

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14081

研究課題名（和文）多接合半導体ヘテロ構造ナノ粒子の合成と機能の創出

研究課題名（英文）Synthesis and function of heterostructured semiconductor nanoparticles with multi-junction

研究代表者

猿山 雅亮（Saruyama, Masaki）

京都大学・化学研究所・特定助教

研究者番号：50636628

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：Cu₂ZnSnS₄（CZTS）とCdSがヘテロ接合したナノ粒子の選択合成に成功した。過渡吸収測定から電荷分離状態が長時間維持されることが分かった。>590 nmでの照射でCZTS/CdSナノ粒子が高い色素分解速度を示したことから、p-n接合形成によって長波長光での量子効率が改善することを実証した。また、リン化ニッケル/リン酸鉄ヘテロ構造ナノ粒子を合成し、光触媒との複合化により高い酸素生成触媒活性を付与できることを実証した。さらに、カチオン交換を利用してCu_{2-x}Se/Ni₃Se₄ヘテロ構造ナノ粒子をはじめて合成し、ナノスケールでのヘテロ構造制御が触媒反応に適した空間を創造できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果で見出された高活性な光電気化学特性を示すナノ粒子材料群は、ナノスケールにおける精密な組成分布制御の重要性を示すものであり、高性能な環境・エネルギー関連材料設計の指針の一助となるものである。また、様々な無機化合物ナノ粒子における空間的な組成分布の制御手法は、広い分野において新規材料を創製するために役立つものと期待される。本成果は、地球温暖化の解決に不可欠なクリーンなソーラー水素製造のための方法論の一つを提供することに成功し、人工光合成システムの実現のために更なる材料とナノ構造の改善が期待されるものである。

研究成果の概要（英文）：Cu₂ZnSnS₄/CdS heterostructural nanoparticles were successfully synthesized. Transient absorption measurements revealed long life time of charge separation state. Because Cu₂ZnSnS₄/CdS nanoparticles exhibited high dye decomposition rate, the formation of p-n junction was proved to improve quantum efficiency in long wavelength region. Moreover, NiPx@FePyOz nanoparticles were selectively synthesized. We demonstrated their high catalytic activity of oxygen evolution reaction (OER) on photocatalyst. Furthermore, Cu_{2-x}Se/Ni₃Se₄ nanoparticles were firstly synthesized by cation exchange reaction. Their high OER activity proved that the fine control of heterostructure in nanoscale can create suitable space for catalytic reaction.

研究分野：ナノ構造化学

キーワード：ナノ粒子 ヘテロ構造 カチオン交換 光触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学的液相法で合成されたナノ粒子は、溶液として安定に扱えるため、LEDや太陽電池などのプリンテッドエレクトロニクスや溶媒均一分散系(均一系)光触媒に応用可能な材料である。また、様々な単体に対して自身の物理特性や触媒能を容易に付与することが可能である。例えば半導体ナノ粒子の場合は物質・サイズ固有のバンドギャップをもち、光吸収によりキャリア(電子とホール)が生成する。単一の半導体からなるナノ粒子では、キャリアは内部に閉じ込められるが、異なる半導体同士をヘテロ接合させたとき、バンドギャップのポテンシャルの位置関係(バンドダイアグラム)により、キャリアの動きが大きく変化する。二種類の半導体を接合すると、粒子内で電子とホールの分布を制御できるため、単一の半導体では実現できない光学特性を発現することができ、光触媒効率やそれらの集積構造体であるLEDや光電変換デバイス特性の飛躍的な向上が期待できる。また、異なる元素の分布をナノスケールで制御することで、触媒反応に対して相乗的な効果を示すことも報告されており、ナノ粒子内での組成分布制御手法の開発は重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、様々な化学的液相法を駆使し、半導体や触媒として有用な金属化合物を含有する新規なヘテロ構造ナノ粒子を合成し、その光化学的、電気化学的な特性を明らかにするとともに、ナノスケールでの元素分布制御の重要性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ヘテロ構造ナノ粒子の高効率均一系光触媒への応用

