

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14195

研究課題名（和文）集合性有機色素による量子ドットの自己集合制御

研究課題名（英文）Self-assembly control of quantum dots by assembling organic dyes

研究代表者

山内 光陽 (Yamauchi, Mitsuaki)

関西学院大学・理工学部・助教

研究者番号：20802226

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、有機分子であるペリレンビスイミドの自己集合を利用することで、量子ドット（ナノサイズの半導体）を配列させることに初めて成功した。有機分子として水素結合部位をもつアゾベンゼン誘導体を用いた系では、量子ドットとアゾベンゼン誘導体が高秩序に配列することが明らかになった。さらに、この配列構造に光を照射することで配列構造が変化し、それにより発光強度が増加することを見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、これまで困難とされていた「量子ドット（ナノサイズの半導体）を並べること」における新たな指針を提示することが出来た。この手法を応用することで、高秩序なハイブリッド材料の作製が可能となり、より高性能・高機能な発光・光電子材料の開発に繋がる。以上より、本研究成果は、材料科学の発展のための重要な知見であると言える。

研究成果の概要（英文）：In this work, we succeeded in the arrangement of quantum dots (nano-sized semiconductors) by using self-assembly of perylene bisimide organic molecules. Furthermore, in the system using azobenzene derivatives with a hydrogen-bonding moiety, we revealed the formation of the highly ordered arrangements of quantum dots and azobenzene derivatives. In addition, we found that the arranged structures can be changed by the photoirradiation, leading to an increase in photoluminescence intensity.

研究分野：超分子化学

キーワード：量子ドット 有機色素 超分子化学 自己集合 有機無機ハイブリッド

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

数 nm の粒径をもつコロイド状半導体ナノ結晶は量子ドットと呼ばれ、単独で卓越した発光・光電子特性を示し、その発光波長は粒径に依存するため発光色が容易に調節できるスマートマテリアルである。粒径の揃った量子ドットの合成法が確立して以来、量子ドットは国内外で活発に研究されるようになり、レーザー素子、光検出器、太陽電池等の光電子デバイスに応用できると注目されている。それらのデバイス性能は、量子ドットが最終的に形成する集合構造に強く依存するため、材料レベルで量子ドットの特異な物性を最大限に発揮するためには、集合構造の制御は極めて重要である。しかしながら、量子ドットの集合構造を精密に制御した例は非常に少ない。これは、量子ドットは球状のため異方性がなく、量子ドット単独の相互作用のみでは秩序だった集合構造が形成され難いためである (図 1)。その結果、単独の量子ドットの発光・光電子特性は詳細に調べられているのに対して、集合した量子ドットの集合構造由来の物性はほとんど明らかになっていないのが現状である。



図 1. 量子ドットの集合

2. 研究の目的

本研究では、水素結合や π - π スタッキング相互作用などの非共有結合を利用した“超分子的アプローチ”を量子ドットに適応させることで、これまでに注目されてこなかった量子ドットの自己集合を達成し、規則的に配列した複数の量子ドットから成る新奇ナノ構造体の作製手法を構築することが目的である。さらに、形成された量子ドット集合体の発光・光電子特性を精査し、集合構造と物性の相関関係を解明する。

量子ドットの集合構造が構築できれば、単独の量子ドットとは全く異なった発光・光電子特性の創出が見出され、これまでに無いナノ材料の開発が期待できる。このような有機低分子と量子ドットの融合による集合構造の制御方法は、金属ナノ粒子、有機ナノ結晶、ポリマー粒子等のナノ粒子材料における緻密な集合制御の指針となり、より高度な秩序性を持った機能性ナノ材料の更なる創出に貢献できる。

