

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05236

研究課題名（和文）正孔誘起プラズモニック光電極による近赤外光利用ソーラー水素合成

研究課題名（英文）Hole-induced plasmonic photocatalyst electrode for near-infrared utilized solar hydrogen production

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） 3,200,000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) 正孔誘起LSPRの励起でCuSから担体へのホットホール注入が起こることを明らかにすることができた。(2) プラズモニック材料と担体とのドメインマッチングヘテロエピタキシャル接合により、プラズモニック光触媒電極の活性が飛躍的に向上することを明らかにした。(3) 担体の集合体構造により、特異な反応場を形成出来ることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに報告例のない正孔誘起プラズモンによる高効率な光電変換を実証するとともに、近赤外光を利用したソーラー水素合成を達成した。本研究で確立した、「結晶同士の原子レベル整合した界面の形成とファセット化によるホットスポットの形成」というこれまでにないコンセプトを元にした新たなプラズモニック光触媒の設計指針により、水素社会実現のために強く求められている、太陽光を利用したソーラー水素合成への道が開かれたものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The main results of this study are as follows: (1) It was clarified that the excitation of hole-induced LSPR causes hot hole injection from CuS to the support. (2) We clarified that the activity of plasmonic photocatalyst electrodes is dramatically improved by domain-matching heteroepitaxial junction between the plasmonic material and the support. (3) We demonstrated that a unique reaction field can be formed by the aggregate structure of the support.

研究分野：光触媒と光電気化学

キーワード：プラズモニック光電極 ドメインマッチング ホットスポット 光触媒による水の分解 メソクリスタル

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

逼迫するエネルギー・環境問題を解決するための手段の1つとして、再生可能エネルギーである太陽光の有効利用が活発に研究されている。2005年に立間先生らの研究グループは、酸化チタンにAuナノ粒子を固定化したAu/TiO₂の局在表面プラズモン共鳴(LSPR)を励起することで、Auナノ粒子からTiO₂へ界面電子移動が生じることを見出した。これを利用した新たな光電変換デバイスは、プラズモニック光電極と呼ばれ、三澤先生らのグループによるAuナノロッドを用いた長波長応答型や光学干渉型プラズモニック光電極など、活発な研究が進められている。Auナノ粒子の局在表面プラズモン共鳴は、自由電子の集団振動であるため、本申請では電子誘起プラズモニック光電極(図1)と表記する。

硫化銅(CuS)は、極めて水素過電圧が低いことから、白金代替の水素発生電極として活発に研究されている。また、CuSは金属に近いレベルの高い正孔密度を持っており、この正孔が集団振動することにより近赤外領域に強い吸収を示すことが知られている。これが正孔誘起プラズモン共鳴(HPR)である。Faraday以来、豊富な研究がある電子誘起プラズモン共鳴と比べ、正孔誘起プラズモン共鳴は、2009年に提唱された新たな現象であり、その研究はまだ始まったばかりである。最近、CuS/CdS複合ナノ粒子において、HPRを励起することでCuSからCdSへ正孔が移動することが時間分解吸収スペクトルにより観察された(Z. Lian *et al. Nature Commun.* 2018, 9, 2314.)。我々も、フッ素ドープ酸化スズ(FTO)電極にCuSを固定化したCuS/FTO電極において、近赤外光の照射により微弱なカソード電流、すなわち、CuSからFTOへの正孔の移動が見出している。しかし、酸化スズはn型半導体であり、正孔輸送効率の低さから、その光電流は小さなものに留まっている。

