



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 96193114.0

[43] 授权公告日 2003 年 1 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 1099033C

[22] 申请日 1996.1.30 [21] 申请号 96193114.0
 [30] 优先权
 [32] 1995.2.8 [33] GB [31] 9502460.0
 [86] 国际申请 PCT/GB96/00195 1996.1.30
 [87] 国际公布 WO96/24863 英 1996.8.15
 [85] 进入国家阶段日期 1997.10.7
 [71] 专利权人 大不列颠及北爱尔兰联合王国国防大臣
 地址 英国威尔特郡
 [72] 发明人 S·P·比瓦尔
 审查员 田金涛

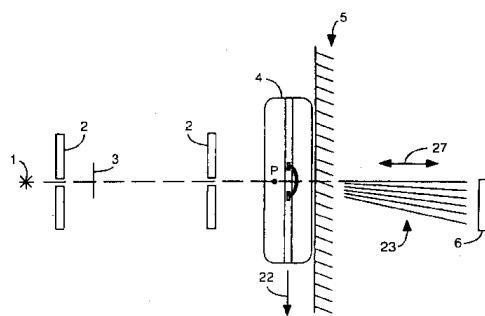
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
 代理人 程天正 王忠忠

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称 X 射线检查系统

[57] 摘要

一种 X 射线检查系统包括: X 射线源(1), 该射线源设置成能用从光源(1)射出并穿过物体(4)的扇形 X 射线束照射待检物体(4); 检测装置(6), 它能够对穿过物体(4)以不同角度产生相干散射的 X 射线的强度进行判断以便根据以每个角度散射的 X 射线的强度产生输出信号; 以及, 分析装置(未示出), 它可控制地连接到检测装置(6)上以便处理输出信号, 进而确定是否在存以一个或多个预定角度产生相干散射的 X 射线的输出信号。准直装置(23)设置在检测装置(6)和物体(4)之间且只允许以不同角度从中心位于 P 点的有限体元素厚度上产生相干散射的 X 射线通过, 准直器(23)沿光束方向的运动以及物体借助例如传送带在一个方向(22)上的平移可以使物体(例如行李等物品)的整个体积受到扫描。



1. 一种 X 射线检查系统，包括：

5 准直 X 射线源，该 X 射线源设置成能产生射向待检测物体的扇形束形的 X 射线束；

检测装置，包括横跨扇形束宽度布置的位置敏感检测器阵列，检测装置能同时判断在散射角范围内的相干散射的 X 射线强度，并根据通过这些角度中的每个角度散射的 X 射线强度产生输出信号；

10 设置在检测装置和物体之间的准直装置，适合于只将从物体内部特定厚度的体元素以一角度范围已经相干散射的 X 射线通过，以及进一步适合于将来自扇形束的有限圆弧的 X 射线传送到每个位置敏感式检测器，以及

分析装置，它可控制地连接到检测装置上以处理输出信号，进而确定是否存在以一个或多个预定角度进行相干散射的 X 射线。

15 2. 按照权利要求 1 所述的 X 射线检查系统，其特征在于，准直装置包括多个 X 射线衰减材料片，每个薄片均呈延伸状态，每个薄片与散射平面交于一直线，该直线正中穿过从其中散射可被检测的体元素，散射平面由垂直于照射的 X 射线的扇形束平面所限定，并穿过光源和正中穿过散射体元素。

20 3. 按照权利要求 2 所述的 X 射线检查系统，其特征在于，多个薄片彼此隔开相同的小角度。

4. 按照权利要求 2 所述的 X 射线检查系统，其特征在于，多个薄片彼此隔开不同角度，角间隔使得无论 X 射线的散射角度为多少，该薄片接纳来自恒定体元素厚度的散射。

25 5. 按照权利要求 2 所述的 X 射线检查系统，其特征在于，每个薄片均完全位于与平分扇形束的散射平面基本相垂直的平面内。

6. 按照权利要求 2 所述的 X 射线检查系统，其特征在于，将每个薄片均设置成沿一个基本上不垂直于散射平面的表面布置，所说散射平面平分扇形束但绕平分扇形束的轴线从该垂直线转过一个基本上不大于 25° 的角度。

30

7. 按照权利要求 6 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 转动角度在 $5^{\circ} - 25^{\circ}$ 的范围内。

8. 按照权利要求 7 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 转动的角度约为 15° 。

5 9. 按照权利要求 6-8 中任一项所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 沿薄片所在的表面的转动角度沿所述旋转轴线随距散射体元素中心的距离而变化。

10 10. 按照权利要求 9 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 在薄片所在的表面上的任何位置处的转动角度与该位置离散射体元素中心的距离成线性比例。

11. 按照权利要求 2-5 中任何一项所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 它还包括使准直装置的薄片可绕散射体元素的中心在与散射平面基本上平行的平面中转动一定角度的装置, 所说散射平面平分扇形束, 而所说角度的量级为薄片的角间隔。

15 12. 按照权利要求 11 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 转动装置将准直装置旋转过所说角度所化的时间不大于检测装置产生散射图形化的时间。

20 13. 按照权利要求 1 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 准直装置在非散射 X 射线束的方向上可相对于受检物体移动, 以便改变体元素在物体厚度上的位置。

14. 按照权利要求 13 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 检测装置适合于与准直装置一起移动。

25 15. 按照权利要求 1 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 准直装置包括在与扇形束平面平行的方向上叠置的聚焦准直仪阵列, 以便每个准直仪接纳从扇形束的各有限圆弧散射开来的 X 射线。

16. 按照权利要求 1 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, X 射线源包括多色 X 射线发生器和一个相互配合的平衡滤波器系统。

30 17. 按照权利要求 16 所述的 X 射线检查系统, 其特征在于, 检测装置包括适合于实质上只对平衡滤波系统带通区内的 X 射线能量敏感的检测器。

X 射线检查系统

本发明涉及的领域是 X 射线检查系统，更确地说涉及那些利用相
5 干散射的 X 射线检测容器中存在的易爆、易燃物品、违禁药品或其它
非法运送品（以下统称为“目标物”），以及检测物品或物体中存在的
缺陷或杂质或者对物体进行非破坏性空间解析化学分析的检查系
统。

10 由于下面将要讨论的与已有检查系统有关的问题对于容器、物体
和物品检测系统而言是等效的，所以对这些系统的讨论将只涉及容器
检查系统。术语“容器”在下文中既指容器又指容器内的物品。

目前已经开发出了很多利用 X 射线检查诸如行李和包裹等容器
的系统。这些系统包括双能传输成象器、背散射成象器和计算机辅助
层析 X 射线摄影（CAT）扫描器，所有这些器件基本上都产生二维或
15 三维的有效原子序数和强度信息。然而，这些系统本质在化学上是非
特有的，并在对容器内物品的空间分布进行目视检查时强烈地依赖于
操作者的观察和判断且在有易爆目标物的情况下依赖于诸如指示是
否存在起爆装置之类的显示器。在此出现的问题是，由于各种目标物
容易压在或包在容器中的其它物品内从而掩盖了它们的存在，所以不
20 容易通过这些目标物的形状对其进行识别。此外，起爆装置常常被容
器中相邻的杂物所掩盖。因此，用这些系统不能迅速检测出这些物
品，特别是起爆装置。