3. 研究の方法

本研究では、量子ドットの表面に集合性有機色素を導入することで、自己集合し秩序だったナノ構造が形成されるかを明らかにする。すなわち、量子ドットの自己集合が進行する条件を最適化し、「分子構造→集合プロセス→集合構造」の相関関係を徹底的に精査する。そのため、自己集合性の有機分子を合成し、その有機分子と量子ドットを低極性溶媒中で混合させ、集合構造の構築を試みる。その際、透過型電子顕微鏡 (TEM) によりナノ構造を明らかにする。量子ドットの自己集合に成功した後は、量子ドット集合体の光物性特性を各種分光測定、および発光寿命測定により明らかにする。これにより、未だかつて調査されてこなかった量子ドット集合体の物性を解明する。

4. 研究成果

(1) ペリレンビスイミド—量子ドットの配列構造の構築

有機色素であるペリレンビスイミド (PBI) の優れた自己集合能を利用して、量子ドットを配列させることを目的とし研究を遂行してきた。まず、粒径 3 nm の CdSe/ZnS 量子ドット及び、量子ドットへの吸着部位であるチオール基を両端に有する PBI 誘導体を合成した (図 2)。クロロホルム中でこれらを混合すると、時間変化に伴い、PBI が量子ドットの表面に吸着することが吸収・発光スペクトルにより明らかになった。この時間変化を詳細に解析することで、吸着メカニズムを明らかにした。これらを低極性溶媒中で混合すると、PBI が π - π スタッキングによりシート状に自己集合し、その周りに量子ドットが配列していることが透過型電子顕微鏡 (TEM) により明らかになった。これにより、有機分子の自己集合能を利用して量子ドットを配列できることを初めて実証した。さらに詳細な TEM 観察により、混合直後は量子ドットが非配列であったが、1 時間後には配列することが見出された。これにより、初めに速度論的に形成した集合体が時間経過に伴い熱力学的に安定な集合体へ変化することが分かった。

以上の研究成果は論文として発表済みである (*Chem. Eur. J.*, **2019**, *25*, 167–172)。加えて、本研究に関するレビュー誌も発表した (*Chem. Eur. J.*, **2020**, *26*, 7176–7184.)。

