

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98800059.8

[43]公开日 1999年5月5日

[11]公开号 CN 1216109A

[22]申请日 98.1.23 [21]申请号 98800059.8

[30]优先权

[32]97.1.24 [33]RU [31]97101221

[32]97.4.8 [33]RU [31]97105594

[86]国际申请 PCT/US98/01299 98.1.23

[87]国际公布 WO98/33062 英 98.7.30

[85]进入国家阶段日期 98.9.24

[71]申请人 匡塔威神公司

地址 美国加利福尼亚州

[72]发明人 奥利格·V·科马迪恩

艾伯特·F·劳伦斯

佩维尔·I·拉扎雷夫

[74]专利代理机构 柳沈知识产权律师事务所

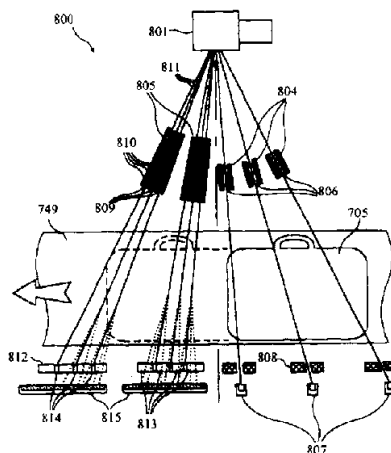
代理人 李晓舒

权利要求书 4 页 说明书 17 页 附图页数 12 页

[54]发明名称 使用小角度图象测定物体内部结构和组成的检测设备

[57]摘要

产生 X 射线定位象确定物体的组成结构的装置。根据本发明的一实施例,扫描系统采用小角度散射形成图象。空间过滤器(808)选择物体(705)以小角度散射的放射线,阻挡其他放射线。坐标敏感检测器(815)位于过滤器后,记录散射的放射线。物体的图象根据小角度散射的信息构成。物体各区域的成分由该区域的散射曲线确定。一个实施例包括一个穿透性放射线源(801),一个针对物体以小角度散射的放射线的检测器系统和一个扫描时移动物体的装置(749)。



## 权 利 要 求 书

- 1.一种小角度定位象装置, 包括:
  - 一穿透性放射线源;
- 5 一准直器, 将穿透性放射线形成一个扫描射束, 准直器是一个由对放射线不透明的区域和透明的区域交替组成的规则周期性结构;
  - 一相对于扫描射束移动物体的设施, 以获得物体的完整投影;
  - 一位于物体后的空间过滤器, 所述空间过滤器具有与准直器互补的规则周期结构, 使得与准直器的对穿透性放射线透明区域相应的空间过滤器的区域是对穿透性放射线不透明的, 与准直器的对穿透性放射线不透明区域相应的空间过滤器的区域是对穿透性放射线透明的, 空间过滤器的不透明区域设置的阻挡不偏转地通过物体的扫描射束, 空间过滤器的透明区域设置的透过物体以小角度偏转的扫描射束部分;
  - 一坐标敏感检测器, 设置的检测通过空间过滤器的放射线。
- 15 2.根据权利要求1所述的装置, 其中, 准直器包括对穿透性放射线不透明的板, 其中形成透明通道, 透明通道的轴线在放射线源的焦点处会聚。
  - 3.根据权利要求2所述的装置, 其中, 空间过滤器包括一透明板, 不透明的区域包括设置在透明板中的不透明的材料的杆形区域, 以阻挡从准直器透明通道来的穿透性放射线。
- 20 4. 根据权利要求1所述的装置, 其中, 准直器包括一组板, 在板之间具有间隙, 形成狭缝系统, 狭缝是准直器的透明区域, 狭缝形成扇形的射束, 所述射束是在穿过放射线源的焦点的平面中。
  - 5.根据权利要求1所述的装置, 其中, 准直器中的透明区域是狭缝形的。
- 25 6.根据权利要求1所述的装置, 其中, 准直器包括一组抛光板, 它们彼此接触地叠在一起。
  - 7.根据权利要求1所述的装置, 其中, 一个或多个板具有在抛光表面上的未抛光部分。
  - 8.一种小角度定位象装置, 包括:

一穿透性放射线源，形成作为多个落到被分析物体上的单独射束的入射放射线通量；

多个位于物体后的平行板；

多个位于所述板之间形成的狭缝中的检测器元件。

5 9.根据权利要求8所述的装置，还包括与从检测器元件接受的数据相耦合的处理系统。

10.根据权利要求9所述的装置，其中，多个板具有将到达检测器元件的放射线限制为在物体中以小角度散射的放射线的方向和尺寸。

10 11.根据权利要求8所述的装置，其中，每个检测器元件小于射束之一在含有检测器元件的平面上的投影的一半。

12.根据权利要求8所述的装置，其中，对每个单独的射束，多个检测器元件包括：

第一检测器元件，在射束未偏转的通路中；

第二检测器元件，在物体中以小角度偏转的射束的通路中。

15 13.根据权利要求12所述的装置，其中，对每个单独的射束，所述多个板具有将射束到达第二检测器元件的放射线限制为在物体中以小角度散射的放射线的方向和尺寸。

20 14.根据权利要求12所述的装置，还包括处理系统，其中处理系统被耦合的从检测器元件接受数据，处理系统从第一检测器元件接受的数据确定射束的吸收分布，并从第二检测器元件接受的数据确定射束的小角度散射分布。

15.一种确定物体组成和内部结构的装置，包括：

一穿透性放射线源；

一准直系统，它成形从所述源来的放射线通量，并使放射线指向物体；

25 一扫描系统，相对于所述源移动物体；

一第一检测器系统，测量通过物体传播的未偏转的放射线，并鉴别所述物体的吸收因子分布；

一第二检测器系统，测量物体中以小角度散射的放射线，并鉴别多个所述物体的散射曲线。

30 16.根据权利要求15所述的装置，其中准直系统包括：

一第一准直器组，从源形成第一组放射线射束，所述第一组射束指向

第一检测器系统;

一第二准直器组, 从源形成第二组放射线射束, 所述第二组射束指向第二检测器系统。

5 17.根据权利要求 16 所述的装置, 其中, 在第一组中的各射束是从所述源来的平的扇形放射线射束。

18.根据权利要求 16 所述的装置, 其中,

第二准直器组包括多个多狭缝准直器;

每个多狭缝准直器从所述源形成多个平的微弱扩散的扇形放射线射束;

10 每个多狭缝准直器具有中心轴线, 它的方向相对于所述物体的移动有不同的角度。

15 19.根据权利要求 16 所述的装置, 还包括与从第二检测器系统接受的数据相耦合的处理系统, 其中处理系统对每个射束确定散射曲线, 并将每个散射曲线与已知的散射曲线数据库比较以鉴别射束通过区域的物体的组成。

20.根据权利要求 19 所述的装置, 其中, 处理系统与从第一检测器系统接受的数据相耦合, 从第一检测器系统来的数据确定吸收因子的三维分布。

20 21.根据权利要求 20 所述的装置, 其中处理系统在确定散射曲线时使用吸收因子的分布来补偿吸收的影响。

22. 根据权利要求 15 所述的装置, 其中,第二检测器系统包括两维坐标敏感检测器和位于检测器和物体间的空间过滤器, 空间过滤器具有不透明的区域, 其阻挡不偏转地通过物体传播的放射线, 以及透明的区域, 其向检测器透过物体以小角度偏转的放射线。

25 23.一种确定物体组成和内部结构的装置, 包括:

一个穿透性放射线源;

一个形成指向物体的放射线通量的装置;

多个在物体后形成狭缝的板;

30 第一个检测器元件, 设在板之间的狭缝中, 记录通过物体未偏转的放射线;

第二个检测器元件, 设在板之间的狭缝中, 记录物体中以小角度散射

的放射线:

耦合到第一和第二多个检测器元件的处理系统, 其中处理系统根据测量值形成物体图象, 所述测量值是记录到的通过物体未偏转的, 和在物体中以小角度散射的放射线。

5 24.根据权利要求 23 所述的装置, 其中,每个检测器元件包括一组记录件, 沿含有检测器元件的狭缝的长度排列。

25.根据权利要求 23 所述的装置, 其中处理系统从不散射通过物体的放射线中, 鉴别以小角度散射的放射线,确定物体一部分的散射曲线。

10 26.根据权利要求 25 所述的装置, 其中处理系统, 通过将散射曲线与已知物质的散射曲线数据库比较, 鉴别物体部分中的物质。

27.根据权利要求 23 所述的装置, 其中,每个检测器元件宽度小于在含有检测器元件的平面上的射束的投影的一半。

15 28. 根据权利要求 23 所述的装置, 其中在被分析物体方向中形成通量的装置包括一系列多狭缝准直器, 每个设计成从单个放射线源形成多个平的微弱扩散的扇形射束, 准直器的定向是, 使得它们的轴线彼此尽可能地不同。

29. 根据权利要求 23 所述的装置, 还包括扫描系统, 相对于所述源移动物体。

# 说明书

## 使用小角度图象测定物体内部结构和组成的检测设备

5 本发明涉及用穿透性放射线的小角度偏转测定物体内部结构和组成的方法和装置。

10 已知的吸收式放射线成象装置，通过记录放射线通过物体后的强度分布，测定一个物体的内部结构。强度分布的变化，是由于通过物体的不同路径的放射线吸收不同所致。对于这样的装置，在物体中放射线的散射产生背景噪音，并减小图象的对比度。为了补偿被散射的放射线的效应，美国专利 Ser.No.4,651,002 提出，分别用准直器和过滤器记录被散射的放射线，并随后从物体被 X 射线照射时获得的整个的强度分布中，减去所记录的散射的放射线强度。此美国专利 Ser.No.4,651,002 测量一总的散射强度，不要求精细调整准直器和过滤器的相对位置。因此，过滤器被设置为一个  
15 活动元件，测量大角度的散射。

为了考虑背景散射的放射线，美国专利 Ser.No.4,549,307 提出特殊的罩，它阻挡入射放射线，并在被检测的物体上形成点。在这些点中，仅背景，即仅散射的放射线被记录。在整个图象上的背景水平从这些点的测量中近似推出，随后从整个的吸收信号减去以获得较高对比度的图象。

20 如上所述，上述的装置从无偏转地通过物体的放射线的强度分布，鉴别或测定物体的内部结构。如果物体含有的物质仅在吸收性质上有微弱的不同，用这些装置获得的图象会缺少区别含有这些物质的物体的各部分所需要的对比度，因而对所述物体内部结构的成象会要求除吸收射线成象法以外的方法。

25 英国专利 No.2,299,251(1996)提出一个使用从晶体结构的布喇格(Bragg)反射鉴别晶体和多晶物质的装置。该装置的准直器可记录放射线所通过的物体的各个区域的能量谱。在选择角度上反射的多色放射线的能量谱分布具有反射放射线的物质的晶体结构的特征，因此，用能量谱分布数据可以鉴别物质。此方法被提出用于鉴别行李中的爆炸物。但是，该方法限于检  
30 测具有晶体或多晶体结构的物质。

U.S.S.R 专利文件 SU1402871(1987)和俄罗斯专利文件 RU2012872(1994)

描述了一种形成物体内部结构的图象的装置，它使用 X 射线在具有不同电子浓度的物体部分之间的边界上偏转的效应。折射将 X 射线偏转达三角秒。这些装置使用单晶体准直入射的放射线和过滤折射的放射线。这些装置的缺点是它们依赖于根据布喇格(Bragg)定律的单晶体反射，因而造成小的孔径比。对于每个波长，在一个偏转间隔内放射线在特定的角度上被反射，所述偏转间隔等于布喇格(Bragg)反射的角度间隔，大约为十角秒。这意味着仅放射线源辐射能量的  $10^{-5}$  被用于物体的成象。

