

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102576258 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 11

(21) 申请号 201080046843. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 09. 29

G06F 3/033 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12/589, 178 2009. 10. 19 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 04. 17

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/002641 2010. 09. 29

(87) PCT申请的公布数据

W02011/049602 EN 2011. 04. 28

(71) 申请人 西北大学

地址 美国伊利诺斯州

(72) 发明人 詹姆斯·爱德华·科尔盖特

迈克尔·佩什金

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 周靖 郑霞

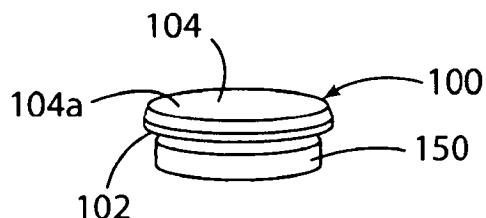
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 10 页

(54) 发明名称

具有受控牵引力的触觉设备

(57) 摘要

一种包括基板的触觉设备，该基板以某种方式被支配为诸如具有一个或多个自由度以及具有摩擦减小的振动的调制的横向振动的横向运动，从而能够产生作用于设备的用户手指或物体的切力。



1. 一种触觉设备,该触觉设备包括基板,用于使所述基板进行横向运动的一个或多个促动器,以及用于使所述基板进行摩擦减小的超声振动的一个或多个其它促动器。
2. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板进行横向振动。
3. 如权利要求 1 所述的设备,包括控制设备,该控制设备用于控制所述一个或多个促动器以产生作用于与所述基板相接触的用户手指或者物体的力的方式使所述基板进行与所述摩擦减小的振动的调制同步的横向运动。
4. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板进行单轴上的横向运动。
5. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板进行在两个轴上的横向运动。
6. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板进行三个轴上的横向运动,所述轴中的一个旋转的。
7. 如权利要求 3 所述的设备,其中,所述基板的横向速度与所述摩擦减小的振动的调制之间的相位角被改变,以改变所述力的方向。
8. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板产生非直线运动。
9. 如权利要求 8 所述的设备,其中,所述一个或多个促动器使所述基板产生横向圆形运动。
10. 如权利要求 1 所述的设备,其中,所述一个或多个其他促动器使所述基板在垂直于所述基板的平面的方向上产生超声振动,以产生摩擦减小的效果。
11. 如权利要求 1 所述的设备,其中所述基板包括平板。
12. 一种用于生成作用于与触觉设备的基板的表面相接触的用户手指或者物体的力的方法,所述方法包括使所述基板进行横向运动,使所述基板进行摩擦减小的超声振动,以及控制所述横向运动和所述摩擦减小的振动的调制以生成作用于与所述基板相接触的用户手指或者物体的所述力。
13. 如权利要求 12 所述的方法,包括控制与所述摩擦减小的振动的调制同步的横向运动。
14. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板经受横向振动。
15. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述横向运动发生一次。
16. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述横向运动发生多次。
17. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述横向运动是持续的。
18. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板在单轴上横向运动或者振动。
19. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板在两个轴上横向运动或者振动。
20. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板在三个轴上横向运动或者振动,所述轴中的一个旋转的。
21. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板正弦曲线地横向振动。
22. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板的横向速度与所述摩擦减小的振动的开启或者关闭状态之间的相位角被改变,以改变所述力的方向和幅度。
23. 如权利要求 12 所述的方法,其中所述基板在两个轴上横向振动以由此提供非线性

运动。

24. 如权利要求 23 所述的方法,其中,所述非线性运动包括所述基板的圆形运动。
25. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板在与其平面垂直的方向上超声振动,以产生摩擦减小的效果。
26. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板包括平板。
27. 如权利要求 12 所述的方法,包括响应于用户手指或者物体的位置改变所述力以提供所述基板的表面的平面内的力场。
28. 如权利要求 12 所述的方法,其中,所述基板交替地经受相对高的摩擦状态以及较低摩擦状态。
29. 如权利要求 12 所述的方法,包括调制所述基板处于相对高的摩擦状态的时间量。

具有受控牵引力的触觉设备

[0001] 本申请要求于 2009 年 10 月 19 日提交的美国专利申请序列号第 12/589,178 号的优先权，该申请要求于 2008 年 10 月 20 日提交的美国临时申请序列号第 61/196,660 号的权益及优先权。

[0002] 发明的合同起源

[0003] 本发明在由国家科学基金授予的批准号 IIS-0413204 下由政府支持制得。政府对本发明拥有某些权利。

发明领域

[0004] 本发明涉及触觉设备，该触觉设备可以提供作用于在设备表面上的用户手指或者物体的切力。

[0005] 发明背景

[0006] 共同受让人的在 2007 年 3 月 21 日提交的共同待审的美国专利申请序列号第 11/726,391 号公开了一种具有触感交接面的触觉设备，该触感交接面基于使用超声振动调制诸如玻璃板的基板的表面摩擦。该设备可以通过响应于一个或多个感测参数和 / 或响应于时间（即，与手指位置无关）的表面摩擦的调制向用户提供间接触觉反馈以及虚拟的纹理感觉主动探查设备表面的用户能够感受到纹理以及表面特征的触觉假象。

[0007] 该触觉设备在它只能够改变抵制在交接表面上的手指运动的力方面是有抵制力的，但是它不能够，例如，重定向手指运动。

[0008] 提供该触觉设备的可变摩擦益处以及向玻璃板基板的交接表面上的用户手指或物体提供切力将是可取的。

[0009] 发明概述

[0010] 本发明提供了一种触觉设备，该触觉设备能够通过以某种方式使基板进行横向运动或者横向振动以及摩擦减小的超声振动的调制以产生力，提供作用于与基板表面相接触的手指或者物体的力。本发明的一个实施方式提供了一种触觉设备，该触觉设备包括基板，用于使基板进行横向运动或者横向振动的一个或多个促动器，以及用于使基板进行摩擦减小的超声振动的一个或多个其他促动器。提供了一种控制设备，该控制设备用于以某种方式控制促动器以使基板进行横向运动或振动以及摩擦减小的振动的调制，以产生作用于与基板相接触的用户手指或者物体的力。力的改变响应于在基板表面上的用户手指或者物体的位置，该力的改变可以在基板表面的平面中提供力场。

[0011] 在本发明的说明性实施方式中，平面（平板）触觉设备通过使用诸如玻璃板的水平基板的垂直超声振荡调制摩擦以提供变化的摩擦（摩擦减小）效果。当在低和高的变化的摩擦状态之间交替时，该设备还在水平平面上以一个自由度（在一个轴上振动）、两个自由度（在两个轴上振动）或者更多的自由度横向振动基板，以产生作用于与基板相接触的用户手指或者物体的非零的时间平均的净切力。例如，对于一个自由度的横向振动，随着基板在水平平面的一个方向上运动，摩擦减小（低摩擦状态）。随着基板向相反方向运动，摩擦增大（高摩擦状态）。作用于用户手指或者是作用于部件的时间平均的净力是非零的，并

且可被用作直线切力源,该切力源施加于与表面相接触的手指或者物体。

[0012] 对于两个自由度的横向振动(例如,X和Y轴),基板可能以涡旋的方式运动以提供圆形的平面内运动(在基板表面的平面内)。当基板涡旋时,它的速度向量会在一瞬间与期望的力的方向对齐。在那瞬间前后,基板被设置为它的高摩擦状态,并且力的冲量因此施加于用户手指或者物体。在“涡旋”圆环的剩余期间,基板被设置为低摩擦状态,从而极小地影响到作用于手指或者物体的力。因为速度向量在涡旋期间经过全部360°,力可以产生于平面内的任意方向。

[0013] 可选地,在另一个实施方式中,基板可在水平平面内的单方向上振动,但是这个单方向可能被改变以符合在任意瞬间的期望的力的方向。在本发明的又一个实施方式中,基板可能在三个轴上被振动(X和Y平移以及绕垂直轴的平面内旋转)。还应该了解到横向振动不需要是正弦曲线,不需要是恒定振幅,并且不需要无限地延续。例如,在本发明的另一个实施方式中,可能用到基板的单横向运动或者短系列的横向运动或者移位。

[0014] 本发明便利地提供了触觉设备,该触觉设备为用户的手指提供导向力,以使得用户能够探查显示器。甚至用户手指的主动推进可能有用地提供吸引人的触觉感受。本发明还便利地提供了触觉设备,该触觉设备以某种方式为基板上的一个或多个物体提供导向力以提供用于在送料、机器人应用中以及制造业应用中的物体或者部件操作设备。

[0015] 本发明的优点通过以下伴有以下附图进行的详细描述会变得更加明显。

[0016] 附图简述

[0017] 图1A是具有可变的摩擦效果的能力的触觉设备TPaD的透视图。图1B是用于触觉设备TPaD的座架的透视图。

[0018] 图2是粘附在座架上的触觉设备TPaD的透视图。

[0019] 图3是平面触觉设备的示意透视图,该平面触觉设备包括了依据本发明的触觉设备TPaD以及其他零件。图3A是力的测量设备的视图,该设备用于测量横向力。图3B是可选的力的测量设备的视图,该设备用于测量横向力。

[0020] 图4是控制系统的示意图,该控制系统用于以某种方式控制促动器以使基板进行与摩擦减小的振动同步的横向振动,以产生作用于与基板相接触的用户手指或者物体的切力。

[0021] 图5是手指位置传感器系统的示意图,该系统用于实践本发明的实施方式。

[0022] 图6A是示出伴有高摩擦的TPaD向右运动的示意图,该运动在手指上产生向右的冲量。图6B是示出伴有低摩擦的TPaD向左运动的示意图,该运动为另一个向右的冲量做准备。

[0023] 图7以未过滤的力信号示出了力的冲量,其中TPaD在 $\Phi_{\text{开启}} = 40^\circ$ 时开启(低摩擦状态),并在 180° 内保留在开启状态。

