



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101900952 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 23

(21) 申请号 201010242033. 9

(22) 申请日 2010. 08. 02

(73) 专利权人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路
932 号

(72) 发明人 段吉安 周海波 郭宁平

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所
43114

代理人 黄美成

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

审查员 安晶

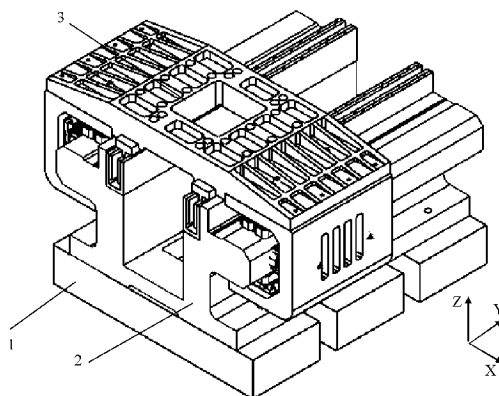
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台

(57) 摘要

本发明提出一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台, 主要由精密导轨、基座、悬浮体等组成。悬浮体内安装有电磁铁, 结合涡流位移传感器, 实现悬浮体稳定悬浮在导轨上方; 直线电机定子固定在基座上, 直线电机转子固定在悬浮体上, 导轨面上设有光栅尺, 结合安装在悬浮体上的光栅尺读数头, 实现悬浮体精密直线定位运动。本发明所提出的磁悬浮光刻机掩模台利用电磁吸力、电磁直线驱动使光刻机掩模台完成无机械接触式的往返精密快速直线定位运动, 可以实现使用旋转伺服电机驱动、精密滚珠丝杆传动和滑动导轨支撑的传统方案所无法实现的超洁净、高速度、大行程、精密定位运动等功能, 具有比气悬浮光刻机掩模台更大的悬浮刚度和更好的承载特性。



1. 一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,其特征在于,导轨固设在基座上,在悬浮体的竖直方向和沿导轨的水平方向均设有电磁铁,悬浮体上设有用于检测悬浮体各方向运动状态的涡流位移传感器;悬浮体在电磁铁驱动力、涡流位移传感器反馈作用下稳定悬浮于导轨的上方;直线电机的定子沿导轨方向固定在基座上,直线电机的动子固定在悬浮体上,定子与动子之间无机械接触;在导轨面上设有光栅尺,在悬浮体上设有光栅尺读数头;

悬浮体包括直板式的连接件、C形结构的左支板和C形结构的右支板,左支板和右支板相向设置在连接件的左右两个侧边上;

导轨采用五面型结构;

在悬浮体竖直方向上设置的电磁铁为U型电磁铁,共4对,在悬浮体水平方向上设置的电磁铁为E型电磁铁,共2对;

采用双电机驱动模式,直线电机为2台,光栅尺及其读数头均为2套;涡流位移传感器为6个,其中4个涡流位移传感器安装在悬浮体的上表面上的电磁铁附近,另外2个涡流位移传感器安放在悬浮体的侧面电磁铁附近。

2. 根据权利要求1所述的采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,其特征在于:电磁铁的铁芯采用叠片式硅钢片结构,在铁芯上布置有冷却管。

3. 根据权利要求1所述的采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,其特征在于,连接件和C形支板设置多个盲孔或通孔、凹槽,连接件中心设置有用光刻掩模过程中光学系统透光的方孔。

4. 根据权利要求1所述的采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,其特征在于,每一对电磁铁的励磁都采用差动控制模式;每一个电磁对中的一个电磁铁以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之和励磁,而另一个电磁铁则以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之差励磁。

一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台

技术领域

[0001] 本发明属于超精密加工和检测设备技术领域,涉及一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,该掩模台主要应用于半导体光刻机中。

技术背景

[0002] 光刻机技术是微细加工领域应用最多最广的技术、是集成电路制造领域的核心技术。光刻机机械结构系统包括工作台、掩模台、基座、支架、物镜及测量系统的安装平台、减振装置,其中掩模台的运动速度决定了光刻机的生产效率,掩模台的定位精度决定了光刻机的曝光精度,具有六轴高精度定位、大行程直线往返运动的掩模台是光刻机最重要的部件之一。

[0003] 掩模台的基本功能是掩模装夹、扫描对准精密定位、调平及高度微调、掩模硅片同步扫描以及协助掩模上下片。为保证光刻机的光刻精度,就要求掩模台具有极高的运动定位精度。常规的定位方案采用旋转伺服电机驱动、精密滚珠丝杆传动和滑动导轨支撑的机械刚性接触方式,这种方式存在摩擦磨损、产生金属粉尘,并需要润滑,而且在启动、加(减)速、反转和停车时,中间环节所产生的弹性变形、摩擦、联结间隙以及反向间隙等,会造成进给运动的滞后和非线性误差,各种连接间隙影响了定位精度。直线电机的出现克服了旋转电机加丝杆传动方式的缺点,大大提高了其进给性能,但摩擦所产生的金属粉尘依然不利于集成电路芯片的性能和质量的提高。近年来研究的气浮支撑方式虽然消除了摩擦,但由于气浮平台是利用控制空气通过气嘴加速流动,将对导轨产生冲击力,因而抗冲击能力低,同时气浮平台仅限于空气流动相对较小的空间中,外界的空气流动较大时会对其运动产生一定的影响,另外气浮的承载能力低、支撑刚度小,且不适合真空环境下工作也大大降低了其优势。而利用磁悬浮技术实现掩模台的精密运动由于具有上述传统方法无法比拟的优势而在近些年得到了广泛关注。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,可以实现使用旋转伺服电机驱动、精密滚珠丝杆传动和滑动导轨支撑的传统方案所无法实现超洁净、高速度、大行程、精密定位运动等功能。同时具有比气浮光刻机掩模台更大的支撑力、更好的承载特性、更大的悬浮刚度,并且适应真空环境下工作。

