



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103062284 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201210571703. 0

0023-0034 段, 附图 1-3.

(22) 申请日 2012. 12. 19

审查员 李兴生

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 崔俊宁 谭久彬 王雷

(51) Int. Cl.

F16F 15/027(2006. 01)

F16C 32/06(2006. 01)

G03F 7/20(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102734379 A, 2012. 10. 17, 说明书第 0013-0022 段, 附图 1.

CN 1480787 A, 2004. 03. 10, 说明书第 29 页第 21 行 - 第 33 页第 2 行, 附图 4.

CN 102543217 A, 2012. 07. 04, 说明书第

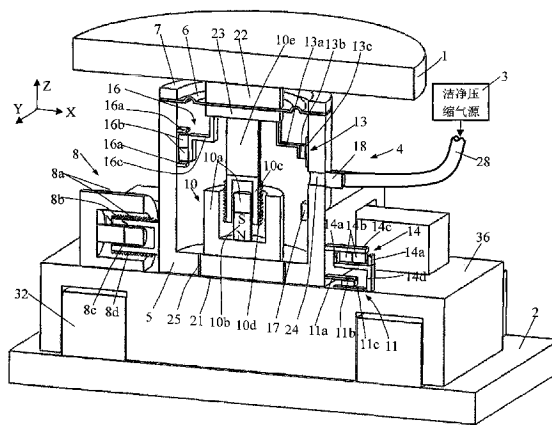
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器

(57) 摘要

双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器属于精密隔振技术领域, 隔振器主体的套筒与气浮板、气浮板与下安装板之间通过气浮面进行润滑与支撑, 上、下安装板之间的水平直线运动自由度通过双层正交气浮导轨进行解耦, 二者之间的角运动自由度通过柔性膜进行解耦, 音圈电机、位移传感器、限位开关和控制器、驱动器构成位置闭环反馈控制系统, 对上、下安装板的相对位置进行精确控制; 本发明具有三维零刚度、高定位精度、直线运动与角运动自由度充分解耦的特性, 可有效解决超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机中的高性能隔振问题。



1. 一种双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板(1)、下安装板(2)、洁净压缩气源(3)、气管(26)和隔振器主体(4)组成,隔振器主体(4)安装在上安装板(1)与下安装板(2)之间,洁净压缩气源(3)通过气管(26)与隔振器主体(4)连接,其特征在于:所述隔振器主体(4)的结构中,套筒(6)的下表面与气浮板(34)通过轴向承载平面气浮面(21)润滑与支撑,柔性膜(5)安装在套筒(6)的上端,并通过压圈(22)压紧与密封,压板装配体(7)的上压板(7a)与下压板(7b)同轴安装在柔性膜(5)的上、下表面,并夹紧柔性膜(5),上压板(7a)的上表面与上安装板(1)刚性连接,X向气浮导轨(29)的下表面与气浮板(34)刚性连接,套筒(6)与X向气浮导轨(29)通过X向导轨气浮面(31)润滑与导向,Y向气浮导轨(30)的下表面与下安装板(2)刚性连接,气浮板(34)与下安装板(2)通过Z向承载气浮面(33)润滑与支撑,气浮板(34)与Y向气浮导轨(30)通过Y向导轨气浮面(32)润滑与导向;Z向音圈电机(10)、Z向位移传感器(13)与Z向限位开关(16)安装在压板装配体(7)与套筒(6)之间,X向音圈电机(8)、X向位移传感器(11)、X向限位开关(14)安装在套筒(6)与气浮板(34)之间,Y向音圈电机(9)、Y向位移传感器(12)、Y向限位开关(15)安装在气浮板(34)与下安装板(2)之间,Z向音圈电机(10)的驱动力方向为竖直方向,X向音圈电机(8)与Y向音圈电机(9)的驱动力方向在水平面内且相互垂直,X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)和X、Y、Z向限位开关(14、15、16)的作用线方向与X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)的驱动力方向一致;X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)和X、Y、Z向限位开关(14、15、16)分别与控制器(19)的信号输入端连接,控制器(19)的信号输出端与驱动器(20)的信号输入端连接,驱动器(20)的信号输出端分别与X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)连接。

2. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述套筒(6)内设有气体压力传感器(17),套筒(6)上设有进气口(23)和电磁阀(18),气体压力传感器(17)与控制器(19)的信号输入端连接,控制器(19)的信号输出端与驱动器(20)的信号输入端连接,驱动器(20)的信号输出端与电磁阀(18)连接。

3. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

4. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X向气浮导轨(29)和Y向气浮导轨(30)为单导轨结构或双导轨结构。

5. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

6. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向限位开关(14、15、16)为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

7. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述柔性膜(5)为橡胶膜。

8. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述套筒(6)内气体压力为0.1MPa~0.8MPa。

9. 根据权利要求1所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述轴向承载平面气浮面(21)、X向导轨气浮面(31)、Y向导轨气浮面(32)和Z向

承载气浮面 (33) 的气膜厚度为 $10\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$ 。

10. 根据权利要求 1 所述的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器, 其特征在于: 所述套筒 (6) 上的平面气浮面节流孔 (24) 的直径为 $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 1\text{mm}$ 。

双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器

技术领域

[0001] 本发明属于精密隔振技术领域,主要涉及一种双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器。

