

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7442458号
(P7442458)

(45)発行日 令和6年3月4日(2024.3.4)

(24)登録日 令和6年2月22日(2024.2.22)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 1 T	1/20 (2006.01)	G 0 1 T	1/20	B
A 6 1 B	6/42 (2024.01)	G 0 1 T	1/20	E
A 6 1 B	6/00 (2024.01)	G 0 1 T	1/20	G
		A 6 1 B	6/42	5 0 0 Q
		A 6 1 B	6/00	5 3 3
請求項の数 14 (全23頁)				

(21)出願番号	特願2020-555896(P2020-555896)	(73)特許権者	590000248
(86)(22)出願日	平成31年4月4日(2019.4.4)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ
(65)公表番号	特表2021-521444(P2021-521444		ヴェ
	A)		Koninklijke Philips
(43)公表日	令和3年8月26日(2021.8.26)		N.V.
(86)国際出願番号	PCT/EP2019/058471		オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン
(87)国際公開番号	WO2019/197263		ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
(87)国際公開日	令和1年10月17日(2019.10.17)		High Tech Campus 5 2 ,
審査請求日	令和4年3月28日(2022.3.28)		5 6 5 6 AG Eindhoven, N
(31)優先権主張番号	18167073.8		etherlands
(32)優先日	平成30年4月12日(2018.4.12)	(74)代理人	100122769
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		弁理士 笛田 秀仙
前置審査		(74)代理人	100163809
			弁理士 五十嵐 貴裕
		(74)代理人	100145654
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 均一なイメージングのための集束型シンチレータ構造のX線検出器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

X線イメージング用のデュアルレイヤ検出器であって、
 少なくとも2つの感光面と、
 各々X線を光に変換することができる少なくとも第1及び第2のシンチレータ素子を有する第1のシンチレータ層であって、前記第2のシンチレータ素子は前記第1のシンチレータ素子に隣接する、第1のシンチレータ層と、
 第2のシンチレータ層であって、前記感光面の少なくとも1つが前記2つのシンチレータ層の間に配置される、第2のシンチレータ層と
 を有し、
 前記第1のシンチレータ素子は、X線を前記第1のシンチレータ素子に受け入れる入射面と、前記入射面から遠位にある出射面との2つの面を有し、前記2つの面は互いにシフトされて配置され、それにより、前記第1のシンチレータ素子の長手軸は、前記第1のシンチレータ層の法線に対し傾斜しており、
前記第1のシンチレータ素子は、前記2つの面の間に延在する側壁であって当該第1のシンチレータ素子の部分である側壁を有し、前記第2のシンチレータ素子は、当該第2のシンチレータ素子の部分である側壁を有し、
 前記第1のシンチレータ素子の前記側壁及び前記第2のシンチレータ素子の前記側壁は隣接しており、当該第1のシンチレータ素子と当該第2のシンチレータ素子との間にくさび形の間隙又は間隙を規定するように互いに対し傾斜している、デュアルレイヤ検出器。

【請求項 2】

前記 2 つの感光面の少なくとも一方が、等間隔のピクセルピッチで構成されたピクセルレイアウトを有する、請求項 1 に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 3】

前記 2 つの感光面が、前記 2 つのシンチレータ層の間に配置されている、請求項 1 又は 2 に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 4】

同じピクセルレイアウトが前記 2 つの感光面のそれぞれで使用される、請求項 2 又は請求項 2 を引用する請求項 3 に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 5】

前記シンチレータ素子のそれぞれが、斜めプリズム形状、又は斜め円錐形又はピラミッド形を有し、及び/又は前記シンチレータ素子のそれぞれの断面が多角形である、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 6】

前記シンチレータ素子のそれぞれの断面が、その長手軸に沿って一定である、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 7】

前記 2 つの面が、少なくとも 2 つの異なる方向に沿ってシフトされて配置されている、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 8】

各シンチレータ素子を少なくとも部分的に囲む光反射物質を更に有する、請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 9】

個々の前記シンチレータ素子のそれぞれの長手軸は、前記 2 つの面のそれぞれを通過し、前記第 1 のシンチレータ層及び前記第 2 のシンチレータ層の外側に位置する仮想空間点に焦点を合わせるようにアラインされる、請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 10】

前記入射面と前記出射面との間に配置される前記第 1 のシンチレータ素子の前記側壁は、階段状のプロファイルを有する、請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器。

【請求項 11】

X線検出器と、焦点を有するX線源とを有するX線イメージング装置であって、前記X線検出器は、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器であり、前記第 1 のシンチレータ素子及び前記第 2 のシンチレータ素子が、前記焦点に関してアラインされたその長手軸を有する、X線イメージング装置。

【請求項 12】

少なくとも 1 つの処理ユニットによって実行されるとき、材料形成装置に、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のデュアルレイヤ検出器の 2 つのシンチレータ層の少なくとも一方の少なくとも一部を形成させるように適応されたコンピュータプログラム。

【請求項 13】

前記コンピュータプログラムは、3DプリンティングのためのCADファイルの少なくとも一部である、請求項 12 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 14】

請求項 12 又は 13 に記載のコンピュータプログラムを記憶したコンピュータ可読記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シンチレータ層、X線検出器、X線イメージング装置、コンピュータプログ

10

20

30

40

50

ラム素子、及びコンピュータ可読媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

X線イメージングシステムの中には、間接変換型の検出器を使用するものがある。間接変換型検出器は、シンチレータとセンサとを幅広く備える。シンチレータは入射するX線を光に変換する。その後、光はセンサによって検出される。適切なセンサは、フォトダイオードを有する。フォトダイオードは光を電気信号に変換する。次いで、電気信号は、画像値に変換されることができる。画像値は、患者の関心のある解剖学的構造のX線画像を得るために使用されることができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

国際公開第2010/018496号公報は、間接変換型検出器技術を備えたX線イメージングシステムを記載している。シンチレータは、成長した結晶ニードル、例えばCsI(ヨウ化セシウム)から形成される。この技術は平坦な表面を達成するために、結晶シンチレータの上部に配置された平坦化層のような付加的なコンポーネントを使用する。

【0004】

また、検出器の部分についてのイメージング特性は、検出器表面全体にわたって均一ではない場合がある。

【0005】

更に、成長した結晶ニードルから形成されたシンチレータは、デュアルレイヤ検出器に使用するのに容易に役立たないことがある。

【0006】

X線イメージングのための、特にデュアルレイヤ検出器を用いたX線イメージングのための代替のシンチレータソリューションが必要とされ得る。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の目的は、独立請求項の主題によって解決され、他の実施形態は、従属請求項に組み込まれる。以下に説明する本発明の態様は、X線検出器、X線イメージング装置、コンピュータプログラム素子、及びコンピュータ可読媒体にも同様に適用されることに留意されたい。

【0008】

本発明の第1の態様によれば、X線イメージングのためのデュアルレイヤ検出器であって、少なくとも2つの感光面と、X線を光に変換することができる少なくとも1つのシンチレータ素子を有する第1のシンチレータ層であって、前記シンチレータ素子は、X線を前記シンチレータ素子に受け入れる入口面と、入口面から遠位にある出口面と、の2つの面を有し、前記2つの面が互いに対しシフトされて配置され、それにより、シンチレータ素子の長手軸は第1のシンチレータ層の法線に対し傾斜しており、第1のシンチレータ素子は、前記2つの面の間に延在する側壁を有し、シンチレータ層の一方又は両方は、2つの面を有する第2のそのようなシンチレータ素子と、第2のシンチレータ素子の2つの面の間に延在し、第1のシンチレータ素子の側壁に対向し又は隣接する側壁と、を更に有し、第1のシンチレータ素子の側壁と第2のシンチレータ素子の側壁とは、互いに対し傾斜している、第1のシンチレータ層と、第2のそのようなシンチレータ層と、を有し、前記2つの感光面のうちの少なくとも一方が、前記2つのシンチレータ層の間に配置されている、デュアルレイヤ検出器が提供される。

【0009】

デュアルレイヤタイプのX線検出器は、スペクトル/デュアルエネルギーイメージングのために使用されることができる。

【0010】

それぞれの長手軸は特に、シンチレータ素子の面間の部分(「本体」)を通るX線/光

10

20

30

40

50

の伝播方向を規定する。

【0011】

位置合わせは、それ自体が斜めの形状によって行われる。シンチレータ素子を回転配置する必要はない。

【0012】

全ての素子の面は、シンチレータ層の近位表面及び遠位表面を規定する。所与の素子の面同士は平行である。固有の斜め性 (obliqueness) により、面は、シンチレータ層の平坦な近位表面及び / 又は遠位表面を形成する。平坦化層のような追加のコンポーネントは、表面の同一高さを達成するために必要とされない。

【0013】

加えて、焦点 - スポットアラインメントを有する提案する 3D ピクセル化シンチレータ構造は、本質的に検出器、特に間接変換型検出器、の画像表面全体にわたって一様な X 線検出を達成することを可能にする。均一な X 線検出は、最適 (又は少なくとも改善された) イメージング特性をもたらす。具体的には、イメージング特性はより均一である。例えば、IQ (画質)、MTF (変調伝達関数)、スペクトル応答、DQE (検出量子効率) などの一部又は全部が、検出器のイメージング領域にわたってより均一になり、より具体的には、イメージング領域 / 表面のエッジに向かってより均一になる。

【0014】

いくつかの実施形態において、少なくとも 1 つの素子は、斜めプリズム形状又は斜め円錐形状又はピラミッド形状を有する。

【0015】

いくつかの実施形態において、前記少なくとも 1 つの素子の断面は、多角形である。

【0016】

いくつかの実施形態において、少なくとも 1 つのシンチレータ素子の断面は、その長手軸に沿って一定である。

【0017】

いくつかの実施形態において、2 つの面が少なくとも 2 つの異なる方向 (x、z) に沿ってシフトして配置される。言い換えると、傾斜 (inclination) は、2 つの異なる平面における少なくとも 2 つの傾斜成分を含む。この「2D アライメント」は、平面検出器構成に特に有用であり、検出器の像面の光軸 / 中心点と交差ししないシンチレータ素子の行 (又は列) についてアライメントが改善されることができ。

【0018】

いくつかの実施形態において、少なくとも 1 つの素子は、付加造形 (additive manufacturing) によって、特に 3D プリンティングによって形成される。これは、提案するシンチレータ層の効率的な製造を可能にする。

