

令和 6 年 9 月 16 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12522

研究課題名（和文）重粒子線線量分布計測とリアルタイムプロファイリングを実現するRPL線量計の開発

研究課題名（英文）Develop of RPL radiometer realizing measurement of heavy ion distribution and real time profiling

研究代表者

花泉 修（Hanaizumi, Osamu）

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：80183911

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）：我々は銀以外の活性中心を共添加する方法を開発し、統合ドシメトリとリアルタイム測定を同時に達成できるデバイスの研究を行った。ユウロピウム酸化物粉末を用いたリン酸塩ガラスでのリアルタイム放射線測定の実現可能性を示した。さらに、基板にアルミニウムとスズを添加することで、リン酸塩ガラス内の別の強い光および放射ルミネセンス中心を見つけ、深紫外線励起で広帯域の白色ルミネセンスを観察することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い信頼性を持つ個人用ドシメータとして広く使用されているリン酸塩ガラスは、放射線光ルミネセンスの現象を示し、これはデバイスに被曝した放射線の総量に対応するがこれを使用した放射線のリアルタイム測定の可能性は、ビルドアップ効果のためにまだ完全に保証されていなかった。我々の研究により、蛍光中心を銀活性剤と組み合わせることで、RPL読み出し中のバックグラウンドノイズなしでリアルタイム放射線検出と測定の可能性を拡大できる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：We developed a method to co-dope active centers other than silver and achieved simultaneous integrated dosimetry and real-time measurement in a device. We demonstrated the feasibility of real-time radiation measurement using a phosphate glass containing europium oxide powder. Furthermore, by adding aluminum and tin to the substrate, we identified another strong luminescent center in the phosphate glass and observed broadband white luminescence under deep ultraviolet excitation.

研究分野：量子ビーム工学

キーワード：リン酸塩ガラス ユウロピウム酸化物 放射線光ルミネセンス ドシメータ

## 1. 研究開始当初の背景

Compact and convenient dosimeter devices can be an effective tool for dose distribution profiling of various radiation fields such as X-rays, protons, and carbon beams used in medical diagnosis and treatment. Phosphate glasses, which is widely used as highly reliable personal dosimeters, exhibits phenomena of radio-photoluminescence (RPL) that corresponds to the total amount of radiation exposed to the device. Unfortunately, the possibility of real-time measurement of the radiation using these phosphate glasses has not yet been fully guaranteed due to the build-up effect.

## 2. 研究の目的

In response to this issue, we have been developing a method of co-adding active centers other than silver and have been studying devices that can simultaneously achieve integrated dosimetry and real-time measurement. Recently, we have demonstrated the feasibility of real-time radiation measurement in phosphates with europium oxide ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) powder. However, another problem raised that the readout wavelength of the RPL from silver activator overlapped with that of radioluminescence (RL) from  $\text{Eu}^+$  activators. More recently, we could find another intense photo and radio luminescence centers in phosphate glass by actively adding aluminum (Al) and tin (Sn) to the substrate. Broadband white luminescence was observed at deep UV excitation below 300 nm. By combining these fluorescent centers with silver activators, we might have a potential to enlarge the possibilities of real-time radiation detection and measurement by RL without background noise during RPL readout is expected to be achieved. In this presentation, we will report a prototype of an aluminum (Al)-doped glass device and the measurement results under various radiation exposure.

## 3. 研究の方法

Phosphate glass (PG) substrate was formed by mixing aluminum metaphosphate ( $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ ) and sodium metaphosphate ( $\text{NaPO}_3$ ) powders with a mass ratio of 1:1 to form the main material. In addition to this major chemical composition, aluminum powder was introduced as an impurity with 0.2 mol% concentration. The entire glass matrix was heated at 1000°C for 2 hours, and then shaped into a hemispherical glass bead structure by rapid cooling method using cylindrical indentations formed on a chrome copper plate. Aluminum co-doped silver activated phosphate glass beads were prepared and 33 connected to an optical fiber (THORLABS: M29L05) via a SMA optical fiber attachment (Amphenol Insert Fibre Optic Connector). Combined with a photomultiplier tube (Photomultiplier tube, PMT: HPK: H1890-01), a real-time measurement device was realized.

## 4. 研究成果

The example of the measurement utilizing developed phosphate glass is shown in Fig. 1. It was confirmed that the RL intensity increased linearly with the increase in the dose measured by a semiconductor dosimeter (RaySafe ThinX RAD X) When the X-ray tube voltage and current were changed, the change in RL was confirmed as well as the dose change. This device is composed of only low atomic number elements and is less likely to cause disturbance in radiological diagnostic images. Fast speed response is quite beneficial to track radiation like scanning ionized particles for the treatment. Further optimization of the device is necessary as a more appropriate and simple real-time measurement material for radiological diagnostic and therapeutic applications.

