

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03733

研究課題名(和文)有機無機ペロブスカイトナノ粒子を利用した新規放射線誘起蛍光体の開発

研究課題名(英文) Development of luminescence materials for radiation measurements using organic-inorganic hybrid nanocrystals

研究代表者

河野 直樹 (Kawano, Naoki)

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60800886

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：シンチレータとは放射線を低エネルギー光子に変換する蛍光体材料であり、高エネルギー物理学など様々な分野で利用されている。本研究では、大容量で高速応答性を有するシンチレータの開発に向けて、有機無機ペロブスカイト型化合物を多孔質ガラスに導入した複合材料を作製し、その光物性および放射線応答性を調べた。3次元構造を有する当該化合物を多孔質ガラスに導入した複合材料の光物性評価の結果、量子サイズ効果由来と示唆される励起子特性変化を観測できた。さらに、多種多様な当該化合物を多孔質ガラスに導入した複合材料を作製した結果、比較的透明性のある複合材料が作製でき、さらに自由励起子由来の発光を複合材料から観測できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子ナノ構造を有する材料は、独特な光学特性を示すことがこれまでの研究で報告されているが、大容量の材料を作製することが困難であった。今回、有機ペロブスカイト型化合物と多孔質ガラスの複合材料を作製し、その発光特性を評価した。その結果、当該材料から量子サイズ効果を受けた励起子の発光を観測できた。当該材料は大容量高速応答シンチレータとして、医療機器や高エネルギー物理学での分光測定などに応用できる可能性がある。さらに、多孔質ガラスに3次元有機ペロブスカイト型化合物を導入した材料の光物性評価の結果、多孔質ガラスのナノサイズの孔に起因すると示唆される励起子特性変化を観測することができた。

研究成果の概要(英文)：A scintillator is a luminescence material that can convert high radiation into low energy photons, and it has been used in many fields such as high energy physics. To develop a large volume scintillator with a fast response, we fabricated a hybrid material with a nano porous glass and an organic-inorganic perovskite-type compound. The investigation on the optical properties of the material with a 3-dimensional structure suggested that the change in the exciton properties probably due to quantum size effect was observed. Furthermore, we synthesized the materials with various organic-inorganic perovskite-type compounds. Translucent materials were obtained, and free exciton emissions from the materials were observed.

研究分野：放射線科学

キーワード：励起子 シンチレータ 量子井戸 ガラス

1. 研究開始当初の背景

シンチレータとは高エネルギーの放射線を低エネルギー光子に変換する蛍光体材料であり、この光子を光電変換素子などで電気信号に変換することで放射線を計測する。シンチレータは、核医学や高エネルギー物理学など様々な分野で用いられている。シンチレータに求められる要素として、高い発光量、測定に必要なサンプルサイズ、高い検出効率が共通要素である中、用途に応じて短い蛍光寿命、高温耐性、放射線耐性などが求められる。

代表者は、高速応答性（高い発光量、短い蛍光寿命を両立）を示すシンチレータを開発するために、有機無機ペロブスカイト型化合物の励起子発光を利用した材料開発を行っている。有機無機ペロブスカイト型化合物は、図1に示す通り、炭化水素アミンとハロゲン金属で構成される有機無機ハイブリッド化合物であり、3次元構造に加えて、0、1、2次元等の低次元構造を有することが可能であることが知られている。低次元構造を有する当該化合物では、量子サイズ効果を受けた励起子が形成し、量子サイズ効果を受けた励起子は、室温下において、高強度で数ナノ秒の高速な発光を示す。代表者は、これまで量子井戸構造を有する有機無機ペロブスカイト型化合物 $(\text{RNH}_3)_2\text{PbX}_4$ {R:炭化水素、X:ハロゲン}に着目し、有機層の最適化を行ってきた。その結果、 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ が、光及び放射線励起時に高い発光量と数ナノ秒オーダーの短い寿命を示すことがわかり、高速応答シンチレータ実現に向けて高い応用可能性を示した[1]。一方、現在の課題としては、単結晶の育成にかなりの時間を必要とすることである。当該化合物では、有機物間のファンデルワールス力により構造形成が生じる箇所が存在し、ファンデルワールス力由来の結合が弱い結果、有機物間の結晶成長速度が遅い傾向がある。

