

[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 03814508.1

[45] 授权公告日 2007 年 8 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 1332399C

[22] 申请日 2003.6.19 [21] 申请号 03814508.1

[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/FR2003/001879 2003. 6. 19

[87] 国际公布 WO2004/001769 法 2003. 12. 31

[85] 进入国家阶段日期 2004. 12. 20

[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·罗格里格斯

[56] 参考文献

US5999262A 1999. 12. 7

US6317483B1 2001. 11. 13

A point - focusing small - angle x - ray scattering camera using adoubly curved monochromator of a W/Si multilayer SASANUMA Y ET AL, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, 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 王刚

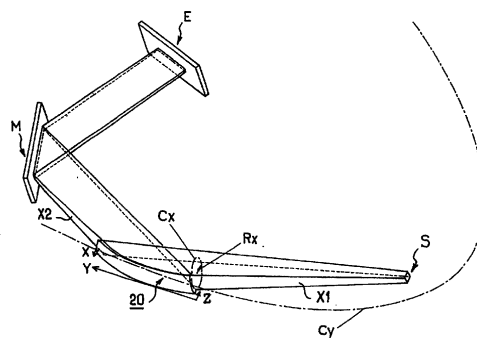
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 4 页

[54] 发明名称

用于 X 射线应用的光学装置

[57] 摘要

本发明涉及一种用来处理入射 X 射线束的光学装置，所述装置包括：单色仪(M)和用于调节入射光束的光学元件(20)，其反射表面能够产生二维光学效果，以便适应在单色仪目的地的光束，所述光学元件包括多层结构类型的反射 X 射线的表面，其特征在于：所述反射表面由单个表面组成，所述反射表面是对应两个不同方向根据两个曲率成形的。



1. 一种用来处理入射 X 射线束的光学装置，所述装置包括：
 - 单色仪 (M)，和
 - 用于调节入射光束的光学元件 (20)，其反射表面能够产生二维光学效果，以便使光束适应单色仪的特性，所述光学元件包括多层结构类型的反射 X 射线的表面，
其特征在于：所述反射表面由单个表面组成，所述反射表面是根据对应两个不同方向的两个曲率成形的。
2. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述 X 射线以小于 10° 的入射角度到达所述光学元件的反射表面。
3. 如权利要求所述 1 的光学装置，其特征在于：所述单个反射表面是具有侧向梯度的多层类型的。
4. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述单个反射表面包括深度梯度。
5. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面在所述两个不同方向中的每一个方向成形，以便产生两个独立的一维效果。
6. 如权利要求 5 所述的光学装置，其特征在于：所述一维效果中的一个为准直。
7. 如权利要求 6 所述的光学装置，其特征在于：所述一维效果中的第二个为准直或者聚集。
8. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有在第一方向基本上为圆形和在第二方向基本上为抛物线形的几何形

状。

9. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有一几何形状，该几何形状在第一方向由不同于圆的断开或者封闭的曲线限定并且在第二方向由基本上抛物线限定。

10. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有一几何形状，该几何形状在第一方向基本上为椭圆形并且在第二方向基本上为抛物线形。

11. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有一几何形状，该几何形状在两个方向基本上为抛物线。

12. 如权利要求 8-11 中任一项所述的光学装置，其特征在于：所述第一方向是光学元件的下垂方向和第二方向是光学元件的子午线方向。

13. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有基本上螺旋管形的几何形状。

14. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面具有基本上椭圆形的几何形状。

15. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述反射表面能够反射线 $\text{Cu- k}\alpha$ 或 $\text{Mo- k}\alpha$ 的射线。

16. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述单色仪是锗晶体，并且光学调节元件包括具有侧向梯度的 W/Si 多层涂层。

17. 如权利要求 1 所述的光学装置，其特征在于：所述装置的光学元件具有 2cm 的长度，所述装置能够使用 X 射线源，X 射线源的尺寸为几十微米乘几十微米，以便产生 300×300 微米的标本点。

18. 如权利要求 1-11 和权利要求 13-17 中任一项所述的光学装置，其特征在于：所述方向中的一个方向对应于光学元件的下垂方向，并且沿下垂方向的反射表面曲率半径小于 20mm。

用于 X 射线应用的光学装置

本发明涉及具有波长高分辨率的 X 射线仪器应用的光学装置。

具体地说，本发明涉及用于处理入射 X 射线束的光学装置，所述装置包括：

- 单色仪，和
- 用于处理入射光束的光学元件，其反射表面能产生二维光学效果，以便使光束适应单色仪的目的（destination），所述光学元件包括多层结构类型的反射 X 射线的表面。

特别是使用的反射表面或表面可以是具有侧向梯度的多层类型。

因此，本发明应用于使用单色仪的所有 X 射线仪器领域。

例如，可以非限定性地引用下列应用：

- 高分辨率 X 射线衍射测量，
- X 射线荧光，
- 应用于微电子的 X 射线微测绘（或微测图）。

本发明应用于需要良好光谱纯度并由此使用单色仪的 X 射线仪器领域。

单色仪的基本组成元件是晶体，使它在角度和波长方面可能实现非常高分辨率。单色仪可以由晶体或多个排列的晶体形成。

对于上述类型的单色仪，根据布拉格（Bragg）定律产生入射 X 射线的衍射。

晶体的布拉格条件是形成 $n\lambda = 2d \sin\theta_B$ 其中 n 是反射级， λ 是产生衍射的入射辐射的波长， d 是涉及衍射的晶体原子平面之间的间隔周期， θ_B 是在这些需要产生衍射现象的相同原子平面上的入射角。

