SooPAT

一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法

申请号：201110449616.3
申请日：2011-12-29

申请(专利权)人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
地址 130033 吉林省长春市东南湖大路3888号
发明(设计)人 张海涛 于杰 马冬梅 金春水

主分类号 G01B9/02(2006.01)I
分类号 G01B9/02(2006.01)I
公开(公告)号 102564301A
公开(公告)日 2012-07-11
专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210
代理人 南小平

www.soopat.com

注：本页蓝色字体部分可点击查询相关专利

(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102564301 B
(45)授权公告日 2014.07.09

(21)申请号 201110449616.3

(22)申请日 2011.12.29

(73)专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
地址 130033 吉林省长春市东南湖大路3888号

(72)发明人 张海涛 于杰 马冬梅 金春水

(74)专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210
代理人 南小平

(51)Int.Cl.
G01B 9/02(2006.01)

(56)对比文件
US 6118535 A,2000.09.12, 全文.
CN 2599524 Y,2004.01.14, 全文.
US 6111646 A,2000.08.29, 全文.
刘克等.相移点衍射干涉仪的高精度对准.《中国激光》.2010, 第37卷(第7期), 第1845-1849页.
Kenneth A.Goldberg等.Fourier transform interferometer alignment method.《APPLIED OPTICS》.2002, 第41卷(第22期), 第4477-4483页.
Rene Schodel等.Highest-accuracy interferometer alignment by retroreflection scanning.《APPLIED OPTICS》.2004, 第43卷(第31期), 第5738-5743页.

审查员 孙晶晶

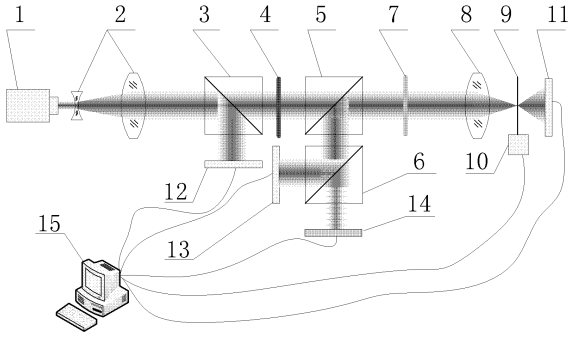
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法

(57)摘要

一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法,属于光学精密装调技术领域,目的是为实现点衍射干涉仪中聚焦光斑与衍射针孔的精确对准和对准状态实时监控而提供的一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法,该装置包括激光器、激光扩束镜、第一分光棱镜、二分之一波片、第二分光棱镜、第三分光棱镜、四分之一波片、聚焦镜、针孔板、三维扫描微调整机构、第一激光功率计、第二激光功率计、第三激光功率计、位置探测器和计算机;本发明装置和方法提高了对准速度,监控针孔对准状态时便于快速再次对准;本发明采用一个单独的激光功率计探测激光器功率的变化,采用激光功率的比值而不是绝对值反映对准状态,克服了激光功率变化对针孔对准状态的误判断。



CN 102564301 B

1. 一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置，其特征在于，该装置包括激光器（1）、激光扩束镜（2）、第一分光棱镜（3）、二分之一波片（4）、第二分光棱镜（5）、第三分光棱镜（6）、四分之一波片（7）、聚焦镜（8）、针孔板（9）、三维扫描微调整机构（10）、第一激光功率计（11）、第二激光功率计（12）、第三激光功率计（13）、位置探测器（14）和计算机（15）；所述激光器（1）发出的线偏振光入射到激光扩束镜（2），光经激光扩束镜（2）扩束准直后入射到第一分光棱镜（3），经过第一分光棱镜（3）的光一部分透射、另一部分反射到第二激光功率计（12）靶面上，经过第一分光棱镜（3）透射出的光入射到二分之一波片（4）上，经过二分之一波片（4）的光入射到第二分光棱镜（5）上，经过第二分光棱镜（5）的光全部透过入射到四分之一波片（7）上，经过四分之一波片（7）的光入射到聚焦镜（8），经过聚焦镜（8）的光汇聚到针孔板（9）上，针孔板（9）安装在三维扫描调整机构（10）上，经过针孔板（9）的光一部分发生衍射后被第一激光功率计（11）接收、经过针孔板（9）的光另一部分反射到聚焦镜（8），经过聚焦镜（8）的光入射到四分之一波片（7），经过四分之一波片（7）的光入射到第二分光棱镜（5）上，经过第二分光棱镜（5）的光入射到第三分光棱镜（6），经过第三分光棱镜（6）的光一部分光透射到位置探测器（14）、另一部分反射到第三激光功率计（13）上；三维扫描微调整机构（10）、第一激光功率计（11）、第二激光功率计（12）、第三激光功率计（13）和位置探测器（14）分别与计算机（15）连接；

