



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103628131 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201310660636. 4

CN 102677157 A, 2012. 09. 19,

(22) 申请日 2013. 12. 06

WO 2007097071 A1, 2007. 08. 30,

(73) 专利权人 西安德伍拓自动化传动系统有限公司

审查员 胡晓珊

地址 710000 陕西省西安市未央区凤城一路
北侧含光芳苑 1 幢 10502 室

(72) 发明人 杨欣 王军会 何茜 奈斌

(51) Int. Cl.

G30B 15/26(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2001054376 A1, 2001. 12. 27,

JP 2003026495 A, 2003. 01. 29,

CN 101988845 A, 2011. 03. 23,

CN 101008104 A, 2007. 08. 01,

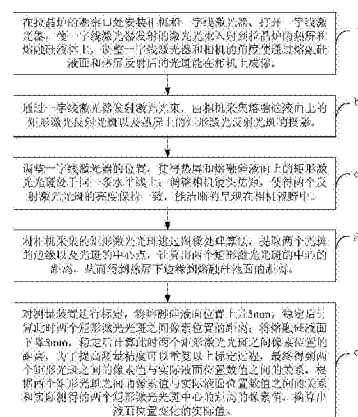
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法
及测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法
及测量装置,该方法包括在单晶炉的
观察口上安装一字线激光器和相机,将一字线激
光光束从拉晶炉的观察口上斜射入热屏和熔融硅
液面上,熔融硅液面对打入到其液面上的激光光
束产生镜面反射,反射光束投影到热屏上,在热屏
上的投影光束同样会在熔融硅液面上产生投影。
随着熔融硅液面的变化,激光光束与熔融硅液面
的接触点会随之发生变化,因此热屏上的反射光
束与熔融硅液面上的投影之间的距离也会随之变
化,最终使得相机接收到的光束的像素位置产生
变化。通过标定图像上两投影点之间像素位置的
变化与实际熔融硅液面位置的变化,就可以得到
实际液面变化的信息。



1. 一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 包括以下步骤: a. 安装在拉晶炉观察口处的测量装置中的一字线激光器发射激光光束, 使一字线激光器发射的激光光束入射到拉晶炉的热屏和熔融硅液体上, 安装在拉晶炉观察口的测量装置中的相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影;

b. 调整一字线激光器的位置, 使得热屏和熔融硅液面上的矩形激光光斑处于同一条水平线上; 调整相机镜头焦距, 使得两个反射激光光斑的亮度保持一致, 能清晰的呈现在相机视野中;

c. 对相机采集的矩形激光光斑经过图像处理算法, 提取两个光斑的边缘以及光斑的中心点, 计算出两个矩形激光光斑的中心的距离, 从而得到热屏下边缘到熔融硅液面的距离。

2. 根据权利要求1所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 所述方法在步骤c后还包括以下步骤:

d. 对测量装置进行标定, 将熔融硅液面位置上升5~10mm, 稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离; 将熔融硅液面下降5~10mm, 稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离, 得到两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系; 根据两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系和实际测得的两个矩形激光光斑中心的距离的像素值, 换算出液面位置变化的实际值。

3. 根据权利要求2所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 重复步骤d最终得到像素值与实际液面位置之间的关系。

4. 根据权利要求1所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 步骤a) 包括以下两步:

a1. 在拉晶炉的观察口处安装相机和一字线激光器, 并在相机前方固定滤光片, 打开一字线激光器, 使一字线激光器发射的激光光束入射到拉晶炉的热屏和熔融硅液体上, 调整一字线激光器和相机的角度使通过熔融硅液面和热屏反射后的光斑能在相机上成像;

a2. 通过一字线激光器发射激光光束, 由相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影。

5. 根据权利要求1所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 所述的一字线激光器发射的激光光束经过安装在观察口上的圆形隔热玻璃及观察口照射到拉晶炉的热屏和熔融硅液面上, 高温熔融硅近似于镜面, 热屏上的激光在熔融硅液面上产生投影, 入射到熔融硅液面上的激光在热屏上产生投影, 相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影;

