



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102519610 A

(43) 申请公布日 2012.06.27

(21) 申请号 201110440125.2

(22) 申请日 2011.12.26

(71) 申请人 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 何煦 向阳

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G01J 9/02(2006.01)

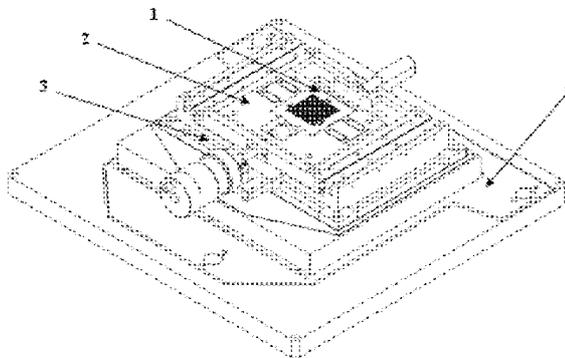
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种高精度横向剪切干涉仪相移装置

(57) 摘要

一种高精度横向剪切干涉仪相移装置涉及一种横向剪切干涉仪中的高精度相移装置,该装置包括:剪切光栅、掩模板组件和基座,一维小行程高分辨率位移组件、一维大行程位移组件和相移器调平组件;剪切光栅位于一维小行程高分辨率位移组件内并固定在一维小行程高分辨率位移组件上;掩模板组件固定在一维小行程高分辨率位移组件底部,与一维小行程高分辨率位移组件保持相对静止,一维小行程高分辨率位移组件固定在一维大行程位移组件上,一维大行程位移组件固定在基座上,相移器调平组件与基座底部连接。本发明具有超高运动分辨力、大运动行程、高动态响应,并且能够在相对较大行程范围内进行高精度微调定位,同时轴向尺寸紧凑的特点。



1. 一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,该装置包括:剪切光栅(1)、掩模板组件和基座(4),其特征在于,该装置还包括:一维小行程高分辨率位移组件(2)、一维大行程位移组件(3)和相移器调平组件(5);所述剪切光栅(1)位于一维小行程高分辨率位移组件(2)内并固定在一维小行程高分辨率位移组件(2)上;掩模板组件固定在一维小行程高分辨率位移组件(2)底部的固定基板(7)上,与一维小行程高分辨率位移组件(2)保持相对静止,一维小行程高分辨率位移组件(2)固定在一维大行程位移组件(3)上,一维大行程位移组件(3)固定在基座(4)上,相移器调平组件(5)与基座(4)底部连接。

2. 如权利要求1所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述一维小行程高分辨率位移组件(2)包括:基板(7)、压板(6)、压电陶瓷(8)和复合柔性平行四杆机构(9);剪切光栅(1)上表面通过压板(6)固定在基板(7)上,压电陶瓷(8)与基板(7)的左侧连接,在基板(7)上加工出复合柔性平行四杆机构(9)。

3. 如权利要求2所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述复合柔性平行四杆机构(9)通过在基体上线切割技术、电火花、慢走丝精密加工方法加工出圆弧和缝隙,在圆弧切口处形成弹性支点而与基体加工后剩余部分成为一体。

4. 如权利要求1所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述一维大行程位移组件(3)包括:V形滚珠导轨(10)、导轨滑台(11)、自锁紧弹簧(12)、导轨基板(13)和微分鼓轮(14);V形滚珠导轨(10)固定在导轨基板(13)的两侧,导轨滑台(11)位于导轨基板(13)内侧,微分鼓轮(14)与导轨基板(13)一端连接,自锁紧弹簧(12)与导轨基板(13)另一端连接。

5. 如权利要求4所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述导轨基板(13)采用4J32材料。

6. 如权利要求1所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述相移器调平组件(5)包括:第二压电陶瓷(15)、顶杆(16)、球节(17)和预紧弹簧(18);第二压电陶瓷(15)的上端与顶杆(16)下端连接;顶杆(16)上端与球节(17)下端连接;预紧弹簧(18)固定在顶杆(16)两侧。

7. 如权利要求1所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述剪切光栅(1)侧面有凹槽,下表面通过聚四氟乙烯材料的垫片与一维小行程高分辨率位移组件(2)固定。

