

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-46462

(P2021-46462A)

(43) 公開日 令和3年3月25日(2021.3.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C09K 11/80 (2006.01)	C09K 11/80	2G188
C09K 11/00 (2006.01)	C09K 11/00	E 4H001
G01T 1/202 (2006.01)	G01T 1/202	
G01T 1/20 (2006.01)	G01T 1/20	B

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2019-168391 (P2019-168391)	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	令和1年9月17日(2019.9.17)	(74) 代理人	100108062 弁理士 日向寺 雅彦
		(74) 代理人	100168332 弁理士 小崎 純一
		(74) 代理人	100146592 弁理士 市川 浩
		(74) 代理人	100157901 弁理士 白井 達哲
		(74) 代理人	100172188 弁理士 内田 敬人
		(74) 代理人	100197538 弁理士 竹内 功

最終頁に続く

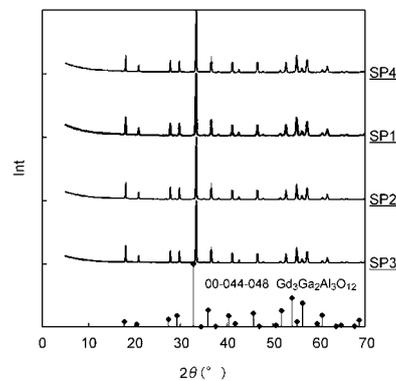
(54) 【発明の名称】放射線検出材料及び放射線検出装置

(57) 【要約】

【課題】蛍光寿命が短い放射線検出材料及び放射線検出装置を提供する。

【解決手段】実施形態によれば、放射線検出材料は、組成物を含む。前記組成物は、ガーネット構造を有する結晶を含む。前記結晶は、Ca、Sr、Ba及びMgよりなる群から選択された少なくとも1つを含む第1元素Mを含む。前記結晶は、 $(Lu_{1-x-y-z}Gd_xMyCe_z)_{3+v}(Al_{1-u}Ga_u)_5O_{12-w}$ 、 $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 0.05$ 、 $0 < z < 0.05$ 、 $0.3 < u < 0.7$ 、 $-0.1 < v < 0.1$ 、 $-0.1 < w < 0.1$ の組成を有する。

【選択図】図1

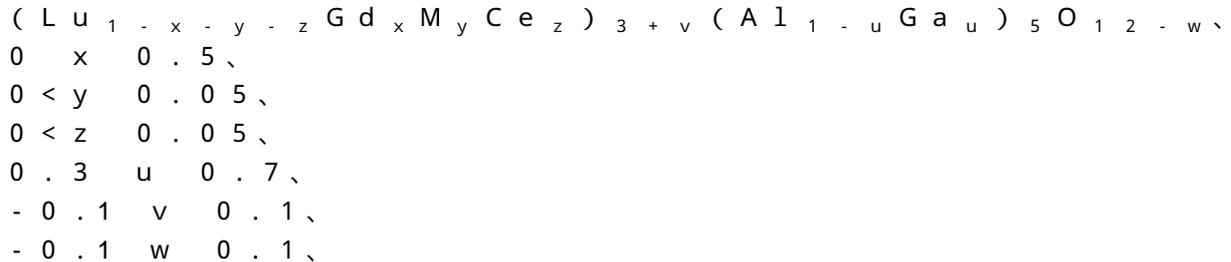


【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガーネット構造を有する結晶を含む組成物を備え、
前記結晶は、Ca、Sr、Ba及びMgよりなる群から選択された少なくとも1つを含む第1元素Mを含み、

前記結晶は、



の組成を有する、放射線検出材料。

【請求項 2】

比 y / z は、0.1%以上50%以下である、請求項 1 記載の放射線検出材料。

【請求項 3】

前記組成物に含まれる前記第1元素Mの濃度は、0%よりも高く5%以下である、請求項 1 または 2 記載の放射線検出材料。

【請求項 4】

前記 y は、0 < y < 0.01 である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の放射線検出材料。