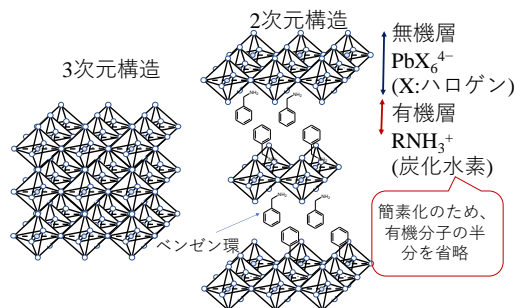


図1 3次元および2次元有機無機ペロブスカイト型化合物の構造。

2. 研究の目的

そこで、有機無機ペロブスカイト型化合物を多孔質ガラスに導入した新規複合材料を考案した。多孔質ガラスは、スピノーダル分相させたホウケイ酸塩ガラスを濃硝酸溶液で B_2O_3 -rich相を溶出させることで作製される多孔質材料であり、化学的処理で多孔質化するため、ガラス材料の特長である大容量化と成形加工の容易さを活かすことが可能である。さらに、有機無機ペロブスカイト型化合物を多孔質ガラスにおけるナノサイズの孔内に導入することで、量子サイズ効果の増強効果が生じて、励起子特性が向上する可能性がある。本研究では、多孔質ガラスの孔への有機無機ペロブスカイト型化合物導入に伴う光物性変化の要因を各種分光測定により解明する。具体的には、多孔質ガラスに3次元構造を有する有機無機ペロブスカイト型化合物 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbX}_3$ (X:ハロゲン)を導入した複合材料の光物性を評価する。さらに、2、1、0次元構造を有する多種多様な有機無機ハイブリッド材料を多孔質ガラスに導入した複合材料を作製する。合成条件や化合物の種類・構造、孔径の最適化を通じて、シンチレータとしての性能追求を行う。

3. 研究の方法

(1) 材料作製と構造評価

vycor系珪酸ガラスを硝酸溶液に含浸した。含浸時間や温度の操作により、孔径制御した多孔質ガラスを作製した。得られた多孔質ガラスについて、蒸留水で洗浄した。その後、当該多孔質ガラスと、有機無機ペロブスカイト型化合物を含めた有機無機ハイブリッド化合物を有機溶媒に混合した。その後、真空中で溶液を攪拌した後、 100°C 程度に温度を増加させた。温度増加により、有機溶媒を蒸発させることで、目的物である複合材料を得た。得られた複合材料について、粉末X線回折法を用いて結晶構造解析を行い、さらに、走査型電子顕微鏡や透過型電子顕微鏡を用いて、作製した複合材料の観察を行った。

(2) 光物性評価

得られた材料について、光学特性の評価を行った。透過スペクトル、蛍光スペクトル、蛍光減衰曲線の測定により、吸収波長や透過率、蛍光波長、蛍光減衰時定数、量子収率等の基礎的な光物性の評価を行った。さらに、室温から低温領域で蛍光スペクトルや蛍光減衰時定数の評価を行い、蛍光波長や蛍光減衰時定数の温度依存性の評価を行った。

(3) 放射線応答性評価

室温下におけるX線励起時の蛍光スペクトルや蛍光減衰曲線の測定により、X線励起時における蛍光波長や蛍光減衰時定数の評価を行った。さらに、ガンマ線やアルファ線励起時のパルス波高スペクトルの測定により、ガンマ線やアルファ線励起時における発光量の定量を行った。

