

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02050

研究課題名(和文) 励起キャリア移動の指向性制御による高効率光触媒表面の構築

研究課題名(英文) Construction of high-efficiency photocatalytic surface by directivity control of excited carrier transfer

研究代表者

吉田 真明 (Yoshida, Masaaki)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号：00582206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)： 持続可能な社会を構築するため、太陽光から水素を製造する研究が進められている。その方法の一つとして、太陽光を利用して水を分解する光触媒が注目されている。光触媒は太陽光を吸収すると、励起電子・ホールといったキャリアが生成され、キャリアが反応サイトに移動することで、水を水素・酸素に分解する。そこで本研究では、吸着CO分子をプローブとしたin-situ表面増強赤外分光法により、反応サイトであるPt助触媒上への励起キャリア移動を観測した。その結果、シリコン光触媒(光電極)やTiO<sub>2</sub>光触媒からPt水素生成助触媒へのキャリア移動を観測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、吸着CO分子をプローブとした赤外吸収分光法により、光触媒からPt水素生成助触媒への励起キャリア移動を観測することに成功した。これまで、光触媒の研究開発にはガスクロマトグラフィーによる生成ガスの観測で判断することが多かったが、本研究では分光学的に光触媒活性を議論する可能性を見出したことに学術的意義がある。光触媒の高効率化は実用化をしていく上で必須であり、本研究を高効率光触媒の開発へ活かすことができれば社会的意義は大きいものと考えている。

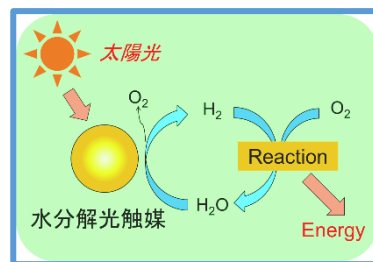
研究成果の概要(英文)： In order to build a sustainable society, many researches are being conducted into producing hydrogen gas from sunlight. As one method, photocatalyst that uses sunlight to split water has attracted attention. When a photocatalyst absorbs sunlight, carriers such as excited electrons and holes are generated, and the carriers move to the reaction site, splitting water into hydrogen and oxygen gases. In this study, we observed the transfer of excited carriers to Pt cocatalyst of reaction site by in-situ surface-enhanced infrared spectroscopy using adsorbed CO molecules as a probe. As a result, we succeeded in observing the transfer of carriers from a silicon photocatalyst (photoelectrode) and a TiO<sub>2</sub> photocatalyst to a Pt hydrogen generation cocatalyst.

研究分野：触媒化学、分光分析

キーワード：光触媒 水分解 水素製造 酸素生成 赤外分光 X線分光 In-situ測定

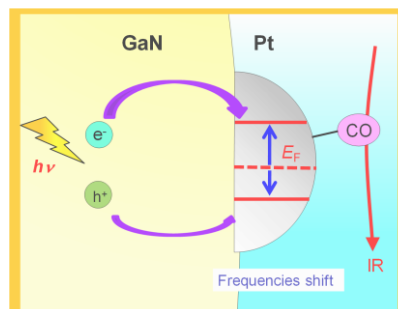
## 1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーを利用する方法の一つとして、太陽光を利用した光触媒による水の分解で水素を製造する方法がある(右図)。これは、太陽光エネルギーを水素という形の化学エネルギーに変換するものであり、クリーンエネルギーシステムの構築において注目されている。特に半導体光触媒は、長期間安定して使用でき、大量生産が可能であり、太陽電池に比べて製造時の二酸化炭素排出量を抑えられることから、実用化への期待が高まっている。



光触媒は光を吸収して励起電子・ホールを生成し、これらの励起キャリアが反応サイトである助触媒に移動し、水を水素・酸素に分解して反応が進行する。これまでに国内外の多くの研究グループが精力的に研究・開発を行い、紫外光においては Al ドープ  $\text{StTiO}_3$  光触媒がほぼ 100% の量子収率(反応電子数/光子数)で水を分解できると報告されていた(Domen et al., Nature 2020)。また、実用化を考える上で重要な可視光領域でも、 $\text{GaN}$  や  $\text{CaTaO}_2\text{N}$ 、 $\text{Ta}_3\text{N}_5$  など、多くの水分解触媒が開発されていた。より高効率な光触媒を開発するには、光触媒が光を吸収して生成した励起キャリア(電子・正孔)が反応サイトである助触媒に効率的に移動し、再結合反応を抑える必要がある。そのため、反応サイト(助触媒)への励起キャリア移動を観測する方法を確立し、再結合反応を抑制することが極めて重要であった。