步骤c为: 对相机采集到的矩形激光光斑, 利用相机自带软件中的Blob算法获取矩形光斑的最左侧的点和最右侧的点, 然后再用自带软件中的Measurement算法里的点到点的距离, 测出两个矩形光斑之间的最短距离。

6. 根据权利要求1所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法, 其特征在于, 所述的一字线激光器为波长范围在405nm~450nm的蓝紫光一字线激光器。

7. 一种基于权利要求1所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法的测量装置, 其特征在于, 包括安装在拉晶炉观察口处的一字线激光器和相机, 相机前方固定有滤光片。

8. 根据权利要求7所述的测量装置, 其特征在于, 所述的拉晶炉观察口上还安装有一块降低观察口温度且对红外波动的光线起抑制作用的圆形隔热玻璃。

9. 根据权利要求7所述的测量装置,其特征在于,所述的一字线激光器为波长范围在405nm~450nm的蓝紫光一字线激光器。

一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法及测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种非接触式拉晶炉熔融硅液面的检测方法,具体涉及一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法及基于该方法的测量装置。

背景技术

[0002] 直拉法是运用熔体的冷凝固晶驱动原理,在固体和液体的交界面处,由于熔体温度下降产生由液体转换成固态的相变化。采用直拉法生长出的单晶硅,其含氧量较高且直径较大,是目前广泛采用的一种方法,然而该方法对单晶的生长环境提出了严格的要求。随着单晶硅固体的不断生长,坩埚中的熔融硅的体积逐渐减小,熔融硅液面不断下降。

[0003] 拉晶过程比较复杂,存在的不定因素很多如:熔融硅的温度基本在 1450° 左右,而晶体硅的温度要低很多,因此拉晶炉内的温度分布不均匀,炉体内存在温度梯度;在拉晶过程中,拉晶炉内要冲入大量惰性气体如氩气等,氩气的流动会导致熔融硅液面发生变化;在拉晶时,由于拉晶速度控制的不精确等也会引起熔融硅液面的变化。此外,单晶硅的生长过程一般要持续24小时以上,液面在各种因素长时间的作用下不断产生波动,这将最终会影响晶体的质量。因此需要能够精确的测量拉晶炉内液面的高度,以便合理的调整坩埚的升降速度,提高拉晶品质。

[0004] 常规测量拉晶炉内液面位置的方法大多采用非接触测量法,由于炉体内温度非常高,炉体内充满了大量的红外射线,采用常用的红外激光测距装置无法达到效果,因为炉体内的红外线与红外激光混合在一起,探测器无法识别。此外,由于拉晶炉内存在到电流的热对流现象,炉体外会外加一个磁场来抑制熔体立的自然对流、避免产生紊流现象。因此,常用的电涡流检测法以及电容检测法等就无法应用到液位检测系统中。

发明内容

[0005] 本发明为了解决上述技术问题,提供一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法及基于该方法的测量装置,能够精确的测量拉晶炉内液面的高度,保证了拉晶品质。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法,包括以下步骤:a. 安装在拉晶炉观察口处的测量装置中的一字线激光器发射激光光束,使一字线激光器发射的激光光束入射到拉晶炉的热屏和熔融硅液体上,安装在拉晶炉观察口的测量装置中的相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影;

[0008] b. 调整一字线激光器的位置,使得热屏和熔融硅液面上的矩形激光光斑处于同一条水平线上;调整相机镜头焦距,使得两个反射激光光斑的亮度保持一致,能清晰的呈现在相机视野中;

[0009] c. 对相机采集的矩形激光光斑经过图像处理算法,提取两个光斑的边缘以及光斑的中心点,计算出两个矩形激光光斑的中心的距离,从而得到热屏下边缘到熔融硅液面的距离。

[0010] 所述方法在步骤c后还包括以下步骤:

[0011] d.对测量装置进行标定,将熔融硅液面位置上升5~10mm,稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离;将熔融硅液面下降5~10mm,稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离,得到两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系;根据两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系和实际测得的两个矩形激光光斑中心的距离的像素值,换算出液面位置变化的实际值。

[0012] 重复步骤d最终得到像素值与实际液面位置之间的关系。

[0013] 步骤a)包括以下两步:

[0014] a1.在拉晶炉的观察口处安装相机和一字线激光器,并在相机前方固定滤光片,打开一字线激光器,使一字线激光器发射的激光光束入射到拉晶炉的热屏和熔融硅液体上,调整一字线激光器和相机的角度使通过熔融硅液面和热屏反射后的光斑能在相机上成像;

[0015] a2.通过一字线激光器发射激光光束,由相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影。

[0016] 所述的一字线激光器发射的激光光束经过安装在观察口上的圆形隔热玻璃及观察口照射到拉晶炉的热屏和熔融硅液面上,高温熔融硅近似于镜面,热屏上的激光在熔融硅液面上产生投影,入射到熔融硅液面上的激光在热屏上产生投影,相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影;

[0017] 步骤c为:对相机采集到的矩形激光光斑,利用相机自带软件中的Blob算法获取矩形光斑的最左侧的点和最右侧的点,然后再用自带软件中的Measurement算法里的点到点的距离,测出两个矩形光斑之间的最短距离。

[0018] 所述的隔热玻璃、观察口及相机之间呈一定角度。

[0019] 所述的一字线激光器为波长范围在405nm~450nm的蓝紫光一字线激光器。

[0020] 一种基于所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法的测量装置,包括安装在拉晶炉观察口处的一字线激光器和相机,所述的一字线激光器和相机两者之间呈一定角度,相机前方固定有滤光片。

[0021] 所述的拉晶炉观察口上还安装有一块降低观察口温度且对红外波动的光线起抑制作用的圆形隔热玻璃。

[0022] 所述的一字线激光器为波长范围在405nm~450nm的蓝紫光一字线激光器。

[0023] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0024] 本发明提供的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法及基于该方法的测量装置,通过采用一字线激光器向拉晶炉的热屏和熔融硅液面发射激光,并采用相机对热屏及熔融硅液面反射的激光光斑的投影的采集,来计算出拉晶炉中熔融硅液面的实际液面高度变化,然后根据拉晶炉中熔融硅液面的实际高度合理的调整坩埚的升降速度,并控制拉晶速度,避免由于熔融硅液面的变化,而对晶体质量的影响,提高了拉晶品质。

[0025] 同时本发明采用一字线蓝紫色激光对拉晶炉中熔融硅液面进行非接触式测量,避免了常规测量采用的红外激光测距装置中出现的炉体内的红外线与红外激光混合在一起,探视器无法识别的问题。

[0026] 此外,本发明在相机前方固定了一块滤光片,滤光片带宽较窄以便尽量减少除蓝紫光以外的干扰光线的进入。

[0027] 进一步地,由于观察口温度很高,在观察口上加装一块圆形隔热玻璃,且保证隔热玻璃、观察口、相机三者之间呈一定角度而不是不在一条直线上。隔热玻璃在降低观察口温度的同时还能对红外波动的光线起到抑制作用,减小杂散光进入相机内。

附图说明

[0028] 图1为本发明的热屏成像示意图;

[0029] 图2为本发明的测量原理图;

[0030] 图3为本发明的测量过程的结构示意图;

[0031] 图4为本发明相机采集到图像;

[0032] 图5为经过Sobel算子提取的边缘图像以及激光光斑的距离;

[0033] 图6为本发明提供的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法流程示意图;

[0034] 图7、图8为本发明的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法中的图像处理示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0036] 三角位移测量方法是因为入射光线和反射光线形成一个三角形而得名的,它的原理是从光源发射出一束光束到被测物体的表面,并且在另一个方向和位置上通过成像观察反射光点的位置,从而可以得出被测物体表面的位移。

[0037] 参见图1至图6,本发明一种单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法,在单晶炉的观察口上安装一字线激光器和相机,激光器发射的激光光束经观察口照射到拉晶炉的热屏和熔融硅液面上,高温熔融硅近似于镜面,热屏上的激光在熔融硅上产生投影,入射到熔融硅上的激光在热屏上产生投影,激光光束及其投影在相机上成像,对激光投影的光斑进行图像边缘和中心提取,计算两光斑中心的距离,从而得到光斑中心距离相对液口距的变化关系,具体包括以下步骤:

[0038] a. 安装测量装置,该测量装置包含一字线激光器、相机、镜头、滤光片以及隔热玻璃,测量时将相机和一字线激光器等安装在拉晶炉的观察口处,并在相机前方固定有滤光片,在观察口上安装隔热玻璃,且所述的隔热玻璃、观察口及相机之间呈一定角度。打开一字线激光器,使一字线激光发射的激光光束经过安装在拉晶炉观察口上的圆形隔热玻璃及观察口入射到拉晶炉的热屏和熔融硅液体上,高温熔融硅近似于镜面,热屏上的激光在熔融硅液面上产生投影,入射到熔融硅液面上的激光在热屏上产生投影,调整一字线激光和相机的角度使通过熔融硅液面和热屏反射后的光斑能在相机上成像。

[0039] 具体的,将一字线激光光束从拉晶炉的观察口上斜射入热屏和熔融硅液面上,由于热屏和熔融硅液面有高度差,因而投射的一字线激光会被分成两部分,投射到熔融硅液面的激光光束会在熔融硅表面产生镜面反射,反射光束投影到热屏上,热屏边缘经人工打磨形成倒角,熔融硅液面的反射光束在热屏倒角部分形成一个矩形光斑;照射在热屏上的那部分激光光束在热屏倒角上也会形成一个矩形光斑,这个矩形光斑会在熔融硅液面上产生投影。如果相机和一字线激光光源的安装位置合适,相机正好能拍到这两个投影矩形光斑,经过几何计算,当两个矩形光斑在同一水平线上时,这两个矩形光斑之间的距离正好等

于热屏下边缘到熔融硅液面的距离,因此测量了这两个光斑的距离,相当于测量了热屏下边缘到熔融硅液面的距离。

[0040] b.通过一字线激光器发射激光光束,由相机采集熔融硅液面上的矩形激光反射光斑以及热屏上的矩形激光反射光斑的投影。

[0041] c.调整一字线激光器的位置,使得热屏和熔融硅液面上的激光光斑处于同一条水平线上;调整相机镜头焦距,使得两个反射激光光斑的亮度保持一致,能清晰的呈现在相机视野中。

[0042] d.对相机采集的矩形激光光斑经过图像处理算法,提取两个光斑的边缘以及光斑的中心点,计算出两个矩形激光光斑的中心的距离,从而得到热屏下边缘到熔融硅液面的距离。

[0043] 具体的,对矩形激光光斑进行图像处理采用以下的步骤:

[0044] 首先,对采集到的光斑进行去噪处理,具体为:采用边缘检测算法对图像中局部强度变化最为显著地部分进行提取,对目标与目标,目标与背景中感兴趣部分提取。Sobel算子是一种一阶微分算子或梯度算子。通过该方法求出图像灰度变化的方向趋势,增强灰度剧烈变化的区域,然后根据一定的阈值进行取舍。梯度的大小表示了图像边缘的强度,梯度的方向为沿图像边缘的发现方向。Sobel算子对噪声具有平滑作用,能够提供较为精确的边缘信息。Sobel边缘算子包括两个核,分别对垂直的边缘和水平的边缘的响应最大。

[0045]

-1	-2	-1
----	----	----

[0046]

0	0	0
1	2	1

[0047]

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

[0048] Sobel算子的梯度计算方法如下所示:

[0049] $G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$

[0050] $G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$

[0051] $\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}$

[0052] 向量的大小为:

[0053] $\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$

[0054] 然后,参见图7至图8,通过相机中自带的VisionScape软件中的Blob算法获取矩形光斑的最左侧的点和最右侧的点,然后再用VisionScape软件中的Measurement算法里的点到点的距离就可以测出两个矩形光斑之间的最短距离的像素值。需要说明的是,通过测量两个光斑相对最近的两个边缘之间的距离,得到的两个矩形光斑之间距离精度最高。需要说明的是,相机中还可以自带其他软件,利用该软件中的Blob算法和Measurement算法也可

