



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109154533 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201780032411.0

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

(22)申请日 2017.05.30

代理人 刘明海 胡彬

(30)优先权数据

62/345,180 2016.06.03 US

15/602,758 2017.05.23 US

(51)Int.Cl.

G01L 9/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.11.26

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/034987 2017.05.30

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/210184 EN 2017.12.07

(71)申请人 MKS 仪器公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 斯里尼瓦·塔迪加达帕

尼希特·戈尔 斯蒂芬·巴特

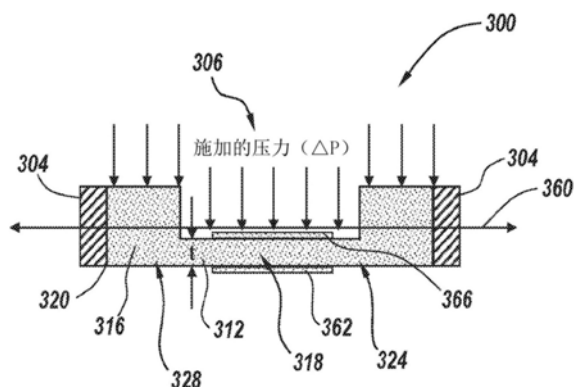
权利要求书2页 说明书5页 附图11页

(54)发明名称

微机械本体声波谐振器压力传感器

(57)摘要

一种压力传感器包括具有大致平面结构的压电基底和在压电基底的平面结构的边缘固定压电基底的锚固位置。压电基底的平面结构具有与锚固位置相邻的具有第一特征厚度的第一区域,以及在基底的中间区域的具有第二特征厚度的第二区域。第二特征厚度小于第一特征厚度,使得第二区域中的平面结构相对于平面结构的中性轴线发生位移,从而使得在经受弯曲时第二区域具有主要压缩的或主要拉伸的应力。



1. 一种压力传感器,包括:

具有大体平面结构和中性轴线的压电基底,所述平面结构上的上电极和所述平面结构上的下电极,所述上电极和下电极用于驱动所述压电基底的谐振并感测所述压电基底的频率;

锚固位置,其将所述压电基底固定至所述压电基底的所述平面结构的边缘处的固定装置;

其中所述压电基底的所述平面结构具有与所述锚固位置相邻的具有第一特征厚度的第一区域,以及在所述基底的中间区域的具有第二特征厚度的第二区域,

其中所述第二特征厚度小于所述第一特征厚度,使得所述第二区域中的所述平面结构相对于所述平面结构的所述中性轴线发生位移,从而使得在经受弯曲时所述第二区域具有主要压缩的或主要拉伸的应力。

2. 如权利要求1所述的传感器,其中所述传感器采用微机械加工技术制造。

3. 如权利要求1所述的传感器,其中所述基底为AT切割的石英基底。

4. 如权利要求1所述的传感器,其中所述上电极包括金。

5. 如权利要求1所述的传感器,其中所述下电极包括金。

6. 如权利要求1所述的传感器,其中利用硅橡胶水泥将所述基底固定至所述固定装置。

7. 如权利要求1所述的传感器,其中所述第二区域通过干蚀刻工艺形成。

8. 如权利要求1所述的传感器,其中所述第二区域的直径等于或小于1cm。

9. 如权利要求1所述的传感器,其中所述第二区域的第二特征厚度小于约100 μm 。

10. 如权利要求1所述的传感器,其中所感测的频率等于或大于100MHz。

11. 如权利要求1所述的传感器,其中所述传感器是MEMS器件。

12. 一种包括隔膜的自体声波谐振器压力传感器,所述隔膜包括:

具有第一表面和与所述第一表面相对的第二表面的基底;所述第一表面的一部分蚀刻至预选深度;

在所述第一表面上沉积并图案化的第一电极;

在所述第二表面上沉积并图案化的第二电极;

其中所述第一电极和第二电极配置为测量所述压力传感器的谐振阻抗特性的变化。

13. 如权利要求12所述的传感器,其中所述基底是AT切割的石英基底。

14. 如权利要求12所述的传感器,其中所述基底的未蚀刻部分的厚度为约100 μm 。

15. 如权利要求12所述的传感器,其中预选蚀刻深度为约63 μm 。

16. 如权利要求12所述的传感器,其中预选蚀刻深度为约80 μm 。

17. 如权利要求12所述的传感器,其中所述第一电极和第二电极包括金。

18. 如权利要求12所述的传感器,其中所述第一电极和第二电极采用光刻工艺进行沉积和图案化。

19. 如权利要求12所述的传感器,其中所述传感器采用微机械加工技术制造。

20. 如权利要求12所述的传感器,其中施加到所述第一表面和第二表面的压力引起所述隔膜的挠曲和应力,所述挠曲和应力通过所述隔膜的厚度是非对称的。

21. 如权利要求12所述的传感器,其中对于施加到所述第二表面的净压力,所述隔膜主要是拉伸的,并且对于施加到所述第一表面的净压力,所述隔膜主要是压缩的。

22. 如权利要求12所述的传感器,其中所述传感器是MEMS器件。

微机械本体声波谐振器压力传感器

技术领域

[0001] 本公开内容总体上涉及用于测量流体(即气体或液体)压力的压力传感器,特别地,涉及采用石英谐振器的压力传感器。

背景技术

[0002] 压力传感器可用于测量流体的压力。例如,一些传统的压力传感器已经采用市售的本体石英谐振器来制造。石英是一种具有高稳定弹性和低固有损耗的压电晶体。由于这些性能,石英已经广泛应用于精密频率控制应用中,例如电子仪器的定时和计时。

[0003] 尽管具有非常精确的振荡频率,但石英的谐振频率也非常敏感地受到各种环境干扰如外力、弯曲、压缩、质量负载和加速的影响。谐振频率与其原始值 f_0 的分数偏差由 $\Delta f/f_0$ 给出。当在圆形厚度剪切模式(TSM)的石英谐振器的圆周上沿径向施加力时,发生石英谐振器传感器中的一个频移机制。石英传感器产生与施加的力的幅度成比例的频移。这种现象被定义为力-频效应。

[0004] 值得注意的是,石英不仅对内径向力敏感,而且对横向力和塑性弯曲也敏感。因此,可以通过多种方式诱发横向力以便利用石英作为压力传感器。然而,目前使用石英谐振器的压力传感器仅适用于非常高的压力测量,通常在大约一个大气压及以上的压力水平。目前的石英压力传感器也不能在宽压力范围内有效地测量压力。

发明内容

[0005] 本文所描述的实施方案涉及压力传感器,其使用微机械加工和微制造方法来制造能够在宽的压力范围(例如从一个大气压降到 10^{-6} 托)内提供高的压测量灵敏度的压电谐振器基真空压力传感器。谐振器电极的特定放置使得传感器能够实现高灵敏度并且通过提供背景和环境噪声补偿和降噪来有效地补偿共模信号以改善信噪比。微机械加工的AT切割石英薄板谐振器的弯曲灵敏度用于通过在谐振器上施加差压来精确地感测真空压力。由差压在传感器中产生的横向载荷导致传感器的面外弯曲,从而导致谐振器的频移。

