

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19128

研究課題名（和文）ヘテロ接合量子ドットを用いる超高効率デバイス開発

研究課題名（英文）Fabrication of highly efficient photofunctional devices with heterojunctioned quantum dots

研究代表者

鳥本 司（Torimoto, Tsukasa）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：60271029

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：光キャリアに影響を及ぼすような欠陥準位が少ない高品質な低毒性多元量子ドットの合成法を確立した。さらにその組成制御を高精度に行い、多元量子ドットの電子エネルギー構造を精密制御した。得られた量子ドットの発光特性、光電気化学特性、光触媒活性を評価することで、量子ドットの粒子形状、組成、電子エネルギー構造が及ぼす影響を解明した。これらの結果は、本研究で得た低毒性量子ドットが、実用化可能な光機能材料として有用であることを示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低毒性なI-III-VI族元素をベースとする多元半導体量子ドットを液相化学合成法により作製した。さらに異なる半導体と接合させる、あるいは多元量子ドットの粒子組成を空間的に変調させることによって、粒子内部にヘテロ接合を形成させ、多元量子ドットの光化学特性を大きく向上することができた。本研究で開発した新規な低毒性多元量子ドットは、実用化が可能な材料であり、様々な分野での利用が期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed a solution-phase method for synthesizing high-quality multinary quantum dots (QDs) composed of less toxic elements, in which harmful defect sites for photo-generated charge carriers were mostly eliminated. Furthermore, the chemical compositions of QDs were precisely controlled to tune their electronic energy structures. The obtained QDs exhibited photoluminescence properties, photoelectrochemical properties, and photocatalytic activities, being dependent on the sizes and shapes of QDs and their chemical compositions. These results indicate that less-toxic multinary quantum dots obtained in this study are useful as photo-functional materials in practical applications.

研究分野：電気化学

キーワード：量子ドット 発光材料 光電気化学 光触媒 多元半導体 I-III-VI族

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サイズが約 10nm 以下の量子ドットは、その形状やサイズ、組成によってその電子エネルギー構造が変化する。エネルギーギャップ(Eg)よりも大きなエネルギーを持つ光子を吸収することによって生じたホットキャリアの寿命がバルク材料よりも非常に長く、さらに Eg よりも 2 倍以上大きなエネルギーの光子(青色光~紫外光)を 1 つ吸収することによって粒子内部に複数の電子-正孔対を生成するマルチエキシトン生成の確率がバルク半導体よりも大きくなる。これらの非線形現象を利用して、超高効率な量子ドット太陽電池(理論変換効率 40%)の開発が活発に行われている。また、量子ドットとは異なる金属・半導体を接合させてヘテロ接合を形成させると、その界面に生じる電場勾配によって量子ドット内部に生じた光キャリアの移動方向を制御することが可能になる。

現在、研究対象となっている量子ドットは、主に CdSe, CdTe, PbS などの二元化合物半導体からなる量子ドットである。これは、高品質な二元量子ドットの合成方法が確立され実験室での合成が容易であること、いくつかの試薬メーカーから市販されており入手が容易であることが大きな理由である。二元量子ドットを用いる実用的な機能デバイスの開発が活発に行われているものの、高い毒性の金属(Cd や Pb)を含むために広範囲な利用ができず、従来の二元量子ドットの大きな欠点となっている。

いっぽう私たちは、低毒性元素からなる ZnS-AgInS₂ 固溶体半導体(ZAIS)をナノ粒子化することで、高効率で発光する多元量子ドットを作製することにすでに成功した。この ZAIS 量子ドットは、可視~近赤外光領域にエネルギーギャップ(Eg)をもち、その値は粒子サイズと固溶体組成により制御できた。ZAIS 量子ドットの光機能は粒子形状に依存し、球、ロッド、ライス形状をもつものの中ではロッド形状 ZAIS 量子ドットが最も高い光触媒活性を示した。しかしながら、ZAIS 量子ドットの発光ピークは、欠陥発光に由来する非常にブロードなものであり、粒子内部に比較的多くの欠陥準位を持つことが示唆されており、欠陥準位の少ない高品質な多元量子ドットが強く望まれている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、私たちが独自に開発した低毒性元素からなる多元量子ドットを基盤材料とし、光キャリアに影響を及ぼす欠陥準位が非常に少ない高品質な量子ドットの合成法を確立する。さらに、多元半導体からなるという特徴を利用し、粒子サイズ・形状の制御とともにその組成制御を高精度に行い、多元量子ドットの電子エネルギー構造を精密制御する。得られた多元量子ドットの発光特性と光電気化学特性に及ぼす、粒子形状、組成、電子エネルギー構造の影響を詳細に評価し、光機能材料としての有用性を見出す。さらに、多元量子ドットの粒子組成を空間的に変調させて粒子内部にヘテロ接合を形成させ、光触媒活性の高活性化を目指す。

