

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02565

研究課題名（和文）ヘテロ接合型量子ドット太陽電池のナノ界面の構築と多重励起子の電荷分離効率の向上

研究課題名（英文）Control of the nano-interface of heterojunction quantum dot solar cells and improvement of the charge separation efficiency for multiple excitons

研究代表者

沈 青 (Shen, Qing)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：50282926

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：量子ドット太陽電池における各種界面に対して、有機分子や無機材料による修飾を行い、それらの相乗効果により、光励起キャリアの無輻射再結合損失の低減と電荷キャリア抽出のバランスの向上ができた。その結果、PbS量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率は15.45%を実現し、PbS量子ドット太陽電池の世界最高性能を達成した。また、量子ドットにおける光励起キャリアの超高速緩和ダイナミクスを評価し、量子ドットの成分や表面状態はそのホットキャリアダイナミクスの緩和に大きい影響を与えることを見出した。これは今後の多重励起子生成型量子ドット太陽電池の実現のための貴重な基礎データとなる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の研究成果の一つとしては量子ドット太陽電池の各種界面における相乗効果を持つパッシベーション方法の開発である。開発された手法とその発想は、量子ドット太陽電池の光電変換特性を向上させる新たなアイデアを提供するだけでなく、他のヘテロ接合太陽電池や発光ダイオード（LED）にも応用可能であり、今後、さらなる高性能な光電変換デバイスへの展開が期待される。また、量子ドットの組成と表面状態は量子ドットにおけるホットキャリアの緩和に大きい影響を与えることが判明した。これらの実験結果は次世代太陽電池の候補である多重励起子生成型量子ドット太陽電池の実現のために貴重な基礎データを提供できる。

研究成果の概要（英文）：Various interfaces in quantum dot solar cells were modified with organic molecules and inorganic materials, and due to their synergistic effect, it was possible to reduce the non-radiative recombination loss of photoexcited carriers and improve the balance between charge carrier extraction. As a result, the energy conversion efficiency of the PbS quantum dot solar cell was 15.45%, achieving the world's highest performance of the PbS quantum dot solar cell. We also evaluated the ultrafast relaxation dynamics of photoexcited carriers in quantum dots and found that the composition and surface states of quantum dots have a large effect on the relaxation of the hot carrier dynamics. This will be valuable basic data for the realization of multiple exciton-generating quantum dot solar cells in the future.

研究分野：ナノ材料科学

キーワード：量子ドット 光励起キャリアダイナミクス ホットキャリア 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

コロイド量子ドット(QD)を用いた太陽電池は安価かつ高効率な次世代太陽電池の候補の一つとして期待されている。コロイドQDを光電変換デバイスに応用する際に、(1)溶液塗布法で作製することにより低コスト化が可能、(2)量子ドットのサイズの制御により光吸収領域の制御が可能、(3)量子閉じ込め効果により光吸収係数が増大、(4)多重励起子生成(MEG)により光電流変換量子効率が100%を超える可能性などの特徴が挙げられる。上記(4)のMEGの効果を十分に利用できれば、太陽電池のエネルギー変換効率(PCE)はShockley-Quesnel(S-Q)限界(~30%)をはるかに上回る(理論限界44%)が予言されている¹⁾。しかし、コロイドQD太陽電池デバイスのPCEはまだ理論変換効率よりはるかに低いことは現状であり、PbS量子ドット系では12%であることが報告された^{2,3)}。そのPCEの更なる向上を実現するために、①CQDの低欠陥化、②各ナノ界面状態の十分な制御、③電荷再結合の抑制、④光励起キャリアの超高速緩和ダイナミクスの十分な理解が必要かつ重要である⁴⁾。

2. 研究の目的

① CQDの低欠陥化、②各ナノ界面状態の十分な制御、③電荷再結合の抑制、④光励起キャリアの超高速緩和ダイナミクスの評価を行い、量子ドット太陽電池のPCEの更なる向上の指針を与える。

3. 研究の方法

量子ドット太陽電池の3つの界面、すなわち量子ドット/量子ドット界面、電子輸送層/量子ドット界面、および量子ドット/正孔輸送層界面のパッシベーションの相乗効果を利用できる新しい界面エンジニアリングを提案し、系統的に検討した。同時に、高速レーザー分光法を用いて、量子ドットにおける光励起キャリアダイナミクスについても系統的に評価した。

