

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05654

研究課題名 (和文) 金コア-硫化物シェルハーフカット形プラズモニック光触媒によるソーラー物質変換

研究課題名 (英文) Au(core)-metal chalcogenide(shell) half-cut nanoegg-type plasmonic photocatalyst for solar-to-chemical transformation

研究代表者

多田 弘明 (TADA, Hiroaki)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：60298990

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 4,000,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究の主要な研究成果を以下の通りである。(1) Au/TiO₂上にCdS光析出を行うことによりHC-Au@CdSナノエッグ粒子の合成に成功した。(2) CdS光析出温度を25°Cから50°Cに上げることにより、Au-CdS界面にエピタキシャル接合が形成されることを高分解能TEMによる解析で明らかにした。(3) 最適条件下において、水分解に対する外部量子収率0.24%を達成した。これは、赤色光照射下(波長 = 640 nm)における効率としては世界最高の値である。

研究成果の概要 (英文) : A key material for artificial photosynthesis including water splitting is heteronanostructured (HNS) photocatalysts. The photocatalytic activity depends on the geometry and dimension, and the quality of junctions between the components. Here we present a half-cut Au(core)-CdS(shell) (HC-Au@CdS) nanoegg as a new HNS plasmonic photocatalyst for water splitting. UV-light irradiation of Au nanoparticle (NP)-loaded ZnO (Au/ZnO) at 50°C induces the selective deposition of hexagonal CdS on the Au surface of Au/ZnO with an epitaxial (EPI) relation of CdS{0001}/Au{111}. The subsequent selective dissolution of the ZnO support at room temperature yields HC-Au@CdS with the Au NP size and EPI junction (#) retained. Red-light irradiation (excitation wavelength = 640 nm) of HC-Au@CdS gives rise to continuous stoichiometric water splitting with an unprecedentedly high external quantum yield of 0.24%.

研究分野：光電気化学

キーワード：光触媒

1. 研究開始当初の背景

エネルギー・環境問題が深刻化しつつある状況の下で、ソーラー物質変換プロセスを開発することが持続可能な社会を構築するための喫緊の課題である。これを達成するためのポイントは、エネルギー源として太陽光を有効利用することのできる高活性な可視光応答型光触媒を開発することである。本多・藤嶋効果の発見以来、光触媒材料としては、酸化チタンに代表される半導体が主流であるが、最近、酸化チタン上に固定化された金ナノ粒子からなる“Au/TiO₂ プラズモニック光触媒”が大きな注目を集めている。この最大の特徴は、太陽光スペクトルにマッチングした強い可視光吸収をもち、光源として太陽光を有効に利用することができることである。作動原理は、金ナノ粒子の局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) の励起に伴う、金ナノ粒子から酸化チタンへの界面電子移動に基づいている。2009年に大谷らの研究グループが Au/TiO₂ プラズモニック光触媒によるアルコール酸化を報告したのに続き (*Chem. Commun.*, 2009, 241.)、アミン、チオール、ベンゼンなどの酸化反応が報告されている。また、García らの研究グループは、Au/TiO₂ プラズモニック光触媒が水を酸素に酸化する能力を有することを示した (*J. Am. Chem. Soc.* 2011, 133, 595)。この結果は、水素生成および二酸化炭素還元のための電子およびプロトンドナーとして水を利用できる可能性があることを示している。

2. 研究の目的

本研究では、可視光照射下において高い還元力および効率的電荷分離が期待される金コア-金属硫化物シェルハーフカットナノエッグ光触媒(HC-Au@MS)の開発を目指す。

3. 研究の方法

平成27年度：メタノール水溶液および純水からの高効率水素生成を主目的として、合理的な材料設計に基づいてHC-Au@MSナノエッグ粒子の合成を行うと共に、疑似太陽光照射下における光触媒活性を評価する。
平成28年度：二酸化炭素の高効率還元固定化を主目的として、合理的な材料設計に基づいてHC-Au@MSナノエッグ粒子の合成を行うと共に、疑似太陽光照射下における光触媒活性を評価する。
平成29年度：平成27~28年度に得られた知見に基づき、HC-Au@MSナノエッグ粒子の活性支配因子を明らかにすると共に、一層の高活性化を検討する。

4. 研究成果

本研究の主要な研究成果を以下に列挙する。
(1) Au/TiO₂上にCdS光析出を行うことにより、デザイン通りのHC-Au@CdSナノエッグ粒子の合成に成功した。
(2) CdS光析出温度を25°Cから50°Cに上げ

