



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107138862 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 20

(21) 申请号 201710470538.2

B23K 26/08 (2014.01)

(22) 申请日 2017.06.20

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 102773605 A, 2012.11.14

申请公布号 CN 107138862 A

WO 2006021442 A1, 2006.03.02

(43) 申请公布日 2017.09.08

CN 104870137 A, 2015.08.26

(73) 专利权人 深圳市韵腾激光科技有限公司

CN 207104103 U, 2018.03.16

地址 518000 广东省深圳市宝安区福永街

CN 103056512 A, 2013.04.24

道桥头社区金港科技园B幢第二层

CN 106029290 A, 2016.10.12

审查员 刘亚勤

(72) 发明人 邹武兵 张德安 段家露 吴飞龙

(74) 专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事

务所(普通合伙) 44248

专利代理师 孙伟

(51) Int. Cl.

B23K 26/38 (2014.01)

B23K 26/04 (2014.01)

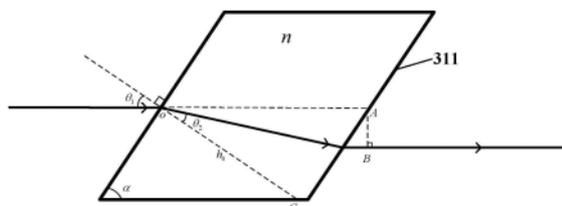
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种激光旋转切割装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及激光加工领域,特别涉及一种激光旋转切割装置及方法。该激光旋转切割装置包括激光发生器、激光准直模块、可控旋转半径模块、振镜模块和聚焦模块,所述激光发生器、激光准直模块、可控旋转半径模块、振镜模块和聚焦模块沿着激光光束的方向依次排列。本发明提供的激光旋转切割装置,由程序控制两个空心轴电机的工作方式,从而改变圆盘光学元件之间的相位差,以达到改变光束旋转半径的目的;与现有技术相比,能够在紧凑的体积下,通过程序精确控制旋转半径,进而对不同材料精密钻孔。同时,通过控制振镜,使焦点划动,最终实现精密切割。



1. 一种激光旋转切割方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 激光发生器发射激光光束,经激光准直模块变倍扩束后进入可控旋转半径模块,设置第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件相位初始为 $0^\circ$ ;

S2. 给可编程电子模块输入旋转半径 $R_0$ ,可编程电子模块控制第一空心轴电机和第二空心轴电机,使第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的相位差 $\varphi_0$ 与旋转半径 $R_0$ 相匹配;

S3. 确定相位差后,可编程电子模块再控制第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件同时转动,保持相位差 $\varphi_0$ 不变;

S4. 激光光束经过可控旋转半径模块后进入振镜模块,通过第一反射平面和第二反射平面的反射,再通过聚焦模块会聚到待切割材料上;

S5. 控制第一空心主轴电机、第二空心主轴电机旋转进行激光钻孔;转动任意反射平面,进行激光在特定方向上旋转钻孔切割;

所述步骤S2中,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件之间的相位差为 $0^\circ$ 时,旋转半径最大;第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件之间的相位差为 $180^\circ$ 时,旋转半径为0;旋转半径 $R$ 与两个圆盘光学元件之间的相位差 $\varphi$ 满足关系公式: $R = 2AB \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2}$ ,其中 $AB$ 是光束通过一个圆盘光学元件的垂直偏移量;

所述步骤S2中,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件相位差与旋转半径的关系式计算步骤如下:

S21. 当光束以 $\theta_1$ 角入射到第一圆盘光学元件时,在空气与圆盘光学元件界面发生光的折射,其折射角为: $\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \theta_1}{n}\right)$ ;

S22. 沿着入射光线画一条虚线与圆盘光学元件相交于A点,以A为顶点作一条垂直线相交于出射光于B点,则光束通过一个圆盘光学元件的垂直偏移量为 $AB$ ;以入射点O为垂足作垂线交圆盘光学元件于C点,则 $h_0 = OC$ ,推导出光束经过一个圆盘光学元件的垂直偏移值为: $AB = \frac{h_0}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2)$ ;

S23. 光束通过第一圆盘光学元件的旋转半径: $R_1 = AB \cos i_1$ ,

其中 $i_1$ 为圆盘光学元件311的相位;

光束通过第二圆盘光学元件的旋转半径: $R_2 = AB \cos i_2$ ;

