

(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2020-101547

(P2020-101547A)

(43) 公開日 令和2年7月2日(2020.7.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 T 1/16 (2006.01)	G O 1 T 1/16 A	2 G 1 8 8
G O 1 T 1/20 (2006.01)	G O 1 T 1/20 L	
	G O 1 T 1/20 D	
	G O 1 T 1/20 E	
	G O 1 T 1/20 G	
審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 16 頁)		

(21) 出願番号 特願2019-231266 (P2019-231266)
 (22) 出願日 令和1年12月23日 (2019.12.23)
 (31) 優先権主張番号 201811580796.7
 (32) 優先日 平成30年12月24日 (2018.12.24)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 中国 (CN)

(71) 出願人 503414751
 同方威視技術股▲分▼有限公司
 中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方
 大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
 (71) 出願人 514326214
 清▲華▼大学
 中華人民共和国 1 0 0 0 8 4 北京市海澱区
 清▲華▼▲園▼ (番地なし)
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

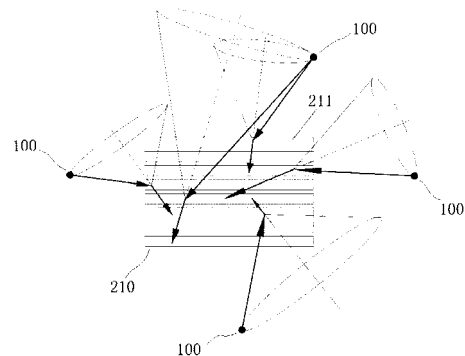
(54) 【発明の名称】 検出器システム及び放射線イメージング装置

(57) 【要約】

【課題】 本開示は、検出器システム及び放射線イメージング装置を提供する。

【解決手段】 検出器システムは、重なり合う複数の検出器層を含む検出器であって、検出器層は検出器素子層を含み、少なくとも1つの検出器層が、検出器層の厚さ方向に沿って移動可能である、検出器と；少なくとも1つの検出器層に駆動接続された距離調整装置であって、少なくとも1つの検出器層を検出器層の厚さに沿って移動させることにより、検出器の隣接する検出器層の間の層間距離を調整する距離調整装置と；を含む。放射線イメージング装置は、上述した検出器システムを含む。本開示の検出器システム及び放射線イメージング装置は、高い角度分解能で全方向性且つ効率的な検出効果を実現するのに役立つ。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

検出器システム（２００）であって、当該検出器システムは、
重なり合う複数の検出器層（２１１）を含む検出器（２１０）であって、前記検出器層（２１１）は検出器素子層を含み、少なくとも１つの検出器層（２１１）が、前記検出器層（２１１）の厚さ方向に沿って移動可能である、検出器（２１０）と、
前記少なくとも１つの検出器層（２１１）に駆動接続された距離調整装置（２２０）であって、前記少なくとも１つの検出器層（２１１）を前記検出器層（２１１）の厚さに沿って移動させることにより、前記検出器（２１０）の隣接する検出器層（２１１）の間の層間距離を調整する距離調整装置（２２０）と、を含む、
検出器システム（２００）。

10

【請求項 2】

前記検出器素子層は、シンチレータ検出素子層を含み、前記検出器層（２１１）は、前記シンチレータ検出素子層に接続された光電変換素子と、該光電変換素子に接続された集積回路チップとを含む、請求項 1 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 3】

前記検出器（２１０）は、３つ以上の検出器層（２１１）を含む、請求項 1 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 4】

前記検出器素子層は、シンチレータ検出素子層を含み、該シンチレータ検出素子層は、前記検出器層（２１１）の厚さに対して直交する方向に近接して並んで配置された複数のシンチレータ・バー（２１１１）を含む、請求項 1 に記載の検出器システム（２００）。

20

【請求項 5】

前記シンチレータ・バー（２１１１）の長さ方向の両端以外の側面には、反射層が設けられる、請求項 4 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 6】

前記シンチレータ・バーの長さ方向の両端以外の側面には、遮光層が設けられる、請求項 4 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 7】

前記検出器層（２１１）は、シリコン光電子増倍管（２１１２）を含み、各シンチレータ・バー（２１１１）の両端には、それぞれ、１つの前記シリコン光電子増倍管（２１１２）が設けられる、請求項 4 に記載の検出器システム（２００）。

30

【請求項 8】

前記検出器層は、前記検出器層（２１１）の前記シリコン光電子増倍管（２１１２）に接続された集積回路チップをさらに含み、前記検出器層（２１１）に前記集積回路チップが配置される、請求項 7 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 9】

当該検出器システム（２００）は、前記検出器（２１０）に接続された電源装置及びデータ取得装置を含む、請求項 1 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 10】

前記距離調整装置（２２０）は、各検出器層（２１１）に接続された層間接続機構（２２１）を含み、該層間接続機構（２２１）は、前記距離調整装置（２２０）が層間距離を調整するときに、各２つの隣接する検出器層（２１１）の間に同じ前記層間距離を規定する、請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の検出器システム（２００）。

40

【請求項 11】

前記層間接続機構（２２１）は、複数のヒンジ接続ロッドによって形成されたロッド伸縮構造を含み、各検出器層（２１１）は、前記ロッド伸縮構造とヒンジ接続される、請求項 10 に記載の検出器システム（２００）。

【請求項 12】

前記距離調整装置（２２０）は、前記少なくとも１つの検出器層（２１１）の動きを案

50

内する案内機構（２２２）を含む、請求項１乃至９のいずれか一項に記載の検出器システム（２００）。

【請求項１３】

前記距離調整装置（２２０）は、前記複数の検出器層（２１１）のうちの少なくとも１つの検出器層（２１１）と駆動接続される駆動機構をさらに含み、該駆動機構を使用して、前記少なくとも１つの検出器層（２１１）を前記検出器層（２１１）の厚さ方向に沿って移動させて前記層間距離を調整する、請求項１乃至９のいずれか一項に記載の検出器システム（２００）。

