



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101011252 B

(45) 授权公告日 2010. 12. 22

(21) 申请号 200710007953. 0

H05G 1/02(2006. 01)

(22) 申请日 2007. 02. 01

H05G 1/62(2006. 01)

(30) 优先权数据

G01T 1/28(2006. 01)

102006004976. 4 2006. 02. 01 DE

G01T 7/00(2006. 01)

102006017290. 6 2006. 04. 12 DE

G21K 1/06(2006. 01)

G21K 1/02(2006. 01)

(73) 专利权人 西门子公司

(56) 对比文件

地址 德国慕尼黑

US 5812629 A, 1998. 09. 22, 全文 .

(72) 发明人 比约恩·海斯曼 埃克哈德·亨普尔  
斯蒂芬·波普斯库

US 4057745, 1977. 11. 08, 全文 .

US 5745546 A, 1998. 04. 28, 全文 .

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

审查员 栾志超

11105

代理人 邵亚丽 李晓舒

(51) Int. Cl.

A61B 6/00(2006. 01)

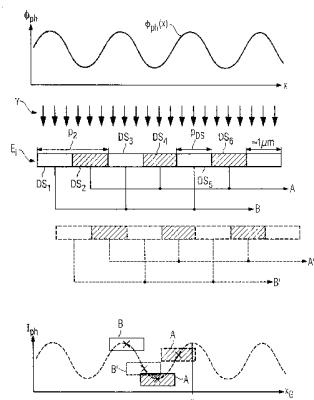
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 8 页

(54) 发明名称

用于产生相位对比照片的 X 射线设备的焦点  
/ 检测器系统

(57) 摘要

本发明涉及一种用于产生投影的或断层造影的相位对比照片的 X 射线设备的焦点 / 检测器系统 (2,3), 其至少由下述部分组成 : 辐射源, 产生一个射线相干的 X 射线 ( $S_i$ ) 的场, 光栅 / 检测器装置, 带有相位光栅 ( $G_1$ ) 和检测器 ( $D_1$ ), 该检测器带有多个平面布置的检测器元件 ( $E_i$ ), 其中, 所述检测器元件 ( $E_i$ ) 由多个伸长的检测带 ( $DS_x$ ) 构成, 这些检测带平行于所述相位光栅 ( $G_1$ ) 的光栅刻线地取向。此外, 本发明还涉及这种焦点 / 检测器系统 (2,3) 在 X 射线系统或 C 形弓架设备或 CT 系统中的应用, 以及利用这种焦点 / 检测器系统来产生检查对象 (7)、优选是患者 (P) 的投影的和断层造影的 X 射线照片的方法。



CN 101011252 B

CN

1. 一种用于产生投影的或断层造影的相位对比照片的X射线设备的焦点 / 检测器系统(2,3), 其至少由下述部分组成 :

1. 1 辐射源, 该辐射源带有焦点 ( $F_1$ ) 和焦点侧的源光栅 ( $G_0$ ), 该源光栅设置于射线途径中, 并产生一个射线相干的 X 射线 ( $S_i$ ) 的场,

1. 2 光栅 / 检测器装置, 该光栅 / 检测器装置带有相位光栅 ( $G_1$ ) 和检测器 ( $D_1$ ), 该相位光栅带有平行于源光栅 ( $G_0$ ) 设置的光栅刻线, 以产生干涉图形; 该检测器带有多个平面设置的检测器元件 ( $E_i$ ), 以测量在所述相位光栅 ( $G_1$ ) 之后的辐射强度,

1. 3 其中, 所述检测器元件 ( $E_i$ ) 由多个伸长的检测带 ( $DS_x$ ) 构成, 这些检测带平行于所述相位光栅 ( $G_1$ ) 的所述光栅刻线地取向。

2. 根据上述权利要求 1 所述的焦点 / 检测器系统, 其特征在于, 所述光栅 / 检测器装置这样构造和设置, 使得其满足下述几何条件 :

$$p_2 = k \times p_{DS},$$

$$p_0 = p_2 \times \frac{l}{d},$$

$$p_1 = 2 \times \frac{p_0 \times p_2}{p_0 + p_2},$$

$$d = \frac{l \times d^*}{l - d^*}, \text{ 其中 } d^* = \frac{1}{2} \times \left( \frac{p_1^2}{4\lambda} \right),$$

$$h_1 = \frac{\lambda}{2(n-1)},$$

其中有,

$p_0$  = 所述源光栅  $G_0$  的光栅周期,

$p_1$  = 所述相位光栅  $G_1$  的光栅周期,

$p_2$  = 检测带  $DS_x$  的大周期, 在所述分析光栅之后的干涉线的间距,

$p_{DS}$  = 检测带  $DS_x$  的小周期, 相邻检测带的中心线之间的间距,

$d$  = 在扇形射线几何形状中, 所述相位光栅  $G_1$  至所述分析光栅  $G_2$  或至所述检测带  $DS_x$  的间距,

$d^*$  = 在平行几何形状下, 所述相位光栅  $G_1$  至所述分析光栅  $G_2$  或至所述检测带  $DS_x$  的间距,

$k = 2, 3, 4, 5, \dots$ ,

$l$  = 所述源光栅  $G_0$  至所述相位光栅  $G_1$  的距离,

$\lambda$  = 所选择的辐射波长,

$h_1$  = 所述相位光栅  $G_1$  在射线方向上的栅条高度,

$n$  = 所述相位光栅的光栅材料的折射率。

3. 根据上述权利要求 1 至 2 中任何一项所述的焦点 / 检测器系统, 其特征在于, 所述检测带 ( $DS_x$ ) 作为直接转换的检测带构成。

4. 根据上述权利要求 1 或 2 所述的焦点 / 检测器系统, 其特征在于, 至少一个检测器元件 ( $E_i$ ) 的  $n$  条检测带 ( $DS_x$ ) 与  $m$  个电路的连接, 以便按照  $m$  个步骤交替且成组地利用读取电子设备读取辐射强度, 其中,  $2 \leq m < n$ 。

5. 根据上述权利要求 4 所述的焦点 / 检测器系统, 其特征在于, 设有恰好两个电路 (A, B)。
6. 根据上述权利要求 4 所述的焦点 / 检测器系统, 其特征在于, 设有恰好三个电路 (A, B, C) 或四个电路 (A, B, C, D)。
7. 一种用于产生投影的相位对比照片的 X 射线系统, 其带有至少一个根据上述权利要求 1 至 6 中任何一项所述的焦点 / 检测器系统 (2,3)。
8. 根据权利要求 7 所述的 X 射线系统, 其特征在于, 设有计算单元 (10), 该计算单元用于控制所述检测带的偏移并根据用不同地偏移的检测带对同一射线的多次强度测量来计算相移。
9. 一种用于产生投影的或断层造影的相位对比照片的 X 射线 C 形弓架系统, 其带有根据上述权利要求 1 至 6 中任何一项所述的焦点 / 检测器系统, 该系统设置于可绕检查对象转动的 C 形弓架上。
10. 根据权利要求 9 所述的 X 射线 C 形弓架系统, 其特征在于, 设有计算单元 (10), 该计算单元用于控制所述检测带的偏移并根据用不同地偏移的检测带对同一射线的多次强度测量来计算相移。
11. 一种用于产生断层造影的相位对比照片的 X 射线 CT 系统 (1), 其带有至少一个根据上述权利要求 1 至 6 中任何一项所述的焦点 / 检测器系统 (2,3), 该系统设置于可绕检查对象转动的机架上。
12. 根据权利要求 11 所述的 X 射线 CT 系统 (1), 其特征在于, 设有计算单元 (10), 该计算单元用于控制所述检测带的偏移并根据用不同地偏移的检测带对同一射线的多次强度测量来计算相移。
13. 一种利用根据权利要求 1 至 6 中任何一项所述的焦点 / 检测器系统 (2,3) 来产生检查对象的投影的 X 射线照片的方法, 其中至少执行下述方法步骤 :
  13. 1 由射线束透射所述检查对象 (7), 其中, 在空间中通过焦点 - 检测器元件的连接线和检测器元件 ( $E_i$ ) 的延伸相对于方向和延伸来定义每条射线, 13. 2 通过为每条射线借助于精细结构化的检测带 ( $DS_x$ ) 测量所述辐射在成组地相连且相互偏移设置或相互偏移定位的检测带 ( $DS_x$ ) 上的强度 ( $I(E_i(x_0))$ ), 测量这些射线的平均相移 ( $\varphi$ ),
  13. 3 根据测得的所述射线的平均相移 ( $\varphi$ ) 建立相位对比照片, 所述相位对比照片的像素值表示每条射线的平均相移 ( $\varphi$ )。
14. 根据上述权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 检测器元件 ( $E_i$ ) 的所述检测带 ( $DS_x$ ) 交替地与两个测量电路 (A,B) 相连接, 并在没有间隔时间的检测器偏移的情况下通过检测器元件 ( $E_i$ ) 的所述两个测量电路 (A,B) 在所述两组检测带 ( $DS_x$ ) 上执行至少两次强度测量, 接着, 至少进行一次所述检测带 ( $DS_x$ ) 组的空间偏移, 并执行对同一空间射线的另外两次测量。
15. 根据上述权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 检测带 ( $DS_x$ ) 组的空间偏移 ( $x_0$ ) 以电路技术实现。
16. 根据上述权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 检测带 ( $DS_x$ ) 组的空间偏移 ( $x_0$ ) 物理地实现。
17. 根据上述权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述检测器元件 ( $E_i$ ) 的检测带

