

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：11501  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K05639  
研究課題名（和文）ペロブスカイト量子ドットの架橋型高次構造による励起状態制御とLEDの高性能化  
  
研究課題名（英文）High-efficiency LEDs using highly ordered perovskite quantum dots  
  
研究代表者  
千葉 貴之（Chiba, Takayuki）  
  
山形大学・大学院有機材料システム研究科・助教  
  
研究者番号：20751811  
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）：ペロブスカイト量子ドットは、高い発光量子収率と色純度の高いシャープな発光スペクトルを示し、結晶サイズやハロゲン組成の調整により、紫外・可視・近赤外領域において発光波長を制御できることから、次世代のLED材料として期待されている。しかしながら、薄膜状態では、イオン欠陥や濃度消光により発光量子収率が低下することが知られている。そこで、本研究では、結晶サイズの異なる量子ドット間でのエネルギー移動に着目し、非放射失活の抑制による発光量子収率の向上とペロブスカイト量子ドットLEDの高性能化に成功した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、ペロブスカイト量子ドットの精密合成と精製技術を駆使することでナノオーダーでのサイズ制御に成功している。また、薄膜状態における非放射失活の抑制に量子ドット間のエネルギー移動が有効であることを見出し、ペロブスカイト量子ドットLEDの高性能化を実現している。鉛を使用しない環境調和型のスズハライドペロブスカイトの開発やインクジェット印刷によるペロブスカイト量子ドットLEDの作製にも成功している。

研究成果の概要（英文）：Perovskite quantum dots are applicable in light-emitting diodes (LEDs) owing to their color tunability, high color purity, and excellent photoluminescence quantum yield (PLQY) in the solution state. However, the perovskite quantum dots film obtained through non-radiative recombination by concentration quenching and the formation of surface defects exhibited low PLQY. In this study, we focused on the energy transfer between perovskite quantum dots with different energy gap to improve the efficiency of perovskite LED.

研究分野：有機無機ハイブリッド

キーワード：ペロブスカイト 量子ドット LED

### 1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト量子ドット CsPbX<sub>3</sub> (X = Cl, Br, I)は、高い発光量子収率と色純度の高いシャープな発光スペクトルを示すことから、高精細対応の発光材料として期待されている。オレイン酸やオレイルアミンなどの長鎖アルキル配位子を用いることで、無極性溶媒への分散が可能になり、塗布プロセスによるデバイス作製が可能になる。結晶サイズやハロゲン組成の調整により、紫外・可視・近赤外領域において発光波長を制御できる。しかしながら、ペロブスカイトの結晶構造は、構成元素のイオン半径に強く依存すること知られている。特に、深赤色発光を示す CsPbI<sub>3</sub> では、イオンサイズの小さな Cs カチオンにより結晶の格子歪みが増大し、室温において発光性の立方晶から非発光性の斜方晶への相転移が課題となっている。また、近年では、ワイドギャップな小粒径 CsPbBr<sub>3</sub> 量子ドットからナローギャップな大粒径 CsPbBr<sub>3</sub> 量子ドットへのフェルスター共鳴エネルギー移動 (FRET) により濃度消光が抑制され、薄膜における PLQY が向上することが報告されている。しかしながら、エネルギー移動を利用したペロブスカイト量子ドット LED については未だ検証されておらず、デバイス性能への影響を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、赤色発光を示す CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットを合成し、光学特性と結晶構造の安定性における結晶サイズ依存性を評価した。また、バンドギャップの異なる CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットを混合し、量子ドット間のエネルギー移動を利用することで赤色ペロブスカイト量子ドット LED の高性能化を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの合成

ホットインジェクション法により、異なる粒径を有する CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットを合成した。炭酸セシウムおよびオレイン酸をオクタデセン溶媒中に溶解し、セシウム前駆体溶液を調整した後、150°C に昇温した。ヨウ化鉛およびヨウ化亜鉛、ヨウ化水素水溶液、酢酸マンガ(II)四水和物をオレイン酸およびオレイルアミンとともにオクタデセン溶媒中に溶解し、ハロゲン化鉛前駆体を調整した。得られたハロゲン化鉛前駆体を 190°C に昇温した後、調整したセシウム前駆体を素早く注入し、数秒後に氷冷することで反応を停止した。室温まで冷却したのち、母液を回収した。

