

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02819

研究課題名（和文）高効率な人工光合成を目指した半導体光触媒および光触媒系の設計

研究課題名（英文）Design of semiconductor photocatalysts and photocatalyst systems for highly efficient artificial photosynthesis

研究代表者

岩瀬 顕秀 (Iwase, Akihide)

明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号：40632451

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、光触媒の材料開発および光触媒表面反応場の形成を軸に、可視光水分解反応の高効率化に成功した。光触媒の材料開発の観点からは、新しい可視光応答性ドーパ型金属酸化物光触媒を開発した。この光触媒は当初想定していたZスキーム型水分解ではなく、より難易度の高い一段階励起型の可視光水分解に活性を示した。光触媒表面反応場の形成の観点からは、金属硫化物に対する水溶液処理による水素生成活性の向上および金属酸化物に対するフラックス処理による水分解活性の向上を達成した。このように、可視光水分解のための光触媒の開発およびその高活性化手法の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光触媒を用いた水分解や二酸化炭素還元は、光エネルギーを化学エネルギーへと変換する反応であることから人工光合成と呼ばれ、持続可能社会およびカーボンニュートラルの実現に貢献しうる科学技術である。本研究課題の成果は、このような人工光合成型の反応を高効率に進めることのできる新しい光触媒の開発について、材料設計および高性能化の手法の確立に貢献するものである。特に、本課題で開発した表面処理による高性能化は、様々な光触媒や光触媒反応に適用できる可能性があり、本研究分野の発展に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the present research, we have successfully improved the water splitting activities under visible light irradiation on the basis of the development of photocatalyst materials and the formation of surface reaction sites. In terms of the development of photocatalyst materials, novel doped metal oxides with visible light response were developed. The developed photocatalysts showed activities for overall water splitting with one-step photo excitation which is more difficult than Z-schematic water splitting. In terms of the formation of surface reaction sites, the H₂-evolution ability of metal sulfides was improved by treatment with aqueous solutions and the water splitting ability of metal oxides was improved by treatment with fluxes. Thus, we have developed photocatalysts and strategy for improvement of water splitting activities.

研究分野：光触媒

キーワード：人工光合成 水分解 光触媒 表面修飾

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光触媒を用いた水分解や二酸化炭素還元は、光エネルギーを化学エネルギーへと変換する反応であることから人工光合成と呼ばれ、持続可能社会およびカーボンニュートラルの実現に貢献しうる科学技術である^①。水素はクリーンなエネルギー源としてのみならず、化学工業の重要な原料でもあり、水素自体のクリーンな製造法の確立が望まれている。二酸化炭素を光触媒反応により直接還元できれば、より簡便な二酸化炭素の資源化プロセスとなりうる。このような、太陽光を利用した光触媒による水分解や二酸化炭素還元を達成するための光触媒の開発は重要な研究課題である。

現状、可視光でも水を分解できる粉末光触媒系がいくつか報告されつつあるものの、性能面ではまだ高効率化の必要がある^②。一方、二酸化炭素還元に関しては、紫外光照射下で駆動する光触媒の開発が主として行われている。このように、新しい光触媒の開発およびそれら光触媒の高性能化の手法の開発は、高効率な人工光合成の達成のために意義がある。

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景を踏まえ、高効率な人工光合成を達成するための手法として、新規可視光応答性光触媒の開発および光触媒内での電子移動および表面での光触媒反応を能動的にコントロールできる表面反応場の設計を軸とし、Zスキーム型光触媒による高効率な人工光合成を達成することを目的とした。

3. 研究の方法

金属硫化物光触媒の高性能化を目的として、真空中で合成した金属硫化物に対し、異なる半導体との複合化および表面改質を目的とした水溶液中での処理をおこなった。このような複合化や処理の前後において、犠牲試薬（還元剤）を含む水溶液からの水素生成により光触媒としての性能を評価した。さらに、金属硫化物を水素生成光触媒としたZスキーム系を構築し、可視光水分解反応による性能も評価した。

還元型酸化グラフェンと光触媒との複合化は、還元剤としてメタノールおよび助触媒源のイオンを用いて、酸化グラフェンおよび光触媒を分散させた水溶液に可視光を照射することでおこなった。