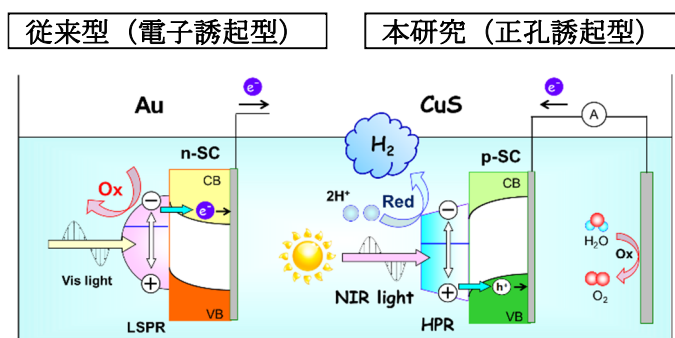


図1. 電子誘起と正孔誘起プラズモニック光電極の作動原理と近赤外光を利用した水素製造光電気化学セル。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高活性・高耐久性な正孔誘起プラズモニック光電極の実証と近赤外光を利用したソーラー水素合成を達成することである。国内外で活発な研究が行われている金ナノ粒子をベースとした電子誘起プラズモニック光電極とは異なり、正孔誘起型は初めての試みとなる。

3. 研究の方法

(1) CuS/p-SCナノ結晶薄膜のデザイン、合成および特徴づけ【令和3年度～令和4年9月】

プラズモニック光電極の活性は担体の種類および接合状態の影響を強く受ける。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・構造を制御したCuSナノ粒子を担持する。予備実験で良好な結果が得られているNiOに加え、CaFe₂O₄等のスピネル系フェライトなどのp-SCを検討する。各種分析装置(現有装置)を用いて、合成サンプルのキャラクタリゼーションを行う。

(2) 正孔誘起プラズモン駆動界面正孔移動の実証【令和3年度～令和4年9月】

合成した CuS/p-SC 光電極を用いて光電気化学セルを作製し、近赤外光による光電流を測定する。その作動メカニズムの解明ため、光電流のアクションスペクトル解析およびインピーダンス解析を行う。さらに、界面正孔移動の証明には、フォトルミネッセンス測定が不可欠となる。本申請設備備品費により分光蛍光光度計を導入する。

(3) ソーラー水素製造光電気化学セルの性能評価と高活性化【令和3年度～令和5年度】

疑似太陽光を用いた近赤外光による水素製造の性能評価を行う。スムーズな界面正孔移動のため、CuS と p-SC との間のヘテロエピタキシャル (HEPI) 接合形成を検討する。有限差分時間領域法 (FDTD) を用いた理論計算により、合理的にデザインし、合成を行う。また、高効率な水素生成のためには、適切な電極触媒との複合が大切になる。プラズモンの失活を起こさない形で電極触媒作用の付与を検討する。

(4) プラズモニック光電極の長寿命化【令和4年度～令和5年度】

実用的な太陽光による水素製造実現のためには、光電気化学セルの長寿命化が不可欠である。CuS は比較的安定な物質であるが、光チャージキャリアの蓄積による構造変化を抑制する必要がある。HEPI 接合ではスムーズなキャリア移動が確保される (H. Tada, S. Naya, M. Fujishima, *J. Phys. Chem. C* in press DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c06593.) のと同時に、原子レベルでの整合した強固な結合を形成するため、それぞれの材料の構造変化を抑制し、高い耐久性の付与が期待できる。

4. 研究成果

【令和3年度】

正孔誘起プラズモニック材料である硫化銅 (CuS) の特性を明らかにするため、化学浴析出法によるフッ素ドープ酸化スズ (FTO) 透明導電性基板への担持を行った。得られた CuS/FTO の粉末 X 線回折 (XRD) 測定では、ヘキサゴナルの CuS に由来する回折パターンが見られた。透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察では、15 nm 程度のナノ粒子の集合体であることが分かった。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、CuS に特徴的な近赤外領域の強い吸収が見られた。興味深いことに、反応時間を延ばすとこのピークの大幅なブルーシフトが見られ、60 分では、720 nm までシフトすることが分かった。局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) による吸収は、集団振動しているキャリアの密度に依存して、そのピーク位置がシフトする。そして、CuS は、Cu と S の比率が 1:1 からずれることで、キャリアであるホールが発生している。そこで、X 線光電子分光法 (XPS) 測定により Cu と S の比率を求めたところ、反応時間とともに Cu の割合が低下し、ホール密度が増加していることが明らかとなった。さらに、CuS/FTO を電気化学的に還元し、ホール密度を減少させたところ、ピークのレッドシフトが見られた。以上の結果から、FTO 基板に担持された CuS ナノ結晶集合体を示す 720 nm の吸収ピークが、正孔誘起 LSPR に起因することが明らかとなった。これは、これまでに報告例のない波長領域の吸収ピークである。