#### (2) CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの精製と遠心分離によるサイズ制御

母液を遠心分離により、沈殿物の大粒径量子ドットと上澄みの小粒径量子ドットに分離した(図1)。上澄みの小粒径量子ドットは、精製溶媒として酢酸メチルを加えたのち、再度遠心分離を行うことで上澄みを除去し、合成溶媒や未反応の前駆体、過剰な配位子などの不純物を除去した。回収した小粒径量子ドットは、さらに精製を複数回繰り返した。沈殿物の大粒径量子ドットは、トルエン分散液に酢酸メチルを加え、同様のプロセスで上澄みを除去し、トルエンに再分散させ、同様の精製を複数回行った。最終的に、オクタン分散液を遠心分離後でも安定に分散した上澄みを回収し、物性評価およびデバイス作製を実施した。

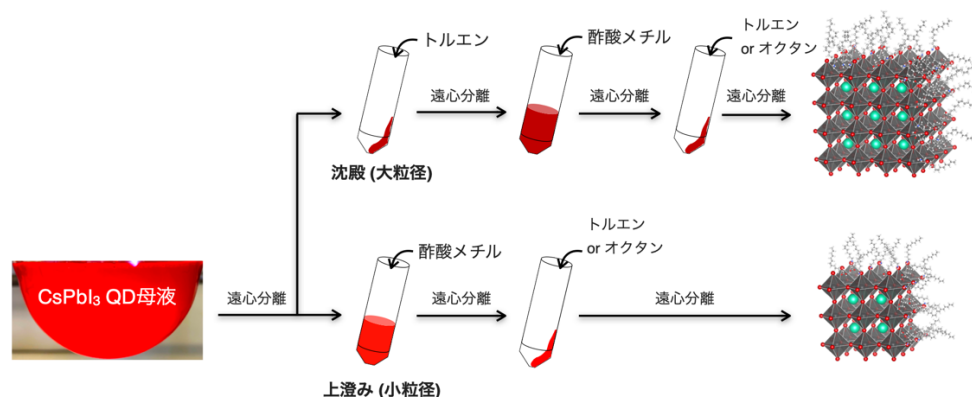


図1 CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットのホットインジェクション法と再沈殿精製によるサイズ制御

#### (3) CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの光学特性評価

大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの分散液および薄膜状態における UV-vis 吸収スペクトル、PL スペクトル、PL 量子収率、PL 減衰寿命をそれぞれ実施し、光学特性を評価した。<sup>1</sup>H-NMR および FT-IR 測定から、CsPbI<sub>3</sub> 表面の配位子状態を解析した。X 線光電子分光測定により、CsPbI<sub>3</sub> の化学組成を評価した。

#### (4) ペロブスカイト量子ドット LED の作製と評価

透明導電性の ITO 基板は、超音波スピン洗浄および UV-オゾン洗浄 (10 分間) により洗浄した。正孔注入層として Nafion 置換した poly(3,4- ethylenedioxythiophene):poly(styrene-sulfonate) (PEDOT:PSS) (膜厚 40 nm) を ITO 基板の上にスピコートにより成膜した後、アニール処理 (150°C 10 分間) を行った。次に、ITO / PEDOT:PSS 基板の上に正孔輸送層として poly(bis-4butylphenyl-N,N-bisphenyl) benzidine (poly-TPD) (膜厚 20 nm) をスピコートにより成膜およびアニール (100°C 10 分間) を行った。発光層は、CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットオクタン分散液をスピコートにより ITO / PEDOT:PSS / poly-TPD 基板の上に成膜した。最後に、電子注入および輸送層の 1,3,5-tris(N-phenylbenzimidazol-2-yl) benzene (TPBi) (膜厚 50 nm) および Liq (膜厚 1 nm)、Al 電極 (膜厚 100 nm) を真空蒸着により成膜後、封止し、デバイス特性を評価した。