US 专利 4751722（EP0, 153, 786）中描述了一种能够克服这一
问题的公知系统。该专利公开了一种分析 X 射线强度的系统，所述 X
25 射线在穿过容器时通过不同的小角度产生相干散射。然后用此信息产
生角度色散 X 射线谱，该射线谱是对散射起决定作用的材料的有效分
子结构所特有的。然后将 X 射线送入数据处理系统，在数据处理
系统中与存储的感兴趣的目標物的光谱特性进行自动比较，从而判断
在容器中是否存在这些目标物。

30 然而，这种系统存在的问题是只能在垂直于非散射 X 射线传播方
向的平面中的二维散射元素（体元素）内分辨容器内物品，而忽略了
经由容器厚度的非散射光束方向上的第三个尺寸。在容器或目标物的

第三尺寸大于几个厘米的情况下,需要借助厚度分辨率来明显识别目标物的存在。这是由于无法把由以任何有意义角度固定的目标物引起的散射与在容器中不同厚度处的非目标物散射角范围内产生的相干散射区分开来,因此使所产生的X射线谱变得模糊不清和很难识别目标物。

这个先有系统的另一个问题是,由目前现有的单色光源产生的低X射线通量会导致花费过多的检查时间,这使得该系统在需要迅速检查大量大尺寸物体例如检查机场中的容器时很不实用。然而如果使用高强度多色光源则会降低该系统对物品的识别力。

UK 专利 1463054 提供了一种检查身体例如人头的装置,其中为了确定体内散射中心的位置而按包括纵向尺寸在内的两维尺寸映出了人体。尽管该设备能够对被检人体的整个高度进行扫描,但是其为检测物体而使用的锥形准直仪或环形检测器却以明显不利的方式限制了系统的灵活性,这是因为该系统不能布置成用单一X射线源同时检查多于一个间隔很小的体元素。该方法本身不能够提供与本发明有关的那种类型的检测系统所需的在化学上是特有的信息。

另一个公知的检测系统示于US专利4956856的图1-图4中。该系统使用了长薄式检测器,为了在三维方向上测量来自物体中小体积的散射光谱,检测器必须比待检物长。这个专利认为,用这样长的检测器检查行李不会达到精确确定散射光谱所需的足够空间分辨率。这会导致较差的物品分辨率。用这些检测器检查任何中等尺寸的物体会得到类似的结果,尽管这些物体的尺寸明显小于标准行李。此外,由于所使用的以闪烁器为基础的X射线检测器没有足够的能量分辨力,所以这种设备无法用例如X射线管之类的多色X射线光源以良好的物体分辨率进行工作。对要想在多次检查中得到与上述US专利4751722具有类似结论的较好分辨率来说,需要一个单色光源。

US专利4956856的图5-图7所示的实施例中使用了以伽玛(或Anger)摄影机为基础的X射线检测器,由于该检测器同样是以闪烁器为基础的,所以它不具备进行良好的物品识别所需的足够的光子能量分辨率。在这个发明中,在检查期间还需要沿着两个垂直轴移动物体(或交替地移动光源、准直系统和检测器),或者沿一个轴移动物体而沿另一个垂直轴移动光源、准直系统和检测器,以便对物体进行

完整的三维检查。这在机械结构上是复杂的而且需花费时间。另一个难点是,非散射的X射线束穿过单独受检的物体时的路径的区域数将受伽玛摄影机的直径和空间分辨率的限制。

US 专利 5007072 (EP0354045) 描述了另一种X射线检查系统, 5 这种系统也只能在两维方向上检查物体, 因此其具有上述 US4751772 中提及的缺陷, 此外, 该系统仅能按设定的角度进行检测而且只能测量以该角度散射的辐射波长谱。为此还需要使用在低温下工作的昂贵和复杂的固态锗或硅检测器阵列。同样, US 专利 5265144 中公开的检测器是以测量按固定散射角散射的辐射能为基础。而且, 就这种检 10 测器而言, 使检测器聚焦在被测物体内的小区域上并且通过移动检测器、准直系统和物体的相对位置, 只能检查整个物体一维方向上置的体元素。用这个系统进行完整的三维检查需要使物体或光源、检测器和准直系统在总数为 2 的其它垂直方向上移动。这种设备在行李检查系统的范围内不是一种实用的设备。

15 最后, 另一个 US 专利 4754469 公开了一种检测设备, 为了得到较好的物品分辨率, 这种设备使用了需要较长检查时间的单色X射线源, 或者使用了昂贵和复杂的固态低温冷却锗或硅检测器半导体阵列。对于两维分析来说, 还需要受检物体或X射线源、准直系统和检测器阵列在相互垂直的两个轴向上移动。只有通过另外移动物体或缩 20 短的检测器准直器的相对位置才能进行三维检查。

本发明的目的是提供一种至少能缓解某些上述问题的X射线检查系统。

众所周知, 射入晶体材料中的X射线能够从晶格上产生相干散射。相对于穿过光源和散射中心的轴线测得的X射线相干散射的角度 25 2θ 与入射的X射线波长 λ 和晶格间隔 d 有关, 并满足公式:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

其中 n 是正整数。这样, 通过检测是否存在已按已知角度 2θ 产生相散射并具有公知波长 λ (或其倍数) 且满足上述公式 (1) 的入射X光即可识别出引起散射的晶体目标物。

30 然而, 从公开出版的例如 Harding 和 Kosanetzky (J Opt Soc Am A, Vol. 4, No. 5, p933-944, May 1987) 的著作中可以知道, 该技术并不只是局限于辨别和分析纯粹的晶体材料, 而且适用于非晶体材料或

者诸如聚合物和有机材料等无序材料。同样还可以识别各种易爆品，这些易爆品是晶体材料和非晶体材料的混合物，晶体材料通常是高能爆炸组份，非晶体材料通常是非爆炸材料。

按照本发明，提供一种X射线检查系统，该系统包括：

- 5 准直X射线源，该X射线源设置成能产生射向待检测物体的扇形束形的X射线束；

检测装置，包括横跨扇形束宽度布置的位置敏感检测器阵列，检测装置能同时判断在散射角范围内的相干散射的X射线强度，并根据通过这些角度中的每个角度散射的X射线强度产生输出信号；

- 10 设置在检测装置和物体之间的准直装置，适合于只将从物体内部特定厚度的体元素以一角度范围已经相干散射的X射线通过，以及进一步适合于将来自扇形束的有限圆弧的X射线传送到每个位置敏感式检测器，以及

- 15 分析装置，它可控制地连接到检测装置上以处理输出信号，进而确定是否存在以一个或多个预定角度进行相干散射的X射线。

应注意的是，本文中使用的术语“扇形光束”包括连续的扇形形式或不连续的扇形形式的光束，也就是说，在后一种情况下，不连续扇形光束是其中有一个或多个小圆弧全部衰减掉的另一种连续扇形。在此将这种不连续的光束称为“间断式扇形光束”。

