



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112887566 B

(45) 授权公告日 2022.06.21

(21) 申请号 202110104727.4

H04N 5/232 (2006.01)

(22) 申请日 2021.01.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112887566 A

CN 1118549 A, 1996.03.13

US 2005174467 A1, 2005.08.11

(43) 申请公布日 2021.06.01

CN 102269587 A, 2011.12.07

CN 102507137 A, 2012.06.20

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 206313878 U, 2017.07.07

CN 109269762 A, 2019.01.25

审查员 王从雷

(72) 发明人 王一伟 王静竹 杜特专 岳杰顺
王傲

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

H04N 5/225 (2006.01)

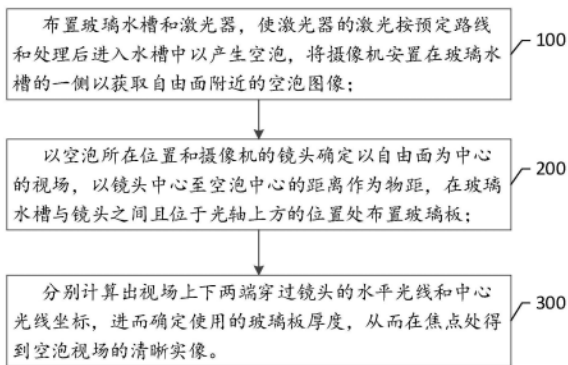
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法,包括:布置玻璃水槽和激光器,将摄像机安置在玻璃水槽的一侧以获取自由面附近的空泡图像;在玻璃水槽与镜头之间且位于光轴上方的位置处布置玻璃板;分别计算出视场上下两端穿过镜头的水平光线和中心光线坐标,进而确定使用的玻璃板厚度,从而在焦点处得到空泡视场的清晰实像。本发明利用折射率补偿方法,通过在镜头前放置固定厚度的玻璃板对自由面两侧的流动进行观测,通过控制光线的传播路径使从物体发出的光线经过多次折射后能够聚焦于同一平面,进而得到微小空泡的清晰视场成像。



1. 一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,布置玻璃水槽和激光器,使激光器的激光按预定路线和处理后进入水槽中以产生空泡,将摄像机安置在玻璃水槽的一侧以获取自由面附近的空泡图像;

步骤200,以空泡所在位置和摄像机的镜头确定以自由面为中心的视场,以镜头中心至空泡中心的距离作为物距,在玻璃水槽与镜头之间且位于光轴上方的位置处布置玻璃板;

步骤300,分别计算出视场上下两端穿过镜头的水平光线和中心光线坐标,进而确定使用的玻璃板厚度,从而在焦点处得到空泡视场的清晰实像。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,

所述空泡的半径为1~5mm。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,

所述步骤300中,视场上下两端的坐标计算过程如下:

由视场底端出发穿过镜头中心的光线定义为光线一;由视场底端出发平行于镜头的光轴且穿过镜头后方焦点的光线定义为光线二;由视场顶端出发平行于镜头的光轴且穿过镜头后方焦点的光线定义为光线三,由视场顶端出发穿过镜头中心的光线定义为光线四;

其中,光线三和光线四最终汇聚于光轴下方的一点,而光线一和光线二汇聚于光轴上方的一点;

光线二的高度计算过程为:

$$y = \frac{Lx}{F} - L$$

其中,视场高度为2L,镜头等价于一组凸透镜,凸透镜在空气中的焦距为F,空泡中心到凸透镜中心为物距P;

光线一的高度计算过程为:

设光线一发生折射前后与水平面的夹角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,则有以下等式成立:

$$(P-l-d) \times \tan\theta_1 + l \tan\theta_3 + d \tan\theta_2 = L$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3$$

n_1 、 n_2 、 n_3 分别为水、玻璃与空气的折射率,d为水槽玻璃板的厚度,l为凸透镜中心距离玻璃板外侧边缘的距离;

采用二分法对 θ_3 进行求解,误差设置为0.01;

