

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K20104

研究課題名(和文) 赤色・近赤外発光シンチレータの開発

研究課題名(英文) Development of scintillators emitting red-NIR luminescence

研究代表者

中内 大介 (Nakauchi, Daisuke)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・特任准教授

研究者番号：00870049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では原子炉モニタリングなどの高線量場における計測を目指して初めて発光中心としてSm²⁺に着目し、これまで報告されていなかった新規シンチレータ材料の開拓に挑戦した。Sm²⁺の5d-4f遷移由来の赤色発光はシンチレーション検出器として線計測に十分な応答速度を示しており、従来品としてX線や線計測応用に最も用いられてきたTl:Nalのシンチレーション発光量40000 photons/MeVに匹敵する優れた値を赤色発光領域にて実現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回比較的長波長領域にて発光遷移を有する発光中心イオンを導入することで放射線照射下において赤色・近赤外光を呈する単結晶材料の作製に成功した。赤色・近赤外発光シンチレータは高線量率場のモニタリング応用に期待されており、原子炉など線量率の高い環境で計測を行う場合、光ファイバーが放射線損傷を起こすため正確な線量計測が困難になる。このような放射線損傷では紫外可視領域の透過率が著しく低下するため、赤色・近赤外発光シンチレータを用いることで長期に耐えうる計測が可能になることが期待される。また、赤色・近赤外領域にて高効率で発光する材料を発見したことで物質科学的にも新たな知見になるとと思われる。

研究成果の概要(英文)：A scintillator is a material that exhibits luminescence when excited by ionizing radiations and is used with a photodetector to convert emitted photons into electrical signals. They have been playing an important role in radiation measurements such as medicine, resources exploration, security, astrophysics, and monitoring. In this study, Sm-doped SrCl₂ crystals were focused as a red-NIR scintillator, and the scintillation properties were investigated. The red emission derived from the 5d-4f transition of Sm²⁺ showed a sufficiently fast decay for γ -ray measurement, and a scintillation output comparable to that of the conventional product could be realized in the red emission region.

研究分野：放射線計測

キーワード：シンチレータ 蛍光体 ラジオルミネセンス フォトルミネセンス 結晶成長 線計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

シンチレータは放射線照射時に発光する蛍光体であり、放出された光子を電気信号に変換するための光検出器と組み合わせることで間接的に放射線を計測することができる。応用先としては医療診断装置やセキュリティ装置をはじめ幅広い用途に利用されている。これまでシンチレータは一般的な光電子増倍管の感度波長に適合する近紫外・青色領域で発光するものが主に検討されてきたが、本研究ではこれまであまり検討されていなかった赤色領域で発光する材料に着目する。このようなシンチレータの応用先として期待されるのは原子炉モニタリングである。原子炉など線量率の高い環境で計測を行う場合、検出器部材が放射線損傷を起こすため正確な線量計測が困難になる。このような放射線損傷では一般的に紫外可視領域の透過率が著しく低下するが、赤色付近の波長では影響が少ないため対策として有効である。加えて原子炉では核反応で生じた粒子放射線によりチェレンコフ光が放出されることが多い。チェレンコフ光は長波長につれて強度が小さくなるため、赤色光子はチェレンコフ光との弁別が比較的容易になり、従来品と比べてS/N比の改善が期待されている。

2. 研究の目的

製品化されているシンチレータの中で最高の発光量を示すEu:SrI₂をはじめ、近年開発されたシンチレータのほとんどが希土類イオンを発光中心として導入されている。Ce³⁺、Pr³⁺、Eu²⁺などの希土類イオンは紫外・可視領域においてパリティ許容の5d-4f遷移由来の発光を示し、高い発光強度とナノ秒オーダーの短い蛍光寿命を示すシンチレータが多く発見されている。これらの発光波長は結晶場の影響を受けるため宿主材料によって多少異なるが、図2のように典型的には300-500 nm付近にブロードな発光ピークを示す。この発光波長は先述したように一般的な光電子増倍管の感度波長と一致しており、多くの応用先にとっては非常に有用な発光中心であると言える。Sm²⁺もまた短い蛍光寿命を示すパリティ許容の5d-4f遷移由来の発光を示すが、その発光波長は700-800 nm程度の比較的長波長で観測されることが報告されており、今回目的とする波長域に一致する。Smは2価よりも3価がエネルギー的に安定であるため、多くの場合3価の価数状態で宿主材料に導入される。しかし、Sm²⁺ (1.27 Å) とイオン半径の近い2価の固溶サイトであるSr²⁺ (1.26 Å) を含む宿主材料と共に還元条件下で処理することでSm²⁺として導入することが可能となる。

