



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101629885 B

(45) 授权公告日 2011. 06. 29

(21) 申请号 200910088434. 0

CN 101458203 A, 2009. 06. 17, 全文.

(22) 申请日 2009. 07. 07

李喜德. 探针实验力学. 《实验力学》. 2007, 第 22 卷 (第 3-4 期), 第 217-224 页.

(73) 专利权人 清华大学

审查员 冯永伟

地址 100084 北京市 100084-82 信箱

(72) 发明人 李喜德 孙立娟 苏东川

(74) 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246

代理人 张文宝

(51) Int. Cl.

G01N 3/08 (2006. 01)

G01N 3/20 (2006. 01)

G01N 3/32 (2006. 01)

(56) 对比文件

EP 1189240 A1, 2002. 03. 20, 全文.

CN 2154460 Y, 1994. 01. 26, 全文.

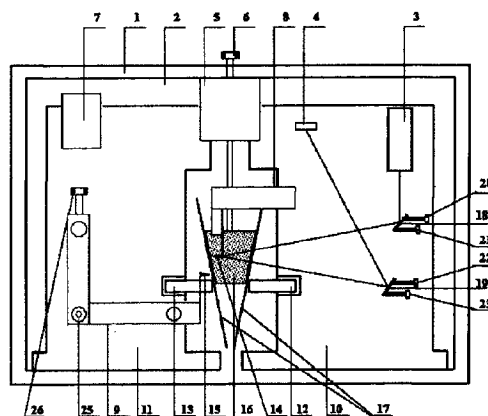
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

双探针微纳米力学检测系统

(57) 摘要

本发明属于微纳米级检测设备技术领域, 具体涉及一种双探针微纳米力学检测系统。支架安装于底板上, 在支架上安装精密一维平台, 并由平台旋钮调节; 精密一维平台的一端连接滑块, 并在滑块下方设置滑轨; 在滑轨的两侧, 分别设置一个压电陶瓷; 第一探针固定架一端安装在支架上, 另一端连接第一探针, 第二探针固定架安装在支架上, 另一端连接第二探针; 在支架上安装第一反射镜、第二反射镜、激光器、PSD 探测器和压电陶瓷接口。所述系统可以实现加载、夹持以及微力与微变形的检测, 同时能完成材料和结构的拉伸、压缩、弯曲、振动和疲劳等方式的微纳米力学实验测试, 试样尺寸可以从微米到亚微米量级, 微力测量范围为纳牛到微牛量级。



1. 双探针微纳米力学检测系统,其特征在于,由支架左部分(11)和支架右部分(10)构成的支架(2)安装于底板(1)上,且支架左部分(11)和支架右部分(10)可分别绕其安装轴转动;在支架左部分(11)和支架右部分(10)之间靠近底板(1)边缘位置安装精密一维平台(5),并由平台旋钮(6)调节;精密一维平台(5)的一端连接滑块(16),并在滑块(16)下方设置滑轨(17);在滑轨(17)的两侧,分别设置安装于支架左部分(11)上的左侧压电陶瓷(13)以及安装于支架右部分(10)上的右侧压电陶瓷(12);“L”形的第一探针固定架(8)一端安装在支架右部分(10)上,另一端连接第一探针(14),第一探针固定架(8)沿着y方向调节位置,“L”形的第二探针固定架(9)安装在支架左部分(11)上,另一端连接第二探针(15),第二探针固定架(9)沿着x和z方向调节位置;在支架右部分(10)的侧边安装第一反射镜(18)和第二反射镜(19),在支架右部分(10)安装精密一维平台(5)的一侧安装激光器(3)和PSD探测器(4),在支架左部分(11)上安装压电陶瓷接口(7)。

2. 根据权利要求1所述的双探针微纳米力学检测系统,其特征在于,所述第二探针固定架(9)上设置x方向粗调旋钮(26)和z方向粗调旋钮(25),用来调节第二探针(15)的位置。

3. 根据权利要求1所述的双探针微纳米力学检测系统,其特征在于,所述第一反射镜(18)由第一旋钮(20)和第二旋钮(21)调节角度,第二反射镜(19)由第三旋钮(22)和第四旋钮(23)调节角度。

4. 根据权利要求1所述的双探针微纳米力学检测系统,其特征在于,利用所述双探针微纳米力学检测系统进行测量的方法包括如下步骤:

1) 选择与待测试样力学常数相当的探针作为加载和测试工具,安装在第一探针位置上并作为第一探针(14);

