



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103630286 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201310369763. 9

(22) 申请日 2013. 08. 22

(30) 优先权数据

13/592, 570 2012. 08. 23 US

(71) 申请人 NXP 股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 威廉·贝什林 皮特·斯蒂内肯

奥拉夫·温尼克

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 李敬文

(51) Int. Cl.

G01L 9/00 (2006. 01)

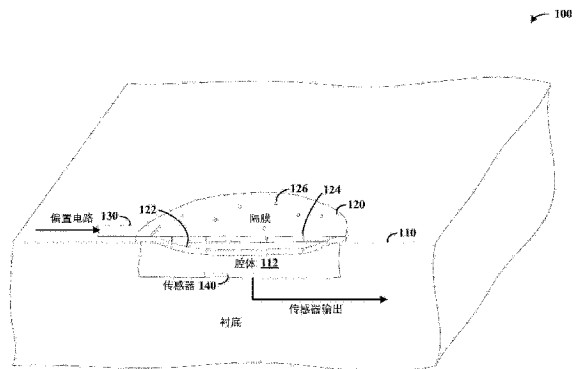
权利要求书3页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

压力传感器

(57) 摘要

本发明涉及一种压力传感器。根据讨论的一个或多个实施例,集成电路设备包括悬置于腔体上的隔膜,隔膜和腔体限定了腔室。隔膜中具有多个开口,开口传递气体进出腔室。当激励隔膜时,腔室的体积改变以产生与腔室外部的压力不同的腔室内部的压力。传感器检测隔膜响应于体积变化的基于频率的特性,并且提供对腔室外部的压力指示。



1. 一种集成电路设备,包括:

集成电路衬底,具有腔体;

悬置的隔膜,所述悬置的隔膜形成腔室的壁,所述腔室至少部分地在所述腔体中并且具有用于容纳气体的可变体积,所述隔膜中具有多个开口,所述开口配置用于传递气体进出所述腔室,所述隔膜配置为响应于施加至所述隔膜的激励力而移动并从而改变腔室的体积;

激励器,配置为响应于在集成电路中承载的电控制信号而引起隔膜相对于腔体的移动,从而改变腔室的体积并且产生与腔室外部的压力不同的腔室内部的压力;以及

传感器,配置为响应于体积变化来检测隔膜的基于频率的特性,并且提供腔室中压力的指示。

2. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述传感器配置为:

通过检测频率来检测隔膜的基于频率的特性,其中在所述频率以上,隔膜振幅和隔膜相位中的至少一个开始下降;以及

基于检测的频率提供腔室中压力的指示。

3. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述传感器配置为:

通过在具体频率下激励隔膜的同时检测隔膜的振幅和相位中的至少一个,来检测隔膜的基于频率的特性;并且

基于检测的具体频率下的振幅和相位中的至少一个来提供腔室中压力的指示。

4. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述传感器配置为:

通过检测隔膜的谐振频率相对于参考压力下的谐振频率的偏移,来检测隔膜的基于频率的特性;并且

基于检测的谐振频率的偏移来提供腔室中压力的指示。

5. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述传感器配置为在以隔膜的谐振频率以下的频率激励隔膜的同时,基于气体的粘度和开口的流阻来提供腔室中压力的指示。

6. 根据权利要求 1 所述的设备,其中

所述隔膜配置为在阈值频率以下经由开口流过气体以平衡腔室中的气体与腔室外部的压力,并且配置为在阈值频率以上减轻经由开口的实质上所有气流;

所述激励器配置为在阈值频率以上周期性地激励隔膜;以及

所述传感器配置为在阈值频率以上周期性地激励隔膜的同时检测隔膜的基于频率的特性,所检测的基于频率的特性指示了腔室外部的压力。

7. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述传感器配置为:

通过检测隔膜响应于体积变化的挠曲来检测隔膜的特性;以及

使用检测的挠曲来提供腔室中压力的指示。

8. 根据权利要求 1 所述的设备,其中:

所述激励器配置为通过向隔膜施加时变的激励偏置以激励隔膜,来引起隔膜的移动;以及

所述传感器配置为基于所述激励偏置来检测隔膜的挠曲。

9. 根据权利要求 1 所述的设备,其中:

