

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7181283号

(P7181283)

(45)発行日 令和4年11月30日(2022.11.30)

(24)登録日 令和4年11月21日(2022.11.21)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 6/03 (2006.01)

A 6 1 B 6/03 3 2 0 W

G 0 1 T 1/20 (2006.01)

G 0 1 T 1/20 B

G 0 1 T 1/36 (2006.01)

G 0 1 T 1/20 G

G 0 1 T 1/20 E

G 0 1 T 1/36 D

請求項の数 20 (全15頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2020-511809(P2020-511809)

(86)(22)出願日 平成30年8月20日(2018.8.20)

(65)公表番号 特表2020-531183(P2020-531183
A)

(43)公表日 令和2年11月5日(2020.11.5)

(86)国際出願番号 PCT/EP2018/072383

(87)国際公開番号 WO2019/042797

(87)国際公開日 平成31年3月7日(2019.3.7)

審査請求日 令和3年8月19日(2021.8.19)

(31)優先権主張番号 62/552,563

(32)優先日 平成29年8月31日(2017.8.31)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

早期審査対象出願

前置審査

(73)特許権者 590000248

コーニンクレッカ フィリップス エヌ
ヴェKoninklijke Philips
N.V.オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン
ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
High Tech Campus 52,
5 6 5 6 AG Eindhoven, N
etherlands

(74)代理人 110001690

特許業務法人M&Sパートナーズ

(72)発明者 ステッドマン ブッカー ロジャー

オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン
ドーフエン ハイ テック キャンパス 5
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モノリシックシンチレータを有する多層検出器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モノリシックシンチレータを含むコンピュータ断層撮影検出器アレイであって、

前記モノリシックシンチレータは、第1のシンチレータ領域、第2のシンチレータ領域、及び前記第1のシンチレータ領域と前記第2のシンチレータ領域との間の光学反射バリアを含み、

前記コンピュータ断層撮影検出器アレイが、検査領域を横断し前記モノリシックシンチレータに衝突するX線放射を検出し、前記第1のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第1の投影データと、前記第1のシンチレータ領域を横断し前記第2のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第2の投影データとを生成する、コンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項 2】

前記モノリシックシンチレータが、前記第1のシンチレータ領域と前記第2のシンチレータ領域とを画定するためにレーザによって構造的に変更されたシンチレータ材料の物理的バルクの一部分を含む、請求項1に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項 3】

前記光学反射バリアのボリュームによって画定された主表面が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影検出器アレイの表面と実質的に平行に配設される、請求項1に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項 4】

10

20

前記シンチレータ材料が、
 ガドリニウムオキシサルファイド (GOS 、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$)、
 イットリウムアルミニウムガーネット (YAG 、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)、
 セリウムドープイットリウムアルミニウムガーネット (CE YAG 、 $\text{Ce Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)、
 ガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット (GAGG 、 $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)

、
 セリウムドープガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット (CE GAGG 、 $\text{Ce Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)、

ジンクセレナイド (ZnSe)、及び

カドミウムタングステート (CdWO_4)

のうちの少なくとも1つを含む、請求項2に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項5】

前記モノリシックシンチレータが、複数の検出器要素の単一のバルクシンチレータ材料の一部を含み、各検出器要素の各モノリシックシンチレータが複数の領域を有する、請求項1に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項6】

前記モノリシックシンチレータに隣接して配設されるフォトセンサのアレイをさらに含み、前記フォトセンサのアレイのフォトセンサが配置されている面が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影検出器アレイの表面に対して垂直に配設される、請求項1に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項7】

前記モノリシックシンチレータが間に配設されるフォトセンサの2つのアレイをさらに含み、前記フォトセンサの2つのアレイのフォトセンサが配置されている面の各々が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影検出器アレイの表面と平行に配設される、請求項1に記載のコンピュータ断層撮影検出器アレイ。

【請求項8】

検査領域を横断するX線放射を放出するX線放射源と、

前記検査領域を横切って前記X線放射源の反対側に配置される検出器アレイであって、

少なくとも第1のシンチレータ領域、第2のシンチレータ領域、及び前記少なくとも第1のシンチレータ領域と前記第2のシンチレータ領域との間の光学反射バリアを含むモノリシックシンチレータ

を含む、検出器アレイとを含む、コンピュータ断層撮影システムであって、

前記検出器アレイが、前記検査領域を横断し前記モノリシックシンチレータに衝突するX線放射を検出し、前記第1のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第1の投影データと、前記第1のシンチレータ領域を横断し前記第2のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第2の投影データとを生成する、コンピュータ断層撮影システム。

【請求項9】

前記モノリシックシンチレータが、前記第1のシンチレータ領域と前記第2のシンチレータ領域とを画定するためにレーザによって構造的に変更されたシンチレータ材料の物理的バルクの一部分を含む、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項10】

前記光学反射バリアを画定するボリウムの主表面が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記検出器アレイの表面と実質的に平行に配設される、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項11】

シンチレータ材料が、

ガドリニウムオキシサルファイド (GOS 、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$)、

イットリウムアルミニウムガーネット (YAG 、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)、

10

20

30

40

50

セリウムドープイットリウムアルミニウムガーネット (Ce YAG 、 $\text{Ce Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)、

ガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット (GAGG 、 $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)

、

セリウムドープガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット (Ce GAGG 、 $\text{Ce Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)、

ジンクセレナイド (ZnSe)、及び

カドミウムタングステート (CdWO_4)

のうちの少なくとも1つを含む、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項12】

前記モノリシックシンチレータが、複数の検出器要素の単一のバルクシンチレータ材料の部分を含み、各検出器要素の各モノリシックシンチレータが複数の領域を有する、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項13】

前記モノリシックシンチレータに隣接して配設されるフォトセンサのアレイをさらに含み、前記フォトセンサのアレイのフォトセンサが配置されている面が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記検出器アレイの表面に対して垂直に配設される、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項14】

