



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103562732 B

(45)授权公告日 2017.05.31

(21)申请号 201280026601.9

(22)申请日 2012.04.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103562732 A

(43)申请公布日 2014.02.05

(30)优先权数据
13/068,052 2011.04.29 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.11.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/035628 2012.04.27

(87)PCT国际申请的公布数据
W02012/149453 EN 2012.11.01

(73)专利权人 布鲁克纳米公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 恩吉·方 杰夫·马卡基斯
约翰尼斯·金特 卡尔·马瑟

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 苗迎华 康建峰

(51)Int.Cl.
G01Q 70/00(2006.01)
G01Q 60/24(2006.01)

(56)对比文件
US 2009107266 A1,2009.04.30,说明书第21-50段和图1-4.

WO 2011016256 A1,2011.02.10,说明书第18-132段和图1-7.

US 6435015 B1,2002.08.20,说明书第2栏第20行-第5栏第33行和图1-3.

US 2008223119 A1,2008.09.18,全文.

US 2009107266 A1,2009.04.30,说明书第21-50段和图1-4.

审查员 王薇

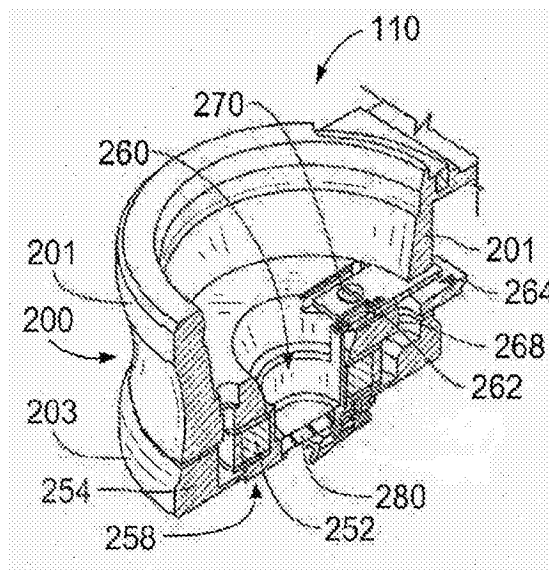
权利要求书2页 说明书10页 附图11页

(54)发明名称

具有紧凑型扫描器的扫描探针显微镜

(57)摘要

一种用于包括头部的扫描探针显微镜(SPM)的扫描器,具有扫描器本体,所述扫描器本体容纳致动器和检测扫描器移动的传感器。该扫描器本体能够通过手并不使用工具的情况下从该头部移除,并且具有小于大约5立方英寸的总体积。做出规定以确保耦合到扫描器的探针装置的移动被限制成基本上仅在预期方向上。该扫描器的基础谐振频率可以大于10kHz。



1. 一种用于包括头部的扫描探针显微镜 (SPM) 的扫描器, 所述扫描器包括:
扫描器本体, 所述扫描器本体容纳致动器和传感器, 所述传感器检测扫描器移动; 并且
其中, 所述扫描器本体能够通过手且在不使用工具的情况下从所述头部移除, 并且所述扫描器本体具有小于5立方英寸的总体积;

其中, 所述扫描器本体具有a) 第一开放端, 所述第一开放端用于将所述扫描器耦合到所述扫描探针显微镜的头部的自由端部, 所述自由端部具有外表面并且朝向样品延伸, 以及b) 第二封闭端, 所述第二封闭端支承探针保持件, 并且其中, 所述本体具有在所述第一开放端与所述第二封闭端之间延伸的内表面, 并且其中, 所述外表面和所述内表面成类似的锥形以便彼此配对; 以及

其中, 所述内表面包括环状棘爪以容置设置在所述外表面中的凹槽中的密封元件并在所述自由端部与所述扫描器之间提供密封接合。

2. 根据权利要求1所述的扫描器, 其中, 所述扫描器为Z扫描器, 所述Z扫描器提供耦合到所述Z扫描器的探针装置的仅沿着与被扫描的样品正交的方向的运动。

3. 根据权利要求2所述的扫描器, 还包括耦合在所述致动器与所述探针装置之间的弯曲隔膜, 所述弯曲隔膜限制所述探针装置相对于所述方向在侧向上的运动。

4. 根据权利要求2所述的扫描器, 其中, 所述传感器测量所述探针装置在所述方向上的运动, 并且所述传感器的至少一部分由所述本体支承。

5. 根据权利要求4所述的扫描器, 其中, 所述传感器包括悬臂元件和链接件, 所述悬臂元件具有固定端和自由端, 并且其中, 所述链接件的一端耦合到所述悬臂元件的自由端, 所述链接件的对端耦合到支承所述探针装置的探针保持件。

6. 根据权利要求1所述的扫描器, 其中, 所述本体被密封以便于在流体中的操作。

7. 根据权利要求5所述的扫描器, 其中, 所述传感器还包括设置在所述悬臂元件的固定端的应变计。

8. 根据权利要求1所述的扫描器, 其中, 由所述锥形的内表面所限定的角度在 15° 与 35° 之间。

9. 根据权利要求1所述的扫描器, 其中, 与所述扫描器相关联的基础谐振频率大于10kHz。

10. 根据权利要求9所述的扫描器, 其中, 所述基础谐振频率大于40kHz。

11. 根据权利要求1所述的扫描器, 其中, 所述自由端部为形成所述头部的一部分的壳体。

12. 根据权利要求5所述的扫描器, 其中, 探针保持件刚性地耦合到所述本体。

13. 根据权利要求1所述的扫描器, 还包括所述自由端部中的真空口, 所述真空口将真空力施加至所述本体。

14. 根据权利要求13所述的扫描器, 其中, 所述真空口耦合到所述自由端部中的真空孔, 所述自由端部中的真空孔连接到所述本体中的真空孔。

15. 根据权利要求1所述的扫描器, 还包括至少一个狭槽, 以接纳由所述头部支承的对准销, 从而相对于所述头部定向所述探针的尖端。

16. 一种操作具有头部的原子力显微镜 (AFM) 的方法, 所述方法包括:

设置扫描器, 所述扫描器包括具有小于5立方英寸的总体积并支承探针装置的本体;

通过手且在不使用工具的情况下将所述扫描器附接到所述头部;以及
操作所述原子力显微镜;

其中,所述本体具有a) 第一开放端,所述第一开放端用于将所述扫描器耦合到所述原子力显微镜的头部的自由端部,所述自由端部具有外表面并且朝向样品延伸,以及b) 第二封闭端,所述第二封闭端支承探针保持件,并且其中,所述本体具有在所述第一开放端与所述第二封闭端之间延伸的内表面,并且其中,所述外表面和所述内表面成类似的锥形以便彼此配对,以及

其中,所述内表面包括环状棘爪以容置设置在所述外表面中的凹槽中的密封元件并在所述自由端部与所述扫描器之间提供密封接合。

17. 根据权利要求16所述的方法,还包括利用至少部分地由壳体支承的传感器直接感测所述探针装置的移动。

具有紧凑型扫描器的扫描探针显微镜

技术领域

[0001] 优选实施方式涉及一种高速扫描探针显微镜 (SPM), 并且更具体地, 涉及一种用于 SPM 的 Z 扫描器组件, 该 Z 扫描器组件是紧凑且轻量的, 并且能够容易地从 SPM 的头部移除以方便使用, 同时保持包括快速扫描在内的 SPM 性能。

背景技术

[0002] 例如原子力显微镜 (AFM) 的扫描探针显微镜通过提供测量探针与样品之间的相对扫描移动、同时测量样品的一个或更多个特性来工作。图 1 中示意性地示出了一种典型的 AFM 系统。AFM 10 采用探针装置 12, 该探针装置 12 包括具有悬臂 15 的探针 14。扫描器 24 产生探针 14 与样品 22 之间的相对运动, 同时, 测量探针-样品的交互作用。以此方式能够获得样品的图像或其他测量结果。扫描器 24 一般包括通常在三个正交方向 (XYZ) 上产生运动的一个或更多个致动器。通常, 扫描器 24 是单个集成单元, 该单个集成单元包括沿所有三个轴移动样品或者探针的一个或更多个致动器, 例如压电管致动器。替代性地, 该扫描器可以是具有多个单独致动器的组件。一些 AFM 将扫描器分成多个部件, 例如, 移动样品的 XY 扫描器以及移动探针的单独的 Z 致动器。

[0003] 在常见结构中, 探针 14 常常耦合到用于以悬臂 15 的谐振频率或以接近悬臂 15 的谐振频率来驱动探针 14 的振荡致动器或驱动器 16。替代性的布置测量悬臂 15 的偏转、扭转或其他运动。探针 14 通常为具有一体的尖端 17 的微加工悬臂。

[0004] 通常, 在 SPM 控制器 20 的控制下从 AC 信号源 18 施加电子信号以使耦合到探针保持件楔状部 (或替代性地, 耦合到扫描器 24) 的致动器 16 驱动探针 14 振荡。探针-样品交互作用通常由控制器 20 通过反馈来控制。具体地, 致动器 16 可以耦合到扫描器 24 和探针 14, 但也可以作为自致动悬臂/探针的一部分与探针 14 的悬臂 15 一体地形成。

[0005] 如上所述, 在通过检测探针 14 的振荡的一个或更多个特征的变化来监测样品特征时, 所选择的探针 14 通常振荡并与样品 22 接触。就这点而言, 通常采用偏转检测装置 25 来引导光束朝向探针 14 的背侧, 该光束随后被朝向例如四象限光电检测器的检测器 26 反射。注意到装置 25 的感测光源通常为激光, 常常是可见或红外激光二极管。该感测光束也能够通过其他光源例如 He-Ne 或其他激光源、超发光二极管 (SLD)、LED、光纤或能够聚焦到小点的任何其他光源来产生。当光束平移通过检测器 26 时, 适当的信号被传送到控制器 20, 该控制器 20 处理信号以确定探针 14 的振荡的变化。通常, 控制器 20 产生控制信号以保持尖端与样品之间的相对不变的交互作用 (或悬臂 15 的偏转), 典型地保持探针 14 的振荡的设定特征。例如, 控制器 20 通常用于将振荡幅度保持在设定值 A_s , 以确保尖端与样品之间的大致恒定的力。替代性地, 可以使用设定点相位或频率。