#### 4. 研究成果

得られた CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの結晶サイズ、光学特性および結晶構造解析を評価した。透過型電子顕微鏡 (TEM) 画像より、大粒径 CsPbI<sub>3</sub> の平均粒径は 10.7 nm、小粒径 CsPbI<sub>3</sub> の平均粒径 7.9 nm を示した (図 2a-b)。紫外-可視吸収スペクトルにおいて、大粒径量子ドットの吸収端は、小粒径量子ドットに比べ長波長化しており、バンドギャップの縮小と発光波長の長波長化を示した。また、小粒径 CsPbI<sub>3</sub> の PL スペクトルおよび大粒径 CsPbI<sub>3</sub> の吸収スペクトルの十分な重なりを示し、効率的なエネルギー移動が期待できる。また、X 線回折より、結晶サイズによらず立方晶 CsPbI<sub>3</sub> 結晶 (ICSD 181288) に帰属された (図 2d)。

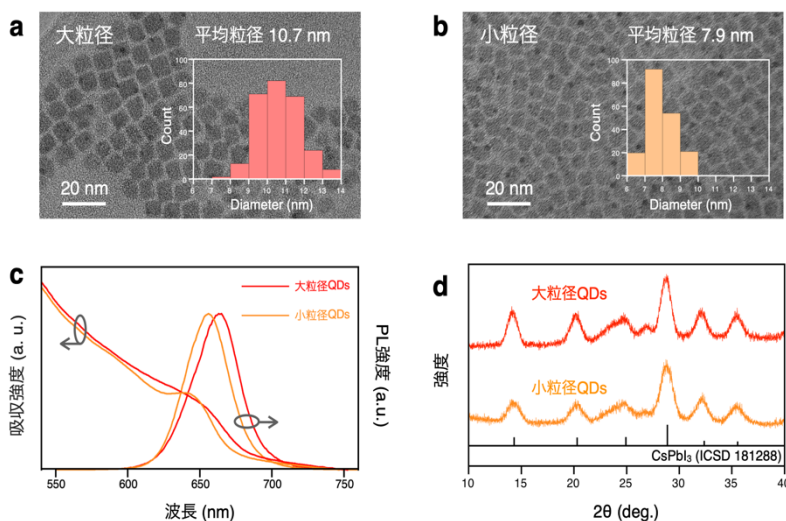


図 2 a) 大粒径および b) 小粒径 CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットの透過型電子顕微鏡画像とヒストグラム、c) 紫外-可視吸収スペクトルと蛍光スペクトル、d) X 線回折スペクトル

大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> 間のエネルギー移動と光学特性への影響を検証するため、混合膜および混合分散液を調整した (大粒径:小粒径=6:4 v/v)。混合膜の PL スペクトルにおいて、発光波長 665 nm および半値幅 34 nm を示し、大粒径 CsPbI<sub>3</sub> (発光波長 667 nm、半値幅 33 nm) と類似したスペクトルが確認された (図 3a)。これは、小粒径から大粒径 CsPbI<sub>3</sub> へのエネルギー移動を示唆している。一方で、小粒径と大粒径を混合した分散液の PL スペクトルでは、混合膜と比べ、短波長化および半値幅の増大を示し (発光波長 661 nm、半値幅 38 nm)、それぞれの量子ドットに由来する発光が観察された (図 3b)。また、混合膜において、大粒径 CsPbI<sub>3</sub> (PLQY 38%) および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> (PLQY 29%) に比べ、PLQY の向上 (52%) が確認された。混合膜における PLQY の向上を明らかにするため、蛍光寿命を測定した (図 3c-d)。大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> の単膜に比べ、混合膜では蛍光寿命の長寿命化を示しており (図 3c)、非放射失活を抑制していることが考えられる。また、各試料における励起スペクトル測定を行った (図 3e-f)。薄膜および分散液試料において、大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> の励起ピークは、それぞれ 660 nm および 645 nm を示した。検出波長 690 nm において励起スペクトル測定を行い、各混合試料における大粒径 CsPbI<sub>3</sub> の励起強度を測定した。混合膜において、大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> に由来するピークが確認されており、小粒径から大粒径 CsPbI<sub>3</sub> へのエネルギー移動が示唆された。一方で、混合分散液において、小粒径に由来する励起ピーク (645 nm) が消失しており、小粒径から大粒径 CsPbI<sub>3</sub> へのエネルギー移動が生じていないことを明らかにした。

