

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G21K 1/06 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03819527.5

[45] 授权公告日 2007 年 7 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1324613C

[22] 申请日 2003.6.19 [21] 申请号 03819527.5

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 19 [33] FR [31] 02/07546

[32] 2003. 1. 21 [33] FR [31] 03/00623

[86] 国际申请 PCT/FR2003/001896 2003. 6. 19

[87] 国际公布 WO2004/001770 法 2003. 12. 31

[85] 进入国家阶段日期 2005. 2. 17

[73] 专利权人 谢诺思公司

地址 法国萨瑟纳日

[72] 发明人 P·霍格霍伊 A·达里埃尔

S·罗德里格斯

[56] 参考文献

US5999262A 1999. 12. 7

US6317483B1 2001. 11. 13

US6041099A 2000. 3. 21

A point - focusing small - angle x - ray scattering camera using a doubly curved monochromator of a W/Si multilayer SASANUMA Y ET AL, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Vol. 67 No. 3 1996

审查员 杜江峰

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 程伟 王初

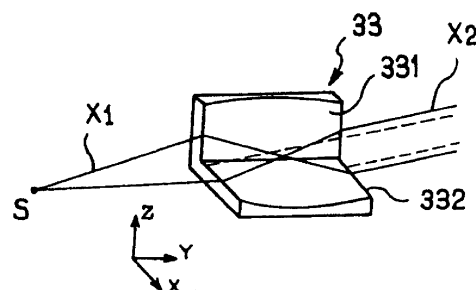
权利要求书 5 页 说明书 22 页 附图 7 页

[54] 发明名称

光学单元及有关方法

[57] 摘要

本发明涉及具有横向梯度反射多层膜的光学单元(10)，该光学单元的反射表面用于反射锐角入射的 X 射线并产生二维光学效应，其特征在于所述反射表面由单一表面构成，所述表面根据对应于两个不同方向的两个曲率成型。本发明还涉及制造所述光学单元的方法，其特征在于该方法包括已经具有曲率的基板上镀膜，而且所述基板的曲率沿着第二不同方向。本发明还公开了用于产生和处理 RX 发散角度的 X 光反射仪的装置，包括如上所述的光学单元，结合到 X 射线源上，以便光源发出的 X 射线在二维方向上被处理，以便调整光源对于样本所发出的光束，X 光束的入射角度不同于所考虑的样本。



1. 一种具有带横向梯度反射多层膜（10，20）的光学组件，所述多层膜的反射表面用于反射以低入射角度入射的 X 光束，同时产生二维光学效应，其特征在于所述反射表面由单一表面构成，所述表面根据对应于两个不同方向的两个曲率成型，所述不同方向分别对应于入射 X 光束的弧矢方向和子午方向，并且所述反射表面的弧矢曲率半径小于 20mm。

2. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：横向梯度沿着入射 X 光束的子午方向延伸。

3. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：反射表面是光滑的。

4. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：二维光学效应通过入射到光学组件的光束的单一反射获得。

5. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：多层膜是深度梯度多层膜。

6. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述反射表面适合于反射 Cu-K α 峰值光束。

7. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第一个形成为圆。

8. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第一个形成为不同于圆的曲线。

9. 如权利要求 8 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第一个形成为椭圆或者抛物线。

10. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第一个形成为开口或者封闭的不同于圆的曲线、椭圆或者抛物线。

11. 如权利要求 7 至 10 中的任一项所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第二个形成为圆。

12. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第二个形成为不同于圆的曲线。

13. 如权利要求 12 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第二个形成为椭圆或者抛物线。

14. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述两个曲率中的第二个形成为开口或者封闭的不同于圆、椭圆或者抛物线的曲线。

15. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述反射表面具有大致为复曲形的几何形状。

16. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述反射表面具有大致为抛物面形的几何形状。

17. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述反射表面具有大致为椭圆形的几何形状。

18. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：所述反射表面沿着第一方向具有大致为圆形的几何形状，沿着第二方向具有大致为椭圆或者抛物线形的几何形状。

19. 如权利要求 1 所述的光学组件，其特征在于：设置在光学组件的输入和/或输出端设有对于 X 光束不透明并具有孔径的窗口，用于控制光学组件的光通量输入和/或输出。

20. 如权利要求 19 所述的光学组件，其特征在于：所述窗口是可以拆除的。

21. 如权利要求 19 所述的光学组件，其特征在于：组件包括位于输入截面上的孔，而且位于输入截面上的所述孔的大小和形状可以调节，从而控制入射光通量。

22. 如权利要求 19 所述的光学组件，其特征在于：组件包括位于输出截面上的孔，而且位于输入截面上的所述孔的大小和形状可以调节，从而控制反射光通量。

23. 如权利要求 19 至 20 其中之一所述的光学组件，其特征在于：窗口各孔尺寸的设计可实现辐射的通量/发散的折衷。

24. 如权利要求 1 所述的光学组件，还包括镀有所述横向梯度反射多层膜的基质，所述基质的粗糙度均方根小于 10 埃。

25. 权利要求 1 至 24 其中之一所述的光学组件的制造方法，其特征在于：该方法包括在已经具有曲率的基质上镀膜，而且所述基质的曲率沿着第二不同方向。

26. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：基质已经具有曲率的方向对应于光学组件的弧矢方向。

27. 如权利要求 26 所述的方法，其特征在于：对应于光学组件的弧矢方向的基质的所述曲率形成的曲率半径小于 20mm。

28. 如权利要求 26 所述的方法，其特征在于：基质弯曲的第二不同方向对应于光学组件的子午方向。

29. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：所述基质的粗糙度

均方根小于 10 埃。

30. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：基质从管状、锥状或者准锥状的沿着垂直于管轴方向已经具有曲率的元件开始，由锥或者准锥形构成。

31. 如权利要求 30 所述的方法，其特征在于：元件是具有圆形横截面的玻璃管。

32. 如权利要求 31 所述的方法，其特征在于：玻璃是 3.3 类型硼硅玻璃。

33. 如权利要求 31 所述的方法，其特征在于：基质的形成包括沿着管子的纵向切割管子，以便获得开口的圆柱状的基质。

34. 如权利要求 33 所述的方法，其特征在于：在沿着管子的纵向切割之后，再切割光学组件以确定其长度。

35. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：进行镀膜，以便在使基质弯曲之前形成多层膜。

36. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：使基质弯曲，以便在镀膜之前使之与所述几何形状一致，以便构成多层膜。

37. 如权利要求 25 所述的方法，其特征在于：光学组件被结合到滤光片上，以便对于不需要的光谱段进行衰减，同时确保需要反射的 X 光束的预定波段具有足够的透射率。

38. 如权利要求 37 所述的方法，其特征在于：滤光片是 10 μ m 镍滤光片。

39. 如权利要求 37 所述的方法，其特征在于：滤光片通过下面的

技术之一实现：

- 实现两个滤光片，它们的组合厚度对应于需要的滤光片厚度，两个滤光片分别位于保护壳体的辐射入射和出射窗口上，所述壳体用于容纳光学组件；

- 在多层膜上沉积一层滤光材料，膜层厚度通过下面的关系式给出： $d=(e \sin \theta)/2$ ，其中 e 是需要的滤光片“光学”厚度， θ 是光学器件的入射角。

40. 一种产生和调整用于发散角度 X 光束反射测量的 X 光束的装置，该装置包括如权利要求 1 至 23 之一所述的光学组件，以如下方式连接到 X 射线源，即光源发出的 X 光束被沿着两个方向调整以便使光源发射的光束适合于入射到样本上，入射到所考虑的样本上的 X 光束具有不同的入射角。

41. 如权利要求 40 所述的装置，其特征在于：样本上入射发散角度基本上对应于沿着被光学组件反射的光束的弧矢方向的发散角度。

42. 如权利要求 40 所述的装置，其特征在于：相对于样本调整光学器件使光学组件的中心法线大致平行于样本表面。

43. 如权利要求 40 所述的装置，其特征在于：在样本水平面上捕获角沿着对应于光学组件的弧矢方向的第一方向大于 2° ，而且沿着对应于光学组件的子午方向的第二方向大约为 1° ，样本光学组件定位成 X 光束在样本上的入射发散角度大于 2° ，样本被放置在距离光学组件大于 15cm 的位置上。

光学单元及有关方法

本发明一般涉及具有横向梯度反射多层膜的光学组件，用于在低入射角度下反射 X 射线。

限定“低入射角度”是指低于大约 10° 的入射角度（入射角度相对于反射面定义）。

更具体地说，本发明涉及具有横向梯度反射多层膜的光学组件，具有在低入射角度下反射 X 射线的反射面，同时产生二维光学效应。

本发明还涉及制造所述光学组件的方法。

本发明还涉及应用于发散角度的 X 光反射仪的 X 射线的产生和调整。

“二维光学效应”是指利用两个不同空间方向的光学效应。

例如可是聚焦在一点（从点光源）或者把光线在任何空间方向上不平行光束（例如发散的锥形光束）准直。

为了产生这样的二维效应，可以组合两个一维的光学效应。

例如，可以是把来自点光源的发散光束沿着第一方向会聚（即，把这样的发散光束会聚在一条线上，而不是单一个点上），而且沿着垂直于第一方向的第二个方向会聚所述光束，以便实际上把产生的光束会聚在单一图像点上。

