



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104428659 B

(45)授权公告日 2017.10.27

(21)申请号 201380034140.4

(22)申请日 2013.06.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104428659 A

(43)申请公布日 2015.03.18

(30)优先权数据
61/664,943 2012.06.27 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.12.26

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2013/055244 2013.06.26

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/002026 EN 2014.01.03

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 R·普罗克绍

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 李光颖 王英

(51)Int.Cl.
G01N 23/04(2006.01)
G06T 11/00(2006.01)
A61B 6/03(2006.01)

(56)对比文件
US 2010/0074395 A1,2010.03.25,
WO 2012/080125 A1,2012.06.21,
CN 102221565 A,2011.10.19,
CN 101943668 A,2011.01.12, (续)
审查员 胡慧

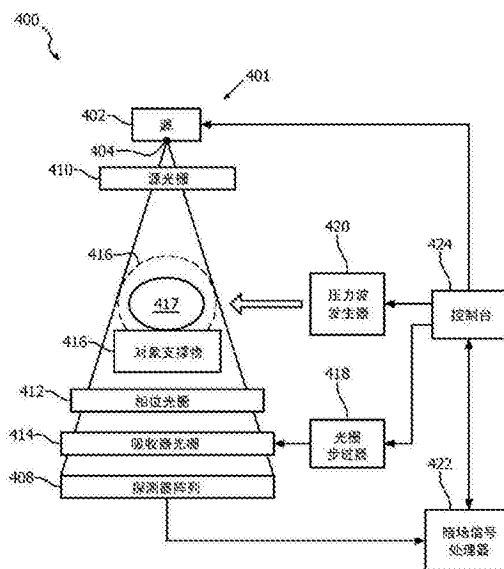
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

暗场成像

(57)摘要

一种用于暗场成像的方法包括:利用包括X射线干涉仪的成像装置来采集物体的暗场图像投影;对于每个所采集的投影将具有预定频率的压力波应用于所述物体,其中,所述预定频率对于每个投影是不同的;并且处理所采集的投影,从而生成所述物体的3D图像。换言之,所述方法对应于声学调制的X射线暗场断层摄影。一种成像系统(400)包括:扫描器(401),其被配置用于暗场成像,所述扫描器包括:源/探测器对(402/408)和对象支撑物(416);压力波发生器(420),其被配置为生成并且发射具有预定频率的压力波;以及控制台(424),其控制所述扫描器和所述压力波发生器以利用应用于物体的具有不同频率的不同压力波来采集所述物体的至少两个暗场投影。



CN 104428659 B

[接上页]

(56)对比文件

Theron J. Hamilton et al..Ultrasonically Modulated X-Ray Phase Contrast and Vibration Potential Imaging Methods.《Proceedings of SPIE》.2006,第6086

卷

Lihong V. Wang et al..Frequency-swept ultrasound-modulated optical tomography of scattering media.《Optical Letters》.1998,第23卷(第12期),

1. 一种用于暗场成像的方法,包括:
利用包括X射线干涉仪的成像装置来采集物体的至少两个暗场图像投影;
对于每个所采集的暗场图像投影将具有预定频率的压力波应用于所述物体,其中,所述预定频率对于每个暗场图像投影是不同的;并且
处理所采集的至少两个暗场图像投影,从而生成所述物体的3D图像。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述压力波引起所述物体的材料的变形。
3. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,其中,在所述成像装置的源/探测器对(402/408)与支撑用于扫描的所述物体的所述成像装置的对象支撑物(416)之间没有相对移动的情况下采集所述至少两个暗场图像投影。
4. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,其中,在所述至少两个暗场图像投影的采集期间将压力应用于所述物体。
5. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,还包括:
在没有将任何压力波应用于所述物体的情况下采集参考暗场图像投影。
6. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,其中,所述预定频率为1Hz至1000Hz的范围内的频率。
7. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,其中,针对在所采集的至少两个暗场图像投影中包括的暗场信号,傅立叶变换被执行。
8. 根据权利要求7所述的方法,还包括:
通过反向进行所述傅立叶变换并且沿着穿过所述物体的每条射线重建分布来生成所述物体的所述3D图像。
9. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,还包括:
迭代地重建所采集的至少两个暗场图像投影的离散公式,从而在单个组合重建中求解弹性场和暗场。
10. 根据权利要求1至2中的任一项所述的方法,还包括:
将所述成像装置的所述X射线干涉仪的吸收器光栅进行步进以对所述至少两个暗场图像投影进行相位编码。
11. 一种成像系统(400),包括:
扫描器(401),其被配置为用于暗场成像,所述扫描器包括:源/探测器对(402/408)、对象支撑物(416)和X射线干涉仪;
压力波发生器(420),其被配置为生成并且发射具有预定频率的压力波;以及
控制台(424),其控制所述扫描器和所述压力波发生器以利用应用于物体的具有不同频率的不同压力波来采集所述物体的至少两个暗场投影。
12. 根据权利要求11所述的成像系统,其中,所述压力波引起所述物体的材料的变形。
13. 根据权利要求11至12中的任一项所述的成像系统,
其中,所述X射线干涉仪包括:
源光栅(410),
相位光栅(412),以及
吸收器光栅(414);并且
所述成像系统还包括光栅步进器(418),其将所述相位光栅或所述吸收器光栅中的至