【0019】

いくつかの実施形態において、製造方法は、シンチレータ層がサブレイヤから構築される該サブレイヤを提供するステップを有する。

【0020】

更なる工程において、シンチレータ素子を有するシンチレータ層が、その後、付加造形によって形成される。

【0021】

更なるステップにおいて、シンチレータ素子間の空間を充填するために光反射材料が適用される。

【0022】

いくつかの実施形態において、光反射性物質が、(複数の) 素子を少なくとも部分的に取り囲む。光反射性物質は、X 線に曝露された際、シンチレータ素子によって生成される光のより効率的な使用を可能にする。

【0023】

いくつかの実施形態において、シンチレータ層の一方又は両方がそれぞれ、複数のその

10

20

30

40

50

ような素子を有し、素子のそれぞれの長手軸はそれらのそれぞれの面を通過し、長手軸は、層の外側に位置する仮想の空間点に焦点を合わせるように位置合わせされる。X線イメージング装置において使用される場合、仮想空間点は、イメージング装置のX線源の焦点スポットに一致する。シンチレータ素子の斜め性（又は傾斜）は、光軸から更に離れた検出器部分についても改善されたイメージング特性を提供するように、シンチレータ表面にわたって（一次元又は両方の次元で）変化する。しかしながら、全ての素子が斜めである必要はない。特に、光軸の場所におけるシンチレータ素子又は光軸に近いシンチレータ素子は傾斜がない（垂直な長手軸をもつ）。

【0024】

本明細書で想定される実施形態において、X線検出器は、少なくとも2つのセンサ層を有し、各センサ層は、2つの感光面のそれぞれ1つを有する。言い換えると、2つのセンサ層の各々は、それ自体の感光面を有する。いくつかの実施形態において、2つのセンサ層は、感光面が反対方向に向くように積層される。

10

【0025】

各感光面、すなわちセンサ層は、好適には光学的結合を介して、それに関連するそれぞれのシンチレータ層を有する。

【0026】

提案するシンチレータ層は、シンチレータ素子の斜め性のおかげで、シンチレータ層の近位表面及び/又は遠位表面が本質的に同一平面であるために、そのようなデュアルレイヤ検出器の構築を容易にする。これは、近位表面/遠位表面の同一平面性が、スペクトル/デュアルイメージング検出器を構築する際に、層を互いに積み重ねる際の固有の構造的安定性を助長するためである。いくつかの実施形態において、その両側から感光性である単一のセンサ層を使用することができ、従って、遠位及び近位の2つの感光性表面を提供する。

20

【0027】

2つのシンチレータ層の間に配置された2つの感光面を有することは、いくつかの実施形態において、2つの感光層における同じピクセルピッチレイアウトを使用することを可能にする。具体的には、いくつかの実施形態において、2つの感光層において、同じ等距離ピクセルピッチレイアウトが使用されてもよい。

【0028】

2つの隣接する素子の2つの傾斜した（平行でない）側壁は、くさび形の隙間又は間隙を規定する。間隙は、光反射材料で部分的又は完全に充填されることができ、必ずしも全てのシンチレータ素子がそのように傾斜した隣接する側壁を有するわけではない。隣接するシンチレータ素子の傾斜した側壁を有することは、デュアルイメージングのために、特に等距離のピクセルピッチレイアウトをもつ、デュアルレイヤ検出器においてシンチレータを使用する場合に有用である。

30

【0029】

更に、想定されるような隣接するシンチレータ素子の傾斜した側壁を有することは、光反射材料を通る光透過を排除するためにピクセル間の距離を減少させる又は最小化することも可能にするので、有用である。斜めの側壁を使用すると、反射体材料のボリュームが多くなる（可能性としてある程度の延性がある）。従って、相互に傾斜した又は傾いた側壁を有することは、偶発的な落下のような外力に対して、あるいは、現場で使用される例えばCアームシステム又は可動X線システムによるイメージング中に提案のシンチレータが使用される検出器が、対象に衝突する場合に、シンチレータアセンブリのより良好な口バラスト性をもたらすことができる。

40

【0030】

隣接するシンチレータ素子の傾斜した側壁を有することはマルチX線源イメージングシステムにおいても有益でありえ、その場合、X線検出器は、それぞれ異なる領域に分割されることができ、各領域は、別のX線源又は複数のX線源の別の組み合わせからの光を検出する。

50

【 0 0 3 1 】

他の態様において、X線検出器と焦点を有するX線源とを有するX線イメージング装置が提供される。X線検出器は、上述の実施形態のいずれか1つによる少なくとも1つのシンチレータ層を有し、少なくとも1つの素子は、前記焦点とアラインされた長手軸を有する。

【 0 0 3 2 】

他の態様において、少なくとも1つの処理ユニットによって実行される際、上述の実施形態のいずれか1つに従って材料形成デバイスにシンチレータ層の少なくとも一部を形成させるように適応されたコンピュータプログラム素子が提供される。

【 0 0 3 3 】

いくつかの実施形態において、コンピュータプログラム素子が3DプリンティングのためのCAD(「コンピュータ支援設計」)ファイルを含む。

10

【 0 0 3 4 】

他の態様において、プログラム素子上に記憶されたコンピュータ可読記憶媒体が提供される。

【 0 0 3 5 】

本明細書で使用される「斜め」又は「斜め性」は、イメージング装置の光軸に概ね対応する垂直方向に対する、シンチレータ層内の個々のシンチレータ素子の長手軸の傾きを示すものと理解されたい。軸は、1つの平面のみにおいて傾斜してもよく、又は少なくとも2つの平面において傾斜成分を有することもできる。

【 0 0 3 6 】

本明細書で頻繁に使用されるように、「3D」、「2D」、及び「1D」は、それぞれ、(空間的)3次元、2次元、又は1次元性を意味する。

20

【 0 0 3 7 】

次に、本発明の例示的な実施形態を、縮尺通りではない以下の図面を参照して説明する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 8 】

【 図 1 】 X線イメージング装置の概略側面図。

【 図 2 】 シンチレータ層の概略断面側面図を示す；

【 図 3 】 それぞれ異なる実施形態におけるシンチレータ素子の概略斜視図及び概略平面図。

【 図 4 】 シンチレータ層の一部を形成するシンチレータ素子の、部分的に切り欠きを含む概略斜視図。

30

【 図 5 】 デュアルエネルギー/スペクトルイメージングのためのデュアルレイヤ検出器におけるシンチレータ層の実施形態を概略的に示す図。

【 図 6 】 デュアルエネルギー/スペクトルイメージングのためのデュアルレイヤ検出器におけるシンチレータ層の実施形態を概略的に示す図。

【 図 7 】 シンチレータ素子を有するシンチレータ層の製造方法のフローチャート。

【 図 8 】 シンチレータ層又はその一部の付加造形のためのプロセスチェーンを示す概略ブロック図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 9 】

図1を参照して、側面立面図におけるX線イメージング装置IAの概略図である。この実施形態は、CAアームイメージング装置、CBCT(コーンビームCT)スキャナ、CTスキャナ、マンモグラフィ装置又は放射線撮影装置、又は対象OBのX線画像を取得するように構成された他のものを含む。対象OBは、イメージング軸zを有する断面で示されている。図1において、イメージング軸zは、図面の平面内に延びている。本明細書で想定されるX線イメージャの主な用途は医療分野であるが、非破壊材料試験又は手荷物スクリーニングなどの非医療の状況は本明細書では除外されない。従って、「対象OB」という語は、本明細書では人間又は動物の患者、又はその解剖学的部分などの生き物の「対象」を含むものとして一般的な意味で使用されるが、無生物の対象も含む。

40

【 0 0 4 0 】

50

より詳細には、X線イメージング装置I Aは、X線源X Sと、X線感受性検出器X Dとを有する。使用時、対象O Bが、X線源X S及びX線検出器X D内の検査領域に、軸zに沿って位置付けられる。X線源X Sは、X線ビームX Bを生成するように活性化され、X線ビームX Bは、焦点スポットF Sから発せられ、検査領域を横切り、従って対象O Bの少なくとも関心領域を横切る。図1において、O Xは光軸であり、X線ビームX Bの主伝搬方向であり、軸yは光軸O Xに平行である。具体的には、光軸O Xが、焦点F Sから検出器X Dまで延び、焦点スポットの直交投影を検出器の画像表面上に形成するポイントで検出器X Dと交差する。このポイントは、本明細書では検出器又は画像表面の中心点と呼ばれる。画像表面は座標x, zを有し、xは、イメージング軸zに直交し、x, zは両方とも、光軸O X又は軸yに直交する。

10

【0041】

X線は、対象O Bの物質（例えば、組織、骨等）と相互作用する。相互作用後、X線は、対象O Bの遠位側に進み、その後X線検出器X Dに衝突する。衝突するX線は、検出器X Dによって検出され、電気信号に変換される。電気信号は、適切な変換回路（図示せず）によって画像値に変換され、画像値は、画像プロセッサI PによってX線画像に処理されることができる。適切なイメージングソフトウェア（3D再構成など）を使用して、1つ又は複数の表示装置D D上に画像を表示することができる。画像は、記憶されるか、又は他の方法で処理されることができる。

【0042】

X線画像は、被撮像対象O Bの内部の詳細を示すことができる。これは、被撮像対象O Bの診断及び治療又は他の検査に役立つことができる。

20

【0043】

イメージング装置I Aは更に、イメージングされるべき関心領域とより良く適合するようにX線ビームを成形するために、X線源に配置されるコリメータ（図示せず）を有することができる。

【0044】

検出器X Dは、フラットパネル検出器であってもよいが、本明細書では湾曲した検出器の実施形態も想定される。いくつかの実施形態において、検出器X Dが間接変換タイプであることが好ましい。差込図1 Aには、軸x, z及び画像表面の4つの外縁をもつX線検出器X Dの画像表面を表す概略的なグリッドレイアウトが平面図で示されている。軸zは、上記で説明したイメージング軸である。図1 Aのグリッドレイアウトにおける小さな正方形は、複数の「行」（一般に、方向xに沿う）及び複数の「列」（一般に、方向zに沿う）に配列された検出器セル又はピクセルを表す。代替的に、単一ライン/単一行の検出器もまた、本明細書において想定される。前述のように、画像表面は、図1 Aに示すように平坦であってもよく、あるいは代わりに、X線源X Sの焦点F Sを通り軸zに平行な長手軸（以下、「曲率軸」と呼ぶ）を有する仮想円筒の部分側面を形成するように湾曲していてもよい。これらの実施形態において、検出器X Dの画像表面は、全体としてX線源X Sの焦点スポットに焦点が合わされる。

