



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102880009 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 26

(21) 申请号 201210324261. X

(22) 申请日 2012. 09. 04

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区 100084 信箱 82
分箱清华大学专利办公室

(72) 发明人 张鸣 朱煜 田丽 张利 秦慧超
王平安 刘召 杨开明 徐登峰
胡金春 尹文生

(74) 专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 邸更岩

(51) Int. Cl.

G03F 7/20(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2003/0034695 A1, 2003. 02. 20, 全文.

CN 101078889 A, 2007. 11. 28, 全文.

CN 101408735 A, 2009. 04. 15, 全文.

CN 101290476 B, 2010. 06. 09, 全文.

CN 1023933611 A, 2012. 03. 28, 全文.

EP 2492928 A2, 2012. 08. 29, 全文.

郝晓红等. 新型磁悬浮精密定位平台的研究. 《西安交通大学学报》. 2005, 第 39 卷 (第 9 期), 第 937-940 页.

审查员 张乐

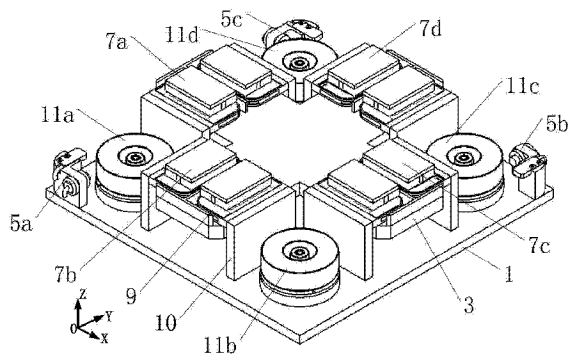
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种六自由度微动工作台

(57) 摘要

一种六自由度微动工作台, 含有实现微动工作台在水平面内 X 方向、Y 方向和绕 Z 轴旋转的第一种电磁力驱动模块和实现微动工作台沿 Z 方向、绕 X 轴旋转和绕 Y 轴旋转的第二种电磁力驱动模块; 第一种电磁力驱动模块和第二种电磁力驱动模块均采用四组, 四组第二种电磁力驱动模块与四组第一种电磁力驱动模块相间布置。第一种电磁力驱动模块的永磁体、轭铁和永磁体骨架以及四组第二种电磁力驱动模块的永磁体、永磁体骨架共同组成微动工作台的动子部分; 四组第一种电磁力驱动模块和四组第二种电磁力驱动模块的线圈和线圈骨架以及微动台基座共同组成微动工作台的定子部分。本发明与现有技术相比, 具有结构更加简单、紧凑、质心驱动和微动台动子惯量小等特点。



CN 102880009 B

1. 一种六自由度微动工作台, 含有实现微动工作台在水平面内沿 X 方向、Y 方向和绕 Z 轴旋转三个自由度运动的第一种电磁力驱动模块和实现微动工作台沿 Z 方向、绕 X 轴旋转和绕 Y 轴旋转的三个自由度的运动的第二种电磁力驱动模块, 其特征在于: 所述的第一种电磁力驱动模块采用四组, 其中两组电磁力驱动模块沿 X 轴关于 Y 轴对称布置, 另外两组电磁力驱动模块沿 Y 轴关于 X 轴对称布置, 所述第二种电磁力驱动模块采用四组, 分别布置在微动台基座上表面的四个象限中, 四组第二种电磁力驱动模块与四组第一种电磁力驱动模块相间布置; 每组第一种电磁力驱动模块和每组第二种电磁力驱动模块至少包括一个电磁力驱动单元, 每个电磁力驱动单元由永磁体、轭铁、永磁体骨架、通电线圈和线圈骨架构成;

四组第一种电磁力驱动模块的永磁体、轭铁和永磁体骨架以及四组第二种电磁力驱动模块的永磁体、永磁体骨架共同组成微动工作台的动子部分; 四组第一种电磁力驱动模块和四组第二种电磁力驱动模块的通电线圈和线圈骨架以及微动台基座 (1) 共同组成微动工作台的定子部分。

2. 如权利要求 1 所述的一种六自由度微动工作台, 其特征在于: 所述的微动工作台还包含一个壳体 (2), 所述的微动工作台的动子部分和定子部分布置在壳体 (2) 内部, 壳体 (2) 与微动工作台的动子部分固定在一起; 所述的壳体 (2) 的四个侧面为反射镜面, 反射镜面与水平面垂直, 且相邻两个反射镜面互相垂直; 所述壳体上表面设有一个圆形凹槽; 在壳体 (2) 的任意两个相对侧面的下方分别布置一条反射镜 (6), 所述反射镜的镜面与相应的壳体的反射镜面成 135° 夹角; 所述的壳体 (2) 采用碳化硅陶瓷材料加工而成。

3. 如权利要求 2 所述的一种六自由度微动工作台, 其特征在于: 所述的壳体 (2) 采用碳化硅陶瓷材料加工而成。

4. 如权利要求 1、2 或 3 所述的一种六自由度微动工作台, 其特征在于: 所述的微动工作台还包含三组涡流式位移测量传感器模块, 每组涡流式位移测量传感器模块包含一个测量微动台动子 Z 方向位移的位置测量传感器和一个测量微动台动子 X 方向或 Y 方向位移的位移测量传感器, 所述的三组涡流式位移测量传感器模块分别布置在微动台基座 (1) 上表面的四个象限中的任意三个象限中。

