

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14580

研究課題名(和文)ペロブスカイト結晶-ナノ共振器を用いた低閾値かつ狭帯域ナノレーザーの開発

研究課題名(英文)Development of low-threshold and narrow-band nanolaser of perovskite crystal and nanocavity

研究代表者

岡本 拓也 (Okamoto, Takuya)

北海道大学・電子科学研究所・助教

研究者番号：40888608

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)：狭帯域かつ低閾値のモード選択可能なナノレーザーを実現するためにペロブスカイト結晶の蛍光機能向上、および金薄膜/酸化チタン薄膜からなるナノ共振器と半導体量子ドットとの相互作用について検討した。マイクロ結晶ではハロゲンアニオン欠陥の回復速度が結晶形状に依存することを明らかにし、結晶のサイズや、形状、そして蛍光特性を最適化した。ナノ結晶では機械的刺激に対して安定な超結晶を形成し、非ジェミネート性の非放射再結合を抑制できることを見出した。さらに、ナノ共振器上の量子ドットは共振器へのエネルギー移動によって消光されるが、共振器に金ナノ粒子を導入することで高効率にエネルギー移動できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハロゲン化鉛ペロブスカイトはレーザーに限らず太陽電池やLED、センサーなど様々な光電子デバイスへの応用が期待されており、本研究成果であるペロブスカイト結晶の非放射再結合の要因となるアニオン欠陥の回復や、超結晶化による非ジェミネート再結合の抑制などはペロブスカイトの蛍光機能向上に貢献するものである。一方、ナノ共振器においては当初の予想に反して利得媒質の蛍光を消光する結果となったが、この消光は量子ドットからナノ共振器へのエネルギー移動によるものであり、本研究で見出したナノ共振器への金ナノ粒子導入によるエネルギー移動の高効率化は、エネルギー移動を利用した共振器内光増幅につながる重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：We improved the photoluminescence properties of lead halide perovskite crystals and investigated the interaction between semiconductor quantum dots and a nanocavity consisting of gold and titanium oxide thin films for realizing a narrow-band, low-threshold, and optical mode-tunable nanolaser. We reported that the kinetics of halide vacancy filling in perovskite microcrystals depend on the crystal shape. We also optimized the size, shape, and photoluminescence properties of perovskite microcrystals. We prepared mechanically stable perovskite supercrystals overcoming the delayed non-geminate exciton or carrier non-radiative recombination. We found that the photoluminescence of quantum dots on the nanocavity is quenched by the energy transfer from the quantum dots to the cavity and the coupling between the optical mode of the nanocavity and the plasmon resonance of gold nanoparticles enhances an energy transfer between QDs and the nanocavity.

研究分野：物理化学

キーワード：ペロブスカイト 共振器 エネルギー移動 蛍光 レーザー 量子ドット

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光をナノメートルサイズの極微小領域に強く閉じ込めることのできるナノレーザーは量子情報処理や高感度な光検出器などへの応用が期待されている。ナノレーザーは主に量子ドットとナノ共振器で構成されている。ナノ共振器は、ファブリ・ペロー共振器や、微小球によるウィスパーリング・ギャラリーモード、そしてフォトリソニック結晶などが提案されており、サブ nm 程度の狭いスペクトル幅やレーザー発振の低閾値化などが、それぞれ報告されている。一方、高い蛍光量子収率を示すペロブスカイト結晶がナノレーザーの利得媒質として注目されている。ペロブスカイト結晶はハロゲン組成によって蛍光波長を制御できる。また、結晶自身が共振器となって自然放射増幅光を発振できる。しかし、自然放射増幅光ではハロゲン組成によって蛍光波長を制御できても、コヒーレンス性が低いためスペクトル幅を狭くすることは困難である。また、外部共振器を利用したペロブスカイトナノレーザーではスペクトル幅をサブ nm オーダーまで狭くできるが、発振モードの制御は困難である。高い蛍光量子収率を示すペロブスカイト結晶を用いた狭帯域、低閾値でかつ発振モードを選択可能なナノレーザーの実現は、ナノレーザーの1つの完成されたモデルとして示すことができるだけでなく、ファブリ・ペローナノ共振器の本来の目的である強結合性積層ナノ電極を利用した人工光合成系の高効率化や、光共振器における振動強結合を利用した有機分子の反応活性制御などの新規光化学反応につながる。

