

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05280

研究課題名(和文) 正孔移動型プラズモニック光触媒によるソーラー過酸化水素合成

研究課題名(英文) Hole-transfer type plasmonic photocatalyst for solar hydrogen peroxide generation

研究代表者

納谷 真一 (Naya, Shin-ichi)

近畿大学・有害物質処理室・技術職員

研究者番号：20329113

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)：本研究の主要な研究成果は以下のとおりである。(1)金ナノ粒子担持酸化ニッケルに赤色光を照射することにより、金ナノ粒子から酸化ニッケルへの正孔移動が生じることを明らかにした。(2)銅アセチルアセトナートが触媒表面で酸素分子を挟んだ2核錯体を形成し、これにより選択的な酸素2電子還元反応が進行することで、高活性な過酸化水素合成が行えることを見出した。(3)金と銀の合金ナノ粒子が、金と銀それぞれのナノ粒子よりも高い局所電場増強効果を持つことを明らかにした。(4)ヘテロエピタキシャル接合を有する異種半導体複合担体により、長距離電荷分離を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

正孔移動型プラズモニック光触媒を実証するとともに、高効率な過酸化水素合成のための要素技術を開発した。過酸化水素は現在、基幹化成品の合成や、パルプの漂白、排水処理に利用されているとともに、新型コロナウイルスの消毒・除菌にも利用できる。そして、使用した際の廃棄物が水のみであるため、クリーンな次世代の酸化剤としてますますその需要が拡大している。本研究結果により、太陽光をエネルギー源として過酸化水素を製造する「ソーラー過酸化水素合成」の達成への道が開けたものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The main research results are as follows. (1) the irradiation of the red-light to Au nanoparticle-loaded nickel oxide induces the hot-hole transfer from Au nanoparticle to nickel oxide. (2) Two Copper acetylacetonate complexes form a dinuclear complex with oxygen molecules sandwiched on the surface of the catalyst, which promotes a selective oxygen two-electron reduction reaction, so that highly active hydrogen peroxide synthesis can be performed. (3) Au-Ag alloy nanoparticle possesses a higher local electric field enhancing effect as compared with that of gold and silver nanoparticle. (4) The heteronanostructured semiconductor with a heteroepitaxial junction enables long-range charge separation.

研究分野：光電気化学

キーワード：プラズモニック光触媒 太陽光 可視光 過酸化水素 酸素還元 局所電場増強効果 電荷分離

## 1. 研究開始当初の背景

逼迫するエネルギー・環境問題を解決するための手段の一つとして、過酸化水素に注目が集まっている。過酸化水素は、使用した際に水のみを副生するクリーンな次世代の酸化剤である。また、福住先生らの研究グループは、燃料電池セルにより直接電力に変換できることを報告しており (*Energy Env. Sci.* 2011, 4, 2822.) エネルギーキャリアとしても期待されている。このため、再生可能エネルギーによるクリーンな過酸化水素製造が重要であり、水と空気からのソーラー過酸化水素合成は非常に理想的なプロセスである。このときのポイントは、太陽光エネルギーを有効に利用することのできる高活性な光触媒を開発することである。

