



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105609396 B

(45)授权公告日 2019.03.15

(21)申请号 201610033696.7

(22)申请日 2011.12.21

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105609396 A

(43)申请公布日 2016.05.25

(30)优先权数据  
1051369-5 2010.12.22 SE

(62)分案原申请数据  
201180058633.2 2011.12.21

(73)专利权人 伊克斯拉姆公司  
地址 瑞典希斯塔

(72)发明人 比约恩·宋德曼 汤米·图希玛  
奥斯卡·汉伯格

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 刘红梅

(51)Int.Cl.  
H01J 35/14(2006.01)  
H01J 35/02(2006.01)

(56)对比文件  
CA 1096054 A,1981.02.17,  
US 6339635 B1,2002.01.15,  
WO 20100067260 A1,2010.06.17,  
CN 101490790 A,2009.07.22,

审查员 白若鸽

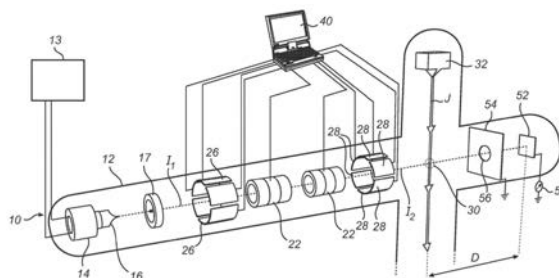
权利要求书2页 说明书14页 附图9页

(54)发明名称

校直和聚焦X射线源内的电子束

(57)摘要

本发明提供一种用于间接地测量电子-光学系统中射束的校直角度的技术,电子-光学系统包括校直装置、聚焦装置和偏转装置。为了实施测量,可以使用简单的传感器,甚至是单元件的传感器,只要其具有预定的空间延伸。当结合能够被操作以产生X射线靶的X射线源实施时,本发明进一步提出了一种用于确定和控制电子束在其与所述靶的交互点的宽度的技术。



1. 一种用在电子-光学系统中的方法,所述电子-光学系统适于提供输出电子束( $I_2$ )并位于电子轰击X射线源(10)内,所述电子轰击X射线源(10)能够被操作以在交互区(30)内产生电子靶,

所述系统包括:

校直装置(26),所述校直装置用于调整输入电子束( $I_1$ )的方向;

偏转器(28),所述偏转器能够被操作以偏转所述输出电子束( $I_2$ );以及

聚焦装置(22),所述聚焦装置用于将所述输出电子束聚焦在所述交互区(30)内,

所述方法包括以下步骤:

对于多个聚焦装置设置和校直装置设置,通过将所述输出电子束偏转入和/或偏转出传感器区(52)来确定所述输出电子束的各自的位置;

基于多个的因此而确定的位置,确定合适的校直装置设置,对于该合适的校直装置设置,所述位置对于聚焦装置设置的变化灵敏度最小;

基于所述合适的校直装置设置,应用校直装置设置;以及

对于至少一个聚焦装置设置,通过确保所述电子靶从电子束中部分地遮挡所述传感器区,以及进一步通过在所述电子靶和所述传感器区的未遮挡部分之间偏转所述电子束,来确定所述交互区内输出电子束的宽度。

2. 根据权利要求1所述的方法,所述方法进一步包括步骤:通过确保所述电子靶从电子束的偏转范围中部分地遮挡所述传感器区,以及进一步通过在所述电子靶和所述传感器区的未遮挡部分之间偏转所述电子束,来确定所述输出电子束的取向。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述合适的校直装置设置的确定受到所述电子束相对于由所述偏转器和聚焦装置界定的光轴的偏离的限制。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,对于多个聚焦装置设置和校直装置设置确定各自的位置的步骤包括对于所述多个校直装置设置的每个都要执行的子步骤:

对于一个聚焦装置设置,通过将所述输出电子束偏转入和/或偏转出所述传感器区(52)来确定所述输出电子束的位置;以及

对于至少一个另外的聚焦装置设置和相同的校直装置设置,重复所述确定所述输出电子束的位置的步骤。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,所述方法进一步包括步骤:

接收所述交互区内期望的电子束宽度;以及

交替地重复所述确定所述交互区内输出电子束的宽度的步骤以及根据响应调整所述聚焦装置设置从而获得期望的电子束宽度的步骤。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,所述方法进一步包括步骤:通过交替地重复确定所述交互区内输出电子束的宽度的步骤以及根据响应来调整所述聚焦装置设置从而减小所述宽度的步骤,来最小化所述交互区内输出电子束的宽度。

7. 根据权利要求5所述的方法,所述方法包括交替地重复所述确定交互区内的输出电子束的宽度的步骤和调整所述聚焦装置设置的步骤,其中交替地重复所述确定交互区内的输出电子束的宽度的步骤和调整所述聚焦装置设置的步骤包括非单调地调整所述聚焦装置设置和/或所述校直装置设置。

8. 根据权利要求1所述的方法,所述方法进一步包括步骤:通过在所述电子靶和所述传

感器区的未遮挡部分之间偏转所述电子束来确定所述交互区内电子靶的宽度。

9. 一种电子轰击X射线源(10)内的电子-光学系统,所述X射线源能够被操作以在交互区(30)内产生电子靶,所述系统适于接收输入电子束( $I_1$ )以及提供输出电子束( $I_2$ ),并且所述系统包括:

校直装置(26),校直装置用于调整所述输入电子束的方向;

偏转器(28),偏转器能够被操作以偏转所述输出电子束;

聚焦装置(22),聚焦装置用于将所述输出电子束聚焦在所述交互区内;

传感器区(52),传感器区适于感应带电粒子;以及

控制器(40),控制器与所述校直装置、聚焦装置和传感器区通信地连接,并且能够被操作以控制所述X射线源内的电子靶,

其中当所述电子靶被启动时,所述电子靶从所述电子束的偏转范围中部分地遮挡所述传感器区,

所述控制器能够被操作以:

通过将所述输出电子束偏转入和/或偏转出传感器区(52)的未遮挡部分,对于多个聚焦装置设置和至少一个校直装置设置,来确定所述输出电子束相对于所述传感器区的位置。

10. 根据权利要求9所述的电子-光学系统,其中对于多个聚焦装置设置和多个校直装置设置,通过将所述输出电子束偏转入和/或偏转出传感器区的未遮挡部分,所述控制器能够被操作以确定合适的校直装置设置以及所述交互区内输出电子束的宽度。

11. 根据权利要求10所述的电子-光学系统,其中对于多个聚焦装置设置和多个校直装置设置,通过将所述输出电子束偏转入和/或偏转出传感器区(52),所述控制器能够被操作以确定所述输出电子束的各自的位置;基于多个的因此而确定的位置,确定合适的校直装置设置,对于该合适的校直装置设置,所述位置对于聚焦装置设置的变化具有最小的灵敏度;

基于所述合适的校直装置设置,应用校直装置设置;以及

对于至少一个聚焦装置设置,通过确保所述电子靶被启动并且在所述电子靶和所述传感器区的未遮挡部分之间偏转所述电子束,来确定所述交互区内输出电子束的宽度。

12. 根据权利要求9所述的电子-光学系统,其中所述传感器区被界定。

13. 根据权利要求12所述的电子-光学系统,进一步包括界定所述传感器区的导电屏(54)。

14. 根据权利要求13所述的电子-光学系统,其中所述导电屏邻近所述传感器区。

15. 根据权利要求13所述的电子-光学系统,进一步包括具有突出物的壁(12),所述传感器区被设置在所述突出物上,其中所述传感器区与所述壁电绝缘。

16. 根据权利要求13所述的电子-光学系统,进一步包括凹部(66),所述凹部被设置在电荷灵敏表面(64)内并且形成传感器区。

17. 一种X射线源,包括:

权利要求9至16的任一项所述的电子-光学系统;以及

用于生成液体射流的喷嘴(32),所述液体射流经过所述交互区并且作为电子靶,其中所述喷嘴由所述控制器控制。

## 校直和聚焦X射线源内的电子束

### 技术领域

[0001] 本文所公开的发明主要涉及一种自动校准的电子光学系统。更准确地,本发明涉及一种用于自动地校直和/或聚焦电子轰击X射线源(特别是液体-射流X射线源)内的电子束的装置和方法。

### 背景技术

[0002] 光学系统的性能通常对于沿系统的光轴行进的射线是最理想的。因此,光学系统的组装通常包括部件的仔细校直以使射线在条件允许的情况下尽量平行于和/或接近光轴。合适的校直通常在用于带电离子的光学系统中是期望的,并且例如在电子-光学装置中也是期望的。

[0003] 电子轰击型的高亮度X射线源中的电子束需要拥有非常高的亮度。典型地需要电子束斑能够在空间上高精度地被定位。作为一种例子,申请人的相关的待审申请(公开号为:W0 2010/112048)公开了一种电子轰击X射线源,其中,电子靶为液体金属射流。撞击在射流上的电子束的功率典型地为约200W,焦点直径的级别为20 $\mu$ m。如果电子枪包括消耗零件,例如,有限寿命的高电流密度的阴极,则X射线源可能需要定期被拆卸以替换这些零件。随后的重新组装必须进行新的校直程序,校直程序会产生相当大的作业量和/或生产停滞成本。如果X射线源被物理地移动,就会经受外部的震动或维护,这就需要进行重新校直。

### 发明内容

[0004] 本发明针对主要是电子-光学系统以及特别是电子枪中遇到的上述限制而做出。因此,本发明的目的是提供一种用于电子-光学系统的校直和校准技术,这种电子-光学系统操作起来更加便利。可想象的是,本发明因此会有助于这些系统操作更加经济和/或更加准确。本发明的具体目的是提供一种用于电子-光学系统的改进的校直和校准技术,电子-光学系统支持X射线源或作为这些的集成部件来操作。

[0005] 电子轰击X射线源内的电子-光学系统可以适于接收输入电子束以及提供输出电子束,当电子束轰击在位于电子束路径上的电子靶上时,电子束以适于产生X射线辐射的方式被聚焦和/或定向,这种相交限定出了X射线源的交互区。电子-光学系统可以包括校直装置和至少一个偏转器,校直装置用于调整输入电子束的方向,偏转器用于调整输出电子束的方向。偏转范围是角度设定,输出电子束的方向允许在偏转范围内变化。校直装置用于补偿输入电子束的偏离或轴偏移,从而使得电子束以被校直的方式穿过电子-光学系统。校直装置可以被操作以在一维地或二维地偏转输入电子束。例如,如果电子-光学系统相对于产生电子束的电子源而脱位,可以产生输入电子束的未校直。校直装置例如可以是电子-光学或机械型的。两种不同类型的校直装置可以组合。已知的是,被独立控制并且适于隔开的两个校直装置能够补偿偏离或轴偏移的未校直,即使这些偏离或轴偏移的未校直同时出现。另外,电子-光学系统可以包括聚焦装置,聚焦装置将输出电子束聚焦在交互区或交互区周围。

