



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111203651 B

(45) 授权公告日 2021.06.22

(21) 申请号 202010042410.8

B23K 26/064 (2014.01)

(22) 申请日 2020.01.15

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111203651 A

CN 109877445 A, 2019.06.14

CN 104914583 A, 2015.09.16

CN 204975690 U, 2016.01.20

(43) 申请公布日 2020.05.29

JP 2019515798 A, 2019.06.13

(73) 专利权人 北京理工大学

CN 101642988 A, 2010.02.10

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

CN 106569378 A, 2017.04.19

JP 2011147943 A, 2011.08.04

(72) 发明人 姜澜 么铸霖 李晓炜 王志鹏

CN 102138097 A, 2011.07.27

CN 104768698 A, 2015.07.08

(74) 专利代理机构 北京正阳理工知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11639

CN 101421071 A, 2009.04.29

CN 103984103 A, 2014.08.13

代理人 邬晓楠

审查员 杨家宝

(51) Int. Cl.

B23K 26/50 (2014.01)

B23K 26/06 (2014.01)

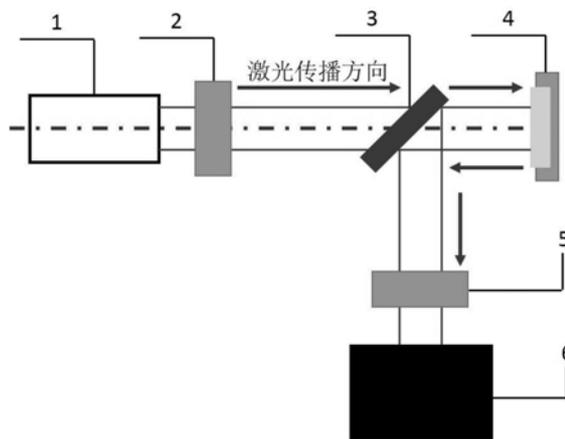
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法,属于激光应用技术领域。该方法首先通过理论计算高质量计算全息图,选择合适的全息图阶数,之后计算生成可形成不同长度的类贝塞尔光束的相位图并依次加载到空间光调制器上,通过编程控制平移台水平移动实现同一长度结构的逐点一次加工,之后更换相位图实现不同长度结构的加工,在无需上下移动平移台以及精确控制加工参数的情况下,实现高质量计算全息图的高效加工。这种方法加工效率高,无需精确控制材料的去除量,而且形成的全息图信息含量大,精度高,可以应用于多种领域。



1. 空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法,其特征在于:具体步骤如下:

步骤一、根据设计的光场,通过GS相位恢复算法得到连续的相位图,将得到的连续的相位图离散成N阶, $N>2$ ,每阶的相位变化分别为 $0, 2\pi/N, 2 \times 2\pi/N, 3 \times 2\pi/N, 4 \times 2\pi/N, \dots, (N-1) \times 2\pi/N$ ;无衍射区域长度 $l$ 与相位变化 $\varphi$ 的关系式为: $\varphi=2\pi / \lambda \times l \times \Delta n$ ,其中, $\lambda$ 代表入射光束波长, $\Delta n$ 为飞秒激光引起的材料内部折射率变化;通过计算产生N张设计长度的无衍射类贝塞尔光束相位图,所述相位图能够实现N种改性深度结构的加工;

步骤二、利用光开关装置对辐照到样品上的飞秒激光的脉冲个数进行控制,将脉冲个数控制在100~1000个之间,此时,材料内部硅氧六圆环结构会最大程度的转化成硅氧三元环或硅氧四元环结构,在不引起材料烧蚀的情况下,材料内部的折射率变化最大而且均匀;

步骤三、将步骤一生成的N张相位图加载到空间光调制器上,将垂直入射到空间光调制器上的飞秒激光高斯光束整形成不同长度的长焦深、小焦斑的类贝塞尔光束;

步骤四、将步骤三得到的类贝塞尔光束经过望远系统,望远系统用于初步调整光束长度以及提高光束能量密度;

步骤五、将加工样品置于六维移动平移台上,将步骤四得到的提高了能量密度的整形光束聚焦在被加工样品内部,控制平移台带动样品水平移动的同时更换相位图,实现多种不同深度改性结构的高效加工,最终在材料内部加工出完整的全息图。

