

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05670

研究課題名（和文）フルオロクロミズムを示す無機材料の開発と蛍光センシングシステムへの応用

研究課題名（英文）Development of Fluorochromic Inorganic Materials and Their Application to Fluorescence Sensing Systems

研究代表者

藤原 忍 (Fujihara, Shinobu)

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：60276417

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）：見えない物質や現象を光の情報に変換して可視化する技術が注目されている。自らが光を発する材料をこの技術に応用する場合、現象や物質に反応して光り方が変わる仕組み（フルオロクロミズム）が必要である。本研究では種々のタイプの無機蛍光体材料を取り上げ、とくに表面の構造を制御した粒子や薄膜を合成した。そして、溶液中の還元性・酸化性分子、金属イオン、水素ガスなど反応性の高い化学種の存在下で発光強度が著しく変化する応答性を付与し、化学センサなどへの応用につながる成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果の応用先は、水素ガス、大気・水質汚染物質、危険物質のセンシング・モニタリングなどである。例えば、過酸化水素は容易に入手でき、殺菌技術にも使われる一方で、使い方を誤ると大変危険である。よって、過酸化水素の簡易なオンサイトセンシングが課題となっており、とくにガスのモニタリング手法の確立が重要である。無機蛍光体は耐熱性、耐光性、耐薬品性、材料の取り扱いやすさなど材料工学的に優れた特徴をもつ。このような特徴を活かした光利用技術は、これからの安全で安心な社会の実現に大きく貢献できるものと確信している。

研究成果の概要（英文）：One of the important optical technologies nowadays is to visualize physical or chemical phenomena that is invisible to both human eyes and instruments. Luminescent materials can be used to this technology if their optical properties, especially luminescence intensities, are designed to be changeable under certain circumstances. In this work, inorganic phosphor materials have been investigated based on their structural control to be responsive to reactive chemical species such as reducing and oxidizing molecules, metal ions, and hydrogen gas. Our results demonstrate that they are promising for developing new types of chemical sensors.

研究分野：無機材料化学

キーワード：蛍光体 希土類元素 フルオロクロミズム 光物性 表面科学 イメージング 化学センサ 蛍光センサ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

一般に発光材料とは、外部から何らかのエネルギーを得て励起された電子がもとの基底状態に戻るとき、余剰なエネルギーを電磁波(特に可視光線)として放射する材料である。効率よく光を発する材料は有機蛍光分子と無機蛍光体に大別される。有機蛍光分子のサイズは1 nm前後と小さいため、その発光強度や発光波長は、溶媒の種類や共存する異分子・イオンなど外的な環境の影響を直接受ける。これをフルオロクロミズムとして積極的に利用しているのが蛍光プローブや蛍光センサーである。例えば、がん細胞の酵素と共存しているときにだけ発光する有機蛍光分子が開発され、手術の際、体内に細かく散らばったがん細胞のみを摘出するのに役立っている。一方、有機分子は化学的・熱的安定性に乏しく利用できる環境が著しく制限され、繰り返しの利用はできない。そこで我々は、材料としてより安定な無機蛍光体の発光を利用して、より過酷な環境下での化学的・物理的变化をフルオロクロミズムとして可視化しようと考えた。

2. 研究の目的

本研究では発光効率の高い希土類賦活型の無機蛍光体を取り扱う。このような蛍光体の材料形態はミクロンサイズの結晶粒子であり、発光を担う希土類イオンは母体結晶の中に10at%程度の低濃度で均一に分散している。これは、有機蛍光分子に比べて無機蛍光体の発光部位が外部環境の影響を極めて受けにくいことを意味する。では、どのようにして希土類イオンを外部環境に応答させてフルオロクロミズムを実現するのか、その手段を検討し、種々の応答性を示すだけでなく多くの蛍光体材料を開発することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

我々は、結晶構造の変化(相転移)構造の乱れ(格子欠陥の生成)表面状態の変化(吸着や界面反応)などに対して極めて敏感な無機蛍光体をつくるのが、外部環境の可視化を達成する鍵だと考えている。このような機能の創製は、効率よく光ることを追求してきた既存の蛍光体開発の延長線上にはない。最も重要なのは、無機蛍光体の形態と微細構造であり、外部環境への応答の最前線となる粒子表面の精密な制御が必須である。例えば、同じ1ミクロンの粒子の微細構造をデザインする際、よく光る蛍光体には表面欠陥が極めて少ない単結晶に近い粒子が望まれるのに対し、フルオロクロミズムを示す蛍光体には、ナノ結晶が集合した比表面積の大きな凝集二次粒子が理想である。要するに、我々が追求するのは、高度な微細構造のデザインとそれを作り出す化学合成プロセスのデザインであって、無機蛍光体のフルオロクロミズムはそれらによって初めて達成される。