4. 研究成果

量子ドットと量子ドット(QDs/QDs)界面での表面欠陥を低減させることは量子ドット太陽電池の高効率化を実現するための重要な鍵である。一つ成果として、ペロブスカイト単層でPbS QDs/QDs界面をパッシベーションする新しい手法を開発し、光吸収層での欠陥密度の低減と光励起キャリア寿命と拡散長の増大を図った。QDs/QDs界面におけるパッシベーションを行い、その光電変換性能を著しく向上させたことに成功した。固体リガンド交換法(SSE)で形成したPbS量子ドット膜に対して、ハロゲン化メチルMACIを用いて表面パッシベーションを行った。その結果、MACIパッシベーションにより、光電変換効率が著しく向上し、12.4%に達成した⁵⁾。

次に、ペロブスカイト単層でPbS QDs/QDs界面をパッシベーションする新しい手法を開発した。その結果、QD光吸収層での欠陥密度が40%減少したと共に、キャリア移動度が大幅に向上し、QD膜内の光生成キャリアの拡散距離が1.7倍増加した。そのため、QD光吸収層の最適な厚さが11%増加し、太陽電池のエネルギー変換効率(PCE)の最高値は13%以上に達成できた(図1)。次に、電子輸送層/量子ドット界面のパッシベーションを行った。PMMA(アクリル樹脂)とフラーレンの誘導体であるPCBM(混合層を導入し、電子輸送層のダメージを防ぐとともに、界面での欠陥密度を低減させた。さらに、電子と正孔をバランスを取りながら抽出し、量子ドット/正孔輸送層の界面での欠陥を低減するために、QD光吸収層と正孔輸送層の間に、PMMAと酸化グ

ラフェンの混合膜を導入した。これにより、正孔移動度が著しく向上し、量子ドット/正孔輸送層の界面での正孔の抽出率が高まり、電子と正孔の輸送と収集のバランスが向上した。上記のように、3種類の界面エンジニアリングにより、15.45%の変換効率が達成できた(図2)。これは今まで世界的に報告された単一接合の硫化鉛量子ドット太陽電池の中で最高値である⁶⁾。

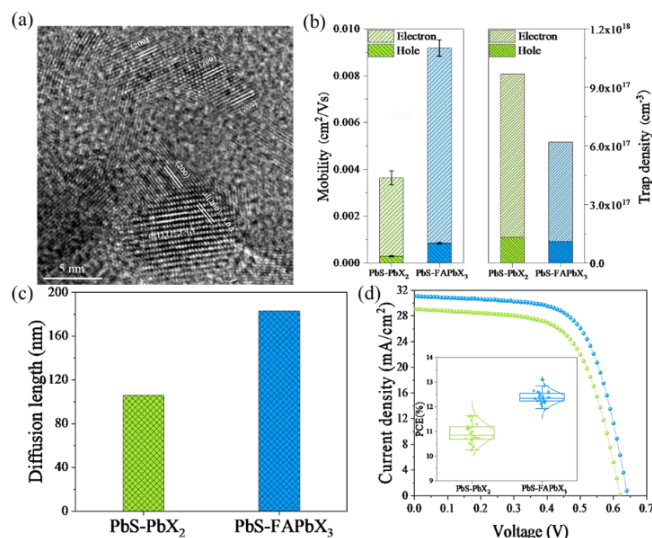


図1 (a) PbS-FAPbX₃ CQD 膜の TEM 画像。PbS-PbX₂ と PbS-FAPbX₃ CQD 光吸収層におけるキャリア移動度と電子・正孔のトラップ密度の比較(b)とキャリア拡散長の比較(c)および PbS-FAPbX₃ および PbS-PbX₂ CQD 太陽電池 (参照デバイス) の電流密度-電圧特性 (AM1.5G 照度下) の比較(d) (挿入図: PbS-FAPbX₃ および PbS-PbX₂ CQD 太陽電池 (参照デバイス) エネルギー変換効率 PCE の比較)⁶⁾。