[0006] 本公开内容的压力传感器的实施方案包括具有大体平面结构和中性轴线的压电基底,平面结构上的上电极和平面结构上的下电极,所述上电极和下电极用于驱动压电基底的谐振并感测压电基底的频率。传感器还包括锚固位置,所述锚固位置将压电基底固定至压电基底的平面结构的边缘处的固定装置。压电基底的平面结构具有与锚固位置相邻的具有第一特征厚度的第一区域,以及在基底的中间区域的具有第二特征厚度的第二区域。第二特征厚度小于第一特征厚度,使得第二区域中的平面结构相对于平面结构的中性轴线发生位移。这确保在经受弯曲时第二区域具有或主要压缩的或主要拉伸的应力。

[0007] 在其他实施方案中,传感器采用微机械加工技术制造。在一些实施方案中,基底为AT-切割的石英基底。在一些实施方案中,上电极和下电极都由金制成。在一些实施方案中,利用硅橡胶水泥将基底固定至固定装置。在一些实施方案中,第二区域通过干蚀刻工艺形成。在一些实施方案中,第二区域的直径等于或小于1cm,第二区域的特征厚度小于约 100μ

m。在一些实施方案中,所述感测的频率等于或大于100MHz。在一些实施方案中,传感器是MEMS器件。

[0008] 本公开内容的压力传感器的进一步实施方案包括本体声波谐振器压力传感器,所述传感器包括隔膜。在一些实施方案中,隔膜包括具有第一表面和与第一表面相对的第二表面的基底。将第一表面的一部分蚀刻至预选深度。在一些实施方案中,传感器还包括在第一表面上沉积并图案化的第一电极以及在第二表面上沉积并图案化的第二电极。在一些实施方案中,第一和第二电极配置为测量压力传感器的谐振阻抗(at-resonance impedance)特性的变化。

[0009] 在更进一步的实施方案中,基底是AT切割的石英基底。在一些实施方案中,基底的未蚀刻部分的厚度为约100 μm 。在一些实施方案中,预选蚀刻深度为约63 μm 或约80 μm 。在一些实施方案中,第一和第二电极包括金并采用光刻工艺进行沉积和图案化。在一些实施方案中,所述传感器采用微机械加工技术制造。在一些实施方案中,施加到第一和第二表面的压力引起隔膜的挠曲和应力,所述挠曲和应力在隔膜的厚度上是非对称的。在一些实施方案中,对于施加到所述第二表面的净压力,隔膜主要是拉伸的,并且对于施加到所述第一表面的净压力,隔膜主要是压缩的。在一些实施方案中,传感器是MEMS器件。

[0010] 通过阅读以下详细描述并参见相关附图,这些和其他特征及优点将显而易见。应理解前面的一般性描述和以下的详细描述都仅是说明性的而不是对所要求保护的方面的限制。

附图说明

[0011] 参考详细说明并结合以下附图将更全面地理解本公开内容,其中:

[0012] 图1是根据一个说明性实施方案的用于制造压力传感器的示例性方法的示意图。

[0013] 图2是用于测试压力传感器的实验设置的示意图。

[0014] 图3A是根据一个说明性实施方案的石英压力传感器的示意图。

[0015] 图3B是图3A的石英压力传感器的横剖面视图。

[0016] 图4是根据一个说明性实施方案的石英压力传感器的示意图。

[0017] 图5是根据一个说明性实施方案的石英传感器的灵敏度和挠度作为传感器隔膜的厚度的函数的曲线图。

[0018] 图6是根据一个说明性实施方案的石英传感器的挠度作为传感器隔膜的直径的函数的曲线图。

[0019] 图7A-C示出根据一个说明性实施方案的均匀厚度的隔膜受未蚀刻的石英传感器的下表面和上表面上的压力而挠曲。

[0020] 图8A-C示出根据一个说明性实施方案的非均匀厚度的隔膜受下表面和上表面上的压力而挠曲。

[0021] 图9是根据一个说明性实施方案的说明石英传感器的双向效果的模拟和实验结果的示意图。

[0022] 图10是说明本文所述实施方案的原理的几个石英传感器的电纳变化的曲线图。

具体实施方式

[0023] 在以下描述中,所讨论的组件、步骤、特征、目的、益处以及优点仅仅是说明性的。它们和与它们有关的讨论,都不以任何方式限制保护范围。还考虑了许多其他实施方案。这些包括具有更少的、附加的和/或不同的组件、步骤、特征、目的、益处以及优点的实施方案。这些还包括其中组件和/或步骤以不同方式安排和/或排序的实施方案。除非另有说明,否则本说明书中阐述的所有量度、值、等级、位置、量级、尺寸和其他规格,包括在后面的权利要求中,都是近似的,而不是精确的。它们旨在具有符合其所涉及的功能并符合其所属领域中习惯的合理范围。

[0024] 现在转到图1,其示出了根据一个说明性实施方案的用于制造压力传感器100的步骤。传感器100是通过微机械加工技术制造的微机电系统(MEMS)器件,其可以包括在普通基底上的一系列层进行沉积、图案化、蚀刻、晶片键合和/或晶片减薄。在其他实施方案中,可以使用替代性的方法和步骤的组合。利用100 μm 厚的AT切割石英基底150开始传感器的制造(步骤S104)。利用具有1mm直径的膜158的镍硬掩模154对基底150进行图案化(步骤S108)并用采用 SF_6 和 NF_3 等离子体的反应离子蚀刻(RIE)工艺将其蚀刻(步骤S112)至约63 μm (对于45MHz谐振器)和约80 μm (对于82MHz谐振器)的深度。然后使用王水(盐酸和硝酸的混合物)剥离镍掩模154(步骤S116)。使用光刻工艺将底部金电极162沉积并图案化(步骤S120)。使用光刻工艺将顶部金电极166沉积并图案化(步骤S124)。然后将传感器100封装到具有在底部切开的孔的改进的陶瓷封装(未示出)中。使用RTV硅树脂将传感器100附接至该封装以在隔膜的两个面之间形成气密密封以使封装应力最小化。使用固定装置,采用O形环在陶瓷的两个面上形成压缩密封(未示出)。然后将包装的两侧都连接至独立的蓄压器(未示出)。

[0025] 如图2中所示,为了测试传感器100,将涡轮分子泵110连接到传感器100(记为DUT-被测设备)的两侧并用于将压力降低到 $\leq 0.08\text{mTorr}$ 的参比压力。通过在达到参比压力之后关闭隔离阀112来隔离传感器100的两侧。传感器100的一侧在高真空下泵抽以维持参比压力。然后,使用针阀116将受控量的高压氮气114引入面向谐振器隔膜118的另一侧的传感器100中。使用校准的电容隔膜真空计(CDG)120和电离真空计122连续监测试验压力,这针对低于100 μTorr 的压力。使用阻抗分析器124监测石英谐振频率和谐振电纳特性。