ることにより、Au-CdS界面にエピタキシャル接合が形成されることを高分解能TEMによる解析で明らかにした。

(3)最適条件下において、水分解に対する外部量子収率0.24%を達成した。これは、赤色光照射下(波長 = 640 nm)における効率としては世界最高の値である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計33件)

1. One-Compartment Hydrogen Peroxide-Photofuel Cell using TiO₂ Photoanode and Prussian Blue Cathode. Atsunobu Akita, Takumi Masuda, Keigo Fujiwara, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *J. Electrochem. Soc.* **2018**, *165*, F300-F304. (査読有)
DOI: 10.1149/2.0591805jes
2. 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. 納谷真一, 多田弘明, 色材(総説論文), 2018, 91, 122-127. (査読有)
3. Red-Light-Driven Water Splitting by Au(Core)-CdS(Shell) Half-Cut Nanoeegg with Heteroepitaxial Junction. Shin-ichi Naya, Takahiro Kume, Ryo Akashi, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 1251-1254. (査読有)
10.1021/jacs.7b12972
4. Hydrogen peroxide-photofuel cell using TiO₂ photoanode. Keigo Fujiwara, Atsunobu Akita, Seina Kawano, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *Electrochem. Commun.* **2017**, *84*, 71-74. (査読有)
DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2017.10.
5. ソーラー酸素サイクル化学, 多田弘明, 化学 **2017**, 72, 70-71. (依頼記事) (査読無)
6. Rapid Removal and Mineralization of Bisphenol A by Heterosupramolecular Plasmonic Photocatalyst Consisting of Gold Nanoparticle-Loaded Titanium(IV) Oxide and Surfactant Admicelle. Shin-ichi Naya, Junpei Yamauchi, Takashi Okubo, Hiroaki Tada, *Langmuir* **2017**, *33*, 10468-10472. (査読有)
DOI:10.1021/acs.langmuir.7b02396
7. Solid-Phase Photochemical Growth of Composition-Variable Au-Ag Alloy Nanoparticles in AgBr Crystal. Shin-ichi Naya, Yoshihiro Hayashido, Ryo Akashi, Kaoru Kitazono, Tetsuro Soejima, Musashi Fujishima, Hisayoshi Kobayashi, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2017**, *121*, 20763-20768. (査読有)
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b04531
8. Plasmonic effect in Au(core)-CdS(shell) quantum dot-sensitized photoelectrochemical cell for hydrogen generation from water. Takuya Ikeda, Ryo Akashi, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *Appl. Phys. Lett.* **2017**, *111*, 113901/1-3 (査

読有)

DOI: 10.1063/1.4996932

9. Photocatalytic Synthesis of CdS(core)-CdSe(shell) Quantum Dots with Heteroepitaxial Junction on TiO₂: Photoelectrochemical Hydrogen Generation from Water. Kaoru Kitazono, Ryo Akashi, Keigo Fujiwara, Atsunobu Akita, Shin-ichi Naya, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *ChemPhysChem* **2017**, *18*, 2840-2845. (Front cover article) (査読有)

DOI: 10.1002/cphc.201700708

10. Gold(Core)-Lead(Shell) Nanoparticle-Loaded Titanium(IV) Oxide Prepared by Underpotential Photodeposition: Plasmonic Water Oxidation. Ryo Negishi, Shin-ichi Naya, Hisayoshi Kobayashi, Hiroaki Tada, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 10347-10351. (査読有)

DOI: 10.1002/anie.201703093

11. A dry process for forming ultrathin silicon oxide film on gold nanoparticle. Atsunobu Akita, Keigo Fujiwara, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *Appl. Phys. Lett.* **2017**, *110*, 143108/1-4 (査読有)

DOI: 10.1063/1.4979803

12. Electron Filtering by an Intervening ZnS Thin Film in the Au Nanoparticle-Loaded CdS Plasmonic Photocatalyst. Kouichi Takayama, Keigo Fujiwara, Takahiro Kume, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. Lett.* **2017**, *8*, 86-90. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcclett.6b02642

13. Reaction Mechanism of the Multiple-Electron Oxygen Reduction Reaction on the Surfaces of Gold and Platinum Nanoparticles Loaded on Titanium(IV) Oxide. Hisayoshi Kobayashi, Miwako Teranishi, Ryo Negishi, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. Lett.* **2016**, *7*, 5002-5007. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcclett.6b02026