5. 按照权利要求 1 所述的一种六自由度微动工作台, 其特征在于: 第一种电磁力驱动模块的永磁体包括上下两部分永磁体组, 通电线圈位于上下两部分永磁体组之间, 并留有间隙; 每部分永磁体组由主永磁体和附永磁体组成, 主永磁体与附永磁体以 Halbach 阵列形式粘接固定于轭铁的表面上, 相邻的主永磁体与附永磁体的磁场方向相互垂直, 在各永磁体之间形成封闭磁路。

6. 按照权利要求 1 所述的一种六自由度微动工作台, 其特征在于: 第二种电磁力驱动模块的永磁体包括外磁环和内磁环, 外磁环与内磁环的轴线沿 Z 轴方向同轴布置, 外磁环与内磁环充磁方向相同, 沿径向方向且由圆环外表面指向圆心; 通电线圈为圆柱形线圈, 位于内磁环与外磁环之间, 并与内外磁环同轴布置; 在第二种电磁力驱动单元的中心轴线上还布置有一个重力平衡磁柱, 该重力平衡磁柱的轴线沿 Z 轴方向与内外磁环同轴, 并固定在微动台基座 (1) 上, 其充磁方向沿 Z 轴方向。

一种六自由度微动工作台

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微动工作台,尤其涉及一种六自由度微动工作台,主要应用于半导体光刻设备中,属于超精密加工和检测设备技术领域。

背景技术

[0002] 具有高精度和快速响应的微动工作台在现代制造技术中具有极其重要的地位,被视为一个国家高技术发展水平的重要标志。在超精密机床中,超精密微动工作台用于对进给系统进行误差补偿,实现超精密加工;在大规模集成电路制造中,超精密微动工作台用于光刻设备中进行微定位和微进给;在扫描探针显微镜中,超精密微动工作台用于测量样品表面形貌,进行纳米加工;在生物工程方面,超精密微动工作台用于完成对细胞的操作,实现生物操作工程化;在医疗科学方面,超精密微动工作台用于显微外科手术,以便减轻医生负担,缩短手术时间,提高成功率。超精密微动工作台还被广泛应用于光纤对接, MEMS 系统加工、封装及装配,以及电化学加工等领域中。

[0003] 在半导体光刻设备中,光刻机硅片台和掩模台大多采用粗精叠层结构,包含一个超精密微动工作台。该微动台叠加于粗动台之上,用于对粗动台进行精度补偿。微动工作台定位精度决定了光刻机的曝光精度,运动速度决定了光刻机的生产效率。因此,美国、日本、欧洲等发达国家均把超精密微动工作台技术视为光刻机核心技术之一,对我国相关产品进行严格的进口限制。

[0004] 概括目前国内外纳米级微动工作台研究现状,超精密微动台通常有三类,伺服电机通过滚珠丝杠传动/直线导轨支撑微动工作台,压电陶瓷驱动/柔性铰链支撑导向微动工作台,以及音圈电机或变磁阻电机驱动/气浮或磁浮支撑微动工作台。

[0005] 前两种微动台由于支撑系统的摩擦阻尼非线性等因素影响,均无法满足光刻设备高速度、大负载、高动态特性的要求。采用音圈电机/气浮支撑的微动台可以满足光刻设备的要求,但存在结构整体性差,台体较厚,质心高等不足,其性能受到一定局限。

[0006] 清华大学在 2007 年 6 月 29 日申请了一种 6 自由度微动工作台(申请号: 200710118130.5),提供了一种应用于光刻机硅片台中的六自由度微动工作台,采用无摩擦阻尼的音圈电机作为驱动结构,虽然大大提高了定位精度,但是该结构体积大,结构不紧凑,不能很好地适应双台交换系统的需要。

发明内容

[0007] 本发明旨在提供一种可应用于光刻机硅片台中的六自由度微动工作台,该微动工作台用于补偿光刻机硅片台的定位误差并实现光刻机调平调焦的功能,以实现晶圆片高精度定位的需求,也可用于超精密加工和检测中以实现六自由度运动,具有结构简单、紧凑,质心驱动,微动台动子惯量小等特点。

[0008] 本发明的技术方案如下:

[0009] 一种六自由度微动工作台,含有实现微动工作台在水平面内沿 X 方向、Y 方向和绕

Z轴旋转三个自由度运动的第一种电磁力驱动模块和实现微动工作台沿Z方向、绕X轴旋转和绕Y轴旋转的三个自由度的运动的第二种电磁力驱动模块,其特征在于:所述的第一种电磁力驱动模块采用四组,其中两组电磁力驱动模块沿X轴关于Y轴对称布置,另外两组电磁力驱动模块沿Y轴关于X轴对称布置,所述第二种电磁力驱动模块采用四组,分别布置在微动台基座上表面的四个象限中,四组第二种电磁力驱动模块与四组第一种电磁力驱动模块相间布置;每组第一种电磁力驱动模块和每组第二种电磁力驱动模块至少包括一个电磁力驱动单元,每个电磁力驱动单元由永磁体、轭铁、永磁体骨架、通电线圈和线圈骨架构成。

[0010] 四组第一种电磁力驱动模块的永磁体、轭铁和永磁体骨架以及四组第二种电磁力驱动模块的永磁体、永磁体骨架共同组成微动工作台的动子部分;四组第一种电磁力驱动模块和四组第二种电磁力驱动模块的通电线圈和线圈骨架以及微动台基座共同组成微动工作台的定子部分。

[0011] 本发明的技术特征还在于:所述的微动工作台还包含一个壳体,所述的微动工作台的动子部分和定子部分布置在壳体内部,壳体与所述的微动工作台的动子部分固定在一起;所述的壳体四个侧面为反射镜面并与水平面垂直,相邻两个侧面互相垂直,上表面设有一个圆形凹槽;所述的壳体采用碳化硅陶瓷材料加工而成;在壳体的任意两个相对侧面的下方分别布置一条反射镜,所述反射镜的镜面与所对应的壳体的反射镜面夹角为 135° 。

