

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5991519号

(P5991519)

(45) 発行日 平成28年9月14日 (2016. 9. 14)

(24) 登録日 平成28年8月26日 (2016. 8. 26)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>GO 1 T</b>	<b>1/20</b>	<b>(2006. 01)</b>	<b>GO 1 T</b>	<b>1/20</b>	<b>B</b>
<b>GO 1 T</b>	<b>1/29</b>	<b>(2006. 01)</b>	<b>GO 1 T</b>	<b>1/29</b>	<b>C</b>
<b>GO 1 T</b>	<b>1/161</b>	<b>(2006. 01)</b>	<b>GO 1 T</b>	<b>1/161</b>	<b>A</b>

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2012-157920 (P2012-157920)	(73) 特許権者	899000068
(22) 出願日	平成24年7月13日 (2012. 7. 13)		学校法人早稲田大学
(65) 公開番号	特開2014-20843 (P2014-20843A)		東京都新宿区戸塚町 1 丁目 1 〇 4 番地
(43) 公開日	平成26年2月3日 (2014. 2. 3)	(73) 特許権者	000236436
審査請求日	平成27年4月8日 (2015. 4. 8)		浜松ホトニクス株式会社
			静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100124291
			弁理士 石田 悟
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンプトンカメラ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射した放射線のコンプトン散乱を検出する散乱検出部と、前記散乱検出部でコンプトン散乱して入射した放射線の吸収を検出する吸収検出部と、前記散乱検出部における放射線のコンプトン散乱および前記吸収検出部における放射線の吸収の同時検出事象に基づいて放射線源の画像を求める信号処理部と、を備え、

前記散乱検出部および前記吸収検出部それぞれは、

放射線のコンプトン散乱または吸収に応じてシンチレーション光を発生させ、互いに逆方向である第 1 方向および第 2 方向と異なる方向へのシンチレーション光の伝搬を制限して、前記第 1 方向および前記第 2 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力し、シンチレーション光発生位置によって前記第 1 方向および前記第 2 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なるシンチレータブロックと、

前記シンチレータブロックの前記第 1 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を出力する第 1 受光部と、

前記シンチレータブロックの前記第 2 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を出力する第 2 受光部と、

を含み、

前記信号処理部は、前記散乱検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部ならびに前

10

20

記吸収検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部それぞれから出力された電気信号に基づいて放射線源の画像を求める、

ことを特徴とするコンプトンカメラ。

【請求項 2】

前記散乱検出部の前記シンチレータブロックまたは前記吸収検出部の前記シンチレータブロックそれぞれは、3 次元的に集合された複数のシンチレータセルを含み、隣接する 2 つのシンチレータセルの間に設定された光学条件によって、前記第 1 方向および前記第 2 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させるとともに、シンチレーション光発生位置によって前記第 1 方向および前記第 2 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる、ことを特徴とする請求項 1 に記載のコンプトンカメラ。

10

【請求項 3】

前記散乱検出部の前記シンチレータブロックまたは前記吸収検出部の前記シンチレータブロックそれぞれは、内部に形成された改質領域または破断領域によって、前記第 1 方向および前記第 2 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させるとともに、シンチレーション光発生位置によって前記第 1 方向および前記第 2 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる、ことを特徴とする請求項 1 に記載のコンプトンカメラ。

【請求項 4】

前記散乱検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部のうちの何れか一方、ならびに、前記吸収検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部のうちの何れか一方は、前記散乱検出部の前記シンチレータブロックと前記吸収検出部の前記シンチレータブロックとの間の領域に配置されている、ことを特徴とする請求項 1 に記載のコンプトンカメラ。

20

【請求項 5】

前記散乱検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部、ならびに、前記吸収検出部の前記第 1 受光部および前記第 2 受光部は、前記散乱検出部の前記シンチレータブロックと前記吸収検出部の前記シンチレータブロックとの間の領域と異なる領域に配置されている、ことを特徴とする請求項 1 に記載のコンプトンカメラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンプトンカメラに関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