所述激励器配置为通过在隔膜的谐振频率下引起隔膜的周期性移动来引起隔膜的移动；以及

所述传感器配置为：

通过在周期性地移动隔膜时检测隔膜响应于体积变化的谐振频率的增加来检测隔膜的特性；以及

使用所检测的谐振频率来提供腔室中压力的指示。

10. 根据权利要求 9 所述的设备，其中所述激励器配置为利用单一脉冲激励所述隔膜，并且所述传感器配置为检测隔膜响应于所述单一脉冲的谐振频率。

11. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为：

通过检测隔膜响应于隔膜移动的阻尼来检测隔膜的特性；以及

使用检测的阻尼来提供腔室中压力的指示。

12. 根据权利要求 11 所述的设备，其中所述激励器配置为利用单一脉冲激励隔膜，并且所述传感器配置用于检测隔膜响应于所述单一脉冲的阻尼。

13. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为通过检测隔膜对于体积变化的响应来检测隔膜的特性，以提供对腔室中的压力和腔室外的压力之间的压力差的指示。

14. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为通过检测腔室中气体的均衡速度、并且使用所检测的速度来确定对腔室中气体分子的个数的指示，来检测基于频率的特性。

15. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为基于多个开口的个数和尺寸来检测基于频率的特性。

16. 根据权利要求 1 所述的设备，其中

所述激励器配置为通过在多个周期上激励所述隔膜以周期性地压缩和膨胀腔室中的气体，来引起隔膜相对于腔体的移动；以及

所述传感器配置为通过计算多个周期上腔室中的时间平均环境压力来检测基于频率的特性。

17. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为通过检测隔膜的弹簧常数、并且使用检测的弹簧常数来提供腔室中气体压力的指示，来检测基于频率的特性。

18. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述多个开口包括直径在约 100nm 和 2000nm 之间的通风孔以及直径小于 2nm 的通风孔之中的至少一种。

19. 根据权利要求 1 所述的设备，其中所述传感器配置为基于气体压力的指示并且基于经由激励器提供的用于引起隔膜移动的激励输入，来确定腔室内部的气体压力。

20. 一种集成电路压力传感器，包括：

气体腔室，具有配置为容纳气体的壁，所述壁包括隔膜，所述隔膜具有电极并且配置为响应于施加至电极的偏置而移动并从而改变腔室的体积，所述隔膜具有多个开口，所述开口配置为：

经由所述开口流动气体以平衡腔室中的气体和腔室的外部的压力，

当在阈值频率以下激励所述隔膜时使气体流入流出腔室，并且

响应于在阈值频率以上激励所述隔膜，减轻经由开口的实质上所有气流；

激励器电路，具有电极并且配置为经由电极向隔膜施加时变的激励偏置，以周期性地

激励隔膜,并且压缩和膨胀腔室的体积;以及

传感器,配置为:

响应于所述激励器电路在隔膜的谐振频率下激励所述隔膜,基于电极之间的阻抗来检测隔膜的谐振频率的偏移,并且基于检测的谐振频率的偏移来提供腔室中压力的指示,并且

响应于所述激励器电路激励隔膜并且泵浦空气通过开口,基于通过所述开口的气体的粘滞流来提供腔室中压力的指示。

21. 根据权利要求 20 所述的设备,其中所述传感器配置为基于以下的至少一个来提供腔室中压力的指示:隔膜振幅开始下降时的频率;以及经由电极之间的阻抗所表示的、具体频率下的隔膜振幅或相位。

22. 一种压力传感器设备,包括:

具有侧壁的腔室;

隔膜,所述隔膜形成侧壁之一并且具有多个开口,所述开口配置为具有这样的开口尺寸:当在谐振频率以上激励所述隔膜时,防止实质上所有气流通过所述开口,而当在谐振频率以下激励所述隔膜时,便于气流通过所述开口;

激励器,配置为周期性地激励所述隔膜以迅速地压缩和膨胀腔体中的气体;以及

传感器,配置为检测所述隔膜响应于周期性激励的基于频率的特性,并且基于检测的基于频率的特性来提供表示了隔膜处压力的输出。

23. 一种制造集成电路设备的方法,所述方法包括:

形成具有腔体的集成电路衬底;

形成悬置的隔膜,所述悬置的隔膜形成腔室的壁,所述腔室至少部分地在所述腔体中并且具有用于容纳气体的可变体积,并且在所述隔膜中形成多个开口以传递气体进出所述腔室,所述隔膜配置为响应于施加至所述隔膜的激励力而移动并从而改变腔室的体积;