- 20 准直装置在X射线束的方向上提供厚度分辨率，这样设置的优点在于，当对来自不同厚度的目标物不同角度散射进行判断时，由于在任何时间只检查物体的有限厚度，所以能提高对来自目标物的散射和来自其它材料的散射的判断力。

- 25 有用的是，将准直装置和受检物体的一方或两方设置成能沿（非散射的）X射线束方向彼此相对运动，以改变体元素在物体整个厚度上的位置。用这种方式基本上可以检出物体的整个厚度，为了简化结构，最好只使准直装置产生这样的运动。然而，在准直装置可移动的情况下，更有益的是设置一个能与准直装置同时运动的检测装置，以便保持两者之间的相对独立。其优点在于，可在检测装置上基本相同的位置处检测在任何给定角度上的散射，而与体元素在物体整个厚度上的位置无关。
- 30

准直装置可以包括多个X射线衰减材料薄片，每个薄片均沿圆的

不同半径延伸，所述圆的中心与给定的两维体元素的中心重合，而且每个圆和相应的体元素都处于一个平面内，该平面垂直于检测散射光束用的扇形光束的平面。合适的是使每一个薄片与相邻薄片之间相对于上述圆的中心隔开一个通常为 0.5° 的小角度。横切扇形束有限弧度的多个相互平行且彼此靠近的两维散射体元素的中心最好是处于一条直线上，该直线垂直于一个平面，此平面本身垂直于扇形束的平面。如果这种小角度分隔保持恒定，那么准直装置将会提供非散射 X 射线束方向上的小散射体元素厚度，该厚度与散射角度有关。

代替上述间隔恒定的薄片，在准直装置的需要设定与散射角 2θ 无关的恒定体元素厚度的第二实施例中，可以按照下列公式计算薄片的径向间隔 s ：

$$s = (C \times \tan(2\theta)) + w \quad (2)$$

其中 C 是与所需体元素厚度和仪器尺寸有关的常数， w 与仪器尺寸和薄片宽度有关。

在前述具有恒定或可变薄片间隔的准直装置实施例中，如果用固定的准直装置来获取散射图形，则将会使以一定角度散射的 X 射线束出现周期性总衰减。在捕获散射分布图形的过程中通过使准直装置相对于相应的两维散射体元素中心转动一个小角度（通常等于薄片的间隔角），便可避免这些实施例中的离散散射角处的总衰减，所述两维散射体元素处于与扇形束垂直但与两维散射体元素共面的一个平面内。与捕获散射分布图形的时间相比，旋转运动的时间可以短一些或是基本上与其相同。

然而，准直装置的第三优选实施例可以在不需要准直装置转动的情况下避免以任何散射角散射的 X 射线束的总体衰减。该第三实施例在原理上与前两个实施例相同，并且，在需要时，该实施例可以象上述那样采用按恒定的角度间隔或角间距设置的准直片。然而，在该实施例中，在以光束中点为中心的扇形光束小圆弧上，不是将薄片沿上述以其中心在一条直线上的平行两维散射体元素的中心为半径的平面放置，而是使薄片从该位置围绕从两维散射体元素的中心延伸到小圆弧中点的轴转过一定角度，对于具有恒定间隔的薄片来说，该角度一般为 $5 - 25^\circ$ ，更优选的是约 15° 。因此，当在与扇形光束相交的小圆弧内从中心在一条直线上的平行两维散射体元素的所有部分穿过

准直装置的累加信号积累起来时,通过适当地选择各薄片的转角,可使散射 X 射线束的衰减减小和使其在所有散射角下都近乎相等。

有利的是,每个薄片围绕两维散射体元素的中心轴转过的角度可以沿该轴线随离散射体元素中心的距离而变化,所述两维散射体元素的中心与横切扇形光束的小圆弧中心半径共面,而扇形光束则与小圆弧的中点有关。最佳的是,所述转角与离开散射体元素中心的距离成线性比例关系。

在一个优选实施例中, X 射线源包括多色 X 射发生器和相配合的平衡滤波系统。这种 X 射线源的优点是,与使用由单色 X 射线发生器构成的 X 射线源时所需的检查时间相比,可以减少对物体的检查时间。多色 X 射线发生器提供了可对物体进行快速检查的较大光通量,同时,按照 Cooper (J. Phys. E, 1985, Vol 18, P354) 等人的方法而使用的平衡滤波系统提供了有效的带通 X 射线光子能量滤波器,并且可以产生基本上等同于用单色 X 射线源产生的那种视角色散 X 射线谱。此外,通过将每个滤波器设置成自动地放置在光路中,不再需要操作者亲自介入。

带有基本上只对接近平衡滤波系统带通区的那些 X 射线能量敏感的中度 X 射线光子能量判断器的检测器(例如包括一个与 X 射线闪烁器材料相连的位置敏感式电子倍增管的检测器),可以与多色 X 射线发生器和平衡滤波系统有效地结合使用,以便减少在感兴趣的 X 射线光子能量区外部产生的大量的韧致辐射。由此可增加所产生的光谱的信噪比,从而进一步减少检查所需的时间。

有利的是,检测装置还能够例如使用成象检测系统或多个设置成能按不同的分立角度或窄角度分布范围进行检测的分离检测元件,同时检测在包含感兴趣的预定角度的角度范围内散射的 X 射线,以产生角色散 X 射线光谱。其优点是,由于可以并行地收集用于所有感兴趣的散射角范围的数据,所以可以减少对每个物体的检查时间。

优选的是,使检测装置和准直装置能够独立地检测从扇形光束的小圆弧横切扇形光束的 X 射线,小圆弧的角度一般小于 1° 。这样做能进一步减少了对每个物体的检查时间并能沿扇形光束的最长轴对物品进行分辨。

最有用的是还设置了诸如传送带之类用于输送待检物体通过扇

形光束的装置。

如上所述,传送装置的作用是通过上述准直器的运动而使所设置的两维检查薄片产生平移,并使扇形光束、准直和检测装置的高度充满物体的整个长度。在获取信号期间最好是利用物体在传送装置上的运动以在宽角度散射范围内传播散射体元素之外但在散射的辐射圆弧之内的材料衰减效应,否则将会使从散射体元素的内容中得到的散射图形产生畸变。这是通过在物体于传送带上移动足够的距离且穿过扇形光束的过程中捕获散射图形而实现的。然而,物体在该期间的位移应小于待测目标物在传送带运动方向上的体积宽度,或者,从包含物品而不是目标物的区域得到的散射影响可能会支配组合的散射图形并且会搞乱与最终的物品识别失真相匹配的图形。

最有利的是X射线检查系统可以另外包括以可控方式连接到分析装置上的报警装置,以便当在一个或多个预定的检测角度上出现某种较强的散射X射线时产生声觉,视觉或声-视报警信号。这样可以提醒操作者已在物体中检测出目标物或类似物。

为了增大信噪比从而提高系统的可靠性,优选的是,分析装置还适合于处理由一些体元素形成的代表来自受检物体固定检测区的总信号的信号,以便确定其中在一个或多个预定角度处是否存在以一定的相对强度散射的X射线区。