コンプトンカメラは、入射した放射線（例えばガンマ線）のコンプトン散乱を検出する散乱検出部と、この散乱検出部でコンプトン散乱して入射した放射線の吸収を検出する吸収検出部とを備え、放射線のコンプトン散乱および吸収を同時検出する。そして、コンプトンカメラは、複数の同時検出事象について、散乱検出部において放射線がコンプトン散乱した位置、散乱検出部において放射線がコンプトン散乱した際に放射線が失ったエネルギー、吸収検出部において放射線が吸収された位置、および、吸収検出部において放射線が吸収された際に放射線が失ったエネルギーを求め、これらに基づいて放射線源の画像を求めることができる。

40

【0003】

特許文献 1 に開示された発明のコンプトンカメラでは、散乱検出部および吸収検出部それぞれは、放射線のコンプトン散乱または吸収に応じて電荷を発生させるゲルマニウム結晶と、ゲルマニウム結晶の一方の主面上に並列配置された複数の陽極ストリップと、これに対向するゲルマニウム結晶の他方の主面上に並列配置された複数の陰極ストリップとを含み、陽極ストリップおよび陰極ストリップそれぞれの長手方向が互いに垂直とされている。

【0004】

特許文献 1 に開示された発明のコンプトンカメラでは、散乱検出部および吸収検出部そ

50

れぞれのゲルマニウム結晶において放射線のコンプトン散乱または吸収に応じて電荷が発生し、その電荷が何れかの陽極ストリップおよび陰極ストリップにより検出される。そして、陽極ストリップおよび陰極ストリップからの電気信号に基づいて、ゲルマニウム結晶における放射線のコンプトン散乱または吸収の位置が求められるとともに、コンプトン散乱または吸収の際に放射線が失ったエネルギーが求められる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2005-208057号公報

【特許文献2】特開2011-85418号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1に開示された発明のコンプトンカメラにおいて放射線のコンプトン散乱または吸収を検出するために用いられるゲルマニウム結晶は、高純度化が困難であり、加工も困難であることから、高価である。また、ゲルマニウム結晶は使用時に液体窒素で冷却される必要があることから、ゲルマニウム結晶を用いたコンプトンカメラは、冷却のための装置を必要とし、小型化が困難であり、フィールドでの使用に適さない。

【0007】

なお、特許文献2には、放射線のコンプトン散乱または吸収を検出するためにシンチレータを用いることができる旨の言及がある。しかし、同文献には続けて、シンチレータを用いる場合には光電変換が煩雑となるので半導体（例えばSi、CdTe、CZT等）を用いるべきである旨の記載がある。すなわち、コンプトンカメラにおいて放射線のコンプトン散乱または吸収を検出するにはシンチレータの使用は困難または不適切であるとされている。

20

【0008】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、安価で小型化可能なコンプトンカメラ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】

【0009】

30

本発明のコンプトンカメラは、入射した放射線のコンプトン散乱を検出する散乱検出部と、散乱検出部でコンプトン散乱して入射した放射線の吸収を検出する吸収検出部と、散乱検出部における放射線のコンプトン散乱および吸収検出部における放射線の吸収の同時検出事象に基づいて放射線源の画像を求める信号処理部と、を備えることを特徴とする。また、散乱検出部および吸収検出部それぞれは、(1) 放射線のコンプトン散乱または吸収に応じてシンチレーション光を発生させ、互いに逆方向である第1方向および第2方向と異なる方向へのシンチレーション光の伝搬を制限して、第1方向および第2方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力し、シンチレーション光発生位置によって第1方向および第2方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なるシンチレータブロックと、(2) シンチレータブロックの第1方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を出力する第1受光部と、(3) シンチレータブロックの第2方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を出力する第2受光部と、を含むことを特徴とする。さらに、信号処理部は、散乱検出部の第1受光部および第2受光部ならびに吸収検出部の第1受光部および第2受光部それぞれから出力された電気信号に基づいて放射線源の画像を求めることを特徴とする。