已公布的 PCT 专利申请 No.WO96/17240(1996)描述了使用孔径格栅而不是单晶体来取得较大的孔径比的装置。在这种装置中，在物体前的准直格栅形成一系列窄的微弱扩散射束的入射通量。在物体和检测器间的过滤格栅起散射放射线过滤器的作用。这两个格栅彼此相对设置，使得被分析物体不存在时，穿透性放射线通量不会到达检测器。当成象时，物体相对于检测器不动，检测射线的空间频率和位置确定物体被 X 射线照射的部分的位置和大小。准直格栅最好足够大以包围整个物体，并应具有宽度不大于 0.05-0.1mm 的不透明区域，以确保在被分析物体中检测不均匀性的合适的分辨率。准直格栅的这两个要求提高装置的造价，并使装置的调节复杂化。

美国专利 Ser.Nos.4,751,772; 4,754,469; 4,956,856; 5,008,911 和 5,265,144 描述了检验生物组织和鉴别行李中爆炸物的方法和装置，它是通过记录入射射束方向的 1 - 12 度内的角度上散射的相干放射线的谱线。如果 X 射线的能量足够小，弹性散射放射线的大部分是在那些角度内。如在这些专利中所规定的那样，物体的分析使用窄的准直的单色或多色放射线束。相干地散射的放射线的强度使用一个检测系统测量，所述系统既可分辨放射线的能量又可分辨放射线散射的角度。在这些装置中应用了的几个原理，其中之一是弹性散射放射线(不同于非弹性散射的康普顿(Compton)射线)的能量谱与入射射束的谱线是相同的。弹性散射的放射线的强度具有一个特征性的角度变化，在 1 - 19 度的角度间隔中有一个显著的最大值。最大的偏转角取决于被 X 射线照射的物质，和入射的放射线的能量。因为，小散射角度的相干散射放射线的强度分布取决于目标物质的分子结构，具有同一吸收性的物质(传统的吸收 X 线分析不能分辨)常能通过相干放射线的角度散射的强度分布进行辨别。

美国专利 No.4,751,722 和 4,754,469 描述了使用小角度相干散射和计算机层析 X 射线成象法来形成图象的装置。所描述的装置具有较低的灵敏度，因为，在特定的角度范围内，相干散射的截面是不大的，因此，要求用高的放射线剂量对物体进行 X 射线照射。美国专利 5,265,144 描述了使用同心检测环记录在特殊角度上散射的放射线的装置。所述装置用具有小扩散角度的窄的 X 射线射束照射一个物体，其是为了成功地记录小角度散射所要求的，所述装置具有小孔径比的问题，因此，灵敏度低。上述装置中的放射线通量，在通过物体时遇到的不同材料中散射开，使得强度分布是由物体中包含的不同材料所造成的几个曲线的叠加。这使从散射曲线中辨别物质复杂化。美国专利 4,752,722 提出用小角度计算机层析成象解决此问题。然而，形成层析图象要求从很多不同角度对物体进行 X 射线照射(0 - 360 度)。这是昂贵及并不是总是可行的。

本发明的目的是使用较不昂贵的装置获取被分析物体的体积内的物质分布信息，所述装置具有高的孔径比。而且，本发明的目的是创立一种装置，它易于生产和操作，而当成象或形成物体内部结构的投影时，具有提高的图象质量。

本发明的一个实施例形成一个小角度定位象，它实质上是应用在一个物体中放射线以小角度相干散射所形成的物体的图象或投影。另外，对于多个以不同角度横穿物体的射束，测定散射曲线。散射曲线将每个图象点与有关的放射线射束所通过的物体那部分的衍射性能相关。散射曲线和定位象指出小角度散射强度，因此携带关于物体分子组成的信息。在测量中，每个散射强度是射线束通过的不同物体区域的几个散射曲线的叠加。这妨碍物体的分析。但是，使用沿不同方向横穿物体的射束所检测到的散射曲线，层析技术可测定物体的特定点或区域的近似的散射曲线  $I(\theta)$ 。检测器越多，即散射的放射线强度被测量的角度越多，散射曲线近似的越精确。每一物质具有一个独特的散射曲线，所感兴趣的物质的散射曲线可输入到数据库。通过将一个获得的近似的散射曲线与在数据库中的散射曲线比较，可鉴别在物体的特定区域中所含的物质。

本发明的原理可用多种装置实现。一个这样的装置是小角度定位象装置，它包括一个穿透性放射线源；一个准直器，形成入射到物体上的一系列窄的，微弱扩散射束的入射放射线通量；一个在物体后的空间过滤器；



和一个在所述过滤器后的坐标敏感检测器。准直器具有放射线透明的区域如狭缝或通道，和与其交替的放射线不透明的区域。空间过滤器是一个规则的周期性结构，与准直器相似，但是其具有不透明的材料的区域与准直器的透明区域相对应，使得过滤器的不透明区域阻挡从准直器透明区域来的在直射通路上的放射线。准直器的每个射束盖住所投射的物体的一个区域。所述装置还包括相对于穿透性放射线射束移动物体的设施，以使得扫描物体，并在检测器上获得物体的完全投影。

5 在一个实施例中，准直器包括一个规则周期性结构，由不透放射线的区域和透明通道组成。通道的形状和位置可以不同，例如可以是六角形图案排列的狭缝，园孔。狭缝准直器可包括不透放射线的交替的板，在板间有间隙，或是两个遮挡板，其中输入遮挡板具有一个或几个狭缝，输出遮挡板具有多个狭缝。或者，具有带园孔的透明通道的准直器也可形成为毛细管束，或两个遮挡板，一个具有一个或几个孔的输入遮挡板和一个具有多个孔的输出遮挡板。为形成具有微米级或亚微米级厚度和几个角分扩散度的射束，一个无狭缝的准直器利用在两个平抛光板边界上的 X 线的传播效应，具有重复完全内反射(CIR)。无狭缝的准直器形成为一组金属或玻璃板，它们具有彼此在顶部无间隙地叠放起来，高压下压合的抛光的表面。为获得极窄的(具有小于十角秒的发散)高强度的 X 射线射束，一个修改的无狭缝准直器包括一叠抛光表面的板，它们具有垂直 X 线通路的反射表面上的未抛光的带。

15 空间过滤器是一个与准直器互补的规则周期性结构，也就是说，空间过滤器设置的屏蔽从准直器直接辐射来的放射线，传过物体在希望角度范围内散射的放射线。对于狭缝准直器，空间过滤器应形成一个线性光栅，对于圆柱通道的准直器，应形成为具有园的不透明区域的光栅。

25 准直器向被分析物体的各个区域引导各自的穿透性放射线射束，使得需要物体的跨射束的相对运动，以获得物体内部结构的完整图片。因此移动物体的设施应是一个装置，它能确保物体横跨扫描射线的均匀运动，其速度应足以在检测装置上获得所需要的曝光。检测装置是一个坐标敏感的 X 射线辐射传感器，它同时记录所有射束的信息。信息处理系统接受从检测器收集来的信息，建立一个物体图象，它具有表示小角度散射中差别的对比度。所述图象可与在吸收对比中所获得的图象相比较。对于物体中各自

的元素，处理系统测定小角度散射曲线并将确定的曲线和已知物质散射曲线的现有资料或数据库进行比较。当在数据库中找到一个匹配的散射曲线时，处理系统鉴别出一个元素的物质。

5 小角度定位象装置的另一个实施例包括一个放射源；一个狭缝准直器，它形成入射到物体上的多个小的微弱扩散射束的入射通量；空间过滤器位于物体后，检测器元件设在空间过滤器中。空间过滤器可以是不透明板制的狭缝光栅，它具有位于狭缝中的记录件。选择板的宽度以确保从一个射束来的散射的放射线不影响相邻射束记录件。板间间隙的宽度和深度使得每个单独的检测器记录以特定的角度范围落到其上的放射线。一个实  
10 施例中每个入射射束包括三个间隙和三个检测器元件。射束的中心检测器元件测量通过物体直接传播的放射线强度。射束的其他两个检测器元件测量偏转到中心单元的任何一侧所希望角度范围中的放射线强度。每个检测器元件连接到处理系统，它从与未偏转放射线相关的强度信息中，分出与由物体散射的放射线相关的强度信息。两个图象可形成在一个监视器上，  
15 一个图象与物体小角度散射对比相应，另一个图象与吸收对比相应。

一种检验物体的方法，以不同的角度用 X 射线照射物体，测定物体的吸收因子的三维分布。另外，对每个物体单元获取小角度散射曲线。为了确定吸收因子，用从单个源来的指向各个尽可能彼此不同角度的穿透性放射线的扁平扇形射束扫描物体(如检测其中是否具有爆炸物的行李)。通过移  
20 动装置的光学单元(如准直器，空间过滤器和检测器)，或移动物体，可以完成扫描。在行李检查装置中，移动物体一般是较实际的。每个射束厚度根据装置所要求的分辨率选择，即根据要鉴别的物质在物件中占有的区域大小。在垂直扫描方向的每个扁平射束的宽度包围整个被分析的物体。

对每个射束，一个坐标敏感检测器记录通过物体传播的放射线强度。  
25 检测器可以是方向平行于入射射束平面的直线检测单元的系统。以这样的定向，坐标敏感检测器的空间分辨率确定所能辨出的不均匀性的最小尺寸。当物体移动时，每个射束连续地扫描整个物体。通过物体传播的放射线强度取决于射束穿过的物质的吸收因子。从所测定的以不同的角度跨越同一物体单元的各射束的透射度，可测定充满所述单元的物质平均吸收  
30 因子。通过物体传播的放射线的强度测量值传递到处理系统，处理系统计算在整个物体体积上的吸收因子的分布。然后物体被作为基本单元的三维

矩阵表示，每个单元具有一个固定的吸收因子。每个单元被认为是仅由一种物质充满。从获得的吸收因子分布，可测定单元内物质的平均原子数。因为不同的物质可具有相似的吸收因子，以这样模式的 X 放射获得的物体图象不能辨别相似吸收因子的物质。

- 5 为辨别具有相似的吸收因子的物质，使用相干小角度散射(SAS)。当对复杂的物体进行 X 射线照射时，对单个射束所呈现的小角度散射曲线，是在射束通过物体时穿过所有物质的散射曲线的叠加。为从叠加中隔离出单个物体单元的散射曲线，对在物体上的几个射束入射角度获得小角度强度分布，这几个角度要尽量地彼此不同。每个射束可使用一单独的 SAS 系统。
- 10 每个 SAS 系统包括一个准直器，一个空间过滤器和一个坐标敏感检测器，测量由准直器形成的射束的小角度散射曲线。每个准直器从单个源，形成一系列窄的微弱扩散的射束。物体连续地通过 SAS 系统，使得每个系统都扫描物体。对对于不同扫描角度的射束测量的小角度散射曲线进行处理，产生表示物体结构和组成的特征的散射曲线的分布。
- 15 在几个不同的角度测量小角度散射强度，然后构成物体中每个单元(或体积元素)的相应的近似散射曲线，能够鉴别在单元中的物质。相干散射强度测量的角度越多，单元散射曲线近似的准确度越高。测量的小角度散射的范围可限制在相干散射放射线的主要部分所在的角度区域，即，所谓的中心衍射峰值区域。这个区域可从 5 角秒到 1 度，取决于用的波长和材料的结构性质。记录中心峰区的小角度散射对记录的放射线提供较大的强度。当计算每个单元的散射曲线时，由于测量条件的不同，如射束到达单元前吸收中的差别，和从单元到检测器的通路上的偏转射束的衰减，可形成允许误差。用测定的吸收因子得出允许误差。对每个单元获得的散射曲线是不同射束的平均。首先通过吸收因子和小角度散射曲线对每个单元鉴别物质。具有与探寻的物质不一致的吸收因子的单元，可从 SAS 测量分析的考虑中排除。例如，当为了在行李中探寻爆炸物，吸收因子指示是金属或陶瓷的区域可以从搜寻爆炸物或毒品的 SAS 分析中排除。通过将 SAS 数据分析限制在从吸收数据鉴别出的感兴趣的单元，可简化并加速程序。处理系统可从两类信息即吸收因子和小角度散射曲线来产生物体的图象。结合这两类图象，数据处理系统可测定物体的三维内部结构图象，组成物体的物质被鉴别，在显示屏上，图示出内部结构和组成。
- 20
- 25
- 30