前記モノリシックシンチレータが間に配設されるフォトセンサの2つのアレイをさらに含み、前記フォトセンサの2つのアレイのフォトセンサが配置されている面の各々が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記検出器アレイの表面と平行に配設される、請求項8に記載のコンピュータ断層撮影システム。

【請求項15】

コンピュータ断層撮影放射検出装置を製造する方法であって、前記方法が、

物理的に接続された結晶構造として単一の物理的バルクを維持しながらモノリシックシンチレータの複数の領域を画定するために、合焦レーザによってシンチレータ材料の前記単一の物理的バルクの一部分の結晶構造を変更するステップであって、前記変更された一部分が、検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影放射検出装置の表面と平行に配向される主表面をもつボリュームを含む、変更するステップを有する、方法。

【請求項16】

前記単一の物理的バルクの前記変更された一部分が、前記単一の物理的バルクの外部表面である表面をもつボリュームをさらに含む、請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記合焦レーザの方向が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影放射検出装置の前記表面に対して垂直な面と平行に又は前記面に対して垂直に配向される、請求項15に記載の方法。

【請求項18】

変更されたシンチレータ材料の前記単一の物理的バルクの前記一部分が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影放射検出装置の前記表面と平行な主表面をもつ2つのボリュームを含み、前記主表面が、平行であり、2マイクロメートルと100マイクロメートルとの間の距離だけ分離される、請求項15に記載の方法。

【請求項19】

シンチレータ材料の前記単一の物理的バルクがモノリシックシンチレータの1次元アレイでの複数のモノリシックシンチレータを含み、各モノリシックシンチレータが複数の領域を有し、

シンチレータ材料の前記単一の物理的バルクに隣接して配設されるフォトセンサのアレイをさらに含み、

シンチレータ材料の前記単一の物理的バルクを前記フォトセンサのアレイに位置合わせ

10

20

30

40

50

し付着させるステップであって、前記フォトセンサのアレイのフォトセンサが配置されている面が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影放射検出装置の前記表面に対して垂直に配向される、位置合わせし付着させるステップをさらに有する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 20】

シンチレータ材料の前記単一の物理的バルクが、シンチレータの2次元アレイでの複数のモノリシックシンチレータを含み、各モノリシックシンチレータが複数の領域を有し、シンチレータ材料の前記単一の物理的バルクが間に配設されるフォトセンサの2つのアレイをさらに含み、

前記フォトセンサの2つのアレイ間にシンチレータ材料の前記単一の物理的バルクを位置合わせし付着させるステップであって、前記フォトセンサの2つのアレイのフォトセンサの面の各々が、前記検査領域を横断したX線放射を受け取る前記コンピュータ断層撮影放射検出装置の前記表面と平行に配向される、位置合わせし付着させるステップをさらに有する、請求項 15 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

以下は、一般に、イメージング検出器に関し、より詳細には、モノリシックシンチレータを有する多層検出器に関し、マルチエネルギー（スペクトル）コンピュータ断層撮影（CT）への特定用途について記載されている。

【背景技術】

【0002】

スペクトルCTイメージングシステムは、X線放射を放出するために単一の広帯域線源、多数の線源、及び/又はkVpスイッチングを含む。放出されたX線放射は、対象物又は対象者が内部に配置された検査領域を横断する。1つの構成は、線源から検査領域を横切って配置された多層検出器アレイを含む。多層検出器アレイは、検査領域を横断し多層検出器アレイに衝突するX線放射を検出する。多層検出器アレイは多数の検出器モジュールを含み、各検出器モジュールは、入射放射を横断する方向に1次元又は2次元で延びる多数の検出器要素を有する。検出器要素のX線放射受取り面は、本明細書ではピクセルとも呼ぶ。

【0003】

2層構成では、各検出器要素は、2層の直方体形状及び/又は正方形直角錐台形状シンチレータ（又はシンチレータボクセル）を含む。層は互いに重ね合わされ、積み重ねは入射放射の方向に延びる。第1の層の第1のシンチレータは、第1の所定のエネルギー範囲のX線放射を受け取って吸収し、それを示す第1の光放射を作り出す。第1の所定のエネルギー範囲よりも大きいX線放射は、第1のシンチレータを横断し、第2の層の第2のシンチレータによって検出され、第2のシンチレータは、このX線放射を受け取って吸収し、それを示す第2の光放射を作り出す。光放射は、X線放射のエネルギーを示す電気信号を作り出すフォトダイオードなどの対応するフォトセンサによって検出される。

【0004】

フォトセンサは、垂直又は水平構成で配列される。垂直構成では、フォトセンサは、シンチレータ間に配列され、X線放射を受け取る検出器の表面の一部分を占める。言い換えれば、アレイとして配列されたフォトセンサは、一般に、入射放射と平行である。水平構成では、フォトセンサは、X線放射を基準としてシンチレータの前後に配置される。言い換えれば、アレイとして配列されたフォトセンサは、入射放射に対して概ね垂直である。X線放射とシンチレータとの前に、又はX線放射とシンチレータとの間に配置される場合、フォトセンサがX線放射に対して透明であり、その結果、X線放射がフォトセンサを通過し、次いで、シンチレータによって吸収されることは有利である。

【0005】

各検出器要素の各層の各シンチレータは、一般に、直方体の6つの面のうちの5つでは

光学反射材料（例えば、二酸化チタン（ TiO_2 ）、白色ペイントなど）で被覆され、6番目の面は対応するフォトセンサに隣接する。層間に機械的に作り出された物理的分離（例えば、間隙）があり、光学反射材料がこの物理的分離に配設される。光学反射材料は、各層のシンチレータ及び／又はボクセル間の光のクロストークを緩和し、検出効率を改善し、及び／又は光を対応するフォトセンサに導き、そこで、光は電気信号に変換される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