要是考虑 X 射线入射光束，如果满足上述的布拉格条件，由于这些相同的原子平面波长，用入射角 θ_B 照射晶体的 λ 射线波长将被衍射，入射角 θ_B 相对一定系列的晶体原子平面非常精确。

单色光束的这种衍射现象产生基准角 θ_B 的一定角度容差（angular

acceptance) $\Delta\theta$ 。

由此这个角度容差可以定义为：

- 角度 θ_β 对应于在单色仪上衍射光线的入射基准角 (θ_β 已知为术语布拉格角), θ_β 是晶体和波长的函数并且相应给定波长的最大反射率高峰 $R=f(\theta)$, 和

- $\Delta\theta$ 关于这个基准入射角的容差。容差定义为相应于角度容差的入射角范围的宽度。

用于上述类型装置的单色仪具有非常小的角度容差。例如, 对于锗晶体单色仪, 应用于 X 射线源是 $k\alpha$ 铜源 ($\lambda = 1.54$ 埃), 角度容差是 0.00336° (关于近似 20° 的入射基准角)。

因此, 应该理解, 从给定的 X 射线源 (这个源例如能够是旋转的阳极, X 射线管或微型源), 没有对光源发射的 X 射线的适当调整, 大量这些从各个方向发射的射线以入射角到达单色仪, 正好在单色仪角度容差之外。

这些光子不能被单色仪反射, 因此, 造成非常大的光通量损失。

背景技术

为了减轻这种缺陷, 已知将调节入射光的装置设置在单色仪的上游。

这种调节装置的主要功能是最大可能确定部分入射 X 射线的方向, 入射角 (相对单色仪的表面) 是包括在由单色仪容差限定的入射范围内, 大约为基准入射角 θ_β 。

因此, 已知以玻璃毛细管形式形成这些调节装置, 用于通过全反射聚集从光源发射发散原始光束, 并将它准直成指向单色仪的光束。

可是, 与这种调节装置相关的一个限制是这种类型的光学元件仅仅以非常小的入射角 (一般小于 0.1°) 反射 X 射线。

因此, 一般由光学元件释放的光通量很小。

还已知以多层光学元件形式产生一维光学效果形成调节装置。这些光学元件具有抛物面形状, 这种形状使它能准直发散的入射光, 和根据布拉格定律衍射入射 X 射线的多层涂层。

图 1 示出这种已知结构的一种图解, 其中表示 X 射线源 S 在调节

装置 31 的目的地产生具有一定发散的原始光束 X1（这些调节装置的表面的抛物线用虚线表示）。

而且，调节装置将原始光束 X1 反射为指向单色仪 M 的光束 X2。

这种类型的一维光学元件已知称为哥波尔（Gobel）反射镜。

在这种哥波尔反射镜弯曲的基底上，多层具有沿反射镜变化的层结构（因此意味着多层的周期 d ），以便保持在反射镜大表面上的布拉格条件。

这种具有侧向梯度的多层反射镜允许反射波长属于预定范围的 X 射线，入射光线在不同的反射镜区域具有可变的局部入射角。

这种调节装置使它能将入射光束准直成光束 X2，其中 X 射线的传播方向基本上平行于相对单色仪的入射方向，其对应于该单色仪的值 θ_p ，并且这个值在单色仪的角度容差范围内。

但是，这个调节装置仅允许原始光束 X1 在单个平面（在示例中已经描述的图 1 的平面）准直。

因此，不处理在垂直于该平面的平面内的散射：导致许多 X 射线没有使用。

因此，对于给定光束 X1，这些已知具有一维效果的调节装置的一个限制是在与单色仪角度容差一致的方向准直的 X 射线的光通量依然是限制的。

还应该说明，就本发明的应用领域这点来说，需要具有从单色仪输出小尺寸光束（一般小于 2mm）。

事实上，从单色仪发出的光束产生“像点”，像点的尺寸必须是这个放大倍率的数量级。

像点是包括在已知为“像面”平面内。

为了增加到达单色仪的“有用”光通量，已知如何以二维光学元件的形式形成调节原始光束的装置，二维光学元件的反射表面呈现侧向梯度。

这种光学元件以“肩并肩的 Kirkpatrick-Baez”装置形式形成，如图 2 所示。

在本文的其余部分，“Kirkpatrick-Baez”结构称为“KB”。

因此，该附图图解了元件 33，其包括肩并肩的两个反射镜 331 和

332 (反射镜 331 的轴平行于方向 Z, 反射镜 332 的轴平行于方向 X)。

这两个反射镜的表面具有以两个互相垂直轴为中心的曲率。

对于这种类型的光学元件, 期望的调节是提供双反射, 每个反射镜 331, 332 沿一个轴产生一维光学效果。

两个反射镜的每一个能产生准直或聚焦。

单色仪 M 接收元件 33 反射的光通量 X2。

这种类型的光学元件 33 的描述在专利 US 6 041 099 中可以找到。

应该说明, 调节装置也可以以两个反射镜不是肩并肩地设置的“KB”装置的形式形成。

与哥波尔反射镜类型的调节装置比较, 在与单色仪的角度容差一致的入射角范围内, 这种具有二维效果的调节装置使它可以补偿较大部分从发散的原始光束 X1 发出的射线。

本发明的一个目的是进一步提高这种装置的性能。

具体地说, 本发明的目的是聚集最大量的来自发散原始光束的光通量, 并在输出时产生高于包括上述调节装置的装置产生的单色光通量。

因此, 为了增加这种装置的输出光通量, 本发明的具体目的是使它可能利用增大尺寸的 X 射线源。

本发明另一目的是使它可能提高这种装置的紧凑性。

为了实现这些目的, 本发明提出用于处理入射 X 射线束的光学装置, 所述装置包括:

- 单色仪 (M), 和

- 用于处理入射光束的光学元件 (20), 其反射表面能够产生二维光学效果, 以便使光束适应单色仪的目的地 (destination), 所述光学元件包括多层结构类型的反射 X 射线的表面,

其特征在于: 所述反射表面由单个表面组成, 所述反射表面是根据对应两个不同方向的两个曲率成形的。

优选但不局限于这种装置的方面如下:

- 所述单个反射表面是具有侧向梯度的多层类型。

- 所述单个反射表面包括深度梯度。
- 所述反射表面在各个所述两个不同方向成形，以便产生两个独立的一维效果。
- 所述反射表面具有在第一方向基本上为圆环形和在第二方向基本上为抛物面形的几何形状。
- 所述第一方向是光学元件的下垂（**saggital**）方向和第二方向是光学元件的子午线方向。
- 所述反射表面基本上具有螺旋管形（**toroidal**）的几何形状。
- 所述反射表面基本上具有抛物面的几何形状。
- 所述反射表面基本上具有椭圆形的几何形状。
- 所述反射表面能够反射线 **Cu- k α** 或 **Mo- k α** 的射线。
- 单色仪是锗晶体，并且光学调节元件包括具有侧向梯度的 **W/Si** 多层涂层。
- 所述装置的光学元件具有大约 **2cm** 的长度，所述装置能够使用 **X** 射线源，**X** 射线源的尺寸大约为几十微米乘几十微米，以便产生大约 **300 * 300 微米** 的标本点。

阅读本发明的下列说明书并参照给出的附图，本发明的其它方面、目的和优点将更加清楚，其中：

- 图 1 示出了现有技术用哥波尔反射镜产生一维光学效果的结构，
- 图 2 示出了现有技术以“肩并肩的 **Kirkpatrick-Baez**”装置形式形成的光学元件，

- 图 3 表示根据本发明一个实施例的光学装置的全视图，
- 图 4 是同一装置的俯视图，

图 5a 和 5b 图解在已知类型的装置改型的情况下需要的延伸，以便实现根据本发明装置可比较的性能，本发明更紧凑，

图 6a 和 6b 图解在发明中考虑二维效果光学调节元件给定的点使它确定容许的角度发散。

作为说明的前言，应该说明附图是为了解释发明的原理，并不需要表示尺寸和真实的比例。

具体对于 **X** 射线的入射角（或甚至反射）是真实的。

根据本发明这些 **X** 射线实际上是以小于 **10°** 的入射角到达反射表

面。

相对 X 射线束的一般传播方向定义子午线方向和下垂方向：

- 子午线方向对应于这个光束传播的中间方向（mean direction）（更精确地说是在涉及的光学组件上反射前后光束传播的中间方向之间的中间方向），

- 下垂方向对应于该子午方向的水平横向方向（这里通过将要描述光学组件的反射表面部分的中间法线来定义垂直，其实际上用于反射入射的 X 射线）。

具体实施方式

参照图 3，示出根据本发明的装置放置在标本 E 的上游。

这个装置包括：

- 调节用 X1 表示具有一定发散的原始 X 射线束的装置，
- 与给定角度容差有关的单色仪 M。

调节装置在发明的这个实施例中以光学元件 20 的形式形成，光学元件 20 用于反射从 X 射线源 S 发出的原始光束 X1 的射线。

在图 3 的示例中，光学元件 20 提供第一维度的准直并聚焦第二不同的维度。

光源 S 具体可以是 X 射线管、旋转阳极或微聚焦型的 X 射线源。

光学元件 20 包括在基底上形成的多层结构（例如由玻璃制成），其限定 X 射线束 X1 的反射表面。

这个光学元件的单个反射面具有特殊的几何形状。

具体地说，这个反射表面是根据对应于两个不同方向的两个曲率形成的。

因此，这个反射表面相对用光学组件的那种反射表面例如文献 US 6 041 099 公开的表面有明显不同：

- 该反射表面是单个反射表面，不象那种两个不同的基本反射镜组装而成的光学组件，
- 该反射表面是有角度的（这个术语意味着在本文中反射表面不表现有任何第二级中断：角度点或边缘---凸角或中空等），
- 而且，在本发明的示例中，还有明显的不同点在于：入射射线

仅经历单次反射就产生所需的二维光学效果，而在使用文献 US 6 041 099 教导的例子复制的调节装置的光学组件的情况下，需要两次反射。

发明考虑的光学调节元件的描述

在详细描述图 3 的实施例之前，概括地公开本发明的特征。

根据本发明的光学元件的反射表面具有沿下垂方向 X 的曲率 C_x 和沿子午线方向 Y 的曲率 C_y 。

图 3 表示这些曲率，两个弯曲 C_x 和 C_y 用虚线表示。

各个弯曲 C_x , C_y 可以是圆环形，但也可以是椭圆形，抛物线形或其它弯曲（开放的或闭合的）。

在任何情况下，光学调节元件的反射表面不会是简单的球形。

因此，各个弯曲 C_x , C_y 与不同的维度方向有关（在此讨论的示例中为两个垂直方向）。

各个这些弯曲产生 X 射线的一维光学效果， X 射线正好在反射表面反射：

- 弯曲 C_x 沿 X 方向产生一维光学效果，
- 弯曲 C_y 沿 Y 方向产生一维光学效果。

各个这些维度效果取决于弯曲的曲率和这个弯曲的变化规律。

因此，可能参数化 C_x 和 C_y ，以便选择性地获取相关的一维效果，例如聚焦或一维准直。

图 3 表示本发明的一个实施例。

在这个实施例中，弯曲 C_x 产生一维聚焦，弯曲 C_y 产生一维准直。

出于这个目的，图 3 中的光学元件 20 的多层反射表面的形状是在各个方向 X 和 Y 分别为两个分别为圆环形和抛物线形的弯曲 C_x 和 C_y ，各个这些弯曲在给定平面内产生一维效果，分别在平面 XY 和平面 YZ 。

