



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1838330 B

(45) 授权公告日 2011.06.29

(21) 申请号 200610076247.7

审查员 金伟华

(22) 申请日 2006.04.21

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市 100084-82 信箱

(72) 发明人 汪劲松 朱煜 曹家勇 尹文生

段广洪 杨一博

(51) Int. Cl.

G12B 5/00(2006.01)

G12B 9/10(2006.01)

B25H 1/00(2006.01)

(56) 对比文件

EP 0421528 A1, 1991.04.10, 全文.

CN 1062243 A, 1992.06.24, 全文.

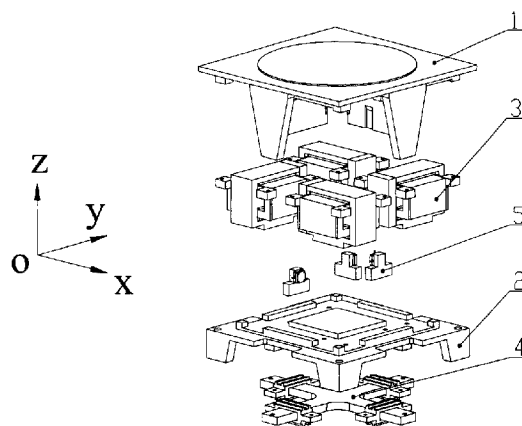
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 6 页

(54) 发明名称

电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台

(57) 摘要

电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,属于精密微动台技术领域。为了增强平面三自由度精密微动台电磁推力的线性特性、降低对象控制的难易程度、增大峰值推力、提高响应速度,本发明公开一种电磁力并联驱动平面三自由度精密微动台,包括工件台、基座、电磁驱动组件、平面导向组件和位置检测传感器组件。电磁驱动组件由若干电磁驱动元件构成,电磁驱动元件由互不接触的定子和动子组成;定子固定于基座上,且由若干永磁体和铁磁性材料制成的定子铁心组成,永磁体固定于定子铁心上,使得永磁体的磁化方向与工件台的运动平面垂直;动子中的方形线圈通过线圈骨架或连接构件与工件台固连,使得方形线圈存在两相对有效边与工件台的运动平面平行。



1. 电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,包括工件台、基座、电磁驱动组件、平面导向组件和位置检测传感器组件,其特征在于:所述电磁驱动组件由若干电磁驱动元件构成,所述电磁驱动元件由定子和动子两部分组成,所述定子和动子不相互接触;所述定子固定于基座上,且由若干永磁体和定子铁心组成,所述定子铁心由铁磁性材料制成,所述永磁体固定于定子铁心上,使得永磁体的磁化方向与工件台的运动平面垂直;所述动子包含一个截面形状为方形的线圈,所述方形线圈通过线圈骨架或连接构件与工件台固连,使得所述方形线圈存在两相对有效边与工件台的运动平面平行;所述定子铁心的截面为“口”字形,所述定子的内部形成两部分气隙区域,所述两部分气隙区域各存在一个磁场,所述两气隙磁场的磁感应强度矢量线与工件台运动平面垂直,但方向相反。

2. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述方形线圈存在的所述两相对有效边置于所述两部分气隙中,使得所述方形线圈的所述两相对有效边通有电流时,受到洛伦茨力的作用。

3. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述线圈骨架是由非铁磁材料制成的,所述方形线圈绕制于所述线圈骨架上。

4. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述连接构件粘接在所述方形线圈上,并与工件台固连。

5. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述平面导向组件采用气浮平面支承。

6. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述平面导向组件采用磁浮平面支承。

7. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述位置检测传感器组件由若干电容位移传感器组成。

8. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述位置检测传感器组件由若干电涡流位移传感器组成。

9. 根据权利要求1所述的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其特征在于:所述位置检测传感器组件采用三轴双频激光干涉仪。

电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,属于精密微动台技术领域。

背景技术

[0002] 平面三自由度精密微动台是一种能够实现固定于其工件台上的被加工、被检测或被操作工件沿某一平面和绕与该平面垂直的给定轴线的精密运动和定位的机电部件。它具有行程小(平动行程小于1mm,转动行程小于10mrad)、精度高(分辨率达到1nm~10nm)、响应快(加速度大于1g)等特点,在芯片光刻机、光纤对接装置、精密光学仪器、微细加工机床等现代超精密加工设备、检测仪器和微操作装置中有着重要的应用。

[0003] 目前,平面三自由度精密微动台大多包含柔性铰链机构、并以压电陶瓷为驱动元件,虽然它们具有易实现整体式结构、功耗小、可工作于真空环境等优点,但是,柔性铰链的弹性、阻尼、变形、小行程,以及压电陶瓷的非线性、滞后等特性也给对象性能的提高带来不利的影响。电磁力直接驱动式平面三自由度精密微动台是一种并联式平面三自由度精密微动台与直接驱动思想结合的产物。其工件台(末端件)直接受到多个电磁驱动元件同时产生的电磁驱动力的作用。由于以磁场能量转换为基础的电磁驱动元件具有非接触驱动、行程大、驱动控制技术成熟等优点,电磁力直接驱动式平面三自由度精密微动台具有较好的发展前景。