[0006] 每个校直装置和偏转器可以被实施成能够被操作以提供静电和/或磁场从而从一侧加速电子的装置,例如板、一对板、板的空间设置或任何其他适于静电偏转的电极结构、(圆形或非圆形)的线圈或线圈系统。每个校直装置和偏转器可以被操作以沿固定的方向(即,一维扫描)或在任意方向上(即,二维扫描)偏转电子束。聚焦装置可以是线圈或者是线圈系统,例如电磁透镜或静电聚焦透镜或两者的组合。聚焦装置的聚焦功率例如通过调整聚焦磁场或电场的密度能够被改变。

[0007] 在第一和第二方面,本发明提供了一种具有独立权利要求所述的特征电子-光学系统和方法。从属权利要求定义了本发明的有利实施方式。

[0008] 根据本发明,上述普通类型的电子-光学系统进一步包括传感器区和控制器。控制器被配置以执行一系列的步骤,在这些步骤中,某些要求电子靶被激活,而某些无论电子靶是否被激活都能被同等地实现。

[0009] 在第三方面,本发明提供了一种计算机程序产品,其包括数据载体,数据载体用于存储计算机可读指令,而计算机可读指令用于执行第二方面的方法。特别地,计算机可读指令可以由与电子-光学系统中的聚焦装置、偏转装置和传感器通信地连接的可编程计算机执行,从而实施本发明的方法。

[0010] 对于从属权利要求,“传感器区”可以涉及任何适于探测轰击在传感器上的带电粒子束存在(以及如果可能的话,功率或密度)的传感器,其也可以涉及所述传感器的一部分。对于一些实施例,传感器可以是电荷灵敏区(例如,通过电表接地的导电板)、结合光传感器的闪烁体或结合光传感器的发光材料(例如,荧光体)。传感器区可以适于探测形成电子束类型的带电粒子,特别地是电子。

[0011] 在一个实施方式中,传感器例如由电导屏界定出。控制器然后适于执行下述步骤:

[0012] 对于一个聚焦装置设置,通过将输出电子束偏转入或偏转出传感器区来确定输出电子束的相对位置,所述传感器区被设置交互区的下游与交互区相距一定的距离;

[0013] 对于至少一个另外的聚焦装置设置和相同的校准装置设置,重复用于确定电子束的相对位置的步骤;以及

[0014] 通过确定电子束的相对位置对聚焦装置设置的变化灵敏度的灵敏度来评估校准装置设置。

[0015] 可以高精度地确定是否电子束轰击到传感器区的外侧、部分地位于传感器区内侧或完全位于传感器区内侧。通过将电子束偏转入或偏转出传感器区同时监测传感器信号,可将偏转器的设置和传感器的位置关联。换句话说,电子束(或者相反地,电子束撞击传感器区所在束斑的位置)相对于传感器区的位置根据特定的偏转器设置(偏转器信号值)而被确定。要强调的是,单元件的传感器,特别是由电导屏所界定出的传感器区,能够实现该任务。关于本发明,少量元件的传感器也可很好地适于执行检测。虽然一维或二维排列的传感器元件可以用于该目的,但是这绝不是必须的。

[0016] 所述相关位置的一些实施例如下。

[0017] 1. 一维偏转器可以由单个的偏转器信号控制,其中,偏转器信号值的范围可以与非零传感器信号相关。

[0018] 2. 由单个的偏转器信号所控制的一维偏转器可以产生一个将每个偏转器信号值和传感器信号的值关联的函数(曲线)。

[0019] 3. 二维偏转器可以由两个部件的偏转器信号控制,其中产生非零传感器信号的所述信号值在二维坐标空间内的区域是可视的。

[0020] 4. 使用由两个部件的信号所控制的二维偏转器所采集的信号数据可以被概括成一对值,这一对值代表了二维坐标空间内非零传感器信号的区域的质量。在一维偏转器的情况下,质心也可被计算出。

[0021] 5. 传感器信号数据也可以被概括成一组代表非零传感器信号的区域边界的数值,例如对于一维偏转器,上和下区间的端点,或者对于二维偏转器,平面区域的边界(的部分)。

[0022] 如果电子束未被正确地校直,聚焦功率的变化会伴随图像的平移,这在光学领域是已知的。聚焦功率的变化也会产生图像的旋转或非刚性变换。对于合适的电子束校直,由于焦点的变化,可仅被认为图像的轻微“喘息效应”或放大和皱缩。根据本发明,当使用至少两组聚焦装置时,电子束相对于传感器区被定位。因此,可计算电子束的相对位置对聚焦装置设置的变化灵敏度。该灵敏度可以被定义成电子束的相对位置相对于聚焦装置设置的变化率。在简单的形式中,灵敏度可以被计算成差商 $S = \Delta p / \Delta f$ ,其中 $\Delta p$ 代表电子束位置的变化,而 $\Delta f$ 代表聚焦装置设置的变化。

[0023] 假设聚焦装置由一个信号控制,灵敏度可以被计算成下述内容从而用于上述实施例。

[0024] 1. 区间内的下端点从聚焦功率 $f_1$ 的偏差 $x_1$ 和聚焦功率 $f_2$ 的偏差 $x_2$ 中获得。灵敏度可以被计算成 $S = (x_2 - x_1) / (f_2 - f_1)$ 。

[0025] 2. 区别特征(例如函数曲线上的最速下降或最大的点)对应于聚焦功率 $f_1$ 的偏差 $x_1$ 以及对应于聚焦功率 $f_2$ 的偏差 $x_2$ 。灵敏度可以被计算成 $S = (x_2 - x_1) / (f_2 - f_1)$ 。

[0026] 3. 区别特征(例如转角)被建立在聚焦功率 $f_1$ 的偏差 $(x_1, y_1)$ 处以及被建立在聚焦功率 $f_2$ 的偏差 $(x_2, y_2)$ 处。量

$$[0027] \quad S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} / (f_2 - f_1) = \|(x_2, y_2) - (x_1, y_1)\|_2 / (f_2 - f_1)$$

[0028] 可以被用于灵敏度的测量。作为简化的选择,简单的径向距离 $d_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$

[0029] 可以被使用,其中 $\Delta p = d_2 - d_1$ 。如果从系统的光轴测量,径向距离相当于轴向偏离。

[0030] 4. 质心 $(x^{(n)}, y^{(n)})$ 可以被计算成: $x^{(n)} = \sum_i E_i^{(n)} x_i / \sum_i E_i^{(n)}$ ,其中 $E_i^{(n)}$ 是在聚焦功率 $f_n$ 的偏转器设置 $(x_i, y_i)$ 处所获得的传感器信号。因此,基于聚焦功率 $f_1$ 和 $f_2$ ,灵敏度可以被计算成 $S_{1,2} = \|(x^{(2)}, y^{(2)}) - (x^{(1)}, y^{(1)})\|_2 / (f_2 - f_1)$ ,其中 $\|\cdot\|_2$ 是上文出现的 $\lambda^2$ 准则。有利的是,使用质心作为相对射束位置的测量,因为所有的数据点都被考虑,从而鲁棒性和准确性被增进。如果更多的聚焦功率设置的数据被利用,总的灵敏度可以被计算成平均值,即 $S = (S_{1,2} + S_{1,3} + S_{1,3}) / 3$ 。

[0031] 5. 一个或更多的边界点可以在不同的聚焦装置设置所采集的数据中被跟踪,不同的聚焦装置设置的采集类似于实施例1、2或3中不同的一维或二维点的处理。

[0032] 6. 作为上述点4的变化,计算机视觉领域中已知的边缘探测技术可以被使用从而

确定传感器区的边界的位置。优选地,边界的轮廓可以形成质心计算的基础。该方法也可以很好地在传感器区被部分地遮挡的位置执行。

[0033] 使用宽范围的灵敏度测量,可以将本发明具体化,唯一重要的要求是,从用户或设计者的角度,相对更加令人满意的校直装置设置是评分相对较小的灵敏度值。例如,如果电子-光学系统中的聚焦装置能够由输入信号的矢量 $f$ 控制,可以定义 $\Delta f = \|f_2 - f_1\|_p$ ,其中 $\|\cdot\|_p$ 代表 $\lambda^p$ 准则,例如 $\lambda^2$ 准则。在一些实施方式中,可以仅考虑其中一个聚焦输入信号。

[0034] 要注意的是,输出电子束的相对位置的采集无需以任何特定的顺序或模式进行。例如,相对位置可以利用一组随机测量点,每个点由校直装置设置和聚焦装置设置所定义,然后相对位置对聚焦装置设置的变化的灵敏度能够沿下述或类似线而被计算:

[0035] 例如使用最小二乘法,从二元变量至一元变量(例如,多项式表面)的函数被拟合成测量数据。

[0036] 相对于聚焦装置设置,拟合函数具有最小偏导数的点或一组点通过已知的最佳寻找方法被检索。

[0037] 选择性地,输出电子束的相对位置以成对的方式被采集。作为一个实施例,根据本实施方式的方法包括下述步骤:

[0038] 对于一个聚焦装置设置,通过将输出电子束偏转入或偏转出传感器区来确定输出电子束的相对位置,所述传感器区被设置在交互区的下游与交互区相距距离 $D$ 并且由电导屏限定;

[0039] 对于至少一个另外的聚焦装置设置和相同的校准装置设置,重复用于确定电子束的相对位置的步骤;以及

[0040] 通过确定电子束的相对位置对聚焦装置设置的变化的灵敏度来评估校准装置设置。

[0041] 这样,针对所获得的每个校直装置设置,在一组测量数据中通常会有至少两个点。

[0042] 在上述两种情况的其中一个中,在输出电子束与光轴偏离的情况下,进行最优化(评估)步骤。在最优化的情况下,更准确地,最小值的寻找被限制至函数值的对应于期望偏离的一维子集。清楚地,可以采用这种方式确定同时提供最小灵敏度和期望(例如最小)轴向偏离的校直装置设置。

[0043] 本发明有利之处在于,具有可选择的屏的传感器区被设置的与交互区相距一定的距离,其中电子-光学系统适于聚焦输出电子束。因此,在校直过程中运转的硬件不干涉X射线源的正常操作。