所述第二分光棱镜（5）是偏振分光棱镜，该第二分光棱镜（5）与二分之一波片（4）配合将经过二分之一波片（4）的光全部透过第二分光棱镜（5）。

2. 一种采用权利要求 1 所述的用于点衍射干涉仪针孔对准的装置进行点衍射干涉仪针孔对准的方法，该方法由计算机（15）控制完成，其特征在于，该方法包括以下步骤：

第一步，设定三维扫描微调整机构（10）的扫描范围和分辨率；

第二步，控制三维扫描微调整机构（10）进行三维方向上的扫描一步；

第三步，同时记录第一激光功率计（11）和第二激光功率计（12）上的功率计读数，并计算第一激光功率计（11）与第二激光功率计（12）读数的比值；

第四步，判断三维扫描微调整机构（10）的扫描是否完成，如果否，重复第二步到第四步，如果是，继续进行第五步；

第五步，将三维扫描微调整机构（10）运动到第一激光功率计（11）与第二激光功率计（12）比值最大的地方；

第六步，判断扫描的分辨率是否满足对准要求，如果否，重复第一步到第六步，在重复第一步设定三维扫描微调整机构（10）的扫描范围和分辨率时，缩小扫描范围并提高扫描分辨率，如果是，继续进行第七步；

第七步，完成扫描，记录第一激光功率计（11）与第二激光功率计（12）比值，记录第三激光功率计（13）与第二激光功率计（12）比值，记录位置探测器（14）探测到的光斑质心位置；此时第三激光功率计（13）上的功率值与第二激光功率计（12）上的功率值之比最小，实现针孔对准；针孔对准后去掉第一激光功率计（11）；

第八步，读取第三激光功率计（13）与第二激光功率计（12）的功率计读数，并计算其比值；

第九步，判断该比值是否与所述第七步完成对准时的比值相同，如果是，重复第八步与第九步，如果否，继续进行第十步；

第十步，读取位置探测器（14）探测到的光斑质心位置；

第十一步，判断第十步获得的光斑质心位置是否与所述第七步中获得的光斑质心位置值相同，如果否，继续进行第十二步，如果是，继续进行第十三步；

第十二步，径向调整小孔位置，调整完毕后返回第十步；

第十三步，轴向调整小孔位置，调整完毕后返回第八步，实现实时监控针孔对准状态。

一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学精密装调技术领域，涉及一种用于点衍射干涉仪中针孔的精密对准装置和方法。

背景技术

[0002] 投影光刻物镜为了实现要求的分辨率及临界尺寸，需要光学系统波像差达到衍射极限．极紫外光刻的工作在波长为 13 ～ 14nm 的极紫外波段，这就要求光学系统的波像差要小于 1nmRMS，而对单个反射镜镜面的面形偏差更是要到 0.25nmRMS. 要实现如此高精度的光学加工，首先要实现高精度的光学检测技术。常规干涉检测技术诸如菲索干涉仪、泰曼干涉仪受制于参考面精度的限制，难以达到如此高精度的光学系统波像差和光学元件面形检测。