以得到两个矩形光斑之间的最短距离的像素值。

[0055] e.对测量装置进行标定,将熔融硅液面位置上升5mm,稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离;将熔融硅液面下降5mm,稳定后计算此时两个矩形激光光斑之间像素位置的距离,为了提高测量精度可以重复以上标定过程,最终得到两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系,根据两个矩形光斑之间的像素值与实际液面位置数值之间的关系和实际测得的两个矩形激光光斑中心的距离的像素值,换算出液面位置变化的实际值,即就是将熔融硅液面变化的像素值转换成熔融硅实际的液面变化数值,需要说明的是,该数值的单位可以是cm、mm等。

[0056] 同时由于熔融硅液面温度在1450°左右,炉体内充满大量红外线,在观察口看到的液面颜色近似于橙色,为了能在相机上清晰的接收到激光及其散射光线,需要选用的光源其频率与红外线的频率相差较大的激光光源,经多次试验,选择波长范围在405nm~450nm的蓝紫光激光器。在接收端一方,需要在相机前加滤光片,滤光片带宽较窄以便尽量减少除蓝紫光以外的干扰光线的进入。

[0057] 测试过程如下:

[0058] 将一字线激光光束从拉晶炉的观察口上斜射入热屏和熔融硅液面上,熔融硅的温度在1450°左右,可近似为一个具有高反射率的镜面。熔融硅液面对打入到其液面上的激光光束产生镜面反射,反射光束投影到热屏上,在热屏上的投影光束同样会在熔融硅液面上产生投影。随着熔融硅液面的变化,激光光束与熔融硅液面的接触点会随之发生变化,因此热屏上的反射光束与熔融硅液面上的投影之间的距离也会随之变化,最终使得相机接收到的光束的像素位置产生变化。通过标定图像上两投影点之间像素位置的变化与实际熔融硅液面位置的变化,就可以得到实际液面变化的信息。

[0059] 具体的,如图1所示的热屏成像示意图及图2所示的本发明测量原理图,一字线激光光束打入到熔融硅液面上后,由于液面的反射作用,在相机端接收到激光的反射光束;当液面位置发生变化时,在相机接收端接收到激光反射光束的位置也会随之发生变化,通过测量光束在相机中的位置的变化可以得到实际液面的变化。其中,根据入射角=反射角,可得 $\alpha_1=\alpha_2$, $\beta_1=\beta_2$,且 $\alpha_1=\alpha_2=\beta_1=\beta_2$ 。

[0060] 如图3所示为本发明测量的过程,拉晶炉炉体上留有直径为150mm的观察口,观察口表面温度很高。在观察口上方,固定好蓝紫光一字线激光器4和相机5,蓝紫光一字线激光器和相机呈一定角度。在相机前方固定滤光片。此外由于观察口温度很高,需要在观察口上加装一块圆形隔热玻璃,保证隔热玻璃、观察口、相机三者之间呈一定角度而不在一条直线上。隔热玻璃在降低观察口温度的同时还能对红外波动的光线起到抑制作用,减小杂散光进入相机内。将一字线蓝紫光激光器的光束打入到炉体内,调整相机和激光器的位置,避免硅棒3出现在视野内,保证相机能接收到炉体内的热屏2和熔融硅液面1上产生的矩形激光光斑,之后旋转激光器使得热屏和熔融硅液面上的矩形激光光斑在一条水平线上,最后固定好激光器和相机。

[0061] 如图4所示为实际采集到的图像,由图可以看出,热屏上的矩形激光光斑和熔融硅上的矩形激光光斑基本处于一条水平线上。

[0062] 如图5所示为经过Sobel算子处理后的图像,经过Sobel算子处理后可以清晰的提取激光光斑的边缘。对激光光斑进行处理,提取两个矩形光斑的中心,计算两个矩形光斑的

中心的距离,经过多次测量和标定可以计算出实际的液位的面积。

[0063] 经现场多次试验表明,该系统的测量精度可达0.1mm以上。通过和控制系统配合,可显著提高单晶炉的拉晶的硅棒质量,所拉的硅棒也更加均匀,节约了硅原料,提高了拉晶炉的产能,有很好的推广前景。

[0064] 参见图3,一种基于所述的单晶硅拉晶炉的熔融硅液面检测方法的测量装置,包括安装在拉晶炉观察口处的一字线激光器和相机,所述的一字线激光器为波长范围在405nm~450nm的蓝紫光一字线激光器;所述的蓝紫光一字线激光器和相机两者之间呈一定角度,相机前方固定有滤光片。同时,所述的拉晶炉观察口上还安装有一块降低观察口温度且对红外波动的光线起抑制作用的圆形隔热玻璃。

