

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12626

研究課題名(和文) 4～6族陽イオン共添加によるシンチレータ性能の改善メカニズムの解明に関する研究

研究課題名(英文) Research on the co-doping effects of 4-6 group cations on scintillation properties in various Ce doped single crystal scintillators and their performance improvement mechanism

研究代表者

金 敬鎮 (KIM, Kyoung Jin)

東北大学・金属材料研究所・学術研究員

研究者番号：10521768

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、第一に、様々なシンチレータ結晶に対するMoイオンを中心とした4-6族共添加元素の添加効果を $\mu$ -PD法により調査した。スクリーニングの結果得られた、良好な特性を示す共添加元素および添加量の組成に対し、1インチサイズでの結晶作製をチョクラルスキー(Cz)法によりおこなった。作製した結晶について、直ちに化学分析、光学特性、発光特性、シンチレーション特性評価を行うことで、結晶作製と特性評価間のフィードバックを行った。国際共同研究者のNiki教授との連携のもと、各種シンチレータの特性を全て網羅したデータに基づき解析を行うことで、共添加による特性改善メカニズムを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

・GAGGシンチレータに対する4-6族陽イオン共添加によるシンチレータ特性の変化とその発光メカニズムの解明に向けた基盤となる研究成果となり、シンチレータの発光現象に対する共添加元素の効果を明らかにすることができた。現在も世界規模で競争が繰り広げられている、新規高性能シンチレータ開発や既存シンチレータの性能改善につながる指針となる成果である。

・発光メカニズムの解明は、世界的なシンチレータ研究の進展にも貢献し、学術上の意義は大きい。さらに、従来提唱されてきた特性改善メカニズム理論を覆す、新たな発光特性改善メカニズムを提唱できれば、学術的独自性と創造性が多大である。

研究成果の概要(英文)：The effect of group 4-6 ions, such as Mo and W, co-doping on the scintillation properties of various scintillator crystals grown by the micro-pulling down ( $\mu$ -PD) method was investigated for the first time. The optimal co-doping ion concentrations for the best scintillation properties were found. Crystals with optimized compositions were grown also as 1-inch boules by the Czochralski (CZ) technique. Chemical composition, optical properties, luminescence characteristics, and scintillation characteristics for the grown crystals were investigated. Such data gave the information for the fine composition and growth parameters adjustment. Additionally, the luminescence mechanism of the grown crystals was investigated and discussed together with Professor Niki, an international collaborator. The deep understanding of such a mechanism enabled further improvement of the scintillation properties of co-doped crystals.

研究分野：結晶成長

キーワード：結晶成長 Scintillator Ce添加 共添加

## 1. 研究開始当初の背景

核医学、資源探査、素粒子物理、セキュリティ、物流計測など広汎な応用範囲を持つ放射線検出器は、一般にシンチレータと、蛍光を受ける受光素子（光電子増倍管:PMT、Si半導体検出器:Si-PD）とから構成されており、最終製品の性能を決定する部位となっている。ガンマ線を検出するシンチレータに求められる特性として、短い蛍光寿命かつ高発光量で高感度、高いエネルギー分解能であることが要求される。例えば、癌診断に威力を発揮するポジトロン断層法（PET）では、密度が高く、蛍光寿命が短い Ce:(Lu,Y)<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (LYSO)が用いられ、自然放射能計測の分野では、内在放射線が十分に少なく、エネルギー分解能に優れる Ce:Gd<sub>3</sub>(Ga,Al)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (GAGG)や Ce:LaBr<sub>3</sub> が応用されている。

近年、Ce<sup>3+</sup> 4f-5d 遷移由来の発光中心を有するシンチレータでは、一般に、バンドギャップ内に存在する、酸素欠損、格子欠陥、アンチサイト欠陥等の各種欠陥に起因するトラップ準位の影響により、発光量の低下や、蛍光寿命の長寿化といった、シンチレータ特性を劣化させることが報告されている。そこで、Ce<sup>3+</sup> 4f-5d 遷移由来の発光中心を有するシンチレータに対し、1価のアルカリ金属や2価のアルカリ土類金属イオンを共添加することで、バンドギャップ内に Ce<sup>4+</sup> のエネルギー準位を形成し、当該エネルギー準位を経由してシンチレーション光が生じることにより、トラップ準位への自由電子の遷移を低減し、結果として発光量を増加させ、蛍光寿命を短寿命化させる、シンチレーション発光の改善メカニズムが、Ce:LYSO、Ce:GAGG、Ce:LuAG、Ce:LaBr<sub>3</sub> 等のシンチレータにおいて報告されている。(S. Blahuta ら IEEE Trans. Nucl. Sci., 60, 3134-3141, 2013)。

