



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102881347 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201210391151. 5

(22) 申请日 2012. 10. 15

(71) 申请人 中国科学院上海应用物理研究所
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

(72) 发明人 毛成文 闫芬 闫帅 李爱国
余笑寒

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
31002

代理人 邓琪

(51) Int. Cl.
G21K 1/06 (2006. 01)

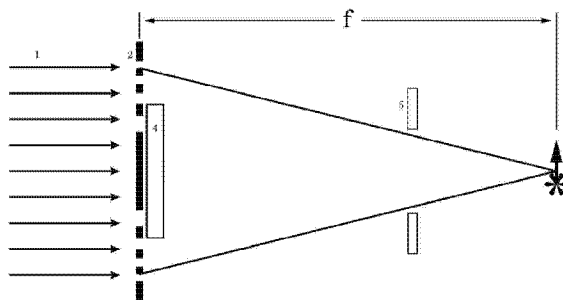
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,其包括下列步骤:根据柱面波线光源的波长确定所使用波带片的焦距 $f : f = r_1^2 / \lambda$, 其中 r_1 为波带片第一环的半径, λ 为柱面波线光源的波长;根据下述模型确定波带片的旋转角度 $\theta : \sin^2 \theta = f / (p + f)$, 其中 p 为柱面波线光源的源距;将波带片放置在柱面波线光源的光路上,并绕着一旋转轴心按照上述旋转角度进行旋转,所述旋转轴心通过波带片的中心,并与柱面波线光源的光轴平行。采用该方法可以将柱面波线光源聚焦为点光斑,并保证具有一定的能量可调性。



1. 一种使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,其特征在于,包括下列步骤:

根据柱面波线光源的波长确定所使用波带片的焦距 f : $f=r_1^2/\lambda$, 其中 r_1 为波带片第一环的半径, λ 为柱面波线光源的波长;

根据下述模型确定波带片的旋转角度 θ : $\sin^2 \theta = f/(p+f)$, 其中 p 为柱面波线光源的源距;

将波带片放置在柱面波线光源的光路上,并绕着一旋转轴心按照上述旋转角度进行旋转,所述旋转轴心通过波带片的中心,并与柱面波线光源的光轴平行。

2. 如权利要求 1 所述的使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,其特征在于:沿着光路方向在波带片的后方依次设置一中央挡块和一小孔光阑以阻挡直通光和除了一级衍射光以外其他级次的衍射光,所述中央挡块紧邻波带片设置,所述中央挡块的外径略大于小孔光阑的孔径。

使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光线聚焦方法,尤其涉及一种柱面波线光源聚焦方法。

背景技术

[0002] X射线被广泛用于分析物质的形态、成分和结构等信息,目前同步辐射X射线微探针和显微技术已经成为探测物质微观世界、研究物质特性的强有力工具。基于第三代同步辐射装置的高性能X射线微纳探针已经被广泛用于高空间分辨的超灵敏元素分析、元素化学态分析和物质晶体结构的分析等,深入到生物、环境、材料、微电子和地球科学等众多的前沿领域。

[0003] 空间分辨率是X射线显微成像技术最关键的技术指标之一。作为常规衍射光学元件,波带片已经被广泛用于实现亚微米尺度分辨率的X射线聚焦与成像。目前软X射线波带片已经实现了12nm的空间分辨[Chao, W., Kim, J., Rekawa, S., Fischer, P. & Anderson, E. H., Demonstration of 12nm resolution Fresnel zone plate lens based soft X-ray microscopy. Opt. Express 17, 17669-17677 (2009)],硬X射线波带片也已经实现了小于50nm的空间分辨。

