

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14409

研究課題名（和文）長残光機能を有する新規全固体白色LED光源の開発

研究課題名（英文）Development of new all-inorganic white LED devices with persistent luminescence

研究代表者

許 健 (XU, Jian)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・若手国際研究センター・ICYSリサーチフェロー

研究者番号：10889918

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）：本研究では新規Ce<sup>3+</sup>添加青色光蓄光型黄色長残光ガーネット透光性セラミックス蛍光体の設計・検討を行い、完全な無機材料で構成される優れた長残光機能を持った全固体白色LED用蛍光体を創製することを目的として、Gd<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>-xGaxO<sub>12</sub>(GAGG)ガーネットホストにおいて、Ce<sup>3+</sup>イオンを発光中心、Cr<sup>3+</sup>イオンを電子トラップ中心とし、励起光源遮断後2時間以上の視認が可能な黄色長残光を示す透光性セラミック残光蛍光体を開発した。一方、その黄色長残光を利用し、50HzのAC駆動場合、LEDのフリッカー効果が100%から26.2%まで減らすことを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い光学特性を有する透光性セラミックスおよびイオン電子構造制御のバンドギャップエンジニアリングに関する学術的価値もさることながら、世界の照明機器市場に大きな影響力の高い発光効率を持つ材料の開発と応用が可能となる。本研究で提案する長残光機能を持った白色LEDの開発によって、通常時は「完全無機化白色LED」照明設備として使用され、非常事態の下では（例えば地震、津波によって引き起こされる大規模停電時）、上半分の黄色長残光透光性セラミックスの発光する機能を利用できる。このように、この材料は持続的に黄色警告光を長時間発光することができ、被災者を救済する際に非常に有用である。

研究成果の概要（英文）：In this research, we successfully prepared Gd<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>-xGaxO<sub>12</sub>(GAGG) doped with Ce<sup>3+</sup> and Cr<sup>3+</sup> garnet transparent ceramics with long persistent luminescence (PersL) over 2 hours after ceasing the blue LED excitation, by utilizing the knowledge of band-gap engineering and trapping-detrapping mechanism. Based on the PersL properties, we obtained 73.8% flicker suppression in 50 Hz AC driven LED by using GAGG:Ce-Cr transparent ceramics.

研究分野：無機発光材料

キーワード：蛍光体 LED 残光 発光メカニズム

### 1. 研究開始当初の背景

現在、地球温暖化、エネルギー資源不足が問題となっているが、それに対し白色 LED は低消費電力動作（白熱電球の 1/10 倍、蛍光灯の 1/2 倍）、長寿命、水銀を使わない親環境性などの特徴を有している。このように、白色 LED が一般照明に応用された場合の省エネルギー効果は巨大であり、実用デバイスとしてより一層注目されている。現在蛍光灯に代わる室内照明として普及しつつある白色 LED は「青色 LED+黄色蛍光体 YAG:Ce<sup>3+</sup>+それらを封止する有機樹脂」を組み合わせたデバイスである。しかし、LED の課題は、寿命低下に直結する高出力青色 LED チップ発熱による有機樹脂の熱劣化現象である。そのため、完全な無機材料で構成される新規白色 LED が必要となっている。例えば、有機材料を用いない「青色 LED+YAG:Ce<sup>3+</sup>透光性セラミックス」の高効率新規白色 LED である。

一方、長残光蛍光体という材料は、光の照射により電子を蓄え、照射光を遮断した後も長時間発光を続ける蛍光物質である。使用用途としては、警告灯や時計の文字盤などがあり、主に夜光塗料として使用されている。現在、代表的な長残光蛍光体として SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>-Dy<sup>3+</sup>があり、これは励起光遮断後 10 時間以上の視認が可能な非常に優れた蛍光体である。さらに、省エネルギー及び非常事態（例えば地震、津波の招く大規模停電時）について考慮すると、青色光励起の長残光機能を持った白色 LED 用蛍光体の開発が望まれる。

### 2. 研究の目的

“新規 Ce<sup>3+</sup>添加青色光蓄光型黄色長残光ガーネット透光性セラミックス蛍光体の設計・検討を行い、完全な無機材料で構成される優れた長残光機能を持った全固体白色 LED 用蛍光体を創製すること”は本研究の目的である。

具体的には、通常時は「青色 LED+黄色透光性セラミックス蛍光体」で構成される白色 LED は、非常事態（停電や災害発生）の時、上半分の黄色長残光透光性セラミックスの性能を利用し、持続的に黄色警告光を発光する(図 1)。そのため、これまでにガーネット透光性セラミックスの作製経験に基づく材料選定・評価を中心に行い、有用な黄色長残光透光性セラミックスを創製してきた。さらに、電子構造制御に基づいて作製した試料の構造評価、材料の最適化を行いながら、長残光機能を持った白色 LED への応用の可能性を検討究明した。