3. 研究の方法

従来の二元量子ドットに比べて、低毒性元素からなる多元量子ドットの高品質化は難しい。これは、二元量子ドットの特性がその粒子サイズ・形状よってのみ変化するのに対して、多元量子ドットでは粒子組成によっても変化するために、増えた元素の数だけ精密制御が困難となるためである。高品質な多元量子ドットの合成条件を効率よく探索するために、私たちはヒートイングアップ法を採用し、小さな反応スケールでの前駆体の熱分解反応によって多元量子ドットを作製した。各組成の量子ドットの液相合成法を以下に示す。

(1) Ag-In-Ga-S(AIGS)量子ドットの合成と GaS_x シェル被覆によるコア・シェル化

AIGS 量子ドットは、様々な In/Ga 仕込み比で対応する金属塩とチオ尿素を、ドデカンチオールとオレイルアミンの混合溶媒に添加し、250~300 °C で熱分解することで作製した。この量子ドットをコアとし、オレイルアミン中でガリウムアセチルアセトナートとチオ尿素とともに 300 °C で加熱することで粒子表面にシェルを形成させ、AIGS コア・GaS_x シェル量子ドット(AIGS@GaS_x)をえた。

(2) Ag-In-Ga-Se(AIGSe)量子ドットの合成と GaS_x シェル被覆によるコア・シェル化

前駆体金属塩、セレノウレアを 1-ドデカンチオール/オレイルアミン混合溶媒で 150 °C で 10 分、250~300 °C で 10 分間加熱することで AIGSe 量子ドットを作製した。さらに、(1)と同様の手法で、GaS_x シェルを形成させて AIGSe コア・GaS_x シェル量子ドット(AIGSe@GaS_x)をえた。

(3) ロッド形状 Zn-Ag-In-Te(ZAlTe)量子ドットの合成

ZAlTe 量子ドットは、対応する金属酢酸塩とトリオクチルホスフィンに溶解させたテルルを 1-ドデカンチオールに加え、180 °C で 180 分間加熱して作製した。得られた粒子を単離・精製し、オクタンに溶解させた。

(4) Zn-Ag-In-Se(ZAlSe)量子ドットの合成と形状制御

ZAlSe 量子ドットは、対応する金属酢酸塩とセレノウレアをオレイルアミンおよび 1-ドデカンチオール(DDT)の混合溶媒中に溶解させ、100~250 °C で熱分解することによって合成した。このとき、混合溶媒中の金属前駆体比を変化させることで、得られる量子ドットの固溶体組成を制御した。

4. 研究成果

(1) AIGS 量子ドットおよびコア・シェル構造 AIGS@GaS_x 量子ドットの光化学特性

前駆体の仕込み比を Ag/In=1.0 として作製した AgInS₂ 量子ドットは、820 nm 付近に欠陥由来の発光ピークのみを示したが、前駆体の仕込み比を Ag/In=0.67 として作製した量子ドットでは、700 nm 付近の欠陥発光ピークに加えて 590 nm に強いバンド端発光を示した。これは、Ag/In 比の最適化によって、粒子内部の欠陥準位のほとんどが除去されたためである。さらに、より E_g の大きな半導体である GaS_x で被覆することで、Type-I のヘテロ接合をもつコア・シェル構造 AgInS₂@GaS_x 量子ドットを作製した (GaS_x シェル膜厚：約 1 nm)。得られた量子ドットは欠陥発光をほとんど示さず、バンド端発光のみを示した。これは、残存する表面欠陥準位が GaS_x シェル被覆により除去されたことによる。さらに、コア粒子に Ga をドーピングして AIGS 量子ドットとすると、Ga ドープ量が増大するにつれて、量子ドットの E_g は 2.1 eV から 2.6 eV へと増大した。得られたコア・シェル構造 AIGS@GaS_x 量子ドットは、いずれもシャープなバンド端発光を示し、その発光波長は Ga ドープ量によって 500 ~ 620 nm の間で自在に制御できた。

このように、コアとなる AIGS 量子ドットの Ag/In 比を最適化するとともに Ga/In 比を変調し、さらに粒子表面を GaS_x シェルで被覆することによって Type-I ヘテロ接合を形成させることで、鋭いバンド端発光を示す高品質な低毒性多元量子ドットを作製することに成功した。この粒子は、将来のオプトエレクトロニクス素子の開発に大いに役立つと期待される。

