

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5609327号
(P5609327)

(45) 発行日 平成26年10月22日 (2014. 10. 22)

(24) 登録日 平成26年9月12日 (2014. 9. 12)

(51) Int. Cl.

F I

C O 9 K 11/62 (2006. 01)

C O 9 K 11/62 C P B

G O 1 T 1/20 (2006. 01)

G O 1 T 1/20 B

G O 1 T 1/202 (2006. 01)

G O 1 T 1/202

G O 1 T 1/161 (2006. 01)

G O 1 T 1/161 C

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2010-151330 (P2010-151330)
 (22) 出願日 平成22年7月1日 (2010. 7. 1)
 (65) 公開番号 特開2012-12527 (P2012-12527A)
 (43) 公開日 平成24年1月19日 (2012. 1. 19)
 審査請求日 平成25年6月11日 (2013. 6. 11)

(73) 特許権者 000149734
 株式会社大真空
 兵庫県加古川市平岡町新在家字鴻野 1 3 8
 9 番地
 (74) 代理人 110000947
 特許業務法人あーく特許事務所
 (72) 発明者 加納 正孝
 兵庫県加古川市平岡町新在家字鴻野 1 3 8
 9 番地 株式会社大真空内
 (72) 発明者 若宮 章
 兵庫県加古川市平岡町新在家字鴻野 1 3 8
 9 番地 株式会社大真空内
 (72) 発明者 山ノ井 航平
 大阪府箕面市粟生間谷東 5 - 1 2 - 4 - 1
 0 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シンチレータ材料、及びシンチレーション検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線の入射により、蛍光を発するシンチレータ材料であって、
 C 面を主面とする板状の酸化亜鉛の種結晶の + C 面上又は - C 面上に結晶成長した酸化
 亜鉛単結晶からなり、
 前記酸化亜鉛単結晶中に I n と L i とを含有し、
 前記蛍光の蛍光寿命が 2 0 p s 未満であり、
 前記酸化亜鉛単結晶中の L i 濃度が、I n 濃度の 0 . 1 5 倍以上 ~ 1 1 倍以下であるこ
 とを特徴とするシンチレータ材料。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシンチレータ材料であって、
 前記蛍光が、蛍光寿命が 2 0 p s 未満の 1 つの成分のみからなることを特徴とするシン
 チレータ材料。

【請求項 3】

請求項 1 又 2 に記載のシンチレータ材料であって、
 前記酸化亜鉛単結晶中の L i 濃度が、I n 濃度の 0 . 1 5 倍以上 ~ 6 . 7 4 倍以下であ
 ることを特徴とするシンチレータ材料。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載のシンチレータ材料からなるシンチレータを備えた
 ことを特徴とするシンチレーション検出器。

10

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線の入射により蛍光を発するシンチレータ材料、及びこのシンチレータ材料からなるシンチレータを備えたシンチレーション検出器に関する。

【背景技術】

【0002】

シンチレーション検出器は、シンチレータに、X線、 γ 線、及び β 線等の電離放射線を照射し、これにより、シンチレータが発した蛍光を、光電子倍增管で増幅して検出するものである。

10

【0003】

このようなシンチレーション検出器の応用の1つとして、陽電子が消滅するときに放出する γ 線を検出するPET装置(Positron Emission Tomography)がある。PET装置では、比較的エネルギーの高い γ 線を同時計数により検出するため、感度が高く、且つ応答速度の速いシンチレーション検出器が採用されている。

【0004】

また、近年、TOF(Time-Of-Flight)型等の次世代PET装置の開発が試みられている。このような次世代型PET装置では、高い時間分解能が要求されるため、特に蛍光寿命の短いシンチレータを必要とする。

【0005】

20

このようなシンチレータの材料(シンチレータ材料)としては、現在、酸化亜鉛単結晶が使用されている。酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命は、 BaF_2 等からなる他のシンチレータ材料と比べ、蛍光寿命が短い。また、潮解性がなく、空气中で安定しているため、取り扱いが容易である上、水熱合成法により作製することで、大量生産が可能である。

【0006】

例えば、特許文献1には、Al、Ga、In等をドーピングした酸化亜鉛単結晶からなるシンチレータ材料が開示されている。この特許文献1に開示のシンチレータ材料は、放射線の入射により、蛍光寿命が約600psの蛍光を発する。

