



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116830214 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 29

(21) 申请号 202180079086.X

爱德华·弗雷德里克·布拉德

(22) 申请日 2021.10.22

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(30) 优先权数据

20169074 2020.10.24 GB

专利代理师 陈炜 姚文杰

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.05.24

(51) Int.Cl.

G21K 1/10 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/056183 2021.10.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/087363 EN 2022.04.28

(71) 申请人 闪烁指示器有限公司

地址 英国剑桥郡

申请人 精密X射线有限公司

(72) 发明人 威廉·麦克劳克林

约翰·拉维奥拉

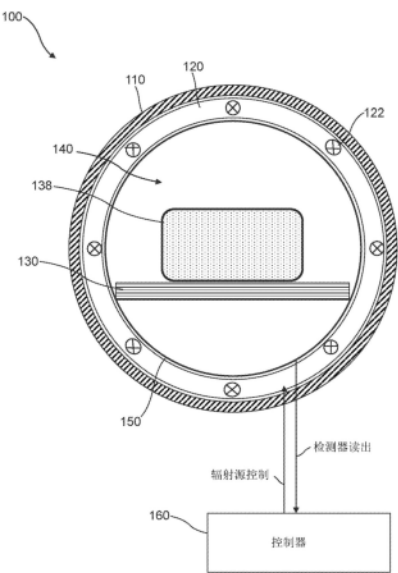
权利要求书3页 说明书15页 附图13页

(54) 发明名称

辐照设备

(57) 摘要

一种辐照设备包括被配置成输出电离辐射的多个电离辐射源点(122)。多个电离辐射源点(122)是围绕辐照体积(140)分布的阵列。电离辐射源点(122)的阵列被配置成将电离辐射向内引导至辐照体积(140)。运输设备(130)被配置成支承要辐照的至少一个样品(138)。运输设备(130)被配置成沿着线性路径运输样品穿过辐照体积(140)。



1. 一种辐照设备,包括:

屏蔽壳体;

多个电离辐射源点,所述多个电离辐射源点被配置成输出电离辐射,其中,所述多个电离辐射源点是围绕辐照体积分布的阵列,并且电离辐射源点的阵列被配置成将电离辐射向内引导至所述辐照体积;

运输设备,所述运输设备被配置成支承要辐照的至少一个样品,其中,所述运输设备被配置成沿着线性路径运输样品穿过所述辐照体积。

2. 根据权利要求1所述的辐照设备,其中,所述电离辐射源点的阵列包括电离辐射源点的环。

3. 根据权利要求1或2所述的辐照设备,其中,所述电离辐射源点的阵列包括电离辐射源点的多个环,其中,所述环沿着所述线性路径偏移。

4. 根据权利要求1所述的辐照设备,其中,所述多个电离辐射源点包括电离辐射源点的由直线组成的阵列。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述线性路径与所述电离辐射源点的阵列的平面正交。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,包括总共N个电离辐射源点,并且所述辐照设备被配置成在辐照周期期间同时激活多达N个所述电离辐射源点。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成在辐照周期期间独立地控制所述多个电离辐射源点中的每一个的操作参数。

8. 根据权利要求7所述的辐照设备,其中,电离辐射源点的操作参数是以下中的至少一个:

所述电离辐射源点的激活状态;

所述电离辐射源点的操作电流和/或操作电压;

所述电离辐射源点的射束控制装置的参数。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述多个电离辐射源点包括以下中的至少一个:多个单独的电离辐射源;具有多个电离辐射源点的电离辐射源。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,包括检测器阵列,并且其中,所述辐照设备被配置成使用所述电离辐射源点中的至少一些和所述检测器阵列来对所述辐照体积进行成像。

11. 根据权利要求10所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:在成像期间以第一辐射水平操作所述电离辐射源点,以及在辐照期间以高于所述第一辐射水平的第二辐射水平来操作所述电离辐射源点。

12. 根据权利要求11所述的辐照设备,其中,所述第一辐射水平小于0.1Gy。

13. 根据权利要求10至12中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成通过以下对所述辐照体积进行成像:

激活所述电离辐射源点中的不同电离辐射源点以发射用于成像的辐射射束;以及

使用所述检测器阵列来获取图像数据。

14. 根据权利要求13所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成使用所获取的图像数据来构建三维图像。

15. 根据权利要求10至14中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成基于所获取的图像数据来控制所述多个电离辐射源点。

16. 根据权利要求1至9中任一项所述的辐照设备,其中,所述多个电离辐射源点形成用于辐照目的的第一阵列,所述辐照设备包括:

围绕成像体积和检测器阵列分布的电离辐射源点的第二阵列,其中,所述辐照设备被配置成使用所述辐射源点和所述检测器阵列对所述成像体积进行成像,

其中,所述辐照体积沿着所述线性路径从所述成像体积线性偏移。

17. 根据权利要求16所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成通过以下对所述辐照体积进行成像:

激活所述第二阵列的电离辐射源点中的不同电离辐射源点以发射用于成像的辐射射束;以及

使用所述检测器阵列来获取图像数据。

18. 根据权利要求17所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:使用所获取的图像数据来构建三维图像。

19. 根据权利要求16至18中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:基于所获取的图像数据来控制所述第一阵列的多个电离辐射源点。

20. 根据权利要求10至19中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:基于所获取的图像数据来确定指示所述辐照体积内的样品的密度的数据。

21. 根据权利要求10至20中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:基于所获取的图像数据来确定指示所述辐照体积内的样品的体积和/或空间分布的数据。

22. 根据权利要求10至21中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:基于所获取的图像数据来确定样品将经受的所需辐照量,并且控制所述多个电离辐射源点递送所需量。

23. 根据权利要求22所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成:考虑到存在样品保持器和/或样品包装,控制所述多个电离辐射源点递送所需辐照量。

24. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,所述辐照设备被配置成确定以下中的至少一个:

要激活的电离辐射源点的数目;

所激活的电离辐射源点的操作电流和/或操作电压;

电离辐射源点处的射束控制装置的参数;

辐照的总持续时间。

25. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述运输设备包括传送带。

26. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述运输设备被配置成:改变由所述运输设备沿着所述线性路径移动样品的速度。

27. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述运输设备被配置成:在穿过所述辐照体积的所述线性路径期间改变样品的位置。

28. 根据前述权利要求中任一项所述的辐照设备,其中,所述电离辐射是X射线辐射。

29. 一种通过辐照设备辐照至少一个样品的方法,包括:

从围绕辐照体积分布的多个电离辐射源点输出电离辐射,其中,所述电离辐射源点将

电离辐射向内引导至所述辐照体积；

支承所述辐照体积内的所述至少一个样品，并且沿着线性路径运输所述至少一个样品穿过所述辐照体积。

30. 根据权利要求29所述的方法，其中，存在总共N个电离辐射源点，并且所述方法包括选择数目多达N个所述电离辐射源点以在辐照周期期间同时激活。

31. 根据权利要求29或30所述的方法，包括在辐照周期期间独立地控制所述多个电离辐射源点中的每一个的操作参数。

32. 根据权利要求31所述的方法，其中，电离辐射源点的操作参数是以下中的至少一个：

所述电离辐射源点的激活状态(开/关)；

所述电离辐射源点的操作电流和/或操作电压；

所述电离辐射源点的射束控制装置的参数。

33. 根据权利要求29至32中任一项所述的方法，包括使用所述辐射源点中的至少一个和检测器阵列来获取所述辐照体积的图像数据。

34. 根据权利要求33所述的方法，包括基于所获取的图像数据来控制所述多个电离辐射源点。

辐照设备

背景技术

[0001] 使用辐射(例如x射线)处理物体和散装材料是处理各种物体或材料(例如种子、干细胞、血液、医疗装置、烟草、大麻和食品)的有效方法。它也可以用于动物和昆虫。辐照的一些有用效果是:破坏或降解病原体(例如,病毒、细菌、霉菌)或白细胞;销毁有害昆虫和诸如农药的化学物质;以及延迟生物过程,例如果实的成熟。

[0002] 给定应用的辐照过程要求被辐照的物体各处的吸收剂量分布具有特定的均匀性。物体各处的沉积剂量的10%变化通常是可接受的,但是这根据应用而变化。

[0003] 诸如铯-137(Cs-137)和钴-60(Co-60)的同位素源通常用于辐照。这些同位素分别发射能量为662keV和1.2MeV的伽马光子。这些相对高能的光子能很好地穿透有机材料例如食品,因此容易实现良好的剂量分布。然而,它们具有不期望的替代用途,并且需要具有显著辐射屏蔽和安全性的的大型固定设施。X射线源可以用于辐照。X射线源通常是抽真空的密封管,在该抽真空的密封管中,通过使用电压将从钨丝(阴极)发射的电子加速至金属样品(阳极)上。同位素源发射单一波长的辐射。在X射线源中,阳极材料重新发射从电子接收的能量,作为位于轫致辐射谱的顶部上的特征X射线发射线,其从非常低能量的X射线光子延伸直到阳极与阴极之间施加的电压电势。因为X射线源产生这种宽的轫致辐射谱,所以当用于辐照时,它们产生的吸收剂量的均匀性不如相同最大能量的同位素源。

[0004] X射线源具有仅在它们被通电时才产生辐射的优势,因此它们存在较小的辐射安全风险,并且可以用于移动系统中。虽然很方便,但是这些装置的功耗很低,因此它们的X射线输出也很低。与Cs-137和Co-60相比,X射线源还具有较低的能量,通常为25kV至550kV,这也导致较差的剂量均匀性。

[0005] 本发明的目的是解决与现有技术相关联的至少一个缺点。

发明内容

[0006] 提供了一种辐照设备,包括:

[0007] 屏蔽壳体;

[0008] 多个电离辐射源点,所述多个电离辐射源点被配置成输出电离辐射,其中,所述多个电离辐射源点是围绕辐照体积分布的阵列,并且电离辐射源点的阵列被配置成将电离辐射向内引导至辐照体积;

[0009] 运输设备,所述运输设备被配置成支承要辐照的至少一个样品,其中,运输设备被配置成沿着线性路径运输样品穿过辐照体积。

[0010] 至少一个示例或实施方式的优点是对辐照体积中的样品的更均匀的辐射剂量。在使用中,样品被从一系列不同方向到达的辐射照射。多个辐射源点可以提供更均匀的辐射剂量。

[0011] 将电离辐射源点定位在辐照体积周围的优点是:它可以允许大得多的阳极区域,在该阳极区域中,电子的动能被转换成辐射。这可以允许在长的时间段内的高能量水平(如果需要)。通常,电离辐射源点(例如,x射线管的阳极)将少于1%的电子动能转换成电离辐

射,并且将其余的电子动能转换成热量。使不希望的热量消散是重大问题。将电离辐射源点定位在辐照体积周围还可以允许不希望的热能更容易消散。

[0012] 可选地,电离辐射源点的阵列包括电离辐射源点的环。这种形状是有利的,因为多个源点关于辐照体积的纵轴是等距的。该环可以被实现为环形单个抽空的管,其中多个电离辐射源点分布在环形管周围。替选地,多个电离辐射源点可以由单独的源例如单独的x射线管来实现。

[0013] 可选地,电离辐射源点的阵列包括电离辐射源点的多个环,其中这些环沿着线性路径偏移。

[0014] 可选地,多个电离辐射源点包括电离辐射源点的由直线组成的阵列。

[0015] 可选地,线性路径与电离辐射源点的阵列的平面正交。

[0016] 可选地,辐照设备包括总共N个电离辐射源点,并且辐照设备被配置成在辐照周期期间同时激活多达N个电离辐射源点。

[0017] 可选地,辐照设备被配置成在辐照周期期间独立地控制多个电离辐射源点中的每一个的操作参数。

[0018] 可选地,电离辐射源点的操作参数是以下中的至少一个:

[0019] 电离辐射源点的激活状态;

