

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101419044 B

(45) 授权公告日 2010.10.06

(21) 申请号 200810196741.6

审查员 张蔚

(22) 申请日 2008.09.19

(73) 专利权人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市屯溪路 193 号

(72) 发明人 费业泰 王晨晨 尚平

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 何梅生

(51) Int. Cl.

G01B 5/008 (2006.01)

(56) 对比文件

SIOS Meß
technik GmbH. Nanopositioning and
Nanomeasuring Machine. 《SIOS Meß
technik GmbH》. 2007,

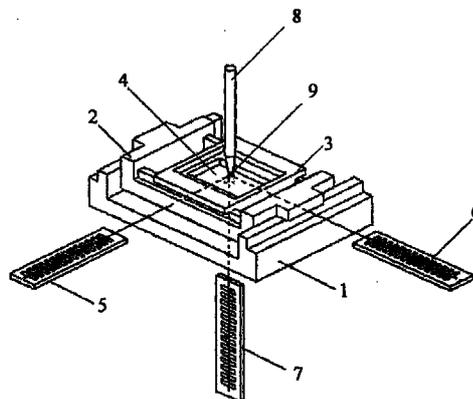
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

微纳米级三维测量“331”系统及其测量方法

(57) 摘要

微纳米级三维测量“331”系统及其测量方法，其特征是设置三维测量系统 X、Y、Z 轴标准量尺寸线或其延长线相互垂直并相交于一交点上，以交点为坐标原点，建立三维坐标系；设置测量系统中测量平台的 X 轴导轨导向面、Y 轴导轨导向面与测头中心点所在的测量面三面共面形成重合平面；设置 X、Y、Z 轴标准量尺寸线或其延长线的交点处于测量平台的重合平面上；同时使 X、Y 轴标准量尺寸线或其延长线也与三面重合，使已建三维坐标系的 X、Y 坐标面与测量面重合；设置测头中心点与三条标准量尺寸线或其延长线交点重合。本发明在三维方向上都满足阿贝原则，从而能有效避免阿贝误差，保证高测量精度。



1. 微纳米级三维测量“331”系统,其特征是系统构成为:

设置三维测量系统的 X、Y、Z 轴标准量尺寸线或其延长线相互垂直并相交于一交点上,以所述交点为坐标原点,建立三维坐标系;

设置测量系统中测量平台的 X 轴导轨导向面、Y 轴导轨导向面与测头中心点所在的测量面三面共面形成重合平面,从而建立三维共平面测量平台;

设置所述 X、Y、Z 轴标准量尺寸线或其延长线的交点处于测量平台的 X 轴导轨导向面、Y 轴导轨导向面、测量面三面的重合平面上;同时使 X、Y 轴标准量尺寸线或其延长线也与三面重合,使已建三维坐标系的 X、Y 坐标面与测量面重合;

设置测头中心点与三条标准量尺寸线或其延长线交点重合;

所述测量系统的测量平台由 X 向滑座 (1)、Y 向滑座 (2)、工作滑台 (3) 和 Z 向可调工作台 (4) 以由外向内逐一嵌套的结构形式组成;其中,X 向滑座 (1) 和 Y 向滑座 (2) 之间的 X 导轨面 (11) 与 Y 向滑座 (2) 和工作滑台 (3) 之间的 Y 导轨面 (12) 与测头中心所在的测量面处在同一面上,被测工件放在嵌套在工作滑台 (3) 中的 Z 向可调工作台 (4) 上。

2. 一种权利要求 1 所述微纳米级三维测量“331”系统的测量方法,其特征是锁定测头位置,固定在测量平台上的被测件随着测量平台的运动,并向测头逼近实现测量。

微纳米级三维测量“331”系统及其测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微纳米级三维坐标测量技术领域,更具体地说是一种微纳米级三维测量系统及测量方法。