CuS/FTO を用いた光電気化学セルに、疑似太陽光に光学フィルターを用いて 670 nm 以上の光を照射したところ、還元電流が流れた。さらに、光電位測定では正のシフトが見られることから、正孔誘起 LSPR の励起により、CuS から FTO へのホットホール注

入が起こることが明らかとなった。

【令和4年度】

多くのホットキャリア移動型プラズモニック光触媒で共通である光捕集—ホットキャリア注入—電荷分離からなる一連の物理プロセスの効率向上のための指針を得るため、最も代表的なプラズモニック光触媒である金ナノ粒子担持酸化チタン(Au/TiO₂)において未解明であったTiO₂結晶型効果の原因を検討した。担持されたAuナノ粒子の形状およびTiO₂との接合界面を詳細に解析した結果、Au(111)面の結晶格子4つ分とルチル型TiO₂(110)面の結晶格子3つ分が、ドメインマッチング(DM)によるヘテロエピタキシャル(HEPI)接合を形成することで、金ナノ粒子に異方性(ファセット化)が誘起されることが明らかとなった。FDTD法を用いた理論計算により、金ナノ粒子のファセット化で酸化チタンとの界面に強い局所電場が誘起される結果、プラズモニック光触媒の活性が大幅に増大することが明らかになった。この設計指針を元に、担体であるR-TiO₂を(110)面が支配的であるナノロッドとすることで、90%を超えるファセット化確率と3-4倍の活性向上を達成した。HEPI接合の形成は、バルクではミスマッチが0.3%未満でしか形成されないのに対し、ナノ粒子間では数%のミスマッチも許容される。さらに、ドメインマッチングにより、その組み合わせの可能性が飛躍的に増大することから、非常に多くの材料の間でのHEPI形成が期待できる。これにより、プラズモニック光触媒の可能性を大きく広げることが出来たと考えている。

【令和5年度】

不均一系光触媒の活性は、結晶型、結晶性、粒子サイズなど、一次粒子の物性に依存することが良く知られているが、最近、“メソ結晶”と呼ばれる結晶が規則的に配列した集合体構造も光触媒活性に強く影響を与えることが明らかになりつつある。中でも、多数のルチル型TiO₂ナノロッドで形成されたマイクロサイズの放射状メソ結晶(rad-TiO₂ MC)は、大きな表面積を持ち、ロッド間での光の多重散乱によって効率良く光を吸収することから、光触媒材料として大きな潜在能力を有する。そこで最終年度は、これに金ナノ粒子を担持したAu/rad-TiO₂ MC型プラズモニック光触媒の検討を行った。Au/rad-TiO₂ MCは、不定形TiO₂ナノ粒子を用いたAu/TiO₂ NPや、Au/rad-TiO₂ MCをすりつぶすことで集合体構造を破壊した触媒と比べて、大幅に高い光触媒活性を示した。さらに、プラズモニック光電極による光電気化学測定により、放射状メソ結晶が光反応領域と暗所反応領域の2つを内包する特異的な光触媒であることを明らかにした。