8. 如权利要求1所述的一种高精度横向剪切干涉仪相移装置,其特征在于,所述掩模板组件通过在镀铬融石英材料上刻蚀出两个通光窗口后粘接在一维小行程高分辨率位移组件(2)的基板(7)上。

一种高精度横向剪切干涉仪相移装置

技术领域

[0001] 本发明涉及横向剪切干涉仪中的高精度相移装置,特别涉及一种高精度横向剪切干涉仪相移装置。

背景技术

[0002] 现代半导体、微电子制备工业领域是光学技术、精密机械及自动控制技术等相关技术研究的中心。在半导体器件的制作工艺流程中光刻工艺直接决定器件的尺寸,是整个微电子制备工艺流程中的核心的部分。光刻工艺中复制的掩模图形作为进一步刻蚀工艺中的刻蚀掩模,在光学复刻中使用的光刻物镜的工作波长决定着半导体器件的集成度。新一代光刻物镜工作在 193nm 的极紫外波段,光刻物镜组装完成后的波相差精度要求达到 3nm ~ 4nm(PV)。其对应的波相差测试系统——干涉仪系统的仪器精度相应的达到 1nm ~ 2nm(PV)。常规的相移式干涉仪基于菲索型或泰曼-格林形干涉光路,其中的相移器件是由平面反射镜以及与其直接连接的压电陶瓷器件构成组件实现相移功能。采用上述干涉光路与相移系统的干涉仪其最高测试精度只能达到 6nm ~ 10nm,无法满足投影光刻物镜波相差检测的需求。

[0003] 剪切干涉法是另一种常用的光学干涉测量手段之一,不同于基于标准反射镜的干涉光路,它将待测波面与其复制波面产生干涉,避免了采用标准波面时所引入的系统误差,具有极高的测量精度,可应用于对波像差测试精度要求较高的应用领域。

[0004] 波面剪切干涉方法由于不需要设置专门的参考光路,这使它具有比传统的干涉仪高得多的测试精度,可以对诸如紫外光刻投影物镜、大范围流体场等高精度应用领域进行检测研究。由于物光与参考光来自同一光路,对环境的振动和温度、气流的变化能产生彼此共模抑制,一般无需隔振和恒温条件也能获得稳定的干涉条纹,有利于实现现场测试,此外通常的横向剪切干涉仪还可以通过调节剪切比来改变测量精度,所以横向剪切干涉仪技术在光学元件和光学系统质量以及波面检测方面具有独到的优势。采用横向剪切干涉法对紫外光刻投影物镜波像差进行检测,其测试原理如图 1 所示。测试光路包括由针孔、显微物镜构成的空间滤波单元、待测的投影光刻物镜、相移系统以及 CCD 探测器。其中相移系统由二维剪切光栅、掩模板、移像台组成。当进行波相差检测时,二维剪切光栅需要在子午面内连续进行四次相移运动,同时 CCD 连续采集四幅干涉条纹图,而掩模板在相移过程中需要相对光路保持静止。同时相移机构需要在设备整体调试、自检过程中具备微调定位功能,并且可以在不同视场进行上述相移运动。

[0005] 根据物镜的工作波长以及仪器的整体精度,本发明中的相移装置的相移分辨率为 48.25nm,响应频率 40Hz,微调定位精度为 10nm,调整行程为 10mm,同时相移器件的轴向尺寸需小于 10mm。常规的平移机构采用导轨作为运动导向机构,丝杠等传动副作为运动执行单元。类似机构的分辨率极限可达到 1 μm。同时由于临界摩擦状态导致的“爬行”现象使其响应频率无法达到 10Hz 以上,类似装置的尺寸也相对较大。因此常规的导轨-丝杠系统无法满足相移系统的指标要求。压电陶瓷是一种电至伸缩晶体,其与柔性铰链机构组成的

平移装置可以实现极高的运动分辨率（纳米级）以及较高的响应频率。但受制于柔性铰链结构的限制，上述运动机构的行程较小，通常只能达到几十微米。此外，为保证较高的动态响应，运动机构的轴向尺寸较大（30mm～50mm），无法满足剪切干涉仪轴向尺寸小于10mm的技术要求。