[0005] 本发明的技术解决方案如下:

[0006] 一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台,主要由精密导轨、基座、悬浮体等组成。导轨固设在基座上,在悬浮体的竖直方向和沿导轨的水平方向共设有六对电磁铁,竖直方向四对,水平方向两对;悬浮体上设有用于检测悬浮体各方向运动状态的涡流位移传感器,悬浮体在电磁铁驱动力、涡流位移传感器反馈作用下稳定悬浮于导轨的上方;直线电机的定子沿导轨方向固定在基座上,直线电机的动子固定在悬浮体上,定子与动子之间无机械接触,定子与动子间的电磁推力驱动悬浮体沿直线导轨做无接触的直线定位运动。在导轨的

导轨面上设有光栅尺,在悬浮体上设有光栅尺读数头,光栅尺及其读数头实时测量悬浮体沿导轨水平方向的位置,用于控制悬浮体的精密定位运动。

[0007] 悬浮体包括直板式的连接件、C形结构的左支板和C形结构的右支板,左支板和右支板相向通过高强度螺栓紧固连接在连接件的左右两个侧边上。电磁铁安装在C形结构的支板上,电磁力全部作用于C形支板上,有利于减小悬浮体的变形,连接件和C形支板对称设置很多盲孔或通孔、凹槽以减轻悬浮体重量,有利于布线兼顾美观,通过设置加强筋改变加强筋数量和厚度提高其刚度。连接件中心设置有正方形方孔以便掩模过程中光学系统透光。

[0008] 导轨采用五面型结构,既减少精加工表面,又减少重量。在基座设置停放悬浮体的支柱,其上平面比导轨平面高0.3mm,可以有效减小导轨因在不工作时承受上悬浮台重力而产生大变形。

[0009] 在悬浮体的竖直方向设置的电磁铁为U型电磁铁,共4对,水平方向设置的电磁铁为E型电磁铁,共2对。采用这种布局方式有效减小电磁铁之间的磁场耦合。电磁铁的铁芯采用叠片式硅钢片结构,以减小磁场涡流损耗。在铁芯上布置有冷却管,防止电磁铁长时间工作过热。每一对电磁铁的励磁都采用差动控制模式:每一个电磁对中的一个电磁铁以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之和励磁,而另一个电磁铁则以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之差励磁。

[0010] 直线电机为2台,直线电机的定子沿导轨方向固定在基座上,直线电机的动子固定在悬浮体上,驱动悬浮体沿导轨直线运动。涡流位移传感器为6个,其中4个涡流位移传感器安装在悬浮体的上表面上的电磁铁附近,另外2个涡流位移传感器安放在悬浮体侧面的电磁铁附近,用于实时反馈电磁铁的位移。光栅尺读数头和光栅尺均为2套,用于实时反馈悬浮体沿导轨直线运动的位移。

[0011] 本发明的技术构思如下:

[0012] 磁悬浮技术是一种非接触式、无摩擦的运动定位的典型的机电一体化高新技术。磁悬浮定位平台能通过电磁力有效控制,从而消除传统平台的摩擦问题,解决气浮平台承载能力低、悬浮刚度小的难题,具有无污染、噪声小、易维护、寿命长、速度快、精度高、运动行程大、平台刚度和承载能力好等优点。

[0013] 具体的,本发明所述光刻机掩模台主要由精密导轨、悬浮体、基座、直线电机、电磁铁及反馈控制系统等组成。直线电机定子固联于平台基座上,直线电机动子与悬浮体固联在一起。在悬浮体与其导轨面所对应的地方设有励磁线圈和位移传感器,当给电磁铁线圈通电时,电磁铁将产生电磁悬浮力,电磁铁采用差动控制方式,通过下电磁铁的电流大于上电磁铁中的电流,当电磁合力大于悬浮体的自重时,悬浮体开始悬浮,通过控制励磁线圈通电电流而改变电磁悬浮力以及位移传感器的实时反馈,悬浮体稳定悬浮于导轨上方。此时,安装于悬浮体上的直线电机动子与安装在导轨上的直线电机定子组成的双直线电机驱动悬浮体沿导轨方向移动,光栅尺和读数头组成的反馈系统可以实现光刻机掩模台的直线运动和精确定位。

