



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116337902 A

(43) 申请公布日 2023.06.27

(21) 申请号 202310321906.2

(22) 申请日 2023.03.29

(71) 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街174号

申请人 中国工程物理研究院激光聚变研究中心

(72) 发明人 施军 王峰 江月 杨国洪

韦敏习 杨祖华 肖沙里

(74) 专利代理机构 重庆博凯知识产权代理有限公司

50212

专利代理师 黄河

(51) Int. Cl.

G01N 23/20008 (2018.01)

G01N 23/207 (2018.01)

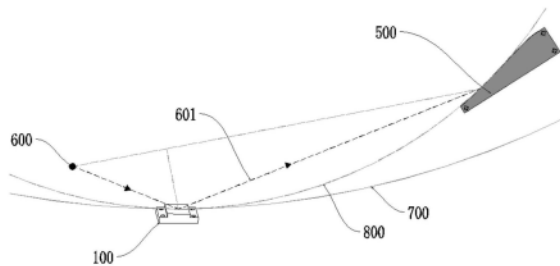
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统

(57) 摘要

本发明公开一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,用于对光源发出的X射线衍射后进行检测,包括衍射晶体以及检测器,所述衍射晶体表面具有衍射面,所述衍射面能够将所述光源发射并辐射至衍射面的X射线全部衍射后被检测器检测;本发明从源头上解决传统平面晶体X射线收集效率低、柱面或锥面晶体X射线谱分辨率低、球面晶体测谱范围窄的技术问题,使其同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围的特点,从而实现X射线在多个能点的聚焦测谱功能,减弱对整个X射线光谱检测系统中光源放置位置的限制。



1. 一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,用于对光源发出的X射线衍射后进行检测,包括衍射晶体以及检测器,所述衍射晶体表面具有衍射面,所述衍射面能够将所述光源发射并辐射至衍射面的X射线全部衍射后被检测器检测。

2. 根据权利要求1所述的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,所述衍射面包括多个弧矢圆弧,所述多个弧矢圆弧的中点连线为半径为R的子午圆弧,所述多个弧矢圆弧按照子午圆弧的延伸轨迹依次排列形成衍射面,所述光源发出的X射线分别在多个弧矢圆弧上衍射后能够分别聚焦于多个弧矢焦点,所述各个弧矢焦点分别位于与对应的各个弧矢圆弧面垂直平面上的罗兰圆上,所述各个罗兰圆直径为R,且各个罗兰圆均与子午圆弧相切。

3. 根据权利要求2所述的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,所述检测器的检测面至少涵盖了各个弧矢焦点所在位置。

4. 根据权利要求2所述的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,所述检测器的检测面由各个弧矢焦点的连线组成。

5. 一种衍射晶体以及检测器的制作方法,用于制作如权利要求4所述的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,包括以下步骤:

S1、构建半径为R的子午圆弧,放置模拟X射线光源S于子午圆弧与罗兰圆的切点的一侧;

S2、模拟X射线光源发射n条X射线并得到与子午圆弧的n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$;连线子午圆弧的圆心O与得到的各交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$,得到n条连线

$\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$;分别以n条连线 $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$ 的中点为圆心 $\{O_1, O_2, O_3 \dots O_n\}$,绘制n个直径为R的罗兰圆;

S3、分别将n条X射线以与之相交于各个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 的连线为镜像轴进行镜像,得到n条X射线衍射线;将n条X射线衍射线延长并与对应的n个罗兰圆相交,得到n个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$;

S4、分别将模拟X射线光源S与各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,得到n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$,并分别自n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 向n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$ 做垂直线,得到n个垂点和n条垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$;以各垂点 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 为圆心,以对应的各垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$ 半径做圆,得到n个垂直于罗兰圆平面的弧矢圆;

S5、取步骤S4中得到的各圆心 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 与子午圆弧之间的n段圆弧,并进行排列形成曲面,将此曲面作为晶体的衍射面形状;将步骤S4中的各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,将得到的连线作为检测器的检测面型;

S6、根据步骤S5中得到的晶体的衍射面形状以及检测器的检测面型,对晶体的衍射面以及检测器的检测器面型进行加工,然后将X射线感光材料粘贴于检测器面型上,从而得到具有步骤S5中特定衍射面的衍射晶体以及与衍射晶体相配合的检测器面。

6. 根据权利要求5所述的衍射晶体以及检测器的制作方法,其特征在于,步骤S1中所述模拟X射线光源S布置于各个罗兰圆内部。

7. 根据权利要求5所述的衍射晶体以及检测器的制作方法,其特征在于,所述n值的取值范围是 $n \geq 50$,其中,n为自然数。

8. 根据权利要求5所述的衍射晶体以及检测器的制作方法,其特征在于,所述n值的取

值范围是50~150,其中,n为自然数。

9.根据权利要求5所述的衍射晶体以及检测器的制作方法,其特征在于,步骤S6中所述晶体是石英、Ge、Si等晶体材料的其中一种。

10.根据权利要求9所述的衍射晶体以及检测器的制作方法,其特征在于,步骤S6中所述的X射线感光材料是能够弯曲变形的X射线胶片或X射线成像板器件。

一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及X射线光谱检测领域,具体涉及一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统。

背景技术

[0002] 惯性约束核聚变(Inertial Confinement Fusion, ICF)是把强激光(或粒子束)等指向性强的能量(驱动核聚变的能量,也称驱动器)均匀辐照氘、氚等热核燃料组成的微型靶丸,在极短的时间内靶丸表面会发生电离和消融,形成包围靶心的高温等离子体。等离子体向外爆炸膨胀,根据动量守恒定理,将形成一个极大的向心的反作用压力,这个压力相当于地球上大气压力的十亿倍。在如此巨大的压力作用下,氘、氚等离子体被压缩到极高的温度和极高的密度,引起氘氚燃料的核聚变反应。

[0003] 在惯性约束核聚变反应过程中,X射线发射和中子是等离子体仅有的可观测的特征信号,X射线能谱可以提供关于等离子体的电子密度、温度、等离子体运动、电荷分布和离子输运参量等重要信息。