[0026] 图3A是根据本公开内容的另一说明性实施方案的石英传感器300的平面(俯视)图。如图3A中所示,传感器300在锚固区域304处围绕圆周锚固至固定装置。在一个实施方案中,通过使用硅橡胶水泥将传感器300绕其周边粘合来锚固传感器300。然后使用干蚀刻(或其他)工艺将传感器300在中间区域306中减薄至所需厚度(t)(图3B)和直径(D)。

[0027] 图3B是图3A的传感器300的横剖面视图。如图3B中所示,传感器300具有隔膜318,隔膜318具有顶部电极366和底部电极362。作为干蚀刻工艺的结果,传感器300还具有隔膜318的减薄区域312,其分隔具有不同压力的两个区域(图3B的传感器300的顶部和底部)。减薄区域312的一个面324与隔膜318的全厚度区域316的一个面328共面。由于减薄区域312与全厚度区域316之间的尺寸关系与全厚度区域316的边缘320处的边界条件的结合,发生传感器300的双向行为。

[0028] 仍参考图3B,隔膜318在减薄区域312中比在全厚度区域316中更薄,使得减薄区域312中的平面结构相对于平面结构的中性轴线360发生位移。在一些实施方案中,在经受弯曲时,减薄区域312中的平面结构具有主要压缩的或者主要拉伸的应力(又如图8中所示)。

在可选实施方案中,减薄区域312中的平面结构相对于平面结构的中性轴线360发生位移,使得在经受弯曲时,减薄区域312不会同时经受对称水平的压缩应力和拉伸应力。在这样的实施方案中,传感器300仍将表现出本文所述的期望的双向行为。然而,该效果可以通过其他构造方法获得。例如,结合至较厚的周围基底或支撑件的均匀厚度的隔膜318将显示出该效果,只要组件产生等效的机械结构(包括弯曲刚度、应力状态以及中性轴线几何结构)。隔膜318由于其上的压力差而产生的净弯曲力矩引起谐振频率的偏移,并且可以通过用电极362、366所测量的传感器300的谐振阻抗特性的变化(见图4)灵敏地监测该净弯曲力矩。因此,传感器300有利地将力-频效应开拓至跨越大的操作压力范围并具有高分辨率。

[0029] 图4是隔膜404上没有压力差的传感器400a以及隔膜404上有压力差的传感器400b的示意图。为了使压电材料隔膜有效地用作压力传感器,传感器有必要具有良好的谐振器结构,有足够压力挠曲的隔膜,以及挠曲和频率之间的足够耦合增益以实现所需的灵敏度。使石英晶体谐振得很好的设计要求限制了所需石英晶体的尺寸和纵横比。此外,为了获得高电读出分辨率,谐振频率范围必须适当地高。另外,为了测量非常低的压力(即高真空),对 Δf 增益的压力挠曲必须非常高。

[0030] 值得注意的是,微机械加工技术在本公开内容的传感器的制造中的使用使得传感器不仅能够表现出良好的谐振器特性,而且还能够在高真空状态下实现可测量的频率分辨率。没有微机械加工的使用,则无法获得在高真空状态下具有分辨率的传感器。在非微机械加工制造的传感器中,谐振隔膜直径(D)将被限制于大约1-10厘米的范围。隔膜厚度(t)将被限制于零点几毫米(fractional millimeter)范围或更高。这些尺寸约束会将谐振器限制在10MHz量级的频率,这将不允许用于高真空使用的足够的分辨率。10MHz谐振器将具有较低的灵敏度和高噪声,因此不能提供在高真空状态下分辨压力所需的分辨率。谐振器的分辨率随着频率的增加而增加。为了在测量期间分辨信号的频率,需要有限的循环次数。因此,以较高频率运行的谐振器将较快地实现期望的循环次数。通过使用微机械加工技术,传感器的直径可以制造成大约1厘米或更小,并且厚度可以减小到微米范围或更低。这些类型的尺寸允许传感器谐振频率在100MHz或更高的范围内。该频率范围提供谐振频率测量的理想信噪比。更重要的是,这些尺寸产生压力挠曲增益的增加,这等价于灵敏度增加500-1000倍。这种改进提供了分辨在微托范围内的非常低的压力所需的灵敏度。

[0031] 图5和图6示出了可以通过微机械加工实现的设计空间,其允许改善的灵敏度并因此在微托范围内操作。图5是传感器的灵敏度(左轴)和挠度(右轴)作为传感器隔膜厚度的函数的曲线图。对于低于约20微米的厚度,传感器的灵敏度增加得较快。灵敏度等于敏感度(μS)/压力(mTorr)。图5中,敏感度的变化是输出信号并且等价于谐振器的谐振频率的变化。图6是传感器的挠度作为传感器隔膜直径的函数的曲线图。

[0032] 如上所述,沿本公开内容的传感器的厚度施加压力差产生了对隔膜的应力状态具有非对称效应的边缘边界。图7A示出了均匀厚度的隔膜718,其受未蚀刻的传感器700的下表面和上表面上的压力而挠曲。这导致应力的对称性并因此导致传感器700的谐振频率的偏移。虚线表示传感器700的总体结构的中性面704。黑色区域表示拉伸应力而浅灰色区域表示压缩应力(例如,图7B中传感器700顶部的黑色区域和图7B底部的浅灰色区域)。关于图7A-C,中性面704位于全厚度区域716的中心线处。这导致沿隔膜718的厚度从压缩应力到拉伸应力的对称过渡,如图7B所示的来自下面的净压力以及图7C所示的来自上面的净压力。

在这种情况下,净频移(量和符号)在任一压力方向上都是相同的。

[0033] 图8A示出了受下表面和上表面上的压力而挠曲的非均匀厚度的隔膜818(例如,图3A的传感器300)。虚线表示传感器800的总体结构的中性面804。挠曲和应力通过传感器的厚度不对称。在图8A中的实施方案中,隔膜818的柔性的、薄的部分812位于远离总体中性面804处。结果,对于来自下面的净压力,隔膜818主要是拉伸的,如图8B所示,且对于来自上面的净压力,隔膜818主要是压缩的,如图8C所示。这种应力不对称产生从主要压缩的到主要拉伸的应力状态的过渡。这导致石英谐振器的频移,从而产生双向输出。此外,与减薄的隔膜区域812的中心线相比,全厚度层816的机械边界条件(在标记为“锚”的位置处)对整个中性轴线804的净位置有影响。为得到效果的最大量值,需要适当地设计这些边界条件以强化整个中性轴线804与减薄的隔膜区域812的中心线之间的距离。双向输出是如上所述的传感器800的非对称结构的函数。特别地,隔膜818的减薄部分812必须相比较于传感器800的整体结构的中性轴线804是薄的,如图8所示。