キャリア移動を議論するためには、反応サイトに移動した助触媒上のキャリア量を見積もる必要がある。申請者はこれまで、光触媒表面に存在する助触媒への励起キャリア移動を直接観測する手法を独自に開発してきた。具体的には、光触媒上の水素生成サイトである Pt 助触媒に  $\text{CO}$  を吸着させ、全反射型の表面増強赤外分光(SEIRAS)法を用いてその吸着種をプローブすることで、光触媒から助触媒への励起電子移動を観測することに成功していた(右図、JACS 2009)。また、In-situ X線吸収分光(XAS)測定システムを開発し、金属酸化物の電子状態が電位によって可逆的に変化する性質を利用して、 $\text{MnO}_x$  酸素生成助触媒への励起正孔の移動を直接観測していた(JPCC 2014; Chem. Lett. 2014)。これらの手法では、助触媒のキャリア移動に伴う電位変化を各スペクトラムの振動数や吸収端の変化として捉えることができる。



## 2. 研究の目的

上記の背景から本研究では、SEIRAS 法により水素生成助触媒に移動した励起電子と、XAS 法により酸素生成助触媒に移動した正孔を観測することを目指した。一般的に、水分解光触媒ではガスクロマトグラフィーによる生成水素・酸素ガスを検出して光触媒活性を議論することが多いが、本研究により分光学的に光触媒活性に関する知見を得ることを考えた。具体的には、シリコンや二酸化チタンなどの材料を扱い、 $\text{CO}$  をプローブとした in-situ SEIRAS 法により Pt 水素生成助触媒への励起キャリア移動を観測することを行った。また、in-situ XAS により酸素生成助触媒の観測を行うことを目指し、XAS 測定装置を立ち上げて触媒の機能解明を行う測定を試した。これらの一連の実験を通して、高効率な光触媒表面を構築するための鍵を得ることを目的に実験を展開した。

## 3. 研究の方法

### 3-1. シリコン光触媒(光電極)

マグネトロンスパッタ法を用いて Si 基板上に Pt をスパッタすることによって Pt/Si モデル光電極を調製した。次に、窒素飽和下の硫酸水溶液中で光電極の活性試験を行った。その後、助触媒の局所電位変化が  $\text{CO}$  の振動数変化に対応していることを利用して、 $\text{CO}$  飽和下の硫酸水溶液で満たされた三極フローセルを用いて in-situ SEIRAS 測定を行い、光電極の電位制御による助触媒への励起キャリア移動を観測した。

### 3-2. 二酸化チタン光触媒

光電着法により二酸化チタン上に Pt 水素生成助触媒を修飾した。次に、SEM・TEM・XRD・XAS・XPS などでもキャラクター化を行った後、ガスクロマトグラフィーにより光触媒活性を見積もった。最後に、助触媒を修飾した光触媒を Si プリズム上に固定し、プリズムに入射した赤外光によって助触媒に吸着した  $\text{CO}$  を追跡することで、純水・エタノール水溶液・メタノール水溶液中における in-situ SEIRAS 測定を行った。

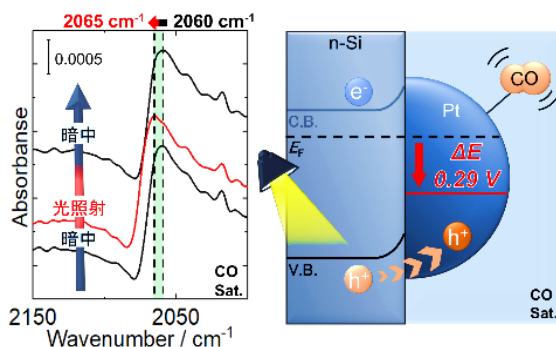
### 3-3. XAS 測定装置の高度化

酸素生成助触媒を高感度に分析するため、低エネルギー領域の in-situ XAS 測定装置の立ち上げ・高度化を行った。その結果、高エネルギーの硬 X 線により金属元素を、低エネルギー領域のテンダー X 線・軟 X 線により軽元素を観測できるようにし、電極触媒でテスト測定を行った。続いて、光照射下における SrTiO<sub>3</sub> 光触媒から Ni 酸素生成助触媒への励起キャリア移動の観測を試みた。

