

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：33302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13399

研究課題名(和文) ラジオフォトルミネッセンスを用いた放射線種弁別可能なイメージセンサの開発

研究課題名(英文) Two-dimensional radiation image sensor with the ability to discriminate the radiation types

研究代表者

南戸 秀仁 (Nanto, Hidehito)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：30133466

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：リン酸塩ガラスのラジオフォトルミネッセンス(RPL)現象を利用した放射線種弁別可能な二次元放射線イメージセンサシステムの開発を目指した。その結果、RPLスペクトルを解析することで、放射線の種類の判別が可能であることを明らかにできた。ビーズ状およびシート状ガラス線量計を作製するとともに、シート状ガラス線量計に潜像された放射線の二次元イメージを読み取るための「読み取り装置」作製できた。そして、シート状ガラス線量計を積層することで、放射線のエネルギー弁別可能な放射線モニタリングが構築できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have tried to develop a novel dosimeter system which can discriminate the radiation types. The following results are obtained; It was confirmed that the radiation types can be discriminated utilizing the RPL spectrum analysis. Bead- and sheet-type glass dosimeters were prepared as well as a two-dimensional RPL image reading system which is effective to monitor two dimensional radiation dose distribution. It was found that it is possible to discriminate the energy of radiations utilizing laminated sheet-type glass dosimeter.

研究分野：放射線物性工学

キーワード：放射線量計 ラジオフォトルミネッセンス リン酸塩ガラス シート状ガラス線量計 放射線種弁別
二次元読み取り装置

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災に伴う津波により発生した福島原子力発電所事故により発生した放射能汚染のモニタリングおよびその処置が問題となっている中、いろいろな核種から発生する放射線の線種およびエネルギーを弁別し、かつ二次元にイメージできる放射線センサの開発が強く望まれている。申請者らは、ここ数年、 Ag^+ をドープしたリン酸塩ガラスのラジオフォトルミネッセンス (Radiophotoluminescence: 略して RPL) 現象に着目し、詳細な RPL のメカニズムの解明および X 線やガンマ線はもとより、粒子線に対する応答の評価を行ってきている。また、ガラス線量計を用いた個人被ばく線量計の応用についての研究も推進してきており、ガラスの RPL の研究に関しては世界をリードしてきている。本研究は、このような背景のもと、ガラスの RPL 現象を利用した放射線種およびエネルギーの弁別が可能な二次元放射線イメージセンサの実現を目指すもので、その試みは世界初であり、申請者らの独創的なアイデアならびにこれまでに蓄積してきたガラスにおける RPL 現象における多くの知見をベースに推進される挑戦的萌芽研究である。

2. 研究の目的

Ag^+ をドープしたリン酸塩ガラスの RPL 現象を利用した「放射線種弁別可能な二次元放射線イメージセンサ」の開発を目指し、以下の研究を推進した。①直径が約 0.05mm のガラスビーズを作製し、それらを配列させた「ガラス線量計シート」の作製技術を確認する。その上で②ガラスシートに潜像された放射線の二次元イメージを、RPL 現象を用いて検出するための「読み出し装置」を設計し試作をする。③ガラスシートを積層した三次元イメージセンサの機能設計を行うとともに、④積層したガラスシートの各種放射線に対する RPL 応答を評価することで、その RPL スペクトルから、放射線種およびそのエネルギーを弁別しながら、放射線を二次元イメージングできるセンサシステムを実現し、⑤その応用の可能性を明らかにするとともに、福島原子力発電所の事故により生じた放射能汚染評価への応用を図る。

3. 研究の方法

研究初年度の平成 27 年度には、まず、これまでに蓄積してきた「リン酸塩ガラスの RPL 現象」についての知見をもとに、ガラスシートの作製技術の確立およびガラスシートを積層した三次元放射線イメージセンサの機能設計を並行して行い、どのような構造が最適か？また RPL スペクトルからどのように放射線種とエネルギーを弁別できるかを明らかにする。平成 28 年度には、前年度までに得られた知見をもとに、ガラスシートに