[0003] 点衍射干涉仪利用针孔衍射产生近似理想的球面波作为参考波，技术上消除了常规干涉仪中参考面带来的误差，提高了检测精度，可以用于极紫外投影光刻物镜中光学元件面形和光学系统波像差的检测。一种检测光学系统波像差的移相点衍射干涉仪是由物面针孔板、透射光栅、像面针孔板以及光电探测器组成，由物面针孔板上的针孔衍射产生理想的球面波经被测光学元件或系统会聚后，经过透射光栅发生衍射，并在像面针孔板上形成若干衍射级，使 +1 级（或 0 级）衍射光通过像面针孔板上的一个针孔衍射产生理想球面波作为参考光，0 级（或 +1 级）衍射光经过像面针孔板上一个窗作为测试光，其他衍射级次被像面针孔板的不透明部分遮挡。测试光和参考光在光电探测器上形成干涉条纹。一种检测元件面形的点衍射干涉仪由会聚照明系统、针孔板以及光点探测器组成，一般是将针孔置于被检球面的球心处。由针孔衍射而出的近理想球面波分成两部分，一部分作为测试光经被检球面反射后，附带了被检球面的面形信息，在针孔板反射后通过中继光学系统打到光电探测器上；另一部分作为参考光经中继光学系统后直接打到光电探测器上。两路光干涉得到干涉图，加以适当的移相技术，对采集到的干涉图做处理后就能够得到被检球面的面形信息。

[0004] 无论是利用点衍射干涉仪检测投影物镜的波像差还是检测光学元件面形，都涉及到汇聚光波与针孔的精密对准。针孔的精密对准作为点衍射干涉仪的核心技术之一，针孔的轴向、径向位置的失调将降低衍射光强度，增大针孔衍射产生的球面波波面误差，进而影响到到干涉仪的检测精度。

[0005] 文章《Fourier transform interferometer alignment method》描述了一种基于实时傅里叶变换的干涉仪计算机辅助对准方法，用于点衍射干涉仪检测系统时的针孔对准。该方法对光电探测器采集到的光场分布做傅里叶变换，利用该信息指导对准过程，最终实现零级衍射光通过参考针孔能量最大的目标，完成针孔对准。

[0006] 文章《相移点衍射干涉仪的高精度对准》中描述了一种基于条纹对比度的点衍射干涉仪对准技术。该方法采用干涉条纹的频域对比度做为评价函数，以得到对比度最大值做为调整目标，实现针孔的对准。

[0007] 由于点衍射干涉仪在检测系统波像差和检测元件面形偏差时的结构不同导致上述文献中描述的点衍射干涉仪针孔的对准技术都只适用于检测系统波像差时的点衍射干涉仪的对准，而不适用于检测元件面形时的点衍射干涉仪中针孔对准。点衍射干涉仪还应该能够实时的监控针孔对准状态，以保证长期测量结果的重复性。

发明内容

[0008] 本发明的目的是为点衍射干涉仪中聚焦光斑与衍射针孔的精确对准和对准状态实时监控提出一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置和方法。

[0009] 为实现上述目的本发明的技术方案是，提供一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置，该装置包括激光器、激光扩束镜、第一分光棱镜、二分之一波片、第二分光棱镜、第三分光棱镜、四分之一波片、聚焦镜、针孔板、三维扫描微调整机构、第一激光功率计、第二激光功率计、第三激光功率计、位置探测器和计算机；所述激光器发出的光入射到激光扩束镜，光经激光扩束镜扩束准直后入射到第一分光棱镜，经过第一分光棱镜的光一部分透射、另一部分反射到第二激光功率计靶面上，经过第一分光棱镜透射出的光入射到二分之一波片上，经过二分之一波片的光入射到第二分光棱镜上，经过第二分光棱镜的光全部透过入射到四分之一波片上，经过四分之一波片的光入射到聚焦镜，经过聚焦镜的光汇聚到针孔板上，针孔板安装在三维扫描微调整机构上，经过针孔板的光一部分发生衍射后被第一激光功率计接收、经过针孔板的另一部分光反射到聚光镜，经过聚光镜的光入射到四分之一波片，经过四分之一波片的光入射到第二分光棱镜上，经过第二分光棱镜的光入射到第三分光棱镜，经过第三分光棱镜的光一部分透射到位置探测器、另一部分光反射到第三激光功率计上。