30

【0045】

次に、図2を参照すると、これは、X線検出器X Dをより詳細に示す。具体的には、図2は、X線検出器X Dの断面側面立面図である。図2に示す実施形態は、平坦な画像表面x, zに対応するが、特に述べない限り、以下は湾曲した画像表面の実施形態にも等しく適用される。

40

【0046】

間接変換型技術では、検出器X Dが、シンチレーション層S Lとセンサ層P Lとの2層を有する。図2に示される実施形態とは対照的に、センサ層P L1、P L2を背中合わせに有する例示的な実施形態において、（図2のよう）センサ-シンチレータ層の単一の対だけでなく、ある対が他の対の上に配置された2又はそれより多くのそのような対が存在する、特に適応された検出器X Dを用いてデュアルエネルギー又はスペクトルイメージングを実現することも、本明細書で想定される。このようなデュアル/スペクトルイメー

50

ジング検出器は、図5及び図6において以下により詳細に説明される。しかし、簡単にするために、最初に、図2に示すような単一对のセンサ-シンチレータ層を有する検出器XDについて説明することに限定する。

【0047】

シンチレータ層SLは、X線源の近位側に配置されることができ、センサ層PLは、焦点の遠位側にある。代替の実施形態においては、この構成が逆にされて、センサ層PLが近位側に配置され、シンチレータ層SLが遠位側に配置される。ここ及び以下では、空間修飾子「近位」及び「遠位」はそれぞれ、焦点FSに対してより近い距離又はより大きい距離を示すために使用される。イメージング中、X線ビームXBの光子は、シンチレータ層SLに衝突し、シンチレータ層SLを透過する。シンチレータ層SLは、シンチレータ材料、言い換えれば、衝突するX線を異なる周波数の電磁放射線、特に可視光に変換することができる材料を含む。具体的には、シンチレータ材料の内部分子構造は、シンチレータ材料にX線光子が衝突したときに光子が放出されるようなものである。次いで、シンチレータ層によってそのように生成された光子は、センサ層PL内の感光性ピクセルのレイによって検出される。いくつかの実施形態において、センサ層PLは、複数の感光性ピクセル(フォトダイオードPh及びTFEを有する)がその上に配置される基板層BL(箔又は他のものなど)を備えるセンサレイである。複数の感光性ピクセルPHは、センサ層PLの少なくとも1つの感光面LSSを形成する。本明細書では、有機系もしくはシリコン系、又は両方の組み合わせなど、フォトダイオードPh及びTFEの様々な変形形態及びタイプが想定される。図2の断面図では、フォトダイオードPHの1つの行のみが示されている(一例として、行の5つのフォトダイオードのみが示されている)。他の複数の行が、図1Aに示されるグリッドレイアウトを達成するために、図2の図の平面上に示される行の後ろに、平行にかつz軸に沿って配置される。フォトダイオードPhは、読み出し回路(図示せず)に結合され、読み出し回路は、それぞれの光子の検出に応じてそれぞれのフォトダイオードPhによって生成される電気信号を収集する。

【0048】

引き続きシンチレータ層SLを参照すると、これは、一実施形態においてシンチレータ層SL上にピクセル化構造を付与する複数のシンチレータ素子SEを有する。具体的には、実施形態で想定されるように、それぞれのシンチレータ素子SEは、好適にはフォトダイオードPhと同じレイアウトで配置される個別の3D構造である。このようにシンチレータ素子は、図1Aの平面図に示されるようにグリッドレイアウトを形成しており、シンチレータ素子とセンサPhとが、互いに空間的に位置合わせされており、各フォトセンサPhは、各シンチレータ素子の1つに対して対向する関係を有して配置されている。他の実施形態も可能であり、例えば、隣接するセンサPhのグループは、同じシンチレータ素子を共有することができる。例えば、2×2又は4×4の隣接するセンサ素子のグループは、同じシンチレータ素子を共有することができる。従って、単一の行/列のセンサPhを有する実施形態の場合、空間的に位置合わせされたそのような個別のシンチレータ素子の単一の行のみが存在する。

【0049】

図2に示す例では、1列に5つのシンチレータ素子しかないが、この数は単に例示的なものであり、限定的なものではない。一般に、シンチレータ素子の数は、検出器ピクセルの数、従ってセンサ(例えば、フォトダイオード)の数とおなじ多さでもよいし、それより少なくてもよい。例えば、検出器XDの画像表面は、 $X = 40 \text{ cm} \times Z = 30 \text{ cm}$ のサイズであってもよく、これはいくつかの実施形態において実際に想定される。従って、必要とされるピクセル密度に応じて、この構成はCTと同様に、1mmのピクセルサイズを有するCBCTスキャナの場合、ほぼ同数のシンチレータ素子を有する 400×300 のセンサPhを必要とする。Cアームシステムの場合、より小さなピクセルサイズ、例えば $150 \mu\text{m}$ を使用することができ、より多くの素子SEをもたらす。センサ共有の場合、上述のように、センサPhよりもエレメントSEの方が少ない。検出器のサイズは一般に、イメージングされる対象のサイズによって決定され、上記の例よりも大きくても小さくてもよい。

10

20

30

40

50

くてもよい。例えば、 $Z > 40 \text{ cm}$ 及び/又は $X > 30 \text{ cm}$ もまた、本明細書において想定される。

【0050】

各シンチレータ素子SEは、X線から可視光などの所望の電磁放射線への変換を効果的に行うシンチレータ材料を含む。本明細書で想定されるシンチレータ素子は、好適には以前のシステム（例えば、本出願人の国際公開第2010/018496号公報を参照）におけるように、成長した結晶ニードル全体（CsIなど）から形成されるのではなく、代わりに、いくつかの実施形態において、バインダ塊に埋め込まれたシンチレータ粒子（結晶であってもなくてもよい）を含む材料から3D製造される。シンチレータ素子の正確な組成及び製造は、図7を参照して以下により詳細に説明される。

10

【0051】

最初にシンチレータ素子SEの形状をより詳しく見る場合、これは、図2を参照して理解されることができる。シンチレータ素子は、それら自身がX線イメージングシステムIAの焦点FSのほうを向いてアラインされるように形成される。特に、いくつかのシンチレータ素子は、少なくとも1つの平面において、X線源の焦点と位置合わせされるように斜めになっている。更に具体的には、いくつかの実施形態において、図2の断面平面において破線で示される素子SEのそれぞれの長手軸LAXは、焦点FSを向くように傾いている。図2から分かるように、シンチレータ素子SEは、焦点FSとのこのアライメントを達成するように単に回転されるだけでなく、このアライメントを達成するのは、シンチレータ素子SEの形状自体の斜め性である。図2は単に、焦点FSとアラインされた1つの行のシンチレータ素子SEを示す。上述したことは、図2に示される行の背後に、軸zに沿って配置される幾つかの又は全ての行に等しく適用されることが理解されるであろう。

20

【0052】

図2に示される傾斜に加えて、いくつかの実施形態において、例えば図2の図面の平面内に延びる方向zに沿った別の平面において、第2の傾斜成分が存在してもよい。言い換えれば、シンチレータ素子SEは、長手軸LAXが3D空間において焦点FSの位置を指すように、2つの空間方向、例えば、x及びzに傾斜されてもよい。この構成は、少なくとも2つの異なる平面に傾斜がある「2Dアライメント」と呼ぶことができる。図2において、一方の平面は、図面の平面に相当し、他方の平面は、これに直交して焦点FSを通過する。

30

【0053】

これとは区別して、「1Dアライメント」（以下、このような構成を「1Dアライメント」と呼ぶ）では、長手軸LAXは、シンチレータ素子の各行について単に単一平面内で傾斜しており、仮想点FS'で交差する。1つのこのような仮想点FS'は、中心点を通過する行についてのみ焦点FSに対応する。他の行のそれぞれの仮想点は、焦点FSを通過する線を形成し、図1、2の描画平面によるように、平面に対して垂直である。

【0054】

2Dアライメントにおいて、それぞれの長手軸の延長は、光軸OXに垂直な任意の方向から見たとき、3Dにおいて交差する。すなわち、中心点を中心とした同心円上に、同じ角度斜め性をもつシンチレータ素子SEが配置される。

40

【0055】

図2は非常に概略的であり、距離は縮尺通りではないことが理解されるであろう。例えば、焦点FSの検出器XDまでの距離は、実際よりも短く描かれている。

【0056】

ピッチ（つまり、隣接するピクセル間の距離Ph）が等距離（規則的なピッチレイアウト）である場合と、異なる（不規則なピッチ）場合がある。図2には、不規則なピッチレイアウトが示されている。図示されるように、異なる斜め性のために、面S2同士の間（又は代替として面S1同士の間）の（xに沿った）距離は、好適には不規則である。他の実施形態において、いくつかの隣接するシンチレータ素子SEが、同じ斜め性を有する場合、規則的であってもよい。

50

【 0 0 5 7 】

また、図 2 では、反射性材料 L R S の充填物の（軸 x に沿った）幅が縮尺通りに描かれていない。幅は大幅に誇張されており、通常は、シンチレータ素子 S E の（軸 x に沿った）幅と比較してはるかに小さい。例えば、フィリング L R S の幅は、シンチレータ素子 S E の幅の約 1 / 1 0 以下であってもよい。

【 0 0 5 8 】

ここで図 3 を参照すると、これは、本明細書で想定されるシンチレータ素子 S E の形状の様々な実施形態を示す。図 3 の A 及び B は、軸 y に沿った斜視図であり、図 3 の C 及び D は、焦点スポット F S から見た、軸 y に沿った平面図である。