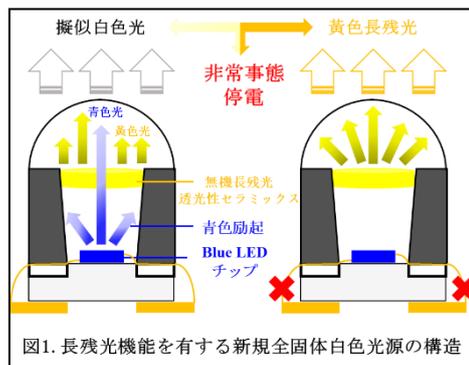


図1. 長残光機能を有する新規全固体白色光源の構造

### 3. 研究の方法

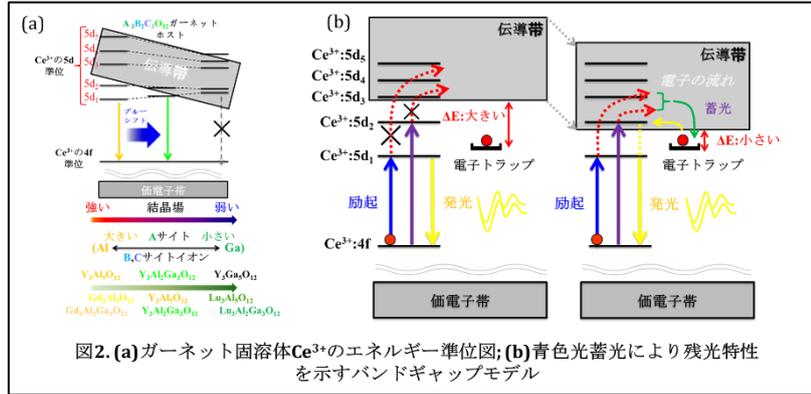
透光性セラミックスでは、内部での光散乱を減らすために、基本的には光学等方体である立方晶系の結晶を用いる必要がある。本研究では、高発光効率を得るために 5d-4f 遷移によって希土類イオンの Ce<sup>3+</sup>を用いる、「組成-作製-構造-機能の間の緊密な関係」というピラミッドの黄金律に基づいて、ガーネット立方晶系結晶構造の設計を出発点として、材料の組成、作製条件および電子構造制御を工夫して、優れた機能性の達成を試した。流れとして試料作製（Ce<sup>3+</sup>添加ガーネット透光性セラミックスの作製）から 評価(1): 作製した材料の Ce<sup>3+</sup>イオンの 5d 準位の同定及びエネルギー移動機構の解明と評価(2): 高効率及び高演色性長残光透光性セラミックスによる 5d エネルギー準位制御を行った。

### 4. 研究成果

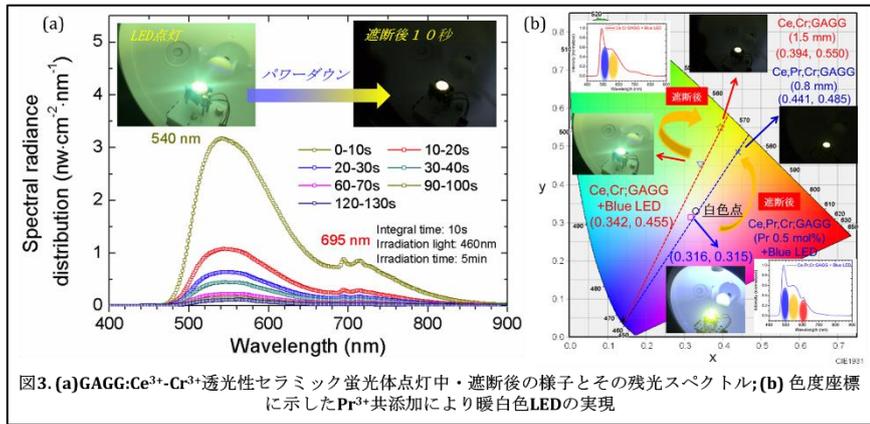
#### (1) 長残光機能を有する白色 LED の開発

Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>(YAG)-Y<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>(YGG)結晶に代表されるガーネット結晶は、幅広い組成で固溶体を形成することができるため、Y サイト(8 配位)と Al サイト(4 または 6 配位)をイオン半径の異なる