[0044] 作为本发明的另一优点,通过单元件的传感器可以获得足够量的测量数据以实现合适的校直设置。如上所述,电子束的相对位置通过将电子束在一个范围上偏转来实现,在该范围中,电子束选择性地轰击在传感器区上和传感器区的外侧,例如电导屏上。因此,本发明可以使用简单的和耐用的硬件。

[0045] 应当注意的是,无论是哪种情况,电子靶都无需被关闭或移除以执行本发明。实际上,即使电子靶可以遮挡部分的传感器区,传感器区的外部边界会被屏明显地界定出,从而可通过记录不同偏转器设置的传感器信号来确定电子束的相对位置。因此,当电子靶被启动或被关闭时,通过偏转器将输出电子束偏转入或偏转出传感器区来确定输出电子束的相

对位置的步骤可以被实施。

[0046] 在一个实施方式中,传感器区被设置的与交互区相距D。距离D可以根据一个或多个下述因素而被选择:

[0047] 在操作过程中交互区内的物理条件(例如,热量)和化学条件以及传感器对这些条件的脆弱性,

[0048] 到达传感器区的有害斑点或沉淀蒸汽的可能性,以及

[0049] 如果需要时,在交互区内或附近操作物体的足够空间。

[0050] 然而,电子束的聚焦不是选择D时要考虑的重要参数。事实上,电子束的定位不是通过对物体成像实现的,而是通过将电子束偏转入或偏转出明确界定出的传感器区来实现的;这种定位通常能够被实施,即使电子束被很差地聚焦或电子束的宽度大于其最小直径。

[0051] 在一个实施方式中,电子-光学系统进一步包括传感器区和电导屏,传感器区被设置在交互区下游与交互区相隔一定的距离,电导屏界定出传感器区并且适于耗尽通过电子辐射传递至传感器区的电荷或者沉淀在传感器区上的带电残渣粒子。所述系统进一步包括控制器,控制器通信地与校直装置、聚焦装置和传感器区连接并且能够在多个校直装置和聚焦装置设置中采集输出电子束的相对位置值。

[0052] 在一个实施方式中,电子-光学系统包括电导屏,电导屏保持恒定的电势。换句话说,屏适于吸收电荷而自身不会带电。作为电子、离子或带电粒子沉淀在屏上的电荷可以从屏排至电荷存储区。例如,屏能够是接地的导电元件。屏也可以是电连接至非地电势的电荷存储区的元件。屏所保持的电势绝对恒定不是必要的,至少小的波动不会相当大地影响其适当的功能。另外,电势可以是地电势、正电势或负电势。特别地,如果屏稍微地偏负,它排斥电子,借此它作为弱负性的透镜并且增加交互区下游电子束的发散性。另外,如果屏保持在小的正电势,它会在主电子束的外侧吸引低能电子,从而测量噪音可以被减小。

[0053] 在一个实施方式中,电导屏邻近传感器区或保持相对小的距离。这有利地提供传感器区的明确的界限,该界限大体上独立于电子束的入射方向。在该实施方式中,传感器区可以是无需具有作为传感器区的相同形状的大量传感器的子集。作为另一选择,传感器区可以与屏平齐。传感器和屏可以边对边地设置。因此,屏可以被实施成壁的一部分,传感器被设置在该壁上,例如真空腔的壁。传感器区从屏朝电子束伸出也是可能的并且是优选的。

[0054] 在一种实施方式中,电导屏在所有方向上包围传感器区。因此,屏沿光轴至传感器平面的突出界定出了未遮挡区,未遮挡区在所有方向上被界定出边界。这意味着,屏界定了传感器区的整个边界,从而传感器区被确定地界定出。本实施方式也能获得比传感器区本身的界限构成的传感器的边界的实施方式更高的精确度。

[0055] 在前述实施方式的进一步改进中,传感器位于屏的被限定的孔之后并且在传感器的孔的突出的外侧至少延伸距离 $\delta$ 。距离 $\delta$ 构成了一个边缘,该边缘确保已经穿过孔的射线不会轰击传感器区的外侧并且仅部分地被记录。距离 $\delta$ 可以基于屏与传感器之间的距离L通过 $\delta = L \tan\psi$ 被计算出,其中 $\psi$ 是入射的期望最大角。

[0056] 在一种实施方式中,电导屏具有圆孔。如果聚焦装置旋转电子束,圆形的旋转不变性是有利的。更准确地,带电粒子束的聚焦可以通过静电透镜、通过磁透镜或自由旋转磁透镜来实现。静电和自由旋转磁透镜可以基本上消除旋转问题,但是在期望的应用中会有其他的缺点。因此,如果常规的磁透镜用作聚焦装置,当进行测量时需要考虑旋转效应。但是,



当使用圆孔时,如下文所述的,计算可以被简化。如果圆孔的中央位于光轴上,可以实现进一步的简化。

[0057] 传感器区的延伸可以由电导屏界定出。传感器或传感器装置的中心不是必须位于电子光学系统的光轴。光轴可以由系统的其他校直部件的定位来限定,例如通过偏转和聚焦装置的共同的对称轴。不必是屏界定出中心位于光轴上的传感器区,相对于系统的光轴的已知的传感器位置也是足够的。然而,在一种实施方式中,屏具有中心位于电子光学系统的光轴上的孔。使用这种设置,可评估电子束的方向(倾斜)及其离轴的错位。这种倾斜可以被测量成电子束的相对位置对聚焦装置设置(例如,焦距、聚焦功率)的变化的灵敏度。电子束的离轴错位量可以相对于输出电子束的非偏转(中性)方向而被测量。作为选择,校准可以包括定义电子束的中性方向从而使得其与孔的中心重合。

[0058] 在进一步的变化中,可以不使用屏来界定出传感器区,所述屏有利地限定系统中的多个部件。首先,传感器区可以作为从与传感器绝缘的表面突出的电荷灵敏体的前表面。

[0059] 选择性地,传感器区可以作为电导材料体中盲孔(或凹部或凹陷或钻孔)。轰击至孔内的电子会经受比周围表面更小的反向散射并且因此对应于辐射在传感器区上每单位电荷的相对较高的信号水平。关于这类传感器,根据上述点6的灵敏度计算被证明是特别有利的。

[0060] 一个实施方式涉及自动校直方法。在限定出校直装置的多个候选设置后,通过研究电子束的相对位置的灵敏度来评估每个设置。该方法然后执行至确定合适的产生最小或接近最小灵敏度的校直装置设置,这是本发明的结果。确定合适的校直装置设置可以存在于:选择那些已被发现能够提供最小灵敏度的候选设置。合适的设置也可以在曲线拟合的中间步骤之后被导出,也即,通过估计用于模型化灵敏度和校直装置之间关系的表达式中的量。该表达式可以是线性或非线性函数,例如多项式,并且这种拟合可以使用最小二乘法来实现。

[0061] 一个实施方式涉及X射线源,该X射线源具有用于提供电子靶(例如液体射流)的喷嘴。如上所述,液体射流的产生进一步包含增压装置和循环系统。射流可以是金属射流、水溶液或非水溶液或粒子悬浮液。电子束轰击在电子靶所在的交互区内的电子束的宽度是控制X射线产生过程很重要的特性。仅通过与交互区相距而设置的传感器区和传感器确定交互区内的宽度不是直接的。当电子靶存在时或当电子靶部分地遮挡传感器区时,该实施方式通过在传感器区上偏转电子束来实现宽度测量。因为电子靶遮挡或部分地遮挡部分传感器区,记录的传感器信号会展现电子束的最小衰减(未遮挡的传感器区)和最大衰减(靶后)之间的过渡。电子束宽度可以从该信息中导出,特别地可以从过渡的宽度中导出。例如,在偏转器装置设置的改变和交互区高度处电子束位置之间存在已知的关系。这种关系可以涉及具有交互区内位移(距离)的偏转器信号的单元。作为选择,这种关系可以涉及偏转器信号对角度变化的单位变化,借此交互区内的位移能够基于从偏转器至交互区的距离而被计算出。另外,电子束的横截面形状可以被考虑。应当注意的是,连续的偏转运动和连续地记录传感器数据都不是必须的,正如使用类似装置的经典的刀口扫描的情况。相反,这种运动可以是顺时针的,并且传感器数据可以及时地在离散点取样;也无需特定的顺序(例如线性顺序),其中在传感器数据获取过程中,不同的偏转器设置被访问。

[0062] 传感器区的自由部分和遮挡部分之间的偏转优选地先于允许确定电子靶的取向

的扫描。例如,与液体射流交叉的一维区域上的扫描可以提供足够的用于确定射流取向的信息。如果知道取向,在数据处理过程中,可以使用法线(垂直)的扫描方向或补偿倾斜的扫描方向。如果偏转器是一维的,这种补偿是有利的,这种补偿方法可以包括通过相对于电子靶的法线的入射角的余弦重新调节数据。

[0063] 进一步优选地,扫描可以是双面的,从而电子束在传感器区的未遮挡部分开始、完全进入电子靶并且重新出现在电子靶的另一侧。从结果信息中,可以推导出电子束宽度和电子靶宽度。这可以提供直观的用户界面,其中期望的电子束位置可以作为射流宽度的百分比而被输入。相反地,如果靶宽是已知的(并且稳定的,正如液体射流的情况下是相关的),电子束的宽度可以在缺乏偏转器设置和交互区的高度处的电子束定位之间的关系时被确定。

[0064] 因此通过知道电子靶的取向和中心位置,根据细长靶界定一个方向的系统中的坐标,可以处理涉及期望电子束位置的用户输入。例如,用户界面可以作为输入接收沿垂直于液体射流的方向的斑点直径(例如,20  $\mu\text{m}$ )和斑点中心位置(例如,-30  $\mu\text{m}$ );通过本发明的一个实施方式,电子-光学系统然后确定合适的校直、选择所述赋予期望斑点直径的聚焦装置设置以及偏转输出电子束从而使得斑点在期望位置的上方。作为本发明的另一优点,界面可以被配置以拒绝执行会产生过大的电子束密度的损害性设置。

[0065] 在一个实施方式中,提供了一种确定聚焦装置设置从而获得期望电子束的方法,所述期望的电子束宽度在交互区的高度处被测量,在交互区,电子靶被提供,并且由电导屏所界定出的传感器区被设置在交互区的下游。电子束是来自电子光学系统的输出电子束,所述电子光学系统包括聚焦装置和至少一个偏转器。所述方法包括在电子靶和传感器区的未遮挡部分之间偏转(扫描)电子束。用于电流聚焦设置的电子束宽度能够从传感器信号中推导出。