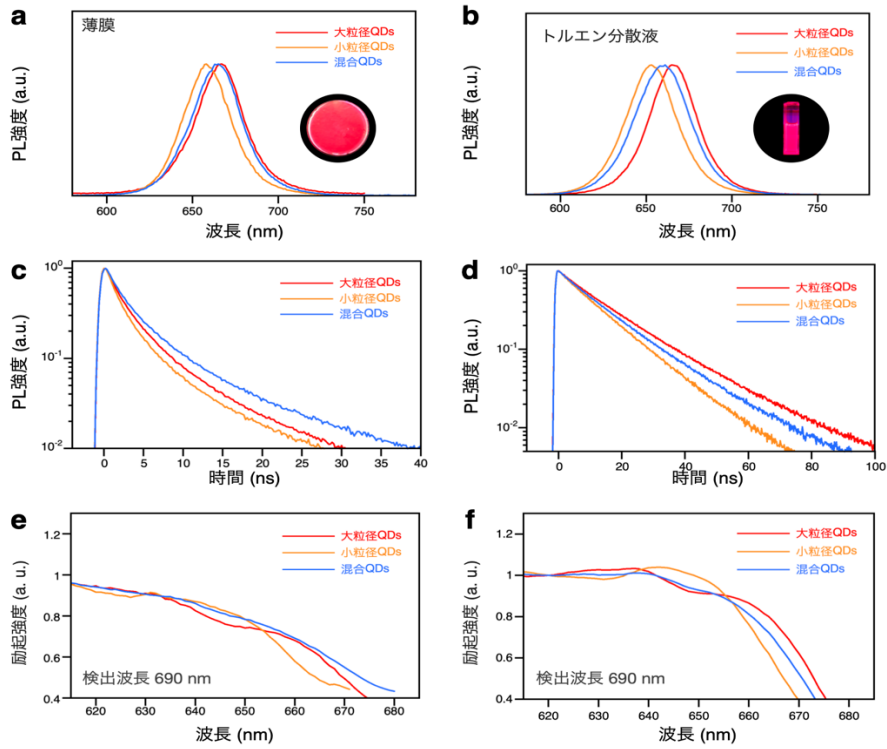


図3 大粒径および小粒径、混合 CsPbI<sub>3</sub> (大粒径:小粒径=6:4) の光学物性。薄膜およびトルエン分散液の a-b) 蛍光スペクトル (励起波長 400 nm) および d-c) 蛍光寿命スペクトル (励起波長 400 nm、検出波長 665 nm)、e-f) 励起スペクトル (検出波長 690 nm)