潜像された放射線の二次元イメージを読み取るための「二次元に潜像された放射線量に比例する RPL 信号の読み取り装置」を試作するとともに、ガラスシートを積層したイメージセンサの RPL スペクトルからどのように放射線種及びエネルギーを弁別するかを実験的に検証する。最終年度の平成 29 年度は、前年度までに得られた成果及び知見をもちに、試作した放射線の二次元イメージセンサシステムを用いた応用の検討を行う。

4. 研究成果

本研究では、リン酸塩ガラスの RPL 現象を用いて、放射線種及びエネルギー弁別が可能な二次元放射線イメージセンサシステムの構築をめざし、研究を推進した。そして昨年度までに、RPL 読み取り装置の設計並びに試作を終了し、最終年度の平成 29 年度は、試作したガラスシートと RPL 読み取り装置を用いて、放射線の二次元イメージングの実験を推進した。

図 1 に X 線照射した Ag^+ をドープしたリン酸塩ガラスの典型的な RPL スペクトルを示す

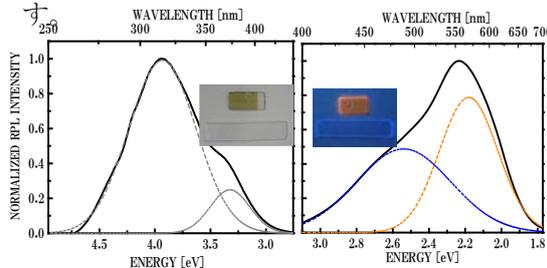


図 1 Ag^+ をドープしたリン酸塩ガラスの典型的な RPL スペクトル (右) とその励起スペクトル (左)

図 1 に示すように、RPL の発光帯は 2 つあり、それぞれ約 460 [nm] にピークを持つブルー発光帯と約 560 [nm] にピークをもつオレンジ発光帯に分離することが可能である。また刺激帯 (励起帯) は約 300 [nm] の紫外域を中心に、複数個存在する。挿入図はそれぞれ X 線照射した際に発生する吸収による着色 (右) 及び紫外線照射により観測される RPL 発光 (左) である。

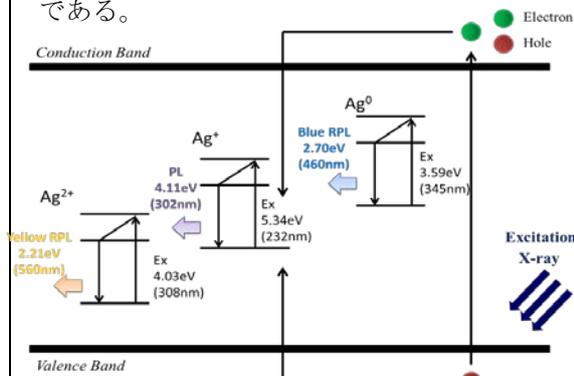


図 2 RPL のオレンジ発光帯及びブルー発光帯に対する起源を表すエネルギーバンドダイアグラム

オレンジ発光帯およびブルー発光帯のオリジンに関しては、これまでの研究により明らかにされており、これまでの研究により明らかにされており、 Ag^+ の形でガラス中に存在する銀イオンが放射線照射により生成された電子およびホールを捕獲し、結果として放射線照射したガラス中に生成された Ag^{2+} (オレンジ発光) および Ag^0 (ブルー発光) がそれぞれの発光のオリジンであると考えられる。図2にそれぞれの発光帯の起源に関するエネルギーバンドモデルを示す。

また、ブルー発光帯及びオレンジ発光帯の強度は、X線などの放射線量に比例して増加することが確認されている(図3参照)。この結果は、 Ag^+ をドープしたリン酸塩ガラスが積算型の放射線量計として使えることを示すものである。

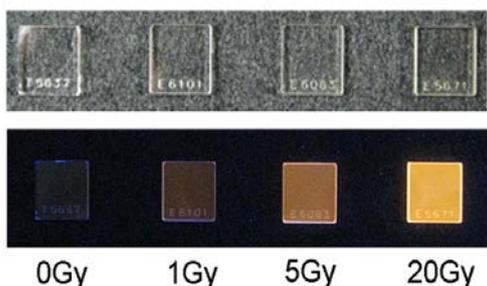


図3 放射線量に対するRPL発光強度(下段)