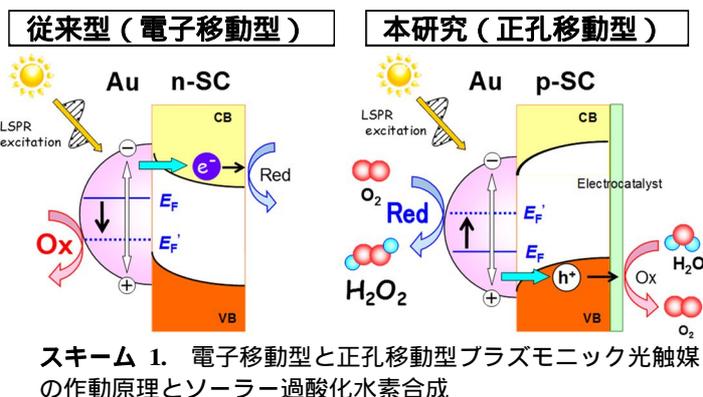
局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) により、Au ナノ粒子は太陽光スペクトルに良くマッチした強い光吸収能を持つ。2005 年に立間先生らの研究グループは、n 型半導体である酸化チタンに Au ナノ粒子を固定化した Au/TiO<sub>2</sub> の LSPR を励起することで、Au ナノ粒子から TiO<sub>2</sub> へ界面電子移動が生じることを見出した (*J. Am. Chem. Soc.* 2005, 127, 7632.) これを利用した新たな可視光光触媒はプラズモニック光触媒と呼ばれ、2009 年の大谷先生らの研究グループによるアルコール酸化の報告 (*Chem. Commun.* 2009, 241.) に端を発し、さまざまな酸化的有機合成や有害有機物の酸化分解が活発に研究されている。これらは Au ナノ粒子から担体への電子移動を利用しているため、Au ナノ粒子表面で酸化反応が進行することが特徴である。これを電子移動型と名付ける (スキーム 1) 最近では、我々の報告したニトロベンゼンからアゾベンゼンへの変換 (*S. Naya, T. Niwa, T. Kume, H. Tada, Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 7305.) や、三澤先生らの研究グループのアンモニア合成 (*Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 9802.) など、その適用範囲は還元反応にまで広がっている。しかし、いずれも電子移動型であるため、光応答している Au ナノ粒子上で酸化反応が進行していることには変わりがない。

最近、三澤先生らの研究グループは、Au/TiO<sub>2</sub> の表面を p 型半導体である酸化ニッケル (NiO) で覆った全固体型のプラズモニック太陽電池を報告している (*J. Phys. Chem. Lett.* 2016, 7, 1004.) これは、TiO<sub>2</sub> へ電子が移動することにより、電子不足となった Au ナノ粒子へ NiO から電子が移動するものであるが、同時に、Au ナノ粒子から NiO への正孔の移動の可能性を示唆する重要な結果である。

もし、n 型半導体のない Au ナノ粒子担持 p 型半導体 (Au/p-SC) において、プラズモンの励起により直接 Au ナノ粒子から p-SC へ正孔の移動を誘起することが出来れば、仮想的には Au ナノ粒子へ電子が移動したものと同等であるため、Au ナノ粒子の電子密度、すなわちフェルミレベル ( $E_F$ ) が上昇する。これにより、Au ナノ粒子表面で還元反応が期待される (スキーム 1) これは正孔移動型という新たなプラズモニック光触媒のコンセプトとなる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、プラズモン誘起界面正孔移動の実証と正孔移動型プラズモニック光触媒により、太陽光をエネルギー源とした過酸化水素合成を達成することである。酸素還元による過酸化水素合成では、より熱力学的に有利である 4 電子還元を抑制して、選択的に 2 電子還元を進行させることがキーポイントとなる。適切な助触媒の開発と、高活性なプラズモニック光触媒設計のための指針の確立を目指す。



### 3. 研究の方法

#### 【平成 30 年度】

正孔移動型という新たなプラズモニック光触媒達成のため、合理的にデザインした p 型半導体 (p-SC) の担体に、精密にサイズを制御した Au ナノ粒子を担持する。合成した Au/p-SC の可視光光触媒活性を検討するとともに、光電気化学測定により、正孔移動を実証する。

#### 【令和元年度】

酸素還元による過酸化水素合成では、より熱力学的に有利である 4 電子還元を抑制して、選択的に 2 電子還元を進行させることが重要である。そのための助触媒の開発を行う。

プラズモン共鳴により金属粒子周囲の電場が大きく増強される。この局所電場増強効果がプラズモニック光触媒に与える影響を明らかにする。さらに、高活性化のため、金ナノ粒子表面への超薄膜シェルを形成して、その効果を検討する。

#### 【令和 2 年度】

プラズモニック光触媒では、光照射により生成したホットキャリアの再結合による失活がその活性を低下させる大きな要因である。このため、高効率な電荷分離・電荷輸送が極めて重要である。そこで、これを達成するための担体の効果を検討する。

