

令和 6 年 4 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04823

研究課題名（和文）水中ラジカル反応を利用した新たな手法による光機能性金属酸化物ナノ構造の作製

研究課題名（英文）Fabrication of photo-functional metal oxide nanostructures by a new method using submerged radical reactions

研究代表者

張麗華（Zhang, Lihua）

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60719714

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体内反応や触媒研究分野などで限定的に知られてきた水のラジカル反応を積極的に利用し、新たなナノ材料創製法を提案した。この方法は、常温・常圧の中性水中で金属表面への光照射により、光誘起水分解を伴いながら特異な突起状金属酸化物のナノ結晶が成長する水中結晶光合成法と、光照射、活性酸素種、超音波照射など水中フリーラジカル生成手法を組み合わせ、金属酸化物ナノ構造を創生でき手法である。これにより、従来不可能であった金属原料から直接金属酸化物ナノ構造の作製を行い、光電子デバイスへの応用性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果より様々な金属基板に酸化物ナノ構造を安価で簡便に、かつ大面積に作製することができるから産業応用上有利であり、さらに金属-金属酸化物の接合界面を舞台とした光エレクトロニクスや光エネルギー変換工学の学術領域の発展に貢献し、太陽電池、殺菌デバイス等、様々なデバイス開発にも利用できる。さらに、水中ラジカル反応による光機能性金属ナノ酸化物の促進作製法を確立することで、多くの分野で新たな技術開発の芽を産み出す極めて創造性の高い研究テーマである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a new method for the fabrication of nanomaterials by actively utilizing radical reactions in water, which have been known only in the field of biological reactions and catalysis research. The method combines the submerged photosynthesis method, in which photoirradiation of metal surfaces in neutral water at room temperature and pressure results in the growth of unique protruding metal oxide nanocrystals with photoinduced water splitting, with free radical generation methods in water, such as photoirradiation, reactive oxygen species, and ultrasound irradiation, to fabricate metal oxides nanostructure. By this method, metal oxide nanostructures were produced directly from metallic raw materials, which was not possible in the past, and their applicability to optoelectronic devices was evaluated.

研究分野：材料科学

キーワード：ナノ酸化物 水中結晶光合成 ラジカル反応 活性酸素種 光機能性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまでに、光照射を利用したナノ結晶合成の一種として、水中結晶光合成(Submerged Photo-Synthesis of Crystallites, 以下 SPSC と呼ぶ)を開発した。この手法は常温、常圧、中性水中で、金属表面への可視光から紫外域の光照射により、突起状金属酸化物ナノ結晶を作製するものである。原理的には水と光、金属ターゲットのみで合成が進行し、不純物は混入されず、目的酸化物と水素しか生成しない究極のグリーン合成手法である。

これまでに、SPSC において光反応に伴うラジカル反応、特に・OH の発生とその後の OH<sup>-</sup> 生成促進が鍵となることを明らかにしてきたが、カソード側・OH の発生とアノード側金属イオンの生成が遅く、作製時間が長時間となる金属種があることが分かった。そこで、本研究では、光照射、活性酸素種(ROS) 化学反応、超音波照射などのラジカル発生法を組み合わせ、水中ラジカル反応を積極的に利用した光機能性金属ナノ酸化物の新規創製を行う。

### 2. 研究の目的

本研究では、水から発生するラジカル反応に着目し、光照射、ROS と超音波照射の組み合わせる手法により、これまでにない金属原料から直接かつ短時間で金属酸化物ナノ構造を作製する手法の開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下三つの研究内容で・OH の発生と金属イオンの溶け出し速度、及びその後の水熱反応への影響を調査し、水中ラジカル反応・光化学反応機構を解明した。また、金属のイオン化傾向(標準電極電位差)、光腐食と光(誘起)晶出効果を光電気化学の観点から総合的に定量分析しながら、他金属への適用性を評価した。さらに、作製物の光機能物性を測定することにより、半導体光電子デバイスへの応用展開を行った。

