



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104028890 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201410258805.6

CN 102000911 A, 2011.04.06,

(22)申请日 2014.06.11

CN 102107372 A, 2011.06.29,

(73)专利权人 吉林大学

CN 102166685 A, 2011.08.31,

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

审查员 董娜娜

(72)发明人 周晓勤 侯焱红 林洁琼 王文攀

(74)专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有限公司 22100

代理人 魏征骥

(51)Int.Cl.

B23K 26/08(2014.01)

B23K 26/082(2014.01)

(56)对比文件

CN 102430968 A, 2012.05.02,

US 4564737 A, 1986.01.14,

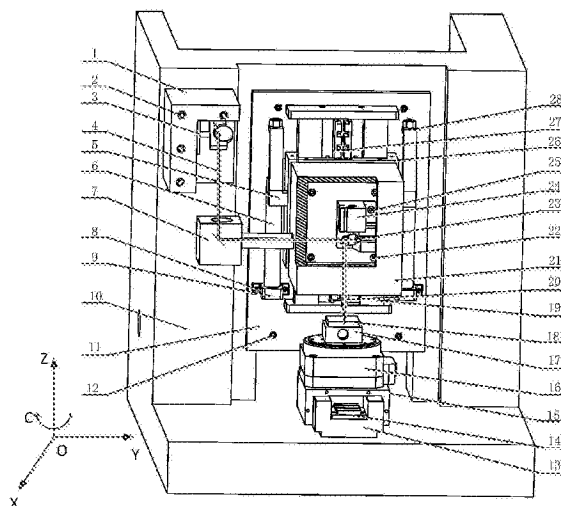
权利要求书2页 说明书6页 附图8页

(54)发明名称

一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法及装置,属于微纳制造技术领域。将试件以共轴或离轴方式安装在一个C轴转台上,C轴转台绕z轴作回转运动,使飞秒激光束相对于试件作周向运动,C轴安装在x轴溜板上沿x向作直线进给运动,使飞秒激光束相对于试件作径向运动,通过二维振镜绕x和y轴的摆动,使飞秒激光束沿C轴转台之径向作快速往复摆动,通过z轴溜板沿z向的平动,获得飞秒激光束聚焦中心沿z向的进给运动,当试件以离轴方式安装,可实时改变C轴转台的转速,以使飞秒激光束在每个预期的扫描位置获得大小相同的速度。本发明所述方法及装置避免了运动轴回退、可快速精密跟踪有扰动的路径,实现大面积三维微纳结构的快速加工。



1. 一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法,其特征在于包括下列步骤:

(1)将试件以共轴或离轴方式安装在一个高精度转台上,建立试件在柱坐标系中的三维模型,并切片处理;

(2)所述的高精密转台绕z轴作回转运动,称为C轴,使得飞秒激光束相对于试件作周向运动,

a. 当试件以共轴方式安装时,采用螺旋线扫描方式;

b. 当试件以离轴方式安装时,采用往复扫描方式,此时实时改变C轴转台的转速,以使飞秒激光束在每个预期的扫描位置获得大小相同的速度;

(3)所述的高精密转台安装在一个高精度的x轴进给溜板上,沿x轴作直线进给运动使得飞秒激光束相对于试件作径向运动;

(4)通过二维振镜绕x和y轴的摆动,以使飞秒激光束沿C轴转台的径向作快速往复运动;

(5)绕z轴回转、沿x轴进给和二维振镜的摆动的合成运动使飞秒激光束相对于试件获得所在切片上的曲线运动;

(6)通过z轴溜板沿z向的运动,获得飞秒激光束聚焦中心沿z向的进给运动;

(7)以上运动的综合使飞秒激光束聚焦中心在试件内部按预先设计的路径进行扫描及曝光,加工出所需的大面积三维微纳结构器件。

2. 一种实现如权利要求1所述大行程柱坐标双光子聚合加工方法的装置,其特征在于:

(1)在所述的装置中,x轴溜板水平安装在大理石床身上,C轴转台安装在x轴溜板上,z轴溜板垂直安装在大理石床身立柱上;

(2)通过两个高精度的直线光栅一、直线光栅二分别测量x轴溜板和z轴溜板的直线位移,通过一个高精度的回转光栅测量C轴转台的角位移,C轴转台的角位移是x轴溜板和z轴溜板直线位移同步控制的基准;

(3)所述的C轴转台,采用气浮回转轴承作支撑,通过伺服电机驱动;

(4)所述的x轴溜板和z轴溜板,皆采用气浮直线导轨作支撑,通过直线电机进行驱动;

(5)在所述的z轴溜板上,安装有显微物镜和二维振镜系统,通过二维振镜可以调整飞秒激光束绕x和y轴摆动。

3. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于:支座通过4个内六角圆柱头螺钉连接在大理石床身上,支座上安装有分光镜,反射镜三与振镜箱体固连在一起,x轴溜板与气浮直线导轨一滑动连接,直线电机一与气浮直线导轨一连接、并安装在大理石床身上,C轴转台叠放在x轴溜板上,底座与C轴转台固定连接,z轴溜板与气浮直线导轨二滑动连接,直线电机二与气浮直线导轨二连接,气浮直线导轨二连接在底板上,底板通过6个内六角圆柱头螺钉连接在大理石床身上,z轴溜板上通过内六角圆柱头螺钉安装有气缸连接座,气缸的活塞杆通过螺母安装在气缸连接座上,气缸的缸体通过螺纹安装在气缸安装座上,气缸安装座通过2个内六角圆柱头螺钉安装在底板上,振镜箱体通过4个内六角圆柱头螺钉安装在z轴溜板上,二维振镜安装在振镜支座上,该振镜支座通过2个内六角圆柱头螺钉安装在振镜箱体上,显微物镜与振镜箱体螺纹连接,反射镜一、反射镜二安装在大理石床身上。

4. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于:直线电机一由定子一、定子一组成,定子一通过内六角圆柱头螺钉安装在溜板上。

5. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于:C轴转台安装有回转光栅、读数头三,读数头三与固定座固定连接,以气浮轴作支撑,气浮轴装在气浮轴承上,伺服电机由伺服电机定子、伺服电机转子构成,气浮轴承通过内六角圆柱头螺钉安装在支撑架上,支撑架通过内六角圆柱头螺钉安装在底座上,进气阀与底座外部固定连接。

6. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于:直线电机二的动子二通过内六角圆柱头螺钉安装在溜板上,定子二通过内六角圆柱头螺钉安装在气浮直线导轨二上。

一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于微纳制造技术领域,特别是涉及一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法及装置。

背景技术

[0002] 双光子聚合(Two Photon Polymerization,以下简称TPP)被认为是非常有发展前途的一种获得“真正”三维微纳结构器件的加工方法,在许多重要的工业领域中有着极为诱人的应用前景。例如,利用TPP方法可以制作三维超材料器件、微纳结构光学元件、三维仿生功能表面器件等。

[0003] 通过飞秒激光束聚焦所形成的聚焦体如何在试件材料内部按预先设计的路径进行扫描及曝光是TPP方法的关键之一。迄今为止,主要有如下一些基本的技术方案:(1)将试件安装在利用压电驱动的二维或三维微位移台上,以获得飞秒激光束相对于试件的高精密扫描(孙洪波等人,2004年;段宣明等人,2007年);(2)利用气浮支撑、直线电机驱动的高精密运动轴x、y和z,以获得飞秒激光束相对于试件的大行程扫描(Andreas Ostendorf and Boris N.Chichkov,2006年)。(3)利用二维振镜绕x或y轴摆动,以获得飞秒激光束相对于试件的快速扫描(Jürgen Stampfl,2012年)。

[0004] 现有的这些技术方案主要存在如下有待解决的问题:(1)采用二维振镜,所获得的行程非常有限,不适合制作大面积的三维微纳结构器件;(2)压电驱动的微动台具有较高的往复运动精度,但所获得的行程和工作频率皆十分受限;(3)无论是小行程的驱动台还是大行程的气浮运动轴,皆是直角坐标系构形,使用两个直线运动逼近一个曲线运动,不可避免地存在插补误差;(4)采用大行程的气浮运动轴,虽可获得大行程,但若遍历每个切片上预期的体元位置,三个运动轴x、y或z皆不可避免地存在回退,这使得运动精度难以保证;(5)无论是压电微位移平台扫描,直线电机驱动的高精密运动轴x、y、z扫描还是二维振镜扫描都难以保证在每个体元位置的扫描速度相等。体元是双光子聚合中最小的单元。影响体元大小的因素之一是曝光时间。当用高速扫描方法对曝光时间进行控制时,曝光时间t可设为激光扫描通过一个聚焦点处光斑直径 $2\omega_0$ 所需要的时间。当扫描速度不同时,曝光时间不同,所得到的体元大小会有差异,这将影响双光子聚合的加工精度;(6)因为双光子聚合为逐点扫描加工,因此加工效率低。

发明内容

[0005] 本发明提供一种大行程柱坐标双光子聚合加工方法及装置,针对大面积三维微纳结构器件,以克服现有技术的不足。

[0006] 本发明采取的技术方案是,包括下列步骤:

[0007] (1)将试件以共轴或离轴方式安装在一个高精密转台上,建立试件在柱坐标系中的三维模型,并切片处理;

[0008] (2)所述的高精密转台绕z轴作回转运动,称为C轴,使得飞秒激光束相对于试件作

周向运动，

[0009] a.当试件以共轴方式安装时，采用螺旋线扫描方式；

[0010] b.当试件以离轴方式安装时，采用往复扫描方式，此时可以实时改变C轴转台的转速，以使飞秒激光束在每个预期的扫描位置获得大小相同的速度；

[0011] (3)所述的高精密C轴转台安装在一个高精密的x轴进给溜板上，沿x轴作直线进给运动使得飞秒激光束相对于试件作径向运动；

[0012] (4)通过二维振镜绕x和y轴的摆动，以使飞秒激光束沿C轴转台的径向作快速往复运动；

[0013] (5)绕z轴回转、沿x轴进给和二维振镜的摆动的合成运动使飞秒激光束相对于试件获得所在切片上的曲线运动；

[0014] (6)通过z轴溜板沿z向的运动，获得飞秒激光束聚焦中心沿z向的进给运动；

[0015] (7)以上运动的综合使飞秒激光束聚焦中心在试件内部按预先设计的路径进行扫描及曝光，加工出所需的大面积三维微纳结构器件。

[0016] 实现本发明所述方法的装置的结构是：

[0017] (1)在所述的装置中，x轴溜板水平安装在大理石床身上，C轴转台安装在x轴溜板上，z轴溜板垂直安装在大理石床身立柱上；

[0018] (2)通过两个高精度的直线光栅一、直线光栅二分别测量x轴溜板和z轴溜板的直线位移，通过一个高精度的回转光栅测量C轴转台的角位移，C轴转台的角位移是x轴溜板和z轴溜板直线位移同步控制的基准；

[0019] (3)所述的C轴转台，采用气浮回转轴承作支撑，通过伺服电机驱动；

[0020] (4)所述的x轴溜板和z轴溜板，皆采用气浮直线导轨作支撑，通过直线电机进行驱动；

[0021] (5)在所述的z轴溜板上，安装有显微物镜和二维振镜系统，通过二维振镜可以调整飞秒激光束绕x和y轴摆动。

[0022] 本发明的一种实施方式是：支座通过个内六角圆柱头螺钉连接在大理石床身上，支座上安装有分光镜，反射镜三与振镜箱体固连在一起，x轴溜板与气浮直线导轨一滑动连接，直线电机一与气浮直线导轨一连接、并安装在大理石床身上，C轴转台叠放在x轴溜板上，底座与C轴转台固定连接，z轴溜板与气浮直线导轨二滑动连接，直线电机与气浮直线导轨二连接，气浮直线导轨二连接在底板上，底板通过6个内六角圆柱头螺钉连接在大理石床身上，z轴溜板上通过内六角圆柱头螺钉安装有气缸连接座，气缸的活塞杆通过螺母安装在气缸连接座上，气缸的缸体通过螺纹安装在气缸安装座上，气缸安装座通过2个内六角圆柱头螺钉安装在底板上，振镜箱体通过4个内六角圆柱头螺钉安装在z轴溜板上，二维振镜安装在振镜支座上，该振镜支座通过2个内六角圆柱头螺钉安装在振镜箱体上，显微物镜与振镜箱体螺纹连接，反射镜一、反射镜二安装在大理石床身上。