40

【0010】

本発明では、散乱検出部のシンチレータブロックまたは吸収検出部のシンチレータブロックそれぞれは、3次元的に集合された複数のシンチレータセルを含み、隣接する2つの

50

シンチレータセルの間に設定された光学条件によって、第１方向および第２方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させるとともに、シンチレーション光発生位置によって第１方向および第２方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なるのが好適である。或いは、散乱検出部のシンチレータブロックまたは吸収検出部のシンチレータブロックそれぞれは、内部に形成された改質領域または破断領域によって、第１方向および第２方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させるとともに、シンチレーション光発生位置によって第１方向および第２方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なるのも好適である。

#### 【００１１】

本発明では、散乱検出部の第１受光部および第２受光部のうちの何れか一方、ならびに、吸収検出部の第１受光部および第２受光部のうちの何れか一方は、散乱検出部のシンチレータブロックと吸収検出部のシンチレータブロックとの間の領域に配置されていてもよい。或いは、散乱検出部の第１受光部および第２受光部、ならびに、吸収検出部の第１受光部および第２受光部は、散乱検出部のシンチレータブロックと吸収検出部のシンチレータブロックとの間の領域と異なる領域に配置されていてもよい。

#### 【発明の効果】

#### 【００１２】

本発明によれば、入射した放射線（例えばガンマ線）の入射位置を３次元的に捉えることで、高解像度でありながら、安価で小型化可能なコンプトンカメラを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【００１３】

【図１】第１実施形態のコンプトンカメラ１の構成を示す図である。

【図２】信号処理部３０における放射線源９０の画像を求める処理を説明する斜視図である。

【図３】シンチレータブロック１３の第１構成例を説明する斜視図である。

【図４】シンチレータブロック１３の第２構成例を説明する斜視図である。

【図５】第２実施形態のコンプトンカメラ２の構成を示す図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【００１４】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面には説明の便宜の為に $x$   $y$   $z$  直交座標系が示されている。

#### 【００１５】

図１は、第１実施形態のコンプトンカメラ１の構成を示す図である。コンプトンカメラ１は、散乱検出部１０、吸収検出部２０および信号処理部３０を備え、放射線源９０の画像を求めることができる。散乱検出部１０は、放射線源９０から放出された放射線（例えばガンマ線）が入射すると、その入射した放射線のコンプトン散乱を検出する。吸収検出部２０は、散乱検出部１０でコンプトン散乱した放射線が入射すると、その入射した放射線の吸収を検出する。信号処理部３０は、散乱検出部１０における放射線のコンプトン散乱および吸収検出部２０における放射線の吸収の同時検出事象に基づいて放射線源９０の画像を求める。

#### 【００１６】

散乱検出部１０は、受光部１１、受光部１２およびシンチレータブロック１３を含む。シンチレータブロック１３は、放射線のコンプトン散乱に応じてシンチレーション光を発生させ、 $-z$ 方向および $+z$ 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力する。シンチレータブロック１３は、シンチレーション光発生位置によって $-z$ 方向および $+z$ 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。シンチレータブロック１３は、直方体形状を有し、各辺が $x$ 方向、 $y$ 方向および $z$ 方向の何れに平行である。シンチレータブロック１３におけるシンチレーション光発生位置は、放射線がコンプト

ン散乱した位置  $P_1$  に相当する。シンチレータブロック 13 におけるシンチレーション光発生強度は、放射線がコンプトン散乱した際に放射線が失ったエネルギー  $E_1$  に相当する。

#### 【0017】

受光部 11, 12 は、 $xy$  平面に平行な受光面を有する。受光部 11 は、シンチレータブロック 13 の  $-z$  方向の側に設けられ、シンチレータブロック 13 の  $-z$  方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部 30 へ出力する。受光部 12 は、シンチレータブロック 13 の  $+z$  方向の側に設けられ、シンチレータブロック 13 の  $+z$  方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部 30 へ出力する。