发明内容

[0006] 为了解决现有技术中存在的问题，本发明提供了一种高精度横向剪切干涉仪相移装置，该装置解决了现有技术存在的无法满足投影光刻物镜波相差检测的要求，响应频率过低，尺寸过大，行程较小和轴向尺寸较大的问题。

[0007] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下：

[0008] 一种高精度横向剪切干涉仪相移装置，该装置包括：剪切光栅、掩模板组件和基座，该装置还包括：一维小行程高分辨率位移组件、一维大行程位移组件和相移器调平组件；所述剪切光栅位于一维小行程高分辨率位移组件内并固定在一维小行程高分辨率位移组件上；掩模板组件固定在一维小行程高分辨率位移组件底部，与一维小行程高分辨率位移组件保持相对静止，一维小行程高分辨率位移组件固定在一维大行程位移组件上，一维大行程位移组件固定在基座上，相移器调平组件与基座底部连接。

[0009] 本发明的有益效果是：本发明具有高运动分辨力（纳米级）、高动态响应（百Hz以上），并且能够在相对较大行程范围内（25mm）进行高精度微调定位，同时轴向尺寸紧凑的特点。

附图说明

[0010] 图1 横向剪切干涉法对紫外光刻投影物镜波像差检测原理图。

[0011] 图2 本发明一种高精度横向剪切干涉仪相移装置的结构俯视图。

[0012] 图3 本发明一种高精度横向剪切干涉仪相移装置的结构主视图。

[0013] 图4 本发明一种高精度横向剪切干涉仪相移装置一维小行程高分辨率位移组件的结构俯视图。

[0014] 图5 本发明一种高精度横向剪切干涉仪相移装置一维大行程位移组件的结构俯视图。

[0015] 图6 本发明一种高精度横向剪切干涉仪相移装置相移器调平组件的结构主视图。

[0016] 图中：1、剪切光栅，2、一维小行程高分辨率位移组件，3、一维大行程位移组件，4、基座，5、相移器调平组件，6、压板，7、基板，8、压电陶瓷，9、复合柔性平行四杆机构，10、V形滚珠导轨，11、导轨滑台，12、自锁紧弹簧，13、导轨基板，14、微分鼓轮，15、第二压电陶瓷，16、顶杆，17、球节，18、预紧弹簧。

具体实施方式

[0017] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明。

[0018] 一种高精度横向剪切干涉仪相移装置，剪切光栅1、掩模板组件和基座4，该装置还包括：一维小行程高分辨率位移组件2、一维大行程位移组件3和相移器调平组件5；所述剪切光栅1位于一维小行程高分辨率位移组件2内并固定在一维小行程高分辨率位移组

件 2 上；掩模板组件固定在一维小行程高分辨率位移组件 2 底部的固定基板 7 上，与一维小行程高分辨率位移组件 2 保持相对静止，一维小行程高分辨率位移组件 2 固定在一维大行程位移组件 3 上，一维大行程位移组件 3 固定在基座 4 上，相移器调平组件 5 与基座 4 底部连接。

[0019] 如图 2 和图 3 所示，剪切光栅 1 是一块刻划在融石英材料上 40mm×40mm 的透射光栅，其刻线密度根据剪切干涉仪的剪切比进行计算。光栅厚度则要根据待测紫外光刻物镜的数值孔径、后截距以及干涉仪光路的整体排布进行计算与选取。光栅侧面设计有凹槽，下表面与聚四氟乙烯材料的垫片接触，凹槽与压板 6 接触可降低压板 6 预紧力对光栅面型的影响。由于聚四氟乙烯材料具有一定的弹性，可以降低对光栅端面加工精度的要求。