在装置中用的不同的 SAS 系统的总数根据被分析物体的复杂性选择。例如，在行李检查中，在每个被分析的物体中的存在的物质的总数，一般不超过三十个。四个分析射束，彼此分开 40 度，足以测定物质的吸收因子，SAS 系统可设在吸收测量的各个射束之间的空间中。整个的系统展开约 120 度。

5 度。

本发明的一个实施例包括一个穿透性放射线源，一个测量被分析物体中放射线吸收的系统，一个测量放射线小角度散射的系统和一个用于移动扫描物体的装置。测量在被分析物体中的吸收的系统包括：一形成扇形射束的狭缝准直器；一过滤器，位于物体后，消除背景放射线以提高图象对比；和多个坐标敏感检测器。各检测器记录各分开的射束传播的放射线强度，并具有沿平行于入射射束平面的方向的空间分辨率。各准直器狭缝的大小确定射束的宽度和角度扩散，并应是这样，在扫描方向物体上入射射束的大小小于被检测的不均匀性的最小尺寸。否则，一个物质会不能从所围绕的介质的背景中分辨。在垂直扫描方向的方向中的射束投影的尺寸应

10 不小于物体尺寸。对每个射束，在整个物体扫描期间，坐标敏感检测器记录通过物体传播的放射线。对入射到物体上的不同角度的射束的传播的放射线的测量强度传递到数据处理系统，在此，从传播的放射线强度值，以在三维矩阵基础单元上吸收因子的分布形式，构成物体图象。

15 用于从物体的小角度散射的测量系统使用同一起来源的穿透性放射线，和对扫描运动方向的不同角度上设置的相同组件。每个这样的组件含有一个准直器，一个空间过滤器，和一个两坐标坐标敏感检测器。每个准直器位于源和物体之间，将放射线通量成形为落到物体上的一个或多个窄的，微弱的扩散射束。多狭缝的准直器是一个规则的周期性结构，由对放射线透明的区域与不透明的区域交替组成。对每个准直器，形成不透明区域表

20 面的线应在放射线源的焦点处会聚以增加装置的能效。因此，到达准直器不同的狭缝的放射线可通过放射线源焦点的不同部分发射。为了隔离出被分析物体以小角度散射的放射线，一个位于坐标敏感检测器前的空间过滤器匹配所述准直器，阻挡上述的直射放射线。

25 准直器形成穿透物体特定部分的射束，所以，物体需要跨越检测的射束移动，以在小角度散射的射束中获得物体的内部结构的整个图象。例如，一个输送机，移动物体通过测量吸收和小角度散射的系统，速度小到足以

对两个系统的检测器提供所需要的曝光时间。记录小角度散射的检测装置是一个两维的坐标敏感 X 射线元件，它可以是一个电荷耦合装置，光电二极管矩阵，荧光屏或 X 射线胶片。检测器的灵敏度确定放射源所要求的功率，和扫描物体的速度。数据处理系统从坐标敏感检测器接受数据信号，根据小角度散射的强度，形成物体图象，其可与从吸收获得的图象相比。将对于物体各个单元获得的小角度散射曲线与小角度散射曲线的现有数据库比较以鉴别单元中的物质。

在本发明的另一个实施例中，对每个以确定的角度指向物体的扇形射束，没有吸收的传播的放射线和小角度散射的强度分布同时被记录。如同上述实施例中一样，用一个准直器从单个穿透性放射源形成一系列窄的微弱扩散的射束。用不透放射线的板制的狭缝光栅内深处设置的检测元件，记录放射线(如电荷耦合元件的条，或 X 射线光电二极管)。选择板的厚度使得消除从一个射束散射的放射线对相邻元件的记录元件的影响。板间间隙的深度和宽度由对单个检测器要求确定，以记录在一个特定角度落到它上的放射线。

图 1 示出了根据本发明实施例的小角度定位象装置；

图 2 示出了从准直器来的扇形射束的剖面，准直器除了一个或多个狭缝形透明区域外是不透明的；

图 3 示出了根据本发明的实施例的准直器，它由具有透明的通道或孔的不透明的材料块形成；

图 4 说明了根据本发明的使用扇形射束的分析器中的准直器，空间过滤器和坐标敏感检测器的相对位置；

图 5 示出具有空间过滤器的系统，空间过滤器根据本发明的实施例是一组板，检测器元件位于板间的狭缝中；

图 6 示出一根据本发明的实施例的系统，其中未偏转地通过物体的穿透性放射线被转变成可见光；

图 7A 和 7B 示出根据本发明的实施例的行李检查设施的不同视图；

图 8 示出根据本发明一个方面的行李检查设施，分开地测量未散射地穿过的放射线和小角度散射的放射线；

图 9 说明图 8 系统的数据处理和向显示屏输出；

图 10 示出本发明的另一个装置实施例，其中两个检测器系统结合在一

个空间过滤器中;

图 11 示出一空间过滤器和检测器系统, 其根据本发明的一个方面的是一个狭缝光栅, 记录元件位于狭缝中。

在不同的图中相同的符号表示相似或相同的项目。

5 图 1 示出小角度定位象装置 100, 它包括一个穿透性放射线源 101; 一个包括遮挡板 102 和 106 的准直器 120, 它们成形在被分析物体 105 上的入射放射线; 和一个空间过滤器 110, 它位于物体 105 和坐标敏感检测器 113 之间。在本发明的示例性实施例中放射线源 101 是一个 X 射线管, 它向遮挡板 102 发出 X 射线。另外, 放射线源 101 也可以是任何类型的 X  
10 射线放射线源, 只要放射线 104 具有照射物体 105 所需的硬度和强度。为了准直, 遮挡板 102 是一个不透过放射线的例如钨或铅材料的薄片。在遮挡板 102 中, 孔 103 可以是一个狭缝, 或圆或任何所希望的形状, 限定通过到遮挡板 106 的放射线 104 的扩散。遮挡板 106 具有交替的区域 107 和 108, 它们分别对穿透性放射线是透明的和不透明的。透明区域 107 可以是  
15 遮挡板 106 上的空的开口, 或用透明的材料如聚合物充满。通过透明区域 107 的放射线入射到物体 105 上。准直器 120 和空间过滤器 110 相互作用, 确定多个装置的操作参数。例如, 放射线源 101 的焦点具有的尺寸取决于准直器 120 和空间过滤器 110 的构成。

空间过滤器 110 在通过物体 105 的放射线 109 的通路上具有透明的区  
20 域 111 和不透明的区域 112。空间过滤器 110 的透明区域 111 透过以小角度散射的相干放射线。不透放射线的区域 112 吸收从准直器 120 的相配的透明区域 107 来的直接放射线(即, 通过物体 105 而没有偏转的放射线)和以大角度散射的放射线。因此, 物体 105 不存在时, 检测器 113 仅记录背景  
25 强度信号。当物体 105 在准直器 120 和过滤器 110 之间的区域中时, 物体 105 散射放射线, 并在检测器 113 上产生一个图象信号。在坐标敏感检测器 113 上获得的, 小角度散射放射线的强度分布, 携带关于物体 105 的结构信息, 并表示在物体 105 中含有的物质的散射能力(本文所说的术语“坐标敏感检测器”表示一个检测器, 它在检测器的不同坐标上记录各自的强度或  
30 测量值)。为了鉴别在物体 105 中的物质, 测量到的小角度散射曲线可与所选择的已知物质的散射曲线数据库比较。例如, 数据库可含有一组散射曲线, 每个曲线由一个标注杂乱散射的强度的表来表示, 并与一个被检测的

物质相应，如爆炸物，或受检查的物质。

准直器 120 形成窄的弱发散束，并包括一个规则的周期性结构，它由不透放射线的区域 108 和通过区域 107 的透明通道组成。通道的形状和位置可不同，但可以例如是设置成六角图形的狭缝，圆形的孔。在准直器中的通道的适当间隔和形状取决于物体的性质。对准直器 120 的一般要求如下。首先，形成透明通道的表面线应在放射线源 101 的焦点处会聚，以提高装置 100 的能量效率。到达不同的准直器通道的放射线可以来自焦点的不同部分，因此，允许使用强力的宽焦点放射线源。第二，准直器 120 应形成具有足够小扩散角 $\gamma$ 的射束，使得允许检测在所希望的小角度范围内散射的放射线，特别地，确保物体 105 以大于一个最小角度 $\alpha$  散射的每个射束都处在主通量以外。第三，准直器 120 的结构应使得相邻射束在所希望的角度范围内的散射不在检测器 113 上互相重叠。这确保直到角度 $\beta$  的小角度的清晰的检测。(角 $\alpha$  和 $\beta$  确定所希望的小角度范围，角 $\alpha$  一般是 5 角秒或更大，角 $\beta$  是到 1 度或大于 1 度)。为满足这些要求，准直器 120 和空间过滤器 110 应分开一个比准直器 120 的横向尺寸大的距离。

狭缝准直器(即准直器具有狭缝形的传播通道)可包括不透放射线的板，和在板间的缝隙，或两个遮挡板，包括一个具有一个或几个狭缝的输入遮挡板和具有多狭缝的输出遮挡板。图 2 示出在准直器中的狭缝上的放射线的截面 207 与在物体 105 后的空间过滤器上的放射线的截面 212 的关系。见图 1，输出遮挡板 106 的透明区域 107 控制截面 207 的尺寸，并且，空间过滤器 110 具有一个不透光区域 112，它与截面 212 的尺寸和位置匹配。

在准直器中的狭缝在一个时间仅照明物体 105 的一个带，但跨过物体 105 扫描放射线带，提供整个物体的结构数据。扫描物体 105 的两个方法是相对于物体 105 移动装置的光学元件，以及移动物体 105。移动物体 105 较好，因为，移动光学元件(准直器 120 和空间过滤器 110)会引起改变不透光区域 112 和匹配的透明区 107 的相对位置的振动。在图 1 中，驱动装置 114 摇动一个杠杆 115，其在一端 118 分别通过铰链牵引杆 116 和 117 铰链连接到物体 105 和检测器 113。为保持形成在检测器 113 上的物体 105 内部结构的图象的比例和相对位置，物体 105 和检测器 113 的位移同步并与从放射线源 101 的扩散点到物体 105 和检测器 110 的距离分别成比例。

另一个准直器的构成具有放射线透明通道，其具有圆形的孔。这样的准直器可以如 X-ray Opics Inc. Albany, Ny 生产的毛细管束实现，或以两个遮挡板实现，其中包括一个有一个或多个孔的输入遮挡板，和一个有多个孔的输出遮挡板。图 3 示出一个准直器 320 和一个空间过滤器 310，用于圆形截面的射束。图 3 中，准直器 320 是一个具有透明通道 324 的不透放射线的材料块 322。通道 324 的轴线沿线 326 在点 301 会聚，点 301 与放射线源的焦点重合。空间过滤器 310 匹配准直器 320，其是一个对放射线透明的材料块 312，在块 312 中具有充满不透放射线的材料如锡，钨，钛，或铅的区域 314。区域 314 的轴线也沿线 326 在点 301 会聚。

10 块 322 和 312 可用照相印刷和腐蚀的方法制成。为了制造块 320，在对穿透性放射线透明的聚合物板上制成在(或围绕)通道 324 的区域上的突出。突出可与板的表面以成从放射线源焦点出发的角度那样地倾斜。然后板被腐蚀以除去未曝光部分(或曝光部分，取决于板的材料)。然后除去的部分填充不透放射线的材料，如钨粉末。相似地，为制造块 312，在区域 314  
15 中的倾斜开口通过一个板形成，板是由对穿透性放射线透明的聚合物制的，开口充满不透过放射线的材料。对通道的尺寸(深度和直径)，准直器结构周期(准直器通道间的距离)和块 312 不透明区域的尺寸进行选择，使得仅与在被分析物体中小角度散射相应的放射线达到坐标敏感检测器。

