

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289085

研究課題名(和文) 希土類-非希土類元素融合蛍光体の開発と応用

研究課題名(英文) Development and application of rare-earth - non-rare-earth element combined phosphor materials

研究代表者

安達 定雄 (Adachi, Sadao)

群馬大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：10202631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果をまとめると

(1) Mn⁴⁺賦活赤色蛍光体 (Rb₂SiF₆:Mn⁴⁺他), (2) Mn²⁺賦活黄色蛍光体、(3) 有機金属分解(MOD)法による蛍光体、(4) MOD法によるガーネット蛍光体、(5) 固相成長法による酸化物蛍光体を作製し、それら蛍光体の諸特性を調べた。また、(1) - (5)の知見に基づいて、希土類-非希土類イオン共賦活蛍光体(NaCl:Ce³⁺, Sn²⁺, CaZrO₃:Eu³⁺, Bi³⁺, Tb₃Al₅O₁₂:Ce³⁺, Bi³⁺他)を作製し、蛍光体特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The results obtained in this study were:

(1) Various Mn⁴⁺-activated red phosphors (Rb₂SiF₆:Mn⁴⁺, BaGeF₆:Mn⁴⁺, etc.), (2) Mn²⁺-activated yellow phosphor (K₂SiF₆:Mn²⁺), (3) metal-organic decomposition (MOD)-synthesized phosphors (Al₂O₃:Tb³⁺, Ga₂O₃:Tb³⁺, Eu³⁺, etc.), (4) MOD-synthesized garnet phosphors (Tb₃Al₅O₁₂:Ce³⁺, Tb₃Ga₅O₁₂:Eu³⁺, etc.), (5) some oxide phosphors (CaTiO₃:Eu³⁺, Eu₂Ti₂O₇, etc.) were prepared and systematically evaluated. Moreover, some rare-earth - non-rare-earth-coactivated phosphors (NaCl:Ce³⁺, Sn²⁺, CaZrO₃:Eu³⁺, Bi³⁺, etc.) were prepared and characterized.

研究分野：電子・電気材料工学

キーワード：蛍光体 白色LED 電子・電気材料 光物性 フォトルミネッセンス 励起スペクトル 希土類イオン

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初の背景、特に社会・経済的な観点からの本研究の意義を述べると

- 1) 白色 LED の経済波及効果
- 2) 低炭素化社会の実現と白色 LED (地球規模での社会環境問題)
- 3) 脱希土類化技術は日本の産業発展の必須条件 (国際社会的・経済的問題)
- 4) 学術分野での日本の世界貢献における凋落傾向の阻止

これら各項目を、もう少し詳しく説明させて頂くと

1) 白色 LED の経済波及効果

2020 年の白色 LED 照明の市場規模は約 1 兆円、さらに数万人の新規雇用も創出されると予測されている。資源に乏しい我が国にとって、今後、このような新しい産業の創出・誘発が不可欠である。

2) 低炭素化社会の実現と白色 LED

全電力に占める照明用電力の割合は、約 20% を占めている。白熱電球の効率率は『10%』、蛍光灯は『50%』、一方、白色 LED は『90% 以上』である。高性能な白色 LED の実現が、低電力のエコ社会と低炭素社会の実現をもたらす。なお、CO₂ 排出削減は、2008 年洞爺湖 G8 サミットの中・長期目標 (2050 年までに 50% の削減) の決定事項である。また、『都市の低炭素化の促進に関する法律 (略称: エコまち法)』が、昨年末から我が国で施行されており、都市照明の効率化が強く望まれている。

3) 我が国産業発展のための『脱希土類化』の重要性

今日、希土類元素はハイテク製品に不可欠である。しかし、図 2 のごとく、中国が全希土類元素の約 97% を産出している。中国が希土類を『国家戦略物質』と位置付け、内需優先策を打ち出したため、先進国のハイテク産業の動向に影響を与え、貿易摩擦・国際関係に懸念が起きている。「日本の某企業の中国での希土類合金の生産中止」、「希土類による中国の威圧的経済外交が南シナ海紛争に影響」などの報道が、よい例である。