[0014] 对悬浮体上的五个自由度施加控制力实现稳定悬浮,只保留沿导轨方向移动的自由度为进给方向。由精密导轨组成的工作平台具有六个自由度且能实现工作面的逐步调平调焦。磁悬浮掩模台中共有六对12块差动式电磁铁(其中四对在垂直方向,二对在水平方

向)。每对电磁铁与相应的导轨之间保持一定的间隙。其中,垂直方向的四对电磁铁与悬浮体通过螺栓连接,在平台快速步进时提供整个平台悬浮所需的磁力,在工作面需调平调焦时,分别改变四对电磁铁的通电电流,以改变各电磁铁的磁力,进而微调各自间隙大小,由此控制悬浮体沿 Z 轴的微动和绕 X、Y 轴的微小转动,达到精确调平调焦作用。导轨侧面两对电磁铁与悬浮体也是通过螺栓连接,在平台快速步进时提供机构所需要大小恒定的导向磁力,以保障步进时的运动直线性。同样,当改变其通电电流则可改变各自间隙大小,以实现工作平台水平微位移以及绕 Z 轴的微小转动。

[0015] 每一对电磁铁与导轨的间隙都由一个独立的涡流位移传感器实时测定,并将测定数据转换为数字信号来实时反馈控制间隙的大小,即控制悬浮体的位置。贴于导轨面上的光栅尺以及固联在悬浮体上的读数头所组成反馈系统实时检测直线电机的运动状态以控制电机的实现快速精密直线运动。

[0016] 电磁铁铁芯为叠片式硅钢片结构,导轨及基座选用球墨铸铁材料,其中与电磁铁相对应的导轨面均采用进行抛光加工并均质处理,以保证微米级的平面度和垂直度,以保证平台的高精度悬浮。同时对这些导轨面进行了专门的表面处理以增加硬度和耐磨性。

[0017] 本发明设有专门停放上悬浮台的支柱,以减小上悬浮台不工作时因自身重力产生的对导轨的压力而引起的大变形。

[0018] 有益效果:

[0019] 本发明的采用磁悬浮技术的光刻机掩模台采用以下主要技术手段实现本发明的各项功能:

[0020] 在悬浮体与导轨面所对应的地方设有励磁线圈和涡流位移传感器,通过励磁线圈通电所产生的悬浮力以及涡流位移传感器和控制器的实时反馈控制,悬浮体稳定悬浮于空中。此时,安装于上悬浮体上的直线电机定子与安装在导轨上的直线电机定子所组成的直线电机驱动悬浮体沿导轨方向移动。同时,通过光栅尺和读数头的实时反馈来实现直线电机的精密直线运动控制。

[0021] 悬浮体采用两块镁合金 C 形支板及一块铝合金直板式连接件通过高强度螺栓紧固连接,电磁力全部作用于刚性好的 C 形支板上,减小悬浮体的变形,连接件和 C 形支板对称设置很多盲孔或通孔、凹槽以减轻悬浮体重量,有利于布线兼顾美观,通过设置加强筋改变加强筋数量和厚度提高其刚度。连接件中心设置有正方形方孔以便掩模过程中光学系统透光。

[0022] 上下(左右)电磁铁采用差动控制方式,差动工作方式可以产生双向控制力,改善平台刚度。

[0023] 悬浮体四对电磁铁 301A、301B、302A、302B、303A、303B、304A、304B 采用 U 型电磁铁,控制它在竖直方向上的悬浮位置,两对电磁铁 305A、305B、306A、306B 采用 E 型电磁铁,控制其水平方向的位置,采用 NSSN 排列,这种布局方式能够很好的减小电磁铁之间的磁场耦合,如图 5 所示。

[0024] 电磁铁铁芯采用叠片式硅钢片结构,如图 4 所示,有利于减小磁场涡流损耗。并在铁芯上布置冷却管,防止电磁铁过热。在 6 对差动电磁铁的附近分别安装了 6 个涡流位移传感器 311、312、313、314、315、316,其中 4 个传感器 311、312、313、314 用于测量 4 悬浮体竖直方向四对电磁铁相对于导轨面在竖直方向上的位移,以此位移作为控制反馈量,控制上

下电磁铁悬浮力实现悬浮体的调平调焦。其余 2 个传感器 315、316 用于实时反馈悬浮体水平方向上两对电磁铁相对于导轨侧平面的偏移量控制侧面电磁铁电磁力实现悬浮体导向作用。

[0025] 导轨采用五面型结构,如图 3 所示,既减少精加工表面,又减少重量,且刚度变化不大。导轨下表面 101A、102A,上表面 101B、102B,以及外侧面 103A、103B 进行抛光加工并均质处理,使表面金属性能各向同性,以保证悬浮体微米级悬浮精度。

[0026] 在基座设有停放悬浮体的支柱,其上平面比导轨平面高 0.3mm,可以有效减小导轨因在不工作时承受上悬浮台重力而产生大变形。

[0027] 贴于导轨面 104A、104B 上的光栅尺以及固联在悬浮体上的读数头所组成反馈系统实时检测直线电机的运动状态。

[0028] 悬浮体所用 6 对电磁铁均采用高功率三电平数字开关功率放大器驱动。通过控制系统调整功放的输出电流而达到控制 6 对电磁铁相对于导轨的悬浮气隙的目的,结合合适的控制算法获取稳定的悬浮运动和快速精密的直线进给运动。