[0066] 该方法即使是使用单元件的传感器区也是能够实现的。

[0067] 扫描可以在第一位置、第二位置和一组合适的中间位置之间实施,其中在第一位置,电子束轰击在未被电子靶遮挡的传感器区,在第二位置,电子靶最大地遮挡电子束。如果记录的传感器数据被看作偏转设置的函数,未遮挡位置(期望的大传感器信号)与遮挡位置(期望的小传感器信号)之间的过渡可以被识别。过渡的宽度对应于在电子靶处测量的电子束的宽度。如果偏转器设置和交互区的高度处电子束的位移之间的关系是可利用的,那么根据偏转器设置,以这种方式确定的宽度可以被转换成长度单位。

[0068] 有利的是,沿垂直于电子靶边缘的方向进行扫描;然而,非垂直的扫描方向可以通过考虑相对于边缘的扫描角度的数据处理而被补偿。

[0069] 也可通过处理传感器数据来提取更加详细的关于电子束的信息,特别是其形状或密度曲线,所述数据处理通过本领域已知的阿贝尔(Abel)变换技术来实施。

[0070] 系统的适当校直对于实施本发明的第四方面虽然不是必要的。正如上文所述的,被较差地校直的电子束的聚集的变化会伴随着平移运动;然而,图像长度比例会被有限地被影响从而电子束宽度依然能够被准确地确定。

[0071] 在优选的实施方式中,宽度被确定以用于多个聚焦装置设置。聚焦装置设置可以位于从电子束腰位于电子束系统和交互区之间的数值至电子束腰超过交互区的数值之间。因此,可以推导出提供期望束宽的设置。也可最小化束宽并且因此可以最大化给定的总电

子束功率的密度。从该信息,可进一步推导出,是否特定的聚焦装置设置在这个意义上会引起电子束欠焦或过焦。

[0072] 在进一步的实施方式中,根据为了最小化滞后效应所设计的方案,进行输出电子束的相对位置的采集。这种方案的特性是导致测量位置(即,由校直装置设置和聚焦装置设置所定义的点)的增量的符号与测量位置的定位之间的低或零统计相关性。正如下文中会进一步详细地描述的,这可以通过非单调地调整校直装置和/或聚焦装置来实现。

[0073] 在目前概述的实施方式中,用于感应电子束斑存在的传感器沿电子束的下游方向被设置。具体实施方式的详细描述也会涉及明显适于感应传输经过交互区的带电粒子的传感器的所述设置。然而,本发明并不限于位于交互区下游的传感器,也可以由用于记录反向散射电子的传感器来实施。如果装置的几何形状允许,反向散射传感器可以相对靠近光轴地被设置,或者正如扫描电子显微镜中通常使用的,反向散射传感器可以沿反向散射电子的主路径与光轴相距地被设置。不同于这种显微镜,本发明教导了使用多孔屏或样品,多孔屏或样品被限制在空间内、相对于电子光学系统被空间地固定并且当电子束轰击在电子散射体的一部分上时作为电子散射体。因此,屏或样品无需是电导的并且无需保持在恒定的电势;然而,有利地,避免位于样品或屏上的可能影响其散射特性(例如,通过排斥电子)的电荷聚集。屏或样品可以位于交互区的下游相距一定距离,其中传感器被设置在其上游,可能地与光轴隔离,从而能够捕获从屏或样品反射的电子。通过监测不同偏转器设置的传感器信号,可以确定电子束相对于屏或样品(并且因此相对于电子光学系统)的位置。如果本发明被实施成用于记录反向散射电子的传感器,如上所述,可以容易地与确定聚焦装置设置从而获取期望电子束宽度的方法结合。在确定聚焦装置设置的过程中,交互区内的电子靶(例如,液体射流)优选地被启动并且作为散射体。

[0074] 要提及的是,本发明涉及上述技术特征的所有组合,即使它们在不同的权利要求中被陈述。另外,本发明可以被归纳到适于处理其他带电粒子(而不是电子)束的装置。

## 附图说明

[0075] 下文中参考附图对本发明的实施方式进行了描述。

[0076] 图1a是根据本发明实施方式的液体射流型的X射线源的立体图。

[0077] 图1b是图1a中所示的X射线源的变形的立体图。

[0078] 图1c显示了图1a中所示的普通型的X射线源的选择性具体实施方式的细节。

[0079] 图2显示了本发明用于校准电子光学系统的方法的两个实施方式的流程图。

[0080] 图3a显示了在偏转平面内处于三个不同偏转器设置的电子束以及电子靶相对于该平面的交叉。

[0081] 图3b是反映偏转设置和聚焦设置的组合的传感器信号(在量化之后)的图表。

[0082] 图3c是反映与两个不同的聚焦设置组合的偏转设置的范围的传感器信号的连续图表。

[0083] 图4显示了相对于界定出传感器区的屏幕内的孔径的二维扫描图,以及使用该扫描图所需要的传感器数据。

[0084] 图5显示了类似于图4的一维扫描图以及相关的传感器数据。

[0085] 相同的标记数字用于附图中相同的元件。除非声明,附图是示意性的并且不按比

例绘制。

### 具体实施方式

[0086] 图1a显示了一种X射线源10,其主要包括电子枪14-28、用于产生作为电子靶的液体射流J的装置32以及用于确定由电子枪提供的输出电子束 $I_2$ 的相对位置的传感器装置52-58。该装置被放置在气密性的外壳12内侧,除了电压源13和控制器40可能会如图所示地被放置在外壳12外。如果外壳12在任何程度上都不能屏蔽掉电磁场,则通过电磁相互作用发挥功能的各种电子-光学部件也可以被放置在外壳12外侧。因此,如果外壳12由低磁导率的材料(例如奥氏体不锈钢)制成时,这些电子-光学部件可以被放置在外壳12外侧。电子枪主要包括由电压源13提供功率的阴极14并且包括电子源16,电子源16例如是热离子、热场或冷场的带电粒子源。典型地,电子能量的范围可以为约5 keV至约500 keV。来自电子源16的电子束朝加速孔17被加速,在该位置,电子进入电子-光学系统,电子-光学系统包括校直板装置26、透镜22和偏转板装置28。校直装置、偏转装置以及透镜的各种特性能够由控制器40所提供的信号控制。在该实施方式中,偏转和校直装置能够被操作以在至少两个横向方向上加速电子束。在初始校准之后,校直装置26通常在X射线源的工作周期内保持恒定的设定,同时在使用射线源10的过程中偏转装置28用于动态地扫描或调整电子束斑的定位。透镜22的可控制的特性包括它们各自的聚焦功率(焦距)。虽然附图以静电类型的说明方式象征性地描述了校直、聚焦和偏转装置,但是本发明可以同等地通过使用电磁装置或静电和电磁的电子-光学部件的组合而被实施。

[0087] 在电子-光学系统的下游,输出的电子束 $I_2$ 与液体射流J在交互区30处交叉,液体射流J可以通过启动高压喷嘴32而产生。这是X射线产生的区域。X射线可以沿不与电子束重合的方向从外壳12被引出。电子束 $I_2$ 的经过交互区30的部分到达传感器52,除非其被导电屏54阻止。在该实施方式中,屏54是具有圆孔56的接地导电板。这就定义出被清楚地界定出的传感器区,传感器区近似地对应孔56在传感器52上的轴向投影。在该实施方式中,传感器52简单地是通过电表58接地的导电板,电表58对由屏54下游的电子束 $I_2$ 所携带的总电流进行近似地测量。如图所示,传感器装置与交互区30相距的距离为D,并且不会干涉X射线源10的常规操作。屏54和传感器52在轴向上间隔开,但是也可以相互邻近。

[0088] 外壳12的下部分,用于从外壳12中抽出空气分子的真空泵或类似装置、用于收集和回收液体射流的容器和泵、用于控制电子束散光的四级杆和其他装置在图中未显示。也应当认为,控制器40具有接收来自电表58的实际信号的接口。

[0089] 图1b显示了另一实施方式,大部分与图1a所示的类似,只是传感器52和屏54的实施不同。在该实施方式中,没有单独的屏54。相反地,传感器区52的界限通过外壳12在传感器52伸出外壳的内壁的位置而产生。在传感器52和外壳12之间,具有电绝缘,从而使得能够在传感器和外壳之间产生电势差。因此,如图1a所示的实施方式中接地的屏54在图1b所示的实施方式中不存在;传感器52的界限是通过接地的外壳12而产生的。正如图1a所示的实施方式,电表58用于确定传感器的电势。虽然传感器被显示伸出外壳12的内壁,但是应当认为,传感器也可以与外壳的壁平齐。

[0090] 根据本发明的另一实施方式,图1c显示了图1a所述的普通类型的X射线源的细节。相比上述实施方式,传感器52具有不同的几何形状,这会导致传感器产生不同的信号,这种

不同是轰击电子束的定位的函数不同。这也同时避免需要屏54。更准确地,本实施方式包括屏,该屏包括电导材料制成的体62,电导材料优选地是耐热和耐真空的,例如大多数的金属,特别是Cu或W或包含这些金属的合金。体62具有主传感器表面64,主传感器表面64面向电子轰击的期望主方向(即,朝向X射线源10内的阴极14)。在主传感器表面,设置有沿电子轰击方向延伸的钻孔66。钻孔66形成了位于体62内的盲孔(或凹口)。钻孔66内的电子轰击相比主传感器表面上的电子轰击,会具有大体上较低的反向散射率(即,它们会更大可能性地被传感器吸收)。因此,钻孔内的电子轰击不会受到反向散射的影响而减弱至类似程度,对于给定量的辐射电荷,其本身会表现为相对较高的响应(在信号水平方面),这会实现放大效应。因此,在本发明的角度,钻孔66的开口形成了被界定的传感器区。根据钻孔66的深度/直径比率,这种放大可以根据入射角的不同更大或更小,正如在每种意欲使用的情况下适当考虑的。在X射线源10具有不可移动的阴极14的情况下,钻孔66优选地比其直径更深,因此不是来自阴极14的电子轰击能够被认为是噪音并且优选最大程度地被过滤。钻孔66的几何形状在宽度极限之间可以变化;例如,钻孔66内的底部表面的形状是非常小的尾部。