2) 调整激光器(3)的功率及光线角度、通过第一旋钮(20)和第二旋钮(21)调整第一反射镜(18)的角度、通过第三旋钮(22)和第四旋钮(23)调整第二反射镜(19)的角度,使激光器(3)发出的光线经过第一反射镜(18),入射到第一探针(14)的尖端,反射光线经第二反射镜(19)入射到PSD探测器(4)的光敏感区的中心位置;观察程序显示的模拟光斑在探测器上的位置,通过进一步微调第三旋钮(22)和第四旋钮(23)使得光斑也定位在模拟探测器靶元的中心位置;

3) 用一个已经标定的探针对待使用的第一探针(14)进行原位加载,通过显微图像实时采集系统记录,并且同时记录PSD探测器(4)上光斑位置,得到PSD探测器(4)上光斑位置与微力的对应关系;

4) 在高清晰显微镜下,用微操纵的机械手配合钨丝针尖调整试样的位置,并采用环氧树脂将试样粘接在第二探针(15)上,并将安装第二探针(15)的第二探针固定架(9)安装到支架左部分(11)上;在光学显微镜的监视下,调整第一探针(14)的位置,使其与试样末端对准;

5) 通过压电陶瓷的驱动系统对右侧压电陶瓷(12)和左侧压电陶瓷(13)采用独立加载或同时加载,分步加载或连续加载的方式施加电压,同时通过显微图像实时采集系统记录待测试样的图像,并记录在加载过程中的PSD探测器(4)光斑位置。

双探针微纳米力学检测系统

技术领域

[0001] 本发明属于微纳米级检测设备技术领域,具体涉及一种双探针微纳米力学检测系统。

背景技术

[0002] 微纳技术尺度范围是 1nm-100 μm 。在这个尺度范围内研究材料和结构的力学性能时需要在一些特定的观察、表征和检测系统下才能够进行,例如扫描电子显微镜 (SEM)、透射电子显微镜 (TEM)、原子力显微镜 (AFM) 等。但是 SEM、TEM 等设备在设计之初主要是用于观察微纳米结构和材料的形貌以及材料结构性能等,没有涉及太多的力学性能测量需要。因而,到现在为止,还很少有专门为力学研究而设计的基于扫描探针显微环境平台的微纳米测量设备,尤其是没有配备对材料进行力学性能检测所需要的夹持、加载、微力与微形变检测,以及相互作用研究的相关单元等。目前即使在国际范围,在 AFM、SEM 等显微观察平台上实现微纳米力学测试的商用设备也未见报道,因此迫切需要研制和开发用于微纳米力学性能测量的设备。在国内仅有的少部分基于扫描平台的测量仪器也绝大部分都是进口设备,没有专门的力学测量单元,且存在价格昂贵、无知识产权等问题。

[0003] 就检测技术而言,微纳米实验技术可以分为两大类,如基于微纳米光学测量的方法,包括微纳米云纹、散斑、全息和格栅技术等;基于材料力学式的微纳米力学测量方法,如微纳米压痕法、拉伸法、弯曲法、鼓膜法、共振测频法以及基于扫描探针为平台的实验方法等。尽管上述方法可以应用在不同领域或不同的检测对象,但总体来讲,微纳米材料力学性能检测和力学行为的研究仍处于初始研究阶段,实验面临很多问题。如:对现有的微纳米力学理论与计算模型的实验验证还存在困难;现有的 SEM、TEM 和 AFM 等设备可以实现纳米尺度的观察,但不能满足力学测量的需要;微纳米尺度力学性能测量需要对于微小试件进行夹持、加载以及微力与变形的高精度检测等。

发明内容

[0004] 本发明针对目前微纳米领域缺乏相应的微纳米力学检测系统的情况,提供了一种双探针微纳米力学检测系统,包括微形变检测部分、试件位置调整部分、微悬臂梁加载检测部分、压电陶瓷控制及数据采集系统,其特征在于,由支架左部分 11 和支架右部分 10 构成的支架 2 安装于底板 1 上,且支架左部分 11 和支架右部分 10 可分别绕其安装轴转动;在支架左部分 11 和支架右部分 10 之间靠近底板 1 边缘位置安装精密一维平台 5,并由平台旋钮 6 调节;精密一维平台 5 的一端连接滑块 16,并在滑块 16 下方设置滑轨 17;在滑轨 17 的两侧,分别设置安装于支架左部分 11 上的左侧压电陶瓷 13 以及安装于支架右部分 10 上的右侧压电陶瓷 12;“L”形的第一探针固定架 8 一端安装在支架右部分 10 上,另一端连接第一探针 14,第一探针固定架 8 沿着 y 方向调节位置,“L”形的第二探针固定架 9 安装在支架左部分 11 上,另一端连接第二探针 15,第二探针固定架 9 沿着 x 和 z 方向调节位置;在支架右部分 10 的侧边安装第一反射镜 18 和第二反射镜 19,在支架右部分 10 安装精密一维平台