[0004] 由于同步辐射光束线的特点,常常需要对垂直与水平方向上的光使用单独的光学元件进行处理(比如KB镜)。经过一系列光学元件之后,光在垂直与水平方向上的发散度、源距等参数往往会存在差异。以上海光源硬X射线微聚焦线站BL15U1为例,其是采用一个超环面镜对水平方向进行预聚焦,同时对垂直方向进行准直。为了能对两个方向同时聚焦,常规采用的方法是使用类似于KB镜对两个方向进行独立聚焦,而这种方法的调节过程很复杂。使用圆形波带片实现聚焦的光束线,通常都要保证源距足够大,这样使得垂直与水平方向的焦点位置之差小于景深,从而需要较长的光束线并使得有效使用光通量降低。对这个问题,有人尝试针对特定波长和特定的光束线研制了椭圆波带片来消除像差[H. Ade, C. H. Ko, and E. Anderson, "Astigmatism Correction in X-Ray-Scanning Photoemission Microscope with Use of Elliptic Zone Plate," Appl Phys Lett 60, 1040-1042 (1992)]。但是上述解决方法只能针对特定的光束线的情况与特定的光子波长,不具备光子能量可调性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,该方法可以使用波带片在不太长的光束线上,且水平与垂直方向上发散度有较大差异、源距不等的情况下对两个方向聚焦,将柱面波线光源聚焦为点光斑,并保证具有一定的能量可调性。

[0006] 发明人经过对波带片聚焦的大量研究分析后发现:波带片聚焦时,对通过一任意半径处的环带的光,要保证所有的光从光源点到焦点处之间的光程差一致。而使用圆形波带片对正入射的柱面波线光源聚焦时,则不可避免使通过每一个环带的光的本身就存在额

外的光程差。根据瑞利的四分之一波长定律,当波前失谐超过波长的四分之一时,聚焦效果就会明显变差。当波带片直径足够小时,其波前失谐并不是太明显,但这时波带片的数值孔径也非常小,意味着聚焦光斑很大;而在实际的波带片尺寸下,就必须要考虑波前失谐。

[0007] 根据上述发明目的和发明构思,本发明提出了一种使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,其包括下列步骤:

[0008] 根据柱面波线光源的波长确定所使用波带片的焦距 $f: f=r_1^2/\lambda$, 其中 r_1 为波带片第一环的半径(通常为 μm 量级,计算时单位统一为 m), λ 为柱面波线光源的波长(对 X 射线,为 nm 量级,计算时单位统一为 m);

[0009] 根据下述模型确定波带片的旋转角度 $\theta: \sin^2 \theta = f/(p+f)$, 其中 p 为柱面波线光源的源距(波带片与柱面波线光源之间的距离,其通常为 m 量级,计算时单位统一为 m);

[0010] 将波带片放置在柱面波线光源的光路上,并绕着一旋转轴心按照上述旋转角度进行旋转,所述旋转轴心通过波带片的中心,并与柱面波线光源的光轴平行。

[0011] 进一步地,在上述使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法中,还需要沿着光路方向在波带片的后方依次设置一中央挡块和一小孔光阑以阻挡直通光和除了一级衍射光以外其他级次的衍射光,所述中央挡块紧邻波带片设置,所述中央挡块的外径略大于小孔光阑的孔径。

[0012] 本技术方案通过调整波带片的旋转角度,补偿了柱面波线光源与焦点之间的光程差,从而将柱面波线光源聚焦成了一个点光斑。在本技术方案中,焦点的位置、焦距均与波带片未旋转时对正入射平面波聚焦一致,也就是说,旋转波带片一定角度后对柱面波进行聚焦,焦点位置与焦距均不发生变化,聚焦光斑的分辨率与瑞利分辨率差异非常小,基本一致。

[0013] 采用本发明所述的使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法,较之现有的各种聚焦方法,具有下述有益效果:

[0014] (1) 仅使用单个光学元件(波带片)就能有效地将柱面波线光源聚焦为圆形点光斑,从而大大简化了结构设置,也便于操作;

[0015] (2) 适用于同步辐射光束线的实际情况,使得不长的光束线也可能实现纳米尺度的聚焦;

[0016] (3) 适用于任何使用波带片聚焦的情形,例如用波带片聚焦软、硬 X 射线,聚焦中子等;

