



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107580473 A

(43)申请公布日 2018.01.12

(21)申请号 201680026177.6

(22)申请日 2016.05.06

(30)优先权数据

15166499.2 2015.05.06 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.11.06

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2016/060166 2016.05.06

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/177875 EN 2016.11.10

(71)申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 E·勒斯尔 H·德尔

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 孟杰雄 王英

(51)Int.Cl.

A61B 6/00(2006.01)

A61B 6/03(2006.01)

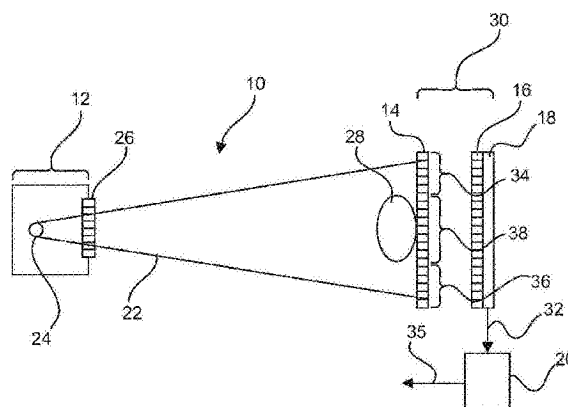
权利要求书3页 说明书15页 附图5页

(54)发明名称

X射线成像

(57)摘要

在经过感兴趣目标之后在探测器处接收到的X射线信号的强度是由所述感兴趣目标引起的衰减、相位变化和散射的函数。在常规的X射线系统中,不可能对这些分量进行解析。本申请讨论了对所述感兴趣目标的部分中的相位差所引起的干涉测量图案的变化不敏感的X射线测量技术。因此,接收到的强度测量仅由衰减分量和散射分量所引起。通过使用这种相位不变的成像器对感兴趣目标做出两次独立的测量,可以分离衰减分量与散射分量,从而提供由所谓的“暗场”效应引起的关于所成像的感兴趣目标的有价值的额外信息。



1. 一种用于对感兴趣目标进行成像的X射线成像系统(10), 包括:

- X射线源(12);
- 相位光栅(14);
- 分析器光栅(16);
- X射线探测器(18); 以及
- 处理单元(20);

其中, 所述X射线源、所述相位光栅、所述分析器光栅和所述X射线探测器被布置在光路中;

其中, 所述X射线源被配置为将X射线施加到能被定位在所述光路中的感兴趣目标;

其中, 所述分析器光栅被提供在所述X射线探测器附近或被提供为与所述X射线探测器一体形成;

其中, 所述相位光栅被配置为生成X射线辐射中的干涉图案, 所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布, 所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离, 其中, 所述干涉图案的所述强度峰值通过所述分析器光栅的所述透明部分入射在所述X射线探测器上;

其中, 所述X射线探测器被配置为通过测量第一干涉图案来生成第一X射线信号, 并且通过独立地测量第二干涉图来生成第二X射线信号, 所述干涉图案指示所述X射线辐射与所述光路中的感兴趣目标的相互作用; 并且

其中, 所述处理单元被配置为使用所述第一X射线信号和所述第二X射线信号来计算所述第一干涉图案和所述第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。

2. 根据权利要求1所述的X射线成像系统(10),

其中, 所述X射线探测器(18)是能量敏感探测器, 所述能量敏感探测器被配置为通过探测第一光子能量来生成所述第一X射线信号, 并且通过探测第二光子能量来生成所述第二X射线信号, 其中, 所述第一光子能量和所述第二光子能量是互不相同的。

3. 根据权利要求1所述的X射线成像系统(10),

其中, 所述X射线成像系统被配置为将所述第一X射线信号和所述第二X射线信号中的每个生成为复合信号, 其中, 所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用非相干X射线做出的第二测量, 并且其中, 所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测量。

4. 根据权利要求3所述的X射线成像系统(10), 还包括:

能选择的X射线散射体, 其能被定位在所述光路中, 并且能被配置成其中所述X射线为相干的第一状态, 并且能被配置成用于与所述X射线相互作用而使得所述X射线变得不相干的第二状态;

其中, 所述第一测量和所述第三测量是利用处于所述第一状态中的所述能选择的X射线散射体来做出的, 并且其中, 所述第二测量和所述第四测量是利用处于所述第二状态中的所述能选择的X射线散射体来做出的; 并且

其中, 所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

5. 根据权利要求1所述的X射线成像系统(10),

其中,所述X射线探测器(18)包括被X射线散射体覆盖的第一部分和未被所述X射线散射体覆盖的第二部分;并且

其中,所述X射线成像系统被配置为使用所述X射线探测器的所述第一部分来生成所述第一X射线信号,并且使用所述X射线探测器的所述第二部分来生成所述第二X射线信号。

6. 根据权利要求1-5中的任一项所述的X射线成像系统(10),

其中,所述相位光栅被配置为将所述干涉图案生成为具有强度峰值,所述强度峰值具有小于所述干涉图案的周期的一半的半峰全宽距离。

7. 根据权利要求1至6中的任一项所述的X射线成像系统(10),

其中,所述X射线成像系统是从以下项的组中选择的:CT扫描器、C型臂扫描器、乳房X射线摄影扫描器、断层合成扫描器、诊断X射线扫描器、临床前成像扫描器、非破坏性测试扫描器或行李安全扫描器。

8. 一种用于X射线成像的方法(64),包括以下步骤:

a) 使用X射线源将X射线辐射施加(66)到感兴趣目标;

b) 将所述X射线辐射施加(68)到相位光栅;

其中,所述相位光栅被配置为生成所述X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过所述分析器光栅的所述透明部分入射在所述X射线探测器上;

c) 将所述X射线辐射施加(70)到分析器光栅,

其中,所述分析器光栅被提供在所述X射线探测器附近或被提供为与所述X射线探测器一体形成;

d) 通过利用所述X射线探测器测量第一干涉图案来生成(72)第一X射线信号;

e) 通过利用所述X射线探测器独立地测量第二干涉图案来生成(74)第二X射线信号;

f) 使用所述第一X射线信号和所述第二X射线信号来计算(76)所施加的X射线的衰减分量和暗场分量,

其中,所述第一干涉图案和所述第二干涉图案指示所述X射线辐射与光路中的感兴趣目标的相互作用。

9. 根据权利要求8所述的方法,

其中,在步骤d)中,所述第一X射线信号是通过探测第一光子能量来生成的;

其中,在步骤e)中,所述第二X射线信号是通过探测第二光子能量来生成的,其中,探测到的所述第一光子能量和所述第二光子能量是互不相同的。

10. 根据权利要求8所述的方法,

其中,在步骤d)中,所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用非相干X射线做出的第二测量而被生成为复合信号,并且

其中,在步骤e)中,所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测量而也被生成为复合信号。

11. 根据权利要求8所述的方法,还包括以下步骤:

d1) 将能被定位在所述光路中的能选择的X射线散射体切换到第一状态中而使得所述X射线是相干的;

d2) 执行所述第一测量;

d3) 将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X射线相互作用而使得所述X射线是不相干的;

d4) 执行所述第二测量;

e1) 将处于第一状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路外而使得所述X射线是相干的;

e2) 执行所述第三测量;

e3) 将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X射线相互作用而使得所述X射线是不相干的;并且

e4) 执行所述第四测量;并且

其中,在步骤f)中,所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

12. 根据权利要求8所述的方法,

其中,在步骤d)中,所述第一X射线信号是使用所述X射线探测器的被X射线散射体覆盖的第一部分来生成的;并且

其中,在步骤e)中,所述第二X射线信号是使用所述X射线探测器的未被所述X射线散射体覆盖的第二部分来生成的。

13. 一种用于控制根据权利要求1至7中的任一项所述的系统的计算机程序单元,所述计算机程序单元在由处理单元执行时适于执行根据权利要求8至12中的任一项所述的方法的步骤。

14. 一种存储有根据权利要求13所述的程序单元的计算机可读介质。

15. 一种用于对传统的X射线扫描器进行改型的零件套件,包括:

-X射线探测器,其具有静态分析器光栅,所述静态分析器光栅在所述X射线探测器附近或与所述X射线探测器一体形成;

-相位光栅,其被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过分析器光栅的透明部分入射在被安装的X射线探测器上;以及

-根据权利要求14所述的计算机可读介质;

其中,将所述零件套件安装到所述传统的X射线扫描器使得所述传统的X射线扫描器能够计算所述第一干涉图案和所述第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。

X射线成像

技术领域

[0001] 本发明涉及用于对感兴趣目标进行成像的X射线成像系统、用于X射线成像的方法、计算机程序单元、计算机可读介质以及用于对传统的X射线扫描器进行改型的零件套件。

背景技术

[0002] 常规的X射线成像涉及在X射线束已经穿过感兴趣目标之后使用例如常规的X射线胶片或数字探测器对X射线束的强度分布进行采样。然而,感兴趣目标中的不同材料以不同的方式影响X射线束的相位,提供了关于感兴趣目标的内部结构的另一信息源。过去,这些信息丢失了。相衬X射线成像利用了被成像目标会对X射线引起相位变化。