[0004] Gao等在论文“A surface motor-driven planar motion stage integrated with an $XY\theta_z$ surface encoder for precision positioning”(发表于杂志《Precision Engineering》2004年第29卷第3期329-337页上)中提出了基于洛伦茨原理的电磁力驱动的平面三自由度微动台,但是,由于永磁体磁路为敞开式,磁路的磁阻相当大,导致了磁场的磁感应强度很小,降低了电磁驱动元件的峰值推力。此外,方形线圈的四条边中,只有一边受到洛伦茨力的作用,进一步导致电磁驱动元件的峰值推力的减小,并降低了线圈材料的利用率。此外,由于磁场在的不均匀,将导致电磁元件的推力不仅受到其线圈电流的影响,而且还随着工件台的位置变化而变化,使得上述平面三自由度微动台的控制存在较大困难。

[0005] Shan等在论文“Robust disturbance rejection for improved dynamic stiffness of a magnetic suspension stage”(发表于杂志《IEEE/ASME Transactions on Mechatronics》2002年第7卷第3期289-295页上)“Ultra precision motion control of a multiple degrees of freedom magnetic suspension stage”(发表于杂志《IEEE/ASME Transactions on Mechatronics》2002年第7卷第1期67-78页上)和“Large Travel Ultra Precision $xy\theta$ Motion Control of a Magnetic-Suspension Stage”(发表于杂志《IEEE/ASME Transactions on Mechatronics》2003年第8卷第3期334-341页上)中,研究了一种基于变磁阻原理的、具有磁浮功能的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,其工件台悬浮力和平面运动驱动力均由一系列电磁铁单元产生,基于该方案的平面三

自由度精密微动台具有结构简单、成本低廉等优点,但是,各电磁铁单元产生的电磁力与线圈电流的平方成正比,且与电磁铁单元中的气隙平方成反比,使得电磁力存在严重的非线性和运动耦合问题,同样精密微动台的高性能控制存在很大困难。

[0006] 国际专利 W001/81171 A1(公开日 2001 年 11 月 1 日)公开了一种应用于集成电路光刻机硅片台的电磁力驱动的六自由度精密微动台。从专利说明书中可知:X 向、Y 向和绕 Z 向 3 自由度运动的驱动力仍然来自于若干基于变磁阻原理的电磁铁,同样存在非线性电磁力和运动耦合问题。

发明内容

[0007] 本发明旨在解决现有电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台的非线性严重、峰值推力小和控制方法复杂的问题。

[0008] 本发明提供了一种电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台,包括工件台、基座、电磁驱动组件、平面导向组件和位置检测传感器组件,其特征在于:所述电磁驱动组件由若干电磁驱动元件构成,所述电磁驱动元件由定子和动子两部分组成,所述定子和动子不相互接触;所述定子固定于基座上,且由若干永磁体和铁磁性材料制成的定子铁心组成,所述永磁体固定于定子铁心上,使得永磁体的磁化方向与工件台的运动平面垂直;所述动子包含一个截面形状为方形的线圈,所述方形线圈通过线圈骨架或连接构件与工件台固连,使得所述方形线圈存在两相对有效边与工件台的运动平面平行。

[0009] 在本发明中,所述定子铁心的截面为“日”字形或“口”字形,所述定子的内部形成两部分气隙区域,所述两部分气隙区域各存在一个磁场,所述两气隙磁场的磁感应强度矢量线与工件台运动平面垂直,但方向相反。

[0010] 在本发明中,所述方形线圈存在两相对有效边置于所述两部分气隙中,使得所述方形线圈两相对有效边通有电流时,受到洛伦茨力的作用。

[0011] 在本发明中,所述线圈骨架是由非铁磁材料制成的,所述方形线圈绕制于所述线圈骨架上。

[0012] 在本发明中,所述连接构件粘接在所述方形线圈上,并与工件台固连。

[0013] 本发明的优点有:采用了基于洛伦茨原理的电磁驱动元件,其电磁推力与线圈截面的总电流成正比,保证了电磁推力的线性特性,使得驱动工件台作平面运动的电磁力的控制更简单。由于永磁体定子铁心由铁磁材料等制成为,避免了敞开式磁场气隙磁场强度小的缺陷,从而提高了洛伦茨电动机和电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台的峰值推力。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明所述电磁力并联驱动式的平面三自由度精密微动台的三维结构视图;

[0015] 图 2 是本发明所述电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台的三维结构分解视图;

[0016] 图 3a-3c 是本发明所述平面导向组件的三种实现方式的结构原理图;

[0017] 图 4 是本发明所述平面导向组件的气浮实现方式的平面视图;

[0018] 图 5a-5b 是本发明所述有线圈骨架且铁心截面为“日”字形的洛伦茨电动机的三维结构视图；

[0019] 图 6a-6b 是本发明所述无线圈骨架且铁心截面为“日”字形的洛伦茨电动机的三维结构视图；

[0020] 图 7 是本发明所述无线圈骨架的洛伦茨电动机的三维结构视图；

[0021] 图 8a-8c 是本发明所述并联驱动式平面三自由度精密微动台中电磁驱动元件空间布置示意图；

[0022] 图 9 是电容传感器在本发明所述位置传感器 5 组件使用的三维结构图；

[0023] 图 10 是三轴双频激光干涉仪在本发明所述位置传感器组件中应用的原理图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例来进一步说明本发明。

