

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02656

研究課題名(和文) 可視光応答水分解光触媒の欠陥物性評価ならびに少数キャリアフロー制御技術開発

研究課題名(英文) Control of minority carrier flow in visible light driven water splitting photocatalyst : characterization of defect properties

研究代表者

櫻井 岳暁 (Sakurai, Takeaki)

筑波大学・数理工学系・教授

研究者番号：00344870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：Zスキーム光電極系において、系全体の反応のボトルネックである酸素発生電極の開発に焦点を絞り、バンド傾斜構造の導入を試みた。具体的にはアニオン置換構造を電極に導入し、価電子帯のエネルギーを制御し、酸素の分解反応を促進するのが狙いである。本研究では、(1)バナジン酸ビスマス(BiVO<sub>4</sub>)薄膜のスputtering成膜法を確立した後、(2)硫黄によるBiVO<sub>4</sub>のアニオン置換を試みた。その結果、自己フラックスの形成によるBiVO<sub>4</sub>薄膜の高品質結晶成長をsputtering法にて確認した。また、硫黄雰囲気下アニオンによるBiVO<sub>4</sub>の硫黄置換、ならびに光電流の改善を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光触媒を電極に利用した二段階光励起光電極系では、水素発生電極と酸素発生電極を分離して活用するため材料選択の幅が広がり、原理的には広い光吸収帯域をカバーすることも可能になる。このため、触媒反応の効率化が期待でき注目を集めている。本研究にて提案したsputtering法を用いて光電極を安価に大面積で再現性良く成膜可能になれば、将来の高効率大面積水素製造が可能になるものと期待される。さらにアニオン置換によるバンドエンジニアリングは、エネルギー変換効率を高める一つ的手段として、学術的にも応用面でも意義のある研究と言える。

研究成果の概要(英文)：In the Z-scheme photoelectrode system, we focused on the development of the oxygen-evolving electrode, which is the bottleneck of the overall reaction in the system, and attempted to introduce a band-graded structure. Specifically, our aim is to introduce an anion substitution structure into the electrode to control the valence band energy and promote the oxygen decomposition reaction. In this study, after establishing (1) a sputtering deposition method of bismuth vanadate (BiVO<sub>4</sub>) thin film, (2) anion substitution of BiVO<sub>4</sub> by sulfur was attempted. The high quality crystal growth technique of BiVO<sub>4</sub> thin film by self-flux was confirmed by sputtering method, and the improvement of photocurrent for sulfur substitution of BiVO<sub>4</sub> was observed.

研究分野：光半導体工学

キーワード：光触媒 スputtering 多元化合物

### 1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーを利用する新たな社会の到来とともに、太陽光エネルギーから化学エネルギーへの高効率な転換を目指した水分解（水素生成）光触媒の研究開発が活発化している。特に光触媒を電極に利用した二段階光励起（Z スキーム）光電極系では、水素発生電極（p 型光カソード）と酸素発生電極（n 型光アノード）を分離して活用するため材料選択の幅が広がり、原理的には広い光吸収帯域をカバーすることも可能になるため、触媒反応の高効率化が期待でき注目を集めている。しかし現状では太陽光に対するエネルギー変換効率は10%を大きく下回り、実用化にはほど遠い状況である。現在、光触媒の効率改善に向け不純物ドーピングなど多様なアプローチを試みているが、十分な効果を上げるには至っていない。加工が容易な光触媒には安価で規模の拡がる可能性があるとはいえ、変換効率を改善するためのブレイクスルーが必要な状況である。

### 2. 研究の目的

光触媒内部で発生する少数キャリアを能動的に制御し、水分解反応の変換効率を高める方法として、新たに触媒内部へのバンド傾斜電子構造の導入を提案する。半導体内部に電界を印加すると電荷がドリフトにより長距離移動するが、この電界をバンド構造の変調により生み出すと、光生成キャリアを効率よく表面に集められるようになる。本研究課題では、Z スキーム光電極系において、系全体の反応のボトルネックである酸素発生電極の開発に焦点を絞り、バンド傾斜構造の導入を試みる。具体的には価電子帯のエネルギーが傾斜し表面に近づくにつれバンドギャップが小さくなる構造を電極材料の連続的組成制御により導入し、少数キャリア（正孔）を触媒表面に効果的に集め、酸素の分解反応を促進する。この価電子帯のエネルギーを制御するにはアニオン置換が有効であるが、異なるアニオンではイオン半径が異なり、歪みによる欠陥の混入が避けられない。本研究では、(1)優れた酸素発生電極であるバナジン酸ビスマス（ $\text{BiVO}_4$ ）薄膜のスパッタリング成膜法を確立した後、(2) 硫黄による  $\text{BiVO}_4$  のアニオン置換を試みた。