其中 $\theta_i = f(P, L, l, d) \quad i=1, 2, 3$

得到光线一的高度计算公式:

$$y = \tan\theta_3 x$$

联立光线一、二的高度公式得:

$$x = \frac{LF}{L - F \tan\theta_3}$$

由于实像处于同一平面,因此光线三的高度坐标为:

$$y = \frac{L(F-x)}{F}$$

$$\text{当 } x = \frac{LF}{L - F \tan \theta_3} \text{ 时, } y = -\frac{LF \tan \theta_3}{L - F \tan \theta_3};$$

光线三、四交于一点 $(-\frac{LF}{L - F \tan \theta_3}, -\frac{LF \tan \theta_3}{L - F \tan \theta_3})$, 可得光线四的高度公式为:

$$y = -\tan \theta_3 x.$$

4. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于,

所述步骤300中, 玻璃板的厚度计算过程如下:

沿逆光线四传播方向分析, 没有增加玻璃板和水槽玻璃板时, 当 $x = -P$ 时, $y = P \tan \theta_3$; 加入玻璃板与水槽玻璃板之后, 光线出射位置应比未放置玻璃板和水槽玻璃板前高 $P \tan \theta_3 - L$;

设光线四的入射角为 θ_3 , 折射角是 θ_2 , 水槽玻璃板的厚度为 d , 玻璃板的厚度为 D , 由几何关系可知:

$$(D+d)(\tan \theta_3 - \tan \theta_2) = P \tan \theta_3 - L$$

转换后得到:

$$D = \frac{P \tan \theta_3 - L}{\tan \theta_3 - \tan \theta_2} - d$$

由于 $\theta_i = f(P, L, d)$ $i = 1, 2, 3$, 则玻璃板的厚度 $D = f(P, L, d)$ 。

5. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于,

对 θ_1 、 θ_2 求解与 θ_3 的计算过程是等价的。

6. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于,

所述水、玻璃和空气的折射率分别为 $n_1 = 1.33$ 、 $n_2 = 1.5$ 、 $n_3 = 1$ 。

7. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于,

所述焦距 F 由实验测定, 且 $F < P < 2F$ 。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于,

所述摄像机和所述激光器分别与同步仪连接, 且工作过程并受同步仪的控制。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于,

所述玻璃水槽相对所述摄像机的另一侧设置有增加亮度的补充光源。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于,

所述激光器发出的激光经过反射镜反射后, 再利用聚焦镜聚焦后射入所述玻璃水槽中。

一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水下空化研究领域,特别是涉及一种基于折射率补偿以获取自由面附近空化现象微距观测时清晰图像的方法。

背景技术

[0002] 自由面是指液体与空气接触的界面,一般为空气与水的交界面。由于水和空气的折射率不同,因此在使用高速摄像机拍摄发生在自由面附近的流动时,自由面两侧的物体会由于光线传播路线的不同而无法成像于同一平面。

[0003] 目前在实验中多使用含有长焦镜头的高速摄像机对自由面附近的由电火花激发的空化现象进行观测,由于空泡距离相机透镜中心较远且气泡半径为20~40mm,此时由于光线传播造成的误差较小,自由面上下两侧的成像清晰度差异较小,不会影响图像的后续处理与分析。而当使用激光引发空化时,空泡半径在1~5mm时,要对气泡进行精细观测,需要使用微距镜头。由于微距镜头焦距较小,且空泡距离透镜中心较近,由光线折射引起的误差不可忽略,自由面两侧成像清晰度出现显著差异。

[0004] 如果布置两台高速摄像机对同一位置自由面附近的空化现象进行观测则比较困难,而且还存在时间延迟、位置标定等误差。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于折射率补偿以获取自由面附近空化现象微距观测时清晰图像的方法。

[0006] 具体地,本发明提供一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤100,布置玻璃水槽和激光器,使激光器的激光按预定路线和处理后进入水槽中以产生空泡,将摄像机安置在玻璃水槽的一侧以获取自由面附近的空泡图像;