2. 实现如权利要求1所述方法的装置,其特征在于:包括飞秒激光系统、光开关装置、分束镜、空间光调制器、望远系统和六维精密位移平台;

飞秒激光系统产生超短脉冲飞秒激光后,利用光开关装置调整辐照到样品上的激光脉冲个数;调节完的光束经过分束镜垂直入射到空间光调制器上,空间光调制器在加载不同的相位图之后将高斯光束整形成长度不同的长焦深小焦斑光束;之后经过分束镜反射后,通过望远系统提高能量密度以及初步调整加工光束长度;加工样品固定在六维精密位移平台上,移动六维精密位移平台使长焦深小焦斑光束区域位于加工样品内部。

## 空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法,属于激光应用技术领域。

### 背景技术

[0002] 近些年来,计算全息图的加工在光学防伪领域、光学存储领域、非球面测量等相关领域有着广泛的应用前景。一张计算全息图往往由成千上万个像素点组成,传统的计算全息图的加工方法是使用打印、绘图等输出工具将计算机绘制的全息图案进行光学缩版,之后再显影、定影得到全息图,但该过程制作复杂,而且加工的全息图分辨率有限。随着刻蚀设备的发展,高精度的计算全息图通常使用光刻技术或者电子束刻蚀的方法。这些加工方式只能在材料表面形成全息图,而且需要逐点进行材料去除加工,不同像素点之间材料的去除量的差异往往在纳米量级,这极大地提高了加工的难度,降低了加工的效率,而且由于加工的全息图在材料表面,因此全息图的耐磨性很差,严重影响其使用效果及寿命。而飞秒激光经过聚焦后可以在焦点位置附近形成极高的功率密度,使透明材料仅在焦点的位置发生能量的非线性吸收,在不损伤材料表面的前提下,实现透明材料内部结构的加工。因此使用飞秒激光在材料内部进行计算全息图的加工成为一种很有潜力的加工方式。

[0003] 飞秒激光在材料内部可加工的计算全息图主要包括两类,一类是振幅型计算全息图,一类是相位型计算全息图。振幅型计算全息图虽然加工相对简单,但往往衍射效率较低而且存在孪生像,全息图包含的有效信息量大大减少。而相位型计算全息图不仅可以弥补衍射效率低下的问题,而且可以通过多阶计算全息图的加工,使包含的有效信息量大大增加,应用范围更广。但传统的高斯光束在透明材料内部加工计算全息图的时候往往需要使用高倍物镜对材料进行烧蚀,通过设计烧蚀区域的位置及大小,进而实现材料内部振幅型全息图的加工。而使用聚焦高斯光束进行相位型全息加工的时候,需要动态移动焦点,加工一张一平方毫米大小的计算全息图往往需要几十个小时,加工效率极低,而且在不同深度的位置上加工的结构受像差影响很大,因此目前迫切需要一种能够在透明材料内部高效加工高质量计算全息图的加工方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是为了解决现有计算全息图在材料内部加工效率低、质量差的问题,提供一种空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法。该方法首先通过理论计算高质量计算全息图,选择合适的全息图阶数,之后计算生成可形成不同长度的类贝塞尔光束的相位图并依次加载到空间光调制器上,通过编程控制平移台水平移动实现同一长度结构的逐点一次加工,之后更换相位图实现不同长度结构的加工,在无需上下移动平移台以及精确控制加工参数的情况下,实现高质量计算全息图的高效加工。这种方法加工效率高,无需精确控制材料的去除量,而且形成的全息图信息含量大,精度高,可以应用于多种领域。

[0005] 本发明的目的是通过下述技术方案实现的：

[0006] 空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法，具体步骤如下：

[0007] 步骤一：根据设计的光场，通过GS相位恢复算法得到连续的相位图，将得到的连续的相位图离散成N阶 ( $N > 2$ )，每阶的相位变化分别为  $0, 2\pi/N, 2 \times 2\pi/N, 3 \times 2\pi/N, 4 \times 2\pi/N, \dots, (N-1) \times 2\pi/N$ 。根据无衍射区域长度  $l$  与相位变化  $\varphi$  的关系： $\varphi = 2\pi / \lambda \times l \times \Delta n$ ，其中， $\lambda$  代表入射光束波长， $\Delta n$  为飞秒激光引起的材料内部折射率变化，通过计算产生N张设计长度的无衍射类贝塞尔光束相位图，所述相位图能够实现N种改性深度结构的加工；