一方、我々の研究グループでは、Mo を共添加することで、1価のアルカリ金属や2価のアルカリ土類金属イオンの共添加と同様に、発光量を増加させ、蛍光寿命を短寿命化させ得ることを、Ce:LYSO、Ce:GAGG、Ce:LuAG において見出した。Mo イオンは、イオン結晶中で4~6価の価数をとれるが、Mo イオンの共添加による性能改善は、「3価の Ce に対し、1,2 価の陽イオンを共存させた際の電荷補償による Ce<sup>4+</sup> の発生に起因する」という、従来提唱されてきた特性改善メカニズムでは説明不可能な現象である。これは、Mo 共添加固有の特性改善メカニズムが存在する、あるいは、従来の Ce<sup>4+</sup> に起因する特性改善メカニズムを根底から覆す可能性も考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、Ce:LYSO、Ce:GAGG、Ce:LuAG、CeLaBr<sub>3</sub> 等のシンチレータに対する 4~6 族陽イオンの共添加による特性改善メカニズムの解明を主要な目標として研究を進め、既存のシンチレータの性能向上も企図して研究を進める。

1,2 価の陽イオンの Ce 添加ガーネット型シンチレータに対する共添加と特性改善に関する研究は、私たちの研究グループが世界に先駆けて行ったものであり、4~6 族陽イオン共添加による発光メカニズム解明に向けて、基盤となる研究成果となり、独創的な研究を創造的に行うことができることを担保する。

新規単結晶材料の探索から結晶成長、各種分析・特性評価、実用化のための大型単結晶作製技術開発までの統合開発を短い期間で、基本的に独力で遂行できる設備とノウハウを有する研究室は世界でも稀であり、独自性も高い。

## 3. 研究の方法

まず Ce:LYSO、Ce:GAGG、Ce:LuAG、CeLaBr<sub>3</sub> 等のシンチレータに対し、Mo イオンを中心

とした 4~6 族共添加元素を導入した結晶を  $\mu$ -PD 法により作製する。独自技術である  $\mu$ -PD 法により従来法の 50~1000 倍高速な融液成長法を実現し、最適共添加元素および Ce の添加量を検討した。高速育成、高速スキャンの  $\mu$ -PD 法と、高品質、大型、組成均一性に優れる CZ 法の優位点を活かした、材料研究を展開する。 $\mu$ -PD 法による組成探索の結果判明した、共添加元素、添加量を含め結晶組成に対し、1 インチサイズでのチョクラルスキー (CZ) 法により結晶作製を行う。作製結晶は直ちに化学分析、光学、発光、シンチレーション特性評価を行うことで、結晶作製と特性評価のフィードバックを行った。各種シンチレータの特徴を全て網羅し、そのデータに基づいた解析から共添加による特性改善メカニズムを解明した。以下に研究の流れを示す。



#### 4. 研究成果

##### 1. 4-6 族イオンを共添加した単結晶の育成とシンチレーション特性評価

様々なシンチレータに対し、Mo イオンを中心とした 4~6 族共添加元素を導入した結晶を  $\mu$ -PD 法により育成し、各種評価を行った。代表として GAGG 単結晶に対し、得られたシンチレーション特性を表 1 にまとめた。 $\mu$ -PD 法による最適組成探索と並行し、現状で良好な結果が得られた Mo, W 共添加イオンについて、CZ 法により各共添加イオンと Ce 仕込み濃度における 1 インチサイズでの結晶作製を行い、共添加元素の偏析係数の評価と最適共添加仕込み量を決定した。さらなる大型化のため、CZ 法で 2 インチ以上のサイズで共添加した単結晶の成長を試み、単結晶育成に使用される雰囲気ガスなどの成長条件を確認した。成長した単結晶をシンチレータ素子として応用するための様々な表面加工条件を試験して最適条件を決定した。