各検出器要素の各層の各シンチレータは、機械的に作り出され（例えば、のこぎり、ワイヤなどにより）、光学反射材料で被覆されている。次いで、シンチレータは位置合わせられ積み重ねられる。位置合わせ及び積み重ねプロセスは複雑であり、シンチレータを正確に位置合わせし積み重ねることが困難である場合がある。全体的に、第1の層の第1のシンチレータの表面は、同じ検出器要素の第2の層の第2のシンチレータの対応する表面と整列し一致すべきであり、シンチレータは各層の対応するフォトセンサと整列すべきである。残念ながら、不正確な位置合わせ及び／又は積み重ねは、検出の非効率と画質の劣化をもたらす。

【0007】

本明細書に記載される態様は、先述の問題などに対処する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

以下は、光学バリアをもつモノリシックシンチレータの多層検出器の実施形態を説明する。各検出器要素は、光学反射バリアがモノリシックシンチレータ内及びシンチレータ領域間に配設されたモノリシックシンチレータ又はシンチレータ材料の単一のブロックを含む。シンチレータ領域は、入射放射の方向に沿って順々に配設される。各光学反射バリアは、レーザによって誘起される。いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の単一の物理的バルクとレーザによって誘起された光学反射バリアとは、モノリシックシンチレータの $1 \times N$ アレイまで及び、ここで、 N は整数である。いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の単一の物理的バルクと光学反射バリアとは、モノリシックシンチレータの $M \times N$ アレイまで及び、ここで、 M 及び N は整数である。いくつかの実施形態では、各光学反射バリアは、レーザによって誘起された、2つの密接配置されたバリアを含む。

【0009】

1つの態様では、コンピュータ断層撮影（CT）検出器アレイはモノリシックシンチレータを含む。モノリシックシンチレータは、少なくとも第1のシンチレータ領域、第2のシンチレータ領域、及びそれらの間の光学反射バリアを含む。コンピュータ断層撮影（CT）検出器アレイは、検査領域を横断しモノリシックシンチレータに衝突するX線放射を検出し、第1のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第1の投影データと、第1のシンチレータを横断し第2のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第2の投影データとを生成する。

【0010】

別の態様では、コンピュータ断層撮影システムは、検査領域を横断するX線放射を放出するように構成されたX線放射源と、検査領域を横切ってX線放射源の反対側に配置された検出器アレイとを含む。検出器アレイは、少なくとも第1のシンチレータ領域、第2のシンチレータ領域、及びそれらの間の光学反射バリアを含むモノリシックシンチレータを含む。検出器アレイは、検査領域を横断しモノリシックシンチレータに衝突するX線放射を検出し、第1のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第1の投影データと、第1のシンチレータを横断し第2のシンチレータ領域によって吸収されたX線放射のエネルギーを示す第2の投影データとを生成する。

【0011】

別の態様では、コンピュータ断層撮影（CT）放射検出装置を製造する方法は、物理的に接続された結晶構造として単一の物理的バルクを維持しながらモノリシックシンチレー

10

20

30

40

50

タの複数の領域を画定するために、合焦レーザによってシンチレータ材料の単一の物理的バルクの一部分の結晶構造を変更するステップを有する。変更された一部分は主表面をもつボリューム (volume) を含み、主表面は、X線放射を初めに受け取るように構成されたコンピュータ断層撮影 (CT) 放射検出装置の表面と平行に配向される。

【0012】

本発明のこれら及び他の態様は、以下に記載した実施形態から明らかであり、それを参照して解明される。

【0013】

本発明は、様々な構成要素及び構成要素の構成、並びに様々なステップ及びステップの構成の形態をとる。図面は、単に好ましい実施形態を示す目的のものであり、本発明を限定するものと解釈されるべきでない。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】複数の個々のシンチレータ領域で構成されたモノリシックシンチレータをもつ多層検出器アレイを有するCTシステムの一実施形態を概略的に示す図である。

【図2A】アレイの垂直検出器構成を概略的に示す図である。

【図2B】アレイの垂直検出器構成を概略的に示す図である。

【図3】アレイの水平検出器構成を概略的に示す図である。

【図4】個々のシンチレータ領域を生成する一実施形態を概略的に示す図である。

【図5】本明細書の一実施形態による流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

図1を参照すると、コンピュータ断層撮影 (CT) システム100の一実施形態が概略的に示される。CTイメージングシステム100は、静止ガントリ114によって支持された回転ガントリ112を含む。CTイメージングシステム100は、回転ガントリ112によって支持されX線放射を放出するように構成されたX線放射源116を含む。放出されたX線放射は検査領域118を横断する。検査領域118を横断するX線放射は、X線放射源116の向かいにある、回転ガントリ112に支持された多層 (例えば、2層) 放射感応検出器アレイ120によって検出される。寝台などの対象者支持体119は、検査領域118内で対象物又は対象者を支持する。

【0016】

多層検出器アレイ120の一部分の拡大図122が示される。図122に示されるように、アレイ120は、モノリシックシンチレータ124を含む。より詳細に以下で説明するように、モノリシックシンチレータ124は、複数のシンチレータ領域 (シンチレータボクセル) を含み、それらの領域は、それらの間の光学反射バリアによって分離される。光学反射バリアは、1つ又は複数のレーザなどによって誘起される。誘起された光学反射バリアは、シンチレータ材料の物理的バルクを単一のブロックとして維持し、一方、光学反射バリアの寸法内のシンチレータ材料の結晶構造を変化させることによって領域間に反射バリアを付け加える。

【0017】

適切に構成されたレーザの一例が、2015年2月27日に出願された「System and method for processing radiation detectors using laser beams」と題するWO2015/131102A1に論じられている。シンチレータ材料には、限定はしないが、ガドリニウムオキシサルファイド (GOS、 Gd_2O_2S)、イットリウムアルミニウムガーネット (YAG、 $Y_3Al_5O_{12}$)、セドープYAG (CeYAG、 $CeY_3Al_5O_{12}$)、ジンクセレナイド (ZnSe)、カドミウムタングステート ($CdWO_4$)、ガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット (GAGG、 $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$)、セリウムドープGAGG ($CeGd_3Al_2Ga_3O_{12}$) などが含まれる。モノリシックシンチレータ124は、例えば、各検出器要素のシンチレータ材料の層が物理的に分離しており、機械的に一