【 0 0 5 9 】

いくつかの実施形態において、いくつか又はすべてのシンチレータ素子 S E は、図 3 の A 及び B に示されるように、斜め円筒又は斜めプリズムである。所与のシンチレータ素子 S E の長手 L A X は、いくつかの実施形態において、斜めプリズム又は円筒の底面である 2 つの面 S 1 及び S 2 を通過する。使用中、一方の面 S 1 は近位側であり、他方の面 S 2 は遠位側である。面 S 1、S 2 は、任意の規則的又は不規則な多角形、又は規則的又は不規則な湾曲した形状（円形、楕円形など）を有することができる。多角形の底面 S 1、S 2 の実施形態は、三角形、長方形、正方形、又は平行四辺形を含む。更に、シンチレータ素子 S E は、斜め長方形プリズムとして形成されてもよい。図 3 の B の具体的な実施形態に示されるように、シンチレータ素子 S E は平行六面体である。いくつかの実施形態において、素子が y - x 又は y - z 平面における断面として平行四辺形を有する。

【 0 0 6 0 】

図 3 では、その長手軸 L A X に沿ったシンチレータ素子 S E の断面は一定であるように示されているが、これはすべての実施形態において必ずしもそうである必要はない。具体的には、断面が、長手軸 L A X に沿って変わる実施形態が想定される。例えば、斜め円錐台又は角錐台の形状を有する「漏斗形状」のシンチレータ素子もまた、本明細書において想定され得る。2 つの面のうちの大きい方は近位側又は遠位側に配置されることができ、好適には近位側に配置され、シンチレータ素子は、光子のための改善された集束ガイドとして作用するように近位側に配置されることができ。

【 0 0 6 1 】

近位フェーズ S 1 は、X 線をシンチレータ素子の本体に受け入れる。次に、光子は、シンチレータ素子の本体を通る経路に沿って移動し、シンチレータ素子内のシンチレーション材料と相互作用し、それにより光子が放出される。シンチレータ素子 S E の固有の斜め性のために、より多くの光子が放出され、これは良好なイメージング特性をもたらす。放出された光子及び / 又は X 線の少なくとも一部は、遠位面 S 2 でシンチレータ素子を去り又は出て、それぞれのフォトダイオード P h と相互作用する。シンチレータ本体の斜め構成のため、シンチレータ素子を通る X 線光子の光路は、シンチレータ層の所与の全体の厚さに対して最大化され、イメージング装置 I A の光軸 O X から離れて位置する素子 S E を通る放射線経路においても最大化される。より具体的には本明細書で想定されるように、シンチレータ素子の斜め性は、X 線検出器の中心点からの距離と共に大きくなる。より具体的には、光軸 O X 又はそれに近い位置にあるシンチレータ素子が、斜め性を有さないか、又はほとんど有さず、その一方で、遠い位置にあるシンチレータ素子は、光軸 O X に近い位置にあるシンチレータ素子よりも大きい斜め性を有する。

【 0 0 6 2 】

シンチレータ素子 S E の提案する斜め性は、シンチレータ層の近位表面に垂直な法線 n を使用することによって幾何学的に規定されることができ。光軸 O X から離れたシンチレータ素子の場合、それらのそれぞれの長手軸 L A X は、表面の法線 n に対して非ゼロの傾斜角を形成することになる。湾曲した表面の実施形態の場合、法線は、局所的な法線であり、すなわち、所与のロケーションの近位表面に対する接平面に垂直であり、傾斜角は、前記局所的な法線 n に対して規定されることができ。局所的な法線は、所与のロケーションにおけるそれぞれの近位表面 S 1 の法線である。平坦な表面の実施形態において

10

20

30

40

50

、表面法線は、面法線 n に等しい。代替として、斜め性は、長手軸 LAX と光軸 OX との間の非ゼロ角度として規定されることもできる。傾斜角の最大の大きさは、一般に、検出器の画像表面の大きさの関数である。大きさが約 $X = 30 \text{ cm} \times Z = 40 \text{ cm}$ である実施形態において、は、検出器表面のエッジ部分に存在する素子について、 0° （中心点における素子 SE の場合）から約 10° までの範囲である。例えば、 $X > 30 \text{ cm}$ 及び / 又は $Z > 40 \text{ cm}$ を有する、より大きなサイズの検出器の場合、 30° 又はそれ以上のが必要になりうる。

【0063】

図3のCとDの平面図は、提案されたシンチレータ層 SL の斜め性と、上記で説明した1D及び2Dアライメントの概念とを更に示している。特に、図3のCに示されるように、それぞれの近位フェーズ $S2$ 及び遠位フェーズ $S1$ は、光軸 OX 又は軸 y に沿って見たとき（図3のCの図に示されるように）、互いに対して平行なままシフトされる。図3のCの実施形態において、面 $S1$ 及び面 $S2$ は、 z 軸に沿ってのみ互いに対してシフトされているが、代わりに x 軸に沿ってシフトされることができる。

10

【0064】

その延長として、図3のDの平面に示されるように、2次元においてシフトされている面 $S1$ 及び $S2$ も本明細書において想定される。この場合、面 $S1$ 及び $S2$ は、互いに x 及び y に沿ってシフトされている。分かりやすくするために、図3のD及びCでは、面 $S1$ 及び $S2$ のみが示されており、他のすべてのエッジは扱われていない。図3Dは、上記で説明した2Dアライメントの概念を図示しており、図3Cは、傾斜が単一平面に限定される1Dアライメントを示している。1つ又は2つの方向における2つの面 $S1$ 、 $S2$ の間の相互平行シフトは、シンチレータ素子の長手軸の配向及び全体的な傾斜、従ってその斜め性を決定する。

20

【0065】

2Dアライメントの場合の有効な全体の傾斜は、上記で説明されたように、法線と長手軸 LAX との間の角度によって規定されることができるが、傾斜は、2つの基準平面 $x-y$ 及び $z-y$ の間に延在する平面（破線として平面図に示される）内にある。基準方向 x 、 z に沿ったこの有効な全体傾斜の成分は、基準平面 $x-y$ 、 $z-y$ 及び該平面内のそれぞれの傾斜角成分への長手軸 LAX のそれぞれの投影として得られることができる。

【0066】

特に2Dアライメントタイプであるため、平坦なX線検出器であっても検出器 XD の画像表面全体で一様なイメージング特性を得ることができる。

30

【0067】

1Dアライメントは、湾曲した検出器 XD に有用である。2Dアライメントは、平坦な検出器 XD がX線焦点 FS を向いて2次的にフォーカスされるシンチレータ素子を達成するために有用である。

【0068】

図4を参照すると、これは、シンチレータ素子 SE の斜め性を、部分断面斜視図で示している。図4には、明確にするために、1つのそのようなシンチレータ素子 SE のみが図示されており、それぞれの面 $S1$ 及び $S2$ は、シンチレータ層表面の一部であり、すなわち、近位表面が $S1$ に対応し、遠位表面が $S2$ に対応する。図3のCと同様に、図4は、軸 x に沿って、面 $S1$ 、 $S2$ が一方向においてのみ互いに対して平行なままシフトされているので、斜め性が上記で説明した1Dアライメントをもたらす実施形態を示す。同様に、 x 方向の代わりに z 方向の1Dアライメントも、代替の実施形態において想定される。

40

【0069】

個別のシンチレータ素子 SE は、隣接するシンチレータ素子 SE 、 SE' の間の空間 IS を部分的に又は全体的に充填する光反射材料 $LR S$ に埋め込まれる。壁素子が、2つのシンチレータ素子 SE 、 SE' のそれぞれの面 $S1$ 、 $S2$ 、 $S1'$ 、 $S2'$ の間に延在する。それぞれの空間 IS は、図9に示すように、隣接するシンチレータ素子 SE 、 SE' の隣接する壁素子 w 、 w' によって境界付けられる。反射材料が互いの間に配置されるシンチレータ

50

素子 S E は、シンチレータ層 S L を形成する。光反射材料 L R S の適切な実施形態は、一実施形態において、T i O₂ (二酸化チタン) 充填エポキシ、又は銀、又は十分な光反射特性を有する他の同様の材料を含む。

【 0 0 7 0 】

それぞれの近位面 S 1 (互いの間に反射材料を有する) は共に、シンチレーション層 S L の近位表面を規定する。それぞれの面 S 1 は互いに平行であり、y 軸に沿ってアラインされて、同一高さの表面として近位表面を形成する。いくつかの実施形態において、等しく同一高さの遠位面を形成する遠位面 S 2 についても同じことが当てはまり、言い換えれば、それぞれの遠位面 S 2 は、同じ平面内又は曲面内にある。従って、(それぞれの軸 L A X に沿った) シンチレータ素子 S E のそれぞれの長さは、すべてのシンチレータ素子 S E について等しくなくてもよい。具体的には、光軸 O X から更に離れたシンチレータ素子 S E は、光軸 O X に近いシンチレータ素子 S E より長くなりうる。代替の実施形態において、シンチレータ素子のそれぞれの長さ(それぞれの軸 L A X に沿った) は等しくされることができ、よって、遠位面 S 2 は、必ずしも同じ平面 / 表面内に位置しない。

10

【 0 0 7 1 】

シンチレータ素子 S E の(それぞれの軸 L A X に沿った)それぞれの長さが等しくない場合、いくつかの実施形態において、ピクセルピッチが等しくないために、上述のイメージング特性は依然として均一でありうる。これは、光軸 O X から更に離れた長いシンチレータ素子については、隣接する画素 P h 同士の間隔が大きくなり、それぞれの遠位面 S 2 とそれぞれの光検出器 P h との間により多くのボリュームを有することになり、それにより、より長いシンチレータ要素 S E の軸 L A X に沿った等しくない経路長を補償する。

20

【 0 0 7 2 】

また、製造上の理由から(図 7 において更に詳述)、シンチレータ素子 S E が基板から焦点 F S に向かって延びる該基板がありうる。基板は、近位面又は遠位面 S 1、S 2 のいずれかが基板に隣接するように、近位又は遠位に配置されることができ。

【 0 0 7 3 】

上述した全ては、複数対のセンサ - シンチレータ層を有するデュアル又はスペクトルイメージング X 線検出器に等しく適用される。これに関連して、図 5 及び図 6 を参照する。図は、デュアルレイヤ検出器によるスペクトル / デュアルエネルギーイメージングのためのそのような検出器 X D の概略的な側断面図を示す。ビューは、それぞれ方向 x 及び z に沿っている。図 5 は、平坦な構成を有する実施形態の表現を示し、図 6 は、湾曲構成を示す。