考虑到对诸如行李之类的大物体进行相干X射线散射检查所预计的有限检查速率,以及设备的可能成本和例如双能级X射线传输和CATX射线检查设备之类的现有设备的能力,建议这样利用所说明的发明,其中,以诸如上述已有技术方法之类的初级的、分辨率较低但速度较快的技术来检查局限在检查方向上的物体整个体积的一部分,以便检验例如可能包含在飞机行李中的危险物品的或是更概括地说值得进一步分析的固定物品。就飞机行李而言,通过提供能描述目标物的晶体学结构或化学结构的第四独立信息,这种第二级的相干散射设备就能够补充从传统的第一级设备上获得的密度、平均原子序数和空间信息。然而,仅在用第一级信息进行分析之后,在给定的提包内的材料中的危险品仍无法辨认时才使用第二级的设备。

这种直接相干X射线散射设备可以用本文所述的发明来实现并需要一个在检查完整的行李时所需的一部分仪器。例如,可以将覆盖

10cm高度的有限扇形X射线束与检测60cm高×90cm长的标准全尺寸箱所需的准直和检测系统检测的1/6一道使用,以便在检测整个箱子的1/9时间内遍访箱子上10×10cm面积内的整个厚度。

5 本发明的X射线系统比对来自单个体元素的散射光子进行环形检测的X射线检查系统更适合于行李和很多其它容器检查的情况。在后一种设备的结构中,设置检测器阵列以便在三维方向上对行李和/或准直系统进行部分控制是不可行的。此外,不利的是接受三维控制的机械复杂性,因为来自单个体元素的信号计数率在以环形检测为基础的三维系统中将保持与本文中所述的两维控制和扇形束分布相当。这是因为,通常为了保持光谱分辨率,原级光子束沿光谱测量轴的宽度必须很小,通常为1mm。在本发明中,这个要求已经满足,而且,为了得到较强的信号,在不明显降低光谱分辨率的情况下还可以把记录单个体元素散射情况的原级光束的高度和记录有单个体元素散射情况的检测区的高度增大成大于上述距离,一般约为10mm。

15 在以环形检测为基础的X射线检查系统中,记录单个体元素散射情况的原级光束的高度必须保持与其宽度(即原则上应使用圆形原级光束的横截面)相等,或者,使沿高度轴的光谱分辨率降低,这种情况将降低整个散射图形分辨率。同样的考虑也适用于可在不降低光谱分辨率的情况下加以使用的X射线管的焦点的最大尺寸。就以环形检测为基础的X射线系统而言,在同样光束宽度的情况下,焦点是一个圆,该圆的直径应设计成不会明显降低沿任何信号测量轴的光谱分辨率。在本发明中,沿测量轴方向有同样的限制,但沿垂直轴则无此限制,在垂直轴方向上焦点可以大得多,这样可以给出分辨率损失很小的高信号计数率。在本发明中,X射线管焦点一般为1×3mm。

25 更有利的是,可以用使用物体在X射线光子能量方面的衰减的三维图形,即,层析X射线摄影信息,来修正物品在未散射的原级光束和散射光子弧中的衰减效应。在用平衡滤光器产生单色X射线衍射的情况下,应在小的X射线能量的带通范围(即57.49-59.38 Kev)内获得衰减的信息。用例如在US专利4,730,350中描述的公知层析X射线摄影法能够获得这种信息。

30 下面将参照附图描述本发明的X射线检查系统在用于检查容器时的实施例,其中:

图 1 是从 X 射线检查系统的上部观察到的局部剖面图；

图 2A 是显示扇形光束的同一系统的侧视图；

图 2B 是同一系统的侧视图，但其中 X 射线是间断的扇形光束。

图 3 是分析装置的第一实施例的示意图；

5 图 4 是分析装置的第二实施例的示意图；

图 5 示出了 (A) 一般的散射图和 (B) 从该图中产生的信息减少了的散射图形；

图 6 示出了用不同的爆炸物得到的典型的散射图形；

10 图 7 是与先前所示不同的准直器实施例的示意图，该实施例是从光源的方向来看的并设置在垂直于扇形光束平面的位置上；以及

图 8 说明了实现低分辨率层析 X 射线摄影衰减校正的方法。

现在参照图 1 和图 2A，它们是本发明同一个实施例的相互垂直的视图，来自多色 X 射线源 1 的 X 射线被狭缝式准直器 2 准直成狭窄连续或间断的扇形光束。该扇形光束（从图 2A 中能更清楚地看出）
15 穿过平衡滤波系统 3 中的滤波器后投射到置于传送带 5 沿方向 22 以恒定速度移动的箱子 4 上。平衡滤波系统 3 具有两个滤波器，这两个滤波器在使用时顺序地起单级窄光子能量范围的带通滤波器的作用。第一滤波器由铥构成，第二滤波器由钐构成，有利的是它们都具有 K 吸收限，该吸收限把钨 $K\alpha_1$ 和 $K\alpha_2$ 限定为钨阳极 X 射线源的荧
20 光线。

穿过容器 4 并在容器 4 内因目标物而在角度 2θ 范围内弹性散射的 X 射线在图 1 所示的平面内被一排金属薄片 23（一般是 0.3mm 的钢片）准直，所述金属薄片 23 被设置成垂直于附图所在的平面并且沿着以容器 4 中的点 P 为中心的圆半径排列，从而，能够检测到在感
25 兴趣的角度范围内（通常为 $1-10^\circ$ ）仅来自以 P 点为中心的有限体元素厚度（通常为 2-3mm）处的散射光。

用公式 (2) 可计算出相邻薄片的径向间隔，其中 $C = 2.08$ 的值是在体元素厚度总是为 2cm 的情况下得到的；点 P 和薄片上离其最近的边缘之间的距离为 25cm，薄片的长度为 25cm，而且，在这些尺寸条
30 件下，当薄片宽度为 0.3mm 时，w 值为 0.12。

为了检查容器 4 的整个厚度，可以使薄片 23 同时沿非散射 X 射线束（如图 1 中的虚线所示）的方向移动（如箭头 27 所示）以便使

检测中心 P 移动一个与薄片 23 的移动相同的量。

参照图 2A, 通过一排检测器 6a...n 中的一个检测器可以同时在所有 2 θ 角范围内检测到准直 X 射线, 所述检测器 6a...n 设置成横跨扇形宽度。每个检测器 6a...n 均包括大尺寸光子计数摄相机, 例如 X
5 射线图象增强管和低噪声照相机的组合或闪烁器和增强的 CCD 摄相机, 这种摄象机的空间分辨率为几百微米数量级且具有几平方厘米或更大一些的敏感区, 在该敏感区上可检测到投射的 X 射线。各检测器 6a...n 均设置成能产生一输出, 此输出代表投射到检测器上的散射 X 射线的强度和位置。如图 2A 所示, 在垂直于扇形光束的平面内使每
10 个检测器排成一排, 以便使每个检测器记录仅来自扇形光束有限弧度上的散射。