ドープ型金属酸化物を固相法で合成した。含浸法によりRhCrO₃助触媒を、逐次光電着法によりRh/Cr₂O₃コアシェル型助触媒を担持した。光触媒の性能評価として、犠牲試薬を含む水溶液からの水素生成および酸素生成、可視光水分解をおこなった。

4. 研究成果

(1) 金属硫化物光触媒の高性能化のために、既存の金属硫化物光触媒に対して適切なバンド構造を有する半導体を物理的に複合化した。その結果、この複合化した金属硫化物光触媒は、可視光照射下における犠牲試薬を含む水溶液からの水素生成において、未修飾の金属硫化物光触媒よりも飛躍的に高い活性を示した。これは、適切なバンド位置の半導体との複合化により、光生成した電荷の分離が促進されたためであると考えられる。また、複合化により、金属硫化物光触媒の空気中での酸化による劣化度合いの低減も示唆された。具体的には、通常金属硫化物は酸化によりその性能が低下してしまうが、複合化した場合にはそのような性能の低下はほとんど見られなかった。このように、適切な半導体との複合化による金属硫化物光触媒の高性能化に成功した。現状、高性能化する金属硫化物光触媒と複合化する半導体の組み合わせが限定的であるため、より汎用性の高い半導体の開発、複合化手法の開発が重要となるだろう。

(2) 金属硫化物光触媒の異なる高性能化の手法として、種々の水溶液中で表面処理をおこなった。その結果、硫化物イオンを含む水溶液中で金属硫化物光触媒をかくはんすると、この金属硫化物を水素生成光触媒としたZスキーム系を用いた可視光照射下における水分解において、活性が向上することを見いだした。それに対し、可視光照射下における犠牲試薬を含む水溶液からの水素生成においては、活性の向上が見られなかった。また、水酸化ナトリウム水溶液中で処理した場合には、硫化物イオンを含む水溶液中で処理した程ではないまでも、Zスキーム型水分解活性の向上が確認された。それに対し、水で処理した場合には、活性は向上しなかった。これらのことから、今回のZスキーム型水分解活性の向上には、金属硫化物の塩基性水溶液中での処理が鍵であることがわかった。このように、金属硫化物水素生成光触媒の表面処理により、Zスキーム型水分解活性を向上させることに成功した。

(3) 光生成した電荷の分離促進および反応活性点の制御を目指し、還元型酸化グラフェンと光触媒との複合体形成手法の新規開発をおこなった。これまでは、光触媒の還元力を利用して酸化グラフェンを光触媒的に還元する際に、メタノールなどの還元剤を使用していた。そこで、還元

剤として助触媒源を用い、助触媒担持および酸化グラフェンの還元を同時に行うことを試みた。その結果、従来の方法で調製したものと同程度の性能を示す複合体の簡便な合成に成功した。このような、光触媒に対する助触媒の担持と還元型参加グラフェンとの複合化を同時に行う手法は、従来 Z スキーム系の酸素生成光触媒として用いられている金属酸化物光触媒のみならず、金属酸窒化物光触媒へも適用できることを見いだした。また、従来の助触媒担持法では、熱処理をとまうものも多く、光触媒の性能が低下する場合もある。今回開発した手法は、そのような熱処理に弱い光触媒に対しての有用な複合化の手法となりうる可能性がある。