4) 学術分野での日本の世界貢献における凋落傾向の阻止

日本の LED やレーザ技術の高さは万人が認める。しかし、世界のトップだった蛍光体技術は、今日では、アジアの後進国と言っても過言でない。実際、日本人著者の蛍光体の論文数も、現在は中国の 1/100、韓国の 1/10 という散々な状況にある。申請者も、時間の許す限り、国際学術論文の査読をするが、今年 1 月から 9 月末までに査読した計 27 編 (蛍光体関係は僅か) の内約は、中国 7、インド 5、韓国 2、台湾 2、サウジ 2、ドイツ 2、その他 7 編 (日本の 1 編を含む) だった。蛍光体だけでなく、全ての分野で、日本を除くアジア諸国の猛威を、実感している。

2. 研究の目的

本研究は、Mn や Bi、Sn などの非希土類元素を用いて、以下を目指す。

- 1) 非希土類元素による赤色蛍光体の可能性を網羅し、最適蛍光体の決定
- 製造コストや発光効率などから、最適性能の LED 用蛍光体の決定 -
- 2) 上の 1) の知見をベースに、希土類-非希土類融合の新しい蛍光体の探求
- 材料や機能的にユニークな蛍光体の発見 -
- 3) 本研究による蛍光体の白色 LED 光源への応用
- 新しい白色 LED の実用化に向けた蛍光体の実装・性能の評価 -
- 4) 雑誌論文の執筆等による、この分野での学術貢献

3. 研究の方法

研究方法の概要を簡単にまとめると

- 1) 純化学反応的方法によるフッ化物系赤色蛍光体 (K₂SiF₆:Mn⁴⁺, BaSiF₆:Mn⁴⁺, BaTiF₆:Mn⁴⁺, BaSnF₆:Mn⁴⁺, SrGeF₆:Mn⁴⁺, SrTiF₆:Mn⁴⁺, SrSnF₆:Mn⁴⁺, ZnSiF₆:Mn⁴⁺, ZnTiF₆:Mn⁴⁺, ZnSnF₆:Mn⁴⁺他) の作製と、これら蛍光体の特性比較を行う。また、イレギュラーサイトに置換した、フッ化物母体結晶中の Mn²⁺ イオンによる黄色発光蛍光体の特異物性も探る。
- 2) 典型的なフッ化物蛍光体である K₂SiF₆:Mn⁴⁺ を例に、これの極微細化と特異物性の解明を目指す。微細化の手法としては、溶液中のレーザーアブレーションを考えている。解明する物性としては、特に微細化による表面積対体積比に敏感な量子効率を測定する。
- 3) 新しい純化学反応的方法による蛍光体の作製と物性評価。ここでは、特に有機金属分解 [(Metal-Organic Decomposition (MOD))] 法による Al₂O₃ や Ga₂O₃ などの半導体母体材料をベースとする蛍光体に注目する。賦活イオンとしては、主に Eu³⁺ や Tb³⁺ であり、これらの共賦活効果を探る。また、母体結晶中に含まれる非常に光学活性な Cr³⁺ イオンの影響も探る。さらに、基礎データの少ないこれら母体材料に対する希土類イオンの固溶限界値も求めたい。
- 4) 上で述べた MOD 法によるガーネット結晶の作製と、これらを母体結晶とする新しい蛍光体の可能性を探る。そして、YAG:Ce³⁺ に代わる蛍光体出現を目指す。具体的なガーネット結晶としては Tb₃Al₅O₁₂, Eu₃Ga₅O₁₂, Eu₃Ga₅O₁₂ などであり、これらガーネットの作製条件や光物性を調べる。ガーネット母体結晶の賦活イオンとしては、Eu ガーネット結晶に関しては Tb³⁺ イオン、Tb ガーネット結晶に関しては Ce³⁺ イオンを考えており、

これら希土類イオン間の共賦活効果も探る。なお、ガーネット結晶は一般に 1500 以上の高融点温度を有し、ここでは MOD 法による 1200 以下での結晶成長を目指す。

5) 純化学反応的や MOD 法の可能性を別視点で評価することを目的として、従来の固相反応法による酸化物蛍光体の作製も試みる、これら蛍光体の具体例としては $\text{CaTiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ や $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, Eu_2TiO_5 などであり、最後の 2 つの Eu 化合物では Eu 母体元素が発光イオンである。また、多元ガーネット母体結晶蛍光体 $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$ の固相反応法での作製も検討している。