光束通过第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件后,旋转半径为:

$$R = R_1 + R_2 = AB(\cos i_1 + \cos i_2)$$

$$\text{进一步化简得: } R = 2AB \cdot \cos\left(\frac{i_1 - i_2}{2}\right) \cos\left(\frac{i_1 + i_2}{2}\right);$$

S24. 以光束通过的第一个圆盘光学元件为初相位,第一圆盘光学元件的相位始终等于零,即 $i_1 = 0$ ,则两个圆盘光学元件的相位差 $\varphi = |i_1 - i_2| = i_2$ ,满足以下关系:

$$R = 2AB \cdot \cos^2 \frac{i_2}{2} = 2AB \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2};$$

$$\text{进一步可得: } R = 2 \cdot \frac{h_0}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2) \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2}。$$

2. 一种激光旋转切割装置,用于执行权利要求1所述的激光旋转切割方法,其特征在于,包括激光发生器、激光准直模块、可控旋转半径模块、振镜模块和聚焦模块,所述可控旋转半径模块包括第一空心主轴电机、第二空心主轴电机、使激光光束在垂直方向上偏移的第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件、由导入程序控制的可编程电子模块,所述第一圆盘光学元件内嵌在第一空心主轴电机中,所述第一空心主轴电机带动第一圆盘光学元件旋转,所述第二圆盘光学元件内嵌在第二空心主轴电机中,所述第二空心主轴电机带动第二圆盘光学元件旋转,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件位于同一水平高度上,所述可编程电子模块控制第一空心主轴电机和第二空心主轴电机,所述激光发生器、激光准直模块、第一圆盘光学元件、第二圆盘光学元件、振镜模块和聚焦模块沿着激光光束的方向依次排列。

3. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述振镜模块包括第一反射平面和第二反射平面,其中所述的第一反射平面控制光束的水平方向位置,所述的第二反射平面控制光束的垂直方向的位置,激光光束依次经第一反射平面、第二反射平面反射后射入待切割材料,通过控制振镜的旋转实现待切割材料上焦点划动。

4. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述激光准直模块为变倍扩束器,所述变倍扩束器包括短焦距正透镜、短焦距负透镜、长焦距负透镜和长焦距正透镜,激光光束依次通过短焦距正透镜、短焦距负透镜、长焦距负透镜和长焦距正透镜。

5. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述第一空心主轴电机和第二空心主轴电机的转速为500-5000rpm。

6. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述聚焦模块为短焦距F-theta场镜,工作焦距 $f=120\text{mm}$ 。

7. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述激光发生器为紫外或可见光或红外激光器。

8. 根据权利要求2所述的激光旋转切割装置,其特征在于,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的入射面和出射面上均设有一层增透膜,激光光束的入射角 $\theta_1$ 是以布儒斯特角入射到第一圆盘光学元件,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的倾斜角 $\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ 。

## 一种激光旋转切割装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光加工领域,特别涉及一种激光旋转切割装置及方法。

### 背景技术

[0002] 传统的激光切割领域,光束透过F-theta场镜后,在一个平面上会聚成一个微小的光斑,这个平面也叫焦平面。通过调节,使得焦平面与加工平面重合,则切割样品上的焦点会随着振镜的旋转而划动,从而实现激光切割。

[0003] 实际切割时,需要在同一个位置多次划动,由于焦点的形状呈锥字形,所以被切材料的切割面呈现一定的锥度。而且出射光束的能量分布不均匀,呈高斯分布,造成焦点的能量分布不均匀,特别是椭圆型高斯光束,从而导致在x方向和在y方向上的切割深度不一致。

[0004] 对于传统的钻孔系统,入射光束与F-theta场镜中心之间的距离,就是所述的旋转半径R。由于光束在偏离F-theta场镜中心的位置入射,而出射光束仍然在F-theta场镜的中心轴上会聚,所以出射光束以角度 $\theta$ 倾斜会聚于样品上。加工时,会聚光束是以角度 $\theta$ 进行钻孔。

[0005] 实际加工时,由于钻孔的材料和孔径精度不同,需要改变不同的钻孔角度,这需要通过实验来确定钻孔角度。而钻孔 $\theta$ 是由旋转半径R与F-theta场镜的工作焦距f决定的。更换F-theta场镜显得不方便,而且成本高,所以通过改变旋转半径R从而改变钻孔 $\theta$ ,以符合加工的需要。