【請求項１４】

当該検出器システム（２００）は、検出器ブラケット（２３０）を含み、前記複数の検出器層（２１１）及び前記距離調整装置（２２０）が、前記検出器ブラケット（２３０）に配置される、請求項１乃至９のいずれか一項に記載の検出器システム（２００）。

【請求項１５】

請求項１乃至１４のいずれか一項に記載の検出器システム（２００）を含む放射線イメージング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、放射線検出技術の分野に関し、特に検出器システム及び放射線イメージング装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

放射線検出の分野では、ガンマ放射線核種の位置及び空間分布を決定するコンプトン・イメージング法が効果的な方法である。コンプトン・カメラは、コンプトン・イメージング法を採用した放射線イメージング装置である。

【０００３】

図１に示されるように、基本的なコンプトン・カメラの検出器２０は、散乱検出器として機能する第１の検出器層２１と、吸収検出器として機能する第２の検出器層２２とを含む２つの検出器層から構成される。各検出器層は、複数のボクセルに分割され、これらボクセルは、位置、エネルギー、及び時間情報を取得できる検出器アレイを構成する。

【０００４】

放射線源１０からのガンマ線は、散乱検出器でコンプトン散乱を受け、ここで、付与エネルギー（deposit energy）は E_1 であり、散乱位置は（ x_1 、 y_1 、 z_1 ）である。散乱光子は吸収検出器で光電反応を受け、次に、吸収検出器によって完全に吸収され、ここで、付与エネルギーは E_2 であり、散乱位置は（ x_2 、 y_2 、 z_2 ）である。

【０００５】

コンプトン・イメージングの原理によれば、ガンマ線が放射される場所は、円錐の表面上の中心点で決定され、その円錐の頂点が（ x_1 、 y_1 、 z_1 ）であり、軸線が位置（ x_1 、 y_1 、 z_1 ）と位置（ x_2 、 y_2 、 z_2 ）との間の接続線である。円錐角は、式（１）から取得できる。

【数１】

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

ここで、 $M_e c^2$ は電子の静的エネルギーである。

【０００６】

放射線源が単一点源又は複数点源である場合に、複数の例によって、多数の円錐を取得

10

20

30

40

50

され得る。これらの円錐の交点は、理論的には放射線源の位置である。

【0007】

コンプトン・カメラは、角度分解能、検出効率、及びイメージング視野の3つの主要な指標の間でトレードオフが必要となる。散乱検出器と吸収検出器との間の距離は、角度分解能を向上させるために増大させる必要があり、これは必然的に検出効率及びイメージング視野の低下につながる。3D位置感知検出器が、検出効率を改善し且つ全方向性（無指向性）検出能力を獲得するために、散乱体と吸収体との両方として使用される場合に、散乱点と吸収点との間の距離が短くなるため、角度分解能が悪化する可能性がある（通常20～30°のみ）。

【発明の概要】

10

【0008】

本開示の目的は、検出器システム及び放射線イメージング装置を提供することである。

【0009】

本開示の第1の態様は、検出器システム（detector system）を提供し、この検出器システムは、

重なり合う複数の検出器層（detector layers）を含む検出器であって、検出器層は検出器素子層（detector element layer）を含み、少なくとも1つの検出器層は検出器層の厚さ方向に沿って移動可能である、検出器と、

少なくとも1つの検出器層に駆動接続された距離調整装置であって、少なくとも1つの検出器層を検出器層の厚さに沿って移動させることにより、検出器の隣接する検出器層の間の層間距離を調整する距離調整装置と、を含む。

20

【0010】

また、検出器素子層は、シンチレータ検出素子層を含み、検出器層は、シンチレータ検出素子層に接続された光電変換素子と、光電変換素子に接続された集積回路チップとを含む。

【0011】

さらに、検出器は、3つ以上の検出器層を含む。

【0012】

さらに、検出器素子層は、シンチレータ検出素子層を含み、シンチレータ検出素子層は、検出器層の厚さに対して直交する方向に近接して並んで配置された複数のシンチレータ・バーを含む。

30

【0013】

さらに、シンチレータ・バーの長さ方向の両端以外の側面には、反射層が設けられる。

【0014】

さらに、シンチレータ・バーの長さ方向の両端以外の側面には、遮光層が設けられる。

【0015】

さらに、検出器層はシリコン光電子増倍管を含み、各シンチレータ・バーの両端には、それぞれ、1つのシリコン光電子増倍管が設けられる。

【0016】

また、検出器層は、検出器層のシリコン光電子増倍管に接続された集積回路チップをさらに含み、検出器層に集積回路チップが配置される。

40

【0017】

さらに、検出器システムは、検出器に接続された電源装置及びデータ取得装置を含む。

【0018】

さらに、距離調整装置は、各検出器層に接続された層間接続機構を含み、層間接続機構は、距離調整装置が層間距離を調整するときに、各2つの隣接する検出器層の間に同じ層間距離を規定する。

【0019】

さらに、層間接続機構は、複数のヒンジ接続ロッドによって形成されたロッド伸縮構造を含み、各検出器層は、ロッド伸縮構造とヒンジ接続される。

50

【 0 0 2 0 】

さらに、距離調整装置は、少なくとも 1 つの検出器層の動きを案内するための案内機構を含む。

【 0 0 2 1 】

また、距離調整装置は、複数の検出器層のうちの少なくとも 1 つの検出器層に駆動接続される駆動機構をさらに含み、この駆動機構を使用して、少なくとも 1 つの検出器層を検出器層の厚さ方向に沿って移動させて層間距離を調整する。