30

【 0 0 7 4 】

より具体的には、デュアルレイヤ検出器によるスペクトル / デュアルエネルギーイメージングにおいて、(少なくとも) 2 つのシンチレータ層 S L 1、S L 2、及びいくつかの実施形態においては 2 つのセンサ層 P L 1、P L 2 が存在する。3 つ以上のシンチレータ層及び / 又はセンサ層を有する構成もまた、本明細書において想定される。

【 0 0 7 5 】

より詳細には、図 5 の B、図 6 の B では、第 1 の検出器が、第 1 のシンチレータ層 S L 1 を有するとともに、その下に、関連するセンサ層 P L 1 を有する。この一对の層の後ろに、第 2 のセンサ層 P L 2 及び関連する(第 2 の)シンチレータ層 S L 2 を同様に有する第 2 の検出器の層が続く。図 5、図 6 の構成において、2 つのセンサ層 P L 1 及び P L 2 は、センサ層 P L 1、P L 2 が背中合わせになるように、2 つのシンチレータ層 S L 1 及び S L 2 の間に挟まれる。あるいは、シンチレータ層 S L 1、2 及びセンサ層 P L 1、2 が入れ替わり、センサ P L 1 の後ろに(第 2 の)シンチレータ層 S L 2 が配され、結合されるようにしてもよい。この交互配置パターンは特に、上述したシンチレータ層の平坦な近位表面のおかげで容易になる。

40

【 0 0 7 6 】

それぞれのシンチレータ素子 S E 1 及び S E 2 の斜め性は、挿入図 5 A に示されている。この例では、z 方向に沿った 1 D アライメントが示されている。シンチレータ素子 S E

50

1、SE2のそれぞれの斜め性は及び $+180^\circ$ であり、それにより、2つのシンチレータ素子の2つの長手軸LAXに沿って2つのシンチレータ素子SE1、SE2を通る連続的な放射経路を形成する。言い換えると、2つの長手軸は、共通ラインに沿ってアラインする。ここでも、両方の層におけるシンチレータ素子の斜め性は、図5に示されるように、軸Zに沿って単一の次元においてのみ斜めになるようにしてもよい。あるいは、素子SE1、SE2が更に第2の方向に沿って傾斜するように、焦点FSとの2Dアライメントが存在してもよい。アライメントの第2の方向は、軸xに沿って図5の図面平面内に延びる。また、この2次元アライメント構成の実施形態では、2つのシンチレータ素子SE1、SE2が、共通ラインを形成するようにそれぞれの軸をアラインさせている。

【0077】

図6Bは、図5A、Bに記載されたものと同様のデュアルレイヤ検出器によるデュアル/スペクトルイメージングのための湾曲した実施形態を示す。先に述べたように、湾曲した検出器層は、その湾曲軸が焦点FSを通して延び、図6Bの軸zに平行な仮想シリンダの部分的な横方向表面を形成する。挿入図6Cは、焦点FSから見たときの、曲率を斜視平面図(3次元)で概略的に示す。

【0078】

挿入図6Aに更に示されるこの湾曲した実施形態において、検出器素子が好適には例えば、軸zに沿って(例示的に示されるように)又は軸xに沿って1次元でアラインされ、従って、他の次元x又はzに沿ってそれぞれ傾斜されていない。言い換えると、z方向の斜め性は、その方向に沿った焦点FSに対するアライメントに対処し、検出器の湾曲は、zに沿った湾曲軸を横切る第2の方向xに沿った焦点スポットに向けてのアライメントを実現する。この湾曲した実施形態において、湾曲軸に垂直なビュー(この例示的な場合では軸xに沿う)は、zに沿った斜め性が示されている図5A、Bによって与えられるビューに類似する(図5A)。挿入図6Bの小さな湾曲した矢印は、発散する光子を示す。

【0079】

同様の湾曲構成は、図2のような単一の検出器層の実施形態についても想定される。

【0080】

図9を参照すると、デュアル又はスペクトルイメージングの文脈での更なる実施形態と共に、上述したシンチレータ層の更なる形態を側断面図で示している。以下では、デュアルレイヤ検出器における2つのシンチレータ層SL1、SL2の使用について主に言及されているが、以下に記載されている特性と側面は、2つの画像(上と下)の足し合わせが従来の単一画像(改善されたDQE(検出量子効率)を有する)を与える従来の非デュアルイメージングアプリケーションにも適用可能であることが理解されるであろう。

【0081】

本明細書で想定されるようなデュアルイメージングでは、検出器が少なくとも2つの異なるエネルギーで同時にX線を検出するように構成されるデュアルレイヤ検出器XDとして、図9に示されるように配置される。このようにして検出された2つの画像(1つは高エネルギー画像、もう1つは低エネルギー画像)は、R Alvarez and A Macovski, "Energy-selective reconstructions in X-ray computerized tomography", Phys. Med. Biol., vol 21(5), 1976, pp 733-744などに記載されるように、例えば、物質分解のための物質固有のコントラストを持つ画像、原子番号固有のコントラストを持つ画像、スペクトル画像等の、他の画像に生成するように画像処理されることができる。

【0082】

図9は、デュアルレイヤ検出器の他の実施形態を示す。図9の実施形態において、デュアルレイヤ検出器XDは、2つのシンチレータ層SL1、SL2(上述のように)を有し、一方は近位側にあり、他方は遠位側にある。少なくとも2つの感光面LSS1、LSS2(ここでも、一方は近位側にあり、他方は遠位側にある)は、それぞれ、上述したような感光ピクセルPHのレイアウトを有する。いくつかの実施形態(必ずしもすべての実施形態においてないが)では、2つのシンチレータ層内のシンチレータ素子の数が等しく、好適には図9に示すように、近位側シンチレータ層SL1及び遠位側シンチレータ層SL

10

20

30

40

50

2からの対応するシンチレータ素子は、それらの長手軸がアラインされる。

【0083】

感光表面LSS1、LSS2は、単一の(基板)層BL上に配置されることができ、ピクセルは、遠位側及び近位側から受容可能であり、従って、図9のBに示すように、基板層BLの遠位側に2つの感光表面LSS、LSS'を有し、他方は近位側にある。基板は光の通過を可能にするために、箔又は他のものとして配置されることができ、同様のこのような「両面」単一センサ層PLは、本出願人の国際公開第2018/122213A1号パンフレットに記載されている。代替例として、2つの感光面が、単一の基板層上の遠位側及び近位側にそれぞれ配置される2つのセンサ層によって形成されてもよい。更なる代替例として、2つの感光面LSS1、LSS2は、図9のA、D、図5、図6に示されるように、互いに一緒にされた、すなわち「背中合わせ」に積層された、物理的に別々の層BL1、BL2上に配置され、この場合、感光面LSS1、LSS2は、反対方向を向いている。更に別の実施形態において、2つのセンサ層SL1、SL2は、図9のCのように、2つのシンチレータ層のうちの少なくとも1つの介在によって空間的に分離される。

10

【0084】

本明細書で想定されるデュアルレイヤ検出器では、感光面LSS1、LSS2は両方も、2つのシンチレータ層SL1、SL2の間に配置される。図9のCの2つの感光層は、X線源を向いて同じ向きに方向付けられる。

【0085】

2つのシンチレータ層SL1、SL2は、感光面LSS1、LSS2のそれぞれの上に接着によって配置されるか、又は他の方法で貼り付けられる。図9のCの実施形態において、遠位シンチレータ層SL2の近位面は更に近位センサ層SL1に固定される。

20

【0086】

図9によって与えられるビューは更に、シンチレータ素子SE1、SE1'、SE2、SE2'の間の空間IS、IS'を規定する隣接する側壁w1、w1'及びw2、w2'を示す。図9及び以下では、シンチレータ層SL2の1つ及び1対の隣接するシンチレータ素子SE2、SE2'について言及されるが、これは単に例示及び説明のためであり、以下のすべては、他のシンチレータ層SL1及び/又は他のシンチレータ素子SE1、SE1'に等しく適用される。2つの隣接するシンチレータ素子SE2、SE2'の隣接する側壁w2、w2'はそれらのそれぞれの面S1、S2とS1'、S2'との間に延在する(図9には示されていないが、図2を参照)。隣接するシンチレータ素子SE2、SE2'の互いに傾斜した(平行でない)隣接する側壁w2、w2'のため、それぞれの間隙ISは、テーパ状である。特に、隙間ISは、図9に示すように楔形であってもよい。前述したように、隙間ISは、図2に関して上述したように、全体的又は部分的に光反射充填材料LRSで充填される。フォーカスされる構成のため、2つのシンチレータ層SL1、SL2の対応する近位及び遠位シンチレータ素子SE1、SE2のそれぞれの長手軸は、近位シンチレータ層SL1の隙間IS'が遠位シンチレータ層SL2の隙間ISよりも狭く及び/又は小さくなるようにアラインされる。特に、近位シンチレータ層SL1の空間ISは、遠位シンチレータ層SL2の空間IS'よりも小さい楔型として形成される。図9に示すように、いくつかの実施形態において、近位シンチレータ層SL1及び遠位シンチレータ層SL2のシンチレータ素子からのそれぞれの側壁w1、w2及びw1'、w2'がアラインされる。

30

40

【0087】

等距離ピクセルピッチレイアウトは、感光面LSS2、LSS1、特に図9のA、B及びDの実施形態において使用されることができ、ピクセルピッチは、各表面LSS、LSS'についてそれぞれ等距離であってもよいが、互いに異なってもよい。代替例として、等距離ピッチレイアウトが、2つのシンチレータ層SL1、SL2について同じである。等距離ピッチを有することは、画像処理を単純化することを可能にし、及び/又は特に、いくつかの実施形態において本明細書で想定されるような2つの同一の画像センサを使用する場合に、検出器をより効果的に製造することができる。更に、等距離イメージセンサは、使用においてより汎用的であり、システム内の線源-検出器距離とは無関係であ

50

り、従って、さまざまなシステム構成又は用途において使用されることができる。

【0088】

ここでは任意の2つの隣接するシンチレータ素子 SE' 、 SE が傾斜した隣接する壁を有する必要はないが、これはいくつかの実施形態では想定される。代替例として、シンチレータ層は、平行な隣接する壁を有するシンチレータ素子のランを有し、続いて、異なる傾斜の壁を有するシンチレータ素子の1又は複数のランを有する。2つの連続するランからのシンチレータ素子の隣接する壁は、上述したように、それらの隣接する壁を相対的に傾斜させてもよい。