### 发明内容

[0006] 本发明提供一种激光旋转切割装置及方法,旨在引入旋转钻孔切割,在钻孔的同时实现划动切割。

[0007] 本发明提供一种激光旋转切割装置,包括激光发生器、激光准直模块、可控旋转半径模块、振镜模块和聚焦模块,所述可控旋转半径模块包括第一空心主轴电机、第二空心主轴电机、使激光光束在垂直方向上偏移的第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件、由导入程序控制的可编程电子模块,所述第一圆盘光学元件内嵌在第一空心主轴电机中并带动其旋转,所述第二圆盘光学元件内嵌在第二空心主轴电机中并带动其旋转,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件位于同一水平高度上,所述可编程电子模块控制第一空心主轴电机和第二空心主轴电机,所述激光发生器、激光准直模块、第一圆盘光学元件、第二圆盘光学元件、振镜模块和聚焦模块沿着激光光束的方向依次排列。

[0008] 作为本发明的进一步改进,所述振镜模块包括第一反射平面和第二反射平面,其中所述的第一反射平面控制光束的水平方向位置,所述的第二反射平面控制光束的垂直方向的位置,激光光束依次经第一反射平面、第二反射平面发射有射入待切割材料,通过控制振镜的旋转实现待切割材料上焦点划动。

[0009] 作为本发明的进一步改进,所述的激光准直模块为变倍扩束器,所述变倍扩束器包括短焦距正透镜、短焦距负透镜、长焦距负透镜和长焦距正透镜,激光光束依次通过短焦

距正透镜、短焦距负透镜、长焦距负透镜和长焦距正透镜。

[0010] 作为本发明的进一步改进,所述第一空心主轴电机和第二空心主轴电机的转速为500-5000rpm。

[0011] 作为本发明的进一步改进,所述聚焦模块为短焦距F-theta场镜,工作焦距 $f=120\text{mm}$ 。

[0012] 作为本发明的进一步改进,所述激光发生器为紫外或可见光或红外激光器。

[0013] 作为本发明的进一步改进,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的入射面和出射面上均设有一层增透膜,激光光束的入射角 $\theta_1$ 是以布儒斯特角入射到第一圆盘光学元件,所述第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的倾斜角 $\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ 。

[0014] 本发明还提供一种激光旋转切割方法,包括以下步骤:

[0015] S1.激光发生器发射激光光束,经激光准直模块变倍扩束后进入可控旋转半径模块,设置第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件相位初始为 $0^\circ$ ;

[0016] S2.给可编程电子模块输入旋转半径 $R_0$ ,可编程电子模块控制第一空心轴电机和第二空心轴电机,使第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的相位差 $\varphi_0$ 与旋转半径 $R_0$ 相匹配;

[0017] S3.确定相位差后,可编程电子模块再控制第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件同时转动,保持相位差 $\varphi_0$ 不变;

[0018] S4.激光光束经过可控旋转半径模块后进入振镜模块,通过第一反射平面和第二反射平面的反射,再通过聚焦模块会聚到待切割材料上;

[0019] S5.控制第一空心主轴电机、第二空心主轴电机旋转进行激光钻孔;转动任意反射平面,进行激光在特定方向上旋转钻孔切割。

[0020] 作为本发明的进一步改进,所述步骤S2中,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件之间的相位差为 $0^\circ$ 时,旋转半径最大;第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件之间的相位差为 $180^\circ$ 时,旋转半径为0;旋转半径 $R$ 与两个圆盘光学元件之间的相位差 $\varphi$ 满足关系公式: $R = 2AB \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2}$ ,其中 $AB$ 是光束通过一个圆盘光学元件的垂直偏移量。

[0021] 作为本发明的进一步改进,所述步骤S2中,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件相位差与旋转半径的关系式计算步骤如下:

[0022] S21.当光束以 $\theta_1$ 角入射到圆盘光学元件时,在空气与圆盘光学元件界面发生光的折射,其折射角为: $\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \theta_1}{n}\right)$ ;

[0023] S22.沿着入射光线画一条虚线与圆盘光学元件相交于A点,以A为顶点作一条垂直线相交于出射光于B点,则出射光偏移值为 $AB$ 。以入射点O为垂足作垂线交圆盘光学元件与C点,则 $h_0 = OC$ ,推导出光束经过一个圆盘光学元件的垂直偏移值为: $AB = \frac{h_0}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2)$ ;