### 2. 研究の目的

ペロブスカイト結晶とファブリ・ペロー型のナノ共振器を組み合わせることで、狭帯域かつ低閾値のモード選択可能なナノレーザーの実現を目的とし、利得媒質であるペロブスカイト結晶のハロゲンアニオン欠陥やハロゲン組成、そして励起子挙動を制御する手法を確立する。また、ハロゲン化鉛ペロブスカイトまたは市販の半導体量子ドットと、ナノ共振器および共振器を構成する各薄膜試料とのエネルギー移動や電子移動などの相互作用について明らかにする。

### 3. 研究の方法

利得媒質であるハロゲン化鉛ペロブスカイト結晶について、まずメチルアンモニウム臭化鉛ペロブスカイトマイクロ結晶を室温結晶化法もしくは逆温度結晶化法によって合成した。マイクロ結晶の蛍光スペクトルおよび寿命について検討するためピコ秒レーザーと分光器、そして時間相関単一光子計数装置を用いた。結晶のハロゲンアニオン欠陥を回復させるため、シリコンゴムとカバーガラスからなる簡易チャンバー内にマイクロ結晶を配置し、臭化メチルアンモニウム溶液を加えたのち光照射を行った。光の照射時間と蛍光寿命、そして走査型電子顕微鏡観察によって得られた結晶の比表面積との関係について明らかにした。<sup>1</sup> また、結晶形成において前駆体溶液の溶媒蒸発を抑制するためシクロヘキシル-2-ピロリドンを追加し、添加剤濃度および反応温度によってマイクロ結晶の核形成および結晶成長速度の制御について検討した。<sup>2</sup>

次にレーザー発振の利得媒質として注目されているペロブスカイトナノ結晶を集合させた超結晶化を得るためセシウム臭化鉛ペロブスカイトナノ結晶をホットインジェクション法によって合成し、両端に COOH 基を有するリガンドを用いてリガンド交換反応を行った。得られた超結晶について電子顕微鏡観察や小角 X 線散乱測定、そして時間分解蛍光測定を行い、分散したナノ結晶、ナノ結晶薄膜、そして超結晶の構造と光物性についてそれぞれ検討した。<sup>3</sup>

さらに、金薄膜ミラーと酸化チタンの全反射層からなるファブリ・ペロー型のナノ共振器を作製した。石英基板上に金をスパッタリングによって成膜し、接着層としてチタンをスパッタリングした。さらに原子層堆積法によって酸化チタン層を成膜した。半導体量子ドットコロイド溶液をナノ共振器上に滴下し、フェムト秒レーザーおよびストリークカメラ、または単一光子計測分光装置を用いて量子ドットの蛍光寿命や蛍光スペクトルについて検討した。<sup>4</sup>

### 4. 研究成果

ペロブスカイトの利得媒質としての機能向上に向けたマイクロ結晶の欠陥回復や結晶成長制御、そしてナノ結晶の超結晶化、およびペロブスカイトやカルコゲナイドなどの半導体量子ドットとナノ共振器との相互作用について検討し、主に次の(1-4)の成果を得た。<sup>1-4</sup>