[0008] 步骤二：利用光开关装置对辐照到样品上的飞秒激光的脉冲个数进行控制，将脉冲个数控制在100~1000个之间，此时，材料内部硅氧六元环结构会最大程度的转化成硅氧三元环或硅氧四元环结构，在不引起材料烧蚀的情况下，材料内部的折射率变化最大而且均匀；

[0009] 步骤三：将步骤一生成的N张相位图加载到空间光调制器上，将垂直入射到空间光调制器上的飞秒激光高斯光束整形形成不同长度的长焦深、小焦斑的类贝塞尔光束；

[0010] 步骤四：将步骤三得到的类贝塞尔光束经过望远系统，望远系统用于初步调整光束长度以及提高光束能量密度；

[0011] 步骤五：将加工样品置于六维移动平移台上，将步骤四得到的提高了能量密度的整形光束聚焦在被加工样品内部，控制平移台带动样品水平移动的同时更换相位图，实现多种不同深度改性结构的高效加工，最终在材料内部加工出完整的全息图。

[0012] 实现上述方法的装置，包括飞秒激光系统、光开关装置、分束镜、空间光调制器、望远系统和六维精密位移平台；

[0013] 连接关系：飞秒激光系统、光开关装置以及空间光调制器依次平行、同轴放置；激光经过分束镜后垂直照射到空间光调制器上，空间光调制器整形后的光束经过分束镜反射后垂直入射到望远系统；经过望远系统后的光束聚焦到加工样品的内部；加工样品待加工区域位于六维精密位移平台的中心；

[0014] 光路：飞秒激光系统产生超短脉冲飞秒激光后，利用光开关装置调整辐照到样品上的激光脉冲个数；调节完的光束经过分束镜垂直入射到空间光调制器上，空间光调制器在加载不同的相位图之后将高斯光束整形成长度不同的长焦深小焦斑光束；之后经过分束镜反射后，通过望远系统提高能量密度以及初步调整加工光束长度；加工样品固定在六维精密位移平台上，移动六维精密位移平台使长焦深小焦斑光束区域位于加工样品内部。

[0015] 有益效果

[0016] 1、本发明可以将设计的全息图离散成N阶 ( $N > 2$ )，通过调节类贝塞尔光束的长度实现高阶计算全息图的加工，极大抑制了全息成像中的孪生像，提高了全息图所包含的信息量，提高了计算全息图的实用性；

[0017] 2、本发明通过控制辐照到样品内部的类贝塞尔光束的脉冲个数，实现材料内部均匀的折射率变化，而且全息图单个像素点尺寸极小，提高了计算全息图的成像质量；

[0018] 3、本发明使用空间整形技术实现了高精度的计算全息图单点的高效加工，降低了加工难度，提高了计算全息图加工效率；

[0019] 4、本发明使用飞秒激光在透明材料内部实现了高质量计算全息图的加工，由于材料表面没有得到破坏，使全息图的耐磨性大大增加，提高了计算全息图的使用寿命。

## 附图说明

[0020] 图1为本发明空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法的光路搭建示意简图。

[0021] 图2为本发明空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法的加工过程示意简图。

[0022] 图3为本发明空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法的成像结果展示。

[0023] 其中,1-飞秒激光系统、2-光开关装置、3-分束镜、4-空间光调制器、5-望远系统、6-样品。

## 具体实施方式

[0024] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0025] 实施例1

[0026] 空间整形飞秒激光在透明材料内部加工计算全息图的方法,包括如下步骤:

[0027] (1) 采用基于菲涅尔衍射的傅里叶迭代算法,计算目标整形光场字母“A”对应的相位全息图。

[0028] (2) 将(1)中得到的相位全息离散化成由 $100 \times 100$ 个元素构成的矩阵,离散后相位值分别为 $\varphi_0$ 、 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$ ,当初始相位值 $\varphi < \pi/2$ 时,取相位 $\varphi_0 = \pi/2$ ;当初始相位值 $\pi/2 < \varphi \leq \pi$ 时,取相位 $\varphi_1 = \pi$ ;当初始初始相位值 $\pi < \varphi \leq 3\pi/2$ 时,取相位 $\varphi_2 = 3\pi/2$ ;当相位值 $3\pi/2 < \varphi \leq 2\pi$ 时,取相位 $\varphi_3 = 2\pi$ 。

[0029] (3) 已知在康宁玻璃内部进行飞秒激光改性加工引起的折射率变化 $\Delta n$ 在 $10^{-2} \sim 10^{-5}$ 量级,本实例中的折射率变化取为 $2 \times 10^{-5}$ ,根据公式相位变化与材料内部改性长度的关系: $\varphi = 2\pi / \lambda \times l \times \Delta n$ ,其中, $\lambda$ 代表入射光束波长,将相位值 $\varphi_0$ 、 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$ 分别代入上述公式中,可以得到需要加工的改性长度分别为 $l_0$ 、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 。

[0030] (4) 使用计算机设计并生成4张类贝塞尔光束的相位图,使其可以产生长度分别为 $l_0$ 、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 的光场分布。

[0031] (5) 使用如附图1所示的加工装置进行4阶计算全息图的加工,主要由飞秒激光系统1、光开关装置2、分束镜3、空间光调制器4、望远系统5以及样品6组成。

[0032] (6) 具体的实验过程如下:飞秒激光系统1产生高斯光束,经过光开关调节装置2控制辐照的激光脉冲个数为100个。经过能量调节之后的高斯光束经过分束镜3入射到空间光调制器4上。在空间光调制器4上依次加载步骤(4)中生成的相位图,高斯光束被整形为四种长度,焦斑直径仅为1.5微米左右的类贝塞尔光束,经过由150毫米焦距的平凸透镜和20倍物镜组成的望远系统5缩束后,长度得到初步调节的同时能量密度得到进一步提高,之后垂直入射到透明样品6内部。

[0033] (7) 如附图2所示,将长焦深小焦斑光束的无衍射区域的开始位置移动到待加工的康宁玻璃样品下100微米处,通过程序控制平移台水平移动的同时在不同延迟的加工点间更换相位图,单个像素点加工时间仅为0.1秒,整张 $100 \times 100$ 个点的计算全息图加工需要的时间小于0.5小时,是传统的单个像素点需要动态移动加工的方式下形成同样大小的全息

图所需时间的1/5以下。

[0034] (8) 将步骤(7)中加工的计算全息图使用连续的He-Ne激光器进行辐照,辐照结果如附图3所示,远场衍射结果呈现字母“A”的图案,而且光场的孪生像得到很大的抑制,

[0035] 计算全息图的质量得到很大的提高。

[0036] 实现上述方法的装置,包括飞秒激光系统1、光开关装置2、分束镜3、空间光调制器4、望远系统5和六维精密位移平台6;

[0037] 飞秒激光系统1产生超短脉冲飞秒激光后,利用光开关装置2调整辐照到样品上的激光脉冲个数;调节完的光束经过分束镜3垂直入射到空间光调制器4上,空间光调制器4在加载不同的相位图之后将高斯光束整形成长度不同的长焦深小焦斑光束;之后经过分束镜反射后,通过望远系统5提高能量密度以及初步调整加工光束长度;加工样品6固定在六维精密位移平台上,移动六维精密位移平台使长焦深小焦斑光束区域位于加工样品内部。