[0006] 在控制器 20 中和/或在具有所连接的或独立的控制器的系统或单独的控制器中设置有工作站 40, 该工作站 40 接收来自控制器的采集数据并且处理在扫描期间获得的数据以执行点选择、曲线拟合以及距离确定操作。该工作站能够在存储器中存储结果信息, 使用该结果信息进行额外计算, 和/或将结果信息显示在合适的监控器上, 以及/或者以有线或无

线的方式将结果信息传输到另一计算机或装置。该存储器可以包括任何计算机可读数据存储介质,示例包括但不限于计算机RAM、硬盘、网络存储、闪存驱动器或CD ROM。具体地,扫描器24通常包括用于产生测量探针与样品表面之间的相对运动的压电叠堆(文中通常称作“压电叠堆”)或压电管。压电叠堆是基于施加到设置在叠堆上的电极的电压沿一个或更多个方向移动的装置。压电叠堆通常与用于引导、约束和/或放大压电叠堆的运动的机械弯曲部结合使用。此外,弯曲部被用来增加致动器在一个或更多个轴上的刚度,如在2007年3月16日提交的名称为“Fast-Scanning SPM Scanner and Method of Operating Same”的序列号为11/687,304的同时待审申请中所描述的。致动器可以耦合到探针、样品或探针和样品两者。最通常的情况下,致动器组件以在水平或XY平面上驱动探针或样品的XY致动器以及在竖直或Z方向上移动探针或样品的Z致动器的形式来提供。

[0007] 随着SPM的实用性持续发展,出现了使不同类型的样品以更快的速度成像以改善样品测量吞吐量(例如,多于每小时20个样品)和/或用比目前可获得的时间分辨率更高的时间分辨率测量纳米级过程的需要。尽管AFM成像提供了高的空间分辨率(纳米级),但其通常具有低的时间分辨率。典型的高质量AFM图像需要若干分钟来获得,尤其是在扫描尺寸大于几个微米的情况下。

[0008] 若干个因素能限制成像速度,这些因素包括悬臂响应时间、X、Y和Z方向上的可用扫描器带宽、驱动扫描器的高电压放大器的功率和带宽、悬臂力感测以及解调系统和追踪力反馈系统的速度。

[0009] 如同大多数测量装置一样,AFM通常需要在分辨率与采集速度之间进行折衷。即,一些目前可获得的AFM能够以亚埃分辨率扫描简单表面。这些扫描器能够仅扫描相对较小的样品区域,即使这样,仍仅以相对较低的扫描速度来扫描。传统的商用AFM一般需要通常占用几分钟的总扫描时间来以高分辨率(例如,512×512像素)和低追踪力覆盖几微米的区域。AFM扫描速度的实际限制为如下最大速度的结果:在保持低到不足以对尖端和/或样品造成损坏或引起最小损坏的追踪力的同时能够以该最大速度扫描AFM。日本Kanazawa(金泽)大学的Toshio Ando教授已经通过利用扫描过小距离(典型地小于2 μm)的毫米尺寸样品的AFM而在高速AFM方面取得了巨大的进展。Ando教授已经因这种小样品与小扫描尺寸的结合而实现了具有高分辨率的视频扫描速度。

[0010] 已知或已经提出和/或已经实现通常被称作“尖端扫描器”的其他系统,在所述其他系统中探针安装在扫描器上。一个这种系统结合在通过Veeco Instrument销售的名为**Dimension®**的仪器的线路中。该系统采用了用于Z致动器的相对较大的管扫描器并且具有相对较小的带宽。Hwang的美国专利No.7,249,494中公开了另一系统。在Hwang申请的系统中,探针安装在致动器上,该致动器转而安装在对入射的激光进行聚焦的光学物镜上。该物镜转而安装在x-y致动器上。然而,由于该系统的物镜及其他光学器件被相对于探针固定,因此需要相对较大的探针(具有至少20 μm 的宽度,大于40 μm 的长度)以确保聚焦的激光束在悬臂上的定位。使用的标准探针同样具有大约400kHz的谐振频率 F_0 以及大约400的品质因数Q。这些探针的结果响应带宽大约为 $F_0/Q \approx 1\text{kHz}$ 。部分由于其低带宽探针,所产生的系统具有小于30Hz(或每秒30个扫描行)的最大扫描速度,并且更典型的成像速度为约1Hz。

[0011] 另一方面,能快速获得数据的SPM同样会经受不可接受的折衷。一个这种系统由Infinitesima销售,名为Video AFM™(视频AFM™)。Video AFM以视频速度操作,但对于信噪

比以及产生的图像品质有明显的让步。Infinetisma系统同样在接触模式下以不足以快到响应扫描行内样品褶皱的变化的力反馈而操作。在该系统中,样品或探针安装到音叉上。探针被驱动以与样品接触,同时通过以音叉的谐振频率或以接近音叉的谐振频率振动音叉来扫描样品或探针。由于音叉需要极小(通常近似几个毫米尺寸)以获得高的谐振频率,因此它们对负载额外的质量非常敏感。因此,在不降低性能的情况下仅非常小(近似几毫米尺寸)的样品或悬臂基片能够安装到音叉上。

[0012] 已知将AFM与常规光学显微镜结合以提供样品的表面特征的视图。具体地,高性能显微镜物镜具有短的工作距离并且必须靠近样品表面定位。由于在物镜的底部与探针之间的空间不足以容置用于入射及出射检测光束的几何条件,因此高分辨率光学成像难以与传统AFM检测器结合实施。由于光学显微镜的重量,难以在没有不可接受地减小仪器的扫描速度的情况下将光学显微镜的光学器件结合到AFM的扫描器中。

[0013] 一些配备有光学显微镜的SPM已经试图通过引导激光通过显微镜物镜来克服这种局限性。一个这种系统已经通过名为ULTRAOBJECTIVE™的表面成像系统商业化,并且公开在国际公开号W0 01/23939中。在ULTRAOBJECTIVE™系统中,近场AFM探针、用于探针的z致动器组件以及光学聚焦系统设置在单个壳体中,以提供能插入光学显微镜的镜头转轮中的可互换物镜。该系统的物镜被相对于探针固定,并且该系统缺少用于将激光束动态地聚焦到探针上的任何机构。

[0014] 配备有常规光学显微镜的AFM的另一缺陷在于光学显微镜仅设置成允许用户检查样品。这在将激光束聚焦到悬臂方面没有作用。因此,即使在该系统设置用于将光斑聚焦在悬臂上的情况下,仍没有机构能够用来在聚焦过程期间向用户提供光反馈。

[0015] 可以获得关于这方面的解决方案。然而,保持用于AFM的所有移动部件的大的第一或基本谐振频率的两个主要缺陷包括:1) 扫描器和探针保持件的尺寸和质量,以及2) 这些部件与AFM头部以及这些部件彼此间的非刚性耦合。

[0016] 如图2和图3所示,在常规的AFM中通常采用大的探针保持件50。在一种类型的AFM中,压电管致动器被支承在支承耦合销的远端的AFM头部内,以容置探针保持件,例如探针保持件50。探针保持件包括其中形成安装孔62以接纳安装销的相对大质量的本体52。楔状部54设置在本体52的表面上并且配置成提供悬臂角度和支承。臂部58设置成保持由楔状部54支承的探针装置56的基部。螺钉60将臂部58保持到楔状部54。用户对臂部58的后端的推动用以释放探针,以便安装、移除以及更换。总体来讲,这是一种大质量结构,而该大质量结构与扫描器本身一起占据了大的体积(几十立方英寸)。这种移动结构显著地限制了AFM的机械谐振并因此限制了AFM扫描速度。

[0017] 也可以获得其他AFM扫描解决方案,但是每个方案都有缺点。甚至那些能够保持高的基础谐振频率的AFM通常也是笨重的,并且因此难以使用。具体地,拿起相对较大质量的头部和扫描器,并将其翻转和放置以使得探针可以被安装、移除以及更换通常是一种挑战。在这方面,特别值得注意的是,探针装置是经常需要以小时为基础更换并且有时以更短的时间跨度更换的消耗品。

[0018] 因此,扫描探针显微镜的领域需要具有改善的刚度和小的质量并且能够容易地拆卸以方便探针更换的扫描器。同时也需要具有更高的第一谐振频率的更小的探针保持件。最后,有助于易用性和快速AFM操作的扫描器将会是理想的。

发明内容

[0019] 本发明的优选实施方式通过使由于大质量的扫描装置和探针保持件所引起的对系统谐振频率的不利影响最小化而便于快速AFM操作。一种紧凑的、相对轻量的Z扫描器被配置以锥形安装以便被刚性地耦合到AFM头部。此外,具有机械上刚性的锥形安装的Z扫描器容置紧凑的探针保持件设计,这提供了进一步的谐振频率优势。因此,由于使用具有与AFM头部/扫描器的非刚性连接的大的探针保持件而导致的系统谐振链中的弱链接变得强健,使得采用本技术的AFM能够实现远快于常规AFM的扫描速度。此外,结果是扫描器能够容易地移除并且因此非常易于使用,包括用于典型的AFM装配操作,例如探针安装。事实上,移除及安装扫描器的容易度和快捷度与使用手指解开单个衬衫纽扣的容易度等同。