5 的一侧安装激光器 3 和 PSD 探测器 4, 在支架左部分 11 上安装压电陶瓷接口 7。

[0005] 所述第二探针固定架 9 上设置 x 方向粗调旋钮 26 和 z 方向粗调旋钮 25, 用来调节第二探针 15 的位置。

[0006] 所述第一反射镜 18 由第一旋钮 20 和第二旋钮 21 调节角度, 第二反射镜 19 由第三旋钮 22 和第四旋钮 23 调节角度。

[0007] 利用所述双探针微纳米力学检测系统进行测量的方法包括如下步骤:

[0008] 1) 选择与待测试样力学常数相当的探针作为加载和测试工具, 安装在第一探针 14 位置上;

[0009] 2) 调整激光器 3 的功率及光线角度、通过第一旋钮 20 和第二旋钮 21 调整第一反射镜 18 的角度、通过第三旋钮 22 和第四旋钮 23 调整第二反射镜 19 的角度, 使激光器 3 发出的光线经过第一反射镜 18, 入射到第一探针 14 的尖端, 反射光线经第二反射镜 19 入射到 PSD 探测器 4 的光敏感区的中心位置; 观察程序显示的模拟光斑在探测器上的位置, 通过进一步微调第三旋钮 22 和第四旋钮 23 使得光斑也定位在模拟探测器靶元的中心位置。

[0010] 3) 用一个已经标定的探针对待使用的第一探针 14 进行原位加载, 通过显微图像实时采集系统记录, 并且同时记录 PSD 探测器 4 上光斑位置, 得到 PSD 探测器 4 上光斑位置与力的对应关系;

[0011] 4) 在高清晰显微镜下, 用微操纵的机械手配合钨丝针尖调整试样的位置, 并采用环氧树脂将试样粘接在第二探针 15 上, 并将安装第二探针 15 的第二探针固定架 9 安装到支架左部分 11 上; 在光学显微镜的监视下, 调整第一探针 14 的位置, 使其与试样末端对准;

[0012] 5) 通过压电陶瓷的驱动系统对右侧压电陶瓷 12 和左侧压电陶瓷 13 采用独立加载或同时加载, 分步加载或连续加载的方式施加电压, 同时通过显微图像实时采集系统记录待测试样的图像, 并记录在加载过程中的 PSD 探测器 4 光斑位置。

[0013] 本发明的有益效果为: 所述系统可以实现加载、夹持以及微力与微变形的检测, 同时能完成材料和结构的拉伸、压缩、弯曲、振动和疲劳等方式的微纳米力学实验测试, 试样尺寸可以从微米到亚微米量级, 微力测量范围为纳牛到微牛量级; 该系统引入了 AFM 探针和相应的光杠杆系统检测载荷或 AFM 悬臂位移, 而检测对象的位移可通过高分辨光学显微镜或者 SEM 来测量; 在大气环境下, 基于高分辨光学显微镜还能完成动态性能检测, 也可以在 SEM 等装置中完成高空间分辨微尺度试件力学性能检测。

附图说明

[0014] 图 1 为本发明中 1 双探针微纳米力学检测系统结构示意图;

[0015] 图 2 为直径为 2.1 微米的 Si 纤维采用单向拉伸法测得的拉伸载荷 - 位移曲线;

[0016] 图 3 为直径为 14.1 微米的 Si 纤维试样进行弯曲疲劳测试得到的不同周期后所对应的力与挠度曲线;

[0017] 图 4 为本发明实施例的探针所加载荷与 PSD 光斑位置对应关系标定示意图;

[0018] 图 5 为本发明实施例的弯曲应力 - 形变曲线及力学特征量示意图;

[0019] 图中标号:

[0020] 1- 底板; 2- 支架; 3- 激光器; 4- PSD 探测器; 5- 精密一维平台; 6- 平台旋钮; 7- 压

电陶瓷接口 ;8- 第一探针固定架 ;9- 第二探针固定架 ;10- 支架右部分 ;11- 支架左部分 ;12- 右侧压电陶瓷 ;13- 左侧压电陶瓷 ;14- 第一探针 ;15- 第二探针 ;16- 滑块 ;17- 滑轨 ;18- 第一反射镜 ;19- 第二反射镜 ;20- 第一旋钮 K1 ;21- 第二旋钮 ;22- 第三旋钮 ;23- 第四旋钮 ;25-z 方向粗调旋钮 ;26-x 方向粗调旋钮。