[0004] 目前X射线光谱检测是ICF诊断的主要手段,它相对于其他方法有两方面的优越性:

[0005] 一、采用等离子体自身的X射线发射作为诊断的依据,不会对被测等离子体产生干扰;

[0006] 二、X射线光谱的发射强度和等离子体的离化状态、能级分布等具有直接的关系。

[0007] 在对X射线进行检测时,常常采用的方式是利用晶体对X射线进行衍射分光后进行检测,能够被晶体衍射的X射线需要满足布拉格条件:即 $2d\sin\theta=n\lambda$,其中d为晶体常数, θ 为布拉格掠入射角,n为衍射级次。

[0008] 现有技术中常采用以下几种方式对X射线进行衍射分光后进行检测:

[0009] (1)采用平面晶体对X射线进行直接衍射

[0010] 平面晶体结构简单、测谱范围宽,但是平面晶体不具有X射线的聚焦功能,因此对于X射线的收集效率低。

[0011] (2)采用柱面或锥面晶体对X射线进行衍射

[0012] 柱面或锥面晶体的衍射面是光滑的圆柱或圆锥面的一部分,柱面或锥面晶体对X射线的衍射原理均为布拉格衍射。柱面或锥面晶体的特点是X射线的衍射分光发生在柱面或锥面晶体的母线方向,柱面或锥面只对光束起聚光的作用。

[0013] 由于柱面或锥面晶体能够将X射线进行聚光,从而能够提升了X射线的收集效率,但是,由于柱面或锥面晶体的聚焦原理并非利用了罗兰圆原理,光谱分辨率较低;另外,不同能量的X射线在经过柱面或锥面晶体衍射后的光程不一致,对检测结果会产生影响,造成检测结果出现判断不准确或者失误。

[0014] (3)采用球面晶体对X射线进行衍射

[0015] 球面弯晶具有相同曲率半径的弧面,且曲率半径为R,则罗兰圆的半径为R/2,在子

午面上,罗兰圆上光源发出的不同波长的X射线聚焦于罗兰圆上相应位置,当探测器位于罗兰圆该位置时,能够得到高分辨的光谱。球面晶体在对符合布拉格条件的X射线进行衍射时,除了符合罗兰圆原理对X射线进行聚焦,还必须满足特定结构,如图6所示,A点为光源位置,虚线圆为罗兰圆,半径为 $R/2$,经过C点的圆弧为晶体弯曲面,半径为 R 。检测点B要求位于罗兰圆上,而且晶体圆的圆心必须位于AB连线上,这样才能确保由A点辐射至晶体表面的射线能够聚焦于B处。

[0016] 但是,由于球面晶体在理论上只有与罗兰圆相切处的C点符合罗兰圆原理,故测谱范围窄;而且要求X射线源放置于罗兰圆外面较远处,能够放置的位置相对受限,造成应用范围受限。

[0017] 上述罗兰圆原理是指:如图1所示,在凹球面反射镜面上刻划一系列等间距的平行线条构成的反射光栅,具有分光能力和聚光能力,物理学家罗兰(Henry A. Rowland)在1880年代初期所发现,若将缝光源和凹面光栅放置在直径等于凹面光栅曲率半径的圆周上,且该圆与光栅中点G相切,则由凹面光栅形成的光谱呈在这个圆周上,该圆称为罗兰圆。

[0018] 晶体可以看成是对X射线具有分光 and 聚光能力的光栅,将晶体弯曲成圆弧形,晶体弯曲半径等于罗兰圆直径,则在晶体罗兰圆上点发出的X射线经弯晶反射后仍然聚焦于罗兰圆上点。

[0019] 综上所述,需要发明一种X射线聚焦检测系统,从源头上解决传统平面晶体X射线收集效率低、球面晶体测谱范围窄、柱面或锥面晶体结构光谱分辨低的问题,能够同时实现X射线在多个能点的聚光功能,减小对X射线光谱检测器放置位置的限制,以求得到一种同时具有较高的X射线的收集效率、宽频谱范围、高光谱分辨的X射线检测系统。

发明内容

[0020] 本发明目的在于提供一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,从原理上解决了传统平面晶体X射线收集效率低、球面晶体测谱范围窄、柱面或锥面晶体结构光谱分辨低的问题,为聚变点火提供同时具有宽频谱范围、高光谱分辨的X射线检测系统。

[0021] 为了解决上述技术问题,本发明采用了如下的技术方案:

[0022] 一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,用于对光源发出的X射线衍射后进行检测,包括衍射晶体以及检测器,所述衍射晶体表面具有衍射面,所述衍射面能够将所述光源发射并辐射至衍射面的X射线全部衍射后被检测器检测。

[0023] 优选的,所述衍射面包括多个弧矢圆弧,所述多个弧矢圆弧的中点连线为半径为 R 的子午圆弧,所述多个弧矢圆弧按照子午圆弧的延伸轨迹依次排列形成衍射面,所述光源发出的X射线分别在多个弧矢圆弧上衍射后能够分别聚焦于多个弧矢焦点,所述各个弧矢焦点分别位于与对应的各个弧矢圆弧面垂直平面上的罗兰圆上,所述各个罗兰圆直径为 R ,且各个罗兰圆均与子午圆弧相切。

[0024] 优选的,所述检测器的检测面至少涵盖了各个弧矢焦点所在位置。

[0025] 优选的,所述检测器的检测面由各个弧矢焦点的连线组成。

[0026] 本发明还公开了一种衍射晶体以及检测器的制作方法,用于制作如上所述的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,其特征在于,包括以下步骤:

[0027] S1、构建半径为 R 的子午圆弧,放置模拟X射线光源S于子午圆弧与罗兰圆的切点的

一侧；

[0028] S2、模拟X射线光源发射n条X射线并得到与子午圆弧的n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ ；连线子午圆弧的圆心O与得到的各交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ ，得到n条连线

[0029] $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$ ；分别以n条连线 $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$ 的中点为圆心