如上所述，发现本发明可以用于产生和调整应用于角度发散 X 射线反射仪的 X 射线方面。

本发明的其他应用（不是限制性的）涉及产生 X 射线，X 射线的分析应用，诸如衍射，晶体衍射，结晶学、结构分析、薄膜衍射、应力测量、反射仪、X 射线荧光。

还应该指出在本说明书中给出了“横向梯度”的定义。

如上所述的光学组件已经是公知的。

例如 US 6 041 099 中公开了所谓 Montel 反射镜类型的多层膜光学

组件-通过产生二维光学效应可以用于改善入射 X 光束的光学特性。

这种类型的光学器件是所谓 Kirkpatrick-Baez 传统光学设计的变化，包括两个对准但是不粘合的反射镜，所述反射镜被沿着两个方向弯曲，以便产生二维光学效应。

根据该结构改进，US 6 041 099 中公开的光学器件被并列组合（并列 Kirkpatrick-Baez 装置）并产生多层镀膜。

图 1a 示出这样的光学组件 33，包括两个并列组合的反射镜 331、332，这些反射镜的表面具有在两个轴上定心的曲率，所述两个轴彼此垂直。

还应该指出本说明书中关于现有技术状态的附图有标号“a”。

这些 KB 并列的光学组件的调整（缩略语 KB 用于指术语 Kirkpatrick-Baez）精确地是从如下事实得出的，即它们是由两个并列放置的不同元件组成的（两个单元反射镜每个都具有一个能够产生一维光学效应的表面，这些光学效应被叠加以便产生希望的二维光学效应）。

当然需要以高精度组装这些单元反射镜，这对应于精确操作。

而且，在这样的光学组件中，入射光束经历两次反射以便产生两个一维光学效应-在每个单元反射镜上反射-产生强度损失。

本发明的目的是提供一种本说明书背景技术部分所述的光学组件，而且不具有上述限制和缺点。

而且，本发明的一个方面涉及把所述光学组件应用于角度发散 X 光束反射仪。

在这种应用中，入射 X 光束在一个要分析的样本上以如下方式被调整，即入射 X 光束在样本上具有入射角度范围 θ ，该角度被限制（在成像区域水平）在几度数量级。

反射 X 光束的强度作为入射角度 θ 的函数分析可以确定参数，诸如样本上材料薄膜的厚度、结构、密度或者界面之间的粗糙度。

这样完成 $R(\theta)$ 的测量，其中 R 是测量的反射率， θ 是入射到样本上的入射 X 光束的角度。

这样的应用涉及用于微电子工业的薄膜分析中的应用。

与所谓光学技术比较，例如椭圆光度法（该技术在半导体工业中

广泛使用，用于控制电介质材料的厚度和结构），X 射线反射仪的技术事实上对于分析非常薄的薄膜（通常低于 50nm）是非常有效的。

根据不同的方法，使用不同类型的设备实现 X 射线反射仪测量是公知的。

根据第一种类型的已知方法，入射到样本上的入射光束的入射散射通过移动测量装置的可动元件获得。

根据第一种类型方法的第一种变形，使用 X 射线源和平面单色仪完成 $R(\theta)$ 的测量，通过使样本围绕垂直于样本表面和 X 光线传播方向的轴旋转获得发散角度。

这样已知的结构的例子在图 2a 中示出了。

该图示出 X 射线源 S，它发出的 X 射线被传播到单色仪 M。

样本 E1 被放置在样本台 E2 上。

样本 E1 在它的表面上有薄膜 E10，通过该薄膜可以获得反射仪的特性。

被单色仪反射入射的光束传播到样本上。它们在样本上反射后，X 射线探测器 D 接收反射的光束并进行分析。

箭头 F 示出样本台和样本的控制位移。

在该已知结构中， $R(\theta)$ 的测量需要控制装置机械元件的位移。

这样当然对于测量操作时间有影响，因为这样的位移需要高精度，也需要时间。

根据第一种类型方法的第二种变形，已知 $R(\theta)$ 的测量是在保持样本不动而是控制 X 光源和探测器的位移完成的，所述探测器在所述 X 光束从样本上反射后吸收所述 X 光束，控制光源和探测器的移动以便相对于样本对称。

应该理解在这种情况下，所完成的位移严重影响完成测量的持续时间。

因此实现 $R(\theta)$ 测量的这些已知技术需要相当长的时间，这本身就是一种局限性（例如，应用于微电子工业的薄膜分析）。

根据第二种类型已知类型的 X 光束反射仪方法，到达样本的光束的入射散射通过光学组件获得，所述光学组件能够产生一维或者二维光学效应。

所述第二种类型方法被称为发散角度 X 光束反射测量。

这样的方法的原理在图 3a 中示出，其中示出了能够实现发散角度 X 光束反射测量的装置 40 的一维视图。

该装置 40 包括：

- 用于产生和调整 X 光束的装置 41。这些装置包括 X 射线源和用于调整从所述 X 射线源发出的 X 光束的光学组件，光学组件能够以希望方式调整 X 光束，所述 X 光束将被传播到样本 42 上；
- 以及 X 射线探测器 43。

装置 41 的光学组件完成的调整对应于被控制的传播到样本的 X 光束的入射散射。

因此可以使 X 光束以几度发散角度入射到样本。

根据本发明的一个优选应用，需要获得 2° 左右数量级的发散角度。

在样本反射的光束然后被探测器 43 接收。

应该指出装置 41 的光学组件完成的光学控制可以对应于一维光学效应（例如只沿着一维聚焦），或者二维光学效应。

通常探测器 43 是 PSD 类型（“位置敏感探测器”）并包括具有大量像素的 CCD 或者发光二极管类型的传感器 430。

在本发明情况下或者通常二维光学器件中，探测器 43 可以是二维探测器。

二维探测器能够区分和重组对应于相同入射角度值的像素。

而且人们对于这种类型的探测器特别感兴趣，因为位于不同水平位置的像素（这里水平方向定义为垂直于图 3a 中的平面的方向）可以对于相同入射角。

事实上沿着所述第二维方向（垂直于图中的平面）的一定程度的发散使入射在样本上的 X 光束的入射角产生微弱的变化。

在与本发明有关的应用情况下在所述第二维方向上 1° 数量级的发散是可以允许的。

因此这种类型的二维探测器能够有利地利用二维光学器件，特别是能够有利地利用接收沿着二维方向的重要光通量的光学器件，这正是本发明光学组件的情况。

为了实现用于发散角度 X 光束反射测量的光束的二维控制，根据第一种变形已知利用来自光学组件的由 X 射线源发射的光束的衍射，所述光学组件的表面是沿着二维方向弯曲的晶体。

这样的晶体能够通过 X 光束衍射现象调整初始光束，所述现象根据布拉格法则发生。

应该引起注意的是晶体的布拉格条件以如下形式表示： $n\lambda=2d\sin\theta_B$ ，其中 n 是反射级， λ 是发生衍射的入射光辐射的波长， d 是晶体产生衍射的晶体原子平面之间的空间周期， θ_B 是入射到这些相同原子平面上发生衍射必须的入射角度。

考虑一束 X 光入射光束，波长为 λ 的光束以入射角 θ_B 入射到晶体上，所述入射角度 θ_B 相对于某一组晶体原子平面定义，如果满足上述布拉格条件，所述光束将衍射到这些同一原子平面上。

因此沿着二维方向弯曲的晶体能够使初始光束产生二维效应，以便实现光束调整。

因此所述调整能够对应于沿着两个不同方向的聚焦。

晶体与多层膜比较，其特别之处在于难以在这样的晶体上产生梯度，以便提高晶体的有效区域。

在这方面，可以参考文件“Approaching real X-ray optics”，Hildebrandt 等人，Rigaku Journal, Vol. 17 N°1/2000(具体在第 18 至第 20 页)。

这样，考虑到对于沿着由晶体形成的光学组件的方向衍射的 X 光束的光通量而言，入射到所述晶体的光束的入射角度变化很大（由于没有梯度，接收面存在局限），导致晶体存在局限。

上述方向对应于由晶体形成的光学组件的子午方向。

根据发散角度 X 光束反射测量方法的第二种变形，该方法包括通过产生二维效应的光学组件执行光束调整，还已知利用来自 X 射线源的初始光束在“并列”Kirkpatrick-Baez 装置类型的光学组件上的反射，如同 US 6 041 099 中公开的一样。