[0012] 本发明所述的微动工作台还包含三组涡流式位移测量传感器模块,每组涡流式位移测量传感器模块包含一个测量微动台动子Z方向位移的涡流式位置测量传感器和一个测量微动台动子X方向或Y方向位移的涡流式位移测量传感器,所述的三组涡流式位移测量传感器模块分别布置在微动台基座上表面的四个象限中的任意三个象限中。

[0013] 本发明所述的第一电磁力驱动单元的包括上下两部分永磁体组,线圈组件位于上下两部分永磁体之间,并留有间隙;每部分永磁体组由主永磁体和附永磁体组成,主永磁体与附永磁体以Halbach阵列形式粘接固定于轭铁的表面上,相邻的主永磁体与附永磁体的磁场方向相互垂直,在各永磁体之间形成封闭磁路;

[0014] 第二电磁力驱动单元的永磁体包括外磁环和内磁环,外磁环与内磁环的轴线沿Z轴方向同轴布置,外磁环与内磁环充磁方向相同,沿径向方向且由圆环外表面指向圆心;通电线圈为圆柱形线圈,位于内磁环与外磁环之间,并与内外磁环同轴布置;在第二电磁力驱动单元的中心轴线上还布置有一个重力平衡磁柱,其轴线沿Z轴方向与内外磁环同轴,并固定在微动台基座上,其充磁方向沿Z轴方向;

[0015] 本发明所述微动工作台的优点在于:微动工作台采用并联结构实现六自由度运动,与叠层结构相比,具有结构简单、紧凑、质心驱动等优点,微动台采用电磁力直接驱动,因此不存在机械摩擦,无阻尼,具有较高的位移分辨率;微动工作台基于洛伦兹原理工作,输出推力与输入电流之间成线性关系,运动控制技术成熟。碳化硅陶瓷零件的使用大大提高了系统性能,将反射镜集成在壳体上,既减少了零件个数,又降低了反射镜组件装配的高精度要求。

附图说明

[0016] 图1为发明提供的带壳体的六自由度微动工作台的三维结构图。

[0017] 图2为本发明提供的去壳体的六自由度微动工作台的三维结构图。

[0018] 图 3 表示出本发明的第一种电磁力驱动模块和第二种电磁力驱动模块分别采用四组的布置结构。

[0019] 图 4 表示出每组磁力驱动模块至少包括一个电磁力驱动单元。

[0020] 图 5 为第一种电磁力驱动单元结构示意图(剖视图)。

[0021] 图 6 为第二种电磁力驱动单元结构示意图(剖视图)。

[0022] 图 7 为微动工作台实现 X 方向运动的原理图。

[0023] 图 8 为微动工作台实现 Y 方向运动的原理图。

[0024] 图 9 为微动工作台实现绕 Z 转动的原理图。

[0025] 图 10 为微动工作台实现 Z 方向运动的原理图。

[0026] 图 11 为微动工作台实现绕 X 转动的原理图。

[0027] 图 12 为微动工作台实现绕 Y 转动的原理图。

[0028] 图中:1—微动台基座;2—壳体;3—第一电磁力驱动模块永磁体骨架;5a—第一涡流式位移测量传感器模块;5b—第二涡流式位移测量传感器模块;5c—第三涡流式位移测量传感器模块;6—反射镜;7a—第一种电磁力驱动模块的第一组;7b—第一种电磁力驱动模块的第二组;7c—第一种电磁力驱动模块的第三组;7d—第一种电磁力驱动模块的第四组;9—第一种电磁力驱动模块线圈骨架;10—第一种电磁力驱动模块线圈支撑板;11a—第二种电磁力驱动模块的第一组;11b—第二种电磁力驱动模块的第二组;11c—第二种电磁力驱动模块的第三组;11d—第二种电磁力驱动模块的第四组;12—第二种电磁力驱动模块永磁体骨架;13—第二种电磁力驱动模块线圈骨架;14—第一种电磁力驱动单元;15—第一种电磁力驱动单元线圈组件;16—第一主永磁体;17—第二主永磁体;18—第三主永磁体;19—第四主永磁体;20—第一附永磁体;21—第二附永磁体;22—第一铁轭;23—第二铁轭;24—第二种电磁力驱动单元;25—第二种电磁力驱动单元线圈组件;26—外磁环;27—内磁环;28—重力补偿磁柱。

具体实施方式

[0029] 图 1、图 2 和图 3 为本发明提供了一种六自由度微动工作台的三维结构图。该微动工作台包括四组第一种电磁力驱动模块,每组第一种电磁力驱动模块至少包括一个电磁力驱动单元(如需得到较大的驱动力,可采用多个),本实施例中第一种电磁力驱动模块采用的是两个第一种电磁力驱动单元 14,其中第一种电磁力驱动模块的第一组 7a 和第一种电磁力驱动模块的第三组 7c 沿 X 轴关于 Y 轴对称布置,另外两组第一种电磁力驱动模块的第二组 7b 和第一种电磁力驱动模块的第四组 7d 沿 Y 轴关于 X 轴对称布置;第一种电磁力驱动模块的第一组 7a、第一种电磁力驱动模块的第二组 7b、第一种电磁力驱动模块的第三组 7c 和第一种电磁力驱动模块的第四组 7d 共同实现微动工作台在水平面内 X 方向、Y 方向和绕 Z 轴旋转三个自由度的运动。