背景技术

[0002] 随着超精密加工与测量精度的不断提高,环境振动成为制约超精密加工装备与测量仪器精度和性能提高的重要因素。尤其是步进扫描光刻机为代表的超大规模集成电路加工装备,技术密集度与复杂度极高,关键技术指标均达到了现有技术的极限,代表了超精密加工装备的最高水平,超精密隔振成为此类装备中的核心关键技术;步进扫描光刻机的线宽已达到 22nm 及以下,硅片定位精度与套刻精度均达到几纳米,而工件台运动速度达到 1m/s 以上,工件台加速度达到重力加速度的几十倍,这对现有的隔振技术提出了新的挑战。首先,光刻机需要为计量系统与光刻物镜提供“超静”的工作环境,同时又需要驱动工件台以高速度与高加速度运动,这对隔振系统的隔振性能提出了极其苛刻的要求,其三个方向的固有频率均需要达到 1Hz 以下;其次,光刻机各部件之间的相对位置,例如光刻物镜与硅片表面的距离,均具有非常严格的要求,且处于位置闭环反馈控制系统的控制之下,要求隔振器上、下安装板之间的相对位置精度达到 10 μ m 量级,传统隔振器的定位精度远远不能满足要求。

[0003] 根据隔振理论,被动式隔振器的固有频率与刚度成正比、与负载质量成反比,因此在负载质量一定的前提下,降低隔振器的刚度是降低固有频率、提高低频与超低频隔振性能的有效途径。传统空气弹簧等形式的隔振器存在静态承载能力与刚度的固有矛盾,同时受材料特性、结构刚度等因素制约,要进一步降低其刚度、尤其是水平向刚度十分困难。针对这一问题,研究人员将“摆”式结构引入到空气弹簧隔振器中,达到降低隔振器水平刚度的目的(1.Nikon Corporation.Vibration Isolator With Low Lateral Stiffness.美国专利公开号:US20040065517A1;2.U.S.Philips Corporation.Positioning Device with a Force Actuator System for Compensating Center-of-gravity Displacements, and Lithographic Device Provided with Such A Positioning Device.美国专利号:US005844664A)。该方法能够在一定程度上降低空气弹簧隔振器的水平刚度,提升其低频隔振性能。该方法存在的问题在于:1)受材料特性与结构刚度制约,隔振器垂向与水平向刚度降低的幅度有限;2)空气弹簧隔振器的垂向与水平向定位精度均很差,无法满足光刻工艺的要求;3)要达到较低的水平刚度需要较大的摆长,导致隔振器高度过大,容易发生弦膜共振,稳定性差。

[0004] 通过对现有空气弹簧隔振器技术方案的分析可见,现有空气弹簧隔振器难以满足光刻机对超低刚度与高定位精度的要求。德国 IDE 公司提出了一种摒弃传统橡胶空气弹簧的隔振器技术方案(1.Integrated Dynamics Engineering GmbH.Isolatorgeometrie Eines Schwingungs isolationssystem.欧洲专利号:EP1803965A2;2.Integrated Dynamics Engineering GmbH.Schwingungs isolationssystem Mit Pneumatischem

Tiefpassfilter. 欧洲专利号 :EP1803970A2 ;3. Integrated Dynamics Engineering GmbH. Air Bearing with Consideration of High-Frequency Resonances. 美国专利公开号 :US20080193061A1)。该方案采用垂向与水平向气浮面对各方向的振动进行解耦与隔振,可以达到极低的刚度与固有频率。该方案存在的问题在于 :1) 已公开技术方案中,隔振器无法实现精确定位 ;2) 专利 EP1803965A2 中,上、下安装板之间不存在绕水平轴旋转的角运动自由度,该方向的角刚度与固有频率都很高 ;专利 EP1803970A2 与 US20080193061A1 采用橡胶块为上、下安装板提供绕水平轴旋转的角运动自由度,但由于橡胶块角刚度很大,无法有效地进行角运动自由度解耦,角运动自由度解耦机构部件之间存在摩擦力而引入附加刚度,制约隔振性能。

[0005] 荷兰 ASML 公司也提出了类似的隔振器技术方案 (1. U. S. Philips Corp, ASM Lithography B. V. Pneumatic Support Device with A Controlled Gas Supply, and Lithographic Device Provided with Such A Support Device. 美国专利号 :US006144442A ;2. Koninklijke Philips Electronics N. V., ASM Lithography B. V. Lithographic Pneumatic Support Device with Controlled Gas Supply. 国际专利公开号 :W099/22272 ;3. ASML Netherlands B. V. Support Device, Lithographic Apparatus, and Device Manufacturing Method Employing A Supporting Device, and A Position Control System Arranged for Use in A Supporting Device. 美国专利号 :US007084956B2 ;4. ASML Netherlands B. V. Support Device, Lithographic Apparatus, and Device Manufacturing Method Employing A Supporting Device and A Position Control System Arranged for Use in A Supporting Device. 欧洲专利号 :EP1486825A1)。专利 US006144442A 与 W099/22272 中对气源压力进行闭环反馈控制,达到提高隔振器的稳定性与性能的目的 ;专利 US007084956B2 与 EP1486825A1 中在上安装板上设有振动传感器,同时引入参考振动系统,通过控制算法提升隔振器的隔振性能。但所提出技术方案仍然没有解决隔振器的精确定位与上、下安装板的角运动自由度解耦问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机等超大规模集成电路加工装备对隔振器低固有频率、高定位精度的迫切要求,提供一种双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,隔振器具有三维超低刚度、超低固有频率,上、下安装板之间能够进行精确定位及三维直线运动自由度、角运动自由度的充分解耦,可有效解决超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机中的精密隔振问题。