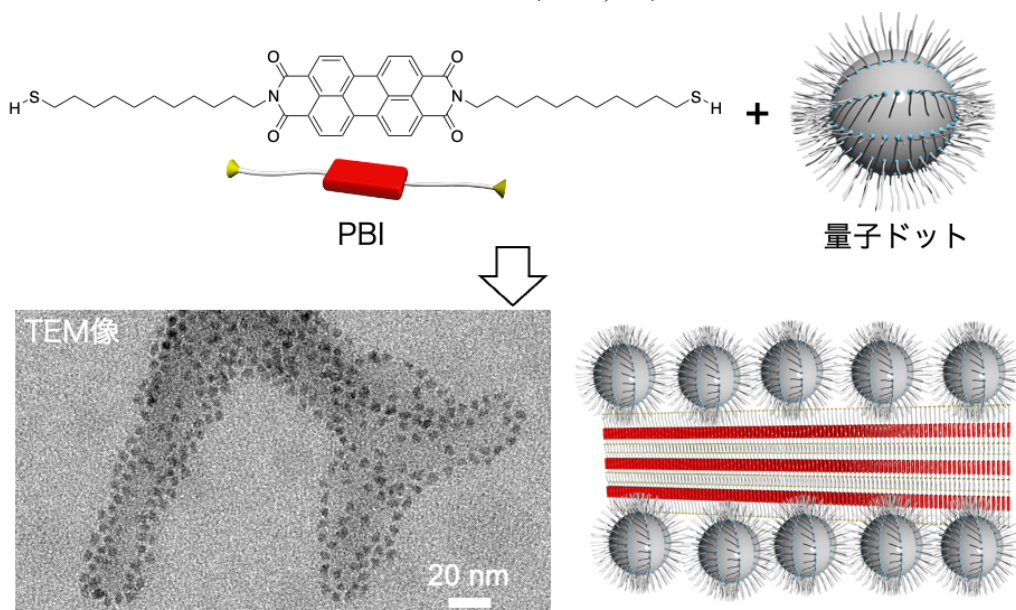


図 2. PBI と量子ドットの共集合

(2) アゾベンゼン—CdSe 量子ドットの配列構造の構築と光応答性

量子ドットとの吸着部位 (アミノ基) をもつアゾベンゼン誘導体、および 3 nm の CdSe 型量子ドットを低極性溶媒中で混合することで、アゾベンゼンと量子ドットが高秩序に配列したハイブリッド集合構造が形成されることを初めて見出した (図 3)。この系では、量子ドット集合体が形成されることで量子ドット間のエネルギー移動が観測され、量子ドット配列構造由来の光物性の解明に成功した。さらに、アゾベンゼンのもつ「光照射によって構造変化 (光異性化) する」特徴を活かすことで、配列構造やその構造由来の発光特性を光で制御できることも実証した。従って、量子ドットに光応答性を付与することで、量子ドットの配列・光物性を光で制御可能であることを見出した。

次に、量子ドットの粒径が配列構造に与える影響を明らかにするために、比較的粒径の大きい CdSe 量子ドット (5 nm) を合成し、配列を試みた。その結果、この条件下でも高秩序な配列構造が形成されることが明らかになった。さらに、アゾベンゼンと量子ドットの混合直後からの時間変化発光スペクトル測定により、配列過程の詳細が明らかになった。

以上の研究成果は論文として発表済みである (*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2021**, *60*, 6473–6479; *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2021**, *in press*)。