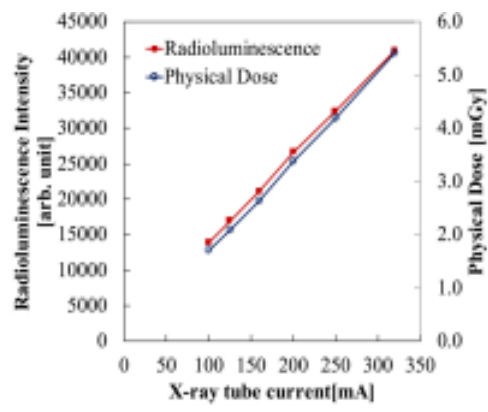


Fig.1. The relationship between radioluminescence from phosphate glass and X-ray tube current.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Akiyama Shun, Nakajima Runa, Sasaki Aika, Kimura Shigeki, Iiduka Kazuya, Akagami Yuki, Sakai Makoto, Hanaizumi Osamu, Kada Wataru	4. 巻 2326
2. 論文標題 Ion beam induced luminescence (IBIL) analysis of europium-activated phosphate glass micro-beads scintillators at clinical carbon beam therapy field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012012 ~ 012012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/2326/1/012012	査読の有無 無
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 Akiyama Shun, Sasaki Aika, Kimura Shigetaka, Iiduka Kazuya, Akagami Yuki, Sakai Makoto, Hanaizumi Osamu, Kada Wataru	4. 巻 62
2. 論文標題 Development of micrometer-scaled aluminum-enriched phosphate glass beads with a silver activator for real-time profile measurement of a clinical carbon beam	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 010615 ~ 010615
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/aca457	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 Akiyama Shun, Sasaki Aika, Nakajima Runa, Hasegawa Daichi, Iizuka Kazuya, Kimura Shigetaka, Akagami Tomoki, Kitagawa Yuichi, Hanaizumi Osamu, Kada Wataru	4. 巻 34
2. 論文標題 Optical Characterization of Phosphate Glass with Additional Aluminum/Tin Impurities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 735 ~ 735
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM3697	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Wataru Kada, Aika Sasaki, Nozomu Kosuge, Shun Akiyama, Sota Orimo, Shigetaka Kimura, Kazuya Iiduka, Yuki Akagami, Naoto Yamada, Takahiro Satoh, Osamu Hanaizumi, and Yasuyuki Isihii
2. 発表標題 Characterization of fluorescent nuclear track detector based on phosphate glass with silver and europium activator by focused proton microbeam
3. 学会等名 18th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications (ICNMTA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加田 涉、佐々木 愛加、秋山 駿、中嶋 留奈、木村 成孝、飯塚 和也、長谷川 大地、赤上 友基、酒井 真理、花泉 修
2. 発表標題 重粒子線がん治療場でのリアルタイム計測を目的としたリン酸塩ガラス材料素子の高度化
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研究グループ第六回研究会（および第22回次世代先端光科学研究会）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加田 涉、佐々木 愛加、織茂 颯汰、小菅 臨、秋山 駿、木村 成孝、飯塚 和也、赤上 友基、山田 尚人、佐藤 隆博、花泉 修、石井 保行
2. 発表標題 集束陽子マイクロビームによる銀,ユーロピウム共添加リン酸塩ガラス線量計の蛍光飛跡検出器としての応答評価
3. 学会等名 2022年 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 秋山駿、佐々木愛加、中嶋留奈、長谷川大地、飯塚和也、赤上友基、北川雄一、花泉修、加田涉
2. 発表標題 Al, Sn添加によるリン酸塩ガラスRPL線量計に生じる発光の特性評価
3. 学会等名 第19回次世代先端光科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shun Akiyama, Runa Nakajima, Aika Sasaki, Shigetaka Kimura, Kazuya Iiduka, Yuki Akagami, Makoto Sakai, Osamu Hanaizumi, Wataru Kada
2. 発表標題 Ion beam induced luminescence (IBIL) analysis of europium-activated phosphate glass micro-beads scintillators at clinical carbon beam therapy field
3. 学会等名 25th International Conference on Ion Beam Analysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

花泉研究室HP  
<http://hanaizumi.ei.st.gunma-u.ac.jp/>  
花泉研究室HP  
<http://hanaizumi.ei.st.gunma-u.ac.jp/>

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