電荷移動を誘起し、電子とホールの再結合を抑制するために、ナノ粒子内でp-n接合を形成させ、励起状態の長寿命化を目指した。p型吸収層としてCuInSe₂やCu₂ZnSnS₄のような狭いバンドギャップをもつ半導体、n型窓層としてCdSを選択し、太陽光を幅広く利用できるようにした。逐次成長によりヘテロ構造ナノ粒子を合成し、高分解能電子顕微鏡(HRTEM)により元素分布の可視化を行った。また、過渡吸収分光測定によりそれぞれの層に由来するブリーチングをモニタし、電荷分離の有無と励起子の長寿命化を定量した。電荷分離状態の構築が光化学エネルギー変換にもたらす効果を検証するために、色素の光還元を実施した。

(2) 新規ヘテロ構造ナノ粒子の合成法の開発と触媒活性評価

硫化物に限らず他の化合物や熱力学的に不安定な物質を含む新規なヘテロ構造ナノ粒子の合成手法を開発する必要がある。また逐次成長以外のヘテロ構造形成技術の確立を目指した。ヘテロ構造の報告例が少ないリン化合物同士のヘテロ接合を目指し、リン化ニッケルとリン酸鉄からなる相分離構造ナノ粒子の合成を行った。また、電極触媒としての酸素生成反応に対する活性評価や光触媒との複合化を行い、励起キャリア移動による光触媒化活性の向上を目指した。また、カチオン交換を利用した新規ヘテロ構造ナノ粒子の合成を行った。Cu_{2-x}Seを母体とし、Cuの一部をNiで置換することで、CuとNiを含むセレン化物ナノ粒子の選択的合成を目指した。高分解能電子顕微鏡により元素分布の可視化を行った。種々の電気化学測定により相分離状態がもたらす触媒活性へのポジティブな効果について検証を行った。

4. 研究成果

(1) ナローバンドギャップ半導体ヘテロ構造ナノ粒子の合成と高効率均一系光触媒への応用

まずp型半導体としてCuInSe₂ナノ粒子(1.0 eV)を合成したが、過渡吸収測定の結果、プローブ可能な1000 nmまでの範囲ではブリーチングの裾しか観測されなかったことから、キャリア挙動の詳細な評価が困難であることが分かった。そこで、より広いバンドギャップをもつCu₂ZnSnS₄(CZTS)(1.4 eV)ナノ粒子(約12 nm、図1a)を合成したところ、過渡吸収スペクトルにおいて850 nmにバンド端ブリーチングのピークが見られ、分光測定可能なナローバンドギャップ半導体として適していることが分かった。次に、液相中でCd diethyldithiocarbamateを熱分解し、CdS層をCZTSナノ粒子上に選択的に成長させることで、CZTSナノ粒子表面に3 nm程度のCdSヘテロ構造ナノ粒子を選択的に接合させることに成功した(図1b)。X線回折(XRD)測定ではCZTSとCdSに由来する回折パターンが得られ、走査型電子顕微鏡(STEM)によるCuとCdの元素マッピングからそれぞれコアと周囲に偏在していることを確認した(図1c)。吸収スペクトルはCZTSとCdSの吸収の和となった(図1d)。光触媒活性の評価として水中での色素(Rhodamine B)の光還元反応を行った。水溶性配位子への配位子交換を行った後、>590 nmでの照射条件でCZTS/CdSヘテロ構造ナノ粒子がCZTSナノ粒子単体と比べて高い色素分解速度を示したことから(図1e)、p-n接合形成によって長波長光における量子効率が改善することを実証した。

このCZTS/CdSヘテロ構造ナノ粒子について過渡吸収測定を行った(図2a,b)。励起ポンパルスにはCZTS層のみが吸収できる600 nmに設定した。その結果、励起されていないCdS層にもバンド端位置(約470 nm)でブリーチングが見られた(図2c)。これはCZTS中の励起電子がCdS層に移動したことに起因するものであり、サブナノ秒後でも維持されていることから(図2e)、空間的な電荷分離状態が長時間維持されることが明らかになった。この励起子の長寿命化により高い光触媒活性が発現したと考えられる。以上のように、ナノ材料合成と高速分光技術の協働により、ナノスケールでのCZTS/CdS接合の形成が、太陽光中の長波長成分のエ