[0020] 根据一个实施方式的第一方面,用于包括头部的扫描探针显微镜(SPM)的扫描器具有容置致动器以及检测扫描器移动的传感器的本体。在这种扫描器中,本体能够从头部移除并且具有大约1立方英寸的总体积(不包括线缆)。

[0021] 根据该实施方式的又一方面,扫描器为Z扫描器,该Z扫描器提供耦合到Z扫描器的探针装置基本仅沿与被扫描的样品正交的方向的运动。

[0022] 在该实施方式的又一方面中,扫描器包括弯曲隔膜,该弯曲隔膜耦合在致动器与探针装置之间。弯曲隔膜限制探针装置相对于所述方向在侧向上的运动。

[0023] 根据该实施方式的另一方面,传感器基本上直接测量探针装置沿该方向的运动。优选地,传感器与本体一体地形成。

[0024] 根据该实施方式的再一方面,传感器包括具有固定端和自由端的悬臂元件以及链接件。链接件耦合到悬臂元件的自由端,并且链接件的对端耦合到支承探针装置的探针保持件。

[0025] 在该实施方式的另一方面中,本体具有用于将扫描器耦合到SPM的头部的自由端部的第一开放端。头部的自由端部具有朝向样品延伸的外表面。本体具有支承探针保持件的第二封闭端以及在第一端与第二端之间延伸的内表面。优选地,该外表面和内表面成类似的锥形,以使得彼此配对。由锥形的表面限定的角度在大约 15° 与 35° 之间,理想地为大约 22° 。

[0026] 根据该实施方式的再一方面,与扫描器相关联的基础谐振频率大于10kHz,理想地,该基础谐振频率大于40kHz。

[0027] 在又一实施方式中,探针保持件刚性地耦合到本体。内表面包括环状棘爪(detent)以容置设置在外表面中的凹槽中的密封元件(O形环)。

[0028] 根据该实施方式的另一方面,自由端部中的真空口将真空力施加至本体。该真空口耦合到自由端部中的真空孔,该真空孔连接到本体中的真空孔。

[0029] 对本领域技术人员而言,通过以下详细描述和附图,本发明的这些及其他特征和优势将变得明显。然而,应当理解的是,所述详细描述和具体示例尽管表示本发明的优选实施方式,但是是通过说明而非限制的方式给出的。在不背离本发明的精神的情况下可以在本发明的范围内做出许多变化和改型,并且本发明包括所有这些改型。

附图说明

[0030] 附图中示出了本发明的优选的示例性实施方式,在附图中,相同的附图标记始终表示相同的部件,在附图中:

[0031] 图1为现有技术原子力显微镜(AFM)的示意性框图;

[0032] 图2为用于原子力显微镜的现有技术探针保持件的侧面正视图;

[0033] 图3为图2的现有技术探针保持件的俯视图;

[0034] 图4为根据优选实施方式的快速扫描AFM头部的等轴视图,该等轴视图示出了优选实施方式的可移除Z扫描器;

[0035] 图5为图4的快速扫描AFM头部的部件的示意图;

[0036] 图6为根据优选实施方式的Z扫描器的等轴俯视图;

[0037] 图7为图6的Z扫描器的等轴仰视图;

[0038] 图8为示出了扫描器隔膜和传感器的示意性横截面侧视图;

[0039] 图9为图6的Z扫描器的部分剖开的横截面等轴视图;

[0040] 图10为图6的Z扫描器的部分剖开的横截面等轴视图;

[0041] 图11为图6的Z扫描器的部分剖开的等轴视图,其中,该Z扫描器耦合到图4的扫描器头部的向下延伸的自由端部;

[0042] 图12为图11中所示的耦合到AFM头部的向下延伸的自由端部的Z扫描器的横截面视图;

[0043] 图12A为耦合到图12的Z扫描器的探针保持件的放大的横截面视图;

[0044] 图13为图11中所示的Z扫描器以及AFM头部的自由端的横截面视图;

[0045] 图13A为图13中所示的Z扫描器与自由端之间的接口的放大的横截面视图,该横截面视图示出了Z扫描器中的容置耦合到自由端的O形环的环状棘爪;

[0046] 图14为根据优选实施方式的探针保持件的剖开立体图,该立体图示出了优选实施方式的探针夹;

[0047] 图15为图14的探针保持件和探针夹的俯视平面图;

[0048] 图16为图14和图15中所示的探针保持件和探针夹的侧面正视图;

[0049] 图17为图15的探针保持件和探针夹的等轴视图,该等轴视图示出了处于打开位置的探针夹;以及

[0050] 图18为示出了与现有技术Z扫描器以及根据本发明的优选实施方式的Z扫描器相关联的Z扫描器动态分析的曲线图。

具体实施方式

[0051] 优选实施方式涉及一种高速扫描探针显微镜。具体地,一种新颖的Z扫描器设计与紧凑型探针保持件结合,该探针保持件与Z扫描器结合成一体一起确保以远高于常规SPM/AFM的速度来扫描样品。具体地,与受到相对较大的扫描器/探针保持件限制、具有与AFM的移动部件相关联的大约两千赫兹的较低谐振的现有技术AFM的Z扫描器/探针保持件设计相比,优选实施方式的紧凑型Z扫描器/探针保持件设计基本上克服了系统谐振限制,从而允许本发明的AFM快速扫描并保持稳定。采用本技术的AFM能够将所有移动部件的Z轴谐振保持在超过50千赫。

[0052] 首先转向图4,快速扫描AFM头部100包括壳体102,该壳体102形成有一体的手柄

104,以方便AFM的运送。头部100包括底表面106,从该底表面106延伸出优选地容纳光学和机械部件的自由端部,该自由端部有时在本文中称作“壳体107”,并且配置成容置可移除Z扫描器110。如下文进一步详细描述, Z扫描器110在物镜壳体107上的安装十分有助于AFM的性能。具体地,壳体107的外表面优选地为锥形以容置Z扫描器110的相应的锥形表面。

[0053] Z扫描器110还包括用于扫描器控制以及与高速AFM头部100通信的相应的线缆和连接器112。快速扫描AFM头部100还包括用于激光器和检测器马达的AFM头部连接器线缆114和相应的连接器116,以及相应的限制开关。Z扫描器线缆在头部连接器113处耦合到头部100,而激光光斑调整旋钮128设置成在AFM操作期间将激光定位在悬臂的背面。头部100还包括用于控制照相机马达和相应的光开关的照相机USB线缆118和连接器120。此外,真空管122连同Z扫描器真空开关124和Z扫描器真空释放装置126一起设置,这些部件的功能将在以下描述中变得明显。

[0054] 图5中提供了AFM头部100的部件的示意图。头部100包括呈尖端扫描AFM设计的XY扫描器130、以及激光平衡架132、光源(激光器)134和相应的物镜136。检测器架138以及照相机140也设置在头部100中。

[0055] 为了容置光学器件,设置有照明器142,该照明器142引导光束朝向聚焦透镜144并进一步朝向自由端部或壳体107。自由端部107从壳体102的底表面106延伸并且具有容置物镜109的可能性。聚焦透镜146同样设置成与照相机140成一行。样品的图像能够在光线从样品反射到分光镜148并朝向照相机140返回时通过照相机140获得。激光平衡架132包括用于分色镜150的安装件,分色镜150用来引导激光束朝向探针的背面并且朝向检测器返回(反射光),从而测量探针的偏转、振幅、频率或相位的变化。平衡架132还包括用于将光束“L”定位AFM的探针装置的悬臂(未示出)的背面上的调整螺钉152。

[0056] AFM头部100的检测器架138包括用于在探针尖端与表面交互作用时检测激光束位置变化的光检测器154。

[0057] 转向图6和图7,详细地示出了Z扫描器110。Z扫描器110包括实质上具有喷嘴形状的扫描器本体(或简单地,本体)200。从扫描器本体200延伸的是扫描器线缆112,该扫描器线缆112将Z扫描器110电连接到AFM头部100,从而提供头部100与Z扫描器110之间的控制与通信。如将在下文进一步详细描述,本体200包括开放的并配置成刚性地耦合到AFM头部100(图4)的第一端或顶端202。与第一端202相对的是第二端或底端204,该第二端或底端204是封闭的并被密封,使得其可以被引入到包括流体的变化环境,同时保护容纳在本体200内的敏感的扫描器部件。探针保持件360设置在第二端204处。探针保持件360包括将在下文结合图13至图16进一步描述的用于在AFM操作期间保持探针组件的固定夹362,并且优选地与第二端204一体地形成。

[0058] 更具体地参照图6,第一端202包括边缘212,该边缘212形成有一对环状狭槽214、216,所述狭槽214、216沿着边缘212延伸一定长度并且布置成彼此相距约 180° 。狭槽214、216终止于相应的开口218、220,所述开口218、220适于接纳耦合到头部100的结构(例如,XY扫描器)并且从自由端107向下延伸的指引销160;图11的等轴视图中示出了仅一个销。当Z扫描器110耦合到自由端/物镜壳体107时,需要对Z扫描器110适当地定向,并相应地需要对由Z扫描器110支承的探针保持件和探针的适当地定向。当将Z扫描器110耦合到壳体107时,销160随着AFM用户旋转Z扫描器110而跨在对应的狭槽214、216中,直到销160啮合开口218、

220。当销160落入到开口218、220中时,扫描器被适当地定向并且防止了扫描器的进一步旋转。在该位置中,Z扫描器110刚性地安装到头部100。

[0059] 接下来参照图8、图9以及图10,其示出了包括Z致动器和对应的Z传感器的Z扫描器110的内部部件。在制造保持性能(例如,高的基础谐振频率)并使装置易于使用(例如,可移除/可拆卸/并且可熟练操作像更换探针装置的任务)的紧凑(小体积)、可靠以及可重复的扫描器方面的一个挑战是确保扫描器能够沿预期方向保持扫描运动并且确保能够在不损害扫描器性能的情况下精确地测量探针运动。拆卸及再附接操作确保重新定位精确到足以使探针装置的悬臂容易地与微米范围对准。这在本发明的优选实施方式中实现,如以示意图8开始的图中所示出的。