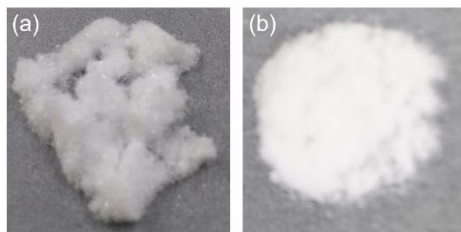
4. 研究成果

以下では、蛍光体材料の種類と合成法に応じて設けた複数の研究テーマのなかで、とくに大きな成果が得られた3つのテーマについてその概要を報告する。

(1) 金属-有機構造体(MOF)の熱分解によるメソポーラス蛍光体の合成

金属イオンと多官能性の有機配位子を構成要素とし、結晶格子内に規則的なナノ細孔をもつ化合物をMOFと呼ぶ。MOF結晶の成長によって得られる粒子は、その合成条件によって様々な形態やサイズをとりうる。MOF粒子を適切な条件で空气中で焼成すると、当初のマクロな粒子形態を壊すことなく多孔質な金属酸化物粒子へと変換することができる。多孔質な粒子は表面積が大きく、物理吸着、化学吸着、化学反応など外部環境との物理化学的な相互作用性が高い。本テーマでは、中心金属イオンを Y^{3+} または Gd^{3+} 、ドープントを Eu^{3+} 、有機配位子を1,3,5-benzenetricarboxylate(トリメシン酸イオン)とするMOF-76(Y,Eu)またはMOF-76(Gd,Eu)を前駆体とし、その焼成によって得られる多孔質な $Y_2O_3:Eu^{3+}$ および $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ 粒子のフルオロクロミズムとそれを利用した化学センシングについて調べた。

MOF-76(Y,Eu)の合成方法および焼成による $Y_2O_3:Eu^{3+}$ への変換方法は既報¹⁾の通りである。図1に各試料の外観を示しておく。センシングのターゲットを過酸化水素(H_2O_2)とし、固相法によって作製した $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料とMOF由来の $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料をそれぞれ180 ppmの H_2O_2 水溶液に20分間浸漬して発光強度の変化を調べた。すると、固相法試料の発光強度は浸漬前の96%を維持したのに対し、MOF由来試料では58%までの低下が見られ、 H_2O_2 に応答するフルオロクロミズムが確認された。さらに、MOF前駆体の形態・サイズや $Y_2O_3:Eu^{3+}$ への変換時の加熱条件などを検討した結果、 H_2O_2 存在下での発光強度を31%まで低下させることが出来た。



MOF-76(Gd,Eu)の合成および焼成による $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ への変換については、基本的にY系のプロ

図1 (a)MOF-76(Y,Eu)および(b)その焼成により得られた $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料の外観

セスを踏襲した。センシングのターゲットを金属イオンとし、種々の金属塩水溶液に MOF 由来の $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料を浸漬して蛍光強度の変化を観測したところ、 Cu^{2+} イオンに対して大きな応答性が見られた。すなわち、 $Cu(NO_3)_2$ 、 $CuCl_2$ 、 $CuSO_4$ 水溶液に $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料を浸漬した後の蛍光強度は浸漬前に比べて大きく低下し、それぞれ 0.80%、0.87%、0.47% となった。また、 $Cu(NO_3)_2$ 水溶液への浸漬時間を変化させた場合、1 分後には蛍光強度が 15% まで低下し、10 分経過するとほぼ消光状態となった(図 2)。以上の結果から、MOF 由来の $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ は短時間での検知が可能な Cu^{2+} イオンセンサーへの応用が期待される。

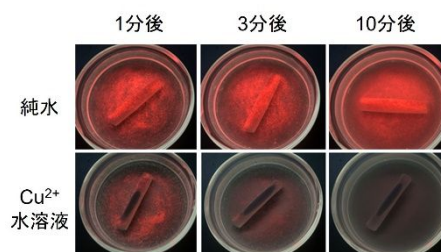


図 2 紫外線 (254 nm) を照射しながら純水および Cu^{2+} 水溶液に分散させた MOF 由来 $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ 粉末試料の 1、3 および 10 分後の様子