[0024] 图8示出了当 $\Phi_{\text{开启}}$ 随时间旋转时的合力改变,其中未过滤的40Hz力信号与TPaD的横向运动具有相同的频率。 $\Phi_{\text{开启}}$ 在0.5Hz时旋转通过了所有的相位角,同时合(过滤的)力相应地改变。圆环的最大受力点出现在“最优 $\Phi_{\text{开启}}$ ”值处。

[0025] 图9示出了力与 $\Phi_{\text{开启}}$ 的关系曲线的绘图,其中随着 $\Phi_{\text{开启}}$ 的变化,合力从左侧移向右侧然后再返回。产生最大的向左和向右的力的最优 $\Phi_{\text{开启}}$ 值被标注了出来。另外,产生零合力的两个 $\Phi_{\text{开启}}$ 值中的一个被标注了出来。

[0026] 图 10 是最大力与 RMS(均方根)位移的关系曲线的绘图,示出振动的振幅与多种横向振动频率下, $F_N = 392\text{mN}$, $\mu_{\text{玻璃}} = 0.70$, 并且 $\mu_{\text{开启}} = 0.06$ 时的最大合力之间的关系。

[0027] 图 11 是图 10 的数据作为 TPaD RMS 速度的函数的重制绘图。

[0028] 图 12 图解了线源力场以及表面触觉设备 (SHD) 控制器使用的生成线源场的 $\Phi_{\text{开启}}$ 请求。

[0029] 图 13 从包括两个线源力场和两个线库力场的四个不同的力场,示出了数据、合力与在 TPaD 上的手指位置的关系曲线。

[0030] 图 14A 示出了势能和力与 x 轴位置的关系曲线的绘图。图 14B 是两个线库 (力场) 和一个线源 (力场) 的平面视图。图 14C 示意性地示出了触觉拨动开关效果。

[0031] 图 15 是两个自由度的触觉设备的示意图,其中触觉设备 TPaD 安装在适用的支架上。

[0032] 发明详述

[0033] 本发明提供了一种以下称作表面触觉设备 (SHD) 的触觉设备,该表面触觉设备能够提供作用于与触觉基板表面相接触的手指或者物体的力,该过程通过使基板进行横向运动或者横向振动以及摩擦减小的振动的调制得以实现。本发明的实施方式提供的触觉设备包括基板,例如,平板玻璃或者其他板,用于使基板进行横向运动或者横向振动的一个或多个促动器,以及用于使基板进行摩擦减小的超声振动的一个或多个其他促动器。在实施方式中,促动器由计算机控制设备所控制,从而以某种方式使基板进行与摩擦减小的振动的调制同步地横向运动或者横向振动,以产生作用于与基板表面相接触的用户手指或者物体的切力。本发明预想使基板进行在单轴 (例如, X 轴) 或者多轴 (例如, X 和 Y 轴) 上横向运动或者振动,如以下所描述的。

[0034] 在说明性的实施方式中,本发明可用图 1A、1B 以及图 2 中示出的说明性类型的可变摩擦触觉设备 TPaD (“触感模式显示器”) 实践,该 TPaD 具有拥有运转的触觉表面的基板 100,以及一个或多个促动器 (振荡器),该促动器可操作地以某种方式与基板相关联从而以某种方式传递振荡 (振动) 到基板那里,从而提供可变的摩擦能力,如共同受让人的在 2007 年 3 月 21 日提交的共同待审的美国申请序列号第 11/726,391 号以及在 2009 年 3 月 19 日提交的共同待审的美国申请序列号第 12/383,120 号所描述的,其公开内容据此以引用方式并入。把共同待审的申请中的可变摩擦触觉设备 VFHD 以下称为可变的摩擦触觉设备 TPaD。

[0035] 参考图 1A、1B 与图 2,根据本发明的说明性实施方式的可变的摩擦触觉设备 TPaD 被示出,该 TPaD 具有基板 100,该基板 100 包括处于压电片或层构件形式的压电挠曲元件 102,其附着于具有触感 (触觉) 表面 104a 的被动基板片或层构件 104,以提供相对薄的层板结构,以及从而提供纤细的触觉设备设计,这样可以提供纤细、高表面摩擦、不可听到以及可控制摩擦的优点。相对薄的触觉设备可以由胶合到或以其他方式附着到被动载体片或层 104 的压电陶瓷片或层制成。当在压电片或者层 102 两端施加电压时,压电片或者层 102 试图扩大或者缩小,但是由于它与被动载体片或者层 104 粘合在一起,所以不能扩大或者缩小。当压电片或者层 102 被通电时,层板会具有在碟片中央有单峰或者谷的弯曲的形状。产生的压力造成挠曲。施加到压电片或者层的电压越大,挠度越大。当压电挠曲元件被正激励电压所激励时,它以向上 / 正曲率挠曲。当压电挠曲元件被负激励电压所激励时,它以

向下 / 负曲率挠曲。当施加正弦波（正弦的）激励电压时，压电挠曲元件会在这些曲率之间交替挠曲。当正弦波激励电压在频率上匹配基板 100 的共振频率时，振动的振幅被最大化。座架 150 可用于将挠曲限制为只有一种期望的模式或者任意量的期望的模式。优选的是触觉设备的所有机械部件的振荡都处于可被听到的范围之外。为此目的，基板 100 优选地设计为在 20kHz 以上的共振点振动。

[0036] 出于说明及不加以限定的目的，压电构件 102 的厚度可以为大约 0.01 英寸到大约 0.125 英寸。基板构件 104 的说明性的厚度可以为大约 0.01 到大约 0.125 英寸。这样在本发明的说明性实施方式中的触觉设备的总厚度可以控制在不超过大约 0.25 英寸。

[0037] 如图 1A、1B 以及图 2 所示，碟形的触觉设备被安置在座架 150 上以将挠曲元件碟片的振荡限制在 01 模式，其中 01 模式是指当压电片或者层被激励时，层板具有在碟片中央有单峰或者谷的曲率。座架 150 可以沿着薄环或者环形表面 150a 而被附着于压电碟片，该薄环或者环形表面 150a 的直径可以是压电碟片的直径的 2/3。相同的非常低粘度的环氧胶粘剂可以被用于到座架 150 的粘合，如用于粘合压电碟片以及玻璃基板碟片。座架 150 的内部高度有些随意，并且也可以制成几毫米薄。座架 150 适应于被安装在终端使用产品上或者终端使用产品内，例如，包括但不限于，机动车控制台、仪表板、转向盘、门、计算机、或者其他终端使用应用 / 产品的表面上或者表面内。

[0038] 当触觉设备被安置在触摸屏上、视觉显示器上，或者机动车的内表面或者外表面上时，优选地提供透明的触觉设备，其中触觉设备的存在被伪装了起来，以和周围表面融合在一起，这样就不容易被随意的观察者看到了。为此目的，压电构件 102 以及基板构件 104 中的一个或者两者可以由透明材料制成。在压电元件 102 的反面，压电元件 102 包括了用于给压电构件 102 通电的相应的透明电极（未示出）。

[0039] 出于说明及不加以限定的目的，基板 104 可以是玻璃或者其它透明材料。对于电极材料，如 Kumade 等人、美国专利 4,352,961 所描述的， $In_2O_3-SnO_2$ 钨锡氧化物系统的薄膜可以被使用，以提供透明电极。为了实现透明触觉设备而采用透明压电材料是不必要的。应当理解到被动基板片 104 可以由诸如玻璃的透明材料制成，并且在表面区域，它看起来可能会明显的比压电片 102 大。压电片 102 可能只会在被动基板片 104 的周边占据很小的一块区域，以使得被动基板片 104 能够在不遮挡显示器的情况下放置在图形显示器上。压电材料可以包括，但不限于，基于压电陶瓷 (PZT) ($Pb(Zr, Ti)O_3$) 的陶瓷，例如，掺杂镧的钛酸锆 (PLZT)、($PbBa$) (Zr, Ti) O_3 、($PbSr$) ($ZrTi$) O_3 以及 ($PbCa$) ($ZrTi$) O_3 、钛酸钡、石英或者诸如聚偏二氟乙烯的有机材料。

[0040] 本领域的技术人员会理解到本发明并不限于透明的压电以及基板构件，并且本发明可以用半透明或者不透明的压电以及基板构件来实践，这些压电以及基板构件可以上色为期望的颜色，以用于给定的服务应用，其中，彩色的触觉设备因为装饰性、防护性或者安全性的原因被期望。可以被用于制造基板构件 104 的非透明材料包括但不限于，钢、铝、黄铜、丙烯酸酯、聚碳酸酯、三氧化二铝，以及其他金属，塑料和陶瓷。

[0041] 圆形的碟形触觉设备 TPaD 的设计包括选择合适的碟片半径，压电陶瓷碟片厚度，以及基板碟片的材料和厚度。特别地制作选择会决定设备的共振频率。碟形触觉设备的优选实施方式采用了具有 0.5mm 到 2mm 范围厚度并且由玻璃而不是钢或者其他金属制成的基板碟片，以在不明显牺牲相对振幅的情况下增加共振频率（保证在听觉范围以外的操作）。

[0042] 本领域的技术人员会理解到压电挠曲元件 102 以及基板 104 的设计并不强制于所述的圆形碟片形状。其他的形状,例如矩形或者其它多边形的形状都可以用于这些零件,这些将会在下面描述到,并且它们会表现出不同的相对振幅以及共振频率。