以上の理由から本研究では600-800 nmの発光波長領域において既存材料と同等の50,000 photons/MeV以上の十分な発光量を示すシンチレータの開発を目的とした。Smを添加したハライド単結晶を還元条件下で合成し、Sm²⁺の5d-4f遷移由来の発光を発現させることで赤色発光シンチレータを開発した。

3. 研究の方法

本研究ではSm²⁺を発光中心に用いて、希土類イオンが2価の価数状態で安定して固溶されやすいハロゲン化アルカリ土類金属を宿主材料として材料探索を行った。検討は以下に示すように合成・光学特性評価・シンチレーション特性評価を行い、各工程の結果をフィードバックしながら行った。

本研究ではシンチレータ用単結晶の合成法として一般的に用いられる垂直式ブリッジマン法を用いてサンプルを開発した。本手法は一端の細くなった坩堝容器中に原料粉末を入れて全て熔融させた後、温度勾配を有する電気炉内にて徐々に引き下げることで細い先端部から徐冷させて結晶育成する手法である。今回実施するハロゲン化物は潮解性を有するため、容器は石英管を用いて原料粉末を真空封入する。合成に係る一連の作業は3日程度で行うことができ、熔融温度や育成速度などを変化させて結晶育成条件を最適化した。

合成した単結晶サンプルの一部を用いて粉末X線回折の測定を行い、目的化合物が不純物を含まない単相で得られていることを確認した。蛍光X線による解析を行って発光中心元素として加えた添加剤の仕込み濃度と実濃度の差を観測することで、添加剤の固溶を確認した。

透過・吸収スペクトル、フォトルミネセンス励起・蛍光スペクトル、発光量子収率、蛍光寿命などの基本的な光学特性を評価することで、結晶中の添加剤の価数変化の影響を観測する。Smは複数の価数状態(3価、2価)をとる可能性があるため、これらの評価によってその存在比を簡易的に確認した。

シンチレーション特性として、放射線照射時の発光スペクトルを測定することで発光波長が目的とする赤色から近赤外の長波長領域であるかを確認した。次にX線照射時の減衰曲線から蛍光寿命を導出して、応用先に適用可能かどうかを評価するとともに、フォトルミネセンスにおける蛍光寿命と比較して宿主材料から発光中心へのエネルギー輸送効率や発光効率の違いを

比較した。入射放射線 1 MeV あたりの放出光子数であるシンチレーション発光量を決定するために、 ^{137}Cs などの放射性同位体から放出される γ 線照射時のパルス波高分布スペクトルを測定した。

これらの一連の評価は所属する研究室で行い、①-③の合成・光学特性評価・シンチレーション特性評価を繰り返して目標性能の達成を試みた。

4. 研究成果

当初本研究で着手する材料は様々な濃度で微量添加した Sm^{2+} を発光中心に用いて、イオン半径が近く Sm イオンが 2 価の価数状態で安定して固溶しやすい Sr^{2+} サイトを有する SrCl_2 および SrBr_2 について検討を行った。合成したサンプルは評価のため切断および片面研磨により図 1 のような小片へ加工した。サンプルは無色透明の外観をしており、354 nm の紫外線を照射することにより目視で赤色発光を観測することができた。目標とする波長領域の発光が得られているか確認を行うためにサンプルに対して X 線を照射した。合成したサンプルの発光スペクトルを図 2 に示す。全てのサンプルにおいて 700 nm 付近の Sm^{2+} とと思われる発光が主要であるものの、短波長域に自己束縛励起子と考えられるブロードな発光ならびに 600 nm 付近に Sm^{3+} 由来と思われるシャープな発光が観測された。主要な発光起源を特定するためにパルス X 線を用いたシンチレーション蛍光寿命測定を行ったところ、得られたすべての減衰曲線が一成分の指数関数によって近似することができ、減衰時定数は Sm^{2+} の 5d-4f 遷移由来の発光として妥当な 10 μs 程度であった。定量評価ならびに γ 線計測応用への適正試験として ^{137}Cs γ 線源を用いた波高分布解析を行った。得られた波高分布スペクトルを図 3 に示す。いずれのサンプルも 662 keV に対応する光電吸収由来のピークが観測され、Ce:YAG との相対値より発光量を算出した。サンプル中では 0.1% $\text{Sm}:\text{SrCl}_2$ サンプルが最も高い 33000 photons/MeV の発光量を示しており、 SrCl_2 および SrBr_2 とともに発光量子収率と同様に濃度と共に減少する傾向が見られており、 Sm 添加濃度 0.1%前後において最適であることが示唆された。

