

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7221938号

(P7221938)

(45)発行日 令和5年2月14日(2023.2.14)

(24)登録日 令和5年2月6日(2023.2.6)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 T 1/20 (2006.01)

G 0 1 T 1/20

F

G 0 1 T 7/00 (2006.01)

G 0 1 T 1/20

B

A 6 1 B 6/00 (2006.01)

G 0 1 T 1/20

G

G 0 1 T 1/20

E

G 0 1 T 7/00

B

請求項の数 14 (全31頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2020-510552(P2020-510552)

(86)(22)出願日 平成30年8月13日(2018.8.13)

(65)公表番号 特表2020-531825(P2020-531825  
A)

(43)公表日 令和2年11月5日(2020.11.5)

(86)国際出願番号 PCT/EP2018/071847

(87)国際公開番号 WO2019/038113

(87)国際公開日 平成31年2月28日(2019.2.28)

審査請求日 令和3年8月12日(2021.8.12)

(31)優先権主張番号 17187475.3

(32)優先日 平成29年8月23日(2017.8.23)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
欧州特許庁(EP)

(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 5 2 ,  
5 6 5 6 AG Eindhoven , N  
etherlands

(74)代理人 110001690

弁理士法人M&amp;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】 位相コントラスト及び／又は暗視野X線イメージングにおけるX線入射干渉縞パターンの  
X線検出

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

位相コントラスト及び／又は暗視野X線イメージングにおいて入射X線干渉縞パターンをサンプリングするためのX線ディテクターであって、前記X線ディテクターは、

入射X線干渉縞パターンをサンプリングし、当該入射X線干渉縞パターンを複数の光学スラブ信号に変換する、複数のスラブを備える構造化シンチレーター層と、

複数のサブピクセルを備える前記構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層であって、各サブピクセルが、前記構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、前記構造化シンチレーター層の前記それぞれのスラブと位置合わせされた、光ディテクター層と、

前記複数のサブピクセルから入射X線干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取る、信号組合せ構成部とを備え、

前記サブピクセルは、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供する、複数の光学的検出セルをさらに備え、

前記信号組合せ構成部は、前記光ディテクター層の前記光学的検出セルの検出信号の組合せとして少なくとも第1の出力信号及び第2の出力信号を生成することにより、前記X線ディテクターの位置を調節せずに、第1の検出方向及び第2の検出方向における位相コントラスト及び／又は暗視野X線画像の獲得を可能にし、前記少なくとも第1の出力信号及び第2の出力信号の各々が、前記構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブにおいて

受信された入射 X 線干渉縞パターンに起因して、空間信号振幅に比例し、前記 X 線ディテクターの 픽セル信号が、前記スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも 2 つの近接したサブ픽セルから獲得された少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を含む、

X 線ディテクター。

【請求項 2】

前記光学的検出セルは、前記構造化シンチレーター層の前記それぞれのスラブから出射された前記それぞれの光学スラブ信号を検出する 1 つ又は複数のシリコン光電子増倍管を備える、請求項 1 に記載の X 線ディテクター。

【請求項 3】

前記信号組合せ構成部は、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 1 の近接したサブ픽セルの集合から獲得される、第 1 のモードに構成可能であり、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 2 の近接したサブ픽セルの集合から獲得される、第 2 のモードに構成可能であり、第 1 の前記サブ픽セルの集合と第 2 の前記サブ픽セルの集合とが、互いに対する何らかの角度で位置合わせされ、結果として、前記 X 線ディテクターの位置を調節せずに、異なる方向におけるサブ픽セル累積を可能にする、請求項 1 又は 2 に記載の X 線ディテクター。

【請求項 4】

1 つのサブ픽セルにおける前記複数の光学的検出セルが、前記構造化シンチレーター層のスラブからの光学的出射によりトリガーされた光学的検出セルの数に比例した信号を動作中に生成するように、電氣的に並列に接続される、請求項 1 又は 2 に記載の X 線ディテクター。

【請求項 5】

前記構造化シンチレーター層は、互いに異なる減衰時定数をもつ異なるシンチレーター材料から各々が形成された第 1 のシンチレーター要素及び第 2 のシンチレーター要素をさらに備え、

前記信号組合せ構成部は、第 1 の光ディテクター信号及び第 2 の光ディテクター信号が光学的クロストークにより結果的にもたらされるか否かを弁別するための、前記第 1 のシンチレーター要素及び前記第 2 のシンチレーター要素の前記異なる減衰時定数に整合した第 1 の事象検証フィルタ及び第 2 の事象検証フィルタをさらに備える、

請求項 1 に記載の X 線ディテクター。

【請求項 6】

前記信号組合せ構成部は、近接したサブ픽セルから近接したサブ픽セルへの光学的出射に関連した信号を提供する、各サブ픽セルに関連した相補的事象検証フィルタをさらに備える、請求項 5 に記載の X 線ディテクター。

【請求項 7】

前記 X 線ディテクターは、前記構造化シンチレーター層と前記光ディテクター層との間に位置する構造化カラーフィルタ層をさらに備え、

第 1 のシンチレーター要素は、第 1 の波長を含む可視光を出射し、第 2 のシンチレーター要素は、第 2 の波長を含む可視光を出射し、前記構造化カラーフィルタ層は、前記光ディテクター層のクロストーク性能を改善するように、前記光ディテクター層における検出前にそれぞれの波長を含む第 1 の可視光と第 2 の可視光とをフィルタ処理する、

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の X 線ディテクター。

【請求項 8】

前記光ディテクター層のクロストーク性能を改善するために、各スラブの周辺における光学的に分離するマトリックスとして前記構造化シンチレーター層に形成されたシンチレーター分離構成部をさらに備える、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の X 線ディテクター。

【請求項 9】

前記スラブの幅が、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$  から  $50\text{ }\mu\text{m}$  の範囲に入る、請求項 1 から 8 のいずれか

10

20

30

40

50

一項に記載の X 線ディテクター。

【請求項 1 0】

位相コントラスト又は暗視野 X 線イメージングのための干渉計であって、前記干渉計は、位相回折格子構造物と、

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の X 線ディテクターと、  
を備え、

前記位相回折格子構造物と前記 X 線ディテクターの前記構造化シンチレーター層とが X 線放射線を相関付けるための干渉計構成部を形成するように、前記位相回折格子構造物及び前記 X 線ディテクターが光路中に配置される、  
干渉計。

10

【請求項 1 1】

X 線源と、

請求項 1 0 に記載の干渉計と、

制御装置と、

を備える、X 線イメージングシステムであって、

前記制御装置は、前記 X 線源を起動して、前記光路中に配置可能な関心物体に X 線放射線を付与し、

前記干渉計の前記 X 線ディテクターは、サンプリングし、X 線波面を検出し、

前記制御装置は、前記干渉計の前記 X 線ディテクターの前記複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取る、

20

X 線イメージングシステム。

【請求項 1 2】

a) 関心物体を検査するために X 線放射線を生成するステップと、前記関心物体に X 線放射線を向けるステップと、

b) X 線ディテクターにおいて、前記関心物体により位相が変調された X 線放射線を受信するステップと、

c) 入射 X 線干渉縞パターンをサンプリングする複数のスラブを備える構造化シンチレーター層を使用して、前記変調された X 線放射線を複数の光学スラブ信号に変換するステップと、

d) 複数のサブピクセルを備える前記構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層を使用して、前記複数の光学スラブ信号を検出するステップであって、各サブピクセルが、前記構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、前記構造化シンチレーター層の前記それぞれのスラブと位置合わせされ、前記光ディテクター層が、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供する複数の光学的検出セルをさらに備える、前記複数の光学スラブ信号を検出するステップと、

30

e) 信号組合せ構成部を使用して前記複数のサブピクセルから入射 X 線干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るステップであって、前記信号組合せ構成部が、前記光ディテクター層の前記光学的検出セルの検出信号の組合せとして少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を生成することにより、前記 X 線ディテクターの位置を調節せずに、第 1 の検出方向及び第 2 の検出方向における位相コントラスト及び / 又は暗視野 X 線画像の獲得を可能にし、前記少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号の各々が、前記構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブにおいて受信された入射 X 線干渉縞パターンに起因して空間信号振幅に比例し、前記 X 線ディテクターのピクセル信号が、前記スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも 2 つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を含む、電子的に読み取るステップと、

40

を有する、位相コントラスト X 線イメージング及び / 又は暗視野 X 線イメージングのための方法。

【請求項 1 3】

50

処理ユニットにより実行されたときに、請求項 1 2 に記載の方法のステップを実施する、請求項 1 1 に記載の X 線イメージングシステムを制御するためのコンピュータプログラム。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のコンピュータプログラムを記憶した、コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、X 線検出に関する。特に、位相コントラスト及び / 又は暗視野 X 線イメージングにおける入射 X 線干渉縞パターンをサンプリングするための X 線ディテクター、並びに、関係する方法、干渉計、X 線イメージングシステム、コンピュータプログラム要素、及びコンピュータ可読媒体が説明される。

10

【背景技術】

【0 0 0 2】

位相コントラストイメージングは、従来の線源又はディテクターハードウェアを変更することを必要としない、高度な X 線光学の医療イメージング分野に対する最近見出された適用可能性の観点から、これまでの 1 0 年間に医療イメージングにおいて大きな注目を集めてきた。位相コントラストイメージングは、タルボロー干渉法を適用し、通常は、3 つの回折型又は吸収型 X 線光学要素を特徴に持つ。マイクロメートル又は何十マイクロメートルというスケールで形成される干渉縞が調べられ得、関心物体の位相及び小角散乱効果が調べられ得る。これは、新しく医療的に有用な情報が X 線画像から抽出されることを可能にしている。

20

【0 0 0 3】

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 7 7 7 9 5 ( A 1 ) 号は、X 線イメージングシステムに対するタルボロー干渉計の適用を説明している。しかし、このようなアプローチはさらに改善され得る。

【発明の概要】

【0 0 0 4】

したがって、位相コントラスト及び X 線イメージングに適用可能な X 線ディテクターを改善する必要性が存在する。本発明の目的は、添付された独立請求項の主題により解決され、さらなる実施形態が従属請求項に組み込まれる。

30

【0 0 0 5】

第 1 の態様によると、位相コントラスト及び / 又は暗視野 X 線イメージングにおいて入射 X 線干渉縞パターンをサンプリングするための X 線ディテクターが提供される。X 線ディテクターは、

入射干渉縞パターンをサンプリングし、それを複数の光学スラブ信号に変換するように配置された複数のスラブを備える構造化シンチレーター層と、

複数のサブピクセルを備える構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層であって、各サブピクセルが、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブと位置合わせされた、光ディテクター層と、

40

複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るように配置された信号組合せ構成部 ( s i g n a l c o m b i n a t i o n a r r a n g e m e n t ) とを備える。

【0 0 0 6】

サブピクセルは、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供するように構成された複数の光学的検出セルをさらに備える。

【0 0 0 7】

信号組合せ構成部は、光ディテクター層の光学的検出セルの検出信号の組合せとして少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を生成することにより、X 線ディテクターの

50

位置を調節せずに、第 1 の検出方向及び第 2 の検出方向における位相コントラスト及び / 又は暗視野 X 線画像の獲得を可能にするように構成される。少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号の各々が、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブにおいて受信された入射 X 線干渉縞パターンに起因して、空間信号振幅に比例し、X 線ディテクターのピクセル信号が、スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも 2 つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を含む。

#### 【 0 0 0 8 】

この X 線ディテクターの効果は、典型的には  $G_2$  と表記されて従来の X 線ディテクターの前に位置する分析器回折格子が、X 線干渉計セットアップから省略され得ることにより、干渉縞の位相及び干渉縞の視認性の情報の直接的な検出が可能になることである。直接的な干渉縞測定アプローチによる黙示的な分解能の向上は、X 線ディテクターのサブピクセルの大幅な縮小につながる。ディテクターノイズにおける限界は、サブピクセルの寸法が小さくなったときに小さくならない物理的限界である。したがって、サブピクセルの縮小は比例的にディテクターノイズの増加につながり、これを本アプローチが改善し得る。X 線ディテクター分解能の上昇は、さらに、X 線ディテクター情報出力の相応の増加を意味する。本明細書において詳述される読み取りの概念は、出力信号の取扱いを改善し得る。

#### 【 0 0 0 9 】

任意選択的に、光学的検出セルは、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように構成された 1 つ又は複数のシリコン光電子増倍管を備える。