背景技术

[0002] 对于测量仪器,除了要求传感器精度外,仪器结构上的合理布局可以使测量仪器在机械加工精度较低的情况下,仍能获得高的测量结果,降低测量系统对机械结构精度的要求。

[0003] 一百多年以来,测量系统都遵循阿贝原则,即当测量时被测件的被测尺寸线与测量仪器标准量尺寸线相重合或者在其延长线上时,测量误差最小,不符合阿贝原则而产生的测量误差称为阿贝误差。一维测量系统能够做到满足阿贝原则。而二维或三维的测量系统,由于结构上的限制,很难做到各维都满足阿贝原则,导致测量系统不可避免存在阿贝误差。例如万能工具显微镜和三坐标测量机,结构系统布局均不符合阿贝原则,这种影响限制了测量仪器精度的提高。

[0004] 现有测量系统的结构布局分析如下:

[0005] 图1为串联式一维测量台。测量台座4固定不动,在测量运动件1从位置①到位置②的线性距离中,被测线性距离量处于标准尺3的标准尺寸线2延长线上,满足阿贝原则。

[0006] 图2为并联式一维测量系统。图2a所示,标准尺1与被测尺寸线2存在阿贝臂 S 。由于导轨运动的直线度偏差,引起测量架3产生 θ 的倾斜角,图2b所示,其产生的测量误差为 $\Delta L = S \tan \theta \approx S \theta$ 。

[0007] 一台纳米级测量机,其导轨运动面与标尺光栅面不重合,存在 $S = 10\text{mm}$ 的阿贝臂,运动平台产生角度为 $\theta = 1''$ 的倾斜,则会产生 $\Delta L = S \tan \theta \approx S \theta = 48\text{nm}$ 的阿贝误差。对于高精度测量来说,这一影响是很大的。但是按照阿贝原则设计的仪器结构尺寸又较大,所以往往采用并联式的伪阿贝原则结构布局,用提高导轨精度的措施或采用误差修正方法来保证测量精度,显然前者的制造成本较高,而后者具有时变性,需经常修改软件。

[0008] 很多二维运动系统都违反阿贝原则,工具显微镜和二维数控机床测量系统等,都是两运动导轨及测量平台在不同的平面上。这样被测件在测量平台上测得的尺寸线段,与其对应的测量标尺会有很大的阿贝距离。

[0009] 图3是一个常用的二维工作台, X向运动导轨1、Y向运动导轨2,以及测量平台3不在同一平面上。数控平台以电机丝杠传动,电机上的圆光栅编码器记录丝杠的转动,转化为工作台的移动量。在这个系统中,丝杠为长度计量的标准量。而被测量处在工作台上,其X、Y向的测量,与标尺之间分别有 H_1 和 H_2 的阿贝臂。工作台运动时,X、Y导轨的运动直线度误差会分别被 H_1 、 H_2 放大。假设,测量平台3与X轴丝杠中心距 $H_1 = 10\text{cm}$,测量平台3有 $\theta = 1''$ 的运动俯仰偏差,则产生的X向误差为 $\Delta L = H_1 \tan \theta = 480\text{nm}$ 。

[0010] 三维系统相对更加复杂,三坐标测量机就是常用的三维测量系统,与上面的二维运动平台类似,它也是明显违背阿贝原则的。

[0011] 图4为一典型的移动桥式三坐标测量机。工作台1是固定不动的,桥框3可沿工作台X向运动,滑架5沿桥框3沿Y向运动,主轴6可沿Z向运动。被测工件被安放在工作台1上,测头固定安装在在主轴6的底端。分析其机构布局可以看到:X向光栅标尺2在工作台的一侧,在Y方向存在很大的阿贝臂 H_1 ,桥框的偏摆会造成很大的阿贝误差,对测量机的精度影响很大。并且,随着测量机滑架5的Y向运动,阿贝臂 H_1 还在不断变化;同样,测头与Y向光栅尺4也存在着Z向的阿贝臂 H_2 ,其也随着主轴6的Z向运动而不断变化。由于这种测量机跨度大,结构布局上又存在着很大的不可避免的阿贝误差,严重影响测量精度。

