



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102909610 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201210429045. 1

(22) 申请日 2012. 11. 01

(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 梁迎春 张强 陈国达 王波
孙雅洲 刘海涛

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 牟永林

US 5688084 A, 1997. 11. 18,

CN 102000911 A, 2011. 04. 06,

CN 101439422 A, 2009. 05. 27,

US 6048143 A, 2000. 04. 11,

CN 102430968 A, 2012. 05. 02,

朱国力等. 七轴五联动螺旋桨加工机床控制系统关键技术. 《华中科技大学学报(自然科学版)》. 2007, 第 35 卷(第 3 期), 第 77-79 页.

审查员 张东灵

(51) Int. Cl.

B23Q 37/00(2006. 01)

B23Q 1/26(2006. 01)

B23Q 5/40(2006. 01)

(56) 对比文件

US 4632615 A, 1986. 12. 30,

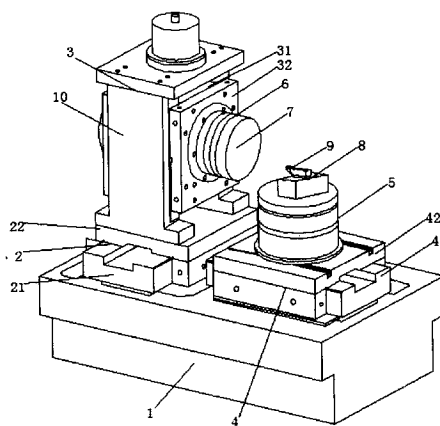
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

五轴联动超精密机床

(57) 摘要

五轴联动超精密机床,它涉及一种五轴联动机床。本发明为了解决传统超精密机床存在的功能单一;加工对象形状简单,难以满足复杂微细结构表面和微小元件加工的要求等问题。机床床身上装有 X 轴导轨和 Z 轴导轨,X 轴导轨上滑动连接有 X 轴溜板,Z 轴导轨上连接有 Z 轴溜板;X 轴溜板上沿竖直方向安装有立柱,立柱的竖直方向滑动连接有 Y 轴中溜板,Y 轴中溜板前固定连接 Y 轴前溜板;Y 轴前溜板上沿水平方向固定安装有 C 轴,C 轴上安装有真空吸盘,Z 轴溜板上沿竖直方向安装有 B 轴;X 轴、Y 轴、Z 轴为液体静压导轨支撑,B 轴和 C 轴采用气体静压支撑,B 轴上安装夹具装置及刀具;C 轴采用第一光栅和第二光栅来实现双反馈控制。本发明用于加工微细结构表面与微小元件。



1. 一种五轴联动超精密机床,其特征在于:五轴联动超精密机床包括机床床身(1)、X轴(2)、Y轴(3)、Z轴(4)、B轴(5)及C轴(6),所述的X轴(2)、Y轴(3)和Z轴(4)为直线运动轴,所述的B轴(5)和C轴(6)为回转运动轴,所述的X轴(2)和Z轴(4)为水平轴系,所述的Y轴(3)为垂直轴系,所述的机床床身(1)上固定安装有X轴导轨(21)和Z轴导轨(41),所述的X轴导轨(21)上滑动连接有X轴溜板(22),所述的Z轴导轨(41)上滑动连接有Z轴溜板(42);所述的X轴溜板(22)上沿垂直方向安装有立柱(10),所述立柱(10)作为Y轴(3)的导轨,立柱(10)的垂直方向滑动连接有Y轴中溜板(31),所述的Y轴中溜板(31)前固定连接有Y轴前溜板(32);所述的Y轴前溜板(32)上沿水平方向固定安装有C轴(6),所述的C轴(6)上安装有真空吸盘(7),所述的Z轴溜板(42)上沿垂直方向安装有B轴(5);所述X轴(2)、Y轴(3)、Z轴(4)为液体静压导轨支撑方式,用直线电机驱动,并采用纳米级分辨率的线性光栅实现位置反馈;所述的B轴和C轴采用气体静压支撑,通过无框力矩电机驱动,采用圆光栅作为角位移反馈;所述的B轴上安装夹具装置(8)及刀具(9);所述的C轴采用第一光栅和第二光栅来实现双反馈控制,第一光栅的分辨率低于第二光栅的分辨率。

2. 根据权利要求1所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:X轴运动范围为75mm,Y轴运动范围为35mm,Z轴运动范围为75mm,B轴运动范围为 $\pm 90^\circ$,C轴运动范围为 360° 。