## 4. 研究成果

### 4-1. シリコン光触媒(光電極)

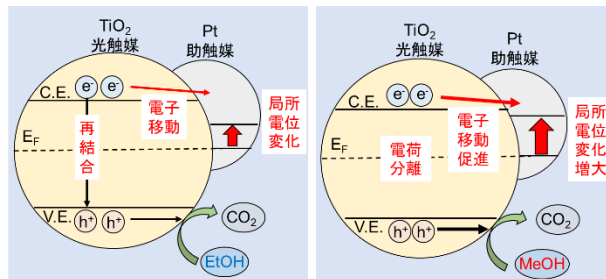
まず最初に、活性試験の結果から、Pt/Si モデル光電極では 1.3 V 以上で酸化電流が観測された。続いて、暗中条件下で Pt 電極に吸着した CO の電位応答性を確認するため、Pt 電極において in-situ SEIRAS 測定を行った結果、Pt 局所電位と吸着 CO のピークシフトが比例関係にあることが明らかになった。その後、Pt/Si に不活性電位である -0.24 V と 0.26 V を印加させて in-situ SEIRAS 測定を実施した。電位を -0.24 V に印加した際には、暗中および光照射下のいずれにおいても吸着 CO ピークには変化が見られなかった。これは、光照射によって生成された励起電子と正孔が再結合したためと考えられる。一方、0.26 V を印加した場合、光を照射すると暗中のピークから 5 cm<sup>-1</sup> 高振動側にシフトした(右図)。これは、光電極界面に発生したバンドベンディングにより励起正孔が助触媒へ移動し、Pt 助触媒の局所電位が高電位にシフトしたためと考えられる。したがって、光電極では不活性状態であっても、助触媒へ励起キャリアが移動していることが示唆された(J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 158, 105121 (2024).)。



### 4-2. 二酸化チタン光触媒

各犠牲剤存在下での Pt/TiO<sub>2</sub> の活性試験結果から、メタノール・エタノールが犠牲剤として励起ホールを補足するため、水素ガスが生成することを確認した。また、メタノールとエタノール水溶液中での水素生成量に差異が確認され、メタノールがエタノールよりも高い還元力を持っているため、水素生成反応がより効率的に進行したことに起因すると考えられた。

In-situ SEIRAS 測定によって得られた、エタノールおよびメタノール水溶液中での Pt/TiO<sub>2</sub> 光触媒内の励起キャリア移動を右下図に示す。Pt 上に吸着している CO の SEIRA スペクトルから、エタノールおよびメタノール水溶液の両方において、励起電子が TiO<sub>2</sub> 光触媒から Pt 助触媒表面に移動し、局所電位を低電位側にシフトさせていることが示唆された。さらに、この低電位シフトの程度は犠牲剤の種類によって異なった。エタノール水溶液中では、一部の励起キャリアが再結合し、Pt 助触媒の局所電位変化が抑制されたと考えられる。一方、メタノール水溶液中では、犠牲剤の還元力が向上し、より多くの正孔がメタノールに捕捉され、電荷分離した励起電子が Pt の局所電位変化を増大させたと推測される。したがって、光触媒の活性を向上させるには、犠牲剤による正孔捕捉が重要であり、局所電位変化の増大と密接に関連していることが示唆された(論文投稿準備中; 関連論文 Appl. Phys. Lett. 119, 133905 (2021).)。



### 4-3. XAS 測定装置の高度化

低エネルギー領域の XAS 測定装置は真空チャンバーやヘリウムチャンバーを自作して作成している。今回、検出器周りや電気化学測定、チャンバーのリークが問題となっていたので、整備を行って高感度に測定できるように改良した。装置が立ち上がったことを確認するため、水分解電極触媒の硬 X 線・テンダー X 線・軟 X 線 XAS 測定をテストとして行い、触媒の機能解明を進めた(Chem. Lett. 52, 715 (2023).; Chem. Lett. 52, 533 (2023).; Chem. Lett. 51, 723 (2022).; ChemistrySelect 7, e202200600 (2022).; Appl. Surf. Sci. 568, 150914 (2021).; Phys. Chem. Chem. Phys. 23, 23280 (2021).)。また、光触媒材料の助触媒の ex-situ XAS 観測を行った(Chem. Eng. J. 480, 148089 (2024).; J. Colloid Interf. Sci. 633, 598 (2023).)。一方で、SrTiO<sub>3</sub> 光触媒から Ni 酸素生成助触媒への励起キャリア移動を観測する in-situ XAS 測定を行ったが、キャリア移動を観測することができなかった。これは、酸素生成助触媒である Ni・Co・Mn の理解が不十分であるためであり、まずは電極制御下で変化を観測し、光触媒材料へ応用するための知見を得ていくことを考えた。