4. 研究成果

多孔質ガラスの孔内への有機無機ペロブスカイト型化合物導入による発光特性変化を調べるために、3次元有機無機ペロブスカイト型化合物 MAPbBr₃ を、4-10 nm 程度の孔を有する多孔質ガラスに導入した複合材料を作製し、室温から低温域における発光特性評価を行った。図2および図3に、バルク材料の MAPbBr₃ と、MAPbBr₃ を導入した複合材料の低温下の発光スペクトルを示す。無機層からの自由励起子由来の発光が 2.0-2.2 eV で観測され、多孔質ガラスに MAPbBr₃ を導入することで、励起子発光ピークが短波長側にシフトすることがわかった。さらに、MAPbBr₃ バルク材料と多孔質ガラス複合材料と発光強度を比較した結果、多孔質ガラス複合材料の発光量が MAPbBr₃ バルク材料と比較して、100 倍程度大きくなることがわかった。MAPbBr₃ は、3次元構造を形成している化合物であるため、化合物中において、自由励起子の量子サイズ効果は生じていない。そのため、励起子ピークの短波長シフトと発光量の向上は、ナノサイズの孔内に MAPbBr₃ が閉じ込められることで生じたと考えられる。以上の結果から、多孔質ガラスに有機無機ペロブスカイト型化合物を閉じ込めることで、量子サイズ効果に起因する発光特性変化が生じることを強く示唆する結果を得ることができた [2-4]。

高速応答シンチレータ開発のために、多孔質ガラスに多種多様な二次元有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した複合材料を作製し、その光物性および放射線応答性の評価を行った。図4に、およそ 4 nm の多孔質ガラスに、有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した複合材料の外観を示す。4 nm の多孔質ガラスに有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した複合材料が透明性を示すことがわかり、複合材料背後の数字を観測することができた。過去に作製した際には、完全に不透明な複合材料しか得られなかったが、多孔質ガラスに導入する際の合成条件を調整することで、ある程度の透明性を実現できた [3]。

さらに、多孔質ガラスに (C₆H₅C₂H₄NH₃)₂PbBr₄、(C₆H₅CH₂NH₃)₂PbBr₄、(C₄H₉NH₃)₂PbBr₄ を導入した複合材料 (Phe-iG、Ben-iG、C4-iG) を作製し、光励起時の発光スペクトルおよび X 線励起時のシンチレーションスペクトルを測定した。図5に光励起時の発光スペクトルの結果を示す。作製したすべての複合材料から無機層からの励起子由来の発光を観測した。さらに、(C₆H₅C₂H₄NH₃)₂PbBr₄ を導入した Phe-iG 複合材料が最も高い発光量を示すことがわかった。この結果は、X 線励起時の発光スペクトルでも同様の結果が得られた [5]。これまでの研究で、他の 2 つの化合物と比較して (C₆H₅C₂H₄NH₃)₂PbBr₄ が光励起時に高い量子収率を示すことが報告されている[4]。この結果を踏まえると、高い量子収率を示す有機無