因此，从发散的光束 $X1$ ，在维度的一个维产生准直并在另一维聚焦。

根据本发明的变化，在调节单色仪上入射光束的装置可以是提供二维准直的光学元件。

在这种情况下，弯曲 C_x 和 C_y 的形状都是抛物线形的。

返回到图 3 中的本发明的实施例，设置单色仪 M 使得光束 $X2$ 的中间方向对应于单色仪的入射角 θ_p ，或对应于与这个单色仪角度容差

一致的角。

这样在这个单色仪的角度容差限定的容差内到达单色仪的 X 射线的光通量沿垂直方向（方向 Z）和沿下垂方向最大化。

在此应该说明，根据本发明可能形成具有由多层反射镜（具有侧向梯度，而且如在本文的后面还可能具有深度梯度）组成的光学元件的调节装置，其反射表面可以具有各种非球面复杂形状的一种形式，使它有可能满足改变反射光束 X2 到单色仪方向的必须功能。

因此，有可能具体赋予反射表面下列几何形状之一：

- 基本上为螺旋管形的几何形状，
- 基本上为抛物面形的几何形状，
- 基本上为椭圆形的几何形状，
- 在第一方向（具体为下垂方向）基本上为圆环形，在第二方向（具体为子午向方向）基本上为抛物面形的几何形状。

侧向梯度可以具体可以沿入射 X 射线的子午线方向延伸。

多层的周期可以适应具体的 Cu-K α 或 Mo-K α 线的射线。

在本发明实施例的情形，在下垂平面（也就是说沿图 3 的平面 XY）聚焦，根据本发明一个偏爱的应用，曲率半径 Rx（下垂的曲率半径）可以是小于 20mm 的值，需要聚焦在短距离，小于 90cm(源点聚焦距离)。

应该注意，根据本发明用作装置中的光束调节装置的光学元件没有 KB 型光学组件的缺陷和限制。特别是：

- 这种光学组件是单片（不需要任何严格的装配）
- 入射的 X 射线仅在它的反射表面经历单次反射。

应该说明，光学元件 20 的反射表面是由多层限定的。

特别是在所有的示例中的这个多层（如在本文中涉及的所有多层）包括最小一个“侧向梯度”。

这个特征使它能够有效地反射相对元件 20 的反射表面具有不同局部入射角的 X 射线。

应该明白，事实上在这个反射表面上的不同点不接收相同局部入射角的入射 X 射线(因为入射光束的发散和这个反射表面的几何形状)。

这里具有侧向梯度的多层意味着调整层结构的多层使得布拉格条

件与反射镜有用的表面上每点一致。

因此，对于在窄波带例如包含 $K\alpha$ 铜线的入射 X 射线的辐射（Cu- $K\alpha$ 线波长接近 0.154nm），具有侧向梯度的多层反射镜使它在整个反射镜的有用表面上能够保持布拉格条件。

这导致具有预定波长带的反射（在上述示例中包含铜 $K\alpha$ 线），在反射镜的不同区域入射射线具有可变的局部入射角。

因此，可能增加实际使用的反射镜的表面面积。

通过根据反射镜的位置改变多层的周期来获得梯度。

因此，这种类型的侧向梯度多层结构使它有可能增加光学组件的聚集立体角，这导致比相同几何形状起全反射作用的单层反射镜具有更高的反射光通量。

但是，应该注意，在极端的情况下，特别是如果光学元件的曲率小到不需要这种梯度，多层也可以没有梯度。

本发明的各种实施例的多层也可以有深度梯度。

这种深度梯度使它有可能满足确定入射角和可变波长的布拉格条件，或反之亦然。

因此，例如有可能增加光学组件的多层的波长带宽，并聚焦或准直不同波长的 X 射线，在一个和相同的给定像面（确定的几何形状的情形---就是说在这种结构中入射射线源的相对位置，光学组件的相对位置和像面的相对位置是固定的）聚焦或准直不同波长的 X 射线。

这样有可能使用不同波长的 X 射线源来反射从相同光学组件的不同源发出的 X 射线，不需要源和 / 或像面或相对光学组件的平面的新定位。

在这种情况下使用光学组件的波长容差（容差为 $\Delta\lambda$ ）。

用相同的方法，也有可能将这个 $\Delta\lambda$ 的容差转换成 $\Delta\theta$ 的容差， θ 是在元件 20 上的入射角。

事实上，根据布拉格条件的前后关系，波长的容差对应于入射角的容差，对于入射光束恒定的波长，有可能聚集和反射入射光通量，其中相同波长的射线具有不同的局部入射角。

特别是这样有可能使用大尺寸的 X 射线源（增加光学元件的角度容差）。

因此，在多层中形成具有深度梯度的调节装置构成实现发明的一种选择。

二维调节装置的信息

使用二维光学元件用于调节在单色仪上的入射辐射特别使它有可能实现在第一维度的准直，以便保持在单色仪的基准面上固定的入射角，同时在第二维度（由下垂面 XY 限定）上产生第二个一维效果，以便聚集最大入射光通量。