【0089】

なお、図9(d)に示すように、シンチレータ層 $SL1$ 、 $SL2$ の一方又は両方におけるシンチレータ素子 SE 、 SE' の高さ h は、必ずしも等しくなくてもよく、高さ差によって示されるように異なってもよい。好適には、高さは、検出器 XD の周囲に向かって中心から離れて位置するシンチレータ素子 SE と比較して、より中央のシンチレータ素子 SE のほうが低い。これは、取得画像の全領域にわたって(より均質な)ノイズ分布を得ることを可能にする。図9(d)に示すように、中心から周辺に向かって高さを単調に増加させる必要はない。代わりに、同じ高さを有する1つ又は複数のシンチレータ素子 SE のランが存在し、その後、それぞれ異なる、増加する高さを有するシンチレータ素子 SE の1つ又は複数のランが続くことができる。図9(A)~(C)又は図2、図5及び図6の実施形態のいずれにおいても、異なる高さのシンチレータ素子が使用されることができる。1D又は2Dアライメントは、図5、図6に関して上述したように、図9の実施形態のいずれかにおいて想定される。

【0090】

図7を参照すると、先の図に関して上述したように、斜めの離散的なシンチレータ素子を有するシンチレータ装置の製造プロセスにおけるステップが示されている。

【0091】

好適には、シンチレータ層 SL が適切な材料から3Dプリンティングなどの付加造形によって形成される。適切な材料は、非シンチレーションバインダ材料の塊体に埋め込まれる結晶粒子を有する。

【0092】

より従来のアプローチとは異なり、成長した結晶ニードル(CsI 、ヨウ化セシウムなど)は本明細書では使用されないが、代わりに、シンチレータ層を形成するため PIB (particle-in-binder)法によるシンチレータ調製が想定される。 PIB 法によるシンチレータ材料の実施形態は、テルビウムドープされたオキシ硫化ガドリニウム($Gd_2O_2S : Tb$)粒子、又はプラセオジウムドープされたオキシ硫化ガドリニウム($Gd_2O_2S : Pr$)粒子、又は Y_2O_2S などの他のシンチレーション材料、又はガーネット粒子などを含む。シンチレーション材料は、樹脂などのバインダ材料、又はスラリを形成することができる他の材料中に混合される。

【0093】

好適には、シンチレータ素子が製造される PIB シンチレータ材料が、シンチレータ層の想定される全厚さより薄い複数のサブレイヤにそれ自体提供される。次いで、シンチレータ素子は以下の方法で、一実施形態によれば、これらのサブレイヤから徐々に構築される。

【0094】

ステップ $S710$ において、上述のサブレイヤのうちの第1のサブレイヤが提供される。これは基板(例えば、ガラス又は他のもの)上に堆積されてもよいが、これは任意選択であり、下にある基礎基板が使用されない本明細書で想定される方法である。一実施形態においてシンチレータ層が検出器層 PL 自体上に構築され、その場合、検出器層 PL は基板を形成する。基板は、図6の実施形態のように、比較的堅い湾曲したセンサプレートによって形成されてもよい。提案した方法は、従って、箔型の基板上への堆積を回避することを可能にする。このような箔ベースの基板は、前述の結晶ニードルから、湾曲した検出

10

20

30

40

50

器用のシンチレータを構築するのを助けるために以前に使用されていた。

【 0 0 9 5 】

C s I シンチレータは、新たに提案するシンチレータ層 S L によって完全に置き換えることができるが、代替の実施形態において、C s I は、新たに提案するシンチレータ層 S L と組み合わせて使用されることもできる。例えば、図 6 のデュアルエネルギー / スペクトルイメージングの実施形態において、シンチレータ構成は、シンチレータ層 S L 1 の代わりに最上層が C s I であってもよく、一方、S L 2 は本明細書で提案するようなものであり、又は逆に、C s I が代わりに下層 S L 2 として使用され、最上層 S L 1 は本明細書で提案するものであってもよい。

【 0 0 9 6 】

上記の実施形態の全てにおいて、各センサ層 P L は単一のシンチレータ層 S L のみを有するが、これは必ずしも全ての実施形態についてそうとは限らない。本明細書で具体的に想定される構成も、所与のセンサ層に対して少なくとも 2 つのシンチレータ層が存在するアレイである。より具体的には、いくつかの実施形態において、2 つのシンチレータ層がそれぞれのセンサ層 P L の対向する 2 つの面に配置される。この実施形態において、センサ層 P L は、前記対向する 2 つの面からのシンチレータ光によって照明されることができる。この両面構成が、図 5、図 6 のデュアルエネルギー / スペクトルイメージングの実施形態で使用される場合、2 つの層 P L 1、P L 2 は、もはや背中合わせにならないことが理解されるであろう。代わりに、(4 つの) シンチレータ層のうちの 2 つが背中合わせになる。

【 0 0 9 7 】

ステップ S 7 2 0 において、シンチレータは、好適には選択的レーザ焼結 (S L S) 又はステレオリソグラフィ (S L A) のような 3 D プリンティングのような適切な付加造形技術を使用することによって形成される。

【 0 0 9 8 】

シンチレータ素子のそれぞれの長手軸に沿った長さが等しくなるように形成されることができ、又は長さは、層の中心からの距離とともに変化してもよく、中心 / 光軸から離れるほど、シンチレータ素子はより長くなる。

【 0 0 9 9 】

レーザベースの技術が想定される。いくつかの実施形態において、第 1 のサブレイヤは、第 1 のサブレイヤ上の複数の個別の位置でレーザビームに曝露される。各ロケーションにおいて、サブレイヤは、局所的に融合され又は硬化されて (感光性バインダの場合)、構築されるべき所与のシンチレータ素子のサブレイヤの断面を規定する。このプロセスは、所望のシンチレータ素子アレイのレイアウトを規定するように、適切に離間されたロケーションに局所的に、サブレイヤの表面を横切って連続して又は平行に繰り返される。融合プロセスでは、P I B シンチレータ材料の分子構造は (非融合部分と比較して) 変化するが、粒子のシンチレーション能力は維持される。

【 0 1 0 0 】

次に、ステップ S 7 2 0 が、第 1 のサブレイヤの上に第 2 のサブレイヤを堆積させた後に、第 2 のサブレイヤ上で繰り返される。具体的には、第 1 のサブレイヤ上に堆積された第 2 のサブレイヤと、レーザによる上述の局所的融着 / 硬化とが、繰り返されるが、このとき、前のサブレイヤ内のロケーションと比較してわずかにシフトした位置である。シフトの量は、そのロケーションにおける所与のシンチレータ素子の所望の斜め性に対応する。シフト量は、記述された斜め性と現在のサブレイヤの与えられた高さに三角形的に関係している。シフトは、レーザ分配装置を動かすことによって、又はサブレイヤを動かすことによって達成されることができる。

【 0 1 0 1 】

次に、ステップ S 7 2 0 は、すべてのサブレイヤが上述のように処理されるまで繰り返され、その都度、前述のサブレイヤと比較して、ロケーション (材料が融合 / 硬化される場補) がわずかにシフトされる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 2 】

製造のこの段階では、「予定」素子 S E は、周囲のサブレイヤ材料に埋め込まれている。全てのシンチレータ素子の全ての断面が全てのサブレイヤにわたってレーザ定義されると、この多層アセンブリ（サブレイヤから構成される）は、最終的なシンチレータ層 S L の所望の高さを有する。

【 0 1 0 3 】

次いで、多層アセンブリは、残りの過剰な材料を除去する。これは、局所的に融合された部分の間に残された非融合部分にのみ作用するエッチング物質（例えば、エッチング浴中）を適用して、残りの余分な材料を溶解するようにし、残りの余分な材料はその後洗い流して、斜めのシンチレータ素子のみが露出したままになるようにし、離散した近位面がエンボス加工されることによって、行われることができる。シフトのため、シンチレータ素子の面 S 1、S 2 の間の接続エッジは、ある倍率スケールで、階段状のプロファイルを有することになることが理解されるであろう。

10

【 0 1 0 4 】

別のステップ S 7 3 0 では、光反射充填材料 L R S がシンチレータ素子間の空間内に充填される。光反射材料 L R S はペーストとして提供されてもよく、その後、ペーストは空間内に入り込み、シンチレータ素子の近位面 S 1 と同じ高さにされることができ。いくつかの実施形態において、これは光反射材料 L R S を、場合によっては真空下で、間隙に充填/注入することによって行われる。

【 0 1 0 5 】

次いで、全体の構造を凝固させて、シンチレータ素子が一緒にイメージング装置 I A の焦点とアラインされるように、斜め性の所望の分布及び分散を有するシンチレータレイアウトの生産を終了することができる。言及したように、中央のシンチレータ素子（つまり、光軸に沿って配置されたもの）は、まっすぐなままでよい。

20

【 0 1 0 6 】

中心からずれたシンチレータ素子の斜め性はすべて、理想的には、焦点 F S との最良のアライメントを達成するために、光軸 O X からの距離と共に変化するべきである。すなわち、任意の 2 つの隣接するシンチレータ素子 S E は、理想的には異なる斜め性を有すべきである。しかしながら、これは、必ずしも全ての実施形態においてそうとは限らない。例えば、隣接するシンチレータ素子の特定の「並び (r u n s)」又はグループは、同じ斜め性を有するように配置されることができ。これは、上述した製造工程を簡略化することができる。すなわち、3 D 製造装置の制御プログラムが簡略化されて、スループットを向上させることができる。具体的にはサブレイヤにわたるその反復を伴う形成ステップ S 8 2 0 は、個々のシンチレータ素子を個別に特注の斜め性で製造するのではなく、同じ斜め性を有するシンチレータ素子のグループを形成するためにバッチで実行されることができが、これもまた、代替的な実施形態が想定される。

30

【 0 1 0 7 】

本明細書で想定される他の付加造形の 3 D プリンティング技術は、融合堆積モデリング、マルチジェットモデリング、インクジェット 3 D プリンティング、又は他のものを含む。任意に、3 D プリンティング後、光反射材料 L R S を適用する前に、構造全体が焼結炉において焼結されることによってセラミック化されてもよい。