10

20

30

40

50

緒に結合される構成では、シンチレータボクセルを正確に位置合わせすることに関連する複雑さを緩和する。

【 0 0 1 8 】

モノリシックシンチレータ 1 2 4 の各シンチレータ領域は、別個の対応するフォトセンサ 1 3 0 に隣接して配設され、光学的に結合される。フォトセンサ 1 3 0 は、フォトセンサ 1 3 0 に対応する多数のシンチレータ領域のうちの 1 つのシンチレータ領域からの光を感知する。フォトセンサ 1 3 0 は、受け取った光を電気信号（投影データ）に変換するように動作し、電気信号は、読出し電子機器 1 4 0 によってさらに処理及び／又は経路設定される。シンチレータ領域の電気信号は、そのシンチレータ領域で吸収された X 線光子のエネルギーを示す。そのため、2 層システムの電気信号は、領域のうちの 1 つ（例えば、上部の領域及び低いエネルギーの光子）に対応する第 1 の組の電気信号と、他の領域（例えば、下部領域及び高いエネルギーの光子）に対応する第 2 の組の電気信号とを含む。

10

【 0 0 1 9 】

再構成器 1 4 2 は、スペクトル再構成アルゴリズム及び非スペクトル再構成アルゴリズムを含む再構成アルゴリズム 1 4 4 を用いて投影データを再構成する。非スペクトル再構成アルゴリズムは、例えば、スペクトルの投影データを組み合わせ、組み合わせられたポリュメトリック画像データを再構成することによって、従来の広帯域（非スペクトル）ポリュメトリック画像データを作り出す。スペクトル再構成アルゴリズムは、スペクトルポリュメトリック画像データ、例えば、高及び低エネルギーポリュメトリック画像データ、光電効果及びコンプトン散乱ポリュメトリック画像データ、骨及び軟組織ポリュメトリック画像データ、カルシウム及びヨウ素ポリュメトリック画像データセットなどを作り出す。

20

【 0 0 2 0 】

オペレータコンソール（コンピューティングデバイス）1 5 0 は、オペレータがシステム 1 0 0 の動作を制御できるようにする。これには、画像取得プロトコル（例えば、単一エネルギー又はマルチエネルギー）の選択、再構成アルゴリズム（例えば、単一エネルギー又はマルチエネルギー）の選択、スキニングの起動、可視化ソフトウェアアプリケーションの起動、実行している可視化ソフトウェアアプリケーションとの対話などが含まれる。オペレータコンソール 1 5 0 は、ディスプレイモニタ、フィルマーなどのような出力デバイスと、マウス、キーボードなどのような入力デバイスとを含む。

【 0 0 2 1 】

図 2 A 及び図 2 B は、多層放射感応検出器アレイ 1 2 0 の 2 層垂直検出器構成 2 0 0 を概略的に示す。垂直検出器 2 0 0 は、ボクセル 2 0 1 のスラブ又は列を含む。

30

【 0 0 2 2 】

図 2 A を参照すると、x 方向に沿った検出器ボクセル 2 0 1 の第 1 列のサブ部分が概略的に示される。この実施形態では、検出器ボクセル 2 0 1 の各列は、第 1 のシンチレータ層 2 0 4 に対応する第 1 のシンチレータ領域 2 0 2、第 2 のシンチレータ層 2 0 8 に対応する第 2 のシンチレータ領域 2 0 6、及びそれらの間の光学反射バリア 2 1 0 をもつモノリシックシンチレータ 1 2 4 を含み、領域 2 0 2 及び 2 0 6 と光学反射バリア 2 1 0 とは同じ物理的シンチレータ材料バルク 2 2 0 内にある。光学反射バリア 2 1 0 は、領域 2 0 2 と領域 2 0 6 を分離するポリュームの主表面を含み、主表面は、入射放射 1 1 7 を受け取る表面 2 5 0 と平行である。いくつかの事例では、バルク 2 2 0 の光学反射バリア 2 1 0 の位置（例えば、深さ）により、入射放射のエネルギー分離が最大化される。

40

【 0 0 2 3 】

物理的バルク 2 2 0 は、検査領域 1 1 8 を横断した入射放射 1 1 7 を受取り、入射放射 1 1 7 の X 線光子のエネルギーに比例したバルク材料 2 2 0 の深さ 2 3 0 において X 線放射を光放射に変換する。言い換えれば、より低いエネルギー（浅い侵入の）X 線光子は第 1 の領域 2 0 2 で吸収され、より高いエネルギー（より深い侵入の）X 線光子は第 2 の領域 2 0 6 で吸収される。

【 0 0 2 4 】

領域 2 0 2 及び 2 0 6 の各々は、支持基材 2 4 4 上の異なる対応する第 1 及び第 2 のフ

50

フォトセンサ 240 及び 242 に光学的にそれぞれ結合される。例えば、シンチレータバルク材料 220 の第 1 のシンチレータ領域 202 は、フォトセンサのアレイ 246 の第 1 のフォトセンサ 240 に光学的に結合され、シンチレータバルク材料 220 の第 2 のシンチレータ領域 204 は、フォトセンサのアレイ 246 の第 2 のフォトセンサ 242 に光学的に結合される。フォトセンサのアレイ 246 は、第 1 のフォトセンサ 240、第 2 のフォトセンサ 242、及び基材 244 を含む。フォトセンサのアレイ 246 は、モノリシックシンチレータ 124 に隣接して配設され、表面 250 の一部分を占める。入射 X 線放射の方向に対するフォトセンサ 242 のアレイと領域 202 及び 206 との配置は、2 層検出器 200 を垂直構成と断定する。