(2) コア・シェル構造 AIGSe@GaS_x 量子ドットの合成とバイオイメージングへの応用

前駆体仕込み Ag/In = 0.67 で作製すると、AIGSe 量子ドットは 820 nm にシャープなバンド端発光のみを示した。これはアンチサイトに存在する Ag⁺ が過剰な In³⁺ で除去され、Ag⁺ 欠陥準位生成が抑制されたためである。Ag-In-Se 量子ドットに Ga をドーピングすると、AIGS 量子ドットの場合と同じように、得られた AIGSe 量子ドットの E_g は Ga ドープ量の増加とともに増大した。さらに、粒子表面を GaS_x シェルで被覆して Type-I ヘテロ接合を形成させると、粒子表面欠陥サイトが除去されて、発光量子収率が増大した。Ga ドープ量が増加して E_g が増大すると、バンド端発光ピークが 890 から 630 nm へと短波長シフトした。コア・シェルナノ粒子の HAADF-STEM 観察から、AIGSe コアがほぼ仕込み組成通りの金属組成をもつ固溶体であることがわかった。また、量子ドット表面には Ga と S を多く含む非晶質なシェル層 (膜厚 0.3 nm) が形成されていた。生体イメージング材料への可能性を探るために、生体をよく透過する光波長領域に発光ピークをもつ AIGSe@GaS_x 量子ドット (発光波長：800 nm) をミセル化し、その少量の溶液をマウスの皮下に導入した。体外からでも量子ドットの発光が十分に強い強度で確認でき、生体イメージング可能であった。

このように、Ag-In-Se 量子ドットにおいても、Ga ドーピングにより近赤外光領域で E_g を自在に制御できた。さらに得られた量子ドットは強いバンド端発光を示し、生体イメージング剤として利用可能であることを明らかにした。

(3) ロッド形状 ZAlTe 量子ドットのホットキャリア生成による光電気化学特性の変化

金属酢酸塩の仕込み比を変化させて合成した ZAlTe 量子ドットは、いずれの場合にも長軸径 16 nm、短軸径 4 nm のロッド形状であった。XRD 測定から、六方晶 ZnTe に近づくように高角度側へシフトしたことから、得られたロッド形状量子ドットは ZnTe-AgInTe₂ 固溶体からなり、その組成は合成時の金属仕込み比によって制御できることがわかった。ZAlTe 量子ドットの吸収スペクトルの立ち上がり波長は、Zn 含有率の増加によって 1030 から 760 nm へと短波長シフトし、その発光ピーク波長も同様に短波長シフトした。ストークスシフトがいずれの粒子組成でも非常に小さいことから、ZAlTe 量子ドットの発光はバンド端発光であることがわかる。しかし、Zn 含有量を非常に多くすると、バンド端発光ピークよりも長波長側に強い欠陥発光が観測され、結晶欠陥が増加することが示唆された。これに伴い、ZAlTe 量子ドットの発光量子収率は、AgInTe₂ 量子ドットのときの 46% から、0.36% へと大きく減少した。

ZAlTe 量子ドットを単粒子層の厚さで担持した ITO 電極に光照射をすると、Zn 含有率に関わらず、いずれの量子ドットにおいてもカソード光電流を生じ、p 型半導体類似の特性を示した。光電流の作用スペクトルは、立ち上がり波長付近では量子ドットの吸収スペクトルと一致したものの、約 500 nm 以下の短波長側では吸収スペクトルよりも大きく増加して非線形的な応答を示した。ZAlTe 量子ドットの過渡吸収スペクトル測定から、高エネルギー光子 1 個の吸収では ZAlTe 量子ドット中に多数励起子が生成しないが、高エネルギーの光励起電子および正孔のホットキャリア移動が効率よく起こることを確認した。これらのことから、ZAlTe 量子ドットの光電流生成において、照射光がより短波長になるとホットキャリアが効果的に ITO 電極へと注入されたことが示唆される。このように、ZAlTe 量子ドットは、固溶体組成を制御することで吸収・発光特性と電子エネルギー構造を制御することができ、高効率でホットキャリア移動が生じるので、近赤外発光材料や太陽電池の光吸収材料への利用が期待される材料である。