[0012] 用于减少或消除结构布局带来的测量误差的各种方法:

[0013] 1、提高结构精度。比如提高导轨的直线度,以减少运动件在运动中的滚转和偏转等,降低直线度运动误差;提高导轨的安装、调整与加工的精度,降低机械结构的系统误差。但是,机械加工精度每提高一个等级,都会导致成本数倍的增加。

[0014] 2、合理结构布局、减少阿贝臂。阿贝误差是测量系统的一个主要误差源,采用更加合理的结构布局,尽量减少被测量与标准尺之间的距离,也就是阿贝距离,从误差源头降低系统的误差。

[0015] 3、采用静态误差修正。由于科学技术的发展,对测量机的精度有越来越高的要求,要完全通过提高制造精度、严格控制环境条件来实现高的测量精度,在技术上和经济上都很难。为了经济地达到高的测量精度,误差修正技术得到了广泛的应用。静态误差修正技术的基本思想是:用精度更高的仪器将测量机的误差检测出来,以一定方式存入测量机的软件中,在测量机工作时,按检测的结果对误差进行修正。这种补偿方法中,测量误差按事先检测的结果进行修正,所以它只能补偿系统误差,而不能补偿随机误差。

[0016] 4、实时误差修正。在测量机测量工件的同时,用随机传感器对测量机本身的误差进行实时检测,并按照检测的结果对它进行误差修正,这种方法称为实时误差修正。它与静态误差修正的最大区别就是,由于它检测得到的是测量机测量工件时的误差,所以它能同时补偿测量机的系统误差和随机误差。这样,一些由于系统重复性不好、环境温度变化等带来的误差,可以通过这种实时修正的方法来减少测量误差。但是,实时误差修正的方法相比静态修正方法更为复杂,一方面,需要很多的实时响应的高精度传感器;另一方面,也要求整个软件系统的动态响应特性也要非常好。显然,这种方法的成本较高。

发明内容

[0017] 本发明是为避免上述现有技术所存在的不足之处,提供一种适用于小测量范围上的微纳米级三维测量“331”系统及其测量方法,其在三维方向上都满足阿贝原则,从而能有效避免阿贝误差,保证高测量精度。

[0018] 本发明解决技术问题采用如下的技术方案。

[0019] 本发明微纳米级三维测量“331”系统的结构特点是:

[0020] 设置三维测量系统的X、Y、Z轴标准量尺寸线或其延长线相互垂直并相交于一交点上,以所述交点为坐标原点,建立三维坐标系;

[0021] 设置测量系统中测量平台的X轴导轨导向面、Y轴导轨导向面与测头中心点所在的测量面三面共面形成重合平面,从而建立三维共平面测量平台;

[0022] 设置所述X、Y、Z轴标准量尺寸线或其延长线的交点处于测量平台的X轴导轨导向

面、Y 轴导轨导向面、测量面三面的重合平面上；同时使 X、Y 轴标准量尺寸线或其延长线也与三面重合，使已建三维坐标系的 X、Y 坐标面与测量面重合；

[0023] 设置测头中心点与三条标准量尺寸线或其延长线交点重合。

[0024] 本发明微纳米级三维测量“331”系统的结构特点也在于测量平台由 X 向滑座、Y 向滑座、工作滑台和 Z 向可调工作台以由外向内逐一嵌套的结构形式组成；其中，X 向滑座和 Y 向滑座之间的 X 导轨面与 Y 向滑座和工作滑台之间的 Y 导轨面与测头中心所在的测量面处在同一面上，被测工件放在嵌套在工作滑台中的 Z 向可调工作台上。