形成激励器,所述激励器响应于在集成电路中承载的电控制信号而引起隔膜相对于腔体的移动,从而改变腔室的体积并且产生与腔室外部的压力不同的腔室内部的压力;以及

形成传感器,所述传感器检测隔膜响应于体积变化的基于频率的特性,并且提供腔室中气体压力的指示。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,

其中形成悬置的隔膜包括形成具有不同尺寸的多个开口的隔膜;

所述方法还包括:经由所述多个开口执行所述隔膜下面的材料的牺牲刻蚀;以及在执行牺牲刻蚀之后,涂覆密封层以密封所述开口中的至少一些。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中涂覆密封层以密封所述开口中的至少一些包括:涂覆密封层以密封所述开口中尺寸在阈值尺寸以下的开口,并且减小尺寸在阈值尺寸以上的开口的尺寸。

压力传感器

技术领域

[0001] 各种示例实施例涉及压力感测设备、电路和系统以及包括这些设备电路和系统的实现的方法。

背景技术

[0002] 智能建筑中的多种设备和系统,用于例如海拔高度测量航空中的气候控制、白色家电应用中的水准感测、替代能源、核电站、汽车应用(例如,胎压监测、引擎控制和刹车系统)和医疗应用(例如眼内压和血压传感,需要超出单开/关控制的压力传感器)。这些系统通常采用具有精确和线性输出的传感器以在操作中的变化变得临界之前跟踪这些变化。开关状态的单一开/关条件意味着不能够用于趋势监测的闭环系统中。微处理器和基于微处理器的系统的迅速开发,增强了对于压力开关上的电子压力传感器的额外需求。

[0003] 硅作为感测材料出现已经影响了工业和商业应用中的压力测量。硅基传感器使用已经公知的 MEMS 或者微机电系统技术。MEMS 传感器已经在良好环境中的汽车和医学应用中采用。由于尺寸紧凑,它们在大生产量的情况下可能相对便宜。大多数 MEMS 压力传感器具有压阻性或电容性读出。

[0004] 许多微加工的压力传感器使用气密密封的隔膜,所述隔膜密封处于一定表压的参考腔体(在一些情况下,所述表压是真空)。经由由于外部压力和表压之间的压力差导致的隔膜挠曲(deflection)来测量外部压力。可以通过压阻、电容性或光学传感器来测量这种挠曲。然而由于多种原因,这些方法实现起来具有挑战性。例如,如果参考腔体中的气体压力不是稳定的,可能发生信号漂移,这可能进而要求高级别的隔膜气密性。此外,尽管薄或大面积的隔膜对于挠曲和灵敏度是期望的,但是难以使得薄的隔膜是气密的。参考腔体中的层的渗气要求重新校准,并且腔体压力的温度依赖性(即根据波义耳定律($P*V = n*R*T$))可能引起问题。另外,如果腔体中的压力是近似真空,如果隔膜弹簧常数较低,外部压力可以显著地使隔膜变形,而具有较高弹簧常数 k 的隔膜减小了灵敏度(与 $1/k$ 成正比, k 与待测量的最大压力成正比)。这些和其他问题已经对于压力传感器实现用于多种应用提出了挑战。

发明内容

[0005] 各种示例实施例涉及压力感测设备、电路和系统以及包括这些设备、电路和系统的实现的方法。

[0006] 根据示例实施例,集成电路设备包括:集成电路衬底,具有腔体;悬置的隔膜,所述悬置的隔膜形成至少部分地在所述腔体中的腔室的壁;激励器,所述激励器引起隔膜相对于腔体的移动;以及传感器,所述传感器检测所述隔膜的基于频率的特性。所述隔膜具有用于容纳气体的可变体积,所述隔膜的移动改变所述体积。所述隔膜具有多个开口,所述开口传递气体进出所述腔室,并且所述隔膜响应于激励力而移动。所述激励器响应于在集成电路中承载的电控制信号,以受控频率产生力,所述力引起隔膜相对于腔体的移动,从而

改变腔室的体积并且产生与腔室外部的压力不同的腔室内部的的气体压力。所述传感器检测隔膜响应于体积变化的基于频率的特性,所述特性影响气体在隔膜上的力,并且提供腔室中气体压力的指示。