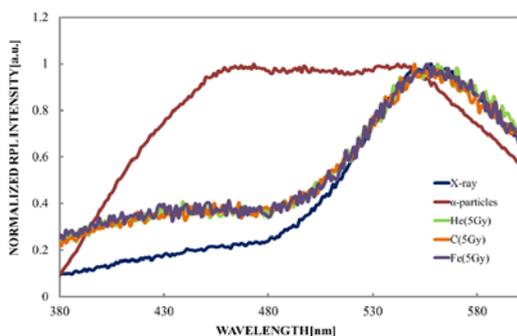


図4 X線、 α 線、重粒子線を照射したガラスのRPLスペクトル

図4に、各種放射線を照射したガラスの典型的なRPLスペクトルを示す。放射線の種類によって、RPLのブルー発光及びオレンジ発光の強度比が異なることが分かる。この結果は、RPLスペクトルにより、放射線種の判別が可能であることを示すものである。

一方、放射線の二次元イメージをモニタリングするためのガラスシートの作製およびガラスシートに潜像された放射線二次元像を読み取るための装置の試作も行った。

まず、ガラスシートを作製するために、約50ミクロンメートルの直径を持つガラスビーズの作製を行った。ガラスビーズの作製にはノズルやガスシリンダー等から構成される一般的なジェットフレームシステムを用いた。図5に、そのジェットフレームプロセス

の概略を示す。

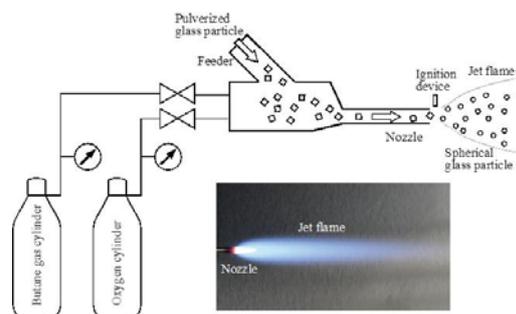


図5 ガラスビーズの作製に用いたジェットフレーム法のプロセス

図6にジェットフレーム法で作製したガラスビーズ(直径約50ミクロンメートル)のRPL発光の様子を示す。かなり均一に発行しているのが分かる。

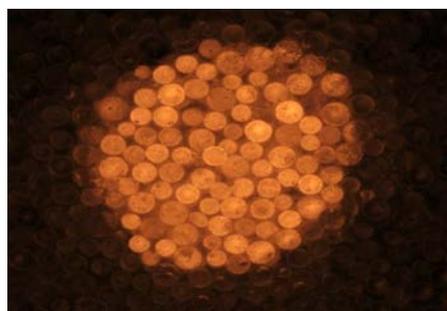


図6 ガラスビーズからのRPL発光の様子

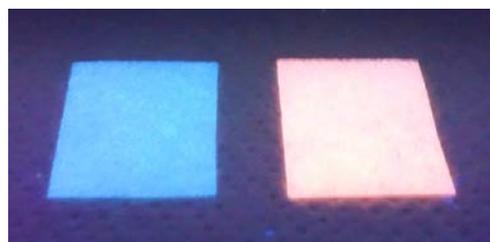


図7ガラスビーズを敷占めて作製したガラスシートからの発光の様子。左は放射線照射前のシートに紫外線を照射し際の発光。右図は放射線照射したシートに紫外線を照射した際の発光の様子

図6に示すような直径約50ミクロンメートルのガラスビーズを敷占めて作製したガラスシートを放射線照射前後で紫外線励起した際の発光の様子を示す。図から放射線照射によりほぼ一様にオレンジ色に発光をするのが分かる。

平成28年度の設備費で試作をした「RPL読み取り装置」の写真を図7に示す。読み取り装置は、放射線像を潜像したシートをセットし、各画素にLED光源を用いて読み出し光をスキャンし、その際発せられるRPL発光

を光センサで受光することにより、放射線二次元イメージを得ることができる。



図7 ガラスシートに潜像された二次元放射線イメージを読み取るための装置の概略

本読み取り装置を用いて、X線あるいは γ 線を照射したガラスシートの二次元放射線イメージを測定した。図8に10「mGy」から200「mGy」の γ 線を照射したガラスシートのRPL発光の強度分布を示す。