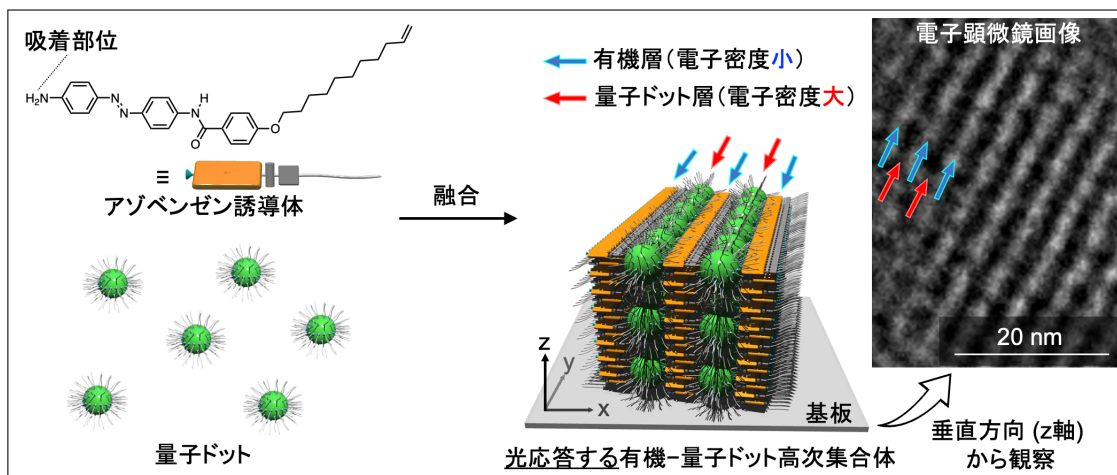


図 3. アゾベンゼンと量子ドットの共集合

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 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Usui Ryosuke, Yamauchi Mitsuaki, Ishibashi Yukihide, Tsutsumi Osamu, Asahi Tsuyoshi, Masuo Sadahiro, Tamai Naoto, Kobayashi Yoichi	4. 巻 123
2. 論文標題 Kinetically and Thermodynamically Controlled Nanostructures of Perylene-Substituted Lophine Derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10145 ~ 10152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b01391	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 Yamauchi Mitsuaki, Yokoyama Kosuke, Aratani Naoki, Yamada Hiroko, Masuo Sadahiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Crystallization Induced Emission of Azobenzene Derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 14173 ~ 14178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201908121	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 Kato Shohei, Akahori Shuhei, Serizawa Yuma, Lin Xu, Yamauchi Mitsuaki, Yagai Shiki, Sakurai Tsuneaki, Matsuda Wakana, Seki Shu, Shinokubo Hiroshi, Miyake Yoshihiro	4. 巻 85
2. 論文標題 Systematic Synthesis of Tetrathia[8]circulenes: The Influence of Peripheral Substituents on the Structures and Properties in Solution and Solid States	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 62 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b01655	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 Yoshimura Hiroyuki, Yamauchi Mitsuaki, Masuo Sadahiro	4. 巻 11
2. 論文標題 In Situ Observation of Emission Behavior during Anion-Exchange Reaction of a Cesium Lead Halide Perovskite Nanocrystal at the Single-Nanocrystal Level	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 530 ~ 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b03204	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 Yamauchi Mitsuaki, Masuo Sadahiro	4. 巻 26
2. 論文標題 Self Assembly of Semiconductor Quantum Dots using Organic Templates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 7176 ~ 7184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201905807	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 Yamauchi Mitsuaki, Masuo Sadahiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Colloidal Quantum Dot Arrangement Assisted by Perylene Bisimide Self Assembly	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 167 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201805119	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 Yamauchi Mitsuaki, Miyamoto Yuya, Suzuki Mitsuharu, Yamada Hiroko, Masuo Sadahiro	4. 巻 21
2. 論文標題 Photoconversion of 6,13- -diketopentacene single crystals exhibiting light intensity-dependent morphological change	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 6348 ~ 6353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP06594B	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 Yamauchi Mitsuaki, Fujiwara Yuka, Masuo Sadahiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Slow Anion-Exchange Reaction of Cesium Lead Halide Perovskite Nanocrystals in Supramolecular Gel Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 14370 ~ 14375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c00880	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 Yano Nanoka, Yamauchi Mitsuaki, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Masuo Sadahiro	4. 巻 124
2. 論文標題 Photoluminescence On/Off Switching of a Single Colloidal Quantum Dot Using Photochromic Diarylethene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17423 ~ 17429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c05030	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 Darmawan Yoshua Albert, Yamauchi Mitsuaki, Masuo Sadahiro	4. 巻 124
2. 論文標題 In Situ Observation of a Photodegradation-Induced Blueshift in Perovskite Nanocrystals Using Single-Particle Spectroscopy Combined with Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18770 ~ 18776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c04923	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 Yamauchi Mitsuaki, Yamamoto Seiya, Masuo Sadahiro	4. 巻 60
2. 論文標題 A Highly Ordered Quantum Dot Supramolecular Assembly Exhibiting Photoinduced Emission Enhancement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6473 ~ 6479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202015535	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42件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 竹村航輝、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 三元系量子ドットの合成と単一レベルにおける発光挙動評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2019年度 第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 幸輔, 山内 光陽, 増尾 貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン-ピレンダイアドの結晶化誘起発光
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2019年度 第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬冬馬、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 Snを含有したCsPbBr ₃ ペロブスカイト量子ドットの合成と発光挙動評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2019年度 第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン - 量子ドットからなる超分子構造の構築と光応答性の評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2019年度 第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川高輝、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 銀被膜AFMチップを用いた単一ペロブスカイトナノ結晶の発光挙動制御