#### 【 0 0 1 0 】

シリコン光電子増倍管 ( S i P M ) セルは、速いトランジェント時間、典型的には 1 n s より短い、及び約数十ナノ秒のクエンチング時間をもつ。したがって、位相コントラスト X 線ディテクターにおけるシリコン光電子増倍管の使用は有益なことに、入射光子のエネルギーが分解されることを必要とせず、微小ピッチ間隔における信号振幅が必要とされるだけであることを意味する。したがって、少数のシリコン光電子増倍管セル ( 究極には、1 つのシリコン光電子増倍管セル ) が位相コントラストイメージングを可能にするために機能的に適切である。

#### 【 0 0 1 1 】

任意選択的に、信号組合せ構成部は、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 1 の近接したサブピクセルの集合から獲得される、第 1 のモードに構成可能であり、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 2 の近接したサブピクセルの集合から獲得される、第 2 のモードに構成可能であり、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが、互いに対する何らかの角度で位置合わせされ、結果として、X 線ディテクターの位置を調節せずに、異なる方向におけるサブピクセル累積を可能にする。

#### 【 0 0 1 2 】

任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが位置合わせされる角度は、 $90^\circ$  である ( 言い換えると、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合のサブピクセルが長方形グリッドを形成する ) 。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが互いに  $0^\circ$  から  $90^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが互いに  $0^\circ$  から  $80^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが互いに  $0^\circ$  から  $60^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが  $0^\circ$  から  $30^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。したがって、干渉縞パターンは、多くの異なる方向においてサンプリングされる。

#### 【 0 0 1 3 】

この手法により、微細構造物を分解するための好ましい方向が獲得前に規定されるようにサブピクセルビニングを選択的に配置する能力をもつ直接干渉縞ディテクターが提供さ

10

20

30

40

50

れる。これは、患者及び／又はディテクターハードウェアを動かすことを必要とせずに、例えば、第１の方向及び第２の方向における（例えば、直交する方向における）位相コントラスト画像又は暗視野画像の獲得を可能にする。したがって、分解能及び患者ディテクター間の位置合わせが患者又はディテクターアレイを動かすことにより悪影響を受けることがないので、より正確なＸ線画像が生成される。

【００１４】

任意選択的に、１つのサブピクセルにおける複数の光学的検出セルが、構造化シンチレーター層のスラブからの光学的出射によりトリガーされた光学的検出セルの数に比例した信号を動作中に生成するように、電氣的に並列に接続される。

【００１５】

各スラブは、多数の下方の光学的検出要素を含む。本実施形態の効果は、処理される必要のあるサブピクセルからの大量の情報が減少し得ることである。

【００１６】

任意選択的に、構造化シンチレーターは、互いに異なる減衰時定数をもつ異なるシンチレーター材料から各々が形成された第１のシンチレーター要素及び第２のシンチレーター要素をさらに備える。信号組合せ構成部は、第１の光ディテクター信号及び第２の光ディテクター信号が光学的クロストークにより結果的にもたらされるか否か弁別するための、第１のシンチレーター要素及び第２のシンチレーター要素の減衰時定数に整合した第１の事象検証フィルタ及び第２の事象検証フィルタをさらに備える。

【００１７】

獲得されたＸ線干渉縞パターンは、第１のシンチレータースラブからの信号が、近接したシンチレータースラブの下方にある光ディテクター要素が活性化することを誘発する場合、（不鮮明で）時間的に、又は空間的に不明瞭となる。異なるシンチレーター材料が異なる減衰時定数をもつ交番スラブ状に配置された異なるシンチレーター材料の使用は、第１のシンチレータースラブから生じる信号が直接隣接したシンチレータースラブから生じる第２のシンチレーター信号とは大幅に異なる時間スケールフットプリントをもつことを可能にする。したがって、近接したシンチレータースラブからの信号は、受信された信号の減衰時定数を監視することにより互いに弁別される。これは、干渉縞信号から、クロストークによりもたらされる信号のより良好な分離を可能にする。

【００１８】

任意選択的に、信号組合せ構成部は、近接したサブピクセルから近接したサブピクセルへの光学的出射に関連した信号を提供するように構成された各サブピクセルに関連した相補的事象検証フィルタをさらに備える。近接したスラブから生じたことを特定された信号が両方の近接物に送信され、両方の近接物が、一致論理を使用して信号を検証し、それら自体のそれぞれの信号にそれらを加算するので、この実施形態の効果は改善された信号対ノイズ比である。

【００１９】

任意選択的に、信号組合せ構成部は、アナログ回路として提供される。代替的に、第１の出力信号及び第２の出力信号はデジタル化され、信号組合せ構成部がデジタル信号処理機能として提供される。代替的に、信号組合せ構成部は、アナログ回路とデジタル信号処理機能との複合体である。

【００２０】

任意選択的に、Ｘ線ディテクターは、構造化シンチレーター層と光ディテクター層との間に位置する構造化カラーフィルタ層をさらに備える。

【００２１】

第１のシンチレーター要素は、第１の波長を含む可視光を出射するように構成され、第２のシンチレーター要素は、第２の波長を含む可視光を出射するように構成され、構造化カラーフィルタ層は、光ディテクター層のクロストーク性能を改善するように、光ディテクター層における検出前にそれぞれの波長を含む第１の可視光と第２の可視光とをフィルタ処理してするように構成される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

この効果は、対応する光ディテクター要素が異なるシンチレーション波長をもつ異なる種類のシンチレーターの下方に位置することである。したがって、真上のスラブから生じる第 1 の波長の信号光は、第 2 の波長の光をフィルタ処理するように構成された光学フィルタにより大幅にはフィルタ処理されない。しかし、近接したスラブから生じる第 2 の波長のノイズ光は、第 2 の波長の光をフィルタ処理するように構成された光学フィルタにより大幅にフィルタ処理される。この手法により、スラブ間の光学的クロストークの影響がさらに低減される。

## 【 0 0 2 3 】

任意選択的に、X 線ディテクターは、光ディテクター層のクロストーク性能を改善するために、各スラブの周辺における光学的に分離するマトリックスとして構造化シンチレーター層に形成されたシンチレーター分離構成部をさらに備える。

10

## 【 0 0 2 4 】

効果は、近接したシンチレータースラブからのノイズ光の漏れが低減されるという理由から、異なる種類のシンチレーター材料を含むスラブ間の光学的クロストークが低減されることである。

## 【 0 0 2 5 】

任意選択的に、スラブの幅は、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $50\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $40\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $30\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $20\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$  から  $20\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$  から  $30\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$  から  $50\ \mu\text{m}$  という範囲のうちの 1 つに入る。

20

## 【 0 0 2 6 】

任意選択的に、構造化シンチレーター層は、第 3 のシンチレーター要素又は第 4 のシンチレーター要素を備え、光ディテクター層は、干渉縞サンプリング分解能を改善するために各々が第 3 のシンチレーター要素又は第 4 のシンチレーター要素と光学的に位置合わせされた第 3 のサブピクセル又は第 4 のサブピクセルを備える。

## 【 0 0 2 7 】

位相コントラスト干渉縞パターンは、2 つの独立したオーバーサンプリングされたチャネルを使用して適切に分解されるが、干渉縞パターンの空間的オーバーサンプリング速度が上げられた場合、サンプリング分解能が改善され得、及び / 又は、獲得速度が高められ得る。

30

## 【 0 0 2 8 】

一例によると位相コントラスト及び / 又は暗視野 X 線イメージングにおいて入射 X 線干渉縞パターンをサンプリングするための X 線ディテクターが提供される。X 線ディテクターは、

入射干渉縞パターンをサンプリングし、それを複数の光学スラブ信号に変換するように配置された複数のスラブを備える構造化シンチレーター層と、

複数のサブピクセルを備える構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層であって、各サブピクセルが、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブと位置合わせされた、光ディテクター層と、

40

複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るように配置された信号組合せ構成部と、

を備える。

## 【 0 0 2 9 】

サブピクセルは、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供するように構成された複数の光学的検出セルをさらに備える。

## 【 0 0 3 0 】

信号組合せ構成部は、光ディテクター層の光学的検出セルの検出信号の組合せとして少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を生成するように構成される。少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号の各々が、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブ

50

において受信された入射 X 線干渉縞パターンに起因して空間信号振幅に比例し、X 線ディテクターのピクセル信号が、スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも 2 つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を含む。

【 0 0 3 1 】

第 2 の態様によると、位相コントラスト又は暗視野 X 線イメージングのための干渉計が提供される。干渉計は、

位相回折格子構造物と、

第 1 の態様又は、その任意選択的な実施形態による X 線ディテクターと、

を備える。

10

【 0 0 3 2 】

位相回折格子構造物と X 線ディテクターのシンチレーター層とが X 線放射線を相関付けるための干渉計構成部を形成するように、位相回折格子構造物及び X 線ディテクターが光路中に配置される。

【 0 0 3 3 】

第 3 の態様によると、X 線イメージングシステムが提供される。X 線イメージングシステムは、

X 線源と、

第 2 の態様による干渉計と、

制御装置と、

を備える。

20

【 0 0 3 4 】

制御装置は、X 線源を起動するように構成され、したがって、光路中に配置可能な関心物体に X 線放射線を付与するように構成される。

【 0 0 3 5 】

干渉計の X 線ディテクターは、サンプリングし、サンプリングされた X 線波面を検出するように構成される。

【 0 0 3 6 】

制御装置は、干渉計の X 線ディテクターの複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るように構成される。

30

【 0 0 3 7 】

任意選択的に、X 線イメージングシステムは、線源回折格子  $G_0$  と位相回折格子  $G_1$  との間の距離が位相回折格子  $G_1$  と X 線ディテクターとの間の距離未満である逆 X 線位相コントラストイメージングシステムである。

【 0 0 3 8 】

任意選択的に、X 線イメージングシステムは、線源回折格子  $G_0$  と位相回折格子  $G_1$  との間の距離が位相回折格子  $G_1$  と X 線ディテクターとの間の距離より大きい X 線位相コントラストイメージングシステムである。

【 0 0 3 9 】

第 4 の態様によると、以下のステップ、すなわち、

40

a) 関心物体を検査するために X 線放射線を生成するステップと、関心物体に X 線放射線を向けるステップと、

b) X 線ディテクターにおいて、関心物体により位相変調された X 線放射線を受信するステップと、

c) 入射干渉縞パターンをサンプリングするように配置された複数のスラブを備える構造化シンチレーター層を使用して、変調された X 線放射線を複数の光学スラブ信号に変換するステップと、

d) 複数のサブピクセルを備える構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層を使用して、複数の光学スラブ信号を検出するステップであって、各サブピクセルが、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を

50



検出するように、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブと位置合わせされ、サブピクセルが、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供するように構成された複数の光学的検出セルをさらに備える、複数の光学スラブ信号を検出するステップと、

e) 信号組合せ構成部を使用して複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るステップであって、信号組合せ構成部が、光ディテクター層の光学的検出セルの検出信号の組合せとして少なくとも第1の出力信号及び第2の出力信号を生成することにより、X線ディテクターの位置を調節せずに、第1の検出方向及び第2の検出方向における位相コントラスト及び/又は暗視野X線画像の獲得を可能にするように構成され、少なくとも第1の出力信号及び第2の出力信号の各々が、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブにおいて受信された入射X線干渉縞パターンに起因して空間信号振幅に比例し、X線ディテクターのピクセル信号が、スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも2つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第1の出力信号及び第2の出力信号を含む、電子的に読み取るステップと、

を有する、位相コントラストX線イメージング及び/又は暗視野X線イメージングのための方法が提供される。

【0040】

第5の態様によると、処理ユニットにより実行されたときに、第4の態様の方法ステップを実施するように適応された、第3の態様によるX線イメージングシステムを制御するためのコンピュータプログラム要素が提供される。

【0041】

第6の態様によると、第5の態様のコンピュータプログラム要素を記憶したコンピュータ可読媒体が提供される。

【0042】

本説明中、「X線位相コントラストイメージング」という用語は、X線源が関心物体に向けられ、位相回折格子が位相回折格子から離れた規則的な距離に干渉縞パターンを生成するために使用されるX線イメージング技術を表す。従来のX線位相コントラストイメージングシステムは、典型的には、線源の直前における線源回折格子 $G_0$ と、X線ビーム生成器干渉縞パターンに位置する位相回折格子 $G_1$ と、X線ディテクターの直前における干渉縞パターンをサンプリングするように提供された分析器回折格子 $G_2$ とを含む。