14. A Two Step Excitation-Driven Au-TiO₂-CuO Three Component Plasmonic Photocatalyst: Selective Aerobic Oxidation of Cyclohexylamine to Cyclohexanone. Ryo Akashi, Shin-ichi Naya, Ryo Negishi, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 27989-27995. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b08774

15. Visible-Light Activation of Strontium Titanate by the Surface Modification with Iron(III) Oxide Nanoclusters. Keigo Fujiwara, Ryo Negishi, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 25418-25424. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b08058

16. Local Electric Field-Enhanced Plasmonic Photocatalyst: Formation of Ag Cluster-Incorporated AgBr Nanoparticles on TiO₂. Yoshihiro Hayashido, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 19663-19669. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b04894

17. Carbonate-Surface Modified Titanium(IV) Oxide with Bimodal Gold Nanoparticles: Visible-Light-Driven Formation of Hydrogen Peroxide from Oxygen. Miwako Teranishi, Riyoko Hoshino, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 12773-12777. (査読有)

DOI: 10.1002/ange.201606734

18. Size-Dependence of the Activity of Gold Nanoparticle-Loaded Titanium(IV) Oxide Plasmonic Photocatalyst for Water Oxidation. Miwako Teranishi, Masataka Wada, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *ChemPhysChem* **2016**, *17*, 2813-2817. (査読有)

DOI: 10.1002/cphc.201600269R1

19. High Coverage Formation of CdS Quantum Dots on TiO₂ by the Photocatalytic Growth of Preformed Seeds. Musashi Fujishima, Yasunari Nakabayashi, Kouichi Takayama, Hisayoshi Kobayashi, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 17365-17371. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b04091

20. Fermi Level Control of Gold Nanoparticle by the Support: Activation of the Catalysis for Selective Aerobic Oxidation of Alcohols. Shin-ichi Naya, Miwako Teranishi, Ryo, Aoki, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 12440-12445. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b01738

21. Coverage Control of CdSe Quantum Dots in the Photodeposition on TiO₂ for the Photoelectrochemical Solar Hydrogen Generation. Mari Yoshii, Yusuke Murata, Yasunari Nakabayashi, Takuya Ikeda, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *J. Colloid Interface Sci.* **2016**, *474*, 34-40. (査読有)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.04.018>

22. Visible-light-induced water oxidation by a hybrid photocatalyst consisting of bismuth vanadate and copper(II) meso-tetra(4-carboxyphenyl)porphyrin. Shu Nakashima, Ryo Negishi, Hiroaki Tada, *Chem. Commun.* **2016**, *52*, 3665-3668. (査読有)

DOI: 10.1039/c5cc10014c

23. Temperature- and pH-Dependences of Hydrogen Peroxide Formation from Molecular Oxygen by Gold Nanoparticle-Loaded Titanium (IV) Oxide Photocatalyst. Miwako Teranishi, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120*, 1083-1088. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b10626

24. Room-temperature selective oxidation of 2-naphthol to BINOL by a Au/SrTiO₃-H₂O₂ catalytic system. Shin-ichi Naya, Yuta Hiramoto, Miwako Teranishi, Hiroaki Tada, *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 17669-17671. (back cover) (査読有)

DOI: 10.1039/C5CC06438D

25. Reaction Mechanism on the Multiple-Electron Oxygen Reduction Reaction

by a Binuclear Cu(acac)₂ Complex. Hisayoshi Kobayashi, Miwako Teranishi, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *ChemPhysChem* **2015**, *16*, 3392-3396. (査読有)

DOI: 10.1002/cphc.201500466

26. Surface charge-transfer complex formation of catechol on titanium(IV) oxide and the application to bio-sensing. Yusuke Murata, Hiroshige Hori, Atsushi Taga, Hiroaki Tada, *J. Colloid Interface Sci.* **2015**, *458*, 305-309. (査読有)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2015.07.065>

27. PbSe-TiO₂ Heteronanojunction Formation by Photocatalytic Current Doubling-Induced Two-Step Photodeposition Technique. Kentaro Tanaka, Yasuaki Jin-nouchi, Musashi Fujishima, Hiroaki Tada, *J. Colloid Interface Sci.* **2015**, *457*, 248-253. (査読有)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2015.03.008>

28. A new bimetallic plasmonic photocatalyst consisting of gold(core)-copper(shell) nanoparticle and titanium(IV) oxide support. Yuichi Sato, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *APL Mater.* **2015**, *3*, 104502/1-7. (査読有)