[0007] 本发明的技术解决方案是 :

[0008] 一种双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板、下安装板、洁净压缩气源、气管和隔振器主体组成,隔振器主体安装在上安装板与下安装板之间,洁净压缩气源通过气管与隔振器主体连接,所述隔振器主体的结构中,套筒的下表面与气浮板通过轴向承载平面气浮面润滑与支撑,柔性膜安装在套筒的上端,并通过压圈压紧与密封,压板装配体的上压板与下压板同轴安装在柔性膜的上、下表面,并夹紧柔性膜,上压板的上表面与上安装板刚性连接,X 向气浮导轨的下表面与气浮板刚性连接,套筒与 X 向气浮导轨通过 X 向导轨气浮面润滑与导向,Y 向气浮导轨的下表面与下安装板刚性连接,气浮

板与下安装板通过 Z 向承载气浮面润滑与支撑,气浮板与 Y 向气浮导轨通过 Y 向导轨气浮面润滑与导向;Z 向音圈电机、Z 向位移传感器与 Z 向限位开关安装在压板装配体与套筒之间,X 向音圈电机、X 向位移传感器、X 向限位开关安装在套筒与气浮板之间,Y 向音圈电机、Y 向位移传感器、Y 向限位开关安装在气浮板与下安装板之间,Z 向音圈电机的驱动力方向为竖直方向,X 向音圈电机与 Y 向音圈电机的驱动力方向在水平面内且相互垂直,X、Y、Z 向位移传感器和 X、Y、Z 向限位开关的作用线方向与 X、Y、Z 向音圈电机的驱动力方向一致;X、Y、Z 向位移传感器和 X、Y、Z 向限位开关分别与控制器的信号输入端连接,控制器的信号输出端与驱动器的信号输入端连接,驱动器的信号输出端分别与 X、Y、Z 向音圈电机连接。

[0009] 所述套筒内设有气体压力传感器,套筒上设有进气口和电磁阀,气体压力传感器与控制器的信号输入端连接,控制器的信号输出端与驱动器的信号输入端连接,驱动器的信号输出端与电磁阀连接。

[0010] 所述 X、Y、Z 向音圈电机为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

[0011] 所述 X 向气浮导轨和 Y 向气浮导轨为单导轨结构或双导轨结构。

[0012] 所述 X、Y、Z 向位移传感器为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

[0013] 所述 X、Y、Z 向限位开关为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

[0014] 所述柔性膜为橡胶膜。

[0015] 所述套筒内气体压力为 0.1MPa ~ 0.8MPa。

[0016] 所述轴向承载平面气浮面、X 向导轨气浮面、Y 向导轨气浮面和 Z 向承载气浮面的气膜厚度为 10 μm ~ 20 μm。

[0017] 所述套筒上的平面气浮面节流孔的直径为 $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 1\text{mm}$ 。

[0018] 本发明的技术创新性及产生的良好效果在于:

[0019] (1) 本发明采用轴向承载平面气浮面对水平向振动进行隔离,气浮面无摩擦、刚度近似为零,可使隔振器获得水平方向近似零刚度特性和突出的超低频隔振性能,解决了现有技术受结构刚度、材料特性限制,隔振器水平刚度难以进一步降低,刚度与稳定性不能兼顾的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之一。

[0020] (2) 本发明采用位移传感器、限位开关、控制器、驱动器与音圈电机等构成竖直方向与水平方向的位置闭环反馈控制系统,对上、下安装板之间的相对位置进行精确控制,定位精度可达到 10 μm 级及以上,可有效解决现有技术方案定位精度低、定位精度与刚度、隔振性能不能兼顾的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之二。

[0021] (3) 本发明采用双层正交气浮导轨对隔振器上、下安装板之间的水平直线运动自由度进行解耦,气浮导轨无摩擦与磨损,不引入附加刚度,解耦效果好,可使隔振器获得高定位精度与水平方向零刚度特性;采用柔性膜对角运动自由度进行解耦,引入附加角刚度较小,可有效解决现有采用弹性体解耦的技术方案引入较大附加刚度的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之三。

[0022] (4) 本发明采用气体压力传感器、电磁阀与控制器、驱动器构成压力闭环反馈控制系统,精确控制套筒内的气体压力使之保持恒定,对隔振器的轴向载荷进行重力平衡与补偿,柔性膜在平衡位置附近刚度近似为零,承载负载重力的上、下压板与上安装板可以超低刚度上下滑动,从而实现理想的重力补偿与零刚度隔振效果。这是本发明区别于现有技术的创新点之四。

[0023] (5) 本发明采用主动执行器对上、下安装板之间的相对位置进行主动控制,隔振器参数可根据被隔振对象特点与工作环境变化实时调节,从而适应不同的工况,具有较好的灵活性、适应性与稳定性。这是本发明区别于现有技术的创新点之五。

附图说明

[0024] 图 1 为拆除上安装板后的双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器的结构示意图;

[0025] 图 2 为双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器的剖面结构示意图;

[0026] 图 3 为轴向承载平面气浮面、X 向导轨气浮面的示意图;

[0027] 图 4 为 Y 向导轨气浮面和 Z 向承载气浮面的示意图;

[0028] 图 5 为套筒结构示意图;

[0029] 图 6 为双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器的控制结构框图;