[0091] 图2a以流程图的形式显示了操作X射线源10以评估多个校直装置设置和寻找适当设置的计算程序。从点“A”201开始,在步骤202中校直装置被设置到第一设置 $a_1$ 。在步骤203,电子束相对于屏54的位置被确定从而得到第一聚焦装置设置 $f_1$ ,并且其结果被存储在位置存储器251内。确定相对位置的步骤203被重复从而至少得到第二聚焦装置设置 $f_2$ 。如果没有其他的在步骤204中被建立的聚焦装置设置要被使用,计算程序在步骤205中执行至用通式 $S = \Delta p / \Delta f$ 计算该校直装置设置的灵敏度并且将该结果存储在灵敏度存储器252内。在步骤206中,检查到达该位置的步骤是否要被重复从而得到其他的校直装置设置。如果是,则计算程序进入步骤207,在此处其会处理作为校直装置设置的函数的灵敏度数据。在该实施方式中,存储在灵敏度存储器252内的数据点被拟合成函数,该函数会将电子-光学系统的行为模型化从而得到令人关注的数值范围。例如,数据可以被拟合成二阶多项式253,其最小值易于确立。在步骤208中确定最小值并且形成计算程序的输出。应当注意的是,最小值与步骤203中经验上尝试的任一校直设置一致或不一致。

[0092] 图4和5显示了两种可能的测量方案,这种测量方案使用电子束在有限的传感器区上偏转来确定电子束的相对位置。图4a显示了像素图形401以及偏转曲线(点划线箭头),偏转曲线追踪传感器区上的电子束斑。传感器区被界定成传感器52的与屏54内的孔径56(的投射)重合的部分。虽然像素图形401是完全虚构的,但是偏转曲线是采用写实定向的方式显示在屏54的平面内。图4b显示了像素图形401,像素图形401显示了来自图4a所示的扫描的测量结果403。像素图形的定向为了获得可见性(通过顺时针旋转约45度)而被调整,并且对应于每个信号中非零传感器信号的存在的情况,其被看成成两个变量的二进制值函数,也即X和Y偏转器设置。在该例子中,电子束的相对位置通过非零像素的质心“CM”402被测量。质心的位置可以被表现成像素的一部分。作为进一步的改进,如果传感器信号被看作连续量而不是二进制量,质心的计算可以更加准确。在进一步的改进中,与孔56重叠的像素仅局部地在较小程度上有助于质心的定位。

[0093] 类似于图4,图5显示了仅能在一个维度上偏转输出电子束的电子-光学系统内的像素图形501。屏54内的孔56是圆形的并且中心位于电子-光学系统的光轴上。圆形作为孔

的形状是有利的,因为无需补偿图像的相对旋转,当使用不同的聚焦设置时可以确保图像的相对旋转会。如图5a所示,其(除了虚构的像素图形501)真实地显示了屏54或传感器的平面内的几何形状。显然,不同的聚焦设置 $F_1$ 和 $F_2$ 导致电子束旋转不同量。尽管如此,孔中心至每个像素图形的每个距离 $d_1$ 、 $d_2$ 能够基于孔的半径 $R$ 以及与孔重叠的图形的长度 $L$ 而被估计,也即通过 $\sqrt{R^2 - L^2/4}$ 而被估计。重叠长度能够通过计算像素的数量而被估计,非零传感器信号被获得用于像素。因此,对于聚焦设置 $F_1$ , $L_1=11$ 像素宽度,而对于聚焦设置 $F_2$ , $L_2=9$ 像素宽度。虽然距离 $d_1$ 和 $d_2$ 并不提供电子束的相对位置的完整信息,但是它们可以被用作相对测量从而确定两个校直装置设置中的哪一个对聚焦设置中的改变是最不敏感的,并且因此哪一个提供了最好的电子束平行度。

[0094] 图2b显示了用于将交互区的高度处的束度与聚焦装置设置关联的计算程度。计算程序可以是参考图2a的上述计算程序的延续,正如通过字母“B”所暗示,或者计算程序可以被独立地执行。在第一步骤210中,校直板装置26被调整至合适的设置,从而使得电子束 $I_1$ 基本上平行于电子-光学系统的光轴行进,并且使得输出电子束 $I_2$ 的位置取决于偏转装置28的设置而不是大体上取决于聚焦透镜22的设置。然后在步骤211中,液体射流被启动,并且在步骤212中,偏转装置28的偏转能力的定向被确定。在正常状况下,透镜22在电子束穿过聚焦场的过程中绕透镜中心旋转电子束,从而在输出电子束 $I_2$ 中的定向会与在输入电子束 $I_1$ 中的定向不同,这种不同形成一个关于聚焦场的密度和轴向延伸的角度。液体射流束在测量中可以作为非填充像素的细长区域(也即,具有小的或非零传感器信号 $E$ 的像素)。细长区域延伸的方向能够容易地通过处理数值而被确定,例如通过将它们拟合成直线,借此液体射流的方向可以与偏转装置的配合系统相关。这具体意味着,随后的步骤214中垂直于射流的优选的扫描方向是已知的。其后,在步骤213中,聚焦装置22被设置至第一值 $F_1$ 。在步骤214中,电子束 $I_1$ 被扫描(偏转)至射流内或射流外。图3a显示了垂直于液体射流 $J$ 的偏转平面。图显示了三个不同偏转位置的电子束 $I_1$ ,  $I_1'$ 和 $I_1''$ ,每个对应于偏转装置28的一个设置。要强调的是,电子束的角度未按比例绘制,但是电子束位置上方( $I_1$ )、内侧( $I_1'$ )和下方( $I_1''$ )代表了小的角度范围,因此电子束能够由位于更下游的传感器52(在图3a中未示)捕获。在步骤214内被测量的数量是交互区处电子束的宽度 $W_1$ 。以偏转器设置单位表述,当宽度 $W_1$ 相对偏转器设置 $d$ (即图3a所示的偏转电压 $U_{28}$ )被绘制时,宽度 $W_1$ 与传感器信号值 $E$ 的曲线的每个边缘相关。偏转器设置角度之间的关系或在交互区高度处实际长度的关系能够通过扫描交互区内的具有已知尺寸的物体而被确立。在步骤215中,电子束宽度被确定并以偏转器设置单位或以角度或长度单位存储在束宽存储器255内。在步骤216中,确定是否电子束宽度扫描被重复用于其它聚焦设置 $F_2$ ,  $F_3$ , ...。要被检查的聚焦设置的采集可以是预先界定的数据设置或可以动态地确定,例如通过执行用于检查小于至液体射流的距离的焦距和大于该距离的焦距的状况。这些状况确保足够的用于确定束腰的定位的数据被采集。如果期望的束宽已被输入,在最后的步骤217中,计算程序确定至少一个的会产生期望的束宽的聚焦装置设置。点“C”218是计算程序的终点。

[0095] 选择性地,上述步骤213、214和215通过记录传感器信号值 $E$ 被共同地执行从而得到多个点( $U_{28}$ ,  $U_{22}$ )的每个,其中 $U_{28}$ 是偏转装置设置,而 $U_{22}$ 是聚焦装置设置。这些数据设置被绘制在图3b中。如果液体射流 $J$ 与传感器区重叠,它的存在本身会表现为传感器信号 $E$ 被减小或是非零的区域,例如图3b的中央阴影区。在线B的高度,所述区域具有相对不同的束

腰,当电子束被聚焦在液体射流自身处,其对应于通过液体射流J的电子束 $I_1$ 。图3b显示了量化的传感器信号值,为了清楚起见,传感器信号值被取整成零值或单个的非零值。图3b的细节被更加写实地显示在图3c中,图3c是原始的(未量化)传感器信号值E与偏转装置设置 $U_{28}$ 的图表从而用于两个代表性的聚焦装置设置。第一曲线A对应于图3b中位于线A-A上的数据,而第二曲线B对应于线B-B上的数据。从图3c中,可清楚地看到,当被最佳地聚焦时电子束的相对较小的宽度导致曲线的未被遮挡部分和被遮挡部分之间的急剧的过渡。换句话说,偏转装置设置的范围的较大部分会对应于与液体射流J有关的电子束 $I_1$ 的完全未被遮挡位置或完全被遮挡位置。

[0096] 要强调的是,传感器信号值E的记录不需要沿任何类似于线A-A或B-B的线或以任何特定的顺序进行。事实上,优选地以非时序的方式记录值,从而避免偏转或聚焦装置内的任何滞后作用的影响。在电子-光学装置中,由于剩余磁化(剩磁),包含铁磁材料的元件会产生这种滞后作用。例如,有利的是,在测量期间,非单调地调整聚焦装置设置或偏转装置设置。更准确地,测量方案可以被修改,其中,针对通过增量所获得的相关聚焦装置设置的测量点的分布近似地等于针对通过减量所获得的设置的测量点的分布。至少如果偏转装置是已知的具有不可忽视的滞后作用,类似的状况可以被集成到用于偏转装置设置的测量方案中。有利地,在相关量中通过增量取得的测量点位于大体相同的区域并且以与通过减量所取得的测量点类似的方式被分配。换句话说在相关量(偏转装置设置或聚焦装置设置)的增量符号与相关量的值之间存在低或零统计相关性。选择性地,在相关量(偏转装置设置和聚焦装置设置之一)的增量符号与偏转装置和聚焦装置设置的组合值之间存在低或零统计相关性。

[0097] 在参考附图2b所描述的方法的进一步改进中,也确定了实际的液体射流宽度。这可以类似的方式被产生,也即通过估计传感器信号值E与偏转设置d的曲线254中减小的信号部分的宽度。

[0098] 下述项目定义了其他的优选实施方式。

[0099] 1. 一种用于评估校直装置(26)的设置从而调整电子-光学系统中输入电子束( $I_1$ )的方向的方法,其中电子-光学系统适于向电子轰击X射线源(10)提供输出电子束( $I_2$ ),所述系统进一步包括:

[0100] 偏转器(28),偏转器(28)能够被操作以偏转输出电子束,

[0101] 以及聚焦装置(22),聚焦装置(22)用于将输出电子束聚焦在X射线源的交互区(30)内,其中,所述方法包括步骤:

[0102] 对于一个聚焦装置设置,通过将输出电子束偏转入或偏转出传感器区(52)来确定输出电子束的相对位置,所述传感器区(52)被设置在交互区的下游与交互区相距距离D;

[0103] 对于至少一个另外的聚焦装置设置和相同的校直装置设置,重复用于确定电子束的相对位置的步骤;以及

[0104] 通过确定电子束的相对位置对聚焦装置设置的变化灵敏度的灵敏度来评估校直装置设置。

[0105] 2. 项目1的所述方法,其中,确定电子束的相对位置的步骤包括使用由导电屏(54)所界定出的传感器区(52)以及保持导电屏处于恒定的电势。

[0106] 3. 项目1或2所述的方法,其中确定电子束的相对位置的步骤包括使用由邻近的

屏所界定出的传感器区。

[0107] 4. 上述任一项目所述的方法,其中确定电子束的相对位置的步骤包括使用由屏所界定出的传感器区,所述屏完全包围所述传感器区。

[0108] 5. 项目4所述的方法,其中确定电子束的相对位置的步骤包括使用由定义圆形孔(56)的屏所界定出的传感器区。

[0109] 6. 上述任一项所述的项目的方法,其中偏转器和聚焦装置定义电子-光学系统的光轴,并且其中,确定电子束的相对位置的步骤包括使用由屏界定出的传感器区,所述屏是具有中心位于光轴的孔(56)的屏。

