

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：57103  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2019～2023  
課題番号：19K05067  
研究課題名(和文) 光殺菌を指向したLED照明応答型Bi系/Fe系酸化物ヘテロ接合型光触媒の創製  
  
研究課題名(英文) Preparation of Bi-based / Fe-based oxide heterojunction photocatalyst for photosterilization under LED irradiation  
  
研究代表者  
小畑 賢次 (KENJI, OBATA)  
  
北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・准教授  
  
研究者番号：70370046  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高い酸化活性を有するBi系酸化物と高い還元電位を有するFe系酸化物をヘテロ接合することでZスキーム型光触媒を構成し、LED照射下で高い光殺菌活性を示す光触媒を開発するものである。Bi系酸化物ではBi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、パイロクロア型複合酸化物(Bi<sub>2</sub>M<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; M=Ti, Zr, Ce), BiVO<sub>4</sub>についてLED応答性を調べたところ、Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>系が高いMB色素の分解活性を示した。Fe系酸化物では、MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>にLaを添加するとナノ粒子が得られ、半導体の電気的特性がn型からp型に変化した。Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>とMgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>でZスキーム型光触媒を構築したが、LED応答性は不十分であった。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は、材料科学と生物学・生化学を融合して新規な光殺菌触媒を創製することである。本研究の知見は、触媒化学、電気化学、環境科学分野などでの機能性材料開発においても重要であり、医療・福祉材料分野の発展に大いに貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop novel photocatalysts based on Bi-based oxide and Fe-based oxide for high photosterilization activity under LED irradiation. We constructed a Z-scheme photocatalyst by heterojunction of Bi-based oxide with high oxidation activity and Fe-based oxide with a high reduction potential. We found that Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> oxide showed high MB dye decomposition activity. It was found that adding La as a dopant component to MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> causes distortion of the crystal lattice, inhibits crystallite growth. Furthermore, we investigated the LED responsiveness of a Z-scheme photocatalyst that combined Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. However, the photodegradation activity of the MB dye was insufficient.

研究分野：無機材料化学

キーワード：光殺菌 光触媒 Fe系複合酸化物 Bi系複合酸化物 LED照明応答

## 1. 研究開始当初の背景

病院および介護施設では、室内における感染防止の観点から病原体の殺菌除去が重要な課題である。主な室内感染菌として、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA)、バンコマイシン耐性腸球菌 (VRE) などの薬剤耐性を持つ菌が挙げられる。殺菌技術として、オゾン ( $O_3$ )、紫外線、二酸化塩素 ( $ClO_2$ ) が利用されているが、発生装置や貯蔵設備 (薬液タンク) の設置が必要不可欠であり、感染を常時予防するためには多くの人手と手間が必要である。これらの装置や設備が不要の技術として、可視光応答性光触媒 ( $TiO_2$  [2],  $SrBi_2O_4$  [3],  $Bi_2WO_6$  [4],  $WO_3$  [5, 6] 等) による病原体滅菌技術が報告されている。しかしながら、「照明成長戦略 2020」に基づいて公共施設では LED 型照明 (擬似白色 LED) が普及しつつあり、LED 照射下では可視光応答性光触媒の性能は基だ不十分である。

## 2. 研究の目的

白色 LED 光源は、465 nm (2.67 eV) のメインピークと 560 nm (2.21 eV) のサブピークを持つが、これらの発光スペクトルの吸収に適したヘテロ接合型光触媒は報告されていない (図 1)。図 2 に示すように、メインピークとサブピークの波長域を吸収し、かつ Z スキーム型光触媒を構築できる化合物として Bi 系複合酸化物と Fe 系複合酸化物が適していると考えられる。本研究では、高い酸化活性を有する Bi 系酸化物と高い還元電位を有する Fe 系酸化物をヘテロ接合して Z スキーム型光触媒を構成し、LED 照射下で高い光殺菌活性を示す光触媒の開発を目指した。