[0030] 图 7 为套筒上平面气浮面节流孔的示意图。

[0031] 图中件号说明:1 上安装板、2 下安装板、3 洁净压缩气源、4 隔振器主体、5 柔性膜、6 套筒、7 压板装配体、7a 上压板、7b 下压板、8X 向音圈电机、8a X 向电机铁轭、8b X 向电机磁钢、8c X 向电机线圈骨架、8d X 向电机线圈、9Y 向音圈电机、10Z 向音圈电机、10a Z 向电机铁轭、10bZ 向电机磁钢、10cZ 向电机线圈骨架、10dZ 向电机线圈、10eZ 向电机过渡件、11X 向位移传感器、11a X 向光栅读数头过渡件、11b X 向光栅读数头、11c X 向玻璃光栅尺、12Y 向位移传感器、13Z 向位移传感器、13a Z 向光栅读数头过渡件、13b Z 向光栅读数头、13c Z 向玻璃光栅尺、14X 向限位开关、14a X 向限位块、14b X 向霍尔开关、14c X 向限位开关过渡件、14dX 向限位块过渡件、15Y 向限位开关、16Z 向限位开关、16aZ 向限位块、16b Z 向霍尔开关、16c Z 向限位开关过渡件、17 气体压力传感器、18 电磁阀、19 控制器、20 驱动器、21 轴向承载平面气浮面、22 压圈、23 进气口、24 平面气浮面节流孔、26 气管、29X 向气浮导轨、30Y 向气浮导轨、31X 向导轨气浮面、32Y 向导轨气浮面、33Z 向承载气浮面、34 气浮板。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图给出本发明的具体实施例。

[0033] 一种双层气浮正交解耦与柔性膜角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板 1、下安装板 2、洁净压缩气源 3、气管 26 和隔振器主体 4 组成,隔振器主体 4 安装在上安装板 1 与下安装板 2 之间,洁净压缩气源 3 通过气管 26 与隔振器主体 4 连接,所述隔振器主体 4 的结构中,套筒 6 的下表面与气浮板 34 通过轴向承载平面气浮面 21 润滑与支撑,柔性膜 5 安装在套筒 6 的上端,并通过压圈 22 压紧与密封,压板装配体 7 的上压板 7a 与下压板 7b 同轴安装在柔性膜 5 的上、下表面,并夹紧柔性膜 5,上压板 7a 的上表面与上安装板 1 刚性连接,X 向气浮导轨 29 的下表面与气浮板 34 刚性连接,套筒 6 与 X 向气浮导轨 29 通过 X 向导轨气浮面 31 润滑与导向,Y 向气浮导轨 30 的下表面与下安装板 2 刚性连接,气浮板 34 与下安装板 2 通过 Z 向承载气浮面 33 润滑与支撑,气浮板 34 与 Y 向气浮导轨 30 通过 Y 向导轨气浮面 32 润滑与导向;Z 向音圈电机 10、Z 向位移传感器 13 与 Z 向限位开关 16 安装在压板装配体 7 与套筒 6 之间,X 向音圈电机 8、X 向位移传感器 11、X 向限位开关 14 安装在套筒 6 与气浮板 34 之间,Y 向音圈电机 9、Y 向位移传感器 12、Y 向限位开关 15 安装在气浮板

34 与下安装板 2 之间, Z 向音圈电机 10 的驱动力方向为竖直方向, X 向音圈电机 8 与 Y 向音圈电机 9 的驱动力方向在水平面内且相互垂直, X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 的作用线方向与 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 的驱动力方向一致; X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 分别与控制器 19 的信号输入端连接, 控制器 19 的信号输出端与驱动器 20 的信号输入端连接, 驱动器 20 的信号输出端分别与 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 连接。

[0034] X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 对 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 输出的位移进行测量, X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 对 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 运动的行程进行限制; 控制器 19 根据 X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 的反馈信号, 控制 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 对上、下安装板 1、2 之间的相对位置进行精确控制。

[0035] 所述套筒 6 内设有气体压力传感器 17, 套筒 6 上设有进气口 23 和电磁阀 18, 气体压力传感器 17 与控制器 19 的信号输入端连接, 控制器 19 的信号输出端与驱动器 20 的信号输入端连接, 驱动器 20 的信号输出端与电磁阀 18 连接。

[0036] 所述 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

[0037] 所述 X 向气浮导轨 29 和 Y 向气浮导轨 30 为单导轨结构或双导轨结构。

[0038] 所述 X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

[0039] 所述 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

[0040] 所述柔性膜 5 为橡胶膜。

[0041] 所述套筒 6 内气体压力为 0.1MPa ~ 0.8MPa。

[0042] 所述轴向承载平面气浮面 21、X 向导轨气浮面 31、Y 向导轨气浮面 32 和 Z 向承载气浮面 33 的气膜厚度为 10 μm ~ 20 μm。

[0043] 所述套筒 6 上的平面气浮面节流孔 24 的直径为 $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 1\text{mm}$ 。