具体实施方式

[0021] 本发明提供了一种双探针微纳米力学检测系统,下面通过附图说明和具体实施方式对本发明的内容和可实现性做进一步说明。

[0022] 图 1 为本发明中双探针微纳米力学检测系统结构示意图。由支架左部分 11 和支架右部分 10 构成的支架 2 安装于底板 1 上,且支架左部分 11 和支架右部分 10 可分别绕其安装轴转动;在支架左部分 11 和支架右部分 10 之间靠近底板 1 边缘位置安装精密一维平台 5,并由平台旋钮 6 调节;精密一维平台 5 的一端连接滑块 16,并在滑块 16 下方设置滑轨 17;在滑轨 17 的两侧,分别设置安装于支架左部分 11 上的左侧压电陶瓷 13 以及安装于支架右部分 10 上的右侧压电陶瓷 12;“L”形的第一探针固定架 8 一端安装在支架右部分 10 上,另一端连接第一探针 14,第一探针固定架 8 沿着 y 方向调节位置,“L”形的第二探针固定架 9 安装在支架左部分 11 上,另一端连接第二探针 15,第二探针固定架 9 上设置 x 方向粗调旋钮 26 和 z 方向粗调旋钮 25,用来调节第二探针 15 的位置;在支架右部分 10 的侧边安装第一反射镜 18 和第二反射镜 19,第一反射镜 18 由第一旋钮 20 和第二旋钮 21 调节角度,第二反射镜 19 由第三旋钮 22 和第四旋钮 23 调节角度;在支架右部分 10 安装精密一维平台 5 的一侧安装激光器 3 和 PSD 探测器 4,在支架左部分 11 上安装压电陶瓷接口 7。

[0023] 本发明所述系统可以根据检测需要,采用不同的安装试样方式和加载方式。

[0024] 系统的主要功能和检测方法如下:

[0025] a. 单轴拉伸法

[0026] 拉伸法有时也称直接拉伸法 (Direct tension testing) 或单轴拉伸法 (Uniaxial tension test),利用该法可以获得弹性模量、泊松比、拉伸强度和屈服强度等力学参数。对于材料破坏特性的研究主要采用单轴拉伸测试方法。拉伸法测试力学性能是获得载荷、位移最为直接的方法,其数据的可靠性较好。

[0027] 在单向拉伸实验中,试样的两端通过粘贴等手段分别夹持在第一探针 14 和第二探针 15 上,将第二探针 15 去掉在其位置上粘结拉伸试件的一端。对任一个压电陶瓷施加电压,使得压电陶瓷收缩,带动探针或试样向相反方向运动,从而在试样上产生单向拉伸力。此时试样上的被观测区域在拉伸过程中向一个方向移动。拉伸力通过 AFM 悬臂梁变形获得,或通过加载过程中采集探测器 4 光斑位置的输出确定加载载荷。与此同时,显微系统实时采集测试检样变形部分的图像,经过简单的图像处理和计算即可得到检测对象的位移(变形)量,这样结合试件的原始几何参数即可获得其不同的力学性能参数,如力位移曲线、应力应变曲线、模量、屈服强度和拉伸强度等。图 2 为直径为 2.1 微米的 Si 纤维的采用单轴拉伸法测得的拉伸载荷-位移曲线。

[0028] b. 双向拉伸法

[0029] 压电陶瓷双向驱动装置,保证被观测区在测量过程中始终处于探测区内。在双向拉伸实验中,试样的两端通过粘贴等手段分别夹持在左右第一探针 14 和第二探针 15 上。左

侧压电陶瓷 12 和右侧压电陶瓷 13 同时施压,使得压电陶瓷向两个方向收缩,带动两个探针同时向相反方向运动,从而在试样上产生单轴双向拉伸。应用和单轴拉伸同样的处理方法,可以得到相关的力学和物理参数。

[0030] c. 弯曲测试法

[0031] 梁弯曲测试 (Beam bending test) 是 MEMS 力学性能测试的常用方法之一,用于获取材料的弹性模量、弯曲强度、屈服强度等参数。与拉伸法相比,弯曲测试中较小的力可以产生较大的变形,微小尺寸试件的测试容易实现,可实时监控载荷与位移,可同时研究材料的弹塑性特征。