[0025] 如图 1 和图 2 所示,本发明提出的电磁力并联驱动式平面三自由度精密微动台由工件台 1、基座 2、电磁驱动组件 3、平面导向组件 4 和位置检测传感器组件 5 构成。工件台 1 与基座 2 之间仅存在 3 自由度平面相对运动,即沿 x 方向的平动、沿 y 方向的平动和绕 z 方向的转动,其中 x 方向、y 方向和 z 方向两两相互垂直,而其他 3 自由度的运动(沿 z 方向的平动、绕 x 方向的转动和绕 y 方向的转动)被设置于工件台 1 与基座 2 之间的平面导向组件 4 限制。

[0026] 图 2 中平面导向组件 4 是一种气浮平面支承,其详细结构如图 3a 所示,由图可知,所述气浮平面支承 6 由若干气道座 7 和浮动架 8 组成。所述气道座 7 与浮动架 8 之间形成气隙面 9,所述气隙面 9 与工件台的运动平面 xoy 平行。所述气道座 7 与基座 2 固连,而浮动架 8 与工件台 1 固连。于是,在气浮平面支承 6 的作用下,图 1 和图 2 中的工件台只能沿 x 向平动、沿 y 向平动和绕 z 向转动。图 4 是本发明所述气浮平面支承 6 的 A 向视图,图中 100 为气道座 7 与浮动架 8 之间的侧向间隙,其作用是允许浮动架 8 与气道座 7 之间存在沿 x 向的平动和绕 z 向的转动。

[0027] 图 2 中的平面导向组件 4 也可由磁浮平面支承来实现,图 3b 是磁浮平面支承的一种结构。由图可知,所述磁浮平面支承 300 由若干电磁铁 77 和若干浮动板 78 组成。所述浮动板 78 由铁磁材料(如纯铁等)等制成,并且与工件台 1 固连。所述电磁铁 77 与浮动板 78 之间形成气隙面,所述气隙面与工件台 1 的运动平面 xoy 平行。所述电磁铁 77 与图 1 和图 2 中的基座 2 固连,而若干浮动板 78 与图 1 和图 2 中的工件台 1 固连。于是,在磁浮平面支承 100 的作用下,工件台 1 只能沿 x 向平动、沿 y 向平动和绕 z 向转动。图 3b 中的工件台 1 受到电磁驱动组件产生的电磁力的推动。

[0028] 图 2 中的平面导向组件 4 可由柔性平面支承来实现,图 3c 是磁浮平面支承的一种结构。由图可知,柔性平面支承 200 由四个柔性铰链 81 组成,柔性铰链 81 的一端与工件台 1 相连,另一端与基座 2 相连,从而限制工件台 1 只能相对于基座 2 在 xoy 平面上作平动和转动。图 3c 中的工件台 1 受到电磁驱动组件产生的电磁力的推动。

[0029] 电磁驱动组件 3 由若干基于洛伦茨原理的电磁驱动元件 10(简称洛伦茨电动机)构成,每一台洛伦茨电动机 10 由动子 11 和定子 12 组成,所述动子 11 和定子 12 不相互接触。如图 5a 和图 5b 所示。动子 11 上的核心元件是方形线圈 13,其截面形状为方形。为

减小线圈的弹性变形,动子 11 上还可包含一个非铁磁材料(如铝合金等)制成的线圈骨架 14,所述方形线圈 13 绕制于所述线圈骨架 14 上。定子 12 固定于基座 2 上,且由第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 和定子铁心 20 组成,其中,第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18 和第四永磁体 19 通过环氧树脂等粘结固定于定子铁心 20 上。为增强磁场强度,定子铁心 20 由铁磁材料(如纯铁、硅钢片)等制作。第一永磁体 16 和第二永磁体 17 的磁化方向一致,且沿 x 正方向或沿 x 负方向(即与工件台的运动平面 xoy 垂直),同样,第三永磁体 18 和第四永磁体 19 的磁化方向一致,但是它们的磁化方向与第一永磁体 16 或第二永磁体 17 的磁化方向相反。所述定子铁心截面为“日”字形。所述定子的内部存在第一气隙区域 61 和第二气隙区域 62。在所述第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 与所述定子铁心 20 的共同作用下,所述第一气隙区域 61 和第二气隙区域 62 分别产生磁场,所述两部分磁场的磁感应强度矢量与工件台运动平面 xoy 垂直,但方向相反。所述方形线圈 13 通过所述线圈骨架 14 与工件台 1 相连,使得所述方形线圈 13 的存在两相对边与工件台 1 的运动平面平行。所述方形线圈 13 通入电流后,在永磁体形成磁场的作用下,所述方形线圈 13 将受到洛伦茨力的作用,所述洛伦茨力沿 x 方向。所述第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 与所述定子铁心 20 共同作用下,使得所述第一气隙区域 21a 和第二气隙区域 21b 中分别存在磁场,所述第一气隙区域 21a 中磁场和第二气隙区域 21b 中磁场的磁感应强度方向与工件台运动平面垂直,但是,方向相反。假设其磁感应强度矢量值为 B,根据电磁学的均匀磁场中的安培定律 $F = 2BIL$ (其中,所述磁感应强度矢量。I 为线圈截面的总电流, L 为线圈有效边的长度)可知:洛伦茨电动机的电磁推力与线圈截面的总电流成正比。若干洛伦茨电动机产生的一组电磁推力将推动工件台作平面三自由度精密运动。由于驱动工件台作平面运动的电磁力与线圈截面的总电流成正比,使得工件台的控制比较简单。此外,由于永磁体定子铁心 16 由铁磁材料(如纯铁、硅钢片)等制作,所以磁路的磁阻较小,第一气隙区域 21a 和第二气隙区域 21b 内的磁感应强度值 B 比较大,进而增大了洛伦茨电动机 10 的连续推力和峰值推力。