[0044] 下面结合图 1 ~ 图 6 给出本发明的一个实施例。本实施例中, 隔振器工作时, 下安装板 2 安装在地基、仪器的基座或基础框架上, 上安装板 1 与被隔振的负载连接。X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 均采用圆筒型音圈电机。以 X 向音圈电机 8 为例, 其主要包括 X 向电机铁轭 8a、X 向电机磁钢 8b、X 向电机线圈骨架 8c、X 向电机线圈 8d。X 向电机铁轭 8a 和 X 向电机线圈骨架 8c 为圆筒形, X 向电机磁钢 8b 为圆柱形, X 向电机线圈 8d 绕于线圈骨架 8c 上。X 向电机铁轭 8a 和 X 向电机磁钢 8b 构成电机的定子, X 向电机线圈骨架 8c 和 X 向电机线圈 8d 构成电机的动子。Z 向音圈电机 10 中, Z 向电机过渡件 10e 提供 Z 向电机线圈骨架 10c 的安装结构。电机工作时线圈中通以电流, 根据电磁理论, 通电线圈在磁场中会受到音圈力作用, 通过控制电流的大小和方向可以控制电机输出驱动力的大小和方向。

[0045] 本实施例中, 柔性膜 5、压圈 22 与套筒 6 的安装方式为: 在套筒 6 上沿圆周方向加工螺纹孔, 在压圈 22、柔性膜 5 上沿圆周方向加工通孔, 采用螺钉将压圈 22 压紧柔性膜 5 装配于套筒 6 上, 利用柔性膜 5 材料的弹性起到密封的作用。上压板 7a、下压板 7b 与柔性膜 5 的安装方式与之类似。

[0046] X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 采用光栅尺。以 Z 向位移传感器 13 为例, 其主要包括 Z 向光栅读数头过渡件 13a、Z 向光栅读数头 13b 和 Z 向玻璃光栅尺 13c 等部件, Z 向光栅读数头过渡件 13a 提供 Z 向光栅读数头 13b 的安装结构。光栅尺工作时, Z 向光栅读

数头 13b 能够将其与 Z 向玻璃光栅尺 13c 的相对位移检测出来,并通过信号导线送给控制器 19。

[0047] X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 采用霍尔式限位开关。以 Z 向限位开关 16 为例,其主要包括 Z 向限位块 16a、Z 向霍尔开关 16b 和 Z 向限位开关过渡件 16c 等部件。两个 Z 向霍尔开关 16b 背靠背安装,两个 Z 向限位块 16a 为金属材料,与 Z 向霍尔开关 16b 的敏感端相对安装。Z 向限位开关过渡件 16c 提供 Z 向霍尔开关 16b 的安装结构。限位开关工作时,当 Z 向霍尔开关 16b 接近 Z 向限位块 16a 时,Z 向霍尔开关 16b 给出限位信号,并通过信号导线送给控制器 19。

[0048] 本实施例中,Z 向音圈电机 10、Z 向位移传感器 13 和 Z 向限位开关 16 均安装在套筒 6 的内部。

[0049] 隔振器对负载的承载采用如下方式实现:洁净压缩气源 3 通过气管 26、经电磁阀 18、进气口 23 向套筒 6 内输送洁净压缩空气。控制器 19 根据气体压力传感器 17 的反馈信号,控制电磁阀 18 的开度,调节输入到套筒 6 内的气体流量,从而调节套筒 6 内洁净压缩空气的压力,使洁净压缩空气对压板装配体 7 和柔性膜 5 向上的作用力与负载及压板装配体 7 的重力、加载于压板装配体 7 上的其它零部件的重力相平衡。在柔性膜 5 的平衡位置,柔性膜 5 的垂向刚度近似为零,而横向刚度相对于轴向承载气浮面 21 的横向刚度则非常大。因此,套筒 6 可在柔性膜 5 的平衡位置附近以近似零刚度沿竖直方向上下移动,从而具有突出的超低频隔振性能。

[0050] 本实施例中,套筒 6 内洁净压缩空气的压强为 0.4MPa,下压板 7b 和柔性膜 5 下表面的有效半径为 100mm,则单个隔振器承载的质量为: $m = p \times \pi r^2 / g \approx 1282\text{kg}$,其中 p 为气体压强, $p = 0.4\text{MPa}$,r 为下压板 7b 和柔性膜 5 下表面的有效半径, $r = 100\text{mm}$,g 为重力加速度, $g = 9.8\text{m/s}^2$ 。

[0051] 图 7 给出套筒上平面气浮面节流孔的一个实施例。本实施例中,套筒 6 下表面围绕圆心沿圆周方向均布 8 个平面气浮面节流孔 24,直径为 $\phi 0.2\text{mm}$ 。

