

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14719

研究課題名（和文）高効率水分解用酸ハロゲン化物光触媒の開発と構造活性相関の追究

研究課題名（英文）Study on structure-activity relationship of oxyhalide photocatalysts for achieving highly efficient water splitting

研究代表者

鈴木 肇 (Hajime, Suzuki)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：10862873

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、層状酸ハロゲン化物光触媒の構造活性相関の解明を目的として、新規 Sillen型酸ハロゲン化物光触媒の開発とその詳細なバンド構造解析、Sillen-Aurivillius構造を有する新規多層ペロブスカイト酸ヨウ化物光触媒の合成、に取り組んだ。については、Sillen型酸ハロゲン化物光触媒 SrBi₃O₄Cl₃を新たに開発し、類似物質との詳細なバンド構造比較によって、この物質の示す特異的な可視光吸収の起源を明らかにした。については、新規多層ペロブスカイト酸ヨウ化物の合成と物性・活性評価を行い、ヨウ素の導入がバンド位置や光吸収、光触媒活性に与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クリーンな水素製造技術の一つとして半導体光触媒を用いた水分解が注目され、太陽光スペクトルの大部分を占める可視光を利用可能な新規水分解用光触媒の開発が盛んに行われている。本研究では、Sillen(-Aurivillius)型層状酸ハロゲン化物の各層（フルオライト層、ペロブスカイト層、ハロゲン層）が電子物性や光触媒活性に与える影響の解明に取り組み、新規酸ハロゲン化物光触媒の開発とその物性・活性評価を通じて、その一端を明らかにした。得られた知見を今後の材料開発にフィードバックすることで、光触媒として最適な構造を有する酸ハロゲン化物を設計できれば、本系の水分解効率の大幅な向上も期待できる。

研究成果の概要（英文）：The following two topics were intensively studied: (1) development of new Sillen-type oxyhalide photocatalysts and band structure analysis of them and (2) synthesis of new multi-layered perovskite oxyiodide photocatalysts. In the topic (1), a Sillen-type SrBi₃O₄Cl₃ photocatalyst was newly developed. The origin of visible light absorption of SrBi₃O₄Cl₃ was revealed via a detail analysis of its band structure. In the topic (2), new multi-layered perovskite oxyiodide photocatalysts were synthesized and their physicochemical properties were evaluated. Introduction of iodide was found to change the band levels, light absorption, and photocatalytic activity.

研究分野：光触媒

キーワード：人工光合成 光触媒 水分解 可視光 酸ハロゲン化物

1. 研究開始当初の背景

人工光合成系の一つである半導体光触媒を用いた水分解は、太陽光と水から次世代のクリーンエネルギーとして期待されている「水素」を直接製造できる技術として国内外で盛んに研究されている。近年では、天然光合成に匹敵する太陽光エネルギー変換効率を実証され、社会実装に向けて光触媒パネルを用いた水素製造の実地試験も行われている。しかしながら、実用化を見据えた際には、更なる高効率化が必要不可欠な段階にある。高効率な水分解を実証するために、光触媒は少なくとも、(1) 可視光吸収能、(2) 水を酸化還元可能なバンドレベル、(3) 高い安定性、の三条件を満たさなければならない。これまでの研究から、この条件を全て兼ね備えた光触媒材料の開発は困難と認識されてきたが、近年申請者らが新たに開発した Sillén-Aurivillius 構造 (もしくは Sillén 構造) を有する層状酸ハロゲン化物 (図1) はその特異なバンド構造故に、それらを満たす稀有な材料系であることが明らかとなった。この Sillén-Aurivillius 型酸ハロゲン化物はフルオライト層、ペロブスカイト層、ハロゲン層が交互に積み重なった層状構造を有し、その層の組み合わせ方や元素置換によって、無数の新規化合物の合成が期待できる。しかし、現状では各層が電子物性や光触媒活性に与える影響は不明な点が多く、光触媒材料としての設計指針は確立されていない。