(2) ペロブスカイト型構造を有する蛍光体の合成

ペロブスカイト型構造を有する 4 種類の金属酸化物 ($CaTiO_3$ 、 $CaZrO_3$ 、 $BaSnO_3$ 、 $BaCeO_3$) を母体材料として選定し、Ca 系では Pr^{3+} をドーパントとして微細構造制御を行い、Ba 系ではドーパントの選択と微細構造制御の両方を行った²⁾。以降、フルオロクロミズムが観察された Ca 系について報告する。

まず、赤色発光の $CaTiO_3:Pr^{3+}$ 、擬白色発光の $CaZrO_3:Pr^{3+}$ および両者の固溶体 $CaTi_xZr_{1-x}O_3:Pr^{3+}$ をゾル - ゲル法³⁾あるいは錯体重合法を用いて比表面積の大きな微粒子粉末として作製した。両端組成の $CaTiO_3:Pr^{3+}$ および $CaZrO_3:Pr^{3+}$ (図 3) に対して、それぞれの粉末試料を還元性の L(+)-アスコルビン酸水溶液と酸化性の H_2O_2 水溶液に浸漬して蛍光強度の変化を観測したところ、還元処理では蛍光強度が減少し、酸化処理によって蛍光強度は回復した。還元処理後の試料はいずれも格子欠陥 (Ti^{3+} 、 Zr^{3+} および酸素空孔) によるブロードな光吸収を示し、酸化処理後にはその吸収量が減少していた。錯体重合法で合成した $CaTi_xZr_{1-x}O_3:Pr^{3+}$ 微粒子粉末も蛍光強度の変化を示したが、その中でも $CaTi_{0.05}Zr_{0.95}O_3:Pr^{3+}$ 粉体では興味深い挙動が見られた。すなわち、325 nm で励起した場合は赤色発光、282 nm で励起した場合は白色発光の強度変化によるフルオロクロミズムがそれぞれ観察された。

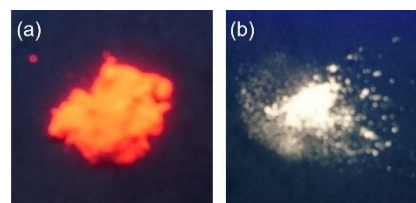


図 3 (a) $CaTiO_3:Pr^{3+}$ (302 nm 照射) および (b) $CaZrO_3:Pr^{3+}$ 粉末試料 (254 nm 照射) の発光の様子

次に、 $CaTiO_3:Pr^{3+}$ の新たな形態として多孔質球状マイクロ粒子の合成を目指した。チタンアルコキシドの加水分解により球状チタニア粒子を合成し、これを Ca^{2+} イオンを含む水溶液に分散させて水熱反応を行うと、比表面積の大きな多孔質 $CaTiO_3:Pr^{3+}$ マイクロ粒子が得られた(図 4)。上述のゾル - ゲル由来粉末試料よりも多孔質マイクロ粒子は合成直後の状態でより高い蛍光強度を示し、さらに酸化還元応答性の改善も見られた。このように、同じ物質でも材料形態に応じてフルオロクロミズム特性が大きく変化することが実証された。

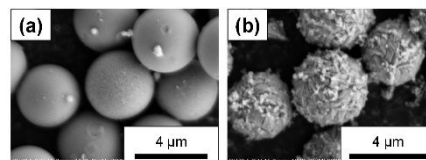


図 4 (a) 球状チタニア粒子および (b) 球状 $CaTiO_3:Pr^{3+}$ 粒子の SEM 写真

(3) 水素ガスに応答するタングステン酸イットリウム系蛍光体の合成

本テーマは、前回採択の「フルオロクロミック無機蛍光体の開発と応用」(課題番号 17K06801) で得られた成果をさらに発展させたものである。これまでの研究で、約 50 nm の一次粒子が凝集した約 10 μm の $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ マイクロ粒子を水熱合成し、700 $^{\circ}C$ 程度の高温で水素ガスと反応し発光強度が大きく減少すること、白金を触媒として担持すると 150 $^{\circ}C$ の低温でも水素ガス検知が可能であることを既に見出していた⁴⁾。今回は、より実用的にデバイスに組み込める形態としてゾル - ゲル法による $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ 薄膜の作製を試みた。この際、薄膜の蛍光強度は粉末試料に比べて非常に小さくなるというドロバックを克服する必要がある。これは、膜内部の発光が全反射による導波モードで膜の端面に集中し、膜表面からの発光が極端に弱くなるためである。しかし、全反射を抑制する工夫を凝らせば表面発光を強めることができ、今回は前駆体溶液に高分子界面活性剤を組み込んで石英ガラス基板上に成膜し、熱処理によってこれを焼き飛ばすことで膜を多孔質化した⁵⁾。多孔質膜は同じ物質の緻密膜よりも屈折率が低下するので、細孔による励起光散乱の効果も相まって面発光強度を改善することが出来た(図 5)。