[0023] 本发明的一种实施方式是：直线电机一由动子一、定子一组成，定子一通过内六角圆柱头螺钉安装在溜板上，动子一通过内六角圆柱头螺钉安装在溜板上。

[0024] 本发明的一种实施方式是：C轴转台安装有回转光栅、读数头三，读数头三与固定座固定连接，以气浮轴作支撑，气浮轴装在气浮轴承上，伺服电机由伺服电机定子、伺服电机转子构成，气浮轴承通过内六角圆柱头螺钉安装在支撑架上，支撑架通过内六角圆柱头

螺钉安装在底座上,进气阀与底座外部固定连接;

[0025] 本发明的一种实施方式是:直线电机二的动子二通过内六角圆柱头螺钉安装在溜板上,定子二通过内六角圆柱头螺钉安装在气浮直线导轨二上。

[0026] 本发明所述方法及装置的优点在于:(1)高精密运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台与二维振镜协同工作,不仅能满足加工精度要求,而且能保证具有非常大的工作行程,可用于实现大面积三维微纳结构的加工;(2)高精密运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台为柱坐标布局,无论试件以共轴方式安装还是以离轴方式安装,都仅作向前的直线进给及回转运动,避免了运动轴回退所致的运动误差,且与往复运动相比响应更快,提高了加工的效率;(3)高精密运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台为柱坐标布局,没有插补误差,协同二维振镜绕x轴溜板和y轴溜板的往复摆动,可以快速精密跟踪曲线路径;(4)将试件以离轴方式安装时,可实时改变扫描速度,保证在每个体元位置的扫描速度相等,进而保证曝光时间相等,最终保证了双光子聚合加工的精度;(5)将多个试件以离轴方式安装时,转台转一周飞秒激光束可同时在这些试件上扫描,具有较高的生产率。

[0027] 本发明所述的方法及装置主要适用于大面积三维微纳结构的快速加工。

附图说明

[0028] 图1是本发明的前轴测图;

[0029] 图2是本发明的后轴测图;

[0030] 图3是本发明的x轴导轨剖视图;

[0031] 图4是本发明的z轴导轨剖视图;

[0032] 图5是本发明的转台剖视图;

[0033] 图6是本发明的控制原理图;

[0034] 图7是共轴安装螺旋线扫描原理图;

[0035] 图8是离轴安装往复扫描原理图;

[0036] 图9是二维振镜扫描原理图。

[0037] 图1、2附图标记为:支座1,内六角圆柱头螺钉2,分光镜3,激光束4,气缸连接座5,气缸6,反射镜7,内六角圆柱头螺钉8,气缸安装座9,大理石床身10,底板11,内六角圆柱头螺钉12,气浮直线导轨一13,直线电机一14,x轴溜板15,C轴转台16,底座17,试件18,气浮直线导轨二19,显微物镜20,振镜箱体21,内六角圆柱头螺钉22,二维振镜23,振镜支座24,内六角圆柱头螺钉25,z轴溜板26,直线电机二27,六角螺母28,反射镜一29,进光孔一30,反射镜二31,进光孔二32;

[0038] 图3附图标记为:直线电机动子一1401,直线电机定子二1402,内六角圆柱头螺钉33,直线光栅一34,读数头一35,内六角圆柱头螺钉36;

[0039] 图4附图标记为:直线电机二动子2701,直线电机二定子2702,内六角圆柱头螺钉37,直线光栅二38,内六角圆柱头螺钉39,挡板40,内六角圆柱头螺钉41,内六角圆柱头螺钉42,读数头二43;

[0040] 图5附图标记为:内六角圆柱头螺钉1601,气浮轴1602,支撑架1603,气浮轴承1604,内六角圆柱头螺钉1605,进气阀1606,伺服电机定子1607,伺服电机转子1608,旋转光栅1609,固定座1610,读数头三1611,底座1612;

[0041] 图9附图标记为:X扫描振镜100,Y扫描振镜200,显微300。

具体实施方式

[0042] 包括下列步骤:

[0043] (1)将试件以共轴或离轴方式安装在一个高精度转台上,建立试件在柱坐标系中的三维模型,并切片处理;

[0044] (2)所述的高精密转台绕z轴作回转运动,称为C轴,使得飞秒激光束相对于试件作周向运动,

[0045] a.当试件以共轴方式安装时,采用螺旋线扫描方式;

[0046] b.当试件以离轴方式安装时,采用往复扫描方式,此时可以实时改变C轴转台的转速,以使飞秒激光束在每个预期的扫描位置获得大小相同的速度;

[0047] (3)所述的高精密C轴转台安装在一个高精度的x轴进给溜板上,沿x轴作直线进给运动使得飞秒激光束相对于试件作径向运动;

[0048] (4)通过二维振镜绕x和y轴的摆动,以使飞秒激光束沿C轴转台的径向作快速往复运动;

[0049] (5)绕z轴回转、沿x轴进给和二维振镜的摆动的合成运动使飞秒激光束相对于试件获得所在切片上的曲线运动;

[0050] (6)通过z轴溜板沿z向的运动,获得飞秒激光束聚焦中心沿z向的进给运动;

[0051] (7)以上运动的综合使飞秒激光束聚焦中心在试件内部按预先设计的路径进行扫描及曝光,加工出所需的大面积三维微纳结构器件。

[0052] 实现本发明所述方法的装置的结构是:

[0053] (1)在所述的装置中,x轴溜板水平安装在大理石床身上,C轴转台安装在x轴溜板上,z轴溜板垂直安装在大理石床身立柱上;

[0054] (2)通过两个高精度的直线光栅一、直线光栅二分别测量x轴溜板和z轴溜板的直线位移,通过一个高精度的回转光栅测量C轴转台的角位移,C轴转台的角位移是x轴溜板和z轴溜板直线位移同步控制的基准;

[0055] (3)所述的C轴转台,采用气浮回转轴承作支撑,通过伺服电机驱动;