[0003] 在相衬X射线成像设置中,X射线源照射相位光栅,所述相位光栅建立了在X射线探测器处探测到的在相位光栅之外的X射线最大值和最小值的干涉测量图案。入射在相位光栅上的X射线束的部分中的相位变化将引起干涉测量图案的有关部分在X射线探测器的平面内移位。X射线探测器的分辨率通常不足够好以直接对干涉图案进行采样。因此,提供了一种可移动分析器光栅。相衬成像器通过在X射线探测器的平面上将分析器光栅移动固定数量的步长来对干涉图案进行采样,由此导出关于相移的信息。

[0004] WO 2014/206841涉及一种相衬成像系统。然而,这样的系统能够被进一步改进。

发明内容

[0005] 因此,具有用于X射线成像的改进的技术将是有利的。

[0006] 为此,本发明的第一方面提供了一种用于对感兴趣目标进行成像的X射线成像系统。所述系统包括X射线源、相位光栅、分析器光栅、X射线探测器以及处理单元。

[0007] 所述X射线源、所述相位光栅、所述分析器光栅和所述X射线探测器被布置在光路中。所述X射线源被配置为将X射线施加到能被定位在所述光路中的感兴趣目标。

[0008] 所述分析器光栅被提供在所述X射线探测器附近或被提供为与所述X射线探测器一体形成。所述相位光栅被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过所述分析器光栅的所述透明部分入射在所述X射线探测器上。

[0009] 所述X射线探测器被配置为通过测量第一干涉图案来生成第一X射线信号,并且通过独立地测量第二干涉图案来生成第二X射线信号。借助于所述相位光栅生成的所述干涉图案指示所述X射线辐射与所述光路中的感兴趣目标的相互作用。在生成所述第一X射线信号和所述第二X射线信号时,利用所使用的X射线辐射的物理特性的差异。

[0010] 所述处理单元被配置为使用所述第一X射线信号和所述第二X射线信号来计算所述第一干涉图案和所述第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。

[0011] 根据本发明的这个方面,提供了一种X射线成像系统,所述X射线成像系统不需要

使用移动分析器光栅所提供的相位步进或者备选地通过移动相衬配置的源光栅或焦点对干涉图案的采样。因此,能够减少基于光栅的扫描器的机械复杂性。另外,更快的X射线采集时间是可能的。这种技术也更容易应用于CT扫描,这是因为在CT扫描器的旋转头中难以实现相位步进。

[0012] 根据本发明的第二方面,提供了一种用于X射线成像的方法。所述方法包括以下步骤:

[0013] a) 使用X射线源将X射线辐射施加到感兴趣目标;

[0014] b) 将所述X射线辐射施加到相位光栅;其中,所述相位光栅被配置为生成所述X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过所述分析器光栅的所述透明部分入射在所述X射线探测器上;

[0015] c) 将所述X射线辐射施加到分析器光栅,其中,所述分析器光栅被提供在所述X射线探测器附近或被提供为与所述X射线探测器一体形成;

[0016] d) 通过利用所述X射线探测器测量第一干涉图案来生成第一X射线信号;

[0017] e) 通过测量指示所述X射线辐射与光路中的感兴趣目标的相互作用的第二干涉图案来生成第二X射线信号;

[0018] f) 使用所述第一X射线信号和所述第二X射线信号来计算所述第一干涉图案和所述第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。

[0019] 根据本发明的第三方面,提供了一种用于控制如上所述的系统的计算机程序单元,所述计算机程序单元当由处理单元执行时适于执行如上所述的方法的步骤。

[0020] 根据本发明的第四方面,提供了一种存储有先前描述的程序单元的计算机可读介质。

[0021] 根据本发明的第五方面,提供了一种用于对传统的X射线扫描器进行改型的零件套件。

[0022] 所述零件套件包括:X射线探测器,其具有分析器光栅,所述分析器光栅在所述X射线探测器附近或与所述X射线探测器一体形成;相位光栅,其被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过分析器光栅的所述透明部分入射在被安装的X射线探测器上;以及根据上文描述的计算机可读介质。

[0023] 将所述零件套件安装到所述传统的X射线扫描器使得所述传统的X射线扫描器能够计算所述X射线的衰减分量和暗场分量。

[0024] 从另一种角度看,本发明的概念是使用两次独立的测量来测量强度分布,亦即,在两次测量之间用于生成干涉图案的X射线辐射的物理特性是不同的。然后能够计算强度图案的衰减分量和暗场分量。这是可能的,这是因为利用分析器光栅时X射线探测器具有相位不变探测行为以及具有相对薄的强度最大值的干涉条纹。因此,干涉测量设备对X射线中的相移不敏感。

[0025] 本发明允许在诸如医院的临床环境中的有用应用。更具体地,本发明非常适合用于成像模式中的应用,例如,用于对患者的医学检查的乳房X射线摄影、诊断放射学、介入放

射学和计算机断层摄影(CT)。另外,本发明允许在工业环境中的有用应用。更具体地,本发明非常适合用于非破坏性测试中的应用(例如,关于生物以及非生物样品的组成、结构和/或质量的分析)以及安全扫描(例如,机场上对行李的扫描)。

[0026] 在下面的描述中,术语“强度分布”是指在X射线探测器的平面上探测到的X射线束的能量范围。因此,在像素化X射线探测器中,当通过X射线成像系统对不均匀材料进行成像时,每个像素将记录针对X射线强度的不同值。

[0027] 在每个像素处探测的强度分布的强度是由X射线的吸收所引起的衰减分量、由被成像材料引起的X射线的相位变化所引起的相位分量以及由材料内部的X射线的小角度散射所引起的散射分量的函数。因此,在每个像素处探测到的强度是这三个分量的函数。在相位光栅存在的情况下,X射线探测器平面上的强度分布将是干涉测量图案的形式,例如,Talbot地毯。

[0028] 强度分布将具有至少一个“强度最大值”。这是强度分布中经历最高强度的点。当然,由于干涉测量图案是重复图案,因此强度分布也能够被认为具有大量的最大值。

[0029] “强度峰值”包括强度最大值,以及在峰值能量已经下降到某一定义值之前峰值的任一侧的一定距离。峰值可以由“半峰全宽距离”来定义。

[0030] 给定的数学函数的“半峰全宽距离”是两个独立变量之间的距离,其中,因变量等于其最大值的一半。因此,强度最大值的每一侧的具有强度最大值的一半强度的两点之间的距离是半峰全宽距离的定义。

[0031] “X射线信号”是表示X射线探测器的平面上入射在X射线探测器上的X射线的强度的一系列像素强度值。

[0032] 在下面的描述中,术语“与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄”意指强度峰值的半峰全宽距离是后面的分析器光栅的宽度的一小部分。定义强度分布的一种方法是通过使用半峰全宽准则。

[0033] 换句话说,本发明的一个方面利用了这样的事实:即,当窄的干涉条纹被应用到具有比干涉条纹宽很多的透明部分的分析器光栅时,被成像材料的相位变化将不会被X射线探测器探测到。这是可能的,这是因为即使由被检查目标引起的相位变化将导致干涉图案的部分移动,干涉最大值携带所传输的X射线能量的最大份额,并且它们只能在一个分析器沟槽内移动,这是因为干涉最大值非常薄。干涉最大值不会与分析器光栅的光栅条碰撞,除非经历极端相移。因此,被检查材料引起的相当大的相位变化不会导致干涉最大值同时照射连续的X射线探测器像素,并且生成的干涉图案基本上仅包括表示X射线辐射的衰减和小角度散射(暗场分量)的分量。

[0034] 在没有任何相移分量信号变化的情况下,需要在X射线探测器处的强度的仅两次独立测量(亦即,利用X射线辐射的物理特性的差异的测量)来分清入射X射线的衰减分量和散射分量。因此,提供了使用不需要采用步进式(移动)分析器光栅进行采样的干涉仪的成像机构。因此,有利地,可以使用更简单和更高效的成像系统来导出关于X射线的暗场分量的信息。

[0035] 在根据本发明的X射线成像系统的范例中,不同的物理特性在于X射线辐射的能级。在这种情况下,具体地,所述X射线探测器可以是能量敏感探测器,所述能量敏感探测器被配置为通过探测第一光子能量来生成第一X射线信号,并且通过探测第二光子能量来生

成第二X射线信号,其中,所述第一光子能量和所述第二光子能量是互不相同的。

[0036] 在根据本发明的X射线成像系统的另一范例中,使用X射线辐射的相干性的差异。

[0037] 在这种情况下,优选地,所述X射线成像系统被配置为将所述第一X射线信号和所述第二X射线信号中的每个生成为复合信号,其中,所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用非相干X射线做出的第二测量,并且其中,所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测量。

[0038] 在根据本发明的X射线成像系统的另一范例中,所述X射线成像系统还包括:能选择的X射线散射体,其能被定位在所述光路中,并且能被配置成其中所述X射线为相干的第一状态,并且能被配置成用于与所述X射线相互作用而使得所述X射线变得不相干的第二状态;其中,所述第一测量和所述第三测量是利用处于所述第一状态中的所述能选择的X射线散射体来做出的,并且其中,所述第二测量和所述第四测量是利用处于所述第二状态中的所述能选择的X射线散射体来做出的;并且其中,所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

[0039] 在根据本发明的X射线成像系统的另一范例中,所述X射线探测器包括被X射线散射体覆盖的第一部分和未被所述X射线散射体覆盖的第二部分;并且所述X射线成像系统被配置为使用所述X射线探测器的所述第一部分来生成所述第一X射线信号,并且使用所述X射线探测器的所述第二部分来生成所述第二X射线信号。