(DS<sub>x</sub>) 与至少三个测量电路 (A, B, C) 交替地相连接，并在没有间隔时间的检测器偏移的情况下通过检测器元件的所述三个测量电路 (A, B, C) 在三组检测带上为一条射线至少执行三次强度测量。

## 用于产生相位对比照片的 X 射线设备的焦点 / 检测器系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于产生投影的和断层造影的相位对比照片的 X 射线设备的焦点 / 检测器系统，其由带有焦点的放射源、用于检测 X 射线辐射的检测器装置以及 X 射线光学的光栅组组成，以便在 X 射线辐射穿透检查对象时确定相移。

### 背景技术

[0002] 在计算机断层造影中，检测对象、尤其是患者的一般断层造影照片借助于对穿透所述检测对象的 X 射线的吸收测量来实现，其中，通常所述辐射源圆周形或螺旋形地绕所述检查对象运动，而检测器（大多数情况下是带有多个检测器元件的多行检测器）在与所述辐射源位置相对的一侧，所述检测器元件测量在穿透所述检查对象时的辐射吸收。为了进行断层造影成像，根据全部受测的空间射线的所测得的吸收数据再现断层造影层图像或空间数据。利用这些计算机断层造影照片可以非常好地显示在对象中的吸收差别，不过，类似的化学成分的组织（其自然也具有类似的吸收特性）仅仅被不充分详细地显示。

[0003] 还已知的是，在射线穿透检查对象的情况下相移效应比辐射所穿透的物质的吸收效应明显更强。这种相移依照已知方式通过使用两个干涉测量的光栅进行测量。有关这种干涉测量的测量方法参见例如“X-ray phaseimaging with a grating interferometer, T. Weitkamp at all, 8. August 2005/Vol. 12, No. 16/OPTICS EXPRESS”。在这种方法中，检查对象由相干的 X 射线辐射穿透，接着 X 射线被导引通过光栅对，并在两个光栅之后直接地测量辐射强度。第一光栅产生干涉图形，所述干涉图形借助于第二光栅在设置于其后的检测器上成像为波纹图形 (Moiré-Muster)。如果第二光栅发生微小的位移，那么就同样由其产生波纹图形的位移，也就是位于其后的检测器中的局部强度的改变，所述位移可以相对于所述第二光栅的位移确定。如果根据所述第二光栅的位移路径为这些光栅的每个检测器元件，也即为每个射束描绘强度改变，那么就可以确定各射束的相移。问题在于，而且在此对于较大对象的计算机断层造影的实践不可用的是，这种方法要求有非常小的辐射源，因为要形成涉图形必需有相干的辐射。

[0004] 上文中所示方法或者要求辐射源具有非常小的焦点，使得在所使用的辐射中存在足够的空间相干性。然而，在使用这种小焦点时，不再给出足够用于对更大的对象进行检查的剂量能力。也还存在将单色相干辐射、例如同步加速器辐射作为辐射源使用的可能性，然而由此导致所述 CT 系统的安装非常昂贵，所以不可能实现广泛的应用。

[0005] 可以这样地克服这一问题，即，在焦点 / 检测器组合内在直接地与所述焦点相连的射线途径中设置第一吸收光栅。所述光栅刻线的取向在此平行于在所述检查对象之后的干涉光栅的光栅刻线。

[0006] 所述第一光栅的缝隙产生特定能量的个别相干射束的场，该场足以借助于在射线方向上设置于所述对象之后的相位光栅产生其本身已知的干涉图形。

[0007] 按照这种方式，可以使用具有对应于 CT 系统或透射 X 射线系统中的普通 X 射线管的延伸的辐射源，使得例如在一般医疗诊断领域中借助于 X 射线设备也可以实现良好区分

的软组织照片。

[0008] 这种焦点 / 检测器组合的问题在于,为了可以确定在各条通过检查对象的射束路径上的 X 射线辐射的相移,对于空间中的每个射束利用分别较少位移的分析光栅进行多次测量。

## 发明内容

[0009] 因此,本发明所要解决的技术问题在于,找出一种焦点 / 检测器系统,该系统能够至少减少所需测量的数目,或者,为可以产生检查对象的投影的或断层造影的相位对比照片,甚至对每个射束仅须执行一次测量。

[0010] 本发明人已经认识到,可能使用具有多个检测带的检测器元件来替代现在所采用的分析光栅,这些检测带在前接的相位光栅的光栅刻线的方向上划分成单个的检测器元件,其中,使单个的所述检测带成组地连接在一起,并且针对在该处出现的剂量而读出单个的组。在此可能的是,根据所构成组的不同数目并且根据设置检测带所用的不同周期,也就是根据单个检测带的不同精细程度来这样分辨单个的单个 X 射线射束,使得或者可以强烈减少用来对特定 X 射线辐射进行扫描的测量次数,或者可以在对应于检测器带的高分配的情况下利用对成组地连接在一起的检测带的唯一一次测量而直接地确定分别所观察的 X 射线的中间相位。

[0011] 这种根据本发明的焦点 / 检测器系统的另一优点在于,利用其对检查对象、尤其是患者进行照射的实际所用剂量的全部量都用于测量,而不像在使用分析光栅的情况下那样将用于照射患者的剂量中的一部分在所述分析光栅中被无效地吸收。

[0012] 因此,根据本发明的基本思想,通过在检测器侧设置其本身已知的相位光栅来进行对穿透检查对象的射线的 X 射线辐射的相移的测量,该相位光栅根据 X 射线辐射在穿透所述检查对象时的相移来产生其中反映出了该相移的干涉图形。与已知的方案相反(根据该方案随后安装有分析光栅,以便在所述分析光栅同时发生最小的相移的情况下,通过对所观察的检测器元件或对应的所观察的 X 射线的强度改变进行测量来确定所述相移),此时实际的检测器设置在所述分析光栅的位置,并且每个检测器元件由多个检测带构成,所述检测带位于之前使用的分析光栅的周期的数量级内。由此可能的是,将所述检测光栅交替地概括成两个步骤,并以这种方式在一次测量中获得对应于前接的分析光栅的两个剂量信息,其中,在两次测量之间出现所述分析光栅的半个周期的虚拟相移。

[0013] 如果将所述检测带的分布,也就是所述检测带的宽度进一步缩小,那么可以将每个检测器元件分成三组、四组或更多组,以使得在入射到对应的检测器元件的所述 X 射线的相移上直接地实现成组地读出到达所述检测器组上的剂量。

[0014] 在根据本发明的实施方式中,示出了一种焦点 / 检测器系统,使得显然在其空间延伸与检测器元件相对应的射线内,或者在将所述焦点 / 检测器系统安装于计算机断层造影仪内且转动地扫描所述检查对象的情况下,对应于所述检测器元件的覆盖的空间角,自然可以仅测量所述 X 射线辐射的由这一被观察的 X 射线显示出的平均相移。

[0015] 根据本发明的基本思想,建议一种用于产生投影的或断层造影的相位对比照片的 X 射线设备的焦点 / 检测器系统,其至少由下述部分组成:

[0016] - 辐射源,该辐射源带有一个焦点和一个焦点侧的源光栅,该源光栅设置于射线途

径中，并产生一个射线相干的 X 射线的场，

[0017] - 光栅 / 检测器装置，该光栅 / 检测器装置带有相位光栅和检测器，该相位光栅带有平行于源光栅设置的光栅刻线，以产生干涉图形；该检测器带有多个平面布置的检测器元件，以测量所述相位光栅之后的辐射强度，