[0056] (4)所述的x轴溜板和z轴溜板,皆采用气浮直线导轨作支撑,通过直线电机进行驱动;

[0057] (5)在所述的z轴溜板上,安装有显微物镜和二维振镜系统,通过二维振镜可以调整飞秒激光束绕x和y轴摆动。

[0058] 实现本发明装置的一种具体实施方式如下:

[0059] 支座1通过4个内六角圆柱头螺钉2连接在大理石床身10上,支座1上安装有分光镜3,反射镜三7与振镜箱体21固连在一起,x轴溜板15与气浮直线导轨一13滑动连接,直线电机一14与气浮直线导轨一13连接、并安装在大理石床身10上,C轴转台16叠放在x轴溜板上,底座17与C轴转台固定连接,z轴溜板26与气浮直线导轨二19滑动连接,直线电机27与气浮直线导轨二19连接,气浮直线导轨二19连接在底板11上,底板11通过6个内六角圆柱头螺钉连接在大理石床身10上,z轴溜板26上通过内六角圆柱头螺钉37安装有气缸连接座5,气缸6的活塞杆通过螺母28安装在气缸连接座5上,气缸6的缸体通过螺纹安装在气缸安装座9

上,气缸安装座9通过2个内六角圆柱头螺钉安装在底板11上,振镜箱体21通过4个内六角圆柱头螺钉22安装在z轴溜板26上,二维振镜23安装在振镜支座24上,该振镜支座通过2个内六角圆柱头螺钉25安装在振镜箱体21上,显微物镜20与振镜箱体21螺纹连接,反射镜一29、反射镜二31安装在大理石床身上。

[0060] 本发明一种实施方式是:直线电机一由动子一1401、定子一1402组成,定子一通过内六角圆柱头螺钉33安装在溜板15上,定子一通过内六角圆柱头螺钉36安装在溜板15上。

[0061] 本发明一种实施方式是:C轴转台16安装有回转光栅1609、读数头三1611,读数头三1611与固定座1610固定连接,以气浮轴1602作支撑,气浮轴装在气浮轴承1604上,伺服电机由伺服电机定子1607、伺服电机转子1608构成,气浮轴承1604通过内六角圆柱头螺钉1601安装在支撑架1603上,支撑架通过内六角圆柱头螺钉1605安装在底座1612上,进气阀1606与底座外部固定连接;

[0062] 本发明一种实施方式是:直线电机二的动子二2701通过内六角圆柱头螺钉39安装在溜板26上,定子二2702通过内六角圆柱头螺钉42安装在气浮直线导轨二上。

[0063] 该装置的工作过程为:底座17上放置试件18,激光束4通过进光孔一30进入,经反射镜一29、反射镜二31作用进入进光孔二32,然后经分光镜3作用分为两束,其中的一束又经反射镜三7作用进入振镜箱体21,经二维振镜23反射进入显微物镜20,物镜20将激光束聚焦到试件18内部,通过高精度运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台和二维振镜23的扫描,激光束焦点按规划路径运动,加工出所需的大面积三维微纳结构。

[0064] 下面结合图例对本发明的方法及装置的具体实施情况作如下说明:

[0065] 图1是大行程柱坐标双光子聚合加工装置前轴测图。高精度运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台的重复定位精度为400nm左右,而扫描振镜的直写精度为100nm,因此可以通过扫描振镜与高精度运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台的结合实现三维大面积微纳结构器件的制作。试件以共轴或离轴方式安装在一个高精度C轴转台上,当转台转动时,飞秒激光束相对于转台周向运动,即完成周向扫描。转台安装在一个高精度的x轴溜板上,当溜板沿x向进给时,飞秒激光束相对于转台径向运动,即完成径向扫描;二维振镜控制飞秒激光束完成相对转台的径向运动,飞秒激光束周向与径向运动合成切片上的二维运动。当遍历每个切片上预期的体元位置时这一层的扫描完成,之后z轴溜板沿z向移动一个层厚 λ ,重复前面的步骤。

[0066] 图2是大行程柱坐标双光子聚合加工装置后轴测图。反射镜一29、反射镜二31安装在大理石床身上。飞秒激光束由进光孔一30进入,经反射镜一29、反射镜二31作用进入进光孔二32。

[0067] 图6是大行程柱坐标双光子聚合加工装置控制原理图。在计算机上完成三维微纳结构器件的三维建模,然后切片处理,生成激光扫描轨迹。之后运动控制器综合控制x轴溜板、C轴转台、z轴溜板和二维振镜的运动,并分别通过旋转光栅、直线光栅一、直线光栅二、角度传感器进行反馈,最终在试件内部完成预期的扫描。

[0068] 图7是共轴安装螺旋线扫描原理图。图中▲为x轴溜板、C轴的扫描点,•为二维振镜的扫描点。由于x轴溜板、C轴转台高精度运动轴的惯性大、响应频率低、扫描速度小,且定位精度不高,因此只适合作大范围的扫描,即两个▲之间的距离(x轴溜板、C轴转台扫描所能达到的最小间隔)。二维振镜转动惯量小、响应时间短、扫描速度快,适合作小范围的扫

描,即两个·之间的距离(振镜扫描所能达到的最小间隔)。将高精密运动的x轴溜板、z轴溜板、C轴转台与二维振镜协同工作,则能在大行程内实现小范围的精密扫描,加工出大面积三维微纳结构器件。

[0069] 图8是离轴安装往复扫描原理图。a点扫描速度 $v_a=r_a\omega$ 。当由a点扫描到b点时扫描半径没变,因此扫描速度也不变, $v_b=v_c$;由b点扫描到c点时扫描半径 $r_c=r_a+\Delta r$,因此扫描速度也变大,即 $v_c=(r_a+\Delta r)\omega=v_a+\Delta v$,此时改变高精密转台的速度 w' 使之与在a-b的速度相同,即 $w'=\frac{r_a\omega}{r_a+\Delta r}$ 。重复上述步骤,实时改变高精密转台的速度,使得每个点的扫描速度相同,直到扫描完毕。若同时安装多个试件,可同时加工这些试件,提高了双光子聚合加工方法的效率。

