

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：33302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14911

研究課題名（和文）希土類の真空束縛エネルギーに基づく輝尽蛍光ガラス材料の設計・開発

研究課題名（英文）Development and material design of optically-stimulable luminescent glass materials based on the vacuum-referred binding energy of rare-earth ions

研究代表者

岡田 豪 (Okada, Go)

金沢工業大学・バイオ・化学部・講師

研究者番号：90757840

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）：本研究では新規輝尽蛍光（OSL）材料として希土類添加ガラス材料の開発を目的として、ガラスを母体材料とすることにより、透明かつ空間的に均一なOSL材料が容易に得られる利点がある。なかでも本研究ではボレートガラスにおけるOSL特性の発現と添加イオンがOSL特性に与える効果について研究を行った。様々な母体材料ならびに添加イオンを検討した中で、Ce³⁺およびSm³⁺を共添加したガラスにおいて顕著なOSL特性が認められた。また、空間分解能においても不透明なものに比べて高い事が認められた。さらに、OSL特性を与える捕獲準位の深さはおよそ1.45 eVである事が実験的に決定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線計測分野において希土類は一般的に発光中心として用いられ、OSLの電荷捕獲として用いられる例は稀であり、希土類の基底準位とホストバンドのエネルギー差を考慮にいれた材料設計は学術的意義が高い。また、透明なガラス材料を母体材料として用いる事により、光の散乱が抑えられ、放射線イメージングにおける空間分解能が向上される。放射線イメージングは医療画像診断技術や非破壊検査などに応用される技術であり、十分な社会的意義が持たれる。

研究成果の概要（英文）：In this research, rare earth doped glass materials were investigated as novel OSL materials. Glass materials have great advantage for its optical transparency and homogeneity nature as a host material. Particularly, OSL properties of borate glasses and effects of doping ions were intensively studied. Among the combinations studied, we concluded that co-doping with Ce³⁺ and Sm³⁺ shows one of the most notable OSL properties. In addition, we confirmed enhanced spatial resolution in a transparent material than non-transparent one. Furthermore, the depth of the OSL active trapping level was found to be approximately 1.45 eV.

研究分野：放射線計測、材料科学

キーワード：輝尽蛍光 ボレートガラス 希土類イオン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年における急速な高齢化に伴い、癌やアルツハイマー病に罹患する患者が増加している。これら疾病に対する最も重要な対策は早期発見である。例として乳がんの場合、早期発見から10年後の生存率は80%以上とされており(日本乳癌学会「全国乳がん患者登録調査報告第29号」)より微小な癌組織の検出技術が求められている。

近年、医療画像診断技術の発展は目覚しく、多種多様な手法が実用化されてきている。しかし、X線透過画像診断はその利便性から現在においても最も普及している手法の一つであると言える。X線画像診断で用いられる半導体アレイ型検出器(直接、間接変換型を含む)を用いたものは、空間分解能はシンチレータ材料内部での光散乱やピクセルサイズに大きく依存し、現存する最も空間分解能の高いもの(a-Se直接変換型検出器)で数十 μm 程度である。また、空間分解能を向上させる為にピクセルサイズを更に小さくした場合、製造コストが極端に高くなる欠点がある。一方、輝尽蛍光(OSL)によるイメージングプレート(IP)を用いた手法はコスト面では有利であるが、読み取りの際に生じる光の散乱が影響し、一般的に空間分解能は数百 μm 程度と劣ってしまう。図1に示すように、OSLではX線により生成された電子・正孔()が捕獲準位に局所的に捉えられる事によりX線情報(強度・分布)が記録される()。次に、外部的な光刺激を与える事により()捕獲された電荷が解放され、発光中心において再結合する事によりOSLとして発光が得られる()。ここで、同機構による空間分解能は、読み取りの際の刺激光およびOSL発光の散乱に大きく影響されるとされている。従来の研究では、これら散乱を抑制させる為にIPをミクロの柱状結晶からなるものが開発され、実際に医療画像診断(特にマンモグラフィ)に用いられてきた。