3年間の研究期間全体を通じて実施した研究の成果として、1) CuSを用いた光電気化学測定により、正孔誘起LSPRの励起でCuSから担体へのホットホール注入が起こることを明らかにすることができた。2) プラズモニック材料と担体とのドメインマッチングヘテロエピタキシャル接合により、プラズモニック光触媒電極の活性が飛躍的に向上することを明らかにした。3) 担体の集合体構造により、特異な反応場を形成出来ることが明らかとなった。これらにより、正孔誘起プラズモニック光触媒による近赤外光利用ソーラー水素合成の可能性を大きく広げることが出来たと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26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 Teranishi Miwako, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Solar-driven electrochemical NH ₃ splitting into H ₂ and N ₂ on BiVO ₄ -based photoanodes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 496 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3se01513k	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, Teranishi Miwako, Tada Hiroaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Facile preparation of highly active zirconia-supported gold nanoparticle catalyst	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 6662 ~ 6667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cy00689a	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 Ohira Ryosuke, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 127
2. 論文標題 Interfacial Interaction between the Ruthenium(IV) Oxide Cluster and Graphitic Carbon Nitride Governing the Photocatalytic Activity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22076 ~ 22084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05867	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, Akita Atsunobu, Naya Shin-ichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Visible light-responsive radial TiO ₂ mesocrystal photocatalysts for the oxidation of organics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 4581 ~ 4589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cy00195d	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 Kojima Ryota, Ogino Yuga, Naya Shin-ichi, Soejima Tetsuro, Tada Hiroaki	4. 巻 23
2. 論文標題 Seed-Assisted Hydrothermal Synthesis of Radial TiO ₂ Homomesocrystals and the Application as a Support for Plasmonic Photocatalysts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4472 ~ 4479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00220	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, Sugime Hisashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Near Infrared Light to Heat Conversion for Liquid Phase Oxidation Reactions by Antimony Doped Tin Oxide Nanocrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 e202200696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.202200696	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 Kojima Ryota, Ogino Yuga, Naya Shin-ichi, Soejima Tetsuro, Tada Hiroaki	4. 巻 23
2. 論文標題 Seed-Assisted Hydrothermal Synthesis of Radial TiO ₂ Homomesocrystals and the Application as a Support for Plasmonic Photocatalysts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4472 ~ 4479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00220	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, Akita Atsunobu, Naya Shin-ichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Visible light-responsive radial TiO ₂ mesocrystal photocatalysts for the oxidation of organics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 4581 ~ 4589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cy00195d	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 Ohira Ryosuke, Naya Shin-ichi, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 127
2. 論文標題 Interfacial Interaction between the Ruthenium(IV) Oxide Cluster and Graphitic Carbon Nitride Governing the Photocatalytic Activity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22076 ~ 22084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05867	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, Teranishi Miwako, Tada Hiroaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Facile preparation of highly active zirconia-supported gold nanoparticle catalyst	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 6662 ~ 6667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cy00689a	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 8
2. 論文標題 Solar-driven electrochemical NH ₃ splitting into H ₂ and N ₂ on BiVO ₄ -based photoanodes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 496 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3se01513k	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, Teranishi Miwako, Naya Shin-ichi	4. 巻 127