表 1. 4-6 族イオン共添加した Ce:GGAG 結晶の  $\gamma$  線( $^{137}\text{Cs}$ , 662 keV)照射時のシンチレーション特性

共添加材		無し	Zr	Hf	V	Nb	Ta	Mo	W
発光量 (%)		100	105	74	88	101	97	112	108
減衰時間 (ns)	Fast component	56 (46%)	58 (48%)	53 (41%)	43 (37%)	59 (52%)	54 (36%)	59 (41%)	54 (46%)
	Slow component	210	230	240	200	250	290	290	220

##### 2. シンチレーション特性改善メカニズムの解明

国際共同研究者のチェコ物理研・Nikl 教授との連携のもと、シンチレータ特性の変動が顕著であることが確認できた共添加元素を含む GAGG 単結晶について、共添加無しの結晶も併せて、光および熱で励起した際の発光特性を 85~510K の温度範囲で調査した。Mo および W 共添加の効果、フォトルミネッセンススペクトルとフォトルミネッセンス強度、残光強度と減衰速度、熱励起発光(TSL)強度と TSL グロー曲線、TSL グロー曲線ピークの励起スペクトルの温度依存性、および活性化エネルギーに現れることを確認した。Ce<sup>3+</sup>を添加した GAGG 結晶では、光励起により電子と正孔の中心が生成する以下のプロセスがある。

①  $Ce^{3+}$ の励起された 5d レベルからの電子の放出が起こり、共添加により安定化された正孔  $Ce^{4+}$ 中心が光学的に生成され、電子が伝導帯下のさまざまなトラップ準位にトラップされる。主に熱的に励起された電子の放出が  $4f-5d_1$  励起下で現れる。85 K でのこの励起下での弱い TSL の出現は、これらのプロセスへのトンネリング遷移の寄与の存在を示している可能性がある。熱的に励起され、トラップされた電子と正孔の  $Ce^{4+}$ 中心との再結合により、TSL グロー曲線に異なるピークが現れる。この場合、TSL スペクトルは、対応する結晶の  $Ce^{3+}$ 中心の発光スペクトルと一致する。このプロセスは、GAGG : Ce の  $Ce^{3+}$ 準位に関連する吸収帯での光励起においてかなり支配的となる。

② 価電子帯から固有の電子トラップ（例えば、酸素空孔、アンチサイト欠陥など）への電子移動により、固有の(O-タイプ)の正孔中心と様々な電子中心が光学的に生成される。この場合、熱的に励起された電子正孔対の再結合により、励起起源の固有発光が出現する。このプロセスは、undoped GAGG 結晶で支配的である。 $Ce^{3+}$ を添加した結晶では、 $Ce^{3+}$ に関連する吸収が十分に弱いエネルギー範囲の光励起下でのみ現れる。

③ 特に Gd ベースの結晶では、 $Gd^{3+}$ 吸収帯への光励起下での電子および正孔中心の効果的な生成が見られた。 $Gd^{3+}$ の基底レベルはガーネットの価電子帯の内側にあるため、 $Gd^{3+}$ イオンの励起は、 $Gd^{3+}$ イオンの中心内放出だけでなく、放出された電子と  $Gd^{3+}$ の発光を伴う  $Gd^{3+}$ イオンに残った正孔と即座に再結合する可能性もある。 $Gd^{3+}$ 吸収帯での undoped GAGG 結晶の照射は、電子の同時放出と固有の結晶格子欠陥でのトラップ、および生成された  $Gd^{4+}$ イオンからの正孔の非局在化と O-タイプの正孔中心の形成をもたらす  $O^{2-}$ イオンでのトラップ可能性があることを示唆する。プロセス 2 と同様に、光学的に生成された電子と正孔中心の再結合により、固有の発光が現れる。

したがって、原則として、シンチレーション発光量が向上する主な理由として、 $Mo^{6+}$ または  $W^{6+}$ イオンの導入で正の電荷が過剰になることによって、酸素空孔に関連する電子トラップが抑制されている可能性が挙げられる。低濃度の Mo と W の共添加による向上効果は、アンチサイト欠陥の生成の減少と一部関連していると推測される。また、Mo および W の共添加のデメリットは、不純物に関連する多数の電子および正孔中心がゆっくりと再結合するため、シンチレーション特性に悪影響を与えることが考えられる。