Gd、Lu や Ga など置換できる。YAG 結晶固溶体を作製することで、 $Ce^{3+}$  サイトの配位子場強度を変化させることが可能であり、系統的に 5d 軌道のエネルギー準位の制御を行った。一般に、ガーネット結晶における結晶場強度は、A サイト占有カチオンのイオン半径を大きく、



または B、C サイト占有カチオンのイオン半径を小さくすると強くなることが知られている。つまり、ガーネット系においては、よりイオン半径の大きい Ga の組成比が大きくなるにつれ結晶場強度は弱くなっていく。このように、ガーネット結晶中における  $Ce^{3+}$  のエネルギー準位は、ホスト組成の結晶場に依存しており組成調整によって制御することが可能である(図 2a)。一方、励起光の照射により基底準位から励起準位へ励起された電子の一部が伝導帯へ移動する。伝導帯へ移動した電子は、欠陥などに由来する電子を保持することのできる準位(電子トラップ)に捕獲される。この照射された光を電子として蓄える過程を蓄光という。もし、伝導帯とトラップ準位のエネルギー差(電子トラップ深さ)が作用中の熱エネルギーに相当するならば、熱によりトラップ準位から伝導帯へ電子が解放される。伝導帯へ解放された電子は、伝導帯を経由して再結合中心へ遷移し発光する(図 2b)。本研究では  $Gd_3Al_{5-x}Ga_xO_{12}$ (GAGG) ガーネットホストにおいて、 $Ce^{3+}$  イオンを発光中心、 $Cr^{3+}$  イオンを電子トラップ中

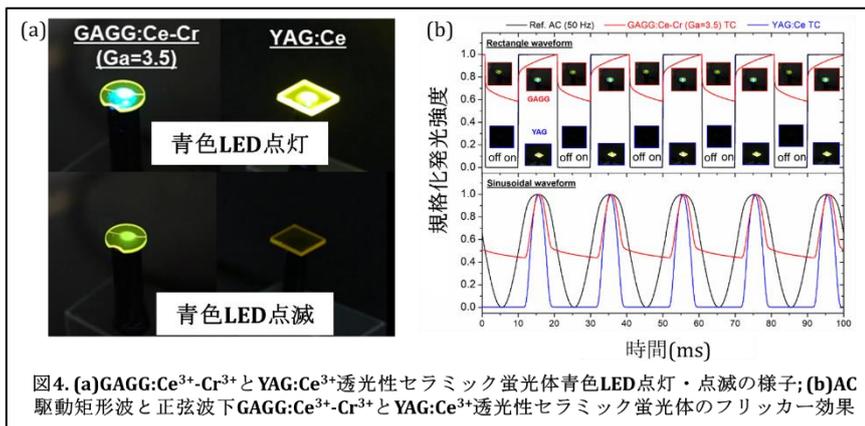


心とし、YAGG よりも長波長で  $Ce^{3+}$  が黄色長残光を示すとう透光性セラミック残光蛍光体を開発した(図 3a)。Y の代わりに Gd をホストカチオンの一部として選び、ガーネット結晶中の  $Ce^{3+}$  イオンの結晶場強度を強めて発光波長のレッドシフトを実現し、かつ  $Pr^{3+}$  イオンの 612nm 付近 f-f 遷移を利用し、より演色性高い暖白色 LED デバイスを開発した(図 3b)。

## (2) 長残光機能を利用して AC 駆動 LED のフリッカー効果低減の検討

一般に LED を常時駆動するために AC(交流)を DC(直流)に変換する AC/DC コンバータが必要だが、AC-LED はそうしたコンバータ回路が不要で、簡易的な整流回路だけで駆動回路を構成できるため、コストダウンや省スペース化などメリットがある。しかし、AC 直接駆動、50Hz の場合 1 秒間に 100 回、60Hz の場合 1 秒間に 120 回の頻度で瞬時にオンオフをくりかえして点灯します(無点灯状態が存在する)。その結果、フリッカー「ちらつき」を感じやすくなり、「目が疲れる」