[0018] - 其中，所述检测器元件由多个伸长的检测带构成，这些检测带平行于所述相位光栅的所述光栅刻线地取向。

[0019] 此外，还建议这样构造和设置所述光栅 / 检测器装置，使其满足下述几何条件：

$$[0020] p_2 = k \times p_{DS},$$

$$[0021] p_0 = p_2 \times \frac{l}{d},$$

$$[0022] p_1 = 2 \times \frac{p_0 \times p_2}{p_0 + p_2},$$

$$[0023] d = \frac{l \times d^*}{l - d^*}, \text{ 其中 } d^* = \frac{1}{2} \times \left( \frac{p_1^2}{4\lambda} \right),$$

$$[0024] h_1 = \frac{\lambda}{2(n-1)},$$

[0025] 其中有，

[0026]  $p_0$  = 所述源光栅  $G_0$  的光栅周期，

[0027]  $p_1$  = 所述相位光栅  $G_1$  的光栅周期，

[0028]  $p_2$  = 检测带  $D_s$  的大周期，在所述分析光栅之后的干涉线的间距，

[0029]  $p_{DS}$  = 检测带  $D_s$  的小周期，相邻检测带的中心线之间的间距，

[0030]  $d$  = 在扇形射束几何形状中，相位光栅  $G_1$  至分析光栅  $G_2$  或至检测带  $DS_x$  的间距，

[0031]  $d^*$  = 在平行几何形状下，相位光栅  $G_1$  至分析光栅  $G_2$  或至检测带  $DS_x$  的间距，

[0032]  $k = 2, 3, 4, 5, \dots,$

[0033]  $l$  = 源光栅  $G_0$  至相位光栅  $G_1$  的间距，

[0034]  $\lambda$  = 所选择的辐射的波长

[0035]  $h_1$  = 相位光栅  $G_1$  在辐射方向上的栅条高度 (Steghöhe)

[0036]  $n$  = 所述相位光栅的光栅材料的折射率

[0037] 尤其有利的是，根据本发明的装置可以借助于作为所谓的直接转换检测带构成的检测带来实施。这种检测带的特性是，入射的 X 射线辐射或光子产生通过事先施加的电势被量取并被检测的电荷。因此，所述电荷与入射的 X 射线光子数目成正比。这种检测装置可以以已知的方式借助于蚀刻法在波形转换器 (Wavem) 上以相应的高分辨率实现，其中，相应数目的后接的且与所述成组设置的检测带相连接的电路是有意义的，所述电路随后成组地测量入射到所述检测带上的辐射。利用在所述检测带的被扫描距离内对辐射强度的这种测量，可以直接地确定所述各 X 射线所存在的相移，确切地说是所存在的平均相移。

[0038] 根据本发明还建议，将检测器元件的所述  $n$  条检测带与  $m$  个电路的连接，以便按照  $m$  个步骤交替且成组地利用读取电子设备读取辐射强度，其中， $2 \leq m < n$ 。

[0039] 在所述检测带的分布的优选的变形中，使得恰好设置有两个或三个或四个电路，其中要指出的是，在使用两个电路来测量各 X 射线的相移时，检测器元件必须在所述 X 射线

的位置处发生微小的移动,使得借助于所述两个电路的各两个测量,即总共有四次测量,利用所述测量可以确定相移。如果使用多于两个,也就是三个和更多电路,那么存在确定所述相移和所述检测器的附加偏移以及附加测量的可能性。

[0040] 本发明人还建议,上述焦点 / 检测器系统或者设置于产生投影的照片(在此也即相位对比照片)的 X 射线系统中。另一方面,还有这样的可能性:在 X 射线 C 形弓架系统中使用一种这样的焦点 / 检测器系统来产生投影的和断层造影的相位对比照片,或者作为第三种选择,可以在 X 射线 CT 系统中设置一种这样的 X 射线 CT 系统,其中在此基本上建立断层造影相位对比照片。

[0041] 还要指出的是,对于这种 X 射线系统,也对于 C 形弓架系统或 CT 系统,可以设置用于控制和计算所述相移的计算单元。通常这种计算借助于相应的程序代码进行,所述程序代码在运行时实施相应的方法。一种 X 射线系统的或者用于一种 X 射线系统的对应的存储介质都在本发明的范围内,该存储介质实施一种这样的程序编码,以执行将在下面说明的一种这样的方法。

[0042] 本发明人还建议,一种利用焦点 / 检测器系统来产生检查对象(优选为患者)的投影的 X 射线照片的方法,如上所述,其中至少执行下述方法步骤:

[0043] - 所述检查对象由射线束透射,其中,在空间中通过焦点 - 检测器元件的连接线和所述检测器元件的延伸相对于方向和延伸来定义每条射线,

[0044] - 通过为每条射线借助于精细结构化的检测带测量所述辐射在成组地相连且相互偏移设置或相互偏移定位的检测带上的强度,测量这些射线的平均相移,

[0045] - 根据所测得的射线平均相移建立相位对比照片,所述相位对比照片的像素值表示每个射线的平均相移。

[0046] 这种根据本发明的方法可以如下地扩展,即,将一个检测器元件的所述检测带交替地与两个测量电路相连接并在没有间隔时间的检测器偏移的情况下通过检测器元件的所述两个测量电路在所述两组检测带上执行至少两次强度测量,随后进行至少一次所述检测带组的空间偏移,并为所述同一空间射线执行另外两次测量。

[0047] 有关所述的利用空间偏移的至少两次测量,或者存在所述检测带组的这种空间偏移以电路技术实现的可能性,或者存在所述检测带组的空间偏移物理地实现的可能性。这可以例如借助于压电元件实现,所述压电元件垂直于所述光栅刻线地移动检测器元件设置于其上的波形转换器。

[0048] 本发明人在本发明的另一实施形式中还建议,将检测器元件的所述检测带与至少三个测量电路交替地相连接,并且在没有间隔时间的检测器偏移的情况下通过检测器元件的所述的至少三个测量电路在所述至少三组检测器带上为一条射线执行至少三次强度测量。

## 附图说明

[0049] 下面结合优选实施例借助于附图详细说明本发明,其中,仅示出了理解本发明所必需的特征。在此,使用了下述附图标记:1 :CT 系统;2 :第一 X 射线管;3 :第一检测器;4 :第二 X 射线管;5 :第二检测器;6 :机架外壳;7 :患者;8 :患者卧榻;9 :系统轴;10 :控制和计算单元;11 :存储器;A, B, C, D :成组的检测带的测量电路;d :在扇形射线几何形状中相

位光栅  $G_1$  至分析光栅  $G_2$  或至检测带  $DS_x$  的距离 ; $d$  : 在平行几何形状中相位光栅  $G_1$  至分析光栅  $G_2$  或至检测带  $DS_x$  的距离 ; $D_1$  : 检测器 ; $DS_x$  : 检测带 ; $E_i$  : 第  $i$  个检测器元件 ; $F_1$  : 焦点 ; $G_0$  : 源光栅 ; $G_1$  : 相位光栅 ; $G_2$  : 分析光栅 ; $h_0, h_1, h_2$  : 栅条 (Gitterstege) 的高度 ; $I(E_i(x_G))$  : 在光栅偏移  $x_G$  下在检测器元件  $E_i$  上测得的强度 ; $I_{ph}$  : 测得的光子流的强度 ; $l$  : 源光栅  $G_0$  至相位光栅  $G_1$  的距离 ; $n$  : 相位光栅的光栅材料的折射率 ; $P$  : 患者 ; $p_0$  : 源光栅  $G_0$  的光栅周期 ; $p_1$  : 相位光栅  $G_1$  的光栅周期 ; $p_2$  : 检测带  $D_s$  的大周期, 分析光栅后的干涉线的间距 ; $p_{DS}$  : 检测带  $D_s$  的小周期, 相邻的检测带的中心线之间的距离 ; $Prg_n$  : 程序 ; $S$  : 系统轴 ; $S_1, S_2$  : X 射线 ; $w$  : 焦点的延伸 (Ausdehnung) ; $x_G$  : 分析光栅或检测带的偏移 ; $x, y, z$  : 直角坐标系 ; $v$  : 体素的延伸 ; $\varphi$  : 相移 ; $\varphi_{EX}$  : 在检测器元件  $E_x$  上的相移 ; $\Phi_{ph}$  : 光子流 ; $\Phi_{ph}(x)$  : 在检测器元件的位置  $x$  处的光子流 ; $\lambda$  : 所观察的 X 射线辐射的波长 ; $\gamma$  : X 射线辐射。