图 2B 除了用准直板 24 代替上述结构中两个原级光束准直器中的第二个准直器之外, 其余部分与图 1 和图 2A 中所示的基本结构相同, 在该准直板中, 把以前用来产生连续扇形光束的单个连续狭缝分成多
15 个短狭缝。由此产生了不连续的 (或“间断的”) 原级扇形光束。这种光束具有准直效果, 除了在垂直于扇形光束的平面内取得的准直效果之外, 还可以利用这种光束使每个检测器记录仅来自上述扇形光束有限弧度上的散射。

现在参照图 3, 把从每个检测器 6a...n 输出的信号送入用虚线表示的分析装置 8, 分析装置 8 包括: 一排差分图象计算器 9a...n, 每个
20 计算器均对应于一个检测器 6a...n; 一排散射图形发生器 10a...n, 每个发生器均对应于一个计算器 9a...n; 一个光谱特性曲线发生器 11; 以及, 一个光谱特性曲线比较器 12。

把来自每个检测器 6a...n 的输出信号采集进相关的差分图象计
25 算器 9a...n 以产生散射图象。然后利用相关的散射形状发生器 10a...n 处理每个图象, 以便通过去除某些部分的图象信息来减少送入光谱特性曲线发生器 11 中的数据量, 按照公式 (1), 这些部分的图象信息与检测器区域有关, 而该检测器区域对应于有关的目标物被不希望 X 射线穿过而相干散射的散射位置。然后将那些在剩余区域中代表特
30 定散射角的信息进行平均以便进一步减少送入光谱特性曲线发生器 11 中的数据。再把减少了信息的散射图形送入光谱特性曲线发生器 11 中, 在此发生器中, 确定图形中相关散射特征的角位置和强度。

然后把在各图形中测得特性曲线送入光谱特性曲线比较器 12 中，在此比较器中，通过把这些特性曲线与存储在比较器 12 中的曲线相比较来判断在容器 4 中是否存在目标物。如果判断结果是存在目标物，则从比较器向报警器 13 发出一个提醒操作者存在目标物的激励信号。

如图 4 所示，在本发明的另一个实施例中，分析装置 8 除了在图形发生器 10a...n 与光谱特性曲线发生器 11 之间包括了一个图形加法器 20 外，其余部分均与上一实施例相同。如上所述，通常或是当从单个图形中判断出存在目标物时，把来自比较器 12 的第一激励信号转送到加法器 20 中，加法器 20 于是进行运算，把来自少量的图形发生器 10a...n 的图形相加，以产生一个单一的图形，该图形代表从容器的固定区域弹性散射的 X 射线。然后把这个单一图形送到光谱特性曲线发生器 11 并进行如上所述的处理。当比较器 12 从累加的图形中判断出存在目标物时，就把来自比较器 12 的第二激励信号转送到报警器 13。这样就可因该图形的信噪比大于各个部分图形的信噪比而防止对是否存在目标物作出的错误判断。此外，与上述同样的方式还适用于在只有检测出一个或多个相邻的容积内充有给定目标物时才报警的场合。

很显然，对于熟悉本领域的技术人员来说，用一个合适的程序化的计算机可以完成上述分析装置各部分的所有功能。

在从特定体元素上捕获散射光束期间，可以使所有薄片 23 均绕 P 点转离扇形光束平面一个小角度，该角度一般是薄片 23 的最小间隔。这样可随时间移动薄片的径向距离并避免因以离散散射角散射的 X 射线的总衰减而导致的信息丢失，所述离散散射角是薄片静止时的定向角度。可以使薄片回到它们的原始位置，并相对每个受检查的体元素重复相同的移动或者使薄片相对于交错的体元素在相反方向上交替地移动相同的量。

另一方面，如图 7 所示（图 7 示出了遮切扇形光束的一个小圆弧并与扇形光束的平面相垂直设置的准直装置的一个部件），准直器 23 的第三优选实施例在不需转动准直器的情况下可避免以任何散射角散射的 X 射线的总衰减。在该实施例中，准直器 23 可以采用按公式（2）确定的如图 1 所示的平面中具有恒定角间隔的准直片或在按

一定角间隔范围设置的准直片。然而，在其中心位于图 1 所示平面上的扇形光束的一小段圆弧上（一般，在受检物体处其最大尺寸约为 1cm），薄片可以围绕一个轴从垂直于图 1 所示的平面转动一定角度，该角度一般为 $5-25^\circ$ ，更具体地是 15° ，所说的轴与中心位于 P 点且处于图 1 所示平面内的圆的半径相重合。当对来自受扇形光束的小圆弧照射的所有目标物体且通过准直器的总信号进行累加时，利用上述装置可使散射 X 射线束的衰减很小且使所有散射角上的衰减几乎相等。

10 最佳的是，每个薄片的角位置是这样的：当从准直器的前面或后面观察时，如图 7 所示，每个薄片的最近表面在相邻薄片的最近表面在准直器前面或背面的平面内到达扇形光束的小圆弧的边界的各点之间延伸。标号 28 一般性地示出了用于准直片定向和定位的支承结构。

15 由于准直片 23 沿朝向检测器离开光源的方向发散，所以有益的是，每个薄片在中心位于图 1 平面中的扇形光束的小圆弧上围绕图 1 平面中 P 点上的轴线转动的角度随着沿该轴离开 P 点的距离而变化，换句话说，薄片实际上沿其长度方向转动。最优选的是使每个薄片上任何给定点处的转角与该点离开散射体元素中心的距离成线性比例。

20 图 5A 中示出了由差分图象计算器 9a...n 产生的散射图象，其中散射带 14 对应于一部分由目标体元素所相干散射的 X 射线光子同心环。用标号 16 表示受未散射的 X 射线照射的检测器 6a...n 的区域，用虚线 17 表示用于产生图 5B 中信息减少了的散射图形的区域。如图 5B 中所示，散射 X 射线强度的峰值对应于散射带 14。

25 图 8 表示另一个实施例，其中，在上述装置中增加了两个或多个呈直线排列的 X 射线检测器 25 和相应数量的准直狭缝 26。利用排成直线的检测器阵列 25 中的每个检测器检测狭窄扇形光束对于物体以明显不同的角度沿明显不同的路径通过受检物体的传输情况。在一个优选实施例中，每个线性检测器阵列都平行于用于测量相干 X 射线散射谱的扇形光束中最长弧两端之间的弦，并且因而以垂直于图 8 平面的方式延伸。当物体在传送带上通过相关的扇形光束时，每个线性检测器阵列将记录整个受检物体的完整行扫描二维透射投影图。然后采

30

用例如 US 专利 4730350 中指出的层析 X 射线摄影法，用来自多个线性检测器阵列的行扫描图象重建受检物体的三维衰减模型。最好是利用上述铥和铟平衡的滤波器技术并在与用来确定同一物体的相干射线散射谱基本相同的 X 射线光子能量的小范围内获取这种信息。然后
5 可以用物体的三维衰减模型来修正角色散 X 射线谱并消除非散射原级光束及散射光子束的圆弧中从散射体元素之外的物品的衰减效应。