[0024] S23.光束通过第一圆盘光学元件的旋转半径: $R_1 = AB \cos i_1$ ,

[0025] 其中 $i_1$ 为圆盘光学元件311的相位;

[0026] 光束通过第二圆盘光学元件的旋转半径: $R_2 = AB \cos i_2$ ;

[0027] 光束通过第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件后,旋转半径为:

$$[0028] \quad R=R_1+R_2=AB(\cos i_1+\cos i_2)$$

$$[0029] \quad \text{进一步化简得: } R=2AB \cdot \cos\left(\frac{i_1-i_2}{2}\right)\cos\left(\frac{i_1+i_2}{2}\right);$$

[0030] S24.以光束通过的第一个圆盘光学元件为初相位,第一圆盘光学元件的相位始终等于零,即 $i_1=0$ ,则两个圆盘光学元件的相位差 $\varphi=|i_1-i_2|=i_2$ ,满足以下关系:

$$R=2AB \cdot \cos^2 \frac{i_2}{2}=2AB \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2};$$

$$[0031] \quad \text{进一步可得: } R=2 \cdot \frac{h_0}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1-\theta_2) \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2}。$$

[0032] 本发明的有益效果是:本发明提供的激光旋转切割装置,由程序控制两个空心轴电机的工作方式,从而改变圆盘光学元件之间的相位差,以达到改变光束旋转半径的目的;与现有技术相比,能够在紧凑的体积下,通过程序精确控制旋转半径,进而对不同材料精密钻孔。同时,通过控制振镜,使焦点划动,最终实现精密切割。

## 附图说明

[0033] 图1为圆盘光学元件的光路图;

[0034] 图2为相位差为 $0^\circ$ 时第一圆盘光学元件与第二圆盘光学元件的位置关系;

[0035] 图3为相位差为 $90^\circ$ 时第一圆盘光学元件与第二圆盘光学元件的位置关系;

[0036] 图4为相位差为 $180^\circ$ 时第一圆盘光学元件与第二圆盘光学元件的位置关系;

[0037] 图5为旋转钻孔切割的工作方式示意图;

[0038] 图6为切割时会聚焦点的运动方式示意图;

[0039] 图7为激光旋转切割装置的结构图。

## 具体实施方式

[0040] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0041] 实施例一:

[0042] 如图7所示,本发明的一种激光旋转切割装置,包括激光发生器1、激光准直模块、可控旋转半径模块3、振镜模块4和聚焦模块5,可控旋转半径模块3包括第一空心主轴电机31、第二空心主轴电机32、使激光光束在垂直方向上偏移的第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321、由导入程序控制的可编程电子模块33,第一圆盘光学元件311内嵌在第一空心主轴电机31中并带动其旋转,第二圆盘光学元件321内嵌在第二空心主轴电机32中并带动其旋转,第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321位于同一水平高度上,第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321尺寸大小完全相同,可编程电子模块33控制第一空心主轴电机31和第二空心主轴电机32,并且各自独立工作,激光发生器1、激光准直模块、第一圆盘光学元件311、第二圆盘光学元件321、振镜模块4和聚焦模块5沿着激光光束的方向依次排列。

[0043] 如图5至图7所示,激光发生器1发出皮秒脉冲激光,通过变倍扩束器2,然后依次通过第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321,在振镜模块中的平面反射镜41和平面反射镜42的反射下,射进F-theta场镜,最后在加工材料上会聚成一个极小的光斑。

[0044] 振镜模块4包括第一反射平面41和第二反射平面42,其中所述的第一反射平面41控制光束的水平方向位置,第二反射平面42控制光束的垂直方向的位置,激光光束依次经第一反射平面41、第二反射平面42发射有射入待切割材料,通过控制振镜模块4的旋转实现待切割材料上焦点划动。

[0045] 激光准直模块为变倍扩束器2,光束可扩束为2、4、6、8倍的光束。变倍扩束器包括短焦距正透镜21、短焦距负透镜22、长焦距负透镜23和长焦距正透镜24,激光光束依次通过短焦距正透镜21、短焦距负透镜22、长焦距负透镜23和长焦距正透镜24,通过正负球差减少系统的像差。

[0046] 第一空心主轴电机31和第二空心主轴电机32的转速为500-5000rpm,过高的转速会因过大的离心力影响光束质量。

[0047] 聚焦模块5为短焦距F-theta场镜,工作焦距 $f=120\text{mm}$ ,可使入射角 $\theta$ 与焦点偏移中心的距离 $L$ 成线性关系。