#### (1) ペロブスカイト結晶の欠陥回復法の検討と結晶形状依存性の解明

ロッド、プレート、そして直方体形状のペロブスカイトマイクロ結晶へのハロゲンアニオンの添加および光照射を行い、ハロゲンアニオン欠陥回復速度と結晶形状との相関について明らかにした(図1)。まず、室温結晶化法によってロッド状およびプレート状結晶を、逆温度結晶化法により直方体状結晶をそれぞれ合成し、ハロゲンアニオン溶液中にて光照射を行った。光照射時間に対する結晶の蛍光寿命変化について検討し、結晶のハロゲンアニオン欠陥回復速度と蛍光寿命の増加量は結晶のアスペクト比ではなく、比表面積の大きさに依存するというところを見出した。この研究に基づいた論文は Wiley-VCH の Advanced Optical Materials に掲載された。<sup>1</sup>

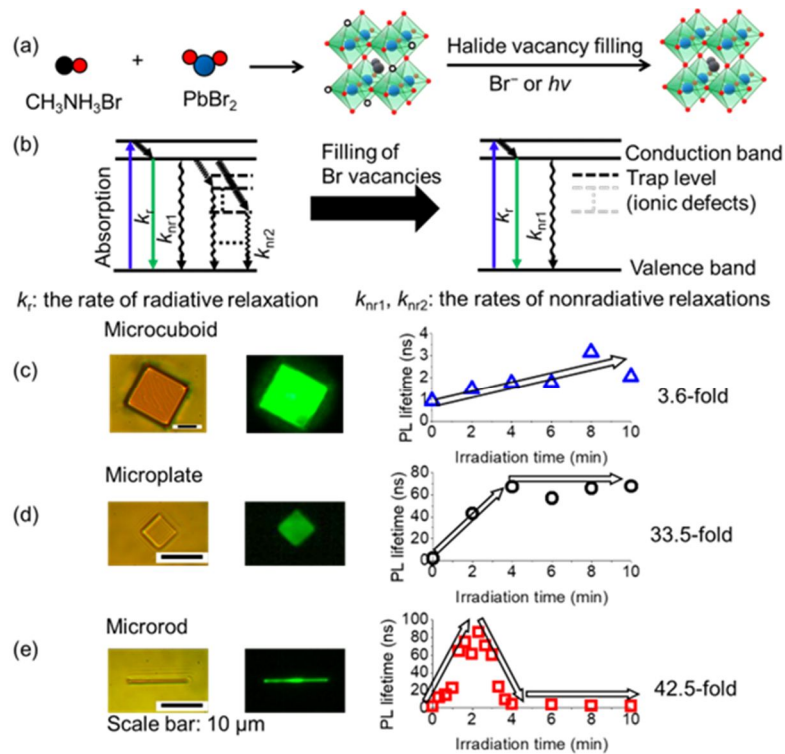


図1 (a) ペロブスカイト結晶の形成とハロゲン化物の添加および照射によるハロゲンアニオン欠陥回復の模式図、(b) ハロゲンアニオン欠陥回復前後の光放出過程の模式図、(c-e) (c)直方体、(d)プレート状、そして(e)ロッド状のペロブスカイト結晶の光学顕微鏡像と蛍光顕微鏡像、そして照射時間に対する蛍光寿命の変化のプロット。<sup>1</sup>

## (2) ペロブスカイトマイクロ結晶の結晶成長制御と蛍光機能の向上

マイクロ結晶をデバイスに組み込むには、サイズおよび形状が均一なペロブスカイトマイクロ結晶を得る必要がある。そのため結晶形成時の添加剤であるシクロヘキシル-2-ピロリドン(CHP)の濃度および反応温度と、形成したペロブスカイトマイクロ結晶のサイズや形状、そして蛍光特性との相関について検討した。キューブ状のマイクロ結晶のサイズ制御と長い蛍光寿命(欠陥密度が小さい)を両立するには、180-200度程度の高い反応温度と20%の添加剤濃度が最適であることを見出した(図2)。この研究に基づいた論文は Wiley-VCH の Small に掲載された。<sup>2</sup>