【0007】

また、特許文献2には、ドナー不純物としてのSb、Bi、In、又はGeと、アクセプター不純物としてのLiとをドーピングした酸化亜鉛単結晶からなるシンチレータ材料が開示されている。この特許文献2に開示のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光は、蛍光寿命が30~60psと250~800psの2つの成分からなる。1つの成分の蛍光寿命30~60psは、特許文献1に開示のシンチレータ材料が発する蛍光の蛍光寿命600psと比べて、極めて短い。このため、特許文献2に開示のシンチレータ材料は、特許文献1に開示のシンチレータ材料と比べて、蛍光寿命が短く、高い時間分解能が要求される次世代型PET装置のシンチレータの材料に適している。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

40

【特許文献1】WO2005/114256号公報

【特許文献2】特開2009-286856号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、上記したように、次世代型PET装置では、高い時間分解能が要求される。時間分解能は、シンチレータの蛍光寿命が短ければ短いほど向上するため、シンチレータ材料において、さらなる蛍光寿命の短寿命化が望まれている。具体的には、シンチレータ材料において、そのシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光の蛍光寿命を20ps未満とすることが望まれている。

50

【 0 0 1 0 】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであって、蛍光寿命の短いシンチレータ材料、及びこのシンチレータ材料からなるシンチレータを備えたシンチレーション検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明に係るシンチレータ材料は、放射線の入射により、蛍光を発するシンチレータ材料であって、C面を主面とする板状の酸化亜鉛の種結晶の+C面上又は-C面上に結晶成長した酸化亜鉛単結晶からなり、前記酸化亜鉛単結晶中にInとLiとを含有し、前記蛍光の蛍光寿命が20ps未満であり、前記酸化亜鉛単結晶中のLi濃度が、In濃度の0.15倍以上～1.1倍以下であることを特徴とする。この場合、前記酸化亜鉛単結晶中のLi濃度が、In濃度の0.15倍以上～6.74倍以下であることが好ましい。なお、本願発明において、蛍光寿命とは、蛍光の発光強度が最大値に達してから、その発光強度が最大値の1/e x pに減衰するまでの時間をいうものとする。

10

【 0 0 1 2 】

この本発明に係るシンチレータ材料では、放射線の入射により発せられる蛍光として、ドナーアクセプター対発光(DAP発光)が観察される。具体的には、シンチレータ材料に放射線が入射すると、価電子帯の電子が伝導帯に励起され、伝導帯には自由電子が生成される一方、価電子帯には正孔が生成する。自由電子は、Inにより形成されたドナー準位にトラップされ、同時に正孔がLiにより形成されたアクセプター準位にトラップされる。その後、自由電子と正孔が再結合して発光する。この現象をDAP発光という。本発明のシンチレータ材料において、放射線の入射により観察されるDAP発光には、蛍光寿命が20ps未満の成分があり、この成分の蛍光寿命は、従来の酸化亜鉛単結晶からなるシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光の1成分の蛍光寿命30～60psと比べて低い。このため、本発明のシンチレータ材料は、蛍光寿命が30ps以上の複数の成分からなる蛍光を発する従来のシンチレータ材料と比べて、蛍光寿命が短いものとなっている。また、Li濃度が、In濃度の0.15倍以上～1.1倍以下(好ましくは、0.15倍以上～6.74倍以下)の酸化亜鉛単結晶は、水熱合成法等により、結晶欠陥の少ない高品質な状態で製造され得る。

20

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係るシンチレータ材料において、当該シンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光は、蛍光寿命が20ps未満の1つの成分のみからなることが好ましい。この場合には、シンチレータ材料が発する蛍光の蛍光寿命をより短くすることができる。

30

【 0 0 1 5 】

また、本発明に係るシンチレーション検出器は、上記した本発明に係るシンチレータ材料からなるシンチレータを備えることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

この本発明に係るシンチレーション検出器は、本発明に係るシンチレータ材料からなるシンチレータを備えるものであるから、高い時間分解能を有する。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、蛍光寿命の短いシンチレータ材料、及びこのシンチレータ材料からなるシンチレータを備えたシンチレーション検出器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図1】図1は、本実施の形態に係るシンチレータ材料の製造に使用する単結晶育成炉の内部構成を示す断面図である。