[0030] 洛伦茨电动机 10 中的定子铁心 20 的截面也可为“口”字形,如图 6a 所示,图 6b 为这种洛伦茨电动机的分解视图。所述洛伦茨电动机 10 由方形线圈 13、第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 和定子铁心 20 组成。第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18 和第四永磁体 19 通过环氧树脂等粘结固定于定子铁心 20 上。为增强磁场强度,定子铁心 20 由铁磁材料(如纯铁、硅钢片)等制作。第一永磁体 16 和第二永磁体 17 的磁化方向一致,且沿 x 正方向或沿 x 负方向(即与工件台的运动平面 xoy 垂直),同样,第三永磁体 18 和第四永磁体 19 的磁化方向一致,但是它们的磁化方向与第一永磁体 16 或第二永磁体 17 的磁化方向相反。所述定子铁心截面为“口”字形。所述定子的内部存在第一气隙区域 61 和第二气隙区域 62。在所述第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 与所述定子铁心 20 的共同作用下,所述第一气隙区域 61 和第二气隙区域 62 分别产生磁场,所述两部分磁场的磁感应强度矢量与工件台运动平面垂直,但方向相反。所述方形线圈 13 通过一定的连接结构与工件台 1 相连或直接粘结与工件台 1 上,使得所述方形线圈 13 的存在两相对边与工件台 1 的运动平面 xoy 平行。所述方形线圈 13 通入电流后,在永磁体形成磁场的作用下,所述方形线圈 13 将受到洛伦茨力的作用,所述洛

伦茨力沿 x 方向。所述第一永磁体 16、第二永磁体 17、第三永磁体 18、第四永磁体 19 与所述定子铁心 20 共同作用下,使得所述第一气隙区域 21a 和第二气隙区域 21b 中分别存在磁场,所述第一气隙区域 21a 中磁场和第二气隙区域 21b 中磁场的磁感应强度方向与工件台运动平面垂直,但是,方向相反。

[0031] 所述的洛伦茨电动机 10 还可有另外一种结构,即去除其中的线圈骨架,由此将带来降低动子惯量的效果,有利于提高洛伦茨电动机的响应速度。但是,必须设置一定的结构或相应的方法实现方形线圈 13 与工件台 1 之间的连接,图 7 表示了一种线圈的连接结构,即方形线圈 13 通过环氧树脂粘接于连接构件 22,而连接构件 22 通过螺栓孔与工件台 1 固连,所述连接构件 22 由非铁磁材料(如铝合金等)制作。

[0032] 本发明所述电磁力驱动的平面三自由度精密微动台中,图 2 中电磁驱动组件 3 中的洛伦茨电动机的数量配置有两种方式,一种是 4 个洛伦茨电动机配置方式(如图 8a 和图 8b 所示),另一种是 3 个洛伦茨电动机配置方式(如图 8c 所示)。比较图 8a 和图 8b 可知,两图中洛伦茨电动机与工件台 1 之间的位置关系有不同,图 8a 中 4 个洛伦茨电动机两两一组,分别关于工件台中心线 X 和中心线 Y 对称,而图 8b 中 4 个洛伦茨电动机关于工件台中心 O 对称。图 8a 和图 8b 中,第一洛伦茨电动机 41 和第二洛伦茨电动机 42 产生 x 方向推力,第三洛伦茨电动机 43 和第四洛伦茨电动机 44 产生 y 方向推力,而绕 z 向的转矩由第一洛伦茨电动机 41、第二洛伦茨电动机 42、第三洛伦茨电动机 43、第四洛伦茨电动机 44 共同产生。至于 3 个洛伦茨电动机配置方式中(如图 8(c) 所示),第五洛伦茨电动机 45 和第六洛伦茨电动机 46 产生 x 方向推力和绕 z 向的转矩,而第七洛伦茨电动机 47 用于专门产生 y 方向的推力。

[0033] 图 9 是电容传感器在本发明所述位置传感器 5 组件使用的三维结构图,图中共有 3 个第一电容传感器 C1、第二电容传感器 C2 和第三电容传感器 C3,每一个电容传感器由测量板极 23 和目标板极 24 组成,其中,测量板极 23 通过传感器定子铁心 22 与图 1 中的基座 2 相连,而目标板极 24 直接与工件台 1 相连。第一电容传感器 C1 和第二电容传感器 C2 组合测量工件台 1 在 x 方向的位移和绕 z 方向的转角,而第三电容传感器 C3 测量工件台 1 在 y 方向的位移,于是实现了工件台 1 的平面三自由度位置检测。在本发明所述位置传感器组件中使用电涡流位移传感器的方式与使用电容传感器的方式类似,在这里就不再详细说明了。