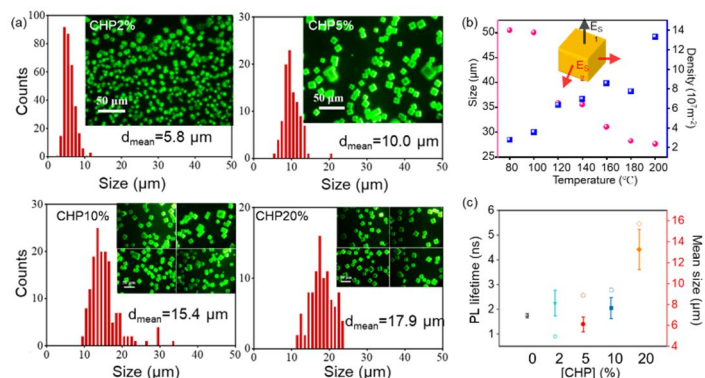


図2 (a)各添加剤濃度におけるペロブスカイトマイクロ結晶の蛍光顕微鏡像およびサイズ分布、(b) 反応温度に対する結晶の平均サイズと結晶密度のプロット、(c) 添加剤の濃度と結晶の蛍光寿命および平均サイズのプロット。<sup>2</sup>

## (3) ペロブスカイトナノ結晶の超結晶化による非ジェミネート性非放射再結合の抑制

ペロブスカイトナノ結晶を高秩序に集積させた超構造体(超結晶)はナノ結晶間の電子カップリングによって励起子が非局在化し、レーザー発振閾値がナノ結晶薄膜(低秩序)に比べて低くなる。しかし、従来の超結晶の形成はナノ結晶間のファンデルワールス力駆動の自己組織化によるものであり、このような超結晶に機械的刺激を加えると集積構造が崩れ、光物性が変化してしまうことを我々は見出していた。<sup>5</sup>そこで、両端にCOOH基を有するエイコサン二酸を用いたリガンド交換反応によってペロブスカイトナノ結晶の超結晶化に成功した(図3)。リガンド交換を行ったナノ結晶は、粒子同士が溶融することなく数マイクロメートルレベルの高秩序な集積構造を示した。また、形成した超結晶は分散したナノ結晶よりも長い蛍光寿命を示し、励起光強度の増加に伴う蛍光寿命の減少(非ジェミネート性非放射再結合)がナノ結晶薄膜に比べて抑制されることを明らかにした。さらに、機械的刺激の印加による光物性変化の抑制に成功した。この研究に基づいた論文は Wiley-VCH の Small に掲載された。<sup>3</sup>