[0040] 在根据本发明的X射线成像系统的另一范例中,所述相位光栅被配置为将所述干涉图案生成为强度峰值,所述强度峰值具有小于所述干涉图案的周期的一半的半峰全宽距离。

[0041] 在根据本发明的X射线成像系统的另一范例中,所述X射线成像系统是从以下项的组中选择的:CT扫描器、C型臂扫描器、乳房X射线摄影扫描器、断层合成扫描器、诊断X射线扫描器、临床前成像扫描器、非破坏性测试扫描器或行李安全扫描器。

[0042] 在根据本发明的X射线成像方法的范例中,所述第一X射线信号是通过探测第一光子能量来生成的,并且所述第二X射线信号是通过探测第二光子能量来生成的,其中,探测到的所述第一光子能量和所述第二光子能量是互不相同的。

[0043] 在根据本发明的X射线成像方法的另一范例中,所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用非相干X射线做出的第二测量被生成为复合信号;并且所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测量而也被生成为复合信号。

[0044] 根据本发明的X射线成像方法的另一范例包括以下步骤:将能被定位在所述光路中的能选择的X射线散射体切换到第一状态中而使得所述X射线是相干的;执行所述第一测量;将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X射线相互作用而使得所述X射线是不相干的;执行所述第二测量;将处于第一状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路外而使得所述X射线是相干的;执行所述第三测量;将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X射线相互作用而使得所述X射线是不相干的;并且执行所述第四测量;其中,所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

[0045] 在根据本发明的X射线成像方法的另一范例中,所述第一X射线信号是使用所述X

射线探测器的被X射线散射体覆盖的第一部分来生成的；并且所述第二X射线信号是使用所述X射线探测器的未被所述X射线散射体覆盖的第二部分来生成的。

[0046] 参考下文描述的实施例，本发明的这些方面和其它方面将变得明显且得到阐明。

附图说明

[0047] 将参考以下附图描述本发明的示范性实施例：

[0048] 图1图示了根据本发明的第一方面的用于对感兴趣目标进行成像的X射线成像系统。

[0049] 图2A图示了由相位光栅结构产生的传播波相位分布。

[0050] 图2B图示了由图2A的相位光栅结构引起的干涉图案。

[0051] 图3示出了X射线探测器的部分。

[0052] 图4A示出了具有不同位置的干涉最大值的X射线探测器的部分。

[0053] 图4B示出了当对具有微观结构的目标进行成像时的X射线探测器。

[0054] 图5示出了X射线成像系统的另一范例。

[0055] 图6示出了根据本发明的第二方面的方法。

具体实施方式

[0056] 在X射线成像的情况下，通过所谓的“暗场”携带大量的信息，并且该信息在临床情况下提供关于被成像目标的有用信息。暗场具有由正在被成像的目标内部的X射线的小角度散射机制形成的图像对比特性。这样的散射提供了关于要被成像的目标的补充的且通过其他方式不可获得的结构信息。

[0057] 根据图案的衰减分量、相变分量和散射分量来确定X射线图案的强度。

[0058] 通常，暗场信息丢失，这是因为先前不容易对强度分布的暗场分量进行解析。常规地（在差分相衬成像中），通过在条纹相位实现的完整周期上对分析器光栅进行步进并测量由于分析器光栅的步进（或源光栅的移动或X射线源的焦点的移动）而观察到的所得到的强度调制来对强度分布进行成像。

[0059] 根据该调制，能够确定X射线束的相变分量。这种相位步进在机械上是复杂的。该技术难以在采集时间短的情况下使用。机械复杂的机器将更加昂贵。对于CT成像，例如，在图像采集期间机架的旋转禁止针对每个角度视图的经典相位步进。

[0060] 根据本发明的第一方面，提供了一种用于对感兴趣目标进行成像的X射线成像系统10。该系统包括X射线源12、相位光栅14、分析器光栅16、X射线探测器18和处理单元20。

[0061] X射线源12、相位光栅14、分析器光栅16和X射线探测器18被布置在光路22中。X射线源12被配置为将X射线施加到能被定位在光路22中的感兴趣目标28。分析器光栅16被提供为在X射线探测器18附近或被提供为与X射线探测器18一体形成。可以理解，感兴趣目标28是能移除的并且不是本发明的部分。

[0062] 相位光栅14被配置为生成X射线辐射中的干涉图案，所述干涉图案包括具有最大值的强度分布，所述最大值具有与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离。所述强度最大值通过分析器光栅的透明部分入射在X射线探测器18上。通常，使用能够生成具有多个精细的干涉最大值的合适的X射线干涉测量图案的特殊光栅来应用Talbot干涉

仪。

[0063] 根据本发明的实施例,相位光栅被配置为生成Talbot地毯。

[0064] X射线探测器18被配置为通过测量第一干涉图案来生成第一X射线信号。X射线探测器被配置为通过测量第二干涉图案来生成第二X射线信号。干涉图案指示X射线辐射与光路中的感兴趣目标的相互作用。处理单元20被配置为使用第一X射线信号和第二X射线信号来计算第一干涉图案和第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。优选地,在生成第一X射线信号和第二X射线信号时,正在利用X射线辐射的不同物理性质。

[0065] 图1示出了根据本发明的第一方面的系统10的范例。X射线源12被示为包括例如旋转阳极X射线管24。从X射线管发出的辐射是不相干的。干涉测量假设使用相干辐射。因此,当使用X射线旋转管作为源24时,通过被设计为提供相干辐射的源光栅26照射X射线束来提供相干X射线。当然,存在提供相干X射线辐射而不使用源光栅的方法。

[0066] 根据备选实施例,X射线源是同步加速器或自由电子激光器。

[0067] 当可获得相干光源时,源光栅26能够任选地被省略。光路22位于X射线源12与相位光栅14之间的线上。在相位光栅14之外是分析器光栅16,所述分析器光栅16被提供在X射线探测器18附近或被提供为与X射线探测器18一体形成。

[0068] X射线探测器18包括多个像素,所述多个像素发出与像素上的入射的X射线光的强度成比例的电信号。备选地,X射线探测器18可以是能量分辨光子计数探测器,能够将不同能量的光子解析到不同的能量箱中。

[0069] 当X射线源12通电时,X射线束入射在源光栅26上。感兴趣目标28被照射,相位光栅14在相位光栅14之后建立在X射线辐射中的干涉图案。因此,由托架30限定的空间可以被认为是干涉仪。干涉图案的条纹将入射在分析器光栅16上。分析器光栅的部分包括阻挡干涉图案的入射部分的诸如金的X射线阻挡材料。相反,分析器光栅的透明部分将使得入射在该位置处的X射线辐射能够继续进入X射线探测器18并被探测。

[0070] 处理单元20被配置为从X射线探测器收集多个信号32,所述多个信号32是使用读出电子器件32收集和预处理的。处理单元20分别计算由于衰减和/或散射引起的接收到的第一干涉图案和第二干涉图案的分量。然后将衰减分量和散射分量输出到随后的系统35。例如,随后的系统是存储设备、查看监视器或通信连接。

[0071] 在托架34和36包括的干涉仪的区域处获得的干涉图案不包括由感兴趣目标28引起的相位扰动,这是因为X射线尚未通过感兴趣目标。相反,在由托架38表示的感兴趣目标28的直接光路中的干涉图案将在X射线探测器平面18上平移。

[0072] 现在转到图2A,讨论了根据本发明实施例的相位光栅14的其它细节。相位光栅14被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离。

[0073] 为了生成具有与分析器光栅的透明部分相比窄的半峰全宽距离的强度峰值的强度分布,相位光栅应当被设计为生成精细的干涉条纹,并且分析器光栅应当被设计为具有比典型的更宽的占空比。图2A示出了与相位光栅结构相关联的传播波相位轮廓,所述相位光栅结构被设计为生成具有强度最大值的干涉图案,所述强度最大值具有显著小于图案的周期的一半的半峰全宽(FWHM)。

[0074] 国际公开号W0 2012/104770 A2讨论了一种作为偏转结构板的这种相位光栅的设

计。

[0075] 在图2A中,x轴42表示跨越相位光栅16的平面的横向维度。y轴44图示了在跨越光栅的横向维度上的某些点处的X射线相位差(范围在 $+\pi$ 至 $-\pi$ 弧度之间)。

[0076] 图2B示出了当将图2A的相位光栅结构应用为相位光栅16时并且当没有分析器光栅时,X射线探测器的平面上的传播波强度分布。

[0077] 图2B中的x轴46图示了跨越典型干涉图案的以微米为单位的横向维度。y轴48图示了干涉仪中的探测器平面上的归一化的X射线强度。如图所示,图2A所示的相位光栅结构产生的探测器处的传播波强度分布具有两个峰值,其形状接近于正弦函数的平方的形状。因此,干涉条纹比常规步进式相衬系统中预期的普通正弦波强度分布要精细得多。

[0078] 转到图3,示出了X射线探测器布置50。X射线探测器布置50包括硅晶片52和多条分析器光栅线54。在所述硅晶片52中,制造了X射线探测器18的像素56。分析器光栅线由吸收X射线的致密材料制成。例如,分析器光栅能够由金制成。