[0010] 本发明提供的一种用于点衍射干涉仪针孔对准的方法，该方法由计算机控制完成包括以下步骤：

[0011] 第一步，设定三维扫描微调整机构的扫描范围和分辨率；第二步，控制三维扫描微调整机构进行三维方向上的扫描一步；第三步，同时记录第一激光功率计和第二激光功率计上的功率值计读数，并计算第一激光功率计与第二激光功率计读数的比值；第四步，判断三维扫描微调整机构的扫描是否完成，如果没有完成，重复第二步到第四步，如果完成，继续进行第五步；第五步，将三维扫描微调整机构运动到第一激光功率计与第二激光功率计比值最大的地方；第六步，判断扫描的分辨率是否足够小以满足对准要求，如果不满足对准要求重复第一步到第六步，在重复第一步设定三维扫描微调整机构的扫描范围和分辨率时，缩小扫描范围并提高扫描分辨率，如果满足对准要求继续进行第七步；第七步，完成扫描，记录第一激光功率计与第二激光功率计比值，记录第三功率计与第二激光功率计比值，记录位置探测器探测到的光斑质心位置，实现针孔对准；第八步，读取第三激光功率计与第二激光功率计的功率计读数，并计算其比值；第九步，判断该比值是否与完成对准时的比值相同，如果是，重复第八步与第九步，如果否，继续接进行第十步；第十步，读取位置探测器探测到的光斑质心位置；第十一步，判断第十步位置上探测器探测到的光斑质心位置是否与所述第七步完成扫描时的位置值相同，如果否，进行第十二步，如果是，进行第十三步；第十二步，径向调整小孔位置，调整完毕后返回第十步；第十三步，轴向调整小孔位置，调整完毕后返回第八步，实现实时监控针孔对准状态。

[0012] 本发明有益效果是，本发明在针孔对准时采用针孔衍射出的能量占激光总能量的比率做为针孔对准的判据，控制三维扫描微调整机构找到最佳对准位置，三维扫描微调整机构扫描时逐次递减扫描范围和扫描分辨率，提高了对准速度；本发明在监控针孔对准状态时，采用功率探测与光斑质心位置探测相结合的方式，当针孔失调时，能够判断针孔是径向失调还是轴向失调，便于快速的再次对准针孔；本发明采用一个单独的激光功率计探测激光器功率的变化，采用激光功率的比值而不是绝对值来反映针孔的对准状态，克服了激光功率变化对针孔对准状态的误判断。

附图说明

[0013] 图 1 是本发明装置的结构示意图；

[0014] 图 2 是本发明针孔对准流程图；

[0015] 图 3 是本发明实时监控针孔对准状态流程图。

[0016] 其中：1、激光器，2、激光扩束镜，3、第一分光棱镜，4、二分之一波片，5、第二分光棱镜，6、第三分光棱镜，7、四分之一波片，8、聚焦镜，9、针孔板，10、三维扫描微调整机构，11、第一激光功率计，12、第二激光功率计，13、第三激光功率计，14、位置探测器，15、计算机。