(4) 新規光触媒の開発を目的として、金属酸化物へのドーピングをおこなった。具体的には、紫外光照射下で水分解に活性な KTaO_3 に対して Ir をドーピングした。その結果、Ir をドーピングすることで、白色だった KTaO_3 が有色に変化した。すなわち、可視光を吸収するようになった。さらに、La を共ドーピングすることで、吸収スペクトルが変化したことから、共ドーピングした La が Ir の酸化数に影響を与えていることがわかった。Ir および La を共ドーピングした KTaO_3 は可視光照射下において、犠牲試薬を含む水溶液からの水素および酸素生成の両方の反応に活性を示した。これまで、Ir ドープ Ta 系光触媒では、水素生成のみしか確認されておらず、酸素生成にも活性を示したのは特異的な例である。そこで、水分解用の助触媒として用いられている RhCrO_3 助触媒を含浸法により担持し、可視光照射下で水分解反応を行ったところ、水素および酸素が継続的に生成した。さらに、 $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ コアシェル型助触媒を逐次光電着法により担持することで、可視光照射下での水分解活性が向上した (図 1)。ドーピング量および合成条件や担持量および担持条件を最適化した $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ コアシェル型助触媒担持 Ir および La 共ドーピング KTaO_3 は、420 nm の単色光照射下において、0.12% のみかけの量子収率を示した。さらに、照射光の波長を制御する実験より、Ir ドープにより発現した吸収を利用して、水分解反応が進行していることが確かめられた。また、La の代わりに Sr や Ba などのアルカリ土類金属を共ドーパントとして用いても、同様の効果が得られることもわかった。今回開発した Ir および La を共ドーピングした KTaO_3 は、最初の Z スキーム型水分解ではなく、一段階励起型のより難易度の高い反応に活性を示すことを見いだした。このように、これまでは水素のみしか生成しないと考えられてきた Ir ドープ Ta 系光触媒においても、酸素生成能がある場合があり、さらに一段階励起型の可視光水分解に適用できる場合があることを実証した。この成果は、Ta 系光触媒の設計指針に一石を投じるものとなるだろう。

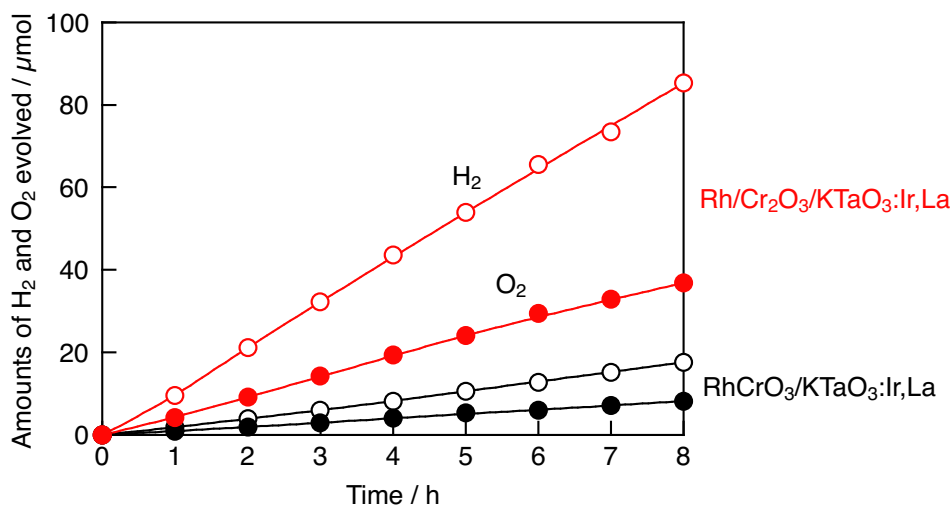


図 1 RhCrO_3 助触媒担持 Ir および La 共ドーピング KTaO_3 光触媒 (黒) および $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ コアシェル型助触媒担持 Ir および La 共ドーピング KTaO_3 光触媒 (赤) による可視光照射下における水分解反応、光触媒：0.3 g、反応溶液：純水 120 mL、光源：ロングパスフィルター ($\lambda > 420$ nm, HOYA L42) を備えた 300 W キセノンランプ、反応管：Pyrex 窓付き上方照射型反応管