[0032] 在本发明中,试样一端固定在第二探针 15 上或第二探针 15 所在的基底位置(较大的试件可直接固定在夹持探针的基底上,不需要探针作为基底),另一端与第一探针 14 对准,压电陶瓷 12 施加电压驱动第一探针 14 作为加载单元,通过变形检测部分,实时采集待测试样的图像,处理后得到变形参量,同时系统采集 PSD 探测器 4 的信息获得第一探针 14 的加载载荷。这样在获得了加载载荷和挠度的前提下,既可以依据常规的力学分析与数据处理,获得相关的力学参量,如弯曲模量、屈服强度和断裂强度等。

[0033] d. 压缩测试方法

[0034] 压缩实验中试样沿纵轴方向施加静态压缩载荷,以测定材料的压缩力学性能。在本发明中被测试样置于第一探针 14 和第二探针 15 之间。两个压电陶瓷 12 和 13 同时施加电压,带动两个探针同时向相反方向运动,从而在试样轴向产生压缩,使试样沿轴向方向缩短,而径向方向增大,产生压缩变形。检测中,载荷的大小通过检测系统采集 PSD 探测器 4 的输出信息获得,试件的变形则通过图像采集系统实时记录待测试样的变形。这样由压缩载荷和检测对象的压缩变形可以得微纳米材料的压缩应力、压缩应变、压缩模量、压缩强度等力学参数。

[0035] e. 振动测试方法

[0036] 可以对试件进行正弦、阶梯、冲击加载。在本发明中,利用和弯曲、压缩测量中同样的夹持方式完成微纳米尺度检测试样的夹持,然后通过对探针施加上述不同的加载信号,即可实现振动测量,从而可获得其幅频特性。

[0037] f. 疲劳测试方法

[0038] 小尺度材料的疲劳行为及其机制的研究对于保证微器件的可靠性服役具有十分重要的意义。本发明的系统可完成弯曲疲劳和拉伸疲劳实验:

[0039] 弯曲疲劳实验

[0040] 试样一端固定在第二探针 15 上或第二探针 15 所在的基底位置(较大的试件可直接固定在夹持探针的基底上,不需要探针作为基底),成为悬臂结构,对右侧压电陶瓷 12 施加电压,作为加载单元,使得第一探针 14 循环施加弯曲载荷在试样的自由端形成弯曲疲劳检测。这一检测可以研究试样的疲劳损伤行为以及寿命等力学参数。所加载荷可以选择正弦函数或者阶跃函数等形式。图 3 为直径为 14.1 微米 Si 纤维试样进行弯曲疲劳测试得到的不同周期后所对应的力与挠度曲线。

[0041] 拉伸疲劳实验

[0042] (1) 单向循环加载法:待测试样一端固定在第二探针 15 上或第二探针 15 所在的基底位置(较大的试件可直接固定在夹持探针的基底上,不需要探针作为基底),另一端固

定在第一探针 14 上的疲劳样品,采用压电陶瓷一端加压,使得第一探针 14 进行循环拉-拉疲劳加载实验。单向拉-拉疲劳方法可对材料施加均匀的变形,并直接给出材料的拉伸循环应力-应变行为。

[0043] (2) 双向拉伸疲劳实验:待测试样一端固定在第二探针 15 上,另一端固定在第一探针 14 上,左侧压电陶瓷 12 和右侧压电陶瓷 13 循环施压,使得第一探针 14 和第二探针 15 进行循环拉-拉疲劳加载实验。

[0044] 下面通过应用本发明的装置在光学显微系统下微米 Si 纤维的单微加载的弯曲实验来具体介绍测量方法。

[0045] 本实施例所用试样为 Si 纤维,在高精度光学显微镜下测量 1 号试件的长和直径分别为 164 微米、3.24 微米。

[0046] 具体测量步骤如下:

[0047] 1) 对试样 1 的 Si 线进行计算,选择 $K=2$ 的第一探针 14,卸下第一探针固定架 8,安装第一探针 14,然后把第一探针固定架 8 固定在支架右部分 10 上;

[0048] 2) 调整激光器 3 的功率及光线角度、通过第一旋钮 20 和第二旋钮 21 调整第一反射镜 18 的角度、通过第三旋钮 22 和第四旋钮 23 调整第二反射镜 19 的角度,使激光器 3 发出的光线经过第一反射镜 18,入射到第一探针 14 的尖端,反射光线经第二反射镜 19 入射到 PSD 探测器 4 的中心位置;

[0049] 3) 用一个已经标定的探针对待使用的第一探针 14 进行原位加载,通过显微图像实时采集系统记录,并且同时记录 PSD 探测器 4 上的光敏感区的中心位置,得到探测器 4 上光斑位置与力的对应关系,图 4 为探针所加载荷与 PSD 光斑位置对应关系标定示意图,可以看出 PSD 探测器 4 上光斑位置偏移 1mV,则第一探针 14 受到的力为 4.82nN;