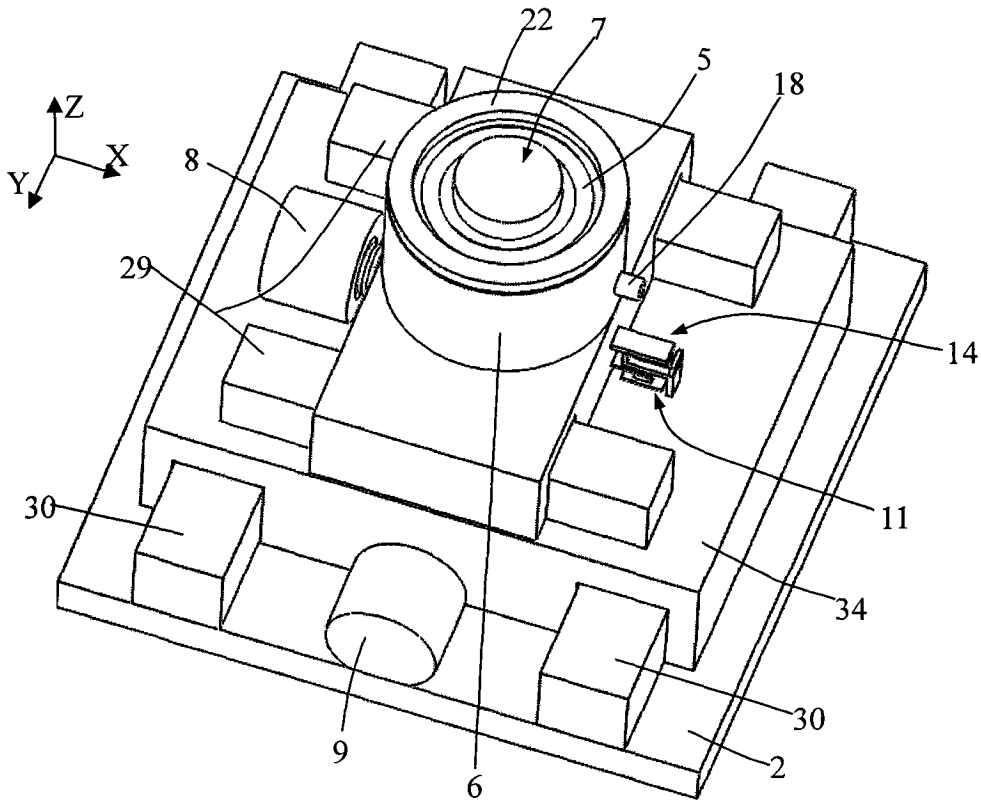


图 1

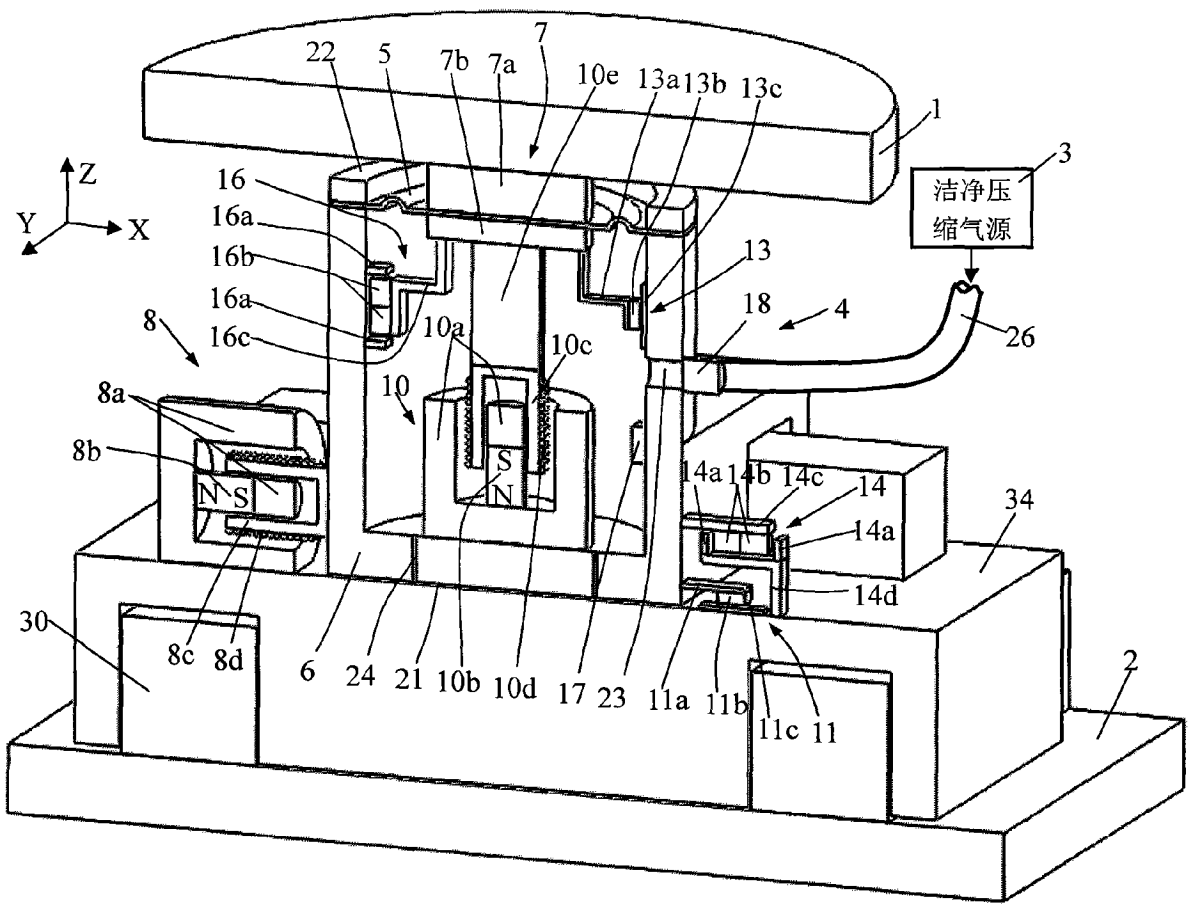


图 2