[0043] 关于图 1A、1B 以及图 2 的说明性碟形触觉设备,由用户在触觉设备的触摸(触觉)表面 104a 感觉到的摩擦量是在压电构件 102 的激励电压的振幅的函数。激励电压如在以下实施例以及同样在于 2007 年 3 月 21 日提交的共同待审的美国申请序列号第 11/726,391 号,以及于 2009 年 3 月 19 日提交的共同待审的美国申请序列号第 12/383,120 号中所描述的,上述申请在此通过引用并入。激励电压是振幅调制的周期性波形,该波形优选地具有实质上等于触觉设备的共振频率的振动频率。控制系统可以与受电弓 / 光学编码器,或者与光学平面(二维)定位传感系统,或者与任意其它单轴或者与双轴手指位置传感器,或者本领域已知的许多任意其它种类的手指位置传感器一起使用,双轴手指位置传感器在共同待审的申请序列号第 11/726,391 号中被描述过,在此通过引用并入。

实施例

[0044] 一个自由度的平面触觉设备

[0045] 参考图 3,示出了依照本发明的说明性实施方式的说明性的平面表面触觉设备 SHD,其包含以下称为 TPaD 的图 1A、1B 与图 2 的碟形触觉设备 TPaD。碟形触觉设备 TPaD 使用单圆形碟片的压电挠曲元件(单变形类别)以及单圆形碟片的玻璃板基板构成,以生成为实现摩擦减小的间接触觉效果所必需的超声频率以及振幅。压电挠曲元件碟片包括 PIC151 压电陶瓷材料(由 PI 陶瓷有限责任公司生产),该压电陶瓷材料具有一(1)毫米的厚度以及 25 毫米(mm)的直径。玻璃板基板碟片包括厚度为 1.57mm 以及直径为 25mm。应用诸如 Locitite E-30CL Hysol 环氧胶粘剂的非常低粘度的环氧胶粘剂使压电陶瓷碟片被粘合到玻璃基板碟片。碟形触觉设备被安置在由铝制成的座架上,并沿着薄环或者环形表面 150a 而被附着于压电碟片,该薄环或者环形表面 150a 的直径是压电碟片的直径的 2/3。相同的非常低粘度的环氧胶粘剂被用于到座架 150 的粘合,如用于粘合压电碟片以及玻璃基板碟片。

[0046] 触觉设备 SHD 还包括了线性促动器 200,例如音圈,该线性促动器 200 通过联接杆 211 与线性滑块 210 相连接,在该线性滑块 210 上固定放置了触觉设备 TPaD 以做相关的运动。TPad 可以用诸如夹具、胶水、螺丝或者铆钉的任意的连接方式保持在滑块 210 上的固定位置。线性滑块 210 被可移动地安置在固定基底 B 上的载体 212 上,以在单 X 轴上运动。线性音圈促动器 200 在 20 到 1000Hz 之间的频率被正弦激活,使得滑块 210 和其上的触觉设备 TPaD 以相同频率在 X 方向横向地运动振动。虽然本发明不局限于这样的正弦激活,当音圈促动器 200 被以该系统的共振频率正弦激活时,横向振动的振幅增加。

[0047] 通过将 39kHz 的正弦波施加至安装在玻璃板基板 104 下面的压电元件 102 在触觉设备 TPaD 的玻璃板基板表面 104a 上调制摩擦。该 39kHz 的信号由 AD9833 波形发生器芯片生成,并且使用音频放大器增大至 +0~20V。当施加该信号至压电元件 102 时,它引起玻璃板基板的共振振荡。这些振荡产生指尖下部空气的挤压膜,导致摩擦的减小。在高激活电压时,在玻璃板基板和手指之间的摩擦近似于 $\mu = 0.15$,而在零电压时,表面具有标准玻璃的摩擦(近似于 $\mu = 0.95$)。

[0048] 可编程的集成电路 (PIC-18F4520) 生成用于音圈 (x- 促动器) 的低频信号, 并且发布命令给波形信号发生器 (AD98330), 如图 4 所示, 以开始 / 停止对压电元件 102 的 39kHz 信号。由于它提供了两种函数, 它能够操控触觉设备 TPaD 的摩擦级别与横向运动之间的相位关系。图 4 示出了具有微控制器和手指位置传感器 250 的控制系统, 该微控制器有 PIC 或者其它控制器。图 4 示出了在 X 轴上振动线性滑块 210 的 X 轴促动器以及 Y 轴促动器, 供以下描述的两个自由度的平面触觉设备使用, 其中 TPaD 在 X 轴以及 Y 轴上同时振动。

[0049] 为了测量手指的位置, 可以使用双轴手指定位系统 250 中的一个单轴。这个系统是类似于双轴手指位置传感器类型的系统, 该类型在共同待审的美国申请序列号第 11/726,391 号中被描述, 然而, 该系统的红外发光二极管由激光线发生器 252 和菲涅尔透镜 254 代替了, 激光线发生器 252 和菲涅尔透镜 254 产生照射在线性光电二极管阵列 256 上的平行光片, 如图 5 所示。平行光片被立即投放至 TPad 的表面 104a 上, 触摸 TPad 表面 104a 的手指阻碍了那片光, 从而在线性光电二极管阵列 256 上投下阴影。PIC 微控制器读取线性光电二极管阵列 256 的输出, 并计算手指阴影的重心, 这被用作手指位置的测量。

[0050] 力的生成的特征

[0051] 在一个自由度的实施方式中, 力由在同一频率下在低摩擦状态和高摩擦状态之间的交替产生, 在该频率下, 触觉设备 TPaD 在平面内横向地振动。为了产生向左的合力, 触觉设备 TPaD 当它的速度向左时, 设置为高摩擦, 当它的速度向右时, 设置为低摩擦。触觉设备 TPaD 在将用户手指向左推与滑动手指下侧回到右侧之间交替。这个“推滑”循环自我重复, 并且一系列的向左的强脉冲后跟随着向右的弱脉冲导致向左的合力。这些脉冲在图 8 中的未过滤力信号中可以看到, 在 SHD 的表面 104a 与指尖之间的横向力或者切力, 可以用一个自由度的膨胀力 / 压缩力的测压元件来测量, 该测压元件可操作性地连接到指尖替代物, 如图 3A 所示。测压元件可以在线性滑块上垂直地运动。测压元件和指尖的重量由低刚度弹簧使之悬浮。指尖的垂直位置通过蝶形螺母得以是可调节的。当指尖降低至 TPad 接近闭合 (小于 0.5mm) 内后, 通过增添砝码至所示 L 形指状元件以控制正向力。在本实施例中使用的是 392mN(40g) 的正向负载。这种安排允许作用于手指替代物的包括横向振动的影响的力, 得以被高精确度地测量。在本实施例中使用的指尖替代物包括了作为手指替代物垫的用砂纸打磨的电工胶带包裹的葡萄。手指替代物被用电工胶带稳固在图 3A 中所示的 L 形铝制“手指”上, 而铝制手指被螺到测压元件上。在指尖到手指的连接中有某种灵活性, 但是由于人类手指有相似的灵活性, 所以这是适当的。

[0052] 可选地, 在 SHD 的表面 104a 与指尖之间的横向力或者切力也可以通过将基底 B 安装在载体组件上来测量, 该基底 B 允许整个组件装置本质上无摩擦地横向运动, 如图 3B 所示。例如, 基底 B 可以被安装在很重的黄铜块或者板 230 上, 黄铜块或者板 230 搁置在隔音泡沫板 232 上。隔音泡沫板 232 顺次搁置在精密研磨钢板 234 上, 该精密研磨钢板 234 搁置在三个大钢球 236 上。钢球顺次搁置在最底下的精密研磨钢板 B2 上, 该精密研磨钢板 B2 作为整个测量系统的基底。黄铜块或者板 230 通过低刚度弹簧 238 被连接至测压元件 240, 以使限定横向运动的唯一零件是测压元件 240, 以及使得所有作用于手指的横向力都必须匹配作用于测压元件上的力。大部分的黄铜块或者板 230 与低刚度弹簧 238 的结合, 作用就像是力学上的低通滤波器, 使得横向振动对测压元件的测量产生最小影响。因此, 测压元件输出的是作用到指尖的平均力的精确测量。

[0053] 图 6A、6B 图示了相似的“推滑”循环，该循环生成向右的反向合力，其中向右的强脉冲后跟随着向左的弱脉冲，从而产生作用于用户手指的向右的合力。

[0054] 相位调整对力的影响：

[0055] 通过改变横向速度以及触觉设备 TPaD 开启 / 关闭信号之间的相位角，合力的方向和幅度可以被改变。作为说明，当触觉设备 TPaD 开启（低摩擦状态开启）时， $\Phi_{\text{开启}}$ 项被定义为横向速度的相位角。在图 7 中用图形示出了这个概念。在所有展现出的数据中，TPaD 在横向振动的半个 (180°) 全循环中处于开启状态。

[0056] 为了确定哪个相位产生最大幅度的力， $\Phi_{\text{开启}}$ 在大约 2 秒的过程中在 0 到 360° 之间被缓慢旋转，为了查找合力，未过滤的力数据被通过二阶、低通、巴特沃斯、零相位滤波器 ($f_{\text{截止}} = 10\text{Hz}$)。图 8 示出了过滤的力信号。圈出的最大力点对应于横向振动的这一特定频率和振幅的两个“最优的 $\Phi_{\text{开启}}$ ”值。这些在 100mN 范围内的最大合力对于申请人是很容易察觉到的。另外，文献示出这个幅度对于人类来说是可察觉到的；参看参考文献【5】【1】【8】。