【 0 0 2 2 】

さらに、検出器システムは検出器ブラケットを含み、複数の検出器層及び距離調整装置が、検出器ブラケットに配置される。

【 0 0 2 3 】

本開示は、本開示の第 1 の態様について説明した検出器システムを含む放射線イメージング装置を提供する。

【 0 0 2 4 】

本開示で提供される検出器システムに基づいて、検出器の隣接する検出器層の間の層間距離を調整することができ、層間距離が最小のときに検出効率が最高に達する。層間距離が最大の場合に、検出効率は最低になり、視野は最小になるが、角度分解能は最高になる。層間距離が最大値と最小値との間にある場合に、検出効率、イメージング視野、及び角度分解能は、層間距離に応じて調整でき、これは、放射線測定の様々な要件を満たすのに役立つ。こうして、高い角度分解能で全方向性且つ効率的な検出効果を実現するのに役立つ。

【 0 0 2 5 】

本開示は、本開示の検出器システムを含む放射線イメージング装置も提供する。放射線イメージング装置は、本明細書に開示される検出器システムと同じ利点を有する。

【 0 0 2 6 】

他の特徴及び本開示の特徴の利点は、添付図面を参照して本発明の例示的な実施形態の以下の詳細な説明からより明確に理解することができる。

【図面の簡単な説明】**【 0 0 2 7 】**

本願の一部を構成する添付図面は、本開示の更なる理解を与えることを意図している。本発明の例示的な実施形態及びその説明は、本開示を説明するのに役立つが、本開示に対する不適切な制限を構成するものではない。

【図 1】 従来技術のコンプトン・カメラ検出器の動作原理の概略図である。

【図 2】 隣接する検出器層の間の層間距離が最小である場合の、本開示の実施形態に示される検出器システムの検出器の構造図である。

【図 3】 隣接する検出器層の間の層間距離が最大である場合の、図 2 に示される実施形態における検出器の構造図である。

【図 4】 隣接する検出器層の間の層間距離が最小値と最大値との間にある場合の、図 2 に示される実施形態の特定の位置での検出器の構造図である。

【図 5】 図 2 に示される実施形態における検出器の 1 つの検出器層の構造図である。

【図 6】 図 2 に示される実施形態における検出器の動作原理図である。

【図 7】 図 2 に示される実施形態における検出器の放射線源イメージング効果図である。

【図 8】 図 2 に示される実施形態における検出器の放射線源イメージング効果図である。

【図 9】 検出器の隣接する検出器層の間の層間距離が最小である場合の、本開示の別の実施形態に示される検出器システムの構造図である。

【図 10】 検出器の隣接する検出器層の間の層間距離が最大である場合の、図 9 に示される実施形態における検出器システムの構造図である。

【図 11】 検出器の隣接する検出器層の間の層間距離が最小値と最大値との間にある場合の、図 9 に示される実施形態における検出器システムの構造図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

以下のテキストは、本開示の実施形態の図面と共に、本開示の実施形態で実施される技術的解決策を明確且つ完全に説明する。明らかに、説明する実施形態は、本開示で実施される実施形態の一部に過ぎず、全ての実施形態ではない。少なくとも1つの例示的な実施形態の以下の説明は、実際には例示に過ぎず、本開示及びその適用又は使用を限定することを決して意図するものではない。本開示の実施形態について、創作的な努力をすることなく当業者によって得られる他の全ての実施形態は、本発明の保護の範囲内に入る。

【 0 0 2 9 】

これらの実施形態に示される構成要素及びステップの相対的な配置、数値表現、及び数値は、特に明記しない限り、本開示に対する限定として解釈すべきではない。なお、添付図面に示されている様々な部分の寸法は説明のためのものであり、必ずしも実際の縮尺に従って描かれているわけではないことを理解されたい。関連技術の当業者に知られている技術、方法、及び装置は、詳細に議論しないことがあるが、適切な場合に、これらの技術、方法、及び装置は、本明細書の一部とみなすべきである。本明細書に示され議論される全ての実施形態において、特定の値は、単なる例示として解釈すべきであり、限定として解釈すべきではない。従って、例示的な実施形態の他の例は、異なる値を有し得る。以下の添付図面では、同様のラベル及び文字が同様のアイテムを表し、従って、1つの添付図面に既に規定されているアイテムは、後続の添付図面でさらに説明する必要がないことに留意されたい。

【 0 0 3 0 】

本開示を説明するときの「第1」、「第2」及び類似の用語の使用は、異なる部品同士の間を区別するためだけに使用され、特に明記しない限り特別な意味を有さないため、本開示の保護範囲の制限として解釈することはできない。

【 0 0 3 1 】

「前方、後方、上方、下方、左右」、「横方向、垂直方向、直交方向、水平方向」、「上部及び下部」等、本開示を説明するために使用される位置関係の名詞は、通常、本開示を説明し、且つ説明を簡略化するのみの便宜のために添付図面に示される向き又は位置関係を示し、そして反対の記述がない場合に、問題となる装置又は要素が特定の向きを有さなければならない又は、特定の向きで構築及び操作しなければならないことを示したり暗示したりするものではなく、従って、本開示の保護範囲に対する制限として理解することはできないことに留意されたい。「内側」及び「外側」という用語は、各コンポーネントのアウトラインの内側及び外側を指す。

【 0 0 3 2 】

本開示において、「複数」とは、2つ、3つ、又は4つ以上を意味し、例えば、「複数の層」とは、2つの層、3つの層、又は4つ以上の層を意味する。

【 0 0 3 3 】

図2～図5及び図9～図11に示されるように、本開示の実施形態で提供される検出器システム200は、主に、検出器210と、距離調整装置220とを含む。検出器210は、検出器層211の厚さ方向に沿って重なる複数の検出器層211を含み、複数の検出器層211の少なくとも1つの検出器層211が、検出器層211の厚さ方向に沿って移動可能である。検出器層211は、検出器素子層を含む。距離調整装置220は、少なくとも1つの検出器層211と駆動接続され、少なくとも1つの検出器層211を検出器層211の厚さに沿って移動させることにより、検出器210の隣接する検出器層211の間の層間距離を調整する。本開示で説明する層間距離は、隣接する検出器層211の対向する表面の間の距離である。