[0008] 步骤200,以空泡所在位置和摄像机的镜头确定以自由面为中心的视场,以镜头中心至空泡中心的距离作为物距,在玻璃水槽与镜头之间且位于光轴上方的位置处布置玻璃板;

[0009] 步骤300,分别计算出视场上下两端穿过镜头的水平光线和中心光线坐标,进而确定使用的玻璃板厚度,从而在焦点处得到空泡视场的清晰实像。

[0010] 本发明利用折射率补偿方法,通过在镜头前放置固定厚度的玻璃板对自由面两侧的流动进行观测,通过控制光线的传播路径使从物体发出的光线经过多次折射后能够聚焦于同一平面,进而得到微小空泡的清晰视场成像。

附图说明

[0011] 图1是本发明一个实施方式的方法流程示意图;

[0012] 图2是本发明一个实施方式的空泡图像获取装置布置示意图;

- [0013] 图3是本发明一个实施方式中视场图像的光路图；
- [0014] 图4是本发明一个实施方式中增加玻璃板后的视场图像光路图；
- [0015] 图5是本发明一个实施方式中光线在三种介质中的传播路线示意图；
- [0016] 图6是本发明一个实施方式中同一个物体在水中和空气中的成像位置示意图。

具体实施方式

- [0017] 以下通过具体实施例和附图对本方案的具体结构和实施过程进行详细说明。
- [0018] 如图1所示,在本发明的一个实施方式中,公开一种基于折射率补偿的自由面附近空化现象微距观测方法,包括如下步骤:
- [0019] 步骤100,布置玻璃水槽和激光器,使激光器的激光按预定路线和处理后进入水槽中以产生空泡,将摄像机安置在玻璃水槽的一侧以获取自由面附近的空泡图像;
- [0020] 如图2所示,在该步骤中,激光器3与摄像机2可通过同步仪4控制工作过程,以使摄像机2能够及时获取空泡12的图像。激光器3产生的激光可通过反射镜31折射至玻璃水槽1内的任意位置处,同时可利用透镜32对激光进行聚集,以产生更符合试验要求的空化现象。此外,为获取更清楚的空泡图像,可在玻璃水槽1相对于摄像机2的另一侧设置补充光源5。这里空泡12的直径范围为1~5mm。
- [0021] 步骤200,以空泡所在位置和摄像机的镜头确定以自由面为中心的视场,以镜头中心至空泡中心的距离作为物距,在玻璃水槽与镜头之间且位于光轴上方的位置处布置玻璃板;
- [0022] 图3是正常情况下摄像机获取空泡图像的示意图,其中,空泡位于水箱中,摄像机2在水槽1内空泡12位置处形成带有一定高度的视场13,摄像机2的镜头(凸透镜)11距离水槽1一段距离,镜头11的焦点14在摄像机2的内部,视场13上下两端的光线以光轴15为中心分别成像于光轴15的上下两侧,但成像后的上端点(空气中)处光线与下端点(水中)处光线并不对称。
- [0023] 如图4所示,在图3的基础上增加一块玻璃板16,玻璃板16用于使自由面上方空气折射率与自由面下方水的折射率相同,即,使空气折射率与水的折射率相同,进而可使摄像机2在玻璃水槽1外部得到清晰的视场图像。
- [0024] 步骤300,分别计算出视场上下端穿过镜头的水平光线和中心光线坐标,进而确定使用的玻璃板厚度,从而在焦点处得到空泡视场的清晰实像。
- [0025] 视场上下两端的坐标计算过程如下:
- [0026] 首先将由视场13底端出发穿过镜头11中心的光线定义为光线一,而由视场13底端出发平行于镜头11且穿过镜头11后方焦点14的光线定义为光线二;由视场13顶端出发平行于镜头11且穿过镜头11后方焦点14的光线定义为光线三,由视场13顶端出发穿过镜头11中心的光线定义为光线四。其中,光线三和光线四最终汇聚于光轴15下方的一点,而光线一和光线二汇聚于光轴15上方的一点,在经过玻璃板16调整时,光轴15上下两个汇聚点并不对称,因此获取的视场13并不清晰;而光线一和光线二经过玻璃板16折射后,其汇聚点可调整至与光线三和光线四的汇聚点对称。具体玻璃板16的厚度为多少才可调整至两个汇聚点对称,则可通过下面的计算过程确定玻璃板16的厚度。
- [0027] 光线二的高度计算过程为:

$$[0028] \quad y = \frac{Lx}{F} - L$$

[0029] 其中,视场13高度为2L,摄像机2的镜头11等价于一组凸透镜,凸透镜在空气中的焦距为F。由于实验所使用的高速摄像机镜头为定焦镜头,所以焦距F为定值。空泡12中心到凸透镜中心的距离为物距P,焦距F由实验测定且 $F < P < 2F$;

[0030] 光线一的高度计算过程为:

[0031] 如图5所示,设光线一发生折射前后与水平面的夹角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,则有以下等式成立:

$$[0032] \quad (P-l-d) \times \tan\theta_1 + l \tan\theta_3 + d \tan\theta_2 = L$$

$$[0033] \quad n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3$$

[0034] n_1 、 n_2 、 n_3 分别为水、玻璃与空气的折射率,具体为 $n_1 = 1.33$ 、 $n_2 = 1.5$ 、 $n_3 = 1$,d为水槽玻璃的厚度,l为凸透镜中心距离玻璃板外侧边缘的距离;

[0035] 上述方程为超越方程,需要使用数值对方程进行近似求解。本实施方式采用二分法对 θ_3 进行求解,误差设置为0.01;在这里,对 θ_1 、 θ_2 求解是等价的。

[0036] 其中 $\theta_i = f(P, L, l, d)$ $i = 1, 2, 3$

[0037] 得到光线一的高度计算公式:

$$[0038] \quad y = \tan\theta_3 x$$

[0039] 联立光线一、二的高度公式得:

$$[0040] \quad x = \frac{LF}{L - F \tan\theta_3}$$

[0041] 由于实像处于同一平面,因此光线三的高度坐标为:

$$[0042] \quad y = \frac{L(F-x)}{F}$$

$$[0043] \quad \text{当 } x = \frac{LF}{L - F \tan\theta_3} \text{ 时, } y = -\frac{LF \tan\theta_3}{L - F \tan\theta_3};$$

[0044] 光线三、四交于一点 $(-\frac{LF}{L - F \tan\theta_3}, -\frac{LF \tan\theta_3}{L - F \tan\theta_3})$,可得光线四的高度公式为:

$$[0045] \quad y = -\tan\theta_3 x。$$

[0046] 玻璃板16的厚度计算过程如下:

[0047] 沿逆光线四传播方向分析,没有增加玻璃板16和水槽1玻璃板时,当 $x = -P$ 时, $y = P \tan\theta_3$;加入玻璃板16与水槽1玻璃板之后,光线出射位置应比未放置玻璃板16和水槽1玻璃板前高 $P \tan\theta_3 - L$;

[0048] 设光线四的入射角为 θ_3 ,折射角是 θ_2 ,水槽玻璃板的厚度为d,玻璃板16的厚度为D,由几何关系可知:

$$[0049] \quad (D+d) (\tan\theta_3 - \tan\theta_2) = P \tan\theta_3 - L$$

[0050] 转换后得到:

$$[0051] \quad D = \frac{P \tan\theta_3 - L}{\tan\theta_3 - \tan\theta_2} - d$$

[0052] 由于 $\theta_i = f(P, L, l, d)$ $i=1, 2, 3$, 则玻璃板的厚度 $D=f(P, L, l, d)$ 。

[0053] 由于上述推导未涉及玻璃板16距离相距镜头11或玻璃水槽1的位置, 玻璃板16距离相距镜头11或玻璃水槽1的位置对最终结果无影响, 前提是玻璃板16位于水槽玻璃板和镜头之间。