エネルギーの効率的な利用に寄与することを見出した。

一方で、CZTS ナノ粒子のバンドギャップエネルギーの約 2.7 倍の光吸収を行っても CZTS ナノ粒子内ではオーグゼ再結合に起因するブリーチングの急激な減衰は見られず、多励起子生成は起こらないことも分かった。より小さなバンドギャップをもち、サイズが小さく、さらに高いエネルギーの光により多励起子生成を実現し、ヘテロ構造の形成による内部電場を形成できればより多くのキャリアを外部に抽出できると考えられる。また、CdS 層に Pt などの貴金属を成長させることで、更なる電荷移動を促し、より長い励起子寿命の達成と活性の向上を期待することができる。

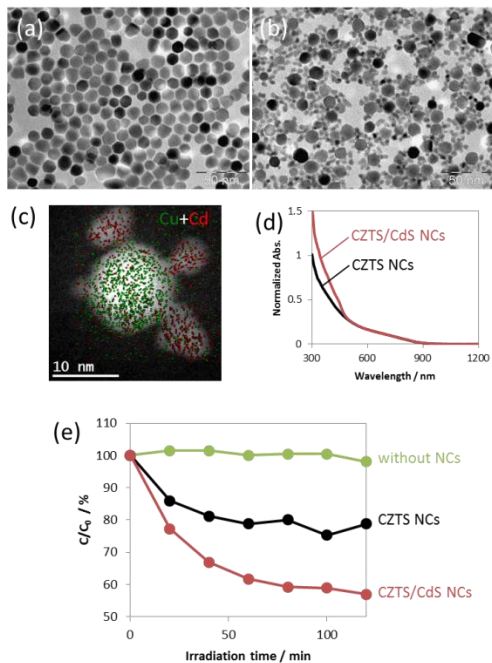


図 1. (a) CZTS ナノ粒子の TEM 像、(b) CZTS/CdS ナノ粒子の TEM 像、(c) STEM-EDS マッピング像、(d) 吸収スペクトル、(e) >590 nm 光照射での Rhodamine B 濃度の経時変化

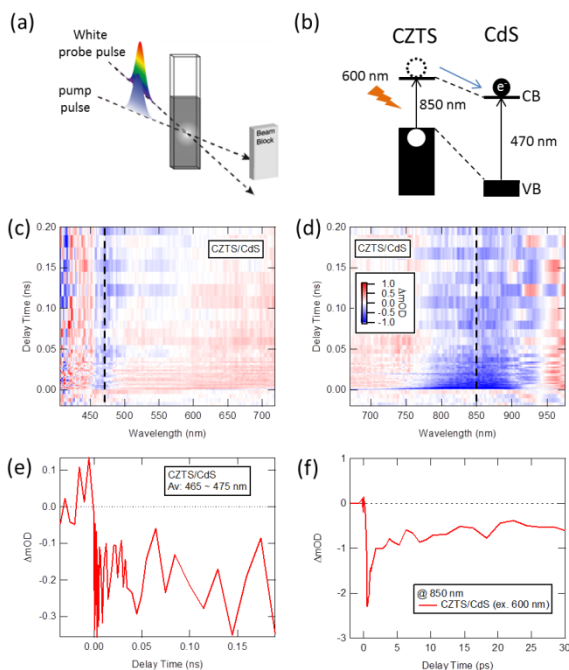


図 2. (a) 過渡吸収測定、(b) 相間電子移動の模式図、(c-d) CZTS/CdS ナノ粒子の過渡吸収スペクトル (400–700 nm、700–950 nm)、(e) CdS と (f) CZTS 由来のブリーチング寿命