【 0 0 3 4 】

本開示の実施形態で提供される検出器システム200では、隣接する検出器層211の間の層間距離を調整することができる。層間距離が最小の場合に、検出効率は最高に達する。層間距離が最大の場合に、検出効率は最低になり、視野は最小になるが、角度分解能は最高になる。層間距離が最大値と最小値との間にある場合に、検出効率、イメージング

視野、及び角度分解能は、層間距離に応じて調整でき、これは、放射線測定の様々な要件を満たすのに役立つ。こうして、高い角度分解能で全方向性且つ効率的な検出効果を実現するのに役立つ。

【0035】

検出器素子層は、例えば、シンチレータ検出素子層、半導体検出素子層、又はガス検出素子層等であり得る。シンチレータ検出素子は、例えば、GAGGシンチレータ素子、LSOシンチレータ素子、NaIシンチレータ素子、CsIシンチレータ素子、又はLaBr₃シンチレータ素子であり得る。半導体検出素子は、高純度ゲルマニウム検出器素子、CdZnTe検出器素子等であり得る。

【0036】

いくつかの実施形態では、検出器素子層はシンチレータ検出素子層を含み、各検出器層211は、シンチレータ検出素子層に接続された光電変換素子と、光電変換素子に接続された集積回路チップとを含む。

【0037】

光電変換素子は、例えば、光電子増倍管(PMT)、フォトダイオード(PD)、アバランシェ・フォトダイオード(APD)、又はシリコン光電子増倍管(SiPM又はマルチピクセル光子カウンター(MPPC))であり得る。光電変換素子は、シンチレータ検出素子層によって得られた光信号を電気信号に変換するように適合される。

【0038】

検出器素子層が半導体検出素子層又はガス検出素子層である場合に、光電変換素子は不要である。

【0039】

いくつかの実施形態では、検出器210は、3、4、6、7、9、10、14以上の層等の3つ以上の検出器層211を含むことができるが、8つ以上の層が好ましい。もちろん、検出器210は、2つの検出器層211のみを有してもよい。

【0040】

いくつかの実施形態では、検出器層211の検出器素子層は、シンチレータ検出素子層を含む。シンチレータ検出素子層は、検出器層211の厚さに対して直交する方向に近接して並んで配置された複数のシンチレータ・バー2111を含む。この場合に、検出器層211は、シリコン光電子増倍管2112を含むことができ、各シンチレータ・バー2111の両端には、それぞれ、1つのシリコン光電子増倍管2112が設けられる。検出器層211は、検出器層211のシリコン光電子増倍管2112に接続される集積回路チップをさらに含んでもよく、検出器層211に集積回路チップが配置される。

【0041】

いくつかの実施形態では、各シンチレータ・バー2111には、特に検出器層211の厚さ方向に平行な側面には、反射層が設けられる。反射層は、各シンチレータ・バー2111により生成されるシンチラント光(scintillant light)を分離する(isolate)ために使用され、これは、異なるシンチレータ・バー2111の間の干渉を防ぐために有利である。

【0042】

いくつかの実施形態では、各シンチレータ・バー2111には、特に検出器層211の厚さ方向に平行な側面には、遮光層が設けられ、これは、検出光線以外の光によって生じる干渉を防ぐ。

【0043】

いくつかの実施形態では、検出器システム200は、検出器210に接続された電源装置及びデータ取得装置を含む。

【0044】

いくつかの実施形態では、距離調整装置220は、各検出器層211に接続される層間接続機構221を含み、層間接続機構221は、距離調整装置220が層間距離を調整するときに、各2つの隣接する検出器層211の間に同じ層間距離を規定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

いくつかの実施形態では、層間接続機構 2 2 1 は、複数のヒンジ接続ロッドによって形成されるロッド伸縮構造を含み、各検出器層 2 1 1 は、ロッド伸縮構造とヒンジ接続される。いくつかの実施形態では、ロッド伸縮構造は、端から端まで順にヒンジ接続された複数の接続ロッドから構成される。或いは、他のいくつかの実施形態では、ロッド伸縮構造は、連続的に接続された複数のせん断フォーク構造も含んでもよい。

【 0 0 4 6 】

いくつかの実施形態では、距離調整装置 2 2 0 は、各検出器層 2 1 1 の動きを案内するための案内機構 2 2 2 を含む。案内機構 2 2 2 は、例えば案内ロッドを含むことができ、各検出器層 2 1 1 は、案内ロッドと一致する案内孔を含むことができる。案内機構 2 2 2 はまた、案内レールと、案内レールに沿って移動可能に嵌合される嵌合部とを含んでもよく、各検出器層 2 1 1 には、嵌合部が設けられる。

10

【 0 0 4 7 】

いくつかの実施形態では、距離調整装置 2 2 0 は、複数の検出器層 2 1 1 の少なくとも 1 つの検出器層 2 1 1 と駆動可能に接続される駆動機構 2 2 3 をさらに含み、駆動機構 2 2 3 は、層間距離を調整するために、少なくとも 1 つの検出器層 2 1 1 を検出器層 2 1 1 の厚さ方向に沿って移動させるように構成される。駆動機構 2 2 3 は、ねじ付きロッドと、ねじ付きロッドと一致するナットとを含むことができ、ナットは、検出器層 2 1 1 のうちの 1 つに固定して接続される。ねじ付きロッドは、手で、又はねじ付きロッドを駆動して動作させるステップモータ等の動力源によって駆動することができる。

20

【 0 0 4 8 】

いくつかの実施形態では、検出器システム 2 0 0 は、検出器ブラケット 2 3 0、複数の検出器層 2 1 0、及び検出器ブラケット 2 3 0 に配置された距離調整装置 2 2 0 を含む。検出器ブラケット 2 3 0 は、フレーム構造を有するのが好ましい。