【0043】

従来のX線位相コントラストシステムでは、位相回折格子 $G_1$ と分析器回折格子 $G_2$ との間の距離は、線源回折格子 $G_0$ と位相回折格子 $G_1$ との間の距離より小さい。このアプローチにおいて、分析器回折格子 $G_2$ は、典型的には、位相回折格子 $G_1$ 及び線源回折格子 $G_0$ に比べて非常に微小なピッチをもたなければならない。

【0044】

「逆」X線位相コントラストシステムでは、線源回折格子 $G_0$ と位相回折格子 $G_1$ との間の距離は、位相回折格子 $G_1$ と分析器回折格子 $G_2$ との間の距離より小さい。これは、 $G_2$ がより広い面積、及び、よりきめの粗い構造物をもつことを可能にし、製造問題をあまり困難でないものにする。これらの態様は、「Inverse geometry for grating-based X-ray phase-contrast imaging」、Donathら著、Journal of Applied Physics、106、054703(2009)の論文においてさらに説明されている。

【0045】

本明細書において説明されるディテクター技術は、従来のX線位相コントラストシステムと逆X線位相コントラストシステムとの両方、及び、当業者の知識に含まれるX線位相コントラストシステムの光学素子の多くの他の変形例に適用可能である。しかし、本出願の概念は、分析器回折格子を、分析器回折格子ではなくX線ディテクターの一部を形成する構造化シンチレーターと置換することである。本出願において、「逆」X線位相コントラストシステム又は「従来の」X線位相コントラストシステムが、相応に示されなければ

ならない。

【 0 0 4 6 】

本説明中、「X線干渉縞パターン」という用語は、X線回折格子ベースイメージングにおける概念を表す。標準的な方法は、X線のコヒーレント平面波面を使用してサンプルを照らすことを伴う。サンプルの他方側は、タルボ長と呼ばれる伝播距離後の周期的な波面を確立する位相回折格子を備える。1つのアプローチにおいて、周期的な波面は、「位相ステッピング」として知られる、)分析器方向においてタルボパターンにわたって分析器回折格子を動かすことによりサンプリングされる。X線干渉縞パターンという用語は、タルボパターンを表す。

【 0 0 4 7 】

本説明中、「構造化シンチレーター層」という用語は、周期的に配置されたシンチレーターチャンネルのアレイを備える平面の、又は実質的に平面の層を意味する。構造化シンチレーターの独立したシンチレーターチャンネルの各々が、「スラブ」と呼ばれる。スラブは、幅又はピッチをもつように配置されて、分析器回折格子構造物の類似体を形成する。言い換えると、構造化シンチレーターは、従来の分析器回折格子構造物の機能を置換するとみなされ得る。代替的に、シンチレーター層はマイクロ構造化シンチレーター層と呼ばれる。任意選択的に、スラブは、構造化シンチレーター材料におけるマイクロ列である。マイクロ列は、任意選択的に250 nmから10 μmの直径をもつ平行な針様構造物である。構造化シンチレーター材料は、例えば真空蒸着により用意される。代替的に、シンチレーター材料は、例えば、タリウムドープされたヨウ化セシウム、ガドリニウム酸硫化物(GOSとして知られる $Gd_2O_2S$ )、ガドリニウムオキシオルトシリケート(GSOとして知られる $Gd_2SiO_5$ )、LYSOとして知られるルテチウムイットリウムオキシオルトシリケート( $Lu_2(1-x)Y_2xSiO_5$ )、GAGGとして知られる $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$ 、又は、BGOとして知られる $Bi_4Ge_3O_{12}$ といったシンチレーター材料により充填されたマトリックスを製造するように、シリコンにエッチングされる。当業者により考えられる多くの他のシンチレーター材料が使用され得る。

【 0 0 4 8 】

本説明中、「光学スラブ信号」という用語は、X線光子がシンチレータースラブに当たったときに構造化シンチレーター層又はそのスラブから出射される可視光のバーストを表す。

【 0 0 4 9 】

以下の説明では、「ピクセル」という用語は、従来のピクセル寸法、例えば200 μm × 200 μmをもつ光学的検出ユニットを表すが、最大1 mm四方の寸法をもつピクセル寸法が検討され得る。干渉縞パターンが構造化シンチレーターによりオーバーサンプリングされるように、ピクセルがサブピクセルに構造化される。動作中、近接したサブピクセルは、相互にシフトされた位相をもつ信号を受信する。

【 0 0 5 0 】

以下の説明では、「光ディテクター層」という用語は、信号組合せ構成部による処理のために構造化シンチレーターからの光学スラブ信号を電気信号に変換することが可能な半導体構造物を表す。例えば、光ディテクター層は、典型的には、CMOS層の上に堆積させられた構造化シンチレーター層を伴う、検出コンポーネント及びバス接続体を備えるCMOS層として形成される。構造化シンチレーター層の堆積前に、光ディテクター要素、例えば複数のシリコン光電子増倍管、又は複数のフォトダイオードが、関連する信号組合せ回路とともに、CMOS層において提供される。

【 0 0 5 1 】

以下の説明では、「信号組合せ構成部」という用語は、検出信号を読み取るように機能するアナログ又はデジタル回路を表す。アナログ回路は、例えば、光ディテクター層における水平又は垂直検出方向に沿った光電子増倍管又はフォトダイオードと並列な単純な接続体を含む。代替的に、又は追加的に、このようなアナログ回路は、例えばカレントミラー、電流増幅器、又は電流加算増幅器といったアナログ要素まで広がり得る。代替的に、

10

20

30

40

50

信号組合せ構成部は、アナログデジタルコンバーターを使用して、光ディテクター層の近くで検出信号をデジタル化する。次に、近接した信号の組合せが、例えば、より正確であり、ノイズ干渉をより起こしにくいデジタル処理を使用して行われ得る。

【 0 0 5 2 】

したがって、構造化シンチレーターのスラブと位置合わせされたサブピクセルと組み合わせられて、X線干渉縞パターンを空間的にサンプリング及び/又はオーバーサンプリングすることが可能な構造化シンチレーターを提供することにより、X線干渉縞パターンを空間的にサンプリング及び/又はオーバーサンプリングすることが基本的なアイデアである。これは、近接したシンチレータースラブからの干渉縞パターンの分離を可能にする。

【 0 0 5 3 】

本発明のこれらの態様及び他の態様が、以下で説明される実施形態から明らかとなり、以下で説明される実施形態を参照しながら説明される。

【 0 0 5 4 】

本発明の例示的な実施形態は、以下の図面において説明される。図面における電気回路図は、最終的な電子設計を提示するのではなくそれらのトポロジー的情報のために提示される。しかし、当業者は、回路図を参照しながら最終的な設計を完成させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 5 】

【図 1】従来の位相コントラストイメージングシステムの概略側面図である。

【図 2】4チャンネルの従来の位相コントラストイメージングシステムから例示的なサンプリングされた強度パターンを示す図である。

【図 3】X線位相コントラスト干渉計と、第2の態様及び第3の態様による干渉計とを組み込んだX線位相コントラストイメージングシステムの側面図を概略的に示す図である。

【図 4】第1の態様によるX線ディテクターの概略図である。

【図 5】第1の態様による実用的な実施形態の概略図である。

【図 6 a )】従来の一次元干渉縞ディテクターのスラブを概略的に示す図である。

【図 6 b )】90度回転させられたときの従来の一次元干渉縞ディテクターのスラブを概略的に示す図である。

【図 7 a )】一実施形態による第1の(垂直)モードにおける2D選択可能直接干渉縞ディテクターにおけるサブピクセルの選択を示す図である。

【図 7 b )】一実施形態による第2の(水平)モードにおける2D選択可能直接干渉縞ディテクターにおけるサブピクセルの選択を示す図である。

【図 8】2D選択可能直接干渉縞ディテクター回路のための電子回路図である。

【図 9】事象フィルタ処理を含むX線ディテクターのさらなる実用的な実施形態を概略的に示す図である。

【図 10】X線ディテクターのさらなる実施形態を概略的に示す図である。

【図 11】複数の検出チャンネルを含む1つのピクセルを概略的に示す図である。

【図 12】第4の態様による方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 6 】

従来のX線アプローチは、関心物体の前部を照らすためにX線源を使用する。デジタルディテクターなどのX線ディテクターは、関心物体の後部に位置する。異なる密度をもつ関心物体における材料は、X線波面の非一様な吸収をもたらす。デジタルディテクターは、X線波面の非一定の吸収に基づいて、関心物体の内部構造物の吸収画像を提供する。

【 0 0 5 7 】

ここで、位相コントラストX線イメージングに大きな注目が注がれる。関心物体における材料は、X線波面の吸収に影響を与えるが、典型的には、X線波面の位相シフトにも影響を与える。特に、軟組織イメージングの場合、位相差の検出は、従来の吸収イメージングにより取得された画像より良い品質の画像を提供し得る。代替的に、患者の線量が低減され得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 8 】

図 1 は、従来の X 線位相コントラストイメージングアプローチを示す。特に、基本的な回折格子ベースの X 線干渉計 1 0 が示される。示される構成部に対する代替的な名称は、X 線タルボ干渉計である。これは、関心物体 1 6 の方向に X 線ビーム 1 4 を出射する非常にコヒーレントな X 線源 1 2 を備える。関心物体の後部に、位相回折格子 1 8 (  $G_1$  ) と分析器回折格子 2 0 (  $G_2$  ) とが互いに位置合わせされた状態で提供される。分析器回折格子 2 0 (  $G_2$  ) は、( 図示されていない ) メカニズムを使用して可動である。デジタル X 線ディテクター 2 2 は、関心物体 1 6、位相回折格子 1 8、及び分析器回折格子 2 0 を通って伝播した X 線干渉縞パターンの振幅又は変動を受信及びサンプリングするように位置する。

10

## 【 0 0 5 9 】

任意選択的に、非常にコヒーレントな X 線源 1 2 が、線源回折格子  $G_0$  と組み合わせられて従来の多色 X 線源 ( 例えば回転アノード X 線管 ) として提供され、より幅の広いシステム内に位置するときタルボロー干渉計を形成する。

## 【 0 0 6 0 】

X 線タルボ干渉計は、セルフイメージング効果としても知られる X 線タルボ効果を利用する。位相回折格子 1 8 は周期的構造物であり、X 線源 1 2 による非常にコヒーレントな照明のもとに位置するとき、位相回折格子 1 8 から離れた特定の距離に位相回折格子 1 8 の自己像を生成する。この現象は、フレネル回折の結果である。部分的にコヒーレントな X 線照明のもとで、自己像の視認性が下げられるが、依然として有用である。

20

## 【 0 0 6 1 】

入射 X 線波は、位相回折格子 1 8 の前に位置する関心物体 1 6 によりもたらされる位相シフトに起因して変形させられる。これはさらに、自己像が関心物体 1 6 における位相の非一様性により変形されることをもたらす。自己像の変形量は、自己像がサンプリングされる、位相回折格子 1 8 から離れた距離  $z$  に比例する。従来、デジタル X 線ディテクター 2 2 は、自己像を直接サンプリングする十分な分解能をもたない。したがって、従来の構成部では、分析器回折格子 2 0 がさらに提供される。分析器回折格子 2 0 の周期が自己像の周期と同等である場合、( 関心物体 1 6 により変形された ) 自己像と分析器回折格子 2 0 のパターンとの重ね合わせが生じる ( モアレ干渉縞パターンと一般的に呼ばれる ) 。関心物体 1 6 における位相の非一様性によりもたらされる自己像の変形が、モアレ干渉縞パターンのさらなる変形を結果的にもたらす。

30

## 【 0 0 6 2 】

従来、干渉縞の間隔は、通常のデジタル X 線画像ディテクターが分析器回折格子 2 0 によりサンプリングされる干渉縞パターンの一部を検出することを可能にするために十分大きい。

## 【 0 0 6 3 】

このアプローチは、分析器回折格子 2 0 が、関心物体 1 6 の位相プロファイルの完全な捕捉を可能にするために、変形された自己像の振幅をサンプリングする多くのステップのために、干渉縞パターンにわたって物理的に可動であることを必要とする。このような機械的に可動な分析器回折格子 2 0 は、追加的な機械設計の複雑さを結果的にもたらし、X 線検査がより長く続くことをもたらすので、望ましくない。これは、例えば心臓イメージング中に迅速に動く体内の領域をイメージングするとき問題となる。

40

## 【 0 0 6 4 】

さらに、分析器回折格子 2 0 が吸収型回折格子であり、関心物体を既に通った X 線放射線の損失をもたらす。それが患者に対する、より高い線量につながるもので、これは望ましくない。

## 【 0 0 6 5 】

図 2 は、図 1 に示される従来の位相ステッピング方法に関連した例示的なサンプリングパターンを示す。図 2 のグラフにおいて、縦座標はデジタル X 線ディテクターの一部にわたる任意の距離単位を表し、横座標は、デジタル X 線ディテクターの対応する部分におい