【請求項 5】

前記 z は、0.0001 < z < 0.04 である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の放射線検出材料。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の放射線検出材料と、
前記放射線検出材料から出射した光を検出する検出器と、
を備えた放射線検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、放射線検出材料及び放射線検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、放射線検出器にシンチレータが用いられる。シンチレータにおいて、蛍光寿命が短いことが望まれる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】E. V. D. van Loef et al., "Scintillation properties of LaBr₃:Ce³⁺ crystals: fast, efficient and high-energy-resolution scintillators," Nucl. Instr. and Meth. A 486 (2002) 254 - 258.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態は、蛍光寿命が短い放射線検出材料及び放射線検出装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0005】

本発明の実施形態によれば、放射線検出材料は、組成物を含む。前記組成物は、ガーネット構造を有する結晶を含む。前記結晶は、Ca、Sr、Ba及びMgよりなる群から選択された少なくとも1つを含む第1元素Mを含む。前記結晶は、 $(Lu_{1-x-y-z}Gd_xM_yCe_z)_{3+v}(Al_{1-u}Ga_u)_5O_{12-w}$ 、 $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 0.05$ 、 $0 < z < 0.05$ 、 $0.3 < u < 0.7$ 、 $-0.1 < v < 0.1$ 、 $-0.1 < w < 0.1$ の組成を有する。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1は、放射線検出材料の特性を例示するグラフ図である。

10

【図2】図2は、放射線検出材料の特性を例示するグラフ図である。

【図3】図3は、第2実施形態に係る放射線検出装置を例示する模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚さと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものとは限らない。同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

20

【0008】

(第1実施形態)

実施形態に係る放射線検出材料は、組成物を含む。組成物は、ガーネット構造を有する結晶を含む。結晶は、例えば、

$(Lu_{1-x-y-z}Gd_xM_yCe_z)_{3+v}(Al_{1-u}Ga_u)_5O_{12-w}$ …
(1)

$0 < x < 0.5$ 、

$0 < y < 0.05$ 、

$0 < z < 0.05$ 、

$0.3 < u < 0.7$ 、

$-0.1 < v < 0.1$ 、

$-0.1 < w < 0.1$ 、

の組成を有する。

30

【0009】

第1元素Mは、Ca、Sr、Ba及びMgよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。第1元素MのCeに対する濃度比 y/z は、例えば、0.1%以上50%以下であることが好ましい。実施形態に記載の濃度は、モル濃度を表す。例えば、第1元素Mの少なくとも一部は、結晶中に存在する。第1元素Mの一部は、結晶中に取り込まれずに、組成物中に存在する場合がある。例えば、第1元素Mの一部は、副相に存在しても良い。実施形態において、組成物における第1元素Mの濃度は、例えば、0%よりも高く5%以下である。

40

【0010】

このような放射線検出材料により、蛍光寿命が短い放射線検出材料及び放射線検出装置が得られる。

【0011】

上記の式(1)表される結晶は、例えば、シンチレータ材料である。このシンチレータ材料において、例えば、Ceが発光中心元素となる。シンチレータ材料は、Lu、Gd、Ga、Al及びOを含むガーネット構造を有する。これにより、例えば、放射線(例えば線)が照射された得られる光のピーク波長を、シリコン半導体などに基づく検出器において高い感度が得られる波長に適合することが容易になる。光は、例えば、線により励

50

起されて得られる。光のピーク波長は、例えば、蛍光発光の蛍光成分のピーク波長に対応する。シリコン半導体などに基づく検出器は、例えば、P D (Photodiode) を含む。検出器は、例えば、S i - P M (Silicon photomultiplier) を含む。