[0065] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

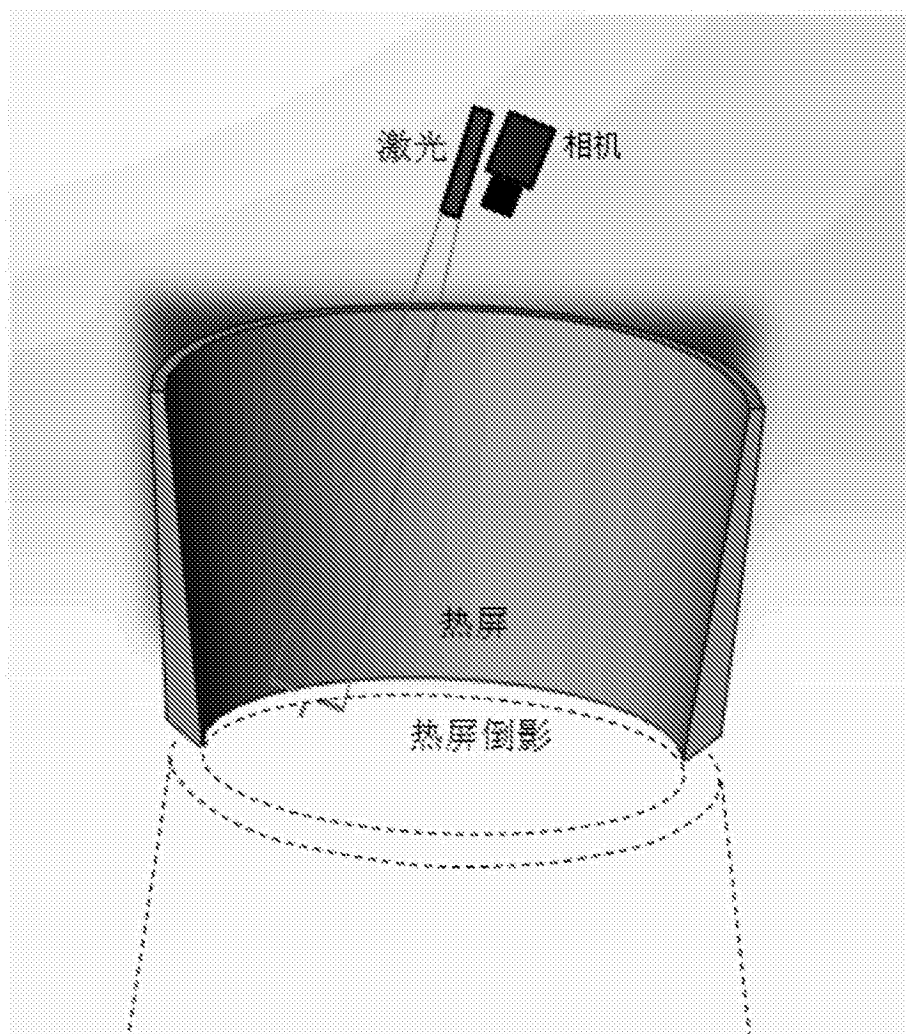


图1

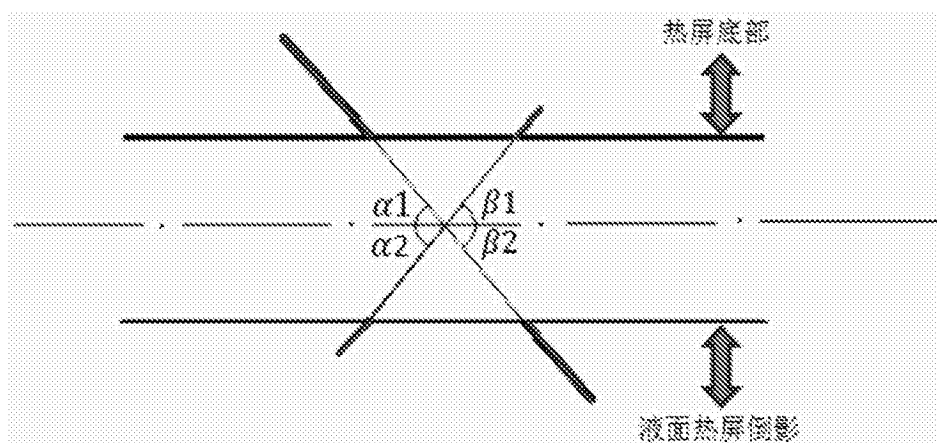