3. 根据权利要求2所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:X轴、Y轴和Z轴的定位精度为 $\pm 0.2\mu\text{m}/50\text{mm}$,重复定位精度为 $0.1\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1或2所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:X轴导轨(21)、立柱(10)内侧和Z轴导轨(41)的直线度为 $0.1\mu\text{m}/50\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求4所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:X轴导轨(21)、立柱(10)和Z轴导轨(41)的刚度为 $500\text{N}/\mu\text{m}$ 。

6. 根据权利要求5所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:X轴导轨(21)、立柱(10)和Z轴导轨(41)的刚度为 $500\text{N}/\mu\text{m}$ 。

7. 根据权利要求6所述的五轴联动超精密机床,其特征在于:B轴和C轴的定位精度均为3角秒。

五轴联动超精密机床

技术领域

[0001] 本发明涉及一种五轴联动机床,具体涉及一种五轴联动超精密机床,可实现多种加工功能,面向微细结构表面及微小元件加工的五轴联动超精密机床,属于机械加工设备技术领域。

背景技术

[0002] 微细结构表面是指面形精度达亚微米级、表面粗糙度达纳米级、具有特定功能的微小表面拓扑形状。微细结构广泛应用于光电产品、通讯产品、微机电产品及军事、天文和医疗等高科技产业。随着这些高新技术的发展及系统小型化的趋势,微细结构表面及微小元件无论是在民用还是在国防领域,都显示出越来越重要的应用价值和广阔的应用前景。

[0003] 国内外对微细结构表面及微小元件制造技术进行了广泛而深入的研究,出现了多种加工技术,如光刻技术、蚀刻技术、沉积和影像蚀刻技术、LIGA 技术、电子束写技术、激光束写技术、复制技术和镀膜技术等。但是随着微细结构表面及微小元件的精度和复杂程度不断提高,这些技术方法的应用受到不同程度的限制。如难以加工真 3D 结构,或在曲面基底上加工 3D 结构;难以获得光滑镜面微细结构;可加工的材料受到限制;设备昂贵、成本高;效率低,难以进行批量生产;或需要具有较高精度和耐用性的模具等等。而采用超精密机床不但能够加工高深宽比的真 3D 结构,而且加工零件的成型精度可达亚微米级,以及适合于多种材料的加工,效率高,成本低等。

[0004] 传统超精密机床存在如下不足:1. 加工功能单一,其加工效率相对较低;2. 加工对象形状简单,适用范围窄,难以满足复杂微细结构表面和微小元件加工的要求。3. 机床运动灵活性相对较低。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决传统超精密机床存在的加工功能单一,加工效率低;加工对象形状简单,适用范围窄,难以满足复杂微细结构表面和微小元件加工的要求;机床运动灵活性低的问题,进而提供一种五轴联动超精密机床。

[0006] 本发明的技术方案是:五轴联动超精密机床包括机床床身、X 轴、Y 轴、Z 轴、B 轴及 C 轴,所述的 X 轴、Y 轴和 Z 轴为直线运动轴,所述的 B 轴和 C 轴为回转运动轴,所述的 X 轴和 Z 轴为水平轴系,所述的 Y 轴为垂直轴系,所述的机床床身上固定安装有 X 轴导轨和 Z 轴导轨,所述的 X 轴导轨上滑动连接有 X 轴溜板,所述的 Z 轴导轨上滑动连接有 Z 轴溜板;

[0007] 进一步,所述的 X 轴溜板上沿竖直方向安装有立柱,立柱的竖直方向滑动连接有 Y 轴中溜板,所述的 Y 轴中溜板前固定连接 Y 轴前溜板;所述的 Y 轴前溜板上沿水平方向固定安装有 C 轴,所述的 C 轴上安装有真空吸盘,所述的 Z 轴溜板上沿竖直方向安装有 B 轴;

[0008] 进一步,所述 X 轴、Y 轴、Z 轴为液体静压导轨支撑方式,用直线电机驱动,并采用纳米级分辨率的线性光栅实现位置反馈;