[0057] 图 8 示出了 $\Phi_{\text{开启}}$ 随着时间推移而旋转时，合力的改变。在任意给出的速度循环中的 $\Phi_{\text{开启}}$ 的值通过以与图 7 中示出的比较相似的方式比较 TPaD 状态信号与速度信号被查找到。针对图 8 示出的过滤的力数据绘出上述数据。图 9 的结果提供了关于优化力的 $\Phi_{\text{开启}}$ 值的更具体的信息。即使力和 $\Phi_{\text{开启}}$ 之间的密切关系依赖于振动振幅以及频率，但该数据代表了产生人类可察觉的力的较广范围的振幅。系统中没有延迟的话，人们可以预期的是在 0° 时开启 TPaD 会产生向左的最大力并且 $\Phi_{\text{开启}} = 180^\circ$ 时会产生向右的最大力。然而数据显示最优角度分别是 $\Phi_{\text{开启}} = 340^\circ$ 以及 $\Phi_{\text{开启}} = 160^\circ$ 。即使申请人不打算或者不希望在这方面被任何理论所束缚，需要该相位提前可能是由于需要时间创建和分解挤压膜。还要注意到的是零合力被预期发生在 $\Phi_{\text{开启}} = 270^\circ$ 却发生在 $\Phi_{\text{开启}} = 250^\circ$ 。

[0058] 本领域的技术人员会认识到不只是可以通过调整相位来控制力，还可以通过调制 TPaD 基板处于相对高摩擦状态的时间量来控制力。力可以通过减小摩擦很高的循环量来减小。

[0059] 振动振幅对力的影响：

[0060] 实验发现随着横向移位振幅的增大，平均合力开始也相应地增大，然后饱和。图 10 示出了多种横向振动频率下的这种趋势。每个数据点表示了由在最优的 $\Phi_{\text{开启}}$ 处振动的特定振幅产生的合力。

[0061] 在图 10 中的渐进表现是由于库伦摩擦的性质。一旦振幅足够高以保持手指和 TPaD 多数情况下处于滑动接触，当速度指向一个方向时手指会感受到 $\mu_{\text{玻璃}} F_N$ 的力，而当速度指向另一个方向时，手指会感受到的 $-\mu_{\text{开启}} F_N$ 力。在这里， $\mu_{\text{玻璃}}$ 是玻璃的运动摩擦系数； $\mu_{\text{开启}}$ 是当 TPaD 处于低摩擦状态时，它的运动摩擦系数；而 F_N 是正向力。

[0062] 为了找到 SHD 能产生的理论上的最大合力，我们假设手指感受两个力水平中的每一个的时间为总周期的一半。那么时间平均力仅仅为两个力水平的简单平均值。因此，最大合力 F 的方程式是：

$$[0063] F_{\max} = [(\mu_{\text{玻璃}} - \mu_{\text{开启}}) F_N]/2 \quad \text{方程 (1)}$$

[0064] 图 10 中渐近线的值使用方程 1 来计算，其中 $\mu_{\text{玻璃}} = 0.70$ 是通过当 TPaD 与横向振子静止时将手指替代物扫过表面过程中记录最大力得到的； $\mu_{\text{开启}} = 0.06$ 以相似的方式

得到,但是TPaD在该过程是开启的;以及 $F_N = 392\text{mN}$,来自40g的砝码。

[0065] 频率选择:

[0066] 重要的是需注意到,由于力以冲量被施加在20到1000Hz之间的频率处,用户意识到的不仅仅是在一个方向上的整体的力,还有不期望的TPaD的基础振荡。在心理物理学领域中,众所周知的是人类指尖对20Hz到大约500Hz范围中的振荡是敏感的,在大约250Hz时敏感度达到顶峰。我们发现SHD的最好性能是在横向振荡不很引人注意的高频率(例如,850Hz)处,或者在振荡是可被注意到但是并不使人感到厌恶的大约40Hz处。

[0067] 减小手指接触到横向振荡的一种设计方法是保持TPaD持续开启(低摩擦状态开启)直到需要力的产生。在这个策略中,挤压膜将用户与底层的低频率振荡相隔离,使得该振荡几乎不会被注意到直到施加力。另一种方法是在除了需要横向震荡的情况下,关闭它们。

[0068] 手指探查速度的影响:

[0069] 当振动的振幅足够大至使 F_{max} 附近的力增大振幅时,进一步为作用到静止手指的力提供可忽略不计的增长。从另一方面说,如果用户主动探查表面,他们的手指速度可能造成手指与板之间的相对速度变小,减小合力。因此,手指探查速度越高,维持目标力所需要的振动振幅就越高。

[0070] 对于可接受的手指探查速度的一种构思可以通过针对速度而不是位移绘制图10中的相同数据而得到。在图11中,可以看到以77Hz振动的TPaD在20mm/s RMS速度附近达到了产生的最大的力的85%。在图11中,通过77Hz振动产生的力看起来对于低于20mm/s的RMS速度的改变很敏感,但是对于高于20mm/s不敏感。因此,可以确信的是在22mm/s时SHD振动产生的力对于手指速度的改变是很敏感的,但是在60mm/s时运行的SHD会在明显的力减小发生前允许手指以提速至大约40mm/s的速度行进。

[0071] 显示力场:

[0072] 由于SHD是有效地力源,它是可能产生或者显示任意力场的。人们可以选择显示弹簧、阻尼器、或其他单元,但是出于举例的目的,我们会描述线库和源的显示。在任意给定的时间时刻,设备具有穿过其表面的恒力场,由此产生空间变化的力场的概念,根据手指位置改变力是必要的。在实践中,随着手指在表面上运动, $\Phi_{开启}$ 被调整以产生所期望方向和幅度的力。在图12中,提供了线源力场外观的顶视图,以及用于生成这样的场的 $\Phi_{开启}$ 命令。

[0073] 注意图12中的命令 $\Phi_{开启}$ 与图9中的力和 $\Phi_{开启}$ 的关系曲线之间的相似性。为了产生线源,人们想要零力沿着中心线,这样在 $x = 0$ 处 $\Phi_{开启} = 250^\circ$ 。在需求最大力的向量场的右边缘和左边缘, $\Phi_{开启}$ 命令采取 340° 以及 160° 的最优 $\Phi_{开启}$ 角。

[0074] 力场:

[0075] 图13示出了来自4个不同力场的数据。有两个线源以及两个线库,它们的每一个都具有“刚性”和“柔性”的形式。以力与位置的形式提供了原始数据,但是为了为触觉感受提供更直观的构思,申请人还将数据集成以形成“势函数”。该势函数定义为 $V(x) = \int F(x) dx$,其中 $F(x)$ 是根据位置 x 作用于手指上的力。从Robles-De-La-Torre以及Hayward的文献【6】【5】得出的结果表明势函数的形状与所感知的虚拟凸起或坑的形状相似。

[0076] 当从势函数的角度观察数据时,人们看到表面上陡峭的凸起,而不是看到刚性的平面线源。相似地,柔性的平面线库可以被认为是表面上的浅坑。

[0077] 建立势函数概念以创建更精密的触觉行为是可能的,例如在图 14A、14B 以及 14C 中图示的拨动开关。触觉拨动开关是由一个高势域(源)分开的两个低势域(库),如图 14A、14B 所示。当将手指从一个低势域滑向下一个低势域时,手指倾向于“砰”得进入低势域,很像翻转物理拨动开关,如图 14C 所示。

[0078] 以上所描述的说明性的平面(平板)触觉显示器 SHD 能够施加和控制作用于手指的合切力。由于具有任意可控制的力源,当与手指位置的反馈相联接时,该 SHD 允许人们显示人们所选择的力场。显示线源与线库的能力已经证实过了,并且它们可以被看作平面实体,或者 3D 突起和凹陷。可以推知 SHD 是能够显示平面弹簧、阻尼器、惯性质量、以及表面特征假象的工具。

[0079] 说明性的触觉设备 SHD 提供平面触觉显示器,该平面触觉显示器能够对手指施加任意的切力。它将具有显示由弹簧、阻尼器、惯性质量,以及其他力构成的二维(2D)世界,而且,通过使用横向力能够创建形状的假象的构思,SHD 能够产生三维(3D)纹理的假象以及其 2D 表面的形状。

[0080] 两个自由度的平面触觉设备

[0081] 鉴于以上描述的图 3 的一个自由度的说明性的触觉设备 SHD,可以构建具有两个自由度振动基板的平面触觉设备。

[0082] 对于两个自由度的平面内振动,图 3 示出的触觉设备 TPaD 可在平面内的例如 X 轴和 Y 轴的多个轴上振动。例如,两个自由度的运动通过设计复合滑块提供,触觉设备 TPaD 搁置在该复合滑块上以在正交的 X 和 Y 轴上滑动,参看图 3 中的 X 和 Y 轴。复合滑块将具有在 X 轴和 Y 轴上独立地移动触觉设备 TPad 的能力。例如,复合滑块将具有像滑块 210 的用于 X 轴振动的第一滑块,以及安装在第一滑块上或在第一滑块下部的用于独立的 X 轴振动的第二滑块。第一滑块将通过示出的线性促动器 200 驱动以在 X 轴上振动,以及第二滑块将通过第二线性促动器(未示出)驱动以在 Y 轴上振动,第二线性促动器以具有连接到 Y 轴滑块的促动器杆的相似扬声器的形式。图 5 示出的类型的手指位置传感器可以被用于感应输入至控制系统的 X 和 Y 手指位置,控制系统按需改变基板的横向速度与 TPaD 开启/关闭信号之间的相位角 $\Phi_{\text{开启}}$,以生成切力。

[0083] 两个自由度的该实施方式因此包含了具有用于振动 X 轴和 Y 轴上的 TPaD 的分开的促动器。电磁促动器(例如,音圈)、压电挠曲促动器、形状记忆合金促动器、人工肌肉促动器(<http://vsww.artificialmuscle.com/>)以及其他促动器是这些促动器的可能的选择。一般来说,如果触觉设备 TPaD 以及它的座架 150 在振动频率处对于 X 振荡和 Y 振荡都是共振的,则触觉设备 TPaD 会最小化所需的促动器的努力。