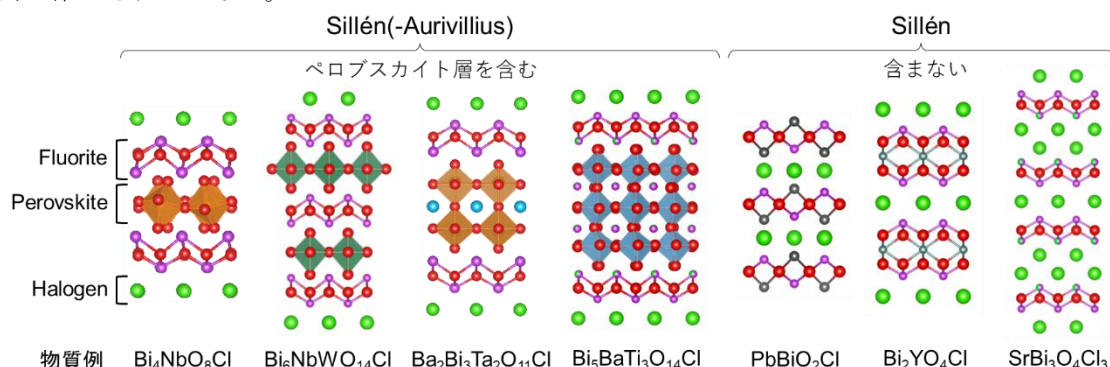


図1 多彩な結晶構造を有する Sillén(-Aurivillius)型酸ハロゲン化物

2. 研究の目的

本研究では、層状酸ハロゲン化物光触媒の設計指針と活性最適化手法の確立を目的とし、以下の2項目に取り組むことで各構成層が光触媒特性に与える影響を考察した。

- (1) 新規 Sillén 型酸ハロゲン化物の開発とその詳細なバンド構造解析
(フルオライト層・ハロゲン層に注目した研究)
- (2) Sillén-Aurivillius 構造を有する新規多層ペロブスカイト酸ヨウ化物の合成
(ペロブスカイト層・ハロゲン層に注目した研究)

本研究で得られた知見を今後の新規酸ハロゲン化物光触媒開発にフィードバックすることで、光触媒として最適な構造を有する酸ハロゲン化物を設計し、これを用いて高効率水分解を実証することが研究の最終的な目標となる。

3. 研究の方法

- (1) 新規 Sillén 型酸ハロゲン化物の開発とその詳細なバンド構造解析

まずはペロブスカイト層を含まない (フルオライト層とハロゲン層のみからなる) 単純な結晶構造を有する Sillén 型酸ハロゲン化物に着目し、新規材料開拓と詳細なバンド構造解析に取り組んだ。これまでに可視光応答型光触媒として Pb を含む PbBiO_2Cl や $\text{PbBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ を報告してきた。バンド構造解析の結果から、これらの材料では Pb と O の強い軌道相互作用が確認され、これが価電子帯上端を押し上げることで可視光吸収能が発現していることを明らかにしている。一方で Pb は人体に有害であることから、非鉛系 Sillén 型酸ハロゲン化物の開発、ならびに設計指針の確立が求められていた。本研究では、非鉛系 Sillén 型酸ハロゲン化物として $\text{PbBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ の類縁体である $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ が約 460 nm までの可視光を吸収するとともに Z スキーム水分解系の酸素生成光触媒として機能することを見出した。本材料と紫外光応答型の非鉛系 Sillén 型酸ハロゲン化物 SrBiO_2Cl 、 BiOCl との結晶構造、バンド構造を詳細に比較することで、 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ が特異的に示す可視光吸収の起源解明を行った。

- (2) Sillén-Aurivillius 構造を有する新規多層ペロブスカイト酸ヨウ化物の合成

ペロブスカイト層、ハロゲン層が光触媒特性に与える効果を検証するため、ペロブスカイト多層系 (3~5 層系) 酸臭化物・酸ヨウ化物の合成に取り組んだ。これまでに、ペロブスカイト 2 層系 Sillén-Aurivillius 型酸ヨウ化物 $\text{Ba}_2\text{Bi}_3\text{Nb}_2\text{O}_{11}\text{I}$ が、その塩素体や臭素体に比べてバンドギャップが小さく、より長波長まで吸収可能であるとともに、光励起キャリアが長寿命化することで、顕著に高い酸素生成活性を示すことを見出した。一方で、酸ヨウ化物の合成においては、ヨウ素の揮発が問題となることから、酸塩化物に比べて合成の難易度が高く、材料のバリエーションも限られていた。そこで本研究ではまず、Sillén-Aurivillius 型酸ヨウ化物を系統的に合成できる手