[0050] 具体而言, 在附图中 :

[0051] 图 1 是穿过焦点 / 检测器系统的纵截面, 示出了源光栅、相位光栅和分析光栅以及它们的光栅结构 ;

[0052] 图 2 是穿过 CT 的焦点 / 检测器系统的纵截面, 该 CT 带有相位光栅、分析光栅以及检测器, 以显示干涉现象 ;

[0053] 图 3 是根据本发明的没有分析光栅的焦点 / 检测器系统的示意三维视图 ;

[0054] 图 4 是一个前接有相位光栅的检测器元件的三维表示图 ;

[0055] 图 5 是利用所述分析光栅检测相移的示意图 ;

[0056] 图 6 是在没有分析光栅但却有两组带有检测带的结构化检测器元件的情况下检测所述相移的示意图 ;

[0057] 图 7 是利用带有被划分成四组的检测带的检测器元件检测相移的示意图 ;

[0058] 图 8 是带有被划分成两组的检测带的检测器元件的三维表示图 ;

[0059] 图 9 以三维视图示出了带有根据本发明的焦点 / 检测器系统的 X 射线 CT 系统。

## 具体实施方式

[0060] 为更好地理解所述相位对比测量, 在图 1 中示意地示出了带有光栅组  $G_0$  至  $G_2$  的焦点 / 检测器系统。焦点  $F_1$  位于第一光栅  $G_0$  之前, 其最大延伸以  $w$  表示。所述第一光栅  $G_0$  具有光栅刻线的周期  $p_0$  和栅条的高度  $h_0$ 。对应地, 所述光栅  $G_1$  和  $G_2$  也具有高度  $h_1$  和  $h_2$  以及周期  $p_1$  和  $p_2$ 。为起到相位测量的作用, 必须使所述光栅  $G_0$  和  $G_1$  之间的间距  $l$  和光栅  $G_1$  和  $G_2$  之间的间距  $d$  相互符合特定的关系。在此有 :

$$[0061] p_0 = p_2 \times \frac{l}{d}.$$

[0062] 带有它的检测器元件  $E_1$  至  $E_n$  的检测器  $D_1$  至最后一个光栅  $G_2$  的距离并不重要。在此, 所述相位光栅的栅条的高度  $h_1$  应这样选择, 使得对应于所观察的波长、也就是所观察的 X 射线辐射的能量并针对各光栅材料有下述公式成立 :

$$[0063] h_1 = \frac{\lambda}{2(n-1)}.$$

[0064] 在此,  $n$  表示所述光栅材料的折射率, 而  $\lambda$  表示要利用其测量所述相移的 X 射线的波长。有利的是, 可以将这种光栅调节到一个对应于所使用的阳极的 X 射线频谱的特征

线的能量上,至少应当在这一能量范围中提供足够的光子数。在当前通常的钨阳极中,可以使用例如  $K_{\alpha}$  线。不过,还存在使用位置相邻的  $K_{\beta}$  线的可能性。在选择了其它阳极材料的情况下,必需有相应的其它能量并由此必需有相位光栅的其它配置。

[0065] 所述分析光栅的高度  $h_2$  必须足够,以便产生在所述光栅的由 X 射线辐射穿透的栅条以及尽可能空闲的位置之间的有效吸收差,从而在背侧形成对应的波纹图形。

[0066] 所述光栅  $G_0$  至  $G_2$  的线取向通常设计为,全部三个光栅的所述光栅刻线彼此平行地延伸。此外,有利的是,尽管并不必要的是,所述光栅刻线平行于或垂直于系统轴 S 地取向,其中,使所述光栅  $G_0$  至  $G_2$  大部分平坦地构造,并垂直于焦点和检测器中心之间的中心线地取向。然而,原则上还有可能使所述光栅的表面这样配合所述射线锥的射线路径,使得所述光栅在各个位置由所述焦点和各检测器元件之间的射线联系垂直地分割,这导致形成所述光栅的对应的曲率。

[0067] 在图 2 中,再次示出从光栅  $G_0$  而来的透射过患者 P 的个别相干辐射,其中,在对所述患者的穿透之后发生了相移现象。由此,在穿透光栅  $G_1$  时,产生由灰色阴影显示的干涉图形,其借助于光栅  $G_2$  在随后的检测器  $D_1$  及其检测器元件上导致各检测器元件不同的辐射强度,从而在该处构成所谓的波纹图形。如果例如观察取决于分析光栅  $G_2$  的偏移  $x_G$  的检测器元件  $E_i$  并将强度  $I(E_i(x_G))$  描绘为强度 I 上的偏移  $x_G$  的函数,则获得在所述检测器元件  $E_i$  上的强度 I 的正弦形的上升和下降。如果为每个检测器元件  $E_i$  或  $E_j$  根据所述偏移  $x_G$  描绘这种测得的辐射强度 I,那么就允许为最终构成所述焦点和各检测器元件之间的空间 X 射线的不同检测器元件近似出函数  $I(E_i(x_G))$  或  $I(E_j(x_G))$ 。根据所述函数,可以为每个检测器元件确定相互之间的相移  $\phi$ 。

[0068] 下式成立:

[0069]

$$\phi = 2\pi n \frac{v}{\lambda},$$

[0070] 其中, v 对应于检查对象内的体素或像素的大小, n 是其折射率,  $\lambda$  表示 X 射线辐射的波长。

[0071] 可以以这种方式为空间中的每条射线通过利用分别偏移的分析光栅的至少三次测量确定每条射线的相移,从而或者在投影的 X 射线照片的情况下可以直接计算投影照片的像素值,或者在 CT 检查的情况下建立其像素值对应于所述相移的投影,使得可以由此借助于本身已知的再现方法计算出,检查对象中的哪些空间元素归属于所测得的相移的哪些部分。由此,据此计算出层图像或立体数据,所述层图像或立体数据再次反映了有关 X 射线辐射相移的检查对象的局部效应。因为成分中的微小差别已经对相移施加了强烈的效果,所以由此显示了本身相对近似的材料,尤其是软组织的非常详尽和对比强烈的立体数据。

[0072] 对于穿透检查对象的所述 X 射线相移的检测的上述方案,借助于多次偏移的分析光栅以及在所述分析光栅之后的检测器元件上对所述 X 射线强度的测量,其缺点在于,必须在分别偏移的分析光栅的情况下为每条 X 射线执行至少三次测量。由此,对检查对象的扫描相对较慢,且同时增加了剂量负担。另一个问题在于,由于所使用的分析光栅而损失了用于检测的一部分辐射,因为这些辐射被所述光栅吸收了。

[0073] 因此,根据本发明建议,省去这种分析光栅并且代之以这样构造与所述相位光栅相连地设置的检测器元件,使得至少在测量时不发生剂量损失,优选地选择这样一种分布,

使得可以利用唯一的一次测量确定所观察的射线的相移。

[0074] 一种这样的装置在图 3 中的所示计算机断层造影的焦点 / 检测器系统的三维表示图中示意性地示出。图中示出焦点  $F_1$ , 在其射线途径上设置有源光栅  $G_0$ , 并在检测器侧有产生上述干涉现象的相位光栅  $G_1$ , 所述干涉现象由随后的检测器测量, 使得每个单个的检测器元件可以测量所述检测器元件上的辐射的相移, 精确地说是平均相移。在所示表示图中, 在检测器侧示出构造为多行检测器的检测器  $D_1$ , 其中每行包含有多个检测器元件, 并且每个检测器元件前接有相位光栅  $G_1$  的光栅结构。

[0075] 这种光栅和检测器元件之间的组合在图 4 中放大地示出。在此, 结构化地示出了所述检测器元件, 其中所述检测器元件由多个检测带  $DS_1$  至  $DS_{18}$  组成, 这些检测带就其取向而言平行于所述相位光栅  $G_1$  的光栅刻线地定向。在此要指出的是, 这里示出的分布仅仅是示意性的分布, 而实践中的配置原则上与其不同。