[0048] 激光发生器1可根据实际需要选择紫外、可见光和红外激光器。

[0049] 为了增加透射光的能量,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的入射面和出射面上均设有一层增透膜,激光光束的入射角 $\theta_1$ 是以布儒斯特角入射到第一圆盘光学元件,第一圆盘光学元件和第二圆盘光学元件的倾斜角 $\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ 。

[0050] 实施例二:

[0051] 如图1所示,该第一圆盘光学元件311侧面轮廓是一个平行四边形,材料紫外熔融石英或者BK7。当光束以 $\theta_1$ 角入射到第一圆盘光学元件311时,由于第一圆盘光学元件311的材料密度与空气不同,在空气与圆盘光学元件交界面发生光的折射,其折射角为:

$$[0052] \quad \theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \theta_1}{n}\right) \quad (1)$$

[0053] 沿着入射光线画一条虚线与圆盘光学元件相交于A点,如图1所示,以A为顶点作一条垂直线相交于出射光于B点,则出射光偏移值为AB。以入射点O为垂足作垂线交圆盘光学元件与C点,则 $h_0 = OC$ 。由几何数学和光的特性,可推导出光束经过一个圆盘光学元件的垂直偏移值为:

$$[0054] \quad AB = \frac{h_0}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (2)$$

[0055] 则光束通过第一圆盘光学元件311的旋转半径:

$$[0056] \quad R_1 = AB \cos i_1 \quad (3)$$

[0057] 其中 $i_1$ 为第一圆盘光学元件311的相位。

[0058] 由于第二圆盘光学元件321完全相同,同理可得光束通过第一圆盘光学元件311的旋转半径:

$$[0059] \quad R_2 = AB \cos i_2 \quad (4)$$

[0060] 则光束通过圆盘光学元件311和圆盘光学元件321后,旋转半径为:

$$[0061] \quad R=R_1+R_2=AB(\cos i_1+\cos i_2) \quad (5)$$

[0062] 进一步化简得:

$$[0063] \quad R=2AB \cdot \cos\left(\frac{i_1-i_2}{2}\right)\cos\left(\frac{i_1+i_2}{2}\right) \quad (6)$$

[0064] 以光束通过的第一个圆盘光学元件为初相位,第一圆盘光学元件的相位始终等于零,即 $i_1=0$ ,则两个圆盘光学元件的相位差 $\varphi=|i_1-i_2|=i_2$ ,它满足以下关系:

$$[0065] \quad R=2AB \cdot \cos^2\frac{i_2}{2}=2AB \cdot \cos^2\frac{\varphi}{2} \quad (7)$$

[0066] 进一步,将公式(2)代入公式(7)可得:

$$[0067] \quad R=2 \cdot \frac{h_0}{\cos\theta_2} \sin(\theta_1-\theta_2) \cdot \cos^2\frac{\varphi}{2} \quad (8)$$

[0068] 为了直观相位差与旋转半径的关系,如图2至4所示为,相位差分别为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $180^\circ$ 时,旋转半径的变化情况,图2至4中, $R_0=2R_1$ , $R_3=0$ ,与公式(8)相符合。

[0069] 实施例三:

[0070] 如图1至7所示,激光旋转切割方法包括以下步骤:

[0071] S1.激光发生器1发射激光光束,经激光准直模块变倍扩束后进入可控旋转半径模块3,设置第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321相位初始为 $0^\circ$ ;

[0072] S2.给可编程电子模块33输入旋转半径 $R_0$ ,可编程电子模块33控制第一空心轴电机31和第二空心轴电机32,使第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321的相位差 $\varphi_0$ 与旋转半径 $R_0$ 相匹配;

[0073] S3.确定相位差后,可编程电子模块33再控制第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321同时转动,保持相位差 $\varphi_0$ 不变;

[0074] S4.激光光束经过可控旋转半径模块3后进入振镜模块4,通过第一反射平面41和第二反射平面42的反射,再通过聚焦模块5会聚到待切割材料上;

[0075] S5.控制第一空心主轴电机31、第二空心主轴电机32旋转进行激光钻孔;转动任意反射平面,进行激光在特定方向上旋转钻孔切割。

[0076] 其中,步骤S2中,第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321之间的相位差为 $0^\circ$ 时,旋转半径最大;第一圆盘光学元件311和第二圆盘光学元件321之间的相位差为 $180^\circ$ 时,旋转半径为0;旋转半径R与两个圆盘光学元件之间的相位差 $\varphi$ 满足关系公式: $R=2AB \cdot \cos^2\frac{\varphi}{2}$ ,