[0020] 电离辐射源点的操作电流和/或操作电压;

[0021] 电离辐射源点的射束控制装置的参数。

[0022] 可选地,多个电离辐射源点包括以下中的至少一个:多个单独的电离辐射源;具有多个电离辐射源点的电离辐射源。

[0023] 可选地,辐照设备包括检测器阵列,并且其中,辐照设备被配置成使用电离辐射源点中的至少一个和检测器阵列来对辐照体积进行成像。

[0024] 可选地,辐照设备包括检测器阵列,并且其中,辐照设备被配置成使用电离辐射源点中的至少一些和检测器阵列来对辐照体积进行成像。

[0025] 可选地,辐照设备被配置成:在成像期间以第一辐射水平操作电离辐射源点,以及在辐照期间以高于第一辐射水平的第二辐射水平操作电离辐射源点。例如,第一辐射水平可以是小于0.1Gy的剂量。

[0026] 可选地,辐照设备被配置成通过以下对辐照体积进行成像:

[0027] 激活电离辐射源点中的不同电离辐射源点以发射用于成像的辐射射束;以及

[0028] 使用检测器阵列来获取图像数据。

[0029] 可选地,辐照设备被配置成使用所获取的图像数据来构建三维图像。

[0030] 可选地,辐照设备被配置成基于所获取的图像数据来控制多个电离辐射源点。

[0031] 可选地,多个电离辐射源点形成用于辐照目的的第一阵列,辐照设备包括:

[0032] 围绕成像体积和检测器阵列分布的电离辐射源点的第二阵列,其中,辐照设备被配置成使用辐射源点和检测器阵列对成像体积进行成像,

[0033] 其中,辐照体积沿着线性路径从成像体积线性偏移。

[0034] 可选地,辐照设备被配置成通过以下对辐照体积进行成像:

[0035] 激活第二阵列的电离辐射源点中的不同电离辐射源点以发射用于成像的辐射射束;以及

- [0036] 使用检测器阵列来获取图像数据。
- [0037] 可选地,辐照设备被配置成基于所获取的图像数据来控制第一阵列的多个电离辐射源点。
- [0038] 可选地,辐照设备被配置成确定指示辐照体积内的样品的密度的数据。
- [0039] 可选地,辐照设备被配置成基于所获取的图像数据来确定指示辐照体积内的样品的密度的数据。
- [0040] 可选地,辐照设备被配置成基于所获取的图像数据来确定指示辐照体积内的样品的体积和/或空间分布的数据。
- [0041] 可选地,辐照设备被配置成:基于所获取的图像数据来确定样品将经受的所需辐照量,并且控制多个电离辐射源点递送所需量。
- [0042] 可选地,辐照设备被配置成:考虑到由于样品保持器和/或样品包装的存在而导致到达样品的辐射量的减少,所述辐照设备控制多个电离辐射源点向样品递送所需辐射量。
- [0043] 可选地,辐照设备被配置成确定以下中的至少一个:
- [0044] 要激活的电离辐射源点的数目;
- [0045] 激活的电离辐射源点中的每一个的操作电流和/或操作电压;
- [0046] 电离辐射源点处的射束控制装置的参数;
- [0047] 辐照的总持续时间。
- [0048] 可选地,运输设备包括传送带。
- [0049] 可选地,辐照设备被配置成改变由运输设备沿着线性路径移动样品的速度。辐照设备可以被配置成基于所获取的图像数据来改变速度,所获取的图像数据指示样品的特性。
- [0050] 可选地,运输设备被配置成:在穿过辐照体积的线性路径期间改变样品的位置。
- [0051] 可选地,电离辐射是X射线辐射。
- [0052] 还提供了一种通过辐照设备辐照至少一个样品的方法,包括:
- [0053] 从围绕辐照体积分布的多个电离辐射源点输出电离辐射,其中,电离辐射源点将电离辐射向内引导至辐照体积;
- [0054] 支承辐照体积内的至少一个样品,并且沿着线性路径运输至少一个样品穿过辐照体积。
- [0055] 可选地,存在总共N个电离辐射源点,并且该方法包括选择数目多达N个电离辐射源点以在辐照周期期间同时激活。
- [0056] 可选地,该方法包括:在辐照周期期间独立地控制多个电离辐射源点中的每一个的操作参数。
- [0057] 可选地,电离辐射源点的操作参数是以下中的至少一个:
- [0058] 电离辐射源点的操作状态(开/关);
- [0059] 电离辐射源点的操作电流和/或操作电压;
- [0060] 电离辐射源点的射束控制装置的参数。
- [0061] 可选地,该方法包括:使用辐射源点中的至少一个和检测器阵列来获取辐照体积的图像数据。
- [0062] 可选地,该方法包括:基于所获取的图像数据来控制多个电离辐射源点。

[0063] 至少一个示例或实施方式的优点是在样品各处(或跨多个样品)提供在阈值水平以上的辐射剂量。样品的特性可能不同。例如,与其他样品相比,该样品可能具有更高的密度,或者与样品的其他区域相比,样品的该区域可能具有更高的密度。样品的水分含量可能会改变由样品吸收的辐射的量。辐照设备可以通过以下中的至少一个来改变施加至样品(或样品的区域)的剂量:能量水平;辐照时间。

[0064] 在本发明的另一方面中,提供了一种包括电离辐射源点的环的电离辐射源点的阵列。这种形状是有利的,因为多个源点可以被布置成关于运输设备的旋转中心轴是等距的。

[0065] 该环可以被实现为环形单个抽空的管。该环可以是连续的环或不连续的,具有基本上限定环形元件的一对相对端。多个电离辐射源点可以分布在环形管周围。替选地,多个电离辐射源点可以由单独的源例如单独的x射线管实现。辐射源点的阵列的其他可能形状是由直线组成的(例如,正方形)阵列。

[0066] 可选地,电离辐射源点的阵列包括电离辐射源点的多个环,其中,这些环沿着穿过所述多个环的纵轴偏移。

[0067] 可选地,电离辐射源点的阵列包括由直线组成的阵列。

[0068] 可以提供包括总共N个电离辐射源点的阵列的辐照设备,并且辐照设备可以被配置成在辐照周期期间选择性地同时激活多达N个电离辐射源点。

[0069] 可选地,辐照设备被配置成在辐照周期期间独立地控制多个电离辐射源点中的每一个的操作参数。

[0070] 可选地,电离辐射源点的操作参数是以下中的至少一个:电离辐射源点的激活状态(即,开/关);电离辐射源点的操作电流和/或操作电压;电离辐射源点的射束控制装置的参数。

[0071] 可选地,多个电离辐射源点包括以下中的至少一个:多个单独的电离辐射源;具有多个电离辐射源点的电离辐射源。

[0072] 可以参考所附权利要求来理解本发明的实施方式。

[0073] 在本申请的范围内,可以设想,在前面的段落、所附权利要求和/或下面的描述和附图中阐述的各个方面、实施方式、示例和替选方案以及尤其是其各个特征可以独立地或以任何组合被采用。例如,结合一个实施方式描述的特征适用于所有实施方式,除非这样的特征不相容。

[0074] 为了避免疑问,应该理解,关于本发明的一个方面描述的特征可以单独地或者与一个或更多个其他特征适当的组合包括在本发明的任何其他方面中。

附图说明

[0075] 现在将参照附图仅通过示例的方式来描述本发明的一个或更多个实施方式,在附图中:

[0076] 图1以截面示出了辐照设备的示例;

[0077] 图2示出了辐照设备的外部的透视图;

[0078] 图3示出了用于在图1的辐照设备中使用的辐射源;

[0079] 图4示出了使用中的辐照设备;

[0080] 图5示出了使用辐照设备对样品进行成像的示例;

- [0081] 图6示出了具有单独辐射源的辐照设备的示例；
- [0082] 图7示出了辐射源点和射束控制装置；
- [0083] 图8示出了反射型x射线管的示例；
- [0084] 图9示出了透射型x射线管的示例；
- [0085] 图10示出了来自x射线管的x射线发射的示例图；
- [0086] 图11示出了：(a) 环形x射线辐射源的示例的一部分；(b) (a) 中所示的整个环形源；以及(c) 备选设计，在该备选设计中，管具有不连续性，在管的相对近端之间设置有间隙；
- [0087] 图12示出了具有用于成像和辐照的辐射源点的阵列的辐照设备；
- [0088] 图13示出了具有用于成像的辐射源点的第一阵列和用于辐照的辐射源点的第二阵列的辐照设备；
- [0089] 图14(a) 示出了操作辐照设备的方法，图14(b) 示意性地示出了包装内的样品的获取图像，以及图14(c) 示出了操作辐照设备的另一种方法；
- [0090] 图15示出了在样品的辐照期间变化剂量的示例；
- [0091] 图16示出了辐照设备的处理设备；
- [0092] 图17示出了可以使样品旋转的运输设备。

具体实施方式

[0093] 图1和图2示出了辐照设备100的示例。图1示出了通过辐照设备100的截面，图2示出了辐照设备100的外部的透视图。辐照设备100包括屏蔽壳体110。辐射源120或多个辐射源位于屏蔽壳体110内。屏蔽壳体110防止或限制辐射从辐射源120传递至屏蔽壳体的外部。在这个示例中，辐射源120具有环形状，并且屏蔽壳体110是直径比辐射源120更大的环，使得屏蔽壳体110周向围绕辐射源120。屏蔽壳体110在前端111和后端112处具有开口，以允许样品被运输至壳体中。屏蔽壳体110可以部分地跨前端111和/或后端112延伸。在图1中，屏蔽壳体110形成设备100的外部壳体的一部分，但是它可以是位于设备100的外部壳体内部或外部的独立结构。

[0094] 辐射源120可以发射电离辐射，例如X射线辐射。在下面的描述中将描述X射线辐射，但是应该理解，也可以产生其他种类的电离辐射，例如伽马辐射。

[0095] 辐射源120具有被配置成输出X射线辐射的多个辐射源点122。多个辐射源点122形成围绕辐照体积140的辐射源点122的阵列。阵列内的辐射源点122是分布式的，即是彼此偏移的。间距可以是均匀的。在图1中，八个辐射源点122中的每一个都围绕环与相邻源点偏移45度。在其他示例中，辐射源点122的间距可以是不均匀的。多个辐射源点122被配置成将X射线辐射向内引导至辐照体积140。辐射源点122的阵列具有纵轴125。

[0096] 运输设备130被配置成支承要辐照的样品138。运输设备130可以是传送带或者可以沿着线性路径运输样品穿过辐照体积140的一些其他设备。运输设备130可以包括样品138可以装载至其上的平坦的上表面132，例如带。运输设备130可以包括样品138可以装载至其中的多个保持器或载体。保持器中的每一个可以保持要辐照的样品（例如，物体、一定量的材料）。例如，每个保持器可以支承需要辐照的一袋血液或一定量的松散材料。样品可以放置在保持器内或者可以包含在外壳内。例如，松散材料可以包含在袋中。在设置有保持器或载体的情况下，它们可以附接至带。备选地，保持器可以不附接至带，并且保持器（其已

经预先装载有一个或多个样品)可以装载至带上,并且然后在辐照设备的输出端处被移除。每个保持器应该能够支承需要辐照的样品的重量。每个保持器可以由对x射线具有低衰减的材料(例如碳纤维或铝)制造。运输设备130包括驱动运输设备的马达(未示出)。

[0097] 在这个示例中,辐射源点122的阵列是围绕辐照体积140的环的形式。每个辐射源点122向辐照体积放射状地向内发射辐射。在这个示例中,辐射源点122的阵列具有八个辐射源点122。辐射源点的总数可以是较小的数或较大的数。辐射源点122的阵列的平面与运输设备130的线性路径正交。有利地,辐射源点的最小数目是三个。大量的源点改善了均匀性。