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 2019年度 第1回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 超分子的アプローチによるコロイド状量子ドットの配列制御
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. A. Darmawan, M. Yamauchi, S. Masuo
2. 発表標題 Direct observation of light-induced degradation process of single CsPbBr ₃ perovskite quantum dots using AFM and single molecule spectroscopy
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川高輝、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 銀被覆AFMチップによる単一CdSe/CdS量子ドットの発光光子数制御
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花瀬勇貴、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 ジャイアントCdSe/CdS量子ドットの発光における偏光もつれ光子対の検証
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬冬馬、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 MAPbBr ₃ ペロブスカイト結晶の発光挙動におけるサイズ依存性
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹村航輝、岩本和奏、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 単一粒子分光測定による三元系半導体量子ドットの発光挙動評価
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼンの自己集合を利用した量子ドット超分子構造の構築
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山幸輔、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン誘導体の結晶化誘起発光
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 超分子的アプローチによる半導体量子ドットの配列制御
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 竹村航輝、岩本和奏、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 三元系量子ドットの合成と単一粒子分光による発光挙動評価
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 横山幸輔、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン誘導体における結晶化誘起発光の制御
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 M. Yamauchi, S. Masuo
2. 発表標題 Arrangement of colloidal quantum dots by self-assembly of perylene bisimide
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン-量子ドットの超分子構造の構築とその光応答性
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山幸輔、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン-ピレンダイアドの結晶化誘起発光
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン-量子ドット共集合体の動的な形成およびその光制御
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬冬馬、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 CH ₃ NH ₃ PbBr ₃ ペロブスカイト結晶のサイズと発光挙動の相関
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内光陽, 横山幸輔, 増尾貞弘
2. 発表標題 ピレン-アゾベンゼン誘導体の結晶化誘起発光
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内光陽, 増尾貞弘
2. 発表標題 超分子アプローチによる量子ドット集合体の光制御
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山内光陽, 増尾貞弘
2. 発表標題 発光性アゾベンゼン結晶の光応答性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshua AlbertDARMAWAN, Mitsuaki YAMAUCHI, Sadahiro MASUO
2. 発表標題 Investigation of Photo-degradation Induced Blue-shift in Single Perovskite Quantum Dots Using AFM and Single-particle Spectroscopy
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒瀬冬馬、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 有機無機ハイブリッドペロブスカイトナノ結晶の発光挙動におけるサイズ依存性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹村航輝、岩本和奏、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 三元系半導体ナノ粒子の作製と発光特性の評価
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 光制御可能な量子ドット超分子集合体の構築
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山幸輔、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン誘導体における結晶化誘起発光挙動
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡治美穂、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 ナフタレン連結アゾベンゼン誘導体における結晶化誘起発光の光制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保直輝、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 有機分子の自己集合に基づくペロブスカイト量子ドット超分子構造の構築
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高瀬宏人、千田雛子、山内光陽、田和圭子、増尾貞弘
2. 発表標題 プラスモニックナノ構造を用いた単一CdSe/ZnS量子ドットの発光挙動の制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多鹿祐貴、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 CsPbBr ₃ ペロブスカイトナノ結晶におけるハロゲン交換反応の速度論的解明
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松永花穂、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 量子ドット - 有機色素間のエネルギー移動 - 単一レベルでの解明 -
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門司悠佑、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 量子ドット表面上におけるペリレンビスイミドの自己集合制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuaki Yamauchi, Sadahiro Masuo
2. 発表標題 Control over Supramolecular Arrangement of Semiconductor Nanocrystals by Self-Assembly of Organic Dye
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 幸輔, 山内 光陽, 増尾 貞弘
2. 発表標題 アゾベンゼン-ピレンダイアドにおける結晶化誘起発光の構築
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本聖也、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 光によるアゾベンゼン - 量子ドット複合体の超分子構造制御
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原由佳、山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 ペロブスカイト量子ドットの超分子ゲル化とハロゲン交換による発光色制御
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 ペリレンビスイミドの自己集合を利用した量子ドット配列の制御
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内光陽、増尾貞弘
2. 発表標題 有機色素の自己集合による半導体ナノ結晶の配列制御
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内 光陽、山本 聖也、増尾 貞弘
2. 発表標題 分子集合を鍵とした量子ドットの高次配列
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 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
---------------------------	-----------------------	----

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