

(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2009-53104

(P2009-53104A)

(43) 公開日 平成21年3月12日(2009.3.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 T 1/20 (2006.01)	GO 1 T 1/20 D	2 G 0 8 8
GO 1 T 1/164 (2006.01)	GO 1 T 1/20 G	
	GO 1 T 1/164 A	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2007-221441 (P2007-221441)	(71) 出願人	301032942 独立行政法人放射線医学総合研究所 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(22) 出願日	平成19年8月28日 (2007.8.28)	(71) 出願人	000001993 株式会社島津製作所 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
		(74) 代理人	100080458 弁理士 高矢 諭
		(74) 代理人	100076129 弁理士 松山 圭佑
		(74) 代理人	100089015 弁理士 牧野 剛博
		(72) 発明者	稲玉 直子 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 最終頁に続く

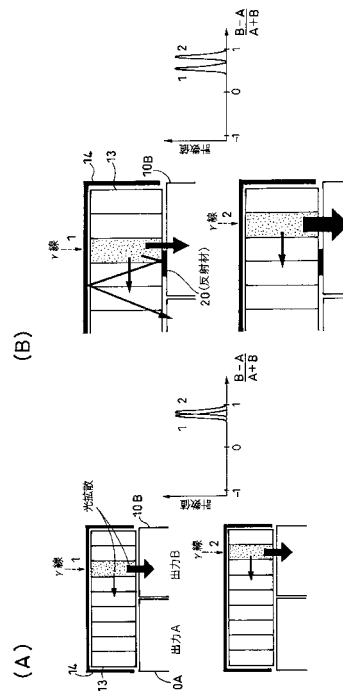
(54) 【発明の名称】 放射線位置検出器

(57) 【要約】

【課題】横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、発光素子に入射した放射線による横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器の位置分解能を向上する。

【解決手段】発光素子(12、13)の受光素子(10A、10B、22A、22B)側面の間の一部に、横方向に反射材20を挿入することにより、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせる。積層された発光素子(13A、13B、13C)の間の一部にも、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせることができる。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、発光素子に入射した放射線による横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器において、

前記発光素子の受光素子側面の間の一部に、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせたことを特徴とする放射線位置検出器。

【請求項 2】

前記発光素子と受光素子の間の一部に横方向に反射材を挿入することにより、前記反射特性を持たせたことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線位置検出器。

10

【請求項 3】

横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、積層された発光素子に入射した放射線による少なくとも横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器において、

前記積層された発光素子の間の面の一部、及び、前記発光素子の受光素子側面の間の一部の少なくともいずれか一方に、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせたことを特徴とする放射線位置検出器。

【請求項 4】

更に、深さ方向の発光位置も重心演算により求めることを特徴とする請求項 3 に記載の放射線位置検出器。

20

【請求項 5】

前記積層された発光素子の間の面の一部、及び、前記発光素子と受光素子の間の一部の少なくともいずれか一方に横方向に反射材を挿入することにより、前記反射特性を持たせたことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の放射線位置検出器。

【請求項 6】

前記発光素子が、一塊の結晶でなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の放射線位置検出器。

【請求項 7】

前記発光素子が、結晶素子配列でなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の放射線位置検出器。

30

【請求項 8】

前記結晶素子配列の少なくとも結晶素子間を跨ぐように深さ方向に反射材が挿入されていることを特徴とする請求項 7 に記載の放射線位置検出器。

【請求項 9】

前記発光素子と受光素子の間に、ライトガイドが設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の放射線位置検出器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線位置検出器に係り、特に、核医学イメージングや 線等の放射線検出の分野で用いるのに好適な、横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、発光素子に入射した放射線による横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器の改良に関する。

40

【背景技術】

【0002】

核医学イメージング装置など、検出器を多く備えるため、検出器単体の価格が装置全体の価格を決定するような場合や、測定範囲が広いため、多くの 線検出器を使用する物理実験では、放射線検出器の低価格化が課題となる。空間分解能を劣化させずに放射線検出器を低価格で作成するために、受光素子を複数配列したものにシンチレーション結晶を光学結合し、各受光素子からの信号の重心演算により放射線を検出した位置の特定を行う方

50

法が良く用いられる。その際、放射線検出位置の分解能は、重心演算の結果が区別できる2点の最短の距離として決定され、重心演算の結果の違いは、検出位置から発生したシンチレーション光の受光素子への分配率の違いによって生じる。