【 0 0 4 9 】

本開示のいくつかの実施形態における検出器システム 2 0 0 は、図 2 ~ 図 1 1 に関連して以下で詳細に説明する。

【 0 0 5 0 】

図 2 ~ 図 8 は、本開示の実施形態による検出器システム 2 0 0 の検出器 2 1 0 の構造、原理、及び効果を示している。

30

【 0 0 5 1 】

検出器システム 2 0 0 は、主に、検出器 2 1 0、距離調整装置、検出器ブラケット、電源装置、及びデータ取得装置を含む。

【 0 0 5 2 】

図 2 ~ 図 5 に示されるように、検出器 2 1 0 は、検出器層 2 1 1 の厚さ方向に沿って重ねられた 8 つの検出器層 2 1 1 を含む。検出器層 2 1 1 の厚さ方向は、図 2 ~ 図 5 と同様に上下方向である。8 つの検出器層 2 1 1 のうちの、底部検出器層 2 1 1 を除く 7 つは、検出器層 2 1 1 の厚さ方向に沿って移動可能である。

【 0 0 5 3 】

距離調整装置は、複数の検出器層 2 1 1 のうちの少なくとも 1 つの検出器層 2 1 1 に駆動接続され、少なくとも 1 つの検出器層 2 1 1 を検出器層 2 1 1 の厚さ方向に沿って移動させることにより、隣接する検出器層 2 1 1 の間の層間距離を調整する。本実施形態は、検出器 2 1 0 の構造、機能、原理、及び効果に焦点を当てている。従って、図 2 ~ 4 は、距離調整装置 2 2 0 の特定の構造ではなく、調整結果のみを示している。実施形態は、距離調整装置の構造を特定していない。検出器システム 2 0 0 における検出器 2 1 0 の隣接する検出器層 2 1 1 の間の層間距離を調整できる調整装置は、本実施形態の範囲内にあり、本実施形態の全ての検出器層は、検出器 2 1 0 の機能が影響を受けない限り、距離調整装置の調整機能による適応的な変更を構造に加えることができる。

40

【 0 0 5 4 】

検出器層 2 1 1 の検出器素子層は、シンチレータ検出素子層、シンチレータ検出素子層

50

に接続されたシリコン光電子増倍管 2 1 1 2、及びシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 に接続された集積回路チップを含む。

【 0 0 5 5 】

図 2 ~ 図 5 に示されるように、シンチレータ検出素子層は、検出器層 2 1 1 の厚さに対して直交する方向に近接して並んで配置された 1 6 個のシンチレータ・バー 2 1 1 1 を含む。シンチレータ・バー 2 1 1 1 は、G A G G シンチレータ・バーであり、3 ミリメートル (m m) × 3 m m × 4 8 m m のサイズである。各シンチレータ・バー 2 1 1 1 の 4 つの側面は、両端の正方形の面を除き、反射層及び遮光層で覆われている。各シンチレータ検出素子層上の複数の G A G G シンチレータ・バーは、隣接する検出器層の中心間の距離が検出器層の厚さに等しい場合に (層は緊密にフィットする)、より高い検出効率と全方向検出の効率のより良い一貫性を実現するために近接して配置される。

10

【 0 0 5 6 】

この場合に、検出器層 2 1 1 は 3 2 個のシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 を含み、1 6 個のシンチレータ・バー 2 1 1 1 のそれぞれの両端には、それぞれ、1 つのシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 が設けられる。集積回路チップは、検出器層 2 1 1 の 3 2 個のシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 に接続される A S I C (特定用途向け集積回路) チップであってもよく、検出器層 2 1 1 に集積回路チップが配置される。本実施形態では、シンチレータ・バー 2 1 1 1 の両端の端面と協働して、シンチレータ・バー 2 1 1 1 の両端の信号を、3 m m × 3 m m の有効面積を有するシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 で読み取る。各シンチレータ・バー 2 1 1 1 とその両端の 2 つのシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 は、基本的な検出ユニットを構成する。

20

【 0 0 5 7 】

図 6 に示されるように、検出器システム 2 0 0 の検出器 2 1 0 は、8 つの検出器層 2 1 1 を含み、複数の位置で線源 1 0 0 からの光線を検出する。各検出器層 2 1 1 は、検出されたケース (cases : 事例) のエネルギー、時間、及び 2 次元位置情報を取得することができる。検出器 2 1 0 の検出器層 2 1 1 は同じ機能を有しており、各検出器層 2 1 1 は、同時検出法 (coincidence method : 同時計数法) を使用して検出されたケースの関連情報を決定する吸収検出器又は散乱検出器のいずれかであり得る。同時検出法は、特定の幅の時間ウィンドウが指定され (例えば、1 0 0 ナノ秒 (n s) の典型的な値をとる)、検出器層 2 1 1 のいずれか 1 つがトリガーされると開始される。このウィンドウに該当する全てのケースが均等に記録される。検出器の正確に 2 つの検出器層があるケースを検出した場合に、検出器はイメージングを許可され、どの検出器層 2 1 1 が吸収検出器として機能し、どの検出器層 2 1 1 が散乱検出器として機能するかを決定できる。

30

【 0 0 5 8 】

図 2 は、本実施形態における検出器 2 1 0 の検出器層 2 1 1 が密接にフィットする場合の、検出器 2 1 0 の構造を示す概略図である。この場合に、層間距離は最小になり、具体的にはゼロになり、隣接する検出器層 2 1 1 の中心間の距離は、検出器層 2 1 1 の厚さに等しくなる。アレイ内の各シンチレータ・バー 2 1 1 1 の位置には 2 次元情報が含まれる。各シンチレータ・バー 2 1 1 1 の両端のシリコン光電子増倍管 2 1 1 2 によって、各シンチレータ・バー 2 1 1 1 内の放射線源の作用点 (action point) の位置を決定でき、次に、3 次元位置情報を取得できる。さらに、検出器層 2 1 1 は、独立して読み取られ、同時検出法の対象となり得る。この場合に、検出器 2 1 0 全体は、約 4 0 度の角度分解能で全方向検出を可能にし、核種の種及びイメージング関心領域の高速 (< 1 秒) 決定に使用される 3 D 位置感知検出器 2 1 0 であり、この検出器 2 1 0 が最も効率的である。本実施形態の検出器 2 1 0 により、6 6 2 k e V ガンマ線の固有検出効率は 2 0 % に達することができる。