50

て受信された任意のX線強度を表す。グラフの左側の列は、分析器回折格子構造物20の前の入射X線強度を示す。図2の右側の列における4つのグラフa)からd)は、4つの異なる分析器回折格子オフセット距離における、分析器回折格子20によりフィルタ処理された、左側の列のそれぞれにおけるX線信号を示す。言い換えると、図2の右側の列は、X線信号がX線ディテクター22に現れたときの、4つの異なる位相グループの信号を示す。

#### 【0066】

本発明の文脈を導入するために、図3は、第3の態様によるX線イメージングシステム118内に組み込まれた第2の態様による干渉計110を示す。もちろん、干渉計110は、X線イメージングシステム118に対して独立した物品として提供され、2つの要素の示される組合せは便宜上のものであり、限定するものではない。干渉計110及びX線イメージングシステム118は、以下でより完全に説明される。

#### 【0067】

位相回折格子構造物112  $G_1$ は、物体関心126を通ったX線ビームにわたるように配置される。X線ディテクター114a、114bは、その構造化シンチレーター114aが位相回折格子構造物112  $G_1$ に面するように配置されている。例えば、X線ディテクター114A、114Bは、任意選択的に、タルボ距離 $Z_T$ 又はタルボ距離の係数倍だけ、位相回折格子構造物112  $G_1$ から分離される。構造化シンチレーター114aは、X線と位相回折格子構造物112及び関心物体126との相互作用により生成されたX線干渉縞パターンの振幅をサンプリング(又はオーバーサンプリング)する。X線干渉縞パターンの振幅をサンプリングすることにより、構造化シンチレーター114aは、関心物体126によりもたらされたX線ビーム128の位相変化の検出を可能にする。信号組合せ回路116は、X線ディテクター114a、114bから第1の出力信号及び第2の出力信号を生成する。

#### 【0068】

図4は、第1の態様による位相コントラスト及び/又は暗視野X線イメージングにおいて入射X線干渉縞パターン27をサンプリングするためのX線ディテクター24を示す。任意選択的に、X線ディテクターは、第3の態様によるX線イメージングシステム118内に組み込まれた第2の態様による干渉計110内に含まれることが意図される。X線ディテクター24は、入射干渉縞パターン27をサンプリングし、それを複数の光学スラブ信号に変換するように配置された複数のスラブ26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、...、26<sub>N</sub>を備える構造化シンチレーター層26を備える。

#### 【0069】

X線ディテクター24は、構造化シンチレーター層26と光通信する光ディテクター層30をさらに備える。光ディテクター層30は、複数のサブピクセル30<sub>1</sub>、30<sub>2</sub>、...、30<sub>N</sub>を備える。各サブピクセルは、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブ26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、...、26<sub>N</sub>から出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブ26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、...、26<sub>N</sub>と位置合わせされる。

#### 【0070】

X線ディテクター24は、複数のサブピクセル30から干渉縞パターン27を表す信号を電子的に読み取るように配置された信号組合せ構成部32をさらに備える。

#### 【0071】

光ディテクター層30は、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供するように構成された複数の光学的検出セル34をさらに備える。

#### 【0072】

信号組合せ構成部32は、光ディテクター層30の光学的検出セル34の検出信号の組合せとして、少なくとも第1の31<sub>A</sub>出力信号及び第2の31<sub>B</sub>出力信号を生成するように構成される。少なくとも第1の31<sub>A</sub>出力信号及び第2の31<sub>B</sub>出力信号の各々は、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブ26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、...、26<sub>N</sub>において受信された入射X線干渉縞パターン27に起因して空間信号振幅に比例する。X線ディテクター24

10

20

30

40

50

のピクセル信号は、スラブの幅Wにより規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも2つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第1の31<sub>A</sub>出力信号及び第2の31<sub>B</sub>出力信号を含む。図4の実施形態において、スラブの幅Wは、入射X線放射線27の干渉縞周期の実質的に2分の1である。

【0073】

したがって、光ディテクター層30及び信号組合せ構成部32と組合せて構造化シンチレータースラブ26を使用して、近接したシンチレータースラブから入射X線干渉縞パターン27を分離して、位相コントラストイメージング干渉縞パターンの直接的な測定結果を獲得することが基本的なアイデアである。個々のシンチレータースラブ26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、...、26<sub>N</sub>は、個々のサブピクセルと光学的に位置合わせされる。これは、機械的に可動な分析器回折格子を不要とする。図4に示されるケースでは、位置をステップする必要がある機械的にステップされる位相回折格子の効果が、第1の出力信号31<sub>A</sub>と第2の出力信号31<sub>B</sub>との比を監視することにより置換される。

10

【0074】

図4において、大きいピクセルPが1つの平面方向に沿って6つのシンチレータースラブにセグメント分けされる提案されるセンサーの一実施形態が示される。6つのシンチレータースラブは、光ディテクター層30に光学的に結合される。図4は、近接したピクセルをさらに示す。

【0075】

任意選択的に、光結合は、構造化シンチレータースラブ26と光学的検出層30との間の光結合層を使用して達成される。任意選択的に、光結合層は、光ファイバプレート（図示されていない）として提供される。

20

【0076】

典型的には、ピクセルP、数百マイクロメートルの幅をもち、約20から30マイクロメートルのピッチをもつシンチレータースラブにセグメント分けされている。光ディテクター層30は、同じ寸法をもつ多数のピクセルによりさらに構成されている。光ディテクター層30の各ピクセルは、構造化シンチレータースラブ26のセグメント分けに一致するようにセグメント分けされている。図4は、光ディテクター層30が構造化シンチレータースラブ26と同じ方向に沿って6つのサブピクセルにセグメント分けされていることを示す。光ディテクター層30におけるサブピクセルは、構造化シンチレータースラブ26のスラブと光学的に位置合わせされている。言い換えると、構造化シンチレータースラブ26<sub>1</sub>における比較的高いレベルの入射X線放射線が、このスラブが比較的大きい光信号を光ディテクター層30のサブピクセル30<sub>1</sub>に出射することをもたらす。しかし、シンチレータースラブは構造化されているので、構造化シンチレータースラブ26<sub>1</sub>からの比較的大きい光信号が、光ディテクター層30の近接したサブピクセルに漏れない。

30

【0077】

図4において、第1の出力信号31<sub>A</sub>及び第2の出力信号31<sub>B</sub>が、光学的検出セルの「第1の」出力及び「第2の」出力を読み取る。任意選択的に、2つのチャンネルが、例えば、「ピーク」干渉縞値として第1の信号を読み取り、干渉縞パターンの「谷」値として第2の信号を読み取るために、シンチレータースラブ間隔を設けて設計され得る。示される実施形態において、「偶」数のスラブ内に重ね合わされた事象が、第1の読み取りチャンネル31<sub>A</sub>に累積される。同様に、「奇」数に番号付けされたスラブにおける事象が、第2の読み取りチャンネル31<sub>B</sub>にさらに重ね合わされる。したがって、示される実施形態において、各ピクセルPは、「奇数」及び「偶数」スラブにおいて重ね合わされる信号レベルに対応した2つの測定結果を獲得する。

40

【0078】

図4に示される実施形態では、チャンネルのうちの1つが干渉縞パターン27のピークからの情報を含むとともに、他のチャンネルが干渉縞パターン27の谷を獲得するように、シンチレータースラブピッチWの選択が提供される。したがって、シンチレータースラブピッチWの選択は、X線ディテクター24と一緒に使用されるシステムの入射X線ビームの波長に密

50

に関連している。しかし、これは、最小のケースであり、シンチレーターピッチ $W$ が任意選択的に、干渉縞パターン27をオーバーサンプリングするように設計され得ることが理解される。したがって、シンチレーターピッチ $W$ は、可動な分析器回折格子のピッチを設計するとき、従来のディテクターにおいて作られる場合と同様の検討に従って設計される。

【0079】

したがって、第1の出力信号31<sub>A</sub>及び第2の出力信号31<sub>B</sub>の出力間の比は、干渉縞の位相及び干渉縞の視認性を示す。しかし、構造化シンチレーターがX線干渉縞をオーバーサンプリングするように設計される場合、シンチレーターピッチは、任意選択的に、 $W$ の分数倍、例えば干渉縞周期の3分の1又は4分の1であるように構成される。任意選択的に、構造化シンチレーターは、干渉縞27をオーバーサンプリングするように設計され、これが、位相及び散乱情報の直接的な検出を可能にする。

10

【0080】

多くの異なる光学的検出コンポーネントが光学的検出セル内に含まれる。

【0081】

一実施形態によると、光学的検出セルは、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように構成された1つ又は複数のシリコン光電子増倍管を備える。

【0082】

シリコン光電子増倍管(SiPM)は、単光子に対して感受性をもつ、及び、共通のシリコン基材に製造されたソリッドステートアバランシェフォトダイオード(APD)のアレイである。

20

【0083】

アレイのシリコン光電子増倍管及びそれらのクエンチング抵抗器が、任意選択的に並列接続される。クエンチング抵抗器は、逆バイアス電圧が短い期間の後になだれ降伏を停止するほど十分低く下がることを可能にする。その後、APDが抵抗器を介して完全なバイアス電圧まで再充電される。各デバイスがデジタル(「ガイガー」)モードで動作するが、アレイのすべてのシリコン光電子増倍管が並列に読み取られる。したがって、シリコン光電子増倍管は、1つ、又は数千個の光子が受信されるか否かに依存した可変ダイナミックレンジを使用して信号を生成する。

【0084】

30

シリコン光電子増倍管の離散動作モードは、元の光学的な光子のエネルギーに関する情報が失われることを意味する。任意選択的に、任意選択的に1000個より多いシリコン光電子増倍管セルを含む各シリコン光電子増倍管ピクセルを使用した、数mm四方の寸法をもつ大きいシリコン光電子増倍管ピクセルを提供することにより、このような比例しないことを解決することが提案される。シリコン光電子増倍管セルの数は、シリコン光電子増倍管自体の内側からの「ダークカウント」事象ではなく、X線相互作用事象から生じる検出された活動を検証することができるよう十分に高くなければならない。

【0085】

図5は、シリコン光電子増倍管トポロジーを使用した、一実施形態による提案されるX線ディテクターを示す。交互に陰影が付けられたスラブは、交番光ディテクター層、及び、真上のシンチレータースラブに光学的に結合された信号組合せ構成部の上方に位置する交番シンチレータースラブを表す。図5は、6つの構造化シンチレータースラブ26<sub>1</sub>、...、26<sub>6</sub>に分割された1つのピクセルPを示し、6つの構造化シンチレータースラブ26<sub>1</sub>、...、26<sub>6</sub>は、続いて光ディテクター層30において提供された6つのサブピクセル30<sub>1</sub>、...、30<sub>6</sub>に光学的に結合される。任意選択的に、各シリコン光電子増倍管は、それ自体のクエンチング抵抗器を含む。任意選択的に、アクティブシリコン光電子増倍管クエンチング回路が使用される。

40

【0086】

示されるトポロジーは共通カソード構成部を示し、シリコン光電子増倍管のダイオードカソードはカソード38に互いに接続される。各サブピクセル30<sub>1</sub>、...、30<sub>6</sub>内にお

50

いて、シリコン光電子増倍管のアノードは互いに接続される。したがって、1つのサブピクセルのためにアノード接続を通して流れる電流は、そのサブピクセルにおいて放出されたシリコン光電子増倍管の電流の和に対応する。図5における信号組合せ構成部32は、第1の信号グループ30<sub>1</sub>、30<sub>3</sub>、30<sub>5</sub>、及び、第2の信号グループ30<sub>2</sub>、30<sub>4</sub>、30<sub>6</sub>への、第2のスラブの各々のアノードのバス接続体である。これの実際の効果は、干渉縞ピッチの第1の半分に関連した検出された光子イベントのすべてが、まとめて加算されて第1の出力信号31<sub>A</sub>を形成し、干渉縞ピッチの第2の半分に関連した検出された光子イベントのすべてが、まとめて加算されて第2の出力信号31<sub>B</sub>を形成することである。

#### 【0087】

任意選択的に、X線ディテクター24が提供され、1つのサブピクセルに関連した複数の光学的検出セル34が電氣的に並列に接続されて、構造化シンチレーター層26のスラブからの光学的出射によりトリガーされた光学的検出セルの数に比例した第1の出力信号及び/又は第2の出力信号を動作中に生成する。