[0034] 图 10 是三轴双频激光干涉仪在本发明所述位置传感器组件中应用的原理图。图中 28 为 y 向反射镜,29 为 x 向反射镜,它们固定于工件台 1 上。y 向反射镜 28 反射来自第一干涉器 125 的激光束,x 向反射镜 29 反射来自第二干涉器 126 和第三干涉器 127 的激光束。第一干涉器 125 输出工件台 1 在 y 方向上的位移 y,第二干涉器 126 和第三干涉器 127 分别输出位移 x1 和 x2,所述位移 x1、x2 和 y 经过一定的解算,即可得到工件台 1 的中心沿 x 方向的位移、y 向的位移和工件台 1 绕 z 方向的转角位移。

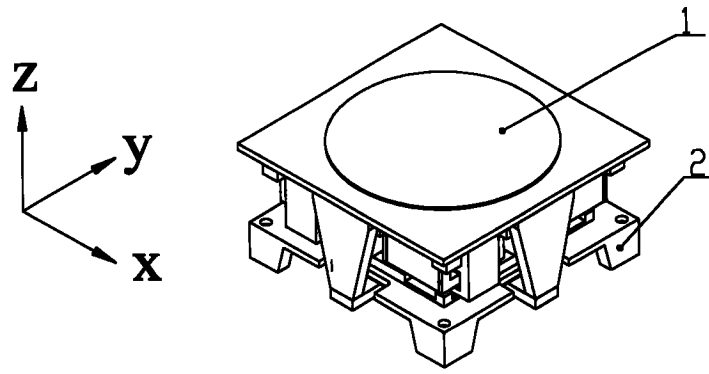


图 1

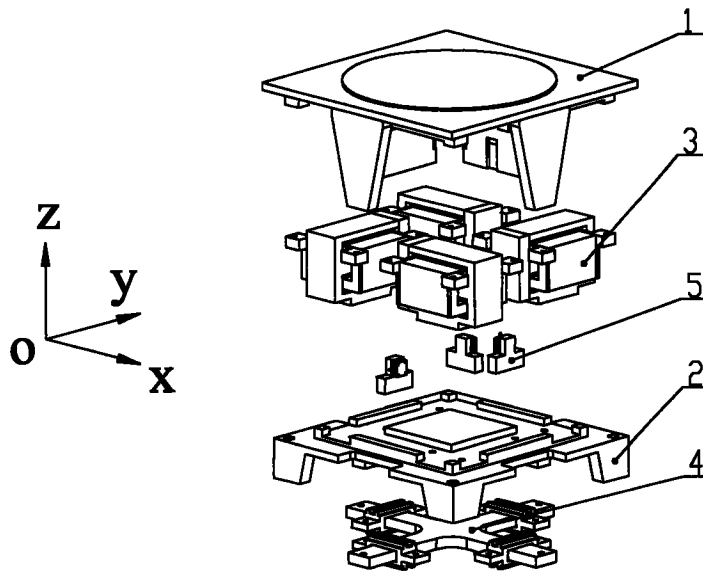


图 2

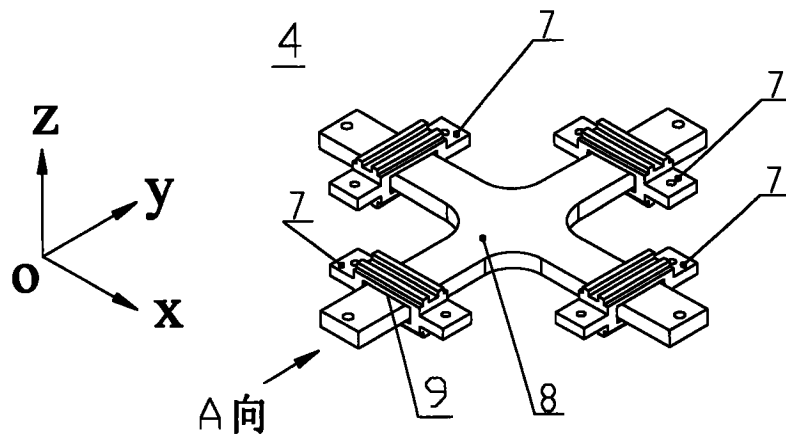


图 3a

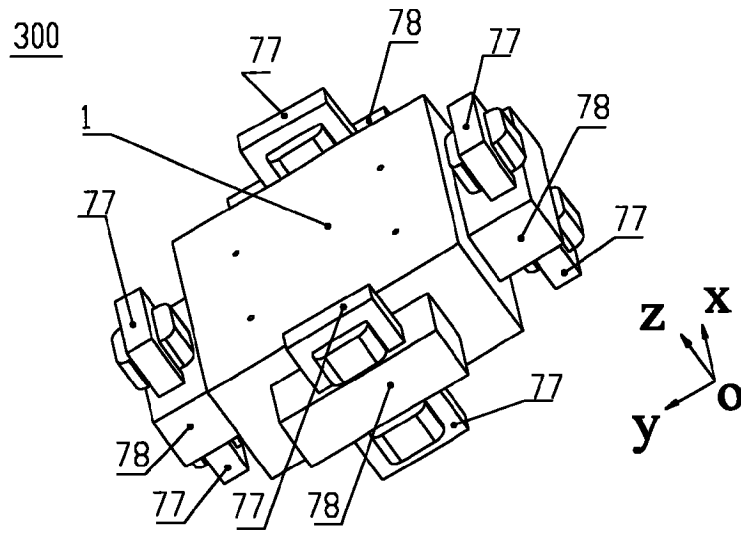


图 3b

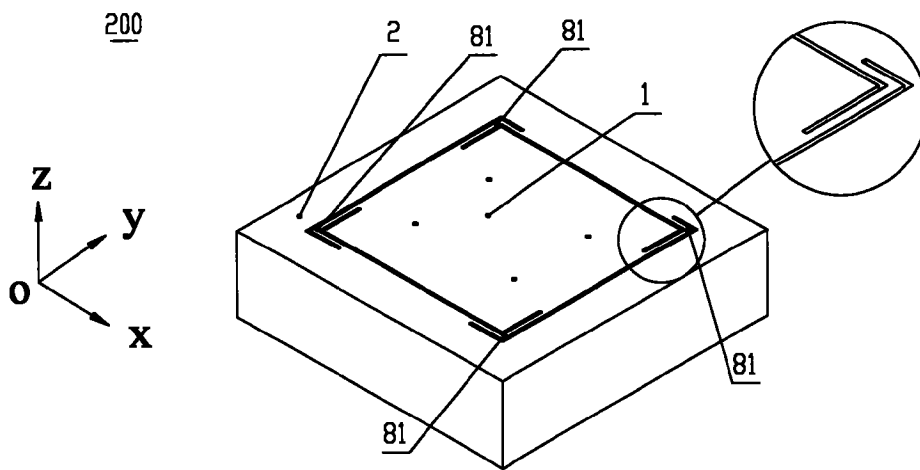


图 3c