【0003】

シンチレーション結晶を受光素子に光学結合した構造をとる線検出器では、シンチレーション光の拡散を操作することで、受光素子信号の位置演算により、放射線検出位置の分解能を高めることができる。信号の位置演算の結果は、各受光素子への光分配比で決まり、その光分配比をシンチレーション光の発光位置固有のものになるよう操作することで、より正確な放射線検出位置特定が可能となる。ガンマカメラなどで昔から一般的に行われている方法であり、システムとしての空間分解能を劣化させることなく受光素子数を減らし、価格を抑えることができる。また、受光素子も高価な小型のものである必要はなく、安価な汎用の受光素子を用いることができる。

10

【0004】

受光素子信号の位置演算による放射線検出位置特定の原理を図1に示す。この例では、図1の上段に示す如く、独立した2つの受光素子10A、10B上に、1塊のシンチレーション結晶12が光学結合している。簡単のため、シンチレーション結晶12は、反射率100%の反射材14で覆われていて、放射線を検出した際の発光は、全て受光素子10A、10Bに入るものとする。

【0005】

図1(A)に示すように、ある線検出位置2点の識別は、発生するシンチレーション光の2つの受光素子10A、10Bへの分配が異なる場合、受光素子10Aの出力をA、受光素子10Bの出力をBとすると、位置演算 $(B - A) / (A + B)$ によって、図1の下段に示すヒストグラム上で検出位置の識別ができる。この位置特定のためのヒストグラムを、ここではポジションヒストグラムと呼ぶ。図2に示す如く、図1(A)のシンチレーション結晶12が結晶素子配列13になり、図1(C)に示す如く、ライトガイド16を使用する場合や、ライトガイド無しで結晶素子間の深さ方向の反射材(図2の18)の長さを短くして結晶配列内で光の拡散を促進する場合も、原理は同じである。

20

【0006】

しかし、図1(B)に示すように、光の拡散が不十分で、受光素子10Aに届かない領域では、位置演算の結果が全て+1となり、線検出位置の特定が不可能となる。

30

【0007】

このように、複数の受光素子信号の位置演算による放射線検出位置判別においては、分解能に相当する間隔ごとに、各受光素子へのシンチレーション光の分配が異ならなければならない。

【0008】

シンチレーション光を発光点から拡散させ、離れた受光素子へ光を分配するために、一般的には、図1(C)に示した如く、ライトガイド16を用いる。ライトガイドとしては、アクリルなどの透明な物質が用いられる。しかし、隣接する受光素子までの距離が長い場合、より光を拡散させるためにライトガイドに厚みをもたせる必要があり、それが光分配の揺らぎや光損失を引き起こし、分解能の劣化につながる。分解能の劣化を防ぎ、より細かな制御を可能にするため、ライトガイドに最適な長さのスリットをいれたものも提案されている(非特許文献1、特許文献1-4参照)。

40

【0009】

一方、図2に示した如く、ライトガイドを用いず、シンチレーション結晶部を細かな結晶素子配列13にし、結晶素子間に深さ方向に挿入する反射材18の長さを変えることで、結晶配列内部で光を拡散させる方法も提案されている。各結晶素子での発光による光分配比の最適化は、反射材18の長さの調整により行われる(非特許文献2参照)。

【0010】

また、図5(A)に示す如く、結晶素子配列13を多層(図では13Aと13Bの2層)に積み上げたものが受光素子10A、10Bに光学結合する構造を持つ多層型放射線検

50

出器で、放射線を検出した結晶を特定することで、検出位置の深さ情報も得られる。結晶特定法の一つに、結晶間の深さ方向の反射材18を抜くと、そこで接する結晶に光が広がり、受光素子信号の位置演算の結果である結晶応答の分離が、両結晶で小さくなることを利用したものがある。このとき逆に反射材18で仕切られている結晶間の応答の分離は大きくなる。層ごとに反射材18を抜く位置をずらすと、結晶応答の分離の大小が層ごとに異なる結果、深さ方向に積み上げた結晶の応答が分かれ、結晶判別が可能となる（非特許文献3、特許文献5参照）。

【0011】

また、受光素子面の感度の違いや結晶配列において異なるシンチレータを用いることなどにより、全受光素子の信号の和として得られる光量が、放射線検出位置により大きく異なる場合がある。光量が異なると、ノイズである散乱線の除去や、回路系のダイナミックレンジの決定が困難になる。光量を均一にするために、黒い紙などの光吸収材やアルミニウムなどの光遮断物質のマスクを、受光素子とライトガイド間、結晶素子間に挿入したり、結晶側面に当てたりする試みもなされている（非特許文献4 - 7参照）。

10

【0012】

【特許文献1】特開2007-78567号公報

【特許文献2】特開2004-361302号公報

【特許文献3】特開2004-354343号公報

【特許文献4】特開2004-233240号公報

【特許文献5】特開2004-279057号公報

20

【非特許文献1】M. E. Casey and R. Nutt, "A multicrystal two dimensional BGO detector system for positron emission tomography," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 33, pp. 460 -463, 1986.