【図2】図2は、本実施の形態に係るシンチレータ材料のLi/In比に対する蛍光寿命を比較例と比較して示す図である。

50

【図 3】図 3 は、本実施の形態に係るシンチレータ材料が放射線の入射により発した蛍光の発光強度の経時変化を説明するための図であり、図 3 (a) は、比較例 5 に係るシンチレータ材料が放射線の入射により発した蛍光の発光強度の経時変化を示す図であり、図 3 (b) は、実施例 1 に係るシンチレータ材料が放射線の入射により発した蛍光の発光強度の経時変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

本実施の形態に係るシンチレータ材料は、 In と Li とを含有する酸化亜鉛単結晶からなる。そこで、本発明に係るシンチレータ材料を構成する酸化亜鉛単結晶の製造方法について、以下に説明する。

10

【 0 0 2 0 】

<シンチレータ材料の製造法>

- 単結晶育成炉の構成説明 -

先ず、単結晶育成用溶液（以下、単に育成用溶液と呼ぶ）を使用して水熱合成法により単結晶の育成を行うための単結晶育成炉（以下、単に育成炉と呼ぶ）の構成について説明する。

【 0 0 2 1 】

図 1 に示すように、育成炉 1 は、炉本体 2 の外周囲に電気炉 3 が配設されている。この電気炉 3 によって炉本体 2 が加熱されるようになっている。上記炉本体 2 は、上部が開放された有底円筒状であり、上端開口 2 1 には、炉本体 2 の内部を密閉するための蓋体 2 2 が装着されている。この蓋体 2 2 には、炉本体 2 の内部圧力を計測するための圧力計 2 2 a が取り付けられている。更に、炉本体 2 の内部には、白金製の円筒状の育成容器 2 4 が収められている。この育成容器 2 4 の内部空間 4 は密閉されており、この内部空間 4 の上下方向中間位置には対流制御板 2 3 が配設されている。この対流制御板 2 3 によって、育成容器 2 4 の内部空間 4 は、下側の原料室 4 1 と上側の育成室 4 2 とに仕切られている。

20

【 0 0 2 2 】

上記原料室 4 1 には、育成用原料である酸化亜鉛の単結晶原料 5 , 5 , ... が収容されている。一方、育成室 4 2 には、単結晶育成棚 6 1 に支持された複数枚の種結晶 6 , 6 , ... が収容されている。

【 0 0 2 3 】

また、この育成容器 2 4 の内部空間 4 には、育成用溶液（アルカリ溶液）が充填されている。

30

【 0 0 2 4 】

本実施の形態では、単結晶原料 5 に、直径 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ の酸化亜鉛粉末と直径 $1 \sim 25 \mu\text{m}$ の酸化インジウム (In_2O_3) 粉末の混合物を加圧プレス機によって成形し、 $1000 \sim 1400$ の酸素雰囲気あるいは大気雰囲気で焼成した焼結体を使用した。

【 0 0 2 5 】

また、種結晶 6 としては、六方晶の C 面である (0 0 0 1) 面に平行に切断された C 面を主面とする板状の酸化亜鉛単結晶を使用した。

【 0 0 2 6 】

また、育成用溶液としては、 KOH の水溶液に、 Li が添加されたものを使用した。なお、育成用溶液には、 KOH に代えて、 NaOH 、 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 等のアルカリの水溶液に Li を添加したものを使用することも可能である。

40

【 0 0 2 7 】

- 単結晶育成動作の説明 -

上記の如く単結晶原料 5 及び種結晶 6 が収容され、且つ育成用溶液が充填された育成炉 1 による単結晶育成動作について以下に説明する。

【 0 0 2 8 】

この育成動作では、上記電気炉 3 によって炉本体 2 を加熱する。この加熱状態としては、育成室 4 2 よりも原料室 4 1 が高温となるように設定し、この温度差によって、育成用

50

溶液を高温高压の元で原料室 4 1 と育成室 4 2 との間を自然対流させる。

【 0 0 2 9 】

これにより、原料室 4 1 で単結晶原料 5 の溶解した育成用溶液が、育成室 4 2 に達する。この際、育成用溶液は、冷却されて過飽和状態となり、種結晶 6 上に析出成長する。この動作を所定期間連続して行うことにより、所定の大きさの酸化亜鉛単結晶が得られる。