[0110] 7. 一种用于校准电子-光学系统的方法,所述电子-光学系统用于提供电子轰击X射线源,所述方法包括步骤:定义多个校直装置设置;通过上述任一项目所述的方法评估每个校直装置设置;以及基于所述多个校直装置设置的灵敏度,确定合适的产生最小灵敏度的校直装置设置。

[0111] 8. 一种用于校准电子-光学系统的方法,所述电子-光学系统用于提供电子轰击X射线源,其中,X射线源能够被操作以在交互区内产生电子靶,所述方法包括:执行项目7所述的方法并且应用所述合适的校直装置设置;以及对于至少一个聚焦装置设置,通过启动电子靶来确定交互区内的输出电子束的宽度,从而使得电子靶从电子束部分地遮挡传感器区,并且在电子靶和传感器区的未遮挡部分之间偏转电子束,其中优选地,所述电子靶是液体射流。

[0112] 9. 项目8所述的方法,进一步包括步骤:通过启动电子靶确定输出电子束的取向,从而使得电子靶从电子束部分地遮挡传感器区,并且在电子靶和传感器区的未遮挡部分之间偏转电子束,其中确定电子束的宽度的步骤包括在电子靶的正常方向上偏转电子束。

[0113] 10. 一种数据载体,所述数据载体存储用于执行上述任一项目所述的方法的计算机可执行指令。

[0114] 11. 一种电子轰击X射线源(10)内的电子-光学系统,所述电子-光学系统适于接收输入电子束( $I_1$ ) 和提供输出电子束( $I_2$ )并且包括:

[0115] 校直装置(26),校直装置(26)用于调整输入电子束的方向;

[0116] 偏转器(28),偏转器能够被操作以偏转输出电子束;以及

[0117] 聚焦装置(22),聚焦装置用于将输出电子束聚焦在X射线源的交互区(30)内,

[0118] 传感器区(52),传感器区被设置在交互区的下游与交互区相距距离D;

[0119] 以及控制器(40),控制器通讯地与校直装置、聚焦装置和传感器区连接,所述控制器能够被操作以:

[0120] 对于一个聚焦装置设置,通过偏转器将输出电子束偏转入和/或偏转出传感器区来确定输出电子束的相对位置;

[0121] 对于至少一个另外的聚焦装置设置和相同的校直装置设置,重复所述确定电子束的相对位置;以及

[0122] 通过确定电子束的相对位置对于聚焦装置设置的变化了的灵敏度来评估校直装置设置。

[0123] 12. 项目11所述的电子-光学系统,进一步包括界定出传感器区的导电屏(54)。

[0124] 13. 项目12所述的电子-光学系统,其中所述屏保持恒定的电势。



- [0125] 14. 项目12或13所述的电子-光学系统,其中所述屏邻近所述传感器区。
- [0126] 15. 项目12或14任一项所述的电子-光学系统,其中所述屏完全包围传感器区。
- [0127] 16. 项目15所述的电子-光学系统,其中所述屏界定出圆形孔(26)。
- [0128] 17. 项目12至16的任一项所述的电子-光学系统,其中:偏转器和聚焦装置界定出电子-光学系统的光轴;以及屏具有以光轴为中心的孔(56)。
- [0129] 18. X射线源,包括:
- [0130] 项目11至16的任一项所述的电子-光学系统,以及
- [0131] 用于产生穿过交互区的液体射流的喷嘴(32),
- [0132] 其中,控制器被进一步操作以使喷嘴产生所述液体射流,从而射流从电子束部分地遮挡传感器区,并且使偏转器在液体射流和传感器区的未遮挡部分之间偏转电子束。
- [0133] 虽然在附图和前述说明书中详细地说明和描述了本发明,这种说明和描述应当被认为是说明性或示例性的而不是限制性的,因此本发明并不会被限制至所公开的实施方式。
- [0134] 本领域技术人员在实施要求保护的发明时,从附图的启示中,能够理解和获得所公开的实施方式的变形。权利要求中的任何标记符号不应当被解释成对范围的限制。