[0025] 本发明微纳米级三维测量“331”系统的测量方法的特点是锁定测头位置，固定在测量平台上的被测件随着测量平台的运动，并向测头逼近实现测量。

[0026] 本发明采用三轴标准量尺寸线共点的方式构建三维系统的空间坐标系，测头处在坐标零点，以此保证任一被测点都处在标准量尺寸线上。

[0027] 其次，由于测量系统的 X、Y 向导轨面采用共平面导向，并且这两面又与测量平台的测量面重合，因而有效避免了传统多维测量系统堆叠式的结构布局存在的不可避免的阿贝误差。

[0028] 关于本发明“331”结构的具体论述：

[0029] 1、三线共点。调整使三维测量系统的 X、Y、Z 轴三条标准量尺寸线相互垂直并相交在测头中心，然后锁定三条标准量尺寸线及测头的位置和方向，建立整个测量系统的三维坐标系。

[0030] 在调整使三条标准量尺寸线精确垂直相交于一点且交点与测头中心点重合后，即可以实现无论测量平台的空间位置如何变化，始终能保证被测点处在三条测量线交点上，被测点不会存在由于测量平台位置的变化而引起的测量误差。

[0031] 图 6 所述为测量的三线共点定位原理图。

[0032] 2、三面共面。在三维测量系统的机械机构布局上，使 X、Y 两维导轨的运动导向面与工作台测量面重合，这种共平面导向，消除了由于导轨运动导向面不重合而产生的阿贝误差。测量时被测件放在工作台测量面上。对于 MEMS 微小零件，其厚度小，由高度差引起的近阿贝误差可予忽略，但对于有一定高度的被测件，在测量时可能引起不可忽略的误差。对于这种情况由两种解决办法：一种是将工作台测量面设计加工成低于共面位置，根据被测件高度来选择相应厚度的垫片，以保证被测面与导轨面共面；另一种方法是将台面设计成可作 Z 向位移的组件，但其位移控制精度要求不高，只需控制被测工件的测量面与导轨面重合度在 0.1 ~ 0.2mm 以内即可。

[0033] 例如三维测量平台，其两导轨运动面不重合，存在 $S = 0.1\text{mm}$ 的阿贝臂，滑台运动倾斜角度为 $\theta = 1''$ ，则产生的测量误差 $\Delta L = S \tan \theta \approx S \theta = 0.48\text{nm}$ ，影响非常小。在实际加工装配或控制中，两导轨运动面重合误差可以做到更小，这样导轨垂直面内直线度误差引起的阿贝误差接近于零，实现“零阿贝误差”。

[0034] 三面共面系统的结构原理如图 5 所示。

[0035] 3、点面重合。在三维测量系统布局和装配满足“三线共点”和“三面共面”后，使三条标准量尺寸线相交的交点（即测头中心）落在 X、Y 轴导轨导向面与测量面所重合的平面上，且使 X、Y 轴标准量尺寸线所建立的平面直角坐标系与测量面重合，实现测量机整体布局的“331 原则”，从而保证测量点在三维空间的任一处的测量值不存在阿贝误差，其结构

布局如图 7 所示,测量平台中的各构件采用嵌套的结构形式。

[0036] 与现有技术相比,本发明的有益效果体现在:

[0037] 本发明基于共平面导向、标准量尺寸线共点和测量点与导向面重合的“331”结构,不仅克服了传统三维运动系统堆栈式的结构而带来的不可避免阿贝误差的问题,而且实现了三维测量空间上的“零阿贝误差”。但由于这嵌套式的共平面结构布局,限制了整个测量系统的测量范围,可适用于测量范围较小,但测量精度要求较高的微纳米级测量。这种基于“331 原则”的系统结构,为高精度纳米级三维测量系统的结构布局提供了创新设计原则,将可大大降低仪器制造成本,具有广泛实用价值。