[0050] 4) 在高清晰显微镜下,用微操纵的机械手配合钨丝针尖调整试样的位置,并采用环氧树脂将试样粘接在第二探针 15 上,并将安装第二探针 15 的第二探针固定架 9 安装到支架左部分 11 上;

[0051] 5) 试样对中,具体操作步骤可以分为以下四步来完成:

[0052] (1) 旋转平台旋钮 6,推动滑块 16 运动,调整第一探针 14 的位置;旋转 z 方向粗调旋钮 25 和 x 方向粗调旋钮 26,调整第二探针 15 的位置,缩小试样和第一探针 14 的针尖在 z 方向的间距,便于进入高分辨率光学显微监视系统的观察范围,实现初步对准;

[0053] (2) 调整高分辨率光学显微镜的位置,在监视器上得到清晰的第一探针 14 的影像,方便下一步的监视操作;双针系统放置在一个二维精密平台上,便于通过显微镜观察不同位置的情况;

[0054] (3) 在 $0.16\mu\text{m}$ 分辨率的光学显微镜的监视下,使第一探针 14 和试样末端在 z 方向上对准,然后分别调节平台旋扭 6 和 x 方向粗调旋钮 26,使监视器上显示的第一探针 14 和试样末端在 x、y 方向上逐步逼近、对准;

[0055] 6) 实验测量:通过压电陶瓷的驱动系统仅对右侧压电陶瓷 12 施加电压,采用分步加载方式,同时通过显微图像实时采集系统记录待测试样的图像,并记录在加载过程中的 PSD 探测器 4 光斑位置的电压值。