「気分が悪くなる」など症状を訴える人が現れた。本研究ではそのフリッカー効果が低減のため、AC 駆動オンオフの間に GAGG ガーネットの黄色長残光を利用し、50Hz の場合フリッカー 100% から 26.2%まで減らすことを実現した(図 4)。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jian Xu, Shiro Funahashi, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Naoto Hiroasaki, Takashi Takeda	4. 巻 10
2. 論文標題 Cyan-Emitting Sialon-Polytypoid Phosphor Discovered by a Single-Particle-Diagnosis Approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS Journal of Solid State Science and Technology	6. 最初と最後の頁 116002 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/ac331c	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 Jumpei Ueda, Jian Xu, Shota Takemura, Takayuki Nakanishi, Shun Miyano, Hiroyo Segawa, Setsuhisa Tanabe	4. 巻 10
2. 論文標題 How Many Electron Traps are formed in Persistent Phosphors?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS Journal of Solid State Science and Technology	6. 最初と最後の頁 116003 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/ac2e4e	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 Hansen Hua, Jumpei Ueda, Jian Xu, Michele Back, Setsuhisa Tanabe	4. 巻 60
2. 論文標題 High-Pressure Photoluminescence Properties of Cr <sup>3+</sup> -Doped LaGaO <sub>3</sub> Perovskites Modulated by Pressure-Induced Phase Transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 19253-19262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.1c03074	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 Takayuki Nakanishi, Makoto Tsurui, Jian Xu, Nao Takahashi, Takashi Takeda, Naoto Hiroasaki	4. 巻 33
2. 論文標題 Near-infrared Phosphors: Photophysical Properties of Calcium-doped YSGG:Cr <sup>4+</sup>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2227-2234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2021.3320	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 Peng Zheng, Shuxing Li, Takashi Takeda, Jian Xu, Kohsei Takahashi, Rundong Tian, Ran Wei, Le Wang, Tian-Liang Zhou, Naoto Hirotsaki, Rong-Jun Xie	4. 巻 209
2. 論文標題 Unraveling the Luminescence Quenching of Phosphors under High-Power-Density Excitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 116813 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.116813	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 Yuuki Kitagawa, Jumpei Ueda, Jian Xu, Takayuki Nakanishi, Takashi Takeda, Naoto Hirotsaki, Setsuhisa Tanabe	4. 巻 24
2. 論文標題 Deep-red to near-infrared luminescence from Eu <sup>2+</sup> -trapped exciton states in YSiO <sub>2</sub> N	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 4348-4357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP05242J	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 Tianshuai Lyu, Pieter Dorenbos, Canhua Li, Silei Li, Jian Xu, Zhanhua Wei	4. 巻 435
2. 論文標題 Unraveling electron liberation from Bi <sup>2+</sup> for designing Bi <sup>3+</sup> -based afterglow phosphor for anti-counterfeiting and flexible X-ray imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 135038 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2022.135038	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 Zhengfa Dai, Xinyu Mao, Qiang Liu, Danyang Zhu, Haohong Chen, Tengfei Xie, Jian Xu, Dariusz Hreniak, Martin Nikl, Jiang Li	4. 巻 125
2. 論文標題 Effect of dopant concentration on the optical characteristics of Cr <sup>3+</sup> :ZnGa <sub>2</sub> O <sub>4</sub> transparent ceramics exhibiting persistent luminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 112127 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2022.112127	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 Qiang, Wang Wenli, Dai Zhengfa, Boiko Vitalii, Chen Haohong, Liu Xin, Zhu Danyang, Xu Jian, Hreniak Dariusz, Li Jiang	4. 巻 in press
2. 論文標題 Fabrication and long persistent luminescence of Ce <sup>3+</sup> -Cr <sup>3+</sup> co-doped yttrium aluminum gallium garnet transparent ceramics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Rare Earths	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jre.2022.01.017	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 Back Michele, Xu Jian, Ueda Jumpei, Tanabe Setsuhisa	4. 巻 131
2. 論文標題 Neodymium(III)-doped Y <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> garnet for multipurpose ratiometric thermometry: From cryogenic to high temperature sensing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 57 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22167	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 Nakanishi Takayuki, Hirai Yuichi, Xu Jian, Takeda Takashi, Watanabe Shunsuke, Yasumori Atsuo, Hakamada Shou, Kitagawa Yuichi, Hasegawa Yasuchika	4. 巻 24
2. 論文標題 Structural metamorphosis and photophysical properties of thermostable nano- and microcrystalline lanthanide polymer with flexible coordination chains	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2183711(1)-(11)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2023.2183711	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 Nakanishi Takayuki, Xu Jian, Hirotsuki Naoto, Takeda Takashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Thermostable Europium Polymer Crystalline Spherical Beads and Their Photophysical Properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 529 ~ 529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/sam4150	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 He Can, Takeda Takashi, Huang Zhaohui, Xu Jian, Chen Jun, Yi Wei, Xie Rongjun, Hirotsuki Naoto	4. 巻 455