附图说明

[0038] 图 1 为已有技术中串联式一维测量台结构示意图。

[0039] 图 2a、图 2b 为已有技术中并联式一维测量系统结构示意图。

[0040] 图 3 为已有技术中二维工作台结构示意图。

[0041] 图 4 为已有技术中移动桥式三坐标测量机。

[0042] 图 5a 为本发明 X 向滑座结构示意图。

[0043] 图 5b 为本发明 Y 向滑座结构示意图。

[0044] 图 5c 为本发明工作滑台结构示意图。

[0045] 图 5d 为本发明三维共面测量平台结构示意图。

[0046] 图 6 为本发明三线共点原理图示意图。

[0047] 图 7 为本发明三维测量“331”系统示意图。

[0048] 图中标号:1 为 X 向滑座、11 为 X 导轨面、2 为 Y 向滑座、21 为 Y 导轨面、3 工作滑台、31 工作台测量面、4 为 Z 向可调工作台面、5 为 X 轴计量仪器、6 为 Y 轴计量仪器、7 为 Z 轴计量仪器、8 为 Z 向测杆、9 为测头。

[0049] 以下通过具体实施方式,结合附图对本发明作进一步说明。

[0050] 具体实施方式

[0051] 图 7 所示为满足三线共线、三面共面和点面重合的“331 原则”的三维运动结构系统示意图。

[0052] 为了实现符合“331 原则”的结构布局,需要在结构装配时进行精确的调整,实际调整分为以下四个步骤:

[0053] 1、调整共平面三维运动系统和三线共点系统

[0054] 如图 5d 所示,首先装配三维共平面系统;整个三维运动工作台主要由 X 向滑座 1(图 5a 所示)、Y 向滑座 2(图 5b 所示)、工作滑台 3(图 5c 所示)和 Z 向可调工作台 4(图 5c 所示)组成,这四部分以由外向内逐一嵌套的结构布局形式组成,被测工件放在嵌套在工作滑台之中的 Z 向可调工作台上。其中 X 导轨面 11、Y 导轨面 21、工作台测量面 31 三面处在同一平面上。整个三维运动平台的共平面特性是由制造来保证的,因此平台的运动精度由制造精度所确定。调整三维运动平台的 X、Y、Z 运动方向分别与图 6 中 X、Y、Z 轴三条标准量尺寸线相平行,以保证三线相互垂直。

[0055] 2、调整三线共点

[0056] 如图 6 所示,调整使 X 轴计量仪器 5、Y 轴计量仪器 6 和 Z 轴计量仪器 7 的三条标

准量尺寸线两两垂直、且在同一平面上,以保证三条标准量尺寸线相交在一点(图中0点)上,各计量仪器可以是标尺或激光干涉仪等。

[0057] 3、调整点面重合

[0058] 调整三条标准量尺寸线交点与X、Y两维导轨的运动导向面与工作台测量面的重合面相重合。

[0059] 4、调整测头位置

[0060] 如图7所示,最后调整测头9的中心与三条标准量尺寸线交点和三面共平面重合,并调整Z向测杆8处在Z向标准量尺寸线上。在仪器测量过程中,始终保持测头的位置不变,通过移动工作滑台3来实现对被测工件所需尺寸的测量,由此可以保证任一测量点都处在三面共面的零阿贝测量面上。

[0061] 在实际测量时,由于被测工件具有一定的厚度,可以通过调整Z向可调工作台4的高度,使被测点始终与被测面重合使被测点始终处在零阿贝测量面上。测量系统布局在符合“331”结构形式后,测量结果将不再存在阿贝误差,或其影响很小,可予忽略。此时,只存在由导轨运动直线度误差引起测量的二次误差,而这一影响甚微。

[0062] 设由于导轨的运动误差引起平台偏摆 θ 角度,行程 l ,则测量误差为:

$$[0063] \quad \Delta L = l(1 - \cos\theta) \approx \frac{1}{2}l\theta^2, \theta \text{ 的影响为二次误差。}$$