【0025】

図 2 B は、多列構成の z 方向に沿った図 2 A の検出器ボクセル 201 の 1 つの列のシンチレータ側の側面図を概略的に示す。同じ単一の物理的シンチレータ材料バルク 220 は、検出器ボクセル 201 の多列構成の N 列のすべてに対して 2 層の両シンチレータ領域を含み、ここで、N は正の整数である。すなわち、同じ物理的シンチレータ材料バルク 220 は、各列の各シンチレータボクセルを画定するシンチレータボクセル（又はピクセル）光学バリア 260 と、各シンチレータボクセル内の 2 つのシンチレータ領域 202 及び 206 を画定する光学反射バリア 210 とを有するシンチレータ材料のスラブと考えられる。1 つのピクセルの検出器表面区域は、複数のボクセル領域の検出器ボリュームに対応する。シンチレータボクセル光学バリア 260 は、光学反射バリア 210 と同様の光学反射バリアであり、例えば、それは、レーザによって誘起された同じ物理的バルク材料 220 の結晶構造の変化を含む。いくつかの実施形態では、ボクセル光学バリア 260 は、直方体形状ボクセルを画定する。いくつかの実施形態では、ボクセル光学バリア 260 は、正方形直角錐台形状ボクセルを画定する。

【0026】

光学反射バリア 210 の厚さ又は深さ（y 方向）は、レーザビームの焦点スポットの直径と、変更されたシンチレータ材料の構造による光学的分離の最小厚さとに依存する。いくつかの実施形態では、光学反射バリア 210 の厚さは、レーザの焦点スポットによる複数の変更された位置により増加される。すなわち、変更される位置は、さらに、y 方向に変更され、光学反射バリアのボリュームの主表面は変更されて x z 方向に延びる。

【0027】

同じ物理的シンチレータ材料 220 は、レーザによって誘起された光学反射バリアである外側又は外部表面 270 を含む。いくつかの実施形態では、外側表面はレーザによって変化されず、光学反射被膜が付けられる。光学反射バリアに変更された外側表面 270 と光学反射被覆との組合せが考えられる。

【0028】

図 2 A ~ 図 2 B に示された 2 層検出器アレイ 200 は、検出器要素の M x N アレイであり、シンチレータ材料の M 個のスラブが、垂直構成のフォトセンサアレイ 246 の基材 244 によって分離され、ここで、M は正の整数である。各スラブは、同じ物理的シンチレータ材料バルク 220 内に N 個のモノリシックシンチレータボクセルを含む。垂直検出器構成の一例が、2009 年 10 月 29 日に出願された「Spectral Imaging Detector」と題する米国特許第 9,000,382 号に論じられており、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0029】

図 3 を参照すると、多層放射感応検出器アレイ 120 の 2 層水平検出器構成 300 が示される。構成 300 は、モノリシックシンチレータ 124 の単一の物理的バルク 220 を含む。各モノリシックシンチレータ 124 は、2 つの領域 202 及び 206 を含む。モノリシックシンチレータ 124 の単一の物理的バルク 220 は、フォトセンサの 2 つのアレイ 310 及び 320 の基材間に配設される。フォトセンサの 2 つのアレイ 310、320 の各々は、2 層検出器 300 の表面 250 と平行な面に配設される。

【0030】

10

20

30

40

50

シンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 の光学反射バリア 2 1 0 は、2 つ以上のサブバリア 3 3 0 及び 3 3 2 などの多数のサブバリアを含み、多数のサブバリアは、2 ~ 1 0 0 ミクロンの距離だけ互いに分離される。バリア 3 3 0 及び 3 3 2 の各々は、バリア 3 3 0 及び 3 3 2 によって画定されたボリウムの主表面を含み、主表面は実質的に平面であり、主表面は、2 層検出器 3 0 0 の表面 2 5 0 と平行に配設される。サブバリア 3 3 0 及び 3 3 2 の各々は、例えば、レーザビームによって誘起されたバルク材料 2 2 0 の結晶構造への変化を含む。

【 0 0 3 1 】

同じ物理的シンチレータ材料バルク 2 2 0 は、ボクセル光学バリア 2 6 0 によって分離され、モノリシックシンチレータ 1 2 4 のボクセルの多次元 $M \times N$ アレイを形成する複数の個々のモノリシックシンチレータ 1 2 4 を含む。同じ物理的シンチレータ材料バルク 2 2 0 は、光学反射被覆と、レーザによって光学反射バリアに構造的に変更されたシンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 の外側部分 2 7 0 と、それらの組合せとを含む。

【 0 0 3 2 】

フォトセンサのアレイ 3 1 0 及び 3 2 0 は、前面照明フォトダイオード (F I P) 、背面照明フォトダイオード (B I P) 、有機フォトダイオード (O P D) 、及びそれらの組合せを含むことができる。フォトセンサのアレイ 3 1 0 、3 2 0 のうちの 1 つ又は複数は、O P D 、積極的に薄化された F I P 、積極的に薄化された B I P 、X 線透過性フォトセンサなどのような X 線吸収を最小化するフォトダイオードアレイを含むことができる。いくつかの実施形態では、積極的に薄化されたとは、3 0 ミクロン未満に薄化されたことを意味する。いくつかの実施形態では、積極的に薄化されたとは、3 0 ~ 1 0 0 ミクロンに薄化されたことを意味する。いくつかの実施形態では、積極的に薄化されたとは、1 0 0 ~ 2 0 0 ミクロンに薄化されたことを意味する。フォトセンサのアレイ 3 1 0 は、シンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 の第 1 の層 2 0 4 に光学的に結合され、対応するフォトセンサ 2 4 0 は、各モノリシックシンチレータ 1 2 4 に属する対応する第 1 の領域 2 0 2 に寸法を合わされ位置合わせされる。第 1 のフォトセンサアレイ 3 1 0 の反対側のフォトセンサのアレイ 3 2 0 と、シンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 とは、シンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 の第 2 の層 2 0 6 に光学的に結合される。第 2 のフォトセンサアレイ 3 2 0 のフォトセンサ 2 4 4 は、各ボクセルモノリシックシンチレータ 1 2 4 に属する対応する第 2 の領域 2 0 6 に寸法を合わされ位置合わせされる。