[0079] 分析器光栅被提供在X射线探测器18附近或与X射线探测器18一体形成(被制造在硅晶片52中)。因此,在图3所示的实施例中,分析器光栅线54例如由于已经在沉积工艺中被沉积而被直接附着在硅晶片52上。备选地,分析器光栅线54可以被布置在另一X射线透明材料上,并且被保持在硅晶片52附近。

[0080] 硅晶片52包括多个X射线探测器像素56a、56b、56c、56d。当像素56暴露于X射线辐射时,它们发出可以由读出电子器件探测的电信号,并被发送以供进一步处理。发射的电信号的幅值与入射在每个像素上的X射线的强度成比例。

[0081] 备选地,能量分辨探测器像素(和伴随电路)能够识别具有不同能量的光子并将其分配给特定的能量箱。

[0082] 在图3中,分析器光栅具有间距 w_g 、光栅线厚度 t_g 和高度 h_g 。没有被分析器光栅线54中的一条覆盖的硅晶片的部分被认为是透明光栅部分,与分析器光栅线54相比,其允许X射线辐射的未衰减的经过。间距 w_g 是光栅线的宽度加上透明光栅部分的宽度。经过相位光栅(未示出)的X射线入射在分析器光栅线54上。X射线波前由箭头58示出。

[0083] 在使用根据本发明的实施例的相位光栅的情况下,由60a、60b、60c和60d表示的精细干涉条纹分别通过透明光栅部分入射在X射线探测器像素56a、56b、56c和56d上。分析器光栅54的每个透明部分与各自的探测器像素56a、56b、56c、56d相对准。

[0084] 在所示的范例中,精细干涉条纹具有强度分布,所述强度分布具有与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离。因此,经过透明光栅部分的干涉条纹中的基本上全部能量将被X射线探测器解析,允许通常的X射线探测器转换损失。

[0085] 图4A示出了类似于图3的X射线探测器组件的X射线探测器组件50,其包括在硅晶片上的相同的分析器光栅线54和X射线探测器52。在这种情况下,在相同的图上图示了三种不同干涉分布的影响。众所周知,引起光路28中的X射线的相位差的材料部分将在相位光栅14之后引起干涉图案在分析器平面上的横向移动。

[0086] 因此,例如,干涉最大值62b指示参考相位角 ϕ 弧度处的干涉最大值的正常位置。在像素的左端的干涉条纹62a的位置图示了 $\phi-\delta$ 弧度的干涉图案的部分的相移。干涉条纹62c图示了具有 $\phi+\delta$ 弧度的相移的干涉条纹的位置。这样的移动能够由例如感兴趣目标28从软组织到骨骼的材料转变所引起。

[0087] 因此,能够看出,由于在光路的部分中经历相移,相对较窄的干涉最大值62将在分析器光栅54的沟槽中漂移。由于分析器光栅54的每个透明部分与探测器像素56a、56b、56c、56d中的一个相对准,因此,清楚的是,即使相移小至 $\varphi-\delta$ 或与 $\varphi+\delta$ 一样大,干涉最大值也不会与分析器光栅线54碰撞,并且将在宽范围的相位内照射相同的探测器像素。

[0088] 如果波前经历大于 $\varphi-\delta$ 或 $\varphi+\delta$ 的相移,则干涉条纹62将与例如光栅54或55碰撞。然而,光栅维度能够被设计为使得对于由于感兴趣目标在X射线成像系统的特定应用区域而经历的大多数相移,X射线探测器将基本上是相位不变的。

[0089] 换句话说,生成具有与分析器光栅54的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽的强度分布的相位光栅的布置使得(由于感兴趣目标的材料均匀性的变化引起的)相位分量从X射线探测器18探测到的强度分布中被去除。

[0090] 强度分布的其余分量由感兴趣目标的衰减和被成像材料中的微观结构对X射线波前的散射所产生。这种散射被称为暗场散射。由于通过相位光栅和分析器光栅的这种组合来去除由材料引起的相位变化,因此,为了分离衰减分量与暗场分量,做出对感兴趣目标的至少两次独立测量。然后,可以计算X射线的衰减分量和暗场分量。随后将讨论执行这种独立测量的方法。

[0091] 图4B示出了由X射线源12照射的光路中的感兴趣目标是包含微观结构的感兴趣目标28的情况。典型的微观结构是例如在哺乳动物骨骼内部发现的具有微米数量级的矩阵重复的精细骨架矩阵。

[0092] 在分析器光栅处观察到的强度调制示出了如上所述的干涉仪如何对由微观结构引起的波前平坦度的干扰敏感。能够看出,由折射引起的干涉条纹引起光谱特性变宽63。在分析器光栅的分析器光栅线54中将吸收越来越多的强度,这将对应于像素56a、56b、56c、56d中的每个处吸收的强度的降低。

[0093] 如上所述,为了通过衰减和散射来区分测得的强度的降低,需要至少两次不同的测量,而不需要分析器光栅16的移动。

[0094] 因此,在本发明的实施例中,分析器光栅是静态光栅。

[0095] 这与差分相衬成像系统的要求相当,在所述差分相衬成像系统中,必须做出分析器光栅的大约八个机械相位步长来确定X射线强度分布,这意味着时间延迟和机械复杂性。

[0096] 如上所述,相位光栅14被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离。

[0097] 现在将更详细地讨论多少能够构成窄的半峰全宽距离以及能够实现这一点的光栅尺寸。

[0098] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,相位光栅14被配置为将干涉图案提供为具有小于干涉图案的周期的一半的半峰全宽的干涉图案。

[0099] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,相位光栅14被配置为将干涉图案提供为具有小于分析器间距 W_g 的宽度的一半的半峰全宽的干涉图案。

[0100] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,相位光栅14被配置为提供具有强度峰值的干涉图案,所述强度峰值半峰全宽距离小于从干涉图案的周期的0.7、0.65、0.60、0.55、0.50、0.45、0.4、0.35、0.3、0.25、0.2、0.15、0.1、0.05、0.04、0.03、

0.02或0.01的列表中选择任何值。

[0101] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,相位光栅14被配置为提供具有强度峰值的干涉图案,所述强度峰值半峰全宽距离小于从分析器间距 W_g 的宽度的0.7、0.65、0.60、0.55、0.50、0.45、0.4、0.35、0.3、0.25、0.2、0.15、0.1、0.05、0.04、0.03、0.02或0.01的列表中选择任何值。

[0102] 应当注意,术语“干涉图案的周期”意指距干涉图案上的一个点的距离,在该距离内发生了干涉图案强度的一个全振荡。

[0103] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,相位光栅14被配置为提供半峰全宽距离小于分析器光栅的周期的0.7,0.65,0.60,0.55,0.50,0.45,0.4,0.35,0.3,0.25,0.2,0.15,0.1,0.05,0.04,0.03,0.02或0.01的列表中选择任何值的干涉图案。

[0104] 应当注意,术语“分析器光栅的周期”意指距分析器光栅上的一个点的距离,在该距离内发生分析器光栅的分布的一个全振荡。

[0105] 因此,与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的强度峰值可以是具有至少根据上述定义选择的维度的强度峰值。

[0106] 分析器光栅16的占空比被认为是由分析器光栅的透明部分的宽度与光栅间距的比率来表示的。

[0107] 根据本发明的实施例,分析器光栅和/或相位光栅具有等于或小于从以下长度列表中的一个选择的长度的间距:0.95 μm 、1.0 μm 、1.05 μm 、1.10 μm 、1.15 μm 、1.20 μm 、1.25 μm 、1.30 μm 、1.35 μm 、1.40 μm 、1.45 μm 、1.50 μm 、1.55 μm 、1.60 μm 、1.65 μm 、1.70 μm 、1.75 μm 、1.80 μm 、1.85 μm 、1.90 μm 、1.95 μm 、2.0 μm 、2.05 μm 、2.10 μm 、2.15 μm 、2.20 μm 、2.25 μm 、2.30 μm 、2.35 μm 、2.40 μm 、2.45 μm 、2.50 μm 、2.55 μm 、2.60 μm 、2.65 μm 、2.70 μm 、2.75 μm 、2.80 μm 、2.85 μm 、2.90 μm 、2.95 μm 、3.0 μm 、3.05 μm 、3.10 μm 、3.15 μm 、3.20 μm 、3.25 μm 、3.30 μm 、3.35 μm 、3.40 μm 、3.45 μm 、3.50 μm 、3.55 μm 、3.60 μm 、3.65 μm 、3.70 μm 、3.75 μm 、3.80 μm 、3.85 μm 、3.90 μm 、3.95 μm 、4.00 μm 、4.05 μm 、4.10 μm 、4.15 μm 、4.20 μm 、4.25 μm 、4.30 μm 、4.35 μm 、4.40 μm 、4.45 μm 、4.50 μm 、4.55 μm 、4.60 μm 、4.65 μm 、4.70 μm 、4.75 μm 、4.80 μm 、4.85 μm 、4.90 μm 、4.95 μm 、5.00 μm 、5.05 μm 、5.10 μm 、5.15 μm 、5.20 μm 、5.25 μm 、5.30 μm 、5.35 μm 、5.40 μm 、5.45 μm 、5.50 μm 、6.00 μm 、6.50 μm 、7.00 μm 、7.50 μm 、8.00 μm 、8.50 μm 、9.00 μm 、9.50 μm 、10.00 μm 、10.50 μm 、11.00 μm 、11.50 μm 、12.00 μm 、12.50 μm 、13.00 μm 、13.50 μm 、14.00 μm 、14.50 μm 、15.00 μm 、15.50 μm 、16.00 μm 、16.50 μm 、17.00 μm 、18.00 μm 、18.50 μm 、19.00 μm 、19.50 μm 、20.00 μm 。