[0029] 双直线电机二定子固定于悬浮体,二定子固定于基座。定子采用永磁平面阵列,该永磁平面阵列由一系列规则排列的永磁体布置而成。当悬浮体实现稳定悬浮后,由两个直线电机共同驱动,实现悬浮体沿着导轨平稳直线运动。

[0030] 本发明所述光刻机掩模台采用磁悬浮技术,无接触,无摩擦,可在真空环境中运行,具有如下优点:

[0031] (1) 该直线定位运动与传统丝杠相比,不需要任何转换装置而直接产生推力,无机械接触,减少零部件损耗,提高了传动效率、可靠性与寿命。与旋转电机相比,不产生离心力,运动速度更高,实现高速的定位运动,且无噪声。

[0032] (2) 直线电机通过电能直接产生电磁推力,直线电机的定子和定子之间运动无机械接触,传动力是在气隙中产生的,使传动零部件无磨损,从而大大减少了机械损耗,增长了使用寿命,消除了润滑油和摩擦所产生的粉尘带来的影响,适合于超洁净加工。

[0033] (3) 尽管气浮加工精度也高,由于气浮利用空气的作用,不能在真空加工,悬浮体悬浮刚度、承载能力、抗冲击抗干扰能力低,本发明解决了这一难题,具提高了悬浮运动的鲁棒性。

[0034] (4) 采用双直线电机驱动,大大增加了平台直线运动过程中的驱动力,加强了平台的承载能力,提高了直线运动的加速度,实现移动平台的平稳运动。

[0035] (5) 本发明的直线运动行程理论上可做到无限长,同时也支持同一导轨上多个悬浮体并列工作、同时完成多个掩模台的直线往返运动。另外光栅尺读数头的分辨率为 0.05 微米、电机定子长度大于 1 米、最大加速度达到 2g。本发明的最终悬浮运动与直线定位运动都将达到微米级定位精度。

[0036] 本发明所提出的磁悬浮光刻机掩模台利用电磁吸力、电磁直线驱动使光刻机掩模台完成无机械接触式的往返精密快速直线定位运动,可以实现使用旋转伺服电机驱动、精密滚珠丝杆传动和滑动导轨支撑的传统方案所无法实现的超洁净、高速度、大行程、精密定位运动等功能,具有比气悬浮光刻机掩模台更大的悬浮刚度和更好的承载特性

附图说明

- [0037] 图 1 是一种采用磁悬浮技术的光刻机掩模台整体结构图。
- [0038] 图 2 是悬浮体结构图和电磁铁分布图,具体的,图 2a 和 2b 分别是悬浮体结构图和电磁铁分布图。
- [0039] 图 3 是基座结构图。
- [0040] 图 4 为电磁铁结构图,图 a、b 分别是 U 型和 E 型电磁铁结构图。
- [0041] 图 5 为电磁铁磁场耦合图,图 a、b 分别是 U 型和 E 型电磁铁磁场耦合图。
- [0042] 图 6 是电磁铁差动控制原理图。
- [0043] 图中:
- [0044] 1- 花岗岩地基
- [0045] 2- 精密导轨
- [0046] 101A、101B、102A、102B、103A、103B- 超精加工的六个导轨表面
- [0047] 104A、104B- 放置光栅尺的导轨表面
- [0048] 111、112- 光栅尺
- [0049] 121、122- 直线电机定子
- [0050] 3- 悬浮体
- [0051] 300- 悬浮体左支板与右支板之间的连接件
- [0052] 301A、301B、302A、302B、303A、303B、304A、304B- 竖直放置的电磁铁
- [0053] 305A、305B、306A、306B- 水平放置的电磁铁
- [0054] 307- 硅钢片
- [0055] 308- 电磁线圈
- [0056] 309- 压板
- [0057] 310- 冷却管
- [0058] 311、312、313、314- 竖直放置的涡流位移传感器
- [0059] 315、316- 水平放置的涡流位移传感器
- [0060] 321、322- 直线电机动子
- [0061] 331、332- 光栅尺读数头
- [0062] 341、342- 左支板和右支板
- [0063] 41- 第一功率放大器,42- 第二功率放大器,51- 上电磁特,52- 下电磁铁,6- 涡流位移传感器

具体实施方式

- [0064] 以下将结合图和具体实施过程对本发明做进一步详细说明。
- [0065] 实施例 1:光刻机掩模台整体结构图如图 1 所示,自下到上由花岗岩地基 1、五面型的精密导轨 2、悬浮体 3 三个部分组成。与电磁铁相对应的导轨面均采用进行抛光加工并均质处理,使加工导轨表面平面度和垂直度均达到 $1\mu\text{m}$ 。悬浮部件结构如图 2a 所示,包括镁合金 C 形的左支板 341、右支板 342,铝合金连接件 300(镁合金、铝合金这种材料相对于铸铁,密度较小,比强度比刚度大),12 块电磁铁 301A、301B、302A、302B、303A、303B、304A、304B、305A、305B、306A、306B(如图 2b 所示),6 个涡流位移传感器 311、312、313、314、315、316,2 个直线电机动子 321、322,2 个光栅尺读数头 331、332 等。悬浮体中的电磁铁、左右