DOI: 10.1063/1.4923098

29. Bi-overlayer Type Plasmonic Photocatalyst Consisting of Mesoporous Au/TiO₂ and CuO/SnO₂ Films Separately Coated on FTO. Shin-ichi Naya, Takahiro Kume, Nozomi Okumura, Hiroaki Tada, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2015**, *17*, 18004-18010. (査読有)

DOI: 10.1039/C5CP01111F

30. Rapid Removal and Decomposition of Gaseous Acetaldehyde by the Thermo- and Photo-catalysis of Gold Nanoparticle-Loaded Anatase Titanium(IV) Oxide. Tomoyuki Nikawa, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Colloid Interface Sci.* **2015**, *456*, 161-165. (査読有)

DOI: 10.1016/j.jcis.2015.06.016

31. Sub-Bandgap Excitation-Induced Electron Injection from CdSe Quantum Dots to TiO₂ in the Directly Coupled System. Mari Yoshii, Hisayoshi Kobayashi, Hiroaki Tada, *ChemPhysChem* **2015**, *16*, 1846-1851. (査読有)

DOI: 10.1002/cphc.201500183

32. Visible Light-Driven Selective Aerobic Oxidation of Benzylalcohols to Benzaldehydes by a Cu(acac)₂-BiVO₄-Admicelle Three Component Heterosupramolecular Photocatalyst. Ryo Negishi, Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *J. Phys. Chem. C* **2015**, *119*, 11771-11776. (査読有)

DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b0306

33. Rapid Removal and Subsequent Low-Temperature Mineralization of Gaseous Acetaldehyde by the Dual Thermocatalysis of Gold Nanoparticle-Loaded Titanium(IV) Oxide. Tomoyuki Nikawa, Shin-ichi Naya, Takayoshi Kimura, Hiroaki Tada, *J. Catal.* **2015**, *326*, 9-14. (査読有)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2015.03.005>

[学会発表] (計 49 件)

国際学会

1. Hiroaki Tada, "Hybrid quantum dot-sensitized photoelectrochemical cells for solar-to-hydrogen conversion", 2018 MRS Spring Meeting, "Hybrid quantum dot-sensitized photoelectrochemical cells for solar-to-hydrogen conversion", 2018.

(招待講演)

2. Hiroaki Tada, "Sub-band gap excitation-induced electron injection from CdSe quantum dots into TiO₂ and the application to photoelectrochemical cell for hydrogen production", BIT's 2nd Annual World Congress of Smart Materials-2016, 2016.

(招待講演)

3. Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, "Solar hydrogen generation by a Au(core)-CdS(shell) half-cut nano egg type plasmonic photocatalyst", 21th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, 2016.

4. Hiroaki Tada, "Metal complex-hybridized semiconductor photocatalysts for solar chemical transformations", 2015 MRS Spring Meeting, "Hybrid quantum dot-sensitized photoelectrochemical cells for solar-to-hydrogen conversion", 2015.

(招待講演)

国内学会

1. 多田弘明, "金ナノ粒子をベースとしたヘテロナノ構造型プラズモニック光触媒の合成と水の酸化還元反応への応用", 第13回プラズモニック化学シンポジウム, 2017.

(招待講演)

2. 納谷真一, 寺西美和子, 多田弘明, "金ナノ粒子チタン酸ストロンチウム-カチオン性界面活性剤アドミセル系ヘテロ超分子の酸素二電子還元反応に対する熱触媒作用", 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

3. 明石陵, 阿波健太, 納谷真一, 多田弘明, "エピタキシャル接合を有する酸化スズ(IV)-酸化チタンヘテロナノ構造体の合成および光触媒活性", 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

4. 川野聖奈, 明石陵, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "酸化チタン表面への脂肪族アルコールの吸着に伴う可視光吸収の発現と光触媒反応への応用", 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

5. 山内順平, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "金ナノ粒子担持酸化チタンとカチオン性界面活性剤アドミセルからなるヘテロ超分子型プラズモニック光触媒によるビスフェノールAの高速除去分解", 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

6. 阿波健太, 明石陵, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "エピタキシャル接合を有する酸化スズ(IV)-酸化チタンヘテロナノ接合体の合

成と酸素二電子還元反応に対する可視光活性", 第 68 回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

7. 寺西美和子, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "金ナノ粒子担持金属酸化物ナノ粒子-カチオン性界面活性剤アドミセル系ヘテロ超分子の酸素二電子還元反応に対する熱触媒活性に対する担体効果", 第 68 回コロイドおよび界面化学討論会, 2017.