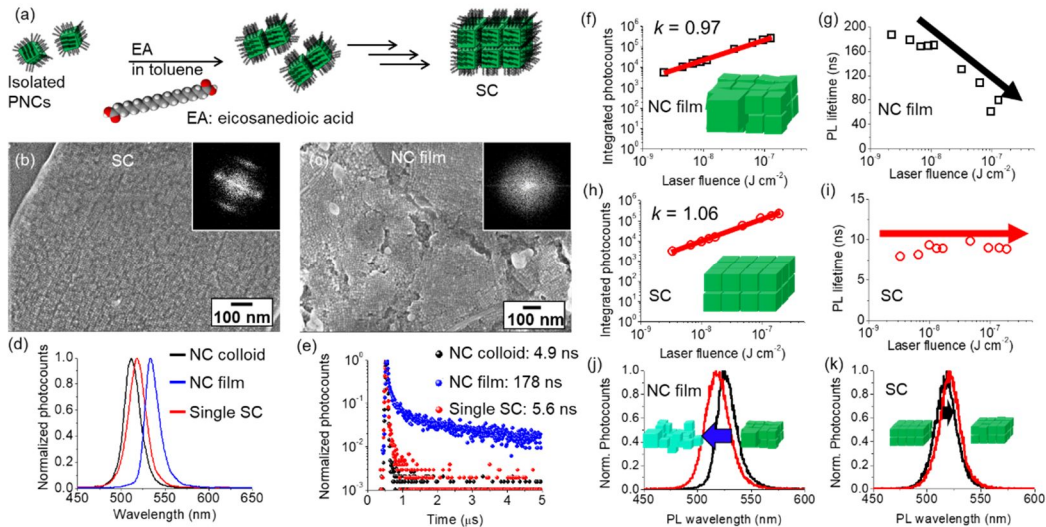


図3 (a)超結晶形成の模式図、(b-c)超結晶および(c)ナノ結晶薄膜の電子顕微鏡像とFFT像．(d, e) ナノ結晶コロイド、ナノ結晶薄膜、そして超結晶の(d)蛍光スペクトルと(e)蛍光減衰曲線．(f, g, j) ナノ結晶薄膜および(h, i, k)超結晶における(f, h)蛍光強度および(g, i)蛍光寿命の励起光強度依存性と(j, k)機械的刺激の印加前(黒)後(赤)の蛍光スペクトル．<sup>3</sup>

#### (4) 半導体量子ドット-ナノ共振器における相互作用の解明

ファブリ・ペローナノ共振器の薄膜材料および膜厚の最適化に向けて、ペロブスカイトナノ結晶および市販のCdSe/ZnS半導体量子ドットを用いて金および酸化チタン薄膜で構成されたナノ共振器と量子ドット-ナノ共振器の光学特性を評価した。しかし、当初の予想に反してどちらの量子ドットもナノ共振器上では消光され、共振器上では量子ドットの蛍光強度は減少した。そこで、ナノ共振器や金薄膜、そして酸化チタン薄膜などの共振器、薄膜試料とCdSe/ZnS半導体量子ドットとの間に酸化アルミニウム薄膜をそれぞれスペーサー層として導入し、量子ドット-薄膜またはナノ共振器間の距離による量子ドットの蛍光特性変化について検討を行った。その結果、酸化チタンへの電子移動による量子ドットの蛍光の消光はスペーサー層の導入により抑制できた。一方で、金薄膜およびナノ共振器ではスペーサー層の導入による蛍光強度および蛍光寿命の増加は見られたものの、消光されない場合の各値には至らなかった。このことから酸化チタンまたは酸化アルミニウムの薄膜と金薄膜からなるナノ共振器上の量子ドットの消光が量子ドットからナノ共振器へのエネルギー移動によるものであることを見出した。さらに、ナノ共振器表面に金ナノ粒子を配置することでより高効率にエネルギー移動が起きることを明らかにした。この研究に基づいた論文はアメリカ化学会のJ. Phys. Chem. Cに掲載された。<sup>4</sup>