[0007] 另一个示例实施例涉及集成电路压力传感器,所述集成电路压力传感器具有气体腔室、激励器和传感器。所述气体腔室具有容纳气体的壁,所述壁包括隔膜,所述隔膜具有用于控制由激励器产生的力的电极。所述力作用于隔膜上,引起隔膜移动,以响应于施加至电极的偏置来改变腔室的体积。所述隔膜具有多个开口,并且经由所述开口流动气体以平衡腔室中的气体和腔室的外部的的气体之间的压力,当在阈值频率以下激励所述隔膜时使气体流入流出腔室,并且响应于在阈值频率以上激励所述隔膜,减轻经由开口的实质上所有气流。所述激励器电路经由电极向隔膜施加时变的激励偏置,以周期性地激励隔膜,并且减小和扩大腔室的体积。通过基于感测元件的电阻抗来检测隔膜的谐振频率偏移(例如,相对于参考)、并且基于检测的谐振频率偏移提供腔室中压力的指示,所述传感器对按照隔膜的谐振频率激励隔膜的激励器电路做出响应。响应于所述激励器电路激励隔膜并且泵浦气体通过开口,所述传感器基于通过开口的气体的粘滞流来提供腔室中压力的指示。在各种实现方式中,所述传感器基于以下至少一个提供腔室中压力的指示:隔膜振幅开始下降时的频率;以及在如经由电极之间的阻抗表示的具体频率下的隔膜振幅或相位。

[0008] 另一个示例实施例涉及压力传感器设备,包括具有侧壁的腔体、形成侧壁之一的隔膜、激励器和传感器。所述隔膜中具有多个开口,当在谐振频率或谐振频率以上激励所述隔膜时,所述开口的尺寸防止实质上所有的气流通过所述开口,并且当在谐振频率以下激励所述隔膜时,所述开口的尺寸便于气流通过所述开口。所述激励器周期性地激励所述隔膜以迅速地压缩和膨胀腔体中的气体。所述传感器检测所述隔膜响应于周期性激励的基于频率的特性,并且基于检测的基于频率的特性提供表示隔膜处压力的输出。

[0009] 以上讨论/概述并非意欲描述本公开的每一个实施例或每一种实现方式。以下的附图和详细描述也例示了各种实施例。

附图说明

[0010] 结合附图考虑以下详细描述,可以更加全面地理解各种示例实施例,其中:

[0011] 图 1 示出了根据示例实施例的压力传感器设备的截面图;

[0012] 图 2 示出了根据另一个示例实施例的另一个压力传感器设备的截面图;

[0013] 图 3 示出了根据另一个示例实施例的谐振压力传感器的顶视图,所述谐振压力传感器具有包括牺牲孔的谐振隔膜;

[0014] 图 4 示出了根据另一个示例实施例实现的谐振频率相对于隔膜半径的曲线;

[0015] 图 5A 示出了根据另一个示例实施例的通过根据激励频率的静电激励对隔膜中心的挠曲;

[0016] 图 5B 示出了根据另一个示例实施例的激励电压和与图 5A 所示的挠曲相对应的隔膜挠曲之间的相位;

[0017] 图 6 示出了可以根据另一个示例实施例实现的截止频率相对于隔膜半径的曲线;

[0018] 图 7 示出了可以根据一个或多个示例实施例实现的针对不同压力的阻抗相对于频率的曲线;

[0019] 图 8 示出了根据另一个示例实施例的用于形成压力传感器的工艺流程中步骤的压力设备；

[0020] 图 9 示出了根据另一个示例实施例的在另外步骤的图 8 的设备；

[0021] 图 10 示出了根据另一个示例实施例的将压力传感器与 MEMS 麦克风相结合的设备；

[0022] 图 11 示出了根据另一个示例实施例的将压力传感器与 MEMS 麦克风相结合的一个设备；以及

[0023] 图 12 示出了根据另一个示例实施例的相关工艺阶段的压力传感器设备。

具体实施方式

[0024] 尽管这里的实施例可以修改为各种改进和替代形式，在附图中作为示例示出其细节，并且将详细进行描述。然而应该理解的是，并非意欲将本发明局限于所描述的具体实施例。相反，意欲覆盖落在包括权利要求限定的各个方面的本发明范围内的所有改进、等价和替代。此外，贯穿该申请使用的术语“示例”只是为了说明而不是限制。