本研究では原子炉モニタリングなどの高線量場における計測を目指して初めて発光中心として Sm^{2+} に着目し、これまで報告されていなかった新規材料開拓に挑戦した。 Sm^{2+} の 5d-4f 遷移由来の赤色発光はシンチレーション検出器として γ 線計測に十分な応答速度を示しており、従来品として γ 線計測応用に最も用いられてきた $\text{Tl}:\text{NaI}$ の発光量 40000 photons/MeV に匹敵する優れたシンチレーション発光量を赤色発光領域にて実現することができた。本研究はシンチレーション検出器の中で特に蛍光材料部分に特化した研究であり、光検出器や増幅回路の最適化は行っておらず、検出器として更なる改善の余地がある。

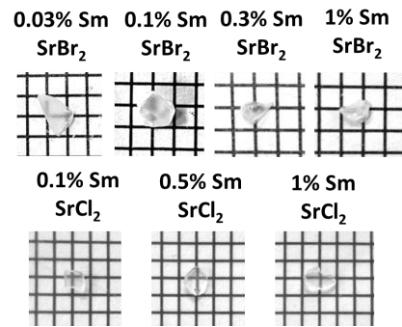


図 1. 合成したサンプル。

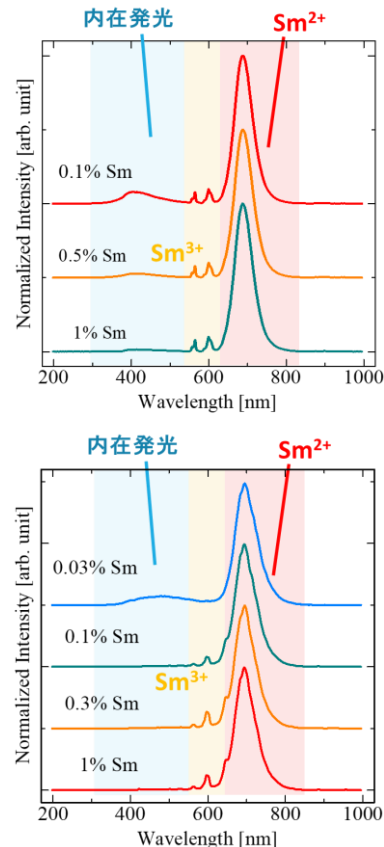


図 2. X 線照射時の発光スペクトル。(上) $\text{Sm}:\text{SrCl}_2$ (下) $\text{Sm}:\text{SrBr}_2$ 。

