

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 5 日現在

機関番号：57103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05658

研究課題名(和文) Bi系複合酸化物の低温合成とヘテロ接合による有機物酸化活性の改善

研究課題名(英文) Low temperature synthesis of bismuth complex oxide and improvement of the photocatalytic decomposition of isopropanol by hetero junction

研究代表者

松嶋 茂憲 (MATSUSHIMA, SHIGENORI)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：80229476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：Bi系複合酸化物($\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, BiVO_4 , Bi_2WO_6)の低温合成と光触媒活性の改善について検討した。 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ ではヘテロ二核錯体法, BiVO_4 ではヘテロ二核錯体法と錯体重合法, Bi_2WO_6 ではクエン酸錯体法が、高比表面積の試料調製において有効であった。UV-vis測定より、 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ にLaを添加すると基礎吸収端がレッドシフトして可視光吸収域が拡大し、光触媒の活性も大きく改善された。第一原理エネルギーバンド計算から、 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ にLaを添加するとバンドギャップが狭窄化されることが明らかとなった。Mo添加の BiVO_4 においても光触媒活性が改善された。

研究成果の概要(英文)：For bismuth complex oxides such as $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, BiVO_4 , and Bi_2WO_6 , as highly pure and high-specific-surface-area powders relatively low temperatures were examined. The most appropriate methods were found to be a heterobimetallic complex method for the preparation of $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$; a heterobimetallic complex and a polymerized complex method for BiVO_4 ; and a citric acid complex method for Bi_2WO_6 . Furthermore, photocatalytic activities were substantially enhanced by the addition of another element, for example the addition of La and Mo atoms effectively enhanced $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ and BiVO_4 , respectively. In particular, the absorption edge of the La-doped $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ exhibited a red shift compared with the pure $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, and this shift increased with increasing La^{3+} substitution. The structure-optimized calculation based on the density functional theory (DFT) approach revealed that the coordination number of oxygen surrounding the Bi^{3+} -site increases with the introduction of La^{3+} .

研究分野：無機材料化学

キーワード：光触媒 錯体重合法 BiVO_4 第一原理バンド計算 Bi系複合酸化物 可視光応答 Bi_2WO_6 異種元素添加

1. 研究開始当初の背景

近年、太陽光エネルギーの約半分を占める可視光線をより有効に活用するために、多くの可視光応答型光触媒が報告されている。多くの研究が実施されてきたにも関わらず、依然としてアナターゼ型酸化チタン (TiO_2) を超える材料は見出されていない。そのため、 TiO_2 の可視光吸収特性を改善するために、遷移金属や非金属元素 (C, N, S 等) を添加した研究事例が報告されている。しかしながら、添加した異種元素は電子とホールとの再結合中心として作用してしまうので、光触媒活性はあまり高くはない低いのが現状である【1】。可視光線吸収が可能な金属酸化物として酸化鉄 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) や酸化タングステン (WO_3) がよく知られているが、前者では遷移金属酸化物に特有の *d-d* 遷移が発生し、後者では伝導帯の位置が低いことため光触媒活性の向上が芳しくないという難点がある。その他の金属酸化物では、ビスマス (Bi) 系複合酸化物が注目を集めている。その理由は、Bi では 6s 電子による不活性電子対効果が発作用するため、Bi 系酸化物の骨格構造をなす Bi-O 多面体は歪んだ構造を持っており、その多面体内部に電場 (電気双極子モーメント) が形成されるからである【2】。この局所電場は、光励起された電子とホールを効率的に分離することが期待される。

2. 研究の目的

Bi 系複合酸化物を得るための最大の問題点は、その合成法が固相反応法にほぼ限定されることである。固相反応法は手軽で便利な手法であるけれども、空气中、高温での焼成が不可欠であるため、原理的に粒子の粗大化の抑制や形状を制御することが難しい。また、Bi が強いルイス酸性を呈するため、水溶液中では容易に加水分解を起こしてしまう。このため、水溶液を経由する液相法では、均一な組成を持つ複合酸化物を得ることができない。金属アルコキシドを用いる合成法も提案されているが、試料コストが極めて高価であるため合理的な方法とは云えない。これらの理由から、申請者は高比表面積の Bi 系複合酸化物 (特に $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, BiVO_4 , Bi_2WO_6) の調製