在第二维度的调节可以聚焦或准直。

作为图解，在图 3 中表示了这种功能：对于光束 X2（其被调节元件 20 反射），在 YZ 平面发散的射线在 YZ 平面准直，以便保持单色仪的角度容差的大约 θ_B 的入射角。

根据光学元件 20 产生的第一维度准直功能，使它有可能限制在衍射平面（对于各个反射的 X 射线，衍射平面定义为垂直于包含入射光束和反射光束的反射表面的平面）光束的角度发散。

为了增加在标本上聚集的 X 射线光通量，有利地在第二维度进行调节，例如在图 3 中的 XY 平面（下垂平面）。

这使它有可能限制在这个平面的发散，由此最大化从光源聚集并在单色仪上反射后投射到标本上的 X 射线光通量。

进行这种第二维度的调节（仍然参照图 3），同时保证单色仪的操作条件（限制在衍射平面的角度发散）。如上所述，在第二维度的调节可以是聚焦或准直。

当在单色仪的下垂平面容许的角度发散 α 在讨论的应用情形很大时，通过实现聚焦增加第二方向（下垂）光通量的可能性是有利的。

这是因为在本发明的应用领域情形（对于遇到的聚焦条件和讨论的单色仪类型），在第二维度（下垂维度）的发散 α 对在单色仪上入射 X 射线的入射角影响很小。

参照图 4，在下垂平面的发散 α 由在这个相同平面的调节光学元件 X_1 的有用宽度（例如在光学元件中心确定）和聚焦距离 d_{FOC} （光学元件-像点距离）给定。在 X 方向的发散 α 可以用下列方程式近似得出：

$$\tan(\alpha) = ((X_1/2 - L/2)/(d_{FOC})), \text{ 其中 } L \text{ 是在下垂平面的像点宽度。}$$

已知在单色仪的角度容差在下垂平面的发散 α （其称为 $\Delta\alpha$ ）是布

拉格 (Bragg) 角 θ_B 和这个单色仪的角度容差 $\Delta\theta$ 的函数。参考文献 M.Schuster 和 H.Gobel, J.Phys.D 在应用物理 (Applied Physics) 28(1995)A270-A275 “Parallel-Beam Coupling into channel-cut monochromators using tailored multilayers”, 这个角度容差 $\Delta\alpha$ 可以表示如下:

$((\Delta\theta/\tan\theta_B)*2)^{1/2} = \Delta\alpha$, 在这个公式中 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\theta$ 用弧度表示。

在下垂平面角度发散的容差可以经过应用 Cu-K α ($\theta_B=22.65^\circ$, $\Delta\theta=0.00336^\circ$) 的锺晶体的示例来确定。

因此, 计算 1° 级的有限发散 (光束 X2 发散的角度容差), 其非常不易受到发明的应用领域所需的会聚。

因此, 单色仪可以接收讨论的第二方向 (图 3 中的 X 方向) 入射光束 X2 的更大发散。

由此, 它有利于聚集讨论的第二方向 (下垂方向) 来自光源的光通量。

这个总的目的涉及发明的装置和以已知方法使用的装置, 例如调节装置, KB 型的光学组件。

与包括 KB 型的调节装置相比其它显著的具体优点

在讨论的第二方向, 就是说对于单色仪可以容许更大的发散 (在图 3 情形的 X 方向) 方向, 与由二维 “KB”型光学组件 (肩并肩或者不是) 实现原始光束调节的装置相比, 本发明使它有可能聚集更多来自光源的光通量。

两种现象引起这个光通量的增益, 下面将解释它们。

- 首先, 在本发明具有光学元件例如元件 20 的情形, 具有给定的长度 (在子午线方向), 在下垂方向获得的拍摄 (capture) 角度大于用 KB 光学元件实现调节的传统结构获得的拍摄角度,

- 其次, 用作本发明的二维光学元件 20 可以接收在下垂方向原始光束 X1 的更大发散, 因此在这个元件 20 的任何点拾取更大的光源表面。

参照上述第一种优点, 这是因为在通过 KB 型的光学组件进行调节的情形, 为了增加在光学组件光束传播中间方向的横向聚集立体角, 需要增加这个光学组件的长度。

这是因为根据 KB 结构获得的二维效果与上反射相关。

经过图解并考虑图 2，如果装置在 X 或 Y 方向延伸，需要在 Y 方向延伸反射镜。

这个现象在图 5a 和 5b 中图示。

对于 KB 型光学元件，事实上已知任何入射射线必须照射到光学元件的特定区域（相应于图 5a 和 5b 中的阴影区），以便经历双反射。

因此，对于这种已知类型的光学调节元件（无论反射镜是否连续），结果是这样，通过水平横向方向和垂直横向方向（Z 方向或 X 方向）的元件长度限定能够聚集的立体角。

对于 KB 型光学组件，元件的长度（在子午线方向）由此影响聚集立体角的横向成分和纵向成分。

在本发明的情形，有可能不增加装置的长度地增加在下垂方向聚集的立体角。

特别是在希望限制体积和光学元件尺寸的情形，这是很重要的。

特别是在这种情形，作为微电子 X 射线微测绘的应用示例，用作 X 射线微光源的光源具有几十微米乘几十微米的尺寸（例如 40 微米乘 40 微米），分析的标本点是百微米乘百微米级（例如 300 微米乘 300 微米）。