【0012】

実施形態に係る結晶は、例えば、高密度である。結晶が高密度であることで線との相互作用の確率が高くなるため、結晶が高密度であることが好ましい。結晶は、高いエネルギー分解能を有している。例えば、蛍光寿命が短く、高密度高発光量かつ高いエネルギー分解能を有するシンチレータ用ガーネット型結晶が得られる。蛍光寿命が短いことで、シンチレータの残光を抑えることができる。このため、例えば、P E T (Positron Emission Tomography) において、空間分解能の高い鮮明な画像を得ることができる。

10

【0013】

実施形態に係る放射線検出材料に含まれる組成物は、例えば、蛍光材料である。上記の式(1)において、酸素の組成比は、約12である。これにより、例えば、結晶がガーネット構造を有する。

【0014】

実施形態において、結晶の全体が、完全なガーネット構造を有していなくても良い。例えば、結晶は、酸素欠損のガーネット構造、または、酸素過剰のガーネット構造を有しても良い。例えば、上記の「x」の値および「y」の値により、酸素欠損の状態、または、酸素過剰の状態が生じ得る。

【0015】

ガーネット構造の酸化物を含む蛍光材料は、放射線に対して安定である。このような蛍光材料は、高い発光強度をもつ。蛍光材料の発光は、X線励起により生成した電子及び正孔が発光イオンにおいて結合することにより生じる。

20

【0016】

上記の「z」は、Ceの量を示す。例えば、 $0 < z \leq 0.05$ が満たされる。「z」が0の場合には、発光中心元素であるCe原子が無い。このため、吸収したX線のエネルギーを光エネルギーに変換することが困難である。「z」が0.05よりも大きい場合、Ce原子どうしの際の距離が短くなりすぎる。このため、エネルギーの回遊(いわゆる濃度消光)が生じ、発光強度が低下し易い。実施形態において、例えば、 $0.0001 \leq z \leq 0.04$ が満たされることが好ましい。これにより、例えば、高い発光強度が得やすくなる。実施形態において、例えば、 $0.0005 \leq z \leq 0.02$ が満たされることが、さらに好ましい。高い発光強度がさらに得やすくなる。

30

【0017】

上記の「x」は、Gdの量を示す。例えば、 $0 \leq x \leq 0.5$ が満たされることが好ましい。 $0 \leq x \leq 0.5$ であることにより、例えば、バンドギャップが増加し、これに伴い発光強度が増加する。 $0 \leq x \leq 0.2$ であることがさらに好ましい。これにより、例えば、無輻射遷移が抑制し易くなる。

【0018】

上記「u」について、 $0.3 \leq u \leq 0.7$ であることが好ましい。 $0.3 \leq u \leq 0.7$ であることで、例えば、Al及びGaのサイト選択性が高まり、結晶性を向上させることができる。 $0.3 \leq u \leq 0.7$ でない場合、例えば、Al及びGaが無秩序にサイトを占め、結晶性の低下を引き起こす場合がある。例えば、 $0.35 \leq u \leq 0.45$ であることが、さらに好ましい。 $0.35 \leq u \leq 0.45$ であることで、結晶性をさらに向上させることができる。

40

【0019】

上記「v」について、 $-0.1 \leq v \leq 0.1$ であることが好ましい。 $-0.1 \leq v \leq 0.1$ であることで、ガーネット構造が形成され易くなる。 $-0.1 \leq v \leq 0.1$ でない場合、例えば、ガーネット構造でない副相が生成される場合がある。例えば、 $-0.05 \leq v \leq 0.05$ であることが、さらに好ましい。 $-0.05 \leq v \leq 0.05$ であることで、ガーネット構造がさらに形成され易くなり、副相の形成を効果的に抑制できる。

50

【0020】

上記「w」について、 $-0.1 < w < 0.1$ であることが好ましい。 $-0.1 < w < 0.1$ であることで、ガーネット構造が形成され易くなる。 $-0.1 < w < 0.1$ でない場合、ガーネット構造でない副相が生成される場合がある。例えば、 $-0.05 < v < 0.05$ であることが、さらに好ましい。 $-0.05 < v < 0.05$ であることで、ガーネット構造がさらに形成され易くなり、副相の形成を効果的に抑制できる。