[0098] 实现X射线源的一种方式是在抽空的管,其中阳极安装在沿管的各个位置处。在使用中,多个阳极被选择性地激活,以使辐射从该阳极被发射。稍后在本说明书中更详细地描述X射线管。辐射源点122中的每一个可以被控制成独立地发射辐射,以在辐照周期内递送所需辐射量(剂量)。

[0099] 抽真空的管的便利形状是环形(环或“圆环”)状结构。图3示出了辐射源120和辐照体积140的透视图。辐射源120可以包括辐射源点122的单个环或辐射源点122的多个环(圆环),它们沿着辐射源点122的阵列的纵轴125偏移。多个环可以通过具有多组阳极的较长的抽真空的管或者通过沿轴125定位的多个抽真空的管来实现。各个管可以彼此直接相邻地定位或者沿轴125间隔开。图3示出了三组辐射源点123A、123B、123C。可以提供其他组数的辐射源点。增加的环数改善了沿纵轴125的覆盖范围。

[0100] 辐照设备100还可以包括检测器阵列150,该检测器阵列150可以用于对辐照体积140进行成像。术语“成像”意味着获得关于辐照体积140内的样品的特性的信息。了解诸如样品的密度的特性是有用的。检测器阵列150包括能够检测X射线辐射(或由辐射源点122使用的其他辐射)的多个检测器。检测器阵列150被示出为圆形阵列,其中中心轴与轴125对准。检测器阵列150可以围绕运输设备130的全部或仅一部分延伸。例如,检测器阵列150可以设置在与辐射源点122之一相对的区域中。检测器阵列150包括提供图像像素的检测器元件或装置的网格。检测器阵列150的输出端被连接至读出电路系统。

[0101] 辐照设备100包括控制器160。控制器160控制辐射源120的操作,例如打开和关闭辐射源点122以及控制辐射源120的输出水平。控制器160控制检测器阵列150的操作。控制器160可以位于与设备的其他部分相同的单元100中或者与主单元分开定位。应当理解,辐射源120包括这些图中未示出的其他元件,例如电源。

[0102] 图4示出了使用中的图1的辐射源120和辐照体积140。在这个示例中,辐射源120具有八个辐射源点:122A至122H。为了清楚起见,这些辐射源点中的仅两个辐射源点122A、122C被示出为发射辐射。辐照设备100可以同时激活辐射源点122A至122H中的一个至八个辐射源点。可以看到,从辐照体积140周围的各个不同方向发射辐射可以实现更均匀的样品剂量。

[0103] 实现辐射源点122的另一种方式是通过分立的(即单独的)辐射源。图5示出了辐照设备200的另一个示例的截面图。如上所述,辐照设备100包括屏蔽壳体210、运输设备230和辐照体积240。在该示例中,辐射源220包括由多个单独的源实现的多个辐射源点222。辐射源可以安装至屏蔽壳体210的内部面,由屏蔽壳体内部的结构支承,或者以一些其他方式被支承。辐射源222可以定位在成不同形状的阵列中。在这个示例中,辐射源222被布置在由直线

组成的阵列中。

[0104] 辐照设备100、200还能够执行辐照体积的成像。也就是说,辐照设备获取关于辐照体积内的样品的数据。这可能有助于确定需要辐照的材料特性(例如密度)和辐射源的最佳使用(例如,源的数目、输出功率、射束宽度)。它还可以检测辐照体积140内的异物。

[0105] X射线以直线传播,作为来自辐射源点122之一的射束而射出。X射线要么将以不同程度的衰减穿过材料(例如非金属材料),要么将被某些材料(例如金属)散射或吸收。在检测器处接收到的辐射量指示样品的特性,例如材料类型、密度。

[0106] 图6示出了被配置用于对样品进行成像的辐照设备的示例。辐射源点122以及与辐射源点122A相对的检测器阵列150的区域151(以粗体示出)被用于检测从源点122A接收的辐射。区域151可以是整个检测器阵列150的一部分。在具有较小检测器阵列的简化设备中,区域151可以是整个检测器阵列。

[0107] 可以同时激活多于一个的源-检测器对。例如,可以同时激活第一源-检测器对和第二源-检测器对。有利地,第一源-检测器对和第二源-检测器对彼此正交。在图6中,辐射源点122A和122C彼此正交。

[0108] 出于成像目的,以相对低的功率水平操作辐射源点中的一个或多个。用于成像的辐射水平显著低于用于辐照的辐射水平。

[0109] 存在获取辐照体积内的样品138的图像数据的各种方式。获取图像数据的一种方式是使用源-检测器对之一或一系列源-检测器对,同时运输设备130被控制成保持静止。示例系列可以如下:

[0110] (i)激活辐射源点122A并在与辐射源点122A相对的位置处检测辐射;

[0111] (ii)激活辐射源点122B并在与辐射源点122B相对的位置处检测辐射;

[0112] 以及以相同的方式继续轮流多个辐射源点122C至122H。

[0113] 使用多个源-检测器对可以允许较大样品的成像。可以根据从不同方向获取的样品的一组图像数据来确定三维图像。这被称为计算机断层扫描(CT)。CT是已知的,因此将不再进一步描述。

[0114] 在同时使用多个辐射源点的示例中,序列可以如下:

[0115] (i)激活辐射源点122A并在与辐射源点122A相对的位置处检测辐射,以及激活辐射源点122C并在与辐射源点122C相对的位置处检测辐射;

[0116] (ii)激活辐射源点122B并在与辐射源点122B相对的位置处检测辐射,以及激活辐射源点122D并在与辐射源点122D相对的位置处检测辐射;

[0117] (iii)激活辐射源点122E并在与辐射源点122E相对的位置处检测辐射,以及激活辐射源点122G并在与辐射源点122G相对的位置处检测辐射;

[0118] (iv)激活辐射源点122F并在与辐射源点122F相对的位置处检测辐射,以及激活辐射源点122H并在与辐射源点122H相对的位置处检测辐射。

[0119] 再次参照图2,由运输设备130所载的样品138在平行于轴125的方向即轴向方向上延伸。期望对样品的整个体积进行成像。这可以通过各种方式来实现。沿着轴向维度对样品138进行成像的一种可能方式是对检测器阵列150与由运输设备130所载的样品138之间的不同相对位置执行一系列成像操作。这可以允许检测器阵列150具有相当短的轴向尺寸。对

于检测器阵列150和样品138的每个相对位置,检测器阵列150获取样品138的一部分(即切片)的图像。运输设备130可以被配置成以允许所需图像质量的轴向速度移动样品138。可以从一个源-检测器对重复地(或连续地)获取成像数据,或者通过重复地激活多个不同的源-检测器对来获取成像数据。替选地,运输设备130可以被配置成重复地:(i)向前移动样品138,并且然后(ii)在获取成像数据时使样品138静止。对于每个轴向位置,可以针对一个源-检测器对或者多个不同的源-检测器对来获取成像数据。

[0120] 沿轴向维度对样品138进行成像的另一种可能方式是提供如下检测器阵列150,该检测器阵列150延伸至少与样品一样长的轴向距离。运输设备130可以被配置成:将样品138移动至检测器阵列150中,然后在获取成像数据时使样品138静止。可以针对一个源-检测器对或多个不同的源-检测器对来获取成像数据。

[0121] 图7示出了辐射源点122和射束控制装置或准直器126。射束控制装置126可以被控制成改变开口或孔径的尺寸。这控制由辐射源点122朝向辐照体积140发射的辐射射束的形状和/或宽度。可以针对每个辐射源点122、222设置射束控制装置126。

[0122] 应当理解,例如通过上述方法从不同方向获取样品的图像的能力使得能够获得关于样品内的样品密度变化的信息。它还使得确定关于样品的体积和空间分布的信息。还可以确定样品保持器134和/或感兴趣的样品的包装的相对位置。

[0123] 通过本发明的实施方式获得的对密度以及体积和空间分布信息的这种增加的理解对于某些应用可能是有利的。

[0124] 首先,能量低于约300kV的X射线辐射已被证明在微生物修复中比较高能量源(例如伽马辐射和高能X射线辐射)更有效。然而,在这些较低的能量下,样品对X射线的吸收和散射要大得多,因此辐射不会像高能伽马源和X射线源那样均匀地穿透样品的大部分。与较高能量的伽马源和X射线源相比,这些较低能量的X射线的增加的吸收和散射将导致递送至不同的密度、体积和空间分布下的样品和样品包装的剂量变化更加显著。因此,仔细规划对样品的剂量递送更加重要,并且所描述的成像步骤可以使得能够相对快速地创建对样品的所有部分的均匀低能X射线剂量递送的计划。

[0125] 第二,成像步骤可以通过确保对于样品的所有部分都达到所需的剂量,而有限量的样品接收比所需的剂量更多的剂量来优化功率(节能)和产量。这也可以被描述为改进的剂量均匀度。

[0126] 第三,许多类型的产品例如肉类、水果、香料和诸如大麻的植物作物可能具有围绕要辐照的样品的多种类型的包装材料,并且在确定要施加至样品的剂量水平时,必须考虑这些包装变化。因此,在一些实施方式中,可以考虑包装对X射线辐射的吸收量,并且可以相应地调整物品(样品和包装)经受的X射线辐射的剂量,以便确保达到包装内的样品所需的剂量。在一些实施方式中,可以考虑与设备100相关联的样品保持器(例如保持器134)对X射线辐射的吸收量,并且可以相应地调整保持器134和样品138经受的X射线辐射的剂量,以便确保达到保持器134内的样品138所需的剂量。

[0127] 第四,对期望的最终产品包装中的样品的X射线辐照具有如下优点:因为可以实现样品在下游处理期间的再次污染的风险的降低,因此使得样品的下游处理更容易。

[0128] 第五,希望使用根据本发明的实施方式的X射线辐照设备进行灭菌的客户可能希望辐照如下样品,这些样品在密度方面以及这些样品在辐照场中的体积和空间分布方面变

化很大,而且这些样品在他们使用的不同样品包装类型的空间分布和密度方面也变化很大。基于样品和相关联的样品包装的3D图像确定由样品周围的不同辐照源提供的剂量允许用户补偿样品密度和空间分布两者的变化以及样品包装的性质例如包装材料成分和厚度的变化。因此,用户可以使用该设备来辐照一系列不同的样品类型和不同的样品包装材料,同时基于对成像结果的分析,仍然向基本上整个样品提供期望的剂量。

[0129] 应当理解,在如本文中所述的一些实施方式中,成像步骤可以利用与辐照步骤相同的辐照源,从而允许更简单和更低成本的设备。此外,成像功能和辐照功能可以由相同的设备执行,从而得到改善的工作流程和产量。

[0130] 如上所述,应该理解的是,当考虑样品本身将接收的辐射量时,也可能考虑穿过要辐照的样品的射束路径中的样品保持器的存在。

[0131] 应当理解,样品的包装可以在要辐照的样品138周围产生材料的较高密度区域和较低密度区域,并且这些区域可以通过X射线成像来检测。例如,样品可以被包装在被保持在架子中的多个密封容器中,其中容器并排放置或堆叠在彼此的顶部上或者这两者兼而有之。基于从每个辐照源投射的每个射束在它穿过架子时遇到的容器的密度和数目,用于辐照样品的射束将遇到在包装方面和包含在包装中的样品方面不同密度的材料。由于每个容器中使用的包装材料(例如容器的顶部上的塑料盖或金属盖)与容器的其余部分中使用的材料(例如塑料、玻璃、纸板或其他材料)不同,因此每个射束也将遇到不同密度的材料。