[0108] 根据本发明的实施例,分析器光栅和/或相位光栅的占空比大于从以下列表中选择值:0.5、0.51、0.52、0.53、0.54、0.55、0.56、0.57、0.58、0.59、0.6、0.61、0.62、0.63、0.64、0.65、0.66、0.67、0.68、0.69、0.70、0.71、0.72、0.73、0.74、0.75、0.76、0.77、0.78、0.79、0.8、0.81、0.82、0.83、0.84、0.85、0.86、0.87、0.88、0.89、0.90、0.91、0.92、0.93、0.94、0.95。

[0109] 根据本发明的实施例,分析器光栅和/或相位光栅的占空比位于选自以下列表的范围内:0.5至0.9,0.51至0.9,0.52至0.9,0.53至0.9,0.54至0.9,0.55至0.9,0.56至0.9,0.57至0.9,0.58至0.9,0.59至0.9,0.6至0.9,0.61至0.9,0.62至0.9,0.63至0.9,0.64至0.9,0.65至0.9,0.66至0.9,0.67至0.9,0.68至0.9,0.69至0.9,0.70至0.9,0.71至0.9,

0.72至0.9,0.73至0.9,0.74至0.9,0.75至0.9,0.76至0.9,0.77至0.9,0.78至0.9,0.79至0.9,0.8至0.9,0.81至0.9,0.82至0.9,0.83至0.9,0.84至0.9,0.85至0.9,0.86至0.9,0.87至0.9,0.88至0.9,0.89至0.9,0.90至0.96,0.91至0.96,0.92至0.96,0.93至0.96,0.94至0.96,0.95至0.96。

[0110] 根据本发明的实施例,可以组合以上定义的分析器光栅/相位光栅间距长度和占空比中的任一个来定义分析器光栅的透明部分的宽度和光栅线54的宽度。

[0111] 如上所述,X射线探测器18可以是能量分辨探测器,例如,采用多个能量箱的光子计数器。X射线源发出多色辐射。能量分辨探测器用于探测针对不同能量范围的入射X射线的衰减或小角度散射。因此,可以通过使用能量分辨探测器来探测两个独立的强度分布。

[0112] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,X射线探测器18是能量敏感探测器,所述能量敏感探测器被配置为通过探测探测到的第一光子能量来生成第一X射线信号,并且通过探测探测到的第二光子能量来生成第二X射线信号,其中,探测到的第一光子能量和第二光子能量是互不相同的。

[0113] 以下的第一光子能量范围和第二光子能量范围可应用于例如CT或X射线系统:

[0114] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在25-50keV的范围内,探测到的第二光子能量在50-140keV的范围内。

[0115] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在25-80keV的范围内,探测到的第二光子能量在80-140keV的范围内。

[0116] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在25-100keV的范围内,探测到的第二光子能量在100-140keV的范围内。

[0117] 以下的第一能量范围和第二光子能量范围可应用于例如乳房X射线摄影系统:

[0118] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在5-15keV的范围内,探测到的第二光子能量在15-40keV的范围内。

[0119] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在5-25keV的范围内,探测到的第二光子能量在25-40keV的范围内。

[0120] 根据本发明的实施例,探测到的第一光子能量在5-30keV的范围内,探测到的第二光子能量在30-40keV的范围内。

[0121] 根据上述实施例,能够推导出不受由感兴趣目标28中的材料不均匀性引入的相位差影响的两个独立的强度分布。因此,避免了成像器重配置步骤或者避免了将目标移除/重新插入到成像器中。

[0122] 通过提供针对能量依赖的衰减、可见度以及探测器的光谱响应的模型来实施这种方法。例如,该模型将取决于强度分布的特定形式。备选地或额外地,通过测量包括不同材料的体模来导出查找表。例如,能够使用由Delrin (TM) (一种具有水分等效光谱衰减的材料) 制造的体模和具有可忽略衰减的强散射材料来生成查找表值。光子计数结果被映射到有效的Delrin TM长度和散射材料长度,其然后被转换为衰减信号和暗场信号。

[0123] 根据本发明的实施例,提供了一种X射线成像系统,其中,所述X射线成像系统被配置为将第一X射线信号和第二X射线信号中的每个生成为复合信号,其中,所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用非相干X射线做出的第二测量,并且其中,所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测

量,并且所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

[0124] 为了生成关于感兴趣目标28的两个独立的信息源,另一个选择是利用相干X射线照射干涉仪以进行第一组强度分布测量,然后利用非相干X射线照射干涉仪。

[0125] 根据一个实施例,X射线源12可以包括发出非相干X射线光的X射线管24。源光栅26使X射线束相干。能选择的X射线散射体(图1中未示出)可以被切换到光路22中,以在经过源光栅26之后再次对X射线束进行去相干。

[0126] 备选地,等效的方法是将源光栅26从X射线源12的输出端口移除,以使得来自X射线管24的非相干光能够被直接施加到感兴趣目标28。

[0127] 因此,根据上述实施例,使用相干X射线并然后施加不相干X射线,使用X射线探测器18做出强度测量。

[0128] 根据本发明的实施例,X射线成像系统10被配置为当光路22中不存在感兴趣目标时通过测量第一干涉图案来生成第一X射线信号。

[0129] 根据本发明的实施例,X射线成像系统10被配置为当光路22中不存在感兴趣目标时通过测量第二干涉图案来生成第一X射线信号。

[0130] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统,还包括:能选择的X射线散射体,其能被定位在光路中并且能被配置到第一状态中并且能被配置到第二状态中,在所述第一状态中,X射线是相干的,所述第二状态用于与X射线相互作用而使得所述X射线变得不相干;其中,所述第一测量和所述第三测量是利用处于所述第一状态的能选择的X射线散射体做出的,并且其中,所述第二测量和所述第四测量是利用处于所述第二状态的能选择的X射线散射体做出的;并且其中,所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

[0131] 术语“复合信号”是指以下事实:当生成第一X射线信号和第二X射线信号中的每个时,必须进行两次测量。

[0132] 尤其地,复合信号用于根据本发明的实施例来生成第一X射线信号和第二X射线信号如下:

[0133] 根据该实施例,做出X射线干涉图案的四次独立测量。在光路22中不存在感兴趣目标的情况下,做出一对测量,并且在光路22中存在感兴趣目标的情况下,做出一对测量。

[0134] (针对X射线探测器的每个像素的)衰减分量被定义为 $A=I/I_0$ 。

[0135] (针对X射线探测器的每个像素的)暗场分量定义为 $D=V/V_0$ 。

[0136] 所指示的“0”指代在光路22中不存在目标的情况下测量的值。没有下标的量指代在光路中存在目标的情况下做出的测量。

[0137] 在一个实施例中,针对测量的信号的模型为:信号= $I(1+V)$ 。

[0138] 因此,执行四次单次测量。在光路中没有感兴趣目标的情况下执行第一对,并且在光路中有目标的情况下执行第二对。

[0139] 测量对中的每对被分为利用相干X射线辐射做出的一次测量以及不利用非相干辐射做出的一次测量。如上所述,这可以使用非相干X射线源并将能选择的源光栅切换到光路22中以使X射线辐射相干来实现,或者通过提供相干光源并将散射板切换到光路中来实现。

[0140] 因此,每个探测器像素的四个测量的信号能够被提供为: $\text{sig}I_0$ 、 $\text{sig}IV_0$ 、 $\text{sig}I$ 和

sigIV。

[0141] 现在能够针对每个探测器像素计算衰减信号和暗场信号：

[0142] $\text{sigI}_0 = I_0$ (1)

[0143] $\text{sigIV}_0 = I_0(1+V_0)$ (2)

[0144] $\text{sigI} = I$, (3)

[0145] $\text{sigIV} = I(1+V)$ (4)

[0146] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统,其中,X射线探测器18包括被X射线散射体覆盖的第一部分和未被X射线散射体覆盖的第二部分。X射线成像系统被配置为使用X射线探测器的第一部分来生成第一X射线信号,并且使用X射线探测器的第二部分来生成第二X射线信号。

[0147] 根据本发明的实施例,CT扫描器的扇形X射线源的部分被提供有去相干滤波器,并且部分未被提供有去相干滤波器。

[0148] 根据这些实施例,上述探测原理可以应用于CT扫描器。归因于被放置在CT扇形射束源处或在CT扫描器的探测器的部分上的散射板,提供了非相干辐射与相干辐射的组合。

[0149] CT扫描器探测器分为两部分(沿扇形方向或沿z方向)。一个部分被提供有强散射板,而另一半未被覆盖。然后,对于通过目标的每个路径,将用于确定暗场信息的投影和用于确定衰减的另一个投影提供为CT扫描器源,并且探测器头围绕患者旋转。

[0150] 如上所述,从相位光栅发出的强度分布的窄的干涉最大值允许入射的X射线束的大部分强度落入具有高占空比的分析器光栅16的透明部分(具有相对较宽的X射线透明区以及相对较窄的阻挡区)。由于与分析器光栅16的透明部分相比,干涉图案的半峰全宽距离窄,因此改变干涉图案的部分的横向位置的相移意味着干涉最大值不会与分析器光栅16的不透明光栅碰撞,从而使得能够进行相位不变探测。