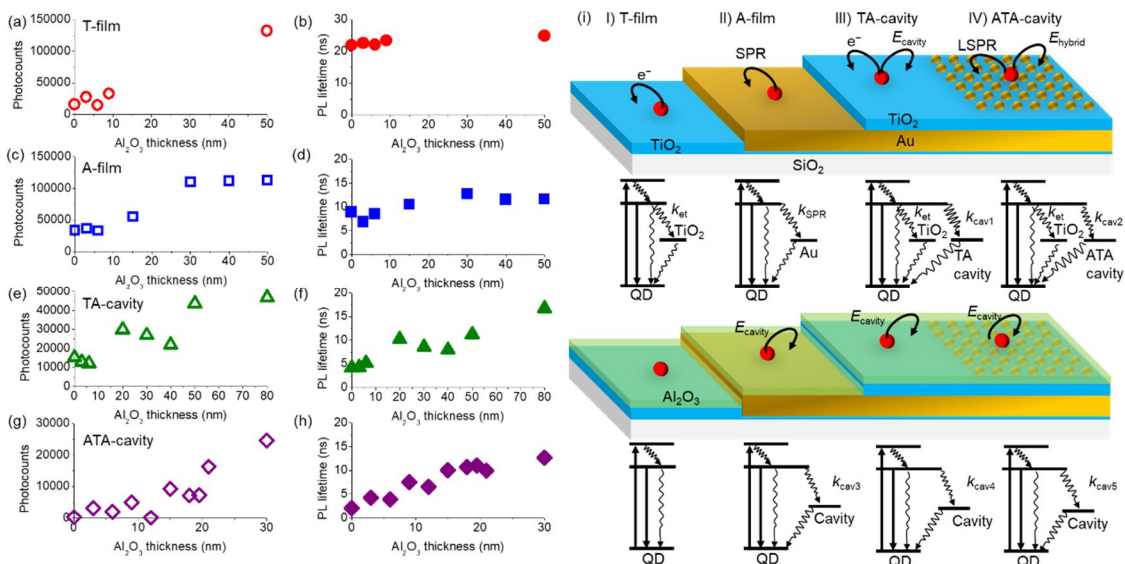


図4 (a)酸化チタン薄膜、(b)金薄膜、(c)ナノ共振器、(d)金ナノ粒子-ナノ共振器上に配置したCdSe/ZnS半導体量子ドットの(a, c, e, g)蛍光強度および(b, d, f, h)蛍光寿命における酸化アルミニウムスペーサー層の膜厚依存性．(i)各薄膜および共振器試料における量子ドットの蛍光過程の模式図．<sup>4</sup>

以上の研究について、まず結晶の非放射再結合を引き起こすハロゲンアニオン欠陥の回復や超結晶化による非ジェミネート再結合の抑制などは、利得媒質となるペロブスカイト結晶の蛍光機能向上に貢献するものである。一方、ナノ共振器においては当初の予想に反して利得媒質の発光を消光する結果となったものの、量子ドットの蛍光の消光が利得媒質からナノ共振器へのエネルギー移動によるものであることを明らかにした。さらに、本研究で見出した共振器への金ナノ粒子のプラズモンの導入による利得媒質からナノ共振器内への高効率なエネルギー移動は、エネルギー移動を利用した共振器内光増幅につながる重要な成果である。

<引用文献>

- 1) **T. Okamoto**, Md. Shahjahan, V. Biju, “Shape-Dependent Kinetics of Halide Vacancy Filling in Organolead Halide Perovskites”, *Adv. Optical Mater.* **2021**, 9, 2100355.
- 2) D. Zhang, **T. Okamoto**, V. Biju, “Thermodynamically and Kinetically Controlled Nucleation and Growth of Halide Perovskite Single Crystals”, *Small* **2023**, 19, 2304900.
- 3) **T. Okamoto**, V. Biju, “Slipping-Free Halide Perovskite Supercrystals from Supramolecularly-Assembled Nanocrystals”, *Small* **2023**, 19, 2303496.
- 4) **T. Okamoto**, A. Onishi, X. Shi, T. Oshikiri, K. Ueno, H. Misawa, V. Biju, “Distance-Dependent Energy Transfer under Modal Strong Coupling from CdSe/ZnS Quantum Dots to a Plasmonic Fabry-Pérot Cavity”, *J. Phys. Chem. C* **2024**, 128, 4208-4214.
- 5) Z. Zhang, S. Ghimire, **T. Okamoto**, B. M. Sachith, J. Sobhanan, C. Subrahmanyam, and V. Biju, “Mechano-optical Modulation of Excitons and Carrier Recombination in Self-Assembled Halide Perovskite Quantum Dots”, *ACS Nano* **2022**, 16, 1, 160-168.