(2) リン化物ベースの新規相分離構造ナノ粒子の合成と光触媒的酸素生成触媒への適用

リン化物をベースとしたリン化ニッケル/リン酸鉄ヘテロ構造ナノ粒子を合成した。アモルファスリン化ニッケルナノ粒子に液相中で $\text{Fe}(\text{CO})_5$ を加え加熱分解することでコアシェル構造を選択的に合成することに成功した (図 3a,b)。加熱中にリン化ニッケルがアモルファスから結晶化し異方的な形状に変化することが経時変化の追跡により明らかになった。このヘテロ構造ナノ粒子はカーボンに担持して電極に固定化すると、アルカリ水溶液中で安定で高い酸素生成活性 (酸素生成過電圧 = $0.28 \text{ V}@10 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$) を示した (図 3c)。酸素生成光触媒の BiVO_4 光電極にナノ粒子のヘキサソル溶液をスピコートしエタノールで洗浄することでハイブリッド化させた後、光電流測定を行うと、光電流値と安定性が大幅に向上した (図 3d)。また、連続照射試験後に再度評価すると、光電流値がさらに向上した。これは、光触媒反応中にナノ粒子表面の絶縁性のかさ高い有機配位子が自発的に脱離し、ナノ粒子の組成も表面が水酸化物に変化し、良好な接合が形成されたためであることがフーリエ変換赤外吸収分光 (FT-IR) 測定や X 線光電子分光 (XPS) 測定によって明らかにされた (図 3e)。この結果は、ナノ粒子のヘテロ構造と組成を制御する技術により、バルク基材に対して簡便に高い触媒活性を付与でき、バルクの本来持っている潜在能力を劇的に引き出すことができることを示すものである。

(3) カチオン交換反応を利用した酸素生成触媒用ヘテロ構造ナノ粒子の合成と触媒能

Cu^+ 欠損を含む立方晶 Cu_{2-x}Se ナノ粒子に Ni^{2+} カチオンを加え、トリオクチルホスフィンを注入して加熱することで Cu^+ カチオンを追い出し、 Ni^{2+} カチオンで置換させることでスピネル型の Ni_3Se_4 ナノ粒子が得られることを発見した (図 4a,b)。このスピネル型 Ni_3Se_4 はセレン化ニッケルの中では準安定相であり、直接合成することは困難な相である。実際、近年鉱物として産出が確認されたのみで、合成された報告例はほとんどない。今回のケースでは、立方晶 Cu_{2-x}Se の Se^{2-} アニオン骨格が面心立方 (fcc) 構造であるため、カチオン交換中には再構成が生じず、fcc 構造が維持され速度論的に安定化されたためと考えられる。以上の手法をもとに Ni^{2+} カチオンの投入量を調整することで、 Cu^+ カチオンの一部のみを置換して $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}/\text{Ni}_3\text{Se}_4$ ヘテロ構造ナノ粒子をはじめ選択的に合成することに成功した。XRD では双方の結晶構造由来のパターン

画見られ、STEM による元素マッピングにより異方的な相分離構造が確認された。HRTEM 像から、格子がエピタキシャルに接合しており、これも Se^{2-} アニオンの維持を支持する結果である (図 4c,d)。ここで得られた $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}/\text{Ni}_3\text{Se}_4$ ヘテロ構造ナノ粒子をカーボンに担持し、電極触媒として酸素生成触媒活性を評価すると、 Cu_{2-x}Se や Ni_3Se_4 ナノ粒子よりも高い活性を示した。反応後の表面形態を見ると、XPS 測定から Se の一部脱離と水酸化物またはオキシ水酸化物への転移が見られ、さらにはヘテロ構造のみ微細なナノ構造が維持されていた。これは、おそらく二層の相溶性が低いことに起因すると考えられ、大きな電気化学的有効比表面積をもたらし、これが高い酸素性触媒活性につながっていると考えられる。この結果は、ナノスケールでのヘテロ構造制御が触媒反応に適した空間を創造できることを示している。