[0132] 根据本发明的实施方式的设备能够确定辐照体积将经受的所需辐照量,以便将所需剂量的辐射递送至样品138。在一些实施方式中,当样品138在辐照体积138中移动时,该设备能够确定辐照体积将经受的辐射量,以便将所需剂量递送至样品138的不同区域。该设备相应地控制相应的X射线辐射源,以便向不同区域递送所需剂量。例如,样品的密度较大区域可能会接收更多的辐射。在一些实施方式中,样品的具有较高水分含量的区域可以比具有较低水分含量的区域接收更高的剂量,以补偿水分对辐射的吸收。类似地,在辐射被引导以穿过一个或更多个样品保持器例如一个或更多个容器以及可选的一个或更多个架子或辐照体积内的其他结构元素的情况下,在确定在样品被移动时的给定时刻要由给定辐射源递送的所需辐射量时,设备可能考虑这些物品。

[0133] 在一些实施方式中,可以间歇地或以随时间而变化的速度使样品移动,以便确保递送所需剂量。

[0134] 另外,预期在某些情况下,用户可能希望在密封状态下辐照最终包装内的样品,因此在辐照过程完成之后,容器内的样品可以被认为在最终包装内被完全净化,并且在样品被交付给消费者或由消费者购买之前,可能不会发生对样品的进一步操纵和可能的再次污染。

[0135] 在一些实施方式中,除了设备基于获取的图像数据来确定辐照体积将被照射的X射线辐射的量、补偿由于包装和/或样品保持器引起的X射线吸收以外或者代替设备基于获取的图像数据来确定辐照体积将被照射的X射线辐射的量、补偿由于包装和/或样品保持器引起的X射线吸收,设备可以至少部分地基于由用户输入的数据来确定要施加至辐照体积的辐射的量。例如,用户能够输入数据,例如指示正在使用的包装材料的类型(例如,指示材料和厚度)以及/或者存在一个或更多个样品保持器或其他物品例如设备100在辐照体积中的部分的数据。设备100可以至少部分地基于由用户输入的数据和存储的数据,例如指示由

给定类型的包装和/或样品保持器吸收的辐射量的数据,对施加至辐照体积的X射线辐射的量施加校正。因此,通过以相应的方式增加施加的辐射的量,设备100可以补偿施加至辐照体积的辐射的量,该辐射的量由于样品包装和/或样品保持器或辐照体积中的其他物品的吸收或散射而将不会辐照样品。

[0136] 图8和图9示出了两种类型的x射线管170、180的示例,这两种类型的x射线管170、180可以用于提供图1、图4、图5和图6中所示的x射线源点122、222之一。

[0137] 图8示出了通过侧窗178发射x射线177的示例x射线管170。该窗178可以形成图1、图4、图5和图6中所示的x射线源点122、222之一。这种类型的x射线管170被称为柯立芝型x射线管或反射型x射线管。x射线管170具有阴极171、丝172和阳极173。电源174被连接至丝172。丝172通常由具有高熔点的金属制成。电源174被配置成在丝172两端供应电压V1。电流I1流过丝172。这被称为管电流。电流流动对丝进行加热并使丝通过热离子发射来发射电子176。电源175被连接至阴极171和阳极173。电源175被配置成在阳极173与阴极171之间供应电压V2。电源175是高电压电源,通常大于20kV。在使用中,由于高电压V2,电子176朝向阳极173加速。电子与阳极173的碰撞导致轫致辐射的发射。轫致辐射具有宽光谱,并且包括热和x射线光子(x射线)177。可以在窗178处设置过滤器以吸收低能光子。

[0138] 图9示出了通过端窗188发射x射线187的示例x射线管180。该窗188可以形成图1、图4、图5和图6中所示的x射线源点122、222之一。这种类型的x射线管180被称为发射源。许多特征与图8相同,并且用相同的附图标记来标记所述许多特征。该管的操作类似于图8,并且将仅描述主要差异。x射线管180具有阴极171、丝172和阳极183。阳极183在x射线管的壳体189中形成端窗,或者阳极183可以被定位为与x射线管的壳体的端窗邻近。可以在窗188处设置过滤器以吸收低能光子。这种类型的x射线管的一个优点是改善的散热,因为阳极183现在是壳体的外表面的一部分或者更靠近壳体的外表面并且不包含在壳体189内。

[0139] x射线管170、180包括通常由金属或玻璃形成的壳体或室179、189。壳体179、189被抽空,即壳体的内部是真空的。除了在窗178、188处以外,壳体179、189被屏蔽。屏蔽减少或防止不希望的辐射发射。在图8中,窗178被设置在阳极173旁边的壳体179的一侧上。在图9中,窗188被设置在壳体189的一端,并且x射线通过端窗从阳极183被发射。

[0140] 图10示出了由x射线管170、180输出的轫致辐射的图表。纵轴代表强度或光子的数目。横轴代表每光子的能量。该图表具有一般的弯曲形状191,并且可以包括在特定能量值处的一个或更多个峰值192。低值处的能量可以被窗处的过滤器去除。增加阳极173、183与阴极171之间的电压V2会增加撞击阳极173、183的电子176的能量,并增加较高能量x射线光子的数目。这具有使图10的图表变宽的效果。增加丝172两端的电压V1(即管电流I1)增加了热离子发射的速率和朝向阳极的电子的流动,并增加了在阳极处生成的x射线光子的数目。这增加了强度(y轴),但是图表的整体形状保持不变。

[0141] 递送至样品的x射线辐射的总剂量取决于:控制发射的x射线光子的数目的x射线管电流(I1);控制发射的x射线光子的能量的x射线管电压(V2);以及发射辐射的时间,即辐照周期。

[0142] 辐照设备可以包括具有多个辐射源点122的单个环形x射线管120(图1、图4、图6)或者多个x射线管,其中每个x射线管具有x射线源点222(图5)。对于多个x射线管的情况,每个x射线管可以是图8或图9中所示的类型的x射线管。x射线管可以定位在屏蔽壳体

需位置处,以形成辐射源点阵列。对于单个环形x射线管120的情况,存在单个环形抽空的壳体189。图11(a)示出了环形x射线源120的示例的一部分。图8或图9中所示的特征(即阳极、丝、阴极和窗)在壳体周围的位置被复制。例如,具有八个源点122A至122H的图4的x射线源120可以具有单个环形壳体189,其中图8或图9中所示的设备的八个实例在壳体189周围的八个位置处。

[0143] 在进一步的替选方案中,环形x射线源120可以具有单个连续的环形阳极。阳极可以被保持在高正电势,并且阴极可以通过控制施加至每个阴极的电势而单独地或共同地导通。

[0144] 电源可以向设备的每个实例提供电压V1/电流,以控制从相应的x射线源点发射的x射线辐射的强度。电源可以向设备的每个实例提供电压V2,以控制从相应的x射线源点发射的x射线辐射的能量。每个电源可以独立地控制施加至设备的每个实例的电压。

[0145] 应当理解,可以提供单个电源以生成V1和V2,或者可以提供单独的电源以生成V1和V2中的每一个。电源可以针对所有辐射源点122生成V1和/或V2。替选地,可以为辐射源点122中的每一个提供单独的电源。

[0146] 一个或多个电源可以独立地控制施加至阴极、阳极和丝的电压,以独立地控制由每个辐射源点122输出的x射线辐射。

[0147] 图11(b)示出了完整的单个环形x射线管120,该单个环形x射线管120的一部分在图11(a)中示出。图11(c)示出了单个环形x射线管120的替选设计,其中管120具有不连续性,在管120的相对近端之间设置有间隙120g。这种设计可能更易于制造以及/或者提供更方便的维护。

[0148] 辐照设备100可以包括协同定位的辐射源120和检测器阵列150。这在图12中示出。在使用中,辐射设备100可以首先使用辐射源120和检测器阵列150来获取关于一个或更多个样品的成像数据。辐射源120可以被控制成在低辐射水平下操作。然后,辐照设备100可以使用相同的辐射源120以较高的辐射水平来辐照一个或更多个样品。在执行成像时,运输设备130可以被控制成将样品移动至辐照体积140中或者将样品移动穿过辐照体积140。然后,在执行辐照时,运输设备130可以被控制成将样品移动至辐照体积140中或者将样品移动穿过辐照体积140。根据辐照体积140相对于样品的长度,运输设备130可以被控制成:在扫描操作中缓慢地将样品传递穿过辐照体积140,或者将样品保持在辐照体积140内。对于比辐照体积更长的样品,扫描操作是有利的。运输设备130可以被控制成:(i)将样品运输至辐照体积中以用于成像;(ii)将样品运出辐照体积;以及(iii)将样品运输至辐照体积中以用于辐照。

[0149] 图13示出了辐照设备300的另一个示例,该辐照设备300包括出于成像目的而协同定位的第一辐射源320和检测器阵列350。第一辐射源320可以与辐射源120相同或相似。检测器阵列350可以与检测器阵列150相同或相似。辐照设备300还包括用于辐照目的的第二辐射源380。第二辐射源380可以与辐射源120相同或相似。在使用中,辐照设备300可以首先使用辐射源320和检测器阵列350来获取关于一个或更多个样品的成像数据。辐射源320可以被控制成在低辐射水平下操作。然后,辐照设备300可以使用辐射源380以较高的辐射水平来辐照一个或更多个样品。运输设备130被控制成:将样品移动至辐射源320和检测器阵列350内的体积341(成像体积)中,并且然后将样品保持在成像体积341内,或者在执行成像

时以慢速率将样品移动穿过成像体积341。然后,运输设备130被控制成将样品从成像体积341移动至辐射源380内的辐照体积342。在辐照期间,运输设备130被控制成:将样品保持在辐照体积342内,或者以慢速率将样品移动穿过辐照体积342。在辐照之后,运输设备130被控制成将样品移动出辐照体积342。类似于图7,运输设备130可以被控制成:在扫描操作中将样品缓慢传递穿过成像体积341和/或辐照体积342,或者将样品保持在成像体积341和/或辐照体积342内。对于比成像体积/辐照体积更长的样品,扫描操作是有利的。

[0150] 图14(a)示出了操作辐照设备的方法。在块402处,辐照设备获取关于辐照体积中的样品的成像数据。

[0151] 在块404处,该方法确定辐射源点的最佳使用。这将被称为辐照计划数据。辐照计划数据可以使用以下参数中的一个或更多个:

- [0152] • 总辐射剂量;
- [0153] • 递送辐射的速率;
- [0154] • 辐照的总持续时间;
- [0155] • 激活的辐射源点的数目(从1到最大值;固定的或者在辐照周期的持续时间内变化);
- [0156] • 激活的辐射源点的辐射输出(固定的或者在辐照周期的持续时间内变化),其中辐射输出由(i)控制每光子能量的管电流I1和(ii)控制每光子能量的管电压V2确定;
- [0157] • 激活的辐射源点中的每一个的射束角(固定的或者在辐照周期的持续时间内变化)。如上所述,射束角可以由准直器控制。

[0158] 辐照计划数据可以使用这些参数中的一个或更多个。参数中的每一个在辐照的持续时间内可以是固定的。替选地,可以在辐照期间改变参数值中的一个或更多个。

[0159] 图像数据可以指示样品之一具有较高的密度或者具有较高的密度区域,因此需要较高的辐射能量。例如,图15示出了样品138内密度较大区域139。当密度较高的样品最接近辐射源点时,辐照计划数据可以使辐射源点增加辐射水平。例如,当密度较大的样品(或样品的密度较大区域)接近源点时,可以增加管电压(每光子的能量)。对于密度较低的样品,可以降低管电压。

[0160] 在块406处,该方法使用辐照计划数据来辐照该体积。

[0161] 应当理解,在一些实施方式中,该方法可能需要可以基于获取的图像数据来估计由样品包装吸收的辐射的量以及在确定要施加至辐照体积的辐照的量时补偿吸收的量。例如,该方法可以涉及通过标识以下来估计由样品包装吸收的辐射的量:

[0162] (a) 辐照体积的图像的一部分,其对应于辐射仅穿过包装而不穿过样品的任何部分的区域,以及

[0163] (b) 辐照体积的图像的一部分,其中辐射已经被检测器检测到,而没有穿过样品或包装。

[0164] 因此,如上估计的由包装吸收的辐射的估计量可以被加至要提供给样品的期望剂量,以便估计样品和包装应该经受的辐射的量,从而达到对样品的期望剂量。应当理解,在一些实施方式中,该方法可以是自动化的,以便减少用户在计算要施加至在其中提供包装的样品的辐照体积的所需剂量时的工作量。

[0165] 图14(b)是由设备100获取的图像的示意性图示,其中可以看到样品138包含在样

品包装138p内,在这种情况下,袋由塑料膜材料制成。示出了图像的合适的第一区域R1,第一区域R1主要由仅穿过样品包装138p而不穿过样品138的X射线辐射形成(应当理解,由于例如样品138或设备100的部分的散射,少量辐射可能对图像有贡献)。还示出了图像的合适的第二区域R2,第二区域R2主要由基本上直接从X射线源传递至检测器而没有穿过样品138或样品包装138p的X射线辐射形成。

[0166] 图14(c)示出了计算要施加至辐照体积的包装补偿辐射量的方法。该方法可以在图14(a)中所示的方法的步骤302处实现。

[0167] 在块402a处,标识由设备100获取的样品138的图像的第一区域R1(图14(b)),第一区域R1(图14(b))包含包装138p的图像而不包含样品的图像。

[0168] 在块402b处,标识图像的第二区域R2,第二区域R2不包含包装138p或样品138的一部分,而是由从源直接照射在检测器上的辐射形成。

[0169] 在块402c处,比较关于第一区域R1和第二区域R2的指示在那些相应区域中入射在检测器上的辐射的量的图像数据,以便估计由包装138p吸收的辐射的量。

[0170] 在块402d处,考虑到由包装138p对辐射的吸收,计算为了达到期望的样品剂量而要施加至辐照体积的辐射的量的补偿值。

[0171] 应当理解,也可以类似地补偿由样品保持器134(如果存在的话,例如参见图17)对辐射的吸收。这可以通过经由标识以下来估计由样品保持器134和样品的包装(如果包装存在的话)吸收的辐射的量来实现:

[0172] (a) 辐照体积的图像的一部分,其对应于辐射仅穿过样品保持器和包装而不穿过样品的任何部分的区域,以及

[0173] (b) 辐照体积的图像的一部分,其中辐射已经被检测器直接检测到,而没有穿过样品保持器、样品或包装。

[0174] 可以调整方法步骤402a至402d,使得图像的第一区域对应于辐射已经穿过样品保持器134和样品包装而不穿过样品本身的辐照体积的区域,并且图像的第二区域对应于辐射已经被检测器直接检测到而没有穿过样品保持器134、样品包装或样品本身的辐照体积的区域。

[0175] 在成像期间使用的辐射剂量通常低于或远低于在辐照期间使用的辐射剂量。使用SI单位格雷(Gy)来测量辐射剂量。成像通常使用0.005Gy至0.1Gy的剂量。辐照通常使用至少1Gy的剂量,但是一些应用可以使用更低的剂量,例如至少0.02Gy的剂量。相比之下,成像通常在0.005Gy至0.1Gy的范围内。

[0176] 被运输至辐照设备中的样品的特性可以:(i)在样品之一内变化(例如,具有潮湿的中心部分和较干燥的外部部分的大捆包,或者具有较大密度的区域的捆包);(ii)因样品而异;或者(iii)在一批样品(例如人血浆)中是均匀的(或假定是均匀的)。成像和计划步骤(块402、块404)可以在每个样品的基础上执行或者在不太频繁的基础上执行。当在不太频繁的基础上执行时,使用来自较早成像操作的计划数据,直到获得新的计划数据。还可以针对特定的样品或条件限定一个或更多个参数值模板。

[0177] 图15示出了在样品的辐照期间改变辐射水平的示例。样品138具有密度较大区域139。为了在样品各处达到均匀的剂量,样品的密度较大区域172需要较高的辐射水平。图15的上部示出了在一段时间内由辐射源120递送的辐射水平。辐射水平开始于值D1,辐射水平

在样品的密度较大区域172穿过辐射源120时上升到值D2,并且然后辐射水平返回到值D2。这是简单的示例。辐射分布图可以具有更复杂的形状,并且可以应用于辐射源点中的选定的一个或更多个辐射源点。可以改变辐射源点的射束形状,以将辐射聚焦在样品的特定区域中。相同的方法可以应用于整个样品,使得以第一辐射水平辐照第一样品,并且以第二辐射水平辐照第二样品。虽然递送至样品(或样品的区域)的辐射的能量水平是不均匀的,但是每单位体积和单位质量递送的辐射的总能量水平更加均匀。

[0178] 控制器可以改变运输设备130的速度。改变运输设备130的速度使样品穿过辐照体积140的线性移动的速度改变。降低速度会增加样品(或样品的区域)在辐照体积中停留的时间长度。增加速度会减少样品(或样品的区域)在辐照体积中停留的时间长度。改变能量水平和速度可以改变递送至样品(或样品的区域)的辐射剂量。

[0179] 在更简单的示例中,在辐照缺少检测器阵列和对辐照体积进行成像的能力的情况下,辐照设备可以接收输入以设置辐照周期的参数,例如:总辐射剂量;递送辐射的速率;辐照的总持续时间;激活的辐射源点的数目(从1到最大值);激活的辐射源点中的每一个的功率;激活的辐射源点中的每一个的射束角。辐照设备可以基于输入值来确定辐射源点122的阵列的操作参数。可以例如经由用户接口(508,图10)或者通过从另一个设备接收的输入将参数输入至处理设备。

[0180] 图16示出了处理设备500的示例,处理设备500可以实现本发明的处理的至少一部分,例如图1中所示的控制器160。处理设备500可以实现图14(a)和图14(c)的方法。处理设备500包括一个或更多个处理器501,所述一个或更多个处理器501可以是用于执行指令以控制装置的操作的任何类型的处理器。处理器501经由一个或更多个总线506连接至装置的其他部件。可以使用任何数据存储装置或计算机可读介质例如存储器502来提供处理器可执行指令503。处理器可执行指令503包括用于实现所描述的方法的功能的指令。存储器502是任何合适类型的存储器,例如非易失性存储器、磁存储装置或光存储装置。处理设备500包括输入/输出(I/O)接口507。I/O接口507可以从检测器接收信号并输出信号以控制辐照设备,例如控制辐射源点的数目、功率、射束宽度;控制运输系统(例如,线性移动的速度)的操作。处理设备500被连接至用户接口508。存储器502或单独的存储器存储由处理器使用的数据。这可以包括以下中的一个或更多个:图像数据511;辐照计划数据512。

[0181] 剂量可以根据应用类型而变化。使用SI单位格雷(Gy)和以格雷/分钟(Gy/min)为单位的剂量速率来测量辐射剂量。灭菌通常需要高或非常高的剂量(例如,对于血袋,15Gy至50Gy的剂量;对于水果、蔬菜、坚果、肉类、鱼类、家禽和动物饲料,400Gy至15,000Gy的剂量;对于大麻袋/瓶,2,500Gy至15,000Gy的剂量)。这可以以高剂量速率被递送,并且可能需要大约几个小时或几十个小时的辐照周期。其他应用可能需要较小的剂量,例如用于临床研究的细胞的辐照需要0.2Gy至25Gy的剂量,剂量速率为2Gy/min至15Gy/min。

[0182] 上述运输设备130具有传送带,该传送带可以沿着线性路径运输样品穿过辐照体积140。图17示出了运输设备的另一个示例,该运输设备被配置成:在穿过辐照体积140的线性路径期间改变样品的位置。例如,运输设备可以包括安装在带上的转台133。转台随着带移动。转台可以被配置成围绕旋转轴旋转。旋转轴可以与带行进的线性方向正交,即在图1和图2中所示的示例中是竖直的。当带沿着线性路径移动时,转台围绕旋转轴旋转。当带沿着线性路径移动时,这改变样品在转台上相对于辐射源点的位置。转台可以包括多个保持

器或载体。保持器中的每一个可以以与上述用于带上的保持器的方式相同的方式保持要辐照的样品(例如,物体或一定量的材料)。

[0183] 可选地,保持器134中的每一个也可以围绕其自身的中心轴135旋转。每个保持器134的旋转由虚线箭头136示出。这种移动被称为双行星移动。在整个组件130围绕中心轴131旋转的同时,每个保持器134围绕其自身的轴135在方向136上旋转。在其他示例中,保持器134的旋转轴可以是偏心的。在一些实施方式中,样品保持器134可以是基本上封装样品138的容器。替选地,样品保持器134可以部分地封装样品138,例如保持器134可以是顶部敞开的。在一些实施方式中,样品保持器134可以是样品138放置在其上的平台,可选地,样品138包含在样品包装138p内。

[0184] 遍及本说明书的权利要求和描述,词语“包括(comprise)”和“包含”以及这些词语的变体例如“包括(comprising)”和“包括(comprises)”意味着“包括但不限于”,并且不旨在(并且不)排除其他部分、添加物、部件、整数或步骤。

[0185] 遍及本说明书的权利要求和描述,除非上下文另有要求,否则单数形式包括复数形式。特别地,除非上下文另有要求,否则在使用不定冠词的情况下,说明书应被理解为考虑复数和单数。

[0186] 结合本发明的特定方面、实施方式或示例描述的特征、整数、特性、化合物、化学部分或基团应当被理解为适用于本文中描述的任何其他方面、实施方式或示例,除非与其不相容。