KB 装置中的两个反射镜中的每一个优选具有横向梯度多层镀膜，使得初始光束 X1 根据布拉格法则反射。

我们将返回来定义横向梯度多层膜。

因此这些并列 **KB** 类型光学组件使得能够调整初始光束。

但是如同本说明书后面所详细示出的一样，这样的光学组件可能与重要尺寸有关。

这当然构成对这些已知装置的限制。

因此为了应用于发散角度 X 光束反射测量实现 $R(\theta)$ 测量的所有已知方案都表现出包含有一定的局限性。

这包括其他情况，即当对于聚焦距离大于 150mm 在样本上的入射发散角度大于 2° 而且接收的光通量一定非常重要（沿着光束的一般传播方向的横向方向大约为 1° 的发散角度）。

本发明的另一个目的是能够克服这些局限性。

为了实现上述目的，根据本发明的第一个方面本发明具有带横向梯度反射多层膜的光学组件，所述多层膜的反射表面用于反射低入射角度入射的 X 光束同时产生二维光学效应，其特征在于所述反射表面由单一表面构成，所述表面根据对应于两个不同方向的两个曲率成型。

本发明光学组件的优选方面如下所述，这些优选方面并非是限制性的：

- 横向梯度沿着入射 X 光束的子午方向延伸；
- 反射表面是光滑的；
- 二维光学效应通过入射到光学组件的光束的单一反射获得；
- 所述不同方向分别对应于入射 X 光束的弧矢方向和子午方向；
- 多层膜是深度梯度多层膜；
- 所述反射表面适合于反射 $\text{Cu-K}\alpha$ 峰值光束；
- 第一所述两个曲率形成为圆；
- 所述两个曲率中的第一个形成为不同于圆的曲线；
- 所述两个曲率中的第一个形成为椭圆或者抛物线；
- 所述两个曲率中的第一个形成为开口或者封闭的不同于圆的曲线、椭圆或者抛物线；
- 第二所述两个曲率形成为圆；
- 所述两个曲率中的第二个形成为不同于圆的曲线；
- 所述两个曲率中的第二个形成为椭圆或者抛物线；

- 反射表面具有大致为复曲形的几何形状；
- 反射表面具有大致为抛物线形几何形状；
- 反射表面具有大致为椭圆形几何形状；
- 反射表面沿着第一方向具有大致为圆形几何形状，沿着第二方向具有大致为椭圆或者抛物线形几何形状；
- 反射表面的弧矢曲率半径小于 20mm；
- 在光学组件的输入和/或输出端设有对于 X 光束不透明并具有孔的窗口，以便控制光学组件的光通量输入和/或输出；
- 窗口是可以拆除的；
- 组件包括位于输入截面上的孔，而且位于输入截面上的所述孔的大小和形状可以调节，以便控制入射光通量；
- 组件包括位于输出截面上的孔，而且位于输出截面上的所述孔的大小和形状可以调节，以便控制反射光通量；
- 窗口的孔的形状设计能够实现辐射通量/发散的折衷。

根据本发明的第二部分，本发明还提出一种控制根据上述方面之一的光学组件的方法，其特征在于该方法包括已经具有曲率的基质上镀膜，而且所述基质的曲率沿着第二不同方向。

所述制造方法的优选方面如下所述，这些优选方面并非是限制性的：

- 基质已经具有曲率的方向对应于光学组件的弧矢方向；
- 对应于光学组件的弧矢方向的基质所述曲率形成为曲率半径小于 20mm；
- 基质弯曲的方向对应于光学组件的子午方向；
- 所述基质的粗糙度均方根小于 10 埃；
- 基质从管状、锥状或者准锥状的沿着垂直于管轴方向已经具有曲率的元件开始，由锥或者准锥形构成；
- 元件是具有圆形横截面的玻璃管；
- 玻璃是 Duran 类型（注册商标）；
- 基质的形成包括沿着管子的纵向切割管子，以便获得开口圆柱状的基质；
- 在沿着管子的纵向切割之后，再按照光学组件的长度切割；

- 进行镀膜，以便在使基质弯曲之前形成多层膜；
- 使基质弯曲，以便在镀膜之前使之与所需几何形状一致，以便构成多层膜；
- 光学组件被结合到滤光片上，以便对于不需要的光谱段进行衰减，同时确保需要反射的 X 光束的预定波段具有足够的透射率；
- 滤光片是 10 μ m 镍滤光片；
- 滤光片通过下面的技术之一实现：
 - 实现两个滤光片，它们的组合厚度对应于需要的滤光片厚度，两个滤光片分别位于保护壳体的辐射入射和出射窗口上，所述壳体用于容纳光学组件；
 - 在多层膜上沉积一层滤光材料，膜层厚度大约通过下面的关系式给出： $d=(e \sin \theta)/2$ （其中 e 是需要的滤光片光学厚度， θ 是光学器件的入射角）。

根据本发明的第三方面，本发明提供一种产生和调整用于发散角度反射测量的 X 光束的装置，该装置包括以如下方式连接到 X 射线源的根据上述方面之一的光学组件，即光源发出的 X 光束被沿着两个方向调整以便使光源发射的光束适合于入射到样本上，入射到所考虑的样本上的 X 光束具有不同的入射角。

该装置的优选方面如下所述，这些优选方面并非是限制性的：

- 样本上入射发散角度基本上对应于被光学组件反射的光束的弧矢方向的发散角度；
- 相对于样本调整光学器件使光学组件的中心法线大致平行于样本表面；
- 样本光学组件定位成在样本水平面上的接收角度沿着对应于光学组件的弧矢方向的第一方向大于 2°，而且沿着对应于光学组件的子午方向的第二方向大约为 1°，以便 X 光束在样本上的入射发散角度大于 2°，样本被放置在距离光学组件大于 15cm 的位置上。

本发明的其他方面、目的和优点通过下面结合附图对本发明优选实施方案的描述将更为清楚。

- 图 1a 示出了一种具有“并列 Kirkpatrick-Baez 装置”的构造的已

知光学组件；

- 图 2a 示出了根据第一已知 X 光束反射方法的用于执行 X 光束反射测量的构造；

- 图 3a 示出根据第二已知 X 光束反射方法的用于执行 X 光束反射测量的构造；

- 图 1 是根据本发明第一实施方案的能够实现入射 X 光束二维聚焦的光学组件的块图；

- 图 2 是根据本发明第二实施方案的能够实现入射 X 光束准直的光学组件的模拟视图；

- 图 3 是根据本发明第三实施方案的获得低反射光通量发散的光学组件的模拟视图；

- 图 4 是根据本发明的发散角度 X 光束反射测量装置的块图（为了清楚起见，X 光束探测器在该图中没有示出）；

- 图 5a 和 6a 是以示意方式强调关于已知类型的 KB 光学组件伸长极限，所述伸长是为了提高沿着垂直于光束传播方向的方向上的反射光束的发散角度所必须的。

在本发明说明书的背景技术部分就已经说明了：附图只是用于示出发明的原理，而没有必要实际示出尺寸和比例。

这对于 X 光束的入射角度（或者反射角度）尤其是正确的。

这些 X 光束实际上以小于 10° 的入射角度入射到反射表面上。

子午和弧矢方向也相对于 X 光束的一般传播方向定义的：

- 子午方向对应于该光束的平均传播方向（更精确地说对应于光束在将要描述的光学组件上反射之前和之后的各平均传播方向的平均方向）。

- 弧矢方向对应于横贯于所述子午方向的水平方向（在此垂直方向定义为光学组件的反射表面部分的平均法线方向，所述光学组件将要在下文中描述，并有效用于入射 X 光束的反射）。

本发明中考虑的光学组件的揭示

现在参考图 1，该图中示出设计用于反射来自 X 射线源 S 的入射

X 光束的光学组件 10。

光源 S 具体可以是 X 光束管、旋转阳极或者微焦点 X 射线源类型。

光学组件 10 包括形成在基质（例如玻璃）上的多层膜结构，所述基质用于形成入射 X 射线的反射表面。

该光学组件的反射表面具有特定的几何形状。

更精确地说，反射表面根据对应于两个不同方向的曲率成型。

因此该反射表面相对于用于诸如 US 6 041 099 中公开的光学组件类型的反射表面具有显著差别，该反射表面：

- 反射表面是单个反射表面，与两个不同单元反射镜放在一起的光学组件的情况不同；
- 反射表面光滑（本说明书中该术语是指反射表面没有任何二级不连续（突起或者棱角-突出或者凹陷等））；
- 而且，一个很重要的差别是在本发明情况下，为了产生希望的二维光学效应，入射光束只经过一次反射，而 US 6 041 099 中公开的光学组件情况下需要反射两次。