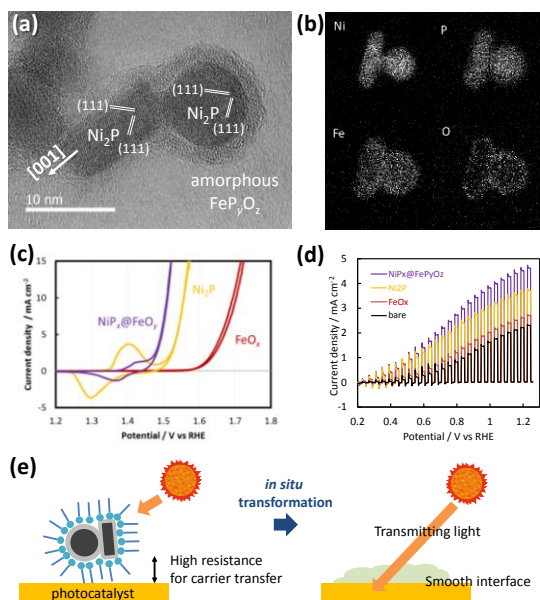


図 3. $\text{NiP}_x@FePyO_z$ コアシェルナノ粒子の (a) HRTEM 像、(b) STEM-EDS 元素マッピング像。 (c) 酸素生成触媒活性と (d) 光電流測定結果。 (e) 活性化の模式図

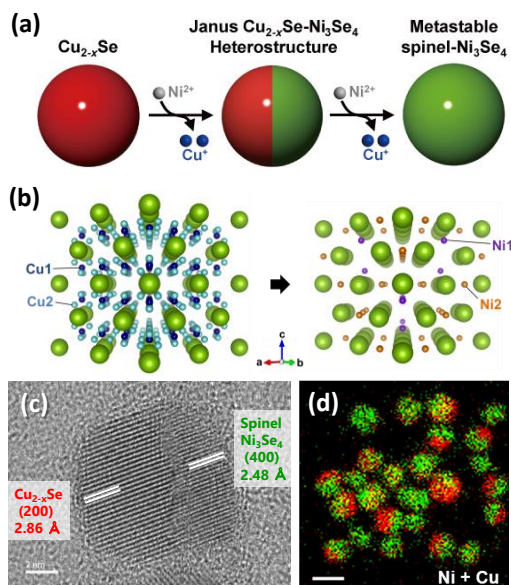


図 4. (a) カチオン交換の模式図、(b) 結晶構造の比較。 $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}/\text{Ni}_3\text{Se}_4$ ヘテロ構造ナノ粒子の (c) HRTEM 像と (d) STEM-EDS 元素マッピング像。