### 3. 研究の方法

ターゲット組成を適切に制御した多元RFスパッタリング法を採用し、薄膜の組成を制御する。このスパッタリング成膜については  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$  混合物の焼結ターゲットを利用する。得られた薄膜は、X線回折（XRD）を用いた構造物性評価、光電子分光による電子構造の測定、蛍光寿命評価を行い、水分解反応の効率の確認も含め成膜過程にフィードバックし、薄膜の質を向上させる。アニオン置換については、スパッタリングターゲット中の  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  の一部を  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  に置換する方法、ならびに硫黄雰囲気下の硫化処理を試みた。

### 4. 研究成果

#### 4-1 RF スパッタリング法による $\text{BiVO}_4$ 薄膜の成膜研究

$\text{BiV}_2\text{O}_x$  ターゲット（ $\text{Bi}_2\text{O}_3+2\text{V}_2\text{O}_5$ ）を用いてスパッタリング成膜し  $\text{BiVO}_4$  膜を得た。成膜に用いたフッ素ドープ酸化スズ（FTO）ガラス基板は、アセトンとメタノールで超音波洗浄した後、純水で超音波洗浄し、最後に窒素を吹きかけ乾燥させてから真空チャンバーに投入した。酸素分圧は  $\text{O}_2/(\text{O}_2+\text{Ar})=5\%$ 、15%、25%、35%とし、全圧 0.7Pa のプラズマ環境下でスパッタリング成膜を実施した。成膜後、すべての  $\text{BiVO}_4$  膜を管状炉で酸素雰囲気（1気圧）下、500°Cで1.5時間アニールした。

図1は、様々な酸素分圧下で形成した  $\text{BiVO}_4$  膜の Bi/V 比の比較を示す。組成評価には、表面敏感な X線光電子分光（XPS）と、バルク組成の検出に効果的な電子プローブマイクロアナライザ（WDS）を活用した。どちらの結果も、酸素分圧が Bi/V 比に劇的な

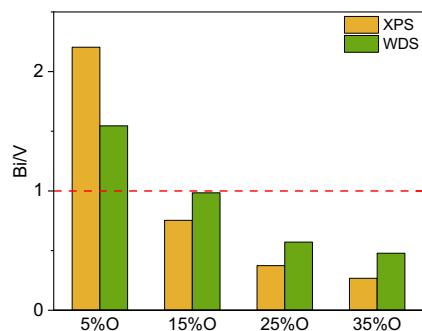


図1. 異なる酸素分圧下で形成した  $\text{BiVO}_4$  膜の Bi/V 比

影響を与えることが示され、酸素分圧が高いと V 組成が増加することが判明した。また、酸素分圧が 25%を超えると表面の V 組成が  $\text{BiVO}_4$  の化学量論組成より増加することが判明した。酸素分圧が膜組成に影響するのは、スパッタリングの安定化がバナジウムターゲットは極めて難しく、周囲の酸素雰囲気が多分に影響されるためである (J.A.J.Rupp et al., *Thin Solid Films*, **705**, Art.138063, 2020)。薄膜の構造解析は、XRD とラマン分光法を用いて行った (図 2(a)(b))。5%酸素分圧下で成膜した薄膜の XRD プロファイルでは  $2\theta=11.35^\circ$  と  $22.78^\circ$  に  $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$  の(002) (004) 由来の回折ピークが現れ、膜中に Bi が豊富に存在すると  $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$  相が形成されることが明らかになった。また、単斜晶  $\text{BiVO}_4$  の回折ピークも  $2\theta=28.82^\circ$  と  $30.55^\circ$  に観察された。化学量論組成に相当する 15%酸素分圧環境下で形成した試料では、単斜晶  $\text{BiVO}_4$  回折ピークが優勢になった。一方、25%と 35%酸素分圧環境で形成した V 過剰薄膜では、 $\text{V}_2\text{O}_5$  の相に起因する  $2\theta=12.62^\circ$  と  $17.74^\circ$  の回折ピークを観測した。同時に  $\text{BiVO}_4$  の顕著なピーク付近の XRD プロファイルを拡大すると、25%と 35%酸素分圧環境で形成した試料でより顕著で半値幅の狭いピークが観察され、単斜晶シーライト相の優れた結晶性を示唆した。なお、ラマン分光法でも同様な構造物性的特徴が得られた (図 2 (c)(d))。