[0064] 假设 $\theta = 1''$, $l = 10\text{mm}$,

$$[0065] \quad \text{则产生的二次误差为: } \Delta L = l(1 - \cos\theta) \approx \frac{1}{2}l\theta^2 = 0.12\text{nm}$$

[0066] 若 $\theta = 5''$ 时, $\Delta L = 2.9\text{nm}$

[0067] 由此可知,由导轨直线度误差所引起的二次误差可不予考虑,而只需考虑一次误差的影响。表1给出几个算例,在不同参数时,由于导轨直线度误差所产生的一次测量误差。

[0068] 表1 导轨运动误差所产生的一次测量误差算例

[0069]

测量误差 (μm)	不共点(面) 误差	0.1mm	0.2mm	0.3mm
导轨运动误差				
1''		0.48nm	0.96nm	1.44nm
3''		1.45nm	2.9nm	4.35nm
5''		2.4nm	4.8nm	7.2nm

[0070] 从表1数据可知,保证达到表中工作台制造精度和共点(面)精度,这是较为一般的技术。这种共平面和共测量线的结构布局,不需要特殊的精密技术,因此制造成本不高。

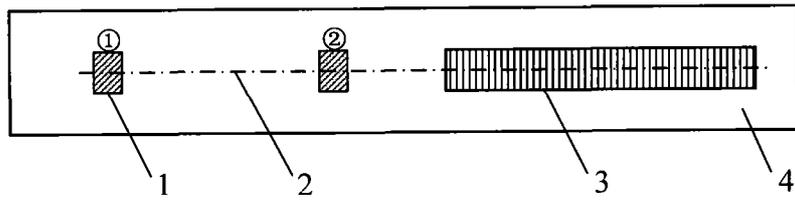


图 1