[0151] 本实施例中的两次独立测量来自于从在强散射板中被覆盖的CT扫描器的探测器的部分(其将接收非相干X射线辐射)以及在强散射板中未被覆盖的CT扫描器的探测器的部分(其将接收相干X射线辐射)收集的干涉图案。

[0152] 根据本发明的实施例,当光路中不存在感兴趣目标时,由CT扫描器的探测器进行第一组相干测量和非相干测量,并且当感兴趣目标被定位在光路中时,由CT扫描器的探测器进行第二组相干测量和非相干测量。

[0153] 应当理解,上述技术在X射线扫描中具有广泛的适用性。

[0154] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的X射线成像系统10,其中,X射线成像系统是从以下项的组中选择的:CT扫描器、C型臂扫描器、乳房X射线摄影扫描器、断层合成扫描器、诊断X射线扫描器、临床前成像扫描器、非破坏性测试扫描器或行李安全扫描器。

[0155] 根据本发明的实施例,分析器光栅16是被保持在固定位置中的相位步进分析器光栅,并且相位光栅14被配置为生成X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,如上所述,所述强度峰值具有与分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离。

[0156] 应当理解,上述技术仍然可以应用于具有步进式分析器光栅的常规差分相衬机中。分析器光栅16将在独立的衰减测量和暗场测量的持续时间内被保持在相同的位置中,并且给出精细干涉条纹的特殊类型的相位光栅14将被切换到光路中,并且常规的相位光栅

将被切换出光路。因此,能够提供双功能X射线机。

[0157] 图5将系统80图示为X射线成像系统的典型临床应用。系统80具有包括X射线源84和X射线探测器86的C型臂X射线成像器82。X射线源84可以是如图1先前所述的源,其包括X射线管和源光栅。X射线探测器86可以是包括如图1所示的相位光栅14、X射线探测器18和分析器光栅16的探测器。感兴趣目标可以被放置在X射线源84与X射线探测器86之间的台子88上。处理单元90处理从X射线探测器86接收的信号,并且X射线检查可以在屏幕92上进行移位。

[0158] 根据本发明的第二方面,提供了一种用于X射线成像的方法64,如图6所示,所述方法包括以下步骤:

[0159] a) 使用X射线源将X射线辐射施加66到感兴趣目标;

[0160] b) 将X射线辐射施加68到相位光栅;

[0161] 其中,所述相位光栅被配置为生成所述X射线辐射中的干涉图案,所述干涉图案包括具有强度峰值的强度分布,所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离,其中,所述干涉图案的所述强度峰值通过所述分析器光栅的所述透明部分入射在所述X射线探测器上;

[0162] c) 将X射线辐射施加70到分析器光栅;

[0163] 其中,所述分析器光栅被提供在所述X射线探测器附近或与所述X射线探测器一体形成;

[0164] d) 通过利用所述X射线探测器测量第一干涉图案来生成72第一X射线信号;

[0165] e) 通过测量指示所述X射线辐射与光路中的感兴趣目标的相互作用的第二干涉图来生成74第二X射线信号;

[0166] f) 使用所述第一X射线信号和所述第二X射线信号来计算76所述第一干涉图案和所述第二干涉图案的衰减分量和暗场分量。

[0167] 根据本发明的第二方面,能够分离所施加的X射线的所述衰减分量和所述暗场分量,并且因此提供了一种不需要使用机械光栅布置在条纹相位实现方式的完整周期内的连续步进的X射线扫描器。因此,降低了X射线成像方法的复杂性。

[0168] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的方法,其中,在步骤d)中,所述第一X射线信号是通过探测探测到的第一光子能量来生成的;并且,额外地,在步骤d)中,所述第二X射线信号是通过探测探测到的第二光子能量来生成的,其中,探测到的所述第一光子能量和所述第二光子能量是互不相同的。

[0169] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的方法,其中,在步骤d)中,所述第一X射线信号基于利用相干X射线做出的第一测量和利用不相干X射线做出的第二测量而被生成为复合信号;并且其中,在步骤e)中,所述第二X射线信号基于利用相干X射线做出的第三测量和利用非相干X射线做出的第四测量而也被生成为复合信号。

[0170] 根据本发明的实施例,提供了如上所述的方法,还包括以下步骤:

[0171] d1) 将能被定位在所述光路中的能选择的X射线散射体切换到第一状态中,使得所述X射线是相干的;

[0172] d2) 执行所述第一测量;

[0173] d3) 将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X

射线相互作用而使得所述X射线是不相干的；

[0174] d4) 执行所述第二测量；

[0175] e1) 将处于第一状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路外而使得所述X射线是相干的；

[0176] e2) 执行所述第三测量；

[0177] e3) 将处于第二状态中的所述能选择的X射线散射体定位在所述光路中以与所述X射线相互作用而使得所述X射线是不相干的；并且

[0178] e4) 执行所述第四测量；并且

[0179] 其中，在步骤f) 中，所述衰减分量和所述暗场分量是使用所述第一测量、所述第二测量、所述第三测量和所述第四测量来计算的。

[0180] 技术人员将理解，可以以任何顺序执行步骤d1) 至d4) 和e1) 至e4)，只要得到一组至少四个测量结果（分别形成第一X射线信号和第二X射线信号的两个复合测量结果），其中，光路中存在或不存在感兴趣目标，并且其中，X射线束已经是不相干的或相干的。

[0181] 根据本发明的实施例，提供了如上所述的方法，其中，所述相位光栅被配置为生成具有强度峰值的干涉图案，所述强度峰值具有小于所述干涉图案的周期的一半的半峰全宽距离。

[0182] 根据本发明的第三方面，一种用于控制根据X射线系统的先前描述中的一种的系统的计算机程序单元，所述计算机程序单元当由处理单元执行时适于执行根据前述方法中的一种所述的方法的步骤。

[0183] 根据本发明的第四方面，提供了一种存储有先前描述的程序单元的计算机可读介质。

[0184] 根据本发明的第五方面，提供了一种用于对传统的X射线扫描器进行改型的零件套件。

[0185] 所述零件套件包括：X射线探测器，其具有分析器光栅，所述分析器光栅在所述X射线探测器附近或与所述X射线探测器一体形成；以及相位光栅，其被配置为生成X射线辐射中的干涉图案。所述相位光栅包括具有强度峰值的强度分布，所述强度峰值具有与所述分析器光栅的透明部分的宽度相比窄的半峰全宽距离，其中，所述干涉图案的所述强度峰值通过分析器光栅的透明部分入射在被安装的X射线探测器上。所述套件还包括如上所述的计算机可读介质。将所述零件套件安装到所述传统的X射线扫描器使得所述传统的X射线扫描器能够计算所述X射线的衰减分量和暗场分量。

[0186] 计算机程序单元可以被存储在计算机单元中，所述计算机程序单元也可以是本发明的实施例。计算单元可以适于执行或引发对上述方法的步骤的执行。此外，该计算单元可以适于操作上述装置的部件。。

[0187] 计算单元能够适于自动操作和/或执行用户的命令。计算机程序可以被加载到数据处理器的的工作存储器中。因此，可以装备数据处理器来执行本发明的方法。

[0188] 计算单元可以被补充有诸如显卡或FPG扩展卡的高性能处理单元以执行计算密集型操作。本发明的该示范性实施例覆盖从一开始就安装了本发明的计算机程序以及借助于将现有程序更新转换为使用本发明的程序的计算机程序二者。

[0189] 计算机程序可以被存储和/或被分布在合适的介质上，例如，与其他硬件一起或作

为其他硬件的部分供应的光学存储介质或固态介质,但是也可以以其他形式被分布,例如,经由互联网或其他有线或无线的电信系统被分布。

[0190] 计算机程序也可以被呈现在网络上,如万维网,并且能够从这样的网络被下载到数据处理器的存储器中。

[0191] 根据本发明的另外的示范性实施例,提供了用于使计算机程序单元可用于下载的介质,所述计算机程序单元被布置为执行根据本发明的先前描述的实施例中的一个所述的方法。

[0192] 应当指出,本发明的实施例是参考不同主题来描述的。尤其地,一些实施例是参考方法型权利要求来描述的,而其他实施例是参考装置型权利要求来描述的。

[0193] 除非另有说明,本领域技术人员将从以上和以下的描述中推断出,除属于一种类型的主题的特征的任意组合之外,涉及不同主题的特征之间的任意组合也被认为在本申请中被公开。

[0194] 所有的特征都能够被组合来提供多于特征的简单加合的协同效应。尽管已经在附图和前面的描述中详细图示和描述了本发明,但是这样的图示和描述应当被认为是图示性或示范性的,而非限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求,在实践请求保护的发明时能够理解并实现对所公开的实施例的其他变型。

[0195] 在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其他单元可以实现在权利要求中记载的若干项的功能。尽管某些措施被记载在互不相同的从属权利要求中,但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。权利要求中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。