#### 【0088】

動作中、大きいX線フラックスが構造化シンチレータースラブ26<sub>1</sub>において感知されたとき、相応に大きい可視光の光束がサブピクセル30<sub>1</sub>に光学的に送信される。多量の可視光の光束が、大きい比率のシリコン光電子増倍管34<sub>A</sub>、34<sub>B</sub>、34<sub>C</sub>、34<sub>D</sub>、34<sub>E</sub>、34<sub>F</sub>の放出、及び、第1の出力信号31<sub>A</sub>として提供される相応に大きい電流を結果的にもたらす。

#### 【0089】

任意選択的に、信号組合せ構成部は、各出力信号31<sub>A</sub>、31<sub>B</sub>に対する。信号検証回路(図示されていない)を備える。信号検証回路は、シリコン光電子増倍管がダークカウントではなく実際のシンチレーター相互作用を報告することを確認なものとするために、第1の出力信号及び/又は第2の出力信号31<sub>A</sub>、31<sub>B</sub>にそれぞれ閾値を適用するように構成される。したがって、使用されるシンチレーター材料により規定された時間間隔内に特定の数のセルが放出したとき、有効な事象が存在するとみなされる。信号検証回路は、比較器としてアナログ形態で、又は、アナログデジタル変換ステージの後にデジタル比較器として提供される。

#### 【0090】

スラブの下方にある1つのサブピクセルにおけるアノードを通して流れる電流は、放出したサブピクセルにおけるシリコン光電子増倍管からの電流の和に対応する。任意選択的に、アノード信号は、スラブの下方にある複数のサブピクセルにわたって共有されず、事象検証が各スラブに対して実施されて、第1の出力信号及び第2の出力信号31<sub>A</sub>、31<sub>B</sub>がすべての検証された事象の和となることを可能にする。

#### 【0091】

前述の議論では、2つの交番スラブグループに分割された6つのスラブを含む1つのピクセルを伴うトポロジーが説明されている。当業者の読み手は、典型的なX線ディテクターが多くの何千ものピクセルを含むことを理解する。ピクセルは任意の数のスラブに再分割され、さらに、任意の数のスラブが、3つのチャンネル、4つのチャンネル、5つのチャンネル、6つのチャンネル、又はさらに多くのチャンネルを使用して、入射X線の干渉縞をサンプリングするように相互接続される。より多くのチャンネルを使用して入射X線パターンの干渉縞をサンプリングすることは、干渉縞パターンがオーバーサンプリングされることを可能にし、より高い画像解像度を提供する。

#### 【0092】

一実施形態によると、X線ディテクター24が上述のように提供され、信号組合せ構成部が、第1の出力信号及び第2の出力信号31<sub>A</sub>、31<sub>B</sub>が第1の近接したサブピクセルの集合から必要とされる第1のモードに構成可能であり、及び、第1の出力信号及び第2の出力信号が第2の近接したサブピクセルの集合から必要とされる第2のモードに構成可能であり、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合が、互いに対する何

10

20

30

40

50



らかの角度で位置合わせされ、したがって、X線ディテクターの位置を調節せずに異なる方向におけるサブピクセル累積を可能にする。

【0093】

任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが位置合わせされる角度は $90^\circ$ である（言い換えると、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合のサブピクセルが、長方形グリッドを形成する）。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが、互いに $0^\circ$ から $90^\circ$ の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが、互いに $0^\circ$ から $80^\circ$ の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが、互いに $0^\circ$ から $60^\circ$ の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが、 $0^\circ$ から $30^\circ$ の間の内角をもつように位置合わせされる。したがって、干渉縞パターンは、多くの異なる方向においてサンプリングされる。

10

【0094】

本出願は、従来の位相コントラストイメージングシステム10の分析器回折格子20を排除する位相コントラスト干渉縞の直接的な測定に関連する。従来、回折格子及び/又はシンチレータースラブは、回折格子又は長方形シンチレータースラブに平行な方向において臨床的に関連した構造物を見逃すことを避けるために、線源（ $G_0$ ）、位相（ $G_1$ ）、及び分析器（ $G_2$ ）回折格子を $90^\circ$ だけ回転させることを伴って、2つの獲得結果のうちの最小のものが必要とされるように配置されている。長方形シンチレータースラブを含む直接干渉縞ディテクターを使用する場合、ディテクター自体もまた回転されることが必要である。

20

【0095】

以下の実施形態は、ディテクターを回転させずに微細構造物を解像する位相コントラストX線ディテクターにおける使用のための適応されたピクセルトポロジーを説明している。

【0096】

図6a)は、4つのピクセル $P_1$ 、...、 $P_4$ を含む従来のディテクタートポロジーを示す。ピクセルに重なるシンチレーターの各々が、1方向に沿って構造化されている。言い換えると、2つの交番スラブチャンネルが大きいアスペクト比をもつ。従来、この構成は、微細構造物が長い1方向のものであり、元々のデジタルディテクターピッチが逆方向に依然として使用されると仮定している。一例において、従来の $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ のピクセル寸法が、x方向において10スラブに構造化されるとともに、y方向に沿って、スラブはその元々の $200\mu\text{m}$ の長さに構造化されたまま留まる。

30

【0097】

上述のトポロジーは、微細構造物の検出が1方向において好ましいことを意味する。他方の方向に沿った臨床的に関連した構造物が見逃されないことを確実なものとするために、回折格子（線源及び位相回折格子）を回転させる方法が提供されなければならない。これは、正確に、及び安価な機械設計により達成することが困難な、同時に回折格子のすべてを回転させることを要求する。したがって、他の好ましい方向に沿ってサブピクセルビンニングを選択的に配置することが可能な電子読み取り回路と組み合わせられた2D構造化アレイを導入することが提案される。

40

【0098】

図6b)は、 $90^\circ$ 度回転された従来のスラブ構成部を示す。

【0099】

図7a)は、従来のピクセル $P_1$ 、...、 $P_4$ の境界内における微細構造化二次元サブピクセル化トポロジーを示す。サブピクセル化トポロジーは、光学的検出セルとして実施する複数のシリコン光電子増倍管又はフォトダイオードを備える。2D選択可能直接干渉縞ディテクターは2つのモード間でスイッチング可能であり、第1のモードにおいては出力信号が第1の好ましい方向に沿ってビンニングされ、第2のモードにおいては信号が第2の

50

好ましい方向に沿ってビニングされる。図 7 a ) に、縦方向における交番スラブチャンネルを含む 4 つのピクセルにより干渉縞パターンがサンプリングされる第 1 のモードにおける 2 D 選択可能直接干渉縞ディテクターが示される。図 7 b ) は、干渉縞パターンが水平方向における交番スラブチャンネルを含む 4 つのピクセルによりサンプリングされる第 2 のモードを示す。

【 0 1 0 0 】

この実施形態のディテクターを使用するように構成された X 線干渉計及び / 又はシステムは、第 1 のモードと第 2 のモードとの間で変更がなされたとき、及び、逆のとき、線源回折格子  $G_0$  及び位相回折格子  $G_1$  が  $90^\circ$  回転させられることを必要とすることが理解される。

【 0 1 0 1 】

図 8 は、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合が異なるモードにおいて互いに直交するように位置合わせされた非限定的な例において図 7 に関連して概念的な観点から説明されている干渉縞サンプリングの配向に対して選択可能な垂直及び水平サブピクセル構成部を実現するための回路の概略図を示す。

【 0 1 0 2 】

点線 4 0 は、従来のピクセル境界を示す。任意選択的に（及び図示されるような）複数のシリコン光電子増倍管である光学的検出要素 4 2 のグリッドが従来のピクセル境界内にある。任意選択的に、光学的検出要素 4 2 のグリッドは、代替的に、又は組み合わせられて、フォトダイオードを備える。図 8 の例において、シリコン光電子増倍管のカソードは接地に接続され、及び、シリコン光電子増倍管のアノードは、 $H_z$  及び  $V_t$  選択スイッチにクエンチ抵抗器を介して接続される。符号「 $H_z$ 」は水平配向を示すデジタル信号を表し、符号「 $V_t$ 」は垂直配向を示すデジタル信号を表す。これらの 2 つの信号は相補的である。

【 0 1 0 3 】

任意選択的に、シリコン光電子増倍管は、アクティブクエンチング要素を備える。

【 0 1 0 4 】

任意選択的に、各光学的検出要素 4 2 は、シリコン光電子増倍管、図 5 に示される機能部 3 4 A、3 4 B の並列ネットワークとして提供される。この場合、各並列ネットワークの出力は、それぞれスイッチ  $H_z$  及び  $V_t$  に接続される。

【 0 1 0 5 】

図 8 に、 $H_z$  及び  $V_t$  に関連したスイッチは同時に開回路であるように示されるが、これは概略図におけるスイッチの位置について明確さをもたらずにすぎない。動作中、 $H_z$  スwitch が閉回路である場合、 $V_t$  スwitch が開回路となる。 $H_z$  スwitch が開回路である場合、 $V_t$  スwitch が閉回路となる。

【 0 1 0 6 】

この場合、信号組合せ構成部は、スイッチ  $H_z$  及び  $V_t$  のネットワーク、及び、好ましい方向に沿った第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号のビニングを可能にするバスを備える。 $H_z$  スwitch が閉回路であり、かつ  $V_t$  スwitch が開回路であるとき、光学的検出要素の交番水平行が接続される。 $H_z$  スwitch が開回路であり、かつ  $V_t$  スwitch が閉回路であるとき、光学的検出要素の交番垂直行が接続される。したがって、X 線干渉縞パターンの干渉縞は、水平方向及び垂直方向に少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号としてサンプリング及び出力される。

【 0 1 0 7 】

このアプローチは、例えば、患者又は X 線イメージングシステムの複雑な再配置を伴わずに、複数の方向における微細臨床的構造物の特定を可能にするので、このアプローチは、暗視野イメージングが実施されるときに特に有益である。

【 0 1 0 8 】

第 1 の態様の一実施形態（その非限定的な例が図 9 に示される）によると X 線ディテクター 2 4 が提供され、構造化シンチレータ 4 4 <sub>1</sub>、4 4 <sub>2</sub>、4 4 <sub>3</sub>、4 4 <sub>4</sub>、4 4 <sub>5</sub>、4

10

20

30

40

50

4<sub>6</sub>が、互いに異なる減衰時定数をもつ異なるシンチレーター材料から各々が形成された第1のシンチレーター要素4<sub>41</sub>及び第2のシンチレーター要素4<sub>42</sub>をさらに備える。信号組合せ構成部4<sub>8</sub>は、第1の4<sub>8a</sub>事象検証フィルタ及び第2の4<sub>8b</sub>事象検証フィルタをさらに備える。

【0109】

第1のシンチレータースラブ及び第2のシンチレータースラブにおける光学的クロストークが獲得された干渉縞パターンを不鮮明にし得るので、第1のシンチレータースラブ及び第2のシンチレータースラブにおける光学的クロストークを低減することが有益である。この実施形態によると、構造化シンチレーターにおけるそれぞれの交番シンチレータースラブにおいて2つの異なる種類の材料を使用することが提案される。

10

【0110】

異なる減衰時定数をもつ2つの異なる種類のシンチレーター材料の例は、任意選択的に、上述のようにBGO及びLYSOであるが、シンチレーター材料の多くの他の組合せが当業者により考えられる。

【0111】

異なるシンチレーター材料の種類の各々が、大幅に異なる減衰時定数を示す。言い換えると、スラブ4<sub>4</sub>の下方にある光ディテクター層4<sub>6</sub>における光学的検出セルの励起が、時間の関数として累積された放出パターンをもたらす。任意選択的に、個々の光学的検出セルの各々は、複数の検出セルの他の光学的検出セルとは無関係にリフレッシュするように構成される。したがって、個々の光学的検出セルは、1つの単光子相互作用事象に対して複数回再放出する。

20

【0112】

第1の出力信号又は第2の出力信号の振幅は、離散的なステップを示す。フルスケールにおける信号は、シンチレータースラブ当たりの光学的検出セルの数に依存する。

【0113】

図9に示される実施形態において、整合したフィルタ4<sub>8a</sub>、4<sub>8b</sub>がスラブごとに（又は任意選択的に、ピクセル内のスラブの種類ごとに1つ）提供される。整合したフィルタは、信号がサブピクセルの真上のシンチレータースラブの結果として生じたか否か、又は代替的に、信号が近接したシンチレータースラブからの光学的クロストークによりもたらされたか否かを区別するために、サブピクセルにより、検出された信号の弁別を可能にする。