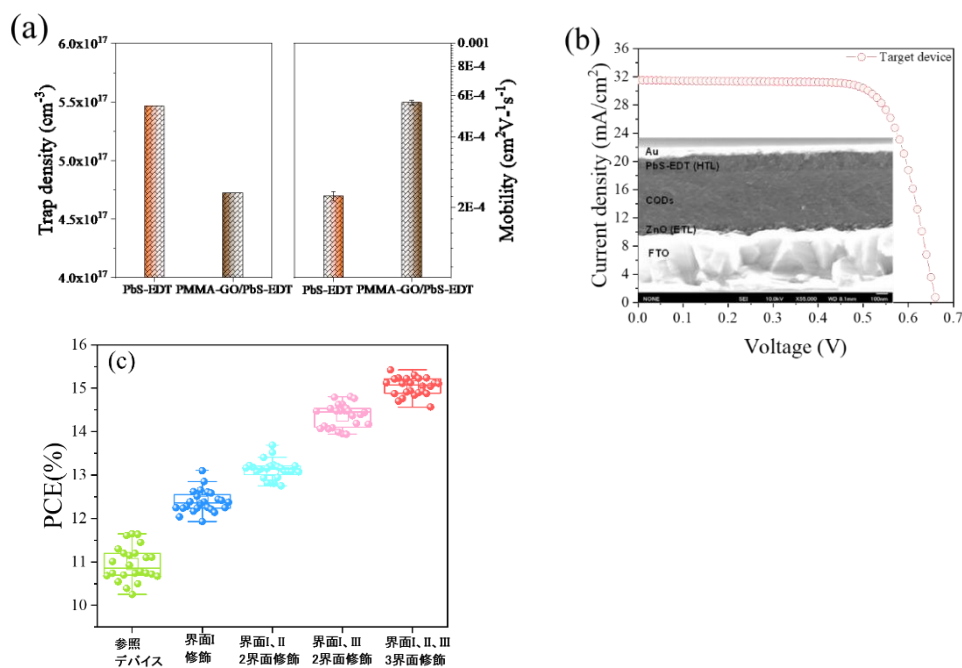


図2 (a) PbS-EDT 正孔輸送層/PbS QD 界面 (界面 III) の PMMA-GO パッシベーションによるトラップ準位密度の低減と正孔移動度の増加. (b) 界面 I, II, III のパッシベーションを行った PbS CQD 太陽電池の電流密度-電圧特性 (PCE: 15.45%, FF: 0.74, J_{sc}: 31.5 mA/cm², Voc: 0.66 V). (c) 界面 I のみの修飾, 界面 I, II の 2 界面の修飾, 界面 I, III の 2 界面の修飾, 界面 I, II, III の 3 界面の修飾を行った場合の PbS CQD 太陽電池のエネルギー変換効率 (PCE) の比較⁶⁾

また、ホットインジェクション法を用いて、ペロブスカイト APbX₃ (X = Cl-, Br-, および I-) 量子ドット (PQD) を作製し、量子ドット太陽電池へ適用した。今年では、PQD の A サイトはそれぞれセシウム (Cs)、メチルアンモニウム (MA)、またはホルムアミジニウム (FA) とそれらの混晶を用いた。主に A サイトの違いによる PQD 結晶構造、光物性と光励起キャリアダイナミクスおよび量子ドット太陽電池の光電変換特性の変化について検討した。透過型電子顕微鏡 (TEM) およびエネルギー分散型 X 線分光 (EDS) 測定の結果から、混晶した PQD では、混晶された A サイトの成分は PQD 全体でランダムに分布していることが判明した。さらに、A サイトの混晶化により PQD のフォトルミネッセンス量子収率が向上したことを見つけた。大変興味深いことは、A サイトの混晶化により、ペロブスカイト量子ドット太陽電池の光電変換効率は 12% ぐらいから約 15% までに向上したことに成功した。さらに、A サイトは PQD の光励起キャリアダイナミクス、特にホットキャリアの緩和プロセスに大きな影響を与えることを見出した⁷⁾。さらに、カルボキシル基を持つ一連の半導体配位子を使用することにより、PQD から Cool キャリアとホットキャリア両方を効率的に抽出することが可能であることを発見した。光励起ホットキャリアダイナミクスを解析した結果、PQD のホットキャリアの冷却が大幅に延長され、ホットキャリアの抽出が容易になることが分かった⁸⁾。半導体リガンドと CsPbI₃QD の間の化学結合、電子結合、およびキャリア移動は、ドナー-アクセプターシステムでは互いに共生していることが示唆された。これらの結果は、Cool とホットキャリアの抽出と太陽電池への利用を実現する要因に光を当て、多重励起子型とホットキャリア型太陽電池を設計するための戦略を提供できる。