## 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 8件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sachith Bhagyashree Mahesha, Zhang Zhijing, Subramanyam Palyam, Subrahmanyam Challapalli, Furube Akihiro, Tamai Naoto, Okamoto Takuya, Misawa Hiroaki, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 15
2. 論文標題 Photoinduced interfacial electron transfer from perovskite quantum dots to molecular acceptors for solar cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 7695 ~ 7702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3NR01032E	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 Okamoto Takuya, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 19
2. 論文標題 Slipping Free Halide Perovskite Supercrystals from Supramolecularly Assembled Nanocrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 303496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202303496	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 Dong, Okamoto Takuya, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 19
2. 論文標題 Thermodynamically and Kinetically Controlled Nucleation and Growth of Halide Perovskite Single Crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2304900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202304900	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 Ghimire Sushant, Khatun Most Farida, Sachith Bhagyashree M., Okamoto Takuya, Sobhanan Jeladhara, Subrahmanyam Ch, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 15
2. 論文標題 Highly Luminescent and Stable Halide Perovskite Nanocrystals by Interfacial Defect Passivation and Amphiphilic Ligand Capping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 41081 ~ 41091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.3c05868	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 Khatun Most Farida, Okamoto Takuya, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 59
2. 論文標題 Self-assembled halide perovskite quantum dots in polymer thin films showing temperature-controlled exciton recombination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 13831 ~ 13834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CC02621C	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 L. F. Iago, Valli Donato, Wang Chun Yun, Samanta Subarna, Okamoto Takuya, Huang Yi Teng, Sun Kun, Liu Yang, Chirvony Vladimir S., Patra Avijit, 他	4. 巻 34
2. 論文標題 Lead Free Halide Perovskite Materials and Optoelectronic Devices: Progress and Prospective	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2307896
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202307896	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 Dastidar Rahul Ghosh, Okamoto Takuya, Takahashi Kiyonori, Takano Yuta, Vijayakumar Chakkooth, Subrahmanyam Challapalli, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 16
2. 論文標題 Dual-color photoluminescence modulation of zero-dimensional hybrid copper halide microcrystals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 5107 ~ 5114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3NR05503E	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 Sobhanan Jeladhara, Ono Kenji, Okamoto Takuya, Sawada Makoto, Weiss Paul S., Biju Vasudevanpillai	4. 巻 15
2. 論文標題 Photosensitizer-singlet oxygen sensor conjugated silica nanoparticles for photodynamic therapy and bioimaging	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 2007 ~ 2018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3SC03877G	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 Okamoto Takuya, Onishi Azusa, Shi Xu, Oshikiri Tomoya, Ueno Kosei, Misawa Hiroaki, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 128
2. 論文標題 Distance-Dependent Energy Transfer under Modal Strong Coupling from CdSe/ZnS Quantum Dots to a Plasmonic Fabry-Perot Cavity	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4208 ~ 4214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c08503	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 Shahjahan M. D., Okamoto Takuya, Chouhan Lata, Sachith Bhagyashree Mahesha, Pradhan Narayan, Misawa Hiroaki, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 62
2. 論文標題 Halide Perovskite Single Crystals and Nanocrystal Films as Electron Donor Acceptor Heterojunctions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202215947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202215947	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 Okamoto Takuya, Shahjahan Md., Biju Vasudevanpillai	4. 巻 9
2. 論文標題 Shape Dependent Kinetics of Halide Vacancy Filling in Organolead Halide Perovskites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2100355 ~ 2100355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202100355	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 Sachith Bhagyashree Mahesha, Okamoto Takuya, Ghimire Sushant, Umeiyama Tomokazu, Takano Yuta, Imahori Hiroshi, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 12