[0084] 可以控制触觉设备 TPaD 在 X 轴和 Y 轴上的振动,以生成基板的涡旋运动,从而以某种方式创建圆形的、平面内运动(在基板平面 104a 的平面内)。随着基板旋转,它的速度向量会在一瞬间与期望的力的方向对齐。在那一瞬间前后,基板被设置为它的高摩擦状态,并且力的冲量被施加到用户手指或者物体。在“涡旋”圆形的剩余时间期间,基板被设置为低摩擦状态,使得它极小地影响作用于手指或者物体的力。因为速度向量在涡旋期间经过全部 360°,所以可以在任意平面内方向上创建力。在本发明的该实施方式中,根据所述,垂直于基板的超声振荡与较低频率、较高振幅的横向振荡(例如,表面平面内的运动,以生成“漩涡”)相结合。

[0085] 作为结果,触觉设备 TPaD 的玻璃板表面上的每个点都会在 X-Y 平面内执行小的、圆形的、逆时针(从上方看)运动,以生成涡旋模式的运动。该涡旋运动在某种意义上完全类似于以上通过线性促动器 200 生成的、应用了相同考虑的频率和振幅的 X 方向振动。然而,因为运动现在是沿着玻璃板基板的两个轴发生的,摩擦调制的效果不相同。特别是,合力从未归于零(或者在幅度上改变),它仅仅改变方向。此外,因为力总是与设备的速度处于相同的方向,并且该速度是不断改变的,所以平均力不会与单轴实施方式中的一样大。假设摩擦依赖关系如上所述,可以证明,平均力具有幅度 ($\mu_{\text{开启}} N / \pi$) 以及方向 Φ 。

[0086] 涡旋运动的相位可以在计算机控制下改变以创建边缘或者其它触摸效果,在涡旋运动期间用于摩擦减小的超声振荡被开启或者关闭(或者调制)。该调制可以响应于所测量的手指位置,或者对于一些触摸效果,手指位置的测量是不必要的。

[0087] 关于两个自由度的触觉设备 SHD 的本发明的另一个实施方式在图 15 中示出,且包含将触觉设备 TPaD 安装在诸如机动座架 410 的柔性载体上,该机动座架被支撑于柔韧的金属支柱 400 上,使得触觉设备 TPaD 视需要自由地在某些限制内四处运动。柔韧的支柱 400 在底部被连接到固定的基底。TPaD 被固定地安装在安装板 430 上,该安装板 430 通过角柱 422 被刚性连接到机动座架 410。偏心质量电机 MM(例如在寻呼机中所用的那些)可被安装在机动座架 410 上,并且包括偏心质量 411。电机的输出轴心线垂直于 TPaD 触觉表面。偏心质量电机 MM 通过其输出轴,使偏心质量旋转从而以旋转的频率产生旋转反作用力。反之,这会导致机动座架 410 和其上的 TPaD 基板 104 以涡旋模式振荡。

[0088] 描述的本发明的实施方式允许计算机(软件)控制的触觉效果被显示在玻璃板基板表面上,不仅包括可变的摩擦,还包括积极地在表面上推动手指或者物体的横向力。更强的触觉效果是可能的。另外的使用也是可能的,不作为触觉显示,而是作为在计算机控制下在表面周围驱使小物体的机理,因为在送料或者在机器人技术或者制造业中的相似应用中可能是有用的。

[0089] 在描述的实施方式中,触觉设备 TPaD 作为一个单元,为摩擦减小效果被超声振荡。作为可选的方式,可以使用多于一个的超声促动器,使得玻璃板表面的不同区域具有不同的超声振幅,也许每一个超声振幅被调制为对应于涡旋状运动的不同相位。获得穿过玻璃板表面的超声振幅的空间变化的另一种方法是,使用超声振荡的节点模式(参看于 2009 年 3 月 19 日提交的共同待审的美国申请序列号第 12/383,120 号),或者将该节点模式与多于一个的超声频率结合起来,或者使用不同相位驱动的超声促动器。

[0090] 应当理解,本发明并不局限于平面基板表面。例如,可以通过在径向方向上创建超声振荡以及在轴向和/或圆周方向上创建“横向”振动以在柱状旋钮的表面处生成牵引力。事实上,任何表面会有表面法线以及位于该表面内的两个轴,至少在局部上有。沿着法线的超声振荡以及沿着一个或者两个表面内的轴的较低频率振荡可以互相协调以生成牵引力。

[0091] 横向振动需要持久是没有理由的。在很多应用中,只有必要短暂瞬间地施加主动牵引力。在这样的情况下,横向振动可以关闭直到需要它们生成牵引力为止。事实上,对于一些触觉效果,横向振动的仅仅单个循环或甚至仅仅半个循环可能足够了。横向振动的振幅或者次数可以被选择以足够将用户手指移动期望的距离,或者对用户手指施加期望的持续时间的作用力,以及然后可以中断横向振动。

[0092] 虽然关于本发明的某些说明性实施方式描述了本发明,但本领域的技术人员会理

解,在如待审权利要求中所提出的本发明的范围内可以对本发明进行改变或修改。

[0093] 参考文献

- [0094] 【1】M. Biet, F. Giraud 和 B. Lemaire-Semail. Implementation of tactile feedback by modifying the perceived friction(通过修改所感知的摩擦实现触觉反馈). European Physical Journal Appl. Phys., 43 :123135, 2008.
- [0095] 【2】S. M. Biggs. S. Haptic Interfaces(触觉接口), 第 5 章, 93–115 页. 由 Lawrence Erlbaum Associates 出版, 2002.
- [0096] 【3】M. Minsky. Computational Haptics :The Sandpaper System for Synthesizing texture for a force-feedback display(用于力反馈显示的合成纹理的砂纸系统). 博士论文, 麻省理工学院. Cambridge, MA, 1995.
- [0097] 【4】J. Pasquero 和 V. Hayward. Stress :A practical tactile display with one millimeter spatial resolution and 700hz refresh rate(重点:一种具有一毫米空间分辨率和 700Hz 刷新率的实用的触感显示器). Dublin, Ireland, 2003 年 7 月。
- [0098] 【5】G. Robles-De-La-Torre. Comparing the Role of Lateral Force During Active and Passive Touch :Lateral Force and its Correlates are Inherently Ambiguous Cues for Shape Perception under Passive Touch Conditions(主动和被动触摸期间横向力角色的比较:在被动触摸条件下,横向力及其相关因素对于形状感知是本质上不明确的暗示), 159–164 页, 2002.
- [0099] 【6】G. Robles-De-La-Torre 和 V. Hayward. Force can overcome object geometry in the perception of shape through active touch(在通过主动触摸的形状的感知中,力可以克服物体的几何形状). Nature(自然), 412 :445–448, 2001 年 7 月。
- [0100] 【7】M. Takasaki, H. Kotani, T. Mizuno 和 T. Nara. Transparent surface acoustic wave tactile display(透明表面声波触感显示器). Intelligent Robots and Systems(智能机器人与系统), 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ 国际会议, 3354–3359 页, 2005 年 8 月。
- [0101] 【8】V. Vincent Levesque 和 V. Hayward. Experimental evidence of lateral skin strain during tactile exploration(触感探查期间横向皮肤应变的实验证据). In Proc. of Eurohaptics, Dublin, Ireland, 2003 年 7 月。
- [0102] 【9】T. Watanabe 和 S. Fukui. A method for controlling tactile sensation of surface roughness using ultrasonic vibration(使用超声振荡控制表面粗糙的触感的方法). Robotics and Automation(机器人与自动化). 1995. Proceedings.. 1995 IEEE 国际会议, 第 1 卷 1 :1134–1139, 1995 年 5 月。
- [0103] 【10】L. Winfield, J. Glassmire, J. E. Colgate 和 M. Peshkin. T-pad :Tactile pattern display through variable friction reduction(T-pad:通过可变的摩擦减小的触感模式显示器). World Haptics Conference(世界触觉会议), 421–426 页, 2007.
- [0104] 【11】A. Yamamoto, T. Ishii 和 T. Higuchi. Electrostatic tactile display for presenting surface roughness sensation(用于表现表面粗糙感的静电触感显示器), 680–684 页, 2003 年 12 月。