<引用文献>

- 1) Hanna, M.C., et al. : "Solar conversion efficiency of photovoltaic and photoelectrolysis cells with carrier multiplication absorbers," J. Appl. Phys., 100 (7)(2006)074510.
- 2) Song, H. , et al. : "Improving the Efficiency of Quantum Dot Sensitized Solar Cells beyond 15% via Secondary Deposition," J. Am. Chem. Soc. 143(12)(2021) 4790-4800.
- 3) NREL (2021). Best Research-Cell Efficiency Chart. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- 4) Sogabe, T. , et al. : "Recent progress on quantum dot solar cells: a review," J. Photonics Energy, 6 (4)(2016)040901.
- 5) Ding, C., et al. : "Passivation Strategy of Reducing Both Electron and Hole Trap States for Achieving High-Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells with Power Conversion Efficiency over 12%," ACS Energy Letter., 5 (10)(2020)3224.
- 6) Ding, C., et al. : " Over 15% Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells by Synergistic Effects of Three Interface Engineering: Reducing Nonradiative Recombination and Balancing Charge Carrier Extraction," Adv. Energy Mater. 12(35)(2022)2201676.
- 7) Li H. et al. : "Enhanced Hot-Phonon Bottleneck Effect on Slowing Hot Carrier Cooling in Metal Halide Perovskite Quantum Dots With Alloyed A-Site," Adv. Mater. (accepted).
- 8) Li YS. et al. : "Electronic coupling between perovskite nanocrystal and fullerene modulates hot carrier capture," DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2104745/v1>.