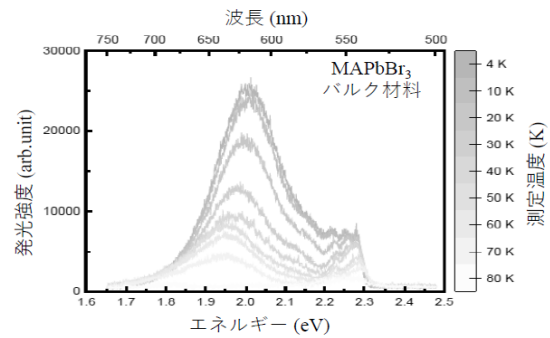


図2 MAPbBr₃ バルク材料の低温下の発光スペクトル。

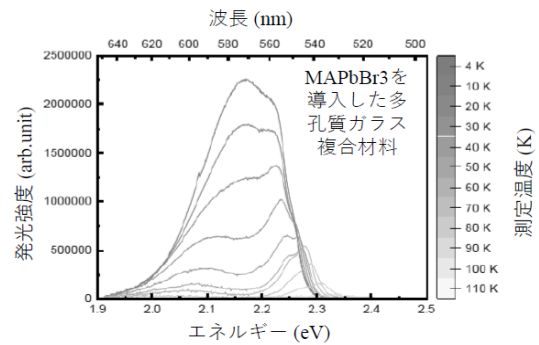


図3 MAPbBr₃ を導入した多孔質ガラス複合材料の低温下の発光スペクトル。

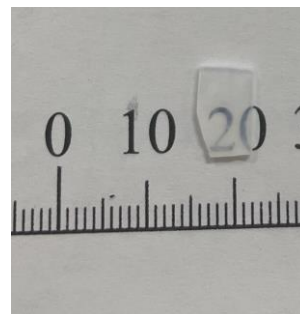


図4 二次元有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した多孔質ガラス複合材料の外観。

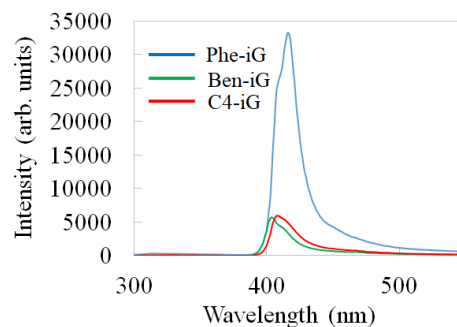


図5 異なる二次元有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した多孔質ガラス複合材料の発光スペクトル。

機ペロブスカイト型化合物を導入することで、複合材料が放射線励起時に高い発光量を示すことがわかった [5]。さらに、当該複合材料の X 線励起時の減衰時間プロファイル測定した。その結果を図 6 に示す。すべての複合材料から数ナノ秒の減衰成分を観測した。よって、無機層からの自由励起子の高速成分が当該複合材料においても観測できることがわかった[6-7]。以上の結果から、有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した複合材料の大容量高速応答シンチレータとしての応用可能性、および当該複合材料の材料設計指針を示すことができた。

また近年では、二次元有機無機ペロブスカイト型化合物に限らず、多種多様な構造を有する有機無機ハイブリッド化合物が登場している[8-9]。そこで今回、 $(\text{Bmpip})_2\text{MnBr}_4$ 、 $(\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{BrN})_2\text{MnBr}_4$ 、 $(\text{Ph}_4\text{P})_2\text{MnBr}_4$ などの 0 次元有機無機ハイブリッド化合物を導入した多孔質ガラス複合材料(Bmpip-iG 、 $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{BrN-iG}$ 、 $\text{Ph}_4\text{P-iG}$)を作製し、その X 線励起時のシンチレーションスペクトルを測定した。図 7 にその結果を示す。図 7 に示す通り、 Mn^{2+} 由来の発光を 515 nm 付近で観測することができた。この結果から、多孔質ガラスには、有機無機ペロブスカイト型化合物だけでなく多種多様な有機無機ハイブリッド化合物の導入が可能であり、有機無機ハイブリッド化合物由来の発光を観測することができることがわかった。

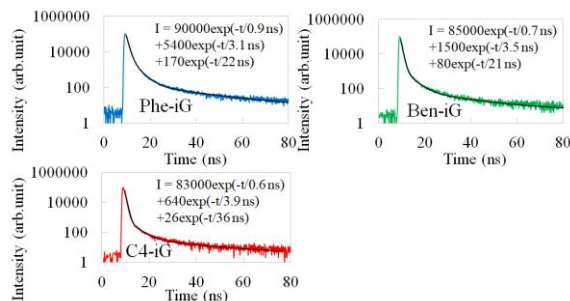


図 6 異なる二次元有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した多孔質ガラス複合材料の発光スペクトル。