### 4. 研究成果

#### 【平成 30 年度】

プラズモニック光触媒における金ナノ粒子の担体として、p 型半導体の中から水を酸化することの出来る価電子帯上端を有する酸化ニッケルを選定し、尿素を中和剤に用いた析出沈殿法により金ナノ粒子を担持した。透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察により、比較的均一にサイズ制御された金ナノ粒子が酸化ニッケル表面に担持されており、高分解能 TEM から、金ナノ粒子と酸化ニッケルの間に非常に良好な接合を有していることが明らかとなった。これは、光照射によるキャリア移動において、重要な性質である。X 線光電子分光法で測定した Au の 4f 軌道のスペクトルは、金属状態の金が担持されていることを示しているが、金ナノ粒子担持酸化チタンなどの n 型半導体に担持したものと比べ、高エネルギー側にピークが表れており、特徴的な性質を示した。拡散反射法で測定した紫外可視近赤外吸収スペクトルでは、金ナノ粒子の担持により 600 nm 付近にピークを持つブロードな局在表面プラズモン吸収を示した。

金ナノ粒子担持酸化ニッケルを純水に分散し、アルゴン脱気後、赤色光 (640 nm) を照射したところ、光照射時間に比例して水素が生成することが明らかとなった。暗所および金ナノ粒子を担持していない酸化ニッケルに光照射を行っても、有意な量の水素は生成しない。これは、金ナノ粒子担持酸化ニッケルの光触媒作用により水の分解が進行していることを強く示唆している。

設備備品費により導入した電気化学測定システムにより、光電気化学測定を行った。良く知られているように、n 型半導体である酸化チタンに金ナノ粒子を担持した電極では、光照射に伴って、酸化電流が流れることが確認された。一方、非常に興味深いことに、金ナノ粒子担持酸化ニッケル電極に赤色光を照射すると、逆向きの還元電流が流れることが明らかとなった。これは、上記の光触媒作用による水の分解が金ナノ粒子から酸化ニッケルへのホットホール移動によって駆動することを示している。

#### 【令和元年度】

過酸化水素合成の高効率化のためには、酸素の選択的 2 電子還元が重要となる。銅アセチルアセトナートが触媒表面で酸素分子を挟んだ 2 核錯体を形成することを見出し、これにより選択的な酸素 2 電子還元反応が進行することで、高活性な過酸化水素合成が行えることを見出した。設備備品費により導入した電気化学測定システムにより、酸素の還元電子数をダイレクトに決定することが出来、2.02 電子還元という非常に高い選択率を示すことが明らかとなった。

また、プラズモニック光触媒の大きな特徴である電場増強効果について検討する中で、金と銀の合金ナノ粒子を AgBr 結晶格子内で光触媒反応により合成する方法を確立し、金と銀それぞれのナノ粒子よりも高い局所電場増強効果を持つことを明らかにした。設備備品費により導入した FDTD 計算による理論的な解析を行い、電場増強効果を明らかにした。

光触媒作用を利用したアンダーポテンシャル析出により、金ナノ粒子の表面に 1~2 原子層程度の銅の超薄膜を形成することが出来ることを見出した。この金コア銅シェルナノ粒子担持酸化チタンナノワイヤーアレイ電極は、光電気化学セルを用いた水の酸化反応において、その電極触媒作用により大幅な活性向上を示すとともに、光応答範囲を長波長側へ拡大することが出来た。この超薄膜型シェルは、金ナノ粒子のプラズモンを劣化させることなく、新たな機能を付与できるため、過酸化水素合成に対する助触媒作用が期待できる。

【令和2年度】

高活性なプラズモニック光触媒のための担体の効果を検討した。プラズモニック金属から担体に移動したキャリアの再結合による失活を抑制するためには、高い電荷分離効率の達成が重要となる。酸化チタンナノ粒子からヘテロエピタキシャル成長させた酸化スズナノロッドは、原子レベルで整合した良質な界面を持つことに加え、酸化スズナノロッド中に生じた格子の歪みにより、ロッドの根元から先端に向けて伝導帯下端の曲がり形成されることを見出した。これにより、光照射によって生じたチャージキャリアの長距離電荷分離が達成された結果、高い光触媒活性を示すことを明らかにしている。また、この担体を適切な温度で熱処理することで、ヘテロエピタキシャル成長に由来したロッド間の融合・高結晶化が誘起されるため、キャリアの移動がスムーズになった結果、高い光触媒活性を示すことを明らかにした。