无狭缝的准直器形成的射束具有微米级或更小的厚度，和几个角分的  
20 扩散角。无狭缝准直器，它利用在两个平抛光板的边界上的完全内反射(CIR)形成的 X 射线的传播效果，可以一组金属或玻璃板实现，所述金属或玻璃板具有抛光表面，所述抛光表面彼此顶部叠放到一块而没有间隙，在高压下压在一起。无狭缝准直器具有高孔径比，能够使射束为 1 - 2 $\mu$ m 宽。在 X 射线传播的方向中的板的长度允许在沿板(工作板)间边界未通过的射束  
25 部分完全被吸收。对于没有缺陷的平的光滑板来说，在无狭缝准直器中，X 射线传播的通道的有效宽度，由在 CIR 时的放射线穿透到介质中的穿透深度确定，它是几十到几百埃。实际上，这个值取决于抛光质量和板的平整度，以及它们的压紧状态。通过一个无狭缝准直器的射束扩散角  $2\gamma$  等于准直器的输入孔径角，但不可能超过 CIR 临界角  $2\theta$  的两倍。输入孔径角确定  
30 如下

$$2\delta = f/D$$



这里  $f$  是沿垂直于准直器工作平面方向的 X 射线管的焦点尺寸。  $D$  是从管的焦点到准直器输入的距离。

一个改进的无狭缝准直器提供极窄(扩散角比十角秒小)的高强度 X 射线束。这个准直器也包括压紧在一起的一叠抛光表面的板，而在垂直于 X 射线通路的反射表面上形成未抛光的带，并且设置在距离装置输入和输出这样的距离上，使得能够完全吸收射束。在射束通过根据 CIR 抛光表面的输入边界后，以较大角度前进的射束，落到吸收放射线表面的未抛光区域。然而，以较小角度前进的射束到达准直装置的输出，因为它们不落在未抛光表面上。

10 小角度散射空间过滤器是与准直器互补的规则周期性结构，即空间过滤器被设置的屏蔽住由准直器形成的直射射线，并传播以  $\alpha$  至  $\beta$  的角度在物体中散射的放射线。空间过滤器匹配准直器。对于一个狭缝准直器或一个无狭缝准直器，空间过滤器应做为一个直线的光栅实现，而对于紧密包封的圆柱形通道，它应作为具有园孔的光栅实现。

15 图 4 示出准直器 420 和空间过滤器 410 的另一个实施例。在此实施例中，准直器 420 包括一组不透放射线的材料的板 424，板 424 彼此邻近设置其间具有间隙 425。板 424 沿放射线的方向的厚度取决于板 424 对穿过的放射线的吸收。板 424 具有的长度足以包括被分析物体的整个投影。一个遮挡板 428 具有一个或几个狭缝 429，它与板 424 平行，并形成到板 20 424 的放射线通量。在遮挡板 428 上使用几个狭缝增加了从射线源来的放射线用于照在被分析物体上的百分比。空间过滤器 410 由一组板 426 组成，板 426 是由对穿透性放射线不透明的材料制成的。板 426 间的间隙 427 形成对放射线透明的狭缝。每个板 426 具有的沿放射线传播方向的厚度，是根据所述材料吸收放射线的能力选择的，具有的长度包括物体整个投影 25 场，宽度足以阻挡从准直器 420 的相关狭缝 425 来的直射放射线。吸收板 426 集中地屏蔽所有从间隙 425 来的直射的穿透性放射线，使得在空间过滤器 410 后的一个两维的检测器 413，仅测量散射的放射线强度。

图 5 示出一个成象系统的实施例，其中，空间过滤器 510 是一组对穿透性放射线不透明的板 530，板 530 间的间隙包括放射线检测器 531 的条。30 每个放射线检测器 531 相应于准直器 420 的一个射束，并且板 530 具有的厚度，被设定的制止由射束散射出的放射线，达到相应一个相邻射束的检

5 测器。每个板 530 之间间隙的宽度和长度选择到达间隙中检测器 531 的放射线的一个特定的角度范围。处理系统 534，是通用的计算机，或专门的处理设备，记录和处理由检测器 531 测量的强度。处理系统 534，相应于不  
10 散射地通过物体 105 的放射线和由物体 105 散射的放射线，形成图象信号 532 和 533。在信号 532 中，由物体 105 中的材料的吸收系数的不同造成对比，而信号 533 表示小角度散射的强度的对比。在一个应用中，小角度散射的强度与每个被确定的散射曲线中的一个特定角度的相应。例如，图象中的强度可表示在特定角度上的放射线强度，在此角度上对于一个选定物质来说散射最大，使得图象选择性地突出被选择的物质。另外，在图  
15 象中的点上的强度可代表与该点相应的散射曲线的整体。另外，被鉴别出含有特定物质的物体的一个区域可指定为与该物质相关的一个伪彩色。显示器 533 显示所述物体内部结构的两个图象。

图 6 示出另一个小角度定位象装置 600。装置 600 包括一个穿透性放射线源 636，和一个输入遮挡板 638，它位于从放射线源 636 出来的放射  
20 线通量 637 的通路。输入遮挡板 638 具有形成落到物体 105 上的放射线通量 640 的几个狭缝 639。在遮挡板 639 和物体 105 间的输出遮挡板 641 形成多个窄的弱扩散的射束，指向被分析的物体 105。在物体 105 后，一个空间过滤器 642 包括一组平行的板 643，板 643 之间具有间隙形成的多个狭缝 644。过滤器 642 的板 643 具有磷涂层，并位于遮挡板 641 遮盖放  
25 射线通量 644 的区域。在板 643 表面上的磷将物体 105 散射的穿透性放射线转变成可见光。然后所述通量过一个光学系统到达检测器 647，所述光学系统包括一个凹面镜 645 和一个会聚透镜 646，检测器记录散射的放射线强度分布，通过由板 643 来的可见光的分布表示出。装置 600 因此可形成被分析物体内部结构的两个图象。一个图象是由形成在检测器 647 上的  
30 散射放射线的分布测定的，另一个图象从通过物体 105 到板 643 后的检测器 648 的直射放射线测定。这提供物体内部结构的更完全的信息。

在上述实施例中的准直器将穿透性放射线的各自的射束引向被分析物体的各自的区域，需要物体跨射束的相对运动以获得物体内部结构的完全  
35 图象。移动物体的设施应是一种能确保跨过扫描放射线均匀移动的装置，并且移动物体的速度，足以使在检测器上获得需要的曝光。检测器是坐标敏感 X 射线传感器，它同时记录所有射束的信息。检测器也可以例如是一

个光电二极管矩阵，一个荧光屏，或 X 射线照相胶片。

图 7A 和 7B 示出在行李检查设施 700 中本发明的实施例的应用。行李检查设施包括一个输送机 749，它移动一件被分析的物体 705(行李)通过在穿透性放射源 750 和检测器 751 之间的一个区域。在输送机下的源 750 的 X 射线通过准直器 752，它形成多个窄的弱扩散的 X 射线束。射线束进一步通过物体 705，到达空间过滤器 753，它吸收放射线的非散射的部分。以小角度散射的相干放射线通过过滤器 753，达到检测器 751。在每一时刻，检测器 751 记录物体 705 内部结构的片断中偏转的放射线。处理单元 752 连接到检测器 751 和输送机 749 的驱动器 755，记录与物体 705 位置相关联的信息，以及检测器 751 测定的有关每个片断的信息。从指示物体内部结构的片段和物体位置的信息，计算装置 754 产生物体内部结构的完整图象，并传送图象到图象显示器 56。图 7B 示出输送机 749，放射源 750，准直器 752，空间过滤器 753，检测器 751 和被分析物体 705 的相对位置。另一个行李检查设施可使用其他小角度定位象装置，如图 4，5 和 6 所示的那些。

根据本发明的另一个实施例，图 8 示出一个行李检查设施 800，它包括一个透射测量系统和一个 SAS 测量系统。透射测量系统测量不偏转地通过物体(行李)705 传播的放射线，并包括一个穿透性放射源 801，一个准直器 804，一个空间过滤器 808 和坐标敏感检测器 807。SAS 测量系统测量物体 705 以小角度偏转的放射线，并包括源 801，准直器 805，空间过滤器 812 和坐标敏感检测器 815。在本发明的实施例中，源 801 是一个两个系统共用的 X 射线管，并通过准直器 804 和 805，向在输送机 749 上的物体 705 发出放射线。输送机 749 移动物体 705 通过透射测量系统，并然后通过小角度测量系统。

准直器 704 包括单独的不透过穿透性放射线的材料块，在块中形成狭缝形的透明区域 806。狭缝轴线沿着会聚到与放射线的源 801 的焦点(如 X 射线管焦点)相重合的点上的线。从狭缝 806 出来的射束与输送机 749 的平面成角度，所述角度尽可能地彼此不同。狭缝的宽度选择射束尺寸，它最好匹配所假定的被探寻的物质在物体 705 中占有的面积的宽度。准直器 704 形成与狭缝宽度垂直的，盖住整个物体 705 的射束。坐标敏感检测器 807 与准直器狭缝 806 平行，记录不偏转通过物体 705 传播的放射线。每个坐

标敏感检测器 807 测量与沿平行于狭缝 806 的直线的坐标相应的一系列放射线强度。每个检测器 807 的坐标分辨率确定垂直于物体移动方向的空间分辨率。空间过滤器 808 具有，包括在每个检测器 807 和物体 705 之间的狭缝的一系列狭缝。过滤器 808 减小达到检测器 807 的偏转的放射线量，  
5 从而，提高了记录的透过放射线强度的信噪比。

为了 SAS 测量，准直器 805 向物体 705 引导多个窄的，弱扩散的射束。每个准直器 805 具有交替的不透明区域 810 和透明区域 809，透明区域形成穿透性放射线的通道。每个准直器 805 的通道的轴线沿着方向 811，方向 811 是会聚到放射线源 801 的焦点处的方向，准直器 805 的轴线也会聚  
10 到放射线源的焦点处，但相对于输送机 749 成不同的角度。准直器 805 的中心轴线的方向尽可能彼此不同。空间过滤器 812 包括从物体 705 出来的放射线通路上的透明区域 813 和不透明区域 814。每个空间过滤器 812 相对于一个有关的准直器 805 定位，使得过滤器的不透明的区域 814 阻挡从有关的准直器 805 的透明区域 809 来的放射线。物体 705 以小角度散射的  
15 放射线通过透明区域 813。透明区域的尺寸(狭缝的宽度, 深度), 准直器 805 的结构周期 (狭缝间的距离)和空间过滤器 812 的透明区域的尺寸被选择, 以确保有关的坐标敏感检测器 815 接受物体 705 向特定角度范围散射的放射线。一般的角度范围是 0 - 0.5 度, 但最好小于 6 - 12 角分。每个检测器 815 是一个两维的坐标敏感元件, 具有足以对每个射束建立一个小角度  
20 散射曲线的分辨率。

在物体 705 达到透射测量系统前，检测器 807 测量准直器 804 来的射束的放射线强度。图 9 示出处理单元 916，它从检测器 807 接受表示未衰减的强度的信号。处理单元 916 可以是专门的硬件，或在通用的计算机中执行的程序。在物体 705 通过透射测量系统移动时，检测器 807 以各种角  
25 度测量通过物体 705 传播的放射线强度，处理系统 916 接受在物体 705 中部分吸收后的放射线强度，和散射的放射线强度的信号。处理单元 916 计算，物体 705 存在时测量的强度与物体不存在时测量的强度的比，测定在物体 705 的吸收因子体积上的分布。

为了 SAS 测量，过滤器 812 阻挡直射放射线到达检测器 815。因此，  
30 当物体 705 不在小角度测量系统中时，检测器 815 仅记录背景放射线强度。图 9 示出一个 SAS 数据处理单元 917，它从检测器 815 和处理单元 916 接