更精确地说，根据本发明的光学组件的反射表面在子午方向 X 上具有曲率 R_x ，在弧矢方向 Y 上具有曲率 R_y 。

图 1 示出这些曲率半径，示出两个曲线 C_x 和 C_y 以便示出由各个曲率半径 R_x 和 R_y 形成的曲线的形状。

两个曲率半径中的每一个可以是常数，也可以沿着它的相关曲线而变化。

因此曲线 C_x 和 C_y 中的每一个可以圆，也可以是椭圆、抛物线或者其他曲线（开口或者封闭）。

在任何情况下，光学组件 10 的反射表面不是简单的球面形状（即，曲率半径 R_x 和 R_y 不是同时相等和恒定的）。

曲线 C_x 和 C_y 中的每一个与不同的空间方向相关（在这里的例子中是两个垂直方向）。

这些曲线中的每一个对于在反射表面上反射的 X 光束产生一个光学效应：

- 曲线 C_x 沿着方向 X 产生一维光学效应；
- 曲线 C_y 沿着方向 Y 产生一维光学效应。

这些方向上的光学效应中的每一个与曲线的曲率有关，并与沿着该曲线的所述曲率的变化有关。

因此曲线 Cx 和 Cy 具有自身的设定参数，以便有选择地获得有关的一维效应，诸如一维准直或聚焦。

图 1 示出每个曲线 Cx、Cy 产生一维聚焦的情况。

为此，Rx 和 Ry 不同，但是每个都是常数（曲线 Cx 和 Cy 是圆）。因此在该优选实施方案中，光学组件的反射表面具有复曲面形状。这样产生二维聚焦，把来自光源 S 的发散光束会聚在单一图像点 I 上。

曲率半径 Ry（弧矢曲率半径）的数值可以小于短距离聚焦所必须的 20mm（在本实施方案中与其他实施方案中一样），根据本发明的优选应用可以短于 90cm。我们将反回来说明这方面。

读者可以注意到，根据本发明的光学组件使得能够克服在本说明书背景技术部分提高的关于多层膜“Montel”类型的反射镜的缺点。

特别是，如上所述，这种类型的光学组件是单片的（不需要精密装配）。

入射 X 光束在反射表面上只经过单次反射。

而且，反射表面是单一且光滑的。

业已陈述过：光学组件 10 的反射表面由多层膜形成。

该多层膜（以及本说明书中所述的所有多层膜）包括最少一个“横向梯度”。

该特征使得能够有效反射相对于反射表面位于不同位置的 X 光束。

应该理解事实上反射表面的不接收具有相同位置入射的入射 X 光束（由于入射光束发散，和该反射表面的几何形状）。

这里横向梯度反射多层膜，是指膜层结构已经过调整，从而在反射镜的有效区域内的所有点满足布拉格条件的多层膜。

应该注意的是布拉格条件是如下形式： $n\lambda=2d*\sin\theta$ ，其中：

n：反射级，

λ ：入射光辐射的波长；

d：多层膜的周期，

θ : 多层膜表面上的入射角度。

因此, 对于沿着例如包括铜 $K\alpha$ (Cu- $K\alpha$ 波长峰值大约为 0.154nm) 的窄波段入射的 X 光束辐射, 横向梯度多层膜反射镜能够使在反射镜的整个有效区域满足布拉格条件。

这样使得预定波段被反射镜的不同区域反射 (在上述例子中包括铜 $K\alpha$ 峰值), 在所述反射镜上入射光束具有不同的入射局部角度。

这样能够使可有效利用的反射镜表面得以增大。

以改进的方法, 通过局部改变多层膜周期而获得梯度。

这种类型的横向梯度多层膜结构能够增大光学组件的立体采集角, 从而导致与相同光学结构的全反射操作单层膜反射镜相比, 反射的光通量得以提高。

存在横向梯度还使得能够克服某种已知结构的局限性, 诸如利用 Rowland 圆的结构, 对于这种结构光源与光学器件之间的距离及光学器件与样本之间的距离是相同的, 光学器件上入射角度的变化对于小型光学器件非常小。

事实上, 利用 Rowland 圆使得可以使用没有梯度的光学器件的结构, 但是局限性是不能相对于光源放大或缩小图像区域 (图像区域相对于光源减小可以考虑通过使用狭缝, 但是这意味着不是很精确, 并限制接收的光通量)。

对于这种已知结构的描述可以在如下文章中找到, 该文章名称为 “A Point-focusing small-angle x-ray scattering camera using a doubly curved monochromator of a W/Si multiplayer”, 作者为 Sasanuma 等, (Review of Scientific Instruments, American Institute of Physics, 纽约, vol. 67 N°3, 1996 年 3 月 1 日(第 688-692 页))。

应该指出本发明不同实施方案的多层膜结构也可以具有深度梯度 (多层膜的厚度上有梯度)。

这样的深度梯度能够对于固定入射角度和不同波长满足布拉格条件, 或者反之亦然。

从而, 可以提高例如对于多层膜光学组件的通过波段的宽度, 并能够在同一给定图像平面的水平上聚焦或准直不同波长的 X 光束 (固定结构的情况——即, 其中入射光束的光源、光学组件及图像平面的相

对位置是固定的结构)。

以这种方式可以利用具有不同波长的 X 射线源, 以便利用同一光学组件反射来自不同光源的 X 光束, 而不需要重新相对于光学组件对光源和/或图像平面进行定位。

在这种情况下, 利用了光学组件的波长允许范围(允许范围以 $\Delta\lambda$ 表示)。

以同样方式, 也可以把以 $\Delta\lambda$ 表示的波长允许值范围变换为以 $\Delta\theta$ 表示的角度允许值范围。

事实上波长允许值范围对应于——在布拉格条件范围内——入射角度允许值范围, 对于入射光束能够在恒定波长被接收并反射入射光通量, 同一波长的光束具有不同入射位置。

特别是, 以这种方式可以利用较大尺寸的 X 射线源(提高角度允许范围)。

现在参考图 2, 该图示出了本发明的另一个优选实施方案, 表示为光学组件 20。

该光学组件的多层膜的反射表面在各自的 X 和 Y 方向分别沿着两个曲线 Cx 和 Cy 成型, 分别是抛物线和圆形, 这些曲线中的每一个沿着与之相关的 X 和 Y 方向发生准直。

因此从发散的入射光束产生空间上沿着所有方向平行准直。

因此, 可以认识到根据本发明的光学组件由多层膜反射镜构成(横向具有梯度, 还可以进一步具有深度梯度), 所述反射镜的反射表面可以具有任何不同非球面复杂面形中的一种。

因此特别是使所述反射表面具有如下一种几何形状:

- 大致复曲面状的几何形状;
- 大致抛物线形的几何形状;
- 大致椭圆形状的几何形状;
- 沿着第一方向(具体是弧矢方向)为大致圆形, 沿着第二方向(具体是子午方向)为椭圆或抛物线形状。

具体地横向梯度可以沿着入射 X 光束的子午方向延伸。

可以调整多层膜的周期以便特别反射 Cu-K α 峰值光束。

现在参考图 3, 该图示出根据本发明的光学组件 30, 其具有两个

端壁 31 和 32, 分别位于必须由该光学组件反射的辐射的输入截面和输出截面。

每个端壁 31 和 32 具有一允许 X 光束通过的孔(分别为 310 和 320), X 射线不可透过各端壁本身。

端壁可以由例如铅制成。

而且, 可以调整每个孔的形状和大小(独立于另一个孔), 以便控制入射光通量(通过位于入射截面上的孔)和反射的辐射(通过输出截面上的孔)。

因此可以控制各孔的尺寸, 以便在光通量强度(输入或者输出)与发散度之间进行折衷。

应该指出端壁 31 和 32 可以设计成可拆除的, 例如如图 3 所示, 被螺接到光学组件的水平横向各边。

以这种方式, 可以以灵活方式调整光学组件, 以便根据需要寻找希望的光通量/发散之间的折衷。

也可以单独考虑输入壁或输出壁。

而且带有孔的每个壁构成能使 X 光束通过的“窗口”。

优选制造方法的揭示

现在描述能够获得上述类型的光学组件、同时具有如下优点的优选方法:

- 确保用于形成多层镀膜的基质具有良好的表面状况(X 光束多层膜反射镜基质的表面粗糙度指标通常对应于粗糙度 rms(均方根)最大值不超过大约 10 埃); 而且

- 在使得表面沿着极度减小的弧矢曲率半径 R_y 值形成为例如小于 20mm(使得例如能够在光源-焦点之间的距离小于 90cm 范围内聚焦)。

事实上, 用下述方法获得用于镀多层膜的具有所述曲率半径和表面状况的基质表面将是困难的:

- 通过对已经具有所述低弧矢曲率的基质进行抛光: 在这种情况下对预成型基质的抛光非常棘手;