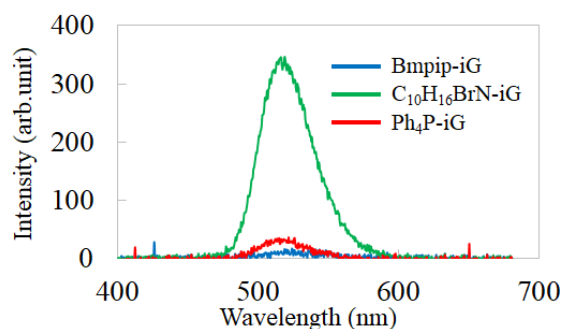


図 7 $(\text{Bmpip})_2\text{MnBr}_4$ 、 $(\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{BrN})_2\text{MnBr}_4$ 、 $(\text{Ph}_4\text{P})_2\text{MnBr}_4$ を導入した多孔質ガラスのシンチレーションスペクトル。

<引用文献>

- ① N. Kawano, M. Koshimizu, G. Okada, Y. Fujimoto, N. Kawaguchi, T. Yanagida, K. Asai, Scintillating Organic-Inorganic Layered Perovskite-type Compounds and the Gamma-ray Detection Capabilities, Sci. Rep. 7 巻、2017、14754
- ② K. Shinozaki, N. Kawano, A. Yamada, S. Ichikawa, T. Fujima, Fabrication of a robust organic-inorganic perovskite nanoparticle dispersion layer on a glass surface, Ceram. Int. 50 巻、2024、14113-14117
- ③ K. Shinozaki, N. Kawano, Rapid Synthesis of Quantum-Sized Organic-Inorganic Perovskite Nanocrystals in Glass, Sci. Rep. 10 巻、2020、1237
- ④ N. Kawano, M. Koshimizu, Y. Sun, N. Yahaba, Y. Fujimoto, T. Yanagida, and K. Asai. Effects of Organic Moieties on Luminescence Properties of Organic-Inorganic Layered Perovskite-Type Compounds, J. Phys. Chem. C. 118 巻、2014、9101-9106
- ⑤ N. Kawano, K. Shinozaki, D. Nakauchi, T. Kato, Y. Takebuchi, T. Yanagida, Radiation response properties of organic-inorganic perovskite-type compounds in a nanoporous glass, Jpn. J. Appl. Phys. 63 巻、2024、01SP17
- ⑥ D. Nakauchi, N. Kawano, T. Kato, N. Kawaguchi, T. Yanagida, Effect of Ca-substitution on $(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ crystal scintillator, Opt. Mater. 148 巻、2024、114956
- ⑦ R. Nagaoka, N. Kawano, Y. Takebuchi, H. Fukushima, D. Shiratori, T. Kato, D. Nakauchi, T. Yanagida, Scintillation properties of $(\text{H}_3\text{NC}_n\text{H}_{2n}\text{NH}_3)\text{PbBr}_4$ ($n = 8, 10, 12$), Jpn. J. Appl. Phys. 62 巻、2023、032005
- ⑧ T. Suto, N. Kawano, K. Okazaki, K. Ichiba, Y. Takebuchi, T. Kato, D. Nakauchi, T. Yanagida, Scintillation properties of $(\text{Ph}_4\text{P})_2\text{ZnX}_4$ ($X = \text{Cl}, \text{Br}$), Jpn. J. Appl. Phys. 63 巻、2024、01SP17
- ⑨ H. Hardhienata, F. Ahmad, Arramel, M. Aminah, D. Onggo, L.J. Diguna, M.D. Birowosuto, M.E. Witkowski, M. Makowski, W. Drozdowski, J. Phys. D: Appl. Phys. 53 巻、2020、455303