[0020] 如图 4 所示，一维小行程高分辨率位移组件 2 采用压电陶瓷 8 作为位移促动元件，柔性铰链与连杆机构作为导轨。以压电、电致伸缩微位移器为驱动，柔性铰链作为弹性导轨的微动工作台，由于具有无摩擦，无反向间隙，超高分辨率，易于控制和结构紧凑等优点，是实现微位移技术的最有效方法之一。其中柔性支承导轨，实际上是以柔性铰链代替杠杆机构或四杆机构等运动机构中的普通铰链而形成的一种运动机构。柔性铰链属可逆弹性支撑结构，它是在基体上加工出一个强度较弱的部分，利用该部分的微小变形及材料的弹性回复力来实现结构的变形及位移输出。由于柔性铰链无机械摩擦，仅存在弹性材料内部分子之间的内摩擦，无间隙，运动灵敏度高，因而柔性支承导轨可以达到极高的分辨率。加上柔性支承导轨结构紧凑、体积很小、重量轻、不需要润滑等优点，使得它极为适用于微位移系统。但受压电陶瓷 8 行程，以及导轨设计原理的限制，柔性铰链同平行弹性导轨一样行程较小。本发明中的一维小行程高分辨率位移组件 2 采用复合柔性平行四杆结构 9，该结构具有良好的导向精度、无间隙、导轨定位分辨率高、加工精度易于保证、不需要装配。同时复合平行四边形结构可以完全消除单平行四杆机构沿运动方向产生位移时，在运动方向的垂直方向产生的附带寄生运动。这种复合四杆平行四边形结构既利用了平行四边形结构的导向性能好的优点，又解决了两正交运动方向运动耦合的弊端，可以高精度的实现一维方向的相移运动功能而不会产生附带的耦合误差。

[0021] 复合柔性平行四杆结构 9 可以通过线切割技术、电火花、慢走丝等精密加工方法在一块基体 7 上加工出圆弧和缝隙，在圆弧切口处形成弹性支点而与基体 7 加工后剩余部分成为一体。作为剪切干涉仪的相移器件，要求其具有较高的温度稳定性，因而选择殷瓦合金材料 (4J32) 作为基体 7 材料，在其上加工出光栅座等机械结构后，再使用电火花加工出连杆、铰链等二维导轨结构。

[0022] 对导轨长度、铰链切割圆半径、最小厚度等参量的计算则依据陶瓷的最大刚度、平台的响应频率、铰链弱截面处的最大应力以及基体材料的弹性模量进行综合选取计算得到的。

[0023] 由于复合柔性平行四杆机构 9 与压电陶瓷 8 构成微位移单元虽然可以实现高相移分辨率、响应频率以及定位精度，但其行程无法满足需求。因此，本发明中将一维小行程高分辨率位移组件 2 集成在另一大行程位移组件上，就可以实现在较大行程范围内超高分辨率 (1nm 精度) 一维位移运动。如图 5 所示，一维大行程位移组件 3 包括 V 形滚珠导轨 10、导轨滑台 11、自锁紧弹簧 12、导轨基板 13 和微分鼓轮 14；V 形滚珠导轨 10 固定在导轨基板 13 的两侧，导轨滑台 11 位于导轨基板 13 内侧，微分鼓轮 14 与导轨基板 13 一端连接，自锁

紧弹簧 12 与导轨基板 13 另一端连接。一维大行程位移组件 3 采用具有较低轴向尺寸的双 V 形滚珠导轨 10 结构形式,导轨的 V 形角选为 90° ,具有相对较高的承载能力与导向精度,同时可以部分降低导轨研磨的工艺难度。选择微分鼓轮 14 作为促动元件,与自锁紧弹簧 12 构成力矩自封闭结构,可以有效降低位移机构的反向间隙,提高分辨率。微分鼓轮 14 采用复合螺纹级联机构,具有较高的分辨率。V 形滚珠导轨 10 与微分鼓轮 14、弹簧座等与相移台底座连接,相移底座中间加工了 $270\text{mm}\times 270\text{mm}$ 的方孔,可以有效容纳干涉仪的探测器组件,满足仪器整体设计对相移装置轴向尺寸的限制要求。

[0024] V 形导轨采用 GCr15SiMn 材料,具有较高的表面硬度与材料刚度。导轨座采用 4J32 材料,可以降低环境低温度变化对相移装置轴向位置关系的影响。

[0025] 相移装置中的掩模板组件在干涉仪系统中起消除高级次剪切波面的作用。根据干涉仪的光路设计,掩模板组件的外径为 5mm,厚度为 0.1mm,其上加工有间隔为 0.71mm 的方形通光窗口可以起到选择剪切级次的作用。由于掩模板组件的外形尺寸较小,同时对加工精度的要求较高,常规的机械加工方法无法实现,因此我们采用了刻蚀的方法在镀铬融石英材料基体上刻蚀出两个通光窗口。加工后的掩模板粘接在一维小行程高分辨率位移组件 2 的基体 7 上,这样可以保证剪切光栅 1 进行相移运动时,掩模板组件可以相对干涉光路静止。而在剪切干涉仪自检时,剪切光栅可以与掩模板组件作为一个整体相对系统光轴共同进行定位调整。