- 或者, 通过沿着弧矢曲率半径 R_y 方向弯曲已经抛光的平面基质—在这种情况下将难以获得所希望的低曲率半径(这样的曲率半径能

够导致在短距离内实现所需的光学效应，从而能减小光学组件所占据的空间）。

在这种情况下根据本发明的制造方法中，通过利用用于形成光学组件的沿着曲率方向已经具有曲率的基质，能够获得希望的表面状况而不需要任何特殊处理。

沿着基质已经具有曲率的方向优选对应于光学组件的弧矢方向，一旦后者已经制造出来并相对于 X 射线源定位（如上所述该方向是相对于入射辐射定义的，但是在一定程度上也可以关于光学组件本身定义，使相对于入射辐射以特定方式指向光学组件）。

这样的基质具有工作面对应于光学组件的工作面，所述光学组件具有反射表面。基质的该工作面称为“光学面”。

因此，通常根据本发明所使用的基质已经具有一个曲率（沿着优选使之对应于光学组件的弧矢方向的方向），而且该基质被沿着不同的第二方向（最好对应于光学组件的子午方向）弯曲。

对具有多层膜的基质的光学面进行镀膜。该膜层可以在弯曲所述基质之前或者之后进行。

在任何情况下，以这种方式获得光学组件。

通过选择具有希望曲率（以曲率半径的形式和数值）的基质，根据需要把它弯曲，可以获得具有希望形状的光学组件。

具体地也可以使用诸如管子、锥状或者准锥状（这里定义为通过沿着诸如椭圆曲线旋转所产生的直线形成的回转表面，所述直线与它的旋转轴斜交并在空间与和后者相交）的元件构成基质本身。

在元件是管子形状情况下，管子可以具有圆形横向截面，但是也可以是椭圆或者对应的任何封闭曲线。

这种元件也可以是开口柱体，它的准线是开口曲线，诸如抛物线段。

在任何情况下，开始元件沿着优选对应于所要制造的光学组件弧矢方向的方向具有曲率。

而且该方向垂直于管子、锥形或者准锥形的轴线。

在优选实施方案中，这样的基质具体可以利用玻璃管子获得，所述玻璃管子的横向截面是圆形。

在该优选实施方案中，用于制造光学组件并且沿着一个方向具有曲率的基质可以具体以如下方式获得：

- 切割具有希望的弧矢曲率半径的玻璃管子，诸如 SCHOTT 公司生产的 Duran 类型（注册商标）玻璃管子；然后
- 对所切割的管子连续镀薄膜材料，以便最终形成多层膜。

然后以希望的曲率沿着一个方向（优选为子午方向）弯曲该基质，以便获得光学组件。

应该指出在本实施方案中与在其他实施方案中一样，可以首先进行元件（这里是切割的管子）弯曲处理，然后进行镀膜。

应该指出，在实施根据本发明的制造方法的所有实施方案中，这样制成的多层膜都是横向梯度多层膜（也可以具有垂直梯度）。

切割玻璃管子沿着管子的纵向进行，沿着平行于管子对称轴的方向完成截面切割（也可以包括所述对称轴，以便形成半管），以便获得开口圆柱体形式的基质。

在该优选实施方案中该开口圆柱体的准线的形状是圆的一部分，例如半圆。

纵向切割之后进行再次切割，以便确定光学器件的长度尺寸。

在这些切割操作之后，形成了用于制造根据本发明的光学组件的基质。

在给基质镀上多层膜之后，沿着希望的第二方向弯曲所述镀膜基质，所述第二方向对应于子午方向，以便根据所需的几何形状构造多层膜的表面。

这样，在该制造根据本发明的光学组件方法的优选实施方案中，柱状基质可以构成为准线形状大致为圆形的一部分，然后对所述基质进行镀膜，该基质的弯曲沿着没有包括在所述基质的柱体准线平面内的方向（具体是沿着柱体的母线方向）。

申请人发现与上述任何一种技术相比，根据本发明的光学组件非常易于制造（对整体形状已经符合所需形状的基质镀膜，或者沿着平面多层膜的两个方向弯曲）。

从而，能够获得表面状况非常好的基质（粗糙度均方根不超过 10 埃），用于后面多层镀膜，而且弧矢曲率半径小（小于 20mm）。

因此可以在短距离上获得光学效应。

在两个一维聚焦情况下，应该注意切线方向（子午方向）和弧矢方向聚焦特性由下面的公式给出，对于复曲面反射镜：

- 切线方向聚焦为： $1/p + 1/q = 2/(R_x \sin\theta)$ ，其中 p ：光源与反射镜之间的距离； q ：反射镜到聚焦平面的距离； θ ：入射角；

- 弧矢方向聚焦为： $1/p + 1/q = 2\sin\theta/R_y$ （对于两个聚焦方向，两个公式中距离 p 和 q 是相同的）。

应该指出，也可以有变化方式，即也是从切割管子开始，以便获得准线开口的柱体，然后调换在第二方向镀膜和弯曲的顺序，使之与上面公开的顺序相反。

在这种情况下，首先使柱体基质弯曲，然后进行镀膜以便在这样形成的符合表面上形成多层膜。

在任何情况下，可以用任何种类的能够形成 X 光束多层反射膜的材料完成镀膜。

而且所述镀膜可以使用任何类型的已知镀膜方法。例如溅射（可以用等离子体辅助）或者另一种类型：真空镀膜方法。

还应该指出对于需要光谱纯度高的应用，反射 X 光束的光学组件可以与使用适当材料和厚度制造的滤光片连接，以便对不希望的谱段进行衰减，同时确保在所要反射的入射 X 光束所需的预定波段上有足够的透过率。

因此，对于具有 W/Si 多层膜以便反射铜 $K\alpha$ 峰值的光学器件，可以利用 $10\mu\text{m}$ 镍滤光片把铜 $K\beta$ 峰值（ 0.139nm ）以系数 8 衰减，同时保持 $K\alpha$ 峰值有足够的透过率（大于 60%）。

利用多层膜除了获得“自然单色”之外也获得所述滤光功能，因此使得能够应用于光谱纯度优先的情况，以便提高本发明公开的光学器件的多层膜的性能。

关于这方面，可以考虑滤光片的两个可选实施方案：

- 完成两个滤光片，它们的组合厚度对应于要求的滤光片厚度（例如两个滤光片的厚度相同，均等于要求的整个厚度的一半），分别位于容纳光学组件的保护壳体的入射输入和输出窗口；

- 在多层膜上镀一层（用于滤光片的）材料。因此，光学器件的表

面包括反射多层膜（横向梯度）和具有滤光功能的表面膜层，以便提高反射的辐射的光谱纯度。这样镀膜的厚度大约由下面的关系式确定： $d=(e \sin\theta)/2$ ，（其中 e 是需要的滤光片光学厚度， θ 是光学器件的入射角）。

具体应用模式的公开

下面将公开本发明的一个方面，更具体地说，该方面涉及角度发散 X 光束反射测量。

图 4 示出装置 60，该装置能够实现这种应用中的 $R(\theta)$ 的测量。

更精确地说，在该图中示出了：

- X 射线源 S；
- 光学组件 61，用于调整光源 S 发出的初始光束 X1；
- 样本 62。

为了清楚起见，通常设计用于对从样本反射的光束进行检测的 X 射线探测器在该图中未示出。

参考图 4，应该指出光学组件 61 上反射光束 X2 的发散角度并不具有代表性。

事实上，在图 4 中，沿着子午方向的发散角度（ β_M ）大于沿着弧矢方向的发散角度（ β_S ）。这不是根据本发明的有利替代方式的情况。

装置 60 包括发射初始光束 X1 的 X 射线源 S。

从光源发出的初始光束 X1 被传播到光学组件 61，所述光学组件 61 的反射表面由对应于两个不同方向的两个曲率构成。

因此该光学组件 61 能够使初始光束 X1 产生二维光学效应，以便产生具有控制的发散角度的光束 X2。

然后光束 X2 被传播到的样本 62，该样本 62 的反射率特性是需要得知的，该特性用于例如在本发明的说明书开始处所提到的关于 $R(\theta)$ 类型的测量应用之中。

对于样本上给定分析区域的所有 $R(\theta)$ 测量，装置 60 的不同元件是固定的。

而且，光学组件 61 能够根据二维效应（通常是二维聚焦）产生按照希望调整的光束 X2。

更精确地说，光学组件 61 调整光束 X2 以便在样本面上获得高会

聚角度，特别是沿着对应于光学组件 61 的弧矢方向的方向（即图 4 中的 Y 方向）。

更精确地说，根据本发明的一个较佳可选方式：

- 样本面上的捕获角（即光学器件的会聚角）：
 - 沿着一个方向（对应于光学器件的弧矢方向）大于 2° ；
 - 沿着另一个方向（对应于光学器件的子午方向）大约为 1° ；
- 光束 X2 在样本上的入射角度发散大于 2° ，样本放置在距离光学组件大于 15cm 的位置。