2. 論文標題 Hydrogen Peroxide Production by Inorganic Photocatalysts Consisting of Gold Nanoparticle and Metal Oxide toward Oxygen Cycle Chemistry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5199 ~ 5209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c09066	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 Kojima Ryota, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 127
2. 論文標題 Three-Dimensional Plasmonic Photocatalyst Consisting of Faceted Gold Nanoparticles and Radial Titanium(IV) Oxide Heteromesocrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3478 ~ 3485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c08793	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, Yamauchi Junpei, Naya Shin ichi, Sugime Hisashi, Tada Hiroaki	4. 巻 23
2. 論文標題 Noble Metal Free Inorganic Photocatalyst Consisting of Antimony Doped Tin Oxide Nanorod and Titanium oxide for Two Electron Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 e202200029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.202200029	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, Sugime Hisashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Near Infrared Light to Heat Conversion for Liquid Phase Oxidation Reactions by Antimony Doped Tin Oxide Nanocrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 e202200696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.202200696	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, Akita Atsunobu, Morita Yoko, Fujishima Musashi, Tada Hiroaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Crystallographic interface control of the plasmonic photocatalyst consisting of gold nanoparticles and titanium(<sc>iv</sc>) oxide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 12340 ~ 12347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2sc03549a	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, Yan Yaozong, Soejima Tetsuro, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 12
2. 論文標題 A biomimetic all-inorganic photocatalyst for the artificial photosynthesis of hydrogen peroxide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 6062 ~ 6068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2cy01089e	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 126
2. 論文標題 Antimony-Doped Tin Oxide Catalysts for Green and Sustainable Chemistry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 13539 ~ 13547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c03648	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 Inoue Haruki, Naya Shin ichi, Akita Atsunobu, Sugime Hisashi, Tada Hiroaki	4. 巻 28
2. 論文標題 Photothermal Oxidation of Cinnamyl Alcohol with Hydrogen Peroxide Catalyzed by Gold Nanoparticle/Antimony Doped Tin Oxide Nanocrystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202201653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202201653	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, Suzuki Haruya, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 38
2. 論文標題 Highly Active and Renewable Catalytic Electrodes for Two-Electron Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 4785 ~ 4792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c00659	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 納谷真一、多田弘明	4. 巻 95
2. 論文標題 ソーラー物質変換を指向したヘテロエピタキシャル接合ナノハイブリッド光触媒	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Jpn. Colour Mater.	6. 最初と最後の頁 275 ~ 281
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 Kurokawa Kota, Fujishima Musashi, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Bottom-up formation of gold truncated pyramids smaller than 10 nm on SrTiO ₃ nanocubes: an application for plasmonic water oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7232 ~ 7235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc02813h	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 50
2. 論文標題 Hydrogen Peroxide Production from Oxygen and Water by Two-electrode Electrolytic Cell Using a Gold Nanoparticle-loaded Fluorine-doped Tin Oxide Cathode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1589 ~ 1591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210269	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 50
2. 論文標題 Photocatalysis of Ag Nanoparticle-incorporated AgI Formed in the Pores of Mesoporous TiO ₂ Film	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1872 ~ 1874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210457	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 Kurokawa Kota, Sugime Hisashi, Naya Shin-ichi, Tada Hiroaki	4. 巻 50