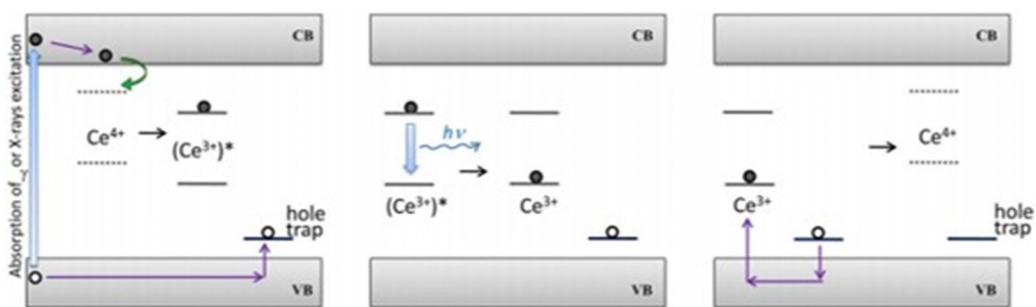


図 1.  $Ce^{4+}$ 由来の  $Ce^{3+}$ 発光プロセスを示す概念図

### 3. ハライド系高エネルギー分解能シンチレータの高品質化・大型化技術開発

#### 1) Ce 濃度最適化と共添加した結晶の特性評価

LaBr<sub>3</sub> ホスト結晶については、まず Ce:LaBr<sub>3</sub> シンチレータの Ce 添加濃度の最適化を実施した。初めに Ce 濃度を 1%~100%まで変化させた(La<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>)Br<sub>3</sub> (x = 0.01, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0)を直径 6mm で育成し、特性を評価した。これらの結晶を輪切りにし、機械研磨した後、光電子増倍管を用いてシンチレーション特性を評価した。上記の結果を受けて、Ce1%~5%の範囲でより詳細な Ce 濃度の最適化を行った。(La<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>)Br<sub>3</sub> (x = 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05)

単結晶を育成し、特性を評価した。 $^{137}\text{Cs}$  からの 662keV ガンマ線を照射した際の波高値スペクトルと平均出力波形を計算・フィッティングすることで、相対発光量と蛍光寿命を見積もった。その結果から、Ce 濃度は 3~5% 付近が最適であることがわかった。この結果に加え、結晶育成難易度の観点から、Ce 濃度は低ければ低いほど結晶育成が容易であるため、最適 Ce 濃度は 3% であると結論づけた。

また共添加イオンに関して、Mo と W については臭化物が市販されておらず、4 価元素である Hf と Zr の臭化物を用いた。Ce:LaBr<sub>3</sub> に Hf または Zr を共添加した結晶の育成を行いシンチレータ特性を評価したが、特性の向上は見られなかった。

## 2) 1 インチ径での Ce:LaBr<sub>3</sub> 単結晶育成技術確立

初めに、これまでにハロゲン化物シンチレータ単結晶育成で培ってきたノウハウをもとに、特別に設計した石英管を使い、1 インチ径までの Ce:LaBr<sub>3</sub> 単結晶育成の研究開発を行った。特性劣化要因となる原料中の水分を除去するための脱水プロセス技術の適用、大型結晶育成のための断熱材の配置・高周波出力の調整、温度勾配の条件最適化によって、高品質かつ 1 インチ径以上の大型な LaBr<sub>3</sub> 単結晶育成の目処がたった。これにより、1 インチ径での Ce:LaBr<sub>3</sub> 単結晶育成技術の確立に成功した (図 2)。

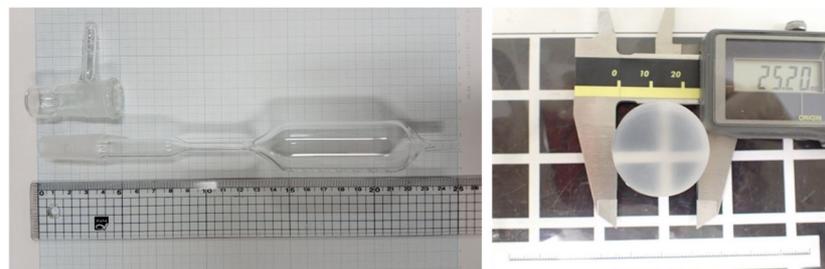


図 2. 1 インチ径単結晶育成用アンプル (左) と 1 インチ径 Ce:LaBr<sub>3</sub> 単結晶 (右)