支板通过螺栓紧固连接在一起。每对电磁铁与相应的导轨之间保持一定的间隙。悬浮体垂直方向即 Z 方向四对差动式结构的电磁铁 301A、301B、302A、302B、303A、303B、304A、304B 采用 U 型电磁铁,提供垂直方向电磁力,以支撑整个悬浮体,并可以通过调节这四对电磁线圈中的电流大小改变电磁力控制悬浮体的悬浮位置而实现平台的调平;侧面即 X 方向两对差动式结构的电磁铁 305A、305B、306A、306B 采用 E 型电磁铁,提供水平方向电磁力,以起到 Y 方向的运动导向作用。在电磁铁 301B、302B、303B、304B、305B、306B 旁边分别设有涡流位移传感器 311、312、313、314、313、314 实时反馈每对电磁铁与相应的导轨面之间的间隙,从传感器采集到的位移信号转变为电压信号,结合合适的控制算法,比如 PID 控制、模糊控制,神经网络控制,调整控制参数,产生输出电压,输入到功率放大器,功率放大器接入 48V 直流电源,产生控制电流,控制电流与偏置电流结合流入电磁线圈,实时控制励磁线圈通电流而改变电磁悬浮力大小,使悬浮体稳定悬浮于导轨上方,实现工作面的调平调焦。每个电磁铁上绕有 600 匝电磁线圈,当通过上下电磁线圈偏置电流为 4A,侧面电磁线圈偏置电流为 2A,悬浮气隙可以稳定在 0.5mm,悬浮精度达到微米级。涡流传感器线性度达到 0.002%,分辨率达到 0.1nm,量程为 2mm。图 3 是基座结构图。底座由花岗岩地基 1、精密直线导轨 2 和直线电机定子 121、122 组成。直线电机定子固定在花岗岩地基 1 上,与安装于悬浮体上的直线电机动子组成的双直线电机驱动悬浮体沿导轨方向快速直线移动。直线电机是旋转电机在结构方面的一种演变,可看成将一台旋转电机沿径向剖开,再将电机的圆周展开成直线扩展而得。直线电机的定子和动子之间运动无机械接触,直线电机通过电能直接产生电磁推力需任何中间转换机构的传动装置,传动力在气隙中产生。直线电机额定驱动力是 878.6N,分辨率是 0.1 μ m,最大加速度 2g,最大速度是 700mm/s。采用直线电机驱动悬浮体沿导轨方向移动,理论上移动距离没有限制,基于实验及经济成本上的考虑,导轨平台长度为 1m。贴于导轨面 104A、104B 上的光栅尺 111、112 与安装于悬浮体上的光栅尺读数头组成的反馈系统实时反馈悬浮体直线运动位置,从而改变直线电机驱动力的大小实现悬浮体的沿导轨运动方向的精确定位。

[0066] 图 4a 和 4b 分别是 U 型和 E 型电磁铁结构图。电磁铁铁芯采用叠片式硅钢片结构,将两块压板压紧硅钢,压板与硅钢片用螺栓挤压紧固,然后将压板联接到悬浮体上。有利于减小磁场涡流损耗,并在铁芯上布置冷却管,防止电磁铁过热。如图 5a 所示,所有电磁铁均是 U 型电磁铁,尽管采用 NSSN 排列方式,但上下电磁铁磁极形成串联,仍有不少耦合,从图 5b 可以看见,侧面采用 E 型电磁铁,上下面采用 U 型电磁铁,这种 U 型电磁铁和 E 型电磁铁的组合使用的方式明显减小了磁场之间的耦合。

[0067] 电磁铁差动控制原理图如图 6 所示。一个磁铁以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之和励磁,而另一个则以偏置电流 I_0 与控制电流 i 之差励磁。因此平台所受悬浮力为上下磁铁吸力之差,差动工作方式可以产生双向控制力,增加平台刚度。