[0060] 在图8中,Z扫描器110包括本体200,该本体200包括第一本体部201和第二本体部203,第二本体部203在这种情况下紧凑地容置Z传感器264。Z扫描器110还包括隔膜弯曲部258,该隔膜弯曲部258沿着Z扫描器110的底表面延伸,并且在Z扫描器110的封闭端耦合到第二本体部203。探针保持件360从第二本体部203延伸并且耦合到隔膜258。更具体地,弯曲隔膜258设置在致动器252(即,压电环)与保持件360之间以控制并引导由致动器252引起的探针运动。实质上,隔膜258基本上确保探针运动仅保持在“Z”方向上(正交于样品)。这通过实质上去除由致动器252提供的运动的侧向分量(这对该紧凑型设计中所需的类型的致动器而言是固有的)来实现,通过限制所述侧向分量向所耦合的探针保持件360的传送来去除所述侧向分量,由于隔膜在侧向和垂直方向上的刚度的实质差异来实现对侧向分量的限制。隔膜优选地通过加工(加工成适当的规格以实现所讨论的结果)到扫描器本体中而制成。此外,孔或窗280设置在隔膜的中央处以用于激光路径和光路径。因此,高速AFM操作中所需的对尖端的极度精确的定位未受到Z扫描器运动的损害。

[0061] 进一步参照图8,Z扫描器110还包括与本体200一体地形成的传感器264。传感器264包括基片,由该基片制成支承一个或更多个应变计传感器元件274(例如,电阻)的跳板或悬臂部272。基本直接通过将链接件260耦合在支承探针保持件360的位置处的隔膜258与跳板272的远端之间来监控探针的运动。当探针沿“Z”移动时,Z方向上的力传递到链接件260并随后传递到跳板272。当跳板偏转时,传感器元件274用于量化该偏转并且由此量化探针的Z移动。高度可靠并精确的传感器264产生结果,从而进一步便于快速的AFM操作。

[0062] 总之,Z扫描器110足够紧凑而能够被从AFM头部100移除,并且能够被用户操作以执行像修理及更换探针的常规行为。Z扫描器110不仅可被移除,它还能够占据AFM所占空间的最小量(通常占据小于大约5立方英寸并且优选地小于大约1立方英寸的量(不包括线缆))的情况下达到一流性能(下文进一步描述)。

[0063] 接下来转到图9和图10,在一个具体实施方式中,Z扫描器110的本体200包括第一本体部201,该第一本体部201通过对接环250与第二本体部203对接,这些部件被焊接(例如,激光焊接)或以其他方式与Z扫描器110的所有接缝类似地被接合,从而提供流体密封。

[0064] Z扫描器110还包括Z致动器压电环252,该Z致动器压电环252与第二本体部203对接(interface),第二本体部203如图所示支承探针保持件360。具体地,当压电环252被激励时,运动被传递到探针保持件360,并且因此,安装在探针保持件360中的对应的探针跟随致动器252的运动。第二本体部203包括外部254,该外部254耦合到隔膜弯曲部258,该隔膜弯曲部258引导探针保持件的对应探针的运动,以及预先加载压电环252并且密封压电环组

件。与压电环252的内部相邻的是链接件260(圆筒),该链接件260包括向上延伸的突出部262,该突出部262通过界面266耦合到Z传感器264。如下文所述,Z传感器264检测探针尖端的移动。

[0065] 界面266可以是例如激光焊接的。由于圆筒260和对应的突出部262与压电环252一起移动,并且探针保持件360耦合到压电环252,因此沿Z方向的由探针保持件360支承的探针的运动由Z传感器264检测到。也就是说,突出部262在Z扫描器被致动时跟随探针运动。

[0066] 更具体地参照传感器264,传感器264包括优选地用螺钉270耦合到Z扫描器110的第一本体部201的基片268。传感器264的基片268还包括一体的传感器跳板272,跳板272的远端通过界面266耦合到突出部262。

[0067] 当压电环252被激励并且使得在操作期间移动探针的尖端时,圆筒260与探针一起移动,并且该运动通过突出部262传递到传感器跳板272,从而引起跳板272与探针一致地移动。实际上,优选地以惠斯通(Wheatstone)电桥结构设置的应变计274感测探针尖端的对应运动。

[0068] 总之,高谐振Z位置传感器264协助高谐振Z致动器110来最大化AFM的移动部件的最低谐振频率。如此,传感器264以高带宽精确地测量尖端位置。

[0069] 具体地,压电环252夹置在第一本体部201与隔膜弯曲部258之间,在第一本体部201与隔膜弯曲部258之间有0.004英寸的狭窄间隙。优选地使用螺钉来更进一步封闭该间隙并将隔膜弯曲部附接到第一本体部201。该间隙随后优选地通过激光焊接被永久地密封。当该间隙封闭时,压电环252始终处于压缩中。该力也防止压电环252侧向移动。隔膜弯曲部258在其中央处还包括圆筒状环或圆筒260,圆筒260容置与传感器264对接的突出部262。此外,探针保持件360接合在圆筒260的一端上。在相对的一端上,弯曲突出部262被加工到圆筒壁中。突出部262也被优选地激光焊接到跳板传感器272的自由端。优选地,四个应变计274接合在跳板272的固定端(基片268)以形成惠斯通电桥。

[0070] 在操作中,当压电环252被激励时,压电环252推动在弯曲隔膜258的中央处的圆筒260,并且因此移动悬臂和相应的尖端以响应于与尖端和样品之间的交互作用有关的适当信号而追踪样品表面。圆筒260的相对端处的弯曲突出部262与尖端一起一致地移动。突出部262的这种运动使跳板272偏转并且在跳板272的固定端产生应变。应变计274测量与悬臂尖端的位置成比例的应变。具体地,与使用应变计来测量致动器运动的已知系统相比,应变计274未附接到压电环252的侧壁。已知这种设置缺少精确性、可重复性,并且也会经受损害位置测量值的磁滞及蠕变。传感器264与Z扫描器110的本体200一体地形成,并且没有经受相同的缺陷。

[0071] 接下来转到图11至图13A,更详细地示出了Z扫描器110与快速扫描AFM头部之间的刚性耦合。首先参照图11,Z扫描器110耦合到扫描器头部的自由端部107。物镜壳体107和对准销160均附接到容纳在头部100内的XY扫描器(未示出)。为了使Z扫描器110与物镜壳体107完全对齐,销160在形成在Z扫描器本体200的顶表面的边缘212中的开口处接合Z扫描器110,如先前所述。Z扫描器110与物镜壳体107的这种耦合防止了Z扫描器在被紧固时在锥形安装部上旋转。重要地,这种附接方案在保持精确定位的同时允许通过手且在不使用工具的情况下附接以及从头部移除Z扫描器110。

[0072] 图12更详细地示出了Z扫描器与扫描器头部之间的锥形安装。具体地,Z扫描器110

的本体200的内表面206为锥形并且关于其中心轴大致对称,以与物镜壳体107的相应的锥形表面300对接。更具体地,这种配对的锥形表面206和300包括Z扫描器本体200上的凹锥形和壳体107上的凸锥形。物镜沿着底部透镜被密封。O形环302按以下形成围绕锥形表面的密封件。当Z扫描器110耦合到壳体107时,设置在物镜壳体107的环形凹槽304中的O形环302沿着形成在Z扫描器本体200的内部锥形表面300中的棘爪306滑动。棘爪306被配置为容置O形环302并在壳体107与Z扫描器110之间提供密封接合。图12A中示出了这种接口的细节。当Z扫描器110被推到物镜壳体107上时,O形环滑动到被加工到Z扫描器锥形表面300中的棘爪306中。优选地,棘爪306的表面具有大约 2° 的倾斜,这防止Z扫描器110从物镜壳体107的锥形表面滑出,甚至无需施加外力来将两者保持在一起。

[0073] 尽管O形环和棘爪布置用于将部件耦合并保持在一起,但是优选地利用真空力将Z扫描器110保持在物镜壳体107上。具体地,使用真空力将Z扫描器110刚性地紧固到物镜壳体107。真空口310耦合到真空源(未示出)并且用于在Z扫描器110上施加真空力。更具体地,真空口310与真空孔312对接,真空孔312被加工在物镜壳体107中,拉紧由Z扫描器110的内部表面限定的腔。

[0074] 真空口利用适当的导管122耦合到真空开关124和泵,如图4所示。当施加了真空时,相应腔内部与环境大气之间的压力差产生了将Z扫描器110紧固到物镜壳体107的力。

[0075] 总之,紧凑型Z扫描器110是可移除的,并且能够与快速扫描AFM头部100对接,同时保持与快速扫描AFM头部100的密封接合。物镜围绕底部透镜被密封。并且,O形环302形成围绕锥形表面206、300的密封件,使得所有Z扫描器开口都不透气。因此,保持了物镜壳体107与Z扫描器110之间的气密腔。

[0076] 再次参照隔膜258,环形致动器252内侧的呈环形形状的对称的隔膜弯曲部确保了对称运动。此外,弯曲部258用于响应于侧向运动通过隔膜环的基本上更高的刚度来去除XY运动。