成長した Ce:LaBr<sub>3</sub> 単結晶を 6x6x3mm<sup>3</sup> に加工・研磨し、半導体光検出器である MPPC と組み合わせて特性を評価した。MPPC は、浜松ホトニクス社製の表面実装品 S13360-6025PE を選定し、使用した。S13360-6025PE と Ce:LaBr<sub>3</sub> を、潮解防止用エポキシ接着剤で接着し、 $^{137}\text{Cs}$  を照射した際のエネルギースペクトルを図 3 (左) に示す。結果として、662keV の光電吸収ピークでエネルギー分解能 5.4% FWHM @ 662keV が得られた。また、放射線のエネルギーに対する出力の線形性を図 3 (右) に示す。図 3 (右) から、試験した検出器は、ガンマ線のエネルギー 662keV まで高い線形性を有していることが分かった。そのため、エネルギースペクトルの評価では、線形性の補正は行わずに評価を行っている。

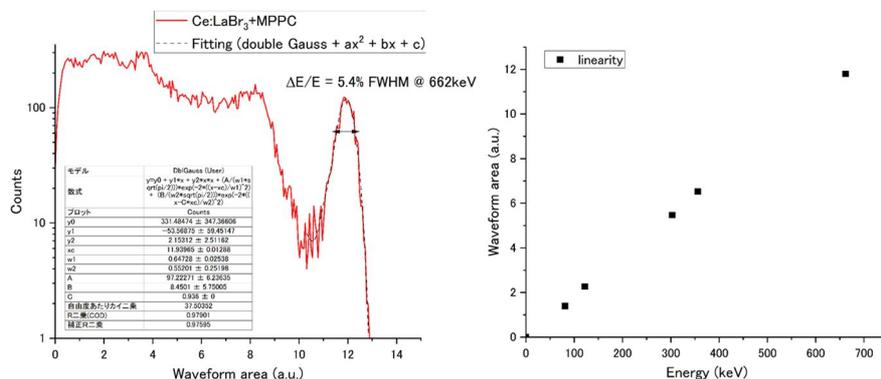


図 3. Ce:LaBr<sub>3</sub> と MPPC を用いた特性評価測定結果 (左) と線形性評価結果 (右)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 19件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ongsa Sakthong, Warut Chewpraditkul, Weerapong Chewpraditkul, Shunsuke Kurosawa, Akira Yoshikawa, Kei Kamada, Kyoung Jin Kim, Winicjusz Drozdowski, Marcin E. Witkowski, Michal Makowski, Romana Kucerkova, Alena Beitlerova, Martin Nikl	4. 巻 122
2. 論文標題 Luminescence and scintillation properties of Mo co-doped Y0.8Gd2.2(Al5-xGax)O12:Ce multicomponent garnet crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111783
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111783	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 Svetlana G. Zazubovich, Valentyn Laguta, Kei Kamada, Akira Yoshikawa, K. Jurek, Martin Nikl	4. 巻 114
2. 論文標題 Effect of W and Mo co-doping on the photo- and thermally stimulated luminescence and defects creation processes in Gd3(Ga,Al)5O12:Ce crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 110923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.110923	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 Warut Chewpraditkul, Nakarin Pattanaboonmee, Weerapong Chewpraditkul, Ongsa Sakthong, Kyoung Jin Kim, Masao Yoshino, Takahito Horiai, Shunsuke Kurosawa, Akira Yoshikawa, Kei Kamada, Winicjusz Drozdowski, Marcin E. Witkowski, Michal Makowski, Romana Kucerkova, Martin Nikl	4. 巻 187
2. 論文標題 Luminescence and scintillation properties of Gd3Sc2(Al3-xGax)O-12:Ce (x=1, 2, 3) garnet crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 109559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2021.109559	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 Kyoung Jin Kim, Yuki Furuya, Kei Kamada, Rikito Murakami, Vladimir Kochurikhin, Masao Yoshino, Hiroyuki Chiba, Shunsuke Kurosawa, Akihiro Yamaji, Yasuhiro Shoji, Satoshi Toyoda, Hiroki Sato, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Growth and scintillation properties of directionally solidified Ce:LaBr3/AEBr2 (AE = Mg, Ca, Sr, Ba) eutectic system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 587-591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10070584	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 該当する