#### (1) ラジカルの発生手法の組み合わせ

光照射による SPSC 法に ROS 添加と超音波照射を加え、[光+ROS], [光+超音波照射], [光+ROS+超音波照射]等の組み合わせる手法で実験を行う(図1)。ROS は、室温で扱い易く、水中で比較的安定している過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)と次亜塩素酸(HClO)を使用する。超音波照射は、38kHz の周波数で温度制御、長時間照射可能な卓上タイプの超音波洗浄機を使用する。

#### (2) 反応機構の解析

各種の金属材料を用いて、カソード側とアノード側化学反応及びその後の水熱反応への影響を解析し、水中ラジカル反応・光化学反応機構を解明する。さらに、光電気化学測定装置を用いて、光腐食と光(誘起)晶出効果を光電気化学の観点から分析する。

#### (3) 他金属への適用と光物性評価

Mo,W などの金属に水中ラジカル反応を積極的に適用して光機能性金属ナノ酸化物結晶作製を行い、作製したナノ酸化物の半導体光電子デバイスへの応用性を評価する。

### 4. 研究成果

(1) 銅ナノ酸化物の作製について、次亜塩素酸(HClO)と過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)の混合液を使用し光照射(紫外光,可視光)を行うことで、反応が促進され、電極材料としての性能が向上したことが分かった。

(2) 過酸化水素と紫外光照射を利用して Mo,W のナノサイズ水酸化物の作製に成功した。また、様々な濃度で Cu をドーブしたタングステン酸を作製し、可視光や赤外光を利用する新たな光触媒活性に関わる光学特性を調査し、優れた光熱変換特性、太陽光水蒸発、赤外域光電気化学特性を持つことが分かった(図2)。今後の高効率全太陽光利用デバイス開発と水と光を用いた持続可能な材料創製技術の進展に期待できる。また、論文成果をもとにプレス発表を行った。

・太陽光をもれなく利用可能な材料の開発に成功(2023/8/7)

~今後の太陽電池、光触媒や光熱変換材料などの高効率光機能材料デバイス開発に期待~

(2023年7月29日公開の Advanced Materials 誌にオンライン掲載)