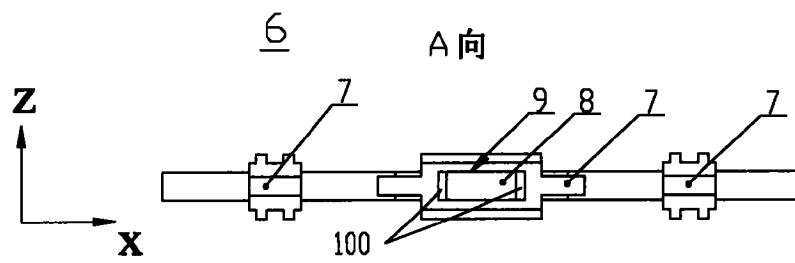


图 4

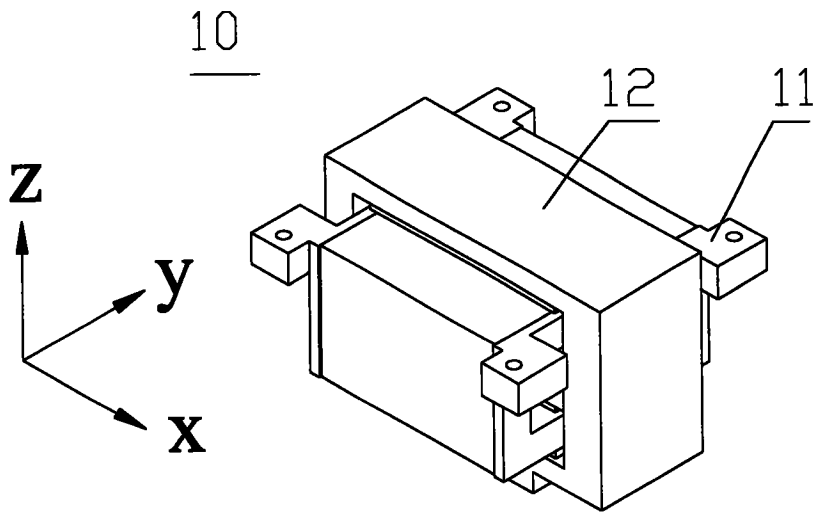


图 5a

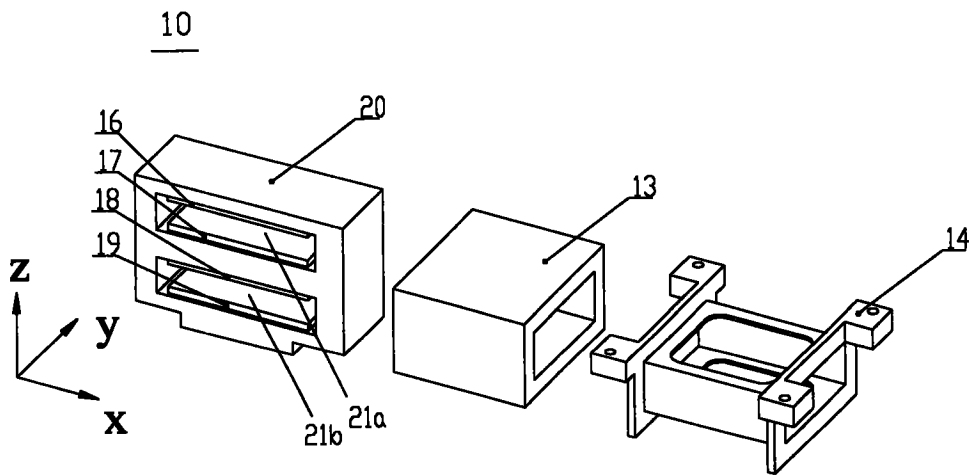


图 5b

10

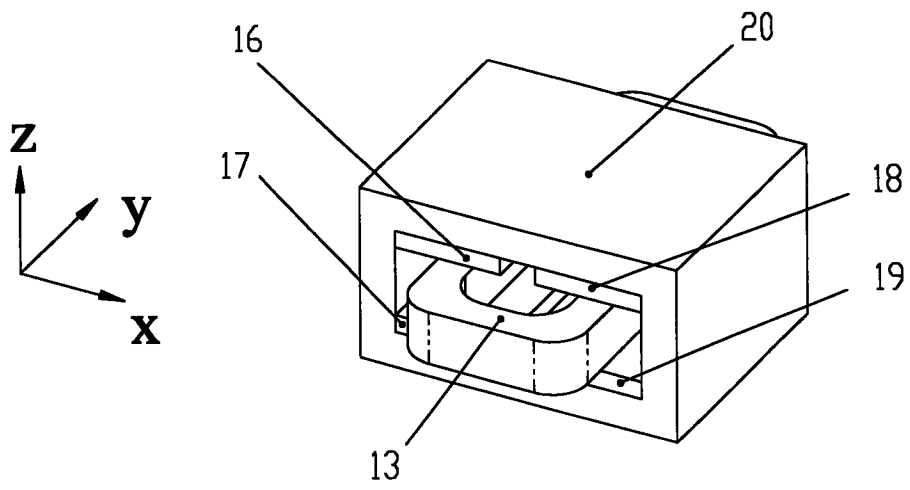


图 6a

10

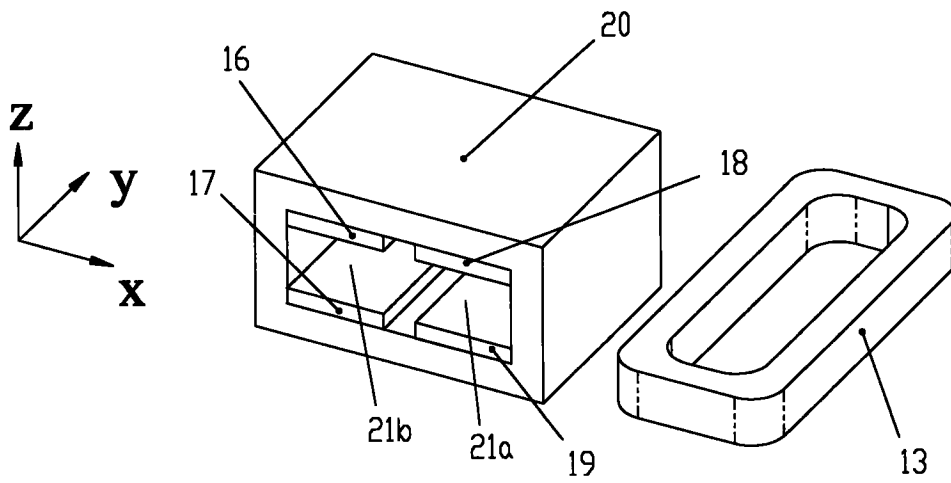


图 6b