6) これら上記 1) ~ 5) の知見を基に、希土類-非希土類元素融合蛍光体の作製と物性評価を予定する。具体的には、 $\text{Ce}^{3+} - \text{Sn}^{2+}$, $\text{Eu}^{3+} - \text{Bi}^{2+}$, $\text{Ce}^{3+} - \text{Bi}^{3+}$ などのベア-イオンを考えており、母体結晶としては NaCl や CaZrO_3 , $\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ガーネット結晶などである。また、 $\text{SnO}_2:\text{Eu}^{3+}$ 蛍光体では、母体結晶の非希土類イオン Sn^{2+} と Eu^{3+} 賦活希土類イオンとの総合作用も考えられるため、このようなイオン間の総合作用も検討する。

4. 研究成果

本研究はH26年度からH28年度までの3年間にわたって進めた。以下に、各年度ごとの研究成果を簡単にまとめた。これらの成果は、計35件の査読付き雑誌論文、計48件の学会発表、計4件の図書にまとめた。

[H26年度]

純化学的手法をベースにした蛍光体の作製において、非希土類や希土類単独賦活だけでなく、これらの様々な共賦活蛍光体を作製した。具体的には、 Mn^{4+} 賦活の Zn 系水和物蛍光体の $\text{ZnGeF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ 、 Mn^{4+} 賦活 Ba 系非水和物蛍光体の $\text{BaGeF}_6:\text{Mn}^{4+}$ や $\text{BaTiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ 、アルカリハライド系蛍光体では、 $\text{KCl}:\text{Ce}^{3+}$ 、 $\text{BaCl}:\text{Ce}^{3+}$ の単独賦活蛍光体や、 $\text{KCl}:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{NaCl}:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{KCl}:\text{Ce}^{3+}, \text{Sn}^{2+}$ 、 $\text{NaCl}:\text{Ce}^{3+}, \text{Sn}^{2+}$ などの共賦活蛍光体、酸化物蛍光体では $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{SnO}_2:\text{Eu}^{3+}$ などである。また、フッ化物蛍光体では $\text{ZnGeF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ 、 $\text{ZnSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ における光照射劣化現象を観測した。これは、発光強度が光照射により著しく減少する非可逆的な現象であり、その原因として光酸化や不均化反応を可能性を考えている。また、 $\text{K}_2\text{SiF}_6:\text{Mn}^{2+}$ の黄色蛍光体に於いても同じような光照射劣化現象を観測した。劣化前後の電子スピン共鳴測定で、 Mn^{4+} や Mn^{2+} の信号強度が著しく減少することから、やはり光酸化などによる発光活性な Mn イオンの濃度減少と考えている。 $\text{K}_2\text{SiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ 蛍光体では、液中の高出力パルスレーザー照射によって、この蛍光体の微細化加工にも成功した。

[H27年度]

純化学的手法をベースにした蛍光体の作製だけでなく、固相熱反応による希土類(ガーネット)酸化物や非希土類酸化物の蛍光体を

作製し、これらの諸特性を調べた。化学的手法で作製した蛍光体の具体的としては、 Mn^{4+} 賦活の Zn 系水和物蛍光体である $\text{ZnSnF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ 、 Mn^{4+} 賦活 Ba 系非水和物蛍光体である $\text{BaSnF}_6:\text{Mn}^{4+}$ などが上げられる。水和物系蛍光体である $\text{ZnSnF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ においては、加熱により結晶水が消失することに起因した構造の相転移を観測し、無水 ZnSnF_6 の発光特性を初めて測定した。また、Ba 系フッ化物蛍光体では、IV 族元素が Si や Ge、Ti だけでなく Sn でも蛍光体になり得ることを実証した。固相熱反応による蛍光体では、 Eu^{3+} ドープ Ga ガーネット蛍光体で、特異な光照射劣化を観測し原因を追究した。さらに、Ga や Al 酸化物を母体とする Eu^{3+} や Tb^{3+} 賦活蛍光体や Eu^{3+} 賦活 CaTiO_3 蛍光体を作製し、諸特性を調べた。これらや前年度の知見を基に、希土類イオン Ce^{3+} と Sn^{2+} イオンを共賦活した NaCl 蛍光体を作製し、 Ce^{3+} から Sn^{2+} へのエネルギー移送現象を観測した。

[H28年度]