[0070] 采用共轴或离轴的安装方式,扫描半径均逐渐增大,因此没有运动轴的回退,运动精度更高。

[0071] 图9是二维振镜扫描原理图。对于f- θ 物镜,焦距为f。当x、y轴扫描振镜分别转动 α 、 β 角度后,扫描光束在XOY平面内的坐标为

$$[0072] \quad \delta = \arctan \frac{\sin 2\alpha}{\tan 2\beta} = \arctan \frac{\sin 2\alpha \cos 2\beta}{\sin 2\beta} \quad (1)$$

$$[0073] \quad R = f\theta = \arccos(\cos 2\alpha \cos 2\beta) \quad (2)。$$

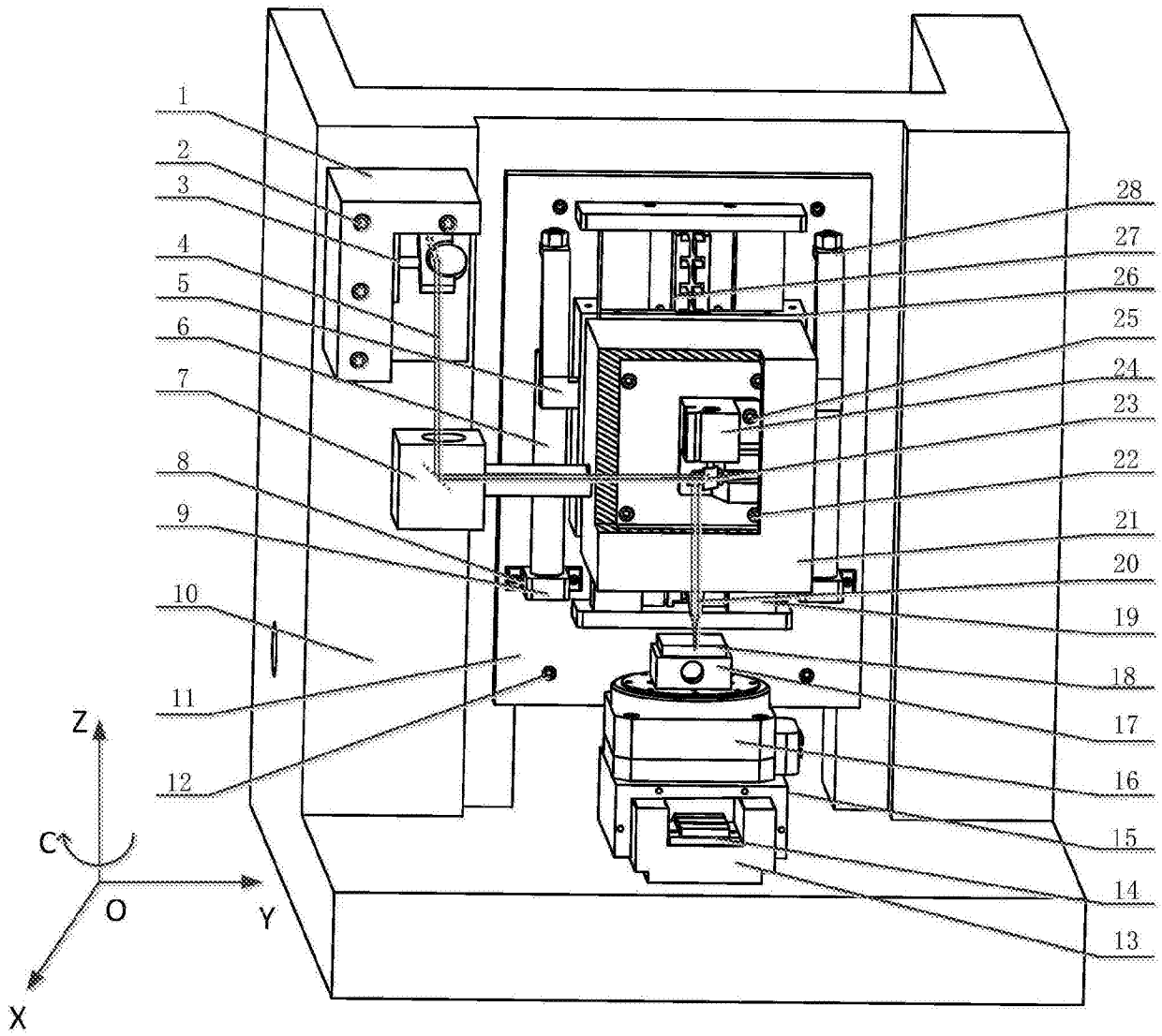