[0026] 如图 6 所示,相移器调平组件 5 可以对相移装置整体进行调平,使相移装置与剪切干涉仪光路整体对准。调平组件由三个独立的柔性调平顶杆 16 构成,三个调平顶杆 16 间隔 120° 分布在同一分度圆上,分度圆的圆心与掩模板几何中心共线。三个调平顶杆 16 的独立升降运动可以实现相移装置沿俯仰方向与滚转方向的二维转动,通过监视系统反馈的数据就可以实现相移装置相对于剪切干涉仪光轴整体的调平功能。由于调平精度要求达到 0.1 角秒,同时对调平装置的外形尺寸提出了相应的边界条件,因此无法采用常规的纯机械顶杆通过加大弦长的方法来提高调平精度。本发明中的调平顶杆 16 由第二压电陶瓷 15、柔性球节 17、预紧弹簧 18 组成。其中第二压电陶瓷 15 加电后沿轴向伸长作为促动元件;预紧弹簧 18 可对第二压电陶瓷 15 进行轴向预紧,提高压电晶体的响应频率。同时柔性球节 17 可以消除调平过程中相移台重力分量对压电晶体产生的切向力分量,并消除调平运动过程中的多余约束。第二压电陶瓷 15、顶杆 16、预紧弹簧 18 位于调平座中,通过压紧螺母可以预紧弹簧的预紧力,并且对第二压电陶瓷 15、顶杆 16 实现横向定位。