40

【 0 0 5 9 】

図 3 は、本実施形態における検出器 2 1 0 の隣接する検出器層 2 1 1 の間の層間距離が最大に達した (例えば、隣接する検出器層の中心間の距離が、検出器層 2 1 1 の厚さの 5 倍である) ときの、検出器 2 1 0 の構造を示す概略図である。この場合に、検出器 2 1 0

50

は、 150° の範囲に亘って高精度のイメージングを提供する。隣接する検出器層211の間の層間距離の拡大により生じる、残りの検出器層211に向かう各検出器層211の立体角の減少の結果として、検出効率は低下する。層同士の間が拡大した後に、側面入射を効果的にイメージングすることができないため、視野は小さくなる。ただし、作用点の位置付けの不確実性が作用点によって形成されるラインの方向の決定に与える影響が少ないため、層間距離を拡大すると角度分解能が向上する。

【0060】

図4は、本実施形態における検出器210の隣接する検出器層211の間の層間距離が最小値と最大値との間にある場合の、検出器210の構造を示す概略図である。隣接する検出器層211の間の層間距離が最小に達すると、作用点は互いに近くなるため、位置決めの不確実性は、作用点によって形成されるラインの方向の決定に大きな影響を与え、角度分解能は乏しくなる。層をさらに引き離すと、作用点は互いに遠くなり、角度分解能は向上するが、効率は低下し、視野は小さくなる。層間距離の柔軟な調整により、様々なシナリオでのイメージング視野、検出効率、角度分解能等の要件に対応できる。

10

【0061】

図7及び図8は、それぞれ、隣接する検出器層211の間の層間距離が最大である場合の、図2～図5に示される実施形態の検出器210によって実現される放射線源イメージング効果の図を提供する。具体的には、図7及び図8は、単純な逆投影法を使用して得られた ^{137}Cs 放射線源のイメージング効果図である。

20

【0062】

図7では、横軸は方位角を示し、縦軸は傾斜角を示し、ストリップカラーバンドは投影の相対強度を示す。図7の画像の中央にある強度の高い領域は、 ^{137}Cs 放射線源の位置に対応する、光線強度が高い再構成領域である。

【0063】

図8では、横軸は、計算された逆投影角度と実際の放射線源の角度との間の差を示している。縦軸は、単位角度差あたりのケース数を示す。破線は統計的な棒グラフを構成する。滑らかな曲線は、角度分解能、つまりフィッティングによって得られたガウス分布の半値全幅(FWHM)に基づくガウスフィッティングの結果を示している。

【0064】

シミュレーション計算では、検出器には8つの検出器層が設けられ、検出器層にはサイズが $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 48\text{ mm}$ の16個のGAGGシンチレータ・バーが設けられる。隣接する検出器層の中心間の距離が 15 mm の場合に、合計1805ケースがカウントされ、固有の検出効率は 1.8% に達し、角度分解能は 10° に達する。

30

【0065】

図9～図11は、本開示の別の実施形態における検出器システム200の構造図を示している。本実施形態の説明は、検出器システム200の距離調整装置220の例に焦点を当てている。本開示及び前述した実施形態における検出器システム200の検出器210の構造、機能、原理、及び効果に関して、前述した実施形態の検出器システムの説明を参照することができる。本実施形態の検出器210と前述した実施形態の検出器210との違いは、本実施形態では、検出器層211の数が16個であり、距離調整装置220の検出器層211を接続する接続構造2113が示されていることである。接続構造2113は、光電変換素子が配置されていない検出器層211のシンチレータ検出素子層の両側に配置される。図9～図11に示されるように、本実施形態では、シリコン光電子増倍管2112は検出器層211の上下両側に配置され、接続構造2113は前後両側に配置される。図9～図11において、左右方向は、本実施形態における検出器層211の厚さ方向である。

40

【0066】

図9～図11に示されるように、本実施形態における検出器システム200の距離調整装置220は、層間接続機構221、案内機構222、及び駆動機構223を含む。本発実施形態の検出器システム200は、検出器ブラケット230、検出器210の検出器層

50

、及び検出器ブラケット 2 3 0 に配置された距離調整装置 2 2 0 をさらに含む。

【 0 0 6 7 】

層間接続機構 2 2 1 は、各 2 つの検出器層 2 1 1 の間の層間距離を等しく保つ制御機構である。層間接続機構 2 2 1 は各検出器層 2 1 1 に接続され、距離調整装置 2 2 0 が層間距離を調整するときに、層間接続機構 2 2 1 は、各 2 つの隣接する検出器層 2 1 1 の間に同じ層間距離を規定する。

【 0 0 6 8 】

図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、本実施形態の層間接続機構 2 2 1 は、複数のヒンジ接続ロッドによって形成されるロッド伸縮構造を含み、各検出器層 2 1 1 はロッド伸縮構造とヒンジ接続される。ロッド伸縮構造は、端から端まで順にヒンジ結合された複数の接続ロッドを含む。接続ロッドの中で、ロッド伸縮構造の最も外側（右と左）の 2 つの接続ロッドは、長さが短い、短い接続ロッドである。短い接続ロッドの両端は、隣接する接続ロッドと最も外側の検出器層 2 1 1 の中央部とにそれぞれヒンジ接続される。2 つの短い接続ロッドの間の接続ロッドは、長さが長い、長い接続ロッドである。複数の長い接続ロッドが、最も外側の 2 つの検出器層 2 1 1 の間に設けられた複数の検出器層 2 1 1 に対応して 1 つずつ配置され、端と端が順に接続される。各長い接続ロッドの中央部は、対応する検出器層 2 1 1 の中央部にヒンジ接続される。図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、ロッド伸縮構造の各接続ロッドは、各対応する検出器層 2 1 1 の接続構造 2 1 1 3 にヒンジ接続される。