[0056] 在实验过程中,通过控制压电陶瓷驱动力对第一探针 14 进行加载,1 号试件在加载过程中的应力-形变曲线如图 5 表明。

[0057] 以上实施例仅是本发明比较典型的一个具体实施方式,相关领域的技术人员可在权利要求的范围内任意修改。

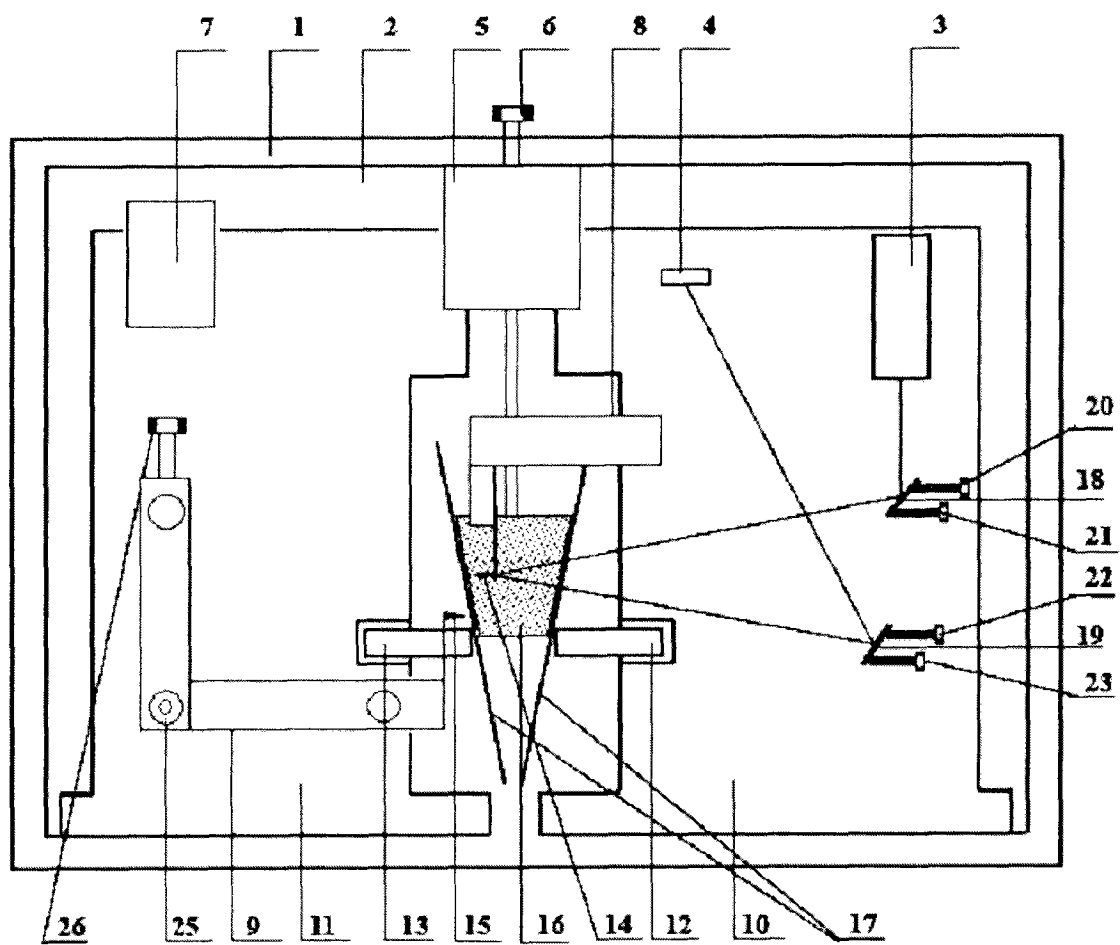


图 1