[0025] 确信各种实施例的方面可以应用于包含压力感测的多种不同类型的装置、系统和结构。尽管本发明不必这样限制，通过使用上下文对示例的讨论应该理解各个方面。

[0026] 各种实施例涉及基于隔膜的压力传感器，其中隔膜的激励改变了其中隔膜形成侧壁的腔室的体积。隔膜包括多个开口，所述开口基于隔膜的激励频率（或者激励频率的不存在）来便于和减轻气体流入流出腔室。具体地，当隔膜是静止时（或者，例如在低频率下操作），所述开口便于腔室中的压力与腔室外部的压力的平衡。当更加迅速地激励隔膜时，所述开口经由气体与开口的粘滞相互作用减轻气流，并且在隔膜的谐振频率上或者在谐振频率附近阻止气流。因此，检测隔膜的基于频率的特性，并且将其用作对腔室中气压的指示。

[0027] 在一种实现方式中，在谐振频率下激励隔膜，并且将谐振频率的偏移用于检测腔室中压力的指示。在另一种实现方式中，在小于谐振频率的频率下激励隔膜，并且将通过开口的气体的（粘滞）流阻用作腔室中压力的指示。这种方法使用空气泵浦效应，并且隔膜振幅开始下降时的频率和 / 或在特定一个或几个频率下的隔膜振幅用于检测腔室中压力的指示。

[0028] 例如，当激励腔室的隔膜时，改变腔室的体积并且压缩或膨胀腔室内部的空气。压缩或膨胀的空气通过流过通风孔流出或流入腔室来平衡压力差的趋势。经由剪切粘度和通风孔的有限尺寸减缓了这种平衡。压力驰豫时间 τ 依赖于多种因素，例如空气压力、通风孔的个数和尺寸。通过孔的流阻和压力差给出了通过管状通风孔的气流，所述流阻具有 $R = 8 \eta L / \pi r^4$ 的形式，其中 r 是管半径， L 是管长度 ($L \gg r$)，并且是 η 是空气的剪切粘度。对于随着隔膜的移动具有薄空气间隙的腔室，空气沿着这种间隙流动，引起需要考虑的较大流阻。

[0029] 在各种实施例中，在约 0 巴至 1 巴之间的压力范围内实现了隔膜谐振频率的较大偏移（例如，约 2.2x）。在较高的激励频率下，小的通风孔防止空气在一个激励周期内显著地流入和流出腔室。在（腔室的）非常小的体积内气体的可压缩性产生了对于谐振质量弹簧系统的附加弹簧常数，所述附加弹簧常数将谐振频率移动到更高频率。由于隔膜振荡，暂

时减小了腔体体积,并且增加了所得到的压力,这产生沿相反方向的净力。在振荡周期期间腔室中分子个数保持恒定,因此经由小的体积促进了上述情况。

[0030] 可以将谐振频率 T_{res} 的倒数(周期时间)保持为小于压力驰豫时间 τ ,在这种情况下隔膜具有依赖于隔膜几何形状和材料(忽略粘度)的特定谐振频率 f_{res} ,以适应各种实现方式。在激励隔膜时腔室内部的空气和空气粘度的效果用于对压力加以表征。周期性或短脉冲激励用于激励隔膜。在充分低于 $1/\tau$ 的频率下,因为隔膜只是泵浦入和泵浦出空气,隔膜的移动不受所增加的空气的影响。在 $1/\tau$ 左右较高的频率下,空气的粘度用作对于空气泵浦效应和隔膜激励的对抗力。隔膜激励振幅、以及隔膜激励和隔膜移动之间的相位差减小。在较高频率下,空气不能跟随泵浦动作,并且本质上没有被泵浦,而是代替地被压缩和膨胀。同时,降低了阻尼,因为气体体积粘度的效应通常比它们的剪切粘度小得多。

[0031] 存在阈值频率,由于剪切粘度的影响增大,隔膜振幅在该阈值频率处开始下降。随着频率增加,隔膜振幅不会为零,因为体积粘度通常比剪切粘度小得多。与此同时,相位差下降,并且回到零,表示了减小的损耗。当频率进一步增加时,达到隔膜的谐振频率。空气体积的压缩和膨胀除了隔膜的弹性力之外还引起弹簧力,其引起依赖于空气压力的谐振频率的偏移。对于与 MEMS 传感器有关的一般信息,以及对于与 MEMS 谐振器类型器件和空气流/阻尼方面有关的具体信息,可以参考 Suijlen, Koning, van Gils 和 Beijerinck "Squeeze film damping in the free molecular flow regime with full thermal accommodation", Sens. Actuators A:Phys. (2009), 将其全部合并在此作为参考。此外,对于与谐振频率的检测有关的一般信息以及对于与检测谐振频率的偏移的方法有关的具体信息,所述方法可以与一个或多个示例实施例结合使用,可以参考 T. Nakamoto 和 T. Kobayashi 在 IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency control, vol. 41, p. 806 (Nov. 1994) 的 "Development of Circuit for Measuring both Q-variation and resonant frequency shift of quartz crystal Microbalance", 将其全部合并在此作为参考。