法の確立とその手法を用いた新規酸ヨウ化物光触媒の開発を目指した。更に、ペロブスカイト 3~5 層系酸塩化物・臭化物との比較からペロブスカイト層・ハロゲン層の変調が光触媒特性にもたらす影響を考察した。

4. 研究成果

(1) 新規 Sillén 型酸ハロゲン化物の開発とその詳細なバンド構造解析

可視光水分解用光触媒として新たに機能することを見出した $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ の特異的な可視光吸収の起源を解明するために、類似の結晶構造を有する Sillén 型酸ハロゲン化物 (SrBiO_2Cl , BiOCl) との比較を行った。 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ はシングルハロゲン層とダブルハロゲン層の二種類が交互に積層した構造を有する。一方で、 SrBiO_2Cl および BiOCl は、それぞれシングルハロゲン層とダブルハロゲン層のみを構成層として含む (図 2)。リートベルト解析や STEM-EDX 測定の結果から、 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ は異なるハロゲン層が交互に積層することで、フルオライト層内に非等価なカチオンサイトが存在しており、シングルハロゲン層側のサイトは全て Bi が占有するのに対し、ダブルハロゲン層側は Sr と Bi が半分ずつ占有することが明らかとなった。電気化学測定によりバンド位置を推定したところ、 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ は他の化合物に比べて、より正側の伝導帯下端 (CBM) およびより負側の価電子帯上端 (VBM) を有しており、CBM と VBM の両方がシフトすることでバンドギャップが狭窄化されていることが示された (図 3)。続いて、DFT 計算により $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ のバンド構造の解析を行い、CBM と VBM のシフトの要因について考察した。

まず、CBM 付近の状態密度に注目すると、主にシングルハロゲン層側の Bi1 が寄与していることが明らかとなった (図 4 a)。さらに、CBM 付近の軌道分布の可視化 (図 4 b) および COHP 解析から、シングルハロゲン層を介した Bi1 の Bi 6p_z 軌道同士が相互作用し、その結果生じる結合性軌道が、CBM 付近の状態密度を形成することが明らかとなった。以上の結果から、シングルハロゲン層側において Bi-Bi 間の軌道相互作用が特異的に生じることで、 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ では正側の CBM が形成されたと考えられる。このような Bi-Bi 間軌道相互作用は、ダブルハロゲン層のみを含む BiOCl では不可能である。また、シングルハロゲン層のみを含む SrBiO_2Cl では、Bi の同軸上に Sr が配置されているため、同様に Bi-Bi 間軌道相互作用は困難である。すなわち、 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ の非対称的なカチオン占有状態に基づく Bi-Bi 間軌道相互作用が、CBM 低下の主たる要因であると言える。

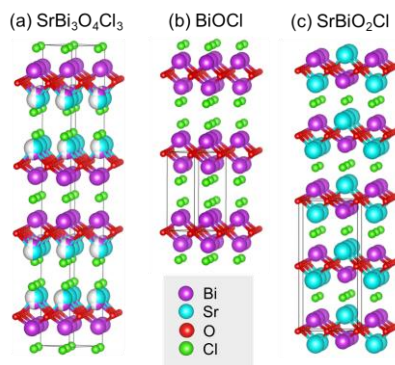


図 2 $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ 、 BiOCl 、 SrBiO_2Cl の結晶構造

次に、VBM 付近の状態密度に注目すると、フルオライト層内の O アニオンの軌道に加えて、

ダブルハロゲン層の Cl アニオン (Cl2) の軌道が大きく寄与し、一方でシングルハロゲン層の Cl アニオン (Cl1) の軌道がほとんど寄与しないことが明らかとなった (図 4c)。これら両 Cl アニオンにおいて、マードルングサイトポテンシャルと電子親和力の和で表されるイオンエネルギー準位を算出すると (図 4d)、ダブルハロゲン層の Cl2 は近接 Cl アニオン同士の静電的反発により、シングルハロゲン層の Cl1 に比べて静電的に不安定化されていることが明