受并处理测量到的小角度散射强度和吸收因子分布。当计算小角度散射曲线时，处理单元 917 补偿沿偏转通路的吸收。处理单元 917 处理从小角度散射系统中获得的数据。小角度散射系统在角度上与射束扫描时横穿过物体 705 是不同的。这使处理单元 917 能构成在物体 705 的体积上分布的单元的小角度散射曲线。处理单元 918 比较从吸收和小角度散射所获得的物体 705 的图象，并将物体 705 中单元的散射曲线与已知物质的小角度散射曲线数据库比较。根据比较结果，形成物体 705 的三维图象，并在图象显示屏 919 上显示被鉴别出的组成物体 705 的物质。

图 10 示出一个根据本发明的行李检查设施 1000 的实施例。设施 1000 包括穿透性放射源 101 和准直器 1020，它形成窄的弱扩散扇形射束。扇形射束指向在移动的输送器 749 上的物体 705。准直器 1020 相对于物体 705 定向，使得它们的轴线对物体移动的方向倾斜角度，所述角度尽可能地彼此不同。每个准直器 1020 具有一个相应的空间过滤器 1024 和一坐标敏感检测器 1023 的相应组。坐标敏感检测器 1023 在空间过滤器 1024 的狭缝中，测量小角度散射的放射线 1021 的强度，和未散射传播的放射线 1022。每个从准直器出来的扇形射束至少与两个检测器 1023 相关，一个检测器沿相关扫描射束的非偏转通路设置，一个相邻的检测器用于测量相关射束的小角度散射的放射线。

图 11 示出与图 10 的系统 1000 中的一个准直器 1020 相关的过滤器和检测器系统 1100 的透视图。系统 1100 包括板 1125，它不透过穿透性放射线；和坐标敏感检测器 1023，它位于板 1125 之间的间隙中。选择板 1125 的厚度以防止从一个扇形射束来的散射放射线达到与另一个扇形射束相关的检测器 1023。在板 1125 之间的槽的长度和宽度是根据每个单独的检测器记录落到特定角度范围的传播的或散射的放射线的要求选择的。从检测器 1023 来的信号，通过两个独立的通道，传递到处理单元，如图 9 的装置 916 和 917。第一通道连接检测器 1023，它记录非偏转放射线的放射线强度，并含有指示组成物体的材料的吸收因子的数据通道。用于吸收测量的检测器 1023 可以是线性坐标敏感检测器，它沿狭缝的长度测量一系列强度。第二通道连接记录小角度散射的放射线的检测器。测量散射放射线的检测器可是二维的，或线性坐标敏感检测器。二维坐标敏感检测器可测量相对于沿狭缝的每一点的不同角度的强度。处理单元以上述相同的方式处