图1

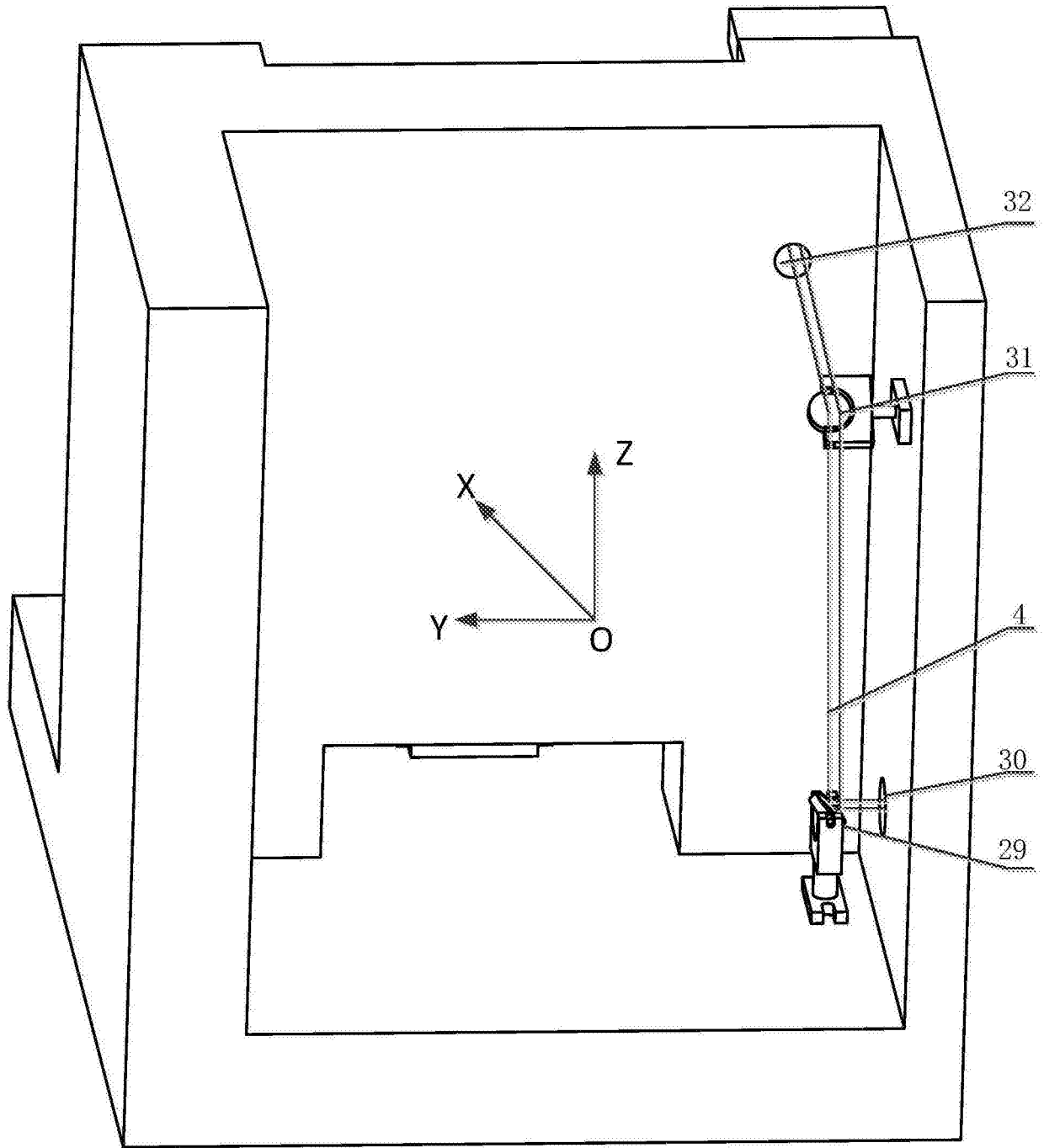


图2

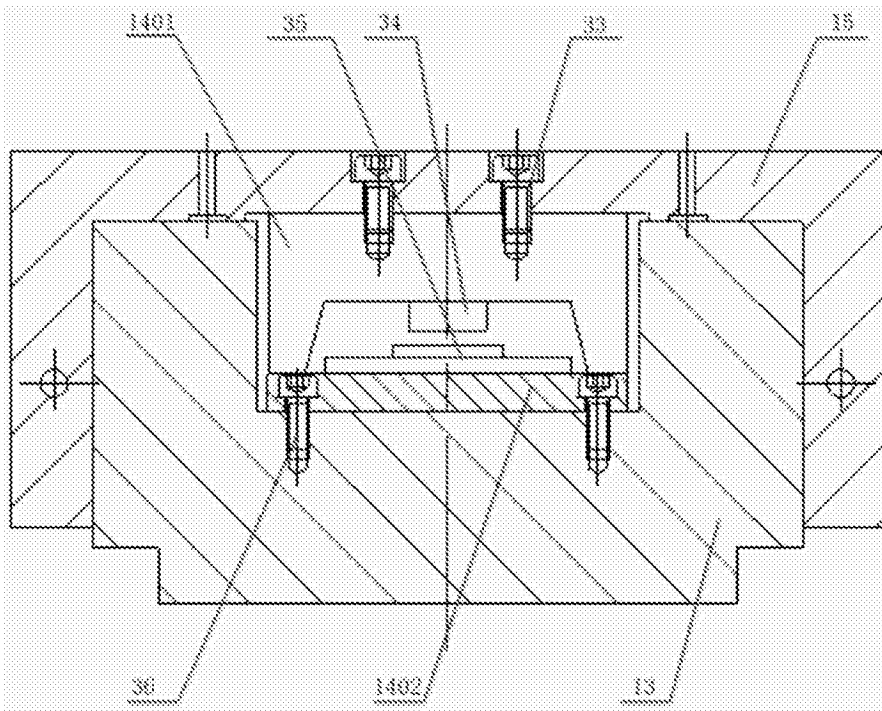


图3

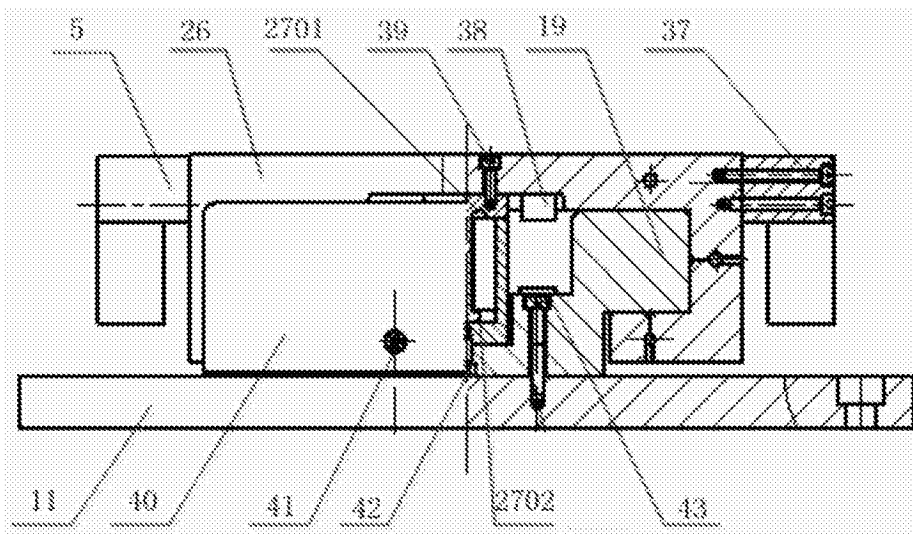


图4

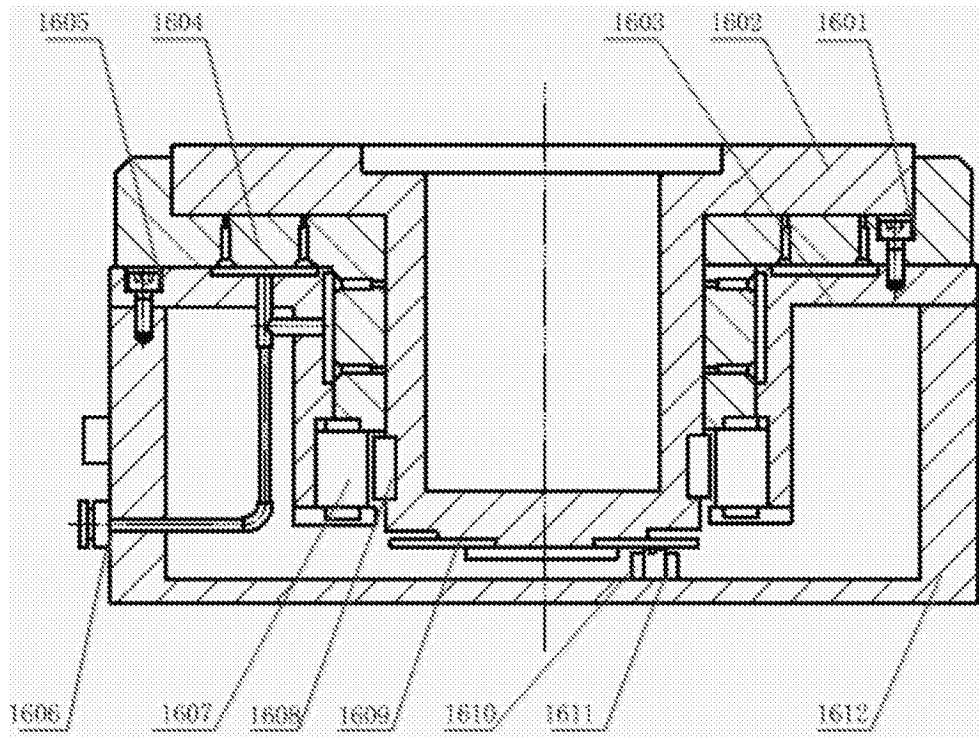