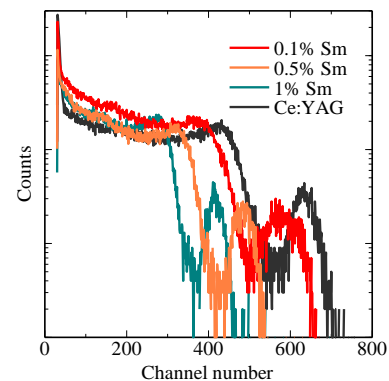


図 3. $\text{Sm}:\text{SrCl}_2$ 結晶を用いた γ 線照射時の波高分布スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計53件（うち査読付論文 53件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ichiba Kensei, Takebuchi Yuma, Kimura Hiromi, Shiratori Daiki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Dosimetric Properties of Ce-doped 25Li2O-10MgO-65SiO2 Glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 677 ~ 677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3680	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 Onoda Daichi, Akatsuka Masaki, Kawano Naoki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Effect of Cu Doping on Photoluminescence and Scintillation Properties of (C6H5C2H4NH3)2PbBr4	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 585 ~ 585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3679	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 Okazaki Kai, Onoda Daichi, Nakauchi Daisuke, Kawano Naoki, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Scintillation Properties of an Organic-Inorganic Lead Iodide Perovskite Single Crystal Having Quantum Well Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 575 ~ 575
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3678	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 Takebuchi Yuma, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Characterization of Tm Concentration Dependence of Dosimetric Properties of NaMgF3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 645 ~ 645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3685	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 Yanagida Takayuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Growth, Optical, and Scintillation Properties of (Gd _{0.4} Lu _{0.6}) ₈ Sr ₂ (SiO ₄) ₆ O ₂ Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 595 ~ 595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3684	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 Kunikata Toshiaki, Kato Takumi, Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Scintillation Properties of Li-doped ZnO Translucent Ceramic	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 661 ~ 661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3683	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 Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 TSL and OSL Properties of Cu-doped CaF ₂ Ceramics Prepared by Spark Plasma Sintering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 653 ~ 653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3682	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 Ito Gota, Kimura Hiromi, Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Optical and Optically Stimulated Luminescence Properties of Ce-doped CsCl-CaCl ₂ -ZnCl ₂ Glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 685 ~ 685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3681	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 Mizoi Kohei, Fujimoto Yutaka, Nakauchi Daisuke, Koshimizu Masanori, Yanagida Takayuki, Asai Keisuke	4. 巻 240
2. 論文標題 Development of Yb ²⁺ -doped SrBrI and BaBrI crystalline scintillators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 118399 ~ 118399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2021.118399	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 Nakauchi Daisuke, Fujimoto Yutaka, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 60
2. 論文標題 X- and -ray response of Sm-doped SrBr ₂ crystalline scintillators emitting red-NIR photons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 092002 ~ 092002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac15af	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 Yanagida Takayuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Okada Go, Kawaguchi Noriaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties GaN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 082006 ~ 082006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac13d8	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 Kawaguchi Noriaki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Futami Yoshisuke, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Characterization of Ce-doped Li ₂₀ -ZnO-P ₂ O ₅ Glasses for Thermal Neutron Detection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 725 ~ 725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3705	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 Nakauchi Daisuke, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Photoluminescence and Scintillation Properties of Ce-, Pr-, and Tb-doped (Gd,Lu) ₂ Hf ₂ O ₇ Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 611 ~ 611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3696	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 Shiratori Daiki, Takebuchi Yuma, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Radio-photoluminescence Properties of Heavy-element-based Alkaline Phosphate Glasses and Their Application to X-ray Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 745 ~ 745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3695	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 Fujimoto Yutaka, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki, Koshimizu Masanori, Asai Keisuke	4. 巻 34
2. 論文標題 New Intrinsic Fast Scintillator: Cesium Praseodymium Chloride	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 629 ~ 629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3693	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 Akatsuka Masaki, Daisuke Nakauchi, Takumi Kato, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Scintillation Properties of Nd-doped LuVO ₄ Single Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 619 ~ 619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3692	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 Fukushima Hiroyuki, Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Scintillation and Thermally Stimulated Luminescence Properties of Sn-doped CaO-B2O3-SiO2 Glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 717 ~ 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3691	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 Kantuptim Prom, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Comparative Study of Optical and Scintillation Properties of Tm-doped La2Si2O7 and Lu2Si2O7 Single Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 603 ~ 603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM3690	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 Onoda Daichi, Kimura Hiromi, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Optically stimulated luminescence properties of Tl-doped NH4Cl transparent ceramics fabricated by SPS method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 1282 ~ 1289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21870764.2021.1966979	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 Yanagida Takayuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki	4. 巻 61