2. 論文標題 Long-Range Interfacial Charge Carrier Trapping in Halide Perovskite-C60 and Halide Perovskite-TiO2 Donor-Acceptor Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 8644 ~ 8651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01909	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 Zhang Zhijing, Ghimire Sushant, Okamoto Takuya, Sachith Bhagyashree Mahesha, Sobhanan Jeladhara, Subrahmanyam Challapalli, Biju Vasudevanpillai	4. 巻 16
2. 論文標題 Mechano-optical Modulation of Excitons and Carrier Recombination in Self-Assembled Halide Perovskite Quantum Dots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 160 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c04944	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17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Takuya OKAMOTO, Zhang ZHIJING, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 Mechanical Modulation of Photoluminescence in Self-Assembled Lead Halide Perovskite Quantum Dots
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dong Zhang, Takuya Okamoto, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Roles of Additives and Solvent in the Formation of Homogeneous MAPbBr <sub>3</sub> Microcrystals
3. 学会等名 The 23rd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lei Duan, Takuya Okamoto, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Crystal Size-Dependent Photoluminescence of Methylammonium Lead Bromide Perovskite
3. 学会等名 The 23rd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Most Farida Khatun, Takuya Okamoto, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Controlling Excitonic Recombination in Halide Perovskite Assemblies using Polymer Microenvironment
3. 学会等名 The 23rd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本拓也, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 二座配位子により形成したハロゲン化鉛ペロブスカイト超結晶の構造と光物性
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会(2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takuya OKAMOTO, Muhammad SHAHJAHAN, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 A Microspectroscopic Evaluation of Shape-Dependent Halide Vacancy Filling Kinetics in Lead Halide Perovskites
3. 学会等名 2021年web光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sachith Bhagyashree MAHESHA1, Sushant GHIMIRE, Takuya OKAMOTO, Tomokazu UMEYAMA, Yuta TAKANO, Hiroshi IMAHORI, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 Long-Range Trapping of Photogenerated Electrons in Halide Perovskite Films
3. 学会等名 2021年web光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhijing ZHANG, Takuya OKAMOTO, Vasdevan Pillai BIJU
2. 発表標題 Mechanically Modulated Emission from Perovskite Quantum Dot Assemblies
3. 学会等名 2021年web光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 拓也, Muhammad SHAHJAHAN, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 ハロゲン化鉛ペロブスカイト結晶におけるハロゲン欠陥回復
3. 学会等名 第7回北海道大学部局横断シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya OKAMOTO, Muhammad SHAHJAHAN, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 An Evaluation of Shape-dependent Kinetics of Defect Filling in Organolead Halide Perovskites
3. 学会等名 11th Asian and Oceanian Photochemistry Conference (APC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya OKAMOTO, Muhammad SHAHJAHAN, Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 A Microspectroscopic Evaluation of Halide Vacancy Filling Kinetics in Organolead Halide Perovskite Microcrystals
3. 学会等名 the 22nd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Md Shahjahan, Takuya Okamoto, B M Sacith, Lata Chouhan, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Trapping and Accumulation of Photogenerated Charge Carriers in Bandgap Engineered Lead Halide Perovskite Heterostructures
3. 学会等名 the 22nd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhijing Zhang, Takuya Okamoto, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Tuning the Structure and Emission Color of Self-Assembled Halide Perovskite Nanocrystals by Mechanical Distortions
3. 学会等名 the 22nd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dong Zhang, Takuya Okamoto, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Homogenous size and shape MAPbBr <sub>3</sub> microcrystal preparation and optical properties investigation
3. 学会等名 the 22nd RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 拓也、Zhijing Zhang、Vasudevanpillai BIJU
2. 発表標題 機械的刺激による自己組織化ハロゲン化鉛ペロブスカイト量子ドットの発光挙動制御
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sachith Bhagyashree Mahesha, Takuya Okamoto, Ghimire Sushant, Tomokazu Umeyama, Yuta Takano, Hiroshi Imahori, Vasudevanpillai Biju
2. 発表標題 Transporting and transferring electrons across perovskite-acceptor interfaces.
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dong Zhang, Takuya Okamoto, Vasudevan Pillai Biju
2. 発表標題 Optimizing single-crystal perovskite sizes, shapes, and their roles on electroluminescence blinking
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 P Q Dを含むフィルムの発光波長を短波長側に变化させる方法、並びに、複数のP Q Dの凝集体及びその製造方法	発明者 ビジュ ヴァスデ ヴァン ピライ, 岡 本 拓也, 他5名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-052357	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

北海道大学 分子フォトンクス研究分野 ホームページ <a href="http://bijulab.main.jp/en/">http://bijulab.main.jp/en/</a>
--

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