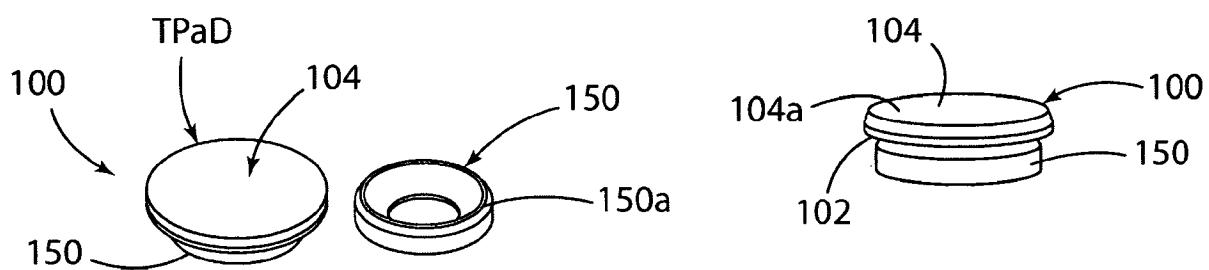


图 2

图 1A 图 1B

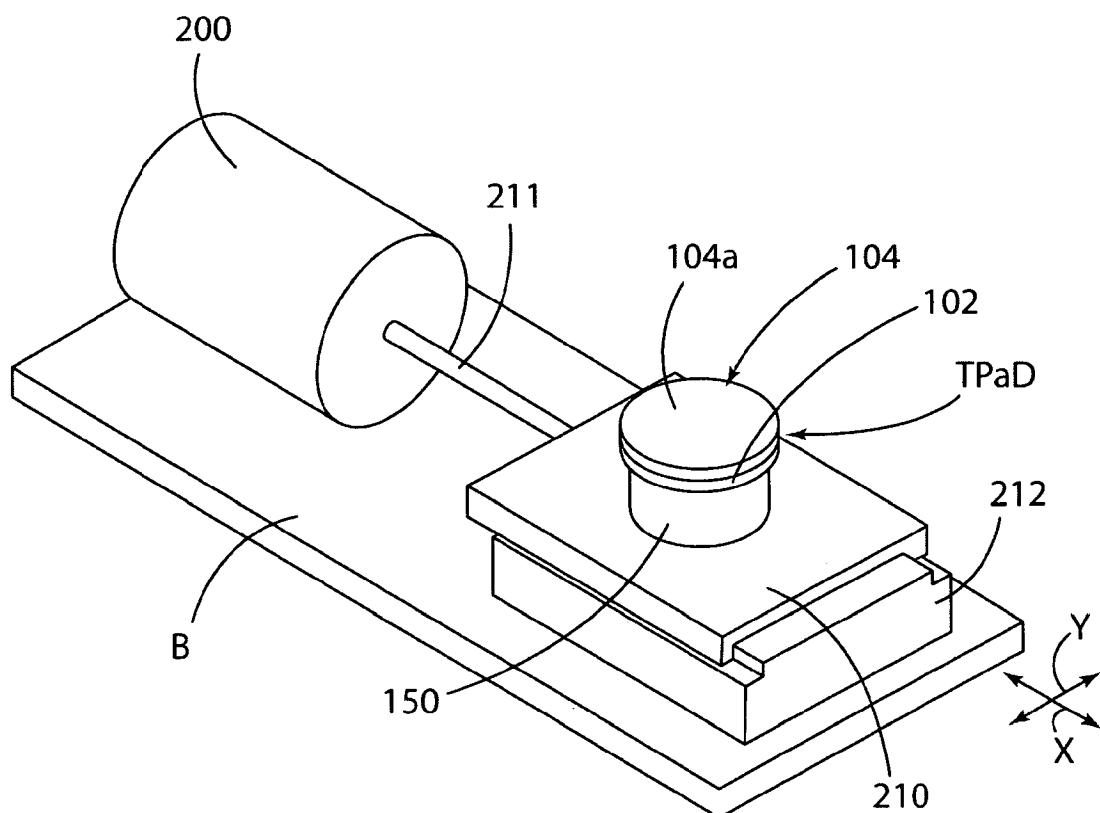


图 3

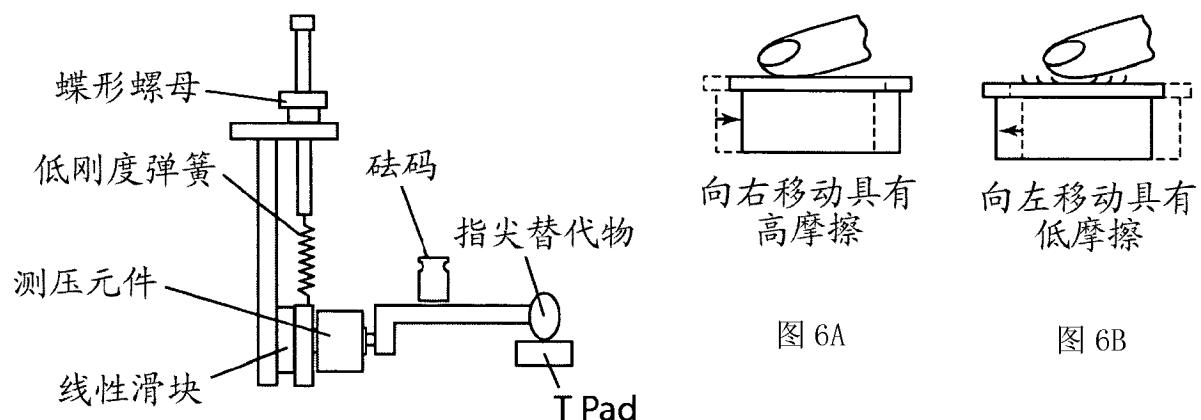


图 3A

图 6A

图 6B

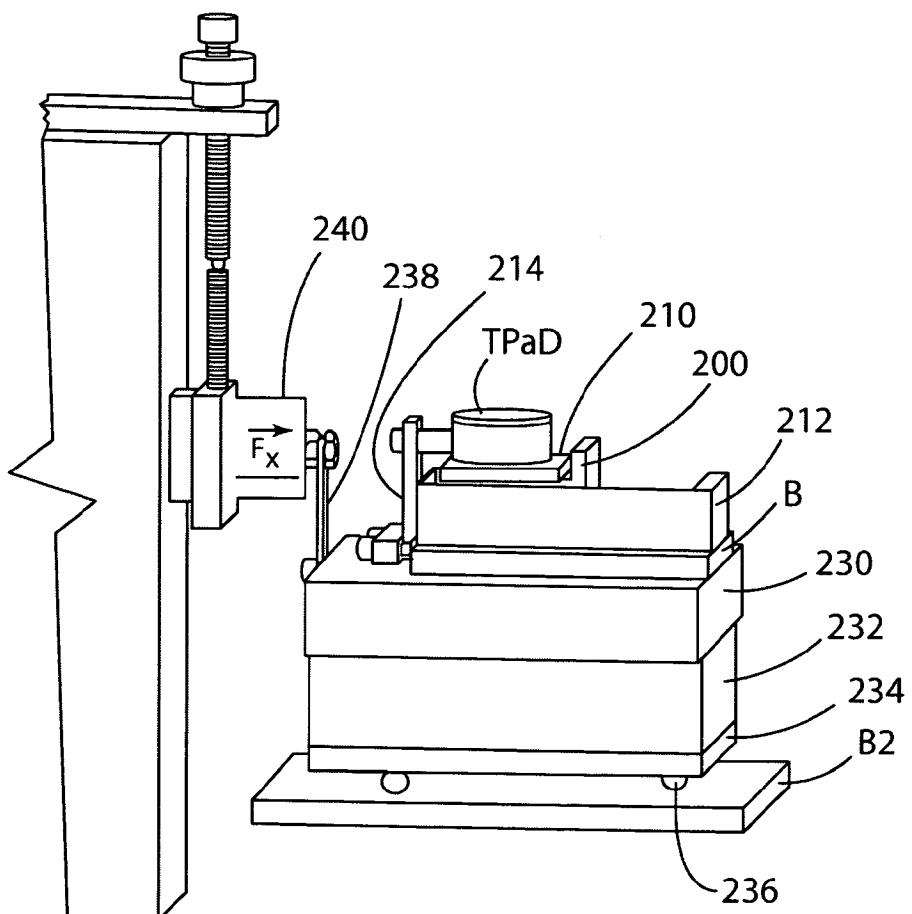


图 3B

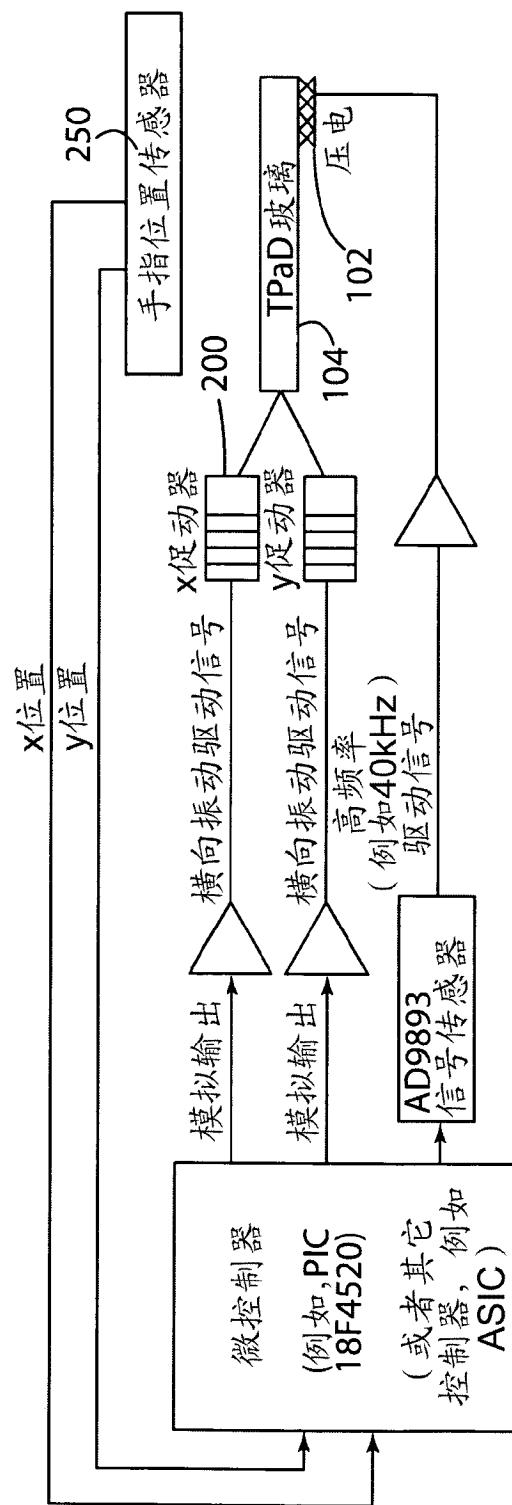


图 4