理两个通道的信息，然后将图象传递到图象显示屏。

虽然上面参考特定实施例描述了本发明，此说明仅是本发明应用的例子，不应作为限定。公开的实施例的特征的修改和结合均位于权利要求书所限定的本发明的范围内。

说明书附图

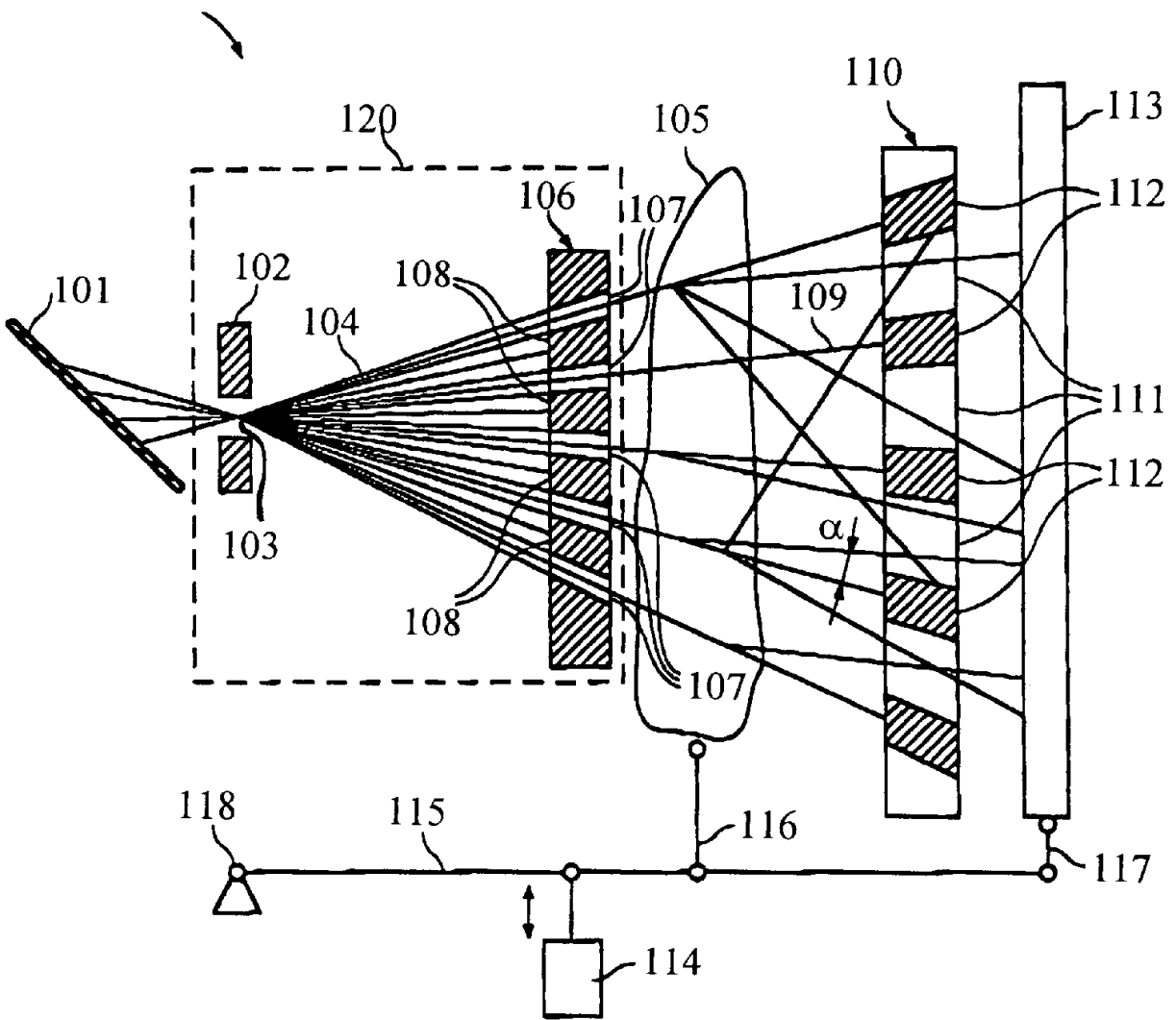


图 1

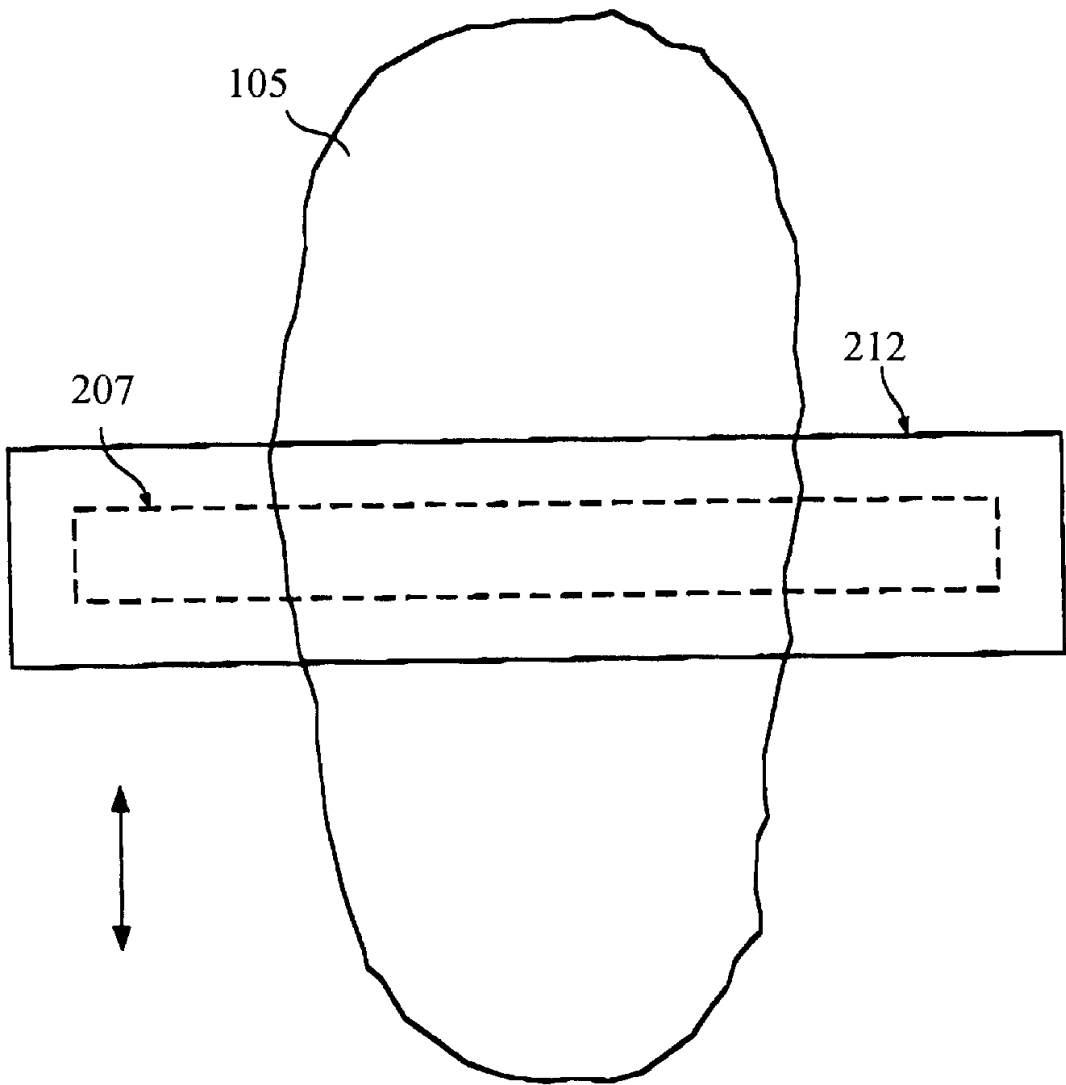


图 2



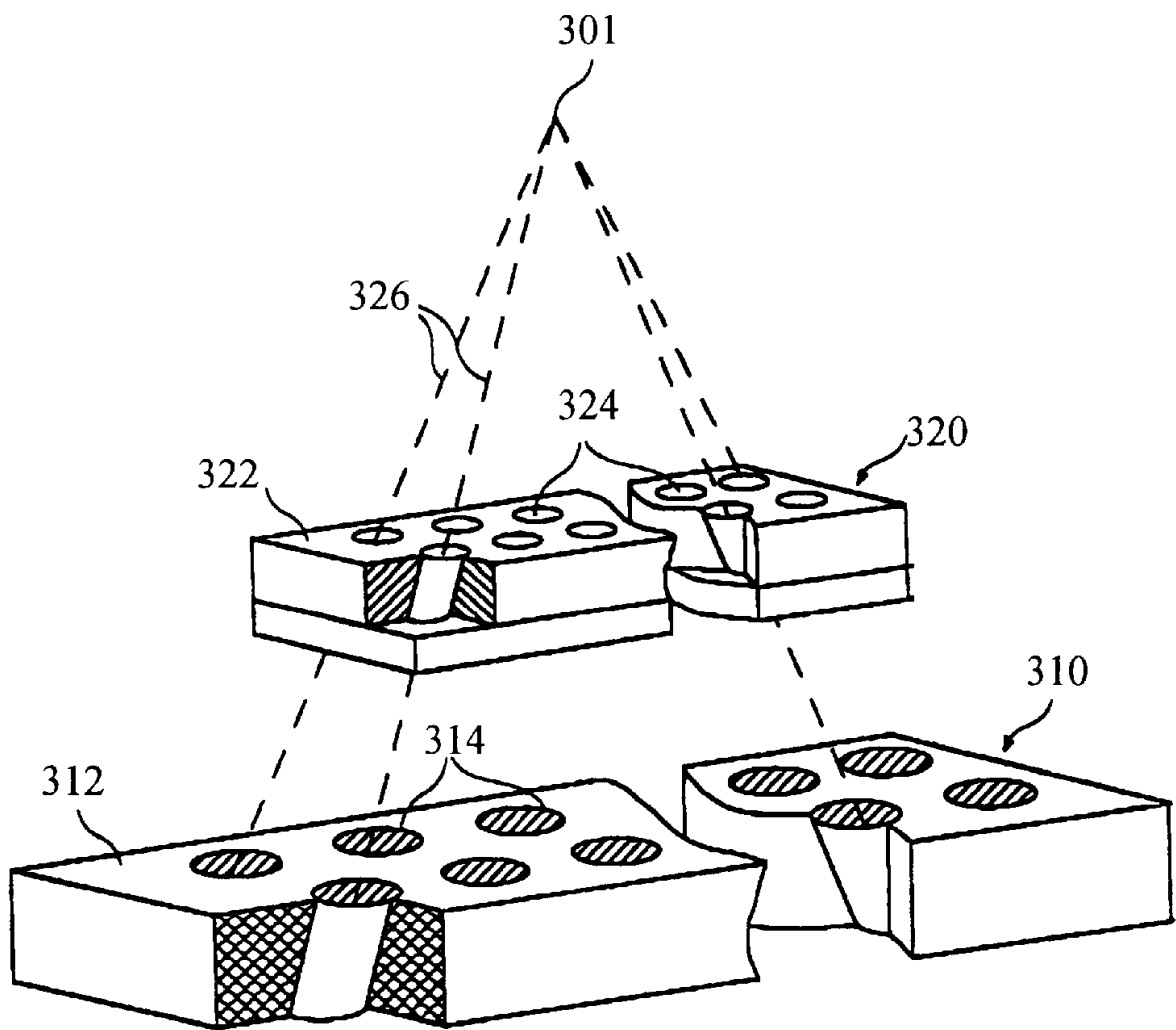