最後に、CsPbI<sub>3</sub> 量子ドットを発光層に用いて、LED [ITO (130 nm)/ PEDOT:PSS (40 nm)/ poly-TPD (20 nm)/ CsPbI<sub>3</sub>/ TPBi (50 nm)/ Liq (1 nm)/ Al (100 nm)] を作製した。デバイスのエネルギー準位は、図 4a に示す。大粒径および小粒径 CsPbI<sub>3</sub> の伝導帯および価電子帯は、紫外光電子分光法および吸収スペクトルより算出した。EL スペクトルの発光波長は、大粒径 CsPbI<sub>3</sub> LED において 673 nm および混合 CsPbI<sub>3</sub> LED において 671 nm を示し、国際色域規格 BT. 2020 を満たす高色純度な赤色発光を達成した (図 4b)。また、電流密度-電圧-輝度特性および外部量子効率-電流密度特性の結果より、混合 CsPbI<sub>3</sub> LED において、最大輝度 703 cd/m<sup>2</sup> および最大外部量子効率 15% を示し、大粒径 LED よりも優れたデバイス性能が達成された (図 4c-d)。これらのデバイス性能の向上は、混合膜の PLQY の向上に由来すると考えられる。さらに、定電流密度測定 (7.5 mA/cm<sup>2</sup>) により、デバイス駆動寿命および EL スペクトルの安定性を評価した。大粒径および混合 CsPbI<sub>3</sub> LED において、それぞれ輝度半減寿命 5 時間 (初期輝度 100 cd/m<sup>2</sup>) を達成し、駆動前後において極めて高い色安定性を示した (図 4e-f)。以上より、量子ドット間の効率的なエネルギー移動を利用することで LED の高性能化に成功した。