在这种情形希望将光学调节元件的长度限制在近似 2cm。

通常说来，对于应该限制装置长度的应用，用于本发明的光学组合证明具体的优点并使它有可能最大化单色仪反射的光通量，同时最小化装置的尺寸。

此外，调节装置在子午线方向的延伸（其是 X 射线在光学元件的传播中间方向）增加施加侧向梯度的多层表面的效果。

施加这种类型的梯度，以便补偿光学元件表面的曲率。

在 5a 和 5b 中，沿光学组件的两个反射镜的 Y 轴施加多层的梯度。

结果，增加元件的长度等于增加施加梯度的表面，其等于使装置的制造更复杂。

对于单反射例如本发明考虑的那些的调节光学元件，作为示例，通过简单地增加位于光学元件入射和出射处的可移动狭槽的尺寸，可以增加下垂方向的聚集立体角。

本发明的另一个优点是在光学调节组件的给定点捕获更大光源表面的可能性，因此能够最大化在像点的光通量。

这个现象可以通过图 6a 和 6b 以及图 2 来解释，如果考虑 X 射线源，它的表面平行于在这些图中定义的 XZ 平面。

图 6a 和 6b 解释用于本发明的光学调节元件 20。

对于作为本发明考虑的光学调节元件，如果考虑根据图 6a 和 6b 和图 2 的各种光学元件的对准，与在相同方向（就是说 X 方向）KB 型的调节光学元件容许的角度发散相比，在光学元件任何点的下垂方向容许的入射 X 射线的角度发散是相当大的。

沿光源的其它维度（就是说 Z 方向），在两种类型的二维效果光学元件的任何点容许的角度发散是非常接近的并且由多层的角度容差限制。

入射 X 射线发射源点在 Z 方向从光源的中心 S 的移动直接和明显地影响这些 X 射线在二维光学元件给定点的入射角，无论是哪种讨论的光学元件类型（KB 型或本发明考虑的单次反射的光学元件）

在本发明的考虑的光学调节元件的情形，参照图 6a 和 6b，在 X 方向（其相应于下垂方向）发射光束的开口与来自光源中心的直接光束相比，只引起在光学元件任何点的入射角很小的变化。

参照这些附图 6a 和 6b，可能确定调节光学元件中心 C 处的入射 X 射线容许的角度发散。

在 Z 方向能够在光学元件中心有效地反射的光源尺寸由下列方程式求出：

$Z_l = (\cos\theta_s \cdot p) (\tan\theta_l - \tan\theta_r)$ ，其中 p 是光源中心和光学元件中心之间的距离， θ_s 是从光源的中心 S 发出的射线在光学元件上的入射角， θ_l 和 θ_r 是由多层 ($\Delta\theta = \theta_l - \theta_r$) 角度容差给定的有限入射角。

仍然参照图 6a 和 6b，在 X 方向，能够在光学元件中心 C 反射的光源尺寸由下列方程式求出：

$$X_l = 2((p \sin\theta_s / \tan\theta_r)^2 - (p \cos\theta_s)^2)^{1/2}$$

上面给定的数值 X_l 和 Z_l 是在多层的角度容差限制内确定的光源尺寸。

例如，对于用于铜 $k\alpha$ 的应用的 W/Si 涂层，（光学调节元件 20）

多层的角度容差是关于 1.26° 角为 0.052° 。

还可以考虑光学元件和光源对准，使得从光源的中心发射的光束在光学元件上的入射角 θ_s 由多层的布拉格角给出。

对于 12cm 标准光源-光学元件距离，作为本发明考虑的能够在光学元件中心沿下垂方向聚集的光源尺寸可以是 5cm 级，对于 Z 方向近似 110 微米。

又例如，在一个和相同类型的多层的 KB 光学组件和光源-光学元件距离的情形，限制能够在给定点有效地聚集的光源尺寸在两个方向近似 110 微米（参照图 2 的 X 和 Z）。我们将获得在后面的说明书解释的原因。

上述数值构成入射光束的角度发散的理论限制（在对于 W/Si 多层的上述情形），入射角发散被上面比较的光学调节元件容许。

但是，在根据本发明的装置的情形，还需要考虑在下垂方向单色仪容许的发散以及涉及希望获得（尺寸，距离）图像的规定，以便最终最大化像点聚集的光通量。

把这些考虑在内，对于本发明考虑的光学调节元件，从光源捕获的光通量潜在的增益是显著的。

更进一步说，如果例如考虑给定标准 X 射线源的尺寸是 300 微米乘 300 微米，X 射线源和光学调节组件之间的距离为 12cm，在这个光学组件的给定点可能在下垂方向看见比已知的装置（用 KB 光学组件调节）的情形更大的光源表面。

在本发明的情形，可能在光学元件上的任何点在下垂方向聚集 300 微米的光源，在下垂方向要求的像点是相当宽的情形，例如，对于距光学元件 40cm 的位置、宽 1mm 像点，可以显示可靠的优点。

因此，应该理解根据本发明的装置容许在特定方向相当大的从光源发射光束的发散。这不是使用 KB 型调节元件的已知装置的情形。

参照图 2 和 KB 光学元件，对于第一水平反射镜 332，提供在光学元件上给定点有效反射的入射光束发散一定自由度的方向是垂直于第二光学元件中心的方向，其垂直反射镜 331。