2. 論文標題 Thermocatalytic Activity of Gold Truncated Nanopyramids on Strontium Titanate Nanocube	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1997~2000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210544	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, Suzuki Haruya, Kobayashi Hisayoshi, Tada Hiroaki	4. 巻 38
2. 論文標題 Highly Active and Renewable Catalytic Electrodes for Two-Electron Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c00659	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22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 納谷真一
2. 発表標題 光反応とヘテロエピタキシャル接合で構築される特異なナノ構造を持つプラズモニック光触媒
3. 学会等名 第179回ラドテック研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shin-ichi NAYA, Ryota KOJIMA, Hisashi SUGIME, Hiroaki TADA
2. 発表標題 Heteroepitaxial junction-induced faceted gold nanoparticle-loaded radial titanium(IV) oxide heteromesocrystal type plasmonic photocatalyst
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 納谷真一, 小島諒太, 副島哲朗, 杉目恒志, 多田弘明
2. 発表標題 種結晶アシスト水熱法による放射状酸化チタンメソ結晶の合成とプラズモニック光触媒への応用
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 納谷真一, 杉目恒志, 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-バナジン酸ビスマス 複合系光触媒による水の浄化
3. 学会等名 2023年色材研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 寺西美和子, 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持酸化インジウム可視光光触媒による水と酸素からの過酸化水素合成
3. 学会等名 2023年色材研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 エンヨウソウ, 納谷真一, 杉目恒志, 多田弘明, 副島哲朗
2. 発表標題 ATO-ZnOナノハイブリッド光触媒を用いた 酸素二電子還元による過酸化水素合成
3. 学会等名 2023年色材研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 納谷真一、杉目恒志、多田弘明
2. 発表標題 Noble Metal-Free Photocatalyst Consisting of Antimony-Doped Tin Oxide Nanorod and Titanium Oxide for Hydrogen Peroxide Production
3. 学会等名 The 95th JSCM Anniversary Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 晴輝、納谷真一、副島哲朗、杉目恒志、多田弘明
2. 発表標題 Photothermal effect of manganese oxide-catalyzed reaction
3. 学会等名 The 95th JSCM Anniversary Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 納谷真一、杉目恒志、多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合を持つ 酸化ルテニウム担持酸化スズ系電極による 水の電気化学的酸化反応
3. 学会等名 2022年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 納谷真一、森田陽子、藤島武蔵、杉目恒志、多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持酸化チタン系プラズモニック光触媒におけるドメインマッチングエピタキシャルの効果
3. 学会等名 第130回 触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 納谷真一、秋田敦宣、森田陽子、藤島武蔵、杉目恒志、多田弘明
2. 発表標題 Domain matching epitaxy effect in the plasmonic photocatalyst consisting of gold nanoparticle and titanium(IV) oxide
3. 学会等名 23rd International Conference on Photochemical Conversion and Storage Energy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shin-ichi NAYA, Yuya SHITE, Hiroaki TADA
2. 発表標題 Hole-derived plasmonic photocatalyst film consisting of cupper sulfide nanocrystals for near-infrared photoelectric conversion
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷真一, 鈴木遥也, 小林久芳, 杉目恒志, 多田弘明
2. 発表標題 ドーブ金属酸化物型シングルサイト触媒電極による酸素2電子還元反応
3. 学会等名 2021年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺西美和子, 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 Sb(III)イオンで表面修飾した金ナノ粒子担持酸化スズ可視光光触媒による純水からの過酸化水素合成
3. 学会等名 2021年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上晴輝・納谷真一・杉目恒志・多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子担持アンチモンドープ酸化スズナノ結晶によるアルコール選択的酸化に対するフォトサーマル効果
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木遙也, 山内純平, 納谷真一, 杉目恒志, 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ナノロッド-酸化チタン複合体の 合成と光触媒特性
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒川宏太・納谷真一・杉目恒志・多田弘明
2. 発表標題 ヘテロエピタキシャル接合誘起ファセット形成法を用いて調製した金ナノ粒子担持チタン酸ストロンチウムナノキューブの熱触媒作用
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島諒太・秋田敦宣・納谷真一・杉目恒志・多田弘明
2. 発表標題 酸化スズ-酸化チタンナノロッドからなる 放射状ヘテロメソクリスタルの合成と 酸化鉄クラスター表面修飾による可視光応答化
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 銀ナノ粒子内包ヨウ化銀ナノ結晶担持 多孔質酸化チタン薄膜の合成と プラズモニック光触媒への応用
3. 学会等名 第128回 触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷真一, 多田弘明
2. 発表標題 酸化マンガククラスター担持 アンチモンドープ酸化スズナノ結晶触媒の 環境浄化に対する近赤外フォトサーマル効果
3. 学会等名 2021年色材研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田陽子・秋田敦宣・藤島武蔵・杉目恒志・納谷真一・多田弘明
2. 発表標題 金ナノ粒子 - 酸化チタン系 プラズモニック光触媒の活性に及ぼす 酸化チタン結晶型の影響
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉田翔麻・納谷真一・杉目恒志・多田弘明
2. 発表標題 金トライアングルナノプレートの超音波合成 およびフォトサーマル触媒への応用
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

近畿大学 有害物質処理室 環境研究
<https://www.kindai.ac.jp/rd/research-center/hazardous-substances/research/>

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