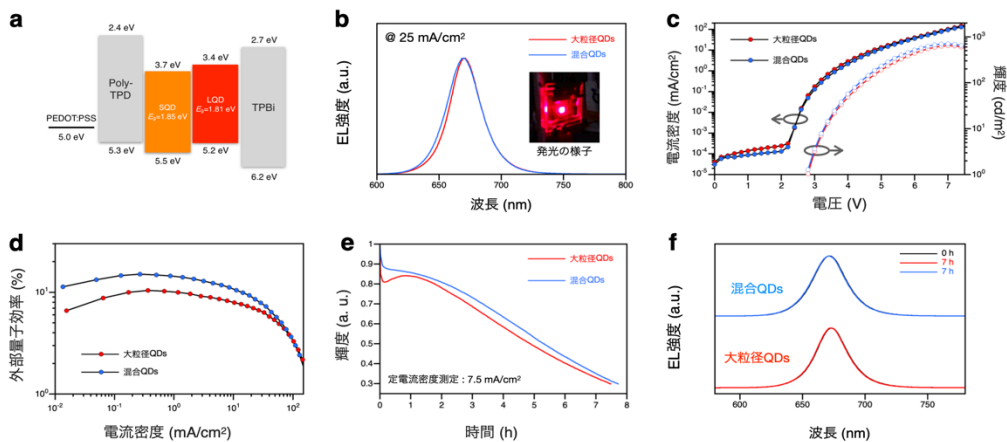


図 4 a) ペロブスカイト量子ドット LED のエネルギーダイアグラム b) EL スペクトル (@25 mA/cm<sup>2</sup>)、c) 電流密度-電圧-輝度特性、d) 外部量子効率-電流密度特性、e) 輝度減衰寿命 (@7.5 mA/cm<sup>2</sup>)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Liang Fang Cheng, Jhuang Fu Cheng, Fang Yu Han, Benas Jean Sebastien, Chen Wei Cheng, Yan Zhen Li, Lin Wei Chun, Su Chun Jen, Sato Yuki, Chiba Takayuki, Kido Junji, Kuo Chi Ching	4. 巻 35
2. 論文標題 Synergistic Effect of Cation Composition Engineering of Hybrid Cs1-xFAXPbBr3 Nanocrystals for Self Healing Electronics Application	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2207617 ~ 2207617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202207617	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 Satake Kohei, Sato Yuki, Narazaki Kohei, Chiba Takayuki, Sumikoshi Shunsuke, Moriyama Reine, Suzuki Rikuo, Cheng Yu-Hong, Tamura Kota, Kido Junji	4. 巻 1
2. 論文標題 Fabrication of Perovskite Nanocrystal Light-Emitting Diodes via Inkjet Printing with High-Temperature Annealing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Optical Materials	6. 最初と最後の頁 282 ~ 288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaom.2c00053	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 Chiba Takayuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Recent advances in solution-processed organic and perovskite nanocrystal light-emitting devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 969 ~ 976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-022-00640-0	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 Ebe Hinako, Wang Ya-Kun, Shinotsuka Narumi, Cheng Yu-Hong, Uwano Mizuho, Suzuki Rikuo, Dong Yitong, Ma Dongxin, Lee Seungjin, Chiba Takayuki, Sargent Edward H., Kido Junji	4. 巻 14
2. 論文標題 Energy Transfer between Size-Controlled CsPbI3 Quantum Dots for Light-Emitting Diode Application	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 17691 ~ 17697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaomi.2c03971	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 Cheng Yu-Hong, Suzuki Rikuo, Shinotsuka Narumi, Ebe Hinako, Oshita Naoaki, Yamakado Ryohei, Chiba Takayuki, Masuhara Akito, Kido Junji	4. 巻 12
2. 論文標題 Gel permeation chromatography process for highly oriented Cs <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> I <sub>5</sub> nanocrystal film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-08760-6	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 Cheng Yu-Hong, Moriyama Reine, Ebe Hinako, Mizuguchi Kei, Yamakado Ryohei, Nishitsuji Shotaro, Chiba Takayuki, Kido Junji	4. 巻 14
2. 論文標題 Two-Step Crystallization for Low-Oxidation Tin-Based Perovskite Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 22941 ~ 22949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.1c22130	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 Enomoto Kazushi, Oizumi Risa, Aizawa Naoya, Chiba Takayuki, Pu Yong-Jin	4. 巻 125
2. 論文標題 Energy Transfer from Blue-Emitting CsPbBr <sub>3</sub> Perovskite Nanocrystals to Green-Emitting CsPbBr <sub>3</sub> Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 19368 ~ 19373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c05140	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 Chen Wei-Cheng, Fang Yu-Han, Chen Lung-Ghii, Liang Fang-Cheng, Yan Zhen-Li, Ebe Hinako, Takahashi Yoshihito, Chiba Takayuki, Kido Junji, Kuo Chi-Ching	4. 巻 414
2. 論文標題 High luminescence and external quantum efficiency in perovskite quantum-dots light-emitting diodes featuring bilateral affinity to silver and short alkyl ligands	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 128866 ~ 128866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.128866	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 Yan Zhen-Li, Benas Jean-Sebastien, Chueh Chu-Chen, Chen Wei-Cheng, Liang Fang-Cheng, Zhang Zhi-Xuan, Lin Bi-Hsuan, Su Chun-Jen, Chiba Takayuki, Kido Junji, Kuo Chi-Ching	4. 巻 414
2. 論文標題 Stable blue perovskite light-emitting diodes achieved by optimization of crystal dimension through zinc bromide addition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 128774 ~ 128774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.128774	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 Chiba Takayuki, Sato Jun, Ishikawa Shota, Takahashi Yoshihito, Ebe Hinako, Sumikoshi Shunsuke, Ohisa Satoru, Kido Junji	4. 巻 12
2. 論文標題 Neodymium Chloride-Doped Perovskite Nanocrystals for Efficient Blue Light-Emitting Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 53891 ~ 53898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c11736	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 Chiba Takayuki, Takahashi Yoshihito, Sato Jun, Ishikawa Shota, Ebe Hinako, Tamura Kota, Ohisa Satoru, Kido Junji	4. 巻 12
2. 論文標題 Surface Crystal Growth of Perovskite Nanocrystals via Postsynthetic Lead(II) Bromide Treatment to Increase the Colloidal Stability and Efficiency of Light-Emitting Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 45574 ~ 45581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c13212	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18件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Chiba
2. 発表標題 Surface crystal growth of perovskite nanocrystals for highly efficient light-emitting diodes
3. 学会等名 International Display Manufacturing Conference 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Chiba*, J. Kido
2 . 発表標題 Metal Halide doped Perovskite Nanocrystals for Highly Efficient Light-Emitting Device
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Ebe*, T. Chiba, J. Kido Energy Transfer between Donor-Acceptor Perovskite Quantum Dots for Efficient and stable Light-Emitting Device,
2 . 発表標題 Energy Transfer between Donor-Acceptor Perovskite Quantum Dots for Efficient and stable Light-Emitting Device,
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y.-H. Cheng*, R. Suzuki, N. Shinotsuka <sup>1</sup> , H. Ebe, N. Oshita, R. Yamakado, T. Chiba, A. Masuhara, J. Kido
2 . 発表標題 Gel Permeation Chromatography Purified Lead-free Cs <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> I <sub>5</sub> Nanocrystals for Highly Stable Colloid, Orientated Film
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Chiba*, Y. Takahashi, H. Ebe, J. Kido
2 . 発表標題 Surface crystal growth of perovskite nanocrystal for high colloidal stability and efficient LEDs
3 . 学会等名 A-COE 2021 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年