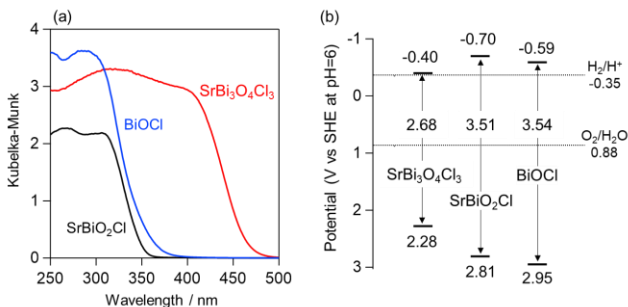


図 3 (a) 各酸ハロゲン化物の拡散反射スペクトル、(b) 推定バンド位置

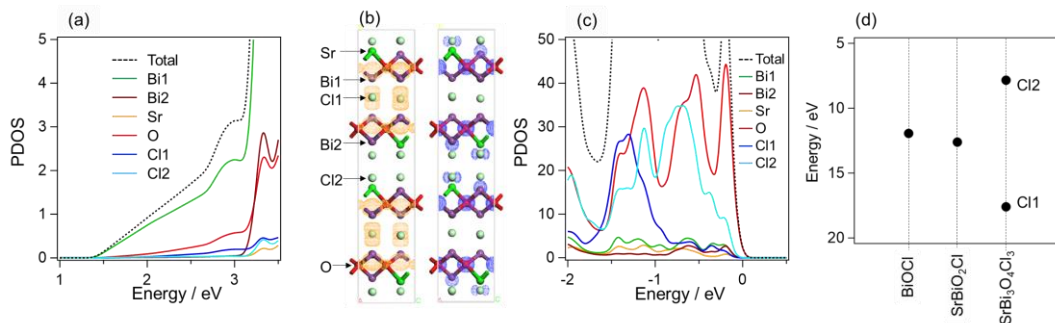


図 4 (a) 伝導帯下端付近の状態密度、(b) 伝導帯下端 (黄色)、価電子帯上端 (青色) 付近の軌道分布、(c) 価電子帯上端付近の状態密度、(d) 酸素アニオンのエネルギー

らかとなった。同様にシングルハロゲン層のみを含む SrBiO_2Cl の Cl アニオンと比較しても Cl2 が顕著に不安定化している。さらに $\text{SrBi}_3\text{O}_4\text{Cl}_3$ ではダブルハロゲン層側に価数の小さな Sr^{2+} が選択的に占有することで (図 2a)、ダブルハロゲン層のみの BiOCl の Cl アニオンよりも Cl2 が顕著に不安定化している。このように静電的に不安定化した Cl2 が VBM に大きく寄与することで、 SrBiO_2Cl や BiOCl に比べて VBM が上昇したことが強く示唆された。今後、本知見を活用することで、長波長までの可視光吸収が可能な酸ハロゲン化物の合成が期待できる。

(2) Sillén-Aurivillius 構造を有する新規多層ペロブスカイト酸ヨウ化物の合成

ペロブスカイト層の厚み・ハロゲン層の種類とバンド構造・光触媒特性との相関を解明するため、新規ペロブスカイト 3, 4, 5 層系酸ハロゲン化物 $\text{BaBi}_5\text{Ti}_3\text{O}_{14}\text{X}$ (3 層系)、 $\text{Ba}_2\text{Bi}_5\text{Ti}_4\text{O}_{17}\text{X}$ (4 層系)、 $\text{Ba}_3\text{Bi}_5\text{Ti}_5\text{O}_{20}\text{X}$ (5 層系) ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) の合成を試みた。なかでも、酸ヨウ化物の合成においては、高温状態でヨウ素種が揮発しやすいことに加えて、フルオライト層/ペロブスカイト層とハロゲン層の格子整合の観点から考えると、イオン半径が大きいヨウ化物イオンは塩化物イオンに比べて層内に挿入されにくいことが予想される。そこでまずは、酸ヨウ化物を単相で合成できる手法を確立し、その方法を酸塩化物、酸臭化物へも適用することにより、一連の化合物の特性を比較できないか検討した。