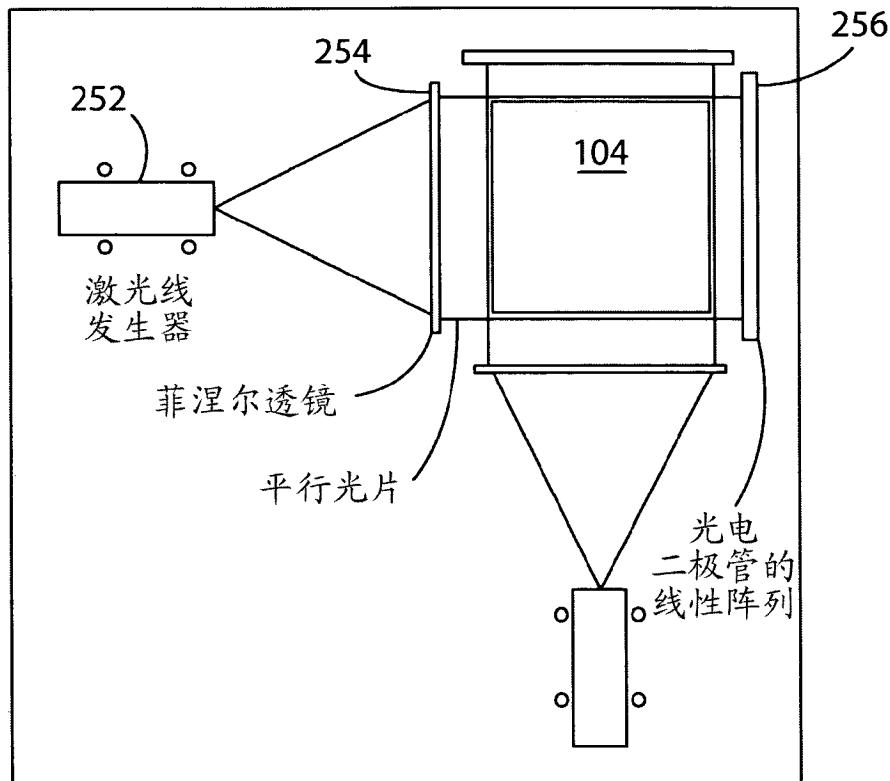


图 5

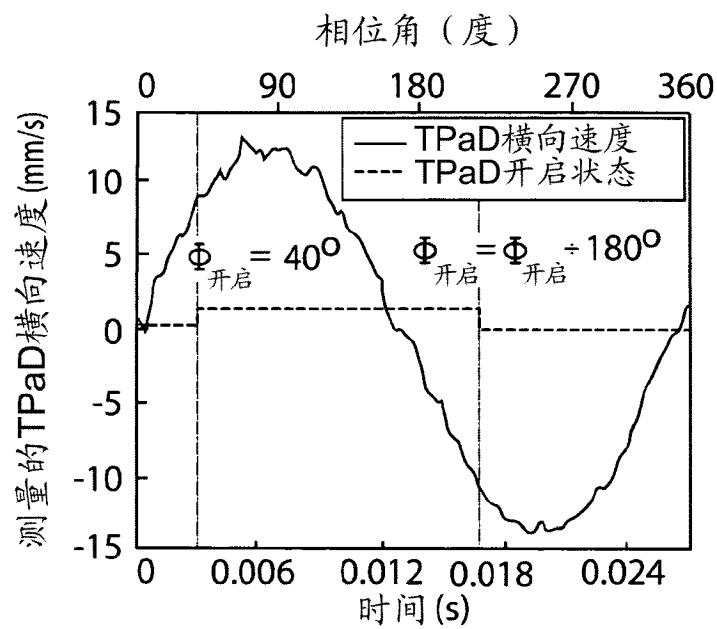


图 7

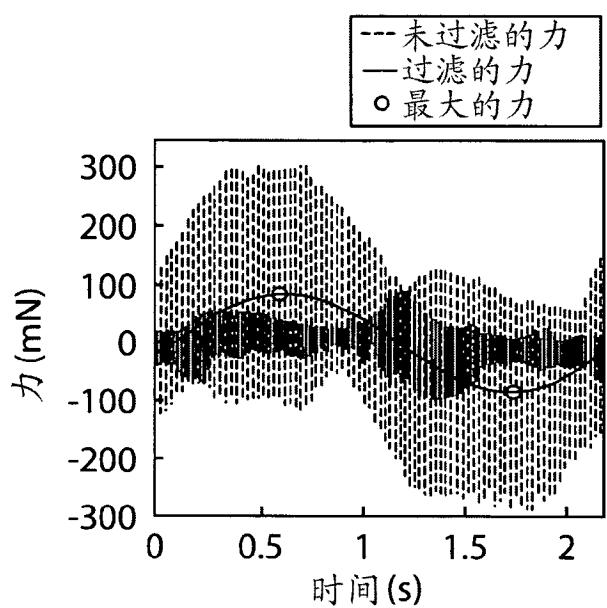


图 8

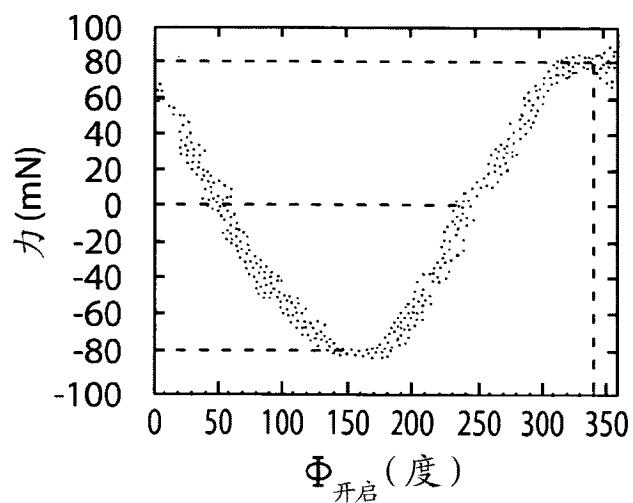


图 9

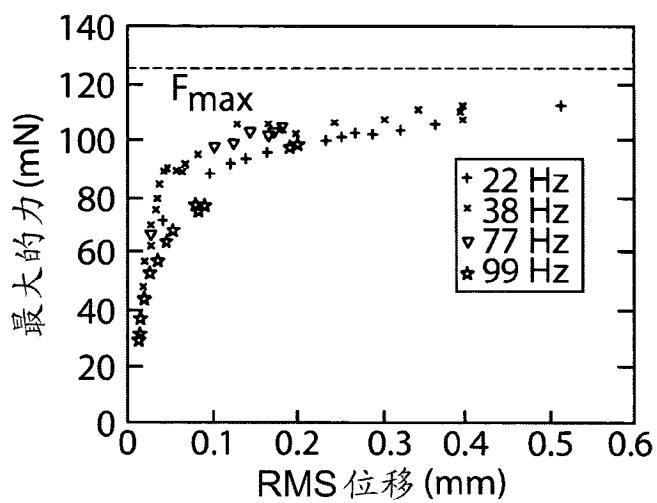


图 10

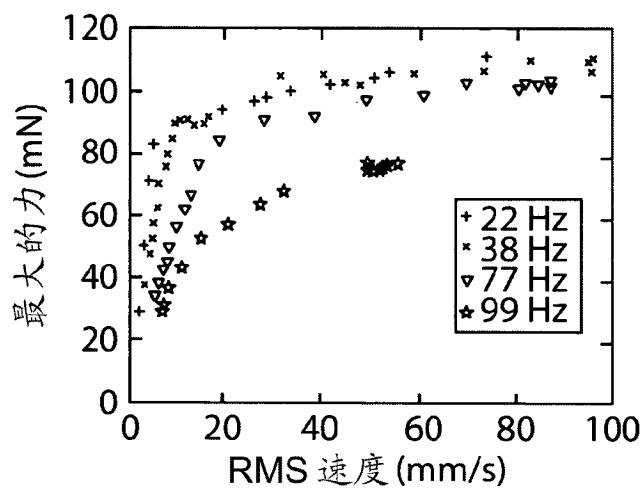


图 11