8. 藤原啓伍, 秋田敦宜, 藤島武蔵, 多田弘明, "多孔質酸化チタン光アノードを用いた過酸化水素燃料電池の開発", 2017 年電気化学秋季大会, 2017.

9. 納谷真一, 根岸凌, 小林久芳, 多田弘明, "アンダーポテンシャル光析出による酸化チタン電極に担持した金ナノ粒子表面への鉛超薄膜形成と水の光電気化学的酸化反応の高活性化", 2017 年電気化学秋季大会, 2017.

10. 明石陵, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "金ナノ粒子-チタン酸ストロンチウム-酸化銅クラスター三元ヘテロナノ構造体の合成とプラズモニック光触媒への応用", 2017 年電気化学秋季大会, 2017.

11. 北園馨, 明石陵, 藤原啓伍, 秋田敦宜, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "CdS コア-CdSe シェル複合ナノ粒子担持酸化チタン光電極の調製と水素製造光電気化学セルへの応用", 90th JSCM Anniversary Conference, 2017.

12. 中林泰成, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "近赤外光照射下における硫化銅電極の電気化学特性", 90th JSCM Anniversary Conference, 2017.

13. 池田拓也, 明石陵, 藤島武蔵, 多田弘明, "コア-シェル型 Au@CdS ナノ結晶担持酸化チタン光アノードの調製と疑似太陽光照射下における光電気化学特性", 90th JSCM Anniversary Conference, 2017.

14. 池田拓也, 藤島武蔵, 多田弘明, "Au(コア)-CdS(シェル)複合ナノ粒子担持多孔質酸化チタン薄膜の調製及び水素製造光電気化学セルへの応用", 日本化学会第 97 回春季年会, 2017.

15. 秋田敦宜, 藤原啓伍, 藤島武蔵, 多田弘明, "金ナノ粒子触媒による 1,3,5,7-テトラメチルシクロテトラシロキサン化学気相重合反応を利用した SiO₂ 超薄膜形成", 日本化学会第 97 回春季年会, 2017.

16. 明石陵, 納谷真一, 多田弘明, "金ナノ粒子-酸化チタン-酸化銅クラスター系プラズモニック光触媒の合成とソーラー物質変換反応への応用", 日本化学会第 97 回春季年会, 2017.

17. 辻大吾, 藤原啓伍, 納谷真一, 多田弘明, "アルコール選択酸化のためのフェルミ準位制御による金ナノ粒子の熱触媒活性向上", 第 119 回触媒討論会, 2017.

18. 小林久芳, 三木智司, 寺西美和子, 根岸凌, 納谷真一, 多田弘明, "TiO₂ 担持 Au,Pt ナノ粒子による O₂ の 2 電子還元反応機構の

DFT 計算による解析", 第 119 回触媒討論会, 2017.

19. 佐藤雄一, 納谷真一, 多田弘明, "金(コア)-異種金属(シェル)ナノ粒子担持酸化チタンプラズモニック光触媒による選択的アミン酸化", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

20. 納谷真一, 高山晃一, 多田弘明, "金ナノ粒子(コア)-硫化カドミウム(シェル)ハーフカットナノエッグ型プラズモニック光触媒によるソーラー水素合成に対する高活性化", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

21. 根岸凌, 若林咲, 藤島武蔵, 多田弘明, "Au(コア)-異種金属(シェル)ナノ粒子担持多孔質酸化チタン薄膜の作製と水の光電気化学酸化", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

22. 明石陵, 納谷真一, 中田和, 多田弘明, "酸化スズを核とする放射状金ナノ粒子担持酸化チタンナノロッドアレイの液相合成およびソーラー過酸化水素合成", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

23. 中島脩, 藤島武蔵, 多田弘明, "バナジン酸ビスマス光触媒による水の酸化に対する酸化コバルトクラスター表面修飾効果", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

24. 林堂好紘, 納谷真一, 多田弘明, "銀内包臭化銀ナノ結晶系プラズモニック光触媒の合成および二酸化炭素還元反応への応用", 第 67 回コロイドおよび界面化学討論会, 2016.