一方、近年、ドイツDarmstadt工科大学のHeinz von Seggern教授(これまでにBell研究所やSIEMENSにおいてIPの研究開発に従事)により柱状成型したものと比較してIP自体が透明である方が空間分解能において優れる事が指摘されており、イメージング応用として透明な輝尽蛍光体の開発が求められている。

2. 研究の目的

上記背景のなか、本研究では透明なOSL材料の開発および学術的観点からその発光メカニズムの検討を目的とした。一般的にOSL特性の報告例のある材料は無機絶縁体材料が一般的であり、そのなかで視覚的に透明なものは一般的に単結晶およびガラス材料に限られる。単結晶材料は優れた光学特性を持つが、作製方法の観点から医療イメージングに必要な視野をカバーする程の面積積化が容易ではない。一方、ガラス材料は窓ガラスなどから容易に想像できるように面積積化に優れており、なおかつ透明なものが得られやすい特徴を持つ。この事から、本研究ではガラス材料に着目し、透明なOSL材料の開発を行った。

3. 研究の方法

本研究では、ガラス材料は急冷溶融法を用いて作製した。ガラス組成はホウ酸をガラスネットワークとするボレートガラス系(特にB2O3-Al2O3-LiO)に絞り、Ce、Sm、Eu、Dy等の希土類元素を微量添加した。出発原料となる粉末試薬を混合し、アルミナ坩堝に充填したあと、高温電気炉でおよそ1000~1300度で30分溶融し、融液を200に熱したステンレス板上に流し、急冷した。得られたガラスが切断および研磨し、特性評価を行った。

特性評価では、作製したそれぞれのガラス材料に対し、組成分析、基礎光学特性評価、およびイメージングプレートとしての応用評価を包括的に行った。図2に本研究で用いたOSL特性評価装置を図示する。

4. 研究成果

まず、1年目には数多くのボレートガラス材料を母体材料、希土類イオンを活性元素として検討した。なかでも最も興味深いものは、Ce³⁺イオンおよびSm³⁺イオンを共添加した材料である。Ce³⁺イオンは発光中心として働き、およそ340nmを中心とするブロードな発光を示す事が確認された。発光起源の帰属は、その発光スペクトル形状がブロードである事(半値幅約50nm)および蛍光寿命が約30nsである事から、Ce³⁺由来であると決定した。また、X線を照射した後

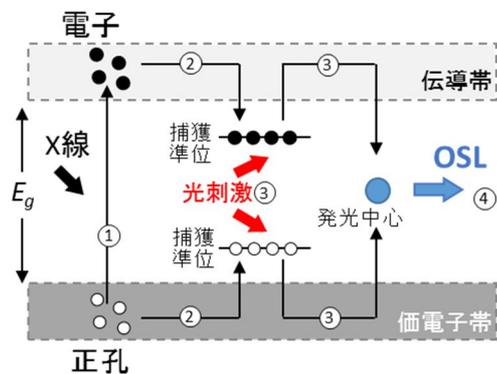


図1 OSLの基本メカニズム

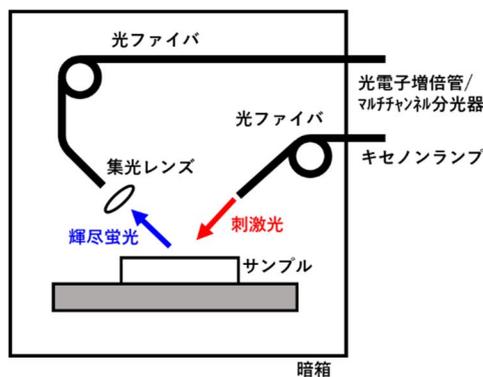


図2 OSL評価装置

に青色光を当てた場合、OSL が確認された。同 OSL は Sm^{3+} が共添加されていない場合においては観測されなかった。このことから、OSL 特性をもたらす要因として Sm^{3+} の存在が重要な役割を果たしている事が示唆される。また、 Ce^{3+} は発光中心として働いている事が明確であるため、 Sm^{3+} は電荷捕獲準位として働いている事が考えられる。また、図 2 に示す評価装置を用いた場合の、線量検出下限はおよそ 10 mGy であった。