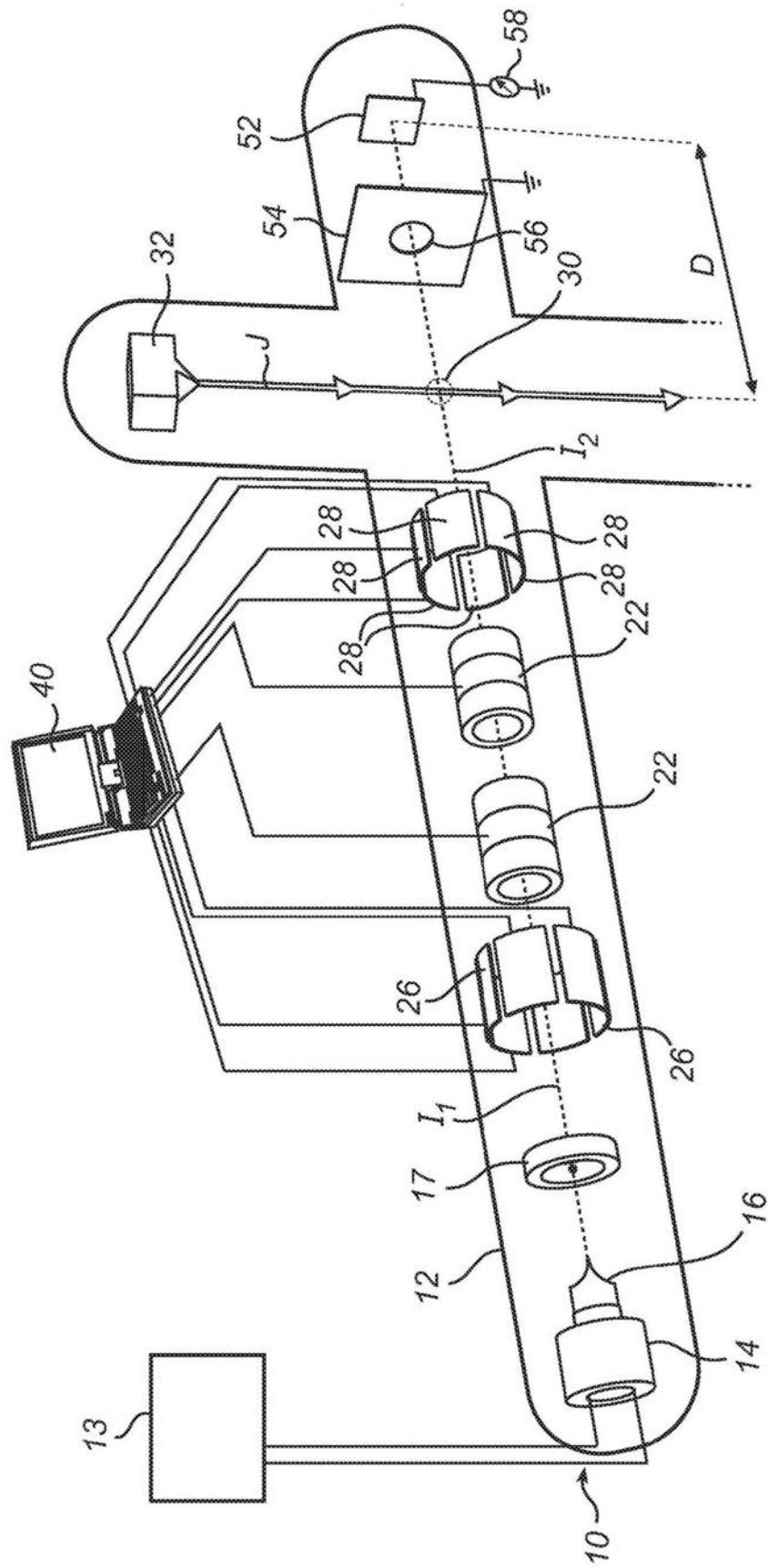


图1a

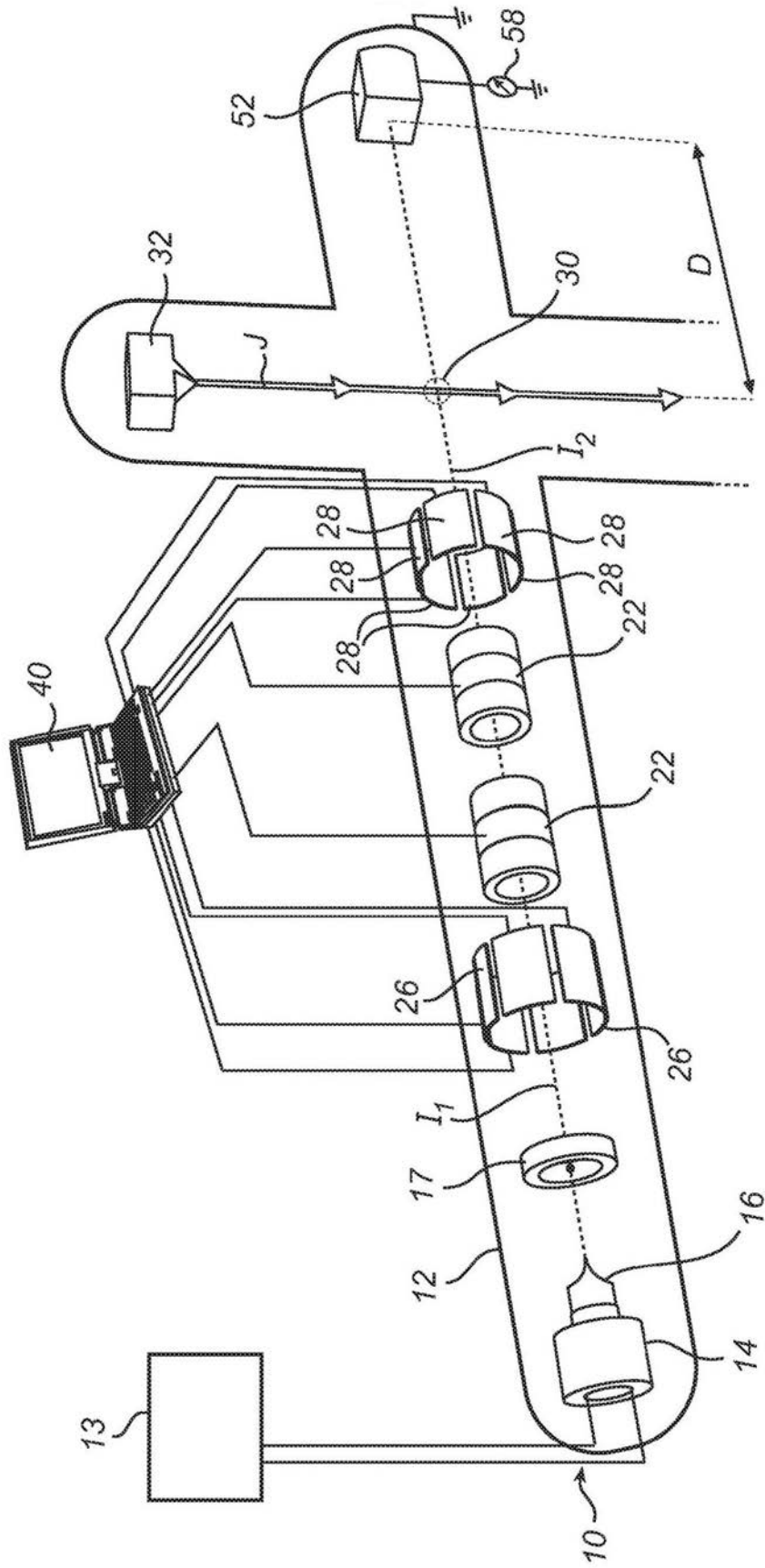


图1b

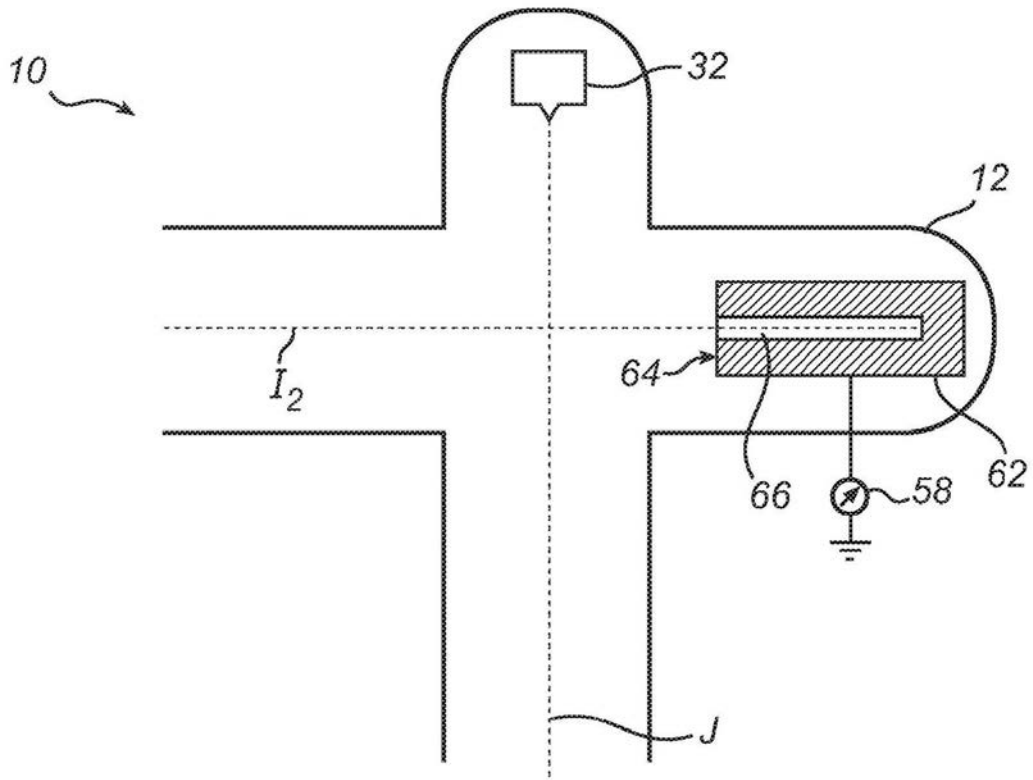


图1c

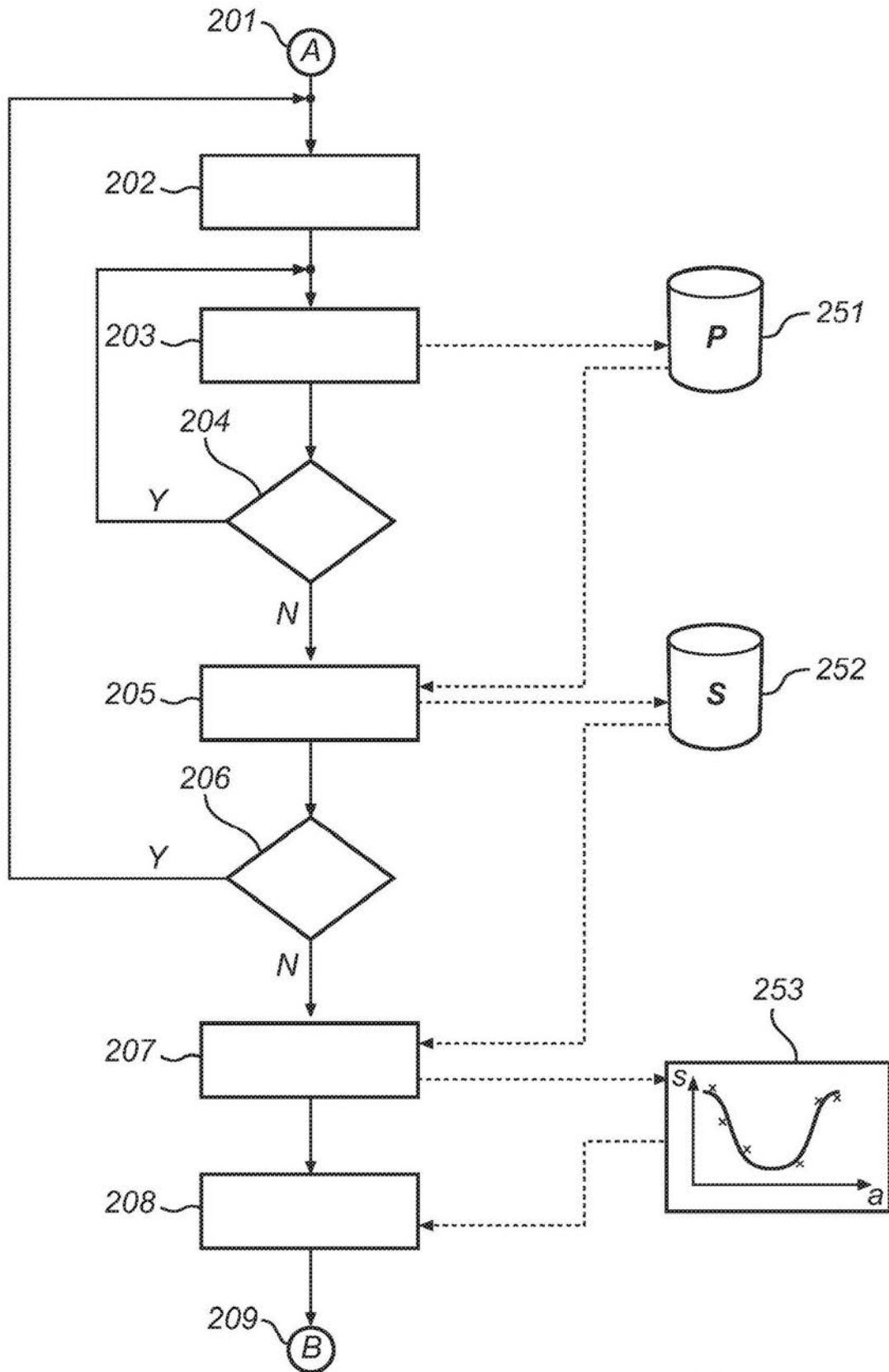


图2a

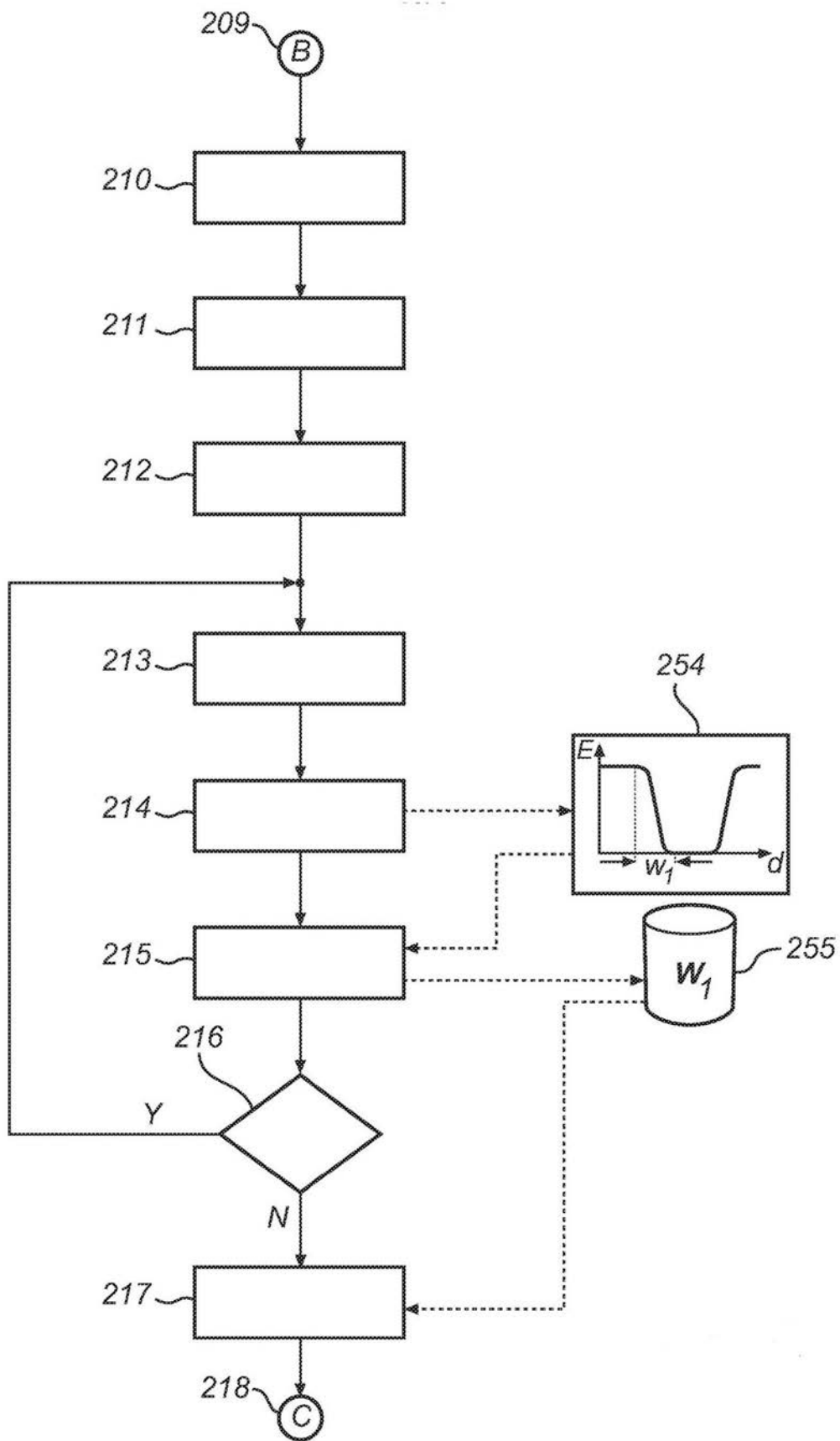


图2b

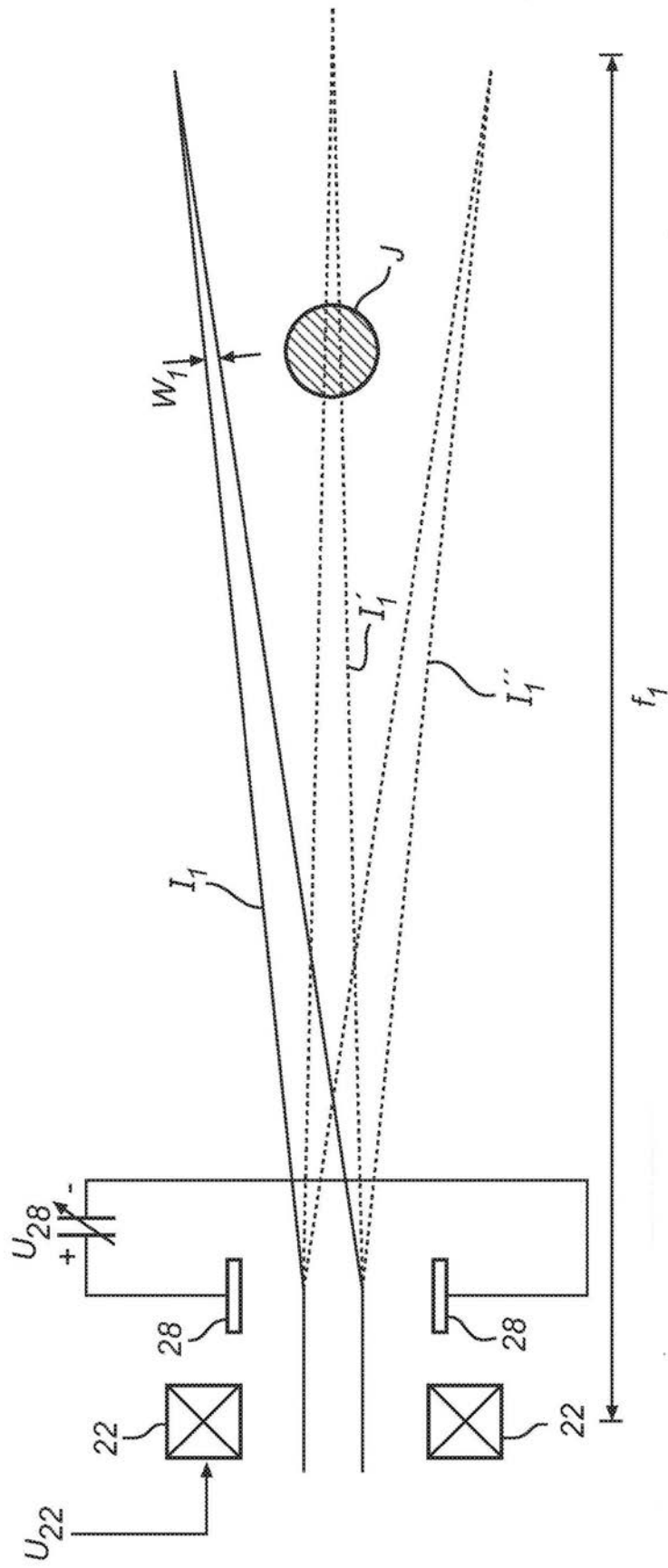


图3a