[0077] 转向图13和图13A,示出了Z扫描器和相应的线缆112的更多细节,连同与接合到Z扫描器110的探针保持件360相关的进一步细节。具体地,线缆112利用互连PCB 350耦合到Z扫描器110,该PCB 350设置在线缆112与Z扫描器110之间以用于Z扫描器110与快速扫描AFM头部100之间的通信。在图13A中更详细地示出探针保持件安装。绝缘体352接合到Z扫描器110的本体200的第二本体部203的底表面。楔状部354进一步接合到绝缘体并且向由探针保持件保持的探针装置提供所选量的倾斜。探针夹362与探针保持件360一体地形成,夹362用于保持探针364紧靠楔状部354。特别地,轻敲压电组件366形成在楔状部354中形成的腔367中。设置适当的接线368以激励轻敲压电组件366。由于探针保持件360与Z扫描器110一体地形成,因此提供了具有比常规AFM更大的谐振的刚性结构。

[0078] 总体上,再次参照图13,优选实施方式的Z扫描器安装和紧凑型探针保持件设计极大地改善了对系统谐振的显著限制。与在探针保持件与扫描器之间使用机械式非刚性耦合(例如,从压电管向下延伸到探针保持件开口的销)的一些已知系统不同,在本发明的优选实施方式中,物镜壳体107和Z扫描器110的锥形表面206和300分别提供了物镜壳体107与Z扫描器110之间的刚性机械连接。通过保持Z扫描器110的大量表面区域与自由端部107的外表面直接接触来提供该刚性耦合。如图12所示,所述两个结构之间的圆筒状界面的长度“Q”是重要的,提供了所述两个部件之间大的接触表面区域,从而产生了非常刚性的结构。这有

助于高的谐振能力。

[0079] 优选地,锥形的角度 α 优选地在大约 15° 与 35° 之间,并且理想地采用大约 22° 。该布置中的锥度的实际量是在Z扫描器110的易用性与位置可重复性之间的折衷。如果角度远小于 22° ,则Z扫描器110不能通过手且在不用工具的情况下被容易地移除。另一方面,如果采用远大于 22° 的角度,则锥形上的扫描器位置不会精确和可重复。

[0080] 在进一步增强高速操作的情况下,刚性地耦合到Z扫描器110的探针保持件360的紧凑设计进一步提高了系统谐振。图14至图17示出了这种紧凑且轻量的探针保持件。更具体地参照图13,楔状部354接合到绝缘体352,绝缘体352转而接合到Z扫描器的底表面。现在参照图14,楔状部354被加工以容置用于在操作期间将探针装置保持在楔状部354内的夹362。夹362包括通过相对于楔状部可旋转的销372耦合到楔状部的臂370、371。夹362相对于楔状部354旋转,使得夹362能够打开以使探针364插入到楔状部354中,并且能够闭合以保持探针364紧靠楔状部。更具体地,夹362包括突出部390,该突出部390配置为在夹362闭合时夹置(放置在形成于楔状部354中的腔中的)探针364的基部。夹362通过在由销372限定的点“P”处旋转夹362而闭合,并且通过弹簧部374保持在闭合位置。

[0081] 弹簧部374包括能向后弯曲的“S”形部件376,该部件376在其表面377与楔状部354的边缘380对接时弯曲。边缘380呈曲面,使得在部件376紧靠边缘380滑动时部件376向外弯曲,并随后使弹簧部374朝向楔状部弹回以保持夹362紧靠楔状部354。在夹362的闭合位置,突出部390保持探针364紧靠楔状部354。结果是去除了保持AFM系统谐振尽可能高的又一限制的极其紧凑且刚性的探针保持件设计。总之,是接合到扫描器并配置成容置紧凑型夹362的机械式楔状部的结合使得能够实现在最低的第一谐振方面的显著改善。因此实现了高速扫描。

[0082] 转向图18,提供了对Z扫描器动态分析的说明。在常规AFM中,Z扫描器的谐振频率响应的曲线400、404(振幅/相位)示出了小于一千赫的第一谐振。相比之下,在本发明的优选实施方式的AFM(该AFM采用了耦合到快速扫描AFM头部100的Z扫描器)中,Z扫描器动态分析(分别为振幅曲线402和相位曲线406)显示出大于50千赫的第一谐振频率。因此,高速扫描能够利用本发明的优选实施方式提高到25倍或更多。

[0083] 尽管上文中公开了发明人设想到的实施本发明的最佳实施方式,但上述发明的实施并不限于此。将表明的是,在不背离基本的发明构思的精神和范围的情况下,可以对本发明的特征做出各种添加、改型以及重新布置。

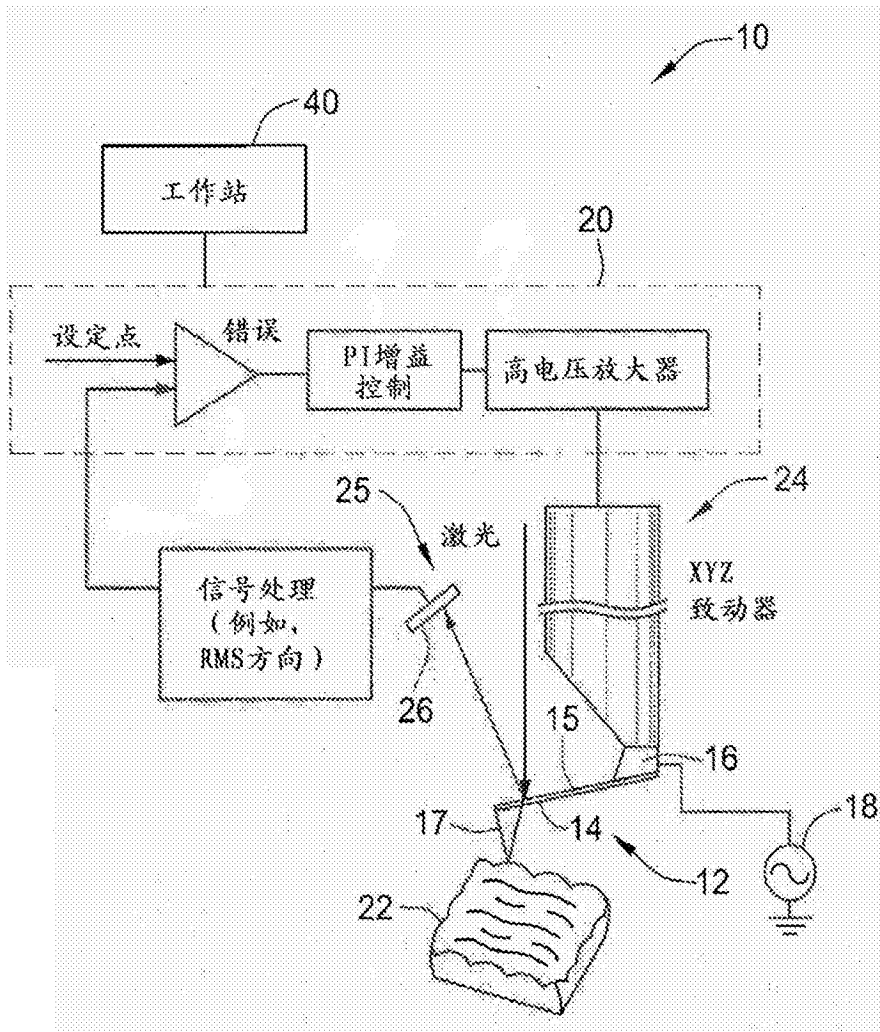


图1 (现有技术)

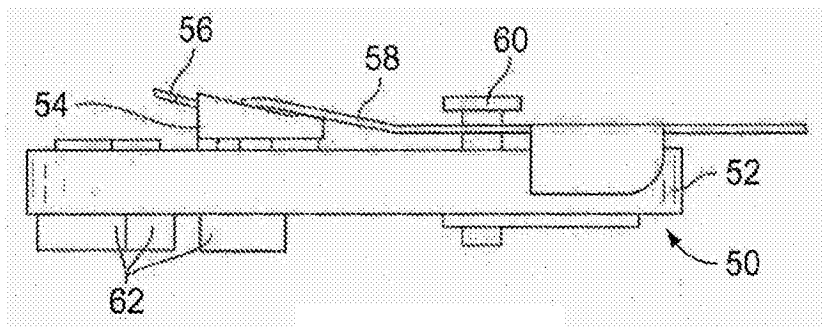


图2 (现有技术)

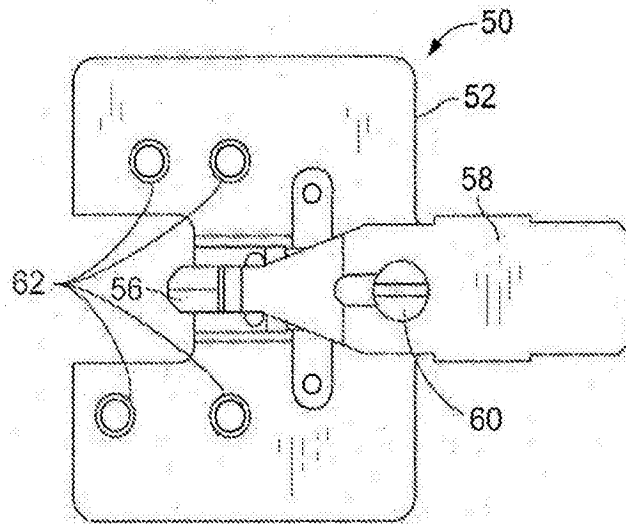


图3 (现有技术)