(4) ZAlSe 量子ドットの形状に依存して変化する光触媒活性

オレイルアミン中での反応により、球状 ZAlSe 量子ドットが生成した。Zn 含有率を増加させ

ると、粒子サイズは 5.2 nm から 3.2 nm へとわずかに減少し、吸収端波長は 900 nm から 430 nm へと短波長シフトした。いずれの組成の ZAlSe 量子ドットも欠陥準位に由来するブロードな発光ピークを示し、 E_g の増加とともにその発光ピーク波長は 850 nm から 550 nm へと端波長シフトした。大気中光電子スペクトル測定より電子エネルギー構造を求めると、いずれの組成の量子ドットにおいても伝導帯位置は水素発生電位よりも負電位側に位置しており、さらにその値は Zn 含有率の増加とともにより負電位側にシフトした。ZAlSe 量子ドットを光触媒として用い、水素発生反応に対する光触媒活性を測定したところ、組成に対して火山型の依存性を示し、全金属原子に対する Zn 原子の割合が 50% の組成の ZAlSe 量子ドットで最大の活性を示した。さらに、光触媒活性の作用スペクトルでは、波長 400~700 nm の全可視光領域に対して光触媒活性を示した。水素発生光触媒反応に対する量子効率是比较的高く、波長 600 nm および 700 nm の単色光照射において、それぞれ 3.4% および 1.7% であった。

いっぽう、量子ドット合成時にドデカンチオールを添加すると、粒子形状が変化してロッド形状 ZAlSe 量子ドットが生成した。その長軸は Zn 含有量の増加とともに 10 nm から 100 nm へと増加したが、短軸は組成に関わらず 4~7 nm とほぼ一定であった。球状量子ドットと同様に、Zn 含有率が增大すると E_g が増加するため、ロッド形状 ZAlSe 量子ドットの吸収端波長は 900 nm から 500 nm へと短波長シフトした。HADF-STEM 観察から、ZAlSe ロッド粒子は粒子内部に結晶粒界がなく単結晶からできていることがわかった。しかし、粒子組成はロッドの長軸に沿って変化し、Zn 含有率がロッドの両端で大きく異なった。ZAlSe 量子ドットの E_g が粒子組成によって大きく変化することを考えると、粒子内部での E_g 差によって Type-II ヘテロ接合が生じ、ロッドの長軸方向に大きな電場勾配が存在することが示唆される。ロッド形状 ZAlSe 量子ドットの水素発生反応に対する光触媒活性を評価したところ、同じ組成をもつ球状量子ドットよりも約 2 倍ほど大きな触媒活性を示した。これは、ロッド形状粒子の表面に露出した結晶面に結晶欠陥が少ないこと、および粒子内部の電場勾配によりロッド長軸に沿った効率的な光電荷分離が生じたことによると考えられる。