引用文献

- ① T. Setoyama, T. Takewaki, K. Domen, T. Tatsumi, Faraday Discuss. 2017, 198, 509–527.
- ② A. Kudo, Y. Miseki, Chem. Soc. Rev. 2009, 38, 253–278.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Iwase Akihide, Misono Haruka	4. 巻 11
2. 論文標題 Overall Water Splitting Under Visible Light Irradiation Over Ir and A Codoped KTaO ₃ (A=Ca, Sr, Ba, La) Photocatalysts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy Technology	6. 最初と最後の頁 2200739 ~ 2200739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ente.202200739	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 Iwase Akihide, Sakamoto Rikako, Misono Haruka	4. 巻 58
2. 論文標題 The development of an Ir and Sr-codoped KNbO ₃ photocatalyst as an O ₂ -evolving photocatalyst for Z-schematic water splitting under visible light irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 12951 ~ 12954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC04977E	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 Yoshino Shunya, Takayama Tomoaki, Yamaguchi Yuichi, Iwase Akihide, Kudo Akihiko	4. 巻 55
2. 論文標題 CO ₂ Reduction Using Water as an Electron Donor over Heterogeneous Photocatalysts Aiming at Artificial Photosynthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 966 ~ 977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.1c00676	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 Akihide Iwase, Misono Haruka	4. 巻 57
2. 論文標題 Development of visible-light-responsive Ir and La-codoped KTaO ₃ photocatalysts for water splitting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 10331-10334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc04227k	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 Shunya Yoshino, Akihide Iwase, Yuichi Yamaguchi, Tomiko M. Suzuki, Takeshi Morikawa, Akihiko Kudo	4. 巻 144
2. 論文標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Water as an Electron Donor under Visible Light Irradiation by ZScheme and Photoelectrochemical Systems over (CuGa) _{0.5} ZnS ₂ in the Presence of Basic Additives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 2323-2332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.ac12636	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 Yoshino Shunya, Iwase Akihide, Ng Yun Hau, Amal Rose, Kudo Akihiko	4. 巻 3
2. 論文標題 Z-Schematic Solar Water Splitting Using Fine Particles of H ₂ -Evolving (CuGa) _{0.5} ZnS ₂ Photocatalyst Prepared by a Flux Method with Chloride Salts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 5684 ~ 5692
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00661	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 Akihide Iwase, Yuhei Udagawa, Shunya Yoshino, Yun Hau Ng, Rose Amal, and Akihiko Kudo	4. 巻 7
2. 論文標題 olar Water Splitting under Neutral Conditions Using Z-Scheme Systems with Mo-Doped BiVO ₄ as an O ₂ -Evolving Photocatalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy Technology	6. 最初と最後の頁 1900358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ente.201900358	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 該当する