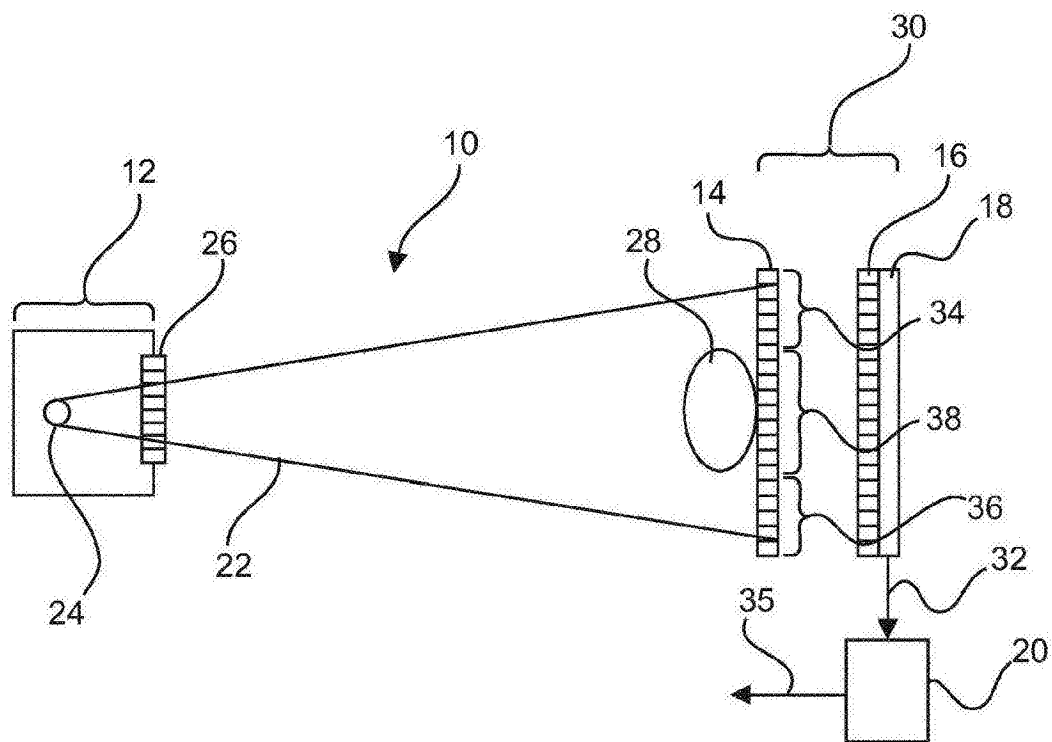


图1

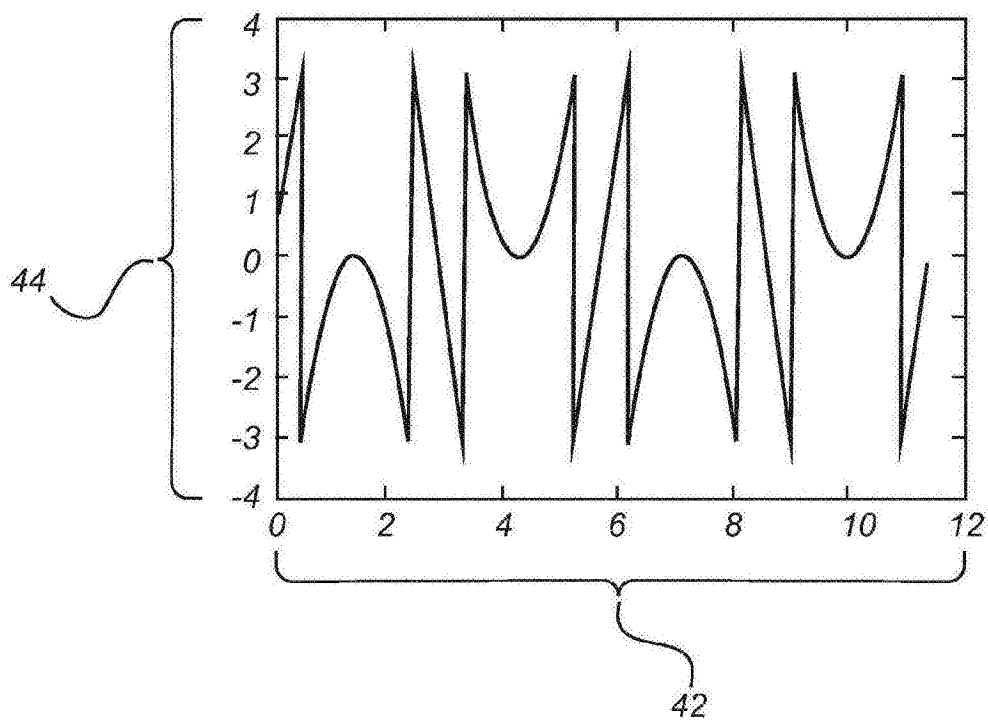


图2a

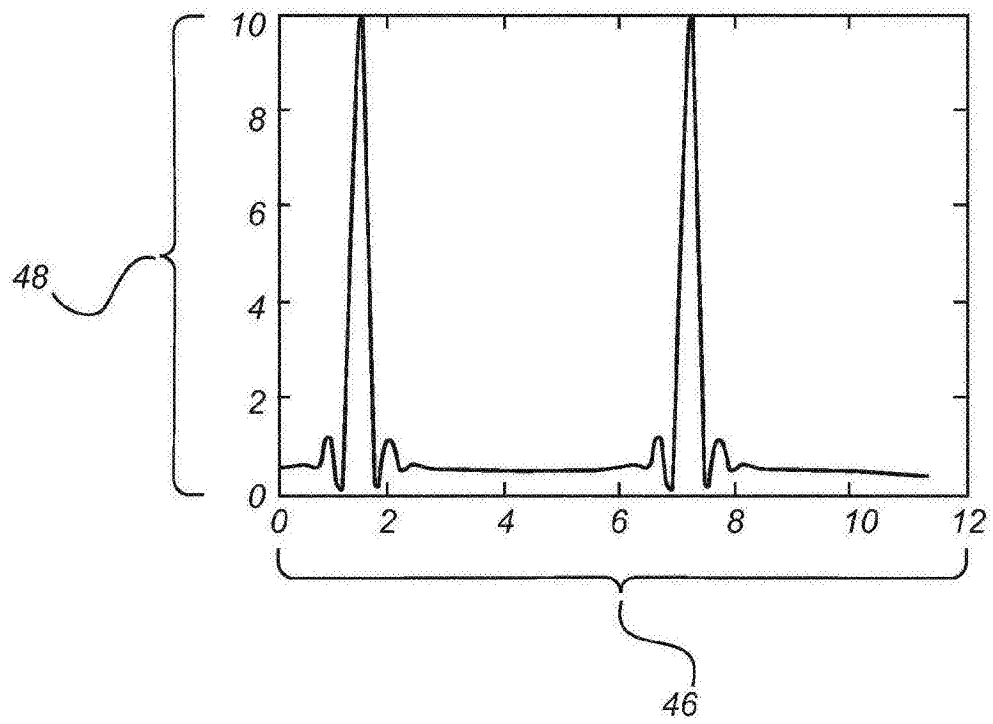


图2b

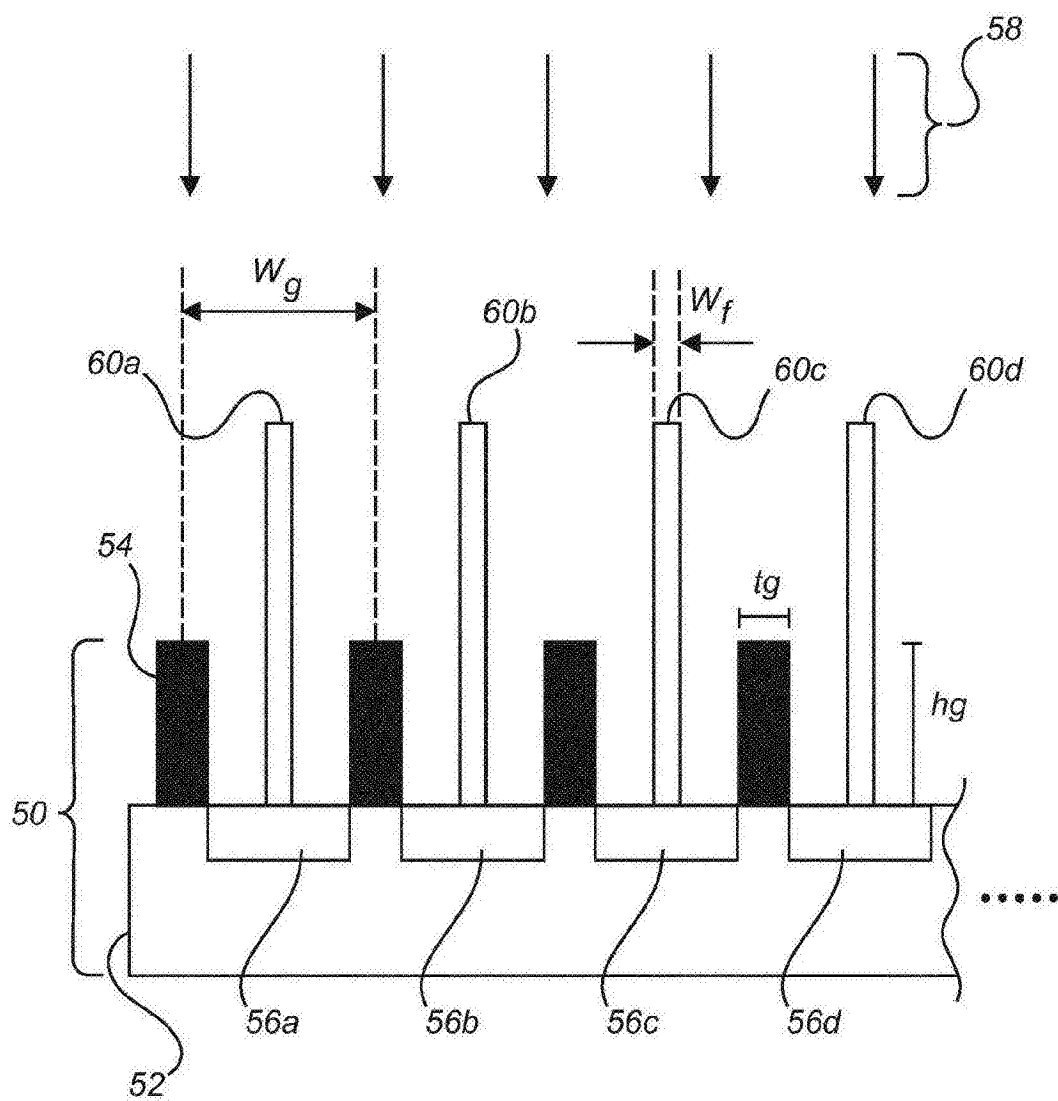


图3