图 3

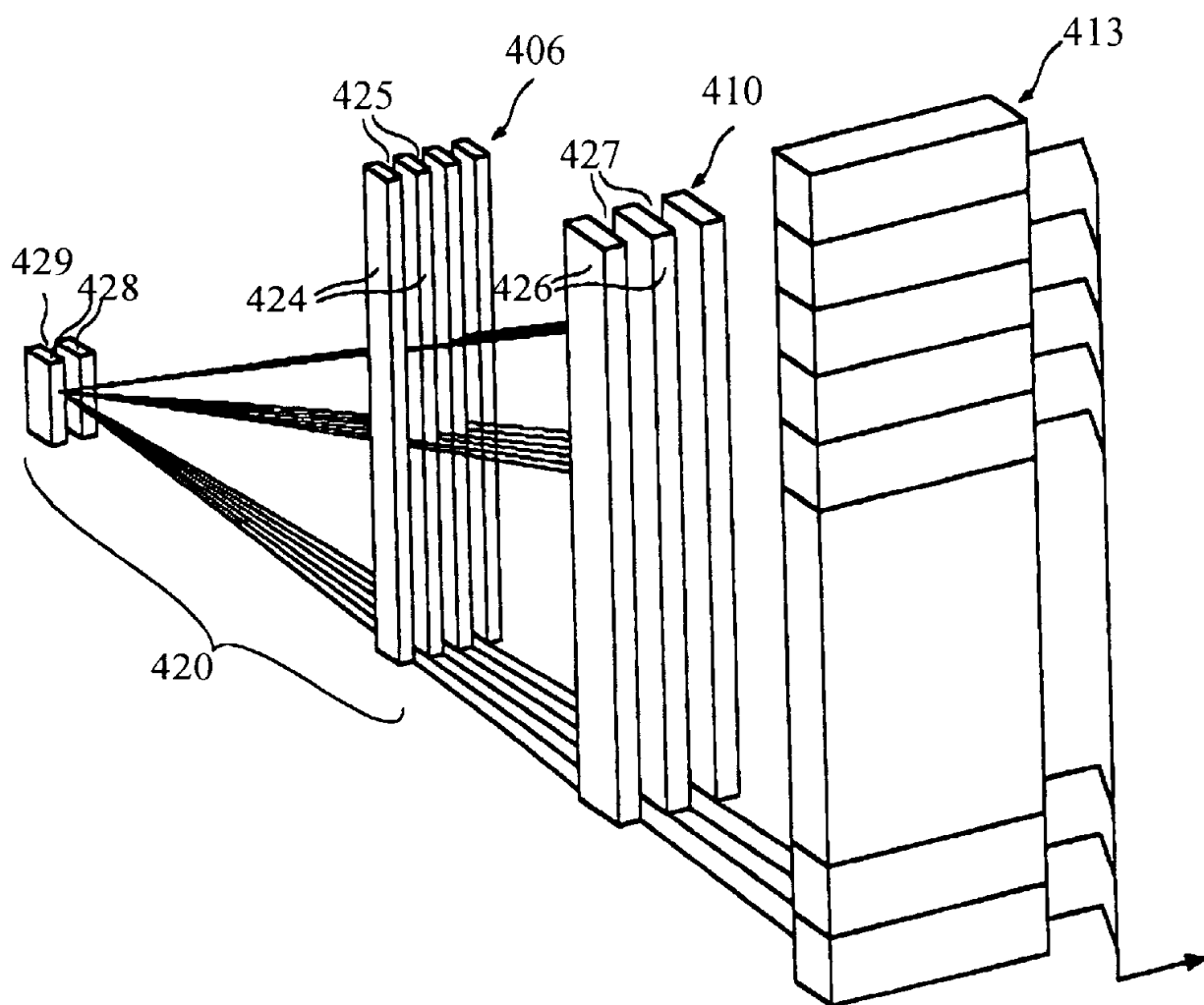


图 4

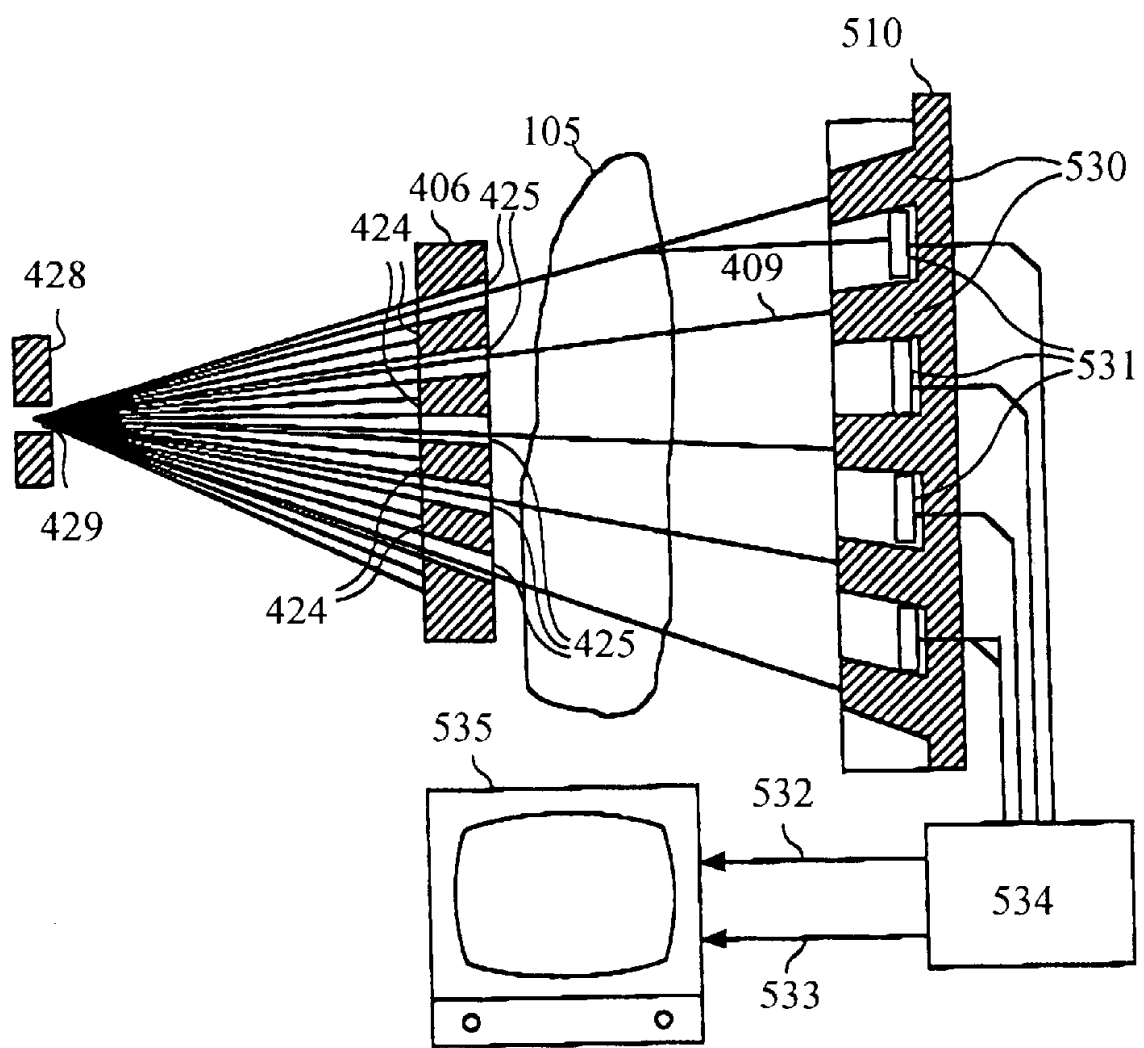


图 5

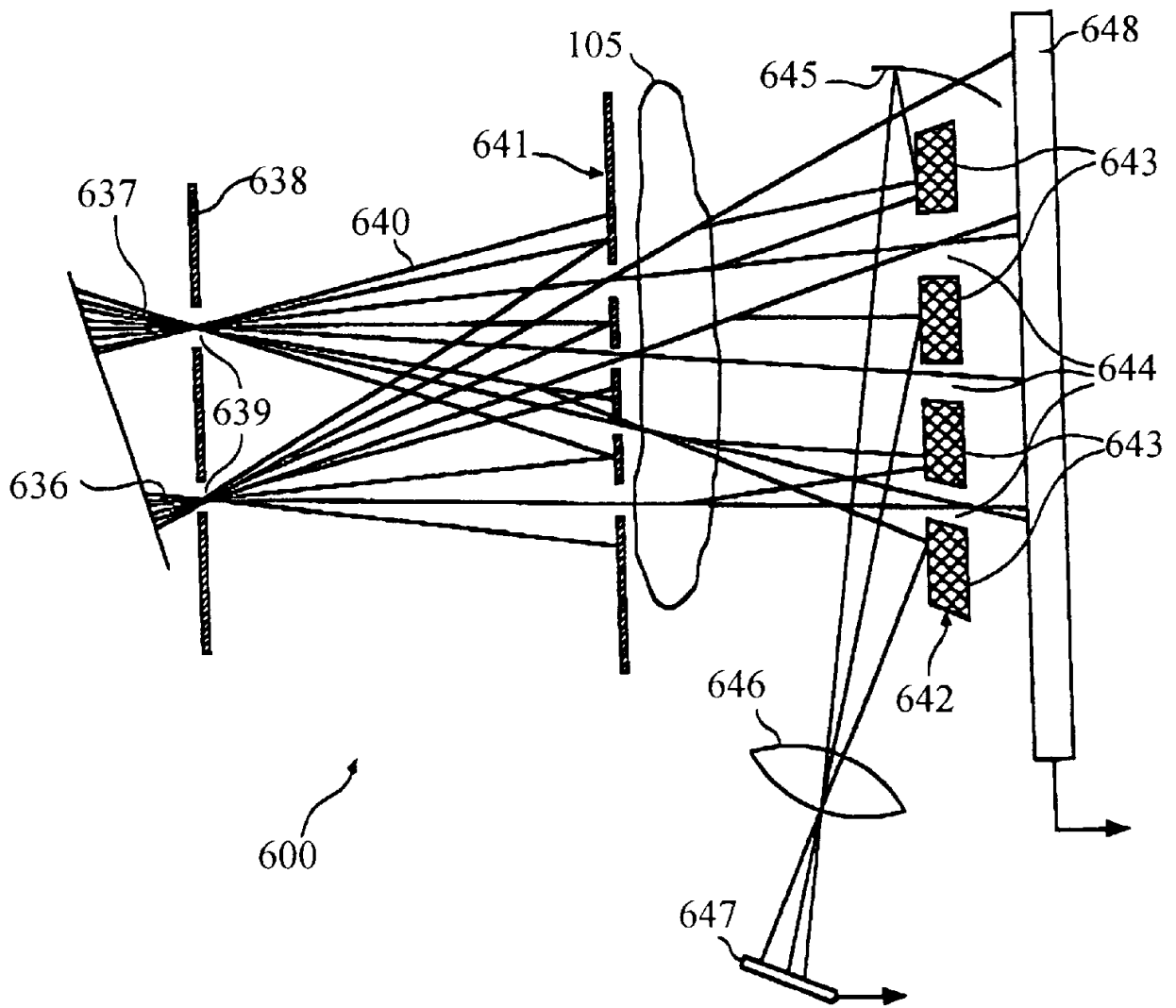


图 6

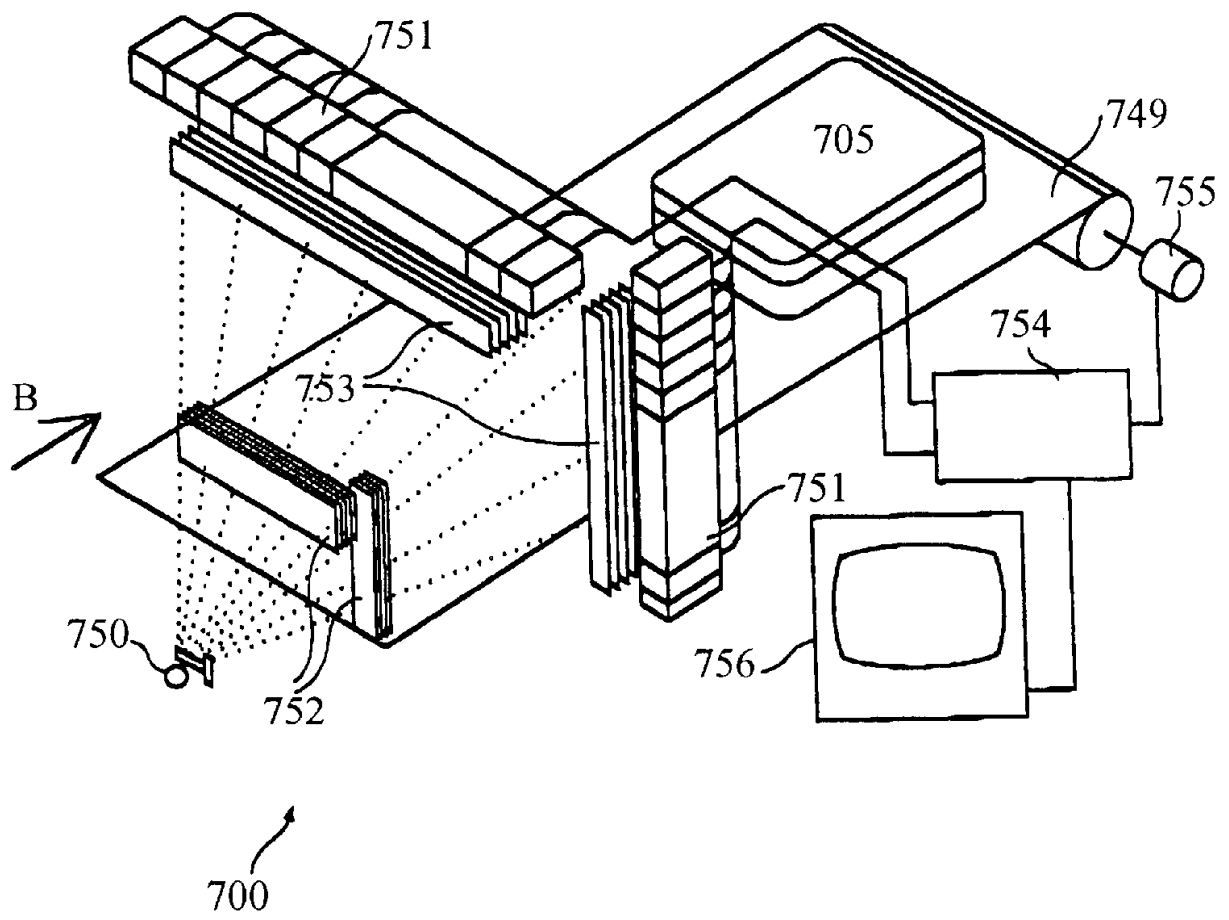


图 7A