[0027] 上述部件整体连接在一个基板上与剪切干涉仪机架连接,作为数字波面横向剪切干涉仪实现横向剪切、相移、空间滤波的核心功能单元。

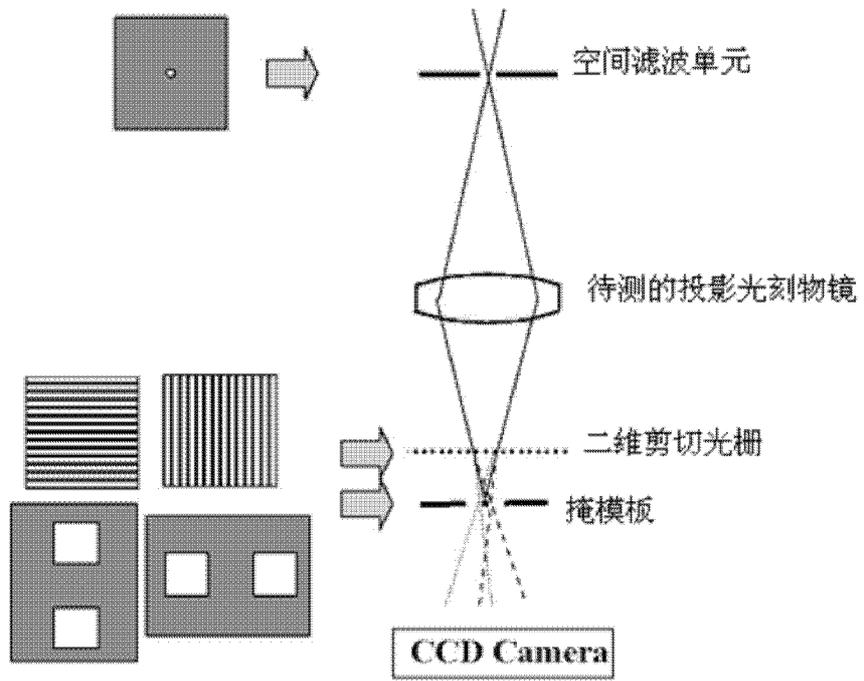


图 1

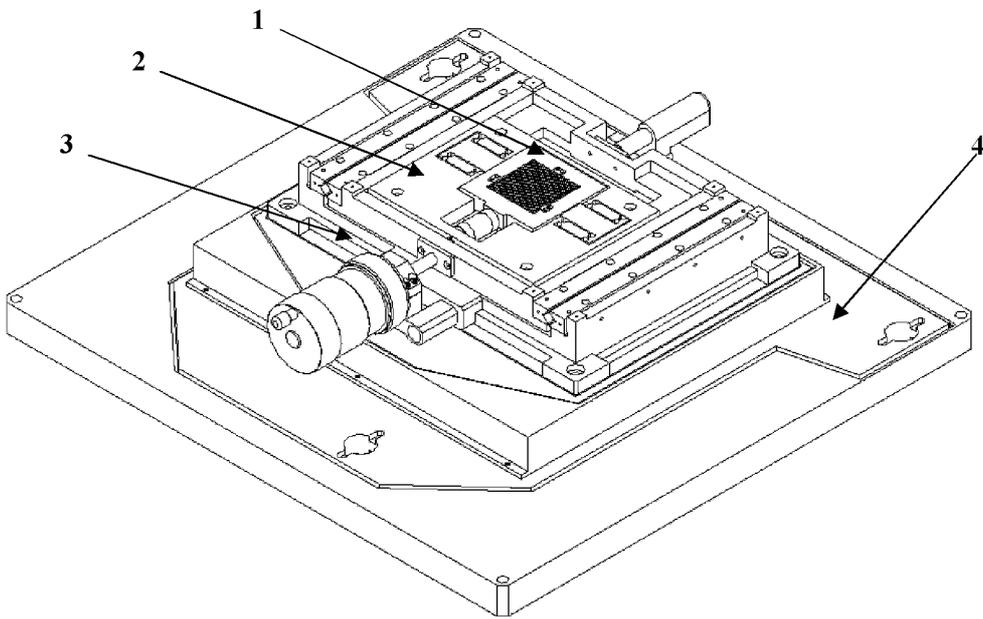


图 2