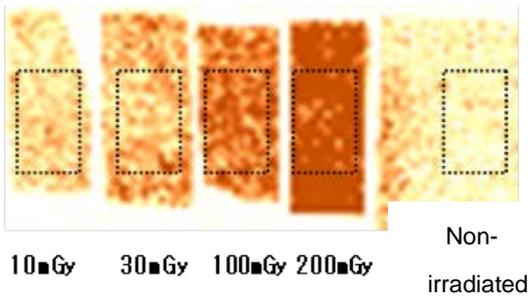


図8 10[mGy]~200「mGy」の γ 線を照射した際のガラスシートのRPL強度分布

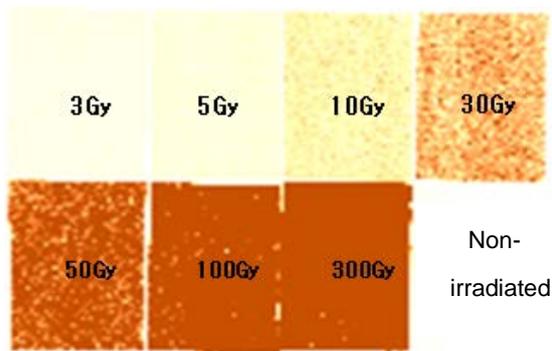


図9 3[Gy]から300[Gy]の γ 線を照射した際のガラスシートのRPL強度分布

図10及び図11に、 γ 線の吸収線量に対するRPL強度の変化を示す。図から約10「mGy」から300「Gy」の γ 線量に対してRPL強度が直線的に変化しているのが分かる。

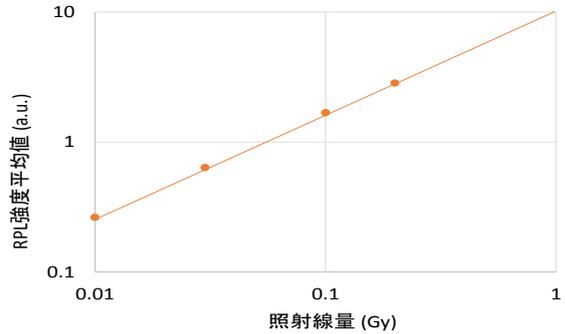


図10 10[mGy]~200「mGy」の γ 線を照射した際のガラスシートのRPL強度変化

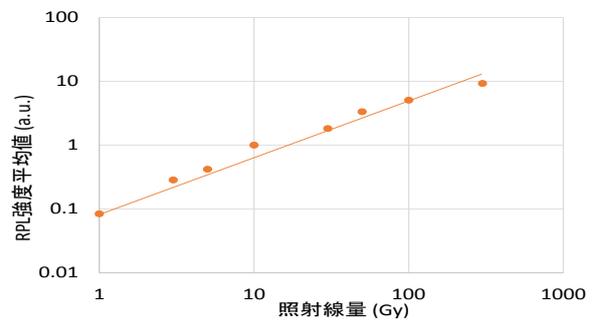


図11 3[Gy]から300[Gy]の γ 線を照射した際のガラスシートのRPL強度変化

以上の結果から、①放射線の二次元像をモニタリングできることを確認した。ただし、A4サイズのシートの全画素を読み取るために約3時間必要であり、スキャンの高速化は課題として残った。②ガラスシートにイメージングできるX線あるいは γ 線の放射線量の下限は、約100mGyであることが明らかにできた。また、さらに感度を上げるには、ガラスシートの放射線感度向上を目指すことが重要であることが分かった。③一応、ガラスシートおよび二次元イメージセンサ装置を用いて、二次元の放射線像をイメージングできるシステムを完成させたが、本研究の最終目標である放射線種および放射線エネルギー弁別可能なイメージセンサシステムの開発には、ガラスシートの感度向上およびシートを積層した形でのモニタリング実験が必要である。これについては今後の課題とし、今後も研究を精力的に推進する予定である。

一方、ガラス線量計の応用のターゲットとしては、今後約50年にわたり行われる福島原発廃炉作業が挙げられる。現在、(株)千代田テクノロとの共同で、原発事故現場における過酷環境での廃炉作業に役に立つビーズ状およびシート状のガラス線量計の開発を進める予定である。具体的には、本研究で試作をした「ガラスシートに潜像された放射線二次元像をRPLにより読み出すシステム」