[0038] 以上所述的具体描述,对发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

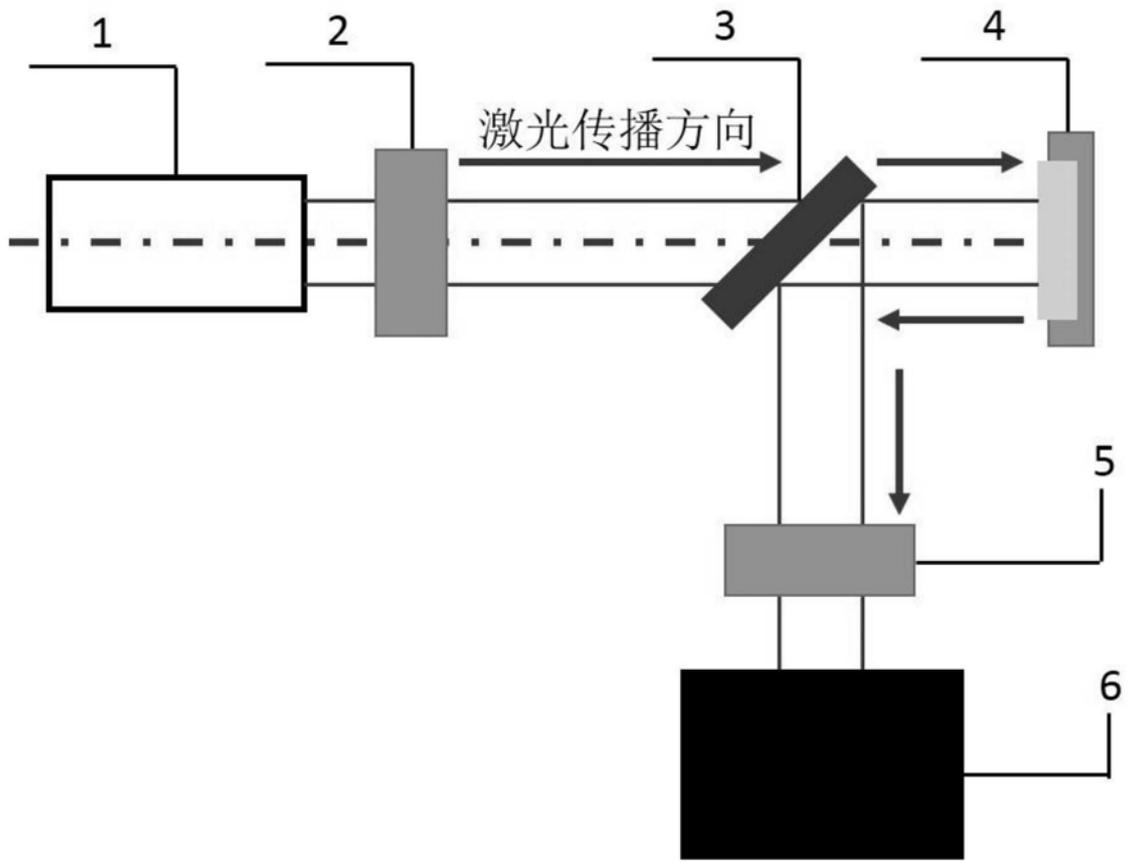