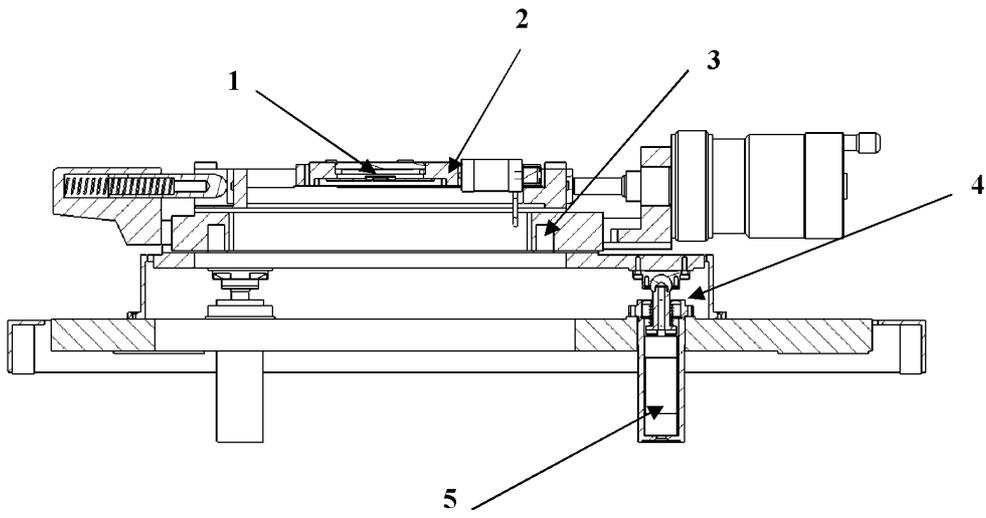


图 3

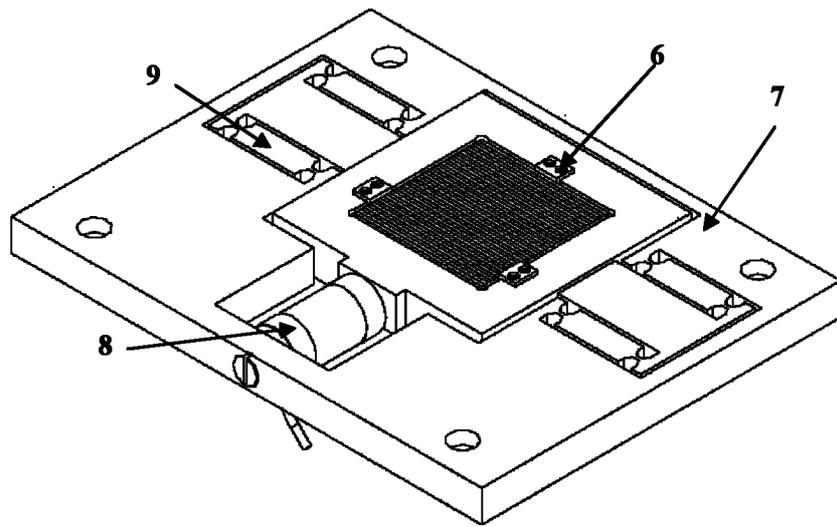


图 4

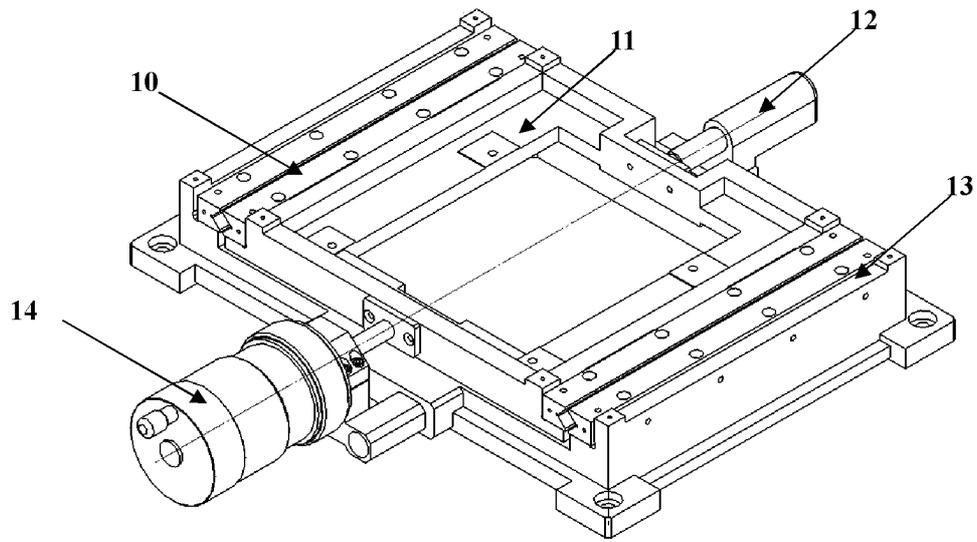


图 5

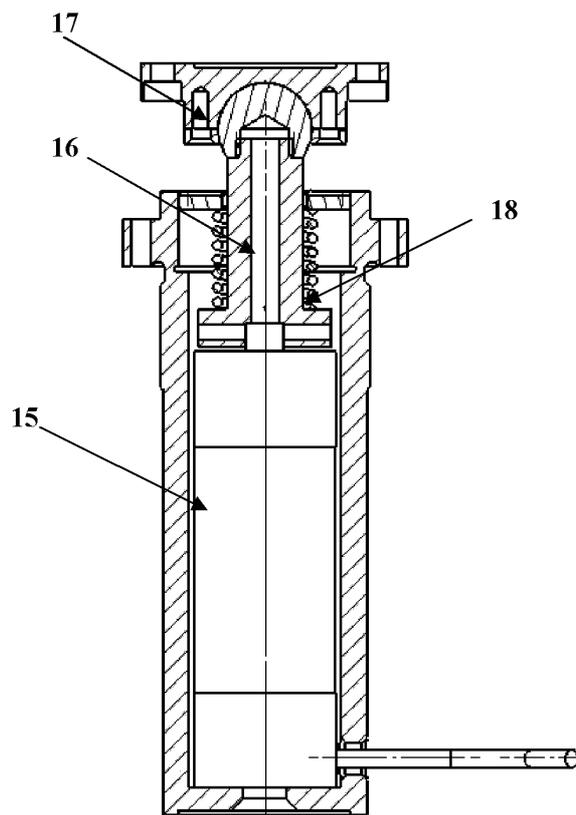


图 6