【非特許文献2】W. H. Wong, S. Yokoyama, J. Uribe, H. Baghaei, H. Li, J. Wang, and N. Zhang, "An Elongated Position Sensitive Block Detector Design Using the PMT Quadrant-sharing Configuration and Asymmetric Light Partition," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 46, pp. 542 - 545, June 1999.

【非特許文献3】T. Tsuda, H. Murayama, K. Kitamura, T. Yamaya, E. Yoshida, T. Omura, H. Kawai, N. Inadama, and N. Orita, "A Four Layer Depth of Interaction Detector Block for Small Animal PET," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 51, pp. 2537 - 2542, October 2004.

30

【非特許文献4】J. H. Jung, Y. Choi, Y. H. Chung, O. Devroede, M. Krieguer, P. Bruyndonckx, and S. Tavernier, "Optimization of LSO/LuYAP phoswich detector for small animal PET," NIM. A, 571, pp. 669 - 675, 2007.

【非特許文献5】D. Christ, A. Hollendung, H. Larue, C. Parl, M. Streun, S. Weber, K. Ziemons, and H. Halling, "Homogenization of the Multi-Channel PM Gain by Inserting Light Attenuating Masks," in IEEE Nucl. Sci. Symp. Conf. Rec., Portland, OR, pp. 2382 - 2385, 2003.

【非特許文献6】J.-B. Mosset, O. Devroede, M. Krieguer, M. Rey, J.-M. Vieira, J. H. Jung, C. Kuntner, M. Streun, K. Ziemons, E. Auffray, P. Sempere-Roldan, P. Lecoq, P. Bruyndonckx, J.-F. Loude, S. Tavernier, and C. Morel, "Development of an Optimized LSO/LuYAP Phoswich Detector Head for the Lausanne ClearPET Demonstrator," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 53, pp. 25 - 29, February 2006.

40

【非特許文献7】C. Moisan, M. S. Andreaco, J. G. Rogers, S. Paquet, and D. Voza, "Segmented LSO Crystals for Depth-of-Interaction Encoding in PET," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 45, pp. 3030 - 3035, December 1998.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

結晶素子配列の場合、放射線を検出した検出素子の識別能が、検出器の検出位置分解能

50

を決定するが、結晶素子内部で結晶素子固有の光分配を作る方法で、結晶素子間の深さ方向の反射材 18 を取り除いても、結晶と結晶間物質の屈折率の違いや、結晶素子の表面状態などにより、光が十分に拡散されない場合がある。例えば、結晶素子の表面が十分機械研磨されていると、結晶配列内の光の拡散は小さく、光のほとんどが結晶の深さ方向へ出てしまう。従って、図 3 (A) に示す如く、各結晶素子の底面で直接光学結合する受光素子 (図では 10B) に大半の光が入射し、他方の受光素子 (10A) の信号が弱くなるため、同じ受光素子 (10B) 上の結晶素子間で位置演算の結果が類似し、識別能が劣化して、線検出位置 1 と 2 の識別 (結晶の識別) が不可能になる。

【0014】

又、図 4 (A) に示す如く受光素子 10A、10B の境界付近の線検出位置 1 では、受光素子 10A の信号が弱いため、応答は線検出位置 2 と似たようなものになり、識別 (結晶の識別) が困難になる。一方、結晶が隣り合う筈の線検出位置 3 の応答とは不必要に隔たる。

10

【0015】

又、図 5 (A) の左側に示したような 3 次元結晶配列の多層型検出器において、結晶間の深さ方向の反射材 18 を一部取り除き、反射材を抜く位置を層毎にずらすことによって、深さ方向に積み上げた結晶の識別が可能になるが、反射材 18 を抜いたことによる光の拡散が小さい場合、図 5 (A) の右側に示す如く、深さ方向の結晶の識別が困難となる。

【0016】

又、図 1 (A) に示したような一塊のシンチレーション結晶 12 を用いる場合、2 つの受光素子 10A、10B の境界辺り以外の部分では、放射線検出位置の分解能が劣化する。これは、中央付近では隣接する受光素子まで距離があるため、光分配の違いを作りにくいからである。

20

【0017】

なお、非特許文献 4 - 7 に記載されているように、光遮断物質のマスクを受光素子とライトガイド間や結晶素子間に挿入したり、結晶側面に当てる方法では、光量が減ってしまう。

【0018】

本発明は、前記従来の問題点を解消するべくなされたもので、横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有する放射線検出器において、光の横方向の分配を改善して、位置分解能を向上することを課題とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明は、横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、発光素子に入射した放射線による横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器において、前記発光素子の受光素子側面の間の一部に、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせることにより、前記課題を解決したものである。