图1

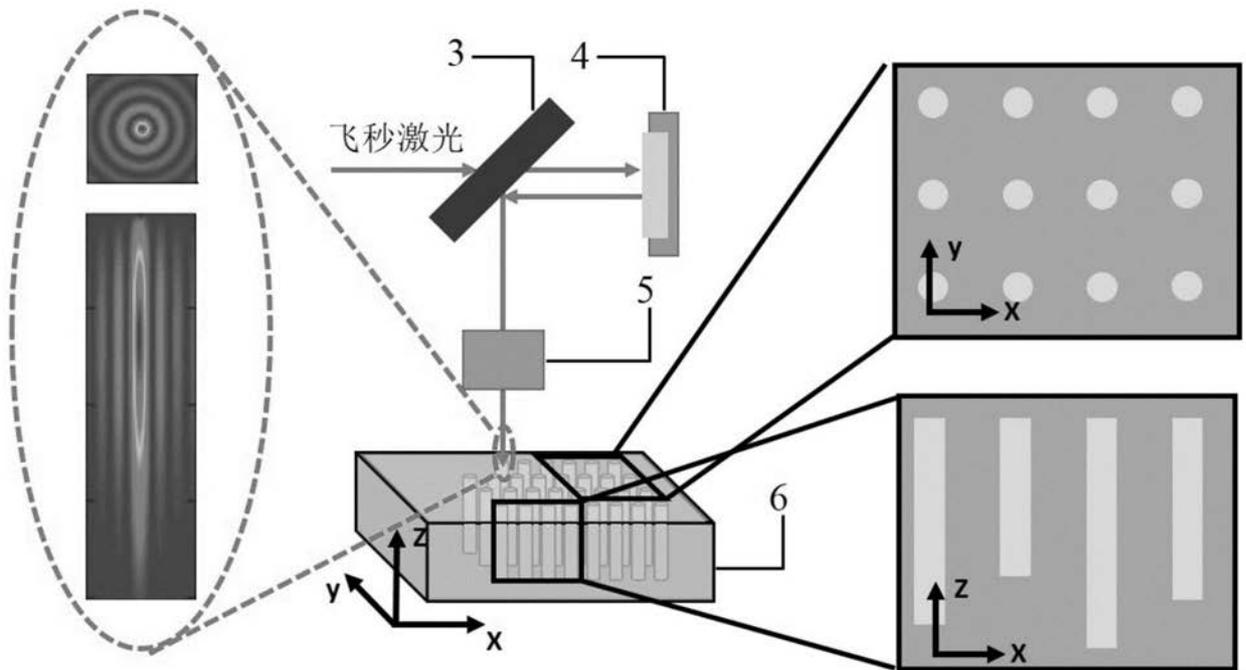


图2

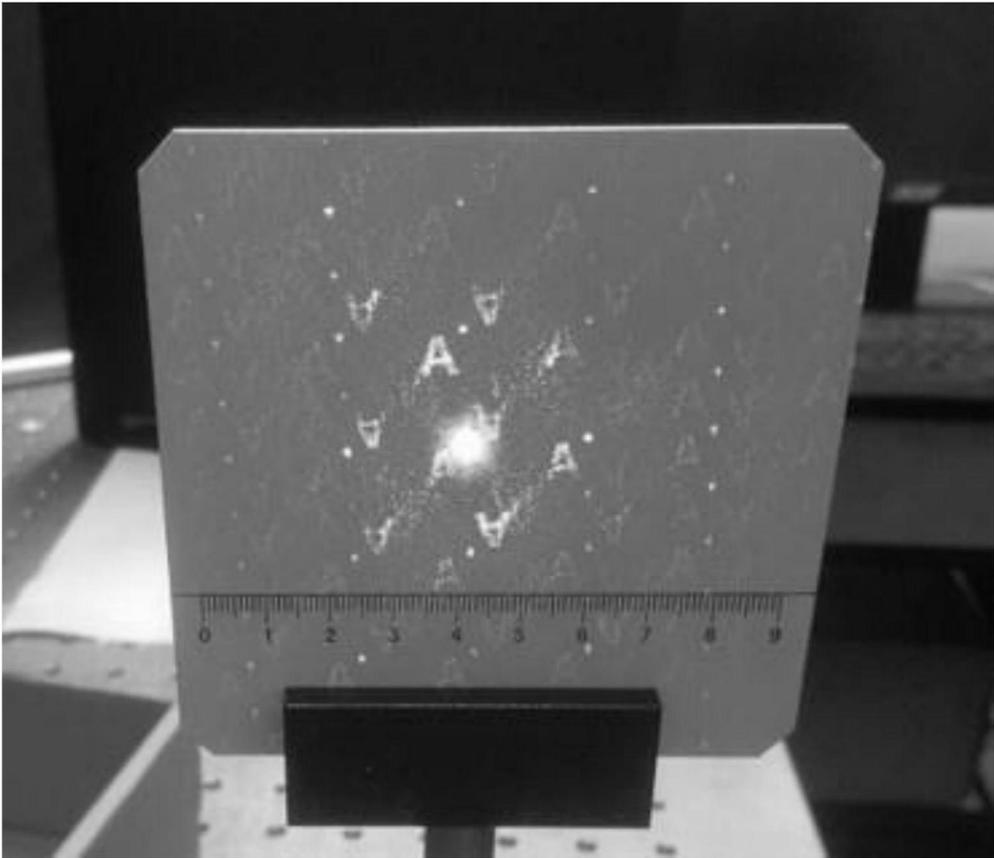


图3