[0009] 进一步,所述的 B 轴和 C 轴采用气体静压支撑,通过无框力矩电机驱动,采用圆光

栅作为角位移反馈；

[0010] 进一步,所述的 B 轴上安装夹具装置及刀具；

[0011] 进一步,所述的 C 轴采用第一光栅和第二光栅来实现双反馈控制,第一光栅的分辨率低于第二光栅的分辨率。

[0012] 进一步,Y 轴包括气体静压主轴、Y 轴溜板、丝杠螺母座、力矩电机、滚珠丝杠、丝杠轴承座、横梁、主轴电机座、卸荷气缸、主轴电机和两个立柱,Y 轴溜板的纵向高度小于立柱的纵向高度,Y 轴溜板包括 Y 轴前溜板、Y 轴中溜板和 Y 轴后溜板,两个立柱左右并列设置在 X 轴溜板上,Y 轴中溜板滑动连接在两个立柱之间,立柱为 Y 轴中溜板提供导轨功能,Y 轴中溜板的前侧安装有 Y 轴前溜板,Y 轴中溜板的后侧安装有 Y 轴后溜板,Y 轴前溜板、Y 轴中溜板和 Y 轴后溜板的中心均开有贯穿圆孔,气体静压主轴安装在 Y 轴前溜板和 Y 轴中溜板的贯穿圆孔内,主轴电机座安装在 Y 轴中溜板和 Y 轴后溜板的贯穿圆孔内,主轴电机安装在主轴电机座内,气体静压主轴的后端与主轴电机座内的主轴电机连接,横梁安装在两个立柱的上端面上,横梁的中心开有中心孔,丝杠轴承座安装在中心孔上,丝杠轴承座上安装有有力矩电机,滚珠丝杠的下端穿过丝杠轴承座和横梁的中心孔与置于横梁下方的丝杠螺母座相连接,丝杠螺母座安装在 Y 轴中溜板上,滚珠丝杠的上端与力矩电机连接,滚珠丝杠由力矩电机驱动,所述 Y 轴中溜板与 X 轴溜板之间连接有卸荷气缸。

[0013] 进一步,Y 轴还包括配重块,所述配重块安装在 Y 轴后溜板上。

[0014] 本发明与现有技术相比具有以下效果:本发明的五轴联动超精密机床的 X 轴、Y 轴和 Z 轴为直线运动轴,为液体静压导轨支撑,用直线电机驱动,并采用纳米级分辨率的线性光栅实现位置反馈。B 轴和 C 轴为旋转运动轴,采用气体静压支撑,通过无框力矩电机驱动,采用圆光栅作为角位移反馈。本发明可实现对有色金属、玻璃和黑色金属材料的超精密加工。调整刀具类型及安装位置,可实现车削、飞刀切削、铣削、快刀加工等多种加工功能;另外,C 轴具有双重工作模式,根据需要既可以作为高速工件主轴,又可作为位置伺服轴,通过数控系统的控制面板来选择 C 轴的工作模式,当所述的 C 轴被用作高速工件主轴时,电机驱动器接受来自第一光栅的反馈,反馈信号被用作轴系的角位移反馈。当所述的 C 轴被用作位置伺服轴时,电机驱动器接受来自第二光栅的反馈,反馈信号被用作轴系的角位移反馈。

[0015] 综上,本发明的优点为:(1) 应用范围广,加工效率高,可实现对复杂微细结构表面和微小元件的超精密加工,可加工有色金属、玻璃和黑色金属材料;(2) 集成功能多,可实现车削、飞刀切削、铣削、快刀加工等多种加工功能;(3) 运动灵活性高、精度高、工艺适应性强。

附图说明

[0016] 图 1 是本发明的五轴联动超精密机床的整体结构立体图；

[0017] 图 2 是透镜阵列元件图；

[0018] 图 3 是尺寸为 $50\ \mu\text{m}$ 的微金字塔阵列结构图；

[0019] 图 4 是尺寸为 $150\ \mu\text{m}$ 的微金字塔阵列结构；

[0020] 图 5 是 Y 轴的整体结构立体分解图；

[0021] 图 6 是主轴电机座、垂直运动轴中溜板、垂直运动轴后溜板、主轴电机、气体静压主轴之间的连接关系示意图。

具体实施方式

[0022] 具体实施方式一：结合图 1、图 5 和图 6 说明本实施方式，本实施方式的五轴联动超精密机床包括机床床身 1、X 轴 2、Y 轴 3、Z 轴 4、B 轴 5 及 C 轴 6，所述的 X 轴 2、Y 轴 3 和 Z 轴 4 为直线运动轴，所述的 B 轴 5 和 C 轴 6 为回转运动轴，所述的 X 轴 2 和 Z 轴 4 为水平轴系，所述的 Y 轴 3 为垂直轴系，所述的机床床身 1 上固定安装有 X 轴导轨 21 和 Z 轴导轨 41，所述的 X 轴导轨 21 上滑动连接有 X 轴溜板 22，所述的 Z 轴导轨 41 上滑动连接有 Z 轴溜板 42；