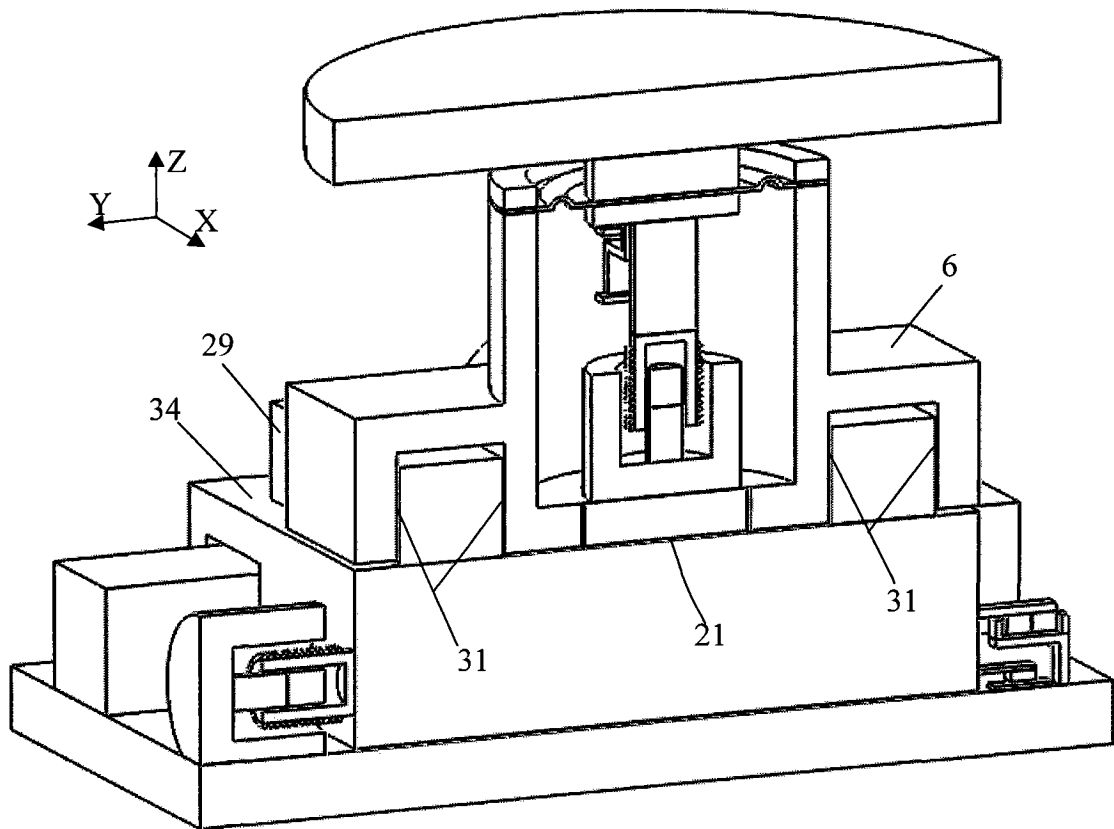


图 3

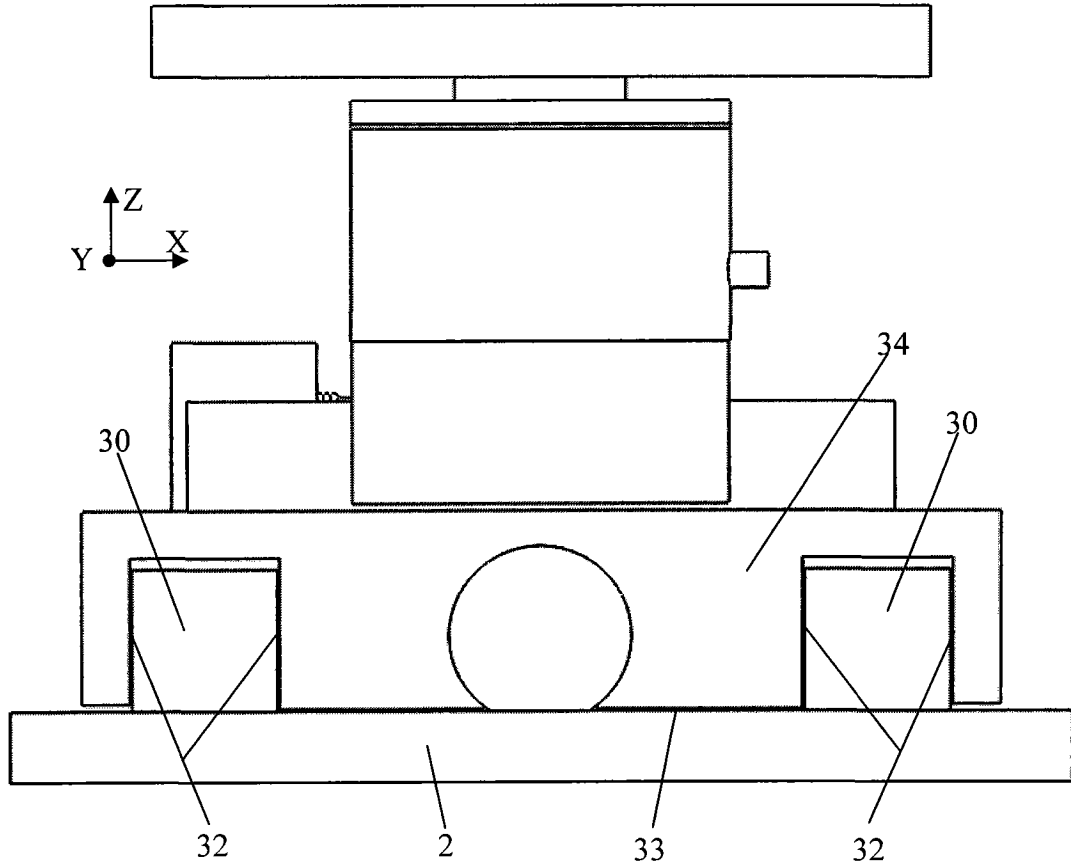


图 4

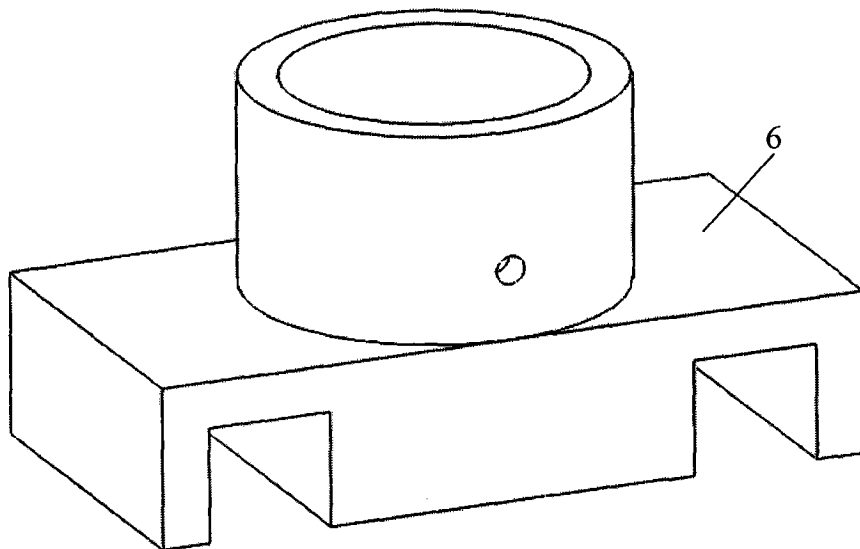