其中AB是光束通过一个圆盘光学元件的垂直偏移量。

[0077] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

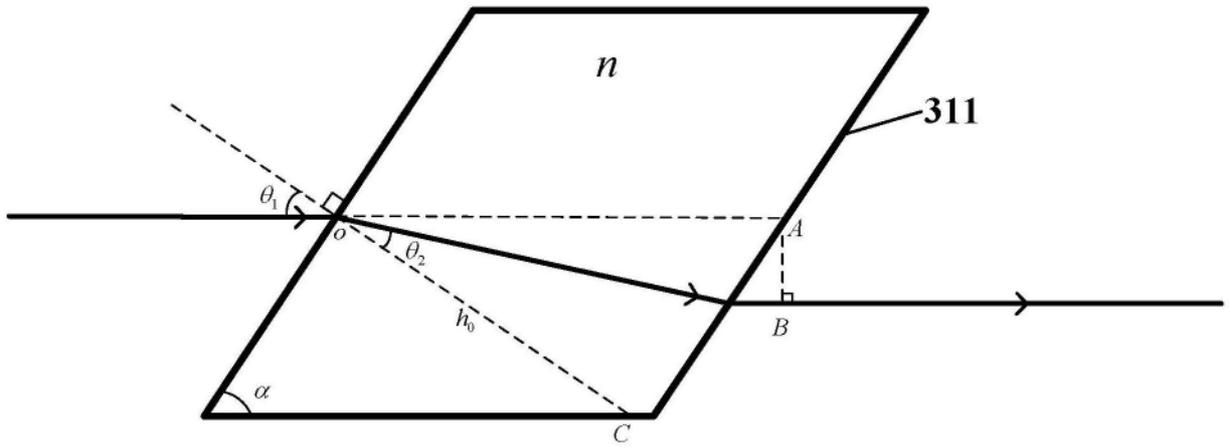


图1