[0023] 进一步，所述的 X 轴溜板 22 上沿竖直方向安装有立柱 10，所述的立柱 10 提供 Y 轴 3 的导轨功能，立柱 10 的竖直方向滑动连接有 Y 轴中溜板 31，所述的 Y 轴中溜板 31 前固定连接有 Y 轴前溜板 32；所述的 Y 轴前溜板 32 上沿水平方向固定安装有 C 轴 6，所述的 C 轴 6 上安装有真空吸盘 7，可以用来固定工件，所述的 Z 轴溜板 42 上沿竖直方向安装有 B 轴 5；

[0024] 进一步，所述 X 轴 2、Y 轴 3、Z 轴 4 为液体静压导轨支撑方式，用直线电机驱动，并采用纳米级分辨率的线性光栅实现位置反馈；

[0025] 进一步，所述的 B 轴和 C 轴采用气体静压支撑，通过无框力矩电机驱动，采用圆光栅作为角位移反馈；

[0026] 进一步，所述的 B 轴上安装夹具装置 8 及刀具 9；

[0027] 进一步，所述的 C 轴采用第一光栅和第二光栅来实现双反馈控制，第一光栅的分辨率低于第二光栅的分辨率。

[0028] Y 轴 3 为超精密机床的垂直运动轴系。

[0029] 进一步，Y 轴包括气体静压主轴 y1、Y 轴溜板、丝杠螺母座 y4、力矩电机 y5、滚珠丝杠 y6、丝杠轴承座 y7、横梁 y8、主轴电机座 y11、卸荷气缸 y12、主轴电机 y15 和两个立柱 10，Y 轴溜板的纵向高度小于立柱 10 的纵向高度，Y 轴溜板包括 Y 轴前溜板 32、Y 轴中溜板 31 和 Y 轴后溜板 y13，两个立柱 10 左右并列设置在 X 轴溜板 22 上，Y 轴中溜板 31 滑动连接在两个立柱 10 之间，立柱 10 为 Y 轴中溜板 31 提供导轨功能，Y 轴中溜板 31 的前侧安装有 Y 轴前溜板 32，Y 轴中溜板 31 的后侧安装有 Y 轴后溜板 y13，Y 轴前溜板 32、Y 轴中溜板 31 和 Y 轴后溜板 y13 的中心均开有贯穿圆孔 y14，气体静压主轴 y1 安装在 Y 轴前溜板 32 和 Y 轴中溜板 31 的贯穿圆孔 y14 内，主轴电机座 y11 安装在 Y 轴中溜板 31 和 Y 轴后溜板 y13 的贯穿圆孔 14 内，主轴电机 y15 安装在主轴电机座 y11 内，气体静压主轴 y1 的后端与主轴电机座 y11 内的主轴电机 y15 连接，横梁 y8 安装在两个立柱 10 的上端面上，横梁 y8 的中心开有中心孔 y16，丝杠轴承座 y7 安装在中心孔 y16 上，丝杠轴承座 y7 上安装有力矩电机 y5，滚珠丝杠 y6 的下端穿过丝杠轴承座 y7 和横梁 y8 的中心孔 y16 与置于横梁 y8 下方的丝杠螺母座 y4 相连接，丝杠螺母座 y4 安装在 Y 轴中溜板 31 上，滚珠丝杠 y6 的上端与力矩电机 y5 连接，滚珠丝杠 y6 由力矩电机 y5 驱动，所述 Y 轴中溜板 31 与 X 轴溜板 22 之间连接有卸荷气缸 y12。

[0030] 进一步，Y 轴 3 还包括配重块 y9，所述配重块安装在 Y 轴后溜板 y13 上。

[0031] Y 轴系的运动利用液体静压支撑，立柱为 Y 轴溜板提供导轨功能。Y 轴的重力平衡依靠卸荷气缸来实现。Y 轴的驱动利用电机和滚珠丝杠实现。(1) Y 轴中的立柱充当 Y 轴的导轨功能，旋转轴部件置于溜板中空区域，结构紧凑；(2) 静态和动态刚度高；(3) 能满足面