具体这是通过如下方式实现的：

- 通过光学组件 61 的表面几何形状；
- 通过光学组件相对于样本 62 的位置：该位置限定为使到达样本上的 X 光束的入射角度发散度大于 2° 。

该装置 60 使得能够快速进行角度发散的 X 光束的反射测量，因为这并不需要替换任何机械元件。

事实上是光学组件 61 通过控制所述光束使光束 X2 产生角度发散，使得所述光束适合于样本面，以便到达样本的 X 光束在所考虑的图像区域（光学组件在样本上的焦点）具有不同的入射角度。

从而，光学组件 61 具有单个反射表面，该表面在两个维度方向弯曲，沿着弧矢方向具有第一曲率，沿着子午方向具有第二曲率。

图 4 更详细地示出了该光学组件。

在这种情况下，光学组件能够在二维方向进行聚焦，沿着 Y 方向具有第一曲率（圆形曲率 CY），沿着 X 方向具有第二曲率（圆形曲率 CX）。

在该精确情况下，光学器件具有复曲形状。

通常，在二维聚焦情况下，光学组件 61 可以具有复曲形状或者椭圆形状。

在二维准直情况下，光学组件 61 也可以具有抛物线形状。

根据另一种变形，光学组件 61 可以沿着一个方向具有圆形曲线，例如沿着弧矢方向，而沿着另一个方向具有抛物线形曲线，例如沿着子午方向。

光学组件 61 具有横向梯度多层膜（即沿着对应于图 4 中的 X 方向

的子午方向)。

应该注意在光学组件 61 的前面可以添加附加元件(在光源 S 与所述光学组件之间)，例如狭缝，以便调整光束。

光学组件 61 具有大的有效接收面积，使得能够获得样本方向的高会聚角度光束，具体是沿着光学器件的弧矢方向。

举例来说，对于聚焦距离大约为 200mm 时，光学组件 61 的有效接收面积沿着弧矢方向的尺寸可以大约为 1cm。上述尺寸对应于沿着弧矢方向连接有效接收面积的两个端点获得的直线的长度。

因此对于曲率半径大约为 7mm 的光学组件(并利用放置在 40cm 处的光源聚焦光束)，有效接收面积可以对应于沿着弧矢方向大约四分之一圆部分，即大约为 1cm，对应于样本上大约 3° 的捕获角。

根据本发明的较佳可选方式，光学组件 61 使得能够在样本方向获得如下捕获角：

- 沿着光学组件 41 的第一方向(对应于它的弧矢方向，即图 4 中的 Y 方向)大于 2°；
- 沿着光学组件 61 的第二方向(对应于它的子午方向，即图 4 中的 X 方向)大约为 1°。

在这种结构中，样本位于大于 150mm 的聚焦距离处(光学组件 61 与样本之间的距离)。

举例来说，聚焦距离可以是大约 300mm 到 200mm。

应该相对于样本以如下方式调整光学组件 61 的方位，即样本上 X 光束的入射角度发散度大于 2°。

光学组件 61 的方位定义为围绕它的光轴(平行于子午方向的轴)作给定旋转的该光学组件的角度位置。

该装置的元件的优选位置包括以如下方式调整光学组件，即样本上的入射发散角度实质上对应于反射光束 X2 在光学组件上沿着弧矢方向的发散角度(图 4 中的 Y 方向)。

因此优选位置包括以如下方式调整光学组件，即光学组件的有效面积的平均法线(或者光学器件中心的法线)大致垂直于样本表面。

对于本发明的应用领域，样本上的平均入射角度低，在入射角度非常低(平均入射角度大约为 1°)情况下，光学组件 61 的方位可以

描述为如下形式：

- 使得光学组件的平均法线大致平行于样本 62 的表面；
- 光学组件 61 的弧矢方向大致垂直于样本 62 的表面；
- 光学组件 61 的子午方向大致平行于样本 62 的表面。

这种类型设计的结构在图 6 中示出。

在根据本发明优选应用的任何情况下，光学组件 61 都不应该以如下方式调整，即如果考虑低入射角度（样本 62 上的入射角度发散度应该实质上对应于沿着光束 X2 子午方向的发散角度）光学组件 61 的有效面积的平均法线大致垂直于样本 62 的表面。

沿着光学组件的第二方向，即子午方向，光学组件使得能够接收重要光通量，而且根据优选应用，反射光束 X2 的发散沿着子午方向（图 4 中的 X 方向）大约为 1° 角度。

光学组件 61 使得能够在样本面上获得高发散角度的入射光束，同时调整样本面上的最大光通量。

应该注意，与使用并列 KB 类型的光学组件作为产生二维光学效应的光学组件结构比较，本发明能够实现更紧凑的装置。

光学组件 61 事实上使得对于给定长度（沿着子午方向）沿着弧矢方向获得比通过 KB 类型光学器件调节的结构更大的接收面积。

因此，在本发明情况下，通过光学组件的有效面积处理的光束的发散角度沿着弧矢方向比较大，因此在样本上获得高发散角度。

作为一个例子，参照图 5a 和 6a，利用 KB 类型的光学组件获得相同的发散角度需要沿着 Y 方向加长光学组件。

在 KB 类型的光学元件情况下，事实上任何入射光束必须入射到特殊区域（对应于图 5a 和 6a 中反射镜的阴影区域）经过两次反射。

因此导致对于这样已知的光学元件，可以接收的立体角受到光学组件的长度的限制。

而且，对于水平截面方向和垂直截面方向（分别是图 5a 和 6a 中的 Z 方向和 X 方向）都存在这种限制。

在本发明情况下，能够沿着弧矢方向提高有效接收面积，而不增加装置的长度。

在需要限制占用空间、从而限制光学器件尺寸的领域中，上述优

点与其他点相比更显重要，而本发明就属于上述应用领域。

举例来说，在光学组件 61 具有复曲形状的情况下，反射镜沿着弧矢方向的有效接收面积可以描述为一部分，诸如四分之一圆甚至半圆，对应于样本上沿着弧矢方向的重要尺寸的捕获角。