[0032] 结合各种示例实施例,传感器设备压缩或者膨胀气体,并且检测气体的速度特性,并且将检测的速度特性用于检测压力。在具体的实施例中,压力腔室具有包括开口的振动膜(diaphragm)类型的隔膜,所述开口允许气体流入和流出腔室。所述开口足够小,在快速压缩和膨胀期间不会显著地影响隔膜两端所产生的压力差,而是使气体流动以对隔膜两端的长期压力差进行平衡(例如如上所述)。对振动膜类型的隔膜进行激励以迅速地压缩或膨胀腔室中的气体,并且在压缩或膨胀之后例如通过使用电容检测的变化来检测气体的平衡速度。将检测的速度用于确定隔膜外部的压力。

[0033] 这里讨论的压缩可以是正的或者是负的。例如,在隔膜正向地压缩腔室中的气体时,当气体使隔膜移动/增加腔室的体积时,检测气体的膨胀速度或者隔膜激励的其他基于频率的方面。在隔膜负向地压缩气体时(即,增加腔室的体积),检测压缩的气体在释放时的速度或者隔膜激励的其他基于频率的方面。在每一情况中,压力影响膨胀或压缩时气体的所得速度,并且可以将检测的速度用作腔室中压力的指示,以及腔室外部的压力的指示(因为已经平衡)。

[0034] 在一些实现方式中,将传感器设备形成半导体衬底的一部分,半导体衬底的一部分形成腔体。隔膜和腔体配置为形成腔室并且将气体俘获在腔室中。在这种情况下,可以

在其上隔膜延伸的衬底中刻蚀腔体或者形成腔体,例如在绝缘层上形成的半导体衬底的层中。当在平面外(例如相对于衬底)激励隔膜时,改变腔室的体积,压缩或者膨胀腔室中的气体。

[0035] 根据各种实施例,传感器设备按照多种方式的一种或多种操作。在一个实施例中,传感器设备将隔膜的基于频率的特性和/或气体的速度与腔室中气体分子的个数关联。气体分子的个数用于对腔室中的压力加以表征。例如,气体分子的个数影响隔膜的振幅、隔膜的阻尼以及压缩后的分子速度。在一些实现方式中,传感器设备将腔室中气体分子的个数与在多个压缩-膨胀周期上腔室中的时间平均环境压力关联。

[0036] 在另一个实施例中,检测系统的弹簧常数,并且将其用作腔室中(以及腔室外部)压力的指示,因为气体分子的个数影响压缩气体所需要的力。在某些实现方式中,通过检测谐振频率来执行这种方法,所述谐振频率依赖于弹簧常数,并且因此是压力的函数。在一些实施例中,使用比腔室的机械谐振周期长得多的压缩和膨胀时间来便于基于谐振的方法。总之,可以在不使用固定/已知(规格(gauge))压力并且不基于摩擦力进行感测的情况下,执行用于压力感测的上述方法。

[0037] 多种隔膜用于适应不同的应用。基于隔膜的机械性质和腔室的几何形状来设置器件性能。选择隔膜的成分和诸如温度和等离子功率之类的隔膜沉积参数来设置内部应力。隔膜的机械性质(例如,机械应力、刚性和隔膜厚度)设置了隔膜硬度,因此设置了压力传感器的灵敏度。

[0038] 使用多种方法的一种或多种来激励隔膜。在一些实现方式中,经由静电力激励隔膜。在其他实现方式中,经由压电力激励隔膜。在其他实现方式中,使用其他(例如物理)力来激励隔膜。

[0039] 在多种不同类型的器件中实现这里描述的电路和相关方法以适应各种应用。例如,一些应用涉及微机电系统(MEMS)类型的器件,例如MEMS传感器平台、MEMS流电开关和MEMS麦克风。其他应用涉及移动电话(例如,用于麦克风)、气象站、GPS应用(例如海拔)和手表中的一个或多个。某些基于汽车的实施例涉及胎压监测系统(TPMS)、安全气囊、冲击登记(registration)装置、排气和引擎/燃料相关压力检测中的一个或多个。其他实施例涉及环境和智能建筑应用,例如在加热、通风和空调(HVAC)系统、气流、气体检测(例如CO₂)以及空气过滤器中的压降中的一个或多个中的压力检测。医学应用包括用于呼吸器、呼吸装置、助听器或气体压力的压力感测。