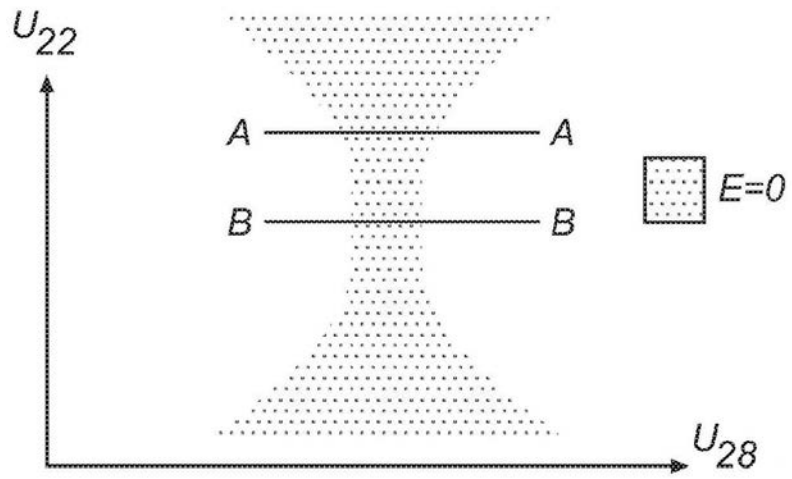


图3b

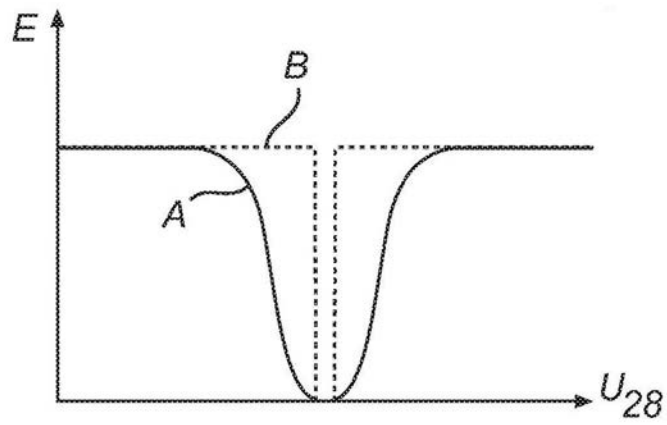


图3c



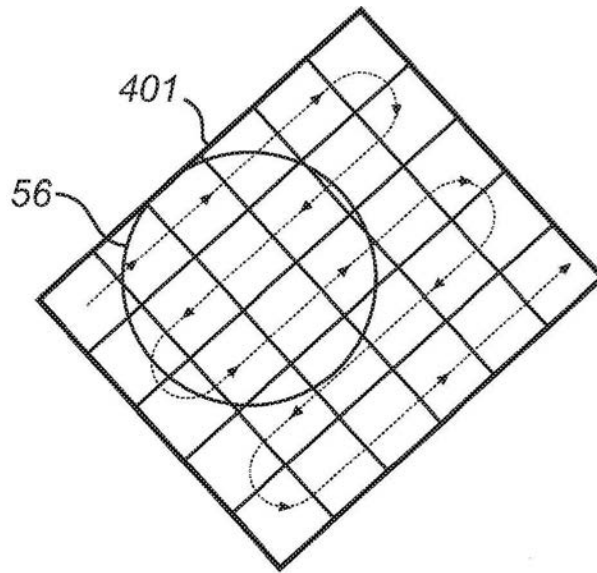


图4a

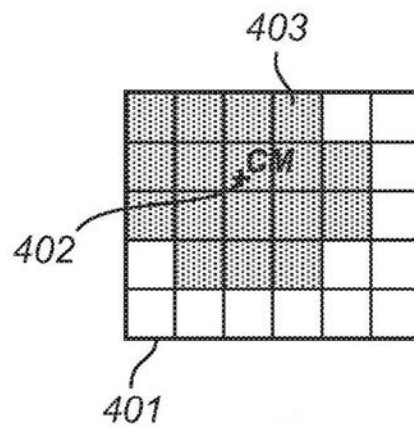


图4b

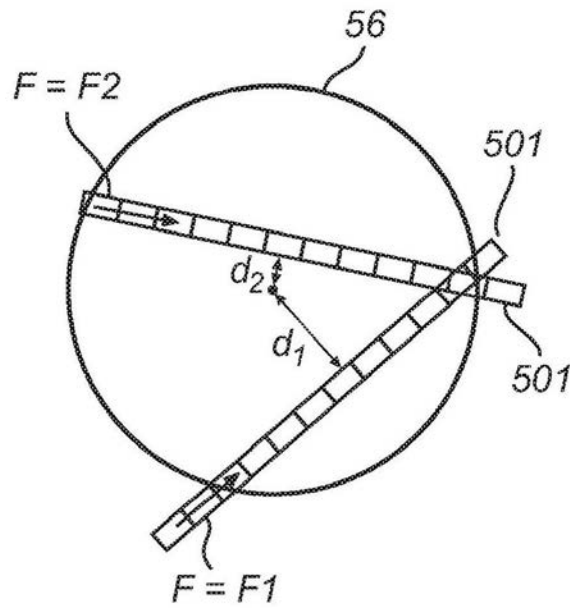


图5a

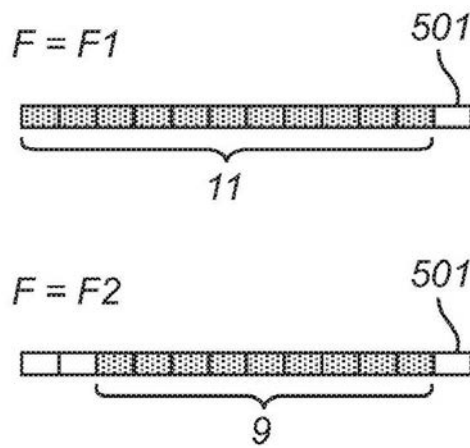


图5b