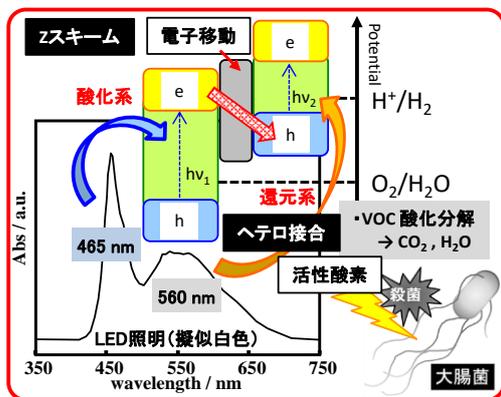


図 1 LED 応答性光触媒のイメージ図

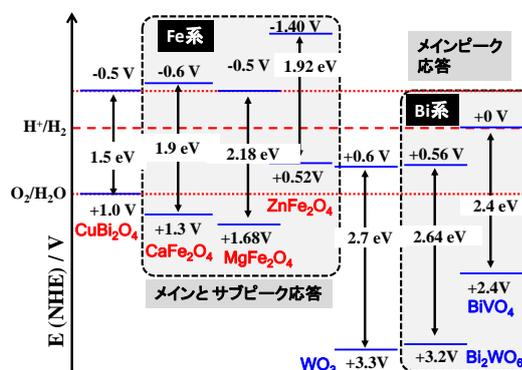


図 2 酸化還元電位の関係

## 3. 研究の方法

まず、Bi 系酸化物に異種元素を添加してバンドギャップを制御し、LED のメインピーク波長光に対する光吸収能力の向上を試みた。次に、Fe 系酸化物に異種元素を添加して結晶子や粒子成長を抑制してナノ粒子化を促進するとともに、電気的特性の制御を行った。さらに Bi 系酸化物と Fe 系酸化物をヘテロ接合して Z スキーム型光触媒系を構築し、光触媒活性の向上を目指した。

光触媒の性能評価には、屋内光評価用 LED 光源 (分光計器製, BLD-100) を用いてメチレンブルー (MB) 色素の分解率で評価した。また、光殺菌効果はソーラシミュレータ (分光計器製, OTENTO-SUN III) を用いて大腸菌群のコロニーの生菌数測定 (colony forming unit: CFU) により検証した。

## 4. 研究成果

### 4. 1 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系酸化物

Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系酸化物として、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, パイロクロア型複合酸化物 (Bi<sub>2</sub>M<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; M = Ti, Zr, Ce) [7-9], BiVO<sub>4</sub> [10] を選択した。

まず、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> について、遷移金属 (Fe, Mn, Mo, W) を添加した場合について、第一原理バンド計算を実行したところ、遷移金属の添加によりバンドギャップ中に新しいエネルギー準位が形成されることがわかった。そこで、遷移金属を添加した Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を合成し、LED照射下でメチレンブルー (MB) 分解法による光触媒活性試験を行ったところ、Feを添加した Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を除いて、いずれの試料もMB分解特性を有したが、その分解活性は十分ではなかった (図3)。

次に、Bi<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> について、第一原理バンド計算を実施したところ、V を添加するとバンドギャップ中に V3d の不純物準位が形成されることが確認された。そこで、異種元素として V を添加した Bi<sub>2</sub>M<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (M = Ti, Zr, Ce) の合成を試みた。Bi<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 系複合酸化物の合成では、各熱処理温度で合成を試みたが、Bi<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub> が生成し、高純度な試料が得られなかった。Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 系試料の合成では、V 元素を

添加すると ZrV<sub>2</sub>O<sub>7</sub> が生成してメイン波長域の吸収強度が低下した。Bi<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 系試料の合成では、第一成分に V, 第二成分として Ca, La を添加した。V 単独添加系は未添加の試料よりも吸収強度が向上し、V と Ca及び V と La を共添加するとさらに吸光特性は改善された。合成した Bi<sub>2</sub>M<sub>2</sub>O<sub>7</sub> について、MB分解活性試験を実施したところ、Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> が高い活性を示し、V を添加すると活性が向上することがわかった (図4)。この結果は、吸収強度だけでなく、LED 照明のメインピークの波長による光励起が重要であることを示唆している。

可視光応答性光触媒として報告されている BiVO<sub>4</sub> についても、同様に調査した。異種元素として、La, Y を添加した。LED 光源を2時間したところ、いずれも高い分解活性を示したが、暗室 (dark) でもMB色素が分解されており、LED 照射による光分解活能を有していると判断できなかった (図5)。

### 4. 2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系酸化物

MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> に La を添加し、添加前後において、MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の結晶子径, 格子歪, 微細構造変化を調査した。XRD 測定から、異種元素として La を MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> に添加すると結晶格子の歪を