向复杂微细结构加工机床的需要；(4) 精度高, 抗干扰能力强, 动态运动性能好。

[0032] 本实施方式的五轴联动超精密机床的技术指标如表 1：

[0033] 表 1

[0034]

检验项目	要求值	检验结果	备注
X轴运动范围	75mm	200mm	
Y轴运动范围	35mm	45mm	
Z轴运动范围	75mm	150mm	
主轴最高转速	110000RPM	110000RPM	
高速电主轴轴向刚度	10N/ μ m	10N/ μ m	
高速电主轴径向刚度	15N/ μ m	15N/ μ m	
运动控制分辨率	5nm	5nm	
定位精度	$\pm 0.2 \mu$ m/50mm	0.350 μ m/50mm	在选定的 50mm 行程 上
		0.380 μ m/50mm	
		0.360 μ m/50mm	
重复定位精度	0.1 μ m	X 轴 0.105 μ m	
		Y 轴 0.110 μ m	
		Z 轴 0.100 μ m	
导轨直线度	0.1 μ m /50mm	X 轴 X-Y 平面: 0.07 μ m/50mm	在选定的 50mm 行程 上
		X 轴 X-Z 平面: 0.07 μ m/50mm	
		Y 轴 X-Y 平面: 0.08 μ m/50mm	
		Y 轴 Y-Z 平面: 0.07 μ m/50mm	
		Z 轴 X-Z 平面: 0.08 μ m/50mm	
		Z 轴 Y-Z 平面: 0.09 μ m/50mm	
导轨刚度	500N/ μ m	X 轴 垂直于 X-Y 平 面: 550N/ μ m X 轴 垂直于 X-Y 平	

[0035]

		面: 610N/ μm	
		Y 轴 垂直于 X-Y 平面 面: 520N/ μm	
		Y 轴 垂直于 Y-Z 平面 面: 510 N/ μm	
		Z 轴 垂直于 X-Z 平面 面: 620	
		Z 轴 垂直于 Y-Z 平面 面: 550 N/ μm	
B 轴运动范围	$\pm 90^\circ$	360°	
C 轴运动范围	360°	360°	
B 轴定位精度	3 角秒	1.26 角秒	
C 轴定位精度	3 角秒	1.58 角秒	

[0036] 一、采用五轴联动超精密机床进行微细车削

[0037] 实施例:非回转对称微结构表面:凸透镜阵列

[0038] 凸透镜阵列的形状参数:微透镜的高度 $12\ \mu\text{m}$, 透镜底部开口半径 $300\ \mu\text{m}$, 透镜所在球的半径 3.756mm , 透镜中心距离 $800\ \mu\text{m}$, 加工区域半径 10mm 。实验中采用刀尖圆弧半径为 $637\ \mu\text{m}$ 的金刚石刀具, 工件材料为硬铝, 微透镜阵列元件参见图 2。

[0039] 二、采用五轴联动超精密机床进行微细铣削

[0040] 实施例:微金字塔阵列

[0041] 采用直径 0.5mm 的超细晶粒硬质合金 V 型立铣刀, 以主轴转速 $60000\ \text{转/分}$, 进给速度 10mm/s , 切削深度 $10\ \mu\text{m}$ 的工艺参数, 开展了微金字塔阵列结构的铣削加工实验, 分别获得了尺寸为 $50\ \mu\text{m}$, $150\ \mu\text{m}$ 的微金字塔阵列结构, 如图 3 和图 4 所示。

[0042] 本说明书实施例所述内容仅仅是对发明构思所实现形式的部分列举, 本发明的保护范围不应当仅局限于实施例所陈述的具体形式, 本发明的保护范围及于本领域技术人员根据本发明的技术构思所能想到的等同技术手段。