光学组件 61 可以沿着弧矢方向提高有效接收面积，是因为来自同一点光源的 X 光束在光学器件上的入射角度沿着该方向（图 4 中的 Y 方向）几乎不变化。

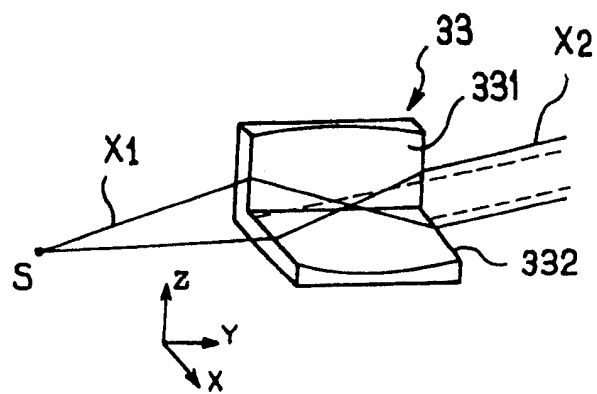


图 1a

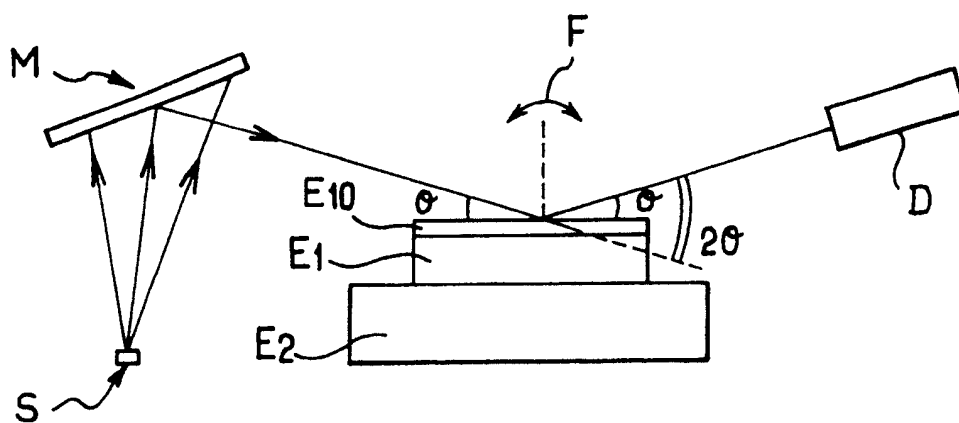


图 2a

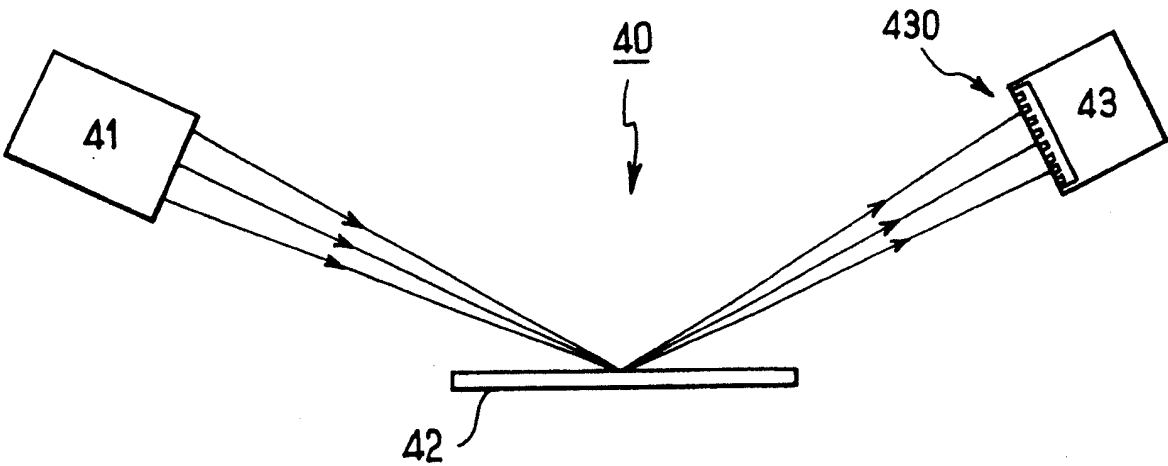


图 3a

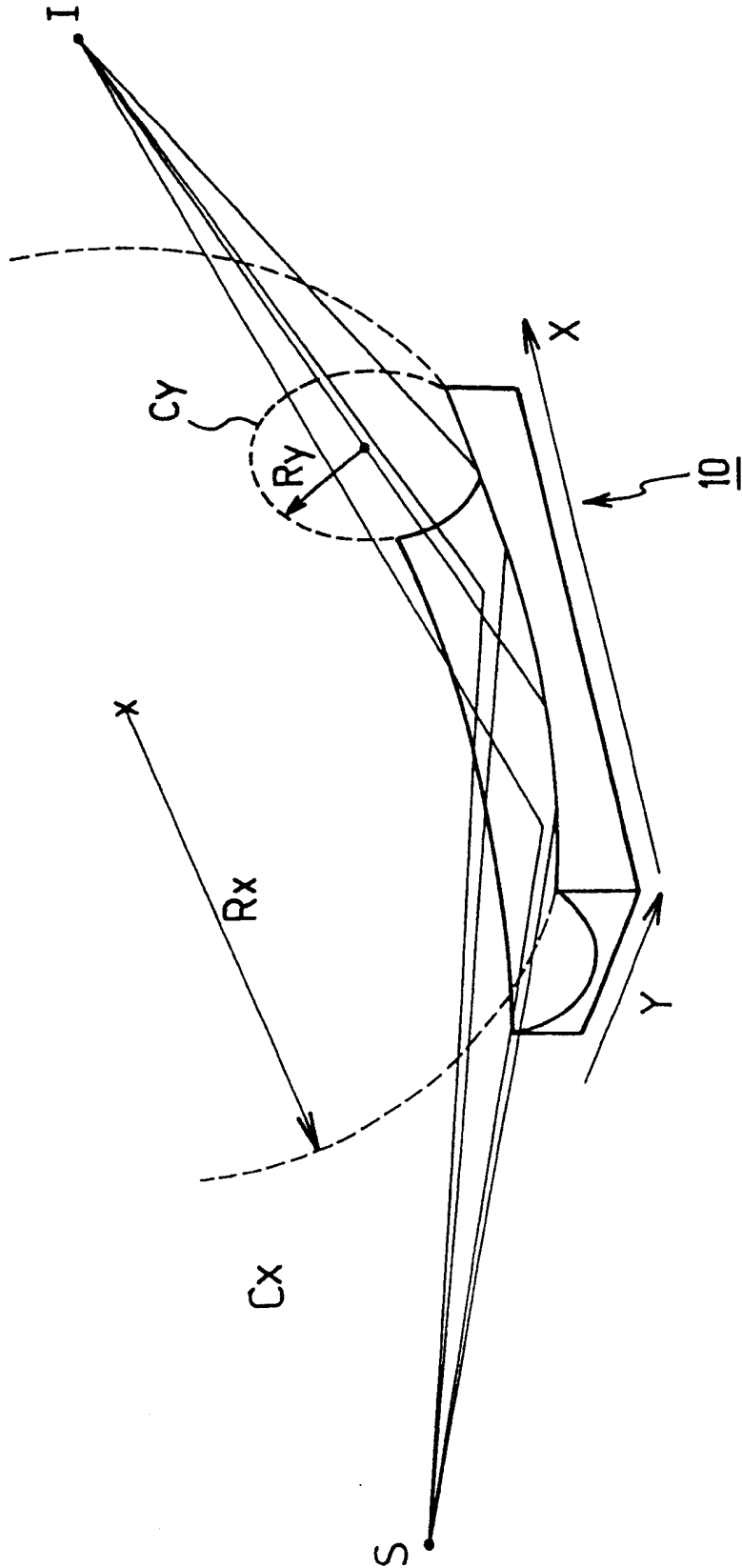