## 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 5件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ningsih Lely Ayu, Lu Po-Yi, Ashimura Shu, Yoshida Masaaki, Chen Wen-Chang, Chiu Yu-Cheng, Hu Chechia	4. 巻 480
2. 論文標題 Highly effective photocatalytic degradation of plastic film (LDPE) using Ruthenium-incorporated g-C3N4 via the Norrish mechanism	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 148089 ~ 148089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2023.148089	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 該当する
1. 著者名 Araki Yusaku, Harada Kazuki, Miyagi Nozomu, Tsunekawa Shun, Ishii Haruyuki, Matsui Takanobu, Wang Ke-Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 52
2. 論文標題 Hemispherical Cavity Cobalt Oxyhydroxides as Oxygen Evolution Electrocatalysts Electrodeposited in Borate-buffered Solution Using a Polystyrene Colloidal Template Method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 533 ~ 537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230192	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 Suginaga Taki, Tsunekawa Shun, Harada Kazuki, Tomomune Masahiro, Hasuike Rina, Fujimoto Keika, Wang Ke-Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 52
2. 論文標題 Development of an FeOOH Electrocatalyst for Water Oxidation from the Recycling of Disposable Body Warmers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 715 ~ 719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230240	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 Ashimura Shu, Konaka Reiya, Suginaga Taki, Harada Kazuki, Yamakata Akira, Hu Chechia, Catherine Hepsiba Niruba, Wang Ke-Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 158
2. 論文標題 In situ surface-enhanced infrared absorption analysis of the excited carrier transfer from n-type Si photoelectrode to Pt oxygen evolution cocatalyst by probing adsorbed CO molecules	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers	6. 最初と最後の頁 105121 ~ 105121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtice.2023.105121	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 該当する

1. 著者名 Sakai Arisu, Harada Kazuki, Tsunekawa Shun, Tamura Yoshiaki, Ito Masaya, Hatada Keisuke, Ina Toshiaki, Ohara Takumi, Wang Ke-Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of a MnCO <sub>3</sub> -based Electrocatalyst for Water Oxidation from Rhodochrosite Ore	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 723 ~ 727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.220221	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 Araki Yusaku, Tsunekawa Shun, Sakai Arisu, Harada Kazuki, Nagatsuka Ryosuke, Suzuki Sakamaki Masako, Amemiya Kenta, Wang Ke Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of a Hemispherical Cavity Cobalt Electrocatalyst for Water Oxidation Based on a Polystyrene Colloidal Template Electrodeposition Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 e202200600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.202200600	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 Catherine Hepsiba Niruba, Liu Zhi-Ting, Lin Chan-Yi, Chung Po-Wen, Tsunekawa Shun, Lin Shawn D., Yoshida Masaaki, Hu Chechia	4. 巻 633
2. 論文標題 Understanding the intermediates and carbon dioxide adsorption of potassium chloride-incorporated graphitic carbon nitride with tailoring melamine and urea as precursors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 598 ~ 607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2022.11.128	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 該当する

1. 著者名 Miura Takafumi, Tsunekawa Shun, Onishi Sho, Ina Toshiaki, Wang Kehsuan, Watanabe Genta, Hu Chechia, Kondoh Hiroshi, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 23
2. 論文標題 Assessing nickel oxide electrocatalysts incorporating diamines and having improved oxygen evolution activity using operando UV/visible and X-ray absorption spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 23280 ~ 23287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP03323A	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 該当する