2 年目では、イメージングプレート (IP) としての機能性検証を行うべく、読取装置の構築を行い、実際に空間分解能の試験を行った。図 3 に構築した読取装置の構成図を示す。同装置では、刺激光源として青 (460 nm)、緑 (530 nm) および赤 (630 nm) のレーザーダイオードを用いた。刺激光は倒立顕微鏡に入力され、対物レンズによりガラスサンプルの局所領域に集光させた。刺激により出力される輝尽蛍光は、刺激光と同じ経路で倒立顕微鏡から出、ダイクロイックミラーにより分離されて光電子増倍管までガイドさせ、検出される。これら一連の読取りを平面方向に XY ステージにより移動させ

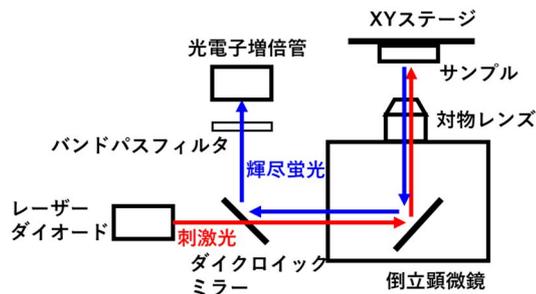


図 3 OSL 分布読取装置

ながら行う事により、放射線分布の読取りを実現させた。同装置を用いて評価した結果、X 線イメージングとしての空間分解能は、当初の想定通り不透明な IP ($\text{BaFBr}:\text{Eu}^{2+}$) よりも本研究で開発したガラス材料の方が高く、ガラス材料を用いる利点が実験的に明らかにされた。計画当初に予定していなかった所属の移動などがあったが、概ね順調に目標を成した。

最終年度である 3 年目では、電荷捕獲準位深さの評価を行った。手法は熱ルミネッセンスによる評価を用いた。OSL は光刺激により捕獲された電荷を再活性させるが、熱ルミネッセンスでは熱刺激により再活性させる。また、熱ルミネッセンスの歴史は長く、洗礼された評価方式も数多く提案されている為、より信頼性の高い評価が可能となる。熱ルミネッセンスグロー曲線による評価から、電荷捕獲準位は 2 つ存在する事が明らかとなり、イニシャルライズ法を適用する事によりそれぞれの深さは 0.25 eV および 1.45 eV であると決定された。さらに、OSL の読取り後においては前者捕獲準位に帰属される発光は読取り前と比較して遜色なく観測されるのに対し、後者捕獲準位に帰属される発光強度は顕著に低下していた。このことから、OSL を司る捕獲準位は 1.45 eV の深さに存在すると決定された。