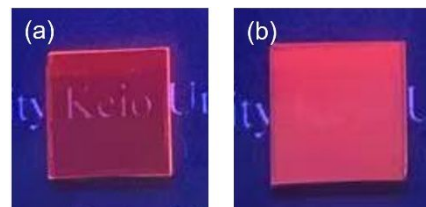


図 5 (a) 緻密および (b) 多孔質 $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ 薄膜の発光の様子 (254 nm 照射)

次に白金担持を試みた。マイクロ粒子の場合は、界面活性剤を含む K_2PtCl_4 水溶液を用いた自己制御還元法により白金ナノ粒子を蛍光体粒子表面に析出させることができたが、高温還元操作を伴うために薄膜に適用するのは困難であった。そこで、プロセスを様々見直し、最終的に $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ 薄膜をコートした基板を K_2PtCl_4 水溶液中に静置し、界面活性剤 P-123 で白金を還元析出させる方法を採用した⁶⁾。このとき、白金ナノ粒子の数とサイズを K_2PtCl_4 水溶液の濃度、界面活性剤の添加量、薄膜の水溶液への浸漬時間の3つのパラメータにより精密に制御した。白金を担持した薄膜では、水素ガスとの反応が促進されてより消光が進み、先行研究と同じく $150\text{ }^\circ\text{C}$ の低温で蛍光積分強度が十分に低下した(図6)。また、水素と反応した薄膜は空气中、 $200\text{ }^\circ\text{C}$ で熱処理するだけで発光が回復したことから、本研究で開発した蛍光体薄膜は簡便な水素ガス検出器の主要部品として有望であることが示された。

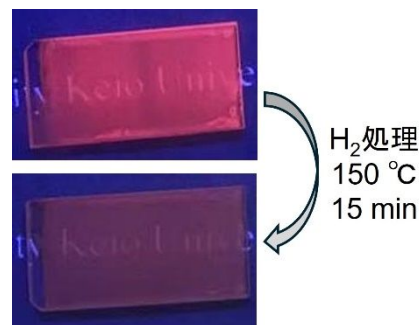


図6 水素ガス(96% N_2 /4% H_2)処理により発光強度が低下した白金ナノ粒子担持 $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ 薄膜の様子(254 nm 照射)

< 引用文献 >

- 1) K. Sakamawari, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Fabrication of Mesostructured $Y_2O_3:Eu^{3+}$ Materials from Metal–Organic Frameworks and Their H_2O_2 -sensitive Turn-off Luminescence", *Optical Materials*, Vol.116 (2021), 111111.
- 2) T. Yamauchi, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Effects of Dual Lanthanide Ions Doping on Optical and Electrical Properties of Barium Stannate with $Ba_{1-x}La_xSm_ySnO_3$ Compositions", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol.861 (2021), 158566.
- 3) H. Takahashi, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Redox-induced Dual Optical Switching of $CaTiO_3:Pr^{3+}$ Phosphor Nanoparticles Synthesized by Sol–Gel Method", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol.104 (2022), 694–701.
- 4) H. Ye, R. Hara, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Synthesis of Pt-loaded $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ Microspheres and Their Hydrogen-sensitive Turn-off Luminescence", *ACS Omega*, Vol.5, No.12 (2020), pp.6697–6704.
- 5) H. Ye, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Fabrication of Meso- and Macro-porous $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ Phosphor Thin Films by Pechini-type Sol–Gel Dip-coating Method and Their Characteristic Optical Properties", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol.100, (2021), pp.232–243.
- 6) H. Ye, R. Hara, M. Hagiwara, and S. Fujihara, "Fabrication and Luminescence Switching of Pt-loaded Macro-porous $Y_2WO_6:Eu^{3+}$ Phosphor Thin Films for Hydrogen-gas Detection ", *Optical Materials*, Vol.145 (2023), 114429.