【 0 0 3 0 】

このようにして得られた酸化亜鉛単結晶を切断して、種結晶 6 の + C 面である (0 0 0 1) 面又は - C 面である (0 0 0 - 1) 面上に成長した部分を取り出し、この部分の酸化亜鉛単結晶をシンチレータ材料とした。

【 0 0 3 1 】

そして、このシンチレータ材料からなるシンチレータを、シンチレーション検出器に備えさせた。

【 0 0 3 2 】

次に、本発明の実施の形態に係るシンチレータ材料を、実施例を挙げて具体的に説明する。

【実施例】

【 0 0 3 3 】

上記した製造方法により製造された本実施の形態の実施例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料の蛍光特性を、比較例 1 ~ 6 に係る従来のシンチレータ材料との比較により、以下に示す。

【 0 0 3 4 】

なお、比較例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料は、M 面を主面とする種結晶の M 面上に成長した酸化亜鉛単結晶からなる。つまり、種結晶 6 として、六方晶の M 面である (1 0 - 1 0) 面に平行に切断された M 面を主面とする板状の酸化亜鉛単結晶を使用して、上記した製造方法により酸化亜鉛単結晶を得、得られた酸化亜鉛単結晶を切断して、M 面上に成長した部分を取り出し、この部分の酸化亜鉛単結晶を比較例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料とした。

【 0 0 3 5 】

また、実施例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料を構成する酸化亜鉛単結晶は、比較例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料を構成する酸化亜鉛単結晶と比べて、いずれも結晶欠陥の少ない良質なものであった。これらの中でも、特に、実施例 1 ~ 5 に係るシンチレータ材料を構成する酸化亜鉛単結晶は、結晶欠陥の極めて少ない良質なものであった。

【 0 0 3 6 】

実施例 1 ~ 6 及び比較例 1 ~ 6 の各シンチレータ材料について、酸化亜鉛結晶中に含まれる Li と In の原子数比と、各シンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光の蛍光寿命を以下表 1 に示す。

【 0 0 3 7 】

10

20

30

【表 1】

	Li / In (原子数比)	蛍光寿命 (ps)		成分の割合 (%)	
		成分1	成分2	成分1	成分2
実施例1	0.15	17.2	—	100	0
実施例2	1.90	10.7	—	100	0
実施例3	2.32	15.2	—	100	0
実施例4	3.00	16.5	—	100	0
実施例5	6.74	12.7	—	100	0
実施例6	10.81	12.1	—	100	0
比較例1	0.14	122.0	600	59	41
比較例2	0.20	102.0	237	88	12
比較例3	0.43	90.8	291	85	15
比較例4	6.73	103.0	625	65	35
比較例5	64.69	91.4	403	50	50
比較例6	323.69	62.7	133	76	24

【0038】

表1に示すLi / In (原子数比) は、酸化亜鉛単結晶中のIn濃度 (atoms / cm³) に対するLi濃度 (atoms / cm³) の比率である。なお、酸化亜鉛単結晶中のIn濃度及びLi濃度は、二次イオン質量分析装置 (CAMECA社製ims6F) を用いた二次イオン質量分析法により分析した。また、実施例1～6及び比較例1～6の各シンチレータ材料が放射線の入射による発する蛍光の蛍光寿命は、ストリークカメラ (HAMAMATSU C1587) を用いて測定した。なお、蛍光が複数の成分からなる場合には、それら各成分の蛍光寿命と、それら各成分の割合を示している。

【0039】

また、図2にLi / In (原子数比) と蛍光寿命との関係を示す。なお、図2中、四角形状のプロットは、実施例1～6のシンチレータ材料に係るものであり、丸形状のプロットは、比較例1～6のシンチレータ材料に係るものである。また、複数の成分からなる蛍光を発するものについては、最も蛍光寿命が短い成分の蛍光寿命とLi / In (原子数比) との関係を示している。

【0040】

表1及び図2に示されるように、種結晶の+C面上又は-C面上に成長した酸化亜鉛単結晶からなる実施例1～6のシンチレータ材料は、蛍光寿命が20ps未満の成分からなる蛍光を発し、この蛍光寿命が20ps未満の成分は、種結晶のM面上に成長した比較例1～6のシンチレータ材料が発する蛍光のいずれの成分の蛍光寿命よりも短いことが認められた。