以上のように、低毒性な I-III-VI 族元素をベースとする多元半導体量子ドットを液相化学合成法により作製し、反応条件を制御することによって、粒子組成、サイズおよび形状を精密に制御することができた。さらに、得られた量子ドットを異なる半導体と接合させる、あるいは多元量子ドットの粒子組成を空間的に変調させることによって、粒子内部にヘテロ接合を形成させることに成功した。それにより生じる電場勾配によって光生成キャリアの移動方向が変調され、多元量子ドットの光化学特性が大きく変化することを見出した。本研究で開発した新規な低毒性多元量子ドットは、その光特性が幅広い波長領域で自在に制御可能であることから、新たな光機能材料として様々な分野での利用が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9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 Tatsuya Kameyama, Marino Kishi, Chie Miyamae, Dharmendar Kumar Sharma, Shuzo Hirata, Takahisa Yamamoto, Taro Uematsu, Martin Vacha, Susumu Kuwabata, and Tsukasa Torimoto	4. 巻 10
2. 論文標題 Wavelength-Tunable Band-Edge Photoluminescence of Nonstoichiometric Ag-In-S Nanoparticles via Ga ³⁺ Doping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 42844-42855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b15222	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 Taro Uematsu, Kazutaka Wajima, Dharmendar Kumar Sharma, Shuzo Hirata, Takahisa Yamamoto, Tatsuya Kameyama, Martin Vacha, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata	4. 巻 10
2. 論文標題 Narrow band-edge photoluminescence from AgInS ₂ semiconductor nanoparticles by the formation of amorphous III-VI semiconductor shells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NPG Asia Mater.	6. 最初と最後の頁 713-726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-018-0067-9	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 Wataru Minoshima, Ryuya Ito, Takayuki Takiyama, Tatsuya Kameyama, Tsukasa Torimoto, and Keiko Tawa	4. 巻 367
2. 論文標題 Photoluminescence characterization of ZnS-AgInS ₂ (ZAIS) nanoparticles adsorbed on plasmonic chip studied with fluorescence microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A: Chem.	6. 最初と最後の頁 347 ~ 354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2018.08.032	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 Yasutaka Suzuki, Shozo Onishi, Kazuya Matsumoto, Takayuki Takiyama, Tatsuya Kameyama, Tsukasa Torimoto, and Jun Kawamata	4. 巻 47
2. 論文標題 Two-photon absorption spectrum of solid solution nanocrystals of ZnS-AgInS ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1475-1477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180718	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 Tatsuya Kameyama, Kouta Sugiura, Susumu Kuwabata, Tomoki Okuhata, Naoto Tamai, and Tsukasa Torimoto	4. 巻 5
2. 論文標題 Enhanced Photoelectrochemical Properties of Zn-Ag-In-Te Nanocrystals with High Energy Photon Excitation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 1028-1035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201900241	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 Kohei Kumagai, Taro Uematsu, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata	4. 巻 21
2. 論文標題 Direct Surface Modification of Semiconductor Quantum Dots with Metal-Organic Frameworks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 5568-5577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ce00769e	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 Watcharaporn Hoisang, Taro Uematsu, Takahisa Yamamoto, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata	4. 巻 9
2. 論文標題 Core Nanoparticle Engineering for Narrower and More Intense Band Edge Emission from AgInS ₂ /GaS _x Core/Shell Quantum Dots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano9121763	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 Masayoshi Ichimiya, Tatsuya Kameyama, Tsukasa Torimoto, Taro Uematsu, Susumu Kuwabata, Masaaki Ashida	4. 巻 14
2. 論文標題 Temperature Dependences of Photoluminescence Intensities Observed from AgInGaS and AgInGaS/GaS _x Core-Shell Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 16010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JNP.14.016010	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 Tatsuya Kameyama, Hiroki Yamauchi, Takahisa Yamamoto, Toshiki Mizumaki, Hiroshi Yukawa, Masahiro Yamamoto, Shigeru Ikeda, Taro Uematsu, Yoshinobu Baba, Susumu Kuwabata, and Tsukasa Torimoto	4. 巻 3
2. 論文標題 Tailored Photoluminescence Properties of Ag(In,Ga)Se ₂ Quantum Dots for Near-Infrared In Vivo Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 3275-3287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10. 1021/acsanm. 9b02608	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 鳥本司, 亀山達也, 上松太郎, 桑畑進	4. 巻 74
2. 論文標題 高性能な“低毒性”量子ドットを開発!	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 44-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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6件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Torimoto, S. Koyama, T. Kameyama
2. 発表標題 Preparation of Dumbbell-Shaped Nanocrystals Composed of ZnS-AgInS ₂ Solid Solution and Their Photocatalytic H ₂ Evolution Activity
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kameyama, S. Koyama, T. Yamamoto, S. Kuwabata, T. Torimoto
2. 発表標題 Photocatalytic H ₂ Evolution Activity of Dumbbell-shaped Nanocrystals Composed of ZnS-AgInS ₂ Solid Solution
3. 学会等名 Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy (MCARE 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsukasa Torimoto, Tatsuya Kameyama, Susumu Kuwabata
2. 発表標題 Solution-phase Syntheses of Multinary Semiconductor Nanocrystals Composed of Less-toxic Elements and Their Photochemical Properties
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukasa Torimoto, Tatsuya Kameyama, Marino Kishi, Chie Miyamae, Taro Umeatsu, Susumu Kuwabata
2. 発表標題 Controllable Photoluminescence Property of Ag(In,Ga)S ₂ Quantum Dots
3. 学会等名 The 10th Integrated Molecular/Materials Science & Engineering (IMSE-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukasa Torimoto, Kosuke Sasamoto, Tatsuya Kameyama
2. 発表標題 Size- and composition-dependent localized surface plasmon resonance of colloidal Au-Ag nanorings
3. 学会等名 The International Symposium Plasmonics and Nanophotonics (iSPN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukasa Torimoto, Tatsuya Kameyama, Susumu Kuwabata
2. 発表標題 Ionic Liquid/Metal Sputtering Technique for Preparation of Metal and Alloy Nanoparticles
3. 学会等名 ISPlasma2020/IC-PLANTS2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 分離装置および固定相部材およびナノ粒子の分離方法	発明者 鳥本 司, 亀山達矢, 山口奈緒子, 竹岡敬 和, 坪井泰之, 石原	権利者 名古屋大学、公 立大学法人大阪
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-84653	出願年 2019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
---------------------------	-----------------------	----