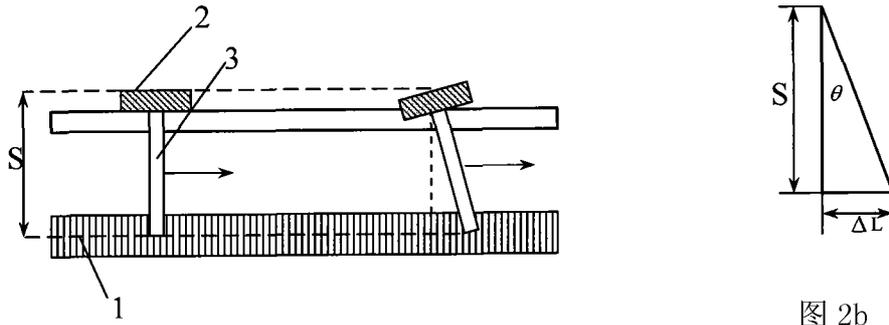


图 2b

图 2a

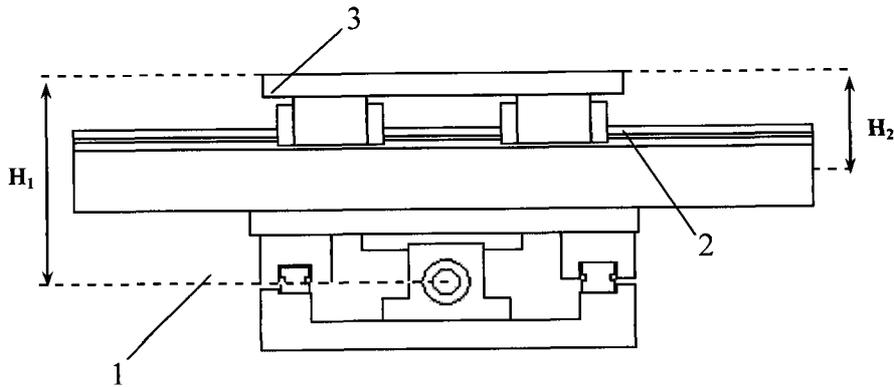


图 3

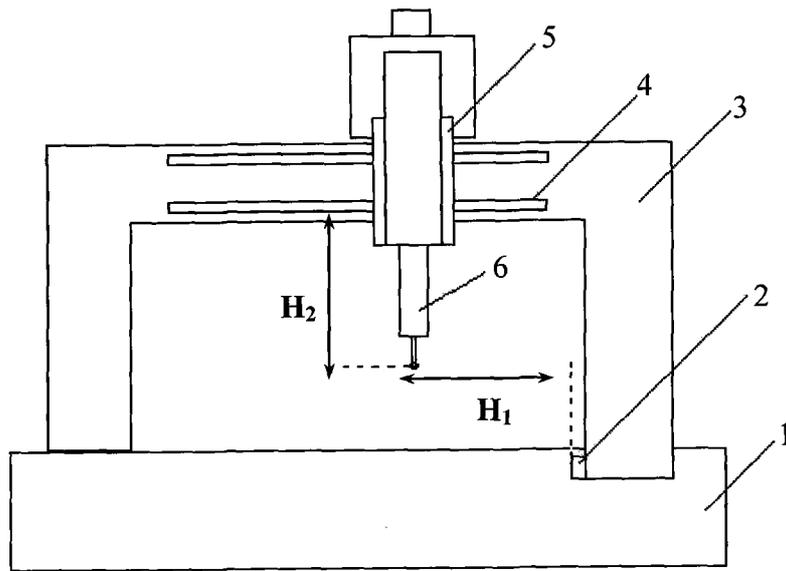


图 4

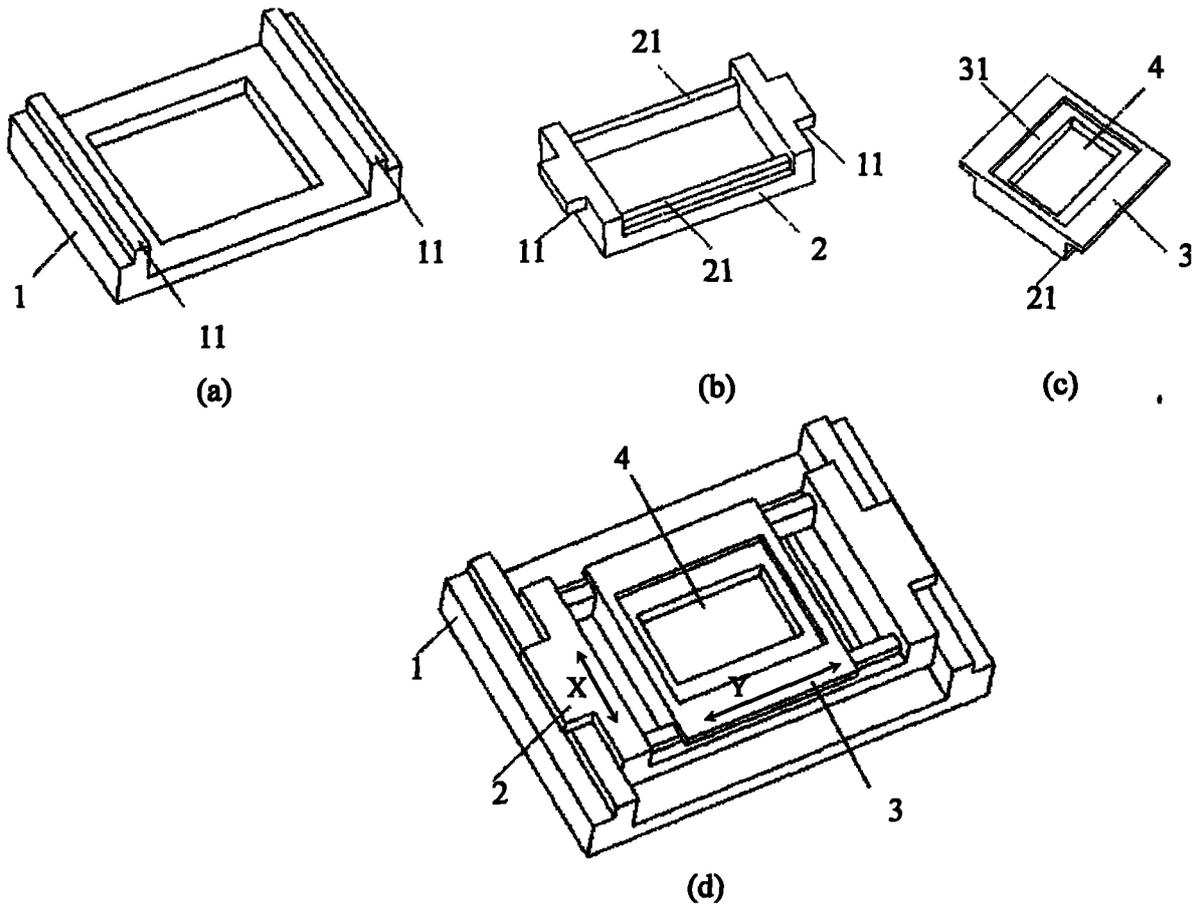


图 5

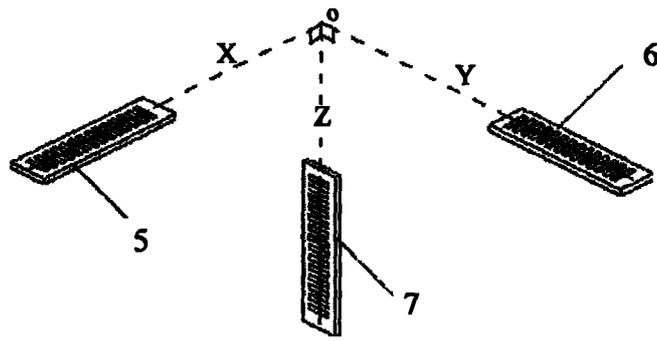


图 6

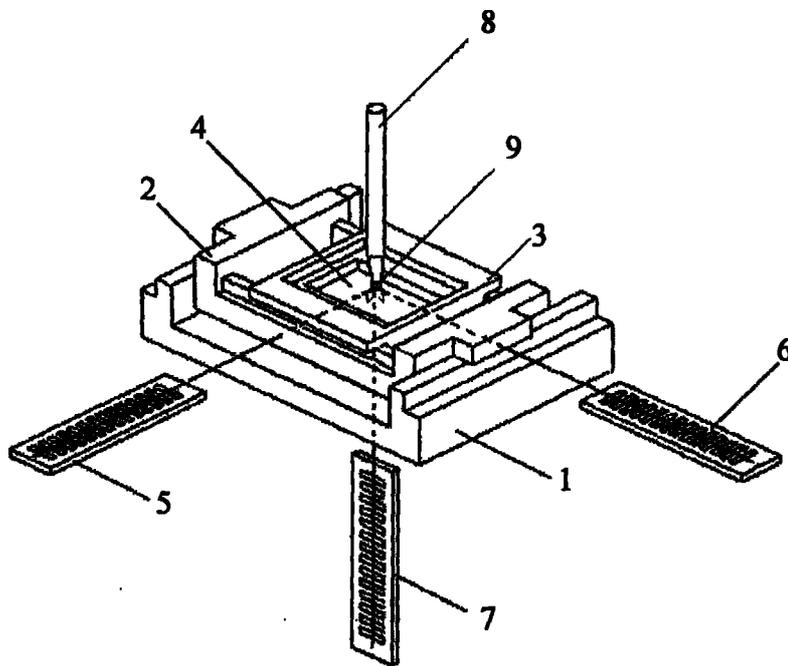


图 7