[0076] 在实践中, 一种这样的检测器元件的大小在 100 至 1000  $\mu\text{m}$  的范围内。其数量级必须在所述检测带的延伸内的周期  $p_2$  通常为约 2  $\mu\text{m}$ , 使得所述单个检测带在其被分成两部分的情况下约为一微米。

[0077] 图 5 再次说明了借助于分析光栅  $G_2$  对相移进行测量的基本原理。该图示意地示出 X 射线光子流  $\Phi_{ph}$  在 x 轴上在所述相位光栅之后一个塔耳波特距离 (Talbotdistanz) 的距离, 其中在 x 轴上记录了所述光子流  $\Phi_{ph}(x)$  的变化。在此, x 轴垂直于所述光栅刻线延伸。接着示出了分析光栅  $G_2$ , 该分析光栅具有周期  $p_2$ , 并在其栅条上吸收光子, 使得仅仅在所述光子的空闲位置才能向下穿透, 并最终入射到位于其后的检测器元件  $E_i$ , 在该检测器元件处测量其强度。如果光栅  $G_2$  在 x 轴方向发生微小的偏移, 那么就在位于其后的检测器元件上形成所测得的辐射强度  $I_{ph}$  的强的强度波动, 这可以通过所述光栅的偏移  $x_c$  的路径描绘。根据所述辐射强度与所述分析光栅  $G_2$  的偏移  $x_c$  之间的曲线, 可以为各检测器元件确定相位  $\varphi$ ,

[0078] 根据本发明, 可以这样替代所述分析光栅, 使得为检测器元件给出类似于光栅的结构, 其中可以通过综合多条带 (对应于所述光栅刻线或所述光栅内的空闲空间) 而分别测得穿过所述光栅的强度或对应于光栅的半周期偏移的强度。在图 6 中示出了一种这样的情形。在此, 上边首先又是在 x 轴上示出由于相位光栅导致的干涉现象的光子流。该光子流以不同的强度入射到检测器元件上, 其中, 将所述检测器元件  $E_i$  分成多条检测带  $DS_1$  至  $DS_6$ 。所述检测带以两个不同的电路 A 和 B 交替地组合, 使得检测带  $DS_1, DS_3, DS_5, \dots$  供给电路 B, 而检测带  $DS_2, DS_4, DS_6, \dots$  供给电路 A。以这种方式, 可以分别通过对在电路 A 或电路 B 上所测得剂量的观察而测量在分析光栅 (对应于图 5) 偏移半周期时产生的强度改变。

[0079] 如果在以检测带的半宽度轻微偏移检测器或轻微偏移检测带的情况下执行所述同一测量, 如另外以虚线示出的那样, 那么就可以用所述两个电路执行同一测量, 从而在此测得对应的强度。如果在 X 轴上描绘电路 A 和 B 或具有轻微偏移的检测器  $A'$  和  $B'$  的所测得的强度, 那么可以如在下面示出的图中那样地执行正弦线的匹配, 并由此确定所检测到的 X 射线辐射的相位  $\varphi$ 。

[0080] 在图 6 所示实施方式的方案中还必须用分别偏移的检测带执行至少两次测量, 其中在此在每次测量时由所述电路 A 和 B 产生两个测量值; 而在如图 7 所示的根据本发明的检测系统的改进实施方式中可以用一次单个测量直接确定检测器元件的所检测到的 X 射

线辐射的相位。图 7 示出类似于图 6 所示的检测器装置, 不过这样地设计对于检测带中检测器元件的划分, 使得唯一的检测带仅具有所对应的分析光栅的四分之一周期。以这种方式, 可能这样连接所述检测带, 使得每第四个带被导引到同一电路上并构成对应的检测带组。如果利用一种这样的检测器装置执行一个特定位置上的测量, 也就是对于一条特定的 X 射线的测量, 那么就可以根据在所述电路 A、B、C、D 上测得的强度分别读取与所述相位相对应的强度, 并可以根据这四次测量直接地确定到达所述检测器元件的 X 射线辐射的相位。这四个测量值 A、B、C、D 的分析在该图中示于更下方, 在此也要注意的是, 这些测量不是大致与单个检测带范围内的所述 X 射线辐射的相位确定相对应, 而是对应于所述检测器元件的总表面上的平均值。在此尤其有利的是, 在测量中引入了照射所述检查对象、尤其是患者的总的所用剂量, 以便做出分析, 并由此不产生任何剂量损失。

[0081] 也就是说, 本发明的核心在于, 把一个检测器元件划分成多条检测带, 所述检测带针对所测得的 X 射线强度成组地被读出, 其中, 所述划分必须这样进行, 使得其一方面在对应的分析光栅的周期  $p_2$  内匹配, 然而同时每个周期具有至少两条、优选为至少三条检测带, 使得每个周期一次地表示所述检测带上的每一个组。即, 通过这种划分方式可能在一个周期内安置两条、三条、四条、五条或更多检测带, 并在垂直于所述检测带取向的方向上将该划分多路并排地排成一列, 使得所述测量组的数目对应于每周期  $p_2$  的检测带的数目。

[0082] 检测器元件的一种这样的示例性的实施方式再次在图 8 中示出, 其中, 所述检测带在此成两组地与通道 A 和 B 相连接。

[0083] 一种用于执行根据本发明的方法的完整的计算机 CT 系统在图 9 中示出。该图示出了 CT 系统 1, 其具有带有 X 射线管 2 和位置相对的检测器 3 的第一焦点 / 检测器系统, 所述 X 射线管和检测器设置于机架外壳 6 内的未详细示出的机架上。在所述第一焦点 / 检测器系统 2、3 的射线途径中, 设置有如图 1 至 3 所示的光栅系统, 使得位于可沿系统轴 9 移动的患者卧榻 8 上的患者 7 可以在所述第一焦点 / 检测器系统的射线途径中移动并在该处被扫描。所述 CT 系统的控制通过计算和控制单元 10 来执行, 在该计算和控制单元中在存储器 11 中存储有程序  $Prg_1$  至  $Prg_n$ , 所述程序执行上述的根据本发明的方法, 并根据所测得的取决于射线的相移再现对应的断层造影图像。

[0084] 任选的是, 可以在所述机架外壳内设置第二焦点 / 检测器系统而不是唯一的焦点 / 检测器系统。这通过图 9 中以虚线示出的 X 射线管 4 和以虚线示出的检测器 5 来表示。

[0085] 作为补充的是还要指出, 利用所示出的焦点 / 检测器系统不仅可以测量所述 X 射线辐射的相移, 而且这种焦点 / 检测器系统还适用于对辐射吸收的传统测量和对于对应的吸收照片的再现。必要时也可以产生组合的吸收和相位对比照片。

[0086] 还要指出的是, 在实际的实施方式中, 可以在使用源光栅的情况下用高吸收率的材料来填充所述光栅刻线之间的空隙以改善对比。例如, 可以为此使用金。基本上, 应该这样设计所述源光栅, 使得其达到至少为  $e-1$  的对比系数。