[0030] 该微动工作台还包含四组第二种电磁力驱动模块,分别为第二种电磁力驱动模块的第一组 11a、第二种电磁力驱动模块的第二组 11b、第二种电磁力驱动模块的第三组 11c 和第二种电磁力驱动模块的第四组 11d,每组第二种电磁力驱动模块至少包括一个电磁力驱动单元(如需得到较大的驱动力,可采用多个),本实施例中采用的是一个第二种电磁力驱动单元 24,分别布置在微动台基座上表面的四个象限中,所述的四组第二种电磁力驱动

模块与四组第一种电磁力驱动模块相间布置,实现微动工作台在 Z 方向、绕 X 轴旋转和绕 Y 轴旋转的三个自由度的运动。

[0031] 四组第一种电磁力驱动模块的永磁体、轭铁和永磁体骨架以及四组第二种电磁力驱动模块的永磁体、永磁体骨架共同组成微动工作台的动子部分;所述的四组第一种电磁力驱动模块和四组第二种电磁力驱动模块的通电线圈和线圈骨架以及微动台基座 1 共同组成微动工作台的定子部分。

[0032] 本实施例微动工作台还包含一个壳体 2,所述的微动工作台的动子部分和定子部分布置在壳体 2 内部,壳体 2 与所述的微动工作台的动子部分固定在一起;所述的壳体 2 四个侧面为反射镜面并与水平面垂直,相邻两个侧面互相垂直,上表面设有一个圆形凹槽;所述的壳体 2 采用碳化硅陶瓷材料加工而成,碳化硅陶瓷材料的使用提高了系统性能,将反射镜集成在壳体上,既减少了零件个数,又降低了该反射镜组件装配的高精度的要求。在壳体 2 的任意两个相对侧面的下方分别布置一条反射镜 6,该反射镜的镜面与所对应的壳体 2 的反射镜面夹角为 135° 。

[0033] 所述的微动工作台还包含三组涡流式位移测量传感器模块,即第一涡流式位移测量传感器模块 5a、第二涡流式位移测量传感器模块 5b 和第三涡流式位移测量传感器模块 5c;每组涡流式位移测量传感器模块包含一个测量微动台动子 Z 方向位移的位置测量传感器和一个测量微动台动子 X 方向或 Y 方向位移的位移测量传感器,所述的三组涡流式位移测量传感器模块分别布置在微动台基座 1 上表面的四个象限中的任意三个象限中(如图 3 所示)。

[0034] 图 5 为第一种电磁力驱动单元结构剖视图。第一电磁力驱动单元包含上下两部分永磁体组,通电线圈和骨架位于上下两部分永磁体之间,并留有间隙;每部分永磁体组由主永磁体和附永磁体组成,实施例中包括第一主永磁体 16、第二主永磁体 17、第三主永磁体 18、第四主永磁体 19、第一附永磁体 20 和第二附永磁体 21。

[0035] 在上部分永磁体组中,沿 X 轴方向依次为第一主永磁体 16、第一附永磁体 20 和第二主永磁体 17,各主永磁体与各附永磁体粘接固定于第一铁轭 22 的表面上;在下部分永磁体组中,沿 X 轴方向依次为第三主永磁体 18、第二附永磁体 21 和第四主永磁体 19,各主永磁体与各附永磁体粘接固定于第二铁轭 23 的表面上。第一主永磁体 16 和第三主永磁体 18 的充磁方向为 Z 轴负方向,第二主永磁体 17 和第四主永磁体 19 的充磁方向为 Z 轴正方向,第一附永磁体 20 的充磁方向为 X 轴负方向、第二附永磁体 21 的充磁方向为 X 轴正方向。各附永磁体与各主永磁体的磁场方向相互垂直,上下部分的各永磁体分别构成了 Halbach 阵列形式,且形成封闭磁路。

[0036] 图 6 为第二种电磁力驱动单元 24 的剖视图。第二种电磁力驱动单元的永磁体包括外磁环 26 和内磁环 27,其轴线沿 Z 轴方向,外磁环 26 与内磁环 27 充磁方向相同,沿径向方向且由圆环外表面指向圆心。第二种电磁力驱动单元线圈组件 25 为圆柱形线圈,位于内磁环与外磁环之间,并与内外磁环同轴布置;在第二种电磁力驱动单元的中心轴线上还布置有一个圆筒状的重力平衡磁柱 28,其轴线沿 Z 轴方向,且与内外磁环同轴,并固定在微动台基座 1 上,其充磁方向为轴线沿 Z 轴正方向。外磁环 26、内磁环 27 以及重力补偿磁柱 28 之间产生作用力,使得重力补偿磁柱 28 受到的作用力与微动工作台的动子部分的重力大小相等,方向相反,从而达到补偿微动工作台重力的目的。

[0037] 如图 7 至图 9 所示,微动工作台基于洛伦兹原理工作。水平面内驱动单元的永磁体产生的磁场方向、微动台定子中线圈电流方向,以及产生的洛伦兹力方向两者相互垂直。当只有第一种电磁力驱动模块的第一组 7a 和第一种电磁力驱动模块的第三组 7c 通相同方向电流时,驱动单元产生 X 方向洛伦兹力,从而实现微动台动子沿 X 方向运动。当只有第一种电磁力驱动模块的第二组 7b 和第一种电磁力驱动模块的第四组 7d 通相同方向电流时,驱动单元产生 Y 方向洛伦兹力,从而实现微动台动子沿 Y 方向运动。当第一种电磁力驱动模块的第一组 7a 和第一种电磁力驱动模块的第三组 7c 通相反方向电流时,或者,第一种电磁力驱动模块的第二组 7b 和第一种电磁力驱动模块的第四组 7d 通相反方向电流时,驱动单元产生两个相反方向洛伦兹力,从而实现微动台动子绕 Z 转动。