【0041】

また、酸化亜鉛単結晶中におけるLi / In (原子数比) が0.15～1.1の範囲内で異なる実施例1～6のシンチレータ材料は、そのLi / In (原子数比) に依存せず、いずれも、10.7ps～17.2psの蛍光寿命の短い成分の蛍光を発することが認められた。

【 0 0 4 2 】

さらに、実施例 1 ～ 6 のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光は、1 成分のみでなることが認められた。これに対し、比較例 1 ～ 6 のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光には、2 つの成分が存在することが認められた。以下に、蛍光の発光強度と、蛍光を構成する成分の蛍光寿命との関係について説明する。

【 0 0 4 3 】

1 つの成分（以下、成分 1 という）のみからなる蛍光の発光強度は、下記式 1 にて示される。なお、式 1 では、最大値を 1 とした場合の発光強度を I 、成分 1 の蛍光寿命を τ_1 、発光強度が最大値に達してからの経過時間を t としている。

【 0 0 4 4 】

[式 1]

$$I = \exp(-t / \tau_1)$$

また、成分 1 と、この成分 1 よりも蛍光寿命の長い成分（以下、成分 2 という。）とからなる蛍光の発光強度は、下記式 2 にて示される。なお、式 2 では、最大値を 1 とした場合の発光強度を I 、成分 1 の蛍光寿命を τ_1 、成分 2 の蛍光寿命を τ_2 、発光強度が最大値に達してからの経過時間を t としている。また、成分 1 と成分 2 の合計に対する成分 1 の存在比を C_1 とし、成分 1 と成分 2 の合計に対する成分 2 の存在比を C_2 としている。ただし、 $C_1 + C_2 = 1$ とする。

【 0 0 4 5 】

[式 2]

$$I = C_1 * \exp(-t / \tau_1) + C_2 * \exp(-t / \tau_2)$$

例えば、比較例 5 のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光には、表 1 に示すように、蛍光寿命 τ_1 が 91.4 ps の成分 1 と、蛍光寿命 τ_2 が 403 ps の成分 2 とが 50 : 50 の割合（即ち、 $C_1 = 0.5$ 、 $C_2 = 0.5$ ）で存在する。この比較例 5 のシンチレータ材料が発する蛍光の発光強度は、図 3（a）に示すように経時変化する。そして、上記式 2 によれば、成分 1 の蛍光が寿命に達した時（即ち、 $t = \tau_1 = 91.4$ の時）の発光強度は、成分 2 の蛍光の存在により、最大値の $1 / \exp$ よりも大きいと認められる。すなわち、成分 1 と成分 2 とからなる蛍光の蛍光寿命は、成分 1 の蛍光寿命よりも長いので、成分 1 と成分 2 からなる蛍光を発する比較例 1 ～ 5 のシンチレータ材料の蛍光寿命は、成分 1 の蛍光寿命 62.7 ps ～ 122 ps よりも長いと認められる。

【 0 0 4 6 】

これに対し、実施例 1 のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光は、表 1 に示すように、蛍光寿命 τ_1 が 17.2 ps の成分 1 のみからなる。この実施例 1 のシンチレータ材料が発する蛍光の発光強度は、図 3（b）に示すように経時変化する。そして、上記式 1 によれば、成分 1 が寿命に達した時（即ち、 $t = \tau_1 = 17.2$ ps）に、発光強度が最大値の $1 / \exp$ となると認められる。すなわち、成分 1 のみからなる蛍光の蛍光寿命は、成分 1 の蛍光寿命と同じであるので、成分 1 のみからなる蛍光を発する実施例 1 ～ 6 のシンチレータ材料の蛍光寿命は、成分 1 の蛍光寿命と同じ 20 ps 未満、具体的には、10.7 ps ～ 17.2 ps であると認められる。

【 0 0 4 7 】

つまり、図 3（a）と（b）との比較により示されるように、実施例 1 ～ 6 のシンチレータ材料が発する蛍光は、比較例 1 ～ 6 のシンチレータ材料が発する蛍光と比べて、発光強度が減衰するスピードが速く、蛍光寿命が短いものであると認められる。