30

【0114】

任意選択的に、正しいシンチレータースラブから生じたことをデジタルフィルタ4<sub>8a</sub>、4<sub>8b</sub>により検証されない事象は破棄される。正しいスラブから生じたことを特定されたデジタルフィルタ4<sub>8a</sub>、及び4<sub>8b</sub>により識別される有効な事象は、その特定のシンチレータースラブ及びサブピクセルに対する第1の5<sub>0a</sub>出力信号及び/又は第2の5<sub>0b</sub>出力信号に寄与するために使用される。

【0115】

任意選択的に、第1のシンチレータースラブの下方にあるサブピクセルから破棄された信号は、交番信号の種類のためにフィルタ（図示されていない）に提供される。したがって、第1のシンチレータースラブ4<sub>41</sub>に起因した出力信号が4<sub>42</sub>の対応するディテクター回路に提示されるのに対し、第1のシンチレータースラブに近接したスラブから生じたことを特定された信号は、これらの近接したスラブの検出回路に提供される。近接したスラブの検出回路は、任意選択的に、第1のシンチレータースラブからの拒絶された信号が近接したスラブのうちの1つから生じたか否かを検証するために、一致論理（図示されていない）を適用する。信号が近接したスラブのうちの1つから生じたことを特定された場合、信号はその近接したスラブの出力に追加される。

40

【0116】

この手法により、X線ディテクター2<sub>4</sub>の信号対ノイズ比が改善される。

【0117】

50

第 1 の態様の一実施形態（その例が図 10 に示される）によると、X 線ディテクター 70 が提供される。X 線ディテクターは、構造化シンチレーター層 71 と光ディテクター層 74 との間に位置する構造化カラーフィルタ層 72 をさらに備える。第 1 のシンチレーター要素 71<sub>1</sub> は、第 1 の波長を含む可視光を出射するように構成され、第 2 のシンチレーター要素 71<sub>2</sub> は、第 2 の波長を含む可視光を出射するように構成される。構造化カラーフィルタ層 72 は、光ディテクター層のクロストーク性能を改善するために、光ディテクター層 74 における検出前に、それぞれの波長を含む第 1 の可視光と第 2 の可視光とをフィルタ処理するように構成される。

【0118】

図 10 において、この実施形態による X 線ディテクターの断面概略図が示される。シンチレータースラブ 71<sub>1</sub>、71<sub>3</sub>、71<sub>5</sub> は、第 1 の波長を出射する第 1 のシンチレーター材料として提供され、シンチレータースラブ 71<sub>2</sub>、71<sub>4</sub>、及び 71<sub>6</sub> は、第 2 の波長を出射する第 2 のシンチレーター材料として提供される。光ディテクター層 74 における対応する光学的検出セルは、光学フィルタ層 72 によりカバーされる。光学フィルタ層 72 は、上述の対応するシンチレーターにより出射された可視光の波長に対して各々が適切に調整された第 1 の色及び第 2 の色をもつ複数のカラーフィルタを含む。任意選択的に、光学的検出セル 73<sub>1</sub>、73<sub>2</sub>、73<sub>3</sub>、73<sub>4</sub>、73<sub>5</sub>、73<sub>6</sub> は、（パッシブクエンチング抵抗器を含む図 9 に示されるような）アクティブ又はパッシブクエンチング回路を含むシリコン光電子増倍管として提供される。

【0119】

図 11 は、構造化シンチレーター層 78 を備えるピクセル P を含む X 線ディテクター 76 を備える代替的な実施形態を示し、構造化シンチレーター 78<sub>1</sub>、78<sub>3</sub>、及び 78<sub>5</sub> の第 1 の集合は、第 1 の種類のシンチレーター材料のものであり、構造化シンチレーター 78<sub>2</sub>、78<sub>4</sub>、及び 78<sub>6</sub> の第 2 の集合は、第 2 の種類のシンチレーター材料のものである。第 1 の種類のシンチレーター材料と第 2 の種類のシンチレーター材料とは異なる減衰時定数をもつ。光ディテクター層は、ピクセル P ごとに 1 つのフォトダイオードを備える光学的検出セルをさらに備える。代替的に、光学的検出セルは、アクティブ又はパッシブクエンチング回路を含むシリコン光電子増倍管を備える。

【0120】

光学的検出層 80 は、信号組合せ構成部を形成する 2 チャンネル光子カウントフロントエンド電子回路に接続されたフォトダイオード 102 を備える。光子カウントフロントエンド電子機器は、第 1 の減衰時定数に対して感受性のある第 1 のチャンネル 80a と、第 2 の減衰時定数に対して感受性のある第 2 のチャンネル 80b とを含む。したがって、フロントエンドチャンネルは、いずれかの種類のシンチレータースラブにおいて生じる事象を分離する。

【0121】

高速チャンネル 82 は、弁別器 90 及び第 1 のカウンタ 92 に直列に、第 1 の増幅器 86 と第 1 の整形器 88 とを備える。低速チャンネル 84 は、第 2 の増幅器 98 及び第 2 のカウンタ 100 に直列に、第 2 の増幅器 94、第 2 の整形器 96 を備える。

【0122】

動作中、図 11 に示される X 線ディテクター 76 は、高速シンチレーター 78<sub>1</sub>、78<sub>3</sub>、及び 78<sub>5</sub> において生じる事象に対して適切な振幅のパルス高を生成するように構成された高速整形器チャンネル 82 を備える。低速シンチレーター 78<sub>2</sub>、78<sub>4</sub>、及び 78<sub>6</sub> からの信号は、大きい弾道欠損をもたらし、低速シンチレーターからの寄与が無視されることを可能にする。より高速なシンチレーターのパルス高の弁別は、同じ種類のスラブにおいて生じる事象の数を考慮することを可能にする。シンチレーターの減衰時定数の差は、低速シンチレーターからの結果として得られるエネルギーペDESTAL が高速事象の弁別を大幅に損なわないように十分に低くなるようにされている。

【0123】

低速整形器チャンネル 82 は、低速シンチレーターにより生成された事象から許容可能

10

20

30

40

50

な信号を生成する。任意選択的に、電荷感应増幅器は低速スルーレートを示し、したがって、高速シンチレータによりもたらされるのみであり得る事象をフィルタ処理により除去し、これが、高速シンチレータからの過剰なバックグラウンドチャージを避ける。

【0124】

説明される高速 - 低速アーキテクチャは、異なる減衰時定数をもつ構造化シンチレータースラブにおいて生じる光学的な光子を分離することができる。任意選択的に、フォトダイオード電流  $I_{PD}$  を複製するために、カレントミラー 104 が提供される。

【0125】

本実施形態によると、信号組合せ構成部は、ピクセル  $P$  ごとにチャンネルを読み取る。読み取りチャンネルの数は、任意選択的に、シンチレータの種類、各々の光子相互作用数に対応する。例えば、2種類のシンチレータ材料を含む示されるシステムでは、それぞれの異なるシンチレータ材料からの光子相互作用数を各々がカウントする2つの読み取りチャンネルが提供される。このトポロジは、特に、X線光子のエネルギーを無視して事象の数のみが記録される光子カウント電子機器に適用可能である。任意選択的に、X線ディテクターは、多エネルギーピンディテクターである。

10

【0126】

任意選択的に、図11の信号組合せ構成部は、両方の整形器に共通な1つの電荷感应増幅器 (CSA) ステージとして提供される。CSAは、両方の整形器88及び96に結合される。当業者は、上述の機能と同様の機能をもつ多くの異なるトポロジが使用されることを理解する。任意選択的に、特定のピクセル寸法、及び、フォトダイオードコンデンサの等価静電容量が与えられた場合、CSAステージの使用が不要である。等価入力静電容量が十分小さい場合、CSAが完全に取り除かれて、一段整形器トポロジを提供する。この実施形態では、ピクセルごとに1つのフォトダイオードが必要とされる。しかし、選択されたシンチレータの種類及びX線フラックスに依存して、さらなるサブピクセル化が提供される。

20

【0127】

任意選択的に、干渉縞ピッチ当たり2つより多い構造化シンチレータースラブが提供される。例えば、干渉縞ピッチ当たり3つの構造化シンチレータースラブが提供される。代替的に、干渉縞ピッチ当たり4つの構造化シンチレータースラブが提供される。シリコン光電子増倍管セルグループ又はフォトダイオードなどの光ディテクターセルの数は、比例的に増やされなければならない、又は代替的に、3つ又は4つの異なる応答時間又はシンチレーション波長をもつシンチレータが使用されなければならない。干渉縞ピッチ当たり2つより多いサンプル点を使用することは、より大きいX線位相コントラストイメージングシステムにおいて線源回折格子  $G_0$  又は位相回折格子  $G_1$  を動かすことによる位相ステップを不要とする。

30

【0128】

任意選択的に、信号組合せ構成部は、1つのピクセルエリア内においてすべてのスラブ信号又はサブピクセル信号を加算する代わりに、すべてのスラブ信号又はサブピクセル信号を個々の信号として読み取る可能性を提供する。信号の個々の読み取りを使用すると、各スラブに対応したサブピクセルは、寸法が約  $5\ \mu\text{m}$  から  $20\ \mu\text{m} \times 250\ \mu\text{m}$  の間となる。位相及び振幅情報が、次に、デジタル領域におけるスラブ信号の追加を実施することにより抽出され得る。このアプローチは、スラブピッチ及び干渉縞ピッチの係数倍の割合、例えば、干渉縞当たり2.4個のスラブの取扱いをさらに可能にする。デジタル領域において、想定される干渉縞周波数の余弦及び正弦を使用した乗算、及び、後続の加算は、正しい加算信号を提供し得る。

40

【0129】

信号組合せ構成部116、及び、その任意選択的な実施形態は、以下で説明される多くの異なる手法により実施される。

【0130】

図5は、近接したサブピクセルからの出力電流を加算するように並列接続された近接し

50

たサブピクセルのシリコン光電子増倍管からなる信号組合せ構成部を示す。この信号組合せ構成部は、例えば半導体製造工程においてシリコン基材に堆積させられた金属トラックにより提供され得るシリコン光電子増倍管間の配線及び相互接続部からなる。

【 0 1 3 1 】

図 8 を参照すると、信号組合せ構成部 1 1 6 は、バス線及びスイッチ H z 及び V t のネットワークを提供する。スイッチ H z 及び V t の相補的スイッチングが、図 5 における手法と同じ手法により、近接したサブピクセルが並列接続されることを可能にするが、スイッチ H z 及び V t のセッティングを変更することは、近接したサブピクセル相互接続部が 9 0 ° 回転させられることをもたらす。スイッチ H z 及び V t は、例えば、集積シリコンスイッチ、又は集積 C M O S アナログスイッチとして実施され得る。

10

【 0 1 3 2 】

図 9 は、交番サブピクセルが異なる減衰時定数をもつ 2 種類のシンチレータースラブ 4 4<sub>1</sub>、4 4<sub>2</sub> と光通信する一実施形態を示す。第 1 の事象検証フィルタ 4 8 a 及び第 2 の事象検証フィルタ 4 8 b は、( 光学的クロストークとして ) 近接したサブピクセルに誤って入った光信号の分離を可能にする。第 1 の事象検証フィルタ 4 8 a 及び第 2 の事象検証フィルタ 4 0 b は、例えば、検出されるシンチレーター材料の減衰定数に対応した整合したフィルタを使用して、アナログフィルタ回路として実施され得る。

【 0 1 3 3 】

代替的に、又は組み合わせられて、サブピクセルからの検出信号が、アナログデジタルコンバーター ( A D C ) を使用してアナログからデジタル形式に変換され得る。次に、第 1 の事象検証フィルタ 4 8 a 及び第 2 の事象検証フィルタ 4 8 b が、デジタル信号処理 ( D S P ) モジュールにおいてデジタルフィルタとして提供される。D S P モジュールは、フィールドプログラム可能ゲートアレイ ( F P G A ) 、又は特定用途向け集積回路 ( A S I C ) において実施され得る。代替的に、又は組み合わせられて、D S P モジュールは、マイクロプロセッサ又はコンピュータプロセッサにおいて実施され得る。

20

【 0 1 3 4 】

したがって、上述の実施形態において説明されている信号組合せ構成部 1 1 6 は、開示される機能を維持したまま多くの異なる手法により提供され得る。

【 0 1 3 5 】

第 2 の態様によると、位相コントラスト又は暗視野 X 線イメージングのための干渉計 1 1 0 が提供される。干渉計は、

30

位相回折格子構造物 1 1 2、及び、

第 1 の態様又は上述のその実施形態による X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 を備える。