を用いて、福島原発の内外における放射線量モニタリングの可能性を評価し、その応用を図る。図 12 にビーズ状およびシート状ガラス線量計の応用例を示す。

ビーズ状ガラス線量計に関しては、原発周辺に配布し、定期的に RPL 信号を読み取ることで、環境放射線の推移がモニタリングできると考えている。一方、シート状ガラス線量計に関しては、廃炉に向けた作業の中で、作業用の手袋や作業服に張り合わせることで、作業前後の放射線被ばく管理に役立てることが可能であると考えている。シート状のガラス線量計をラミネートした作業用手袋（被ばく線量の評価が可能）については、現在、アメリカのエル大学と共同でその開発に着手している。



図 12 ビーズ状およびシート状ガラス線量計の応用例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Yuka Miyamoto, Hidehito Nanto, Toshio Kurobori and Takayoshi Yamamoto, RPL in alpha particle irradiated Ag-doped phosphate glass, Radiation Measurements (査読有), 71 (2015) 529-532.
- ② 南戸秀仁, パッシブタイプ線量計を用いた自然環境放射線量モニタリング, ESI-NEWS (簡易な査読有), 4 (2016) 143-154.
- ③ Hidehito Nanto, Yuka Yanagida, Makoto Sugiyama, Yasuhiro Koguchi, Yohei Ihara, Toshiyuki Iida, Kikuo Shimizu, Takuma Ikeguchi, Kazuki Hirasawa, Yoshinori Takei and Takayoshi Yamamoto, Visualization of Radiation Dose Distribution Utilizing Radiophotoluminescence in Glass Dosimeter, Sensors and Materials (査読有), 29 (2017) 1439-1445.
- ④ Hidehito Nanto, Kazuki Hirasawa, Yoshinori Takei, Yuka Yanagida, Makoto Sugiyama, Yasuhiro Koguchi, Takayoshi

Yamamoto and Toshiyuki Iida, Monitoring of Radiation Dose Distribution Utilizing RPL in Glass Dosimeter-Its Application to Radioactive Emergency Sensing- (査読有), Proceedings of IEEE Sensors 2017, (2017) 771-773.

- ⑤ Hidehito Nanto, Photostimulable Storage Phosphor Materials and Their Application to Radiation Monitoring, Sensors and Materials (査読有), 30 (2018) 327-337.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 南戸秀仁, ラジオフィトルミネッセンス現象を用いた放射線量モニタリングと線量分布の可視化(招待講演), グリーンイノベーション研究会(廃止措置等基盤研究), 2015.9.8.
- ② 南戸秀仁, パッシブタイプ線量計用蓄光型蛍光体の機能設計(招待講演), 2016年第77回応用物理学会秋季学術講演会, 2016.9.15.
- ③ Hidehito Nanto, Kazuki Hirasawa, Yoshinori Takei, Yuka Yanagida, Makoto Sugiyama, Yasuhiro Koguchi, Takayoshi Yamamoto and Toshiyuki Iida, Monitoring of Radiation Dose Distribution Utilizing RPL in Glass Dosimeter-Its Application to Radioactive Emergency Sensing- (査読有), Proceedings of IEEE Sensors 2017, 2017.10.31.
- ④ 南戸秀仁, パッシブタイプ放射線量計用蓄光型蛍光体の機能設計(招待講演), 第370回蛍光体同学会講演会, 2017.11.24.
- ⑤ Hidehito Nanto, Kazuki Hirasawa, Yoshinori Takei, Yuka Yanagida, Yasuhiro Koguchi and Takayoshi Yamamoto, Photostimulable phosphor glass for ionizing radiation monitoring, Eurosensors 2018(査読有), 2018.9.11.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南戸 秀仁 (NANTO, Hidehito)
金沢工業大学 工学部 教授
研究者番号：30133466

(2) 研究分担者

竹井 義法 (TAKEI, Yoshinori)
金沢工業大学 工学部 教授
研究者番号：30350755

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

柳田 由香 (YANAGIDA, Yuka)
(株) 千代田テクノロ大洗研究所 研究員