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nagaoka Ryo, Kawano Naoki, Takebuchi Yuma, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties of various organic-inorganic perovskite-type compounds with a diamine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 110601 ~ 110601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac943d	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 Suto Takeru, Kawano Naoki, Okazaki Kai, Takebuchi Yuma, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Scintillation properties of (C6H5CnH2nNH3)2PbCl4 (n = 1-4)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 010610 ~ 010610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac8f02	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 Matsuzawa Shun, Okazaki Kai, Nakauchi Daisuke, Kawano Naoki, Suto Takeru, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 136
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation properties of organic-inorganic layered perovskite-type compounds (FC6H4C2H4NH3)2PbCl4 crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 113440 ~ 113440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2023.113440	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, Nakauchi Daisuke, Kawano Naoki, Kato Takumi, Kawaguchi Noriaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 202
2. 論文標題 Effect of In-substitution on luminescence properties of organic-inorganic lead bromide layered perovskite-type scintillators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 110514 ~ 110514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2022.110514	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 Nagaoka Ryo, Kawano Naoki, Takebuchi Yuma, Fukushima Hiroyuki, Shiratori Daiki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Scintillation properties of (H ₃ NCnH ₂ nNH ₃)PbBr ₄ (n = 8, 10, 12)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 032005 ~ 032005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acbff5	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 Suto Takeru, Kawano Naoki, Okazaki Kai, Takebuchi Yuma, Shiratori Daiki, Fukushima Hiroyuki, Kato Takumi, Nakauchi Daisuke, Yanagida Takayuki	4. 巻 209
2. 論文標題 Optical and scintillation properties of organic-inorganic perovskite-type compounds with various hydroxyl alkyl amines or alkyl ether amines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 110981 ~ 110981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2023.110981	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, 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 (C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ PbBr ₄	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, 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 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 Nagaoka Ryo, Kawano Naoki, Nakauchi Daisuke, Kimura Hiromi, Akatsuka Masaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation characteristics of (C ₆ H ₅ CnH ₂ nNH ₃) ₂ PbBr ₄ (n=2, 3, 4)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1037 ~ SB1037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac18d0	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 61
2. 論文標題 Evaluation of scintillation properties of organic-inorganic perovskite compounds (C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ Pb _{1-x} NixBr ₄	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SB1041 ~ SB1041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac1487	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, Horimoto Atsushi, Kimura Hiromi, Nakauchi Daisuke, Akatsuka Masaki, Yanagida Takayuki	4. 巻 142
2. 論文標題 Radiation response characteristics of organic-inorganic perovskite-type compounds with a chlorophenethylamine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Research Bulletin	6. 最初と最後の頁 111409 ~ 111409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.materresbull.2021.111409	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 237
2. 論文標題 Development of (C6H5C2H4NH3)2Pb1-xCdxBr4 crystal scintillators with two-dimensional quantum-well structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 118157 ~ 118157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2021.118157	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 (C6H5C2H4NH3)2Pb1-xSnxBR4 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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 長岡亮、河野直樹、竹淵優馬、福嶋宏之、中内大介、加藤匠、柳田健之