【0021】

上記の「y」は、第1元素Mの組成比に対応する。結晶が第1元素Mを含むことで、例えば、酸素欠陥に基づく浅いトラップ準位の生成が抑制される。「y」について、 $0 < y < 0.05$ であることが好ましい。発光中心元素であるCeがイオン化した際には、Ce³⁺及びCe⁴⁺の価数が安定である。シンチレータ発光に寄与するのはCe³⁺であるため、Ceの多くがCe³⁺であることが、望ましい。一方、蛍光寿命が増加する要因として、酸素欠陥が形成する浅いトラップ準位からの、蛍光寿命の長い遷移がある。二価イオンが安定である第1元素Mが存在すると、電荷補償のためにCe³⁺の一部がCe⁴⁺となる。生成されたCe⁴⁺が、酸素欠陥に起因する浅いトラップ準位からの蛍光寿命の長い遷移を抑制する。その結果、第1元素Mが存在することで、蛍光寿命が短縮されると考えられる。 $0 < y < 0.05$ であることで、Ce⁴⁺の濃度が、浅いトラップ準位からの蛍光寿命の長い遷移の抑制に効果的な値に適正に制御される。 $0 < y < 0.01$ であることがさらに好ましい。 $0 < y < 0.01$ であることで、Ce⁴⁺の濃度が、浅いトラップ準位からの蛍光寿命の長い遷移の抑制により効果的な値に適正に制御し易くなる。 $0 < y < 0.05$ ではない場合、例えば、Ce⁴⁺の濃度が過度に高くなり、例えば、放射線検出材料（または結晶）における発光の自己吸収を増加させ、発光量が低下し易くなる。

10

20

【0022】

第1元素MのCeに対する比y/z（モル濃度比）は、0.1%以上50%以下であることが好ましい。y/zが0.1%以上50%以下であることで、例えば、Ce³⁺に対するCe⁴⁺の濃度が、浅いトラップ準位の生成抑制に効果的な値に、適正に制御される。y/zが0.1%未満の場合は、浅いトラップ準位からの蛍光寿命の長い遷移を十分に抑制することが難しくなる。y/zが50%を越える場合は、Ce³⁺の濃度が不足し、Ce⁴⁺の濃度が過度に高くなり、線との反応確率の低下、および、放射線検出材料（または結晶）における発光の自己吸収の増加を引き起こし、発光量が低下し易くなる。

30

【0023】

組成物に含まれる第1元素Mの濃度は、例えば、0%よりも高く5%以下である。組成物に含まれる第1元素Mの濃度は、例えば、より好ましくは0%よりも高く1%以下である。

【0024】

組成物は、例えば、次のように作製することができる。原料粉末として、ルテニウム化合物、セリウム化合物、アルミニウム化合物、ガリウム化合物、及び、第1元素Mを含む化合物を目的の組成となるように秤量し、混合する。混合は、乾式でも湿式でもよい。このようにして作製した混合物を大気雰囲気中にて1300以上1700以下で熱処理する。このとき、原料の分解および組成物の生成が不十分にならないように、かつ生成した組成物が分解、溶融または昇華しないように温度条件を決定する。例えば、熱処理時間は、好ましくは1時間以上30時間以下である。温度条件に合わせて熱処理時間を変えても良い。

40

【0025】

以下、発明者が行った実験結果の例について説明する。

【0026】

第1試料は、以下のようにして作製される。原料粉末として、酸化ルテチウム(Lu₂O₃)粉末、酸化セリウム(CeO₂)粉末、酸化アルミニウム(Al₂O₃)粉末、酸化ガリウム(Ga₂O₃)粉末、及び、炭酸ストロンチウム(SrCO₃)が準備される。これらの原料粉末が、(Lu_{0.98}Sr_{0.01}Ce_{0.01})₃(Al_{0.6}Ga