图 5

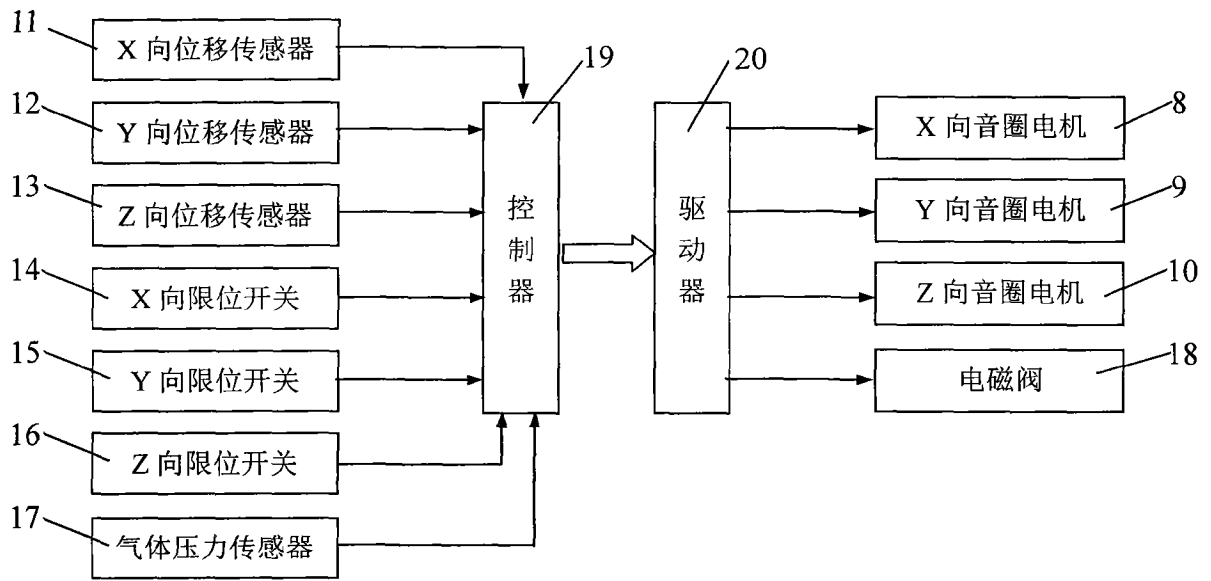


图 6

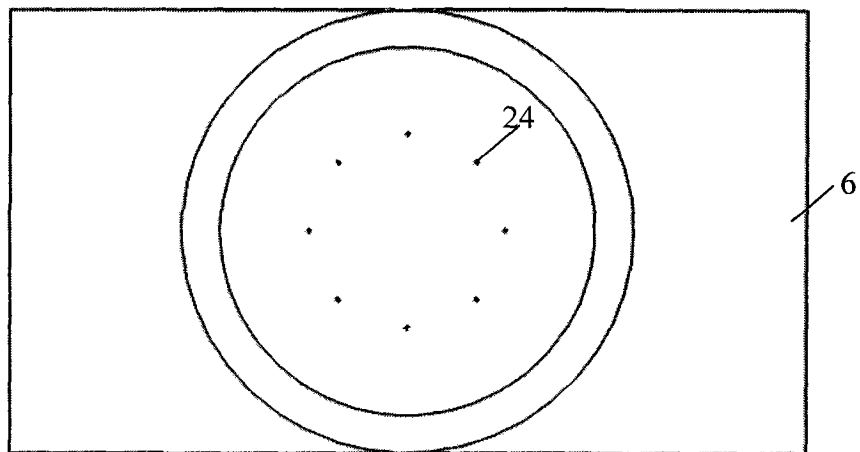


图 7