法として、錯体法及び有機金属錯体を経由するヘテロ金属多核錯体に注目した。

3. 研究の方法

3. 1 Bi 系複合酸化物の比表面積の向上

3. 1. 1 錯体重合法

錯体重合法は、過剰のクエン酸と金属錯体を含むエチレングリコール溶液とし、加熱エステル重合した有機高分子鎖によって錯体を連結し、均一化した後、加熱により有機高分子を除去して複合酸化物を得る方法である。本実験では、 BiVO_4 及び Bi_2WO_6 を合成する。

3. 1. 2 ヘテロ金属多核錯体法

ヘテロ金属多核錯体法は、Bi 認識ユニットと金属元素 (M^{n+}) 認識ユニットを有する配位子を用いて、多核錯体を合成した後、加熱により配位子を除去して複合酸化物を得る方法である。本実験では、 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ と BiVO_4 を合成する。 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ の調製では、配位子としてジエチレントリアミン五酢酸 (DTPA) を用いる。一方、 BiVO_4 の合成では、ヘテロ金属多核錯体を生成する配位子の設計・合成を行う。

3. 2 異種元素添加による光分解能向上のメカニズムの解明

物質の本質を理解するためには、固体電子構造を明らかにする必要がある。そこで、第一原理エネルギーバンド計算から、Bi 系複合酸化物に関する物性 (光学的バンドギャップ、光学遷移など) を明らかにする。

3. 3 有機物光分解能試験

光触媒活性は、可視光照射下でのイソプロパノール及びメチレンブルー色素 (MB) の光酸化分解活性で評価する。可視光 ($420 \text{ nm} < \lambda$) は、Xe ランプ光源 (500W) とカットオフフィルターで準備する。イソプロパノール分解活性は、石英ガラス製容器内に薄膜状試料を設置して、イソプロパノールの充填後可視光を照射し、ガスクロマトグラフィにより CO_2 生成量を検出することで評価する。一方、MB 分解活性は、5 ppm MB 溶液に可視光を照射し、UV-vis 測定により 665 nm における吸光度変化で評価する。

4. 研究成果

(平成 27 年度)

平成 27 年度では、 $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ への異種元素の添加効果について、理論と実験の両面から詳細な検討を実施した。まず、ヘテロ二核錯体である $\text{Sr}[\text{Bi}(\text{DTPA})] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 由来の La-doped $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ の調製とキャラクタリゼーションを実施した。La-doped $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ に関する XRD 測定では、5 mol% La をドーピングしても不純物相の生成は確認されなかった。XPS 測定の結果から、各元素の酸化状態はそれぞれ Sr^{2+} 、 Bi^{3+} 、 La^{3+} であることがわかった。ラマン分光法測定の結果から、少量の La 添加では La が Bi サイトに固溶するが、過剰に添加すると、Sr サイトにも固溶することが示唆された。Fig. 1 に示すように、UV-vis 測定の結果から、Bi サイトに La をドーピングすると吸収端がレッドシフトすることがわかった（未添加では 3.2 eV であるが、5 mol% La 添加で 2.65 eV、10 mol% La 添加で 2.49 eV と見積もられた）。価電子帯の位置を調べるために、エネルギーダイアグラム計測を実施したところ、La の添加量によって価電子帯上部や価電子帯下部が大きく変動することがわかった。さらに、イソプロパノールの酸化分解に関する光触媒活性を調べたところ、可視光照射下 ($\lambda \geq 420 \text{ nm}$) で酸化チタンよりも高活性であることがわかった (Fig. 2)。次に、第一原理エネルギーバンド計算を実施したところ、La を添加するとバンドギャップが狭帯化することが明らかになった。このため、La を添加すると $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ の光触媒活性が改善されると考えられる。