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties of Eu-doped Ga2O3 single crystals grown by the floating zone method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1040 ~ SB1040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac18a7	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 Kantuptim Prom, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Ce concentration dependence of optical and scintillation properties on Ce-doped La ₂ Si ₂ O ₇ crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1038 ~ SB1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac18a9	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 Fukushima Hiroyuki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Effects of Ti doping on scintillation properties of CaZrO ₃ single crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1039 ~ SB1039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac18a8	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 Okazaki Kai, Onoda Daichi, Fukushima Hiroyuki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 32
2. 論文標題 Characterization of scintillation properties of Nd-doped Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ single crystals with near-infrared luminescence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 21677 ~ 21684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-021-06686-9	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 Nakauchi Daisuke, Fujimoto Yutaka, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Properties of Sm-Doped SrCl ₂ Crystalline Scintillators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 517 ~ 517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12040517	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 Kantupim Prom, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Scintillation Properties of Pr-Doped Lanthanum Pyrosilicate Single Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 459 ~ 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12040459	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 Mizoi Kohei, Fujimoto Yutaka, Nakauchi Daisuke, Koshimizu Masanori, Yanagida Takayuki, Asai Keisuke	4. 巻 245
2. 論文標題 Evaluation of photoluminescence and scintillation properties of Yb ²⁺ -doped CsMX ₃ (M = Ca, Sr; X = Cl, Br) crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 118797 ~ 118797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2022.118797	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 Yuan Dongsheng, Villora E. Garcia., Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki, Shimamura Kiyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Ce:LaB306 glass for high-resolution radiation dosimetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 022010 ~ 022010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aC4ad6	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 Okazaki Kai, Fukushima Hiroyuki, Nakauchi Daisuke, Okada Go, Onoda Daichi, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 903
2. 論文標題 Investigation of Er:Bi ₄ Ge ₃₀ 12 single crystals emitting near-infrared luminescence for scintillation detectors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 163834 ~ 163834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.163834	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 Kunikata Toshiaki, Kato Takumi, Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 33
2. 論文標題 Optical and scintillation properties of ZnO translucent ceramics annealed at different temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 2234 ~ 2241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-021-07436-7	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 Kawaguchi Noriaki, Kimura Hiromi, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Scintillation and dosimetric properties of LiF/CaF ₂ :Dy eutectic composite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1004 ~ SB1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aC3557	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 Kawano Naoki, Shinozaki Kenji, Nakauchi Daisuke, Kimura Hiromi, Akatsuka Masaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 190
2. 論文標題 Optical, scintillation and thermoluminescent properties of Eu ²⁺ -doped K ₂ O-La ₂ O ₃ -Ga ₂ O ₃ glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 109785 ~ 109785
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2021.109785	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 Nakamori Ryogo, Kawano Naoki, Takaku Akito, Nakauchi Daisuke, Kimura Hiromi, Akatsuka Masaki, Shinozaki Kenji, Yanagida Takayuki	4. 巻 145
2. 論文標題 Preparation and scintillation properties of the Eu ³⁺ -activated SrO-Al ₂ O ₃ -TeO ₂ glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Research Bulletin	6. 最初と最後の頁 111547 ~ 111547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.materresbull.2021.111547	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 Kawano Naoki, Nakauchi Daisuke, Akatsuka Masaki, Kimura Hiromi, Yanagida Takayuki	4. 巻 241
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation characteristics of organic-inorganic layered perovskite-type compounds with a methoxyphenethylamine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 118467 ~ 118467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2021.118467	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 Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Application of gold nanomaterials for ionizing radiation detection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1015 ~ SB1015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aC2ab5	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 Akatsuka Masaki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Characterization of Nd: LaVO4 single-crystal scintillator emitting near-infrared photons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1025 ~ SB1025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aC2627	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 Kawano Naoki, Akatsuka Masaki, Nakauchi Daisuke, Kimura Hiromi, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Scintillation properties of organic-inorganic layered perovskite-type compounds with a methylphenethylamine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1033 ~ SB1033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aC2038	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 Kentaro, Kimura Hiromi, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 59
2. 論文標題 TI-concentration dependence of scintillation properties in TI-doped CsBr single crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 122005 ~ 122005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abca50	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 Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Characterization of Eu-doped Ba ₂ SiO ₄ , a high light yield scintillator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 122001 ~ 122001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abc574	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 Igashira Kenta, Nakauchi Daisuke, Ogawa Taiki, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 109
2. 論文標題 Development of Eu-doped Sr ₂ MgSi ₂ O ₇ single crystalline scintillators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 110270 ~ 110270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2020.110270	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 Nakamura Fumiya, Kantuprim Prom, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 131