[0030] $\{O_1, O_2, O_3 \dots O_n\}$ ，绘制n个直径为R的罗兰圆；

[0031] S3、分别将n条X射线以与之相交于各个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 的连线为镜像轴进行镜像，得到n条X射线衍射线；将n条X射线衍射线延长并与对应的n个罗兰圆相交，得到n个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ ；

[0032] S4、分别将模拟X射线光源S与各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连，得到n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$ ，并分别自n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 向n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$ 做垂线，得到n个垂点和n条垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$ ；以各垂点 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 为圆心，以对应的各垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$ 半径做圆，得到n个垂直于罗兰圆平面的弧矢圆；

[0033] S5、取步骤S4中得到的各圆心 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 与子午圆弧之间的n段圆弧，并进行排列形成曲面，将此曲面作为晶体的衍射面形状；将步骤S4中的各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连，将得到的连线作为检测器的检测面型；

[0034] S6、根据步骤S5中得到的晶体的衍射面形状以及检测器的检测面型，对晶体的衍射面以及检测器的检测器面型进行加工，然后将X射线感光材料粘贴于检测器面型上，从而得到具有步骤S5中特定衍射面的衍射晶体以及与衍射晶体相配合的检测器面。

[0035] 优选的，步骤S1中所述模拟X射线光源S布置于各个罗兰圆内部。

[0036] 优选的，所述n值的取值范围是 $n \geq 50$ ，其中，n为自然数。

[0037] 优选的，所述n值的取值范围是 $50 \sim 150$ ，其中，n为自然数。

[0038] 优选的，步骤S6中所述晶体是石英、Ge、Si等晶体材料的其中一种。

[0039] 优选的，步骤S6中所述的X射线感光材料是能够弯曲变形的X射线胶片或X射线成像板器件。

[0040] 本发明具有以下有益效果：

[0041] 本发明公开一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统，从源头上解决传统平面晶体X射线收集效率低、柱面或锥面晶体X射线谱分辨率低、球面晶体测谱范围窄的技术问题，使其同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围的特点，从而实现X射线在多个能点的聚焦功能，减弱对整个X射线光谱检测系统中光源放置位置的限制。

[0042] 本发明中的衍射晶体的衍射面包括了多个弧矢圆弧，在光源发出X射线时，那么就能在衍射面上的多个弧矢圆弧进行聚焦，能够同时产生多个聚焦点，而相对应的检测器的检测面全面涵盖了X射线经衍射面衍射后聚焦于各个罗兰圆上的各个聚焦点，从而能够对X射线进行同时具备高谱分辨率以及宽测谱范围功能的检测。

附图说明

[0043] 为了使发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述，其中：

[0044] 图1为罗兰圆原理示意图。

[0045] 图2为现有技术中平面晶体对X射线的衍射原理示意图。

- [0046] 图3为现有技术中Cy-I型和Cy-II型柱面晶体对X射线的衍射原理示意图。
- [0047] 图4为现有技术中Co-I型锥面晶体对X射线的衍射原理示意图。
- [0048] 图5为现有技术中Co-II型锥面晶体对X射线的衍射原理示意图。
- [0049] 图6为现有技术中球面弯晶对X射线的衍射原理示意图。
- [0050] 图7为本发明的X射线聚焦检测系统组成示意图。
- [0051] 图8为本发明衍射晶体以及检测器的制作方法的原理示意图。
- [0052] 图9为本发明实施例的X射线聚焦检测系统组成示意图。
- [0053] 附图标记说明：100、衍射晶体；101、衍射面；102、固定部；103、螺丝孔；200、弹性件；300、第一螺钉；400、定位板；401、定位孔；402、定位螺钉；403、安装孔；500、检测器；600、光源；601、X射线；700、子午圆弧；800、罗兰圆。

具体实施方式

[0054] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0055] 应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。此外，术语“水平”、“竖直”等术语并不表示要求部件绝对水平或悬垂，而是可以稍微倾斜。如“水平”仅仅是指其方向相对“竖直”而言更加水平，并不是表示该结构一定要完全水平，而是可以稍微倾斜。在本发明的描述中，还需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0056] 为了更加的便于理解本发明的发明点，首先对本发明中公开的技术方案的研究背景进行详细阐述。

[0057] 针对波长在0.1~2nm范围的等离子体X射线辐射，利用晶面间隔为亚纳米到数纳米的各种晶体材料作为分光元件的光谱仪是获取光谱图像的重要实验手段。

[0058] 为了便于理解，此处对X射线检测时常用的罗兰圆原理进行介绍，应用了罗兰圆原理的晶体，在对X射线衍射时能够起到X射线聚焦的功能且能够实现在特定能点上具备较高的谱分辨率的功能，因此，在X射线检测的相同或相近的技术领域，如何将罗兰圆原理充分应用在能够对X射线衍射的晶体结构上，具有较为重要的研究地位和较大的研究价值。

[0059] 能够被衍射的X射线需要满足布拉格衍射原理，如式(1)所示：

$$[0060] \quad 2d \sin\theta = n\lambda \quad (1)$$

[0061] 其中 λ 为X射线波长， d 为晶面间距， θ 为布拉格衍射角， n 为衍射阶次。

[0062] 如图1所示,上述罗兰圆原理是指:在凹球面反射镜面上刻划一系列等间距的平行线条构成的反射光栅,具有分光能力和聚光能力,物理学家罗兰(Henry A.Rowland)在1880年代初期所发现,若将缝光源和凹面光栅放置在直径等于凹面光栅曲率半径的圆周上,且该圆与光栅中点G相切,则由凹面光栅形成的光谱呈在这个圆周上,该圆称为罗兰圆。

[0063] 晶体可以看成是对X射线具有分光和聚光能力的光栅,将晶体弯曲成圆弧形,晶体弯曲半径等于罗兰圆直径,则在晶体罗兰圆上点发出的X射线经弯晶反射后仍然聚焦于罗兰圆上点。

[0064] 那么在对X射线进行检测时,常常采用的方式是对X射线进行衍射后进行检测,现有技术中常采用以下几种方式:

[0065] (1)采用平面晶体对X射线进行直接衍射

[0066] 如图2所示,图2展示了平面晶体对X射线的衍射原理。平面晶体由于其结构简单、加工难度低而广泛地应用于X射线光谱分析,是一种最简单的X射线衍射晶体。平面晶体结构简单、测谱范围宽,但是平面晶体不具有X射线的聚焦功能,因此对于X射线光子收集效率低,谱线强度弱。此外,光源尺寸对光谱分辨率的影响明显,而且平面晶体对X射线的衍射不符合罗兰圆原理,谱分辨难以提升,不满足高光谱分辨的测量要求。

[0067] (2)采用柱面或锥面晶体对X射线进行衍射

[0068] 如图3至图5所示,柱面或锥面晶体的衍射面是光滑的圆柱或圆锥面的一部分,柱面或锥面晶体对X射线的衍射原理均为布拉格衍射。

[0069] 图3至图5展示了几种柱面或锥面晶体的几何结构以及工作原理示意图,其中,图3展示的是Cy-I型和Cy-II型柱面晶体,特点是光源位于柱面晶体的轴线上,Cy-I型和Cy-II型的区别是探测器放置的位置,Cy-I型的探测器平面垂直于轴线放置,Cy-II型的探测器平面于轴线放置;图4和图5分别展示的是Co-I型和Co-II型锥面晶体,Co-I型的特点是光源位于锥面晶体的主截面内,而探测器平面过圆锥顶点且垂直于母线时的结构,Co-II型的特点是光源和探测器平面都放置在圆锥的对称轴线上。

[0070] 柱面或锥面晶体的在X射线衍射上的特点是:X射线的衍射分光发生在柱面或锥面晶体的母线方向,当一束复色X光经过晶体衍射后,在空间存在色散,在不同的位置放置探测器,就得到了光谱图像,柱面或锥面只对光束起聚焦的作用。

[0071] 由于柱面或锥面晶体能够将X射线进行聚焦,从而能够提升了X射线的收集效率,但是,由于柱面或锥面晶体的聚焦原理并非利用了罗兰圆原理,光谱分辨率较低;另外,不同能量的X射线在经过柱面或锥面晶体衍射后的光程不一致,对检测结果会产生影响,造成检测结果出现判断不准确或者失误。

[0072] (3)采用球面晶体对X射线进行衍射

[0073] 作用于球面晶体的X射线也均需要满足式(1)所示的布拉格衍射原理。如图6所示,采用的衍射晶体的曲面为一球面,球面弯晶X射线光谱检测系统具有窄的谱宽度(单色性)、高通量和高分辨的特点,目前已广泛应用于激光等离子体物理诊断实验中。由于球面弯晶聚焦具有上述特点,从而减小了在光谱数据处理难度,提高数据的可信度。

[0074] 球面弯晶具有相同曲率半径的弧面,且曲率半径为R,则罗兰圆的半径为R/2,在子午面上,罗兰圆上光源发出的不同波长的X射线聚焦于罗兰圆上相应位置,当探测器位于罗兰圆该位置时,能够得到高分辨的光谱。球面晶体在对符合布拉格条件的X射线进行衍射

时,除了符合罗兰圆原理对X射线进行聚焦,还必须满足特定结构。

[0075] 如图6所示,A点为光源位置,虚线圆为罗兰圆,半径为 $R/2$,经过C点的圆弧为晶体弯曲面,半径为 R ;检测点B要求位于罗兰圆上,而且晶体圆的圆心必须位于AB连线上,这样才能确保由A点辐射至晶体表面的射线能够聚焦于B处。

[0076] 但是,由于球面晶体上在理论上只有与罗兰圆相切处的C点符合罗兰圆原理,故测谱范围窄;而且要求X射线源放置于罗兰圆外面较远处,能够放置的位置相对受限,造成应用范围受限。

[0077] 综上所述,平面晶体X射线虽然测谱范围宽,但是收集效率低;柱面或锥面晶体结构虽然能够提升X射线的收集效率,但是光谱分辨低;球面晶体虽然能够提高X射线的收集效率,但是只有特定能点(罗兰圆与晶体圆相切点)符合罗兰圆原理,故测谱范围窄,对X射线光源能够放置的位置相对受限,造成应用范围受限。

[0078] 如果能够存在一种X射线光谱检测系统,同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围的特点,那么对于现有的X射线测谱设备来说,具有非常重大的理论研究和应用研究的意义。

[0079] 因此,为了克服上述所述的技术缺陷,需要发明一种X射线聚焦检测系统,从源头上解决传统平面晶体X射线收集效率低、柱面或锥面晶体X射线谱分辨率低、球面晶体测谱范围窄的技术问题,使其同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围的特点,从而实现X射线在多个能点的聚焦测谱功能,减弱对整个X射线光谱检测系统中光源放置位置的限制。

[0080] 那么,基于以上技术背景以及要解决的技术问题,本发明公开了一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,所述宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统能够对X射线进行衍射聚焦检测,可以应用在核辐射及X射线光谱检测领域,包括核裂变过程光谱检测、激光惯性约束聚变光谱检测、粒子加速器及同步辐射光谱诊断等。

[0081] 如图7所示,所述宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,用于对光源发出的X射线衍射后进行检测,包括衍射晶体以及检测器,所述衍射晶体表面具有衍射面,所述衍射面能够将所述光源发射并辐射至衍射面的X射线全部衍射后被检测器检测。

[0082] 作为优选,所述衍射面包括多个弧矢圆弧,所述多个弧矢圆弧的中点连线为半径为 R 的子午圆弧,所述多个弧矢圆弧按照子午圆弧的延伸轨迹依次排列形成衍射面,所述光源发出的X射线分别在多个弧矢圆弧上衍射后能够分别聚焦于多个弧矢焦点,所述各个弧矢焦点分别位于与对应的各个弧矢圆弧面垂直平面上的罗兰圆上,所述各个罗兰圆直径为 R ,且各个罗兰圆均与子午圆弧相切。