[0054] 由图6可知, 处于水中的物体和空气中的物体会成像于同一平面, 所以只需讨论上下两端的点即可确定玻璃板的厚度。

[0055] 理论上, 在光轴15下方放置一个凹透镜也可以改变光线传播方向从而使自由面上下的物体成像于同一平面, 但是由于理论分析和特定凸透镜的加工相对于玻璃板16的加工较为困难, 所以本专利采用一定厚度的玻璃板16来改变光线的传播方向。

[0056] 至此, 本领域技术人员应认识到, 虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例, 但是, 在不脱离本发明精神和范围的情况下, 仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此, 本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

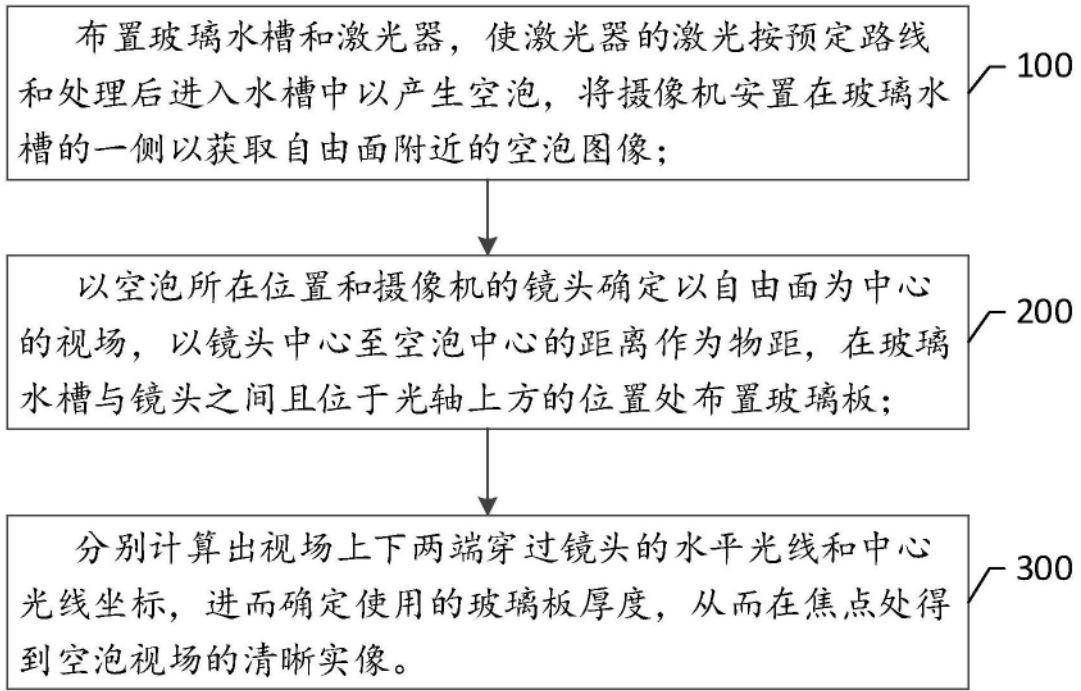


图1