50

$0.4)_{5}O_{12}$ の組成になるように混合される。

【0027】

原料粉末の混合物が、大気雰囲気中にて1450 で12時間の条件で熱処理される。これにより、 $(Lu_{0.99}Ce_{0.01})_3(Al_{0.6}Ga_{0.4})_5O_{12}$ で表わされる組成を有する酸化物が得られる。この酸化物は、ガーネット構造を有する。この酸化物が粉碎され、第1試料の粉末が得られる。

【0028】

第1試料における炭酸ストロンチウムを炭酸カルシウム($CaCO_3$)に変更し、それ以外は、第1試料と同様の処理を行い、第2試料の粉末が得られる。

【0029】

第1試料における炭酸ストロンチウムを炭酸マグネシウム($MgCO_3$)に変更し、それ以外は、第1試料と同様の処理を行い、第3試料の粉末が得られる。

【0030】

第4試料は、以下のようにして得られる。原料粉末として、酸化ルテチウム(Lu_2O_3)粉末、酸化セリウム(CeO_2)粉末、酸化アルミニウム(Al_2O_3)粉末、及び、酸化ガリウム(Ga_2O_3)粉末が準備される。これらの原料粉末が、 $(Lu_{0.99}Ce_{0.01})_3(Al_{0.6}Ga_{0.4})_5O_{12}$ になるように混合される。原料粉末の混合物が、第1試料と同様に熱処理され、粉碎され、第4試料の粉末が得られる。

【0031】

これらの試料について、アルカリによる融解後、ICP発光分光法による分析が行われる。分析には、日立ハイテックサイエンス(株)製SPS-3520UVが用いられる。分析の結果は以下である：

第1試料において、Al及びGaの濃度の和を5として規格化した場合、Luの組成比は3.00であり、Ceの組成比は0.03であり、Gaの組成比は2.00であり、Alの組成比は3.00であり、Oの組成比は11.7であり、Srの組成比は0.001である。第1試料において、 $x = 0$ 、 $y = 0.00033$ 、 $z = 0.0099$ 、 $u = 0.4$ 、 $v = 0.031$ 、 $w = 0.3$ である。

【0032】

第2試料において、Al及びGaの濃度の和を5として規格化した場合、Luの組成比は2.98であり、Ceの組成比は0.03であり、Gaの組成比は1.98であり、Alの組成比は3.02であり、Oの組成比は11.7であり、Caの組成比は0.001である。第2試料において、 $x = 0$ 、 $y = 0.00033$ 、 $z = 0.01$ 、 $u = 0.4$ 、 $v = 0.011$ 、 $w = 0.3$ である。

第3試料において、Al及びGaの濃度の和を5として規格化した場合、Luの組成比は2.97であり、Ceの組成比は0.03であり、Gaの組成比は1.96であり、Alの組成比は3.04であり、Oの組成比は11.5であり、Mgの組成比は0.001である。第3試料において、 $x = 0$ 、 $y = 0.00033$ 、 $z = 0.01$ 、 $u = 0.394$ 、 $v = 0.001$ 、 $w = 0.5$ である。

【0033】

第4試料において、Al及びGaの濃度の和を5として規格化した場合、Luの組成比は3.00であり、Ceの組成比は0.03であり、Gaの組成比は1.98であり、Alの組成比は3.02であり、Oの組成比は11.7である。第4試料において、 $x = 0$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0.01$ 、 $u = 0.4$ 、 $v = 0.03$ 、 $w = 0.3$ である。

【0034】

図1は、放射線検出材料の特性を例示するグラフ図である。

図1は、上記の試料のX線回折(X-ray Diffraction: XRD)パターンを例示している。図1の横軸は、角度 2θ (°)である。図1の縦軸は、得られるピークの強度Intensity (任意単位)である。図1には、第1~第4試料SP1~SP4の回折パターンに加えて、「00-044-048 Gd₃Ga₂Al₃O₁₂」のPDF (Powder Diffraction File)パターンが例示されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