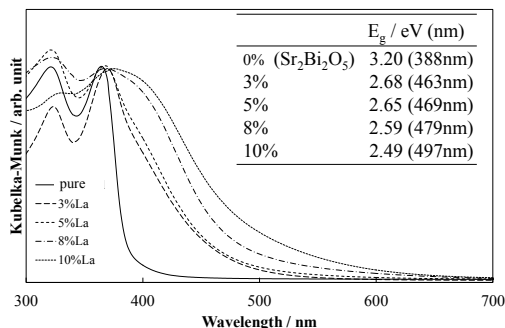


Fig. 1 UV-vis diffuse reflectance spectrum for La-doped $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ powders obtained by the calcination at 700 °C in air for 6 h.

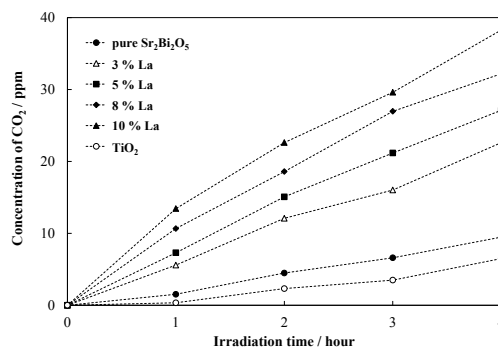


Fig. 2 Time-dependent profile of isopropanol decomposition and CO_2 generation over pure and La-doped $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ under visible-light irradiation.

(平成 28 年度)

平成 28 年度では、Bi 系複合酸化物として BiVO_4 及び Bi_2WO_6 に着目し、それらの低温調製法や熱処理条件（焼成温度や焼成時間）の検討、異種元素の探索と添加効果の明確化、理論計算による電子構造や光学的性質の評価について取り上げた。従来の $\text{Ca}_4\text{Bi}_6\text{O}_{13}$ や $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ は p 型半導体であることが示唆されており、 BiVO_4 や Bi_2WO_6 は n 型半導体であるため、Bi 系の pn ヘテロ接合型光触媒の創製による有機物の光酸化分解活性の向上が期待される。まず BiVO_4 の光触媒活性を高めるために、低温合成による高比表面積試料の調製について検討した。錯体重合法では、固相反応法よりも 100 °C 低い温度で単斜晶系の BiVO_4 単相が生成することがわかった。異種元素の添加では、La を添加すると単斜晶系の BiVO_4 が得られるが、Mo を添加すると正方晶系の BiVO_4 が生成した。これらの異種元素を添加すると BiVO_4 の結晶子サイズが減少し、比表面積の向上が示唆された (Fig. 3)。UV-vis 測定の結果から、異種元素添加によって BiVO_4 の基礎吸収端は大きく変化しないことが確認された (Fig. 4)。しかしながら、第一原理計算の結果、 BiVO_4 の価電子帯や伝導帯に異種元素に由来する電子状態が確認された。Fig. 5 に示すように、可視光照射下においてイソプロパノール分解活性を試験したところ、添加前よりも Mo 添加によって、 BiVO_4 のイソプロパノール酸化分解活性が向上することがわかった。

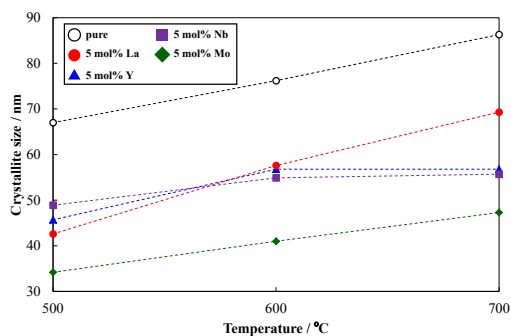


Fig. 3 Relationship between the mean crystallite size and calcination temperature for M-added and pure BiVO_4 (M = La, Y, Nb, Mo) powder prepared from a polymerized complex method.