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 6件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jiang, J., Liu, F., Shen, Q., and Tao, S.	4. 巻 9
2. 論文標題 The role of sodium in stabilizing tin/lead (Sn/Pb) alloyed perovskite quantum dots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 12087-12098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TA00955A	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 Chen, Z.; Zhang, Y.; Teh, Z. L.; Yang, J.; Yuan, L.; Conibeer, G. J.; Patterson, R. J.; Shen, Q.; Huang, S.; Zhang, Z.	4. 巻 13
2. 論文標題 Passivating Quantum Dot Carrier Transport Layer with Metal Salts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 28679-28688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscami.1c06410	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 G. Shi, H. Wang, Y. Zhang, C. Cheng, T. Zhai, B. Chen, X. Liu, R. Jono, X. Mao, Y. Liu, X. Zhang, X. Ling, Y. Zhang, X. Meng, Y. Chen, S. Duhm, L. Zhang, T. Li, L. Wang, S. Xiong, T. Sagawa, T. Kubo, H. Segawa, Q. Shen, Z. Liu, W. Ma	4. 巻 12
2. 論文標題 The effect of water on colloidal quantum dot solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nat Commun	6. 最初と最後の頁 4381-4383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24614-7	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 C. Ding, L. Zhang, Q. Shen, L. Ding	4. 巻 42
2. 論文標題 Colloidal quantum-dot bulk-heterojunction solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Semiconductors	6. 最初と最後の頁 110203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1674-4926/42/11/110203	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 Li, F., Liu, Y., Shi, G., Chen, W., Guo, R., Liu, D., Zhang, Y., Wang, Y., Meng, X., Zhang, X., L, Y., Deng, W., Zhang, Q., Shi, Y., Chen, Y., Wang, K., Shen, Q., Liu, Z., M-Buschbaum, P., Ma, W.	4. 巻 31
2. 論文標題 Matrix Manipulation of Directly-Synthesized PbS Quantum Dot Inks Enabled by Coordination Engineering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adv. Funct. Mater.	6. 最初と最後の頁 2104457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202104457	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 Fan, Huang Qingxun, Song Jun, Hayase Shuzi, Qu Junle, Shen Qing	4. 巻 4
2. 論文標題 A New Strategy for Increasing the Efficiency of Inverted Perovskite Solar Cells to More than 21%: High Humidity Induced Self Passivation of Perovskite Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2000149 ~ 2000149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202000149	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 Yaohong, Wu Guohua, Ding Chao, Liu Feng, Liu Dong, Masuda Taizo, Yoshino Kenji, Hayase Shuzi, Wang Ruixiang, Shen Qing	4. 巻 12
2. 論文標題 Surface-Modified Graphene Oxide/Lead Sulfide Hybrid Film-Forming Ink for High-Efficiency Bulk Nano-Heterojunction Colloidal Quantum Dot Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano-Micro Letters	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40820-020-00448-8	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 Yaohong, Ozu Shuhei, Wu Guohua, Ding Chao, Liu Feng, Liu Dong, Minemoto Takashi, Masuda Taizo, Hayase Shuzi, Toyoda Taro, Shen Qing	4. 巻 124
2. 論文標題 In-Depth Exploration of the Charge Dynamics in Surface-Passivated ZnO Nanowires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15812 ~ 15817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c04199	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 Ding Chao, Liu Feng, Zhang Yaohong, Hayase Shuzi, Masuda Taizo, Wang Ruixiang, Zhou Yong, Yao Yingfang, Zou Zhigang, Shen Qing	4. 巻 5
2. 論文標題 Passivation Strategy of Reducing Both Electron and Hole Trap States for Achieving High-Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells with Power Conversion Efficiency over 12%	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 3224 ~ 3236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acseenergylett.0c01561	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 Fan, Huang Qingxun, Song Jun, Hayase Shuzi, Qu Junle, Shen Qing	4. 巻 4
2. 論文標題 A New Strategy for Increasing the Efficiency of Inverted Perovskite Solar Cells to More than 21%: High Humidity Induced Self Passivation of Perovskite Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2000149 ~ 2000149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202000149	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 Jiang Junke, Liu Feng, Tranca Ionut, Shen Qing, Tao Shuxia	4. 巻 3
2. 論文標題 Atomistic and Electronic Origin of Phase Instability of Metal Halide Perovskites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 11548 ~ 11558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00791	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 Xing Meibo, Wei Yuyao, Wang Dandan, Shen Qing, Wang Ruixiang	4. 巻 21
2. 論文標題 Mg-doped ZnO layer to enhance electron transporting for PbS quantum dot solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Applied Physics	6. 最初と最後の頁 14 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cap.2020.09.014	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 Sudswasd Yosita, Liu Feng, Toyoda Taro, Shen Qing, Yindeesuk Witoon	4. 巻 1719