15%酸素分圧下で形成した薄膜は、単斜晶  $\text{BiVO}_4$  の典型的なラマンピークを示し、酸素分圧が高くなると  $\text{V}_2\text{O}_5$  の振動モードが観測された。なお、単斜晶  $\text{BiVO}_4$  のラマン散乱スペクトルでは、約  $826\text{cm}^{-1}$  のピークが V-O 伸縮モードに対応するが、半値全幅 (FWHM) を比較すると 25%と 35%酸素分圧下で形成した膜は狭くなることがわかった。これは、異相が減少するとラマン散乱に参与する低フォノン周波数の広がり小さくなることに起因する。以上の結果は、偏析した  $\text{V}_2\text{O}_5$  が  $\text{BiVO}_4$  の結晶性を向上させることを示唆している。 $\text{V}_2\text{O}_5$  の融点は  $\text{BiVO}_4$  膜

の成長温度  $600^\circ\text{C}$  と近い。このため、析出した  $\text{V}_2\text{O}_5$  が液相を形成し、自己フラックスとして元素の長距離拡散を促進しながら周囲の結晶粒から構成元素を溶出させ、結晶粒径を大きくするのに役立ったと結論づけた。

光電極材料のキャリア輸送特性を調べるため、蛍光 (PL) スペクトルを観測した (図 3)。すべての  $\text{BiVO}_4$  膜の PL スペクトルは、 $\sim 670\text{ nm}$  ( $1.85\text{ eV}$ ) に顕著なピークを示した。 $\text{BiVO}_4$  のバンドギャップが約  $2.4\text{ eV}$  であることはよく知られているが、今回の PL スペクトルではバンド間遷