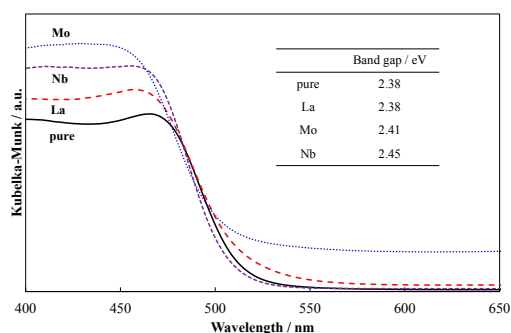


Fig. 4 UV-vis diffuse reflectance spectrum for pure and M-added BiVO_4 (M = La, Y, Nb, Mo) powders obtained by the calcination at 700 °C in air for 6 h.

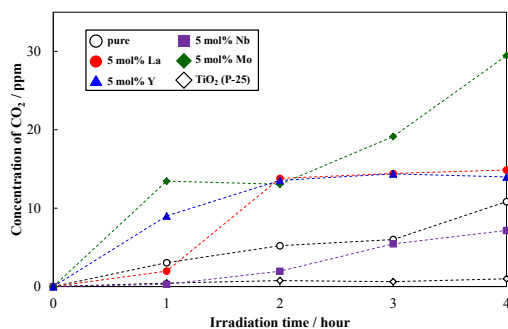


Fig. 5 Time-dependent profile of isopropanol decomposition and CO_2 generation over various pure and M-added BiVO_4 (M = La, Y, Nb, Mo) under visible-light irradiation.

(平成29年度)

平成29年度では、可視光応答性光触媒として異種元素を添加した BiVO_4 に注目し、①実験と第一原理エネルギーバンド計算の併用に

よる異種元素の添加効果の明確化、②異種元素添加による光触媒活性の改善、③クリックケミストリーを利用したヘテロ接合型光触媒の調製について検討した。昨年度からの系統的な検討により、異種元素としてNb, Yを追加して、その添加効果を調べた。**Fig. 3**に示すように、NbやYを添加しても、結晶子成長の抑制効果が確認された。また、**Fig. 4**に示すように、UV-visスペクトル測定の結果においても、NbやY添加は BiVO_4 の基礎吸収の立ち上がりに影響せず、 BiVO_4 の禁制帯中にNbやYに関連するエネルギー準位は形成されなかった。また、**Fig. 5**に示すように、有機物化合物（イソプロパノール）の光酸化分解による活性測定では、NbやYの添加によって BiVO_4 の光触媒活性は改善されなかった。昨年度からの系統的な検討により、4種類の添加物（La, Mo, Y, Nb）の中では、Mo添加が BiVO_4 の活性向上に最も効果的であることが明らかとなった。第一原理バンド計算からいずれの添加物も BiVO_4 のバンドギャップ中に不純物準位を形成せず、異種元素添加によってバンドギャップの狭窄化が生じないことを確認した。このため、Mo添加による活性の改善は BiVO_4 表面に活性層が形成されたためと推測している。また、クリックケミストリーを利用したヘテロ接合系光触媒の調製では、正電荷を複数有する dendritic の合成が予定通り進まず、H28年度に合成した6 mer の合成ペプチドを伸長する手法で代用したが、平均粒径が大きい場合には効果的でなかった。Bi系以外では、ヘテロ接合型光触媒として、Zr添加による多孔質化した CaFe_2O_4 とクエン酸錯体法から得た WO_3 微粒子の組み合わせが有効であることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

【雑誌論文】(計 20 件)

- (1) Morphology, microstructure, and surface area of La-added MgFe_2O_4 powder, K. Obata, A. Doi, M. Nishibori, K. Shimanoe, T. Suzuki, S. Matsushima, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **126**, 1-6 (2018).
- (2) リンゴ酸錯体法により調製された