3年間の研究総括として、(1) 金ナノ粒子担持 p 型半導体である酸化ニッケルにおいて、赤色光照射により金ナノ粒子から酸化ニッケルへのホットホール注入が生じる。(2) 銅アセチルアセトナートが触媒表面で酸素分子を挟んだ 2 核錯体を形成し、これにより選択的な酸素 2 電子還元反応が進行することで、高活性な過酸化水素合成が行える。(3) 金と銀の合金ナノ粒子が、金と銀それぞれのナノ粒子よりも高い局所電場増強効果を持つ。(4) ヘテロエピタキシャル接合を有する異種半導体複合担体が、長距離電荷分離を可能にする。ことを明らかにした。これにより、太陽光をエネルギー源として過酸化水素を製造する「ソーラー過酸化水素合成」の達成への道が開けたものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Atsunobu Akita, Sugita Shoma, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 154
2. 論文標題 A heteromesocrystal photocatalyst consisting of SnO <sub>2</sub> (head)-TiO <sub>2</sub> (tail) nanorod hybrids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysis Communications	6. 最初と最後の頁 106301 ~ 106301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catcom.2021.106301	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 Naya Shin-ichi, Yoshioka Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Ammonium ion-promoted electrochemical production of synthetic gas from water and carbon dioxide on a fluorine-doped tin oxide electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1438 ~ 1441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cc08040c	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 Tada Hiroaki, Naya Shin-ichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Atomic Level Interface Control of SnO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> Nanohybrids for the Photocatalytic Activity Enhancement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 205 ~ 205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal11020205	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 Tada Hiroaki, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi	4. 巻 124
2. 論文標題 Nanohybrid Crystals with Heteroepitaxial Junctions for Solar-to-Chemical Transformations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 25657 ~ 25666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c06593	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 Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Au-Ag alloy nanoparticle-incorporated AgBr plasmonic photocatalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19972/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-77062-6	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 Suzuki Haruya, Awa Kenta, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 147
2. 論文標題 Heat treatment effect of a hybrid consisting of SnO <sub>2</sub> nanorod and rutile TiO <sub>2</sub> with heteroepitaxial junction on the photocatalytic activity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Communications	6. 最初と最後の頁 106148 ~ 106148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catcom.2020.106148	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 Kunimoto Takeshi, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 167
2. 論文標題 Copper Oxide Cluster Surface Modification-Induced Multiple Electron Oxygen Reduction Reaction on Bismuth Vanadate under Visible-Light Irradiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 116523 ~ 116523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/aba642	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 Niwa Tadahiro, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 144
2. 論文標題 Low-temperature selective aerobic oxidation of cyclohexanol to cyclohexanone over n-type metal oxide-supported Au nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Communications	6. 最初と最後の頁 106089 ~ 106089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catcom.2020.106089	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 Naya Shin-ichi, Shite Yuya, Tada Hiroaki	4. 巻 142
2. 論文標題 Photothermal effect of antimony-doped tin oxide nanocrystals on the photocatalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Communications	6. 最初と最後の頁 106044 ~ 106044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catcom.2020.106044	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 Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Synthesis of Au-Ag Alloy Nanoparticle-Incorporated AgBr Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 745/1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal9090745	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 Awa Kenta, Akashi Ryo, Akita Atsunobu, Naya Shin-ichi, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Highly Efficient and Selective Oxidation of Ethanol to Acetaldehyde by a Hybrid Photocatalyst Consisting of SnO <sub>2</sub> Nanorod and Rutile TiO <sub>2</sub> with Heteroepitaxial Junction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 2138/1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201900815	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 Teranishi Miwako, Kunimoto Takeshi, Naya Shin-ichi, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Visible-Light-Driven Hydrogen Peroxide Synthesis by a Hybrid Photocatalyst Consisting of Bismuth Vanadate and Bis(hexafluoroacetylacetonato)copper(II) Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3715 ~ 3721