图5

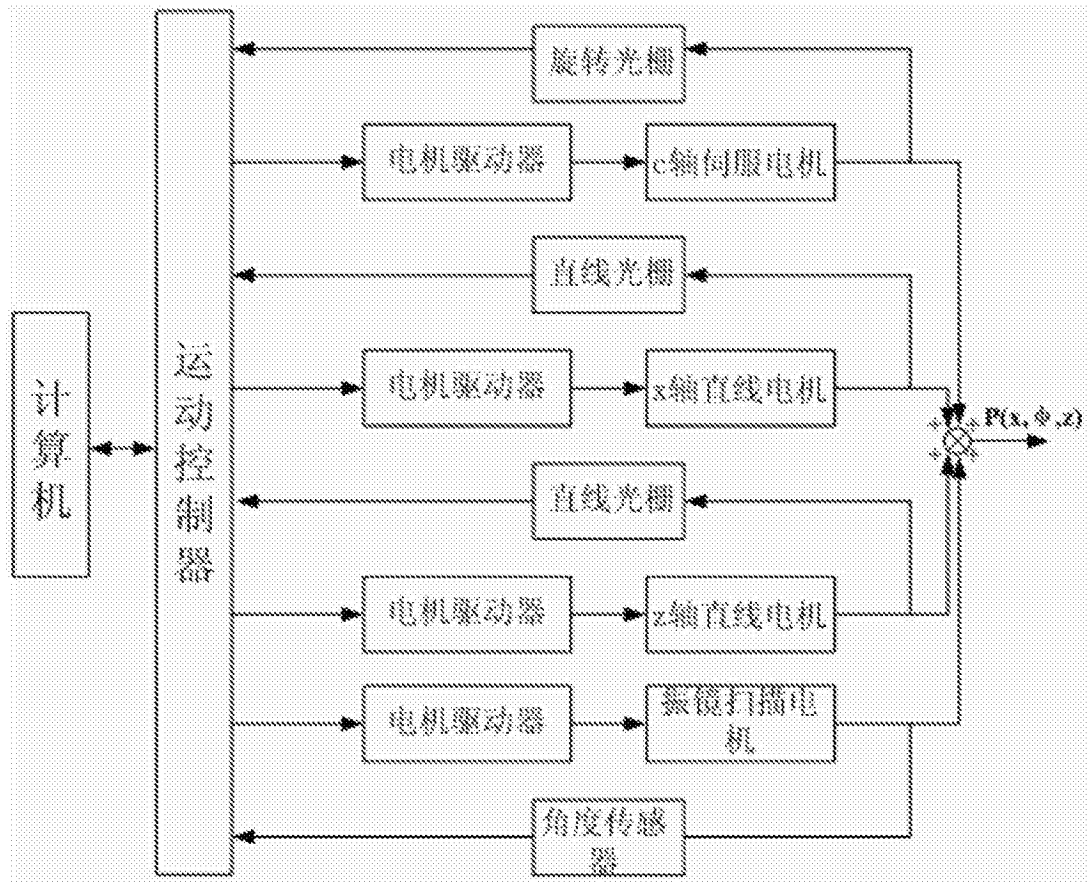


图6

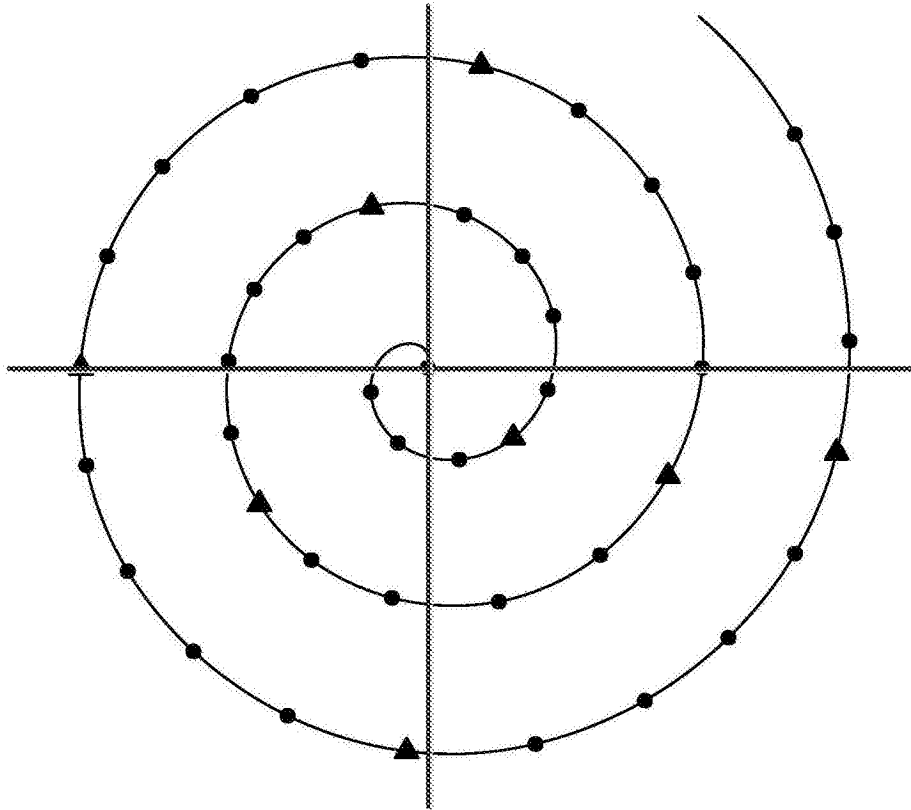


图7

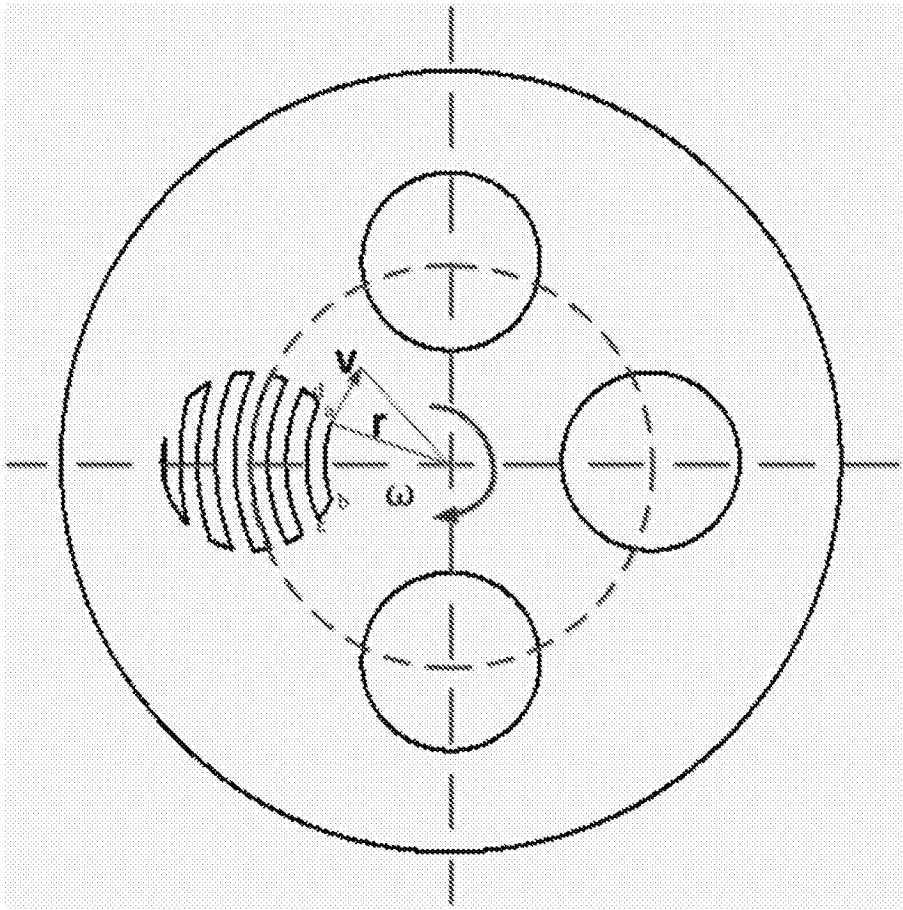


图8

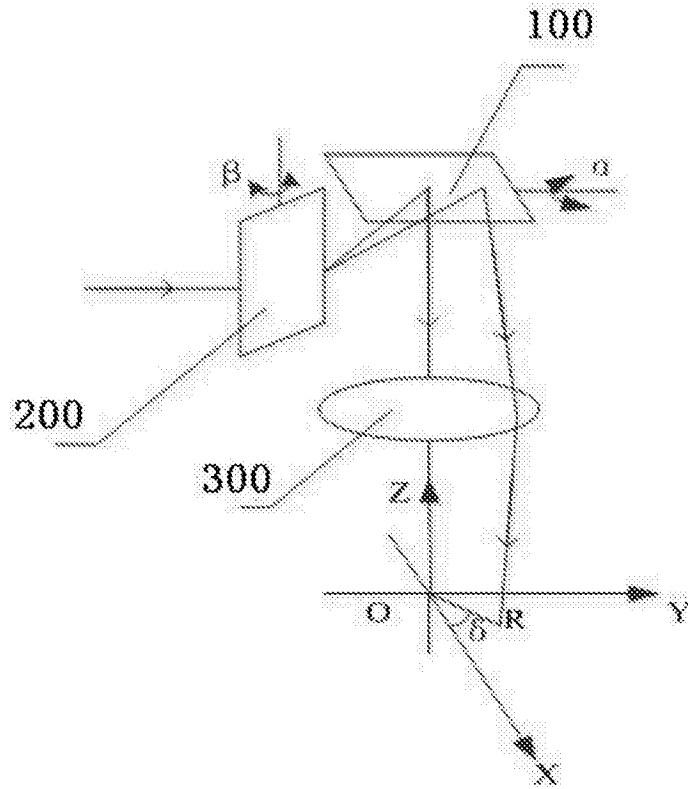


图9