[0040] 现在参照附图,图1示出了根据另一个示例实施例的压力传感器设备100的截面图。设备100包括其中具有腔体112的集成电路衬底110。隔膜120悬置于腔体上,并且利用腔体的侧壁限定了用于容纳气体的腔室区域,例如空气或其他气体(并且例如可以包括蒸汽)。隔膜20包括多个开口,作为示例标记了开口124和126。这些开口在腔室区域和与腔室相邻的体积之间传递气体(例如,诸如空气之类的气体)。可以针对不同的应用设置开口的尺寸,并且在一些实施例中,所述开口的直径在约100nm和2000nm之间,并且在其他实施例中,所述开口的直径小于约2nm。

[0041] 隔膜120操作用于相对于腔室而挠曲,以调节腔室的体积,虚线示出了与示例挠曲相对应的隔膜位置122,所述挠曲减小了腔室的体积。例如,所述激励可以通过包括偏置电路130在内的激励器来实现,并且可以实现单一脉冲(例如,用于如所示地挠曲隔膜)或

者时变的循环激励,其中按照具体的一个或多个频率激励隔膜 120。例如,可以经由集成电路衬底中的(直接相连或者经由互连相连)控制电路控制这种偏置,并且这种偏置可以在腔室中的压力已经与腔室外部的压力平衡之后执行激励。因为经由通风孔几何形状和粘滞效应的促进,腔室中的开口促进了腔室内部和外部的压力平衡(例如,在稳态下),在相对较低的速度/频率下激励隔膜时允许气体的粘滞流,并且当在较高的速度/频率下(例如,大于阈值频率,在谐振频率附近)激励隔膜时抑制大约所有的气流通过开口。在这种情况下,隔膜 120 操作如同在高频率密封了腔室的体积一样,便于其中气体压力的检测,并且因此便于腔室外部的相应(平衡)压力的检测。在低频率下,隔膜 120 操作于经由开口粘滞地流动气体,气体的粘度和开口的流阻(并且包括开口的个数)用于检测腔室中气体的压力特性。在一些示例中,使用已知的压力,粘度和流阻也用作气体成分的指示。

[0042] 检测隔膜的频率特性,并且用作腔室中压力的指示。例如,可以经由偏置电路 130 或者经由分离的传感器 140 检测这种特性。在一些实现方式中,将频率特性检测为隔膜的谐振频率的偏移(例如,当开口通过少量气体或者不通过气体时),或者检测为与腔室中气体的泵浦效应相关(例如,通过识别隔膜 120 的振幅开始下降时的频率,或在具体频率下的隔膜振幅,如经由感测元件的电阻抗表示的)。这些方面也可以与腔室中气体的膨胀/压缩的速度相关。

[0043] 图 2 示出了根据另一个示例实施例的另一个压力传感器设备 200 的截面图。设备 200 包括隔膜 203,所述隔膜具有开口 207 和 208,并且形成由隔膜和衬底区域 204、206 和 209 限定的腔室/间隙区域 205 的侧壁,其中 204 和 206 将隔膜锚定到下面的衬底 209。分别在隔膜 203 和衬底 209 上的电极 201 和 202 操作于(在偏置施加至电极 202 和 201 的情况下)激励隔膜 203。在各种实现方式中,将电极之间表示的阻抗用作隔膜 203 的频率特性的指示,例如隔膜的挠曲,并且用于检测腔室中的压力。

[0044] 在真空中,弹簧常数依赖于隔膜 203(包括其中的开口)的材料参数和几何形状。在较高的外部压力下,气体经由开口进入到较窄的间隙区域 205。如果隔膜的谐振频率足够高,203 中的小孔和较窄的间隙区域 205 与气体的粘度相结合,防止气体在一个谐振周期内实质上离开腔体区域。因此,气体的量保持大致恒定,使得理想气体定律可以应用于设备 200。对于快速膨胀和压缩,可以忽略热交换,使得绝热地压缩和膨胀气体。因此, $P * V^\gamma = \text{常数}$ 是近似有效的,其中 γ 是绝热指数,对于双原子气体(像空气中的氮气和氧气),绝热指数是近似 7/5。如果向下的隔膜挠曲(如图 1 的 122 所表示)在整个面积 A 上等于 Δz (活塞模式模型),这与具有弹簧常数 $k_{\text{gas}} = -AdP/dz = A * d(P * V^\gamma / V^\gamma) / dz = -A * P * V^\gamma d((Az)^{-\gamma}) / dz = \gamma P * A / z$ 的弹簧相对应。作为示例,对于具有 $z_0 = 300\text{nm}$ 的间隙并且在大气压力($P = 100\text{kPa}$)下的 100 微米半径隔膜, $k_{\text{gas}} = 15000\text{N/m}$ 。