前年度から引き続いて純化学的手法をベースにした蛍光体の作製だけでなく、固相熱反応による希土類(ガーネット)酸化物や非希土類酸化物の蛍光体を作製し、これらの諸特性を調べた。純化学的手法で作製した蛍光体の具体例として、六フッ化物系蛍光体の $\text{Rb}_2\text{SiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ や $\text{Rb}_2\text{TiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ が上げられる。これら蛍光体の量子効率を測定し、実用化の条件である青色や近紫外光励起で 90% 以上の高い値を得た。また、 Al_2O_3 や Ga_2O_3 などの半導体母体結晶への Eu^{3+} や Tb^{3+} などの希土類イオンドープを試み、特にこれら希土類イオンの固溶限界値に注目し、これらを正確に決定した。なお、Cr や Ti ドープ Al_2O_3 は、ルビーレーザーやサファイヤレーザーとして知られた産業上の非常に重要な固体レーザーである。また、希土類-非希土類元素融合蛍光体の開発と密接に関係した研究テーマとして、 Eu^{3+} 賦活 CaZrO_3 赤色蛍光体への非希土類元素イオンである Bi^{3+} の共賦活効果を調べ、これにより赤色発光強度が約 10 倍増強することを明らかにした。それら以外の蛍光体材料として、希土類元素を母体構成元素とする半導体化合物、例えば、 $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ や Eu_3GaO_6 などの結晶成長条件の最適化と発光特性の解明を主目的とした研究を進め、所望の成果を得た。 $\text{Ce}^{3+} - \text{Sn}^{2+}$ 、 $\text{Eu}^{3+} - \text{Bi}^{2+}$ や $\text{Ce}^{3+} - \text{Bi}^{3+}$ の希土類-非希土類元素賦活蛍光体では明確な共鳴エネルギー移送現象が観測された。

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 35 件)

(1) Y. Onishi, T. Nakamura, and S. Adachi, Photoluminescence properties of $\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ garnet synthesized by the metal organic decomposition method, Opt. Mater. 64, pp. 557-563 (2017). 査読有

- DOI: 10.1016/j.jlumin.2016.12.028
- (2) Z. Yuan, T. Nakamura, S. Adachi, and K. Matsuishi, Luminescence color control and quantum-efficiency enhancement of colloidal Si nanocrystals by pulsed laser irradiation in liquid, *Nanoscale* 9, 1193-1200 (2017). 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2016.12.028
- (3) R. Hoshino, S. Sakurai, T. Nakamura, and S. Adachi, Unique properties of $\text{ZnTiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ red-emitting hexahydrate phosphor, *J. Lumin.* 184, pp. 160-168 (2017). 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2016.12.028
- (4) Y. Onishi, T. Nakamura, and S. Adachi, Luminescence properties of $\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ garnet and related compounds synthesized by the metal organic decomposition method, *J. Lumin.* 183, pp. 193-200 (2017). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (5) S. Sakurai, T. Nakamura, and S. Adachi, $\text{Rb}_2\text{SiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ and $\text{Rb}_2\text{TiF}_6:\text{Mn}^{4+}$ red-emitting phosphors, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 5, pp. R206-R210 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (6) K. Sawada, T. Nakamura, and S. Adachi, Europium gallium garnet ($\text{Eu}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) and Eu_3GaO_6 : Synthesis and material properties, *J. Appl. Phys.* 120, pp. 143102-1-8 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (7) Y. Onishi, T. Nakamura, and S. Adachi, Tb^{3+} ion doping into Al_2O_3 : Solubility limit and luminescence properties, *Jpn. J. Appl. Phys.* 55, pp. 112401-1-6 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (8) T. Orihashi, T. Nakamura, and S. Adachi, Resonant energy transfer in (Eu^{3+} , Bi^{3+})-codoped CaZrO_3 red-emitting phosphor, *RSC Adv.