

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：82502

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14294

研究課題名(和文)多様な放射線場における線量評価が可能な銀活性リン酸塩ガラスの高機能化の試み

研究課題名(英文)Challenge for the advanced dosimetry in the various radiation environment with silver-activated phosphate glasses

研究代表者

小平 聡 (Kodaira, Satoshi)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 計測・線量評価部・主任研究員(定常)

研究者番号：00434324

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)：銀活性リン酸塩ガラスは、ラジオフォトルミネッセンス(RPL)と呼ばれる蛍光量を利用した個人線量計として知られている。本研究では、銀活性リン酸塩ガラス単一素子において、RPL発光だけでなく、着色に伴う光学吸収量(OA)とエッチング処理による核飛跡計測(NT)という3種類の物理量を独立に計測し、それらを組み合わせた新しい線量評価法を確立した。RPLとOAの組み合わせにより、ガンマ線に対して10uGyから10kGyにわたる10の9乗程度のダイナミックレンジが得られること、RPLとNTを組み合わせることにより、1 MeV/um以上の重粒子線に対してRPLの応答低下をNTで補完できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This work dedicates to the new approach of radiation dosimetry with silver-activated phosphate glasses (hereafter, Ag-glass) for various radiation fields. The Ag-glasses provide three different signals of 1) radio photo luminescence (RPL), 2) nuclear etched-track and 3) optical absorption at specific peak. The combination of these three signals allows us to widen the dynamic range of measuring dose (from 10 uGy to 10 kGy) and LET (linear energy transfer) (>1 MeV/um). A complementary approach for radiation dosimetry by combining three different signals from the Ag-glass will be applicable in various radiation fields.

研究分野：放射線物理学

キーワード：線量評価 銀活性リン酸塩ガラス RPL 核飛跡 光学的吸収 ガンマ線 重粒子線

1. 研究開始当初の背景

ラジオフォトルミネッセンス (RPL) 現象を利用したガラス素子である銀活性リン酸塩ガラスは、我が国の個人被ばく管理に用いられる線量計の一つとして知られている。これは、素子内に蓄積された放射線線量に比例した強度の蛍光を呈する原理に基づいている。一般には、X線やガンマ線、電子線の線量評価に用いられている。RPLによる線量計測範囲は10 μ Gyから10Gy程度であり、これ以上の線量域になるとRPL発光が飽和するため定量評価が難しい。従来は個人被ばく管理用に用いられているが、加速器や原子炉周辺の場の線量評価にも用いられている。しかしながら、現状の測定範囲では、近年の大型加速器や東京電力福島第一原子力発電所の災害事故以降の廃炉に向けた作業において想定される極めて線量が高い放射線場において、適切な放射線量の測定・管理が難しい。一方で、重粒子線に代表される高LET(線エネルギー付与)粒子に対しては、基準となるガンマ線に対する発光効率がLETの関数として減少することが知られている。特に重粒子線が混在する宇宙放射線場においては、線量を過小評価する傾向にあり、例えば鉄粒子(相対論的速度で135 keV/ μ m程度)の線量を30~40%程度過小評価することが知られている。また、個々のLET情報は得られないので、高LET成分を含んだ混在場ではLETを平均値として評価しているのが現状である。

2. 研究の目的

銀活性リン酸塩ガラスの特徴として、RPL以外に高線量域の放射線照射に伴い着色が起こることが知られている。この着色の濃さが照射線量に依存することは目視で確認できることから、特定波長の光学的吸収を観測すれば定量評価できると期待される。また、リン酸塩ガラスは、化学エッチング処理により核飛跡を観測できる固体飛跡検出器として動作することが知られている。従って、RPL発光とは独立に、重粒子線の核飛跡を同一素子内で観測し、得られる情報を相補的に利用することが原理的に可能となる。本研究では、銀活性リン酸塩ガラスを母材として得られるRPL発光・核飛跡・光学特性の3種類の物理量を最大限に活用することにより、原子炉内の高線量場や、がん治療や宇宙環境の混在場において、定量的に線量評価可能な革新的な放射線計測法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

銀活性リン酸塩ガラスを母材とし、次の3項目について研究を行う。

核飛跡を利用した線量評価

銀活性リン酸塩ガラスの飛跡検出器としての基本性能(化学エッチング特性と感度応

答特性)を系統的に調べる。HIMAC重イオン加速器において、炭素、鉄、クリプトン、キセノン等のさまざまな重粒子線を照射する。これにより、重粒子線の電離損失量に対する、核飛跡感度の変化を調べ、入射粒子のLET値に対する検出器応答の較正と検出閾値に関するデータを取得する。また、LET分解能の評価を併せて行う。