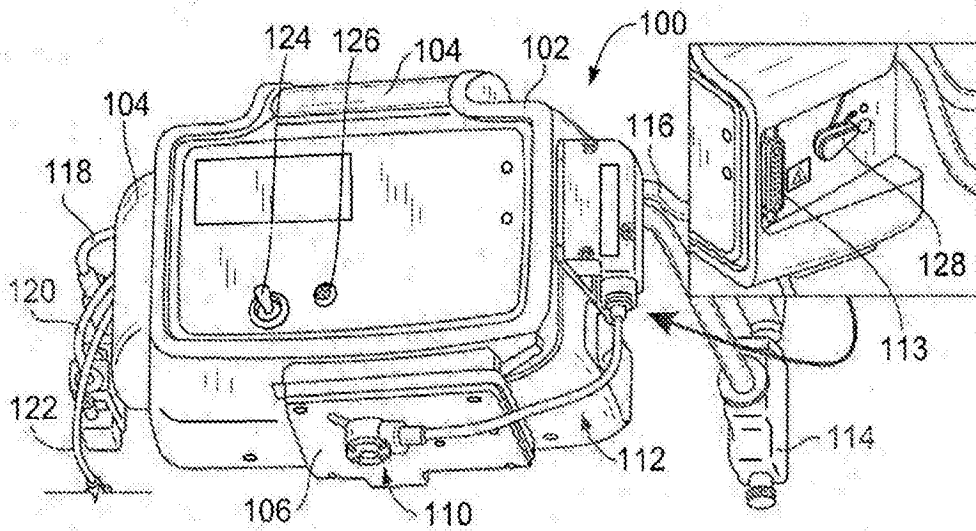


图4

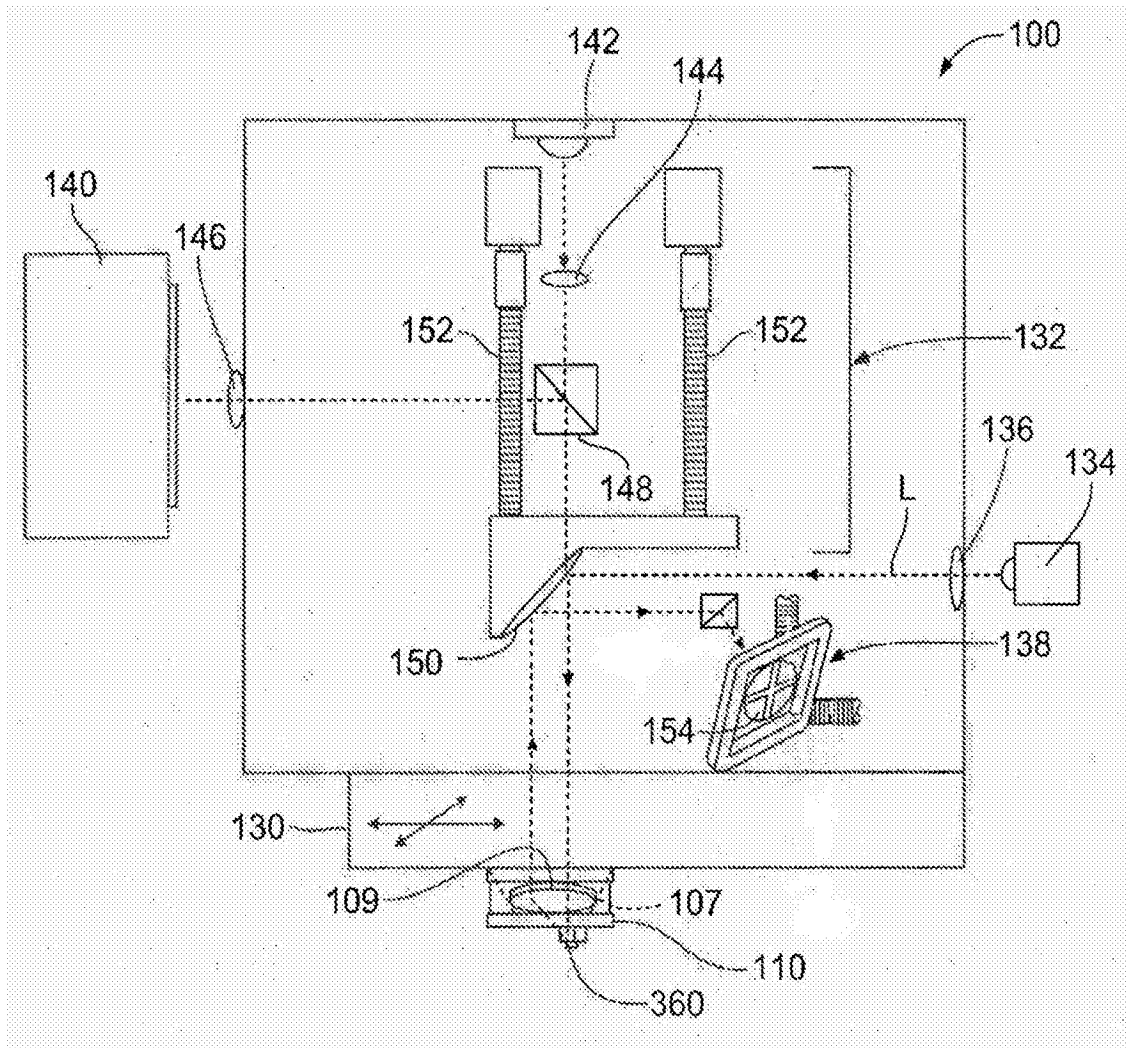


图5

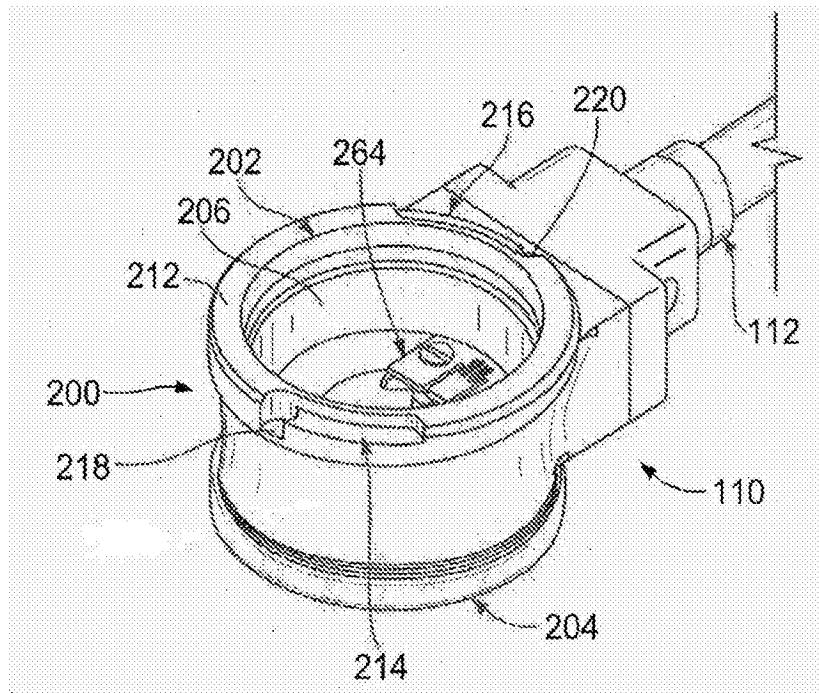


图6

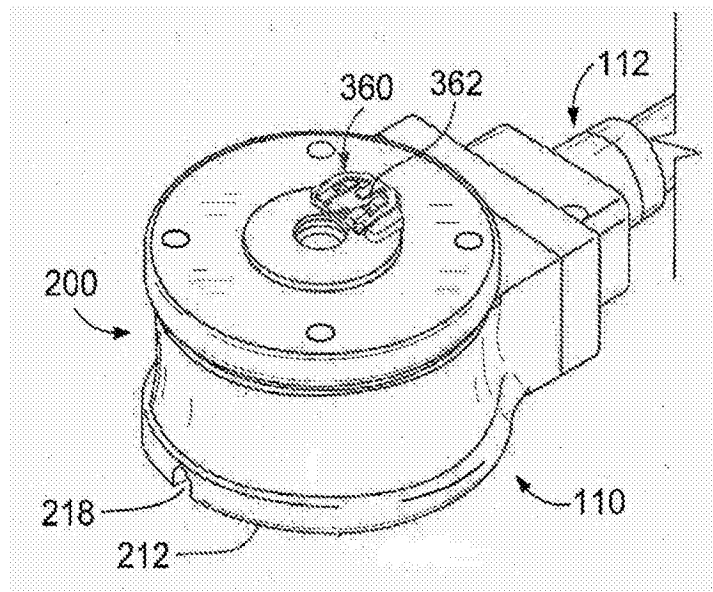


图7

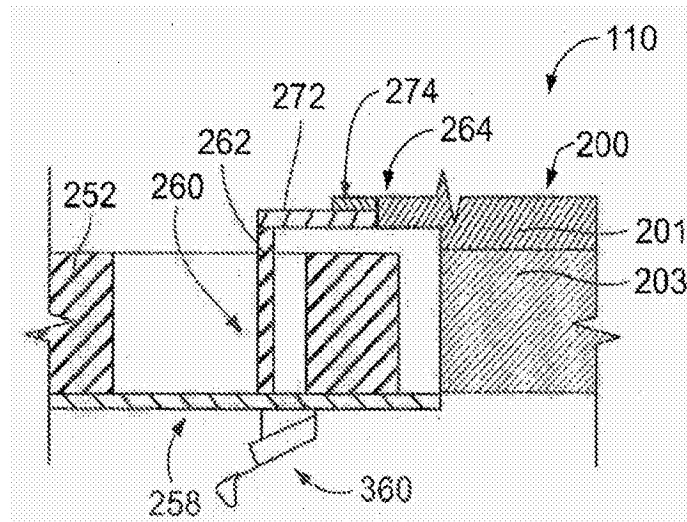


图8

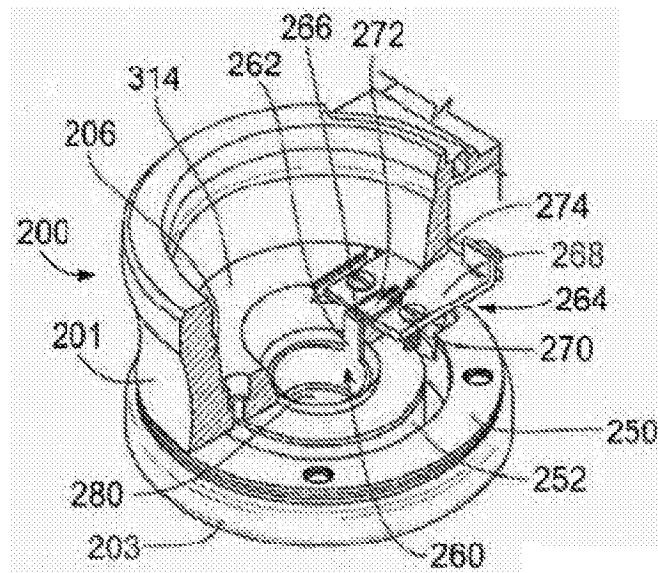