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11568	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 Onishi Tatsuhiro, Teranishi Miwako, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Electrocatalytic Effect on the Photon-to-Current Conversion Efficiency of Gold-Nanoparticle-Loaded Titanium(IV) Oxide Plasmonic Electrodes for Water Oxidation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6103 ~ 6109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11207	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 Awa Kenta, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 124
2. 論文標題 A Three-Component Plasmonic Photocatalyst Consisting of Gold Nanoparticle and TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> Nanohybrid with Heteroepitaxial Junction: Hydrogen Peroxide Synthesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7797 ~ 7802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11875	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 Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 364
2. 論文標題 Dependence of the plasmonic activity of Au/TiO <sub>2</sub> for the decomposition of 2-naphthol on the crystal form of TiO <sub>2</sub> and Au particle size	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Catalysis	6. 最初と最後の頁 328 ~ 333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcat.2018.06.008	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 Naya Shin-ichi, Miki Satoshi, Yamauchi Junpei, Teranishi Miwako, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 122
2. 論文標題 Au(Core)-Pt(Shell) Nanocatalysts with the Shell Thickness Controlled at a Monolayer Level: Extremely High Activity for Hydrogen Peroxide Decomposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22953 ~ 22958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06214	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 Tada Hiroaki, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi	4. 巻 97
2. 論文標題 Water splitting by plasmonic photocatalysts with a gold nanoparticle/cadmium sulfide heteroepitaxial junction: A mini review	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 22 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2018.10.005	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 Shin-ichi. Naya, Hiroaki Tada	4. 巻 91
2. 論文標題 金ナノ粒子-半導体プラズモニック光触媒によるソーラー物質エネルギー変換：金粒子サイズ効果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 色材協会誌	6. 最初と最後の頁 122 ~ 127
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 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 Teranishi Miwako, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 123
2. 論文標題 Nanohybrid Catalysts for Efficient Synthesis of Hydrogen Peroxide at Ambient Temperature and Pressure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9831 ~ 9837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b00381	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29件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 本川雄一郎, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 2つの異なる側面を有する アナタース型酸化チタンナノワイヤーの 合成と光触媒活性
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木遥也, 山内純平, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する アンチモンドープ酸化スズ-酸化チタンヘテロナノ構造体の 合成と過酸化水素合成用光触媒としての 応用
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒川宏太, 藤島武蔵, 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する 金ナノ粒子-チタン酸ストロンチウムナノキューブからなる プラズモニック光触媒による水からの酸 素発生反応
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 国本丈司, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持フッ素ドープ酸化スズを用いた 水と酸素からの過酸化水素電気化学合成
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 金 - 銀合金ナノ粒子内包臭化銀系プラズモニック光触媒における局所電場増強効果
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 Ag(コア)-AgBr(シェル)複合粒子担持フッ素ドーブ酸化スズの 電解合成および可視光光触媒への応用
3. 学会等名 2020年度色材研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡尚芳, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 フッ素ドーブ酸化スズ電極による二酸化炭素還元におけるアンモニウムイオン添加効果