図 1 から分かるように、第 1 ~ 第 4 試料 S P 1 ~ S P 4 において、0 0 - 0 4 4 - 0 4 8 G d ₃ G a ₂ A l ₃ O _{1 2}」の P D F パターンと同様のプロファイルが得られる。このことから、第 1 ~ 第 4 試料 S P 1 ~ S P 4 がガーネット構造を有することがわかる。

【 0 0 3 6 】

第 1 ~ 第 4 試料 S P 1 ~ S P 4 について、以下のシンチレーション特性の評価が行われる。試料に照射される放射線として、C s ^{1 3 7} コイン線源より生じる 6 6 7 k e V の線が用いられる。線を試料に照射したときの発光量及び蛍光寿命が測定される。試料が光電子増倍管上に光学グリースを用いて接着される。それらをステンレス鋼のケース内に設置される。ケースの上に C s ^{1 3 7} コイン線源が配置される。C s ^{1 3 7} コイン線源からの線が試料に照射され、生じる発光が光電子増倍管で検出される。得られる信号が増幅器で増幅される。発光量は、マルチチャンネルアナライザにより得られるパルス波高スペクトルにより評価される。蛍光寿命は、デジタルオシロスコープにより得られるシンチレーション減衰曲線により評価される。

10

【 0 0 3 7 】

図 2 は、放射線検出材料の特性を例示するグラフ図である。

図 2 は、1 つの例として、第 1 試料 S P 1 におけるパルス波高スペクトルを示す。図 2 において、横軸は、チャンネル値 C h である。縦軸は、カウント数 C n t である。図 2 において、波高スペクトルの x 切片の値が、発光量に相当する。他の試料についても同様な評価が行われる。

20

【 0 0 3 8 】

評価結果は、以下である：

第 1 試料 S P 1 において、発光量（相対値）は 1 . 0 0 であり、蛍光寿命は 5 3 n s である。第 2 試料 S P 2 において、発光量（相対値）は 1 . 0 0 であり、蛍光寿命は 5 0 n s である。第 3 試料 S P 3 において、発光量（相対値）は 0 . 8 9 であり、蛍光寿命は 5 3 n s である。第 4 試料 S P 4 において、発光量（相対値）は 1 . 0 0 であり、蛍光寿命は 5 5 n s である。

【 0 0 3 9 】

このように、第 1 ~ 第 3 試料 S P 1 ~ S P 3 においては、第 4 試料 S P 4 に比べて短い蛍光寿命が得られる。

30

【 0 0 4 0 】

（第 2 実施形態）

図 3 は、第 2 実施形態に係る放射線検出装置を例示する模式図である。

図 3 に示すように、第 2 実施形態に係る放射線検出装置 1 5 0 は、放射線検出材料 1 1 0 及び検出器 2 0 を含む。放射線検出材料 1 1 0 は、第 1 実施形態に係る放射線検出材料及びその変形を含む。検出器 2 0 は、放射線検出材料 1 1 0 から出射した光 1 0 L を検出する。放射線検出材料 1 1 0 は、組成物 1 0 を含む。組成物 1 0 は、上記の結晶 1 1、及び、上記の第 1 元素 1 2 を含む。

【 0 0 4 1 】

例えば、検査対象 5 0 から放射線 8 0（例えば線）が出射する。放射線 8 0 が、放射線検出材料 1 1 0 に入射し、光 1 0 L が放出される。検出器 2 0 により光を検出することで、検査対象 5 0 に関する情報が得られる。

40

【 0 0 4 2 】

放射線検出装置 1 5 0 は、例えば、陽電子放射断層撮影システムを含んでも良い。

【 0 0 4 3 】

実施形態は、例えば、G d、A l 及び G a を含む組成のガーネット型の酸化物の蛍光材料に関する。実施形態は、例えば、シンチレータ材料に関する。

【 0 0 4 4 】

シンチレータは、例えば、線、線、線及び X 線等の放射線を吸収し、蛍光を発する。シンチレータと、蛍光を検出するフォトダイオードと、を組み合わせることによって

50

、射線を検出することができる。シンチレータは、例えば、陽電子放射断層撮影（PET）装置、及び、X線コンピュータ断層装置（CT装置）などの医療画像装置に用いられる。シンチレータは、例えば、非破壊検査などの工業分野で用いられる。シンチレータは、例えば、手荷物検査などのセキュリティ分野で用いられる。シンチレータは、例えば、資源探査分野、または、高エネルギー物理学などの学術分野等の多様な応用分野で用いられる。