- MgFe₂O₄におけるランタノイドの導入効果, 松嶋茂憲, 如田祐希, 小畑賢次, 北九州工業高等専門学校研究報告第 51 号, pp.57-60 (2018).
- (3) ビスマス系複合酸化物微粒子の調製とキャラクター化, 松嶋茂憲, 中村昇平, 小畑賢次, 北九州工業高等専門学校研究報告第 51 号, pp.61-63 (2018).
- (4) 可視光応答型光触媒による大腸菌の光殺菌効果の可視化の検討, 水野康平, 小畑賢次, 藤野高彰, 松嶋茂憲, 北九州工業高等専門学校研究報告第 51 号, pp.71-72 (2018).
- (5) カルシウムフェライトの CO₂ ガス検知特性における異種元素の添加効果, 小畑賢次, 水田圭介, 本郷雄也, 松嶋茂憲, 北九州工業高等専門学校研究報告第 51 号, pp.73-76 (2018).
- (6) WO₃ / CaFe₂O₄ ヘテロ系光触媒材料の調製, 小畑賢次, 藤野高彰, 松嶋茂憲, 水野康平, 北九州工業高等専門学校研究報告第 51 号, pp.77-80 (2018).
- (7) First-principles calculation of M₃Ta₆Si₄O₂₆ (M = Ba, Sr) using Tran–Blaha exchange Potential, T. Gake, K. Ninomiya, K. Obata, M. Arai, S. Matsushima, *J. Ceram. Soc. Jpn*, **125**, 574-578 (2017).
- (8) First-principles study on LaYbO₃ as the localized *f* electrons containing system with MBJ-LDA + *U* approach, Y. Obukuro, K. Ninomiya, M. Arai, Y. Okuyama, G. Sakai, S. Matsushima, *Comput. Mater. Sci.*, **126**, 7-11 (2017).
- (9) Growth of p-type ZnOS films by pulsed laser deposition, K. Kobayashi, T. Ohtsuki, Y. Tomita, Y. Kohno, Y. Maeda, S. Matsushima, *J. Cryst. Growth*, **457**, 289-293 (2017).
- (10) CO₂ sensing properties of Zr-added CaFe₂O₄-based sensor, Y. Obukuro, K. Mizuta, K. Obata, S. Matsushima, *International Training Institute for Materials Science*, pp. 271-273 (2017).
- (11) Effect of another element on CO₂ sensing properties of CaFe₂O₄, K. Obata, K. Mizuta, Y. Obukuro, S. Matsushima, *International Training Institute for Materials Science*, pp. 314-316 (2017).
- (12) CO₂ sensing properties of Zr-added porous CaFe₂O₄ Powder, K. Obata, K. Mizuta, Y. Obukuro, G. Sakai, H. Hagiwara, T. Ishihara, S. Matsushima, *Sens. & Mater.*, **28**, 1157–1164 (2016).
- (13) Micronizing of MgFe₂O₄ particles by Si addition, A. Doi, M. Nishibori, K. Obata, T. Suzuki, K. Shimano, S. Matsushima, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **124**, 777-780 (2016).
- (14) 高比表面積を持つビスマス系及びフェライト系複合酸化物の調製, 松嶋茂憲, 小畑賢次, *Bulletin of the Ceramic Society of Japan*, **51**, 305-309 (2016).
- (15) First-Principles Calculation Study of Epitaxial Graphene Layer on 4H-SiC (0001) Surface, J. Ishii, S. Matsushima, H. Nakamura, T. Ikari, M. Naitoh, *Surf. Sci. Nanotech.*, **14**, 107-112 (2016).
- (16) Effects of La doping on structural, optical, electronic properties of Sr₂Bi₂O₅ photocatalyst, Y. Obukuro, S. Matsushima, K. Obata, T. Suzuki, M. Arai, E. Asato, Y. Okuyama, N. Matsunaga, G. Sakai, *J. Alloys. Compd.*, **658**, 139-146 (2016).
- (17) Electronic structure of photoresponsive Ag₆M₂O₇ (M = Si, Ge), Y. Obukuro, K. Ninomiya, S. Matsushima, H. Nakamura, K. Obata, G. Sakai, M. Arai, K. Kobayashi, *J. Ceram. Soc. Japan*, **124**, 116-121 (2016).
- (18) Formation of CaFe₂O₄ porous structure by addition of Zr in malic acid complex, Y. Obukuro, K. Obata, R. Maeda, S. Matsushima, Y. Okuyama, N. Matsunaga, G. Sakai, *J. Ceram. Soc. Japan*, **123**, 995-998 (2015).
- (19) Molecular orbital calculations of Eu-doped SrAl₂O₄ clusters, Y. Obukuro, S. Matsushima, H. Yamada, C.N. Xu, S. Watanabe, K. Ogasawara, M. Mizuno, *Solid State Communications*, **206**, pp.42-45 (2015).
- (20) Preparation and characterization of heterobimetallic complex, Sr[Bi(DTPA)] · 9H₂O, derived La-doped Sr₂Bi₂O₅, Y. Obukuro, G. Sakai, Y. Okuyama, N. Matsunaga, S. Matsushima, K. Obata, E. Asato, *Chem. Lett.*, **44**, 890-892 (2015).