图2

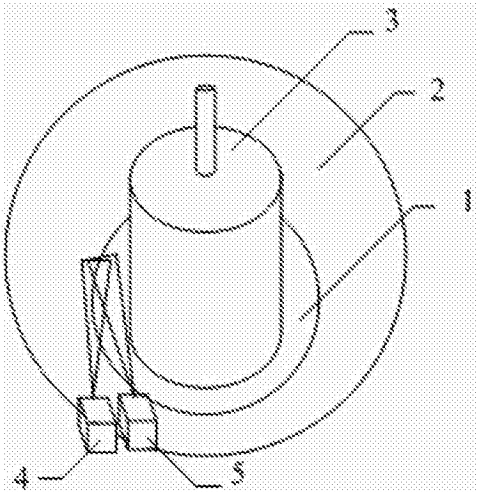


图3

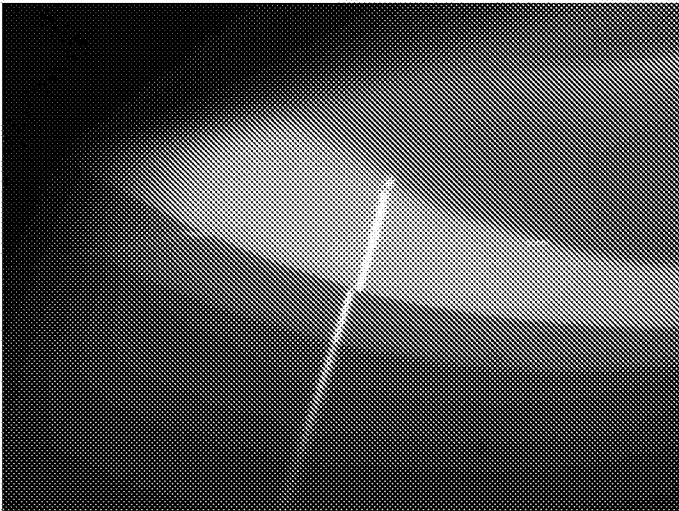


图4

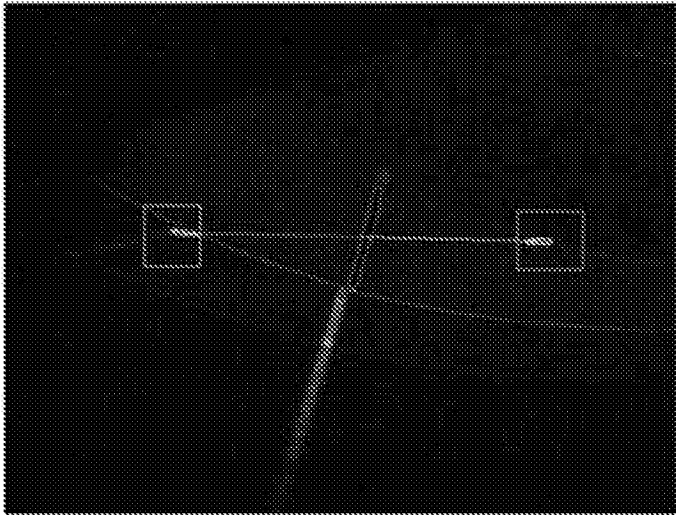