* 6, pp. 66130-66139 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (9) T. Orihashi, T. Nakamura, and S. Adachi, Synthesis and unique photoluminescence properties of $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ and Eu_2TiO_5 , *J. Am. Ceram. Soc.* 99, pp. 3039-3046 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (10) K. Sawada, T. Nakamura, and S. Adachi, Abnormal photoluminescence phenomena in (Tb^{3+} , Eu^{3+}) codoped Ga_2O_3 phosphor, *J. Alloys Compd.* 678, pp. 448-455 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (11) Y. Onishi, T. Nakamura, and S. Adachi, Solubility limit and luminescence properties of Eu^{3+} ions in Al_2O_3 powder, *J. Lumin.* 176, pp. 266-271 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (12) R. Hoshino, T. Nakamura, and S. Adachi, Structural change induced by thermal annealing of red-light-emitting $\text{ZnSnF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ hexahydrate phosphor, *Jpn. J. Appl. Phys.* 55, pp. 052601-1-5 (2016). 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.052601
- (13) K. Sawada, T. Nakamura, and S. Adachi, (Tb^{3+} , Eu^{3+}) codoped Ga_2O_3 phosphors: Synthesis and photoluminescence properties, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 5, pp. R67-R73 (2016). 査読有 DOI: 10.1149/2.0261605jss
- (14) R. Hoshino, T. Nakamura, and S. Adachi, Synthesis and photoluminescence properties of $\text{BaSnF}_6:\text{Mn}^{4+}$ red phosphor, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 5, pp. R37-R43 (2016). 査読有 DOI: 10.1149/2.0151603jss
- (15) T. Nakamura, Z. Yuan, K. Watanabe, and S. Adachi, Bright and multicolor luminescent colloidal Si nanocrystals prepared by pulsed laser irradiation in liquid, *Appl. Phys. Lett.* 108, pp. 023105-1-5 (2016). 査読有 DOI: 10.1063/1.4939902
- (16) T. Nakamura, T. Yamamoto, and S. Adachi, Temperature dependence of lasing characteristics of an irregular-shaped microparticle ZnO laser, *Opt. Express* 23, pp. 28905-28913 (2015). 査読有 DOI: 10.1364/OE.23.028905
- (17) Y. Onishi and S. Adachi, Structural and luminescence properties of EuAlO_3 ternary compound and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ compositions, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 4, pp. R153-R158 (2015). 査読有 DOI: 10.1149/2.0141512jss
- (18) K. Sawada and S. Adachi, Unique photoluminescence degradation/recovery phenomena in trivalent ion-activated phosphors, *J. Appl. Phys.* 118, pp. 103106-1-9 (2015). 査読有 DOI: 10.1063/1.4930089
- (19) R. Hoshino and S. Adachi, Photo-induced degradation and thermal decomposition in $\text{ZnSnF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}:\text{Mn}^{4+}$ red-emitting phosphor, *Opt. Mater.* 48, pp. 36-43 (2015). 査読有 DOI: 10.1016/j.optmat.2015.07.019
- (20) T. Orihashi and S. Adachi, Synthesis condition and structural/luminescent properties of $\text{CaTiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ red phosphor, *J. Alloys Compd.* 646, pp. 1116-1123 (2015). 査読有 DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.06.200
- (21) T. Nakamura, S. Sonoda, T. Yamamoto, and S. Adachi, Discrete-mode ZnO microparticle random laser. *Optics Lett.*