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 2件）

1. 著者名 Sungwon Kim, Hiroki Mizuno, Masaki Saruyama, Masanori Sakamoto, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Taro Yamada, Kazunari Domen and Toshiharu Teranishi	4. 巻 11
2. 論文標題 Phase Segregated Cu ₂ -xS-Ni ₃ Se ₄ Bimetallic Selenide Nanocrystals Formed through Cation Exchange Reaction for Active Water Oxidation Precatalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 1523-1530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC04371C	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 Sojiro Masada, Takumi Yamada, Hirokazu Tahara, Hideki Hirori, Masaki Saruyama, Tokuhisa Kawawaki, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 20
2. 論文標題 Effect of A-Site Cation on Photoluminescence Spectra of Single Lead Bromide Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 4022-4028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c01417	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 Etsuki Kobiyama, Hirokazu Tahara, Ryota Sato, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 20
2. 論文標題 Reduction of Optical Gain Threshold in CsPbI ₃ Nanocrystals Achieved by Generation of Asymmetric Hot-Biexcitons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 3905-3910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c01079	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 Satoshi Nakahara, Keiichi Ohara, Hirokazu Tahara, Go Yumoto, Tokuhisa Kawawaki, Masaki Saruyama, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 10
2. 論文標題 Ionization and Neutralization Dynamics of CsPbBr ₃ Perovskite Nanocrystals Revealed by Double-Pump Transient Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 4731-4736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b01554	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 Satoshi Nakahara, Hirokazu Tahara, Go Yumoto, Tokuhisa Kawawaki, Masaki Saruyama, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi, and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 122
2. 論文標題 Suppression of Trion Formation in CsPbBr ₃ Perovskite Nanocrystals by Postsynthetic Surface Modification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22188-22193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06834	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 Naoki Yarita, Tomoko Aharen, Hirokazu Tahara, Masaki Saruyama, Tokuhisa Kawawaki, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi, and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 2
2. 論文標題 Observation of Positive and Negative Trions in Organic-Inorganic Hybrid Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 116003(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.2.116003	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 Masaki Saruyama, Sunwon Kim, Toshio Nishino, Masanori Sakamoto, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Seiji Akiyama, Taro Yamada, Kazunari Domen and Toshiharu Teranishi	4. 巻 9
2. 論文標題 Phase-Segregated NiPx@FePyOz Core@Shell Nanoparticles: Ready-to-Use Nanocatalysts for Electro- and Photo-Catalytic Water Oxidation through in-situ Activation by Structural Transformation and Spontaneous Ligand Removal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 4830-4836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc00420j	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 Taizo Yoshinaga, Masaki Saruyama, Anke Xiong, Yeilin Ham, Yongbo Kuang, Ryo Niishiro, Seiji Akiyama, Masanori Sakamoto, Takashi Hisatomi, Kazunari Domen and Toshiharu Teranishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Boosting Photocatalytic Overall Water Splitting by Co doping into Mn ₃ O ₄ Nanoparticles as Oxygen Evolution Cocatalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 10420-10427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8NR00377G	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 Go Yumoto, Hirokazu Tahara, Tokuhisa Kawawaki, Masaki Saruyama, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 9
2. 論文標題 Hot Biexciton Effect on Optical Gain in CsPbI ₃ Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2222 ~ 2228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b01029	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 Sungwon Kim, Toshio Nishino, Masaki Saruyama, Masanori Sakamoto, Hiroyuki Kobayashi, Seiji Akiyama, Taro Yamada, Kazunari Domen and Toshiharu Teranishi	4. 巻 3
2. 論文標題 Formation of Layer-by-Layer Assembled Cocatalyst Films of S ²⁻ -Stabilized Ni ₃ S ₄ Nanoparticles for Hydrogen Evolution Reaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 764 ~ 771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201700220	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 Naoki Yarita, Hirokazu Tahara, Toshiyuki Ihara, Tokuhisa Kawawaki, Ryota Sato, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 8
2. 論文標題 Impact of Postsynthetic Surface Modification on Photoluminescence Intermittency in Formamidinium Lead Bromide Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6041 ~ 6047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.7b02840	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17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 ホスト形状とゲストカチオン種が支配するカチオン交換反応中のイオン性ナノ結晶の結晶構造変化
2. 発表標題 Zhanzhao Li, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川 芙美子, 猿山 雅亮, 寺西 利治
2. 発表標題 ニッケルナノ粒子の液相中自己集合による超構造体の形成
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhanzhao Li, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Shape and Element Dependent Crystal Structural Transformation of Ionic Nanocrystals in Cation Exchange Reaction
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 中川 芙美子・猿山 雅亮・寺西 利治
2. 発表標題 リン化ニッケルナノ粒子の液相中自己集合による超構造体の形成
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 Masaki Saruyama
2. 発表標題 Nanoparticle approach for efficient hydrogen evolution from water splitting
3. 学会等名 5th Japan-Korea Joint Symposium on Hydrogen Chemistry (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Saruyama, Sungwon Kim, Hiroki Mizuno, and Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Heterostructural Cu-Ni selenide nanocrystals formed by cation exchange reaction as efficient water oxidation catalyst
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猿山雅亮, 金成元, 坂本雅典, 寺西利治
2. 発表標題 カチオン交換によるスピネル型Ni ₃ Se ₄ ナノ結晶の 選択合成と酸素生成触媒活性
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Saruyama, Sungwon Kim, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Synthesis and Oxygen Evolution Reaction Catalytic Activity of Cu-Ni Selenide Nanocrystals through the Cation Exchange Reaction
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 Masaki Saruyama, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Transition Metal Phosphide Based Core@Shell Nanocrystals as a Cocatalyst for Oxygen Evolution Reaction
3. 学会等名 7th EuCheMS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Saruyam, Sungwon Kim, Masanori Sakamoto, Taro Yamada, Kazunari Domen, and Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Transition metal compound nanoparticle / photocatalyst composites for photocatalytic water splitting
3. 学会等名 ICCC2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 猿山雅亮・坂本雅典・寺西利治
2. 発表標題 酸素生成触媒としての複合遷移金属リン化合物ナノ粒子
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Saruyama
2. 発表標題 Multi-transition Metal based Heterostructural Nanoparticle Catalysts for Oxygen Evolution Reaction
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会 アジア国際シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018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