【学会発表】(計 24 件)

- (1) 第一原理計算によるグラフェン/SiC 界面の電子状態解析, 石井純子, 松嶋茂憲, 平成 29 年度 セラミックス協会九州支部秋季合同研究発表会 (2017 年 11 月)
- (2) *in-situ* 赤外分光法と第一原理計算を用いた Y 型ゼオライト中での二酸化炭素吸着に関する研究, 安村駿作, 浦川篤, 松嶋茂憲, 平成 29 年度 セラミックス協会九州支部秋季合同研究発表会講演要旨集 (2017 年 11 月)
- (3) CO₂ sensing properties of Zr-added CaFe₂O₄-based sensor, Y. Obukuro, K. Mizuta, K. Obata, S. Matsushima, *Proc. the 12th Asian Conference on Chemical Sensors* (2017 年 11 月)
- (4) Effect of another element on CO₂ sensing properties of CaFe₂O₄, K. Obata, K. Mizuta, Y. Obukuro, S. Matsushima, *Proc. the 12th Asian Conference on Chemical Sensors* (2017 年 11 月)
- (4) p 型半導体酸化物による CO₂ ガス検知, 小畑賢次, 本郷雄也, 松嶋茂憲, 第 62 回化学センサ研究発表会 (2017 年 9 月)
- (5) CuMgVO₄ の固体電子構造, 猪原由香, 我毛智哉, 松嶋茂憲, 新井正男, 第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)