少一个关于另一个进行步进以对所述至少两个暗场投影进行相位编码。

14. 根据权利要求11至12中的任一项所述的成像系统,其中,在所述源/探测器对(402/408)与所述对象支撑物(416)之间没有相对移动的情况下采集所述至少两个暗场投影。

15. 根据权利要求11至12中的任一项所述的成像系统,还包括:

暗场信号处理器(422),其处理所采集的至少两个暗场投影并且生成所述物体的3D图像。

暗场成像

技术领域

[0001] 以下总体上涉及暗场的暗场成像,并且利用对计算机断层摄影(CT)的具体应用来对其进行描述。

背景技术

[0002] 在常规CT成像中,通过被扫描物体的成分的吸收截面的差异获得对比度。当诸如骨骼的高吸收结构被嵌入诸如人体的周围组织的相对弱的吸收材料的基质中时,这生成良好的结果。然而,假如具有相似吸收截面的不同形式的组织处于调查中(例如,乳房X线照相或血管造影),则X射线吸收对比度是相对差的。因此,在利用在当前的基于医院的X射线系统获得的吸收射线照片中从非病理组织区分病理组织对于特定的组织组成仍然是困难的。

[0003] 暗场(或基于光栅的差分相位对比度)成像克服了上述对比度限制。总体上,这样的成像利用X射线光栅,所述X射线光栅允许以相位对比度的方式采集X射线图像,这提供了关于被扫描物体的额外信息。利用暗场成像,图像被生成,这基于由被扫描物体衍射的X射线辐射的散射分量。被扫描物体中的非常微小的密度差异然后能够以非常高的分辨率被显示。被配置用于暗场成像的范例成像系统在申请号为13/514682、申请日为2012年6月8日、标题为“相位对比度成像”并且授权给皇家飞利浦电子有限公司的申请中进行了讨论,所述申请的全部内容通过引用被并入本文。

[0004] 图1中示出了在13/514682中描述的装置,并且所述装置包括跨检查区域106被彼此相对定位的X射线源102和探测器阵列104。源光栅108邻近于源102,吸收器(或分析器)光栅110邻近于探测器阵列104,并且相位光栅112在物体114与吸收器光栅110之间。源光栅108被从相位光栅112隔开距离(“1”)116。相位光栅112被从吸收器光栅110隔开距离(“d”)118,其对应于塔尔博特距离(Talbot distance) ($d = p_1^2/8\lambda$,其中, λ 是入射辐射的波长)。

[0005] 源光栅108、相位光栅112以及吸收器光栅110分别具有光栅刻线周期 p_0 、 p_1 以及 p_2 ,其中, $p_2 = \frac{1}{d} p_0$ 并且 $p_2 = \frac{1}{2} p_1 \cdot \frac{(d+1)}{1}$ 。源光栅108创建单独相干、但互不相干的源的阵列。射束路径中的物体114对于X射线的每个相干的子集引起微小的折射,所述折射与物体的局部相位梯度成比例。该小的角度偏差通过相位光栅112和吸收器光栅110的组合引起局部透射强度的变化。

[0006] 相位光栅112充当分束器并且将入射X射线射束基本上划分成两个第一衍射级。在塔尔博特距离中,衍射射束干涉并且形成线性周期性的条纹图案,所述条纹图案具有等于相位光栅乘以由 $1/(1+d)$ 定义的几何扩大因子的一半的周期。诸如由射束中的物体114上的折射诱发的那些的入射波前的扰动导致条纹的局部位移。吸收器光栅110用充当针对探测器阵列104的透射掩模,并且将局部条纹位置转换成信号强度变化。探测到的信号轮廓因此包含关于由物体114诱发的相位移位的定量信息。

[0007] 为了编码并且提取相位信息,已经利用了相位步进方法。利用该方法,吸收器光栅110经由超过光栅刻线周期的预定步长移动,相对于相位光栅112在垂直于光栅的刻线的横