[0034] 图9提供了说明根据一个说明性实施方案的传感器900的双向效果的模拟结果,以82.4MHz谐振器为代表。向下的压力(图9中由向下箭头表示)在隔膜918中引起平均拉伸应力,如应力幅度图像908所示。该应力状态导致频率(和敏感度)降低,如在敏感度与压力曲线912的“蚀刻侧加压”部分中所示。类似地,向上的压力在隔膜918中引起平均压缩应力,如应力幅度图像904所示。该应力状态导致频率(和敏感度)增加,如在敏感度与压力曲线912的“蚀刻侧泵抽”部分中所示。敏感度与压力曲线912清楚地显示了从净向上(904)向净向下(908)的压力转变的双向效应。

[0035] 图10是具有上述关于图3A和图3B的传感器300的结构的几个石英传感器的谐振电纳变化的曲线图。曲线的X轴是所施加在传感器300的隔膜318上的以mTorr为单位的压差。Y轴是所测量的以mS为单位的谐振电纳的变化。通过谐振器的谐振敏感度变化的符号作为压力的大小和符号两者的函数,来说明谐振器隔膜318的双向感测能力。这种行为可以归因于应力方向的逆转。图10示出了两个传感器300的操作范围。

[0036] 尽管本描述内容包括特定的实施方案,但是本领域技术人员应该理解在不脱离由所附权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下,可以在形式和细节上进行各种改变。