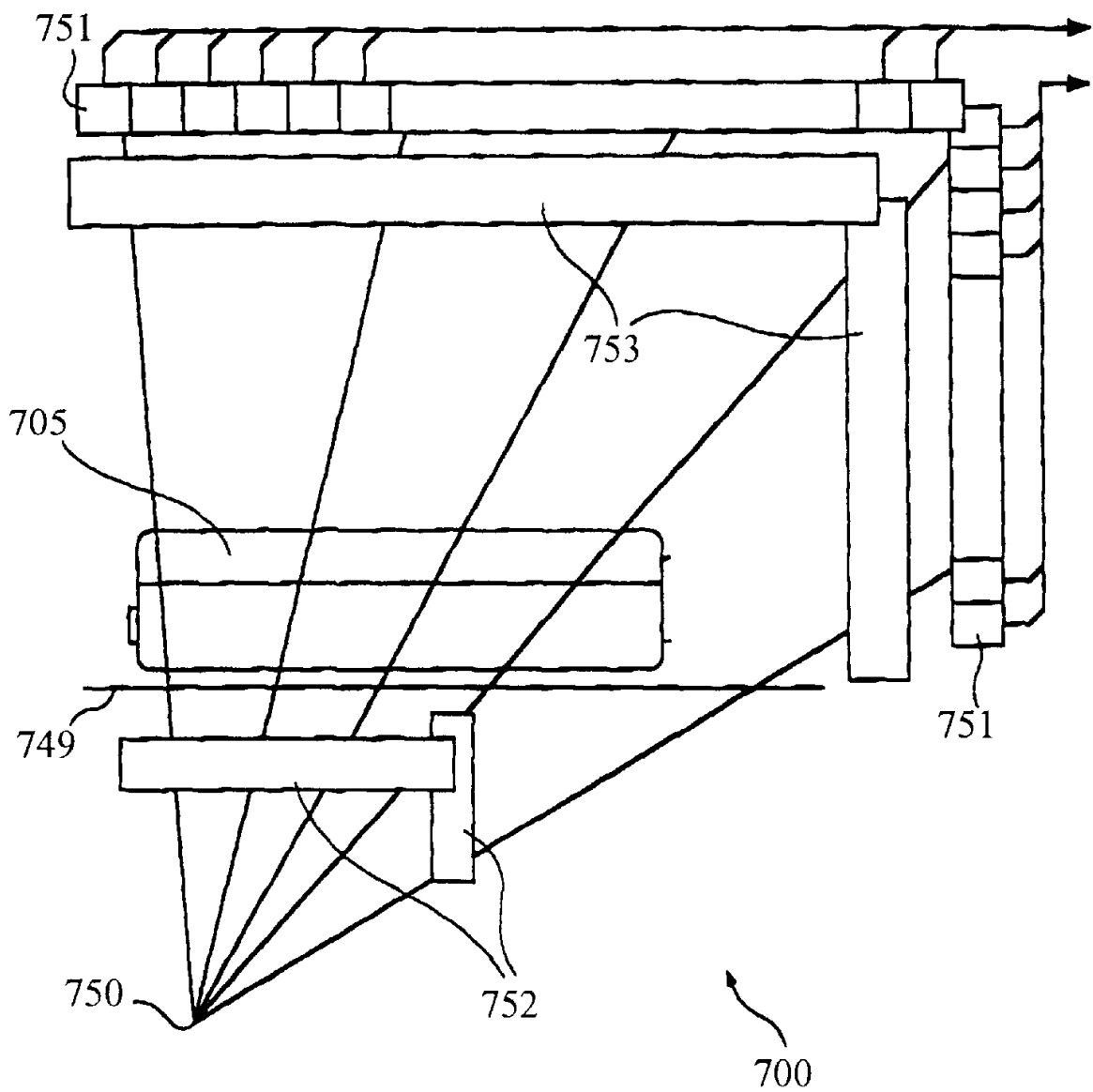


图 7B

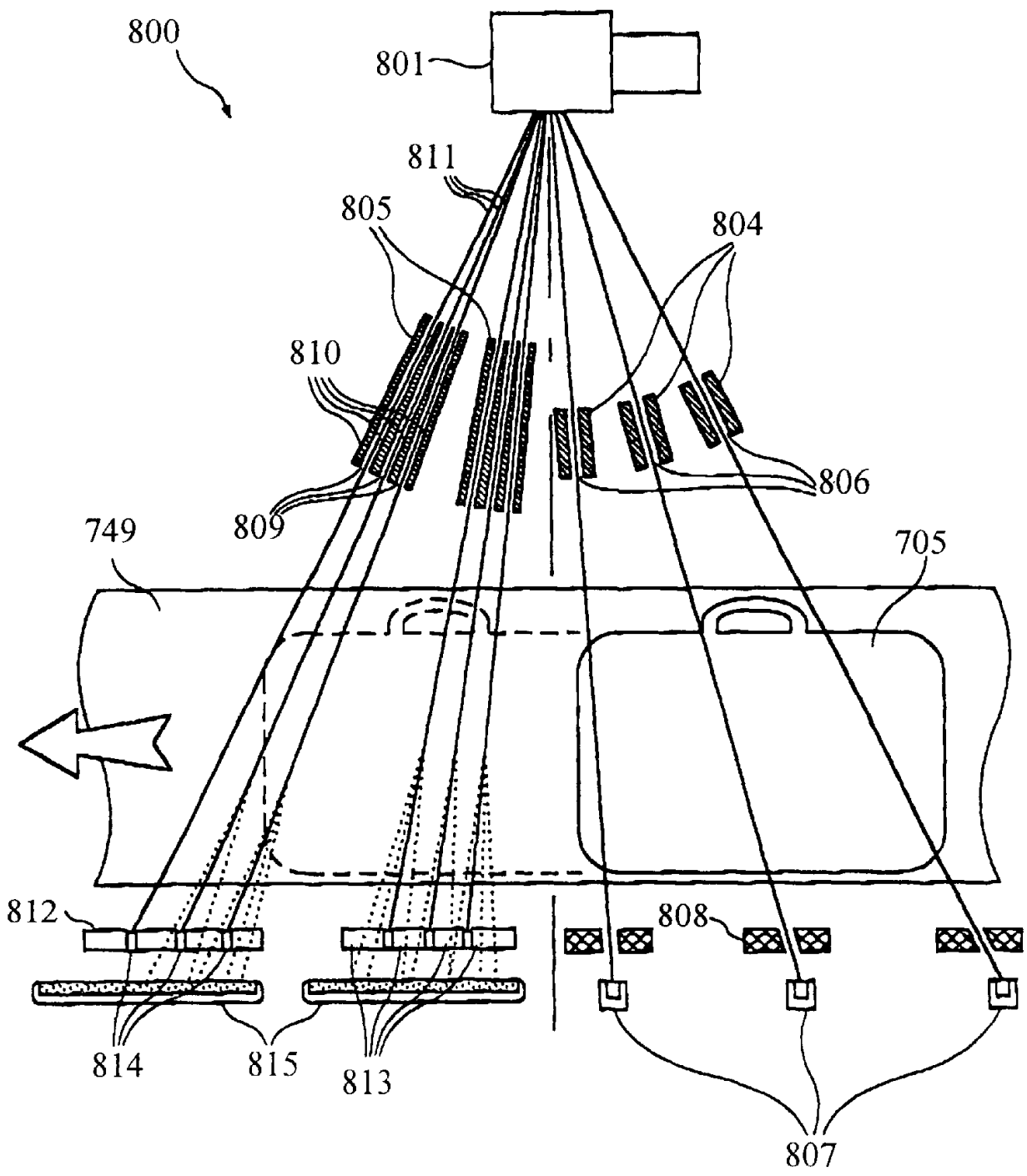


图 8

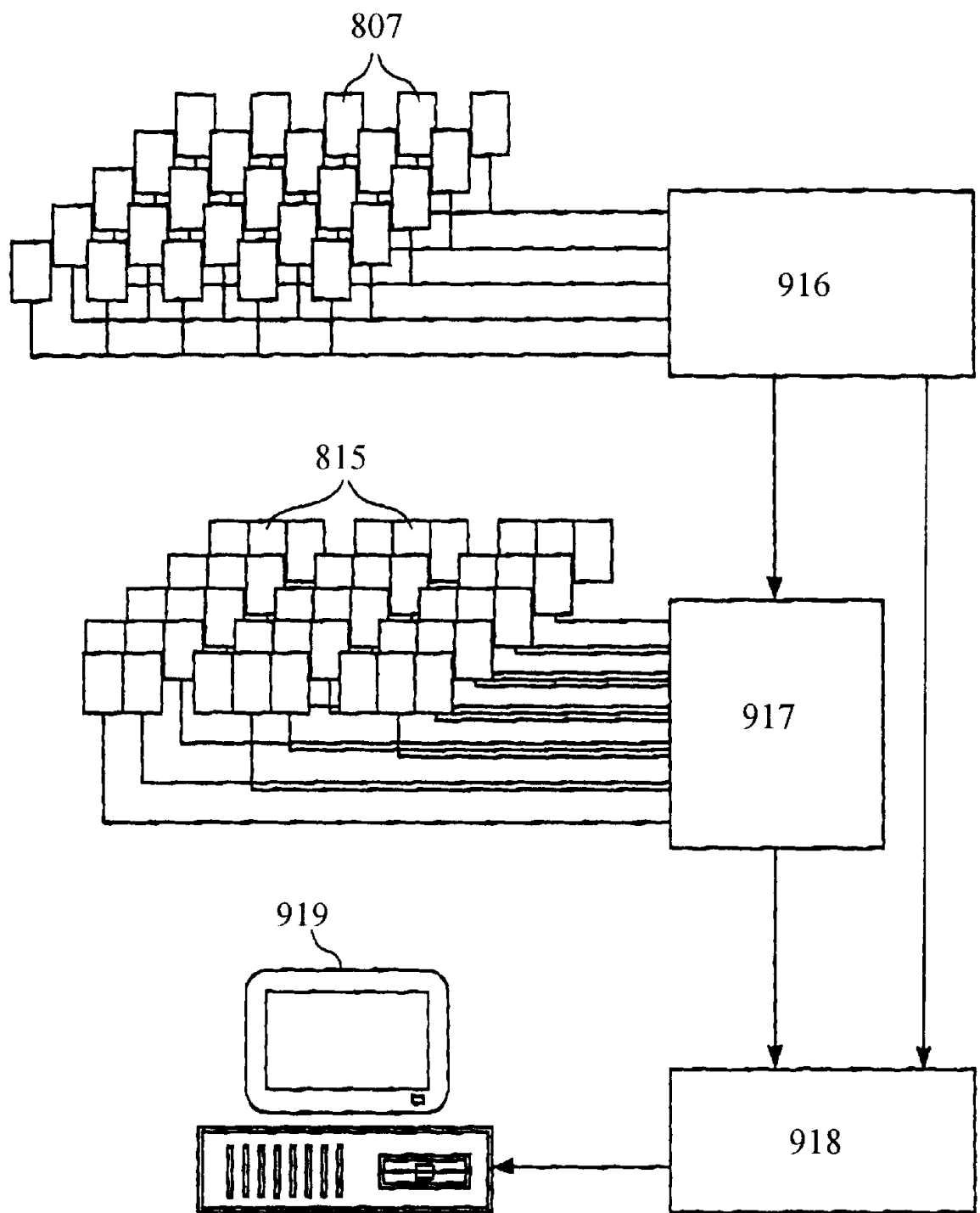


图 9



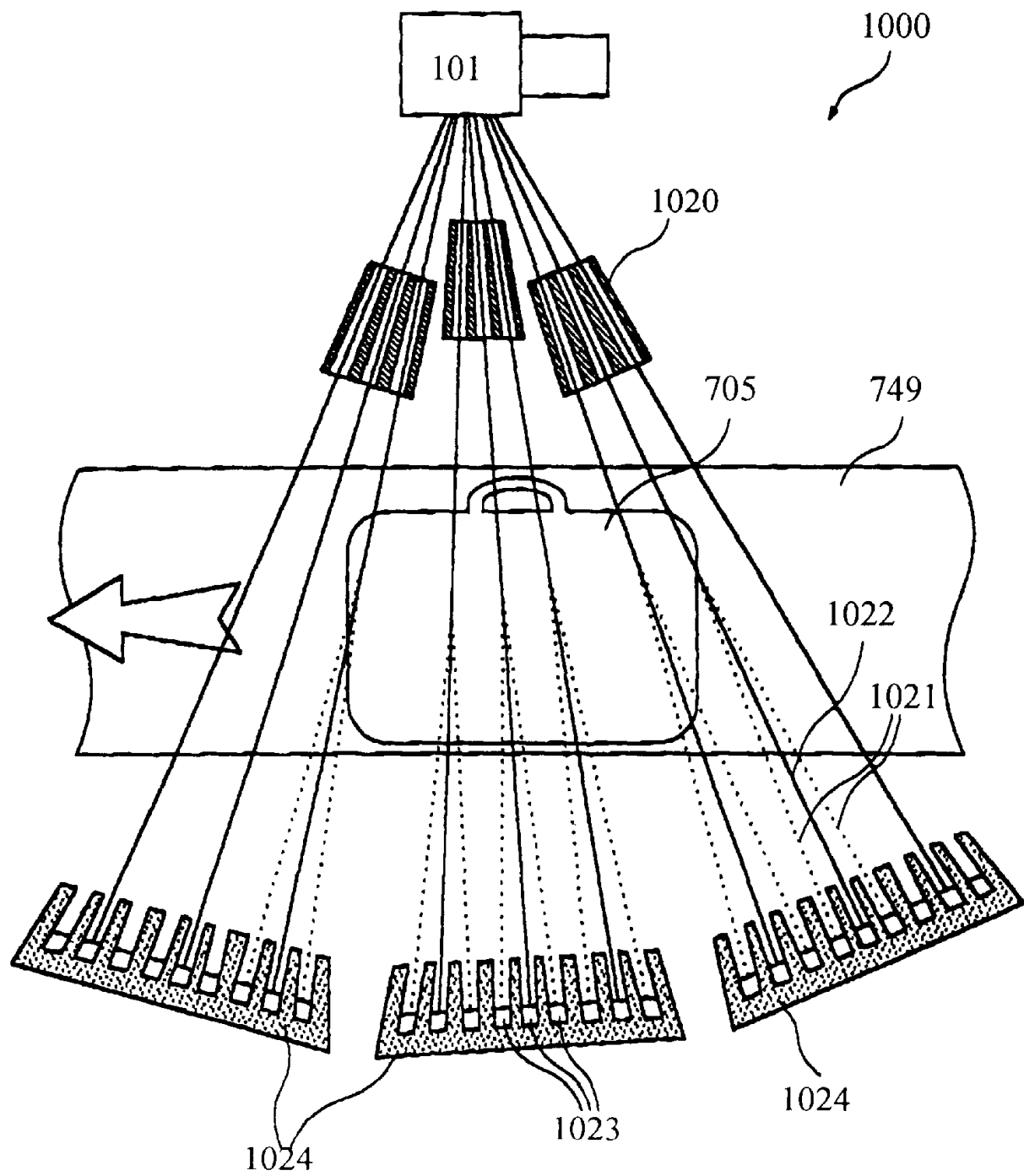


图 10

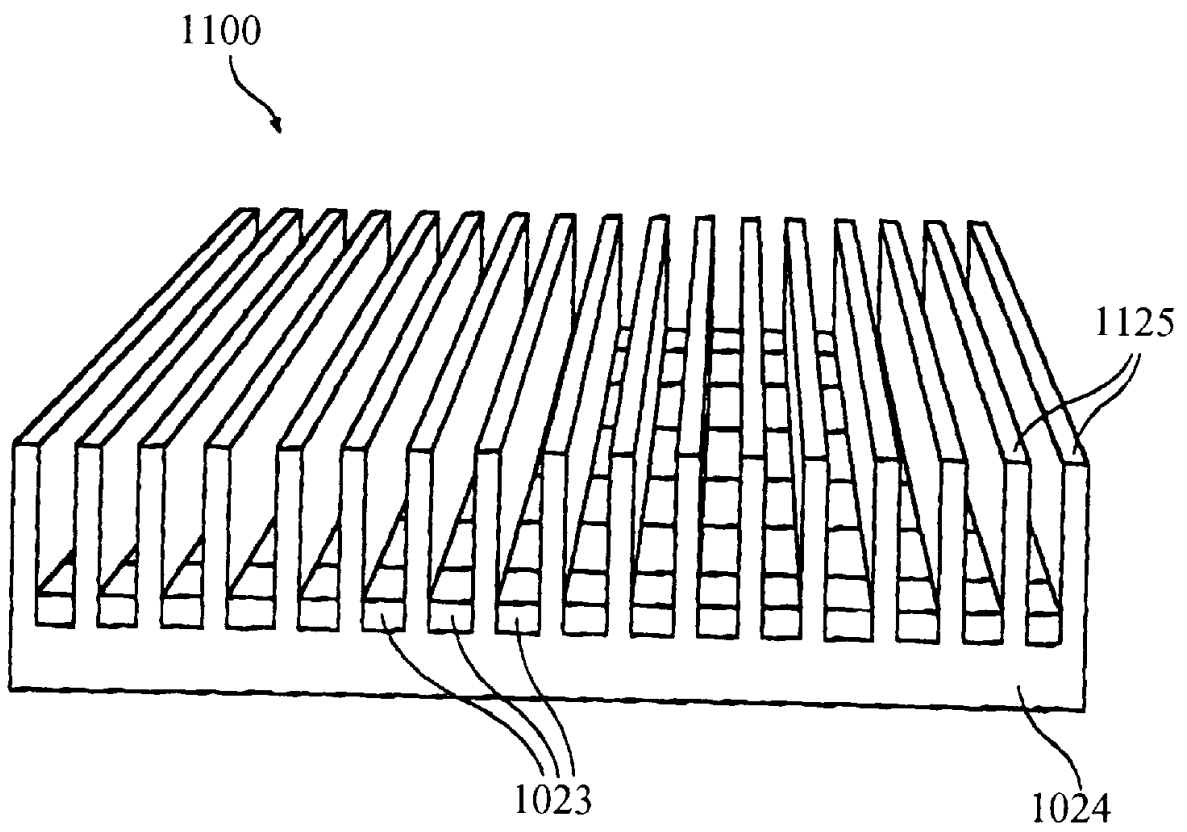


图 11