向方向中被平移。在每次光栅步进中采取一次测量,并且采取若干次(例如,8次)光栅步进和测量当做一次投影。对于3D采集,物体114相对于源102、光栅108、110和112旋转,并且探测器阵列104、或者源102、光栅108、110和112、以及探测器阵列104围绕物体114(超过至少180度加一扇形角)旋转,其中,从旋转的不同角度视图采集预定数目的投影(例如,1000)。

[0008] 暗场图像中的每个像素代表小角度散射分布的二次矩的线积分。然而,归因于反向信号放大,对线积分的贡献取决于物体114在源102与探测器阵列104之间的检查区域106中的相对位置。这在图2和图3中示出。在图2中,物体114相对于图3中物体114的位置更靠近源102。结果,图2中用于物体定位的探测器阵列轮廓200的最大高度202将相对于图3中用于物体定位的探测器阵列轮廓300的最大高度302更小。总体上,反向信号放大使探测到的信号的高度关于在源102与探测器阵列104之间的物体114的位置成反比。

[0009] X射线沿着从源102通过物体114并且到探测器阵列104的路径的衰减发生,如公式1中所示:

[0010] 公式1:

$$[0011] \quad I = I_0 e^{-\int_0^1 f(\vec{s} + l\vec{r}) dl}$$

[0012] 其中,I为在探测器像素处的探测到的信号(暗场投影值), I_0 为未衰减的探测到的信号,l为沿着从源102($l=0$)通过物体114到探测器阵列104($l=1$)的探测器像素的X射线的位置, $f(\cdot)$ 为物体属性的分布, \vec{s} 为源位置,并且 \vec{r} 为沿着从源102到相位光栅112的X射线的单位向量。对公式两侧求对数给出线性方程,所述线性方程表示沿着路径的衰减系数的线积分,如公式2中所示:

[0013] 公式2:

$$[0014] \quad h = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \int_0^1 f(\vec{s} + l\vec{r}) dl,$$

[0015] 其中,h为可测量的信号。目标是重建沿着射线 \vec{r} 的属性分布 $f(\cdot)$ 。

[0016] 不幸的是,为了对源102、光栅108、110和112、以及探测器阵列104进行旋转,成像系统必须至少包括:对源102、探测器以及光栅108、110和112进行支撑的旋转框架;对旋转框架、皮带、链条、与电机和控制器一起用于旋转所述旋转框架的磁性的或其他驱动系统进行支撑的固定框架和轴承;以及一个或多个用于确定角度位置信息的编码器等,这增加了对于整个暗场成像系统的复杂性和花费。另外,旋转部件受重力作用,这引起对在每次旋转期间的旋转部件的动态结构的改变,这可以增加相位步进部件的机械要求和公差,以便光栅对于每次测量被准确地步进。

发明内容

[0017] 本文描述的各方面解决了上述问题和其他问题。

[0018] 在一方面中,一种用于暗场成像的方法包括:利用包括X射线干涉仪的成像装置来采集物体的暗场图像投影;对于每个所采集的投影将具有预定频率的压力波应用于所述物体,其中,预定频率对于每个投影是不同的;并且处理所采集的投影,从而生成所述物体的3D图像。

[0019] 在另一方面中,一种成像系统包括被配置为用于暗场成像的扫描器,所述扫描器

包括：源/探测器对以及对象支撑物；压力波发生器，其被配置为生成并且发射具有预定频率的压力波；以及控制台，其控制所述扫描器和所述压力波发生器，以利用具有应用于物体的不同频率的不同压力波来采集所述物体的至少两个暗场投影。

[0020] 在另一方面中，一种方法包括，利用在没有对物体进行扫描的成像系统的源/探测器对与所述对象之间的相对移动的情况下采集的数据，并且通过针对每个所采集的投影应用具有不同频率的压力波来生成所述物体的3D暗场图像。

[0021] 本发明可以采取各种部件和部件的布置，以及各种步骤和步骤的安排的形式。附图仅用于图示优选实施例的目的，并且不应被解释为对本发明的限制。

附图说明

[0022] 图1示意性地图示了被配置用于暗场成像的现有技术的装置。

[0023] 图2和图3示意性地图示了沿着射线的物体位置放大如何影响暗场成像。

[0024] 图4示意性地图示了被配置用于3D暗场基于光栅的DPCI成像的成像系统。

[0025] 图5图示了用于3D暗场基于光栅的DPCI成像的范例方法。

具体实施方式

[0026] 参考图4，示意性地图示了成像系统400，所述成像系统400包括被配置用于至少3D暗场成像的扫描器401。扫描器401包括具有焦斑404的辐射源402（例如，X射线管），所述辐射源402发出穿过检查区域406和物体417或其中的对象的辐射。辐射敏感的探测器阵列408被定位在跨检查区域406与辐射源402相对。辐射敏感的探测器阵列408探测穿过检查区域406的辐射并且生成指示其的信号，所述信号包括与暗场成像结合的暗场信号。