1. 著者名 Ueno Mutsumi, Kim Kyoung Jin, Kamada Kei, Nihei Takayuki, Yoshino Masao, Yamaji Akihiro, Toyoda Satoshi, Sato Hiroki, Yokota Yuui, Kurosawa Shunsuke, Ohashi Yuji, Nikl Martin, Kochurikhin Vladimir, Yoshikawa Akira	4. 巻 539
2. 論文標題 Tungsten co-doping effects on Ce:Gd3Ga3Al2O12 scintillator grown by the micro-pulling down method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 125513 ~ 125513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2020.125513	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

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Shiori Ishikawa, Vladimir V. Kochurikhin, Masao Yoshino, Yasuhiro Shoji, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Satoshi Toyoda, Hiroki Sato, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Effects of 4-6 group ions co-doping on luminescence and scintillation properties in Ce:Lu3Al5O12 single crystal scintillators
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mutsumi Ueno, Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Takahiro Nihei, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Effects of 4-6 group ions co-doping on luminescence and scintillation properties in Ce doped Gd3(Ga,Al)5O12 single crystals
3. 学会等名 15th International conference on Scintillating Materials and their Applications (SCINT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Masao Yoshino, Yasuhiro Shoji, Vladimir V. Kochurikhin, Akihiro Yamaji, Satoshi Toyoda, Hiroki Sato, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Effect of Mo co-doping on scintillation properties of Ce:Gd3(Ga, Al)5O12 single crystal scintillators with various Al-to-Ga ratios
3. 学会等名 2019 第80回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mutsumi Ueno, Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Takayuki Nihei, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Satoshi Toyoda, Hiroki Sato, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Effect of Mo co-doping to Yttrium-aluminum oxide scintillators
3. 学会等名 2019 第80回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoung Jin KIM, Kei KAMADA, Masao YOSHINO, Yasuhiro SHOJI, Vladimir KOCHURIKHIN, Akihiro YAMAJI, Satoshi TOYODA, Shunsuke KUROSAWA, Yuui YOKOTA, Yuji OHASHI, Akira YOSHIKAWA
2. 発表標題 Difference of Mg <sup>2+</sup> and Mo <sup>6+</sup> co-doping effects on luminescence and scintillation properties of Ce:LuAG single crystal scintillators
3. 学会等名 8th International Workshop on Photoluminescence in Rare Earths: Photonic Materials and Devices (PRE'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mutsumi UENO, Kyoung Jin KIM, Kei KAMADA, Takayuki NIHEI, Masao YOSHINO, Akira YAMAJI, Hiroki SATO, Shunsuke Kurosawa, Yuui YOKOTA, Yuji OHASHI, Akira YOSHIKAWA
2. 発表標題 Comparison of Mo ion co-doping effects in Ce:Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> and Ce:YAlO <sub>3</sub> single crystal scintillators
3. 学会等名 8th International Workshop on Photoluminescence in Rare Earths: Photonic Materials and Devices (PRE'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Masao Yoshino, Yasuhiro Shoji, Vladimir Kochurikhin, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Single crystal growth and scintillation properties of Mo co-doped Ce:LYSO crystals
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-29) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mutsumi Ueno, Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Takayuki Nihei, Masao Yoshino, Akira Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Hiroki Sato, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Comparison co-doping effects between Mg and W on Ce:Gd3Ga3Al2O12 scintillator grown by micro pulling down method
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-29) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mutsumi Ueno, Kyoung Jin Kim, Kei Kamada, Takayuki Nihei, Masao Yoshino, Akira Yamaji, Hiroki Sato, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Yuji Ohashi, Akira Yoshikawa
2. 発表標題 Bulk single crystal growth of W, Ce:Gd3Ga3Al2O12 by Czochralski method and their uniformity of scintillation properties
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-29) (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究分担者	鎌田 圭  (KAMADA Kei)  (60639649)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授    (11301)	

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		
チェコ	Institute of Physics, AS CR		
タイ	King Mongkut's Univ. of Tech. Thonburi		