【 0 0 4 8 】

また、成分 1 のみからなる蛍光では、成分 1 に、この成分 1 よりも蛍光寿命が長い成分 2 が組み合わさることがなく、蛍光寿命が成分 1 の蛍光寿命よりも長くなることがない。このため、成分 1 のみからなる蛍光を発する実施例 1 ～ 6 のシンチレータ材料の蛍光寿命は、成分 1 と成分 2 とからなる蛍光を発する比較例 1 ～ 6 のシンチレータ材料の蛍光寿命よりも極めて短いと認められる。

【 0 0 4 9 】

10

20

30

40

50

上記した通り、実施例 1 ~ 6 のシンチレータ材料が放射線の入射により発する蛍光の蛍光寿命は、20 ps 未満であり、実施例 1 ~ 6 のシンチレータ材料は、蛍光寿命が 30 ps 以上の複数成分からなる蛍光を発する比較例 1 ~ 6 の従来のシンチレータ材料と比べて、蛍光寿命が短いものであると認められる。よって、この実施例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料からなるシンチレータをシンチレーション検出器に備えさせることで、シンチレーション検出器の時間分解能を向上させることができる。

【0050】

ところで、以下に示す式 3 及び 4 より、シンチレータ材料を構成する酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命は、価電子帯から伝導帯に励起した電子が発光を伴わずに価電子帯に戻るクエンチングの寿命と関係していると考えられる。

【0051】

価電子帯から伝導帯に励起した電子が価電子帯に戻る際に発せられる発光の寿命を τ_{rad} とし、クエンチングの寿命を τ_{def} とすると、酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命 τ_{all} は、以下の式 3 で示される。

【0052】

[式 3]

$$1 / \tau_{all} = 1 / \tau_{rad} + 1 / \tau_{def}$$

つまり、酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命 τ_{all} は、以下の式 4 で示される。

【0053】

[式 4]

$$\tau_{all} = \tau_{rad} \tau_{def} / (\tau_{rad} + \tau_{def}) = \tau_{def} / (1 + \tau_{def} / \tau_{rad})$$

この式 4 によれば、クエンチングの寿命 τ_{def} が発光の寿命 τ_{rad} に比べて極めて短い場合、酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命 τ_{all} は、クエンチングの寿命 τ_{def} とほぼ等しくなると結論づけられる。すなわち、酸化亜鉛単結晶の蛍光寿命 τ_{all} は、クエンチングの寿命 τ_{def} によって決定すると言える。

【0054】

よって、シンチレータ材料のクエンチングの寿命が短いから、実施例 1 ~ 6 に係るシンチレータ材料の蛍光寿命は、10.7 ps ~ 17.2 ps と短いと考えられる。

【0055】

なお、上記した本実施の形態に係るシンチレータ材料の製造方法においては、単結晶原料 5 に、酸化亜鉛粉末と酸化インジウム粉末の混合物からなる焼結体、即ち、Zn と In を含有する原料を使用し、育成用溶液に、KOH の水溶液に Li が添加されたものを使用した。最終的に得られる酸化亜鉛単結晶の結晶性を良くするために、単結晶原料又は育成溶液には、Al、Fe、Ga、Ce、及び Pr のうちの少なくとも 1 つを含有させてもよい。即ち、本発明のシンチレータ材料は、酸化亜鉛単結晶中に、Al、Fe、Ga、Ce、Pr のうちの少なくとも 1 つを含有するものであってもよい。

【0056】

本発明は、その精神または主要な特徴から逸脱することなく、他のいろいろな形で実施することができる。そのため、上述の実施例はあらゆる点で単なる例示にすぎず、限定的に解釈してはならない。本発明の範囲は特許請求の範囲によって示すものであって、明細書本文には、なんら拘束されない。さらに、特許請求の範囲の均等範囲に属する変形や変更は、全て本発明の範囲内のものである。