10

#### 【0018】

吸収検出部 20 は、受光部 21、受光部 22 およびシンチレータブロック 23 を含む。シンチレータブロック 23 は、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させ、 $-z$  方向および  $+z$  方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力する。シンチレータブロック 23 は、シンチレーション光発生位置によって  $-z$  方向および  $+z$  方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。シンチレータブロック 23 は、直方体形状を有し、各辺が  $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向の何れに平行である。シンチレータブロック 23 におけるシンチレーション光発生位置は、放射線が吸収された位置  $P_2$  に相当する。シンチレータブロック 23 におけるシンチレーション光発生強度は、放射線が吸収された際に放射線が失ったエネルギー  $E_2$  に相当する。

20

#### 【0019】

受光部 21, 22 は、 $xy$  平面に平行な受光面を有する。受光部 21 は、シンチレータブロック 23 の  $-z$  方向の側に設けられ、シンチレータブロック 23 の  $-z$  方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部 30 へ出力する。受光部 22 は、シンチレータブロック 23 の  $+z$  方向の側に設けられ、シンチレータブロック 23 の  $+z$  方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部 30 へ出力する。

#### 【0020】

30

シンチレータブロック 13, 23 として、例えば、 $Bi_4Ge_3O_{12}$  (BGO)、Ce がドープされた  $Lu_2SiO_5$  (Ce:LSO)、 $Lu_{2(1-x)}Y_{2x}SiO_5$  (LYSO)、 $Gd_2SiO_5$  (GSO)、Pr がドープされた  $Lu_3Al_5O_{12}$  (Pr:LuAG)、Ce がドープされた  $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$  (Ce:GAGG) 等が用いられる。

#### 【0021】

受光部 11, 12, 21, 22 として、高感度の半導体光検出素子が用いられるのが好適であり、その中でも浜松ホトニクス株式会社製の MPPC (登録商標) または MPPC アレイが用いられるのが好適である。MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) は、ガイガーモードで動作するアバランシェフォトダイオードにクエンチング抵抗が接続されたものを 1 つのピクセルとして、複数のピクセルが 2 次元配列されたものである。アバランシェフォトダイオードは、逆電圧が印加されると、光電流を増倍することができ、高速・高感度の光検出をすることができる。アバランシェフォトダイオードの逆電圧が降伏電圧以上に設定されると、内部電界が非常に高くなり、増倍率が格段に大きくなる。このような状態でのアバランシェフォトダイオードの動作はガイガーモードと呼ばれる。MPPC は、フォトンカウンティングが可能である。MPPC は、2 次元配列された複数のピクセルの受光量の総和を表す電気信号を出力することができる。このような MPPC を受光部に用いる場合、例えば複数の MPPC を 2 次元配列し、4 つの出力端子と各 MPPC の出力とを抵抗器を介して接続し、各 MPPC からの電気信号を最終的に出力端子から出力する。これら 4 つの出力端子から出力される電気信号の値の比は、光入射面への光の入射位置

40

50

に応じたものとなり、また、これら 4 つの出力端子から出力される電気信号の値の和は、光強度に応じたものとなる。

#### 【 0 0 2 2 】

受光部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 として、位置検出型の光電子増倍管が用いられるのも好適であり、その中でもマルチアノード型の光電子増倍管が用いられるのが好適である。マルチアノード型の光電子増倍管は、例えば、2 次元配列された複数のアノードと、各アノードに対応したアノード端子とを備え、各アノード端子と 4 つの出力端子とが抵抗を介して接続されていて、各アノードからの電気信号を最終的に 4 つの出力端子から出力する。これら 4 つの出力端子から出力される電気信号の値の比は、光入射面への光の入射位置に応じたものとなり、また、これら 4 つの出力端子から出力される電気信号の値の和は、光強度に応じたものとなる。

10

#### 【 0 0 2 3 】

本実施形態では、受光部 1 2 , 2 1 は、シンチレータブロック 1 3 とシンチレータブロック 2 3 との間の狭い領域に配置されているので、光電子増倍管と比べて小型である半導体光検出素子が用いられるのが好ましい。また、受光部 1 1 および受光部 1 2 は同じタイプのものが用いられるのが好ましく、受光部 2 1 および受光部 2 2 は同じタイプのものが用いられるのが好ましい。