【0045】

一般に、放射線検出器は、シンチレータと、シンチレータ光を受光し電気信号等に変換する受光素子と、を含む。

【0046】

例えば、陽電子放射断層撮影法（PET）による癌診断では癌細胞の周りに集結する性質を持つブドウ糖と、微量の放射性同位体と、を含む薬剤が患者に投与される。薬剤から発するガンマ線が、シンチレータにより、低エネルギーの光子に変換される。その光子が、例えば、光検出器により電気信号に変換される。光検出器は、例えば、フォトダイオード（PD）、シリコンフォトマルチプライヤー（Si-PM）、または、光電子増倍管（PMT）などを含む。電気信号のデータが、コンピュータなどにより処理され、画像等の情報が得られ、癌の位置を発見している。

【0047】

例えば、互いの逆方向の2つの線が放出される。例えば、PET装置では、円周形上に複数の放射線検出器（シンチレータ及び光検出器を含む）が設けられる。線が照射された2つの位置シンチレータが光を出射し、その光を光検出器が電気信号に変える。電気信号が電気回路及びソフトウェアにより、画像が得られる。

【0048】

例えば、高エネルギー物理学における放射線検出器において、シンチレータが放射線を複数の低エネルギー光子に変換し、その光子が受光素子で電気信号に変換される。

【0049】

PD及びSi-PMは、放射線検出器及びイメージング機器において、広く用いられている。シリコン半導体を含むPD及びSi-PMにおいて、感度の高い波長は、例えば、450nm～700nmであり、600nm付近で最も感度が高くなる。シリコン半導体を含むPD及びSi-PMは、例えば、600nm付近に発光ピーク波長を有するシンチレータと組み合わせて使用される。

【0050】

放射線イメージングには、例えば、シンチレータアレイと、光検出器アレイと、を含む組み合わせが用いられる。光検出器として、例えば、位置敏感型PMTが用いられる。光検出器として、例えば、半導体光検出器のアレイが用いられる。半導体光検出器のアレイは、例えば、PDアレイ、アパランシェ・フォトダイオード・アレイ（APDアレイ）、または、ガイガーモードAPDアレイなどを含む。光検出器により、シンチレータアレイに含まれる、光を放出したシンチレータを決定する。これにより、放射線が入射した、シンチレータアレイの位置を知ることができる。

【0051】

放射線検出器に適するシンチレータには、例えば、検出効率の点から、密度が高く原子番号が大きいこと（光電吸収比が高いこと）が求められる。放射線検出器に適するシンチレータには、例えば、高速応答の必要性や高エネルギー分解能の点から、発光量が多く、蛍光寿命（蛍光減衰時間）が短いことが望まれる。例えば、シンチレータの発光波長が光検出器の検出感度の高い波長域と適合することが望まれる。

【0052】

シンチレータとして、例えば、ガーネット構造を有するシンチレータがある。ガーネット構造を有するシンチレータは、化学的に安定で、劈開性や潮解性が無く、加工性に優れる。

【0053】

10

20

30

40

50

セリウムがドーブされたシンチレータは、高エネルギー物理学、医学イメージング、地質探査、または、国土安全保障を含む様々な用途において、高エネルギー光子及び粒子を検出するために光検出器と共に使用される。これらのシンチレータにおいて、例えば、高シンチレーション光収率、高速シンチレーション動態（減衰時間及び立上り時間の両方において）、良好なエネルギー解像度、高比例性、及び/または、外光の曝露に相対的に非感受であること、が望まれる。