【0020】

ここで、前記発光素子と受光素子の間の一部に横方向に反射材を挿入することにより、前記反射特性を持たせることができる。反射材としては、例えば住友スリーエム社製 ESR フィルム (反射率 98% の高反射) や東レ社製 ルミラー 38X20 (半透明で光の吸収はあまり無い) を用いることができる。

40

【0021】

本発明は、又、横方向で識別すべき発光位置の数より数が少ない複数の受光素子を有し、積層された発光素子に入射した放射線による少なくとも横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器において、前記積層された発光素子の間の面の一部、及び、前記発光素子の受光素子側面の間の一部、少なくともいずれか一方に、発光の横方向への拡散を促進するための反射特性を持たせることにより、前記課題を解決したものである。

50

【 0 0 2 2 】

更に、深さ方向の発光位置も重心演算により求めることができる。

【 0 0 2 3 】

ここで、前記積層された発光素子の間の面の一部、及び、前記発光素子と受光素子の間の一部、の少なくともいずれか一方に横方向に反射材を挿入することにより、前記反射特性を持たせることができる。

【 0 0 2 4 】

前記発光素子は、一塊の結晶、あるいは、結晶素子配列でなることができる。

【 0 0 2 5 】

又、前記結晶素子配列の少なくとも結晶素子間を跨ぐように深さ方向に反射材を挿入することができる。

【 0 0 2 6 】

又、前記発光素子と受光素子の間に、ライトガイドを設けることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 7 】

本発明によれば、横方向で識別すべき発光位置より数が少ない複数の受光素子を有し、発光素子に入射した放射線により横方向の発光位置を、受光素子出力の重心演算により求めるようにした放射線位置検出器において、結晶内での光拡散を促進させ、位置分解能を向上することができる。

【 0 0 2 8 】

検出器構造も単純で作り易く、核医学装置に必須である量産に耐え得るものである。更に、もともと安価な汎用受光素子を、なるべく少ない数用いて目的の検出器性能を達成させる可能性が広がる。これにより、費用と効果の比率を上げるだけでなく、信号処理回路を簡潔にし、測定装置の安定した運転に貢献する。

【 0 0 2 9 】

特に、結晶素子配列を用いた場合には、結晶配列内での光拡散を促進させ、結晶識別能を改善することができる。又、一塊の結晶を用いる場合は、2つの受光素子の境界以外でおこる放射線検出位置の分解能の劣化を防いで、位置分解能を向上することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 0 】

以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

【 0 0 3 1 】

本発明の第1実施形態は、図3(A)に示すような放射線検出器の問題を解決するべく、図3(B)に示す如く、一方(図では右側)の結晶素子の下に反射材20を挿入することにより、受光素子10Bに入射する光の一部を反射させ、受光素子10A側に拡げられるようにしたものである。

【 0 0 3 2 】

これにより、それぞれの結晶素子から発生されたシンチレーション光の光分配に違いができ、結晶識別が可能となる。

【 0 0 3 3 】

本発明は、このように、結晶と結晶間物質の屈折率の違いや結晶素子の表面状態などにより、結晶素子間の反射材を取り除いても光が十分に拡散されない場合や、一塊のシンチレーション結晶で光拡散の微調整をしたいときなどに特に効果的であり、図3(B)に示したように、結晶と受光素子間の適切な場所に横方向に反射材20を挿入し、直接光学結合する受光素子に入射するはずの光の一部を反射させることで、結晶配列内での光拡散を促進させ、結晶識別能の改善を図ることができる。

【 0 0 3 4 】

本発明の第2実施形態は、図4(A)に示したような放射線検出器の問題を解決するべく、図4(B)に示す如く、中央の結晶素子の下に横方向に反射材20を挿入することにより、線検出位置1では受光素子10Aへの光分配が増し、線検出位置2との識別が

10

20

30

40

50

可能となる。又、線検出位置 3 の応答も近づく。

【0035】

結晶素子間での光の拡散が小さい場合、境界付近の結晶においても直接接する受光素子に大半の光が入射する結果、ポジションヒストグラム上で端の結晶との識別が困難となり、隣り合う異なる受光素子に直接接する結晶の応答とは不必要に隔たるが、図 4 (B) に示したように、中央の結晶素子の下に横方向に反射材 20 を挿入することにより、結晶配列内の光拡散が促進し、ポジションヒストグラム上での結晶応答が均一に分布するようになり、識別能が向上する。

【0036】

本発明の第 3 実施形態は、図 5 (A) に示したような多層型放射線検出器の問題を解決するべく、図 5 (B) に示す如く、層間の一部に横方向に反射材 20 を挿入することで、光の拡散を改善し、識別を可能とし、端の結晶との光分配の差異が生じるようにしたものである。