[0038] 如图 10 至图 12 所示,第二种电磁力驱动模块产生的洛伦兹力沿 Z 轴方向。当第二种电磁力驱动模块的第一组 11a、第二种电磁力驱动模块的第二组 11b、第二种电磁力驱动模块的第二组 11c 和第二种电磁力驱动模块的第四组 11d,通相同方向电流时,驱动单元产生 Z 方向相同方向推力,从而实现微动台动子沿 Z 方向运动。当第二种电磁力驱动模块的第一组 11a、第二种电磁力驱动模块的第二组 11b 通相同方向电流,而第二种电磁力驱动模块的第二组 11c 和第二种电磁力驱动模块的第四组 11d 通与第二种电磁力驱动模块的第一组 11a、第二种电磁力驱动模块的第二组 11b 相反方向电流时,驱动单元产生绕 X 轴力矩,从而实现微动台动子绕 X 转动。当第二种电磁力驱动模块的第一组 11a 和第二种电磁力驱动模块的第四组 11d 通相同方向电流时,而第二种电磁力驱动模块的第二组 11b 和第二种电磁力驱动模块的第二组 11c 通与第二种电磁力驱动模块的第一组 11a 相反方向电流时,驱动单元产生绕 Y 轴力矩,从而实现微动台动子绕 Y 转动。