【 0 0 3 3 】

図 4 を参照すると、モノリシックシンチレータ 1 2 4 のボクセルのためのシンチレータ領域 2 0 2 、2 0 6 を生成する一実施形態が概略的に示される。コントローラ 4 0 0 は、1 つ又は複数のレーザ 4 1 0 、4 2 0 の動作と、ホルダ 4 3 0 によって位置決めされたシンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 に対するレーザ 4 1 0 、4 2 0 の相対的位置決めとを制御する。いくつかの実施形態では、第 1 のレーザ 4 1 0 は、レーザビーム 4 1 2 が光学反射バリア 2 1 0 と平行に配向された状態で位置決めされる。いくつかの実施形態では、第 2 のレーザ 4 2 0 は、レーザビーム 4 2 2 が光学反射バリア 2 1 0 に対して垂直に配向された状態で位置決めされる。いくつかの実施形態では、第 1 のレーザ 4 1 0 又は第 2 のレーザ 4 2 0 の一方は省略される。いくつかの実施形態では、いずれかの配向に多数のレーザがある。

【 0 0 3 4 】

レーザビーム 4 1 2 、4 2 2 は、少なくとも 1 つのレンズ 4 1 6 、4 2 6 によってポイント 4 1 4 に合焦される。ポイント 4 1 4 、4 1 5 は、形状が球状であってもよく、又はレーザビーム 4 1 2 、4 2 2 の方向に沿っても細長くてよい。ポイント 4 1 4 、4 1 5 は、レーザ 4 1 0 、4 2 0 の動作特性に応じてシンチレータ材料の同じ物理的バルク 2 2 0 の結晶構造を変化させる。レーザ 4 1 0 、4 2 0 の動作特性はシンチレータ材料に関連する。波長、パワー、及びパルスは、例えば、光学反射バリア 2 1 0 の結晶構造の変化を達成するためにシンチレータ材料に応じて変わることができる。

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

コントローラ 400 は、ホルダ 430 を基準としてレーザビーム 412、422 を移動させる。いくつかの実施形態では、レーザ 410、420 は固定され、ホルダ 430 が移動する。いくつかの実施形態では、レーザ 410、420 が移動し、ホルダ 430 は固定される。いくつかの実施形態では、レーザ 410、420 及びホルダ 430 の両方が移動する。

【0036】

例えば、第 2 のレーザ 420 が省略され、第 1 のレーザ 410 が光学反射バリア 210 及びボクセル光学バリア 260 の両方を生成する場合、第 1 のレーザ 410 は、シンチレータ材料の同じ物理的バルク 220 の最も離れた面内の位置を横切った所にポイント 414 を移動させ、次いで、光学反射バリア 210 及びボクセル光学バリア 260 の結晶構造の変化が誘起されるまで、次に最も近い面内の位置まで連続的に進むように構成される。すなわち、ポイント 414 は、既に創り出されたバリアとレーザとの間にとどまる。光学反射バリア 210 及びボクセル光学バリア 260 の両方が生成された場合、バリアは、直交面、傾斜面、又は非平行面と関連する。すなわち、光学反射バリア 210 を画定するボリュームの主表面は、ボクセル光学バリア 260 を画定するボリュームの主表面に対して非平行である。

【0037】

図 5 を参照すると、本明細書の実施形態による流れ図が示される。

【0038】

500 において、シンチレータ材料の物理的バルク 220 が、1 つ又は複数のレーザ 410、420 に対して位置決めされる。位置決めは、シンチレータ材料の物理的バルク 220 をホルダ 430 に受け取ることを含む。位置決めは、次の場所で光学反射バリア 210 を生成するためのレーザに対する位置の変化を含む。

【0039】

いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の物理的バルク 220 は、単一のボクセルのモノリシックシンチレータ 124 用の材料のボリュームを含む。いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の物理的バルク 220 は、モノリシックシンチレータ 124 の 1 × N アレイの材料のボリュームを含む。いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の物理的バルク 220 は、モノリシックシンチレータ 124 の M × N アレイ用の材料のボリュームを含む。

【0040】

いくつかの実施形態では、ホルダは、上述のものの組合せを保持するように構成される。例えば、モノリシックシンチレータ 124 の 1 次元アレイのためのシンチレータ材料のスラブ又は個々のモノリシックシンチレータブロック 124 の材料は、機械的に分離されたスラブにわたって又は個々に機械的に分離されたボクセルにわたって光学反射バリア 210 を生成するために、ホルダ 430 に一緒に保持される。

【0041】

510 において、モノリシックシンチレータブロック 124 の物理的バルク 220 の一部分の結晶構造は、物理的接続された構造としてシンチレータ材料を維持しながらボクセルごとにシンチレータ材料に複数の領域を画定するために合焦レーザによって変更される。光学反射バリア 210 を形成する変更された構造部分は、入射放射 117 を初めに受け取るように構成されたシンチレータ材料の物理的バルク 220 の表面 250 と平行に配向される。モノリシックシンチレータ 124 の変更された構造部分は、入射放射 117 を初めに受け取るように構成された表面 250 と平行な 2 つ以上のバリア 330、332 を含む。2 つのバリア 330、332 は平行であり、2 ミクロンと 100 ミクロンとの間の距離だけ分離される。いくつかの実施形態では、距離は、25 ミクロンと 100 ミクロンとの間にある。