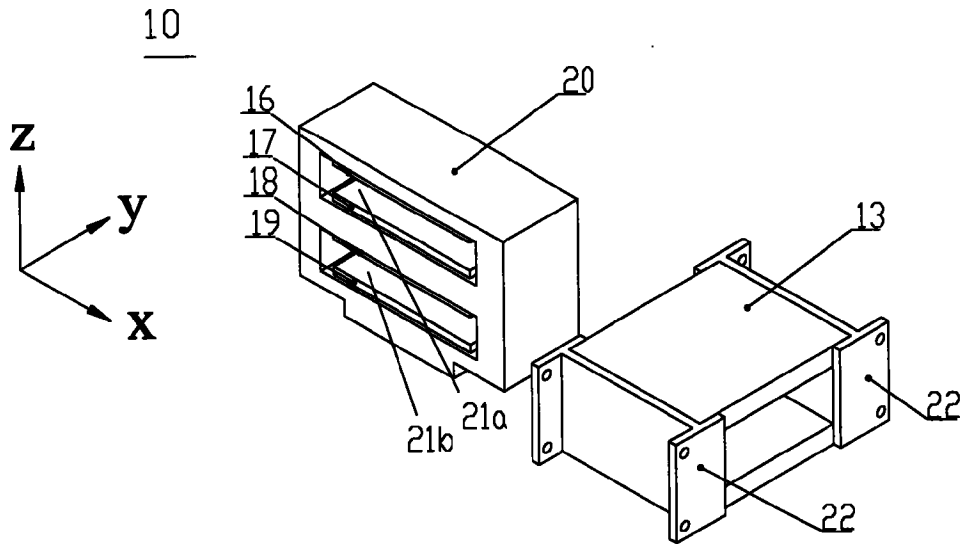


图 7

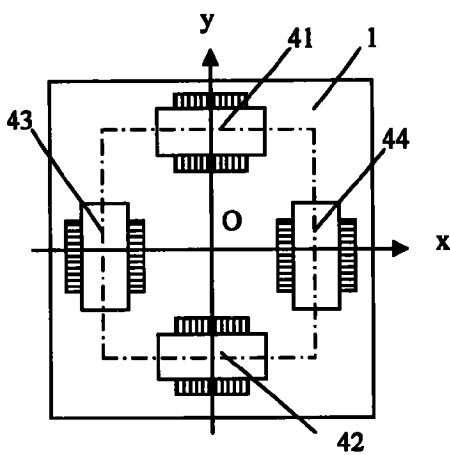


图 8a

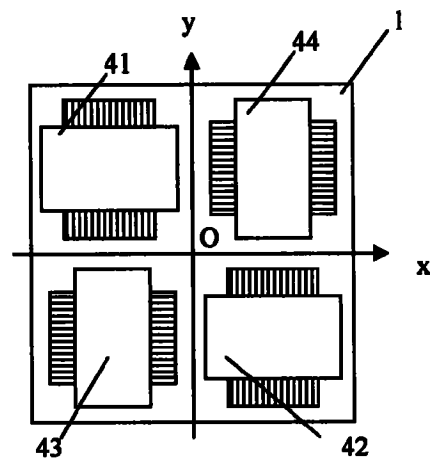


图 8b

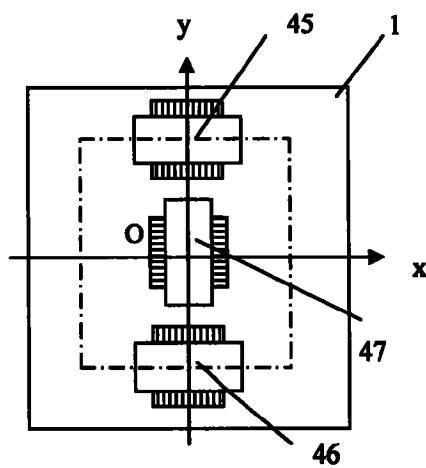


图 8c

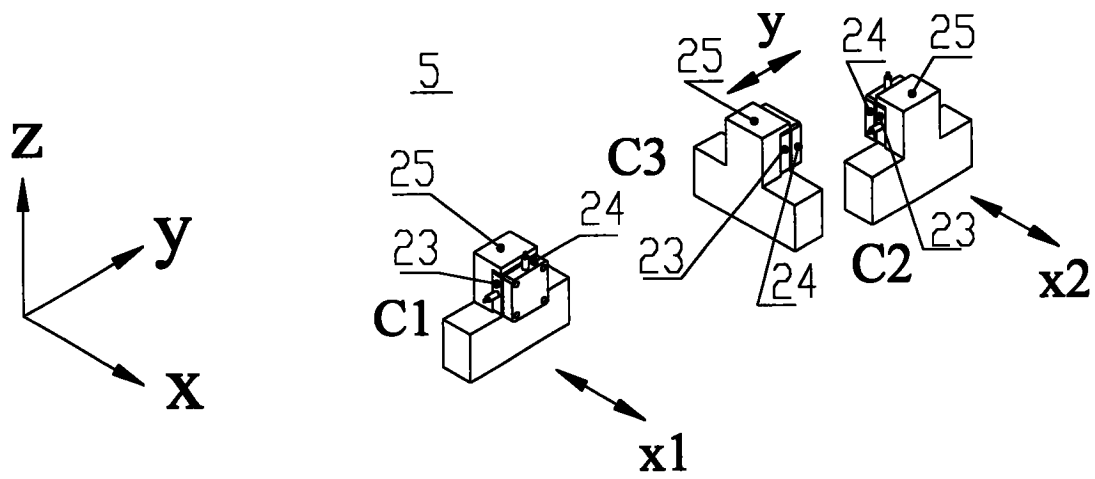


图9

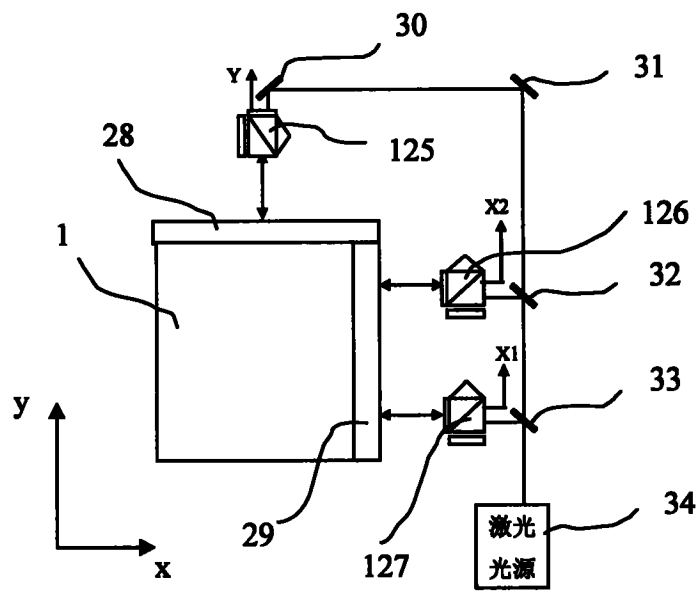


图10