1. 著者名 Tsunekawa Shun, Sakai Arisu, Tamura Yoshiaki, Hatada Keisuke, Ina Toshiaki, Wang Ke-Hsuan, Kawai Takeshi, Yoshida Masaaki	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of a MnOOH Mineral Electrocatalyst for Water Splitting by Controlling the Surface Defects of a Naturally Occurring Ore	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 50 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210539	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 Naohiro, Shiraki Kyohei, Kato Kosaku, Ashimura Shu, Yoshida Masaaki, Yamakata Akira	4. 巻 119
2. 論文標題 Forward and backward electron transfer on Pt loaded TiO2 photocatalysts under visible-light illumination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 133905 ~ 133905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0065074	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 Wang Ke-Hsuan, Ikeuchi Hayato, Yoshida Masaaki, Tsunekawa Shun, Liu I-Ping, Cui Siyang, Nagatsuka Ryoya, Hu CheChia, Kawai Takeshi	4. 巻 568
2. 論文標題 Insights into the deposition of nanostructured nickel oxides by amino acid chelated Complexes: Benefits of mixed side chains in the formation of nanostructures for Energy-efficient Electrochromic windows	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 150914 ~ 150914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2021.150914	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 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Masaaki Yoshida
2. 発表標題 In-Situ/Operando Observation for Water Splitting Catalysts
3. 学会等名 Taipei International Conference on Catalysis (TICC-2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaaki Yoshida
2. 発表標題 Operando Observation for Water Splitting Electrocatalysts Using Hard/Tender/Soft X-ray Absorption Spectroscopy
3. 学会等名 UVSOR-III+MAX IV International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田真明
2. 発表標題 水分解触媒のIn-situ/オペランド観測
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田真明
2. 発表標題 光触媒/電極触媒の In-situ/オペランド観測
3. 学会等名 分子研物質分子科学研究領域研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉田真明
2. 発表標題 水分解触媒のオペランド全元素観測 ~硬X線・テンダーX線・軟X線XASによる複合解析~
3. 学会等名 日本放射光学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Masaaki Yoshida
2. 発表標題 Operando Observation of All Elements in Water Splitting Electrocatalysts by XAFS
3. 学会等名 Taipei International Conference on Catalysis (TICC-2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田真明
2. 発表標題 オペランド全元素XAFS観測による水分解触媒の機能解明
3. 学会等名 第40回電気化学会関東支部夏の学校(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田真明, 李梓萌, 坂井ありす
2. 発表標題 オペランド全元素XAFS観測による炭酸ニッケル水分解触媒の反応メカニズム解明
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小中玲弥, 芦村秀, 吉田真明
2. 発表標題 Si光電極上からPt助触媒への励起キャリア移動のin-situ観測
3. 学会等名 電気化学会関東支部第40回夏の学校
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 小中玲弥、芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 In-situ観測によるSi光電極上からPt助触媒への励起キャリア移動
3. 学会等名 表面真空学会若手部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小中玲弥、芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 n型Si光電極上からPt助触媒への励起キャリアのin-situ SEIRAS観測
3. 学会等名 NanospecFY2022mini
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Yoshida
2. 発表標題 Operando XAFS observation of all elements in electrocatalysts for water splitting
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田真明
2. 発表標題 オペランド全元素観測を活かした水分解触媒の活性化メカニズムの解明
3. 学会等名 日本分析化学会中国四国支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田真明、原田一輝、Li Zimeng、湯沢勇人、長坂将成
2. 発表標題 UVSOR BL3Uにおける 水分解触媒のオペランドXAFS観測
3. 学会等名 UVSOR2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 In-situ 赤外分光法を利用したPt/GaN水分解光触媒上におけるキャリア移動の観測
3. 学会等名 触媒学会若手会「第41回夏の研修会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 Pt分散度を変えたPt/GaN水分解光触媒上でのキャリア移動変化と光触媒活性との相関解明
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 芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 In-situ赤外分光法による Ptナノ粒子を修飾させた GaN水分解光触媒上でのキャリア移動観測
3. 学会等名 電気化学会関東支部第 39回夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦村秀、吉田真明
2. 発表標題 In-situ ATR-SEIRAS法を利用したPtナノ粒子を修飾させたGaN水分解光触媒上でのキャリア移動観測
3. 学会等名 2021年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

吉田研究室のHP <a href="http://www.xafs.chem.yamaguchi-u.ac.jp/paper.html">http://www.xafs.chem.yamaguchi-u.ac.jp/paper.html</a>
---

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
研究分担者	酒多 喜久  (Sakata Yoshihisa)  (40211263)	山口大学・大学院創成科学研究科・教授   (15501)	
研究分担者	山方 啓  (Yamakata Akira)  (60321915)	岡山大学・環境生命自然科学学域・教授   (15301)	
研究分担者	長坂 将成  (Nagasaka Masanari)  (90455212)	分子科学研究所・光分子科学研究領域・助教   (63903)	

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			
台湾	国立台湾科技大学	国立成功大学		