[0027] X射线成像干涉仪包括三个光栅结构：源光栅410、相位光栅412和吸收器光栅414。源光栅410、相位光栅412和吸收器光栅414分别具有光栅刻线周期并且被隔开一些距离，例如，如在申请号为13/514682、申请日为2012年6月8日、标题为“相位对比度成像”并且授权给皇家飞利浦电子有限公司的申请中所讨论的，所述申请的全部内容通过引用被并入本文。总体上，源光栅410在辐射的路径中邻近于焦斑404，充当具有发射狭缝的吸收掩模，过滤所发出的辐射射束，并且创建单独相干（但互不相干）的源。

[0028] 物体引起相干的X射线的折射，所述相干的X射线与物体的折射率的实数部分的局部梯度成比例，并且角度偏差引起通过相位光栅412的局部透射强度的变化。相位光栅412被定位在邻近于物体，并且充当分束器，将入射X射线划分成衍射射束，所述衍射射束干涉并且形成线性周期性的条纹图案。吸收器光栅414充当针对探测器408的透射掩膜，并且将局部条纹位置变换成信号强度变量。相位/吸收器光栅412/414能够被考虑为多准直器，所述多准直器将角度偏差转化成局部透射强度的变化，所述变化能够利用标准的成像探测器阵列或其他成像探测器阵列来探测。

[0029] 相位光栅412和吸收器光栅414被配置为相对于彼此在垂直于z轴的横向方向上平移。这包括将相位光栅412和吸收器光栅414中的一个或两个（在同一方向上以不同的速度或在相对的方向上以相同或不同的速度）在横向方向上平移。为了说明的目的，以下将关于其中吸收器光栅414平移的配置进行讨论。光栅步进器418至少基于以预定的离散的步长增量移动吸收器光栅414的相位步进算法来控制吸收器光栅414的平移（即，步进）。

[0030] 压力波发生器420生成并且发射穿过检查区域406和其中的物体417的压力波。压力波发生器420可以包括能够将一种形式的能量(例如,电)转换成预定频率的压力波的换能器等。合适的频率是在一赫兹(1Hz)与一千赫兹(1000Hz)之间的频率,所述合适的频率引起物体417的材料的压缩和/或振动,所述压缩和/或振动引起检查区域406中的物体417的类似于在检查区域406中的物体417的实际物理位移的物理变形。

[0031] 通用计算系统或通用计算机充当操作者控制台424。控制台424包括人类可读的输出设备(例如,监视器)和人类可读的输入设备(例如,键盘、鼠标等)。驻存在控制台424上的软件允许操作者与成像系统400进行交互和/或操作成像系统400。这样的交互包括选择利用压力波发生器420的暗场成像扫描协议,发起扫描等。对象支撑物416支撑检查区域406中的物体417。

[0032] 利用一种暗场成像协议,压力波发生器420被调用以发射穿过物体417的压力波,并且光栅步进器418通过用于所采集的投影的相位编码阶梯将吸收器光栅414进行步进,对于不同投影生成具有不同频率的压力波,并且在源/探测器对402/408与物体417之间没有相对移动的情况下采集投影。相位编码阶梯和/或投影的数目能够是默认的、用户定义的和/或以其他方式确定的。

[0033] 利用这样的算法,压力波与物体417的材料相互作用,并且这样的相互作用引起对于每个投影的物体417的不同的材料变形,这有效地类似于沿着在源402与探测器阵列408之间的射线路径物理地移动物体417。由于暗场信号h是物体417距源402的距离的函数,因此得到的投影集包括能够用于确定沿着每条射线的衰减的信息,接下来将对其进行更加详细的描述。

[0034] 如上所述,暗场信号h已经被表示为如公式2中所示,其被重现如下:

[0035] 公式2:

$$[0036] \quad h = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \int_0^1 I_f(\vec{S} + l\vec{r}) dl$$

[0037] 由于组织的低的可压缩性,因此组织与压力波中的局部位移生成作用。在理想的条件下,能够在压力波激励下沿着 \vec{r} 来对位移 Δ_1 进行建模,如公式3中所示:

[0038] 公式3:

$$[0039] \quad \Delta_t = ae^{-i(k_t + (\vec{S} + l\vec{r})k_r)t},$$

[0040] 其中,a为所述位移的幅度,i为-1的平方根(sqrt(-1)), k_t 为声波的频率, k_r 为波长,并且t为时间。对于快照(t=常数),常数部分C(对于每条射线)能够使用参数1沿着 \vec{r} 被隔开所述位移,如公式4中所示:

[0041] 公式4:

$$[0042] \quad \Delta_{M,l} = C_M e^{-ik_{M,l}},$$

[0043] 其中,M为一组波激励参数,并且 $M = \{a_M, C_M, k_{M,1}\}$ 。

[0044] 根据局部位移并且基于公式2和公式4,暗场成像测量结果h能够被表示为如公式5中所示:

[0045] 公式5:

$$[0046] \quad h(M) = \int (l + \Delta_{M,l}) f(\vec{S} + l\vec{r}) dl$$

[0047] 利用参考测量结果 $h(M_0)$, $\Delta_{M_0,l} = 0$, 公式5能够被写为如公式6中所示:

[0048] 公式6:

$$[0049] \quad h(M) = h(M_0) + \int \Delta_{M,l} f(\vec{S} + l\vec{r}) dl = h(M_0) + C_M \int e^{-ik_M l} f(\vec{S} + l\vec{r}) dl$$

[0050] 利用一组调制, 公式6变为傅立叶变换。

[0051] 暗场信号处理器422处理由探测器阵列408生成并且输出的暗场信号, 从而生成被扫描物体417的3D图像。这包括反向进行傅立叶变换和重建沿着射线 \vec{r} 的属性分布 $f(\cdot)$, 从而创建物体的3D图像。当组织的不均匀的弹性属性扰乱位移场时, 能够使用迭代重建和测量结果的离散公式来求解弹性场和在一种组合重建中的暗场。

[0052] 图5图示了在投影之间没有源/探测器对402/408和物体417的物理移动的情况下的范例暗场成像方法。

[0053] 应当理解, 动作的顺序不是限制性的。这样, 本文也预期其他顺序。另外, 可以省略一个或多个动作和/或可以包括一个或多个额外的动作。

[0054] 在502处, 在没有源/探测器对402/408与物体417之间的相对移动的情况下采集物体417的暗场扫描的参考投影。

[0055] 在504处, 将具有预定频率的压力波应用于物体, 这将引起类似于物体417沿着源402与探测器408之间的射线路径的实际物理位移的物体417的变形。

[0056] 在506处, 在没有源/探测器对402/408与物体417之间的相对移动的情况下采集在第一变形下的物体417的暗场扫描的下一投影。

[0057] 在508处, 确定是否要采集另一投影。

[0058] 如果是, 那么利用具有下一不同频率的压力波重复动作504和506。

[0059] 如果否, 那么在510处处理投影以生成物体417的3D图像。

[0060] 上述方法可以通过计算机可读指令的方式来实施, 所述计算机可读指令被编码或嵌入在计算机可读存储介质上, 所述计算机可读指令当由(一个或多个)计算机处理器运行时, 引起(一个或多个)处理器实施所描述的动作。额外地或备选地, 计算机可读指令中的至少一个由信号、载波或其他瞬态介质承载。

[0061] 已经参考优选实施例描述了本发明。他人在阅读和理解以上具体实施方式的情况下可能想到修改或替代。本文旨在将本发明解释为包括所有这种修改和替代, 只要它们落入权利要求书及其等价方案的范围之内。