1. 著者名 Satoru Ikeda, Naruhiko Aono, Akihide Iwase, Hisayoshi Kobayashi, Akihiko Kudo	4. 巻 12
2. 論文標題 Cu ₃ MS ₄ (M=V, Nb, Ta) and its solid solutions with sulvanite structure for photocatalytic and photoelectrochemical H ₂ evolution under visible-light irradiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 1977-1983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201802702	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31件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 守屋 海沙, 吉野 隼矢, 加藤 英樹, 岩瀬 顕秀
2. 発表標題 (CuGa)0.5ZnS ₂ 水素生成光触媒および非金属酸化物酸素生成光触媒を組み合わせたZスキーム型可視光水分解
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 太一, 御園 はるか, 岩瀬 顕秀
2. 発表標題 IrおよびLaを共ドーブしたNaTaO ₃ 光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 笠原未祐, 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 RuをドーブしたKTaO ₃ 光触媒による可視光水分解およびその光触媒特性におけるLa共ドーブ効果
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 八木下 紘輝, 岩瀬 顕秀
2. 発表標題 Zスキーム型可視光水分解のための表面修飾により高性能化した金属硫化物水素生成光触媒
3. 学会等名 第32回日本MRS年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木下紘輝, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 金属硫化物水素生成光触媒を用いたZスキーム型可視光水分解における表面修飾効果
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 御園はるか, 加藤英樹, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 アモルファス金属錯体法で合成したIrおよびLa共ドープK1-xNaxTaO3光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木下紘輝, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 表面修飾により高性能化した金属硫化物水素生成光触媒を用いたZスキーム型水分解
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 御園はるか, 加藤英樹, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 種々の合成法で合成したIrおよびLaを共ドープしたK1-xNaxTaO3光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 守屋海沙, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 (CuGa)0.5ZnS2還元用光触媒, BiVO4酸素生成光触媒および還元型酸化グラフェン電子伝達剤を用いたZスキーム型可視光二酸化炭素還元における金属および金属酸化物の添加効果
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruka Misono, Akihide Iwase
2. 発表標題 Visible-light-responsive Ir and La-codoped K1-xNaxTaO3 photocatalysts for water splitting
3. 学会等名 12th International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Misa Moriya, Akihide Iwase
2. 発表標題 One-step preparation of reduced graphene oxide incorporated BiVO4 photocatalyst with various cocatalysts for Z-schematic water splitting
3. 学会等名 The 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Yagishita, Akihide Iwase
2. 発表標題 Surface Treated (CuGa)0.5ZnS2 as a H2-Evolving Photocatalyst for Enhanced Z-Schematic Water Splitting under Visible Light Irradiation
3. 学会等名 The 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木下紘輝, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 表面処理により高性能化した助触媒未担持の(CuGa)0.5ZnS2水素生成光触媒を用いたZスキーム型可視光水分解
3. 学会等名 第41回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 可視光およびソーラー水分解のためのIrおよびLa共ドーブK1-xNaxTaO3光触媒の開発
3. 学会等名 第41回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 IrおよびLaを共ドーブしたKxNaxTaO3光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木下紘輝, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 表面処理により高性能化した(CuGa)0.5ZnS2水素生成光触媒を用いたZスキーム型可視光水分解
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Misa Moriya, Hideki Kato, Akihide Iwase
2. 発表標題 Development of Z-scheme systems for water splitting under visible light irradiation using a reduced graphene oxide as an electron mediator and non-oxide material as an O ₂ -evolving photocatalyst
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruka Misono, Akihide Iwase
2. 発表標題 Overall water splitting under visible light irradiation over Ir-doped KTaO ₃ ; photocatalysts
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 Novel Preparation Method of Reduced Graphene Oxide-Incorporated BiVO ₄ with various cocatalysts for Z-Schematic Water Splitting under Visible Light Irradiation
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 種々の助触媒を担持したBiVO ₄ 酸素生成光触媒を(CuGa) _{0.5} ZnS ₂ 光触媒と組み合わせたZスキーム系による可視光水分解
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 可視光水分解に活性なIrおよびLaまたはアルカリ土類金属共ドーブKTaO ₃ ; 光触媒の開発
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 種々の助触媒を担持したBiVO ₄ 酸素生成光触媒を金属硫化物水素生成光触媒と組み合わせたZスキーム系による可視光水分解
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 IrおよびLaまたはアルカリ土類金属を共ドーブしたKTaO ₃ ; 光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 IrおよびLaを共ドーブしたKTaO ₃ ; 光触媒による可視光水分解
3. 学会等名 第40回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihide Iwase, Shunya Yoshiko, Akihiko Kudo
2. 発表標題 Construction of Z-scheme Systems using Photocorrosive Metal Sulfide Photocatalysts for Water Splitting and CO ₂ Reduction
3. 学会等名 The Twelfth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihide Iwase, Shunya Yoshiko, Akihiko Kudo
2. 発表標題 Application of photocorrosive metal sulfide photocatalysts to artificial photosynthetic reactions
3. 学会等名 2021 MRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩瀬顕秀, 吉野隼矢, 工藤昭彦
2. 発表標題 多元硫化物光触媒による光-化学エネルギー変換
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 高濱太一, 加藤英樹, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 非金属酸化酸素生成光触媒および還元型酸化グラフェンを組み合わせたZスキームによる可視光水分解
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 御園はるか, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 IrドーブK ₂ TaO ₆ 光触媒による可視光照射下での犠牲試薬を含む水溶液からの水素および酸素生成
3. 学会等名 第127回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 三石雄悟, 佐山和弘, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 In-Fe複合酸化物を酸素生成光触媒に用いた可視光水分解のための固体間電子伝達型Zスキーム系の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春期年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋海沙, 青柳良輔, 三石雄悟, 加藤英樹, 佐山和弘, 工藤昭彦, 岩瀬顕秀
2. 発表標題 金属硫化物水素生成光触媒, 長波長応答酸素生成光触媒および還元型酸化グラフェン電子伝達剤からなる可視光水分解のためのZ-スキーム系の開発
3. 学会等名 日本化学会第100春期年会
4. 発表年 2020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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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