40

【 0 1 0 8 】

3 D プリンティングの代替として、C N C 加工も想定される。以上から理解されるように、処理の完了時、シンチレータ素子 S E は、3 D プリンティングされた個別のシンチレータ構造として現れる。特に平面検出器の実施形態（図 2、図 5、図 9）では、シンチレータ素子の固有の斜め性のために、シンチレータの近位及び/又は遠位表面による同じ高さの表面が達成されることも理解されるのであろう。同じ高さの表面は、遠位面及び近位面によってそれぞれ形成される。同じ高さの表面は特に、図 5、図 6、及び図 7 に示すように、2 つ以上の検出器層が互いに重なって 1 つずつ積層される場合、一体的な機械的安定性を促進する。好適には、複数の近位表面が、同一平面内に位置し、同じ高さの平面を

50

形成する。これは、遠位表面に当てはまるかもしれないし、当てはまらないかもしれない。特に、シンチレータ素子の（それぞれの長手軸 L A X に沿った）長さが、層 / 光軸 O X の中心から異なる距離にあるシンチレータ素子について等しい場合、遠位表面は必ずしも同じ表面に位置しなくてもよい。好適には、近位面及び遠位面の両方が、それぞれの同じ高さの平面を形成し、シンチレータ素子の長さが異なり、中心 / 光軸 O X から離れたほど、シンチレータ素子 S E はより長くなる。

【 0 1 0 9 】

シンチレータ層の全体の厚さは、シンチレータ素子の高さ（軸 y に沿って垂直に測定される）に等しく、100 ~ 1000 マイクロメートル（ μm ）の範囲、より具体的には 100 ~ 600 μm の範囲とすることができるが、他の厚さも想定される。

10

【 0 1 1 0 】

図 7 は、新たに提案するシンチレータ層 S L の複数のシンチレータ素子 S E を 3 D プリントングで製造する場合の概略的な作業フロー図を示す。

【 0 1 1 1 】

シンチレータ素子 S E の所望の幾何学的形状に関する情報は、適切な C A D 言語によって、使用される正確な 3 D プリントング技術に応じて、S T L（「ステレオリソグラフィ」）、O B J、P L Y、又は他のものなどの適切なフォーマットで記述される。この情報は、コンピュータファイル F L に保持される。一実施形態において、これは C A D ファイルである。いくつかの実施形態において、幾何学的形状ファイル F L 内のシンチレータ層 S L の所望のジオメトリが、ファイル F L 内に記憶された表面のコレクションに関して記述される。各表面は、頂点及びその法線を通る向きによって定義される。次いで、シンチレータ層 S L / シンチレータ素子 S E は、正しい向きのこれらの表面素子のコレクションから構築されることができる表面モデルとして定義される。

20

【 0 1 1 2 】

ファイル F L を記述するジオメトリは、コンピューティングユニットの永久メモリや、メモリスティック、C D メモリカードなどの移動可能なメモリ媒体などの適切なメモリ M E M に記憶されることができる。

【 0 1 1 3 】

ラップトップ、デスクトップ・コンピュータ、タブレット、1 つ又は複数のサーバ（クラウドアーキテクチャ有り又は無し）、又は他の適切な計算ユニットなどのデータ処理ユニット P U が、ジオメトリファイル F L からジオメトリ情報を読み取り、これを適切なインターフェースを介して 3 D プリント M F D の動作を制御するのに適した関連コマンド及びスライスに変換する 3 D スライスソフトウェアを実行する。具体的には、3 D スライサがジオメトリ情報を、G コード及び C プログラム言語などの上述の制御プログラム又はコードに変換する。

30

【 0 1 1 4 】

3 D プリントングは、特に必要な角度傾斜で所望の斜め性と方向を形成することを可能にする。

【 0 1 1 5 】

同様の作業フローは、例えば、材料形成装置 M F D が C N C ミリング装置である場合に適用される。

40

【 0 1 1 6 】

本発明の別の例示的な実施形態において、適切なシステム上で、前述の実施形態のうちの 1 つによる方法の方法ステップを実行するように適応されるコンピュータプログラム又はコンピュータプログラム素子が提供される。

【 0 1 1 7 】

従って、コンピュータプログラム素子は、本発明の実施形態の一部でありうるコンピュータユニットに記憶されることができる。この計算ユニットは、上述の方法のステップの実行を実現し又は誘導するように適応されることができる。更に、計算ユニットは、上記装置の各コンポーネントを動作させるように適応されることができる。計算ユニットは、

50

自動的に動作するように、及び／又はユーザの注文を実行するように適応されることができ、コンピュータプログラムは、データプロセッサの動作メモリにロードされることができる。従って、データプロセッサは、本発明の方法を実行するように装備されることができる。

【0118】

本発明のこの例示的な実施形態は、最初から本発明を使用するコンピュータプログラムと、最新の手段によって既存のプログラムを本発明を使用するプログラムに変えるコンピュータプログラムとの両方を包含する。

【0119】

更に、コンピュータプログラム素子は、上述の方法の例示的な実施形態のプロシージャを満たすために必要なすべてのステップを提供することができる。

10

【0120】

本発明の更なる例示的な実施形態によれば、CD-ROMなどのコンピュータ可読媒体が提示され、コンピュータ可読媒体はその上に記憶されたコンピュータプログラム素子を有し、そのコンピュータプログラム素子は、前述のセクションによって説明された構成を有する。

【0121】

コンピュータプログラムは、他のハードウェアと一緒に又はその一部として供給される光記憶媒体又はソリッドステート媒体などの適切な媒体（特に非一時的媒体であるが、必ずしも非一時的媒体である必要はない）上に記憶され及び／又は配布されることができるが、他の形態で、例えばインターネット又は他の有線もしくは無線電気通信システムなどを介して配布されることもできる。

20

【0122】

しかしながら、コンピュータプログラムは、ワールドワイドウェブのようなネットワーク上で提示されることもでき、そのようなネットワークからデータプロセッサの作業メモリにダウンロードされることもできる。本発明の更なる例示的な実施形態によれば、コンピュータプログラム素子をダウンロードに利用可能にするための媒体が提供され、このコンピュータプログラム素子は、本発明の前述の実施形態のうちの1つによる方法を実行するように構成される。本発明の実施形態は、それぞれ異なる主題を参照して説明されていることに留意されたい。特に、いくつかの実施形態は方法タイプの請求項に関して説明され、他の実施形態は装置タイプの請求項に関して説明される。しかしながら、当業者は上記及び以下の説明から、別段の言及がない限り、1つのタイプの主題に属する複数の特徴の任意の組み合わせに加えて、それぞれ異なる主題に関する特徴間の任意の組み合わせも、本出願で開示されると考えられることを理解するであろう。しかしながら、全ての特徴が組み合わせられて、特徴の単純な合計よりも多くの相乗効果を提供することができる。

30

【0123】

本発明は、図面及び前述の説明において詳細に図示され及び説明されてきたが、そのような図示及び説明は、説明的又は例示的であり、限定的ではないと考えられるべきである。本発明は、開示された実施形態に限定されない。開示された実施形態に対する他の変形は、図面、開示、及び従属請求項の検討から、請求項に記載の発明を実施する際に当業者によって理解され、達成されることができる。

40

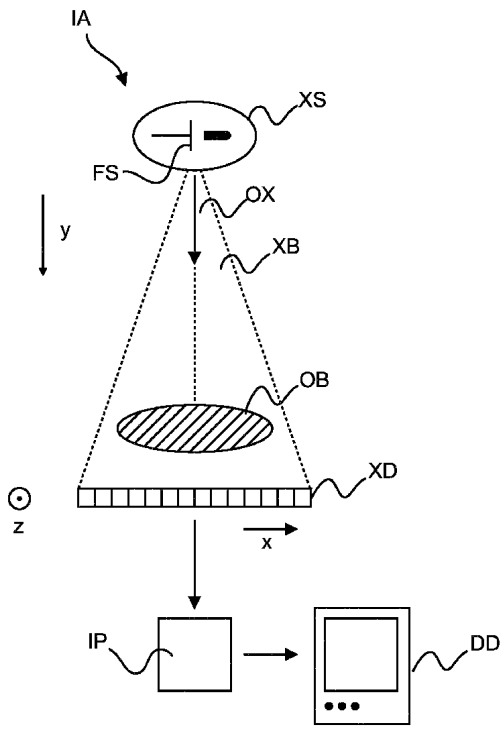
【0124】

請求項において、「有する、含む (comprising)」の語は他の構成要素又はステップを除外するものではなく、不定冠詞「a」又は「an」は、複数性を除外するものではない。単一のプロセッサ又は他のユニットは、特許請求の範囲において言及されるいくつかのアイテムの機能を果たすことができる。特定の手段が相互に異なる従属請求項において言及されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせが有利に使用されることができないことを示すものではない。請求項におけるいかなる参照符号も、請求項の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。