【 0 0 6 9 】

各 2 つの隣接する検出器層 2 1 1 の間に同じ層間距離を規定する機能は、全ての検出器層 2 1 1 を接続する層間接続機構 2 2 1 によって各検出器層 2 1 1 の運動と変位とを関連付けることによって実現される。

【 0 0 7 0 】

検出器層 2 1 1 の層間距離を調整した後の精度を保証するために、本実施形態では、ロッド伸縮構造が、検出器層 2 1 1 の両側に対称的に配置される。

【 0 0 7 1 】

案内機構 2 2 2 は、各検出器層 2 1 1 の動きを案内する。図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、本実施形態の案内機構 2 2 2 は、案内ロッドを含み、各検出器層 2 1 1 は、案内ロッドに一致する案内孔を含む。案内孔は、各検出器層 2 1 1 の接続構造 2 1 1 3 に配置される。各検出器層 2 1 1 のより良いサポート及び全ての検出器層 2 1 1 のより良い案内を提供するために、案内ロッドが、本実施形態の検出器 2 1 0 の四隅のそれぞれに配置される。4 つの案内ロッドは、互いに平行であり、且つ層間接続機構 2 2 1 と協働し、これにより各検出器層 2 1 1 の位置の正確な調整が可能になる。

【 0 0 7 2 】

駆動機構 2 2 3 は、複数の検出器層 2 1 1 の少なくとも 1 つの検出器層 2 1 1 と駆動接続することができる。図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、本実施形態では、右端の検出器層 2 1 1 は固定されたままであり、駆動機構 2 2 3 は、複数の検出器層 2 1 1 のうちの左端の検出器層 2 1 1 と接続され、且つ隣接する検出器層 2 1 1 の間の層間距離を調整する目的で、右端の検出器層 2 1 1 を除く全ての検出器層 2 1 1 を駆動して、右端の検出器層 2 1 1 に対して移動させる。具体的には、駆動機構 2 2 3 は、ねじ付きロッドと、ねじ付きロッドに一致するナットとを含み、ナットは、検出器層 2 1 1 の 1 つに固定して接続される。

【 0 0 7 3 】

ナットの外側輪郭及びナットの外側輪郭に対するねじ孔の位置は、各検出器層の相対変位を調整するために、1 つのねじ孔がねじ付きロッドと協働する限り、本開示の説明では限定されない。例えば、ナットの形状は、六角形、円形、正方形、又は不規則であってもよい。図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、本実施形態のナットは、角形を有している。四角ナットは、左端の検出器層 2 1 1 の左側に固定され、ねじ孔は、四角ナットの外側輪郭の下部で検出器 2 1 0 の下にある。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 4 】

図 9 ~ 図 1 1 に示されるように、本実施形態では、検出器ブラケット 2 3 0 は矩形のフレーム構造を有し、案内機構 2 2 2 の各案内ロッド及び駆動機構 2 2 3 のねじ付きロッドは、検出器ブラケット 2 3 0 に配置される。各検出器層 2 1 1 は、案内孔と案内ロッドとの間の協働により、4 つの案内ロッドに配置される。

【 0 0 7 5 】

検出器ブラケット 2 3 0、距離調整装置 2 2 0、及び検出器層の接続構造は、検出器ブラケット 2 3 0、距離調整装置 2 2 0、及び検出器層の接続構造が検出器 2 1 0 の検出放射源 1 0 0 に影響を与えるのを防止するために、低 Z 材料で作製され得る。低 Z 材料は、高エネルギー線への影響が制限されており、検出器による放射線源の検出には影響を与えない。

10

【 0 0 7 6 】

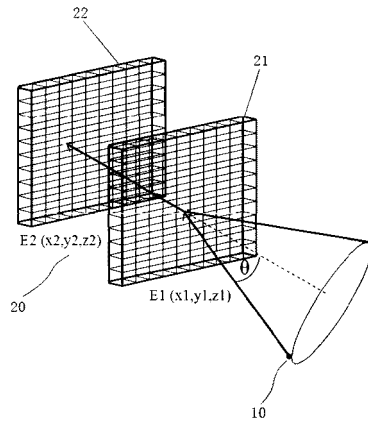
本開示の実施形態は、本実施形態に含まれる検出器システム 2 0 0 を含む放射線イメージング装置も提供する。放射線イメージング装置は、本開示の実施形態に開示される検出器システム 2 0 0 と同じ利点を有する。本開示の実施形態における放射線イメージング装置は、位置感知検出器及びコンプトン・イメージング原理を利用し、核放射線検出、放射線イメージング、放射性核種モニタリング、及び核技術応用の分野に適用可能である。

【 0 0 7 7 】

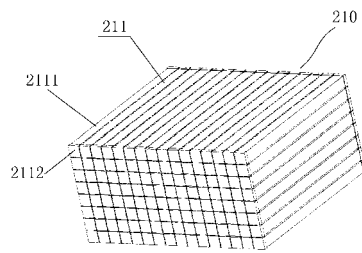
最後に、上記の実施形態は、本発明の技術的解決策を説明するためにのみ使用され、限定として解釈すべきではないことに留意されたい。本開示は、好ましい実施形態を参照して詳細に説明されるが、当業者は、本開示の特定の実施形態が依然として修正され得るか、又はいくつかの技術的特徴が同等物に置き換えられ得ることを理解するはずである。本技術的解決策の技術的ソリューションの精神から逸脱することなく、全ての修正された実施形態及び置換された技術的特徴は、本開示の保護の範囲に含まれるものとする。