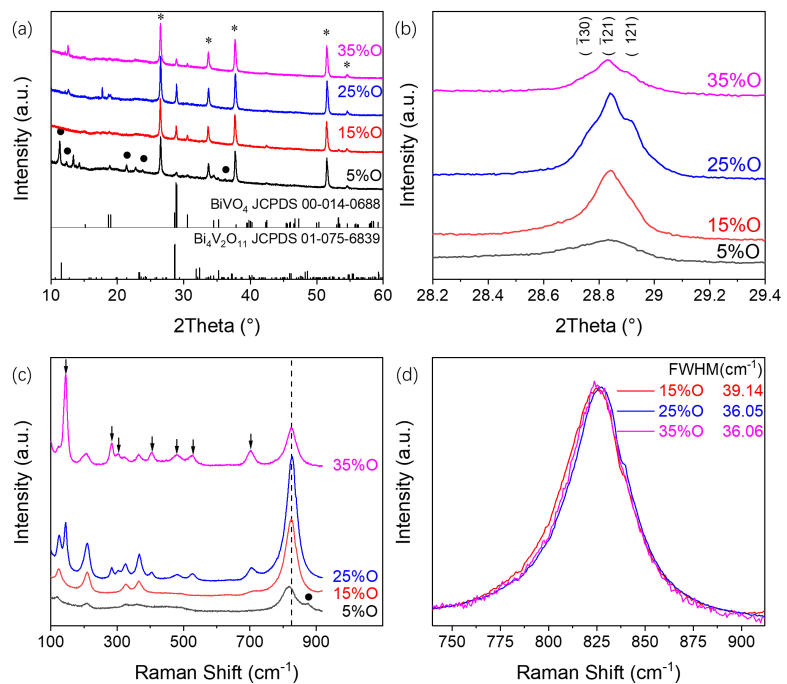


図 2 異なる酸素分圧下で形成した  $\text{BiVO}_4$  膜の(a)(b) X 線回折プロファイル, (c)(d)ラマン散乱スペクトル

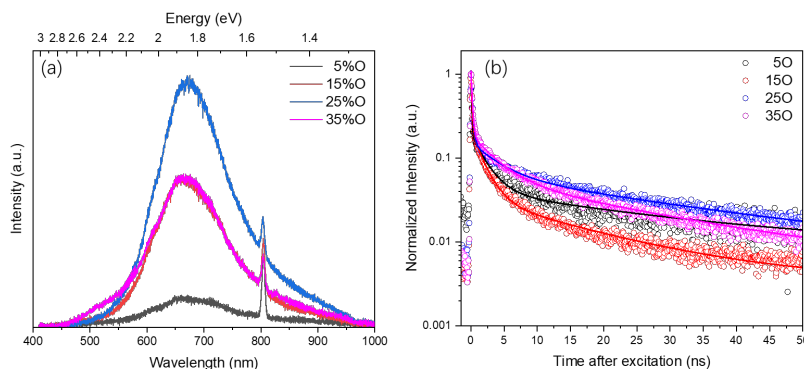


図 3  $\text{BiVO}_4$  膜の(a)蛍光スペクトルならびに (b)蛍光寿命

移は観測できなかった。BiVO<sub>4</sub>では共鳴 XPS によりバンド内状態が観測され、V 3d軌道由来であることがわかった。これが~670 nm の遷移の起源であると考えられる。一般に、結晶子サイズの向上は粒界の縮小に役立つため、粒界における再結合を減少させることができる。25%酸素分圧下で形成した試料の PL 強度が向上したことは、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> フラックスによる結晶性向上の恩恵と考えられる。また、酸素分圧によって制御された膜中の豊富な V は、成長過程での V 空孔の抑制に有利であり、ドナー・アクセプター遷移の放射再結合が増加した理由を説明することができる。

三電極系 (Ag/AgCl 電極、Pt 電極、BiVO<sub>4</sub> 試料) を用いて、BiVO<sub>4</sub> 薄膜の光電気化学特性 (PEC) を評価した (図 4(d))。BiVO<sub>4</sub> 光アノード薄膜に光が入射すると、電子正孔対が生成する。続いて、薄膜と電解液の界面に移動した正孔は電解液中の水分子と反応して酸素を発生させ、試料の電荷中性を保つため同時に光電流が生じる。観測した結果、25%酸素分圧下で形成された試料は他の形成条件の試料よりもはるかに高い光電流密度 (~2mA) を示した。光電流増加の原因をより良く理解するために、可視紫外分光法を用いて光学特性を評価した (図 4(a)-(c))。25%酸素分圧下で成膜した膜は、15%の膜と同程度の光吸収を示した。しかし、PEC 性能は高い。これは、キャリアの寿命が長いことに起因すると考えられ、実際寿命の長さ と PEC 性能の間には強い相関が見られた。

以上の研究により、スパッタリング法を用いて量子効率二桁を超える BiVO<sub>4</sub> 薄膜を安価に大面積で再現性良く成膜する方法を確立することに成功した。

#### 4-2. 硫黄による BiVO<sub>4</sub> 薄膜のアニオン置換

スパッタリング法で形成した BiVO<sub>4</sub> の電子状態やバンドギャップ (2.4 eV) を制御し、太陽光を効果的に収集し反応を促すため、原子置換について研究を進めた。光生成キャリアである正孔を効果的に表面に集めるには、価電子帯に傾斜を持たせる、すなわちアニオン原子を置換するのが有効である。本研究では、RF スパッタリング法で成膜した BiVO<sub>4</sub> 薄膜の酸素を硫黄で置換する方法について検討した。研究開始当初はスパッタリングターゲットを構成する Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を一部 Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> で置換し、硫黄の混入した BiV(O,S)<sub>4</sub> 膜の形成を試みた。しかし、薄膜を構成する Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> の脱離温度が Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> より低いため、製膜温度を上げることができず、また想定より元素置換量が大幅に少なくなった。このため、プリカーサ BiVO<sub>4</sub> 膜を硫黄雰囲気下でアニールし、元素置換する方法に変更した。