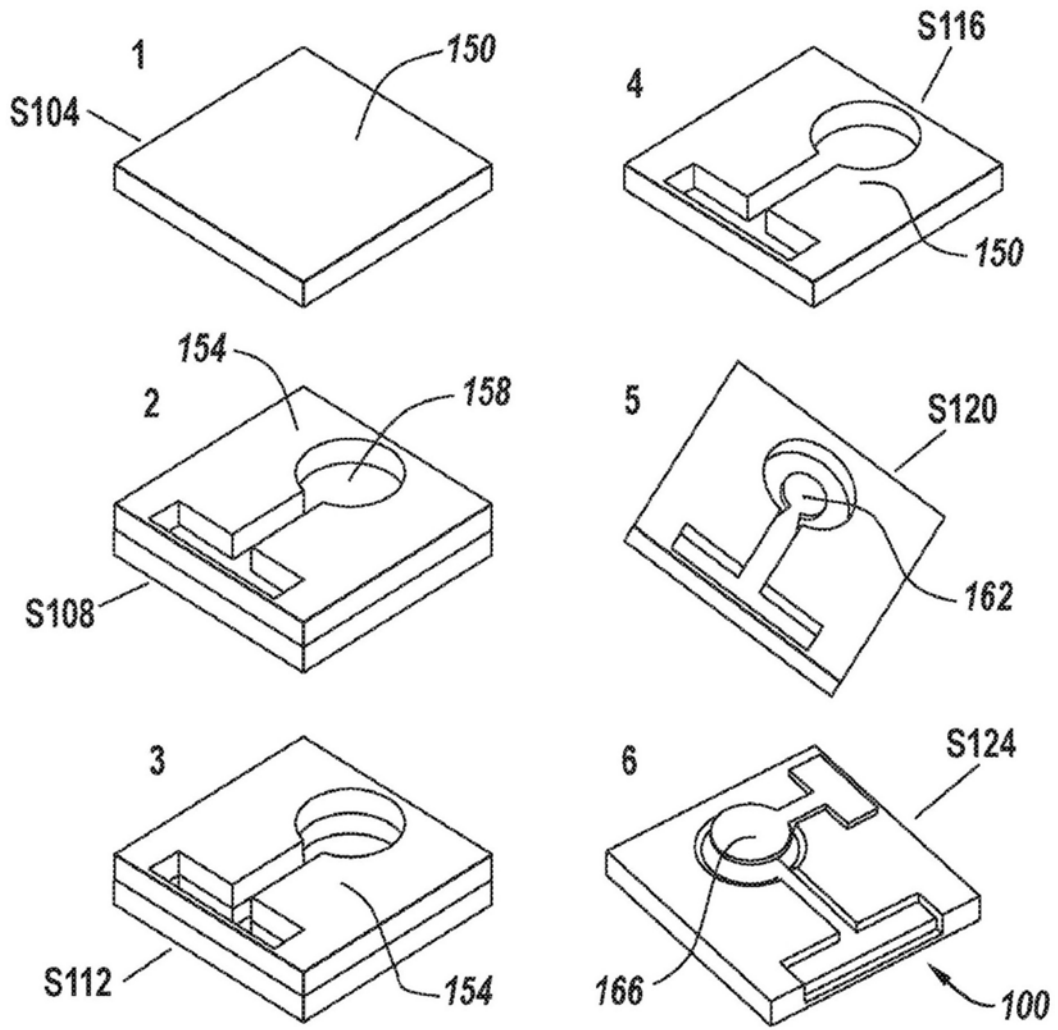


图1

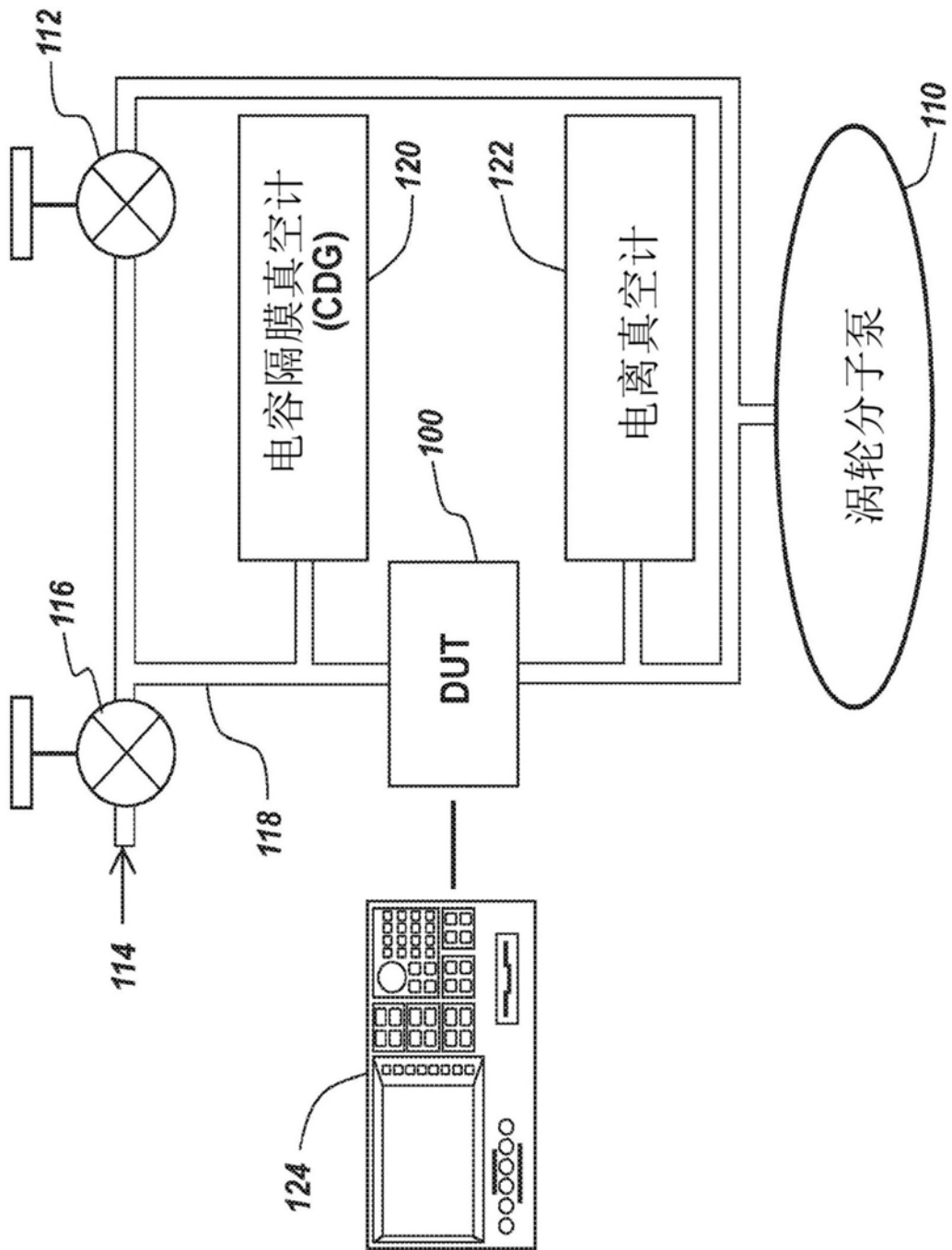


图2

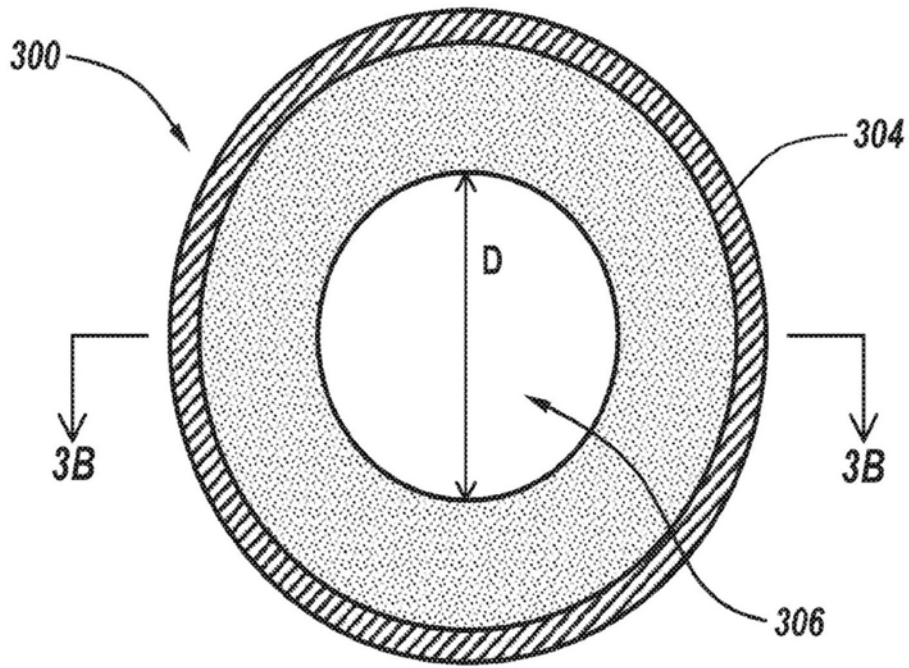


图3A

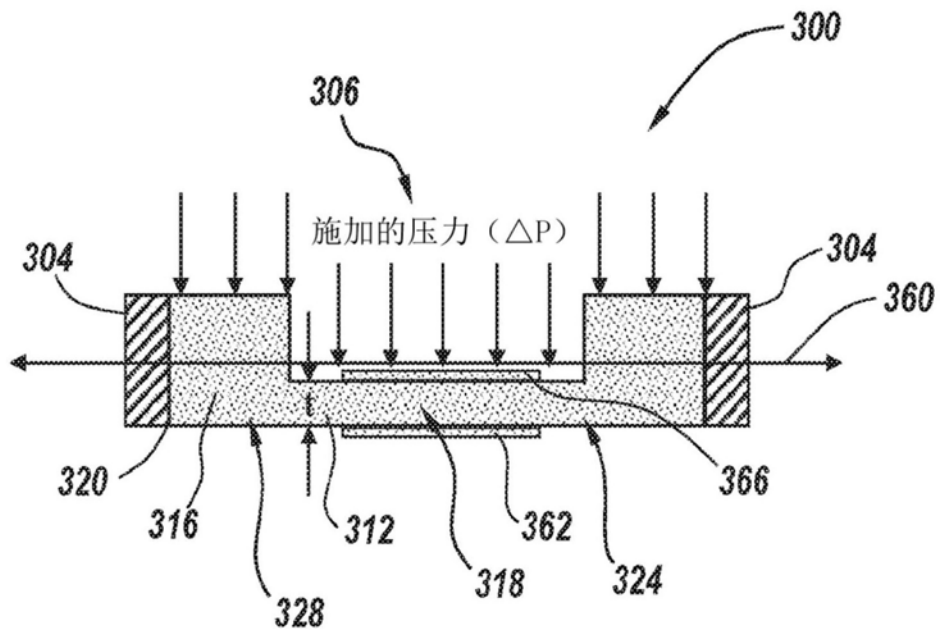