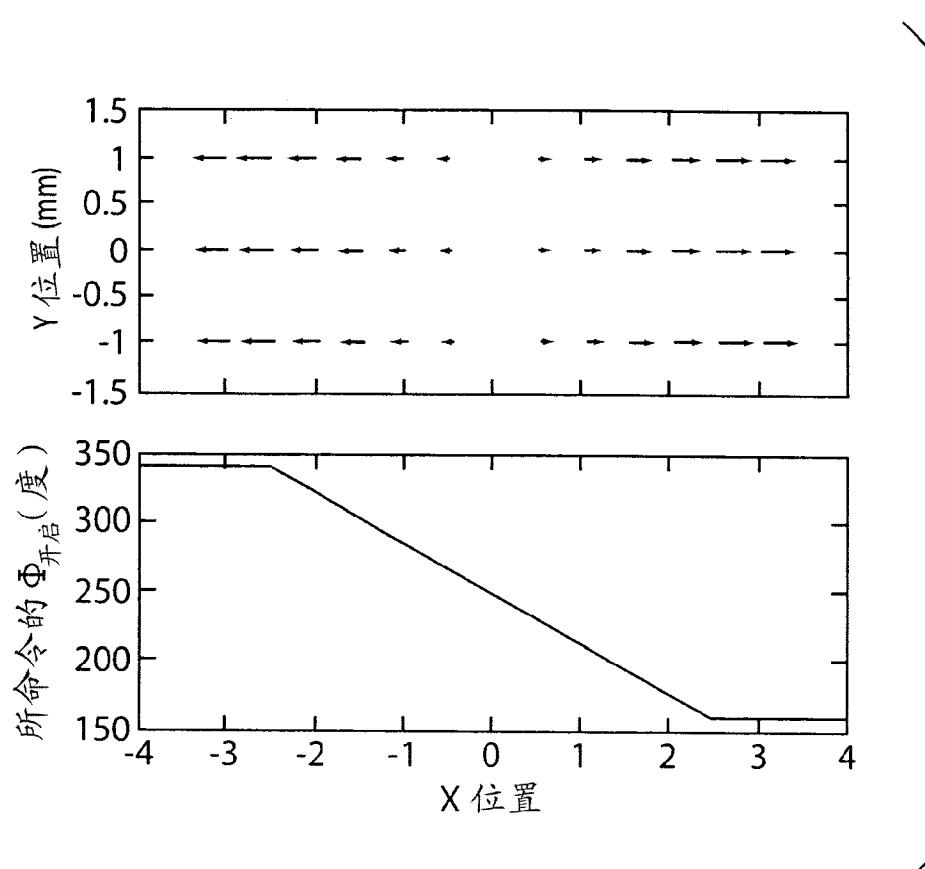


图 12

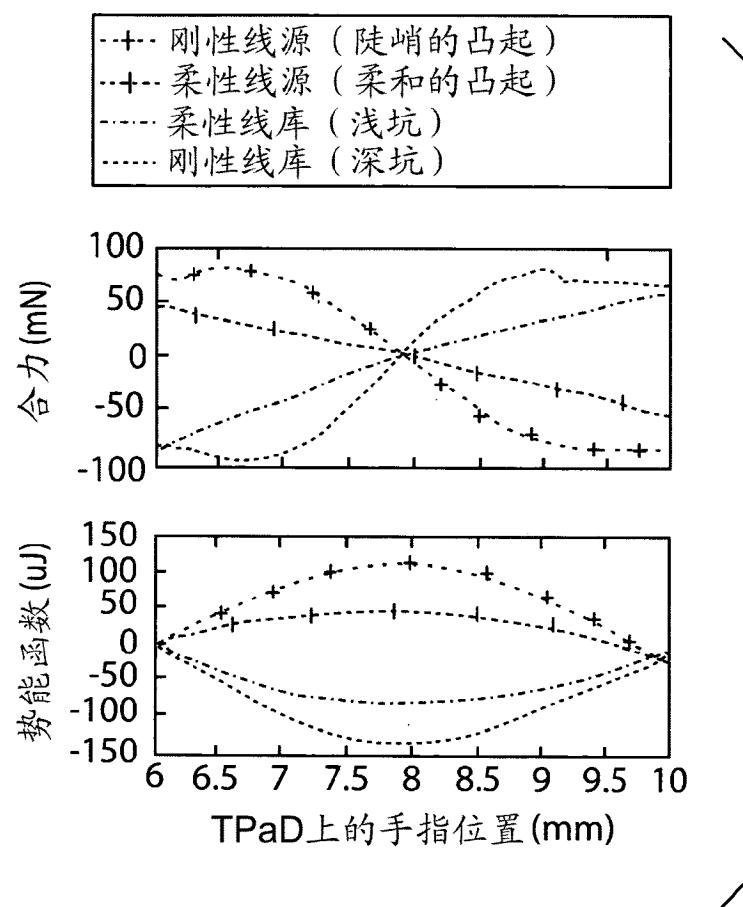


图 13

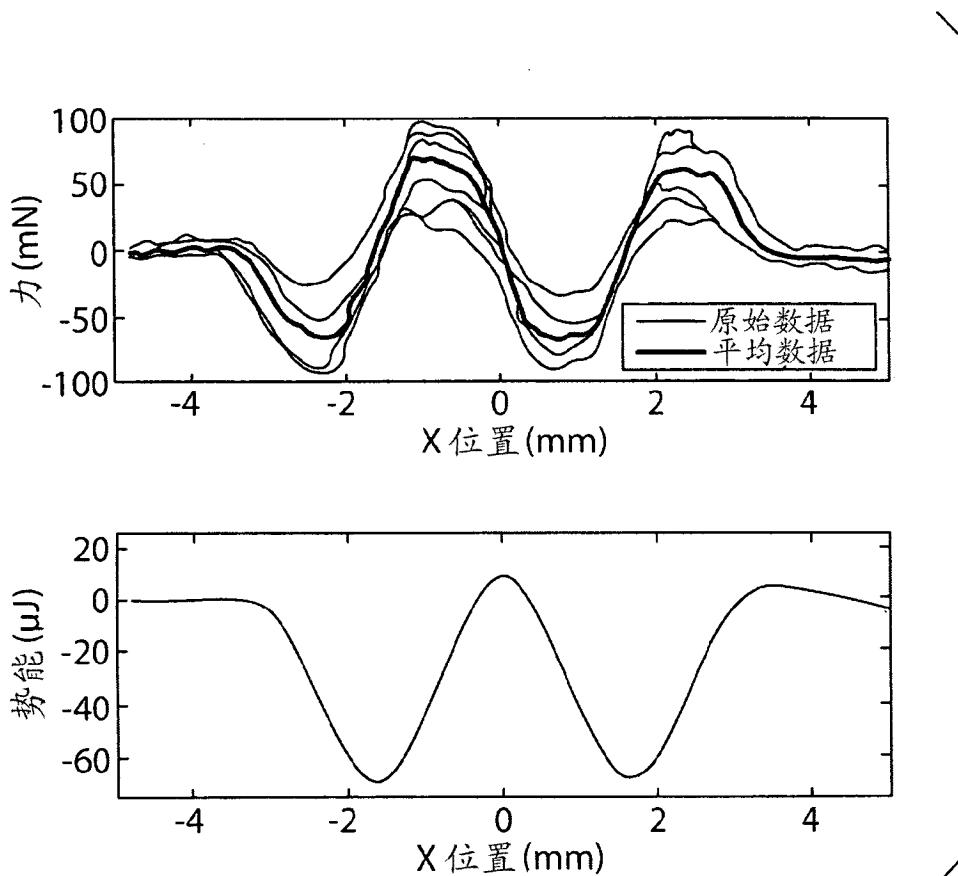


图 14A

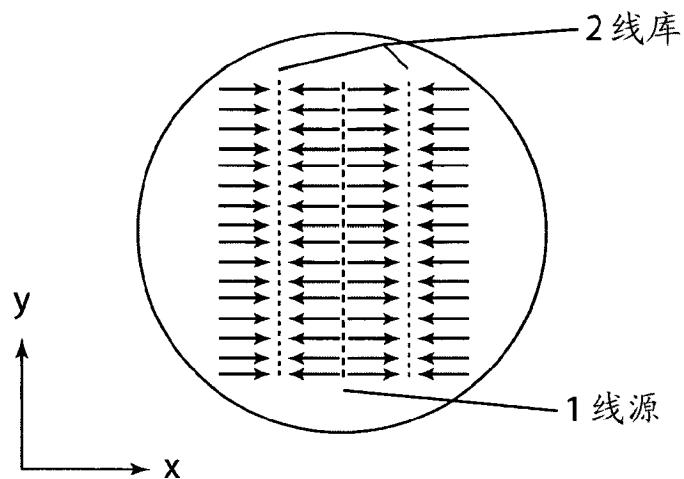


图 14B

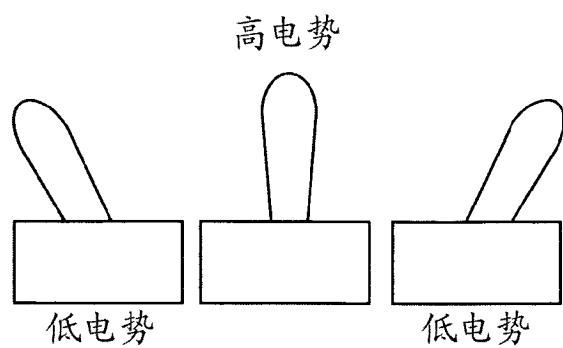


图 14C

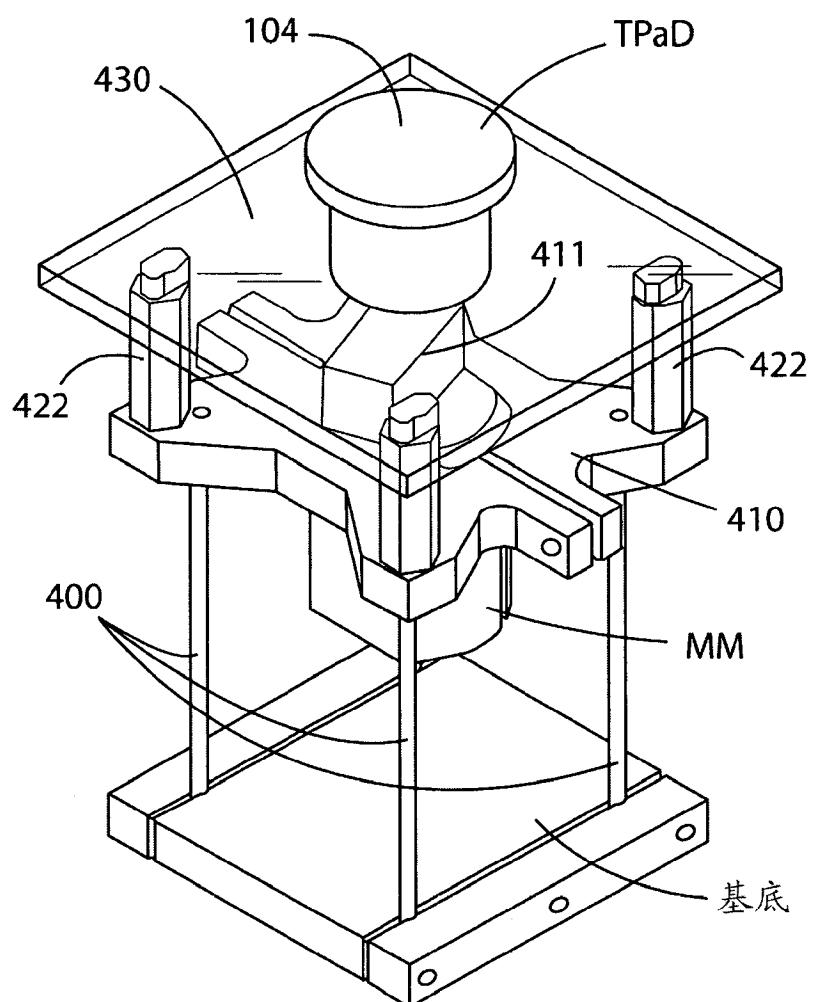


图 15