但是，在已知具有两个反射镜的结构中，垂直或近似垂直反射镜表面的方向对应于入射光束引起入射角显著的变化发散方向。

由于双反射现象，因此，能够在 KB 型组件给定点聚集的光源尺寸由光源二维多层角度容差来限定。本发明也没有这个限制。

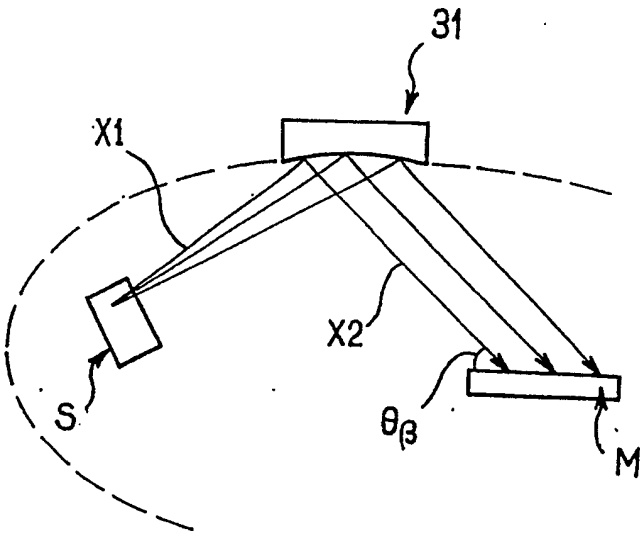


图1

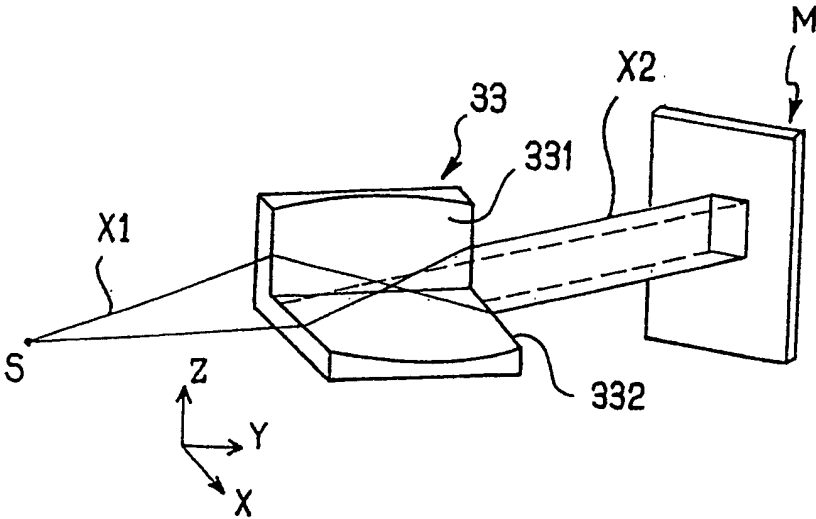


图2

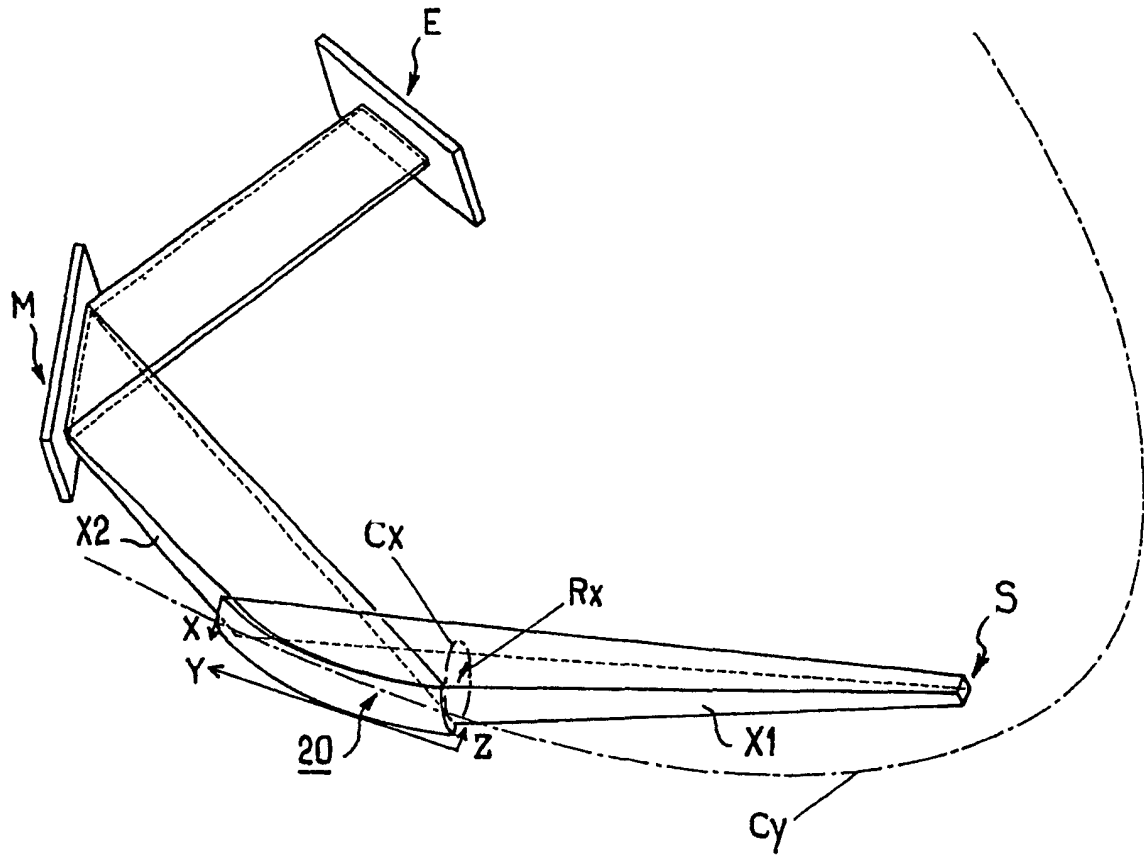