25. 明石陵, 納谷真一, 中田和, 多田弘明, "酸化スズを核とする放射状金ナノ粒子担持酸化チタンナノロッドアレイの液相合成およびソーラー過酸化水素合成", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

26. 中田和, 明石陵, 納谷真一, 多田弘明, "放射状金ナノ粒子担持酸化チタンナノロッドアレイプラズモニック光触媒", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

27. 中林泰成, 藤島武蔵, 多田弘明, "金属硫化物表面における硫化モリブデン量子ドットの被覆率制御と水素製造光電気化学カソードへの応用", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

28. 藤原啓伍, 藤島武蔵, 多田弘明, "SrTiO₃ ナノ粒子の酸化鉄ナノクラスター表面修飾による可視光応答化および光電気化学特性の検討", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

29. 北園馨, 藤島武蔵, 多田弘明, "多孔質酸化チタン光電極における硫化セレン化カドミウム量子ドットの組成制御と光電気化学セルへの応用", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

30. 秋田敦宜, 藤原啓伍, 藤島武蔵, 多田弘明, "金ナノ粒子担持二次元ネットワーク状シリカの合成と触媒活性評価", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

31. 若林咲, 納谷真一, 多田弘明, "オキソ銅(II)錯体表面修飾 Au/SrTiO₃ プラズモニック光触媒の合成と触媒活性評価", 2016 年度色材研究発表会, 2016.

32. 納谷真一, 久米貴大, 多田弘明, "Au/TiO₂-CuO/SnO₂ ダブル多孔質薄膜型固定化プラズモニック光触媒", 第 66 回コロイドおよび界面化学討論会, 2015.

33. 明石陵, 納谷真一, 藤島武蔵, 多田弘明, "酸化銅クラスター表面修飾による金ナノ粒子担持酸化チタン系プラズモニック光触媒の高活性化", 第 66 回コロイドおよび界面化学討論会, 2015.

34. 久米貴大, 高山晃一, 納谷真一, 多田弘明, "金ナノ粒子-硫化カドミウム複合型プラズモニック光職ビアの高活性化", 第 66 回コロイドおよび界面化学討論会, 2015.

35. 村田祐介, 多田弘明, "酸化チタン上へのカテル吸着挙動の平衡論的および速度論解析", 第 66 回コロイドおよび界面化学討論会, 2015.

36. 吉井まり, 多田弘明, "酸化チアン上へのセレン化カドミウム量子ドット光析出における被覆率制御", 2015 年電気化学秋季大会, 2015.

37. 納谷真一, 多田弘明, "酸化チタン光触媒によるエタノールからアセトアルデヒドへの気相選択的酸化反応における結晶形の影響", 第 116 回触媒討論会, 2015.

38. 池田拓也, 多田弘明, "逐次的イオン層吸着反応法による多孔質 TiO₂ ナノ結晶薄膜上での BiVO₄ 量子ドット形成", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

39. 秋口誠志郎, 納谷真一, 多田弘明, "酸化チタン光触媒によるエタノールからアセトアルデヒドへの選択的酸化反応", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

40. 藤原啓伍, 多田弘明, "鉄(III)オキソ錯体 SrTiO₃ ナノ粒子表面修飾による可視光応答化", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

41. 高山晃一, 久米貴大, 納谷真一, 多田弘明, "Au/CdS/FTO 系プラズモニック光触媒の作製と水分解光電気化学セルへの応用", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

42. 中林泰成, 吉井まり, 多田弘明, "TiO₂ 上への光析出における CdS 量子ドットの形状制御", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

43. 中島脩, 多田弘明, "meso-テトラキス(4-カルボキシフェニル)ポルフィリン銅(II)錯体-バナジン酸ピスマス(III)光触媒合成および水の光酸化反応", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

44. 林堂好紘, 根岸凌, 納谷真一, 多田弘明, "フッ素ドーパ酸化スズ電極上への Ag(コア)-AgBr(シェル)複合ナノ粒子形成および可視光誘導酸化反応への応用", 2015 年度色材研究発表会, 2015.

45. 納谷真一, 多田和真, 富久保尚輝, 高山晃一, 久米貴大, 多田弘明, "Au/TiO₂ ナノロッドを基本単位とする 2 次元および 3 次元構

造体の作製とプラズモニック光触媒への応用", 2015 年材料技術研究協会討論会, 2015.

[図書] (計 2 件)

1. Hiroaki Tada, Qiliang Jin, *Advanced Catalytic Materials*, InTech Europe, 2016. 総頁数 17 頁.

2. Shin-ichi Naya, Hiroaki Tada, *Light Harvesting Nanomaterials*, Bentham Science Publishers, 2015. 総頁数 22 頁.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 多田 弘明 (TADA, Hiroaki)
 近畿大学・理工学部・教授
 研究者番号 : 60298990

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

納谷 真一 (NAYA, Sin-ichi)
 近畿大学・有害物質処理室・技術主任