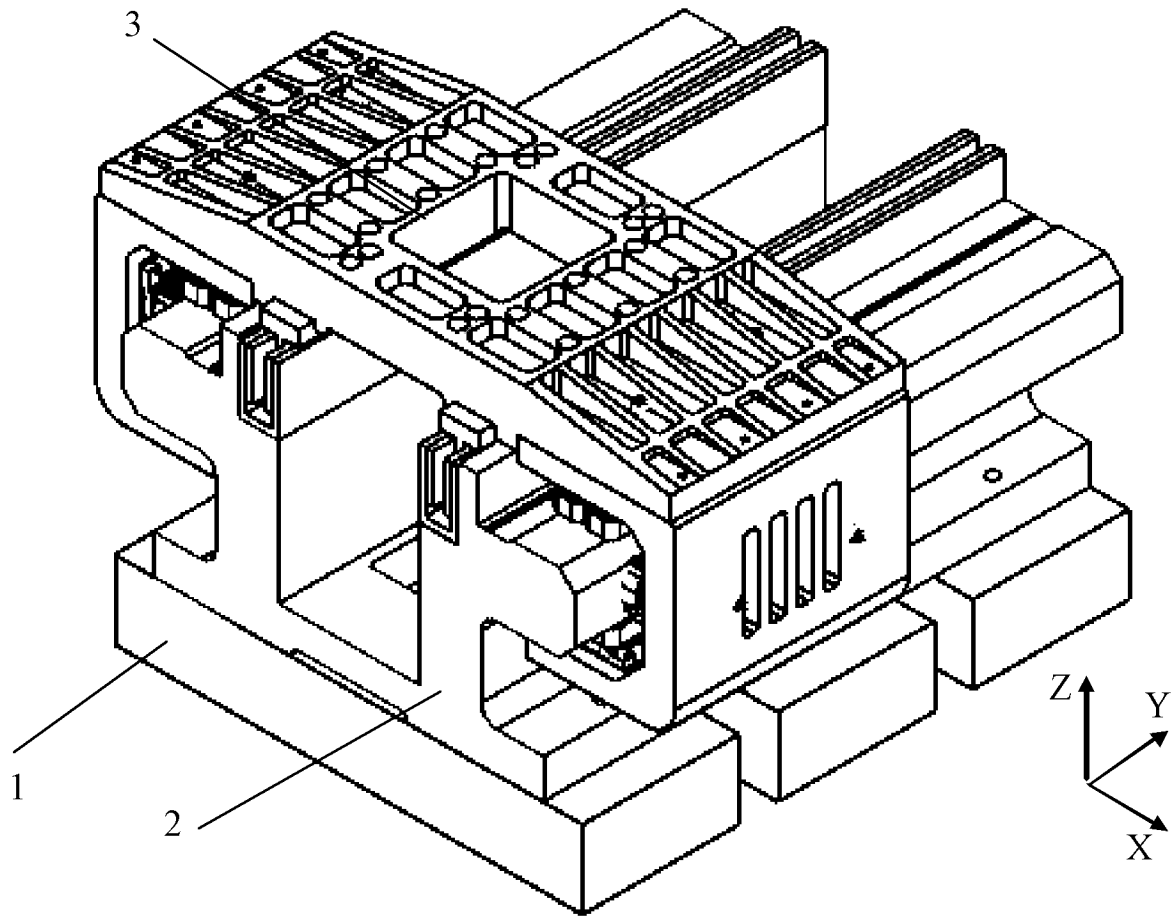
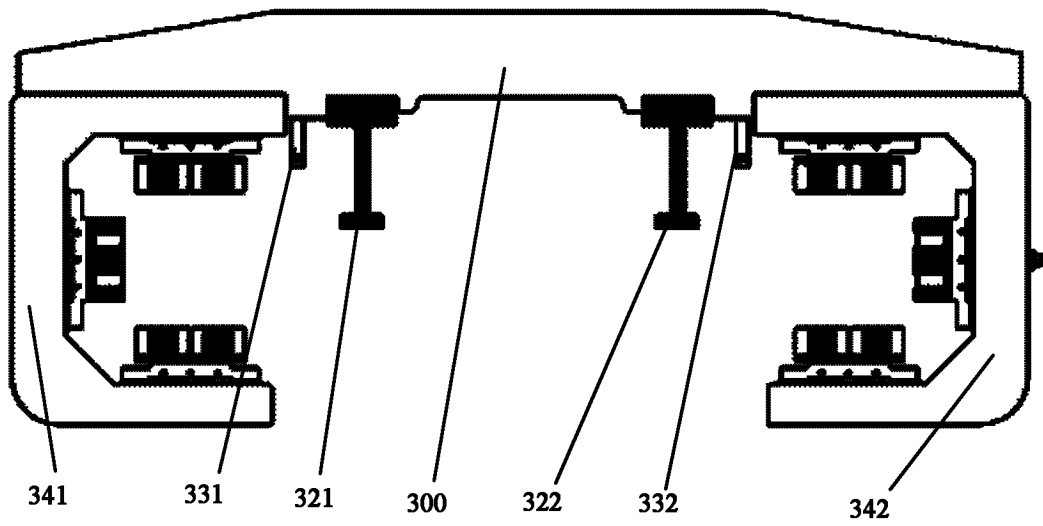


图 1



(a)