[0087] 应当理解, 本发明的上述特征不仅可以按照各种给出的组合来使用, 而且也可以按照其它的组合或者单独地使用, 而不超出本发明的范围。

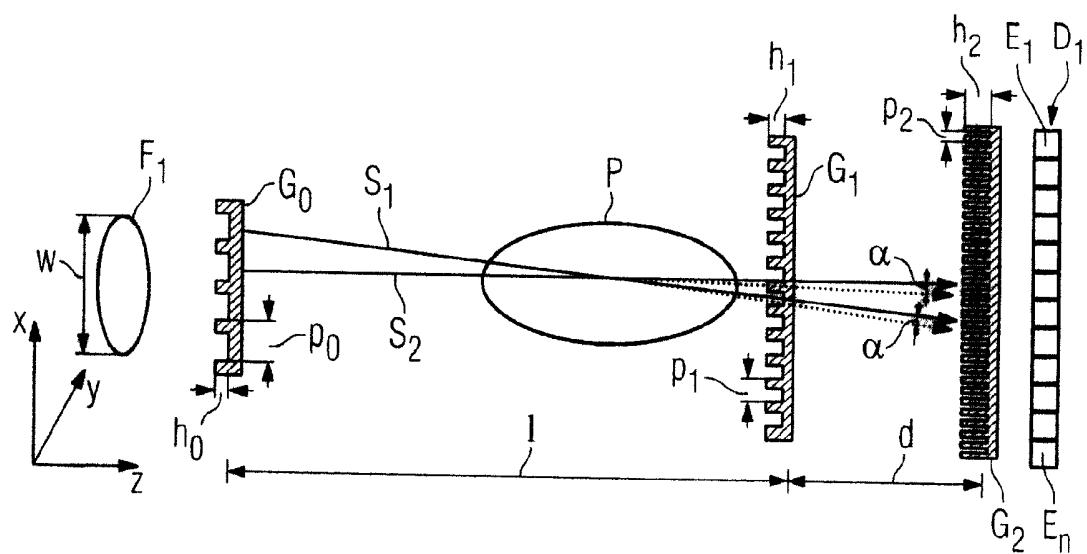


图 1

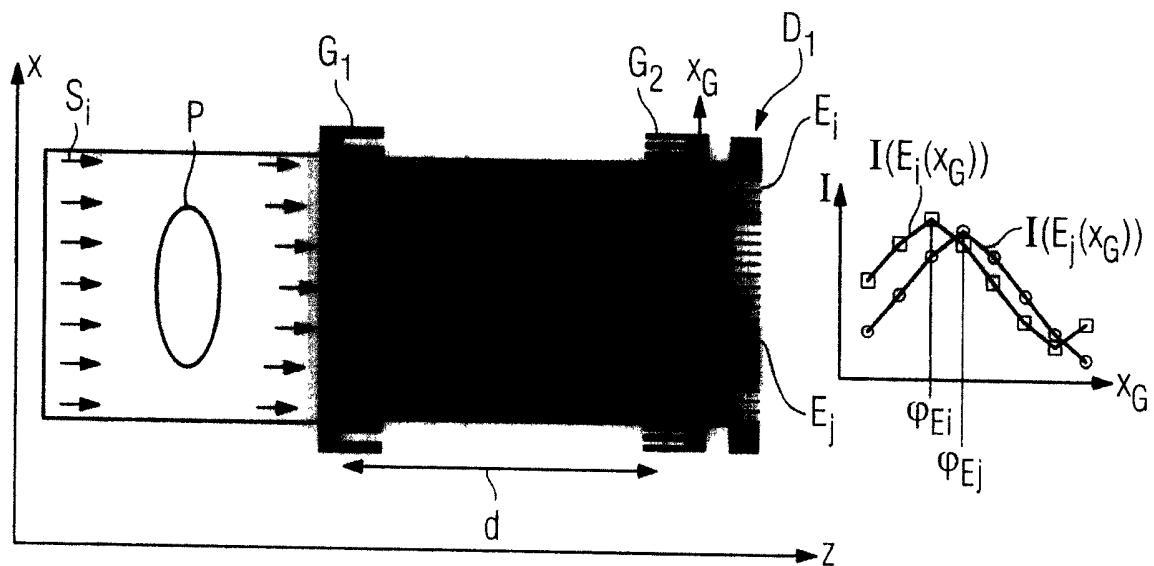


图 2