#### 【 0 0 2 4 】

信号処理部 3 0 は、散乱検出部 1 0 の受光部 1 1 および受光部 1 2 それぞれから出力された電気信号を入力するとともに、吸収検出部 2 0 の受光部 2 1 および受光部 2 2 それぞれから出力された電気信号をも入力して、これらの電気信号に基づいて放射線源 9 0 の画像を求める。

20

#### 【 0 0 2 5 】

図 2 は、信号処理部 3 0 における放射線源 9 0 の画像を求める処理を説明する斜視図である。信号処理部 3 0 は、受光部 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 それぞれから出力された電気信号に基づいて、シンチレータブロック 1 3 において放射線がコンプトン散乱した位置 P 1、シンチレータブロック 1 3 において放射線がコンプトン散乱した際に放射線が失ったエネルギー E 1、シンチレータブロック 2 3 において放射線が吸収された位置 P 2、および、シンチレータブロック 2 3 において放射線が吸収された際に放射線が失ったエネルギー E 2 を求めることができる。

30

#### 【 0 0 2 6 】

なお、シンチレータブロック 1 3 , 2 3 においてシンチレーション光発生位置によって - z 方向および + z 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なるので、信号処理部 3 0 は、このことを利用して、x 方向および y 方向だけでなく z 方向についても位置 P 1 , P 2 を求めることができる。

#### 【 0 0 2 7 】

放射線源 9 0 から放出される放射線のエネルギーを E とする。コンプトン散乱の際の散乱角を  $\theta$  とする。電子の静止質量を m とし、真空中での光速を c とする。これらのパラメータの間には以下の式で表される関係がある。この関係式からコンプトン散乱角  $\theta$  を求めることができる。そして、散乱位置 P 1 と吸収位置 P 2 とを互いに結ぶ直線を中心軸とし、散乱位置 P 1 を頂点として、中心軸と母線とがなす角が  $\theta$  である円錐を想定すると、その円錐面上に放射線源 9 0 が存在することがわかる。信号処理部 3 0 は、複数の同時検出事象それぞれについて上記のような円錐面を求めて、これらに基づいて放射線源 9 0 の画像を求める。

40

$$E = E_1 + E_2$$

$$\cos \theta = 1 + m c^2 \left( \frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)$$

#### 【 0 0 2 8 】

図 3 は、シンチレータブロック 1 3 の第 1 構成例を説明する斜視図である。シンチレータブロック 2 3 についても同様であるが、ここではシンチレータブロック 1 3 について説明する。シンチレータブロック 1 3 は、3 次元的に集合された複数のシンチレータセル 1

50

3 1を含む。同図では、計 1 8 0 個の同一形状を有するシンチレータセル 1 3 1 が、x 方向に 6 行、y 方向に 5 列、z 方向に 6 層に集合されている。シンチレータブロック 1 3 は、隣接する 2 つのシンチレータセル 1 3 1 の間に設定された光学条件によって、- z 方向および + z 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させることができ、シンチレーション光発生位置によって - z 方向および + z 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。

#### 【 0 0 2 9 】

より具体的な例として、x 方向に隣接する 2 つのシンチレータセル 1 3 1 の間に反射材 1 3 2 が挿入され、y 方向に隣接する 2 つのシンチレータセル 1 3 1 の間にも反射材 1 3 2 が挿入され、z 方向に隣接する 2 つのシンチレータセル 1 3 1 の間に空気層 1 3 3 が挿入される。また、シンチレータブロック 1 3 の 6 面のうち、受光部 1 1 , 1 2 に対向しない 4 面にも反射材が設けられている。反射材 1 3 2 は例えば  $\text{BaSO}_4$  からなる。反射材 1 3 2 がシンチレーション光を完全に反射させるとすれば、或るシンチレータセル 1 3 1 において放射線のコンプトン散乱に応じて発生したシンチレーション光は、 $\pm x$  方向または  $\pm y$  方向に隣接するシンチレータセル 1 3 1 へ伝搬することなく、- z 方向または + z 方向に隣接するシンチレータセル 1 3 1 のみへ伝搬していき、- z 方向または + z 方向の外部へ出力される。また、シンチレーション光は、- z 方向または + z 方向に伝搬する際に途中にある空気層 1 3 3 によって一部が反射され残部が透過する。したがって、シンチレーション光発生位置によって - z 方向および + z 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。これにより z 方向でも十分高い位置分解能が得られる。