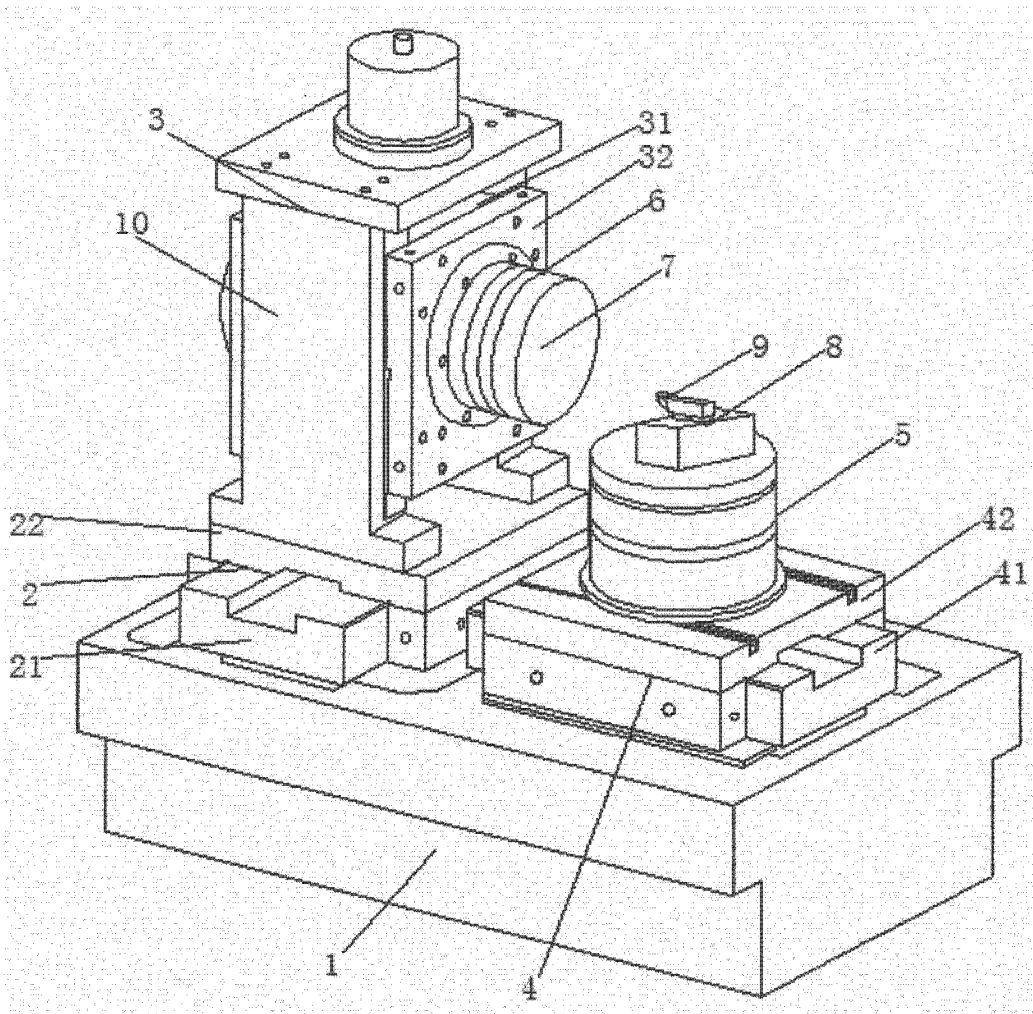


图 1

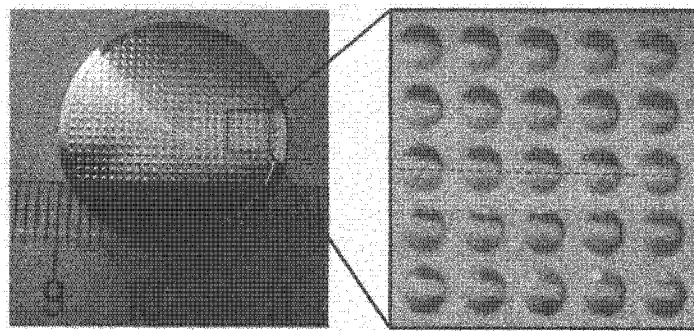


图 2

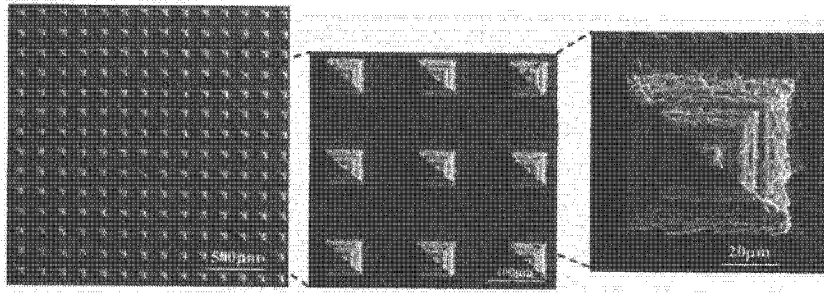


图 3