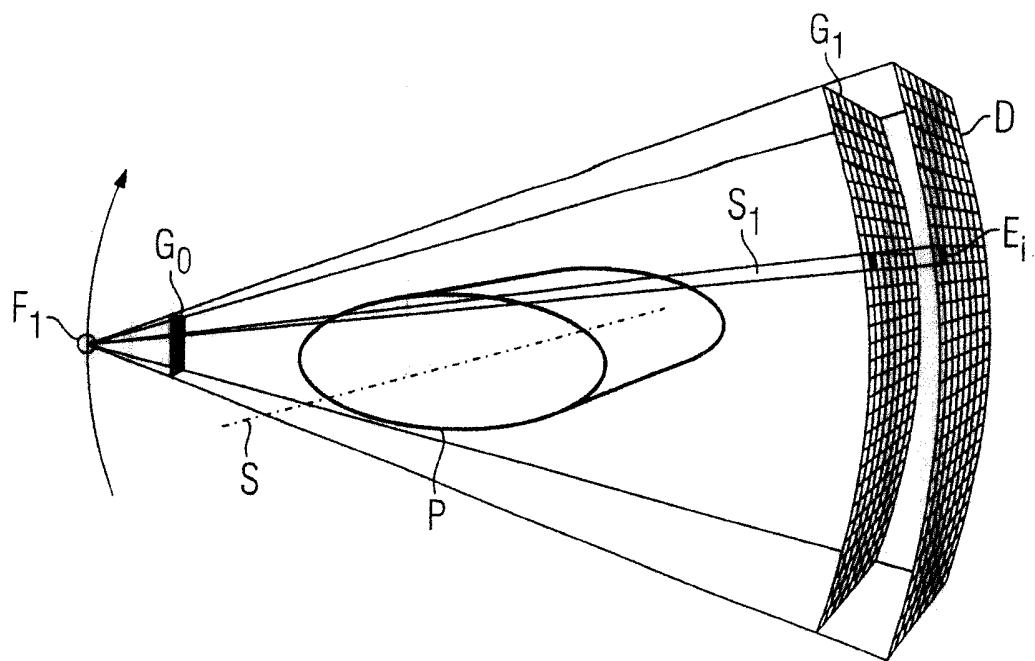


图 3

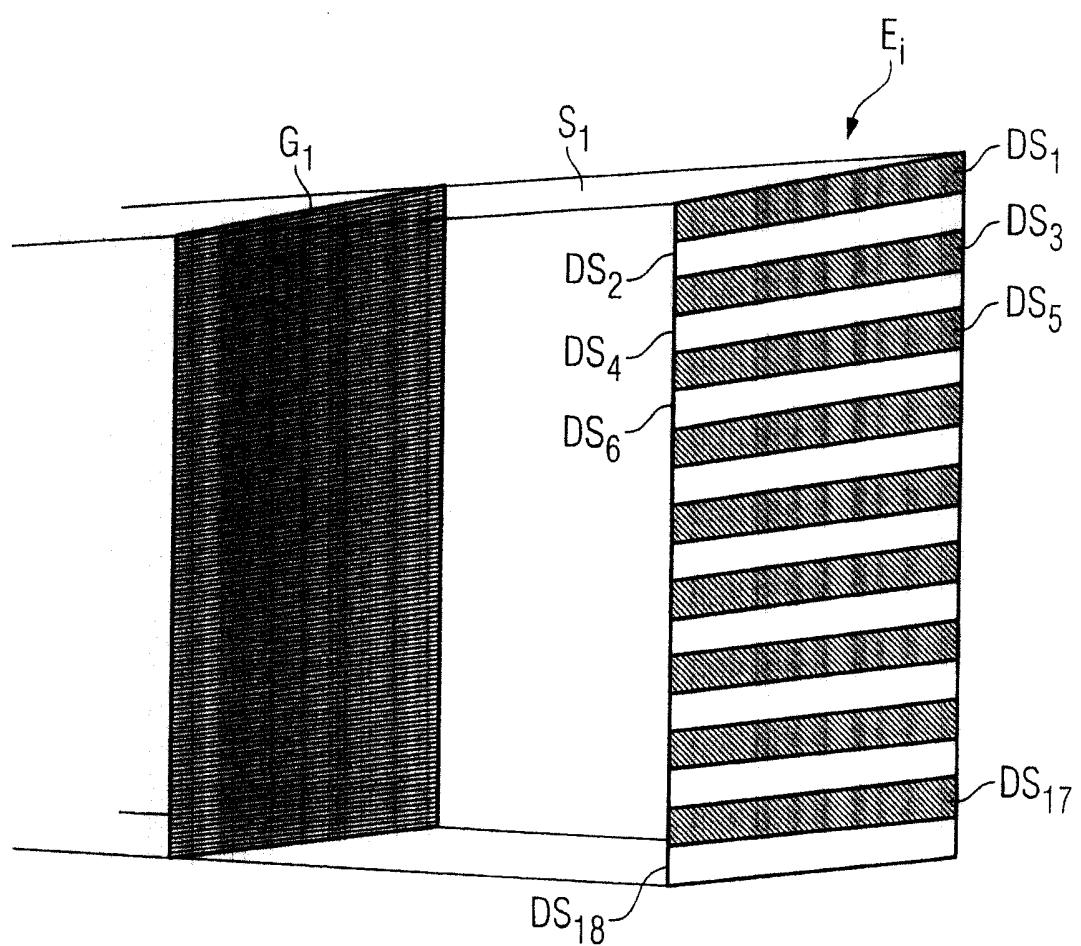


图 4

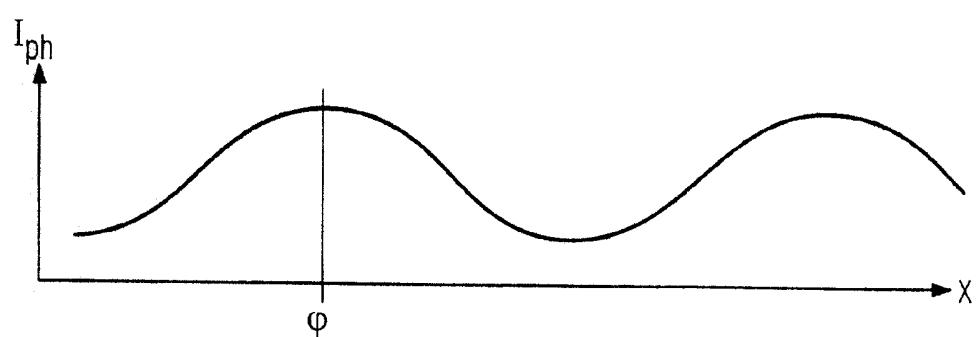
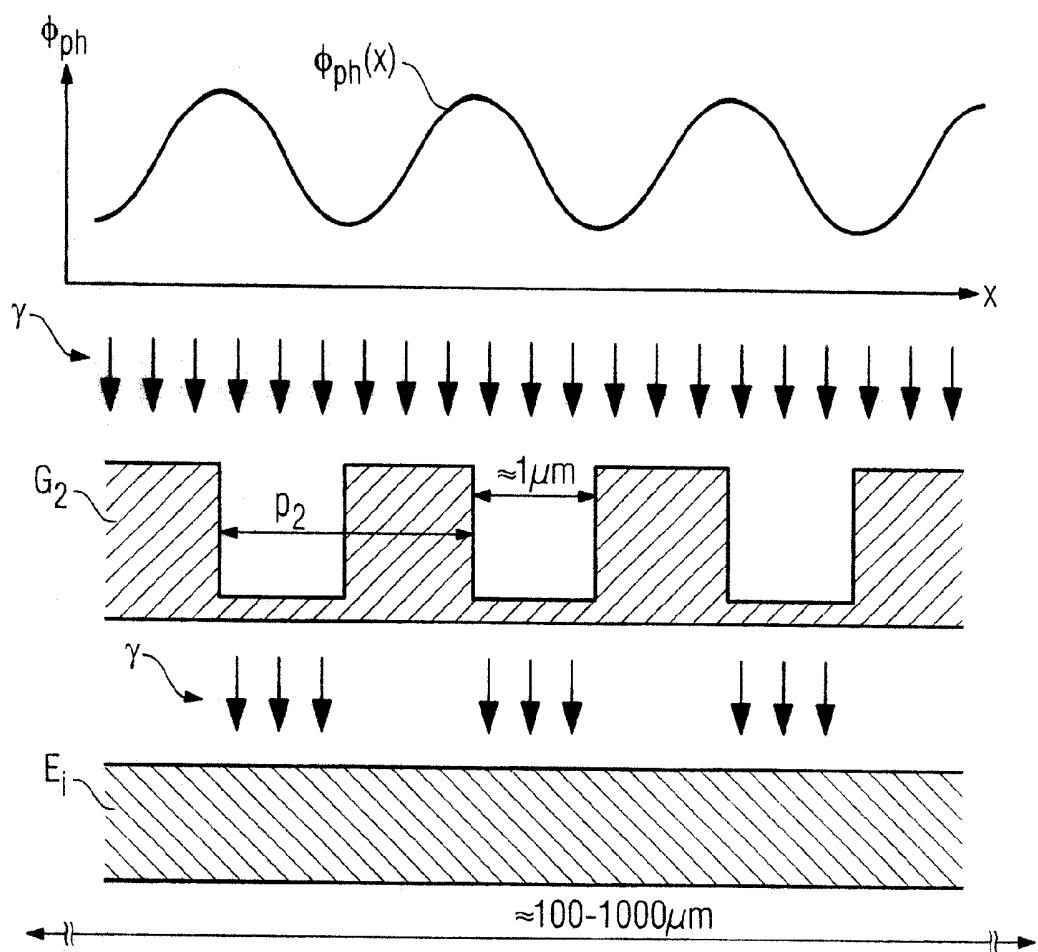