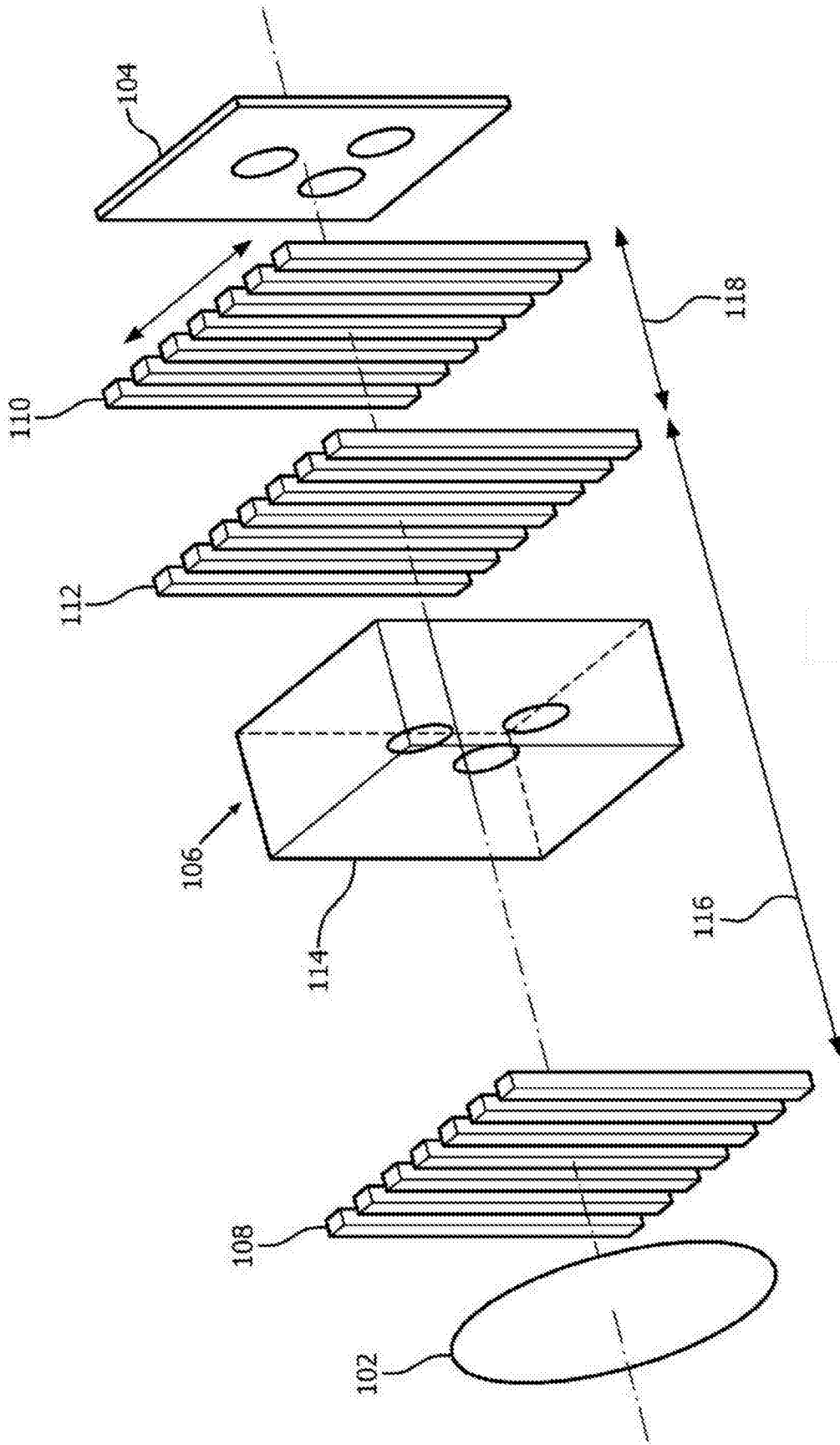


图1 (现有技术)