グラファイトボックスの中央に製膜温度 500°C で RF スパッタ法により形成した BiVO<sub>4</sub> 薄膜を置き、硫黄粉末を薄膜に沿わせた。その後、グラファイトボックスを環状炉に導入し、加熱することで硫黄化処理を行った。硫黄が空気と反応しないように環状炉に N<sub>2</sub> ガスを流し、硫黄の雰囲気を作り出した。グラファイトボックスは昇温速度 10°C/min で 350°C まで加熱され、その後 1 時間 350°C に保った。その後、自然冷却により試料を冷却した。0.25, 0.5, 0.75 g の異なる量の硫黄粉末をアニールに使用したところ、BiVO<sub>4</sub> 試料は黄色から濃い緑色へと直線的に変化することが判明した (図 5)。X 線光電子分光法を用い

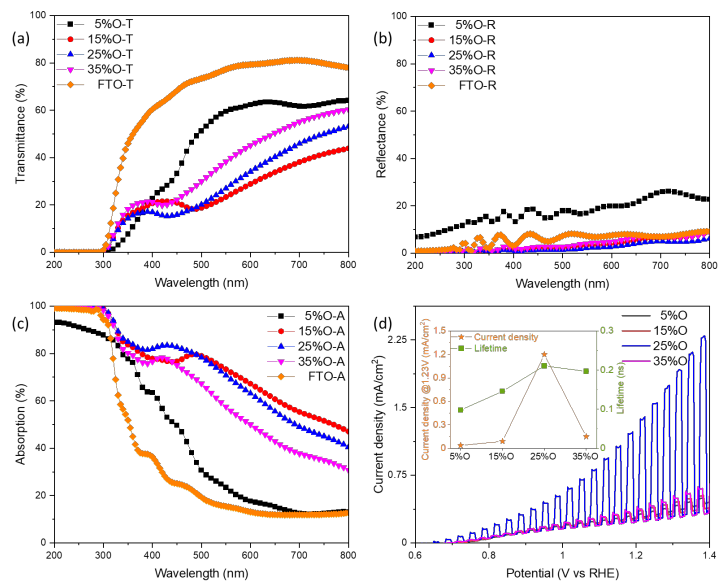


図 4 形成した BiVO<sub>4</sub> 膜の(a)(b)(c)可視紫外吸収 (反射) 分光特性、(d)PEC 特性 (挿入図は 1.2 V での光電流値と蛍光寿命との相関)

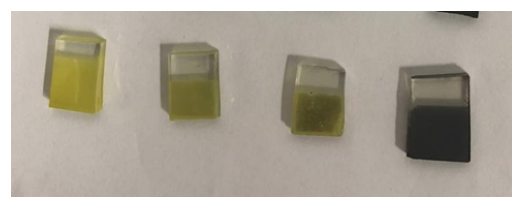


図 5. BiVO<sub>4</sub> 膜の硫化処理後の外観 (左より硫黄の仕込み量 0, 0.25, 0.5, 0.75 g)

て試料の元素組成を分析した結果、膜中には S/(O+S)比で 8-15%程度の硫黄が混入していることが判明した。

続いて構造物性を調べるため XRD とラマン散乱スペクトルを測定した。XRD において、 $\text{BiVO}_4$  は単斜晶シーライト相の回折パターンを示し、少量の硫黄添加では  $\text{BiVO}_4$  の構造に変化は見られなかった。一方、硫黄を高濃度に添加した薄膜では、(121)回折ピークが低角側にシフトした。これはイオン半径が酸素より硫黄の方が大きく、元素置換が進行したことを示唆している。ただし、硫黄混入量が大きな試料では異相である  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  相に起因する回折ピークも微量に確認され、膜組成が乱れることが明らかになった。ラマン散乱スペクトルを計測したところ、

単斜晶  $\text{BiVO}_4$  で  $827\text{cm}^{-1}$  に現れる V-O 伸縮モードが硫黄混入により徐々に  $825$ 、 $822\text{cm}^{-1}$  とシフトする様子が確認された。これは酸素より元素質量の重い硫黄への置換が進行した結果と考えられる。