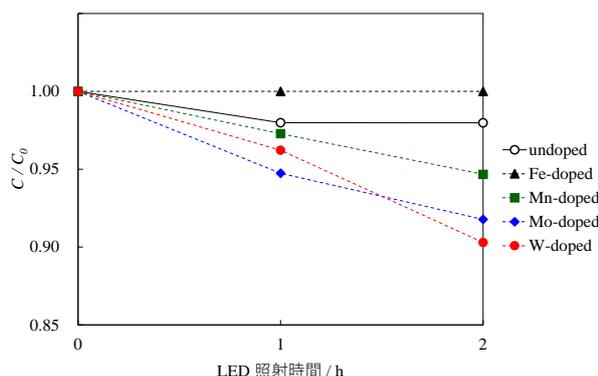


図3 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系酸化物の LED 照射下での MB 分解活性

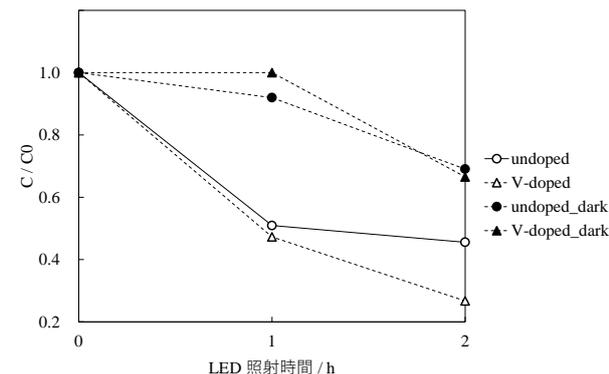


図4 Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 系酸化物の LED 照射下での MB 分解活性

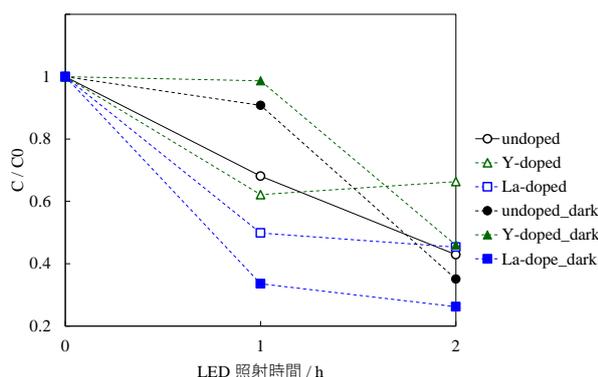


図5 BiVO<sub>4</sub> 系酸化物の LED 照射下での MB 分解活性

引き起こし、結晶子成長が抑制されてナノ粒子が得られることがわかった（図6）。La を 2.5 mol % 以上添加した  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ （n 型半導体）で半導体式ガスセンサを作製し、CO 濃度変化に対する電気抵抗変化を調べたところ、電氣的挙動は p 型半導体と類似していた。

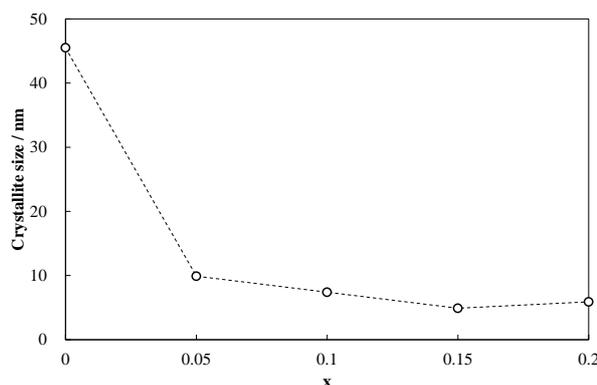


図6  $\text{MgFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$  粉体の結晶子サイズ

#### 4. 3 パイロクロア型酸化物

パイロクロア型酸化物 ( $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ) は構造柔軟性に優れるため、異種元素の添加による物性制御が可能である [11]。なかでも、 $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  系酸化物は黄色顔料としての応用が期待されているため、異種元素を共添加することでメイン波長の吸収強度の向上が期待できる。 $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  系では、クエン酸とエチレングリコールを用いた錯体重合法により、高純度な試料が得られた。さらに、 $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  に対して、異種元素として、5族金属元素 (V, Nb, Ta) とアルカリ土類金属元素 (Mg, Ca, Sr, Ba) を共添加して吸収強度の変化を調べた。その結果、Ca と V を共添加することで吸収強度が一層向上することが確認されたが、LED 照射による MB 色素の光分解活能は確認されなかった。