単相合成を目的として、図 5 に示す 3 つのルートを検討した。1 つ目は Sillén 化合物とその他の原料から合成する 2step-S 法、2 つ目は Aurivillius 化合物とその他の原料から合成する 2step-A 法、3 つ目は Aurivillius 化合物と Sillén 化合物から合成する 2step-SA 法である。ここで、2step-SA 法は、当研究室で多層酸塩化物を合成する際に適用した手法である。まずは、 $\text{BaBi}_5\text{Ti}_3\text{O}_{14}\text{I}$ (3 層系) に対して、3 つの合成ルートを検討したところ、2step-S 法でのみ単相で目的物が得られた。一方で、Aurivillius 化合物を用いた合成法である 2step-SA, 2step-A では焼成後も Aurivillius 化合物由来のピークが見られており、反応性の低い Aurivillius 化合物を用いないことが単相合成に重要であることが示唆された。2step-S 法を用いることで $\text{Ba}_2\text{Bi}_5\text{Ti}_4\text{O}_{17}\text{I}$ (4 層系) の合成にも成功した。一方で、 $\text{Ba}_3\text{Bi}_5\text{Ti}_5\text{O}_{20}\text{I}$ (5 層系) は、単純な 2step-S 法では目的物が単相で得られなかった。そこで合成条件を工夫したところ、ヨウ素の揮発を考慮して Sillén 化合物を 20 mol% 過剰に添加することに加え、焼成温度を上昇させて反応を促進することで、ほぼ単相の $\text{Ba}_3\text{Bi}_5\text{Ti}_5\text{O}_{20}\text{I}$ (5 層系) を得ることに成功した。図 6 にリートベルト解析により得られた各酸ヨウ化物の結晶構造を示す。2step-S 法を用いることで 3~5 層系酸塩化物、酸臭化物の合成にも成功し、本手