【0042】

いくつかの実施形態では、変更された構造部分は、ボクセル光学バリア 260 又はその一部分をさらに含む。例えば、ボクセル光学バリア 260 を形成するために変更されたシ

10

20

30

40

50

ンチレータ材料の物理的バルク 2 2 0 の部分に関して、変更された一部分は、さらに、入射放射を初めに受け取るように構成された表面 2 5 0 に対して垂直なバリアを形成する。

【 0 0 4 3 】

いくつかの実施形態では、変更された構造部分は、シンチレータ材料の物理的バルク 2 2 0 の外側表面 2 7 0 又はその一部分を含む。

【 0 0 4 4 】

モノリシックシンチレータ 1 2 4 が形成されるまで、動作 5 0 0 及び 5 1 0 が繰り返され、変更された構造部分が再位置決めされ生成される。コントローラ 4 0 0 は、光学反射バリア 2 1 0、実施形態によっては追加としてボクセル光学バリア 2 6 0 及び / 又は外側表面の反射バリア 2 7 0 を形成するために適切な順序で位置ごとに変更された構造部分を生成するようにレーザの位置決め及び動作を制御するように構成される。

10

【 0 0 4 5 】

5 2 0 において、モノリシックシンチレータ 1 2 4 は、1 つ又は複数のフォトセンサアレイに位置合わせされ付着される。いくつかの実施形態では、モノリシックシンチレータ 1 2 4 は、ボクセルの $1 \times N$ 次元アレイを形成し、各ボクセルのモノリシックシンチレータ 1 2 4 は、光学反射バリア 2 1 0 によって画定された層 2 0 4、2 0 8 に対応する複数の領域 2 0 2、2 0 6 を含む。例えば、フォトセンサアレイ 2 4 6 は、入射放射を初めに受け取る多層検出器 1 2 0 の表面 2 5 0 に対して垂直に配向され、シンチレータ材料の物理的バルク 2 2 0 に位置合わせされ付着される。各ボクセルの第 1 の領域 2 0 2 は対応する第 1 のフォトセンサ 2 4 0 と整列し、各ボクセルの第 2 の領域 2 0 6 は対応する第 2 のフォトセンサ 2 4 2 と整列する。ボクセルの $M \times N$ アレイとしての多層検出器アレイ 1 2 0 は、ボクセルの M 個の 1 次元アレイのアセンブリを用いてさらに組み立てられる。アセンブリは、読み出し電子機器 1 4 0 の付加をさらに含む。アセンブリは、支持基板の付加をさらに含む。アセンブリは、光学反射被覆の適用をさらに含む。

20

【 0 0 4 6 】

いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の構造的に変更された物理的バルク 2 2 0 から形成されている生成されたモノリシックシンチレータブロック 1 2 4 は、モノリシックシンチレータ 1 2 4 の 2 次元アレイを含み、各モノリシックシンチレータ 1 2 4 は、複数の領域 2 0 2、2 0 6 を含む。位置合わせ及び付着には、生成されたモノリシックシンチレータ 1 2 4 を複数のフォトセンサアレイ 3 1 0、3 2 0 に位置合わせし付着させることが含まれる。複数のフォトセンサアレイ 3 1 0、3 2 0 の各々は、入射放射 1 1 7 を初めに受け取る多層検出器の表面 2 5 0 と平行に配向される。

30

【 0 0 4 7 】

いくつかの実施形態では、シンチレータ材料の構造的に変更された物理的バルク 2 2 0 から形成されている生成されたモノリシックシンチレータ 1 2 4 は、個々のモノリシックシンチレータ 1 2 4 として機械的に分離され、モノリシックシンチレータ 1 2 4 の $1 \times N$ アレイ又はモノリシックシンチレータ 1 2 4 の $M \times N$ アレイのいずれかとして被覆され再組み立てされる。

【 0 0 4 8 】

レーザ 4 1 0、4 2 0 の位置決め及び動作のためのコントローラ 4 1 0 の動作は、コンピュータプロセッサによって実行されたとき、説明した動作をプロセッサに行わせる、コンピュータ可読記憶媒体にエンコードされたか又は埋め込まれたコンピュータ可読命令を介して実施される。追加として又は代替として、コンピュータ可読命令のうちの少なくとも 1 つは、信号、搬送波、又は他の一時的媒体によって行われる。いくつかの実施形態では、コントローラ 4 1 0 は、特定用途向け集積回路を含む。

40

【 0 0 4 9 】

上述のステップは異なる順序で実行されてもよく、及び / 又はいくつかのステップは省略されてもよい。

【 0 0 5 0 】

本発明が、図面及び前述の記載において詳細に図示され説明されたが、そのような図示

50

及び説明は、説明的又は例示的であり、制限的でないと考えられるべきであり、本発明は、開示された実施形態に限定されない。特許請求される本発明を实践する際に、図面、開示、及び添付の特許請求の範囲の検討から、開示された実施形態に対する他の変形が、当業者によって理解され達成される。

【 0 0 5 1 】

特許請求の範囲において、「含む、有する」という単語は、他の要素又はステップを排除せず、単数形は複数を排除しない。単一のプロセッサ又は他のユニットは、特許請求の範囲に列挙されているいくつかの項目の機能を果たすことができる。特定の手段が互いに異なる従属請求項に列挙されているという単なる事実は、これらの手段の組合せが有利に使用され得ないことを示していない。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