#### 【 0 0 3 0 】

反射材 1 3 2 は、シンチレーション光を完全に反射させるものでなくてもよいが、反射率が高いのが好ましい。反射材 1 3 2 が一部のシンチレーション光を透過させる場合には、- z 方向または + z 方向の外部へ出力されるシンチレーション光は拡がることになるが、受光部 1 1 , 1 2 の受光面上における受光強度分布の重心位置を求めればよい。また、空気層 1 3 3 に替えて他の材料からなる層が挿入されていてもよい。

#### 【 0 0 3 1 】

図 4 は、シンチレータブロック 1 3 の第 2 構成例を説明する斜視図である。シンチレータブロック 2 3 についても同様であるが、ここでもシンチレータブロック 1 3 について説明する。シンチレータブロック 1 3 は、内部に多数の改質領域 1 3 4 が形成されている。改質領域 1 3 4 は、レーザ光の集光点がアモルファス化することで形成され、周囲の屈折率と異なる屈折率を有する。改質領域 1 3 4 は、離散的に形成されてもよいし、一定範囲に亘って連続的に形成されてもよい。改質領域 1 3 4 を形成する際に用いられるレーザ光源としては、短パルスレーザ光を発生する Nd : YAG レーザ、Yb : YAG レーザ、Nd : YVO<sub>4</sub> レーザ、Nd : YLF レーザ、Yb : KGW レーザおよびチタンサファイアレーザ等が用いられる。

#### 【 0 0 3 2 】

また、改質領域 1 3 4 を起点として破断領域が形成されてもよい。破断領域の形成は、応力、曲げ応力、せん断応力、熱応力を加えることで可能である。改質領域の形成または破断領域の形成に先立って、シンチレータブロック 1 3 の外表面をシート状の保持部材で覆っておくのが好ましく、これにより、破断領域の形成後でもシンチレータブロック 1 3 の一体化が維持される。また、シンチレータブロック 1 3 の 6 面のうち、受光部 1 1 , 1 2 に対向しない 4 面に反射材が設けられている。このようにして作製されるシンチレータブロック 1 3 は、適切な位置に形成された改質領域 1 3 4 または破断領域によって、- z 方向および + z 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させることができ、シンチレーション光発生位置によって - z 方向および + z 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。この構成例では、- z 方向または + z 方向の外部へ出力されるシンチレーション光は拡がることになるが、受光部 1 1 , 1 2 の受光面上における受光強度分布の重心位置を求めることにより、x 方向、y 方向において高い位置分解能が得られる。

#### 【 0 0 3 3 】

本実施形態のコンプトンカメラ１は、シンチレータブロック１３，２３を用いて放射線のコンプトン散乱または吸収を検出するので、入射した放射線（例えばガンマ線）の入射位置を３次的に捉えることが可能となり、高解像度でありながら、安価に製造することができ、小型化可能である。このコンプトンカメラ１はフィールドでも好適に使用され得る。

#### 【００３４】

次に、第２実施形態のコンプトンカメラ２について説明する。図５は、第２実施形態のコンプトンカメラ２の構成を示す図である。コンプトンカメラ２は、散乱検出部１０、吸収検出部２０および信号処理部３０を備え、放射線源９０の画像を求めることができる。図１に示された第１実施形態のコンプトンカメラ１の構成と比較すると、図５に示される第２実施形態のコンプトンカメラ２は、散乱検出部１０および吸収検出部２０それぞれの方位の点で異なる。以下では、第１実施形態との相違点について主に説明する。