[0017] (4) 由于波带片的旋转角度由源距和焦距决定,因此可以适用于各种源距、焦距,并具有能量可调性,适用性强。

附图说明

[0018] 图 1 是本发明所述的使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法的原理图。

[0019] 图 2 是本发明所述的使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法在一种实施方式下的实施状态示意图。

具体实施方式

[0020] 下面将结合说明书附图和具体的实施例对本发明所述的使用波带片将柱面波线

光源聚焦为点光斑的方法做进一步的详细说明。

[0021] 如图 1 所示,本技术方案是通过调节波带片 2 的旋转角度 θ 来实现将柱面波线光源 1 在试样 3 上聚焦为点光斑 F_0 的,旋转角度 θ 的确定是本技术方案的关键,对于一个既定的波带片,该旋转角度 θ 与焦距和柱面波线光源 1 与波带片的源距有关。从图 1 中可以看出,在进行聚焦时,波带片 2 的旋转轴心必须与柱面波线光源 1 的光轴 O_1O 平行。

[0022] 图 2 显示了本发明所述的使用波带片将柱面波线光源聚焦为点光斑的方法在一种实施方式下的实施状态示意图。

[0023] 请参阅图 1 和图 2,在本实施例中,柱面波线光源为 X 射线柱面波线光源,其波长 λ 为 0.1nm,源距 p 为 6.4m,波带片第一环的半径 r_1 为 $2\mu\text{m}$,根据焦距公式 $f=r_1^2/\lambda$,可以得到本实施例中的焦距 f 为 4cm。

[0024] 按照下列方法将 X 射线柱面波线光源在试样上聚焦为点光斑:

[0025] 将波带片 2 设置在 X 射线柱面波线光源 1 的光路上,从而在试样 3 上聚焦形成点光斑,在波带片 2 的后方依次设置中央挡块 4 和小孔光阑 5 以阻挡直通光和除了一级衍射光以外其他级次的衍射光,从图 2 中可以看出,中央挡块 4 紧邻波带片 2 设置,同时中央挡块 4 的外径略大于小孔光阑 5 的孔径;

[0026] 根据模型 $\sin^2\theta = f/(p+f)$ 确定波带片 2 的旋转角度 θ 为 4.52 度;

[0027] 保证旋转轴心与柱面波线光源的光轴平行(即旋转轴心与入射光垂直),采用旋转电机驱动波带片绕着旋转轴心旋转 4.52 度,以在试样 3 上形成圆形点光斑。

[0028] 要注意的是,以上列举的仅为本发明的具体实施例,显然本发明不限于以上实施例,随之有着许多的类似变化。本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,均应属于本发明的保护范围。