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志手勇哉, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 酸化ニッケル/ニッケル電極に担持した硫化銅ナノ結晶の正孔誘起プラズモン光触媒による近赤外光電変換特性
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 国本丈司, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 アンチモンドーブ酸化スズナノロッドアレイ電極の合成と過酸化水素合成用電気化学セルへの応用
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木遥也, 納谷真一, 阿波健太, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有するルチル型酸化チタン-酸化スズナノロッド複合型光触媒の活性に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 第71回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒川宏太, 藤島武蔵, 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する金ナノ粒子-チタン酸ストロンチウムナノキューブからなるプラズモニック光触媒による水からの酸素発生反応
3. 学会等名 第71回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長光美桜, 阿波健太, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する酸化ルテニウム-金ナノ粒子担持酸化チタン系複合体による水と酸素からの過酸化水素光触媒活性
3. 学会等名 第71回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 納谷真一, 志手勇哉, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 アンチモンドープ酸化スズナノ結晶 プラズモニック光触媒反応における光熱変換効果
3. 学会等名 第126回 触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 臭化銀結晶中におけるAu-Ag合金ナノ粒子の光化学合成とプラズモニク光触媒への応用
3. 学会等名 2019年度色材研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Awa, Ryo Akashi, Atsunobu Akita, Shin-ichi Naya, Hisayoshi Kobayashi, Hiroaki Tada
2. 発表標題 A Three-Component Plasmonic Photocatalyst Consisting of Gold Nanoparticle, SnO <sub>2</sub> Nanorod and Rutile TiO <sub>2</sub>
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Kunimoto, Miwako Teranishi, Shin-ichi Naya, Hisayoshi Kobayashi, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada
2. 発表標題 A hybrid photocatalyst consisting of monoclinic bismuth vanadate and bis(acetylacetonato)copper(II) complex for hydrogen peroxide synthesis
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada
2. 発表標題 Solid-Phase Photochemical Synthesis of Composition-Variable Au-Ag Alloy Nanoparticle-Incorporated AgBr Crystal and its Application for Plasmonic Photocatalyst
3. 学会等名 2018 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichi Naya, Yasunari Nakabayashi, Junpei Yamauchi, Hiroaki Tada
2. 発表標題 Copper Sulfide-Based Hole-Plasmonic Photocatalyst for Solar Water Splitting
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷真一, 山内純平, 寺西美和子, 三木智司, 小林久芳, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 酸化チタンに担持した金コア - 白金シェルナノ粒子 熱触媒による過酸化水素分解
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺西美和子, 大西竜広, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 金コア - 銅シェルナノ粒子担持ルチル型酸化チタンナノワイヤー アレイ光電極による水のプラズモニック酸化反応
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内純平, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持酸化ニッケルによる可視光水分解反応
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿波健太, 明石陵, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する酸化スズ(IV)ナノロッド - 酸化チタン(IV)光触媒の合成とアルコール選択的酸化反応への応用
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日比野涼平 秋田敦宣 納谷真一 藤島武蔵 多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持硫化モリブデンの合成とプラズモニック光触媒への応用
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本川雄一朗, 阿波健太, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を有する チタン酸ストロンチウム - 酸化チタンナノワイヤーの合成及び光触媒活性
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大平涼介, 山内純平, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明
2. 発表標題 金(コア)-硫化ビスマス(シェル)ハーフカットナノエッグの合成と プラズモニック光触媒への応用
3. 学会等名 2018年色材研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷真一・山内純平・藤島武蔵・多田弘明
2. 発表標題 近赤外応答硫化銅系ホールプラズモニック光触媒による 純水からの水素生成
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内純平・納谷真一・藤島武蔵・多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持酸化ニッケルの合成とホット正孔移動型プラズモニック光触媒への応用
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿波健太, 明石陵, 納谷真一, 小林久芳, 多田弘明
2. 発表標題 アルコール選択酸化のための 酸化スズ(IV)ナノロッド - 酸化チタン(IV)からなるナノ構造光触媒におけるヘテロエピタキシャル効果
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichi Naya, Junpei Yamauchi, Hiroaki Tada
2. 発表標題 Plasmonic photocatalyst: hot electron transfer type and hot hole-transfer type
3. 学会等名 Nanotech 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 納谷真一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 CMC出版	5. 総ページ数 8
3. 書名 月刊ファインケミカル 2020年4月号 【特集】プラズモニック光触媒の開発最前線	

〔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
研究協力者	多田 弘明 (Tada Hiroaki)	近畿大学・理工学部応用化学科・教授  (34419)	
研究協力者	寺西 美和子 (Teranishi Miwako)	近畿大学・管理部施設管理課有害物質処理室・技術職員  (34419)	
研究協力者	藤島 武蔵 (Fujishima Musashi)	近畿大学・理工学部応用化学科・准教授  (34419)	

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