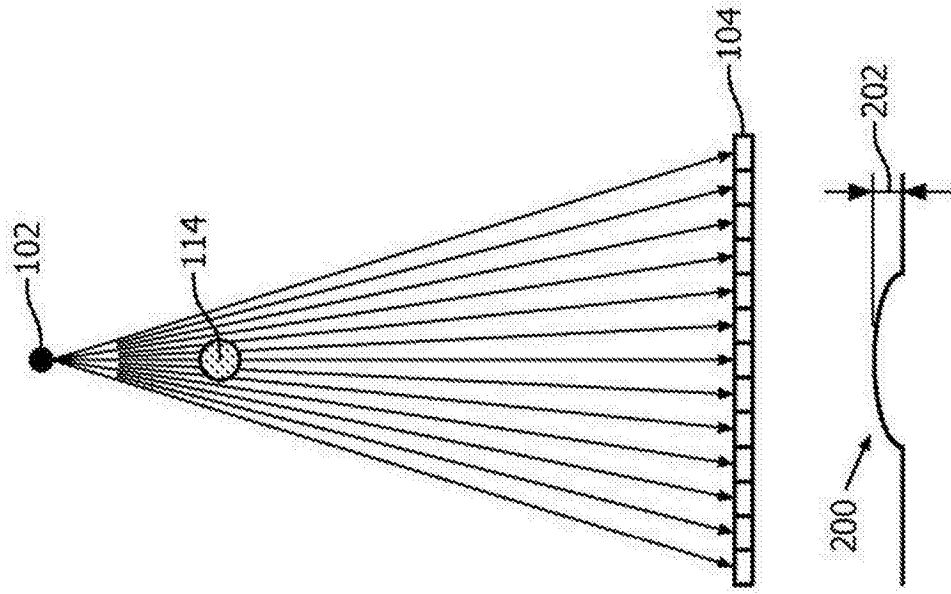


图2

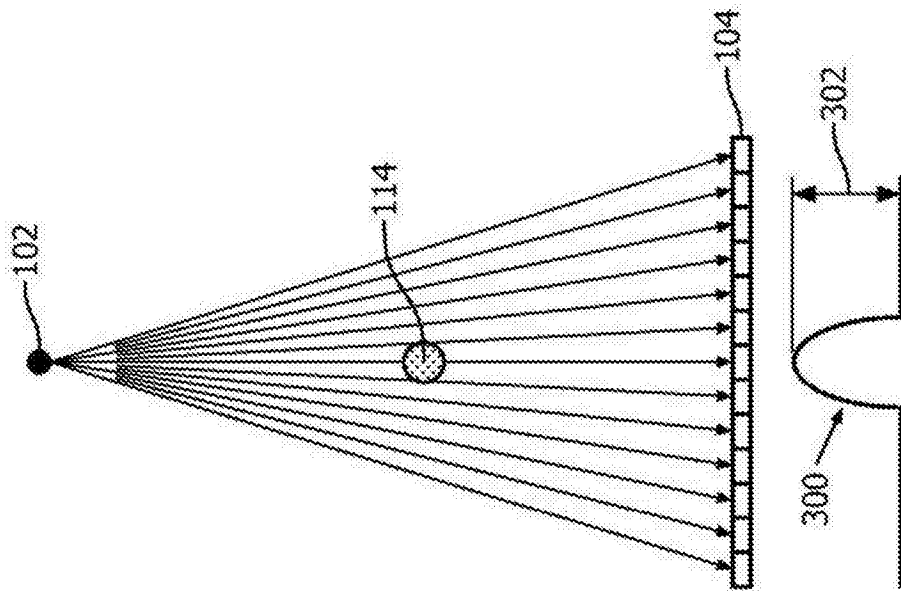


图3