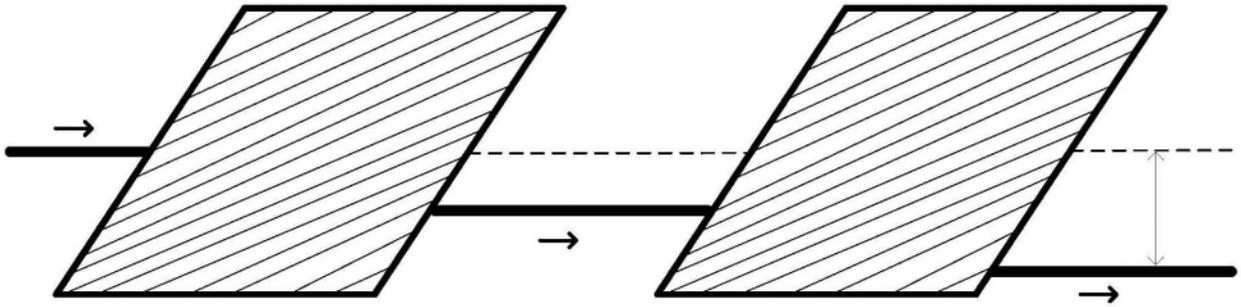


图2

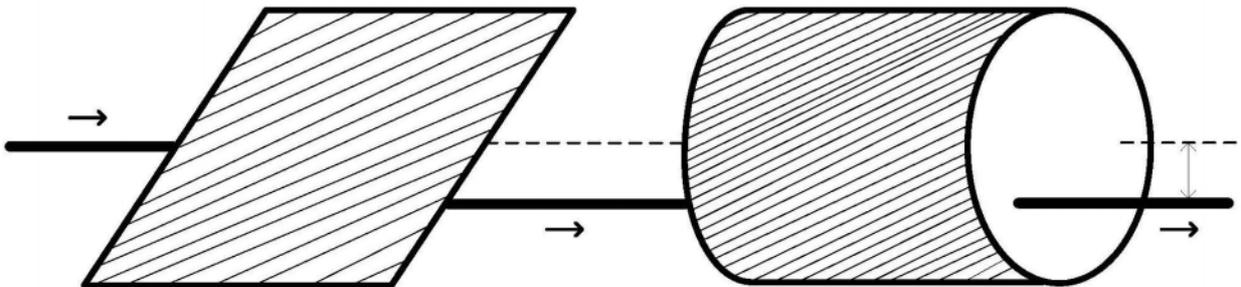


图3

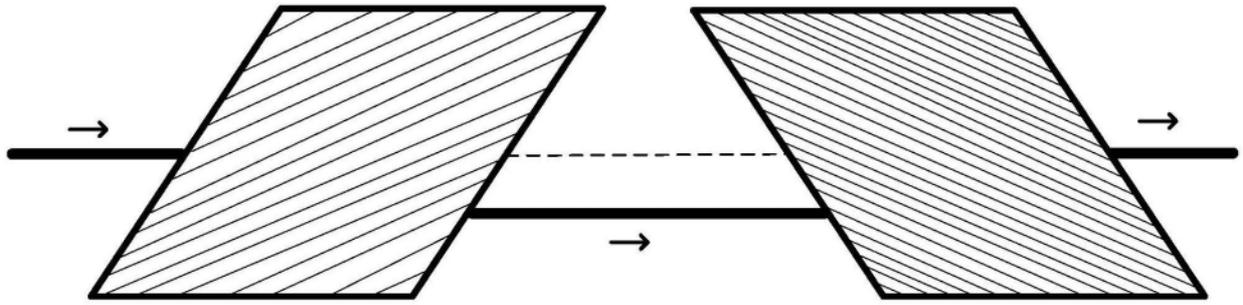


图4