图 1

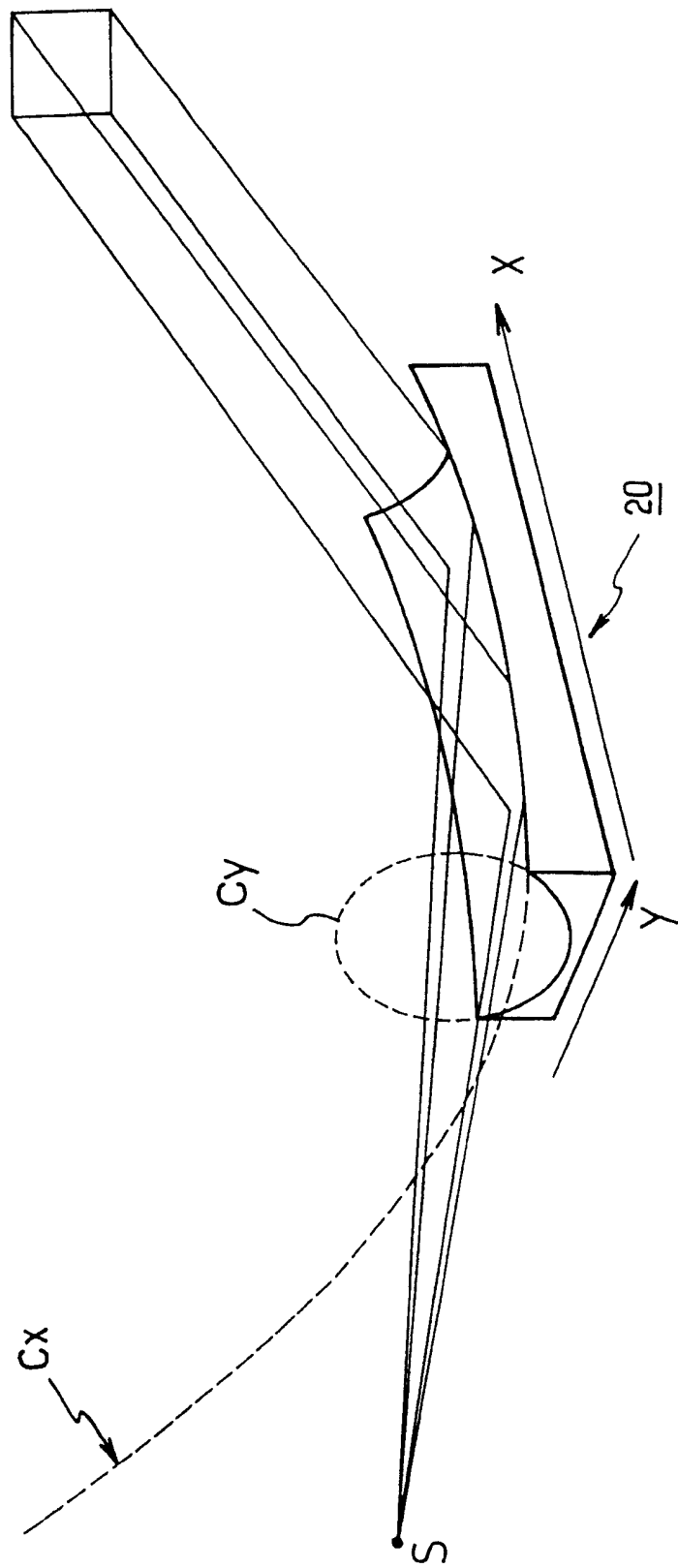
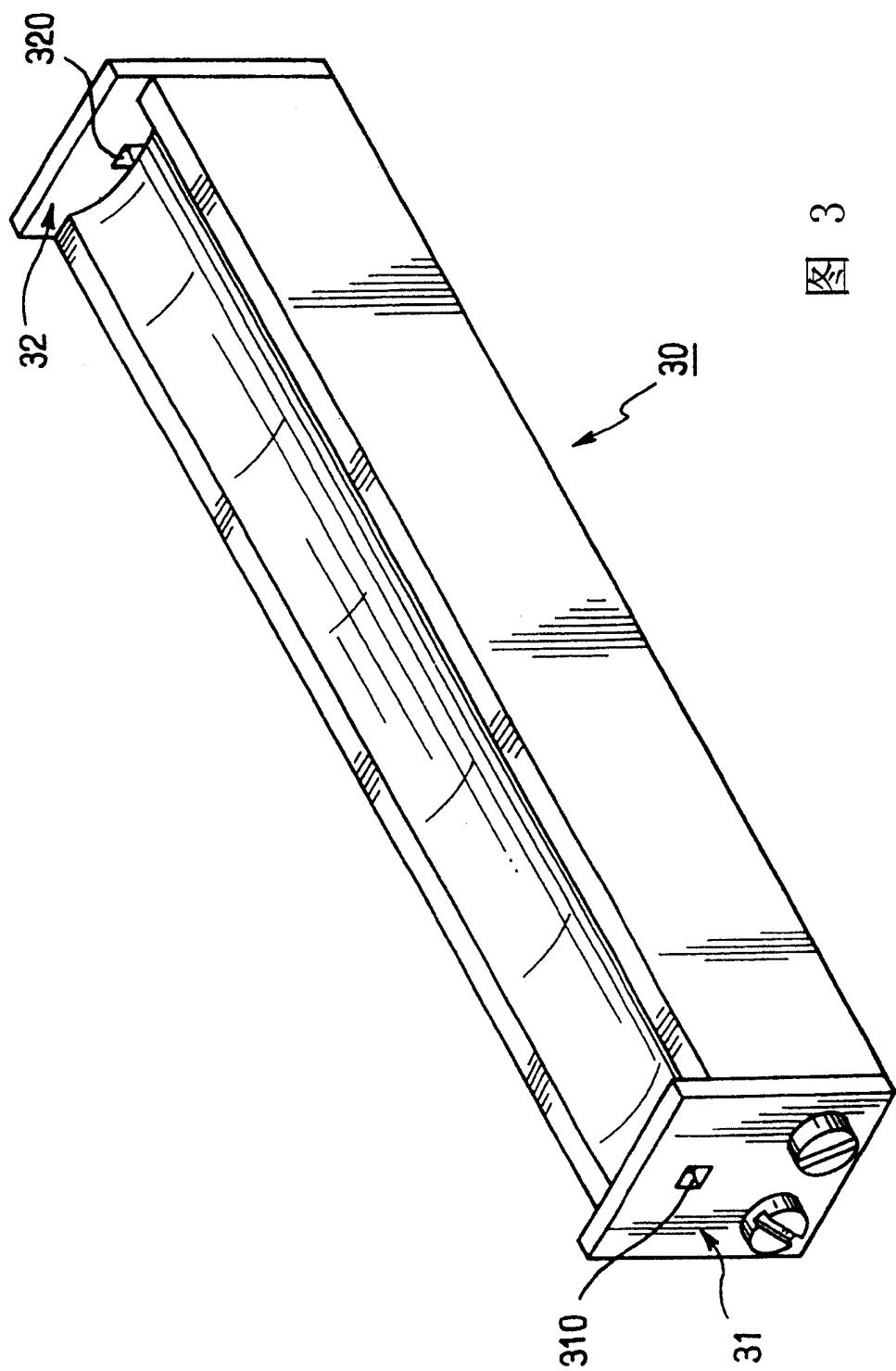
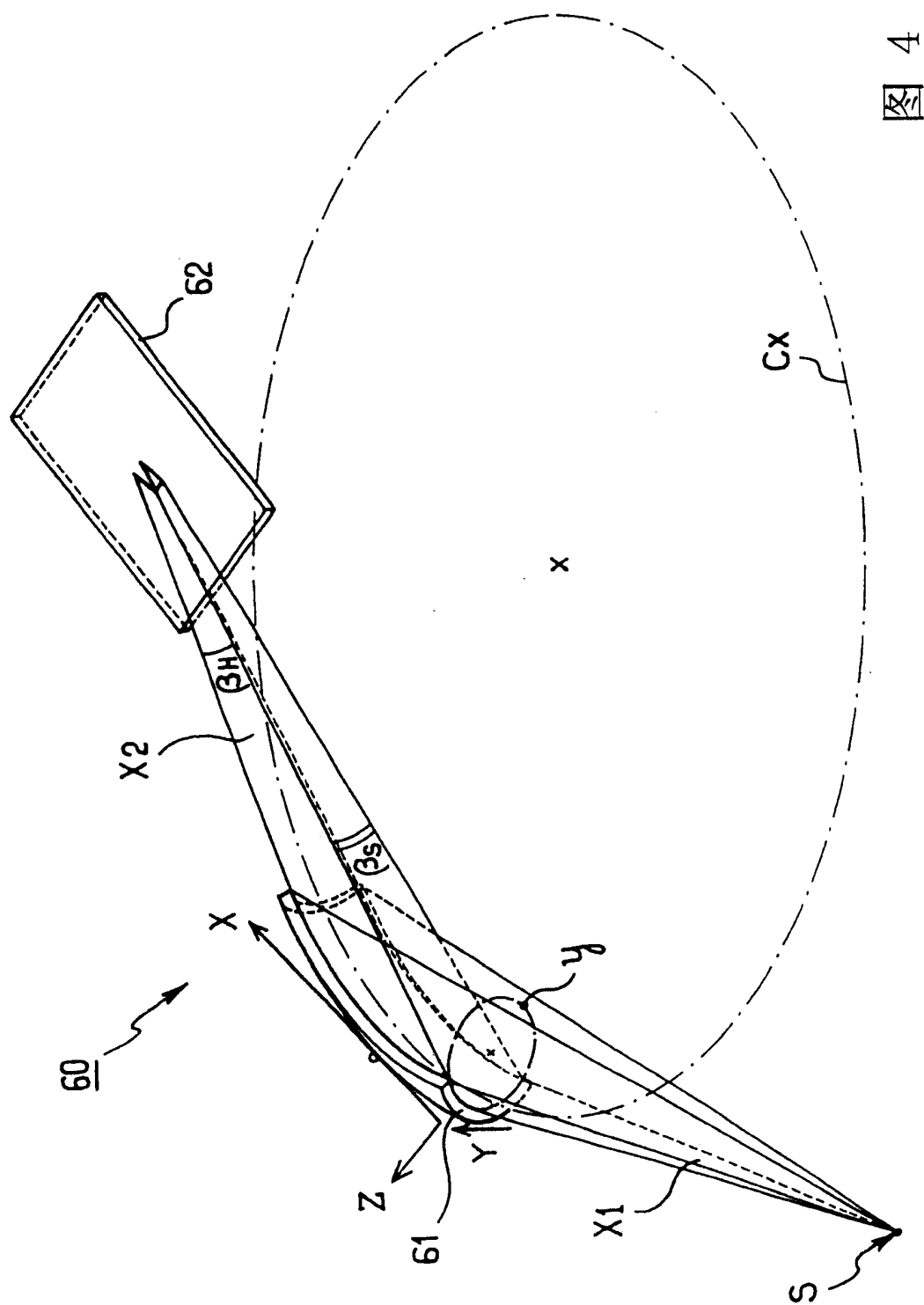


图 2





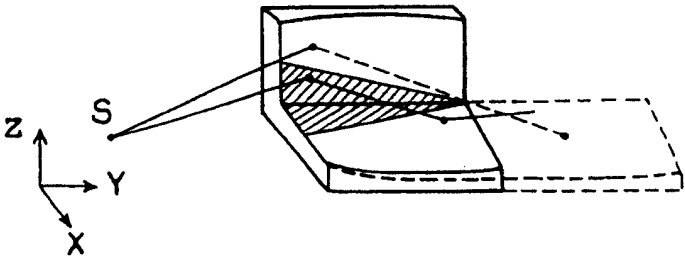


图 5a

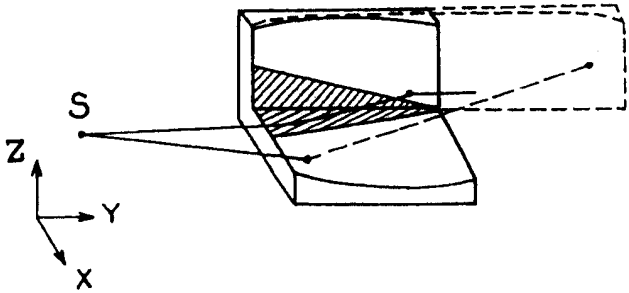


图 6a