图9

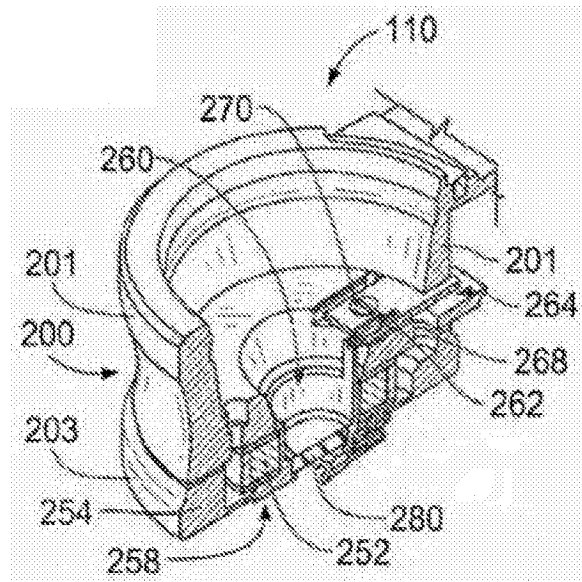


图10

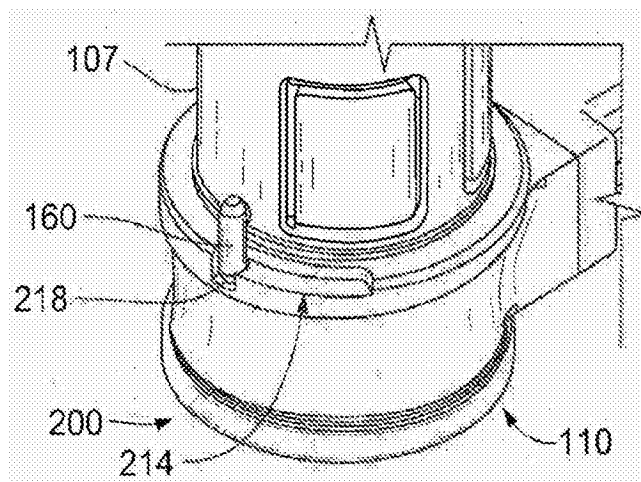


图11

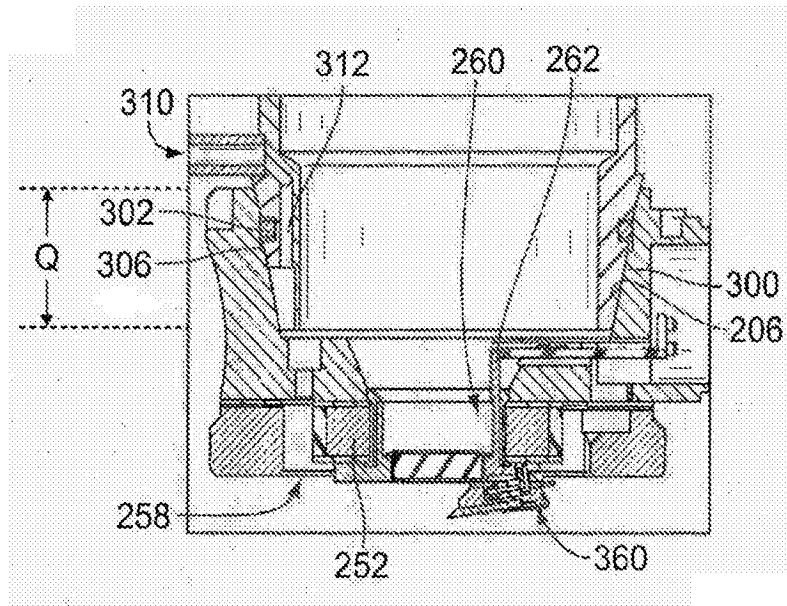


图12

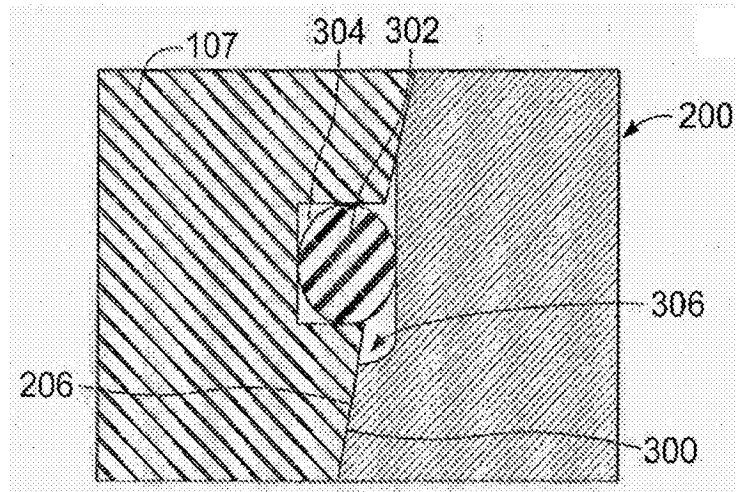


图12A

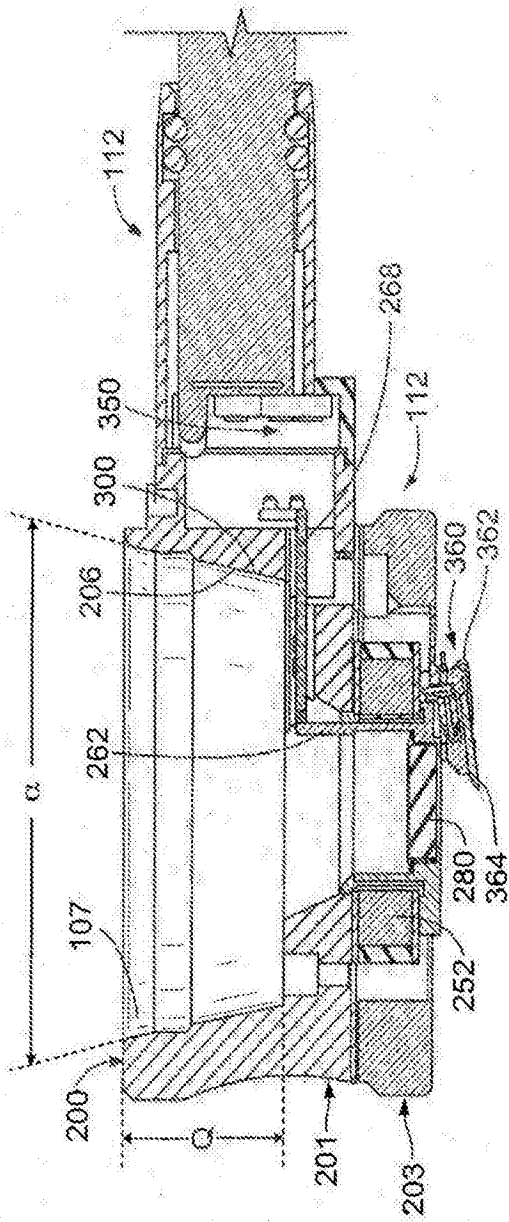


图13