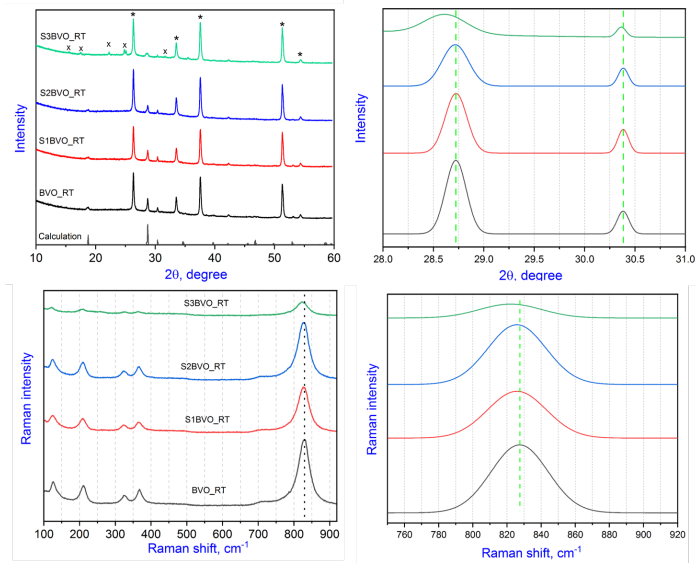


図6 硫黄ドーパ  $\text{BiVO}_4$  膜 (黒：アンドープ、赤-緑：硫黄アニール処理 (硫黄仕込み量：赤 0.25 g, 青 0.5g, 緑 0.75g)) の構造物性評価 (上) X線回折 (下) ラマン分光