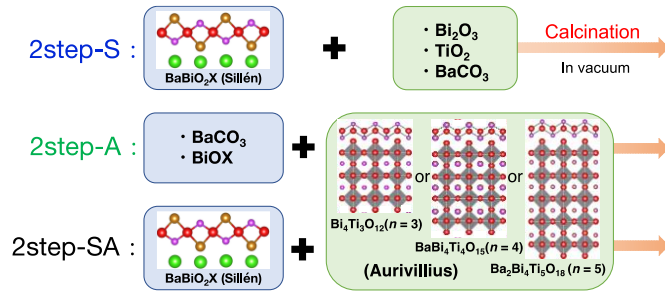


図 5 Sillén-Aurivillius 型酸ハロゲン化物の合成ルート

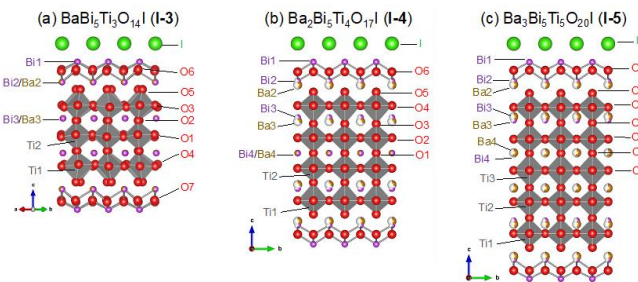


図 6 Sillén-Aurivillius 型酸ヨウ化物の結晶構造

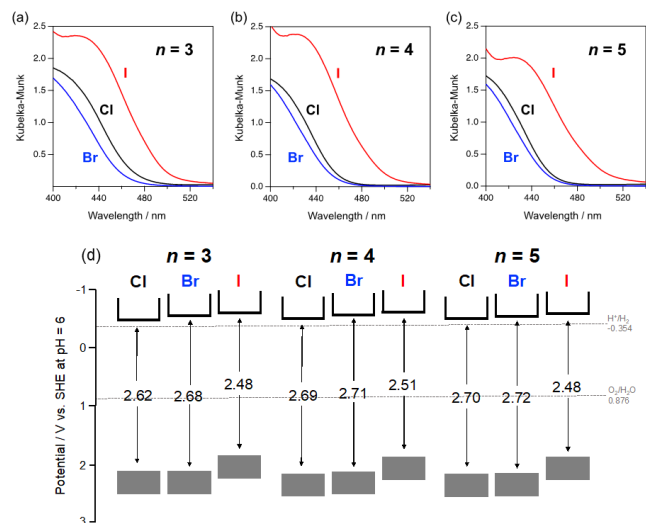


図 7 (a-c) 各酸ハロゲン化物の拡散反射スペクトル、(d) 推定バンド位置

法の高い汎用性が示された。ここで、酸臭化物、酸ヨウ化物はいずれの物質も新規化合物である。

得られた酸ハロゲン化物の拡散反射スペクトルを測定したところ、ペロブスカイト層数に関わらず、ヨウ素の導入により顕著にバンドギャップが狭窄化した(図7 a-c)。電気化学測定によりバンド位置を推定したところ、これらの化合物はいずれも可視光分解に適切なバンド位置を有することが示された(図7 d)。また、ペロブスカイト層の厚みに関わ

らずヨウ素の導入により価電子帯上端が、その塩素体や臭素体に比べ、負側にシフトすることが明かとなった。これは当研究室の先行研究と同様、ヨウ素の導入に伴い、ペロブスカイト層中の酸素が静電的に不安定化することが要因の一つと考えられる。さらに、いずれのペロブスカイト3, 4, 5層系新規S-A型酸ヨウ化物も、犠牲酸化剤として Ag^+ を用いた可視光 O_2 生成に活性を示し、3層系のヨウ素体が最も高い活性を示した(図8)。現在、このような活性の傾向を示す要因について検証するとともに、酸ヨウ化物に特化した合成法や表面修飾法の開発にも着手しており、光触媒として最適な構造を有する酸ヨウ化物光触媒の設計とそれを用いた高効率水分解の実証を目指している。