实际上，为了进行相干 X 射线散射光谱的衰减修正，可以仅需要低空间分辨率的层析 X 射线摄影图象，从而，可以使用这种仅在以各种角度通过提包的少量径迹上进行较少量 X 射线透射测量的仪器。这
10 对在沿运动的轴线获取信号期间箱子在传送带上的运动将会提高散射体元素和受检物体内的任何物品的有效尺寸的优选实施例而言，情况特别是如此。

图 6 示出了用图 1 和 2 的实施例从厚度为 13mm 的样品上得到的
15 散射图形，所说的样品为：

- (a) HMX 爆炸物；
- (b) 基于 RDX 的塑料爆炸物；
- (c) 基于 PETN 的片形爆炸物；
- (d) 火药
- 20 (e) 硝酸铵/燃料混合物

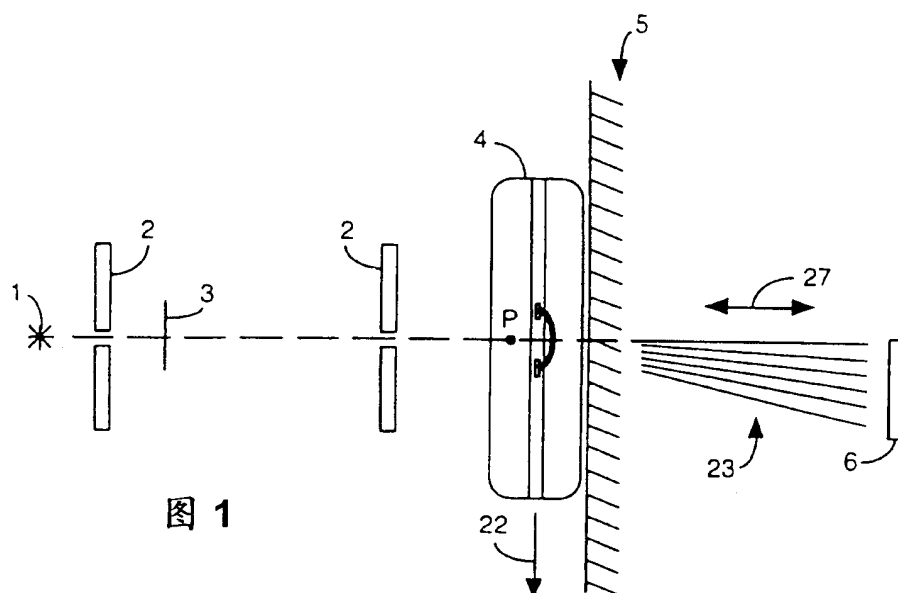


图 1

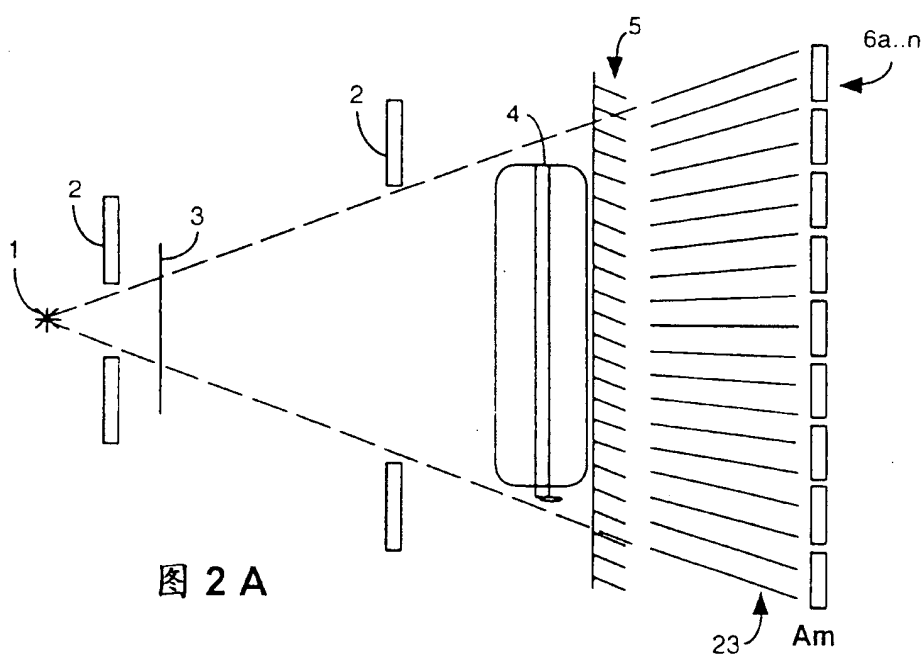


图 2 A

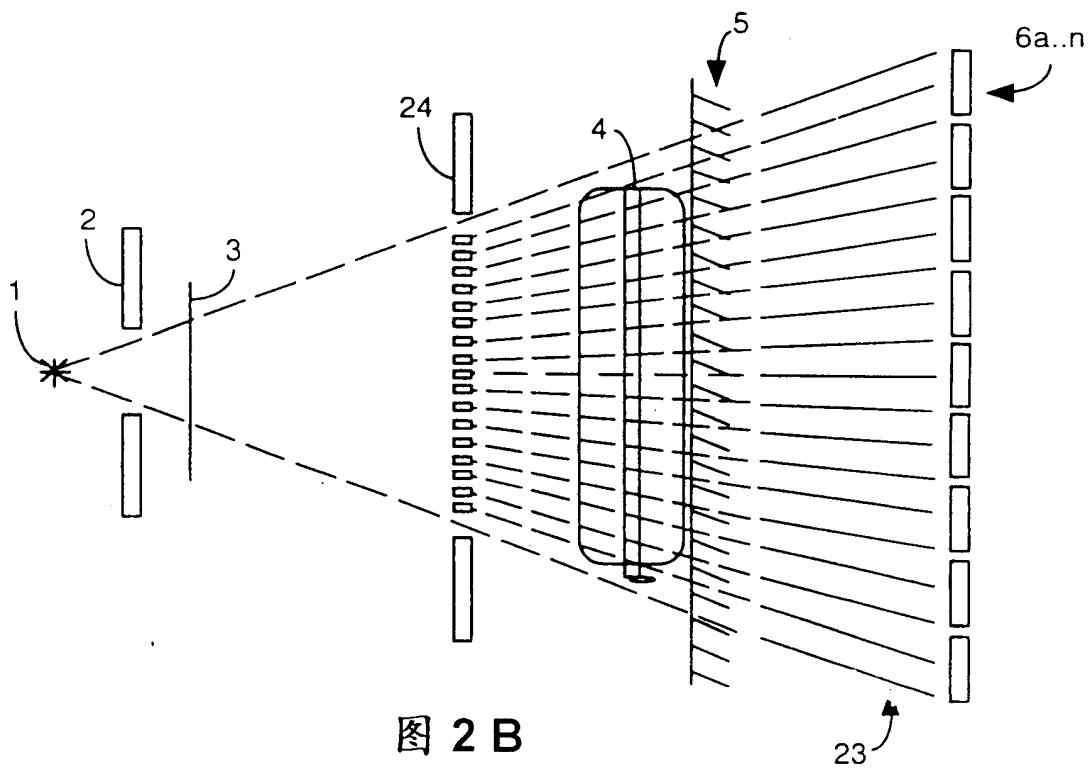


图 2 B

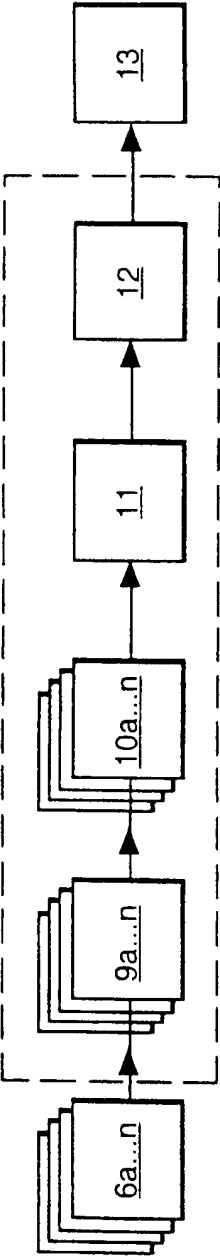


图 3

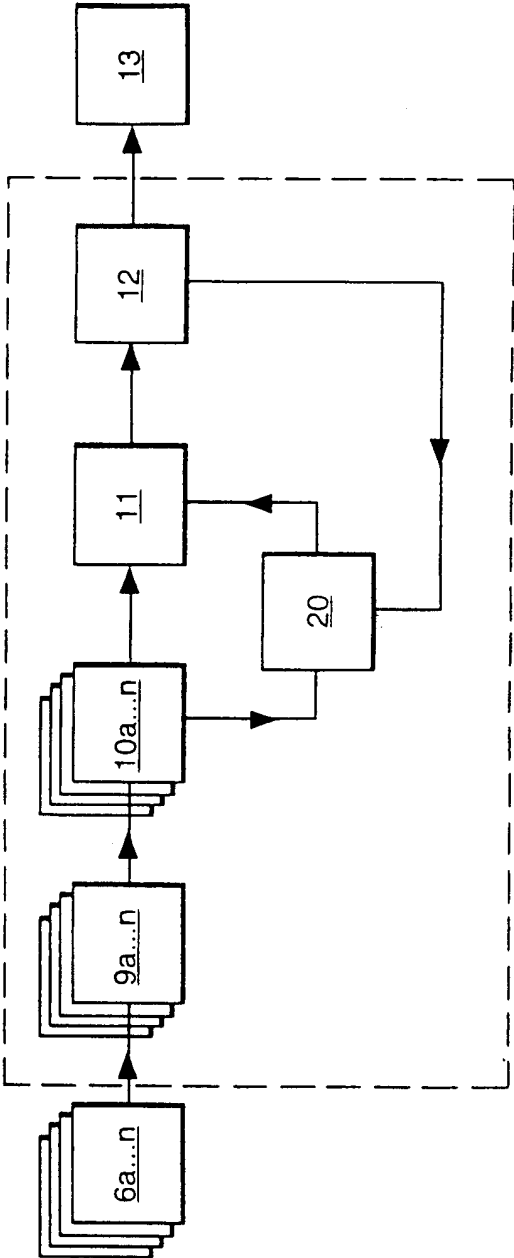