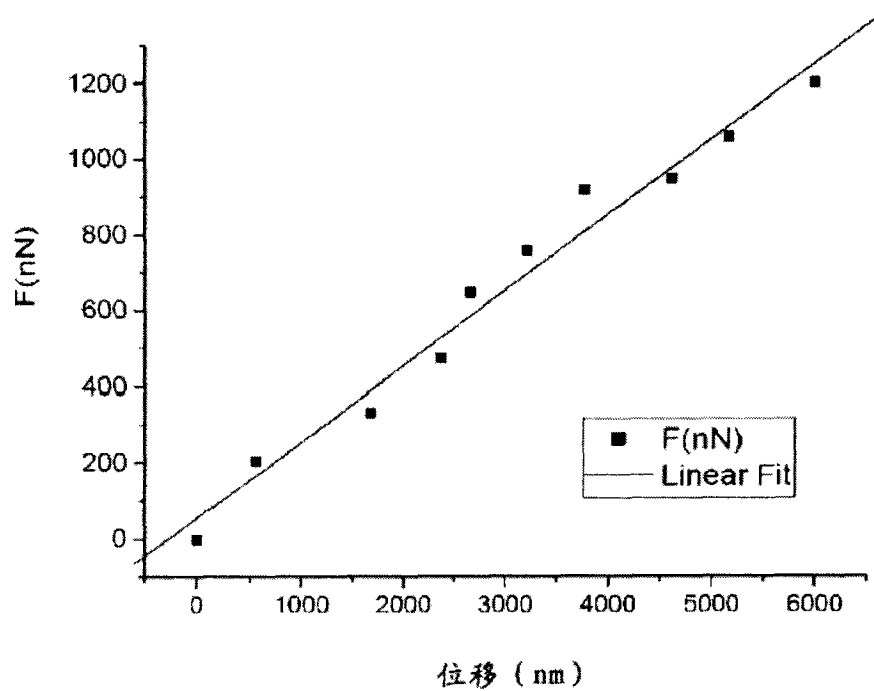


图 2

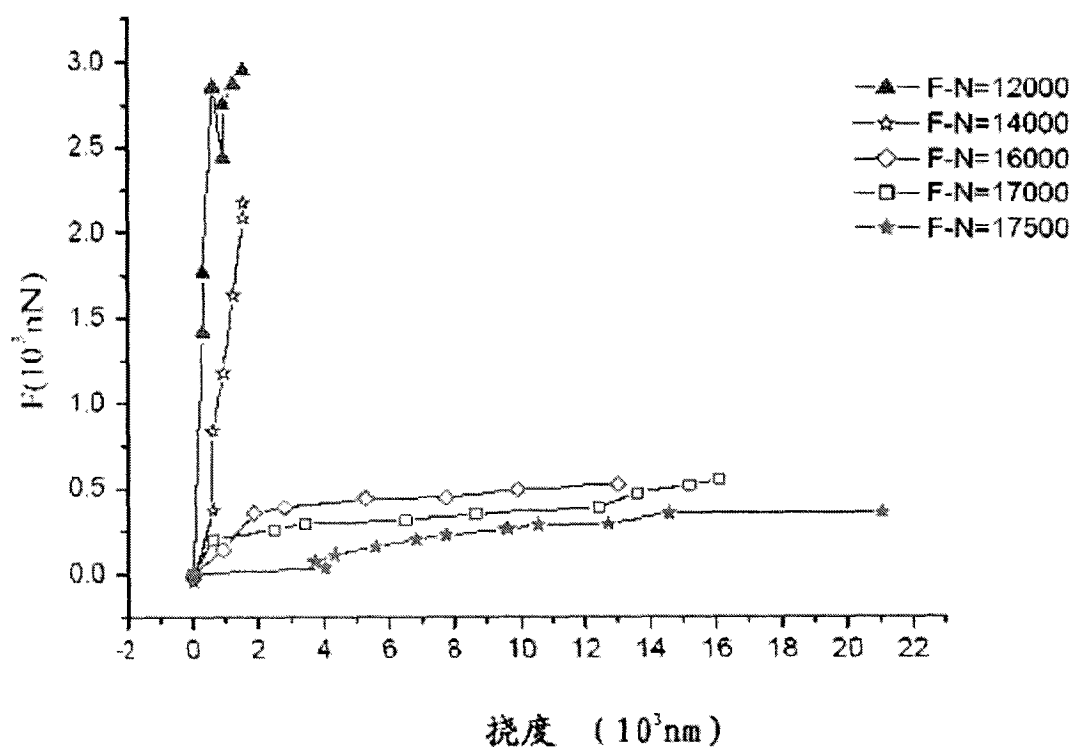


图 3

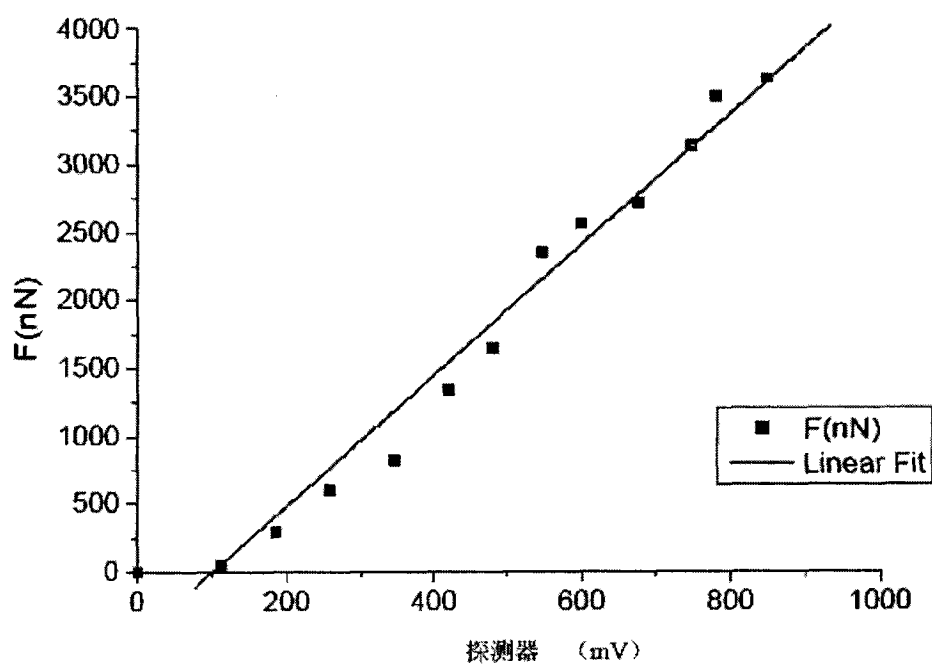


图 4

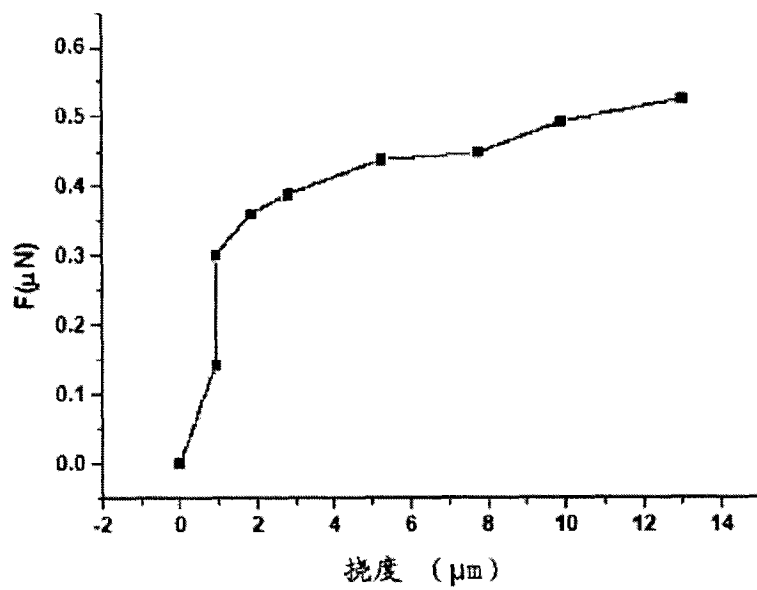


图 5