具体实施例

[0017] 下面结合附图进一步说明本发明的装置和应用方法。

[0018] 如图 1 所示，是本发明提供一种用于点衍射干涉仪针孔对准的装置，通过该装置可以实现点衍射干涉仪中聚焦光斑与衍射针孔的精确对准和实时监控。该装置包括激光器 1、激光扩束镜 2、第一分光棱镜 3、二分之一波片 4、第二分光棱镜 5、第三分光棱镜 6、四分之一波片 7、聚焦镜 8、针孔板 9、三维扫描微调整机构 10、第一激光功率计 11、第二激光功率计 12、第三激光功率计 13、位置探测器 14 和计算机 15。其中激光器 1 发出的激光为线偏振光；激光扩束镜 2 对激光进行扩束准直；第一分光棱镜 3 的分光比保证大部分能量透射而少部分能量反射到第二激光功率计 12 的靶面上；二分之一波片 4 的作用是改变激光的偏振方向；第二分光棱镜 5 是偏振分光棱镜，它与二分之一波片 4 配合使用可以使通过二分之一波片 4 的偏振激光全部通过该第二分光棱镜 5；四分之一波片 7 的作用是将激光由线偏振光转变成圆偏振光，将反射回的圆偏振光再转变成线偏振光，但振动方向与原来的线偏振光的振动方向比较旋转了 90 度；聚焦镜 8 的作用是将激光汇聚到针孔板 9 上；三维扫描微调整机构 10 能够带动安装在其上的针孔板 9 三维扫描移动；第三分光棱镜 6 使得能量一部分透射到位置探测器 14，一部分反射到第三激光功率计 13；第一激光功率计 11，第二激光功率计 12，第三激光功率计 13 能够探测照射到其上的激光的功率；位置探测器 14 能够探测照射到其上的光斑的质心；计算机 15 记录激光功率计探测到的激光功率和位置探测器探测到的光斑质心，对获取的数据进行处理，控制三维扫描微调整机构 10 运动。

[0019] 照射到第一激光功率计 11 上的激光是由激光器 1 发出，依次经过激光扩束镜 2、第一分光棱镜透射 3、二分之一波片 4、第二分光棱镜透射 5、四分之一波片 7、聚焦镜 8、针孔板衍射 9（透射），其上功率值的变化与激光器 1 功率波动和针孔板 9 衍射效率相关，是激光器 1 功率波动与针孔板 9 对准状态的综合结果。照射到第二激光功率计 12 上的激光是由激光器 1 发出，依次经过激光扩束镜 2 透射，第一分光棱镜 3 反射，其上功率值的变化

只与激光器 1 功率波动有关。照射到第三激光功率计 13 上的激光是由激光器 1 发出，依次经过激光扩束镜 2、第一分光棱镜 3 透射、二分之一波片 4、第二分光棱镜 5 透射、四分之一波片 7、聚焦镜 8、针孔板 9 反射、聚焦镜 8、四分之一波片 7、第二分光棱镜 5 反射、第三分光棱镜 6 反射，其上功率值的变化与激光器 1 功率波动和针孔板 9 衍射效率相关。照射到位置探测器 14 上的激光是由激光器 1 发出，依次经过激光扩束镜 2，第一分光棱镜 3 透射、二分之一波片 4、第二分光棱镜 5 透射、四分之一波片 7、聚焦镜 8、针孔板 9 反射、聚焦镜 8、四分之一波片 7、第二分光棱镜 5 反射、第三分光棱镜 6 透射，其上光斑质心的位置与针孔板 9 上针孔的径向位置失调有关。

[0020] 下面结合附图来说明本发明要完成针孔 50nm 精度对准的一个实施例，在该实施例中三维调整机构 10 的最大行程为三个轴均为 10μm，最小分辨率三个轴均可达 10nm。

[0021] 如图 2 所示，是针孔对准流程图。针孔对准流程为：第一步，设定三维扫描微调整机构 10 的扫描范围和分辨率，在第一次设定时，可设定三个轴的扫描范围均为 10μm，扫描分辨率均为 0.5μm，扫描完整个行程共需要扫描 8000 下；第二步，控制三维扫描微调整机构 10 进行三维方向上的扫描一步；第三步，同时记录第一激光功率计 11 和第二激光功率计 12 上的功率值计读数，并计算第一激光功率计 11 与第二激光功率计 12 读数的比值；第四步，判断三维扫描微调整机构 10 的扫描是否完成，如果没有完成，重复第二步到第四步，如果完成，继续接下来的第五步，在第一次设定时，第二步到第四步要重复执行 8000 次；第五步，将三维扫描微调整机构 10 运动到第一激光功率计 11 与第二激光功率计 12 比值最大的地方；第六步，判断扫描的分辨率是否满足对准要求，如果不满足对准要求重复第一步到第六步，再重复第一步设定三维扫描微调整机构 10 的扫描范围和分辨率时，缩小扫描范围并提高扫描分辨率，如果满足对准要求继续接下来的第七步，在第一次设定时，设定的分辨率为 0.5μm，显然不满足 50nm 对准精度的要求，于是重复第一步到第六步，此时在第一步设定扫描范围时可将扫描范围设定为 1μm（该值要不小于上次设定的分辨率的 2 倍），扫描分辨率设定为 50nm，执行判断分辨率是否足够小以满足对准要求时，分辨率 50nm 已经满足对准精度 50nm 的要求，可以执行第七步；第七步，完成扫描，记录第一激光功率计 11 与第二激光功率计 12 比值，记录第三功率 13 计与第二激光功率计 12 比值，记录位置探测器 14 探测到的光斑质心位置。此时第三激光功率计 13 上的功率值与第二激光功率计 12 上的功率值之比最小。