图3B

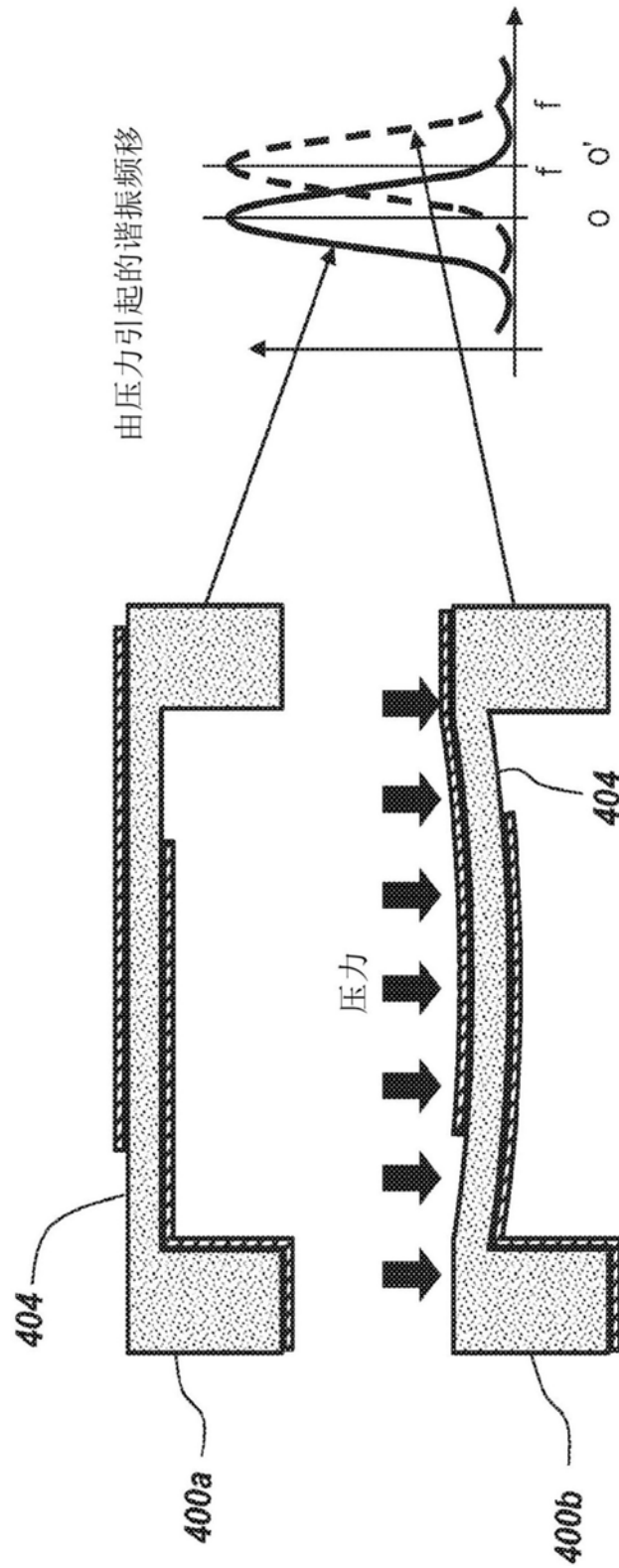


图4

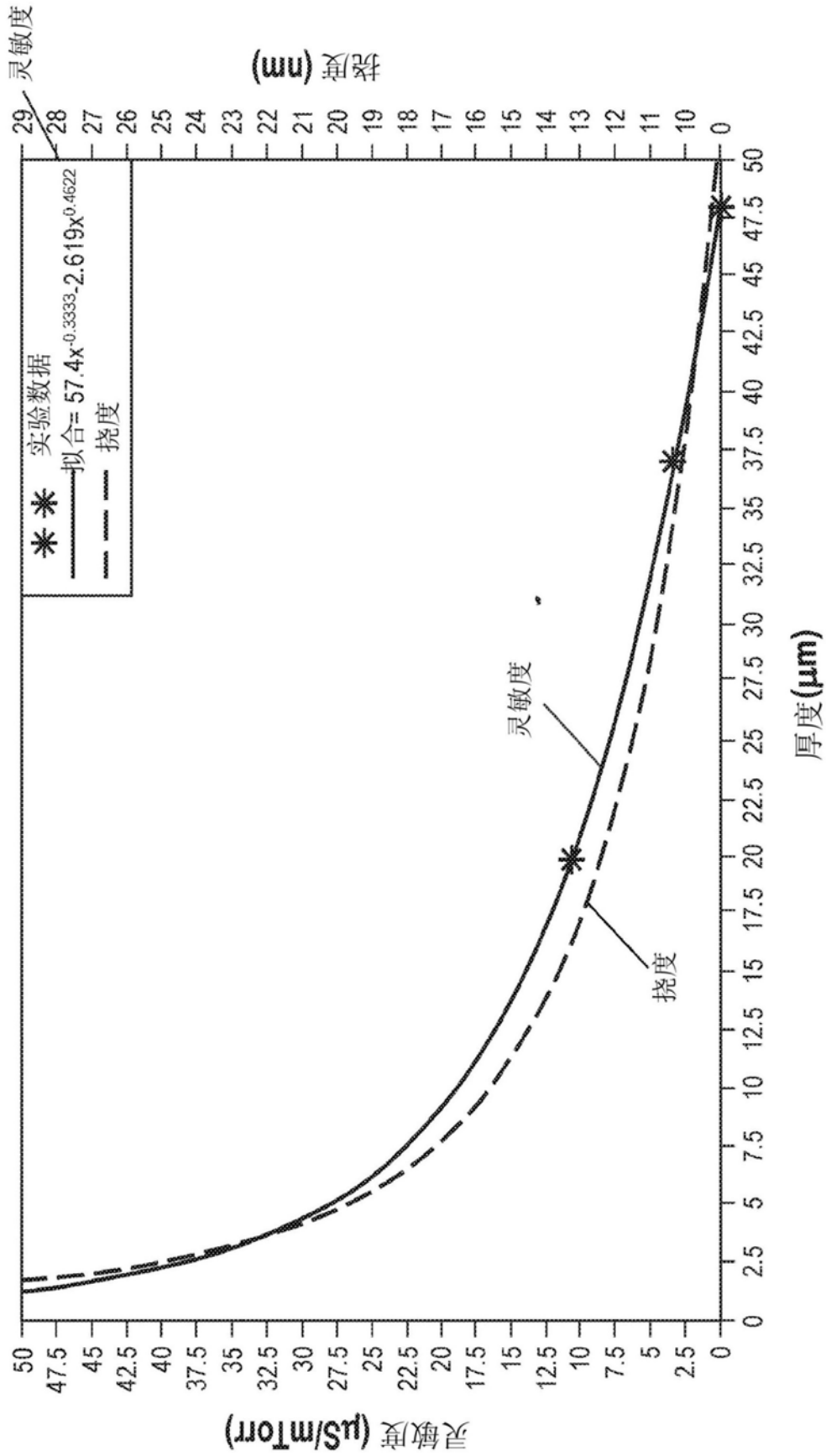


图5

挠度对隔膜直径

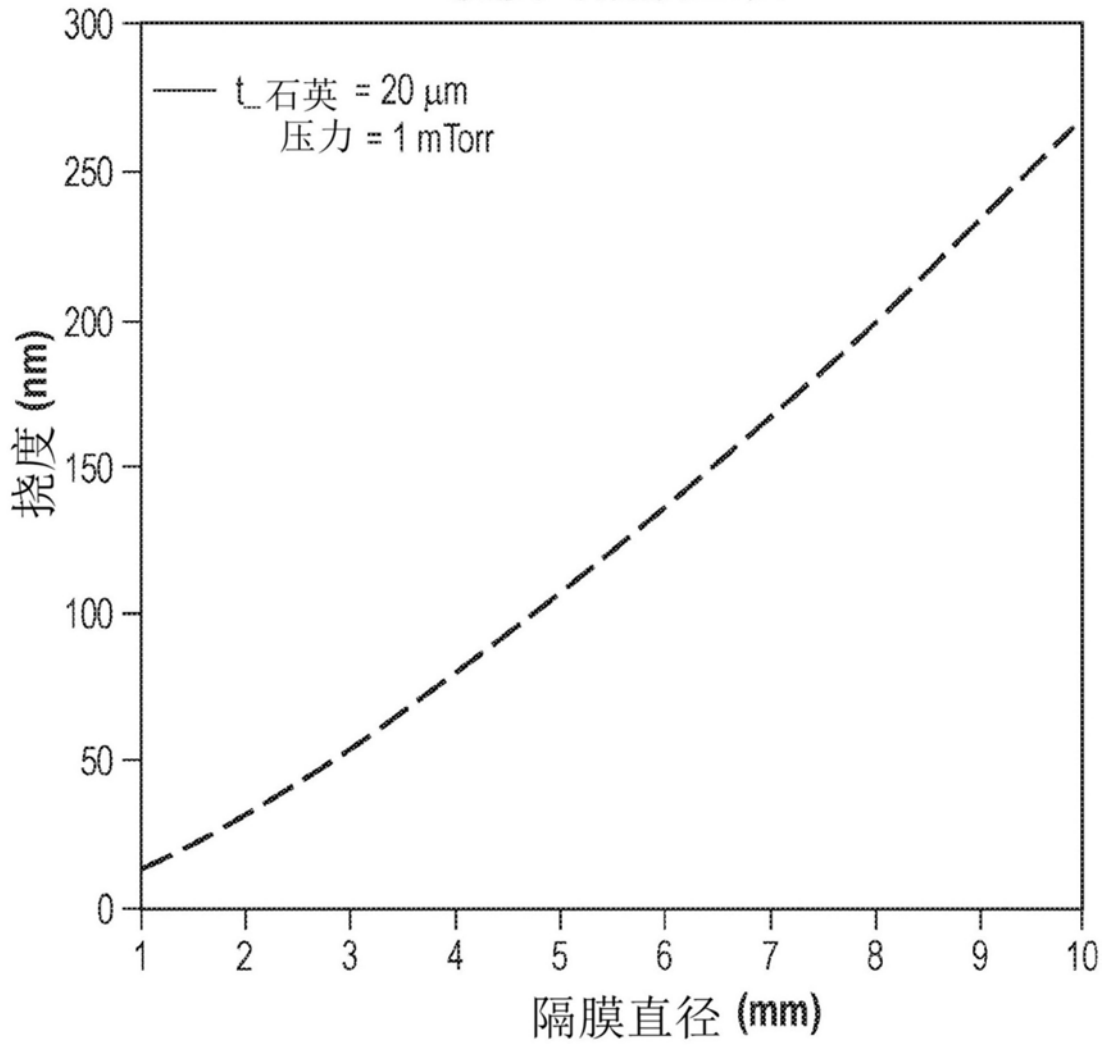


图6