10

【0037】

このように、層間の適切な位置に横方向に反射材 20 を挿入することで、識別が可能となり、端の結晶との光分配の差異も生じる。

【0038】

本発明の第 4 実施形態を図 6 に示す。本実施形態は、本発明による反射材をライトガイド 16 と併用したものである。通常、ライトガイド 16 の厚み t は、図 6 (A) に示す如く、目的とする光の拡散の程度に比例させるが、本発明により、図 6 (B) に示す如く、ライトガイド 16 と結晶配列 13 間に横方向に反射材 20 を挿入することで、図 6 (C) に示す如く、結晶配列 13 内での光の拡散を促進させることにより、必要なライトガイド 16 の厚み t を減らすことができる。

20

【0039】

2 層の 3 次元結晶配列の場合に適用した本発明の第 5 乃至第 8 実施形態を、それぞれ図 7 ~ 図 10 に示す。図 7 に示す第 5 実施形態は、結晶配列 13 A と 13 B の層間に横方向に反射材 20 を挿入したもの、図 8 に示す第 6 実施形態は、結晶配列 13 B と受光素子 10 A、10 B 間に横方向に反射材 20 を挿入したもの、図 9 に示す第 7 実施形態は、結晶配列 13 A と 13 B の層間と結晶配列 13 B - 受光素子 10 A、10 B 間の両方に反射材 20 を挿入したもの、図 10 に示す第 8 実施形態は、結晶配列 13 A と 13 B の層間の反射材 20 と、切り込み 16 A を入れて最適化したライトガイド 16 を併用したものである。

30

【0040】

3 層の 3 次元結晶配列の場合に適用した本発明の第 9 実施形態を図 11 に示す。

【0041】

本実施形態の各層の結晶配列 13 A、13 B、13 C は、互いに異なるシンチレータで作られている。各層は信号の波形で識別されるため、ヒストグラム上で重なっても構わない。従って、積層型であるが反射材挿入は 1 層の場合と同じになる。

【0042】

2 次元結晶配列における反射材の挿入例を、図 12 ~ 図 14 に示す。図において、22 は、受光素子としての光電子増倍管 (PMT) であり、反射材が挿入されていない所は、光学グリースが塗られるか、空気とされている。又、 x と y は、いずれを横方向にとることもできる。

40

【実施例】

【0043】

本発明の効果を実験により実証した。結晶配列は 2 次元とし、図 15 に示す x 方向の結晶識別能について最適化を行なった。受光素子としては、図 15 (A) に示すサイズの 2 チャンネル位置弁別型光電子増倍管 (PS - PMT) を 2 つ (22 A、22 B) 使用した。表面状態が機械研磨である、大きさ $2.45 \text{ mm} \times 5.10 \text{ mm} \times 15.00 \text{ mm}$ の LYSO 結晶を 9×4 に配列したもの (結晶配列 13) を、受光素子 22 A、22 B に光学

50

グリース 24 で結合した。反射材 18 は、反射率 98% で厚み 0.067 mm のフィルム状のものを、結晶配列 13 内では、図 15 (B) に示す如く、x 方向の端の結晶素子間にのみ挿入した。端の結晶素子以外は、結晶識別のために直接接しない受光素子にも光が分配される必要があり、ライトガイドを使用する代わりに結晶素子同士を光学グリース 24 で光学結合させることで光を拡散させた。結晶配列 13 全体は、受光素子 22A、22B との結合面以外は反射材 14 で覆った。

【0044】

図 16 に、Cs 線源からの 662 keV 線を一様照射して得られた 2 次元 (2D) ポジションヒストグラムを示す。計数値は濃淡で示される。

【0045】

図 16 (A) に、一般的に行なうライトガイド 16 を用いた場合の結果を示す。結晶素子間全てに反射材 18 が挟まれ、結晶配列 13 は、最適化されたライトガイド 16 と受光素子 22A、22B に結合する。この場合、結晶の表面状態は、あまり結晶識別能に影響しない。

【0046】

図 16 (B) は、ライトガイドを使用する代わりに結晶配列 13 内で光を拡散させた例であり、図 15 (B) に示すように、端以外の結晶について光を拡散させるために反射材 18 を取り除いた結晶配列 13 により得られた 2D ポジションヒストグラムである。結晶の配列状態が機械研磨であることが影響し、光の拡散が不十分で、図 3 (A) と同様に、x 方向で 2 列分の結晶素子応答が重なり、識別不可能になっている。