[0083] 具体的,所述子午圆弧即为穿过衍射面中轴面的圆弧。

[0084] 具体的,所述衍射面的子午圆弧的曲率半径 R 的范围是 $500\sim 2000\text{mm}$ 。

[0085] 具体的,所述弧矢圆弧的半径取值范围是 $100\sim 400\text{mm}$ 。

[0086] 作为优选,所述检测器的检测面至少涵盖了各个弧矢焦点所在位置。

[0087] 作为优选,所述检测器的检测面由各个弧矢焦点的连线组成。

[0088] 具体的,所述光源的位置位于各个罗兰圆内,且所述衍射晶体位于光源与检测器之间。

[0089] 具体的,本发明公开的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统的测谱范围是 $1\text{k}\sim 20\text{keV}$,光谱分辨能力范围能够大于2000。所述光谱分辨能力是探测器所探测的辐

射光谱波长与最小波长间隔的比值,一般来说,该比值越大,则光谱分辨能力越高。

[0090] 具体的,光源发出的能够被衍射的X射线需要满足布拉格衍射原理,如上述式(1)所示,布拉格衍射角 θ 的取值范围是 $5^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。

[0091] 本发明的工作原理是:本发明公开的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统应用了罗兰圆原理,也即,罗兰圆直径等于晶体弯曲半径,在罗兰圆上点发出的X射线经反射后仍然聚焦于罗兰圆上点,但是,本发明并不拘泥于单个罗兰圆,而是针对X射线在子午圆弧上的衍射情况,采用了多个罗兰圆,每个罗兰圆与子午圆弧均相切,每个罗兰圆对应的均具有一个弧矢面,即弧矢圆弧所在平面。

[0092] 光源发出X射线时,能够分别在多个弧矢圆弧上进行分别聚焦,同时产生多个聚焦点,单个聚焦点为在单个弧矢圆弧上发生衍射的X射线的弧矢焦点;而相对应的检测器的检测面全面涵盖了X射线经衍射面衍射后聚焦于各个罗兰圆上的各个聚焦点,从而能够对X射线进行同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围功能的检测。

[0093] 采用本发明所公开的一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统具有如下技术效果:本发明中的衍射晶体的衍射面包括了多个弧矢圆弧,在光源发出X射线时,那么就能在衍射面上的多个弧矢圆弧进行聚焦,能够同时产生多个聚焦点,而相对应的检测器的检测面全面涵盖了X射线经衍射面衍射后聚焦于各个罗兰圆上的各个聚焦点,从而能够对X射线进行同时具备高谱分辨率以及宽测谱范围功能的检测。

[0094] 本发明还公开了一种衍射晶体以及检测器的制作方法,包括以下步骤:

[0095] S1、构建半径为R的子午圆弧,放置模拟X射线光源S于子午圆弧与罗兰圆的切点的一侧;

[0096] S2、模拟X射线光源发射n条X射线并得到与子午圆弧的n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$;连线子午圆弧的圆心O与得到的各交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$,得到n条连线

[0097] $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$;分别以n条连线 $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$ 的中点为圆心

[0098] $\{O_1, O_2, O_3 \dots O_n\}$,绘制n个直径为R的罗兰圆;

[0099] S3、分别将n条X射线以与之相交于各个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 的连线为镜像轴进行镜像,得到n条X射线衍射线;将n条X射线衍射线延长并与对应的n个罗兰圆相交,得到n个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$;

[0100] S4、分别将模拟X射线光源S与各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,得到n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$,并分别自n个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 向n条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$ 做垂线,得到n个垂点和n条垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$;以各垂点 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 为圆心,以对应的各垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$ 半径做圆,得到n个垂直于罗兰圆平面的弧矢圆;

[0101] S5、取步骤S4中得到的各圆心 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 与子午圆弧之间的n段圆弧,并进行排列形成曲面,将此曲面作为晶体的衍射面形状;将步骤S4中的各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,将得到的连线作为检测器的检测面型;

[0102] S6、根据步骤S5中得到的晶体的衍射面形状以及检测器的检测面型,对晶体的衍射面以及检测器的检测器面型进行加工,然后将X射线感光材料粘贴于检测器面型上,从而得到具有步骤S5中特定衍射面的衍射晶体以及与衍射晶体相配合的检测器面。

[0103] 具体的,模拟X射线光源S布置于各个罗兰圆内部。

[0104] 在实际应用中,可以根据实际需要对光源S布置的位置在各个罗兰圆内部进行调

整,调整后需要根据以上所述各个步骤相应的调整检测器上的检测器面。

[0105] 具体的,上述 n 值的取值越大,那么得到的衍射晶体的衍射面就能够具有更高精度,对于X射线的入射角度的限制就越小,对于X射线的测谱范围就越宽,根据实验表明, n 值低于50时,聚焦光谱的检测精度会受到影响,因此,本发明所公开的技术方案所采用的 n 值的取值范围是 $n \geq 50$,其中, n 为自然数。

[0106] 作为优选,基于现有的制造机械的加工精度,如果 n 值取值过高,则会使晶体衍射面的制造难度大大增加,具体的 n 的取值为高于150时,会使晶体衍射面的制造难度大大增加,那么基于能够实现的高谱分辨率和宽测谱范围的功能以及制造成本上考虑, n 值的优选范围是50~150。

[0107] 具体的,步骤S6中所述晶体是石英、Ge、Si等晶体材料的其中一种。

[0108] 具体的,步骤S6中所述的X射线感光材料是能够弯曲变形的X射线胶片或X射线成像板器件。

[0109] 如图8所示,揭示了本发明公开的衍射晶体以及检测器的制作方法的原理示意图,其过程原理是,即光源600发出X射线601时,能够分别在 n 个弧矢圆弧上进行分别聚焦,同时产生 n 个聚焦点(弧矢焦点),单个聚焦点为在单个弧矢圆弧上发生衍射的X射线601的弧矢焦点;而相对应的检测器500的检测面全面涵盖了X射线经衍射面101衍射后聚焦于各个罗兰圆800上的各个聚焦点,从而能够对X射线601进行同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围功能的检测。

[0110] 为了进一步阐述本发明的结构/方法,本发明公开了以下实施例。

[0111] 实施例

[0112] 本实施例公开了一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,用于对光源发出的X射线衍射后进行检测。