【 0 1 3 6 】

位相回折格子構造物及び X 線ディテクターの構造化シンチレーター層が X 線放射線を相関付けるための干渉計構成部を形成するように、位相回折格子構造物及び X 線ディテクターが光路中に配置される。

【 0 1 3 7 】

図 3 は、ブラケット 1 1 0 間に入る図 1 の要素として干渉計を示す。

40

【 0 1 3 8 】

第 3 の態様によると、

X 線源 1 2 0 と、

第 2 の態様による干渉計 1 1 0 と、

制御装置 1 2 2 と、

を備える、X 線イメージングシステム 1 1 8 が提供される。

【 0 1 3 9 】

制御装置 1 2 2 は、X 線放射線 1 2 8 を使用して光路中に配置可能な関心物体 1 2 6 を照らすための X 線源 1 2 0 を起動するように構成される。干渉計 1 1 0 の X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b は、X 線波面をサンプリング及び検出するように構成される。制御

50

装置 1 2 2 は、干渉計 1 1 0 の X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 の複数のサブピクセルからの干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取るように構成される。

【 0 1 4 0 】

図 3 は、ブラケット 1 1 8 内に入る要素としてシステム 1 1 8 を示す。

【 0 1 4 1 】

任意選択的に、制御装置 1 2 2 は、X 線システムの制御、及び、出力情報の取扱いを可能にする組み込まれたコンピュータ、パーソナルコンピュータ P C、又は別の処理ユニットである。

【 0 1 4 2 】

任意選択的に、X 線イメージングシステムは、線源回折格子  $G_0$  と位相回折格子  $G_1$  との間の距離が位相回折格子  $G_1$  と分析器回折格子  $G_2$  との間の距離未満である逆 X 線位相コントラストイメージングシステムである。

【 0 1 4 3 】

任意選択的に、X 線イメージングシステムは、線源回折格子  $G_0$  と位相回折格子  $G_1$  との間の距離が位相回折格子  $G_1$  と分析器回折格子  $G_2$  との間の距離より大きい X 線位相コントラストイメージングシステムである。

【 0 1 4 4 】

任意選択的に、制御装置 1 2 2 は、広範囲の X 線位相コントラスト画像再構成アルゴリズムを使用して X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 の信号組合せ構成部 1 1 6 から電子的に読み取られた信号から X 線画像出力データを用意するように構成される。制御装置 1 2 2 は、任意選択的に含まれる制御装置ディスプレイ（図示されていない）に X 線画像出力データを表示し、又は代替的に、さらなる使用のためにサーバー（図示されていない）又は P A C S システム（図示されていない）に X 線画像出力データを送信し得る。

【 0 1 4 5 】

任意選択的に、X 線源 1 2 0 は、コヒーレント X 線源である。

【 0 1 4 6 】

任意選択的に、2 つのモードをもつ X 線イメージングシステムの一実施形態が提供される。第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合が互いに対する何らかの角度で位置合わせされたとき、X 線ディテクターの信号組合せ構成部 1 1 6 は、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 1 の近接したサブピクセルの集合から必要とされる第 1 のモードに構成可能であり、及び、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 2 の近接したサブピクセルの集合に対して必要な第 2 のモードに構成可能であり、したがって、X 線ディテクターの位置を調節せずに異なる配向におけるサブピクセル累積を可能にする。

【 0 1 4 7 】

任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合と第 2 のサブピクセルの集合とが位置合わせされる角度は、 $90^\circ$  である（言い換えると、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合のサブピクセルが長方形グリッドを形成する）。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合は、互いに  $0^\circ$  から  $90^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合は、互いに  $0^\circ$  から  $60^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合は、互いに  $0^\circ$  から  $60^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合は、 $0^\circ$  から  $30^\circ$  の間の内角をもつように位置合わせされる。

【 0 1 4 8 】

システムのこの実施形態では、X 線源 1 2 0（及び / 又は X 線源 1 2 0 に組み込まれた線源回折格子 1 2 4（ $G_0$ ））は、X 線源 1 2 0 から X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 を指し示す軸の周囲における第 1 の軸状態と第 2 の軸状態との間で回転可能である。X 線ディテクター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 の信号組合せ構成部 1 1 6 がその第 1 のモードに構成されたとき、X 線源 1 2 0 が第 1 の軸状態に設定される。X 線ディテク

10

20

30

40

50

ター 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 6 の信号組合せ構成部 1 1 6 がその第 2 のモードに構成されたとき、X 線源 1 2 0 ( 及び / 又はその線源回折格子 1 2 4 (  $G_0$  ) ) が第 1 の軸状態に比べて軸の周囲で時計回り又は反時計回りに、( 上述のように他の角度の範囲が使用され得るが ) 実質的に 90° だけ回転させられた第 2 の軸状態に回転される。これは、X 線源 1 2 0 及び / 又は線源回折格子 1 2 4 (  $G_0$  ) を回転させることにより、2 つの好ましい方向における微細構造物の検出を可能にする。

【 0 1 4 9 】

第 4 の態様によると、以下のステップ、すなわち、

a ) 関心物体を検査するために X 線放射線を生成する、及び関心物体に X 線放射線に向けるステップ 1 3 2 と、

b ) 関心物体により位相変調された X 線放射線を X 線ディテクター 1 3 4 において受信するステップ 1 3 4 と、

c ) 入射干渉縞パターンをサンプリングするように配置された複数のスラブを備える構造化シンチレーター層を使用して、変調された X 線放射線を複数の光学スラブ信号に変換するステップ 1 3 6 と、

d ) 複数のサブピクセルを備える構造化シンチレーター層と光通信する光ディテクター層を使用して、複数の光学スラブ信号を検出するステップ 1 3 8 であって、各サブピクセルが、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブから出射されたそれぞれの光学スラブ信号を検出するように、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブと位置合わせされ、光ディテクター層が、関連する光学スラブ信号の存在に基づいて複数の検出信号を提供するように構成された複数の光学的検出セルをさらに備える、ステップ 1 3 8 と、

e ) 信号組合せ構成部を使用して複数のサブピクセルから干渉縞パターンを表す信号を電子的に読み取ること 1 4 0 こと、

を有し、

信号組合せ構成部が、サブピクセルの光学的検出セルの検出信号の組合せとして、少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を生成するように構成され、少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号の各々が、構造化シンチレーター層のそれぞれのスラブにおいて受信された入射 X 線干渉縞パターンに起因して空間信号振幅に比例し、X 線ディテクターのピクセル信号が、スラブの幅により規定された干渉縞サンプリング分解能において少なくとも 2 つの近接したサブピクセルから獲得された少なくとも第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号を含む、

位相コントラスト X 線イメージング及び / 又は暗視野 X 線イメージングのための方法 1 3 0 が提供される。

【 0 1 5 0 】

図 1 2 は、第 4 の態様による方法を示す。

【 0 1 5 1 】

任意選択的に、2 つのモードをもつ第 4 の態様の一実施形態が提供される。ステップ d 1 ) において、X 線ディテクターの信号組合せ構成部 1 1 6 が第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 1 の近接したサブピクセルの集合から必要とされる第 1 のモードに構成される。

【 0 1 5 2 】

ステップ e 1 ) において、第 1 の方向に干渉縞パターンを表す信号が、信号組合せ構成部を使用して第 1 の近接したサブピクセルの集合から電子的に読み取られる。

【 0 1 5 3 】

ステップ d 2 ) において、X 線ディテクターの信号組合せ構成部は、第 1 のサブピクセルの集合及び第 2 のサブピクセルの集合が互いに対する何らかの角度で位置合わせされたとき、第 1 の出力信号及び第 2 の出力信号が第 2 の近接したサブピクセルの集合から必要とされる第 2 のモードに構成される。

【 0 1 5 4 】

ステップ e 2 ) において、第 2 の方向に干渉縞パターンを表す信号は、信号組合せ構成

10

20

30

40

50



部を使用して第2の近接したサブピクセルの集合から電子的に読み取られる。

【0155】

ステップd1)、d2)、e1)、及びe2)の様々な読み取りシーケンスが想定されることが理解される。例えば、シーケンスd1)、e1)、d2)、e2)が好ましい場合がある。代替的に、シーケンスd2)、e2)、d1)、e1)が適用される場合がある。

【0156】

任意選択的に、第1のサブピクセルの集合と第2のサブピクセルの集合とが位置合わせされる角度は90°である(言い換えると、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合のサブピクセルが長方形グリッドを形成する)。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合は、互いに0°から90°の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合は、互いに0°から80°の間の内角をもつように位置合わせされ、任意選択的に、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合は、互いに0°から60°の間の内角をもつように位置合わせされる。任意選択的に、第1のサブピクセルの集合及び第2のサブピクセルの集合は、0°から30°の間の内角をもつように位置合わせされる。

【0157】

第5の態様によると、処理ユニットにより実行されたとき、第4の態様の方法ステップを実施するように適応される、第3の態様のX線イメージングシステムを制御するためのコンピュータプログラム要素が提供される。

【0158】

第6の態様によると、第5の態様のコンピュータプログラム要素を記憶したコンピュータ可読媒体が提供される。

【0159】

したがってさらに本発明の一実施形態であるコンピュータプログラム要素がコンピュータユニットに記憶される。この演算ユニットは、上述の方法のステップを実施するように、又は、上述の方法のステップの実施を誘起するように適応される。さらに、それは、上述の装置のコンポーネントを動作させるように適応される。演算ユニットは、自動的に動作するように、及び/又は、ユーザーの命令を実行するように適応され得る。コンピュータプログラムは、データプロセッサの作業メモリにロードされてよい。したがって、データプロセッサが本発明の方法を実施するように具備されてよい。

【0160】

本発明のこの例示的な実施形態は、初めから搭載される介入を伴うコンピュータプログラムと、更新により既存のプログラムを、本発明を使用するプログラムに変換するコンピュータプログラムとの両方をカバーする。

【0161】

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、他のハードウェア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に記憶されてよく、及び/又は、適切な媒体にのせて配布されてよいが、例えばインターネット又は他の有線又は無線電気通信システムを介して、他の形態で配布されてもよい。しかし、コンピュータプログラムはワールドワイドウェブといったネットワークを通じて提示されてもよく、さらに、こ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内にダウンロードされ得る。

【0162】

本発明のさらなる例示的な実施形態によると、ダウンロードのためにコンピュータプログラム要素を利用可能にする媒体が提供され、このコンピュータプログラム要素が本発明の上述の実施形態のうちの1つによる方法を実施するように構成される。

【0163】

本発明の実施形態が異なる主題を参照しながら説明されることが留意されなければなら

10

20

30

40

50

ない。特に、いくつかの実施形態が方法形態の請求項を参照しながら説明されるのに対し、他の実施形態がデバイス形態の請求項を参照しながら説明される。しかし、当業者は、別段の記載がない限り、ある種類の主題に属する特徴の任意の組合せに加えて、異なる主題に関連した特徴間の他の組合せも本出願において開示されているとみなされることを上述の内容及び以下の説明から理解する。すべての特徴は、特徴の単なる足し合わせを上回る相乗効果を提供するように組み合わせられ得る。

【 0 1 6 4 】

図面及び上述の説明に本発明が例示され、詳細に説明されているが、このような例示及び説明は、例示又は一例とみなされ、限定とはみなされない。本発明は、開示される実施形態に限定されない。開示される実施形態に対する他の変形例が、図面、本開示、及び従属請求項の考察により、請求項に記載された発明を実施する当業者により理解及び実現され得る。

10

【 0 1 6 5 】

特許請求の範囲において、「備える（含む、有する、もつ）」という用語は、他の要素もステップも排除せず、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、が、特許請求の範囲に記載されるいくつかの項目の機能を実現してよい。単に特定の手段が相互に異なる従属請求項に記載されているということが、利点を得るためにこれらの手段の組合せが使用不可能なことを示すわけではない。特許請求の範囲における参照符号は、いずれも特許請求の範囲を限定するように解釈されてはならない。