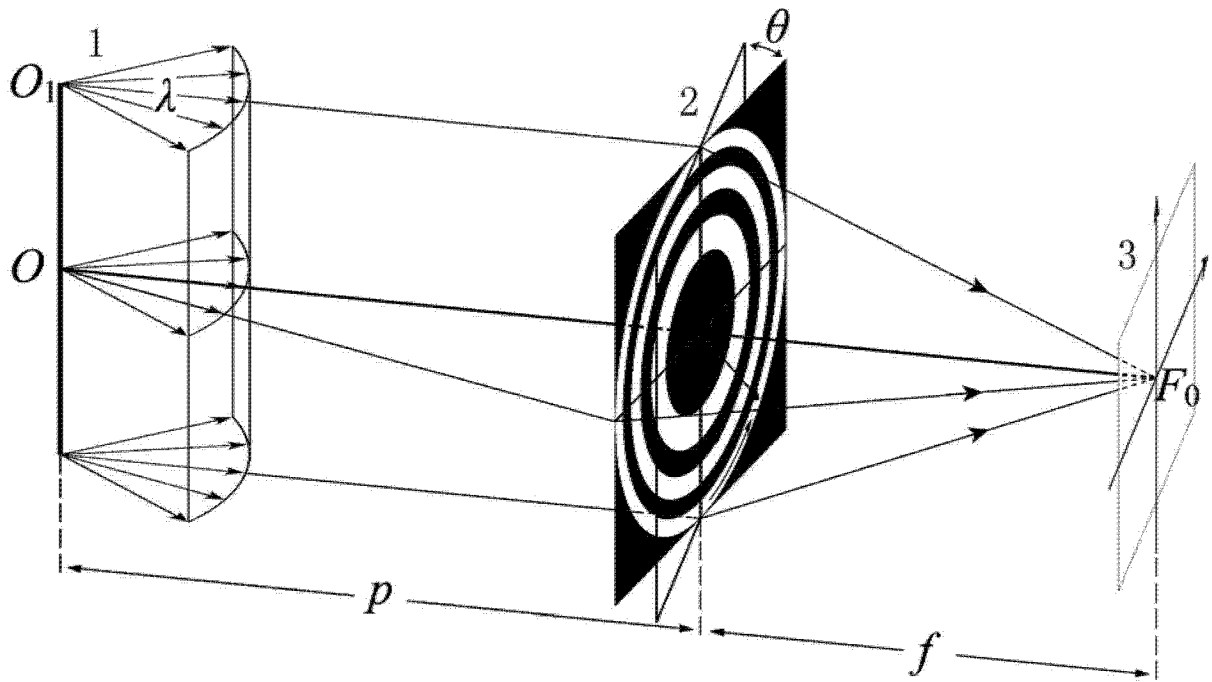


图 1

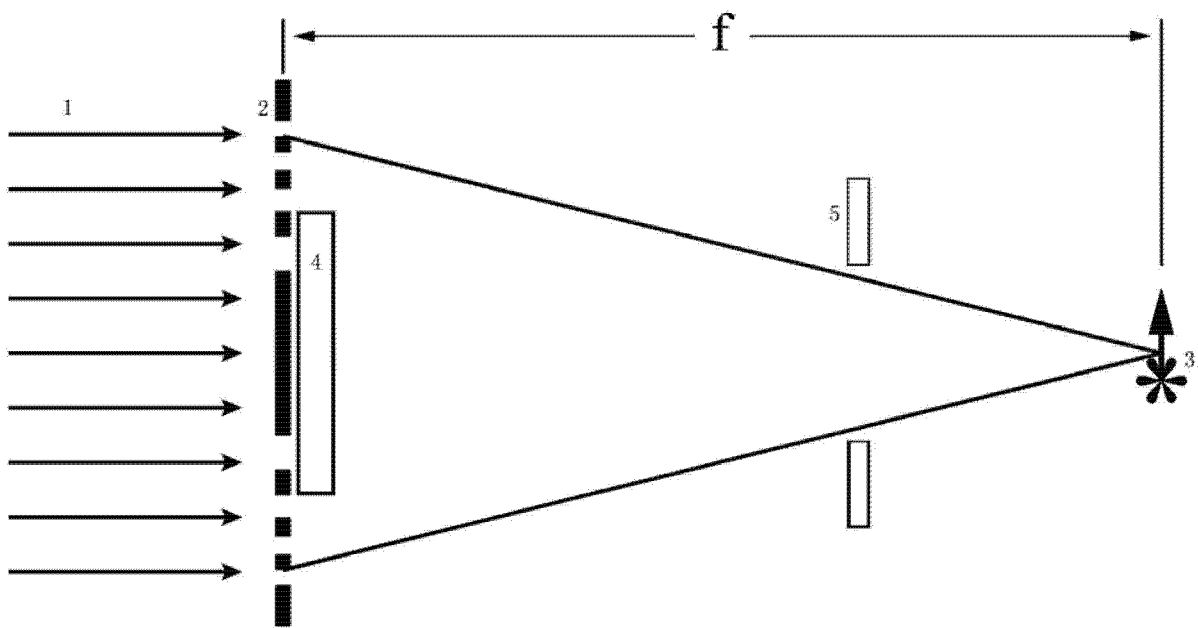


图 2