图 4

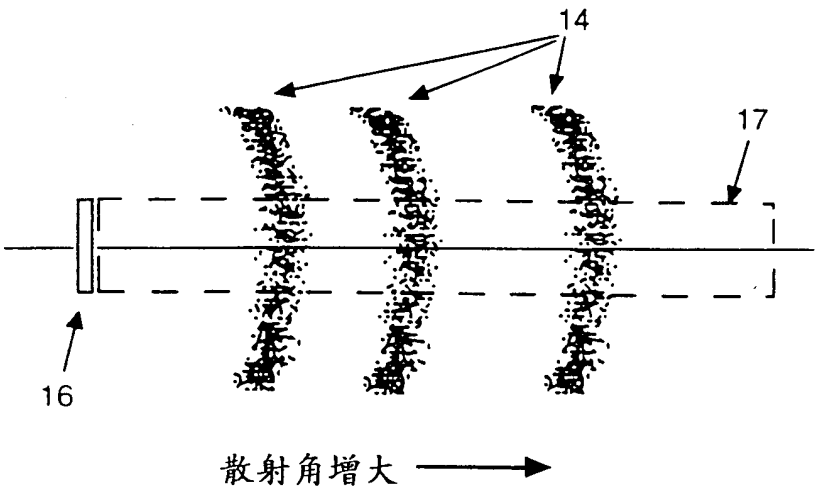


图 5 A

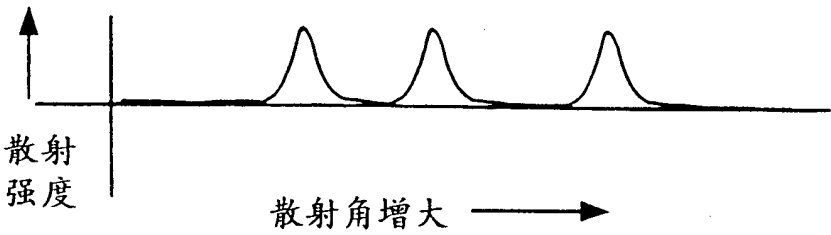


图 5 B

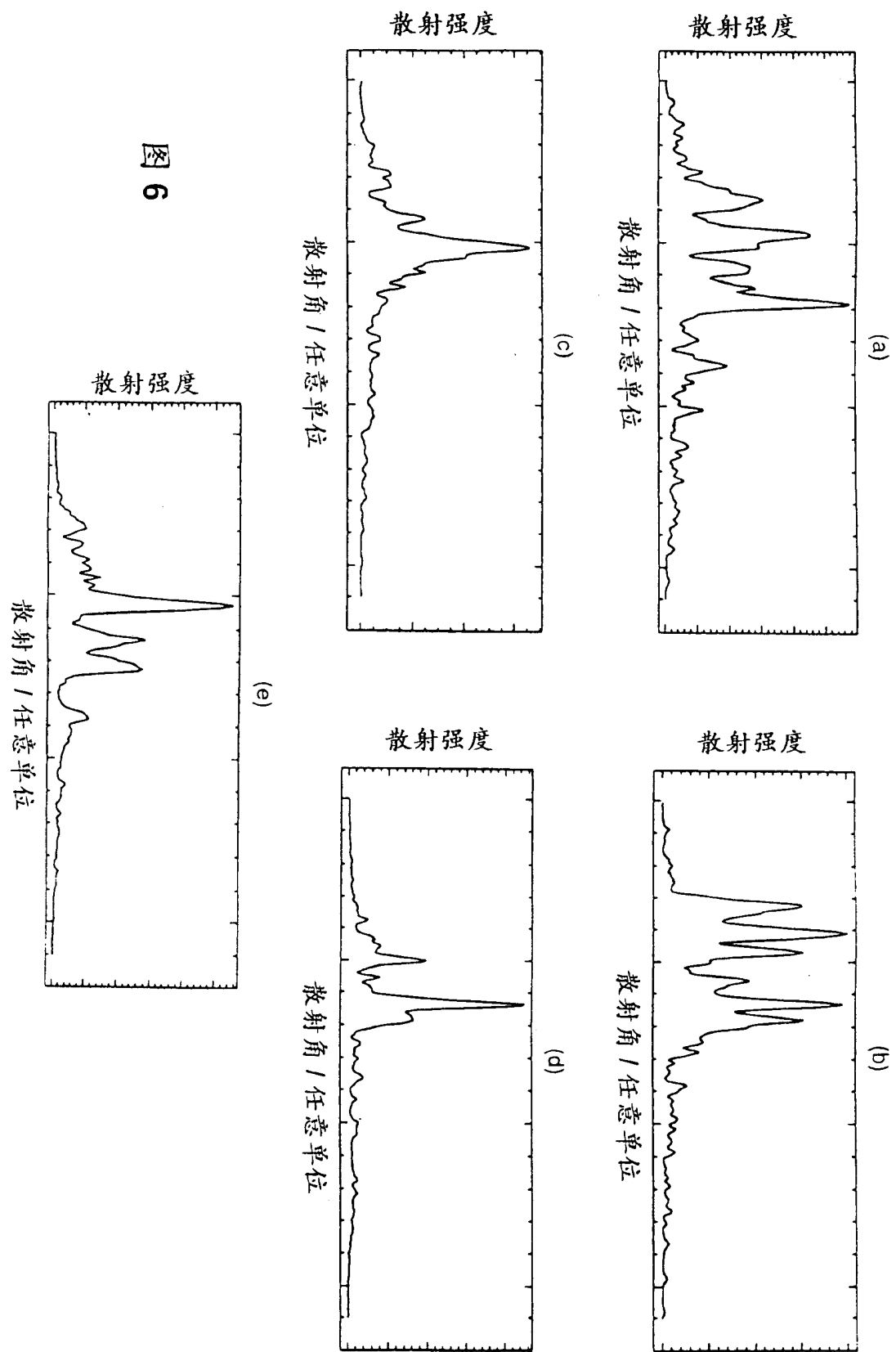


图 6

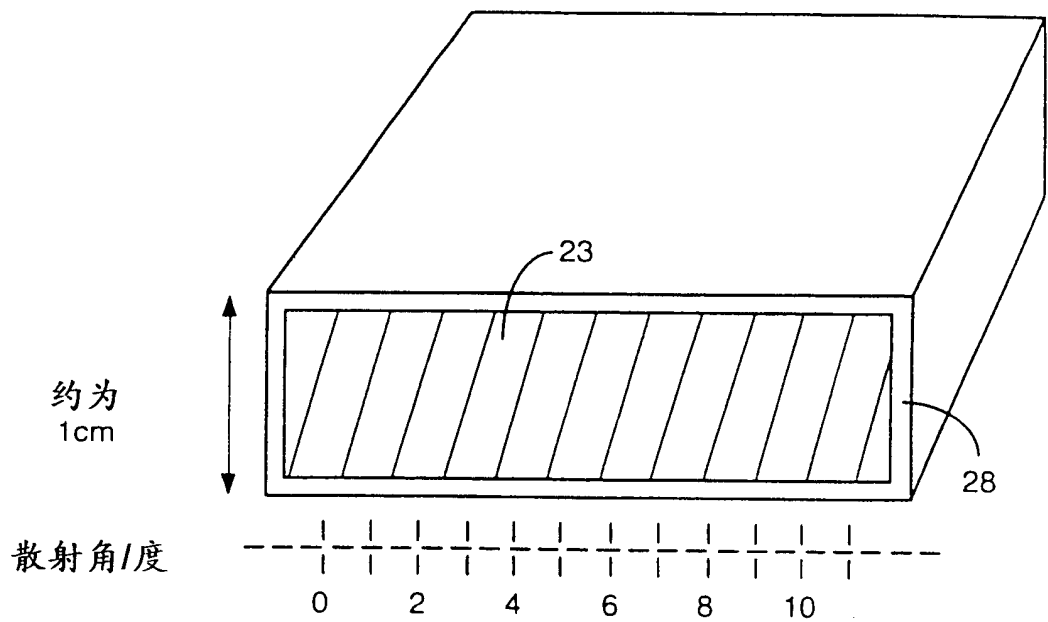


图 7

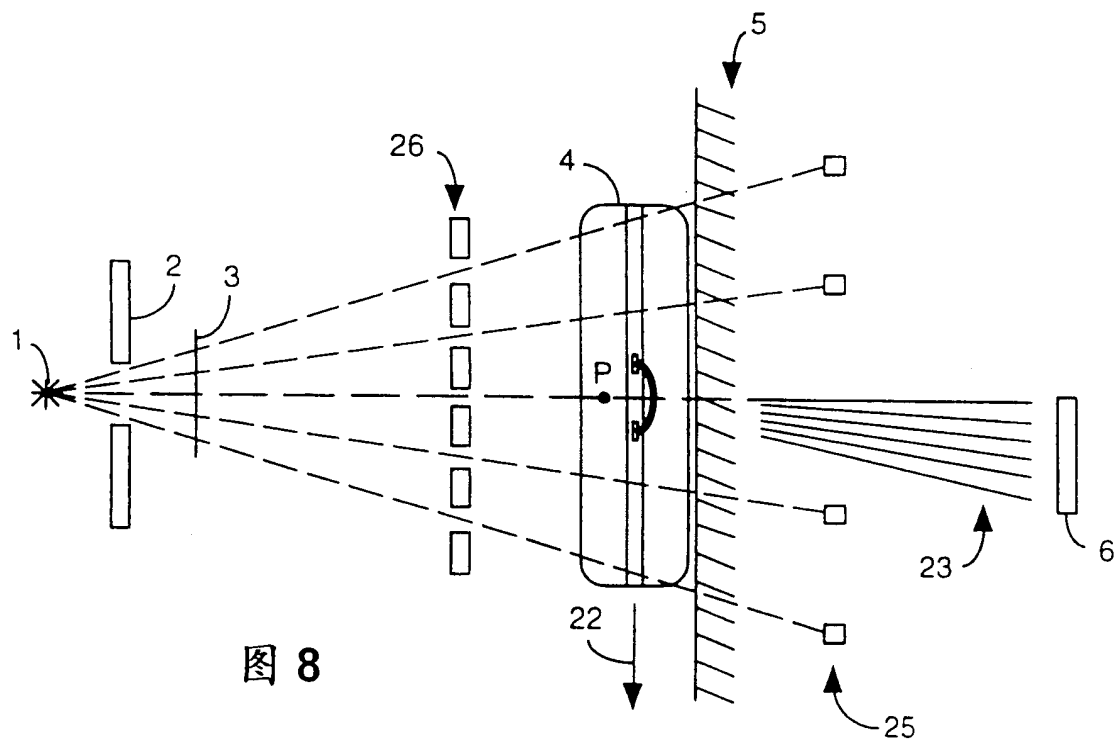


图 8