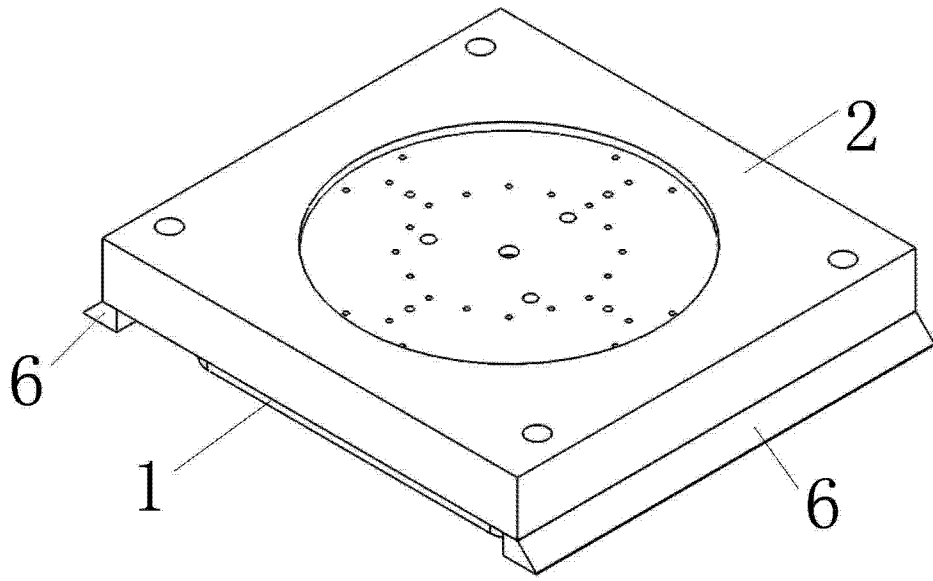


图 1

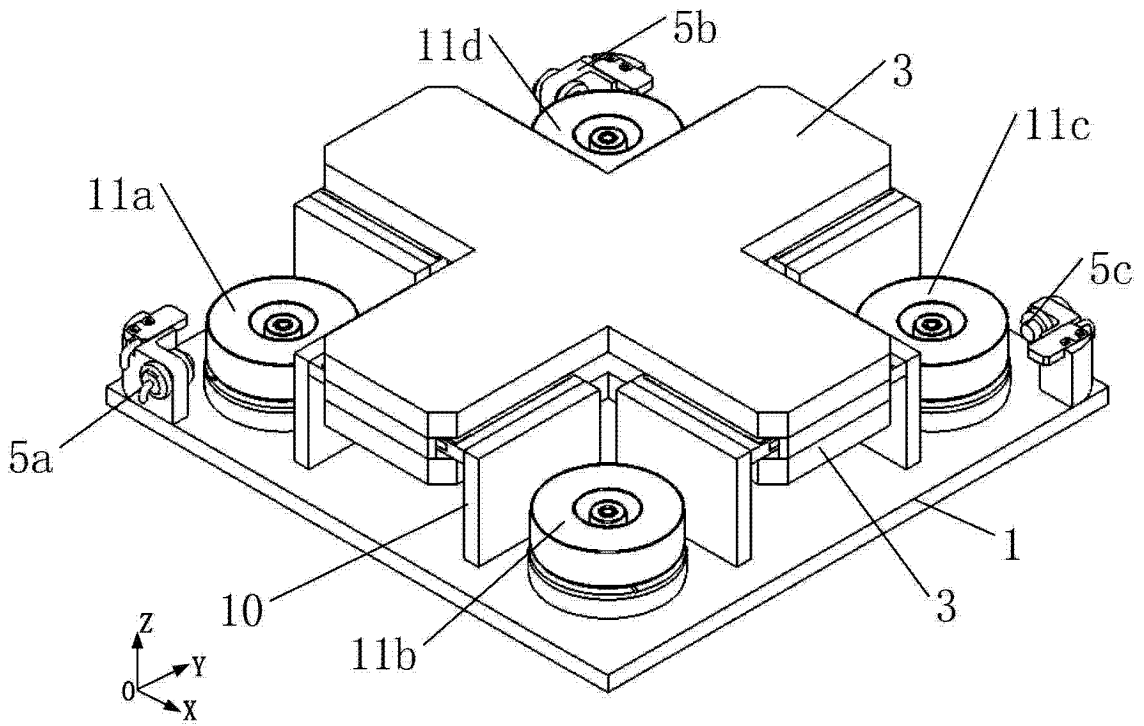


图 2

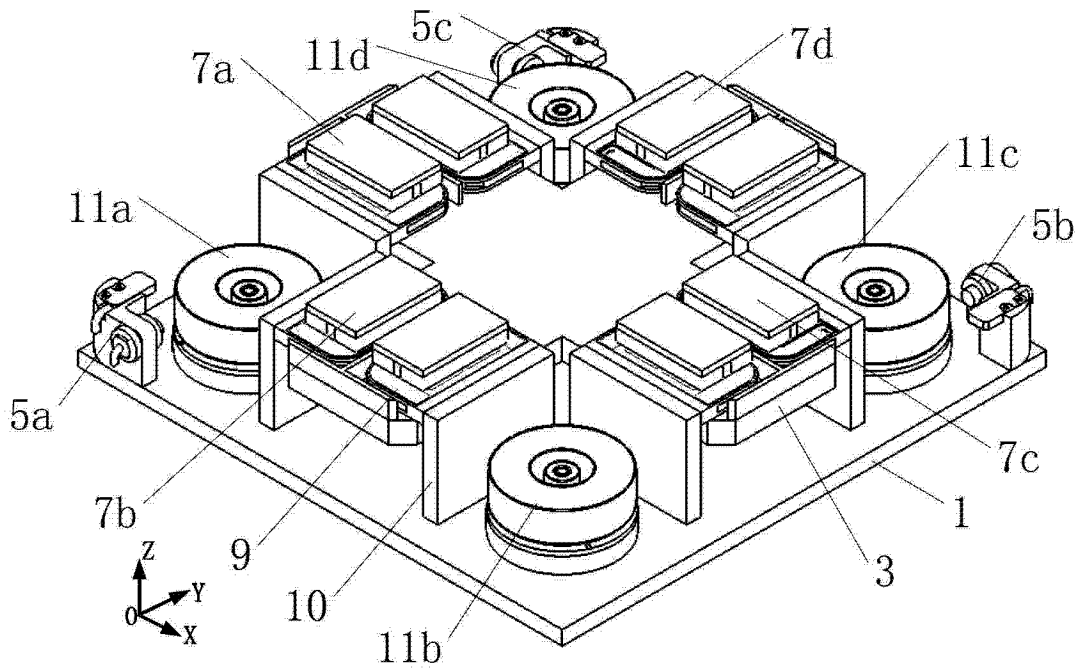


图 3

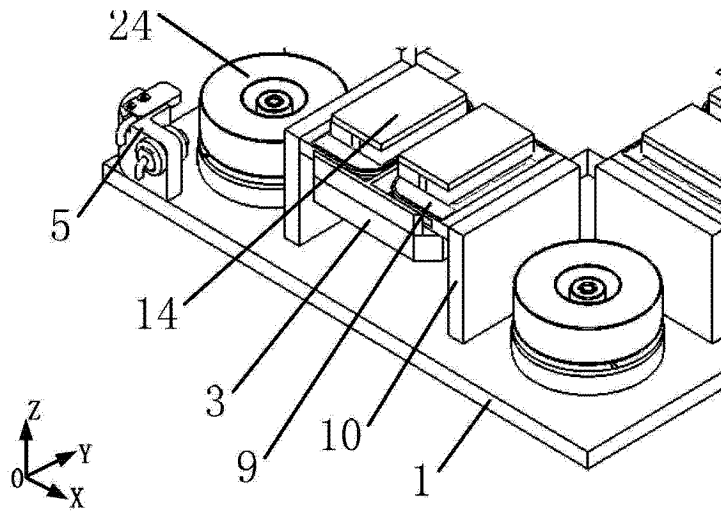


图 4