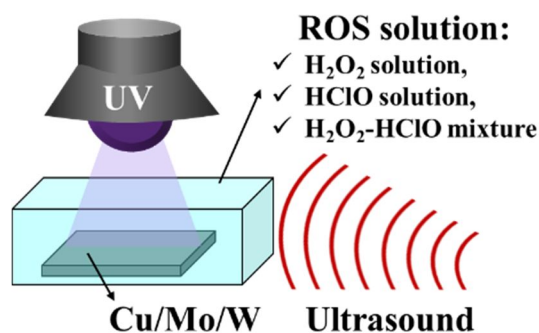


図1 SPSC 実験模式図

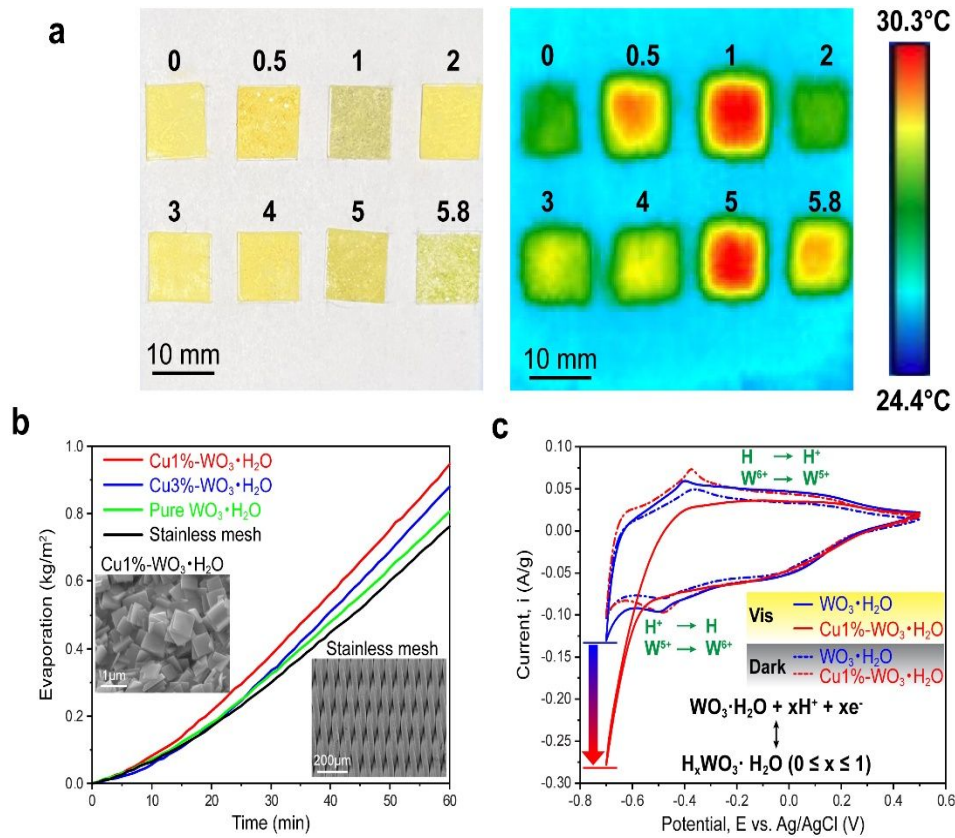


図 2 各種の Cu ドープした  $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  光機能特性調査

- 疑似太陽光で照射した  $\text{Cu}_x\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $x = 0 - 5.8$ ) の光熱変換特性調査。銅元素 1% と 5% 添加で光学的臨界相になり強い光吸収が起こっている。
- ステンレスメッシュ上の  $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu}1\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu}3\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  の IR ランプ による赤外光水蒸発試験。 $\text{Cu}1\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  で水蒸発が最も早い。
- $\text{Cu}1\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  及び純  $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  粉末試料の光電気化学性能試験（光電子変換特性調査）。 $\text{Cu}1\% - \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  では下向き矢印の光電流の増加を示した。

< 引用文献 >

H.-I. Lin, M. Jeem, L. Zhang and S. Watanabe. "Submerged Photosynthesis of Molybdenum–Tungsten Nanostructures for Supercapacitor Application." *ACS Applied Nano Materials* **6**(10): 8325-8334. (2023)