光学的吸収を利用した線量評価

ガンマ線源(¹³⁷Cs 88.8TBq)を用いて、数100Gy~数kGyにわたるレンジでガンマ線照射を行う。照射後のガラスからのRPL発光量を測定し飽和特性を明らかにするとともに、分光光度計を用いた可視光領域における透過・吸収率の変化を測定する。ガラスの着色現象に起因する特徴的なピーク波長を同定し、照射線量との相関関係を調べる。また、HIMAC重イオン加速器からの陽子線、炭素線、鉄イオンを照射し、ガンマ線の応答と比較する。

RPL・核飛跡・光学的吸収の3種類の物理量の相関関係及び動作可能領域

銀活性リン酸塩ガラスのRPL発光に基づく線量値と、最適化を図ったエッチング処理条件を踏まえた核飛跡に基づく線量値の相関関係を明らかにする。両者の情報を利用した線量評価法の開発を行う。また、これらのデータを集約し、RPL発光・核飛跡・光学特性変化の3種類の物理量の相関関係及び動作可能領域を明らかにする。

4. 研究成果

核飛跡を利用した線量評価

7規定の水酸化ナトリウム水溶液70で銀活性リン酸塩ガラスをエッチングする条件において、重粒子線のLETに対する核飛跡感度Sを調べた結果、検出閾値は1 MeV/ μ mであった。Xeビームについてアブソーバーを介したエネルギー減衰させた3点について、LETスペクトルを求めると図1のようになり、LETスペクトルに基づいた吸収線量評価が可能であることが分かった。核飛跡のLETスペクトルからの求めた吸収線量と、従来のRPLから求めた吸収線量を比較するために、それぞれを標準電離箱の測定値で規格化した結果、図2のようになった。核飛跡を用いた場合は電離箱と同等の線量結果となったが、RPLでは70%過小評価していることが分かる。図3は核飛跡で評価した吸収線量とRPLで評価した吸収線量の相関関係を調べたものを示している。LETに対して、RPLと核飛跡の定量値の間には比例関係があることが分かった。これによりRPLで過小評価する線量値については、核飛跡の情報を用いて補正することができると考えられる。

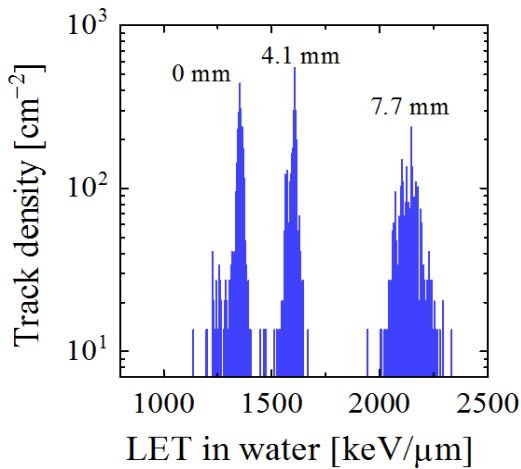


図 1. 290 MeV/n の Xe ビーム照射により得られた、アブソーバ無、水等価厚 4.1mm 通過後、7.7mm 通過後の LET スペクトル。

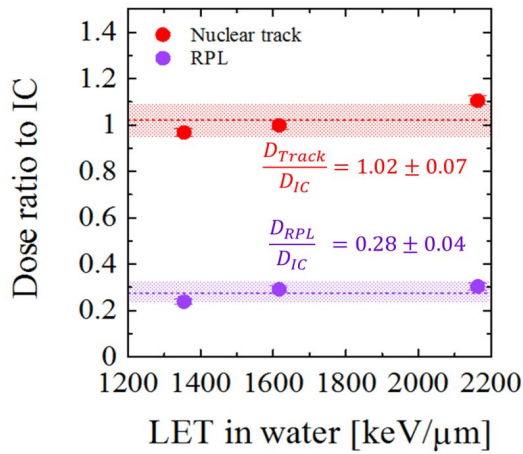


図 2. 核飛跡 (Nuclear track) および RPL でそれぞれ独立に線量評価し、それを標準電離箱 (Ionization Chamber: IC) の測定値で規格化した。核飛跡を用いた吸収線量値は電離箱に対してほぼ 100%であったのに対し、RPL では 28%であった。

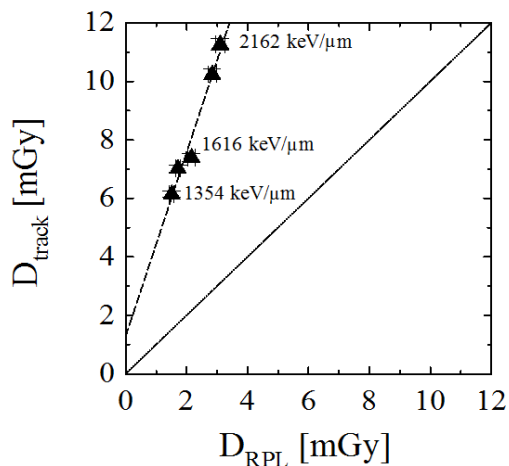


図 3. 核飛跡で評価した吸収線量と RPL で評価した吸収線量の相関関係。

光学的吸収を利用した線量評価

ガンマ線源 (^{137}Cs 88.8TBq) 照射により、5 Gy から 2 kGy にわたる線量レンジにおいて、ガラスの着色に伴って、図 4 のように吸収波長スペクトルが系統的に変化することを確認した。特に、315 nm 付近に観測される吸収ピーク値が照射線量に依存することが分かった。