20

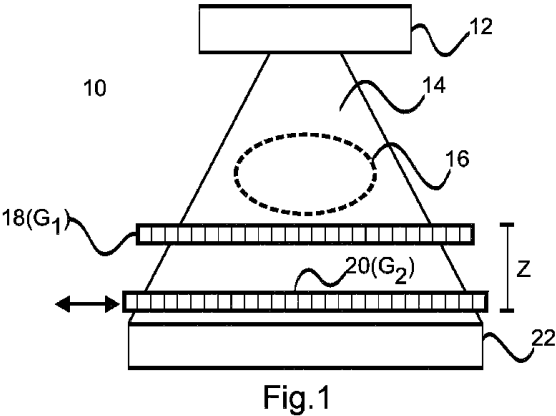
30

40

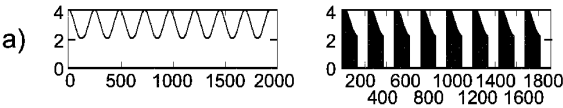
50

【図面】

【図 1】

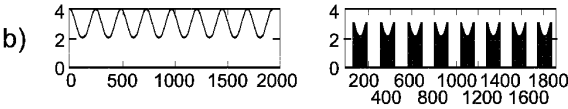


【図 2 a )】

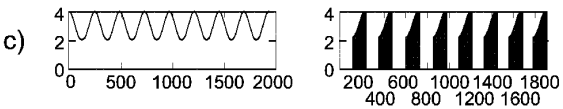


10

【図 2 b )】

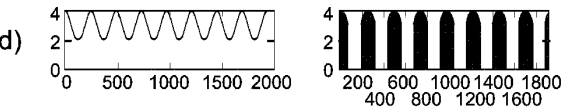


【図 2 c )】



20

【図 2 d )】



【図 3】

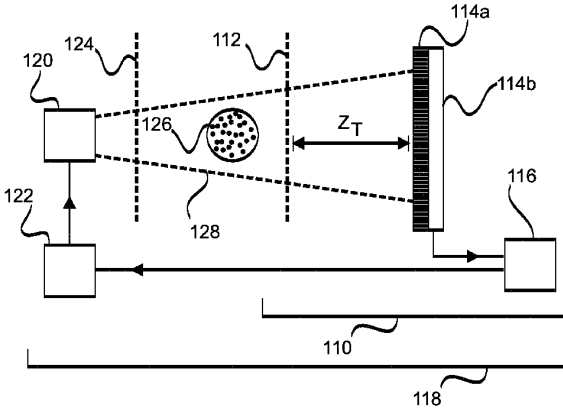


Fig.3

30

40

50

【 図 4 】

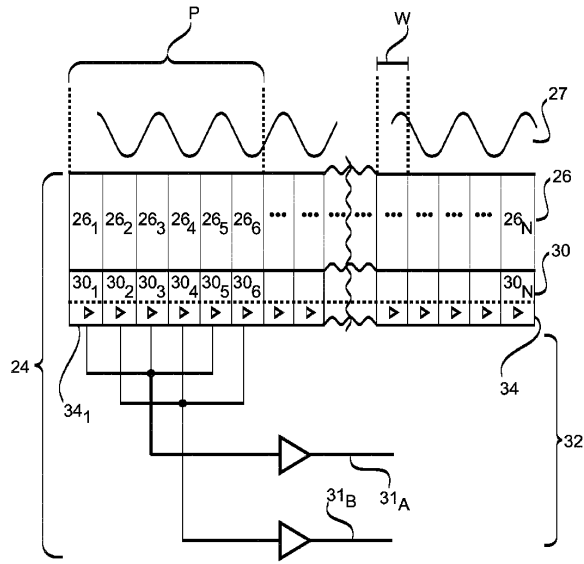


Fig.4

【 図 5 】

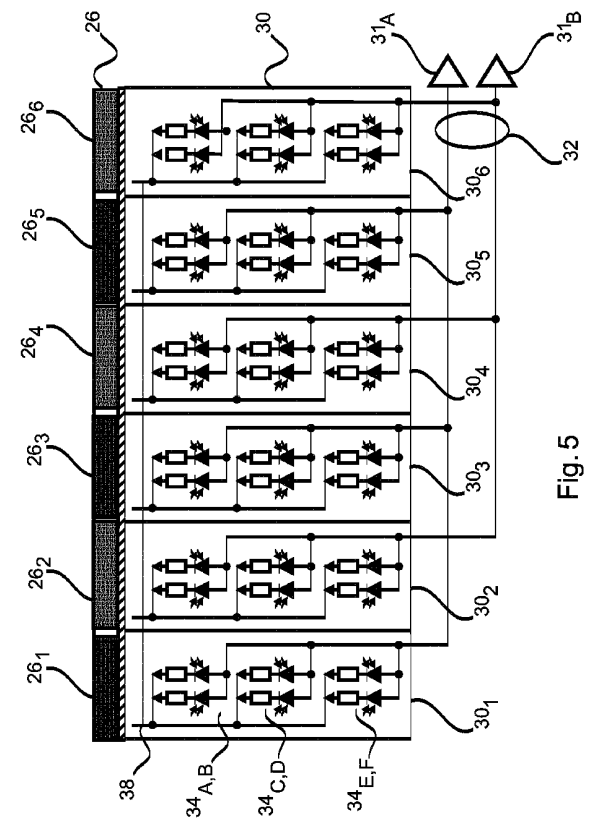


Fig.5

【 図 6 】

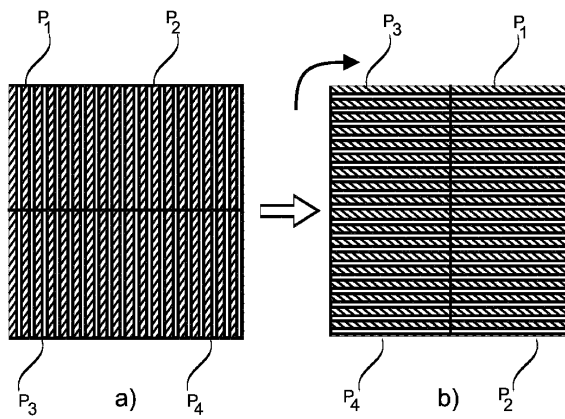


Fig.6

【 図 7 】

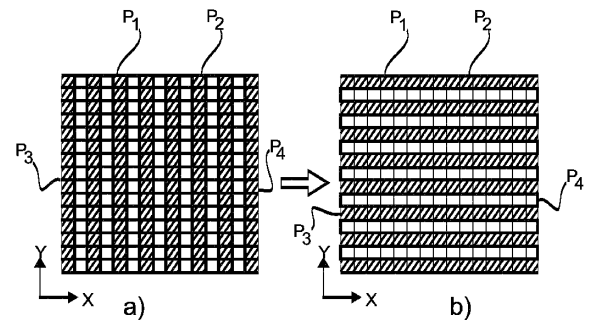


Fig.7

10

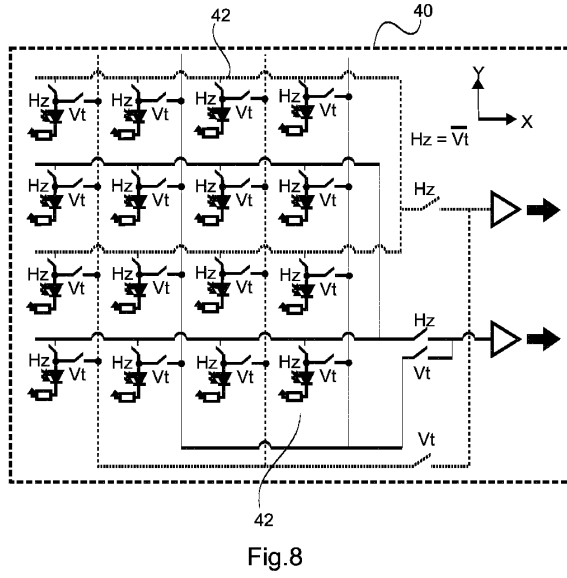
20

30

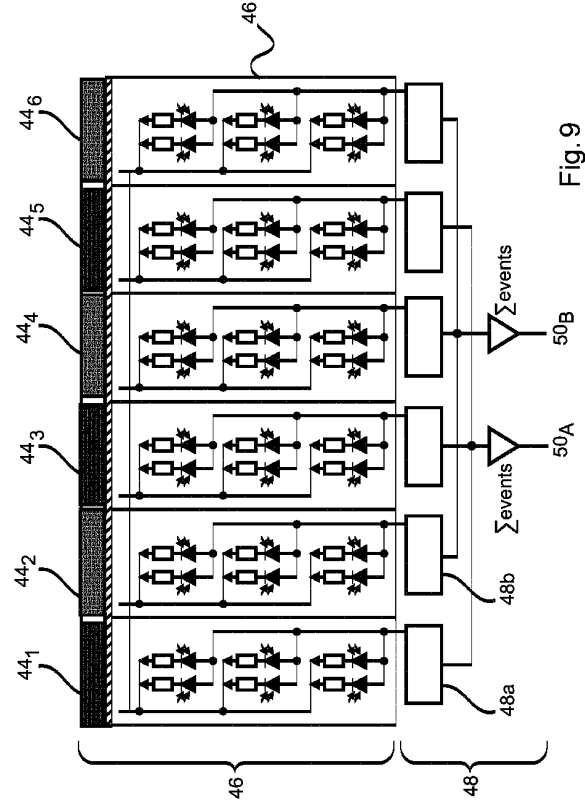
40

50

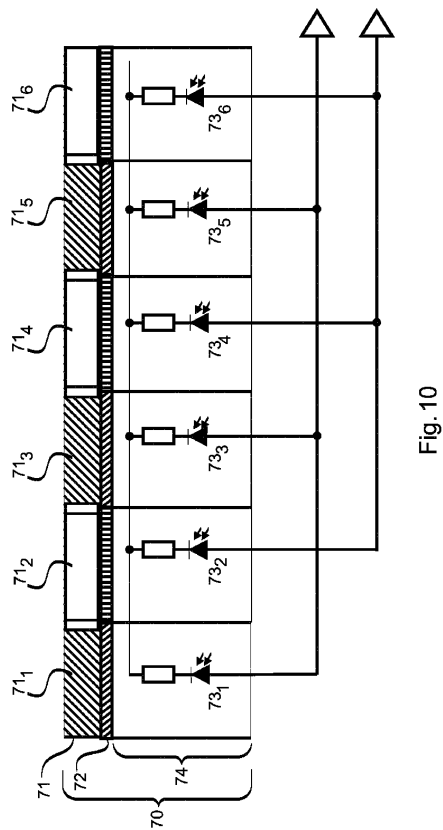
【図 8】



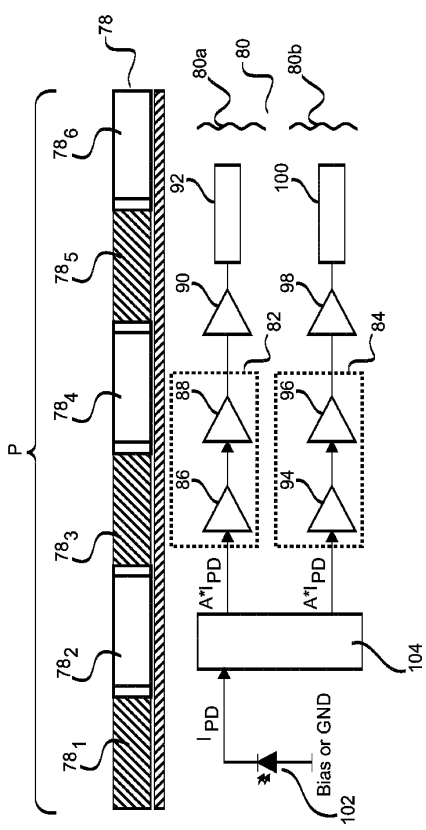
【図 9】



【図 10】



【図 11】



10

20

30

40

50

【 図 1 2 】

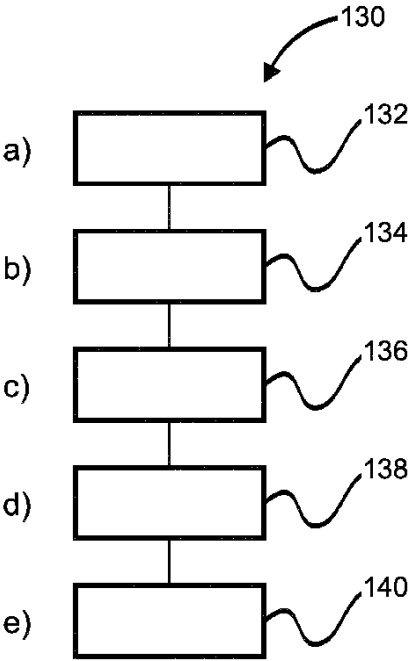


Fig.12

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I  
A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z  
A 6 1 B 6/00 3 0 0 Q

(72)発明者 レッスル エワルド  
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

(72)発明者 ルッテン ウォルター  
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 後藤 大思  
(56)参考文献 特表 2 0 1 4 - 5 1 8 1 1 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 4 - 1 2 1 6 0 7 ( J P , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
G 0 1 T 1 / 0 0 - 1 / 1 6  
1 / 1 6 7 - 7 / 1 2