- (6) ビスマス系複合酸化物微粒子の調製とキャラクター化、中村昇平、貫伸介、小畑賢次、松嶋茂憲、小袋由貴、酒井剛、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (7) AgMgVO_4 の固体電子構造、植田泰平、我毛智哉、松嶋茂憲、新井正男、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (8) 異種元素を添加した BiVO_4 に関する固体電子構造解析、生田祐介、小袋由貴、石井純子、松嶋茂憲、新井正男、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (9) $\text{WO}_3 / \text{CaFe}_2\text{O}_4$ ヘテロ系光触媒材料の調製、藤野高彰、小畑賢次、松嶋茂憲、水野康平、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (10) リンゴ酸錯体法により調製された MgFe_2O_4 におけるランタノイドの導入効果、如田祐希、辻頌平、平野達也、小畑賢次、松嶋茂憲、土居茜、西堀麻衣子、島ノ江憲剛、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (11) カルシウムフェライトの CO_2 ガス検知特性における異種元素の添加効果、本郷雄也、水田圭祐、小畑賢次、松嶋茂憲、第 54 回化学関連支部合同九州大会 (2017 年 7 月)
- (12) アルカリ土類フェライトの CO_2 ガス検知特性における異種元素の添加効果、小畑賢次、水田圭祐、松嶋茂憲、第 61 回化学センサ研究発表会 (2017 年 3 月)
- (13) AMgVO_4 ($A = \text{Cu}, \text{Ag}$) に関する第一原理エネルギーバンド計算、我毛智哉、猪原由香、植田泰平、小畑賢次、新井正男、松嶋茂憲、電気化学会第 84 回大会 (2017 年 3 月)
- (14) メソ細孔を持つ Zr-added CaFe_2O_4 による CO_2 ガス検知、水田圭祐、小畑賢次、小袋由貴、酒井剛、萩原英久、石原達己、松嶋茂憲、第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016 (2016 年 11 月)
- (15) 貴金属酸化物に関する第一原理バンド計算、我毛智哉、松嶋茂憲、新井正男、平成 28 年度 セラミックス協会九州支部秋季合同研究発表会 (2016 年 11 月)
- (16) MgFe_2O_4 における La の導入効果、平野達也、土居茜、小畑賢次、鈴木拓、西堀麻衣子、島ノ江憲剛、松嶋茂憲、第 53 回化学関連支部合同九州大会 (2016 年 7 月)
- (17) Tran-Blaha 交換ポテンシャルを用いた $\text{Ba}_3\text{Ta}_6\text{Si}_4\text{O}_{26}$ に関する第一原理バンド計算、我毛智哉、二宮翔、中村裕之、新井正男、松嶋茂憲、第 53 回化学関連支部合同九州大会 (2016 年 7 月)
- (18) Tran-Blaha 交換ポテンシャルを用いた $\text{Sr}_2\text{FeNbO}_6$ に関する第一原理バンド計算、二宮翔、小袋由貴、中村裕之、新井正男、

松嶋茂憲、第 53 回化学関連支部合同九州大会 (2016 年 7 月)

- (19) Zr 添加による多孔質 CaFe_2O_4 のガス検知特性、小畑賢次、水田圭介、松嶋茂憲、小袋由貴、酒井剛、萩原英久、石原達己、第 60 回化学センサ研究発表会 (2016 年 3 月)
- (20) 光応答性 $\text{Ag}_6\text{M}_2\text{O}_7$ ($M = \text{Si}, \text{Ge}$) に関する固体電子構造、小袋由貴、二宮翔、松嶋茂憲、中村裕之、小畑賢次、酒井剛、新井正男、小林健吉郎、第 54 回セラミックス基礎科学討論会 (2016 年 1 月)
- (21) 貴金属の吸着した酸化スズ表面に関する第一原理バンド計算、安村駿作、松嶋茂憲、小畑賢次、新井正男、第 5 回 CSJ 化学フェスタ 2015 (2015 年 11 月)
- (22) フェライト系複合酸化物の調製とガスセンサへの応用、水田圭祐、小畑賢次、松嶋茂憲、平成 27 年度九州支部秋季合同研究発表会 (2015 年 10 月)
- (23) Zr をドーブした CaFe_2O_4 に関するキャラクター化、小袋由貴、酒井剛、奥山勇治、松永直樹、松嶋茂憲、小畑賢次、第 52 回化学関連支部合同九州大会 (2015 年 7 月)
- (24) リンゴ酸錯体法によるアルカリ土類フェライトの調製、土居茜、西堀麻衣子、小畑賢次、松嶋茂憲、第 52 回化学関連支部合同九州大会 (2015 年 7 月)

【その他】

北九州工業高等専門学校生産デザイン工学科
松嶋・小畑研究室ホームページ

<http://w3-chem.kct.ac.jp/~smatsu/top.htm>

Researchmap マイページ (松嶋茂憲)

<https://researchmap.jp/read0171335>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松嶋 茂憲 (MATSUSHIMA SHIGENORI)
北九州工業高等専門学校・
生産デザイン工学科・教授
研究者番号：80229476

(2) 研究分担者

小畑 賢次 (OBATA KENJI)
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

(3) 研究分担者

園田 達彦 (SONODA TATSUHIKO)
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：30403992