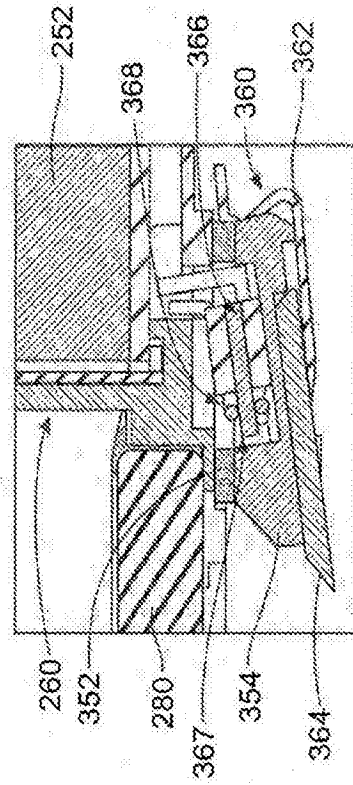


图13A

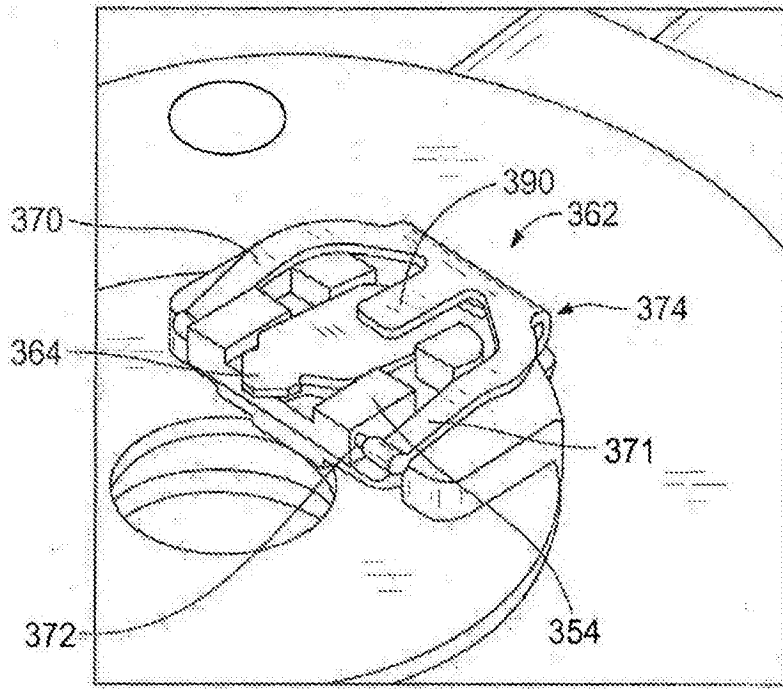


图14

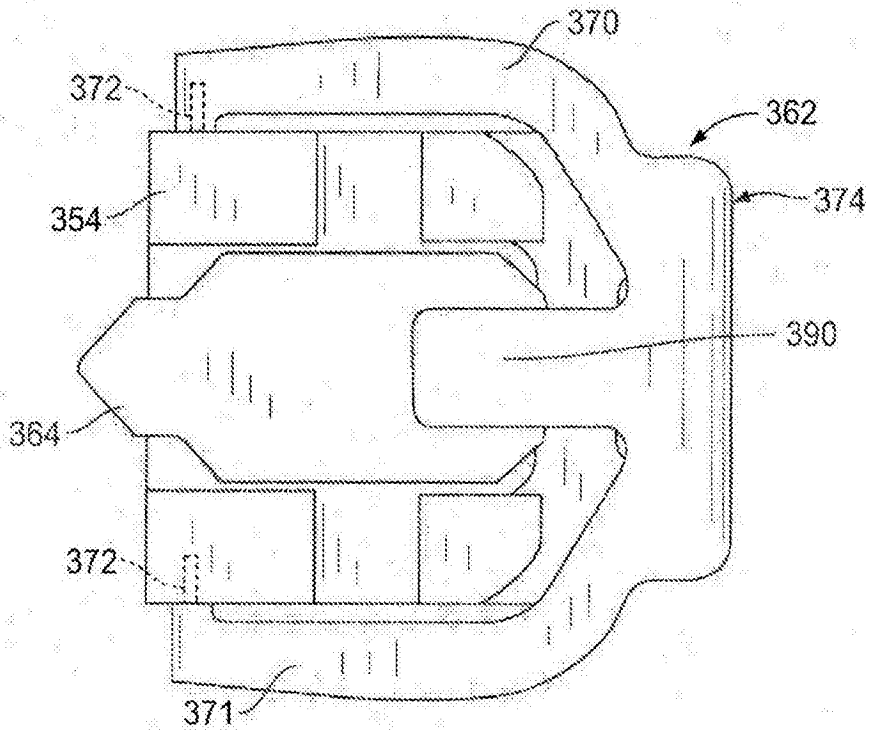


图15

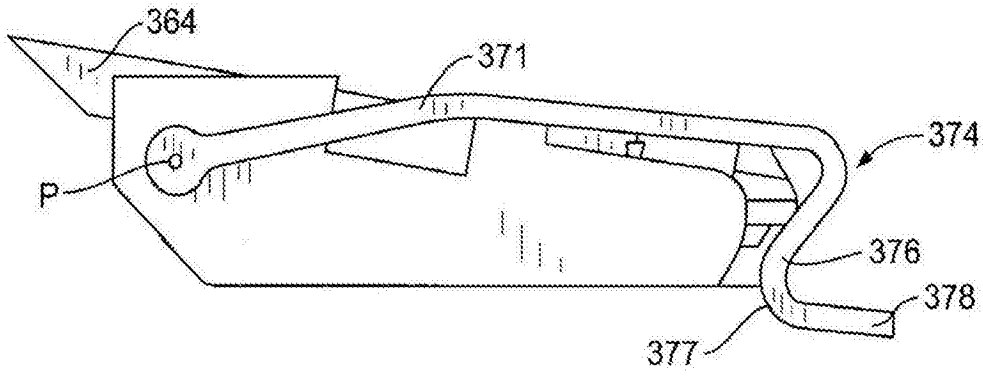


图16

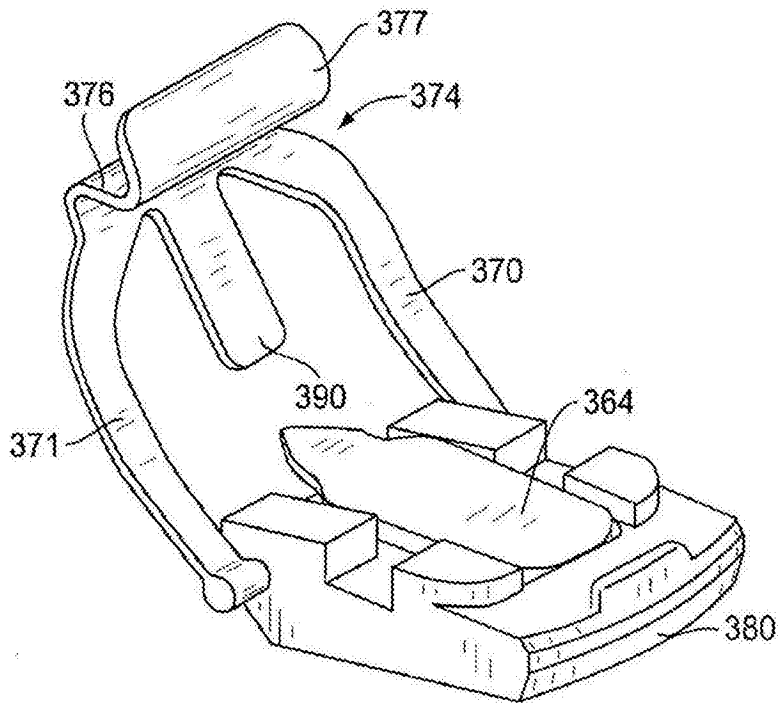


图17

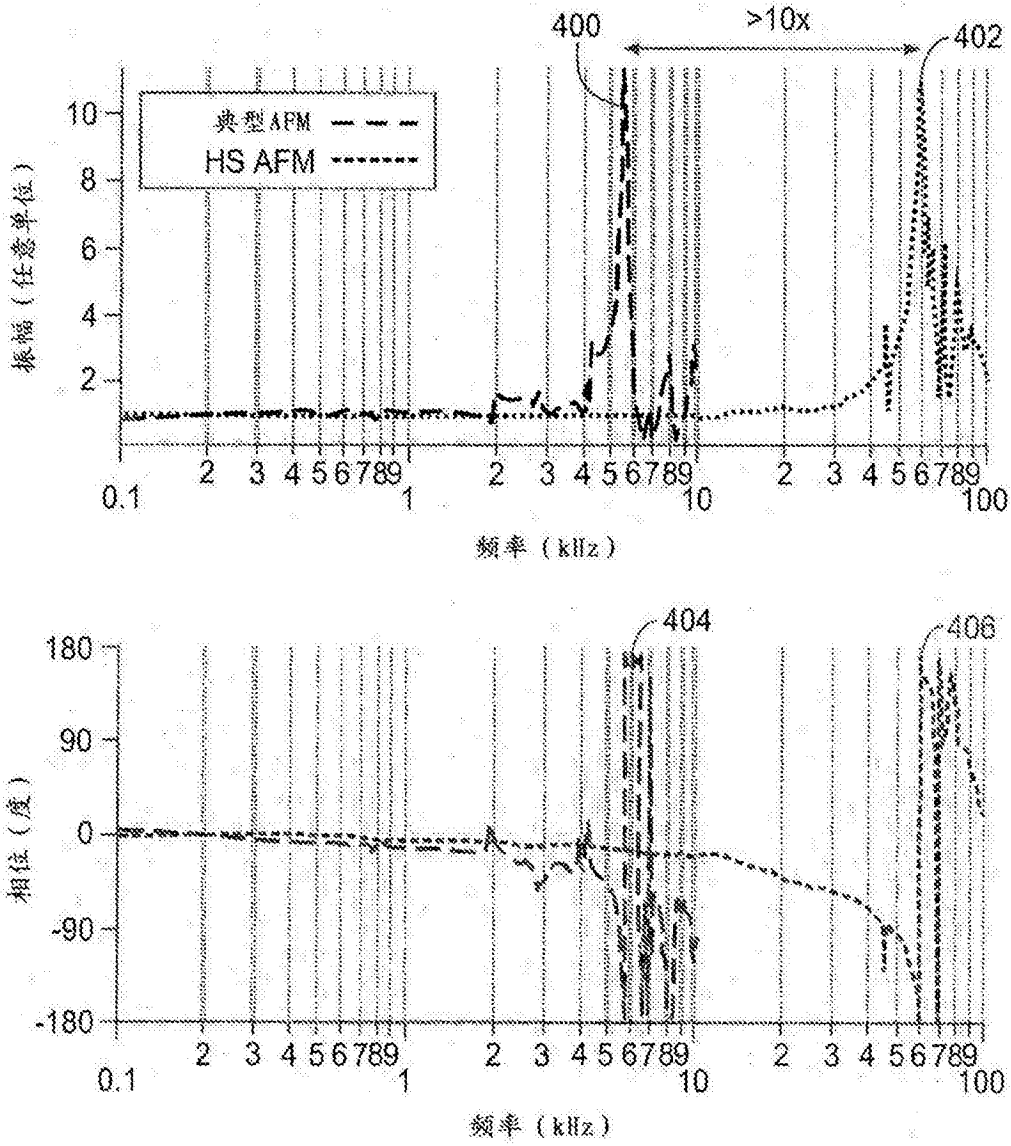


图18