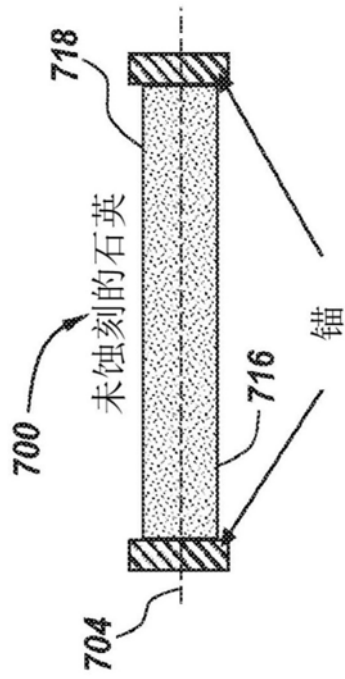


图7A

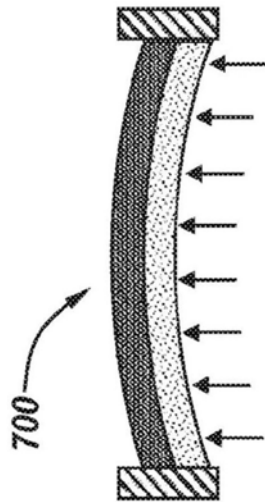


图7B

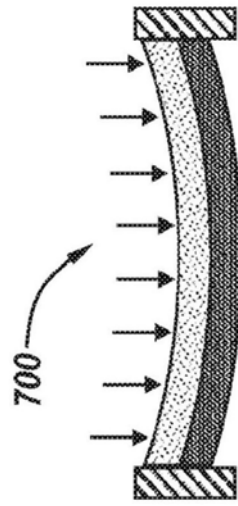


图7C

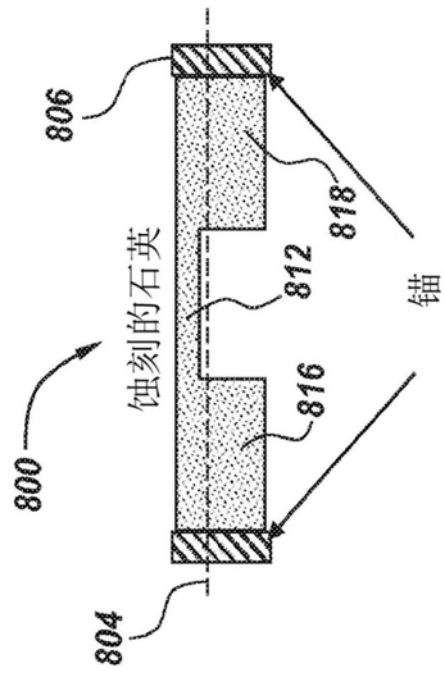


图8A