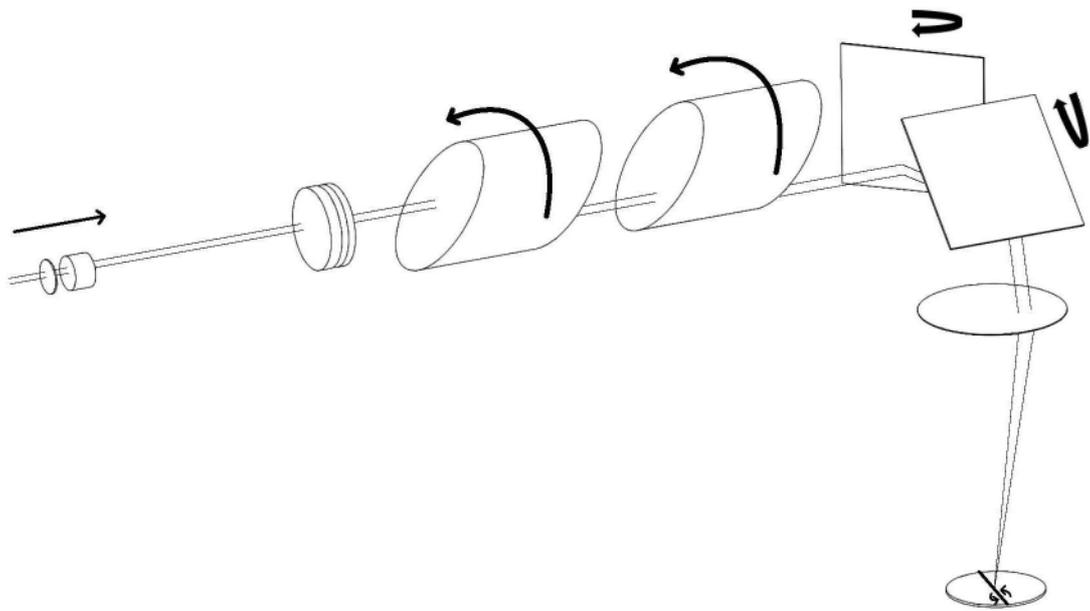


图5

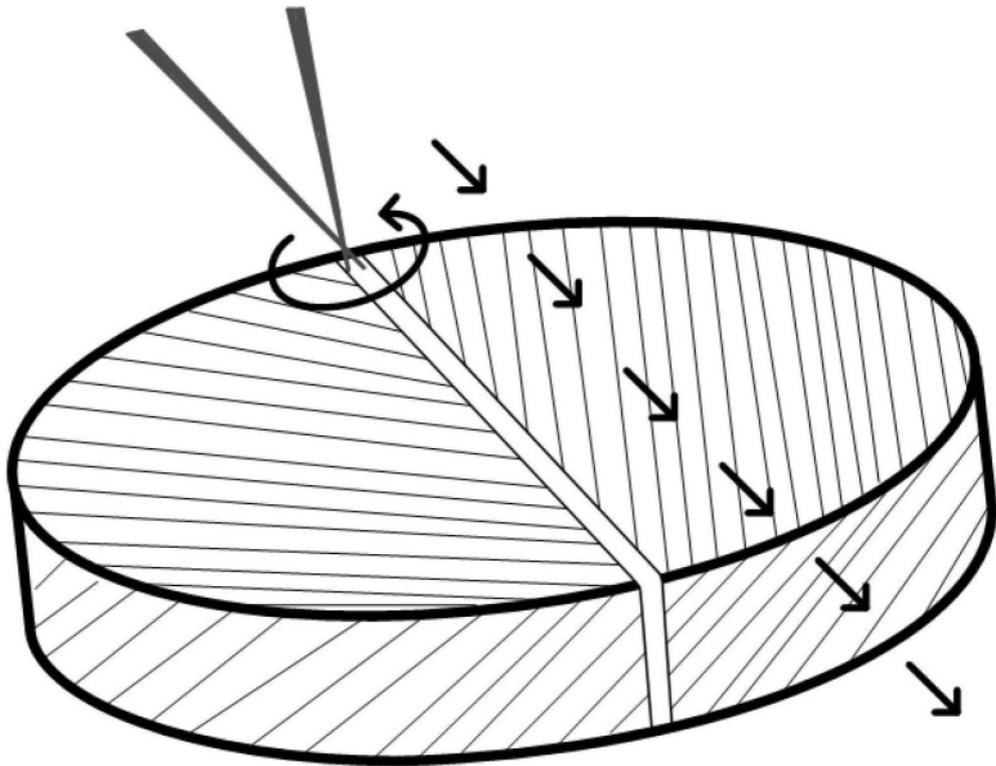


图6

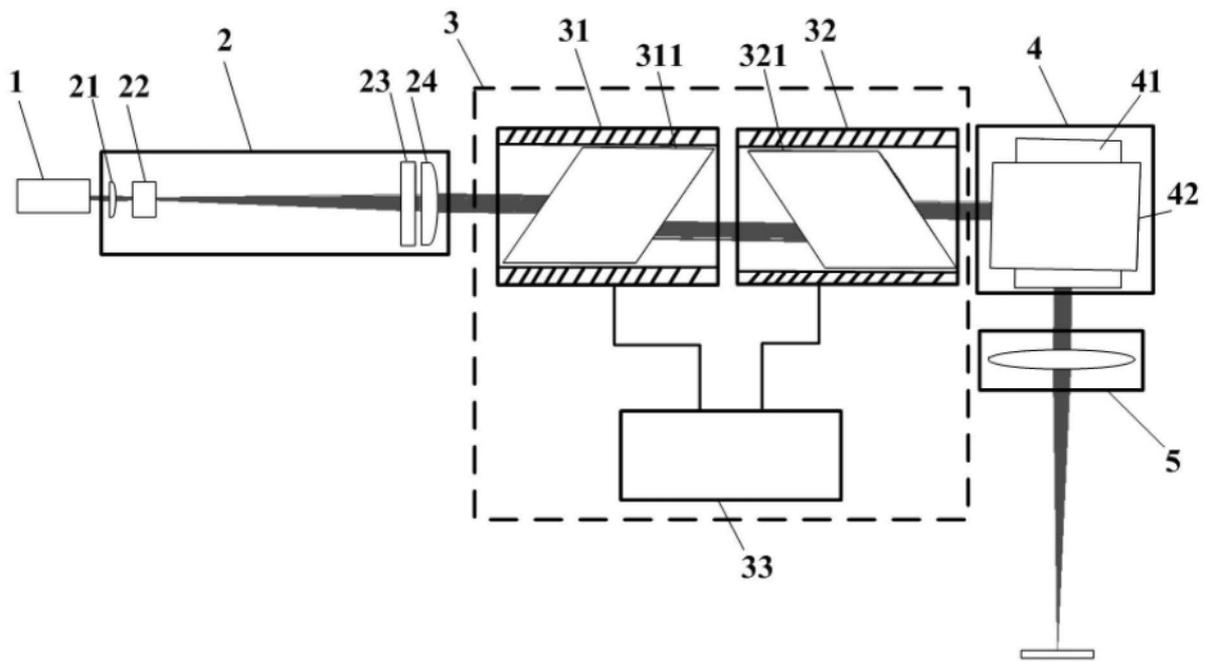


图7