さらに、同材料において、OSL や TSL に加えてラジオフォトルミネッセンス (RPL) も観測された。今後はこの RPL についても精力的に研究を進めたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masai Hirokazu, Okada Go, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Relationship between defect formation by X-ray irradiation and thermally stimulated luminescence of binary zinc phosphate glasses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2037 ~ 2037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.9.002037	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 Samizo Hayata, Shinozaki Kenji, Kato Takumi, Okada Go, Kawaguchi Noriaki, Masai Hirokazu, Yanagida Takayuki	4. 巻 90
2. 論文標題 X-ray induced luminescence properties of Ce-doped BaF ₂ -Al ₂ O ₃ -B ₂ O ₃ glasses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 64 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2019.01.035	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 Okada Go, Shinozaki Kenji, Shiratori Daiki, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 45
2. 論文標題 Radio-photoluminescence observed in Eu-doped BABF glass-ceramics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 9376 ~ 9380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2018.08.027	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 Okada Go, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 87
2. 論文標題 Storage-luminescence centres of Ce-doped MgO-CaO-SiO ₂ ceramics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 84 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2018.05.046	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 Okada Go, Shinozaki Kenji, Komatsu Takayuki, Kawano Naoki, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Tb 3+ -doped BaF 2 -Al 2 O 3 -B 2 O 3 glass and glass-ceramic for radiation measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	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) 10.1016/j.jnoncrysol.2018.02.013	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 Masai Hirokazu, Okada Go, Torimoto Aya, Usui Takaaki, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 8
2. 論文標題 X-ray-induced Scintillation Governed by Energy Transfer Process in Glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-18954-y	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 Nakauchi Daisuke, Okada Go, Fujimoto Yutaka, Kawano Naoki, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 72
2. 論文標題 Optical and radiation-induced luminescence properties of Ce-doped magnesium aluminoborate glasses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 190 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2017.05.063	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 Okada Go, Shinozaki Kenji, Komatsu Takayuki, Kasap Safa, Yanagida Takayuki	4. 巻 106
2. 論文標題 Radio-photoluminescence in Sm-doped BaF 2 -Al 2 O 3 -B 2 O 3 glass-ceramics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 73 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2016.12.006	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 Kawamura Ichiro, Kawamoto Hiroki, Fujimoto Yutaka, Koshimizu Masanori, Okada Go, Koba Yusuke, Ogawara Ryo, Suda Mitsuru, Yanagida Takayuki, Asai Keisuke	4. 巻 468
2. 論文標題 Thermoluminescence properties of Dy ³⁺ -doped CaO?Al ₂ O ₃ ?B ₂ O ₃ glasses for neutron detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 18 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2020.02.015	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 Okada Go, Hirasawa Kazuki, Kusano Eiji, Yanagida Takayuki, Nanto Hidehito	4. 巻 466
2. 論文標題 Radio-photoluminescence properties of samarium-doped alkaline earth sulfates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 56 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2020.01.020	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 KAWAMURA Ichiro, KAWAMOTO Hiroki, FUJIMOTO Yutaka, KOSHIMIZU Masanori, OKADA Go, KOBA Yusuke, OGAWARA Ryo, YANAGIDA Takayuki, ASAI Keisuke	4. 巻 127
2. 論文標題 Neutron-induced thermoluminescence properties of Tb ³⁺ -doped CaO?Al ₂ O ₃ ?B ₂ O ₃ glasses	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 663 ~ 668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19071	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 Masai Hirokazu, Okada Go, Ina Toshiaki, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 207
2. 論文標題 Temperature-dependent luminescence of Ce-doped SrO-B ₂ O ₃ glasses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 316 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2018.11.014	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 Isokawa Yuya, Nakauchi Daisuke, Okada Go, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 782