#### 【００３５】

散乱検出部１０のシンチレータブロック１３は、放射線のコンプトン散乱に応じてシンチレーション光を発生させ、 $-x$ 方向および $+x$ 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力する。シンチレータブロック１３は、シンチレーション光発生位置によって $-x$ 方向および $+x$ 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。これにより $x$ 方向において十分高い位置分解能が得られる。

#### 【００３６】

受光部１１，１２は、 $yz$ 平面に平行な受光面を有する。受光部１１は、シンチレータブロック１３の $-x$ 方向の側に設けられ、シンチレータブロック１３の $-x$ 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部３０へ出力する。受光部１２は、シンチレータブロック１３の $+x$ 方向の側に設けられ、シンチレータブロック１３の $+x$ 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部３０へ出力する。

#### 【００３７】

吸収検出部２０のシンチレータブロック２３は、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させ、 $-x$ 方向および $+x$ 方向に選択的にシンチレーション光を伝搬させて外部へ出力する。シンチレータブロック２３は、シンチレーション光発生位置によって $-x$ 方向および $+x$ 方向それぞれのシンチレーション光外部出力強度の比が異なる。これにより $x$ 方向において十分高い位置分解能が得られる。

#### 【００３８】

受光部２１，２２は、 $yz$ 平面に平行な受光面を有する。受光部２１は、シンチレータブロック２３の $-x$ 方向の側に設けられ、シンチレータブロック２３の $-x$ 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部３０へ出力する。受光部２２は、シンチレータブロック２３の $+x$ 方向の側に設けられ、シンチレータブロック２３の $+x$ 方向の外部に出力されたシンチレーション光を受光面上に受光し、その受光面上における受光位置および受光強度を表す電気信号を信号処理部３０へ出力する。

#### 【００３９】

本実施形態では、受光部１１，１２，２１，２２は、シンチレータブロック１３とシンチレータブロック２３との間の狭い領域と異なる広い領域に配置されているので、高感度の光電子増倍管が好適に用いられ得る。シンチレータブロック１３，２３の $z$ 方向のサイズより $x$ 方向のサイズが大きいとすると、第１実施形態の場合と比較して本実施形態では、シンチレータブロック１３，２３から $\pm x$ 方向の外部へ出力されるシンチレーション光の強度が小さくなる場合があるが、受光部１１，１２，２１，２２として高感度の光電子増倍管を用いることができるので、散乱位置 $P_1$ 、吸収位置 $P_2$ および放射線喪失エネルギー $E_1$ ， $E_2$ を高感度に測定することができる。本実施形態のコンプトンカメラ２は、第１実施形態の場合と同様の効果を奏することができる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 4 0 】

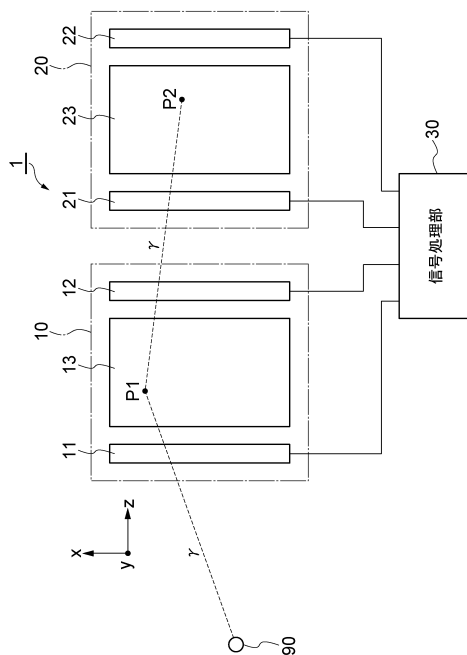
本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、散乱検出部 1 0 および吸収検出部 2 0 それぞれの方位は、上記実施形態の場合と異なってもよい。