【0047】

この応答の重なりは、図 16 (C) に示す如く、本発明により反射材 20 を横方向に挿入することで改善されることが確認できた。

【0048】

なお、前記実施形態においては、いずれも受光素子が 2 個とされていたが、受光素子の数はこれに限定されず、3 個以上であっても良い。

【0049】

又、前記実施形態においては、いずれも、横方向に反射材 20 を挿入することにより反射特性を持たせていたが、反射特性を与える方法はこれに限定されない。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図 1】受光素子信号の位置演算による放射線検出位置特定の原理を示す図

【図 2】結晶素子間に反射材が挿入された検出器の例を示す断面図

【図 3】(A) 光のほとんどが結晶の深さ方向へ出る場合の一つの問題点、及び、(B) これを解決した本発明の第 1 実施形態を示す図

【図 4】(A) 同じく他の問題点、及び、(B) これを解決した本発明の第 2 実施形態を示す図

【図 5】(A) 多層型放射線検出器における問題点、及び、(B) これを解決した本発明の第 3 実施形態を示す図

【図 6】(A) ライトガイドを用いた場合の問題点、及び、(B) これを解決した本発明の第 4 実施形態を示す断面図

【図 7】本発明の第 5 実施形態の要部構成を示す断面図

【図 8】同じく第 6 実施形態の要部構成を示す断面図

【図 9】同じく第 7 実施形態の要部構成を示す断面図

【図 10】同じく第 8 実施形態の要部構成を示す断面図

【図 11】同じく第 9 実施形態の要部構成を示す断面図

【図 12】2 次元結晶配列における本発明による反射材の挿入の一例を示す平面図

【図 13】同じく他の例を示す平面図

【図 14】同じく更に他の例を示す平面図

【図 15】実施例で用いた検出器の構成を示す図

10

20

30

40

50

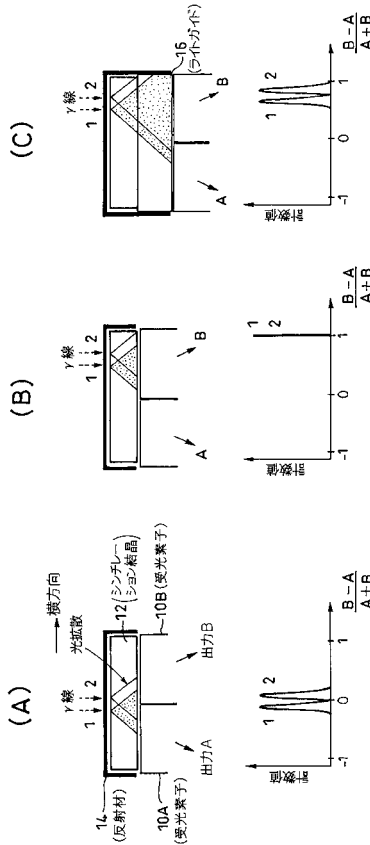
【図16】同じく測定結果を示す図

【符号の説明】

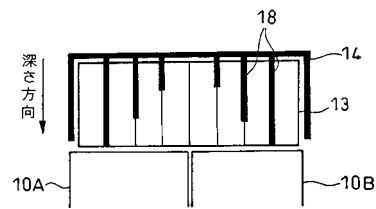
【0051】

- 10A、10B、22A、22B... 受光素子
- 12... シンチレーション結晶
- 13、13A、13B、13C... 結晶配列
- 14、18、20... 反射材
- 16... ライトガイド