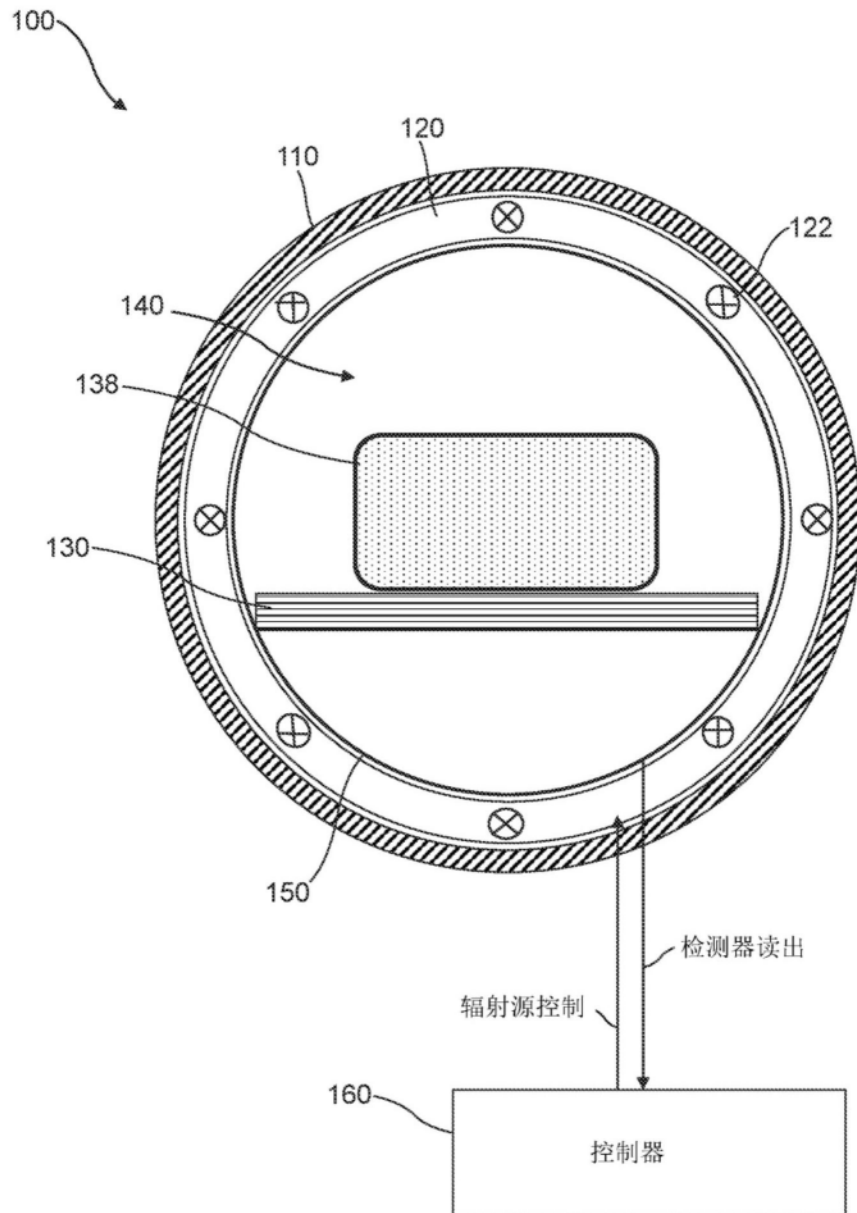


图1

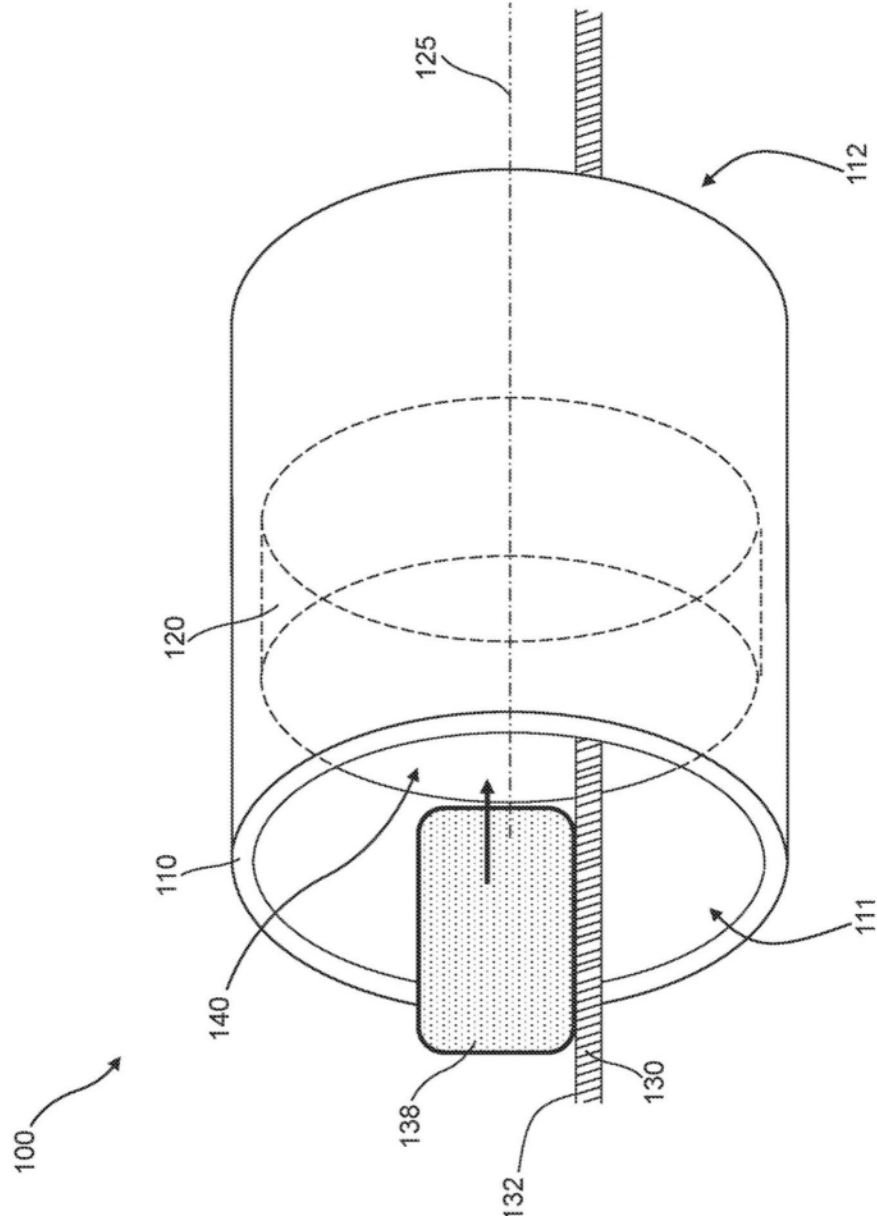


图2

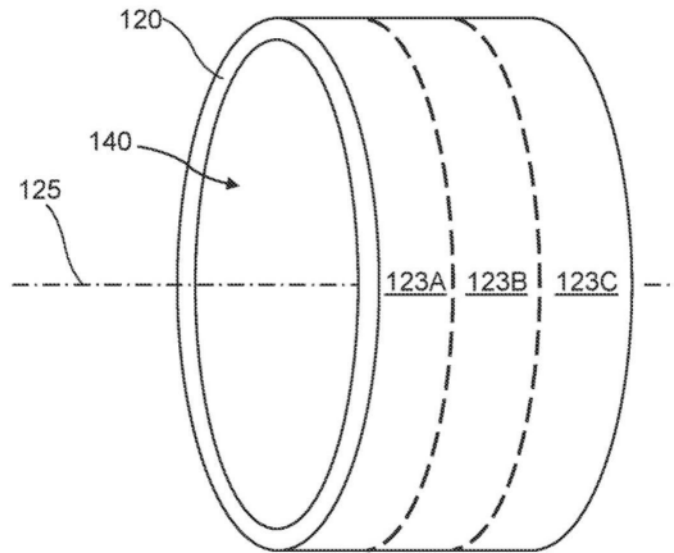


图3

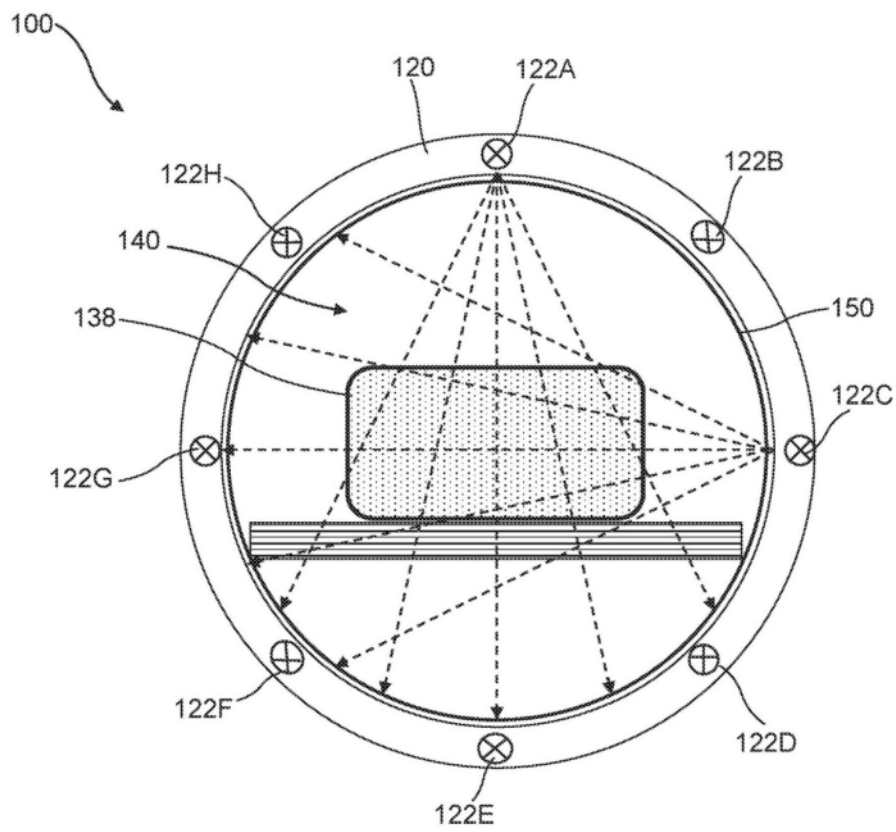


图4

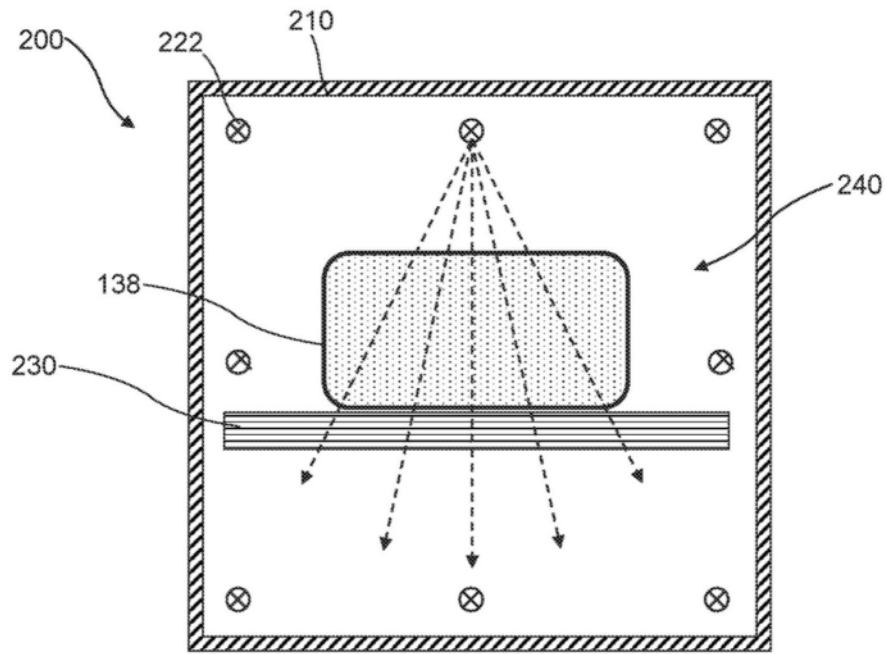


图5

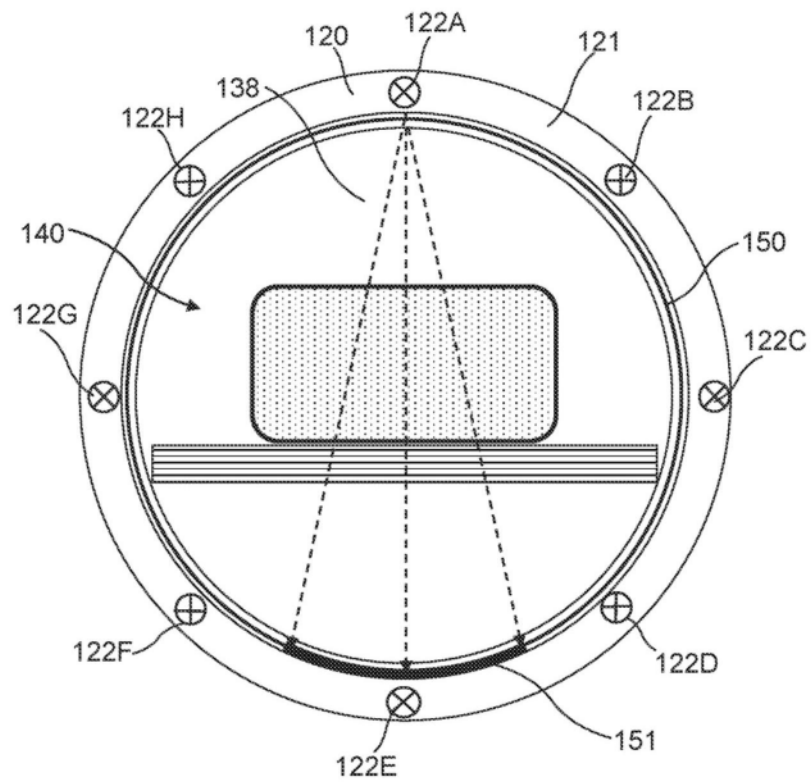


图6

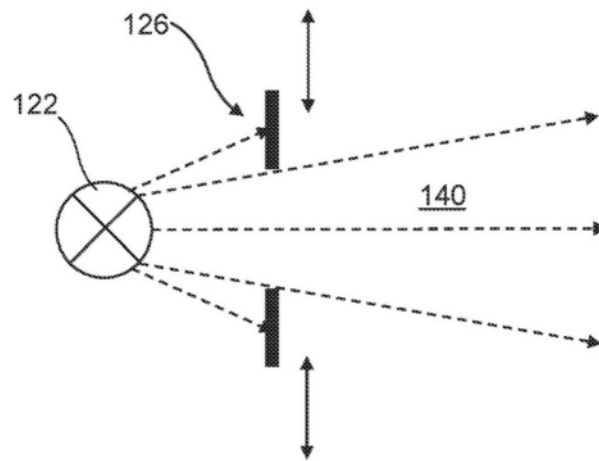