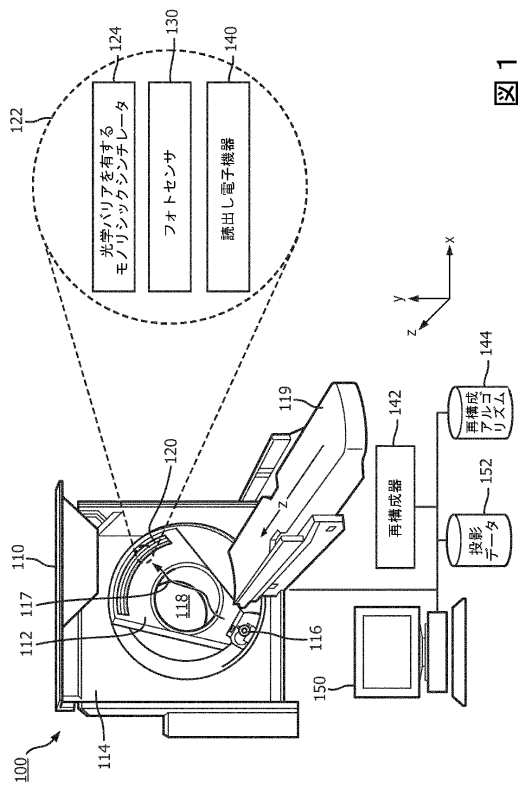


図 1

【図 2 A】

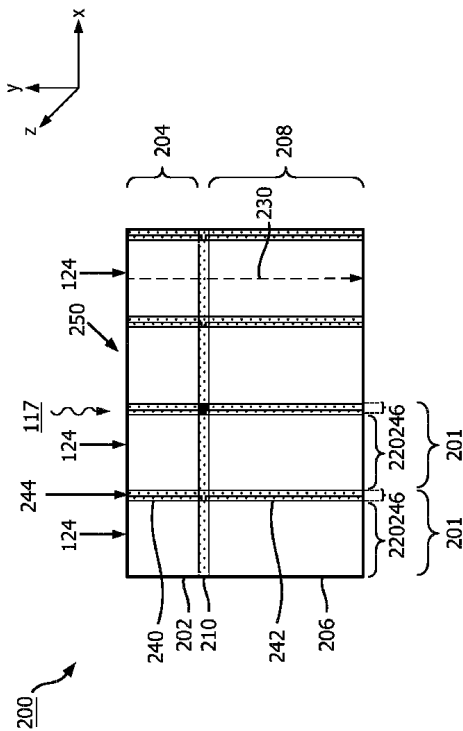


FIG. 2A

【図 2 B】

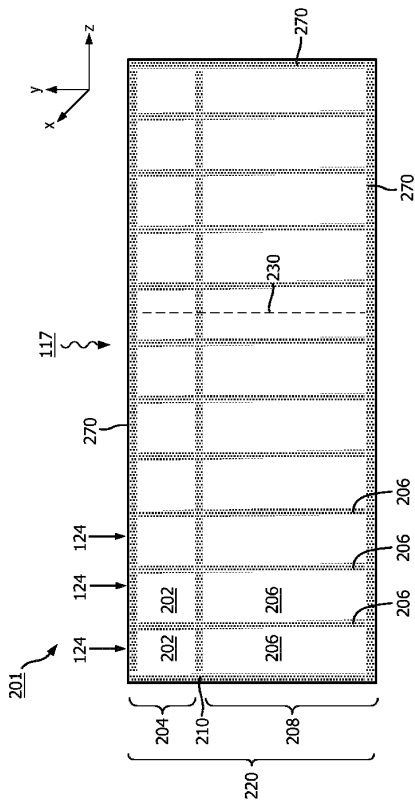


FIG. 2B

【図 3】

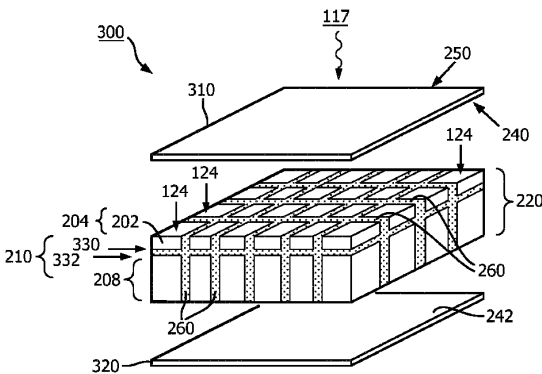


FIG. 3

10

20

30

40

50

【 図 4 】

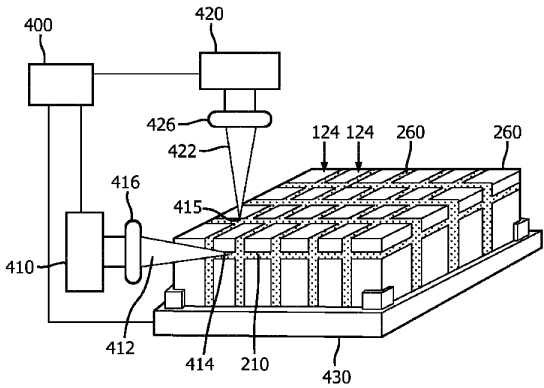


FIG. 4

【 図 5 】

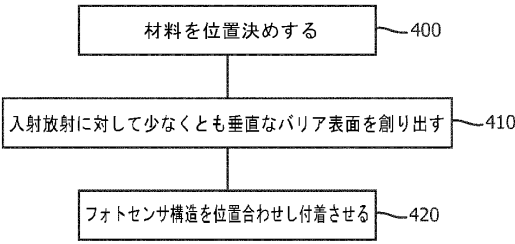


図 5

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

	F I		
	G 0 1 T	1/20	D
	A 6 1 B	6/03	3 2 0 R
	A 6 1 B	6/03	3 7 3

(72)発明者 リュッタン ワルター
 オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 7 / 0 6 7 8 4 6 (W O , A 1)
 特開 2 0 1 3 - 2 4 6 1 5 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 7 - 0 7 2 5 7 3 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 2 / 1 2 7 4 0 3 (W O , A 1)
 Eiji Yoshida et al. , "Intrinsic spatial resolution evaluation of the X'tal cube PET detector bas
 ed on a 3D crystal block segmented by laser processing" , Radiological Physics and Techno
 logy , 2013年 , 6:21-27

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 A 6 1 B 6 / 0 0 - 6 / 1 4
 G 0 1 T 1 / 2 0