したハロゲン化鉛系有機無機層状ペロブスカイト
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mori, V. O. Eze, B. Lei
2. 発表標題 Fabrication of Organic Perovskite Solar Cells by Air-Flowing and 2-step Method and Its Electrical Conduction
3. 学会等名 12th Int'l Conference on the Properties and Application of Dielectric Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 V. O. Eze, H. Okada, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 Enhancing the performance of perovskite solar cells using additive and solvent vapor annealing treatments
3. 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kondo, M. Kawai, V. O. Eze, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 Fabrication Using 2-step and Air-Flowing Process for Organic Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanao Era and Kazuhiro Ema
2. 発表標題 Optical and electroluminescent properties of lead iodide-based layered perovskite self-organized quantum well
3. 学会等名 International Conference on Perovskite Thin Film Photovoltaics, Photonics and Optoelectronics (ABXPV & PEROPTO), Rennes, France (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuya Yamamoto, Noriyuki Takada, Masanao Era, Hideyuki Kunugita, and Kazuhiro Ema
2. 発表標題 Optical properties of cavity polaritons in microcavities containing organic-inorganic two-dimensional perovskite materials
3. 学会等名 International Conference on Perovskite Thin Film Photovoltaics, Photonics and Optoelectronics (ABXPV & PEROPTO), Rennes, France (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matthew Schulz, Yosuke Udagawa, Yuiga Nakamura, Kohei Kimura, Chinami Yura, Kazuya Yamamoto, Tomonori Matsushita, Takashi Kondo, Hideyuki Kunugita, and Kazuhiro Ema
2. 発表標題 Exciton Structure of Perovskite Single Crystals (CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> and CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> )
3. 学会等名 International Conference on Perovskite Thin Film Photovoltaics, Photonics and Optoelectronics (ABXPV & PEROPTO), Rennes, France (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanao Era
2. 発表標題 Lead halide-based perovskites as photonic material
3. 学会等名 2017 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (Taipei, December 22nd, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masanao Era
2. 発表標題 Lead halide-based layered perovskite films applicable to cavity polariton devices
3. 学会等名 The 6th Global Conference on Materials Science and Engineering (Beijing China, December 25th, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masanao Era, Kazuhiro Ema, Yasunori Yamada, Kento Mori, and Norio Tomotsu
2. 発表標題 Optical and electric properties of lead iodide-based layered perovskite with self-organized quantum-well structure
3. 学会等名 SPIE Organic Photonics and Electronics (San Diego USA, August 5th, 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 V. O. Eze, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 High-performance Planar Perovskite Solar Cells with WO <sub>x</sub> /C60 Electron Transport Layer
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on Organic Electronics(A-COE2017), KAIST, Daejeon, Korea, Oct. 25-27 (2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 H. Okada, Y. Kondo, M. Hoshino, V. O. Eze, Y. Seike, T. Mori
2. 発表標題 LowTemperature Fabriccvation of Inverted Organic Perovskite Solar Cells Using Air-Assisted Flow
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on Organic Electronics(A-COE2017), KAIST, Daejeon, Korea, Oct. 25-27 (2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 和弥, 高田 徳幸, 江良 正直, 櫻田 英之, 江馬 一弘
2. 発表標題 無機有機複合型ペロブスカイト物質を用いた共振器ポラリトンの光物性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 2018年3月17 - 20日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yosuke Udagawa, Yuki Kiyota, Hideyuki Kunugita, Yuko Takeoka, Yuiga Nakamura, Junro Sano, Tomonori Matsushita, Takashi, Kondo, and Kazuhiro Ema
2. 発表標題 Estimation of the exciton binding energy in CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> Single Crystal
3. 学会等名 XXV International Materials Research Congress (IMRC) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宇田川洋祐, 清田祐貴, 中村唯我, 佐野惇郎, 松下智紀, 櫻田英之, 竹岡裕子, 近藤高志, 江馬一弘
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト物質CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> の励起子物性
3. 学会等名 第77回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 江良正直
2. 発表標題 Squeezed Out法により有機層に機能性発色団を導入した有機-無機層状ペロブスカイト薄膜の作製
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017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	江良 正直 (Era Masanao) (30191927)	佐賀大学・理工学部・准教授  (17201)	
研究分担者	森 竜雄 (Mori Tatsuo) (40230073)	愛知工業大学・工学部・教授  (33903)	
研究分担者	高田 徳幸 (Takada Noriyuki) (70357359)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・電子光基礎技術研究 部門領域・研究グループ長  (82626)	
連携研究者	榎田 英之 (Kunugita Hideyuki) (50296886)	上智大学・理工学部・准教授  (32621)	