2. 論文標題 Radiation induced luminescence properties of Ce-doped Y2O3-Al2O3-SiO2 glass prepared using floating zone furnace	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 859 ~ 864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.12.245	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18件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Go Okada, Noriaki Kawaguchi, Hidehito Nanto, Safa Kasap, Takayuki Yanagida
2. 発表標題 RPL observed in LiCaAlF6:Sm
3. 学会等名 The 19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Go Okada, Takayuki Yanagida, Safa Kasap
2. 発表標題 Radiation-induced generation of luminescence centres for dosimetric applications
3. 学会等名 The 20th International Conference on Radiation Effects in Insulators (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Go Okada, Kenji Shinozaki, Noriaki Kawaguchi, Takayuki Yanagida
2. 発表標題 RPL properties of europium-doped BABF glass-ceramics and the thermal response
3. 学会等名 The 20th International Conference on Radiation Effects in Insulators (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 豪, 柳田健之, 南戸秀仁, Safa Kasap
2. 発表標題 新規RPL材料の開発と応用
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 豪、平澤 一樹、柳田 健之、Kasap Safa、南戸 秀仁
2. 発表標題 Ce ³⁺ 添加B203-Al203-Na0ガラスのOSL特性
3. 学会等名 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 G. Okada, T. Yanagida, H. Nanto, S. Kasap
2. 発表標題 Radio-photoluminescence dosimetry using Sm-doped materials
3. 学会等名 The 14th International Workshop of Ionizing Radiation Monitoring (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Okada, F. Chicilo, J. Ueda, S. Tanabe, A. Edgar, G. Belev, T. Wysokinski, D. Chapman, T. Yanagida, S. Kasap
2. 発表標題 Sm-doped Glass and Glass-Ceramic Phosphors for X-ray Micro-Imaging
3. 学会等名 ISNOG 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Okada , F. Chicilo , J. Ueda , S. Tanabe , A. Edgar, G. Belev, T. Wysokinski, D. Chapman, T. Yanagida, S. Kasap
2. 発表標題 Rare-earth-doped Glass and Glass-ceramic Phosphors for Radiation Imaging and Dosimetry
3. 学会等名 CIMTEC 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Okada, J. Ueda, S. Tanabe, F. Chicilo, G. Belev, C. Koughia, T. Wysokinski, D. Chapman, T. Yanagida, A. Edgar, S. Kasap
2. 発表標題 Samarium-based Radio-photoluminescence Materials and Applications for Microbeam Radiation Therapy
3. 学会等名 ICOOPMA 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田豪、上田純平、田部勢津久、柳田健之、Safa Kasap
2. 発表標題 Smの価数変化を用いた放射線計測応用
3. 学会等名 The 29th Meeting on Glasses for Photonics (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田豪、篠崎健二、河口範明、柳田健之
2. 発表標題 Eu添加BaF2-Al2O3-B2O3結晶化ガラスのRPL特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Go Okada, N. Kawano, N. Kawaguchi, S. Kasap, T. Yanagida
2. 発表標題 Valence reduction of Sm ³⁺ in glasses crystals induced by x-ray irradiation
3. 学会等名 the 7th International Workshop on Photoluminescence in Rare Earths: Photonic Materials and Devices (PRE'17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Kawamoto, Y. Fujimoto, M. Koshimizu, G. Okada, T. Yanagida, K. Asai
2. 発表標題 Behavior of electrons and holes in Ag-doped phosphate glass during radiophotoluminescence center formation
3. 学会等名 the 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Okada, K. Shinozaki, T. Komatsu, S. Kasap, N. Kawano, N. Kawaguchi, T. Yanagida
2. 発表標題 Radio-photoluminescence (RPL) in Sm:BaAlB03F2 Embedded in Glass Matrix
3. 学会等名 the 2017 IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Okada, K. Shinozaki, T. Komatsu, S. Kasap, T. Yanagida
2. 発表標題 Radiation-induced intervalence conversion of Sm in 50BaF5-25Al2O3-25B2O3 glass-ceramics for high-resolution X-ray imaging
3. 学会等名 12th International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田豪, 篠崎健二, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Eu添加BaF2-Al2O3-B2O3結晶化ガラスのRPL特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田豪, 篠崎健二, 小松高行, Safa Kasap, 河野直樹, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 放射線マイクロイメージングを目的としたSm添加BaF2-Al2O3-B2O3 結晶化ガラス
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田豪, 篠崎健二, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 X線照射によるBaAlB03F2におけるEu3+の還元反応
3. 学会等名 第56回日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ラジオフィトルミネッセンス用蛍光体、その製造方法、蛍光線量計、放射線量測定方法および装置	発明者 岡田豪、南戸秀仁、 小口靖弘	権利者 金沢工業大学、 千代田テクノ
産業財産権の種類、番号 特許、PTC/JP2019/42146	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

奈良先端科学技術大学院大学 助教 岡田豪
<http://mswebs.naist.jp/LABs/yanagida/Okada/index-jp.html>
 金沢工業大学 岡田豪研究室
<https://kitnet.jp/laboratories/labo0216/index.html>
<http://gokadalab.com/>

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
研究協力者	柳田 健之 (Yanagida Takayuki)		
研究協力者	南戸 秀仁 (Nanto Hidehito)		