#### 4. 4 $\text{TiO}_2$ 系酸化物 [12]

$\text{TiO}_2$  にはアナターゼ、ブルッカイト、ルチルの3つの結晶形があり、前二者は熱力学的に準安定な相であり、ルチルが最も安定な相である。ブルッカイトは粉末合成が容易ではないが、アナターゼは Zr を添加するとルチルへの相転移が抑制することが可能である。そこで、この酸化チタンに異種元素 (V, Zr 元素) を共添加し、メイン波長の吸収特性を調べた。 $\text{TiO}_2$  系試料では、Zr を添加した試料は 800 °C までアナターゼ相が存在していたが、V を共添加すると 700 °C 以上ではルチル相が主相になった。V や Zr を共添加することで  $\text{TiO}_2$  のメイン波長域の吸収強度がわずかに向上したが、LED 照射による MB 色素の光分解活能は確認されなかった。

#### 4. 5 $\text{ZrO}_2$ 系酸化物 [13]

LED のメイン波長吸収材 (ホスト材料) として、 $\text{ZrO}_2$  系酸化物を選択し、異種元素 (主に V) を添加した試料を合成し、メイン波長の吸収特性の改善を図った。XRD 測定の結果から、V を添加すると、正方晶系  $\text{ZrO}_2$  から単斜晶系  $\text{ZrO}_2$  への相転移を促進、La を添加すると、正方晶系  $\text{ZrO}_2$  から単斜晶系  $\text{ZrO}_2$  への相転移を抑制することがわかった。UV-vis 測定の結果から、V を 5 mol % 添加すると不純物準位が形成され、バンドギャップが狭窄化、La の単独添加、及び V と La の共添加では、バンドギャップは変化ないことがわかった。LED 照射による MB 色素の光分解活性を調べたが、分解能は確認されなかった。

#### 4. 6 Z スキーム型光触媒

Bi 系酸化物として  $\text{Bi}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  (BZO)、Fe 系酸化物として  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  (MFO) を組合わせて Z スキーム型光触媒を準備した。LED 照射による MB 色素の光分解活性を調べたが、ヘテロ接合型よりも、単独の化合物の方が分解能は高かった。 $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  は光分解活性を示さないため、 $\text{Bi}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  の光励起に必要な LED 光を  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  が吸収したため、結果として光触媒活性を低下させてものと考えられる。今後は、接合方法の最適化を検討する。

#### 4. 7 光殺菌能の評価

殺菌プロセスを確認するために、可視光応答型光触媒に  $WO_3$  を用いて大腸菌に対する殺菌効果を調べた(図8)。パラタングステン酸アンモニウムを熱処理して得られた単斜晶系  $WO_3$  では、可視光照射下で光触媒作用による光殺菌効果が確認された。大腸菌酵素欠損株を用いて光殺菌効果を確認したところ、滅菌されたことから大腸菌は光触媒作用で生成した過酸化水素由来のヒドロキシルラジカルによる細胞毒性を無害化していることが明らかになった。大腸菌酵素欠損株では、 $WO_3$  を用いて可視光を6時間以上照射すると、滅菌できることが確認できた。