【符号の説明】

【0057】

- 1 育成炉
- 2 炉本体
- 21 上端開口
- 22 蓋体
- 22a 圧力計
- 23 対流制御板

10

20

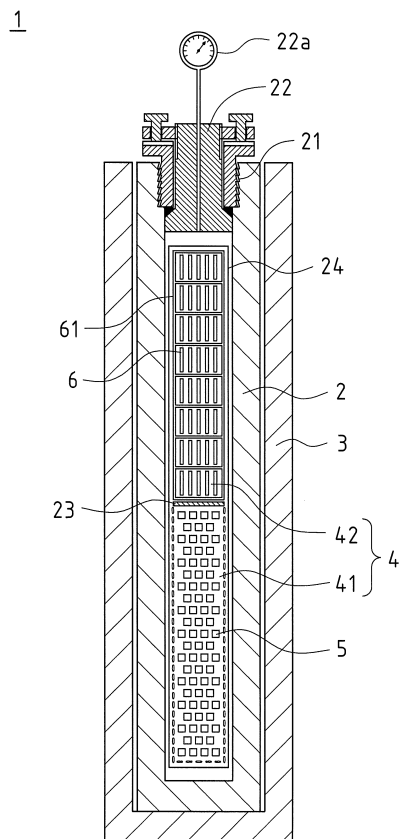
30

40

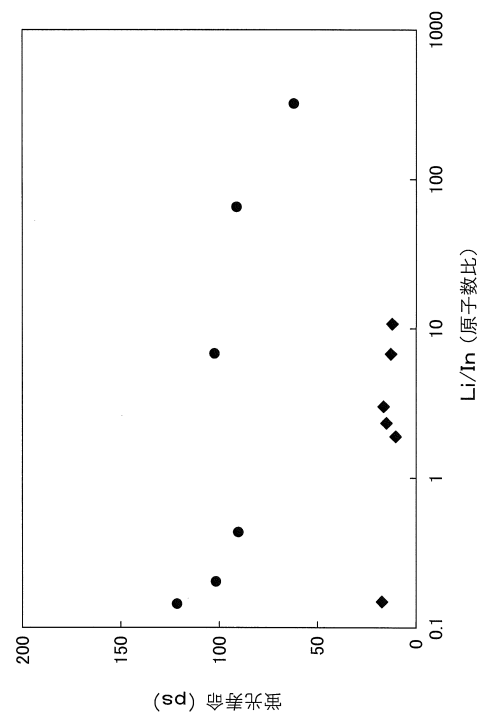
50

- 2 4 育成容器
- 3 電気炉
- 4 内部空間
- 4 1 原料室
- 4 2 育成室
- 5 単結晶原料
- 6 種結晶

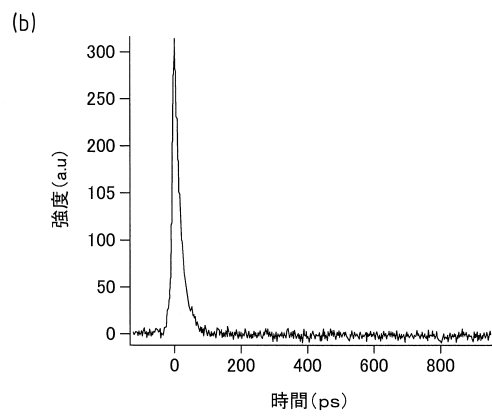
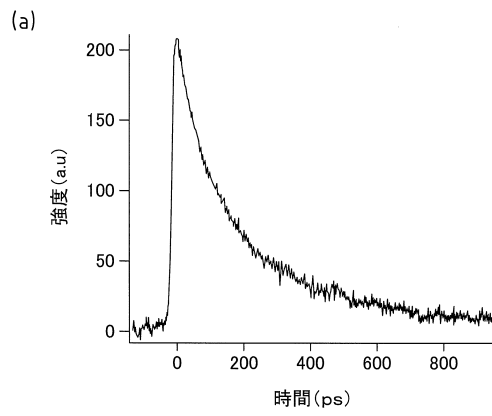
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 清水 俊彦
大阪府箕面市小野原西 1 - 2 - 13 - 205
- (72)発明者 猿倉 信彦
大阪府茨木市北春日丘 4 - 11 - 38 - 203
- (72)発明者 ディルク エーレントラウト
宮城県仙台市泉区南光台 3 - 15 - 5 - 202
- (72)発明者 福田 承生
宮城県仙台市泉区虹の丘 2 - 6 - 7

審査官 内藤 康彰

- (56)参考文献 特開 2009 - 234825 (JP, A)
特開 2009 - 286856 (JP, A)
国際公開第 2005 / 114256 (WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C09K11/00 - 11/89
G01T1/00 - 7/12