2. 発表標題 ジアミン含有有機無機ペロブスカイト型化合物の放射線応答性
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6回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長岡亮、河野直樹、竹淵優馬、福島宏之、木村大海、中内大介、加藤匠、柳田健之
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト型化合物の基礎光学特性及びシンチレーション特性評価
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7回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長岡亮、河野直樹、竹淵優馬、福島宏之、白鳥大毅、中内大介、加藤匠、柳田健之
2. 発表標題 (H ₃ N _{Cn} H _{2n} NH ₃)PbBr ₄ (n = 8,10,12)のシンチレーション特性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須藤健、河野直樹、竹淵優馬、白鳥大毅、福島宏之、加藤匠、中内大介、柳田健之
2. 発表標題 モノアミン含有有機無機塩化鉛ペロブスカイト型化合物の放射線応答性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松澤隼、岡崎魁、中内大介、河野直樹、須藤健、加藤匠、河口範明、柳田健之
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト型化合物(FC ₆ H ₄ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ PbCl ₄ の光学及びシンチレーション特性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須藤健、河野直樹、岡崎魁、竹淵優馬、白鳥大毅、福島宏之、加藤匠、中内大介、柳田健之
2. 発表標題 酸素原子含有モノアミンを導入した有機無機塩化鉛ペロブスカイト型化合物の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9回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松澤隼、岡崎魁、中内大介、河野直樹、須藤健、加藤匠、河口範明、柳田健之
2. 発表標題 量子閉じ込め効果を利用した(n-BrC6H4C2H4NH3)2PbCl4結晶のシンチレーション特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松澤隼、岡崎魁、中内大介、河野直樹、加藤匠、河口範明、柳田健之
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト型化合物(C6H5C2H4NH3)2Pb1-xKxB4の放射線応答特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野直樹、篠崎健二、中内大介、加藤匠、竹淵優馬、柳田健之
2. 発表標題 多孔質ガラスに有機無機ペロブスカイト型化合物を導入した複合材料の発光特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松澤隼、岡崎魁、中内大介、河野直樹、須藤健、加藤匠、河口範明、柳田健之
2. 発表標題 量子井戸構造を有する(n-C1C6H4C2H4NH3)2PbCl4結晶シンチレータの開発
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 須藤健、河野直樹、岡崎魁、竹淵優馬、加藤匠、中内大介、柳田健之
2. 発表標題 (NH3CnH2nNH3)PbCl4 (n = 9-11)のシンチレーション特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 須藤健、河野直樹、岡崎魁、竹淵優馬、加藤匠、中内大介、柳田健之
2. 発表標題 (Ph4P)2ZnX4 (X = Cl, Br)の放射線応答特性
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10回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Kawano, D. Nakauchi, H. Kimura, M. Akatsuka, K. Takahashi, F. Kagaya, N. Kawaguchi, T. Yanagida
2. 発表標題 Enhancement of scintillation properties of Pb-based organic - inorganic layered perovskite-type compounds by cation mixing
3. 学会等名 Pacrim2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Shinozaki, N. Kawano, D. Nakauchi, H. Kimura, T. Yanagida
2. 発表標題 Rapid synthesis of quantum-sized organic-inorganic perovskite nanocrystals in glass and its photoluminescence and scintillation properties
3. 学会等名 Pacrim2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野田大地, 赤塚雅紀, 河野直樹, 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 Fe添加(C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ PbBr ₄ 単結晶のシンチレーション特性
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 長岡亮, 河野直樹, 小野田大地, 竹淵優馬, 福嶋宏之, 加藤匠, 柳田健之
2. 発表標題 (H ₃ N ₂ CnH _{2n} NH ₃)PbBr ₄ (n = 5, 6)のシンチレーション特性
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 小野田大地, 赤塚雅紀, 河野直樹, 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之
2. 発表標題 (C ₆ H ₅ C ₂ H ₄ NH ₃) ₂ Pb _{1-x} Ni _x Br ₄ 単結晶の放射線誘起蛍光特性
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 N. Kawano, M. Akatsuka, D. Nakauchi, H. Kimura, T. Yanagida
2. 発表標題 Scintillation properties of organic-inorganic layered perovskite-type compounds with a methylphenethylamine
3. 学会等名 EM-NANO2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Nagaoka, N. Kawano, D. Nakauchi, H. Kimura, M. Akatsuka, T. Yanagida
2. 発表標題 Radiation response properties of $(C_6H_5CnH_2nNH_3)_2PbBr_4$ ($n = 2, 3, 4$)
3. 学会等名 EM-NANO2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河野直樹、木村大海、赤塚雅紀、中内大介、柳田健之
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト型化合物におけるベンゼン環置換基の発光特性への影響
3. 学会等名 極限的励起状態の形成と量子エネルギー変換 第一回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takayuki Yanagida (Editor), Masanori Koshimizu (Editor)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 416
3. 書名 Phosphors for Radiation Detectors	

〔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	篠崎 健二 (Shinozaki Kenji) (10723489)	大阪大学・大学院工学研究科・准教授 (14401)	
研究 分 担 者	柳田 健之 (Yanagida Takayuki) (20517669)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授 (14603)	

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