2. 論文標題 Scintillation properties of BaSiO ₃ :Ce crystals by the floating zone method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Research Bulletin	6. 最初と最後の頁 110961 ~ 110961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.materresbull.2020.110961	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 Kentaro, Kimura Hiromi, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties of Ce-doped CaBr ₂ crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 102002 ~ 102002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abb5c0	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 Igashira Kenta, Nakauchi Daisuke, Ogawa Taiki, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 135
2. 論文標題 Effects of dopant concentration in Eu-doped Ca ₂ MgSi ₂ O ₇ single crystalline scintillators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Research Bulletin	6. 最初と最後の頁 111155 ~ 111155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.materresbull.2020.111155	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 Onoda Daichi, Akatsuka Masaki, Kawano Naoki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 114
2. 論文標題 Scintillation properties of (C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ Pb ₁ -Sn Br ₄ crystals having two-dimensional quantum-well structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111002 ~ 111002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111002	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 Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 182
2. 論文標題 Characterization of high dense Pr:GdTaO ₄ crystal scintillators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 109390 ~ 109390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2021.109390	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 Kantuprim Prom, Akatsuka Masaki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 860
2. 論文標題 Optical and scintillation properties of Nd-doped Lu ₂ Si ₂ O ₇ single crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 158538 ~ 158538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.158538	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 Onoda Daichi, Akatsuka Masaki, Kawano Naoki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 114
2. 論文標題 Scintillation properties of (C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ Pb ₁ -Sn Br ₄ crystals having two-dimensional quantum-well structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111002 ~ 111002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111002	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 Igashira Kenta, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 112
2. 論文標題 Photoluminescence, scintillation and thermoluminescence properties of Ce-doped SrLaAl ₃ O ₇ crystals synthesized by the optical floating zone method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 110782 ~ 110782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2020.110782	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 Ito Gota, Kimura Hiromi, Shiratori Daiki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 226
2. 論文標題 Optical and scintillation properties of Ce-doped 20CsCl-20BaCl ₂ -60ZnCl ₂ glasses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optik	6. 最初と最後の頁 165825 ~ 165825
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijleo.2020.165825	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 Kantupim Prom, Akatsuka Masaki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 847
2. 論文標題 Tm concentration dependence of scintillation characteristics on Tm-doped Lu ₂ Si ₂ O ₇ single crystal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 156542 ~ 156542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.156542	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 Shiratori Daiki, Masai Hirokazu, Kato Takumi, Okada Go, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Oxidation suppression of Cu in alkaline aluminophosphate glass and the effects for radiation-induced luminescence characteristics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-78510-z	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 Fukushima Hiroyuki, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Koshimizu Masanori, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 110
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties of Ce-doped SrLu ₂ O ₄ single crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Sciences	6. 最初と最後の頁 106471 ~ 106471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solidstatesciences.2020.106471	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 Takebuchi Yuma, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 177
2. 論文標題 Effect of Ti-doping on dosimetric properties of MgAl ₂ O ₄ single crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 109163 ~ 109163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2020.109163	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 Akatsuka Masaki, Okada Go, Nakauchi Daisuke, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 228
2. 論文標題 Scintillation properties of GdAlO ₃ crystals doped with different concentrations of tm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 117610 ~ 117610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2020.117610	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11件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 D. Nakauchi, T. Kato, N. Kawaguchi, T. Yanagida
2. 発表標題 Recent developments in Eu-doped oxide scintillators
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Nakauchi, Y. Fujimoto, T. Kato, N. Kawaguchi, T. Yanagida
2. 発表標題 Rare-earth-doped strontium chloride single crystalline scintillators emitting red-NIR photons
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Nakauchi, T. Kato, N. Kawaguchi, T. Yanagida
2. 発表標題 Scintillation properties of Pr-doped GdTaO ₄ single crystals
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 近赤外発光する希土類添加LaMgAl ₁₁ O ₁₉ 単結晶のシンチレーション特性
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 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Nd添加LaCl ₃ およびLaBr ₃ のシンチレーション特性比較
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 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Nd添加LaX ₃ 結晶の蛍光およびシンチレーション特性
3. 学会等名 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4回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中内大介, 藤本裕, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 二価希土類添加ハライドシンチレータの開発
3. 学会等名 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1回研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Nd添加LaX ₃ 結晶の線量率応答特性
3. 学会等名 第14回日本セラミックス協会MFD研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Sm添加Sr(Cl,Br) ₂ シンチレータの開発
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 中内大介, 藤本裕, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 赤色発光を呈するSm:SrBr ₂ 単結晶シンチレータの開発
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中内大介, 藤本裕, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 赤色発光を呈するSm添加シンチレータの開発
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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