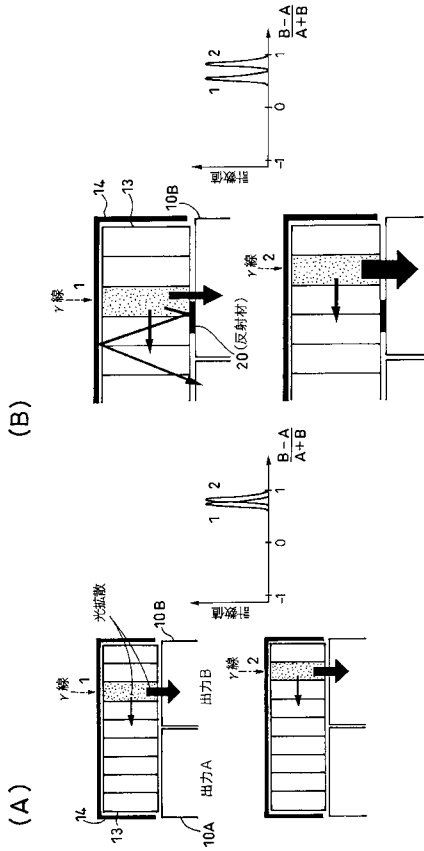
【図1】



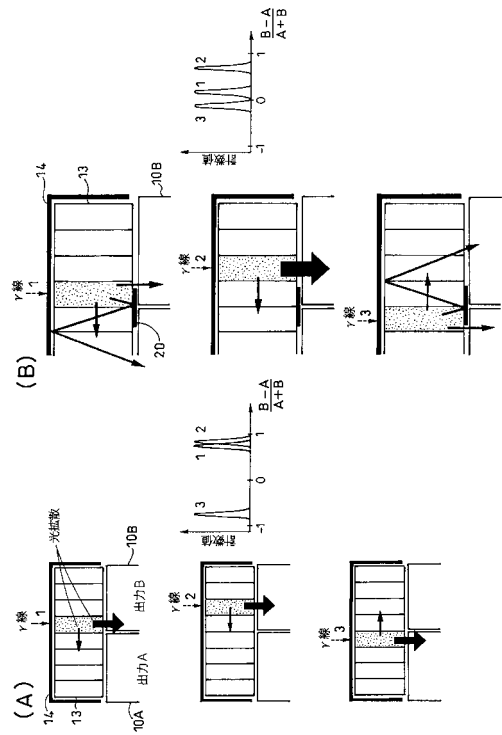
【図2】



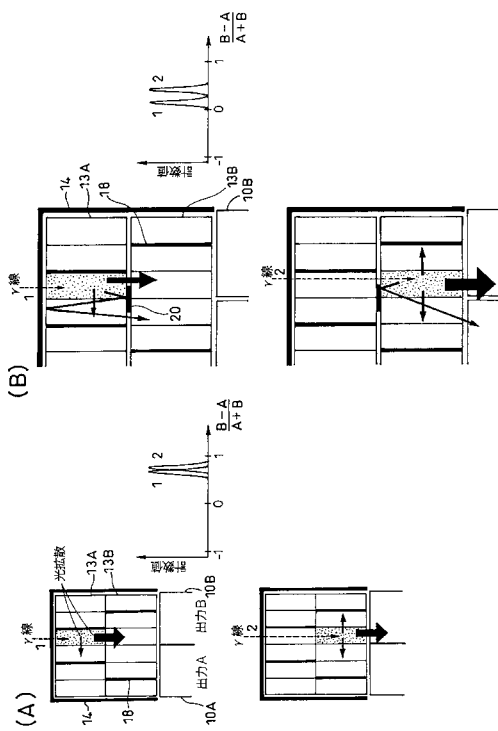
【 図 3 】



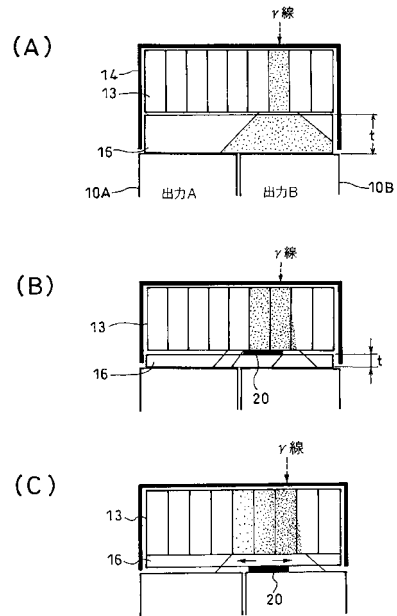
【 図 4 】



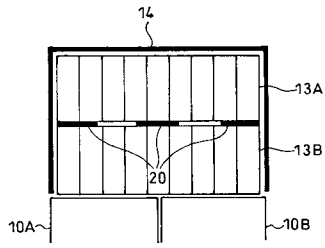
【 図 5 】



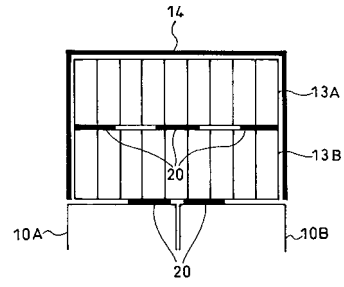
【 図 6 】



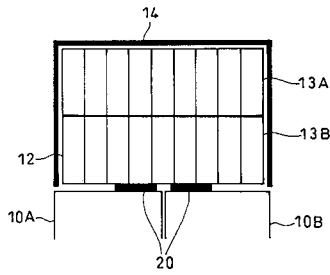
【 図 7 】



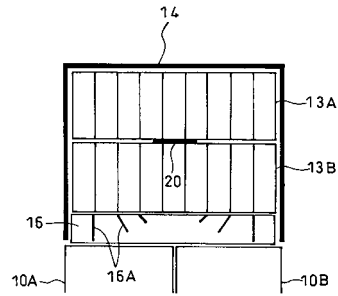
【 図 9 】



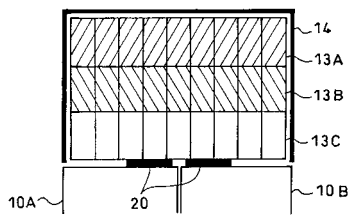
【 図 8 】



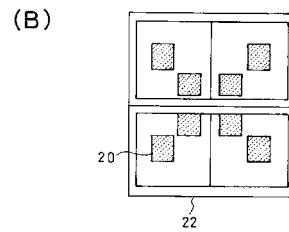
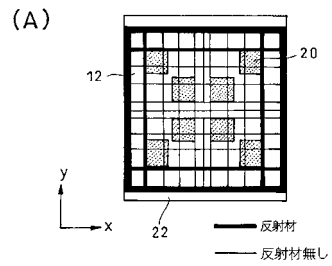
【 図 10 】