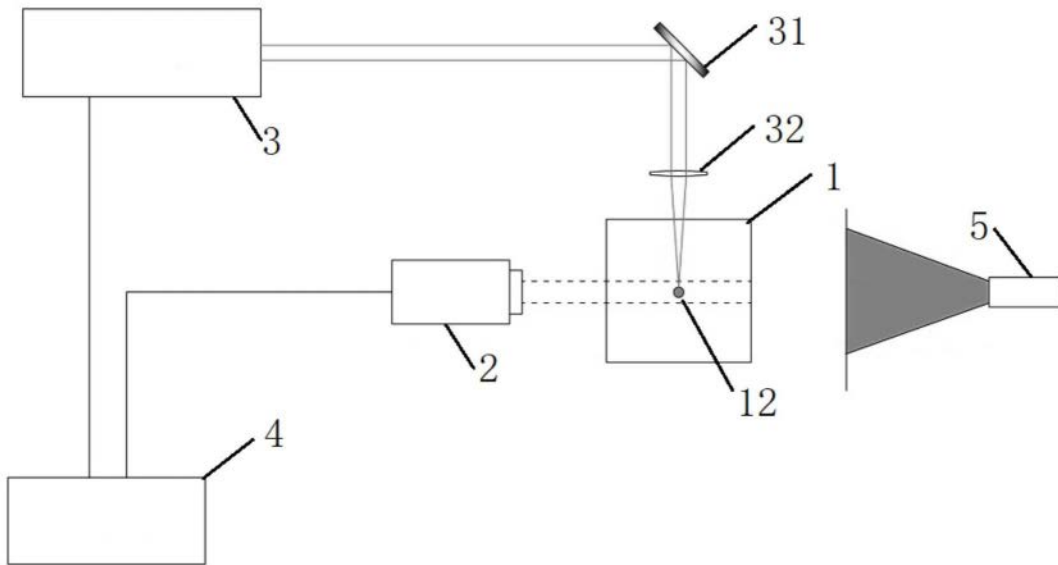


图2

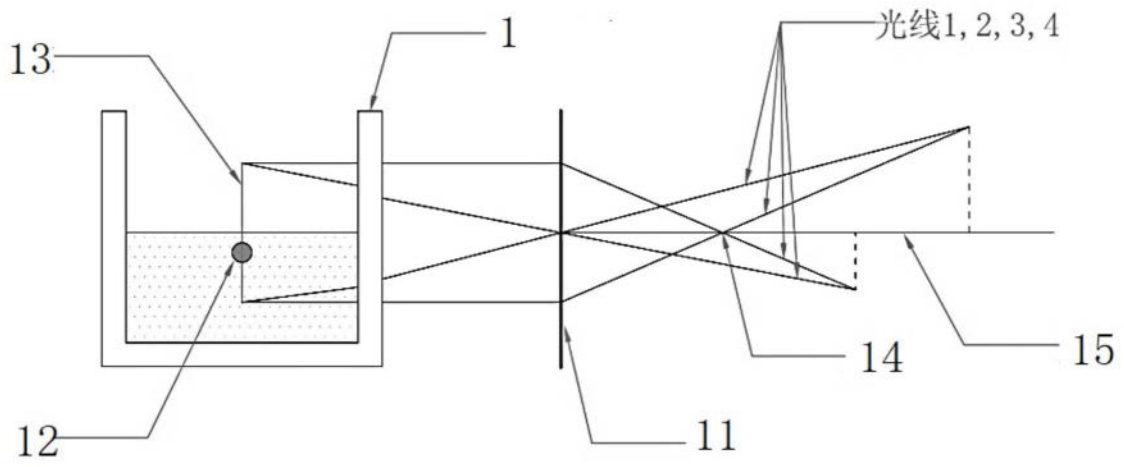


图3

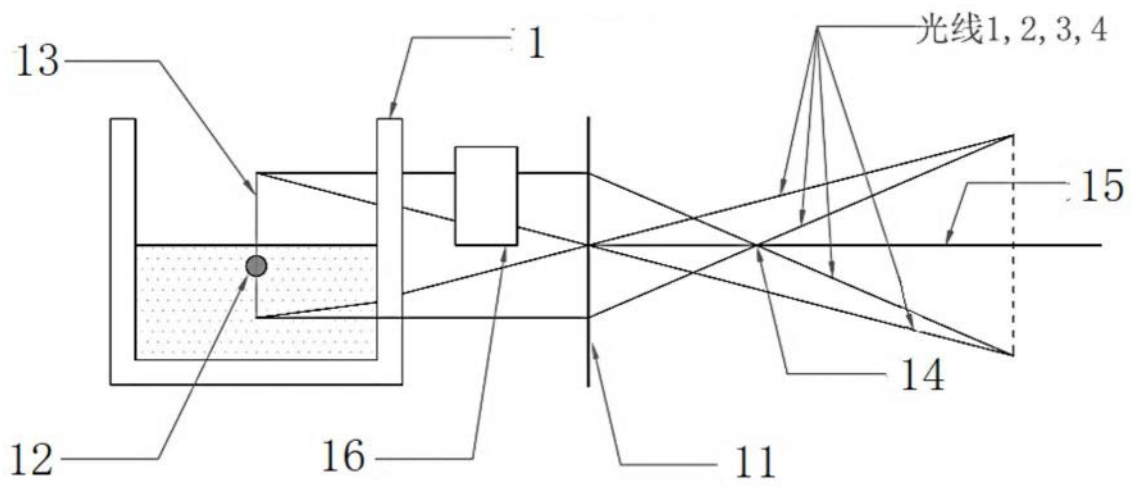


图4

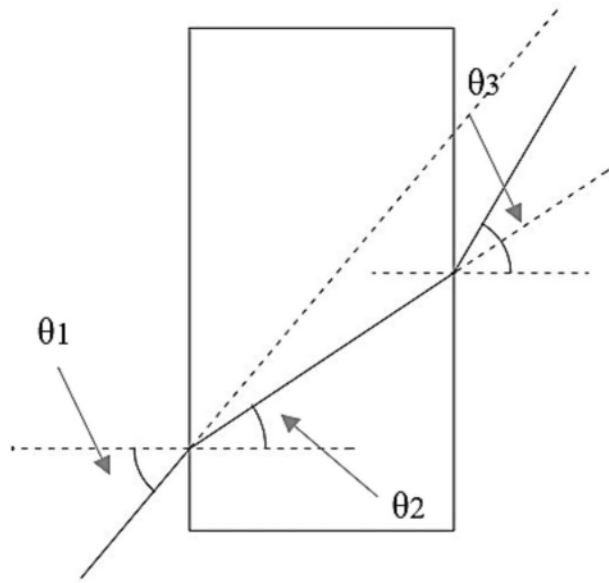


图5

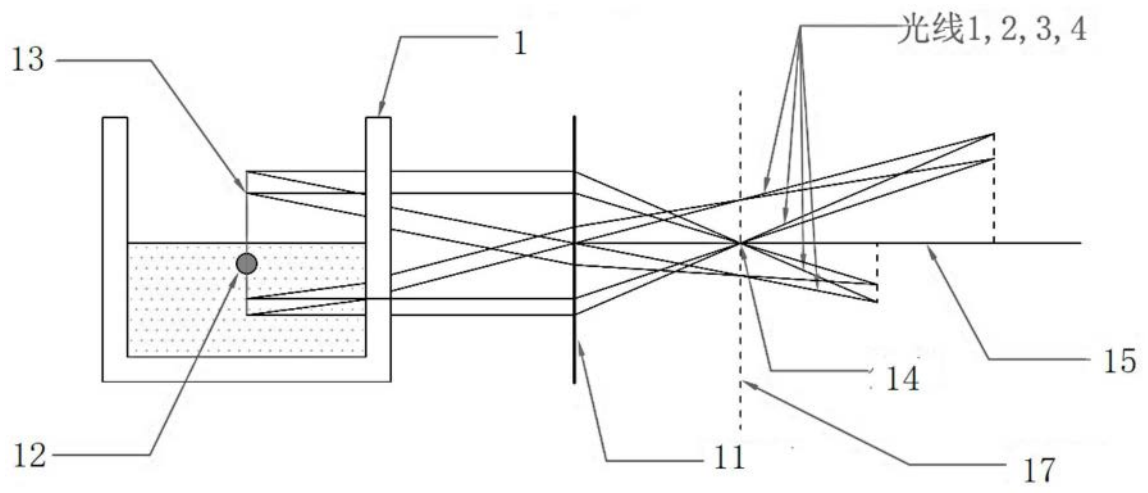


图6