[0022] 针孔对准流程在计算机 15 的控制下完成的。计算机 15 控制三维扫描微调整机构 10 进行三维方向上的扫描，同时记录第一激光功率计 11 和第二激光功率计 12 上的功率值，这样就能得到第一激光功率计 11 和第二激光功率计 12 上的功率值与三维扫描微调整机构 10 的位置的关系。第一激光功率计 11 与第二激光功率计 12 的比值反映了针孔的衍射效率，该比值越大，说明针孔的衍射效率越高，针孔对准也就越精确。扫描过程可以逐次减小扫描分辨率和扫描范围，节省扫描时间。最终得到第一激光功率计 11 和第二激光功率计 12 上功率值的比值最大时的三维微扫描调整机构 10 的位置，此时针孔对准状态最精确。记录第二激光功率计 12 上的功率值、第三激光功率计 13 上的功率值和位置探测器 14 上激光光斑的质心位置，此时第三激光功率计 13 上的功率值与第二激光功率计 12 上的功率值之比最小。

[0023] 在点衍射干涉仪工作时，由于第一激光功率计 11 的位置阻挡了光路，需要撤去，

此时就依靠第二激光功率计 12 和第三激光功率计 13 以及位置探测器件 14 实时监控针孔对准状态。

[0024] 如图 3 所示，是实时监控针孔对准状态流程图。实时监控针孔对准状态流程：第八步，读取第三激光功率计 13 与第二激光功率计 12 的功率计读数，并计算其比值；第九步，判断该比值是否与第七步完成对准时的比值相同，如果比值相同，重复第八步与第九步，如果比值不相同，继续接下来的第十步；第十步，读取位置探测器探测 14 到的光斑质心位置；第十一步，判断第十步获得的光斑质心位置与是否与所述第七步完成对准时的光斑质心位置值相同，如果不同，接下来执行第十二步，如果相同，接下来执行第十三步；第十二步，径向调整小孔位置，调整完毕后返回第十步；第十三步，轴向调整小孔位置，调整完毕后返回第八步。整个实时监控针孔对准过程在一个循环体内不断的运行，以达到实时监控针孔对准状态的目的。

[0025] 在监控针孔对准状态时，在计算机 15 的控制下完成的。实时记录第二激光功率计 12 和第三激光功率计 13 探测到的激光功率。针孔的失调会导致第三激光功率计 13 上探测到的激光功率与第二激光功率计 12 上探测到的激光功率之比增大，针孔的径向失调会导致位置探测器 14 探测到的光斑质心位置变化，通过综合考虑第三激光功率计 13 与第二激光功率计 12 探测到得功率之比的变化与位置探测器 14 探测到的针孔光斑质心的变化来判断针孔的失调情况，并控制三维微扫描调整机构 10 进行调整。

[0026] 以上结合附图对本发明的具体实施方法做了说明，但这些说明不能被理解为限制了本发明的范围，本发明的保护范围由权力要求书所限定，任何在本发明权利要求基础上的改动都是本发明的保护范围。