2. 論文標題 Powder synthesis and luminescence of a novel yellow-emitting Ba <sub>5</sub> Si <sub>11</sub> Al <sub>7</sub> N <sub>25</sub> : Eu <sup>2+</sup> phosphor discovered by a single-particle-diagnosis approach for warm w-LEDs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 140932 ~ 140932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2022.140932	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 Back Michele, Xu Jian, Ueda Jumpei, Benedetti Alvisè, Tanabe Setsuhisa	4. 巻 34
2. 論文標題 Thermochromic Narrow Band Gap Phosphors for Multimodal Optical Thermometry: The Case of Y <sup>3+</sup> -Stabilized -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Nd <sup>3+</sup>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8198 ~ 8206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.2c01262	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 Ueda Jumpei, Minowa Tomoaki, Xu Jian, Tanaka Shogo, Nakanishi Takayuki, Takeda Takashi, Tanabe Setsuhisa	4. 巻 -
2. 論文標題 Highly Thermal Stable Broadband Near-Infrared Luminescence in Ni <sup>2+</sup> -Doped LaAlO <sub>3</sub> with Charge Compensator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Optical Materials	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) 10.1021/acsaom.3c00041	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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Takashi Takeda, Naoto Hirotsuki
2. 発表標題 Low temperature time-resolved spectroscopy of the multi-site emission in SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> -Dy <sup>3+</sup>
3. 学会等名 第37回希土類討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Takashi Takeda, Naoto Hirosaki
2. 発表標題 Insights into the multi-site emission from SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> -Dy <sup>3+</sup> persistent phosphors by time-resolved streak imaging
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Takashi Takeda, Naoto Hirosaki
2. 発表標題 Insights Into the Saturation Mechanism of LED Phosphors
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 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Takashi Takeda, Naoto Hirosaki
2. 発表標題 Revisiting the Multi-site Emission from SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> -Dy <sup>3+</sup> by Time-resolved Spectroscopy
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 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Naoto Hirosaki, Takashi Takeda
2. 発表標題 Saturation mechanism of Ce <sup>3+</sup> /Eu <sup>2+</sup> doped LED phosphors under high-power excitation
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 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Naoto Hiroasaki, Takashi Takeda
2. 発表標題 Revisiting the Eu <sup>2+</sup> emission in CaAlSiN <sub>3</sub> (CASN) red phosphor by time-resolved spectroscopy
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 Jian Xu, Kohsei Takahashi, Takayuki Nakanishi, Naoto Hiroasaki, Takashi Takeda
2. 発表標題 New insights into the saturation mechanism of Ce <sup>3+</sup> /Eu <sup>2+</sup> doped LED phosphors under high-power laser excitation
3. 学会等名 第38回希土類討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 許 健, 舟橋 司朗, 中西 貴之, 高橋 向星, 広崎 尚登, 武田 隆史
2. 発表標題 Discovery of New (oxy)nitride phosphors by single-particle-diagnosis approach and time-resolved spectroscopy
3. 学会等名 応用物理学会第83回秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 許 健, 舟橋 司朗, 中西 貴之, 高橋 向星, 広崎 尚登, 武田 隆史
2. 発表標題 Discovery of New (oxy)nitride phosphors by single-particle-diagnosis approach and time-resolved spectroscopy
3. 学会等名 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 許 健, 中西 貴之, 高橋 向星, 広崎 尚登, 武田 隆史 2. 発
2. 発表標題 Insights into Multi-Band Emission of Inorganic (Persistent) Phosphors by Time-Resolved Spectroscopy
3. 学会等名 日本応用物理学会極限的励起状態の形成と量子エネルギー変換研究グループ 第7回研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Jian Xu, Xin Liu, Jiang Li	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Wiley Blackwell	5. 総ページ数 87
3. 書名 Processing of Ceramics: Breakthroughs in Optical Materials (Chapter 5: Solid-State Lighting)	

1. 著者名 Jian Xu, Michele Back, Setsuhisa Tanabe	4. 発行年 2022年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 56
3. 書名 Phosphor Handbook (3rd edition) (Chapter 11: Near-Infrared Phosphors with Persistent Luminescence over 1000 nm for Optical Imaging)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Publons <a href="https://publons.com/researcher/1436045/jian-xu/">https://publons.com/researcher/1436045/jian-xu/</a> ORCID <a href="https://orcid.org/0000-0002-1040-5090">https://orcid.org/0000-0002-1040-5090</a> Google scholar <a href="https://scholar.google.com/citations?user=0knoBVAAAAAJ&amp;hl=zh-CN">https://scholar.google.com/citations?user=0knoBVAAAAAJ&amp;hl=zh-CN</a> SAMURAI (NIMS) <a href="https://samurai.nims.go.jp/profiles/xu_jian?locale=ja">https://samurai.nims.go.jp/profiles/xu_jian?locale=ja</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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
イタリア	Ca' Foscari University of Venice			