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 1件）

1. 著者名 Ye Hong, Hagiwara Manabu, Fujihara Shinobu	4. 巻 145
2. 論文標題 Fabrication and luminescence switching of Pt-loaded macro-porous Y ₂ WO ₆ :Eu ³⁺ phosphor thin films for hydrogen-gas detection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 114429 ~ 114429
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optmat.2023.114429	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 Sakamawari Kosuke, Hagiwara Manabu, Fujihara Shinobu	4. 巻 116
2. 論文標題 Fabrication of mesostructured Y ₂ O ₃ :Eu ³⁺ materials from metal-organic frameworks and their H ₂ O ₂ -sensitive turn-off luminescence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optmat.2021.111111	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 Ye Hong, Hagiwara Manabu, Fujihara Shinobu	4. 巻 100
2. 論文標題 Fabrication of meso- and macro-porous Y ₂ WO ₆ :Eu ³⁺ phosphor thin films by Pechini-type sol-gel dip-coating method and their characteristic optical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 232 ~ 243
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10971-021-05643-6	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 Hideaki, Hagiwara Manabu, Fujihara Shinobu	4. 巻 -
2. 論文標題 Redox-induced dual optical switching of CaTiO ₃ :Pr ³⁺ phosphor nanoparticles synthesized by sol-gel method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	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） 10.1007/s10971-022-05791-3	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 Yamauchi Taro, Hagiwara Manabu, Fujihara Shinobu	4. 巻 861
2. 論文標題 Effects of dual lanthanide ions doping on optical and electrical properties of barium stannate with Ba _{1-x} -yLaxSmySnO ₃ compositions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 158566 ~ 158566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.158566	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19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 鎌田新菜・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 特異な形態を有するCeO ₂ :Sm ³⁺ 膜の合成と光学的応答性の制御
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第21回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒田航生・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 水熱支援固相反応法によるタングステン酸ランタン系蛍光体の合成と発光特性
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第21回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋史奈・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 均一沈殿法による希土類ドーブ層状複水酸化物の層間アニオン制御
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第21回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢澤創太郎・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 酸化還元応答性を示すCaTiO ₃ :Pr ³⁺ 球状マイクロ蛍光粒子の2段階液相合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鎌田新菜・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 特異な形態を有するCeO ₂ :Sm ³⁺ 膜の合成と酸化還元的な発光の制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒田航生・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 タングステン酸ランタン系蛍光体の水熱支援合成と発光特性の制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋史奈・萩原学・藤原忍
2. 発表標題 希土類ドーブ層状複水酸化物のアニオン交換による発光特性の制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 叶洪、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 ゾル-ゲル法によるPt/Y2WO6:Eu3+ 蛍光体薄膜の作製と水素ガス応答性の評価
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第20回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢澤創太郎、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 水和チタニア粒子の水熱変換によるCaTiO3:Pr3+球状マイクロ粒子の合成とそのフルオロクロミック特性
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第20回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢澤創太郎、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 2段階液相プロセスによるCaTiO3:Pr3+球状マイクロ粒子の合成と発光特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujihara Shinobu
2. 発表標題 Biphasic Sol-gel Synthesis and Microstructural Control of Nanocrystalline Phosphor Materials as Potential Fluorescent Sensors
3. 学会等名 The 14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蝦名政崇、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 金属-有機構造体を経由した多孔質Gd ₂ O ₃ :Eu ³⁺ 粒子の合成と蛍光センシング特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷瞭、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 ペロブスカイト型BaCeO ₃ :Eu ³⁺ 蛍光体の合成と酸化還元応答性の評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 叶洪、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 水素ガスセンサへの応用に向けたナノ構造Y ₂ WO ₆ :Eu ³⁺ 蛍光体の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原忍
2. 発表標題 発光ナノクリスタルの表面反応に基づく化学センシング機能の開拓
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷瞭、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 ペロブスカイト型BaCeO ₃ :Eu ³⁺ 蛍光体のフルオロクロミック特性の評価
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 叶洪、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 高い水素ガス応答性を持つ多孔質Pt/Y ₂ WO ₆ :Eu ³⁺ 蛍光体薄膜の作製
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 蝦名政崇、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 MOFを前駆体とした多孔質Gd ₂ O ₃ :Eu ³⁺ 蛍光体粒子の合成と金属イオンセンシング特性
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 高橋秀明、萩原学、藤原忍
2. 発表標題 ペロブスカイト型蛍光体CaTiO ₃ :Pr ³⁺ およびCaZrO ₃ :Pr ³⁺ ナノ粒子のフルオロクロミック特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中西和樹、藤原忍、ジョン・パートレット、郡司天博、速水良平ほか	4. 発行年 2023年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 436
3. 書名 ゾル-ゲル法の最新動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

新しい光情報機能材料1 (スマート蛍光体) https://www.applc.keio.ac.jp/~shinobu/research1.html
--

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