1. 発表者名 佐竹 康平、佐藤 勇輝、奈良崎 航平、千葉 貴之、城戸 淳二
2. 発表標題 インクジェット印刷を用いた高温アニール処理下でのペロブスカイト量子ドットLEDの開発
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 2023年

1. 発表者名 千葉 貴之
2. 発表標題 ペロブスカイトナノ結晶の表面制御技術と発光デバイス応用
3. 学会等名 2022年度高分子学会東北支部 支部研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田村 鴻汰、江部 日南子、鈴木 陸央、千葉 貴之、城戸 淳二
2. 発表標題 架橋性配位子を用いた高効率ペロブスカイトナノ結晶LEDの開発
3. 学会等名 2022年度高分子学会東北支部 支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 陸央、千葉 貴之、城戸 淳二
2. 発表標題 第一原理計算による鉛ハロゲンペロブスカイトの精密なバンドギャップ算出
3. 学会等名 2022年度高分子学会東北支部 支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千葉 貴之
2. 発表標題 ペロブスカイトナノ結晶の表面処理と発光デバイスへの応用
3. 学会等名 日本化学会第102回春季年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森山 玲音, 鄭 宇宏, 千葉 貴之, 江部 日南子, 城戸 淳二
2. 発表標題 金属塩NdCl <sub>3</sub> ドープによる青色準 2DペロブスカイトLEDの高効率化
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 純一, 山口 裕之, 千葉 貴之, 佐野 健志, 笹部 久宏, 城戸 淳二
2. 発表標題 フェナントロリン誘導体を電子注入層に用いた有機EL 素子の発光特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会秋春季術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江部 日南子, 上野 瑞穂, 篠塚 奈瑠美, 鄭 宇宏, 鈴木 陸央, 千葉 貴之, 城戸 淳二
2. 発表標題 Donor-Acceptor QD間のエネルギー移動を用いた高性能ペロブスカイトQD-LEDの開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 隅越 俊介, 佐藤 純, 千葉 貴之, 江部 日南子, 城戸 淳二
2. 発表標題 金属塩ドーブによる青色ペロブスカイト量子ドット LEDの高効率化
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y.H. Cheng, R. Suzuki, N. Shinotsuka, H. Ebe, N. Oshita, R. Yamakado, T. Chiba, A. Masuhara, J. Kido
2. 発表標題 Highly oriented Lead-Free Cs <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> I <sub>5</sub> Single Nanocrystal Film via Gel Permeation Chromatography Purification
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉貴之, 石川翔太, 江部日南子, 城戸淳二
2. 発表標題 ペロブスカイトナノ結晶LEDの表面修飾とLED応用
3. 学会等名 有機EL討論会 第31回例会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉貴之
2. 発表標題 ペロブスカイトナノ結晶LEDの表面修飾とLEDへの展開
3. 学会等名 IDW '20 チュートリアル講演 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉貴之, 石川翔太, 江部日南子, 城戸淳二
2. 発表標題 青色ペロブスカイトナノ結晶LEDの高性能化を指向した配位子交換技術
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ペロブスカイトナノ結晶の製造方法、ペロブスカイトナノ結晶および光電変換デバイス	発明者 千葉 貴之、鈴木 陸 央、隅越 俊介、森山 玲音、及川 凌輔	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-186230	出願年 2022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