【0054】

これらの要望を達成するためには、例えば、シンチレーション過程を妨げる可能性がある電子/正孔トラップ、または、その他の欠陥の少ない（または無い）組成物を得ることが望まれる。シンチレータにおいて、広い温度範囲にわたって良好な性能を有する、良好な熱応答特性が望まれる。

10

【0055】

例えば、高い光出力と、高速応答性と、両立が困難な傾向がある。例えば、比較的高い光出力と、高速応答性に支配的な短い蛍光寿命と、有する材料として、 LaBr_3 がある。しかし、この材料は、潮解性を有するため、実用性の観点で不十分であると考えられる。例えば、高い光出力と、短い蛍光寿命と、を有し、化学的に安定なシンチレータ材料が望まれる。

【0056】

実施形態によれば、蛍光寿命が短い放射線検出材料及び放射線検出装置が提供できる。

【0057】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、放射線検出材料及び放射線検出装置に含まれる組成部、結晶、第1元素及び検出器などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

20

【0058】

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0059】

その他、本発明の実施の形態として上述した放射線検出材料及び放射線検出装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての放射線検出材料及び放射線検出装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

30

【0060】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと了解される。

【0061】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

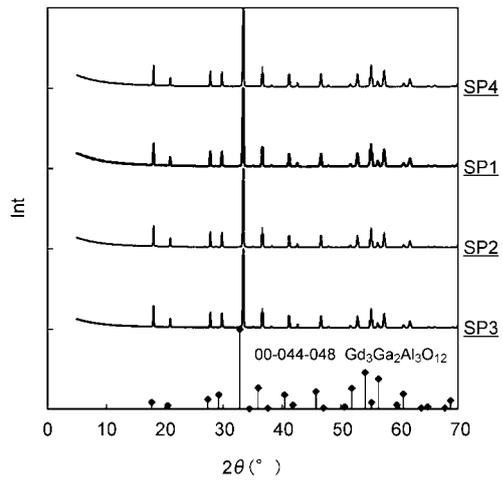
40

【符号の説明】

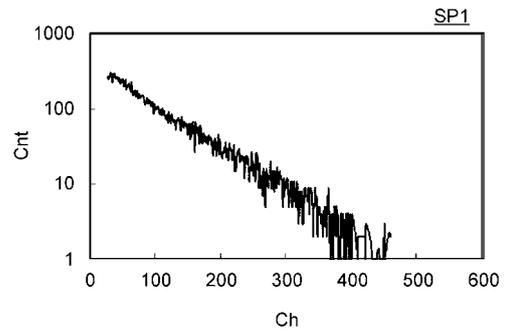
【0062】

10 ... 組成物、 10L ... 光、 11 ... 結晶、 12 ... 第1元素、 20 ... 検出器、
50 ... 検査対象、 80 ... 放射線、 110 ... 放射線検出材料、 150 ... 放射線検出装置、
Ch ... チャネル値、 Cnt ... カウント数、 Int ... 強度、 SP1 ~ SP4 ...
第1 ~ 第4 試料

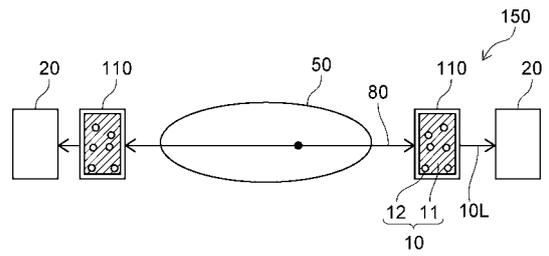
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 福田 由美

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 アルベサル 恵子

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 越崎 健司

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

Fターム(参考) 2G188 AA02 AA03 AA27 BB02 BB04 BB05 BB06 CC09 CC21 CC22
CC23 DD05
4H001 CA04 XA08 XA12 XA13 XA20 XA31 XA38 XA56 XA64 XA71
YA58