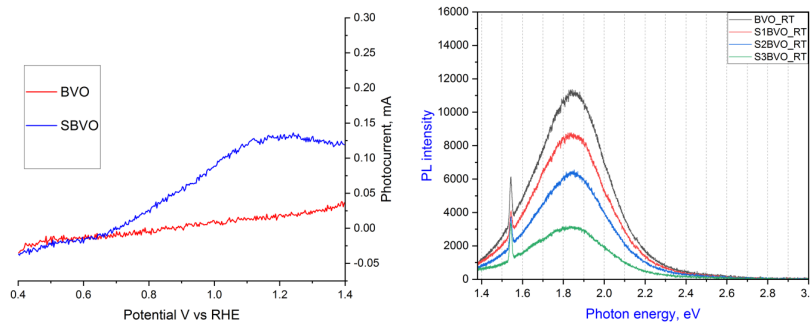


図7 硫黄ドーパ  $\text{BiVO}_4$  膜 (SBVO) の (左) PEC 特性、(右) 蛍光スペクトル

以上の試料について光電気化学特性 (PEC) を評価した結果、硫黄ドーパ  $\text{BiVO}_4$  膜での光電流の増加が確認された (図 7)。ただし、蛍光強度は硫黄添加量が増すにつれ減少しており、硫黄の混入した試料では光生成キャリアの非輻射再結合が起きている。このため、酸素と硫黄のイオン半径差による局所歪みが欠陥生み出していると思われる、さらに特性を改善するには欠陥の解消が課題であるといえる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Abdellaoui Imane, Islam Muhammad M., Remeika Mikas, Kanno Sorai, Okamoto Riku, Tajima Kazuya, Pawar Sachin A., Ng Yun Hau, Budich Christian, Maeda Tsuyoshi, Wada Takahiro, Ikeda Shigeru, Sakurai Takeaki	4. 巻 125
2. 論文標題 Mechanism of Incorporation of Zirconium into BiVO4 Visible-Light Photocatalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3320 ~ 3326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c00339	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 He Yulu, Abdellaoui Imane, Abdel-Shakour M., Chowdhury Towhid Hossain, Kamarudin Muhammad Akmal, Nogueira Ana Fl?via, Shen Qing, Hayase Shuzi, Islam Ashraful, Sakurai Takeaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Study of open circuit voltage loss mechanism in perovskite solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBF13 ~ SBBF13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe5c1	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 Abdellaoui Imane, Islam Muhammad M., Remeika Mikas, Higuchi Yui, Kawaguchi Takato, Harada Takashi, Budich Christian, Maeda Tsuyoshi, Wada Takahiro, Ikeda Shigeru, Sakurai Takeaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Photocatalytic Recombination Dynamics in BiVO4 for Visible Light-Driven Water Oxidation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3962 ~ 3972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10621	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 Foggiatto Alexandre L., Takeichi Yasuo, Ono Kanta, Suga Hiroki, Takahashi Yoshio, Fusella Michael A., Dull Jordan T., Rand Barry P., Kutsukake Kentaro, Sakurai Takeaki	4. 巻 74
2. 論文標題 Study of local structure at crystalline rubrene grain boundaries via scanning transmission X-ray microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 315 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.07.021	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 Lafuente-Sampietro Alban, Chen Jingdong, Wang Shenghao, Hao Xia, Islam Muhammad Monirul, Kato Takuya, Sugimoto Hiroki, Akimoto Katsuhiro, Sakurai Takeaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Wavelength-dependent J-V characteristics of $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{S},\text{Se})_2$ solar cells and carrier recombination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 061001 ~ 061001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab1ad8	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 Liu Jiaqi, Uezono Namiki, Tajima Kazuya, Pawar Sachin A., Islam Muhammad Monirul, Ikeda Shigeru, Sakurai Takeaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Self-Flux Method in Sputtered $\text{BiVO}_4$ Films for Enhanced Photoelectrochemical Performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4191 ~ 4201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c03626	査読の有無 無
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 Ikeda Shigeru, Nguyen Thi Hiep, Okamoto Riku, Remeika Mikas, Abdellaoui Imane, Islam Muhammad M., Harada Takashi, Abe Ryu, Sakurai Takeaki	4. 巻 24
2. 論文標題 Effects of incorporation of Ag into a kesterite $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin film on its photoelectrochemical properties for water reduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 468 ~ 476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP04075H	査読の有無 無
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 Abdellaoui Imane, Islam Muhammad M., Remeika Mikas, Kanno Sorai, Okamoto Riku, Tajima Kazuya, Pawar Sachin A., Ng Yun Hau, Budich Christian, Maeda Tsuyoshi, Wada Takahiro, Ikeda Shigeru, Sakurai Takeaki	4. 巻 125
2. 論文標題 Mechanism of Incorporation of Zirconium into $\text{BiVO}_4$ Visible-Light Photocatalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3320 ~ 3326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c00339	査読の有無 無
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 Liu Jiaqi, Tajima Kazuya, Abdellaoui Imane, Islam Muhammad Monirul, Ikeda Shigeru, Sakurai Takeaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Radio-Frequency Power on the Composition of BiV04 Thin-Film Photoanodes Sputtered from a Single Target	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 2122 ~ 2122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en14082122	査読の有無 無
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7件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Liu Jiaqi, Kazuya Tajima, Muhammed Monirul Islam, Shigeru Ikeda, Takeaki Sakurai
2. 発表標題 Fabrication of Bismuth Vanadate photocatalyst films from single target by RF-sputtering method
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ABDELLAOUI imane IMANE, Kazuya Tajima, Takato kawagushi, Shigeru Ikeda, Mohamed Monirul Islam, Takeaki Sakurai
2. 発表標題 Recombination Mechanism in BiV04 Photocatalyst Studied by Photoluminescence
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島 和哉、IslamMuhammad Monirul, Jiaqi Liu, Imane Abdellaoui, 池田 茂、櫻井 岳暁
2. 発表標題 RF スパッタリング法による BiV04薄膜成長法の検討
3. 学会等名 2020年第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Liu Jiaqi, Namiki Uezono, Sachin A. Pawar, Muhammad Monirul Islam, Shigeru Ikeda, Takeaki Sakurai
2. 発表標題 Facile control of V/Bi ratio in bismuth vanadate films by oxygen pressure in sputtering for enhanced photoelectrochemical performance
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上園 波輝, カキ リュウ, シュクル ゴフロブ, イスラム ムハマド モニルル, 池田 茂, 櫻井 岳暁
2. 発表標題 スパッタリング法による正方晶ジルコン型BiVO4光電極の作製
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

1. 発表者名 Liu Jiaqi, Kenichi Ozawa, Kazuya Tajima, Namiki Uezono, Muhammad Monirul Islam, Kazuhiko Mase, Takeaki Sakurai
2. 発表標題 Electronic structure of the Bi4V2O11 (001) surface by ARPES
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

1. 発表者名 櫻井 岳暁, Islam Muhammad M., 池田 茂
2. 発表標題 物理からみた光触媒材料と動向
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 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室webページ  
www.bk.tsukuba.ac.jp/~semicon

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	池田 茂  (Ikeda Shigeru)  (40312417)	甲南大学・理工学部・教授   (34506)	
研究分担者	小澤 健一  (Ozawa Kenichi)  (00282822)	高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授   (82118)	

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			
その他の国・地域	香港城市大学			
ドイツ	Martin Luther University Halle			