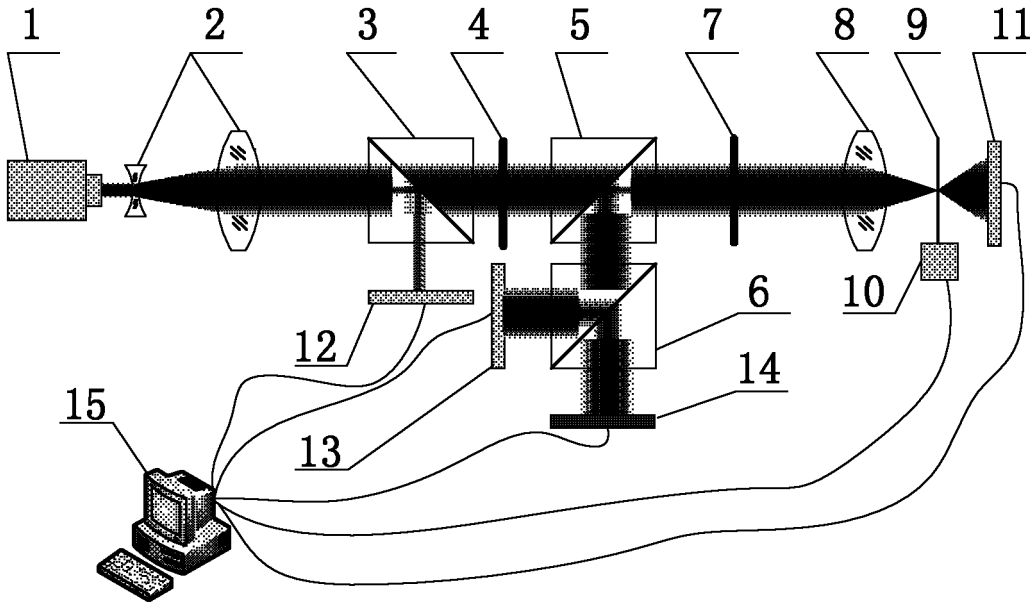

1
2
3
4
5
7
8
9
11
6
10
12
14
15
13

图 1

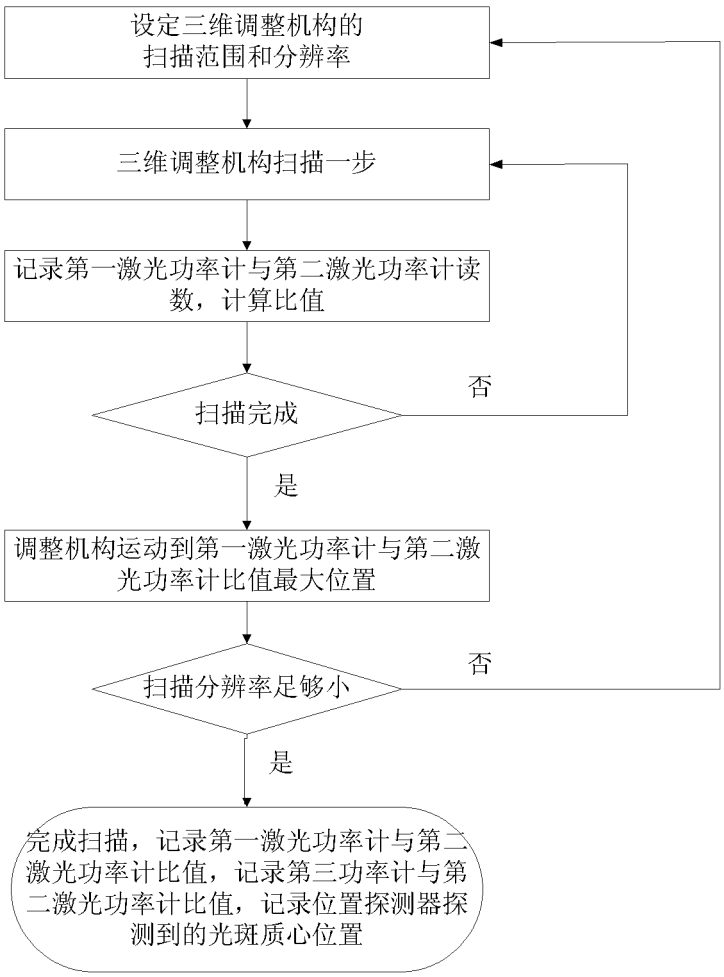

设定三维调整机构的扫描范围和分辨率
三维调整机构扫描一步
记录第一激光功率计与第二激光功率计读数，计算比值
扫描完成
否
是
调整机构运动到第一激光功率计与第二激光功率计比值最大位置