## 【符号の説明】

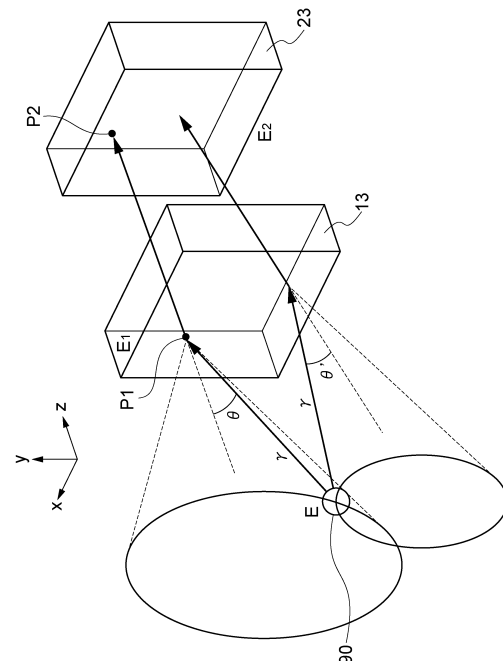
## 【 0 0 4 1 】

1, 2 ... コンプトンカメラ、1 0 ... 散乱検出部、1 1 ... 受光部、1 2 ... 受光部、1 3 ... シンチレータブロック、2 0 ... 吸収検出部、2 1 ... 受光部、2 2 ... 受光部、2 3 ... シンチレータブロック、3 0 ... 信号処理部、9 0 ... 放射線源。

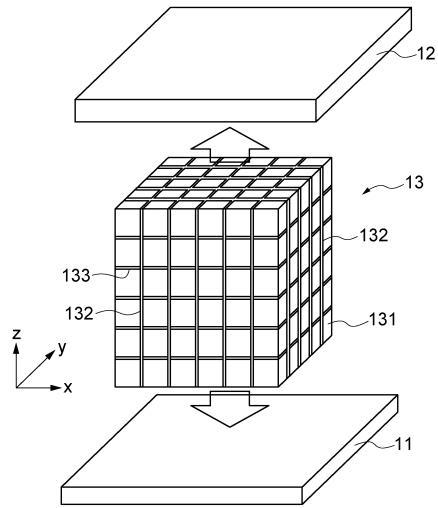
【 図 1 】



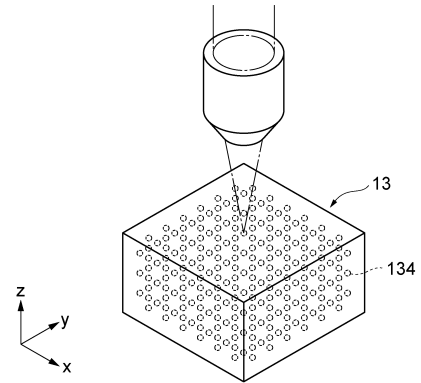
【 図 2 】



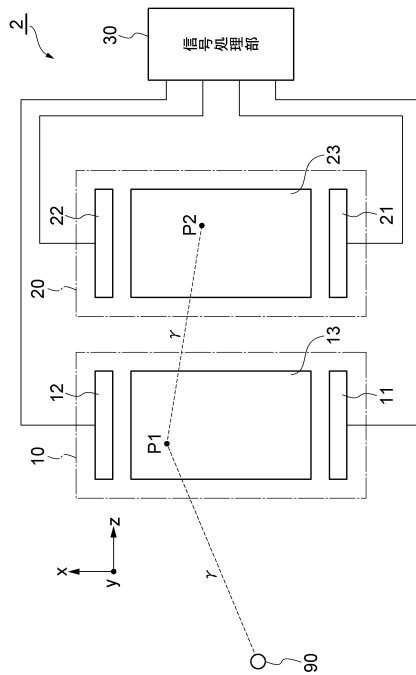
【図 3】



【図 4】



【図 5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 片岡 淳  
東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
- (72)発明者 岸本 彩  
東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
- (72)発明者 加藤 卓也  
東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
- (72)発明者 大須賀 慎二  
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 平柳 通人  
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 中村 重幸  
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 鳥居 祐樹

- (56)参考文献 特開2005-208057(JP, A)  
特開2009-121929(JP, A)  
国際公開第2011/121707(WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01T 1/00 - 7/12