20

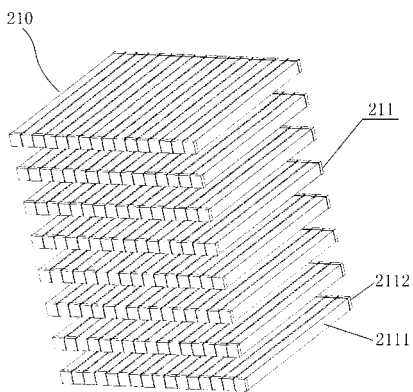
【図 1】



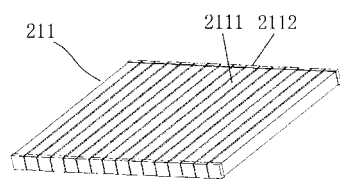
【図 2】



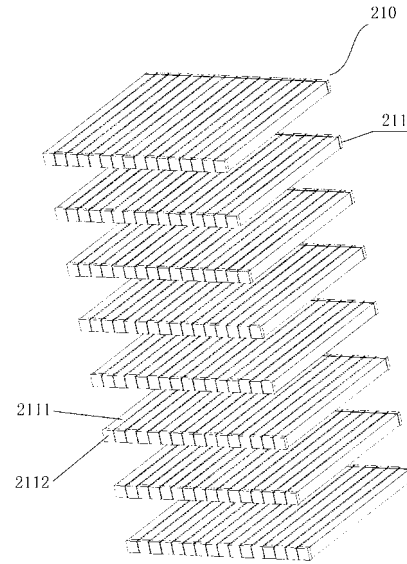
【図 4】



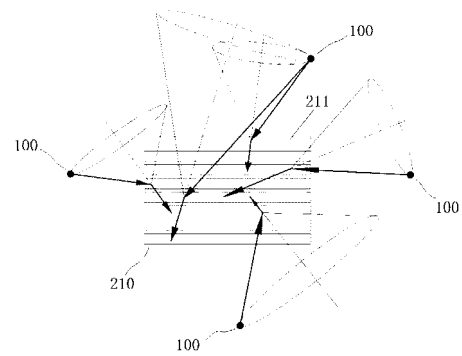
【図 5】



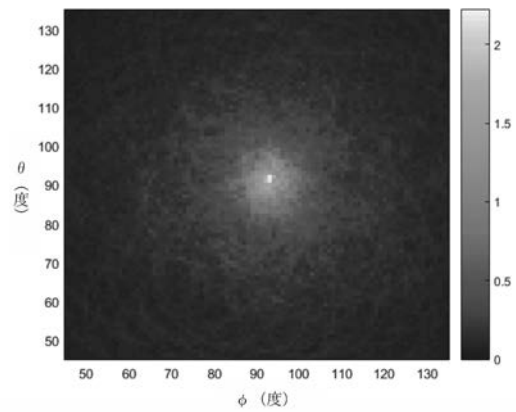
【図 3】



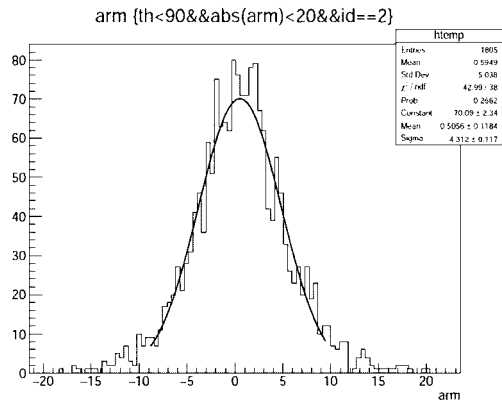
【図 6】



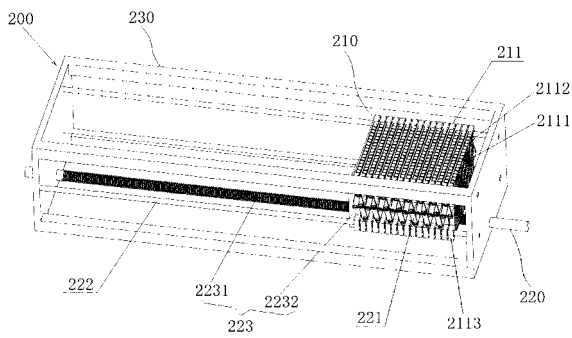
【図 7】



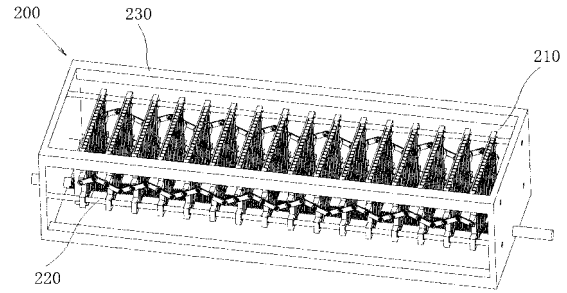
【図 8】



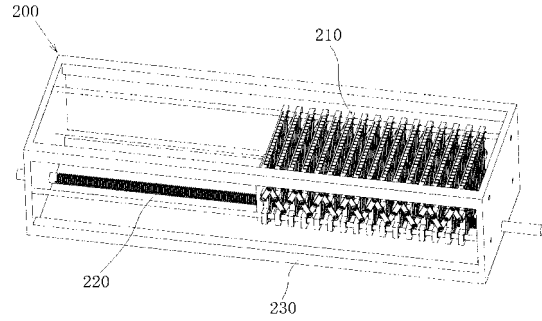
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 田 ▲やん▼

中華人民共和国 100084 ベイジン, ハイディアン ディストリクト, シュアンチンル, ト
ンファン ビルディング, ブロック エイ, セカンド フロアー

(72)発明者 李 玉▲らん▼

中華人民共和国 100084 ベイジン, ハイディアン ディストリクト, シュアンチンル, ト
ンファン ビルディング, ブロック エイ, セカンド フロアー

F ターム(参考) 2G188 BB04 BB17 BB18 CC03 CC16 CC21 CC22 CC23 CC28 CC29
DD04 EE16 EE36

【外国語明細書】
2020101547000001.pdf