2. 論文標題 Synthesis of Pb-doped CdS quantum dot using SILAR method on mesoporous TiO ₂ layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012063 ~ 012063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1719/1/012063	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 Wang Dandan, Xing Meibo, Wei Yuyao, Wang Longxiang, Wang Ruixiang, Shen Qing	4. 巻 6
2. 論文標題 Modeling of Nucleation and Growth in the Synthesis of PbS Colloidal Quantum Dots Under Variable Temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 3701 ~ 3710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c05223	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 Liu Feng, Jiang Junke, Toyoda Taro, Kamarudin Muhammad Akmal, Hayase Shuzi, Wang Ruixiang, Tao Shuxia, Shen Qing	4. 巻 4
2. 論文標題 Ultra-Halide-Rich Synthesis of Stable Pure Tin-Based Halide Perovskite Quantum Dots: Implications for Photovoltaics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 3958 ~ 3968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c00324	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16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 D. Liu, C. Ding, Y. Zhang, F. Liu, F. Zhang, T. Toyoda, S. Hayase, Q. Shen
2. 発表標題 Optical properties and photoexcited carrier dynamics of mixed-halide perovskite single crystals
3. 学会等名 MRM(Materials Research Meeting) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hua Li, Chao Ding, Dong Liu, Yusheng Li, Shuzi Hayase, Qing Shen
2. 発表標題 Effects of A-site cation on the optical property, photoexcited carrier dynamics of metal halide perovskite quantum dots
3. 学会等名 MRM(Materials Research Meeting) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yongge yang,Chao Ding,Qing Shen
2. 発表標題 Research and Application on Stability and Non-toxicity of Halide Perovskite Materials and Its Fluorescence Properties
3. 学会等名 nanoGe Spring Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Yusheng Li, Qing Shen
2. 発表標題 In-situ Non-destructively Quantifying the Transport and Recombination Characteristics of Perovskite Solar Cells by Electrical Transients
3. 学会等名 MRM(Materials Research Meeting) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qing Shen
2. 発表標題 Phase Stable and Less-Defect Perovskite Quantum Dots:Optical Property, Photoexcited Carrier Dynamics and Application to Solar Cells
3. 学会等名 MRS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Qing Shen
2. 発表標題 Phase Stable and Less-Defect Perovskite Quantum Dots: Optical Property, Photoexcited Carrier Dynamics, and Application to Solar Cells
3. 学会等名 PVSEC-30 & GPVC 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Qing Shen, Feng Liu, Chao, Ding and Yaohong Zhang
2. 発表標題 Phase Stable and Less-Defect Perovskite Quantum Dots: Optical Property, Photoexcited Carrier Dynamics, and Application to Solar Cells
3. 学会等名 PRiME 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 中村眞子, 丁超, 張紅耀, 劉鋒, 豊田太郎, 早瀬修二, 沈青
2. 発表標題 The effects of ZnMgO passivation on the photoluminescence of ZnO Nanowires
3. 学会等名 MRMフォーラム2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 中村眞子, 丁超, 張紅耀, 劉鋒, 豊田太郎, 早瀬修二, 沈青
2. 発表標題 Surface passivation effect of ZnO nanowire using ZnMgO
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 川畑 健大朗, 劉 峰, 張 耀紅, 豊田 太郎, 早瀬 修二, 沈 青
2. 発表標題 錫と鉛の混晶比によるCsSnxPb1-xBr3ペロブスカイトナノ結晶の光物性と光励起キャリアダイナミクスの変化
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Kentaro Kawabata ,Feng Liu , Chao Ding , Yaohong Zhang , Qing Shen , Shuzi Hayase , Taro Toyoda
2. 発表標題 Colloidal Synthesis of Air-Stable Alloyed CsSn1 - xPbxI3 Perovskite Nanocrystals for Use in Solar Cells
3. 学会等名 International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics (IPEROP20) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 矢嶋 祥太, 川畑 健大朗, 劉 鋒, 張 耀紅, 丁 超, 豊田 太郎, 早瀬 修二, 沈 青
2. 発表標題 APbBr3ペロブスカイトナノ結晶の光物性と光励起キャリアダイナミクスおよび安定性
3. 学会等名 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 川畑 健大朗, 劉 鋒, 張 耀紅, 丁 超, 豊田 太郎, 早瀬 修二, 沈 青
2. 発表標題 CsSnxPb1-xBr3ペロブスカイト量子ドット(QD)の光物性と光励起キャリアダイナミクス
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小栗直己, 丁超, 豊田太郎, 早瀬修二, 沈青
2. 発表標題 PbS/CdSコアシェル型量子ドットの電荷分離ダイナミクス
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～2021年

1. 発表者名 小栗直己, 朝倉良太, 丁超, 豊田太郎, 早瀬修二, 沈青
2. 発表標題 PbS量子ドット膜の光励起キャリアダイナミクスの粒径依存性
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 2020年～2021年

1. 発表者名 小栗直己, 丁超, 豊田太郎, 早瀬修二, 沈青
2. 発表標題 Change in photoexcited carrier dynamics of PbS quantum dots by the CdS surface passivation
3. 学会等名 MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021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	早瀬 修二 (Hayase Shuzi) (80336099)	電気通信大学・i - パワードエネルギー・システム研究センター・特任教授 (12612)	

6. 研究組織（つづき）

	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	豊田 太郎 (Toyoda Taro) (40217576)	電気通信大学・その他部局等・名誉教授 (12612)	

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