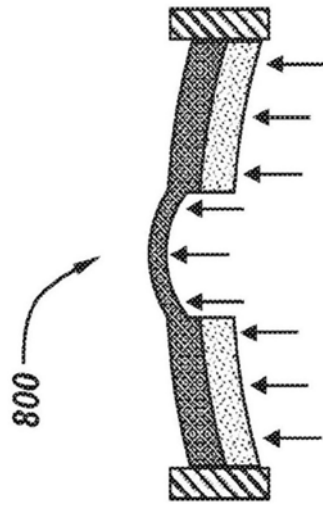


图8B

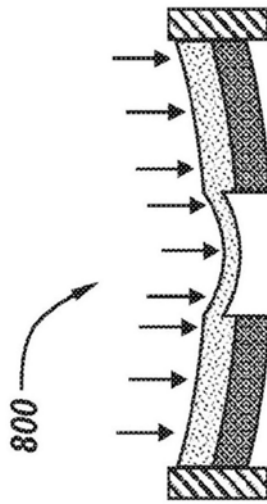


图8C

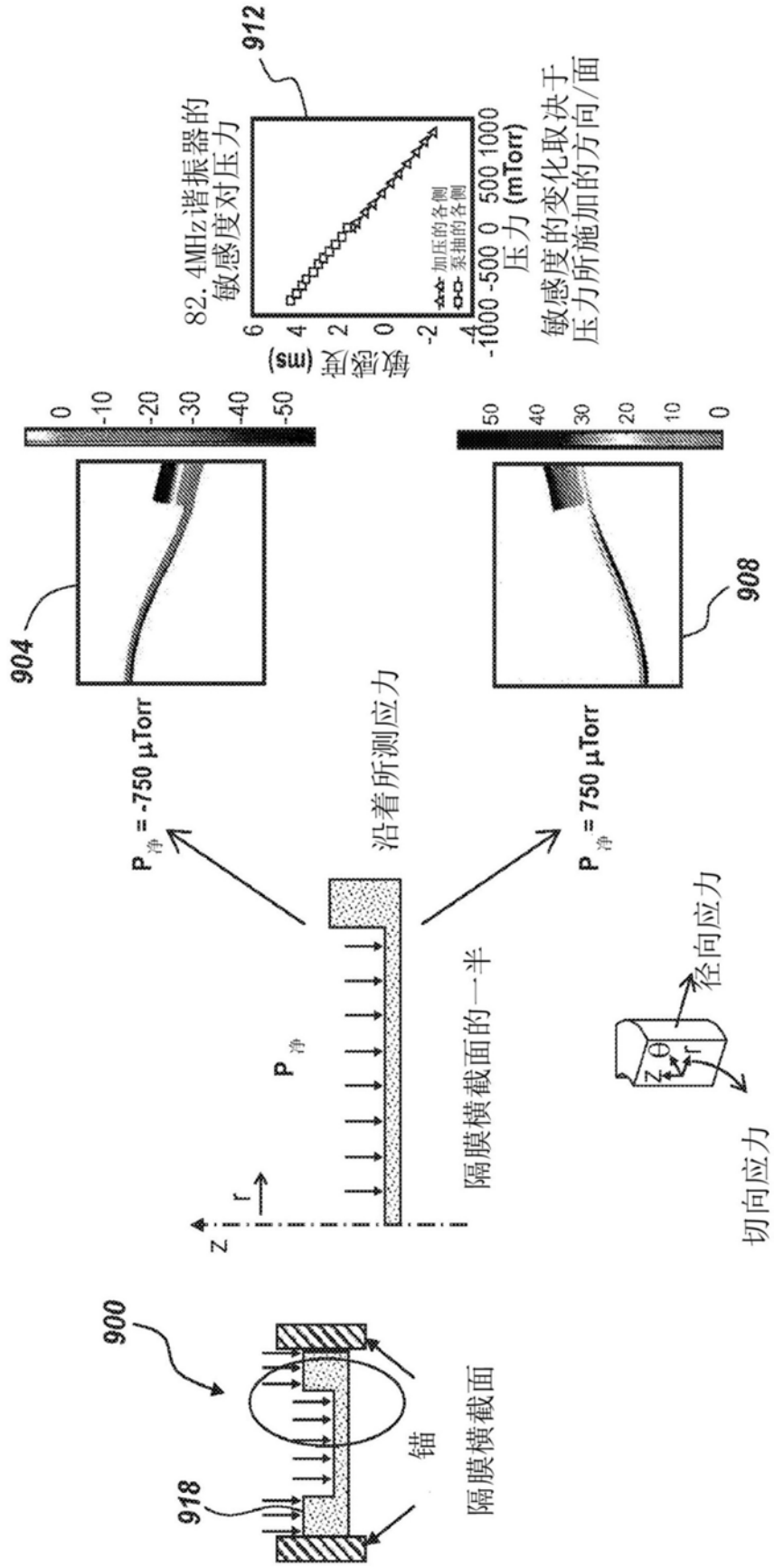


图9

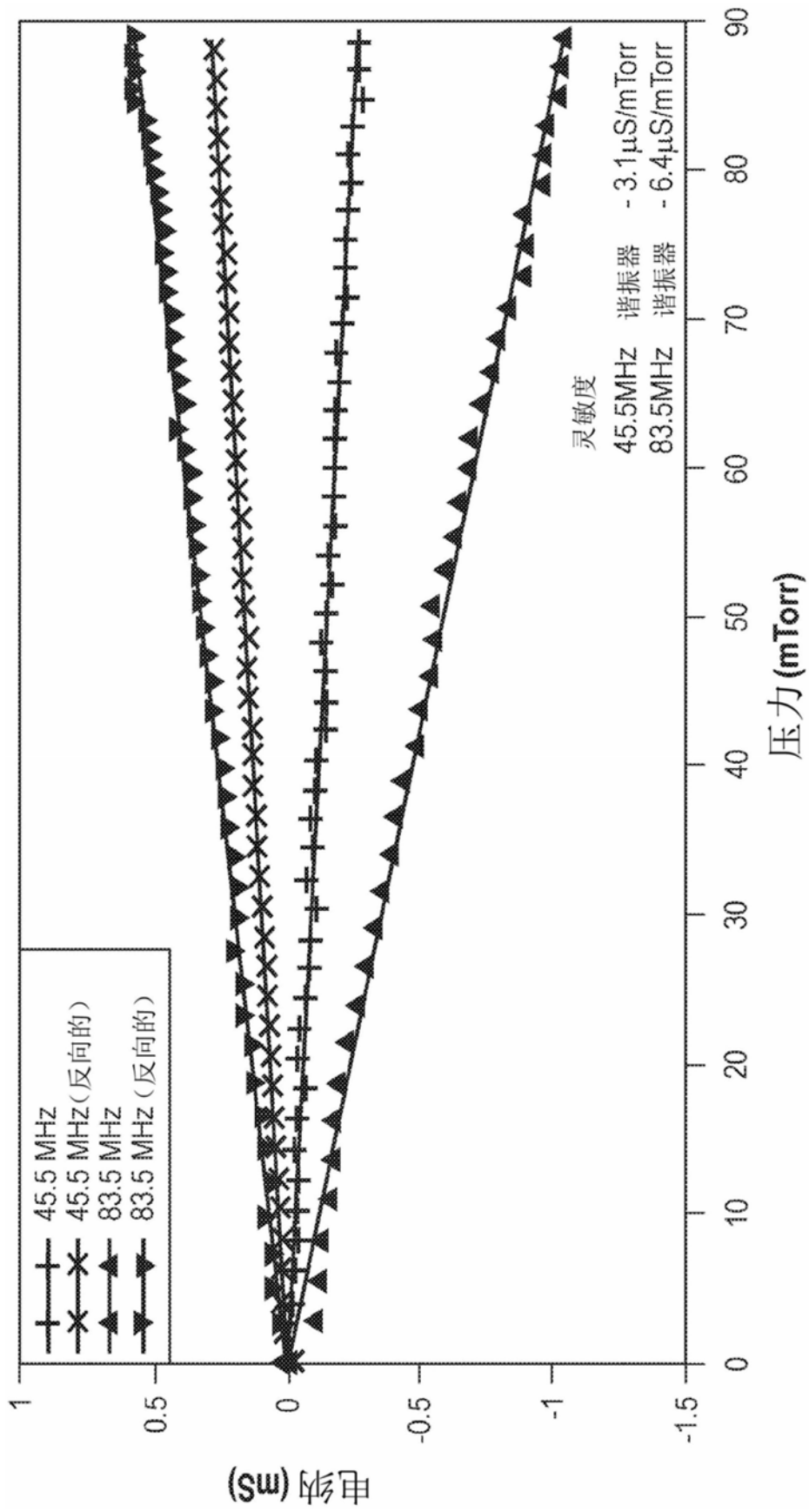


图10