[0113] 本实施例能够解决传统平面晶体X射线收集效率低、柱面或锥面晶体X射线谱分辨率低、曲面弯晶X射线收集效率以及谱分辨率低、球面晶体测谱范围窄的技术问题,使其同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围的特点,从而实现X射线在多个能点的聚焦功能,减弱对整个X射线光谱检测系统中光源放置位置的限制。

[0114] 首先,如图8所示,基于上述需要解决的技术问题,按照上述衍射晶体以及检测器的制作方法中的步骤进行制作,具体是:

[0115] S1、构建半径为1500mm的子午圆弧,放置模拟X射线光源S于子午圆弧与罗兰圆的切点的一侧;

[0116] S2、模拟X射线光源发射 n 条X射线并得到与子午圆弧的 n 个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$;连线子午圆弧的圆心O与得到的各交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$,得到 n 条连线

[0117] $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$;分别以 n 条连线 $\{AO_1, AO_2, AO_3 \dots AO_n\}$ 的中点为圆心

[0118] $\{O_1, O_2, O_3 \dots O_n\}$,绘制 n 个直径为R的罗兰圆;其中, $n=50$;

[0119] S3、分别将 n 条X射线以与之相交于各个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 的连线为镜像轴进行镜像,得到 n 条X射线衍射线;将 n 条X射线衍射线延长并与对应的 n 个罗兰圆相交,得到 n 个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$;其中, $n=50$;

[0120] S4、分别将模拟X射线光源S与各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,得到 n 条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$,并分别自 n 个交点 $\{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}$ 向 n 条连线 $\{SD_1, SD_2, SD_3 \dots SD_n\}$ 做垂直

线,得到n个垂点和n条垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$;以各垂点 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 为圆心,以对应的各垂线 $\{AC_1, AC_2, AC_3 \dots AC_n\}$ 半径做圆,得到n个垂直于罗兰圆平面的弧矢圆;其中, $n=50$;

[0121] S5、取步骤S4中得到的各圆心 $\{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 与子午圆弧之间的n段圆弧,并进行排列形成曲面,将此曲面作为晶体的衍射面形状;将步骤S4中的各个交点 $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_n\}$ 相连,将得到的连线作为检测器的检测面型;其中, $n=50$;

[0122] S6、根据步骤S5中得到的晶体的衍射面形状以及检测器的检测面型,对晶体的衍射面以及检测器的检测器面型进行加工,然后将X射线感光材料粘贴于检测器面型上,从而得到具有特定衍射面101的衍射晶体100以及与衍射晶体100相配合的具有步骤S5中特定检测器面的检测器500。

[0123] 具体的,本实施例步骤S6中所采用的所述X射线感光材料是能够弯曲变形的X射线胶片或X射线成像板器件。

[0124] 制作后的宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统,如图9所示,包括衍射晶体100以及检测器500,所述衍射晶体100表面具有衍射面101,所述衍射面101能够将所述光源600发射并辐射至衍射面101的X射线601全部衍射后被检测器500检测;所述衍射面101包括n个弧矢圆弧,其中, $n=50$,所述n个弧矢圆弧的中点连线为半径为R的子午圆弧700,所述n个弧矢圆弧按照子午圆弧700的延伸轨迹依次排列形成衍射面101,所述光源600发出的X射线601分别在n个弧矢圆弧上衍射后能够分别聚焦于n个弧矢焦点,所述各个弧矢焦点分别位于与对应的各个弧矢圆弧面垂直平面上的罗兰圆800上,所述各个罗兰圆800直径为1500mm,且各个罗兰圆800均与子午圆弧700相切。

[0125] 所述衍射晶体100还包括固定部102,所述固定部102远离衍射面101的一侧设置有定位板400,所述定位板400用于将衍射晶体100固定于预设位置,防止衍射晶体100在工作中发生偏移导致X射线601无法正常发生衍射。

[0126] 具体的,所述固定部102上开设有多个螺丝孔103,所述多个螺丝孔103在固定部102上均匀分布;与多个所述螺丝孔103对应的所述定位板400上开设有多个安装孔403,所述螺丝孔103与对应的安装孔403相连通;各个所述安装孔403中均放置有弹性件200,所述螺丝孔103中安装有第一螺钉300,所述第一螺钉300通过旋入螺丝孔103中使弹性件200发生弹性形变,所述第一螺钉300通过旋入螺丝孔103的深度对衍射晶体100与定位板400的相对平行度进行调节,也即能够对衍射面101的朝向进行调节,使光源600发射的X射线601能够顺利的衍射至检测器500上。

[0127] 同时,发生弹性形变的弹性件200能够对第一螺钉300产生反向的推动力,这样就能够使衍射晶体100稳固的固定在定位板400上,不容易发生位置偏移。

[0128] 作为弹性件200的其中一种具体实施方式,所述弹性件200为弹簧,所述弹簧的材质为铁质、塑料或不锈钢中的一种,所述弹簧的材质优选不锈钢。

[0129] 具体的,所述定位板400上还开设有定位孔401,所述定位孔401内壁具有内螺纹,用于将定位板400固定于预设位置,使定位板400不发生位置偏移;具体的,通过将定位螺钉402安装入定位孔401中,实现定位板400与预设位置的固定安装。

[0130] 本实施例的工作原理:基于罗兰圆原理,当光源发出X射线时,能够分别在多个弧矢圆弧上进行分别聚焦,同时产生多个聚焦点,单个聚焦点为在单个弧矢圆弧上发生衍射

的X射线的弧矢焦点；而相对应的检测器的检测面全面涵盖了X射线经衍射面衍射后聚焦于各个罗兰圆上的各个聚焦点，从而能够对X射线进行同时具备高谱分辨率、高收集效率、宽测谱范围功能的检测。

[0131] 采用实施例公开的一种宽频谱范围与高光谱分辨的X射线聚焦检测系统具有如下技术效果：本发明中的衍射晶体的衍射面包括了多个弧矢圆弧，在光源发出X射线时，那么就能在衍射面上的多个弧矢圆弧进行聚焦，能够同时产生多个聚焦点，而相对应的检测器的检测面全面涵盖了X射线经衍射面衍射后聚焦于各个罗兰圆上的各个聚焦点，从而能够对X射线进行同时具备高谱分辨率以及宽测谱范围功能的检测。