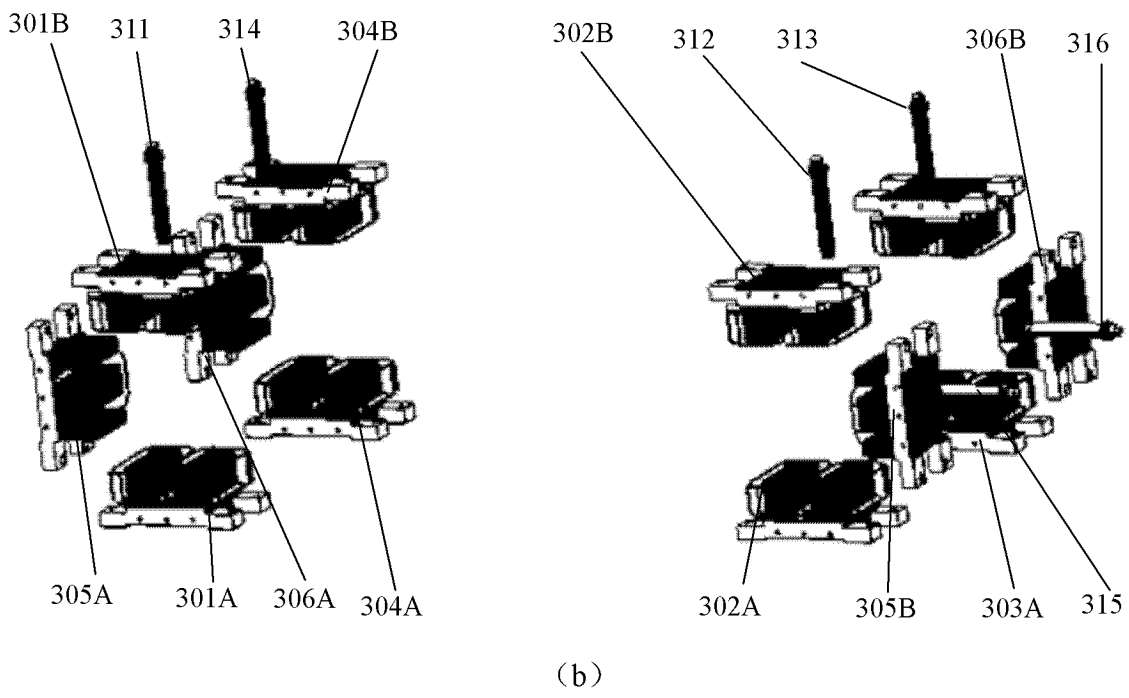
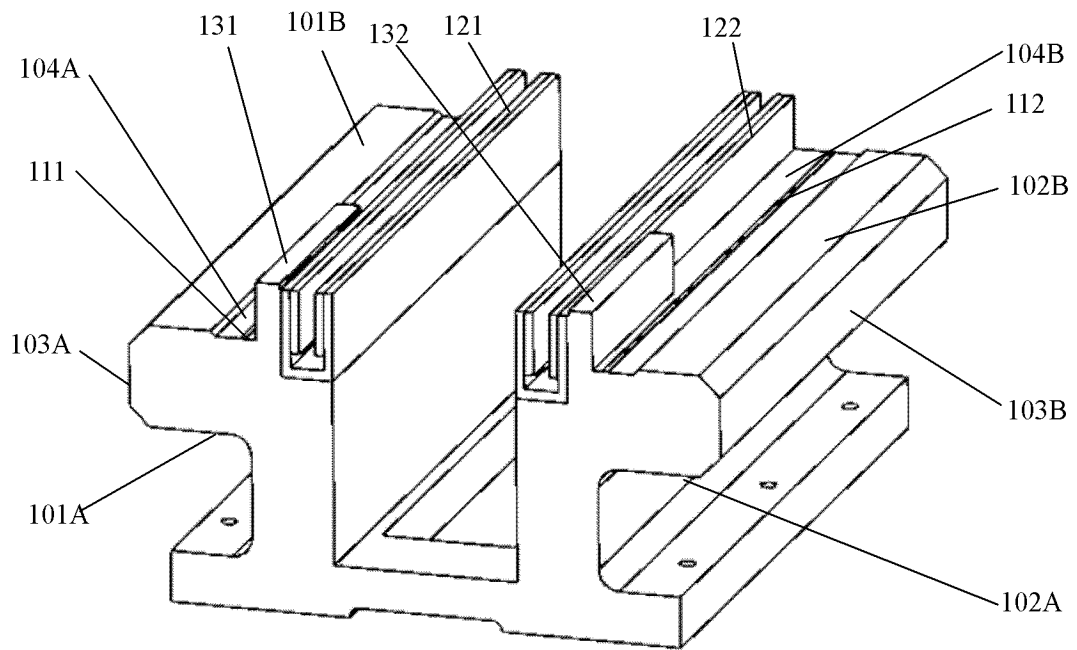
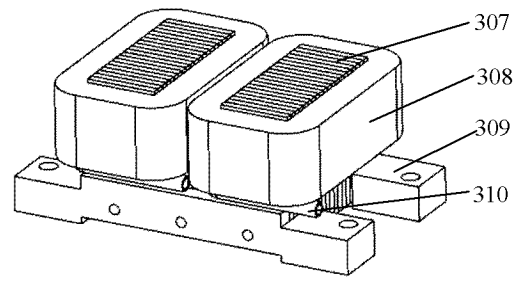
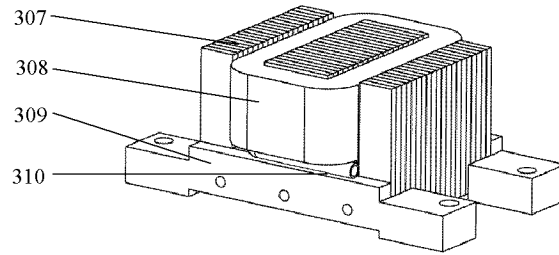