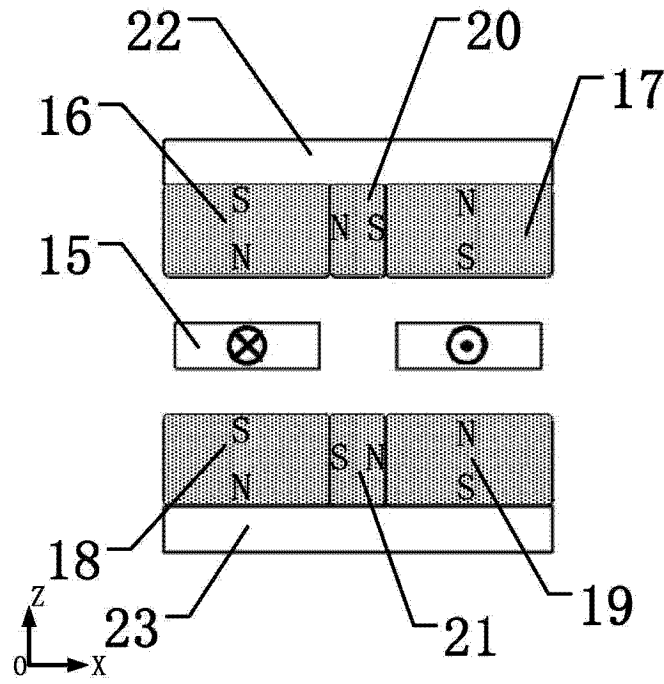


图 5

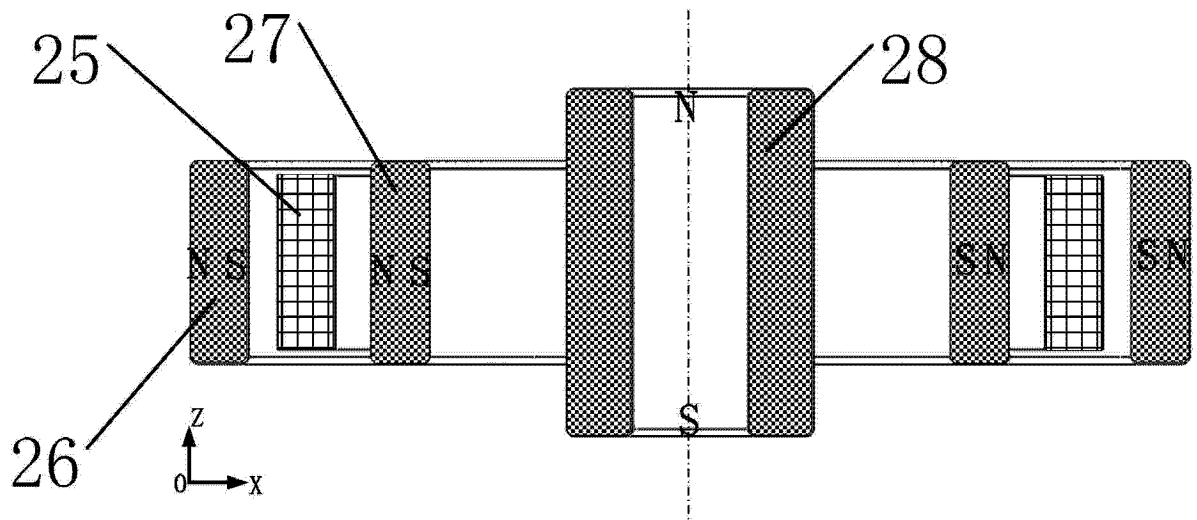


图 6

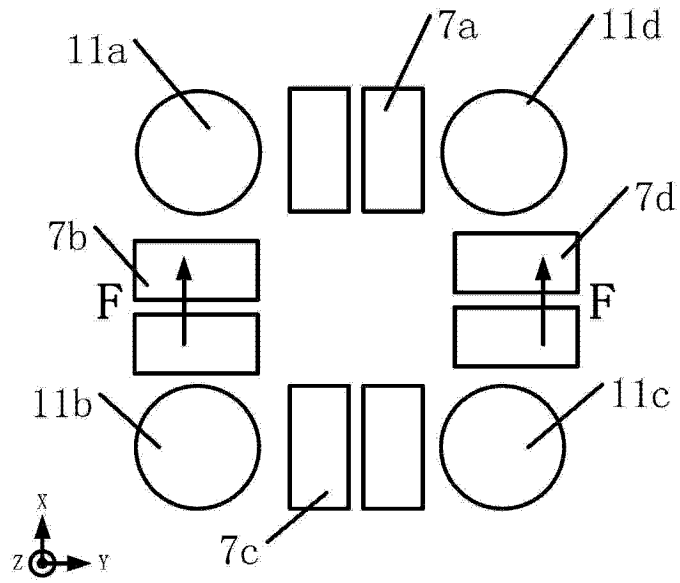


图 7

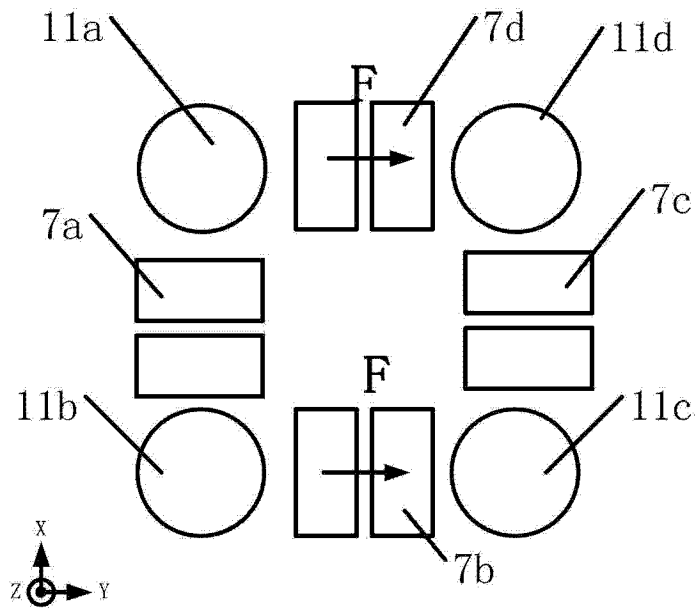


图 8