扫描分辨率足够小
否
是
完成扫描，记录第一激光功率计与第二激光功率计比值，记录第三功率计与第二激光功率计比值，记录位置探测器探测到的光斑质心位置

图 2

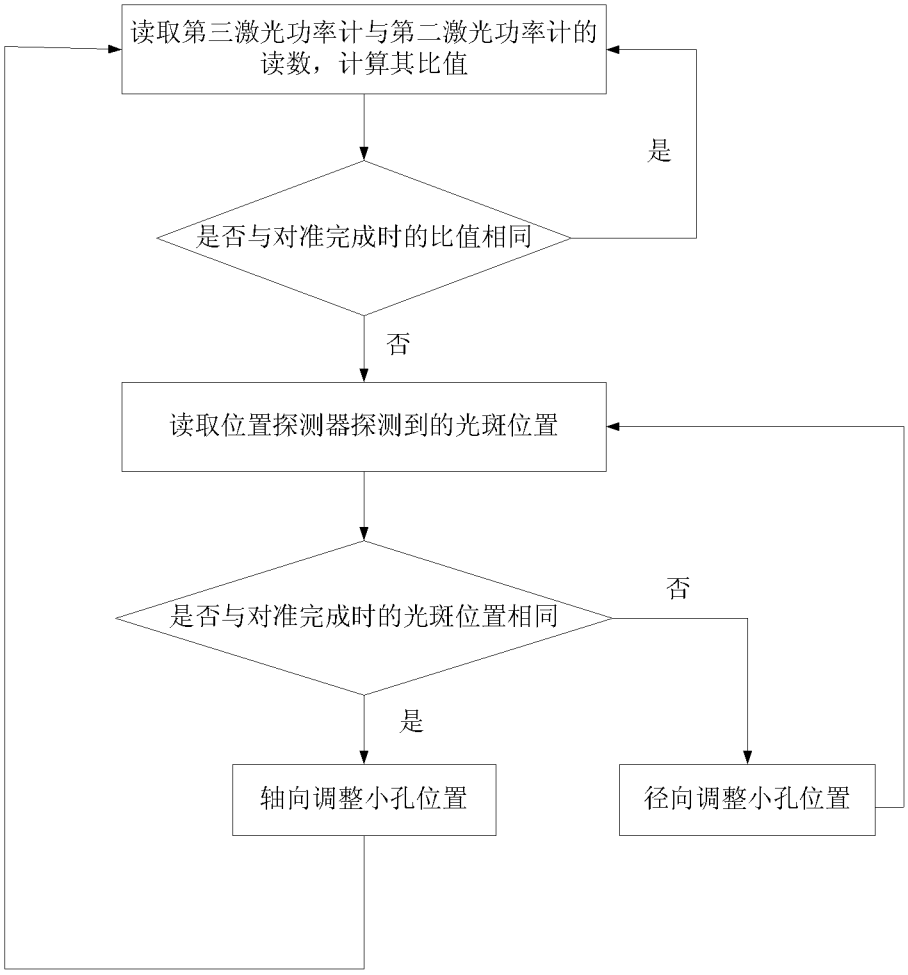

读取第三激光功率计与第二激光功率计的读数，计算其比值
是
是否与对准完成时的比值相同
否
读取位置探测器探测到的光斑位置
否
是否与对准完成时的光斑位置相同
是
轴向调整小孔位置
径向调整小孔位置

图 3