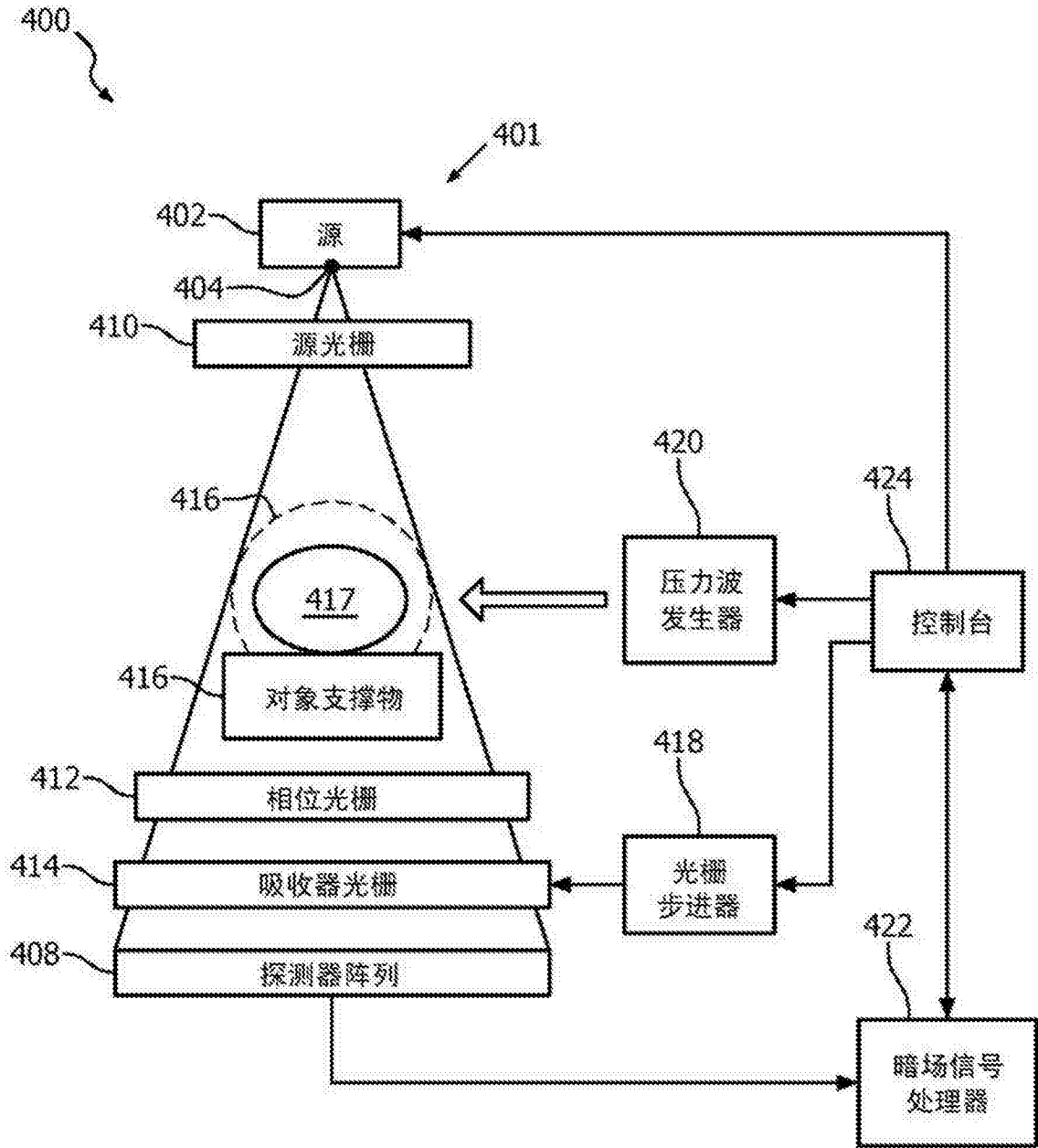


图4

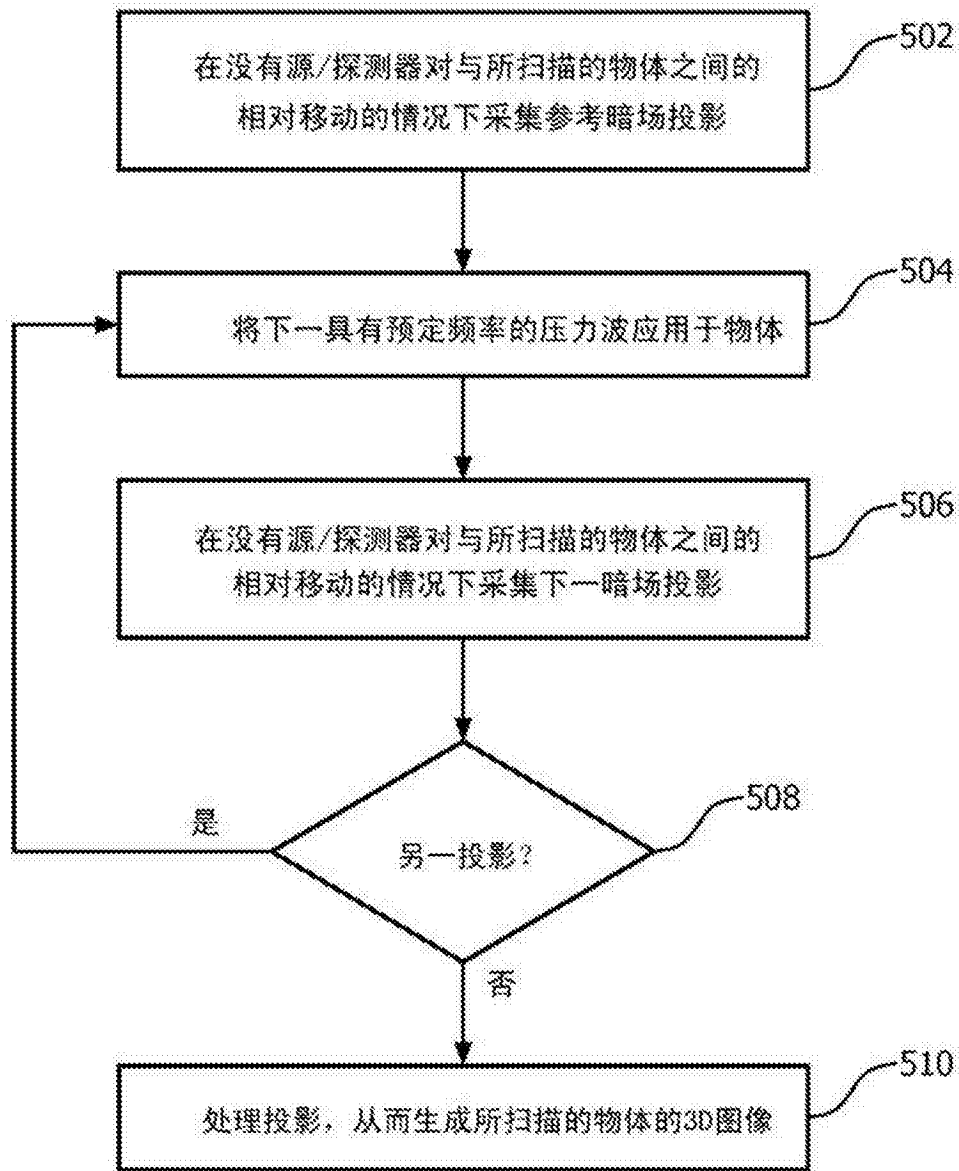


图5