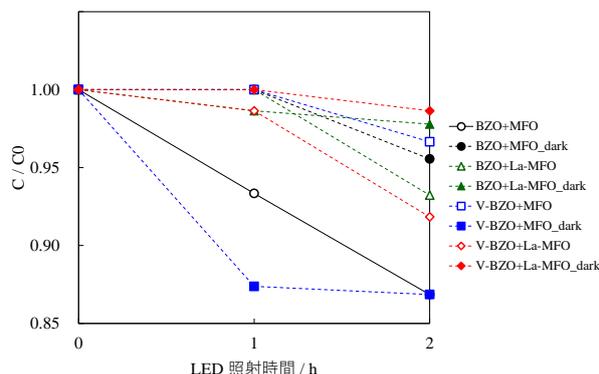


図7 Bi<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 光触媒のLED照射下でのMB分解活性

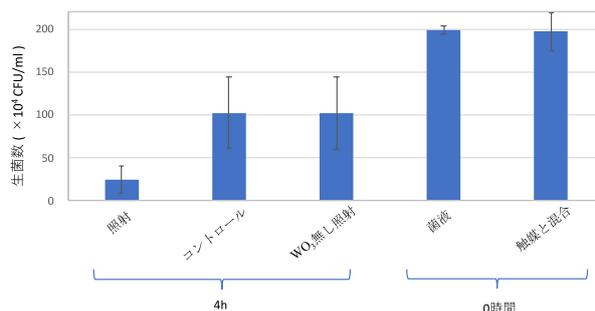


図8  $WO_3$ による殺菌能の比較

#### (参考文献)

- [1] ジアチンシン, 岩瀬顕秀, 工藤昭彦, 触媒, **56**, 226-231 (2014).
- [2] Q. Zhu, X. Hu, M. S. Stanislaus, N. Zhang, R. Xiao, N. Liu, Y. Yang, *Sci. Total Environ.*, **577**, 236-244 (2017).
- [3] X. Hu, C. Hu, J. Qu, *Appl. Catal. B, Environ.*, **69**, 17-23 (2006).
- [4] L.-S. Zhang, K.-H. Wong, H.-Y. Yip, C. Hu, J. C. Yu, C. Y. Chan, P.-K. Wong, *Environ. Sci. Technol.*, **44**, 1392-1398 (2010).
- [5] J. Zhang, X. Liu, X. Wang, L. Mu, M. Yuan, B. Liu, H. Shi, *J. Hazard. Mater.*, **359**, 1-8 (2018).
- [6] 松嶋茂憲, 中村昇平, 小畑賢次, ビスマス系複合酸化物微粒子の調製とキャラクターゼーション, 北九州工業高等専門学校研究報告第51号, pp. 61-63 (2018).
- [7] W. F. Yao, H. Wang, X. H. Xu, J. T. Zhou, X. N. Yang, Y. Zhang, S. X. Shang, *Applied Catalysis A: General*, **259**, 29-33 (2004).
- [8] D. Wu, T. He, J. Xia, Y. Tan, *Materials Letters*, **156**, 195-197 (2015).
- [9] A. K. V. Raj, P. P. Rao, T. S. Sreena, *T. R. A. Thara, Dyes Pigm.*, **160**, 177-187 (2019).
- [10] S. D. Dolić, D. J. Jovanović, D. Štrbac, L. D. Dramićanin, *Ceram. Inter.*, **44**, 22731-22737 (2018).
- [11] Y2Ti2O7 N. Pailhé, M. Gaudon, A. Demourgues, *Mater. Res. Bull.*, **44**, 1771-1777 (2009).
- [12] T. Asahara, H. Koseki, T. Tsurumoto, K. Shiraishi, H. Shindo, K. Baba, H. Taoda, N. Terasaki, *Japanese J. Infect. Dis.*, **62**, 378-380 (2009).
- [13] F. Ren, S. Ishida, N. Takeuchi, *J. Am. Ceram. Soc.*, **76**, 1825-1831 (1993).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11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 8件）