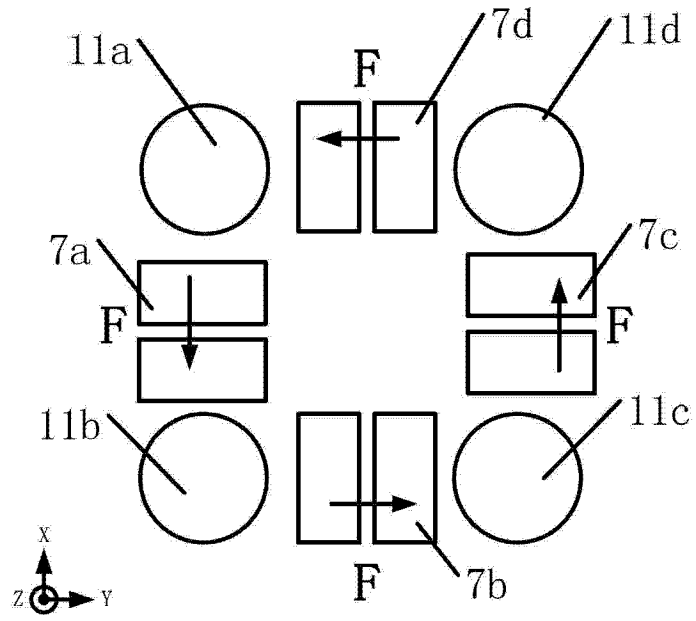


图 9

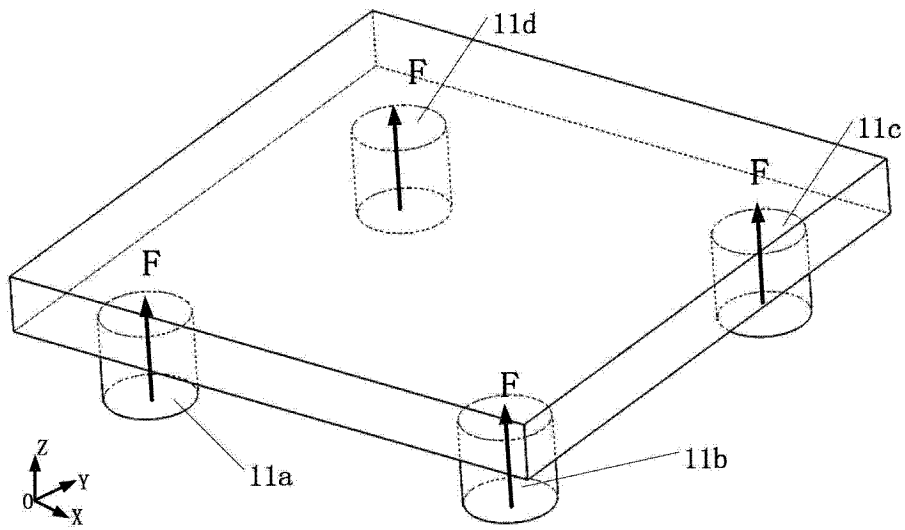


图 10

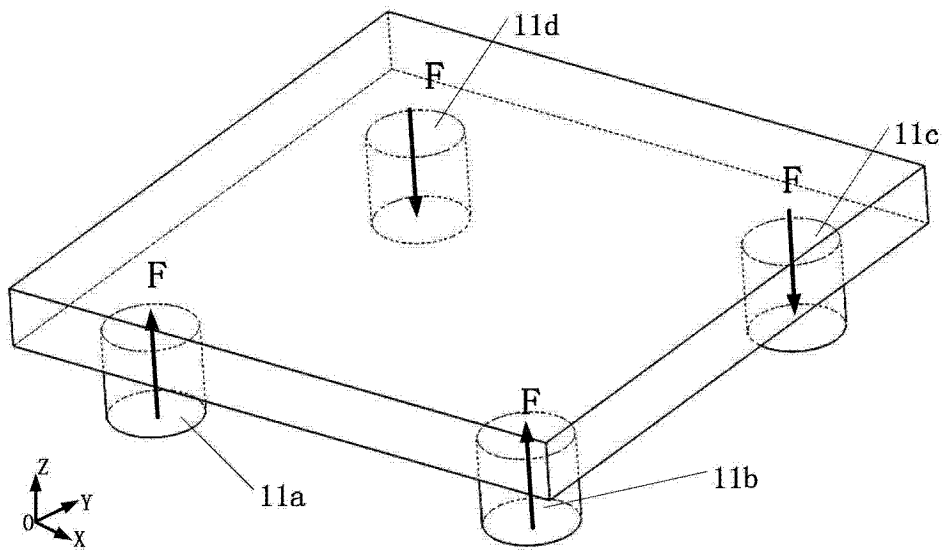


图 11

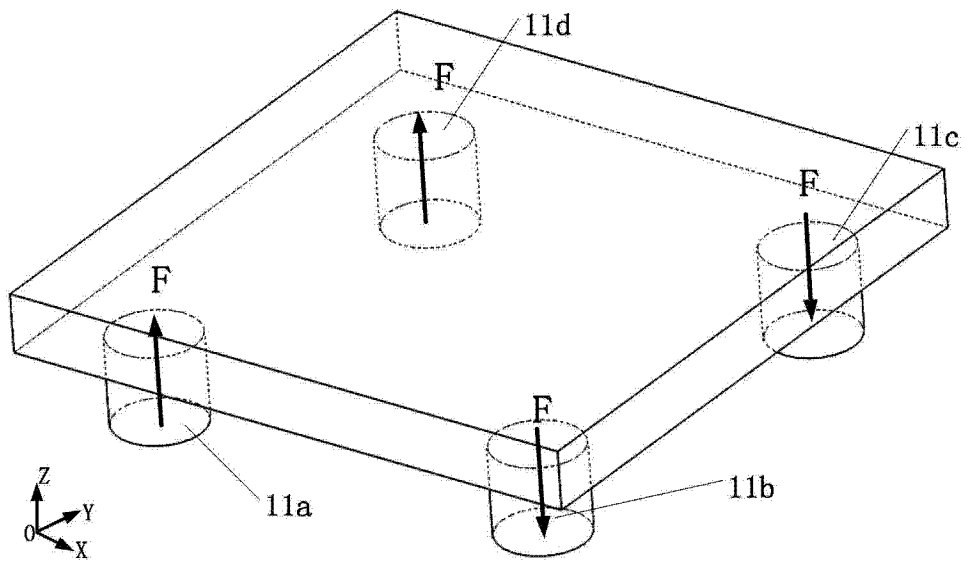


图 12