图7

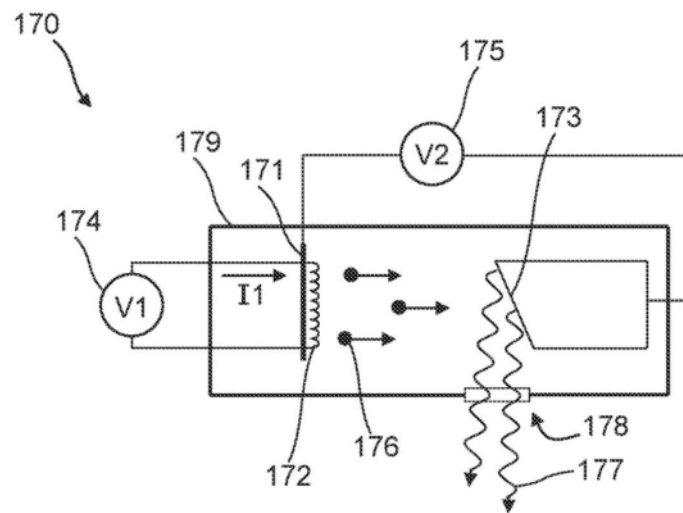


图8

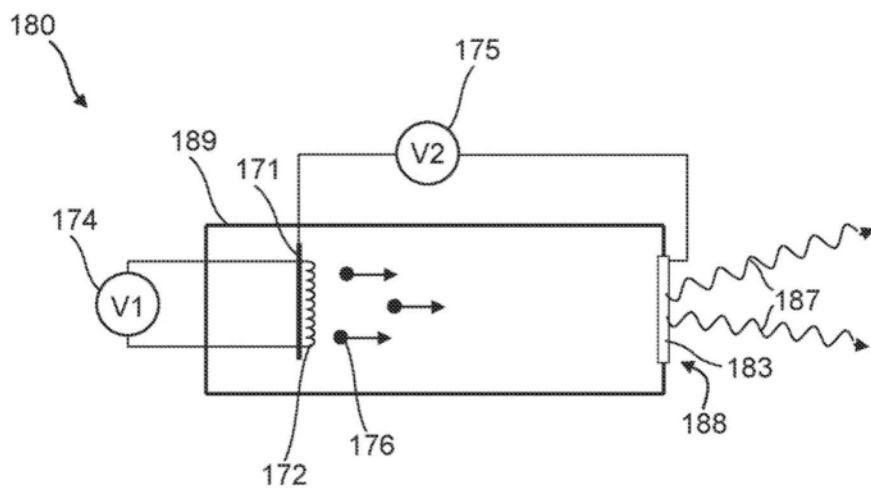


图9

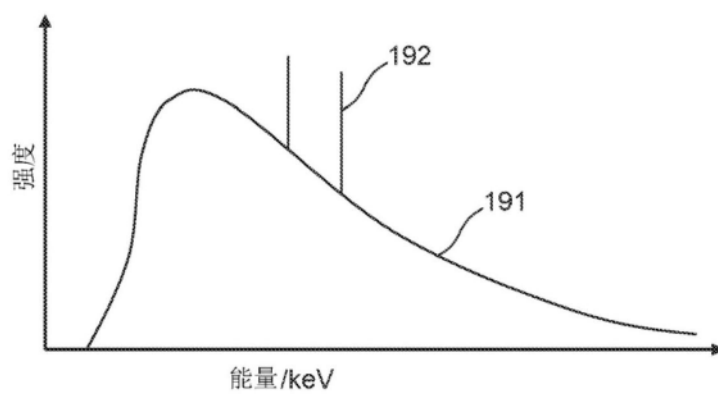


图10

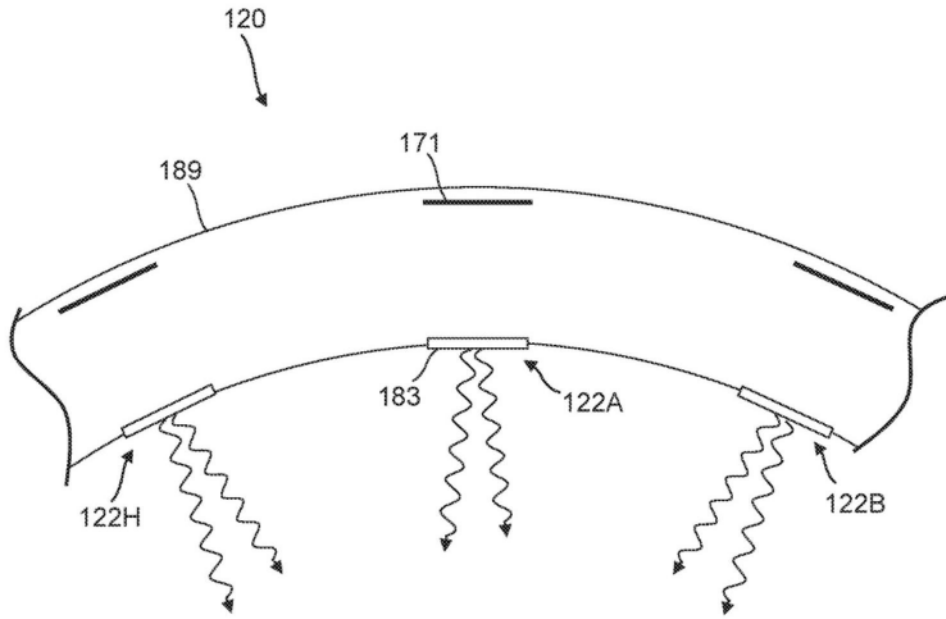


图11(a)

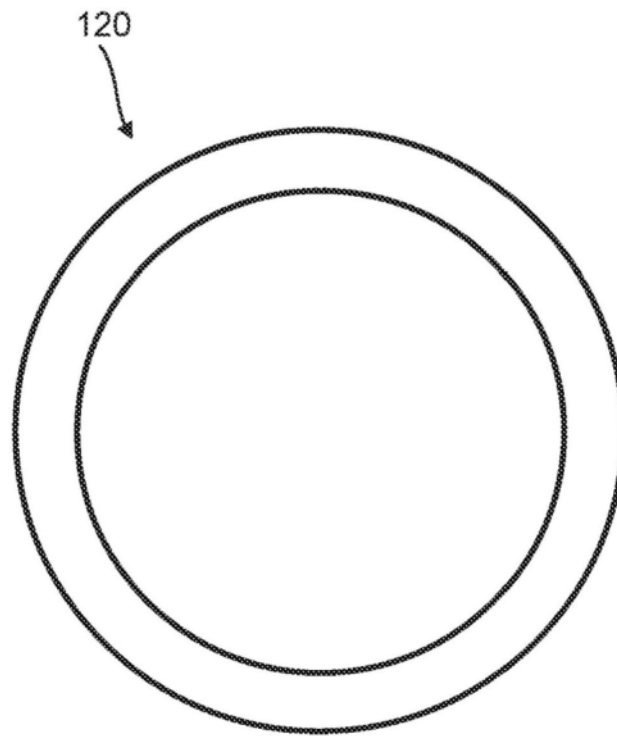


图11(b)

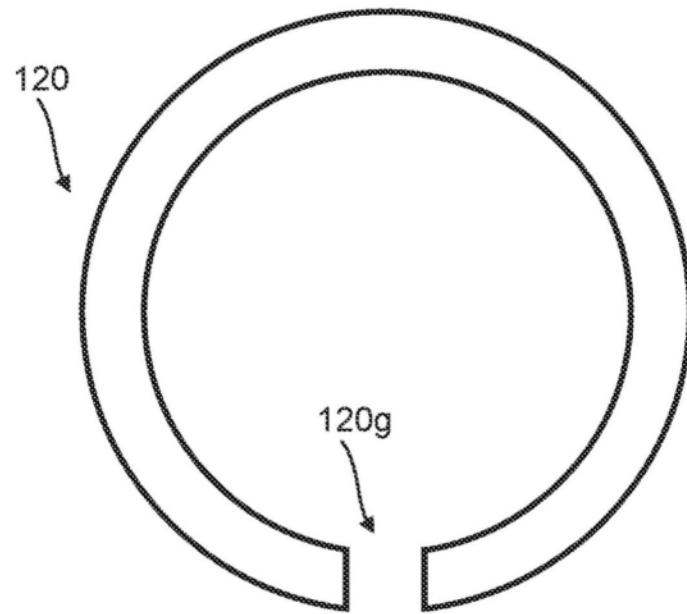


图11(c)