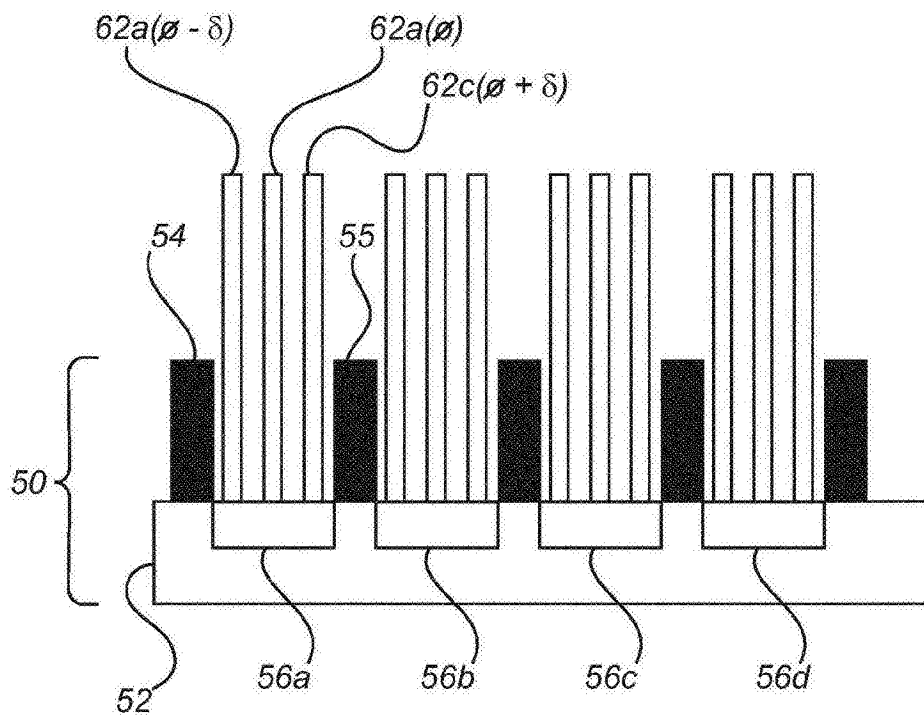


图4a

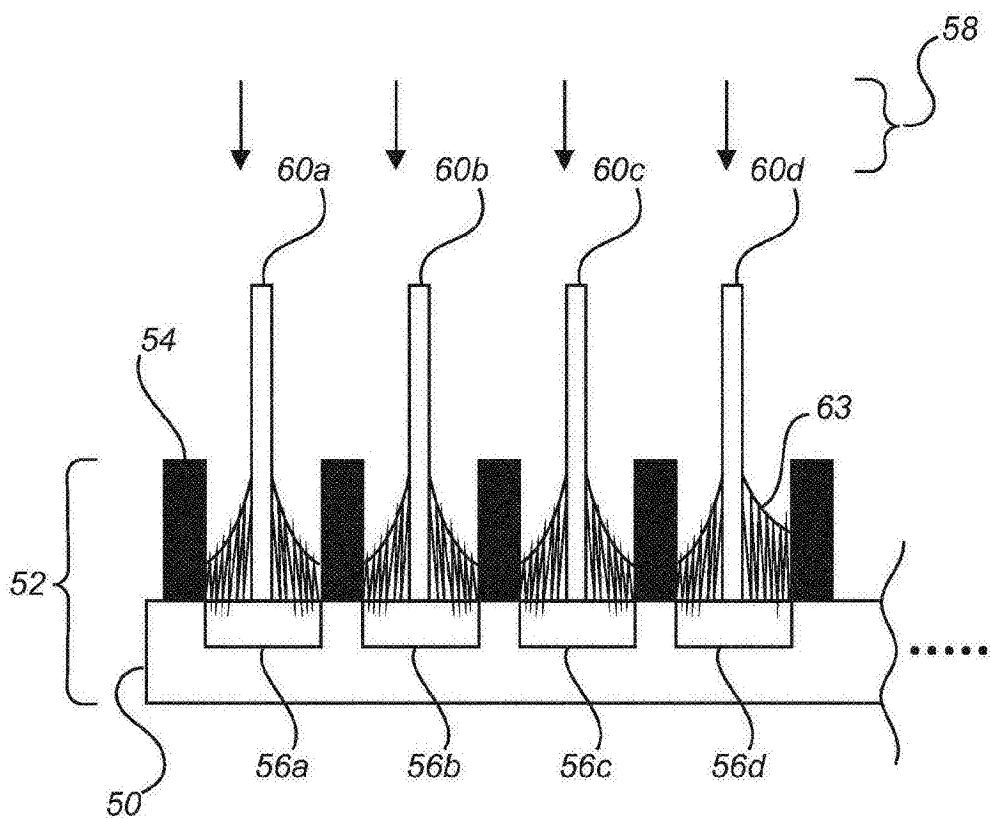


图4b

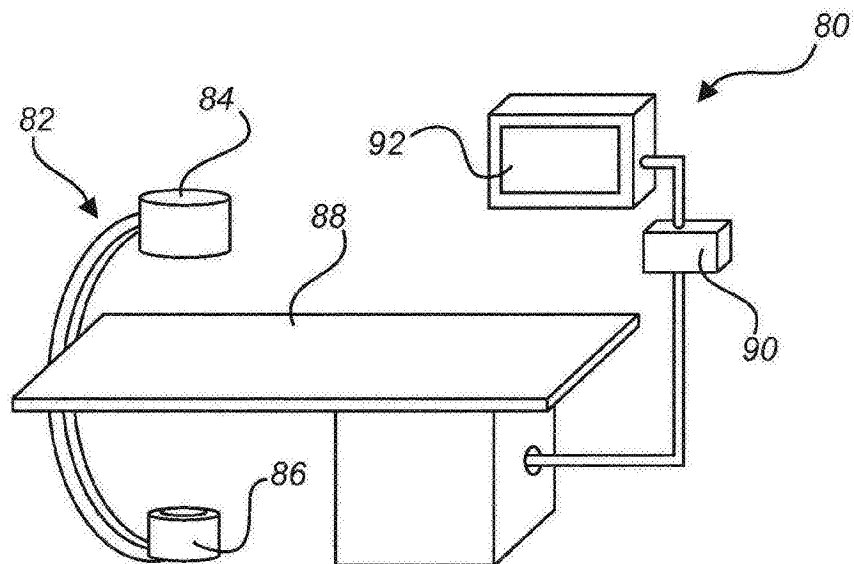


图5

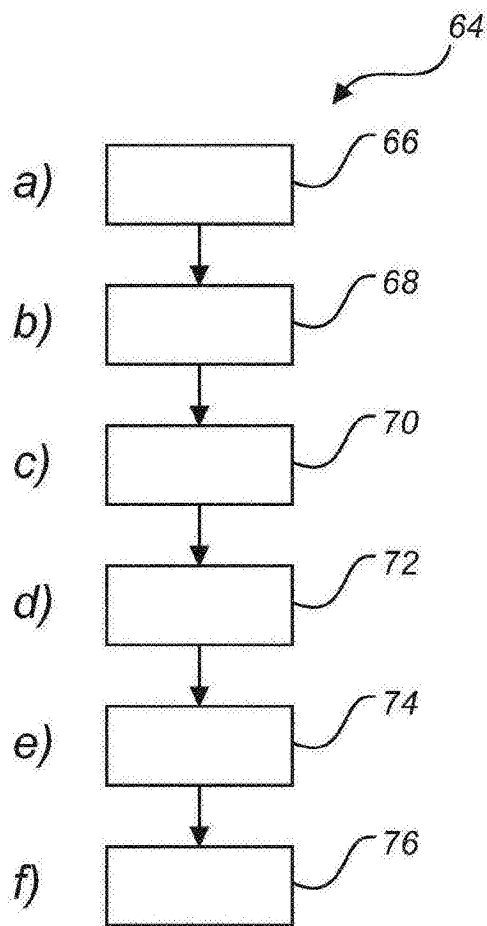


图6