图 2



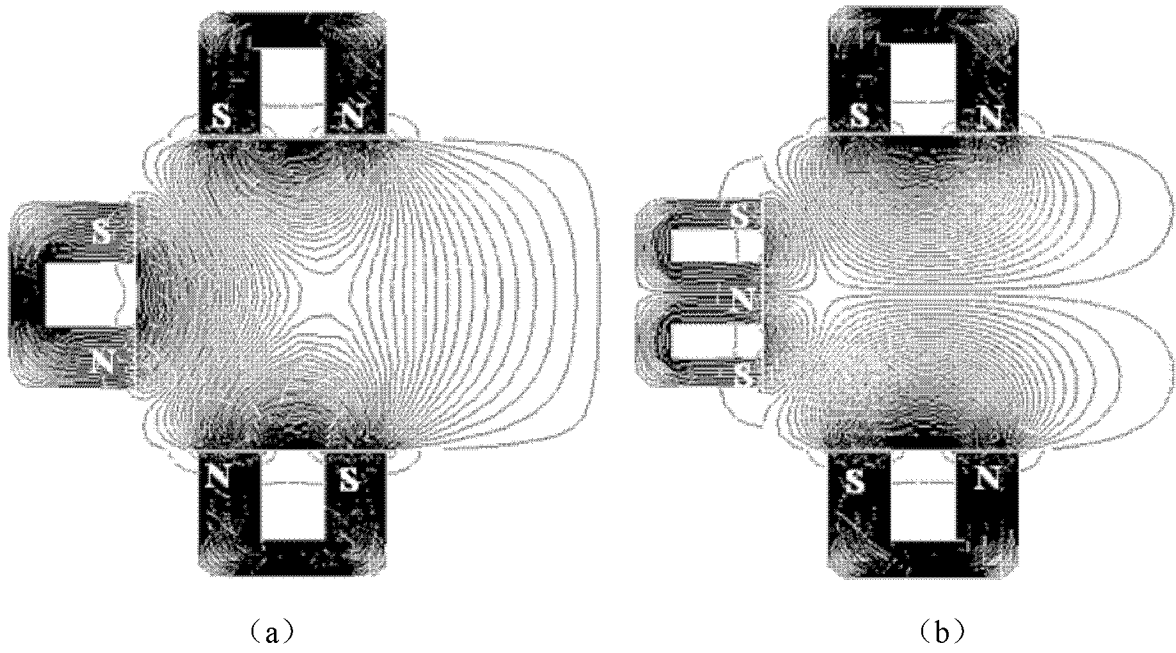


(a)



(b)

图 4



(a)

(b)

图 5

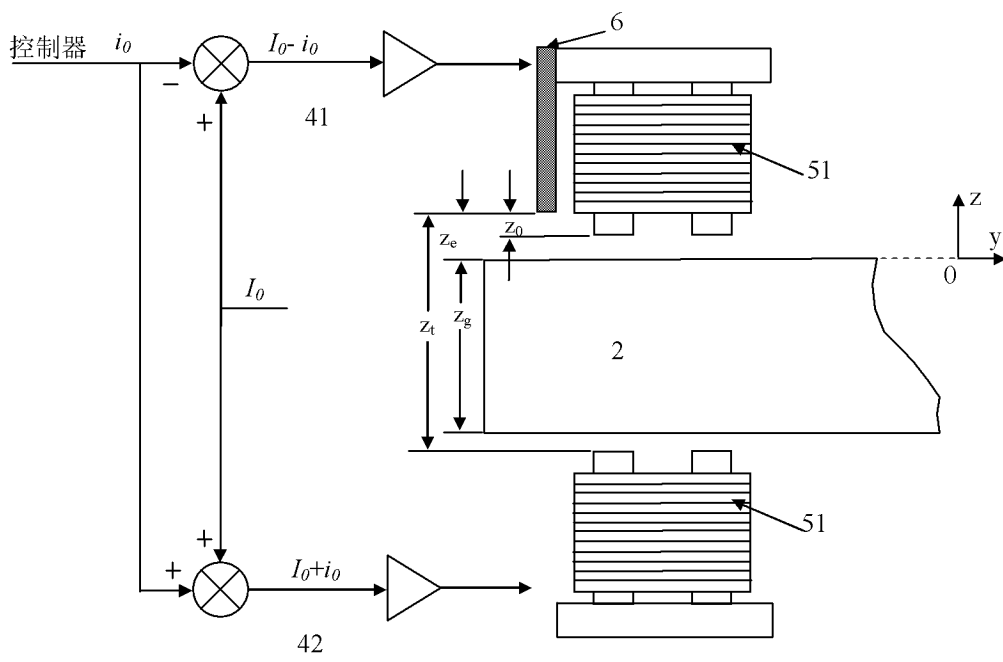


图 6