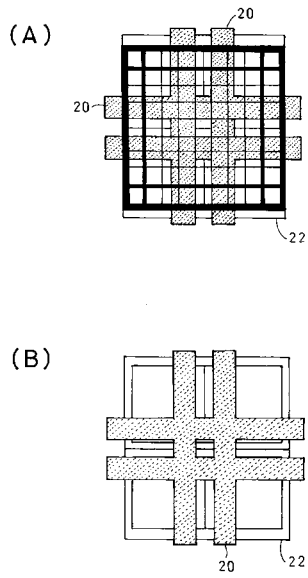
【 図 11 】



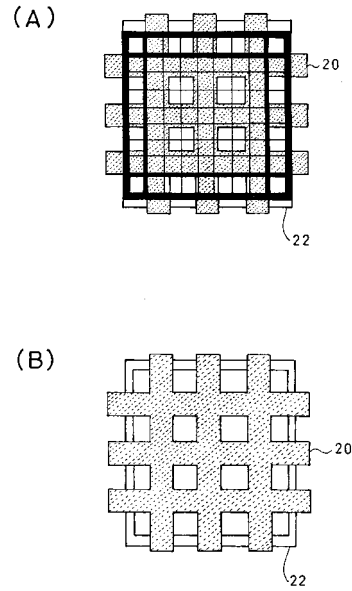
【 図 12 】



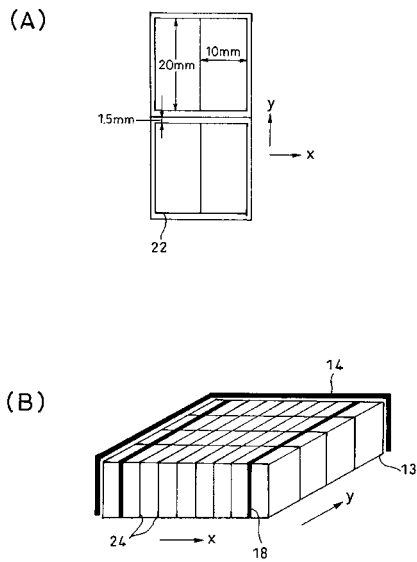
【図 13】



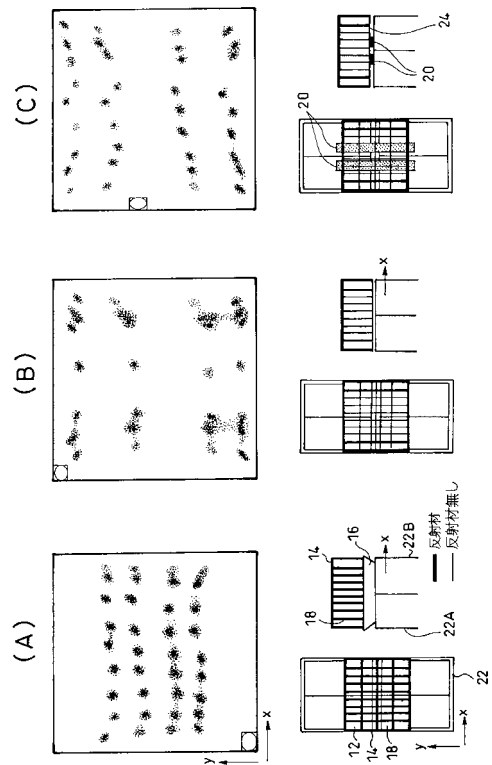
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

- (72)発明者 村山 秀雄
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 澁谷 憲悟
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 錦戸 文彦
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 大井 淳一
京都府相楽郡精華町光台3-9-4 株式会社島津製作所基盤技術研究所内
- (72)発明者 津田 倫明
京都府相楽郡精華町光台3-9-4 株式会社島津製作所基盤技術研究所内
- Fターム(参考) 2G088 EE30 FF02 FF04 FF18 GG19 JJ09 KK29 KK35