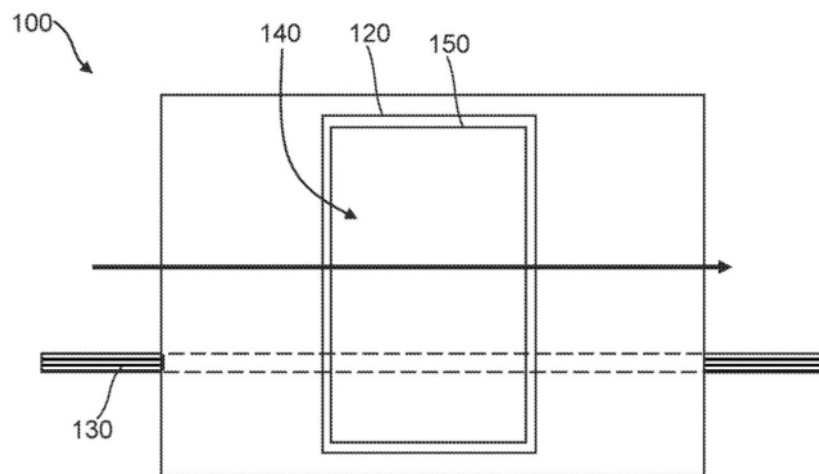


图12

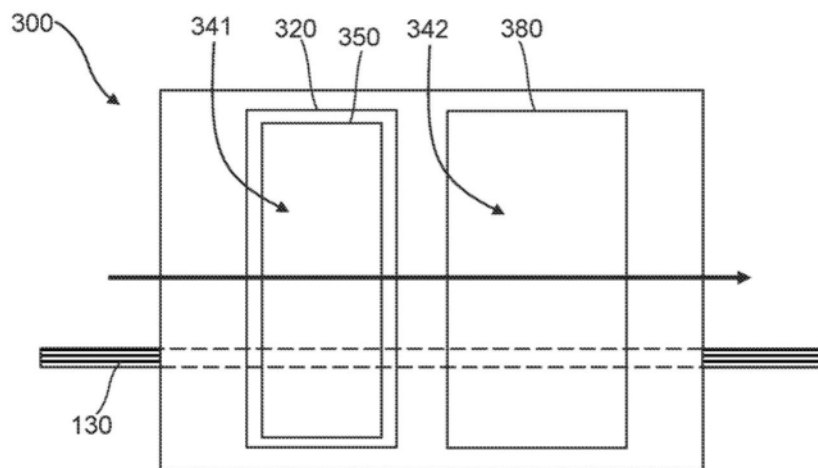


图13

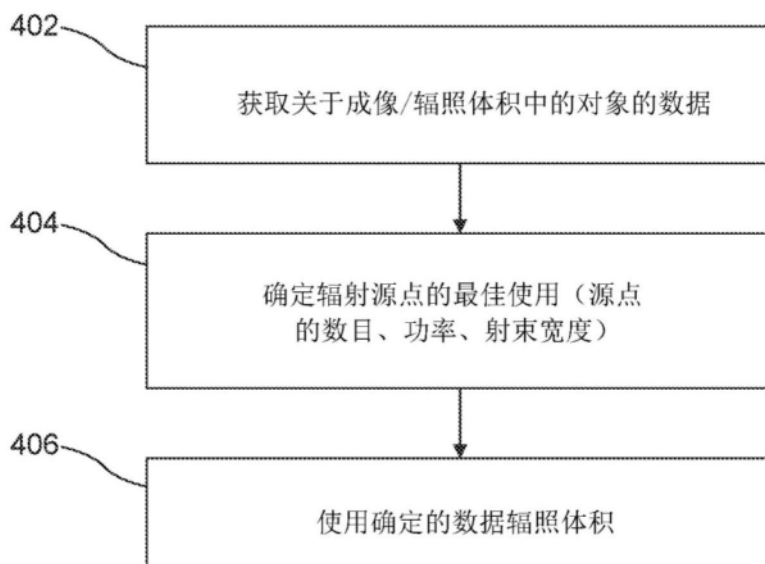


图14(a)

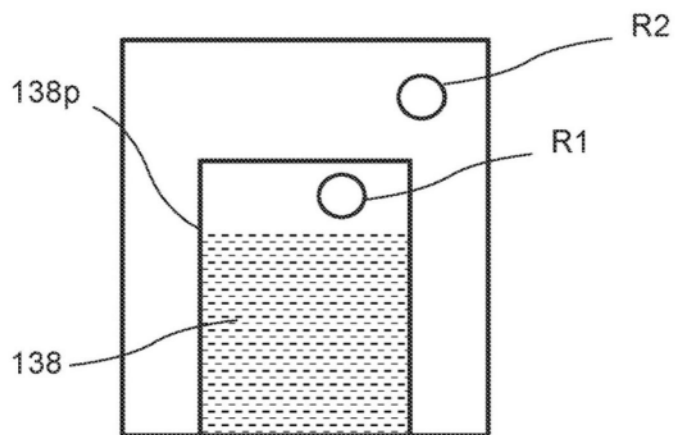


图14(b)

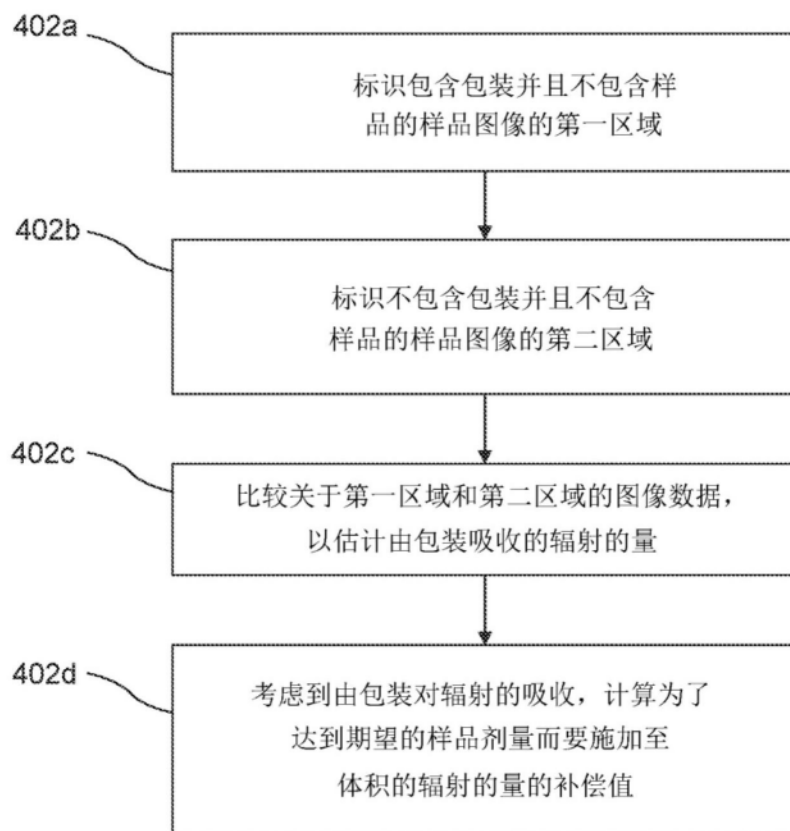


图14(c)

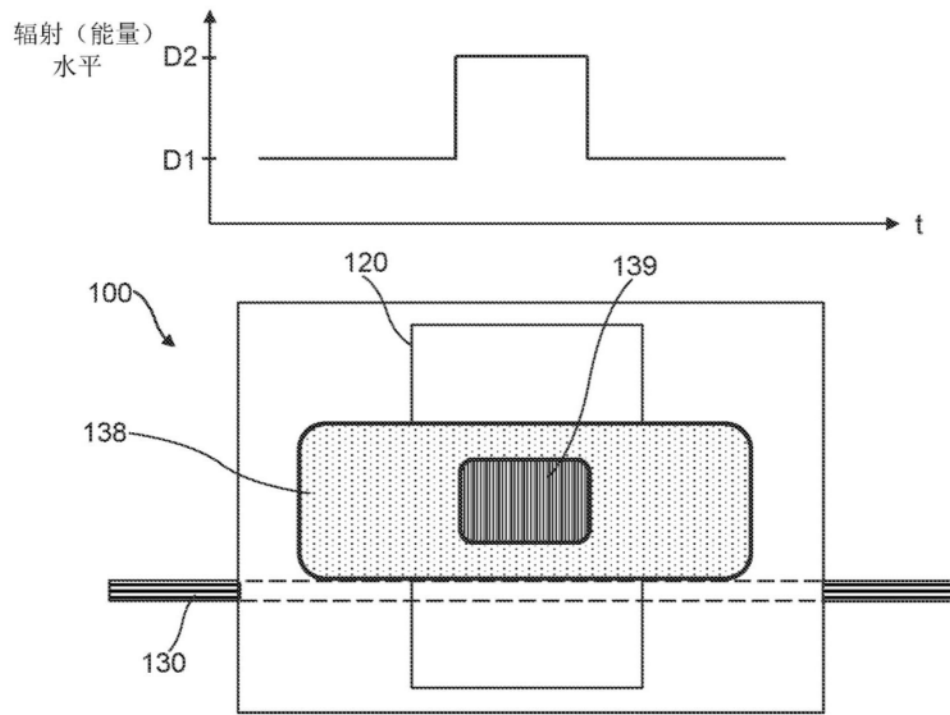


图15

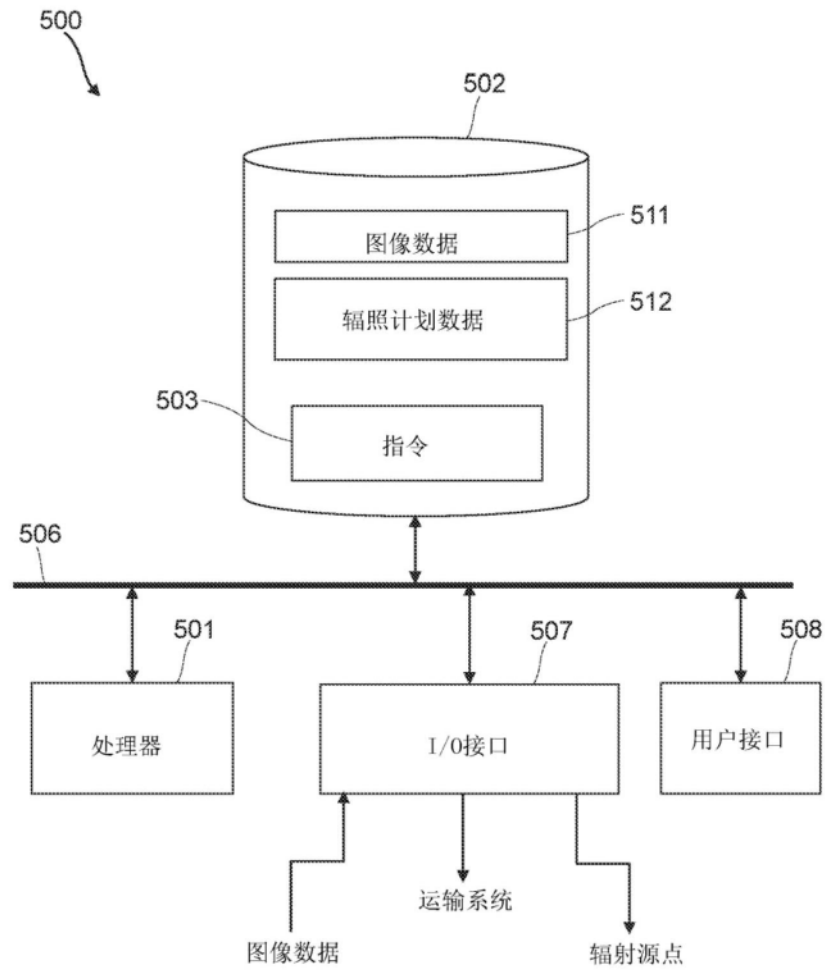


图16

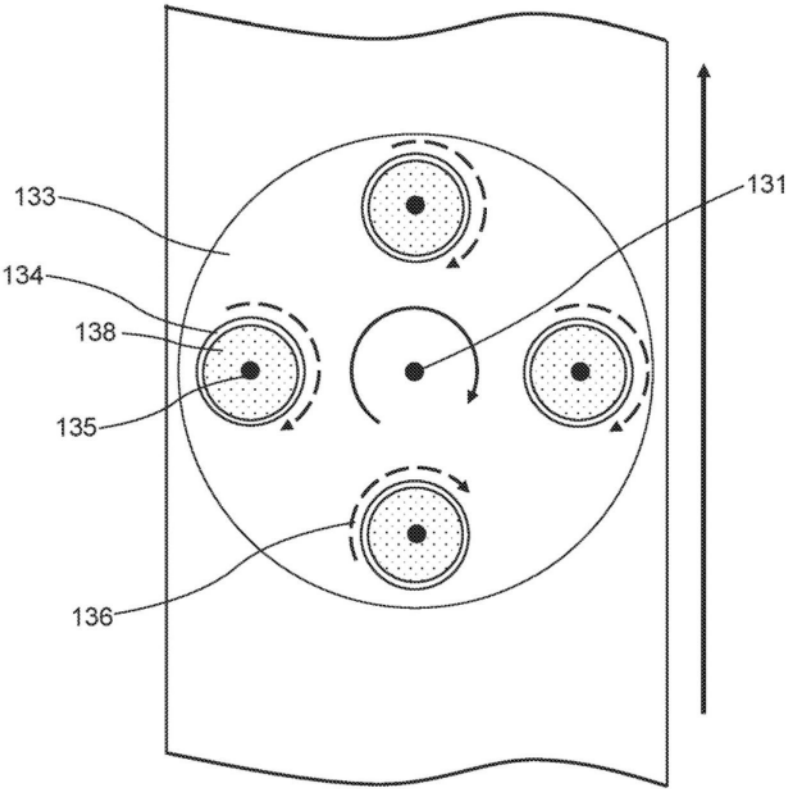


图17