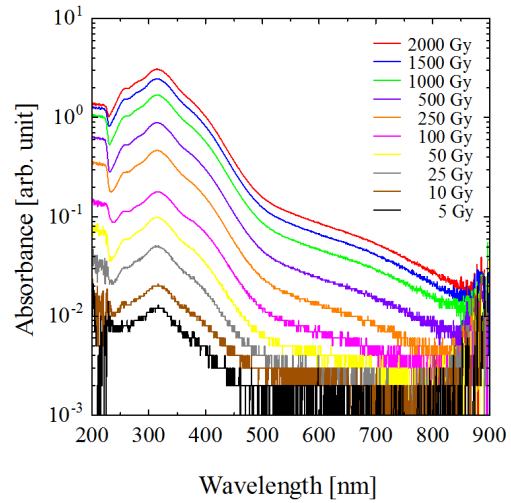


図 4. 紫外可視吸収スペクトル。315 nm にピークを持ち、線量が高いほど吸収量が大きくなる。

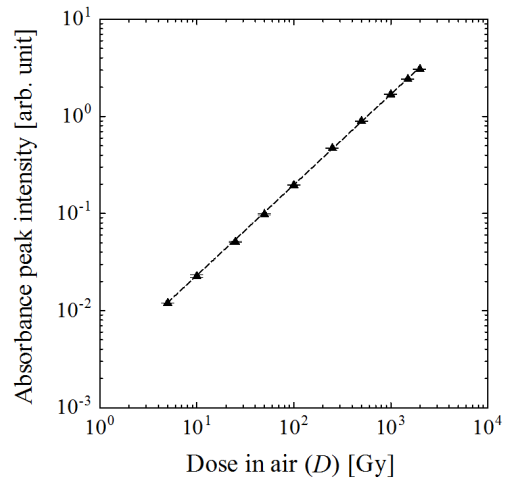


図 5. 315 nm の吸収ピーク値と照射線量の関係。約 3 桁にわたるダイナミックレンジで線形を確認できる。

図 5 に示すように、このピーク波長において、線量に対するピーク強度の線形性を確認した。従来のラジオフォトルミネッセンス (RPL) による線量計測範囲である $10\mu\text{Gy} \sim 10\text{Gy}$ に対して、 $5 \sim 10\text{Gy}$ の重複領域を持ちつつ、 $10\text{Gy} \sim 2\text{kGy}$ の高線量範囲まで線量評価可能であることを確認した。更に、光学的吸収の LET 依存性についても評価を行った。陽子線、炭素線、鉄イオンを $5 \sim 1.5\text{kGy}$ の範囲で照射し、ガンマ線と同様の波長スペクトル

が得られ、315nm にピークが観測された。一方で、イオン種によって、検出可能な OA ピークの下限線量が異なり、高 LET 粒子ほど検出閾値が上昇する傾向にあることが分かった。吸収線量に対するピーク値の傾きを、ガンマ線に対して規格化すると、RPL で観測される LET 依存性と概ね一致することが分かった。これは、単にガラスへの着色ではなく、カラーセンターである Ag^+ がピーク形成に深く関係していると考えられる。

RPL・核飛跡・光学的吸収の3種類の物理量の相関関係及び動作可能領域

同一素子内で、RPL 発光・核飛跡・光学的吸収の独立した3つの物理量を組み合わせた新しい線量評価法を検討した。3つの物理量で得られる測定量・線量域・LET 領域を表1にまとめる。これにより従来の RPL で問題となっていた、高線量域での発光効率の飽和特性や発光効率の LET 依存性、個々の LET 値が計測できない欠点を、光学特性の変化や核飛跡という、独立した異なる物理量を付加することによって、解決できるものと期待される。

	RPL	核飛跡	光学的吸収
測定量	吸収線量	吸収線量 LET	吸収線量
線量域	10 μ Gy - 10 Gy	0.1 mGy - 100 Gy	1 Gy - 10 kGy
LET 領域	≤ 10 keV/ μ m	> 1 MeV/ μ m	N/A

本研究で得られた成果は現在論文投稿準備中である。

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0件)

[学会発表](計1件)

Satoshi Kodaira, Y. Yanagida, Y. Koguchi, H. Kawashima, H. Kitamura, M. Kurano, K. Ogura, "Complementary approach for radiation dosimetry with Ag^+ -activated phosphate glasses",

The 18th International Conference on Solid State Dosimetry, Munich, Germany, July 3rd-8th, 2016.

[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

小平 聡 (KODAIRA, Satoshi)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・計測・線量評価部・主任研究員

研究者番号： 00434324

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()