图5

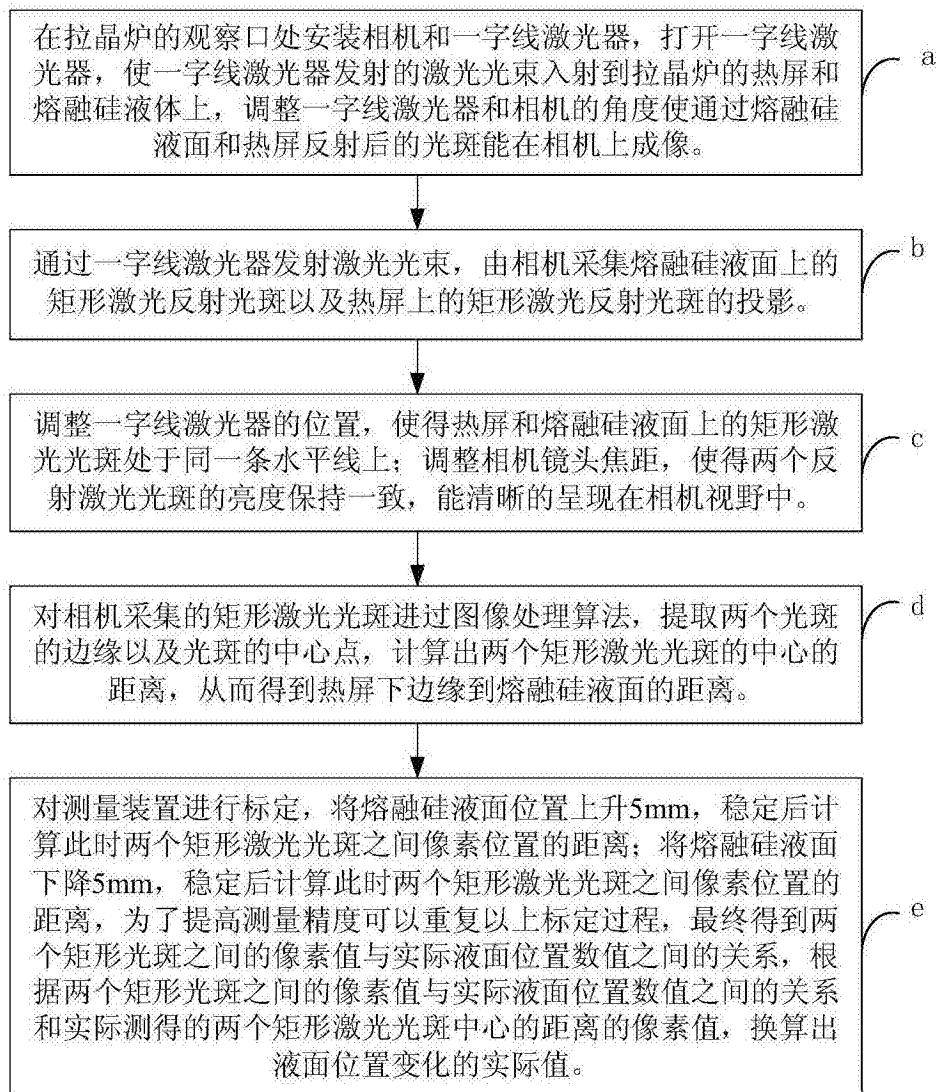


图6

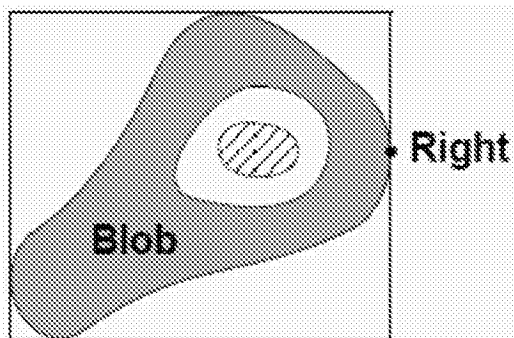


图7

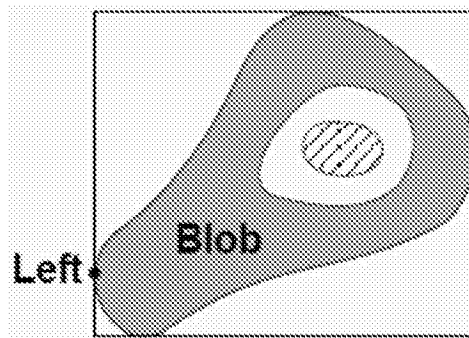


图8