图 5

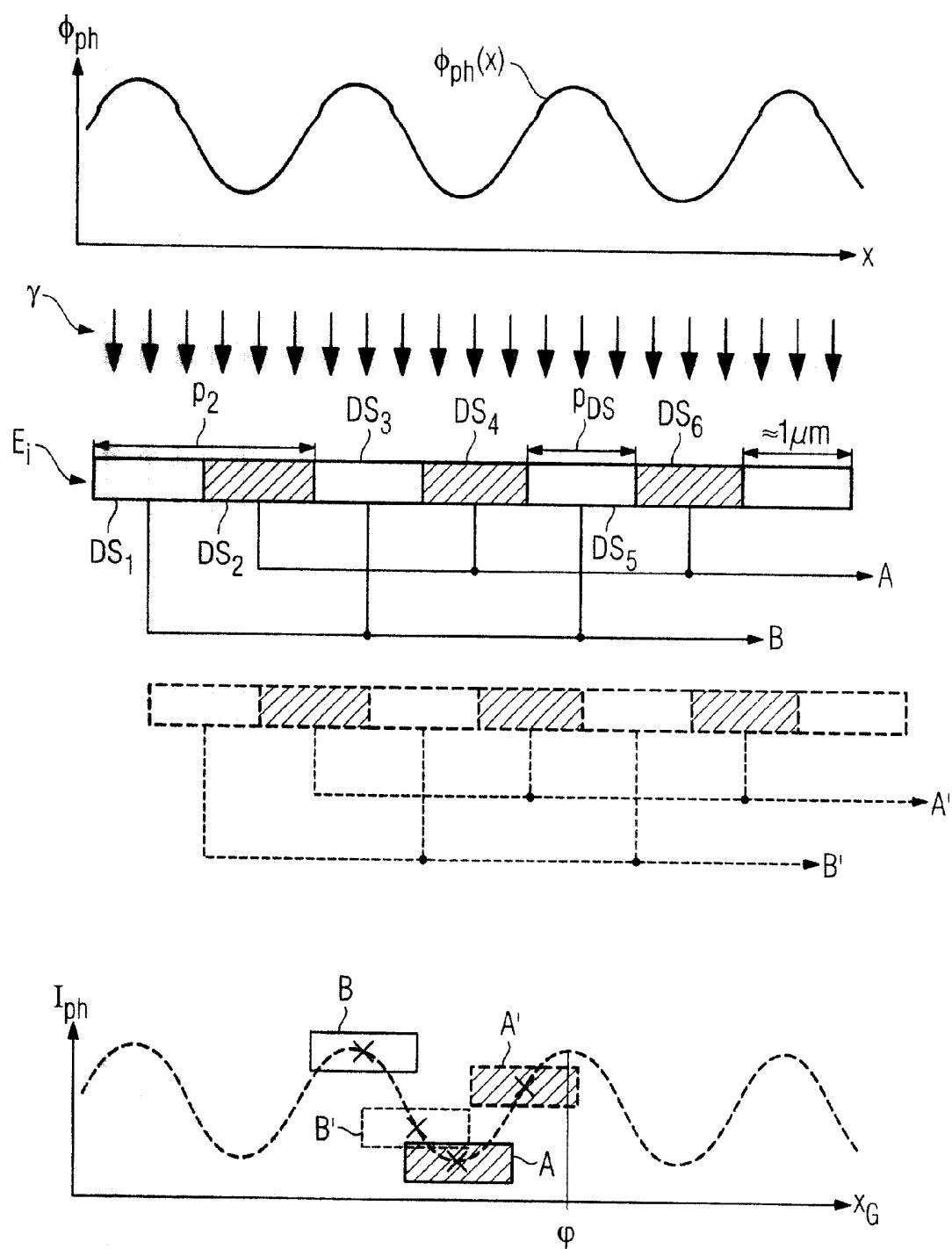


图 6

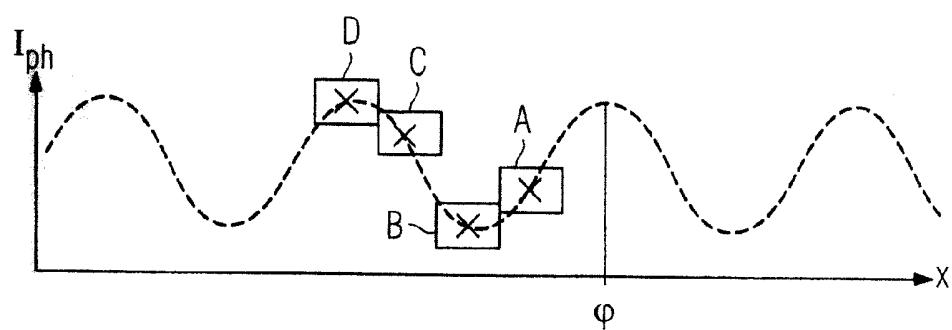
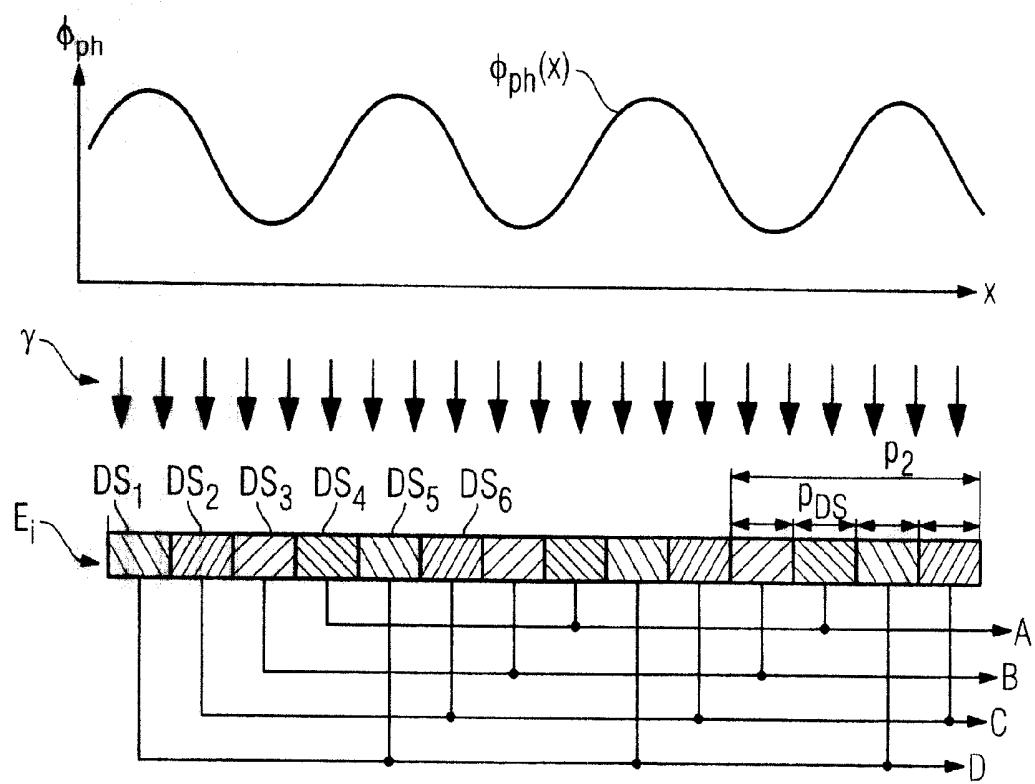


图 7

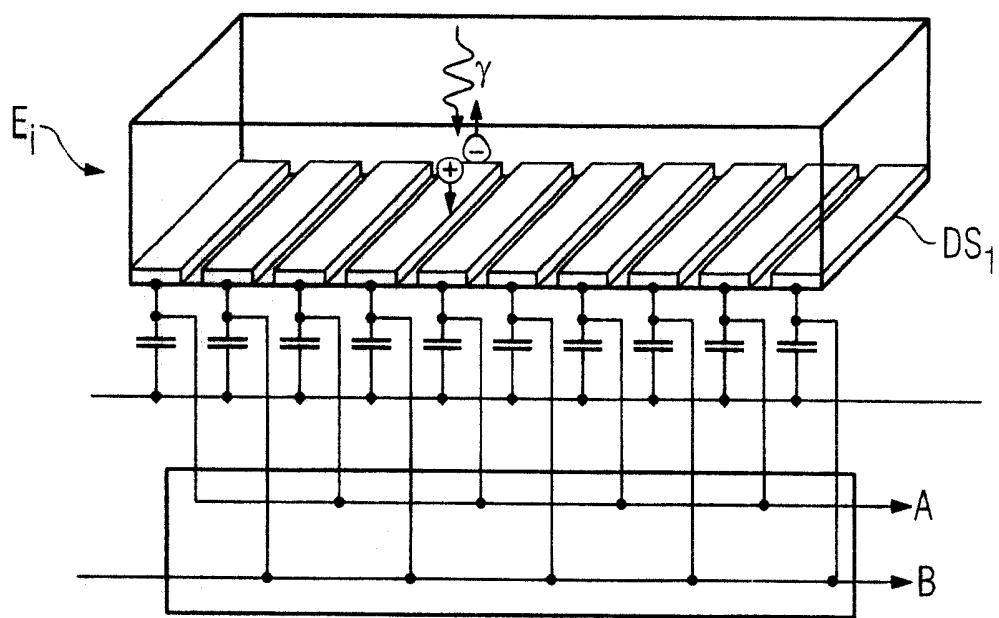


图 8

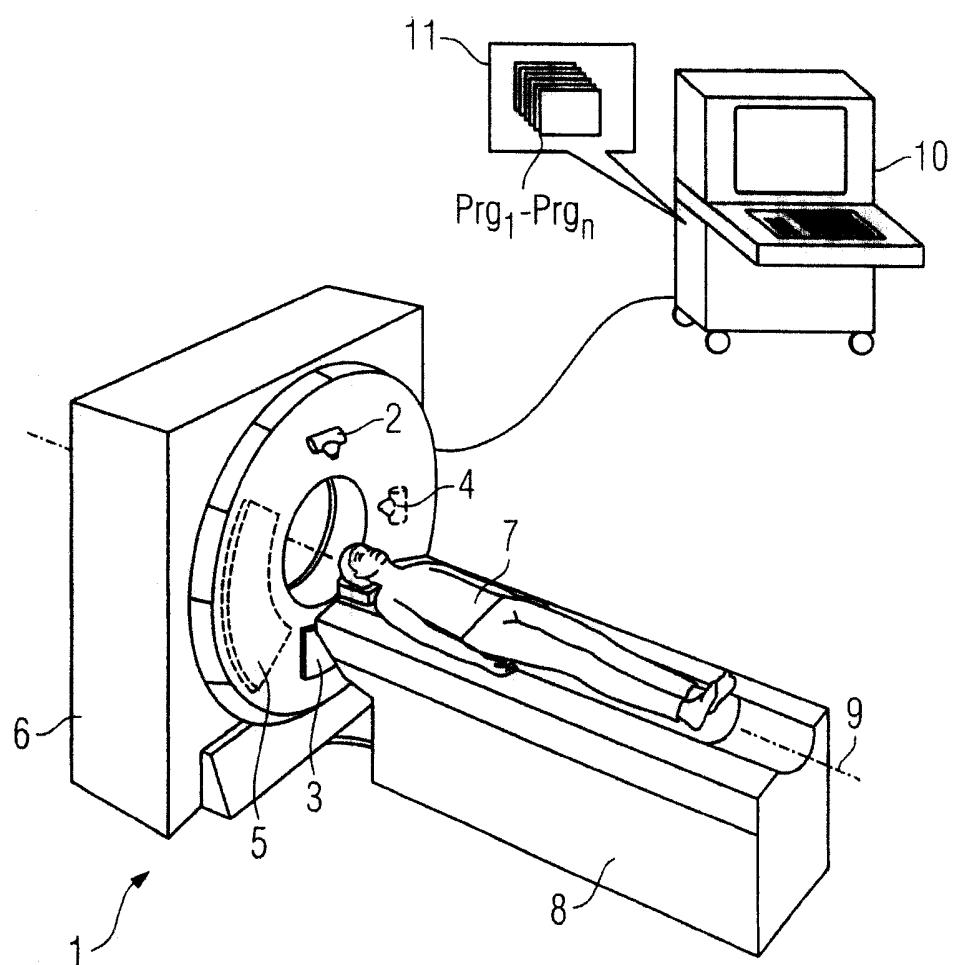


图 9