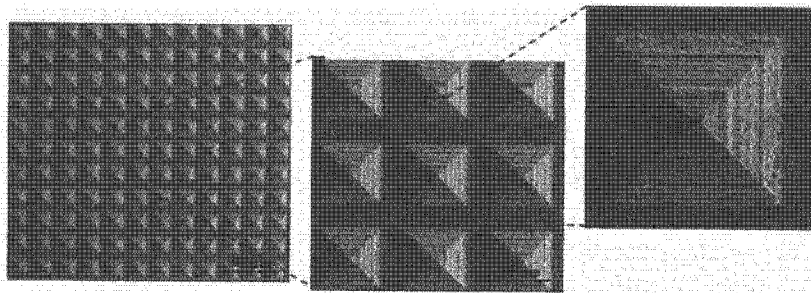


图 4

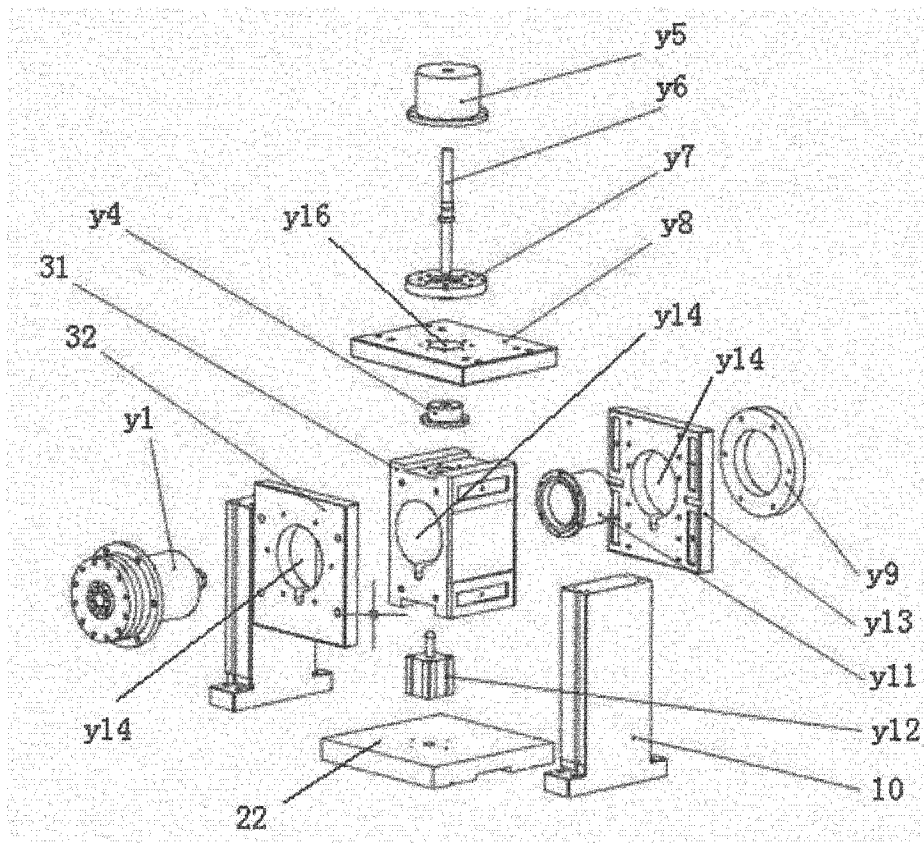


图 5

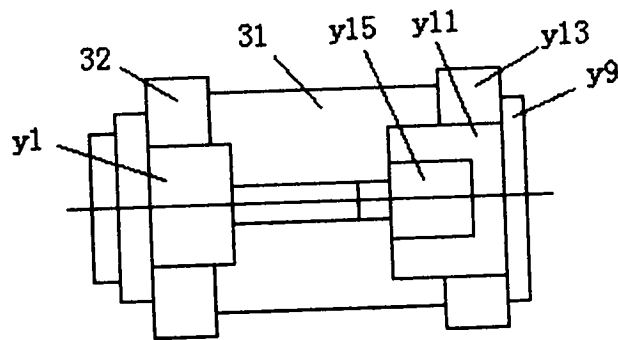


图 6