[0132] 可以理解，本发明是通过一些实施例进行描述的，本领域技术人员知悉的，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，可以对这些特征和实施例进行各种改变或等效替换。在本发明的教导下，可以对这些特征和实施例进行修改以适应具体的情况及材料而不会脱离本发明的精神和范围。本发明所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。因此，以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而是仅仅表示本发明的选定实施例。因此，本发明不受此处所公开的具体实施例的限制，基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

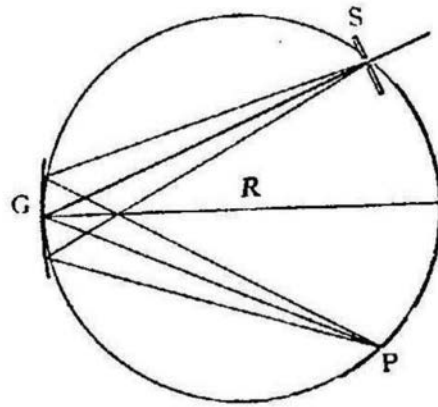


图1

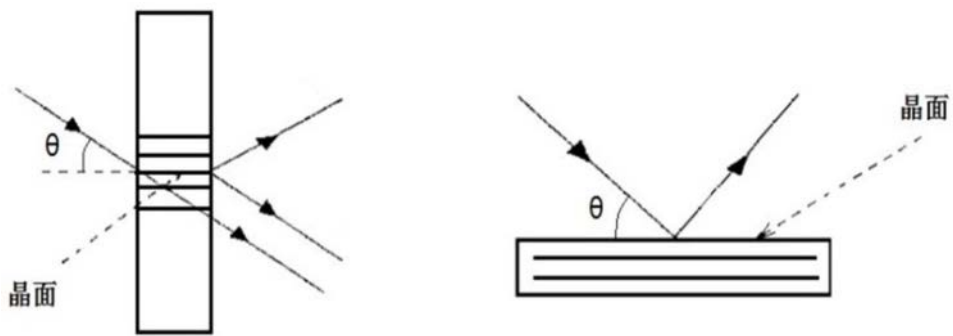


图2

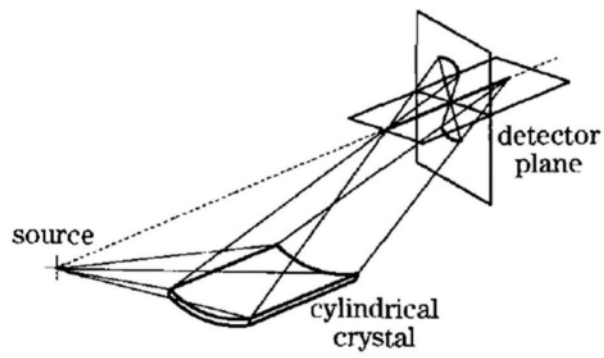


图3

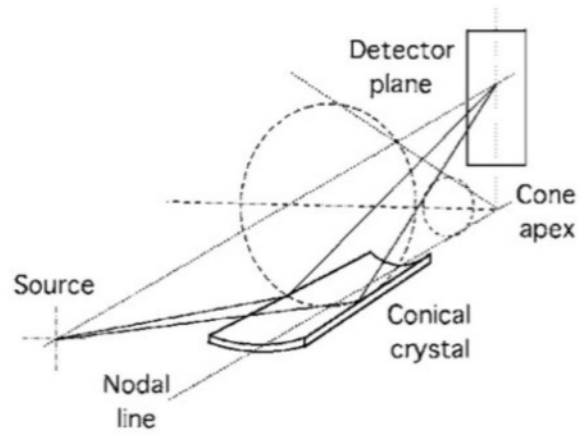


图4

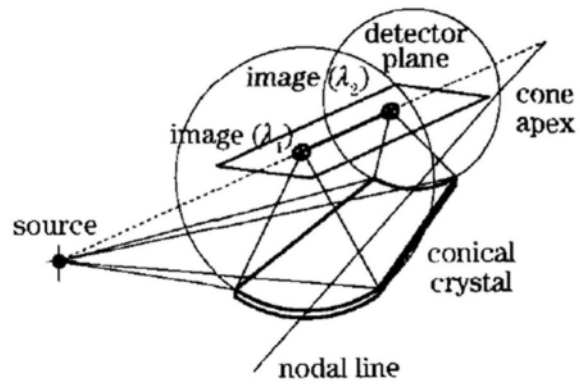


图5

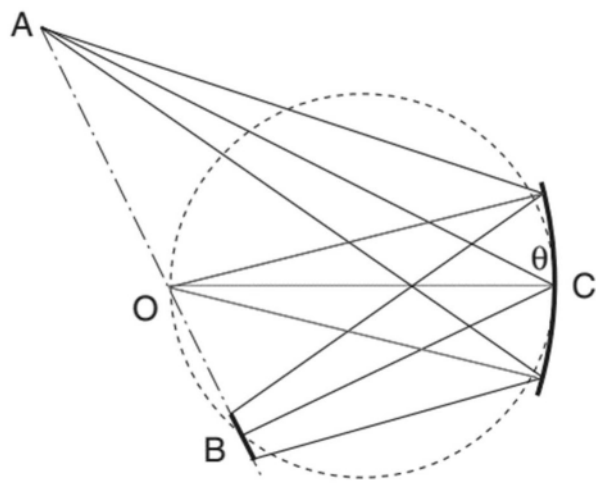


图6

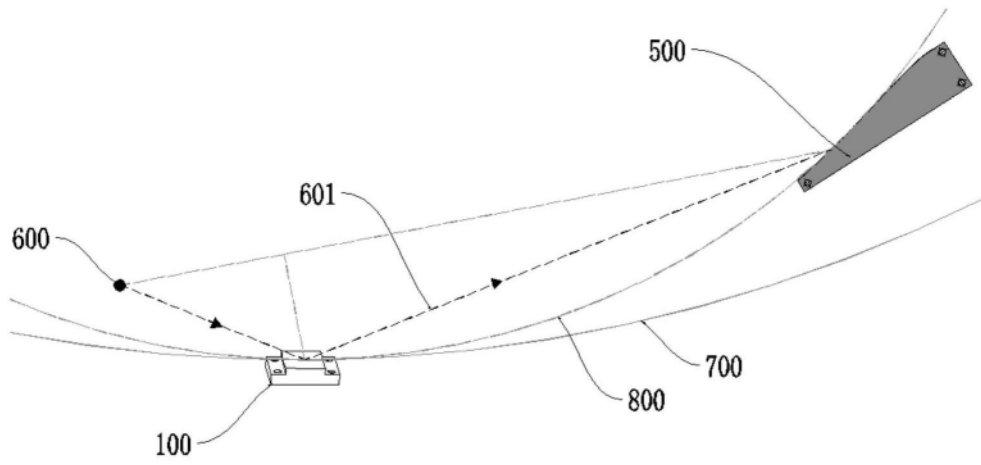


图7

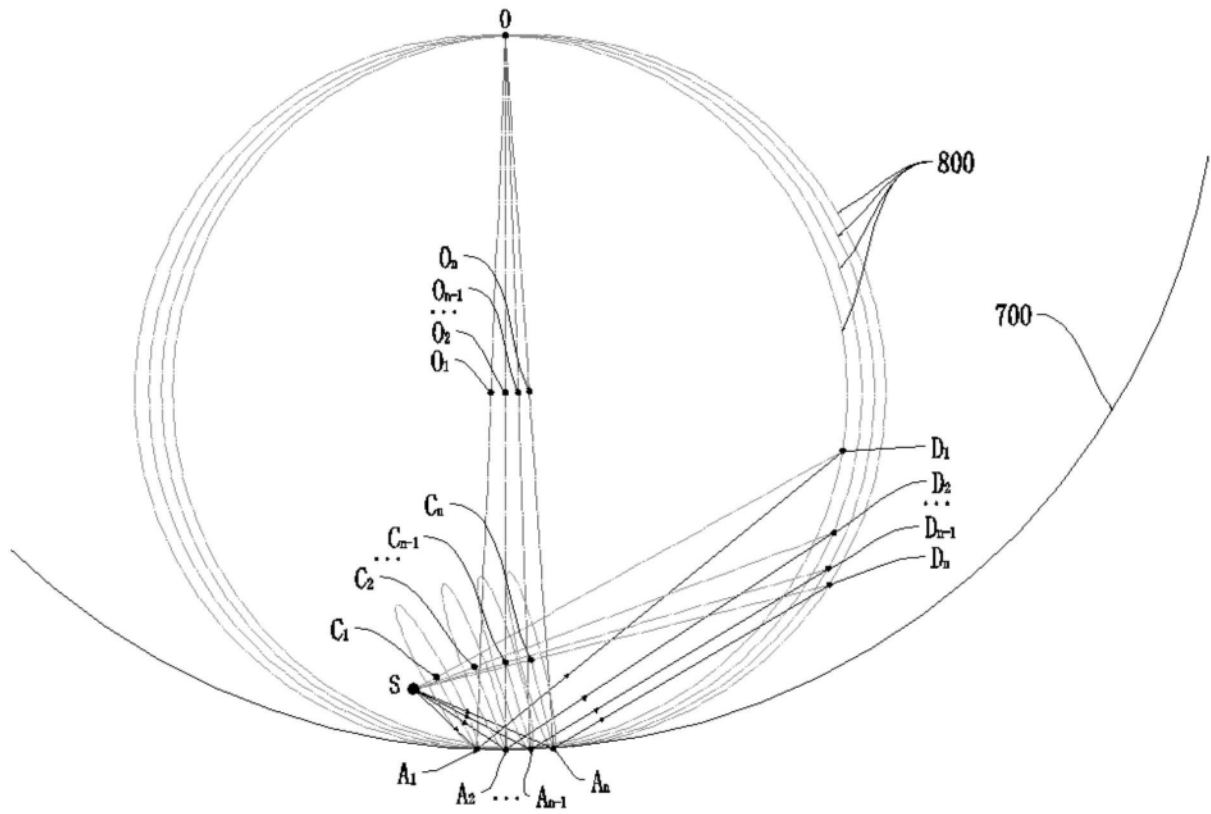


图8

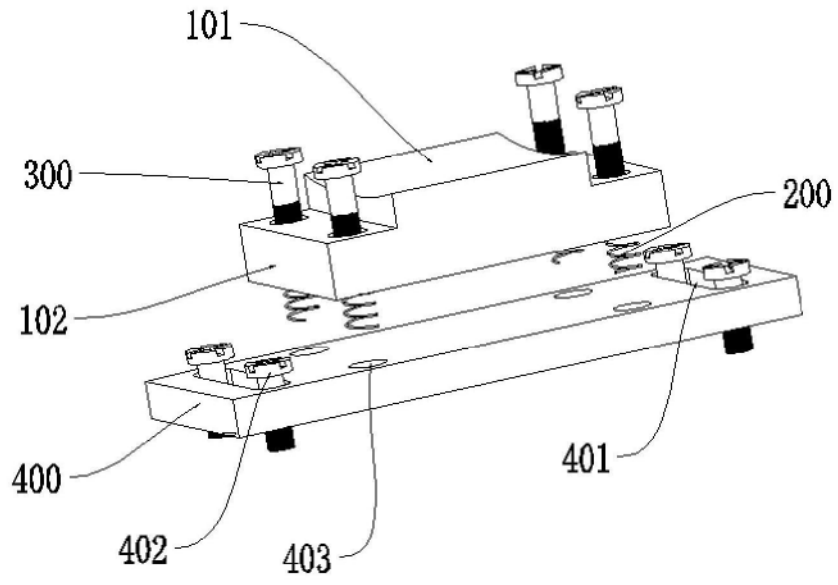


图9