M. Jeem, A. Hayano, H. Miyashita, M. Nishimura, K. Fukuroi, H.-I. Lin, L. Zhang, S. Watanabe. "Defect Driven Opto-Critical Phases Tuned for All-Solar Utilization." *Advanced Materials* **35**(46): 2305494. (2023)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Lin Hsueh-I, Jeem Melbert, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 6
2. 論文標題 Submerged Photosynthesis of Molybdenum?Tungsten Nanostructures for Supercapacitor Application	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 8325 ~ 8334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.3c00572	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 Jeem Melbert, Hayano Ayaka, Miyashita Hiroto, Nishimura Mahiro, Fukuroi Kohei, Lin Hsueh I, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 35
2. 論文標題 Defect Driven Opto Critical Phases Tuned for All Solar Utilization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2305494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202305494	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 Takai Satoshi, Murakami Shuntaro, Zhang Lihua, Ohsasa Kenichi, Watanabe Seiichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Quantitative Evaluation of the Diffusion Coefficients of Aqua Ions in Hydrogels via Iron Corrosion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 80 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c00015	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 Yu Zhehan, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Facile modification of TiO2 nanoparticles with H2O2 + NH4F for enhanced visible light photodegradation of rhodamine B and methylene blue	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 104213 ~ 104213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2022.104213	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 Fujii Souta, Murakami Shuntaro, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 324
2. 論文標題 Corrigendum to "Selective fabrication of tungsten nano-oxides via submerged photosynthesis with hydrogen peroxide for chromic device application" [Mater. Lett. 302 (2021) 130344]	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 132753 ~ 132753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2022.132753	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 Yu Zhehan, Zhu Shilei, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 127
2. 論文標題 Mesoporous single crystal titanium oxide microparticles for enhanced visible light photodegradation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 112297 ~ 112297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2022.112297	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 Tsukamura Jumpei, Takahashi Yuki, Zhang Lihua, Jeem Melbert, Okamoto Kazumasa, Watanabe Seiichi	4. 巻 256
2. 論文標題 Fabrication of color-toned micro/nanopattern surface by submerged photosynthesis method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microelectronic Engineering	6. 最初と最後の頁 111727 ~ 111727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mee.2022.111727	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 Takahashi Yuki, Jeem Melbert, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 26
2. 論文標題 The origin of opto-functional enhancement in ZnO/CuO nanoforest structure fabricated by submerged photosynthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Materials Today	6. 最初と最後の頁 101359 ~ 101359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2021.101359	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 Murakami Shuntaro, Zhang Lihua, Jeem Melbert, Okamoto Kazumasa, Nakagawa Yuki, Shibayama Tamaki, Ohnuma Masato, Watanabe Seiichi	4. 巻 124
2. 論文標題 Photo- & radio-chromic iron-doped tungstic acids fabricated via submerged photosynthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111966 ~ 111966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111966	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 Fujii Souta, Murakami Shuntaro, Zhang Lihua, Watanabe Seiichi	4. 巻 302
2. 論文標題 Selective fabrication of tungsten nano-oxides via submerged photosynthesis with hydrogen peroxide for chromic device application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 130344 ~ 130344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2021.130344	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32件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Zhehan Yu, Shilei Zhu, Lihua Zhang, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 Submerged Photosynthesis of TiO <sub>2</sub> -CuO Hetero-nanoparticles for the Solar Photoelectrolysis of Multiple Environmental Hazardous Substances
3. 学会等名 15th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM15) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Lihua Zhang, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 Fabrication and Reaction Mechanism of Molybdenum and Tungsten Nano-Oxide Hydrate by Submerged Photosynthesis
3. 学会等名 The 16th International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials. (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林學毅，張麗華，渡辺精一
2. 発表標題 マルチ元素ナノ酸化物の一括水中結晶光合成
3. 学会等名 令和5年度日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮下弘渡，張麗華，渡辺精一
2. 発表標題 紫外・赤外光の同時利用による水中結晶光合成を用いたタングステン酸ナノ結晶の制御作製
3. 学会等名 令和5年度日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 袋井 航平，林 學毅，張 麗華，渡辺 精一
2. 発表標題 水中結晶光合成法により作製したタングステン酸の光電気化学的評価
3. 学会等名 2023年金属学会秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西村 真拓，張 麗華，渡辺 精一
2. 発表標題 水中結晶光合成を用いたワンポット光機能デバイス作製
3. 学会等名 2023年金属学会秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林學毅, 張麗華, 渡辺 精一
2. 発表標題 マルチ元素ナノ酸化物の一括水中結晶光合成
3. 学会等名 2023年金属学会秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮下弘渡, 張麗華, 渡辺 精一
2. 発表標題 紫外・近赤外光の同時利用による水中結晶光合成を用いたタングステン酸ナノ結晶の制御作製
3. 学会等名 2023年金属学会秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 孫曉艷, 奥村 清香, 林 學毅, 喻 哲晗, 張麗華, 渡辺 精一
2. 発表標題 Synthesis of N/P-type semiconductor heterojunctions for FT0-based dye-sensitized solar cells by one-pot method
3. 学会等名 2024年金属学会春期(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 林學毅, JEEM Melbert, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 マルチ元素ナノ酸化物の一括水中結晶光合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2024年年会
4. 発表年 2024年