1. 著者名 Nakamura Kouki, Matsushima Shigenori, Ishii Junko, Arai Masao, Obata Kenji	4. 巻 130
2. 論文標題 Effect of M-doping (M = Al, Y, La) on the electronic structure of V-doped ZrO <sub>2</sub> : A first-principles study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 925 ~ 932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22101	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 小畑賢次, 渡部佳菜, 松嶋茂憲	4. 巻 56
2. 論文標題 TiO <sub>2</sub> をベースとした黄色系無機顔料の調製及びキャラクタリゼーション ~ 異種元素 (V 及び Zr 元素) の添加効果 ~	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 47-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 S. Matsushima, R. Kaminaga, J. Ishii, M. Arai, K. Obata	4. 巻 56
2. 論文標題 Effect of V-doping on the electronic structure of Bi <sub>2</sub> Zr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> : A first-principles study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Doi Akane, Obata Kenji, Matsushima Shigenori, Hojo Hajime, Einaga Hisahiro	4. 巻 47
2. 論文標題 Fabrication and characterization of La-added MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> as catalyst support for CO oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 32786 ~ 32793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2021.08.175	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 Obata Kenji, Matsushima Shigenori	4. 巻 33
2. 論文標題 CO Sensing Properties of La-added MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Powders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 3213 ~ 3213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2021.3446	査読の有無 無
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 小畑賢次, 松嶋茂憲	4. 巻 55
2. 論文標題 アルカリ土類金属とVを共添加したY <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の調製及びキャラクタリゼーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 49-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 松嶋茂憲・中村光騎・石井純子・小畑賢次	4. 巻 55
2. 論文標題 V-doped Bi <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> におけるアルカリ土類元素の添加効果 - 第一原理バンド計算による検討 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 29-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 MATSUSHIMA Shigenori, ARAI Masao, ISHII Junko, NAKAMURA Kouki	4. 巻 128
2. 論文標題 Electronic structure and optical properties of Y <sub>2</sub> BaCuO <sub>5</sub> with antiferromagnetic spin arrangements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1055 ~ 1060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20154	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 松嶋茂憲, 石井純子, 中村光騎, 小畑賢次	4. 巻 54
2. 論文標題 V5+をドーブしたBi2Ti2O7の固体電子構造	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 29-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 小畑賢次, 松嶋茂憲	4. 巻 54
2. 論文標題 Laを添加したMgFe2O4系COセンサにおける水蒸気の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北九州工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 43-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 MATSUSHIMA Shigenori, TANAKA Yuya, ISHII Junko, OBATA Kenji	4. 巻 127
2. 論文標題 First-principles energy band calculation of a (Ca <sup>2+</sup> , V <sup>5+</sup> )-doped Y <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> pigment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 793 ~ 801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19103	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 K. Obata
2. 発表標題 CO2 Sensing Properties of CaFe <sub>2-x</sub> MxO <sub>4</sub> Powder (M = Si, Ti, Hf, Zr)
3. 学会等名 International Symposium on Innovative Engineering2021 (ISIE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 生駒優太・小畑賢次・松嶋茂憲
2. 発表標題 MgFe <sub>2-x</sub> LaxO <sub>4</sub> を用いた CO センサにおける水蒸気の影響
3. 学会等名 2021年度 日本セラミックス協会九州支部 秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小畑賢次、松嶋茂憲
2. 発表標題 MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 系 CO センサにおける水蒸気の影響
3. 学会等名 第67回化学センサ研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Obata, S. Matsushima
2. 発表標題 CO sensing properties of lanthanum-doped magnesium ferrite nanopowder
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM 13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嘉村慎一, 小畑賢次, 水野康平, 松嶋茂憲
2. 発表標題 可視光応答型光触媒による大腸菌の光殺菌効果の検討
3. 学会等名 2019年度 日本セラミックス協会九州支部 秋季研究発表会 九州環境セラミックス討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小畑賢次、松嶋茂憲
2. 発表標題 ランタノイドを添加した MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> の CO ガス検知特性
3. 学会等名 第66回化学センサ研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小畑賢次、浦野幸一、井口憲一、松井貴弘、松嶋茂憲
2. 発表標題 CaFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 厚膜型センサにおける CO <sub>2</sub> ガス検知特性
3. 学会等名 第66回化学センサ研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中佑弥、小畑賢次、松嶋茂憲
2. 発表標題 パイロクロア型構造を持つY <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> に関する第一原理バンド計算
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野元聖矢、小畑賢次、松嶋茂憲
2. 発表標題 遷移金属をドーブしたBi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の固体電子構造解析
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Tanaka, K. Obata, S. Matsushima
2. 発表標題 Electronic structure of Y2Ti2O7: A first-principles study
3. 学会等名 The 24 th Joint Seminar of the Kyushu Branch of the CSJ and the Busan Branch of the KCS (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小畑賢次のResearchmap マイページ <a href="https://researchmap.jp/read0113900">https://researchmap.jp/read0113900</a> 松嶋茂憲のResearchmap マイページ <a href="https://researchmap.jp/read0171335">https://researchmap.jp/read0171335</a> 水野康平のResearchmap マイページ <a href="https://researchmap.jp/read0072298">https://researchmap.jp/read0072298</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	松嶋 茂憲  (MATSUSHIMA SHIGENORI)  (80229476)	北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授   (57103)	
研究分担者	水野 康平  (MIZUNO KOHEI)  (80342583)	北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授   (57103)	

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