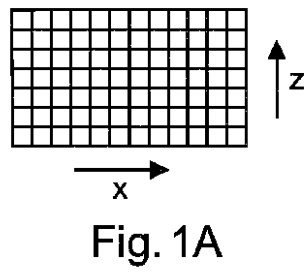
50

【図面】

【図 1】



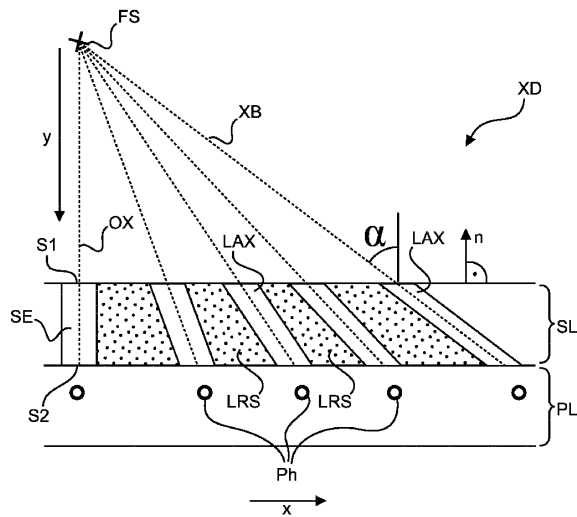
【図 1 A】



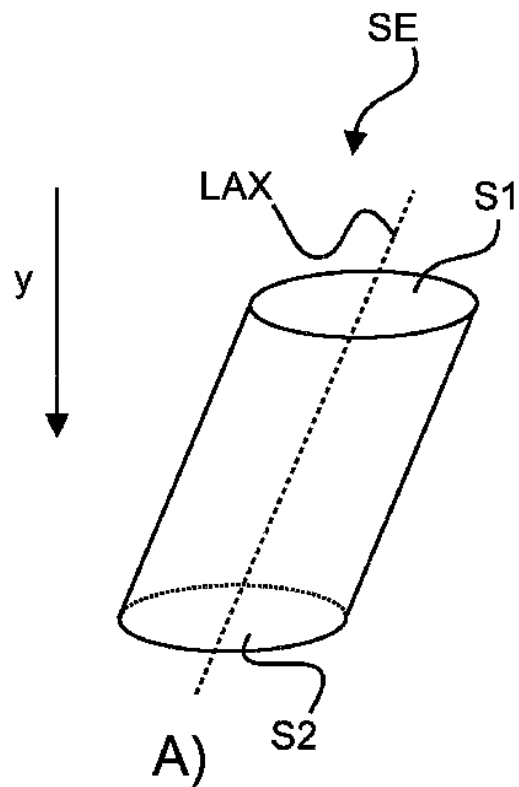
10

20

【図 2】



【図 3 A)】

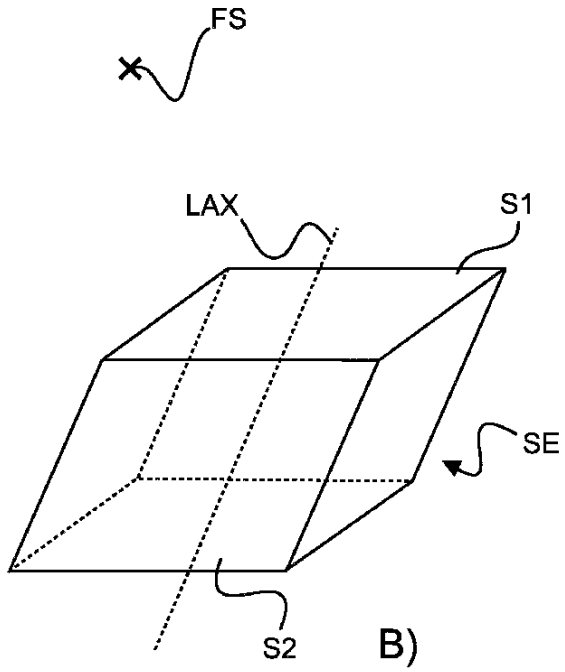


30

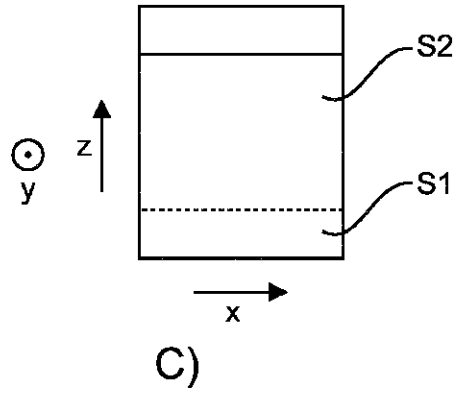
40

50

【 図 3 B) 】



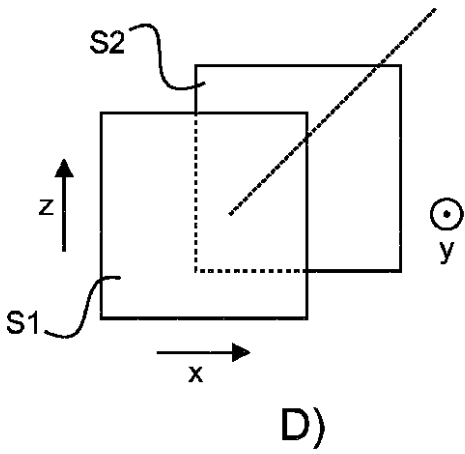
【 図 3 C) 】



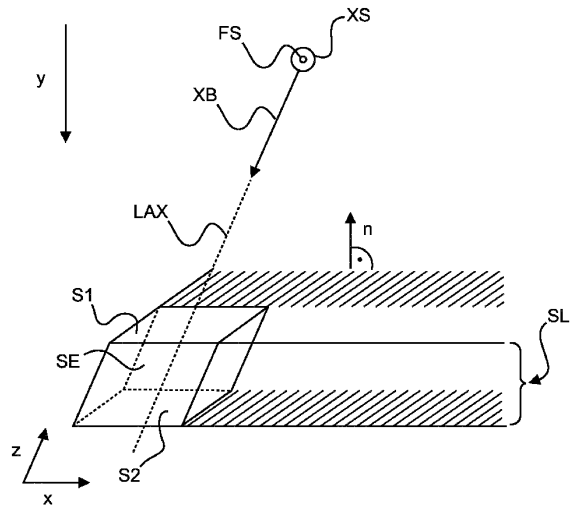
10

20

【 図 3 D) 】



【 図 4 】



30

Fig. 4

40

50

【 図 5 】

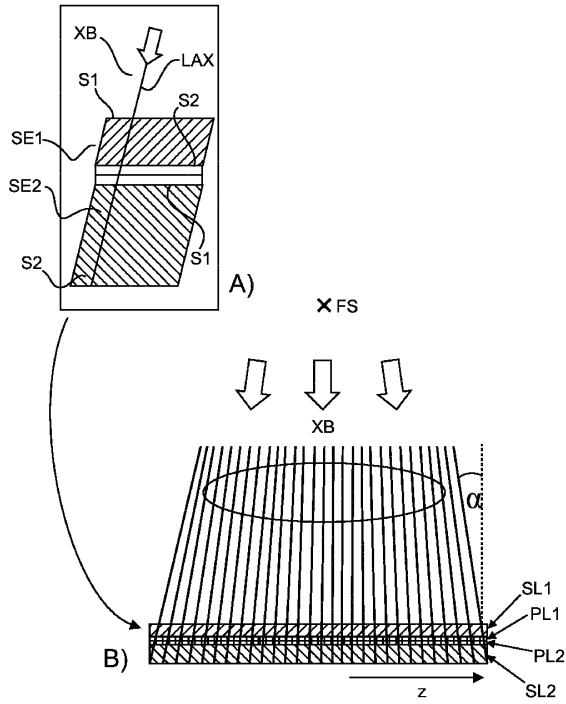


Fig. 5

【 図 6 】

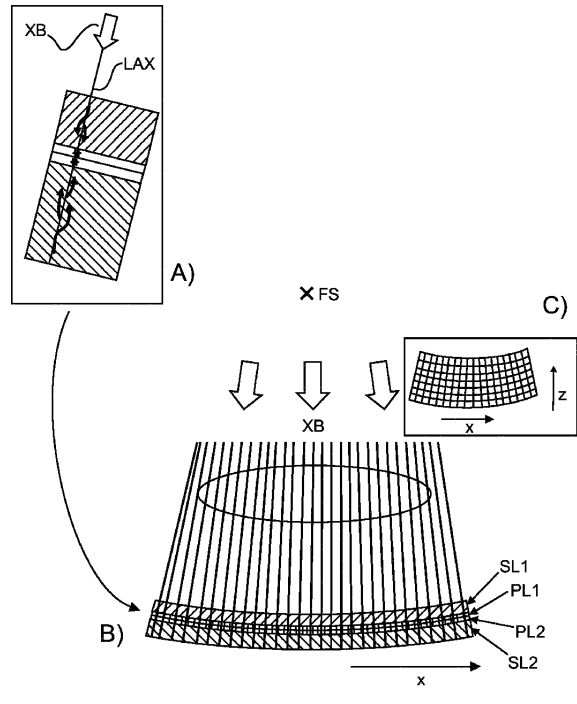


Fig. 6

【 図 7 】

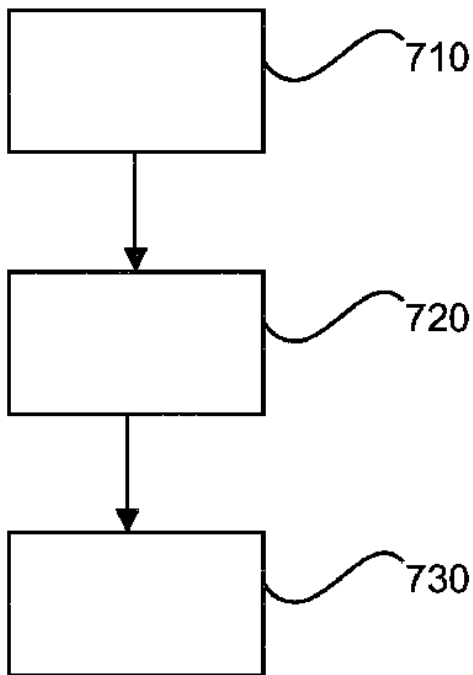


Fig. 7

【 図 8 】

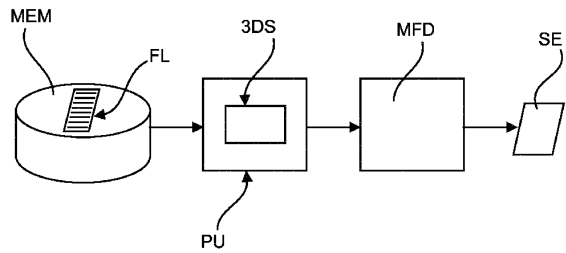


Fig. 8

10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 矢ヶ部 喜行

(72)発明者 スタインハウザー ハイドラン

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

(72)発明者 ウィマーズ オンノ ヤン

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 小林 幹

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 6 / 1 4 3 4 0 1 (W O , A 1)

特表 2 0 1 5 - 5 2 1 2 8 3 (J P , A)

特開 2 0 0 7 - 1 2 5 0 8 6 (J P , A)

米国特許第 0 7 6 9 2 1 5 6 (U S , B 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 T 1 / 0 0 - 1 / 1 6

G 0 1 T 1 / 1 6 7 - 7 / 1 2

A 6 1 B 6 / 4 2

A 6 1 B 6 / 0 0