- 40, pp. 2661-2664 (2015). 査読有 DOI: 10.1364/OL.40.002661
- (22) Y. Nagaoka and S. Adachi, Excitation energy transfer from Ce^{3+} to Sn^{2+} in NaCl phosphor, ECS J. Solid State Sci. Technol. 4, pp. R119-R124 (2015). 査読有 DOI: 10.1149/2.0011508jss
- (23) K. Sawada and S. Adachi, Photoluminescence and resonant energy transfer from Tb^{3+} to Eu^{3+} in $Tb_3Ga_5O_{12}:Eu^{3+}$ garnet phosphor, J. Lumin. 165, pp. 138-144 (2015). 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2015.04.032
- (24) T. Nakamura, S. Adachi, M. Fujii, H. Sugimoto, K. Miura, and S. Yamamoto, Size and dopant-concentration dependence of photoluminescence properties of ion-implanted phosphorous- and boron-codoped Si nanocrystals, Phys. Rev. B 91, pp. 165424-1-8 (2015). 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevB.91.165424
- (25) R. Hoshino and S. Adachi, Optical spectroscopy and degradation behavior of $ZnGeF_6 \cdot 6H_2O:Mn^{4+}$ red-emitting phosphor, J. Lumin. 162, pp. 63-71 (2015). 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2015.02.011
- (26) D. Sekiguchi and S. Adachi, Synthesis and photoluminescence spectroscopy of $BaGeF_6:Mn^{4+}$ red phosphor, Opt. Mater. 42, pp. 417-422 (2015). 査読有 DOI: 10.1016/j.optmat.2015.01.039
- (27) T. Nakamura, Z. Yuan, and S. Adachi, Micronization of red-emitting $K_2SiF_6:Mn^{4+}$ phosphor by pulsed laser irradiation in liquid, Appl. Surf. Sci. 320, pp. 514-518 (2014). 査読有 DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.09.113
- (28) K. Sawada and S. Adachi, Photoluminescence properties of Eu^{3+} in $Ga_2O_3-Tb_3Ga_5O_{12}:Cr^{3+}$ phosphor synthesized by metal organic deposition, ECS J. Solid State Sci. Technol. 3, pp. R238-R244 (2014). 査読有 DOI: 10.1149/2.0071412jss
- (29) T. Oyama and S. Adachi, Unique light-induced degradation in yellow-emitting $K_2SiF_6:Mn^{2+}$ phosphor, J. Appl. Phys. 116, pp. 133515-1-7 (2014). 査読有 DOI: 10.1063/1.4897363
- (30) T. Nakamura, H. Fujiwara, R. Niyuki, K. Sasaki, Y. Ishikawa, N. Koshizaki, T. Tsuji, and S. Adachi, Origin of lasing emission in a resonance-controlled ZnO random laser, New J. Phys. 16, pp. 093054-1-11 (2014). 査読有 DOI: 10.1088/1367-2630/16/9/093054
- (31) T. Arai and S. Adachi, Difference in photoluminescence properties of $SnO_2:Eu^{3+}$ redish-orange phosphors grown by sol-gel and chemical etching methods, ECS J. Solid State Sci. Technol. 3, pp. R207-R211 (2014). 査読有 DOI: 10.1149/2.0051411jss
- (32) Y. Tosaka and S. Adachi, Photoluminescence properties and energy-level diagrams in (Ce^{3+}, Tb^{3+}) -codoped KCl green phosphor, J. Lumin. 156, pp. 157-163 (2014). 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2014.08.010
- (33) R. Hoshino and S. Adachi, Light-induced degradation in red-emitting $ZnSiF_6 \cdot 6H_2O:Mn^{4+}$ hydrate phosphor, ECS J. Solid State Sci. Technol. 3, pp. R144-R149 (2014). 査読有 DOI: 10.1149/2.0031408jss
- (34) T. Nakamura, Z. Yuan, and S. Adachi, High-yield preparation of blue-emitting colloidal Si nanocrystals by selective laser ablation of porous silicon in liquid, Nanotechnology 25, pp. 275602-1-7 (2014). 査読有 DOI: 10.1088/0957-4484/25/27/275602
- (35) Y. Tokida and S. Adachi, Photoluminescence properties and energy-level analysis of $Ga_2O_3:Tb^{3+}$ green phosphor prepared by metal organic deposition, ECS J. Solid State Sci. Technol. 3, pp. R100-R103 (2014). 査読有 DOI: 10.1149/2.013406jss
- [学会発表](計 48 件)
- (1) K. Sawada, T. Nakamura, and S. Adachi, Synthesis and properties of $-Ga_2O_3:Eu^{3+}, Tb^{3+}$ and $Tb_3Ga_5O_{12}:Eu^{3+}$ phosphors, International Conference on Advanced Engineering and Its Education in 2016 (ICAEE 2016), Kiryu, Japan, October 13-15, 2016.
- (2) Y. Onishi, T. Nakamura, and S. Adachi, Structural and optical properties of Ln^{3+} ($Ln = Eu, Tb$)-activated Al_2O_3 phosphors, International Conference on Advanced Engineering and Its Education in 2016 (ICAEE 2016), Kiryu, Japan, October 13-15, 2016.
- (3) T. Nakamura, Z. Yuan, S. Hashimoto, S. Adachi, Preparation of blue-emitting colloidal Si nanocrystals by laser ablation of porous silicon in liquid, Advanced Nanoparticle Generation and Excitation by Laser in Liquids (ANGEL) 2014, Matsuyama, Japan, May 19-21, 2014.
- [図書](計 4 件)
- (1) S. Adachi (単著), John Wiley & Sons, Inc., Earth-Abundant Materials for Solar Cells: $Cu_2-II-IV-VI_6$ Semiconductors, 2015, 474 頁.
- (2) S. Adachi (分担), John Wiley & Sons,

Inc., Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin Film Solar Cells, 2015, 31 頁.

(3) S. Adachi (分担), Springer, Handbook of Porous Silicon, 2014, 8 頁.

(4) 安達定雄 (単著), 化学工業社, 解説 ”希土類元素フリー蛍光体の作製と特性評価”, 2014, 6 頁.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

安達 定雄 (ADACHI, Sadao)

群馬大学・名誉教授

研究者番号 : 10202631