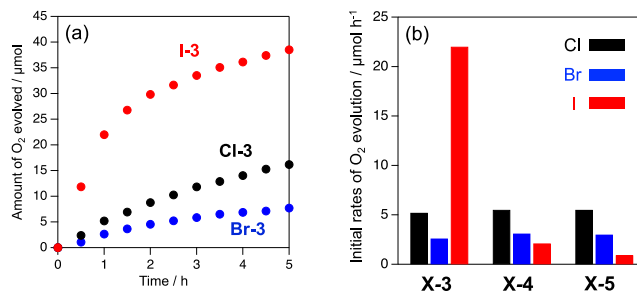


図8 (a) 3層系酸ハロゲン化物を用いた酸素生成反応、
(b) 各種多層系酸ハロゲン化物の酸素生成速度

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Suzuki Hajime, Higashi Masanobu, Tomita Osamu, Ishii Yusuke, Yamamoto Takafumi, Kato Daichi, Kotani Tetsu, Ozaki Daichi, Nozawa Shunsuke, Nakashima Kouichi, Fujita Koji, Saeki Akinori, Kageyama Hiroshi, Abe Ryu	4. 巻 33
2. 論文標題 PbBi304X3 (X = Cl, Br) with Single/Double Halogen Layers as a Photocatalyst for Visible-Light-Driven Water Splitting: Impact of a Halogen Layer on the Band Structure and Stability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 9580 ~ 9587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c02876	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 Ogawa Makoto, Suzuki Hajime, Tomita Osamu, Nakada Akinobu, Abe Ryu	4. 巻 444
2. 論文標題 Sn ²⁺ -based pyrochlore oxysulfides with narrow band gaps for photocatalytic water splitting	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 114895 ~ 114895
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2023.114895	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 Suzuki Hajime, Ozaki Daichi, Ishii Yusuke, Tomita Osamu, Kato Daichi, Nozawa Shunsuke, Nakashima Kouichi, Saeki Akinori, Kageyama Hiroshi, Abe Ryu	4. 巻 -
2. 論文標題 A Sillen Oxyhalide SrBi304Cl3 as a Promising Photocatalyst for Water Splitting: Impact of the Asymmetric Structure on Light Absorption and Charge Carrier Dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TA00906H	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 Suzuki Hajime, Takashima Takanori, Tomita Osamu, Kanazawa Tomoki, Nozawa Shunsuke, Kato Kosaku, Yamakata Akira, Nakashima Kouichi, Saeki Akinori, Abe Ryu	4. 巻 127
2. 論文標題 Improved Photocatalytic O ₂ Evolution on a Sillen-Aurivillius Perovskite Oxychloride Bi6NbW014Cl by Rh203 Additives and Surface Modifications	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7965 ~ 7973
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c00846	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 Ogawa Makoto, Suzuki Hajime, Ogawa Kanta, Tomita Osamu, Abe Ryu	4. 巻 141
2. 論文標題 Synthesis of multi-layered perovskite oxyiodides: Impact of number of perovskite layers and type of halide layer for band levels and photocatalytic properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Solid State Sciences	6. 最初と最後の頁 107221 ~ 107221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solidstatesciences.2023.107221	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14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鈴木肇、佐伯昭紀、阿部竜
2. 発表標題 2種類のハロゲン層を含む水分解用層状酸塩化物光触媒PbBi304Cl3
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 古田 雄大、鈴木 肇、富田 修、阿部 竜
2. 発表標題 希土類含有SiIlen型層状酸ハロゲン化物光触媒Bi2RE04Clの可視光水素生成活性
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 石井 佑典、鈴木 肇、富田 修、阿部 竜
2. 発表標題 層状酸ハロゲン化物SrBi304Cl3光触媒の塩化物混合フラックスを用いる単相合成と可視光酸素生成活性
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 石井 佑典、鈴木 肇、尾崎 大智、富田 修、坂本 良太、阿部 竜
2. 発表標題 可視光応答型酸ハロゲン化物光触媒SrBi ₃ O ₄ Cl ₃ の高活性化にむけた物性制御
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 肇、尾崎 大智、小川 幹太、坂本 良太、富田 修、陰山 洋、阿部 竜
2. 発表標題 ペロブスカイト三、四、五層系Sillen - Aurivillius型酸ハロゲン化物の合成と光触媒特性
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 肇、石井 佑典、阿部 竜
2. 発表標題 二種類のハロゲン層を有する層状酸ハロゲン化物光触媒が示す可視光吸収の起源追究
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 富田 龍生、鈴木 肇、富田 修、中田 明伸、阿部 竜
2. 発表標題 伝導帯制御に基づく可視光水分解用バナジウム系酸ハロゲン化物光触媒の開発
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 小川 誠人, 小川 幹太, 鈴木 肇, 富田 修, 中田 明伸, 阿部 竜
2. 発表標題 可視光水分解用酸ハロゲン化物半導体のペロブスカイト層およびハロゲン層制御
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古田 雄大, 鈴木 肇, 富田 修, 中田 明伸, 阿部 竜
2. 発表標題 希土類源過剰添加による可視光水分解用酸ハロゲン化物光触媒Bi ₂ REO ₄ Cl (RE = Y, Er)の活性向上
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石井 佑典, 鈴木 肇, 富田 修, 阿部 竜
2. 発表標題 塩化物混合溶融塩フラックスを用いる可視光応答型光触媒SrBi ₃ O ₄ Cl ₃ の板状粒子単相合成と水分解活性向上
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 肇, 石井 佑典, 富田 修, 佐伯 昭紀, 阿部 竜
2. 発表標題 2種類のハロゲン層を含む水分解用層状酸ハロゲン化物光触媒
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Ogawa, Kanta Ogata, Hajime Suzuki, Osamu Tomita, Akinobu Nakada, Ryu Abe
2. 発表標題 Flux Synthesis of Layered Perovskite Oxyiodide Photocatalyst for Efficient Visible-light Water Splitting
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Ishii, Hajime Suzuki, Kanta, Ogawa, Osamu Tomia, Akinori Saeki, Ryu Abe
2. 発表標題 Improved water oxidation activity of a Sillen SrBi304Cl3 photocatalyst by flux method with an appropriate binary-component molten salt
3. 学会等名 Post Symposium of TOCAT9
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古田 雄大, 鈴木 肇, 富田 修, 中田 明伸, 阿部 竜
2. 発表標題 可視光水分解用光触媒Bi2RE04Cl (RE=Y, Er)のカチオン占有サイト精密制御による活性向上
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

〔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
---------	---------