1. 発表者名 能登亮太, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 次亜塩素酸と過酸化水素を用いた水中結晶光合成による機能性酸化銅ナノ表面作製
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2023年冬季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林學毅, Melbert Jeem, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 機能性モリブデン-タングステンナノ酸化物複合材料の水中光合成
3. 学会等名 令和4年度日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YU Zhehan, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 Facile Modification of TiO <sub>2</sub> Nanoparticles with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> F for Enhanced Visible Light Photodegradation of Rhodamine B and Methylene Blue
3. 学会等名 令和4年度日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早野彩夏, Melbert Jeem, 林學毅, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 水中光照射下におけるドーピング誘起光学的相転移
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島幸大, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 G-SPSCを用いた結晶Si 太陽電池のZnO-NRs 反射防止層
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林學毅, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 機能性モリブデン-タングステンナノ酸化物複合材料の水中光合成
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村真拓, 渡辺精一, 張麗華
2. 発表標題 CuO ナノワイヤーメッシュを用いた太陽光水蒸発の基礎的調査
3. 学会等名 2022年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井達也, 沖中憲之, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 尿素・グリシン混合燃料を用いた液相燃焼合成によるSr9Al6O18:Sm <sup>3+</sup> 蓄光体の作製
3. 学会等名 2022年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YU Zhehan, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 Facile Modification of TiO <sub>2</sub> Nanoparticles with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> F for Enhanced Visible Light Photodegradation of Rhodamine B and Methylene Blue
3. 学会等名 2022年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lihua Zhang, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 Fabrication and Reaction Mechanism of Molybdenum and Tungsten Nano-Oxide Hydrate by Submerged Photosynthesis
3. 学会等名 The 16th International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junpei Tsukamura, Yuki Takahashi, Lihua Zhang, Melbert Jeem, Kazumasa Okamoto, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 Fabrication of ZnO/Si Surface Patterning by defect control via Galvanic-Submerged Photo-Synthesis of Crystallites
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Takahashi, Melbert Jeem, Lihua Zhang, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 Fabrication of 3D hetero nanostructure via galvanic submerged photo-synthesis of crystallites
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhehan Yu, Shilei Zhu, Lihua Zhang, Seiichi Watanabe
2. 発表標題 The Fabrication of Mesoporous Single Crystal Ellipsoid TiO <sub>2</sub> Nanoparticle with Enhanced Visible Light
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大森敬太, 村上俊太郎, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 鉄腐食に伴うアクアイオン分離水を利用したMo複合ナノ酸化物の光合成
3. 学会等名 日本鉄鋼協会、日本金属学会両支部合同冬季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井智史, 村上俊太郎, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 鉄腐食を利用したヒドロゲル中アクアイオン拡散係数定量評価
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期講演(第169回)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚村順平, 高橋優樹, 張麗華, ジェームメルバート, 岡本一将, 渡辺精一
2. 発表標題 G-SPSCを用いた欠陥制御による色調表面パターンニング
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期講演(第169回)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚村順平, 高橋優樹, 張麗華, Melbert Jeem, 岡本一将, 渡辺精一
2. 発表標題 水中結晶光合成法を用いた欠陥制御による色調表面パターンニング
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高井智史, 村上俊太郎, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 鉄腐食を利用したヒドロゲル中アクアイオン拡散係数の定量評価の試み
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大澤雅弥, 張麗華, 沖中憲之, 渡辺精一
2. 発表標題 液相燃焼合成、放電プラズマ焼結によるAl,Ga 共ドーピング ZnO の熱電性能
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎和太郎, 張麗華, 沖中憲之, 渡辺精一
2. 発表標題 液相燃焼合成製赤色発光蛍光体YAG:Sm <sup>3+</sup> の特性評価
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林学毅, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 タングステンとモリブデン二元系ナノ水和酸化物の光合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ジェームメルバート, 高橋優樹, 張麗華, 渡辺精一
2. 発表標題 水中光合成によるZnO/CuOナノフォレストの作製と光機能発現の解明
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 特許権	発明者 渡辺精一、張麗華、 熊井宏樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2024-005312	出願年 2024年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

北海道大学HPプレスリリース： (1) 半導体界面の特異電子構造の解明に成功～今後の太陽電池やLED開発への貢献に期待～ <a href="https://www.hokudai.ac.jp/news/2022/01/led-1.html">https://www.hokudai.ac.jp/news/2022/01/led-1.html</a> (2) 太陽光をもれなく利用可能な材料の開発に成功～今後の太陽電池、光触媒や光熱変換材料などの高効率光機能材料デバイス開発に期待～ <a href="https://www.hokudai.ac.jp/news/2023/08/post-1284.html">https://www.hokudai.ac.jp/news/2023/08/post-1284.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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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