图3

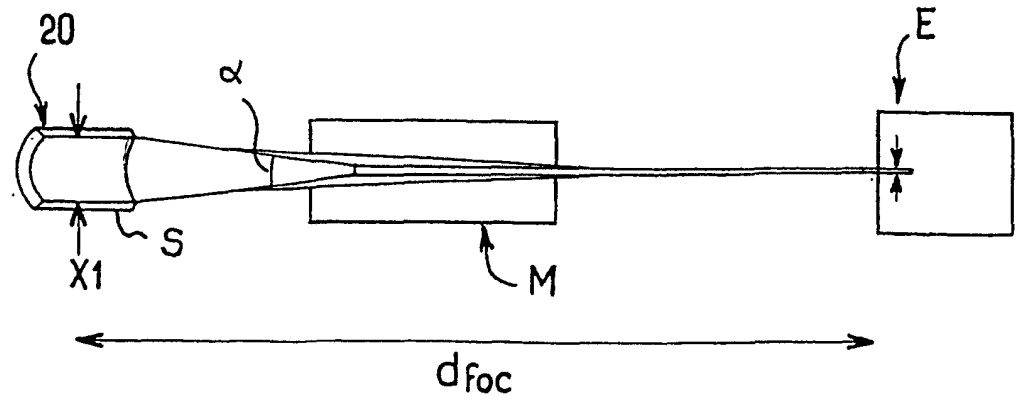


图4

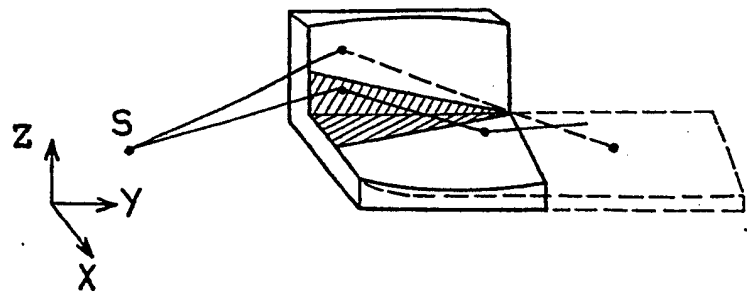


图5a

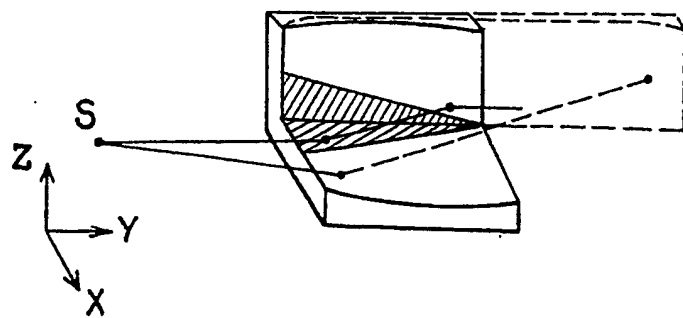


图5b

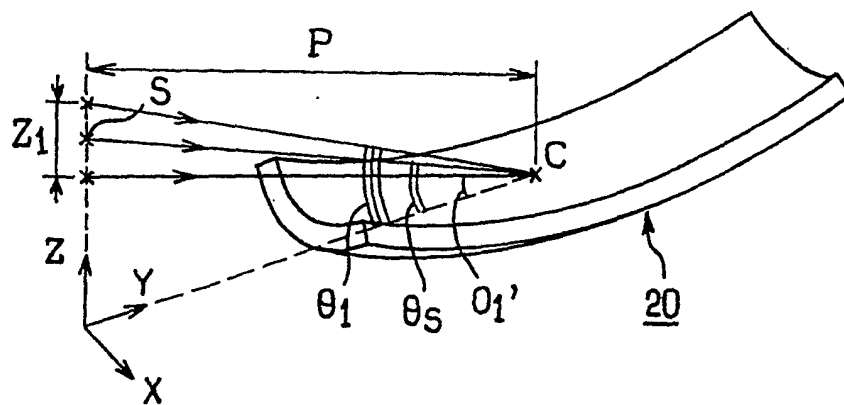


图6a

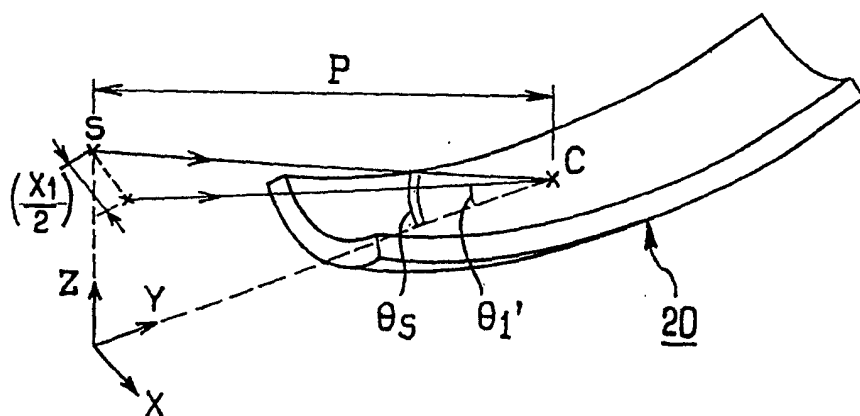


图6b