[0045] 在其中隔膜上的每一点位移不相等的一些实施例中,如下使用校正因子 α 。

$$[0046] \quad k_{\text{gas}} = \alpha \gamma P * A / z_0 \quad (1)$$

[0047] 基于谐振的模式形状来选择校正因子。

[0048] 因此,谐振频率依赖于外部压力,因为腔体内部的气体操作为弹簧。气体和隔膜的总弹簧常数如下近似给出:

$$[0049] \quad k_{\text{total}} = k_{\text{mem}} + k_{\text{gas}} \quad (2)$$

[0050] 因为隔膜的有效(或分布)质量 m 和弹簧常数 k_{mem} 与压力无关,并且 k_{gas} 与压力成

正比,所以谐振频率 f_{res} 也依赖于压力,如等式 3 和 4 所示:

$$[0051] \quad f_{res} = ((k_{mem} + \gamma PA/z_0)/(4\pi^2 m))^{1/2} = f_0(1 + \alpha \gamma PA/(k_{mem} z_0))^{1/2} \quad (3) \text{ 以及}$$

$$[0052] \quad df_{res}/dP = f_0^2 \alpha \gamma A/(2f_{res} k_{mem} z_0) \quad (4)$$

[0053] 其中, f_0 是真空中传感器的谐振频率。等式 (3) 示出了对于面积 A 与间隙 z_0 的较大比率以及较小的弹簧常数 k_{mem} (例如,对于较小的隔膜厚度和 / 或较低的应力),器件的压力灵敏度最大。为了减轻 / 防止气体在一个周期内离开腔体,使用较高频率 f_0 (低 m 和高 k_{mem}) 和较小间隙 z_0 ,以及相对少量的小孔(图 2 的横截面中所示的孔 207 和 208),所示小孔彼此充分地间隔开并且与隔膜的中心充分间隔开。

[0054] 如果隔膜 203 在频率 f 谐振,所述频率高到足以防止气体有时间逃离包括间隙区域 205 在内的腔体,则按照频率 f 利用与隔膜位移成正比的振幅 ($|\Delta P| = k_{gas} |\Delta z|/A$) 来调制间隙 205 中气体的压力 P_g ,使得 $P_g(t) = P_0 + |\Delta P| \sin(2\pi ft)$ 。压力差 $P_g - P_0$ 引起隔膜上依赖于振幅的力 ($F = (P_g - P_0)A$),所述力用作有效弹簧常数 k_{gas} 。

[0055] 在一些实施例中,隔膜 203 包括使用 PECVD 形成的 700nm 的 SiN 层,电极 201 和 202 包括 250nm 厚的金属电极,例如包括 W、TiN 或 Al,并且间隙尺寸 z_0 (205 处) 是 300nm。孔(包括 207、208)具有约 $2\mu m$ 的直径,并且沿隔膜 203 的边缘分布。在一些实现方式中,隔膜 203 是具有 $25\mu m$ 至 $90\mu m$ 范围内的直径的圆形隔膜。在其他实现方式中,隔膜 203 是矩形或正方形隔膜,并且可以实现为与关于圆形隔膜的上述直径类似的表面积。

[0056] 图 3 示出了根据本发明另一个示例实施例的谐振压力传感器 300 的顶视图,所述压力传感器包括具有牺牲孔 312 的谐振隔膜 310。传感器 300 包括与隔膜 310 上的电极(例如,与图 2 的电极 201 类似)耦合的顶部电极触点 320、以及与传感器 300 的底部 / 偏置电极(例如,与图 2 的电极 202 类似)耦合的底部电极触点 330。接地电极 340 耦合以将衬底接地,在所述衬底中形成传感器 300。作为示例,示出了八个通风孔(标记为 312),并且所述通风孔位于隔膜 310 的外周界附近。

[0057] 图 4 示出了如可以根据一个或多个实施例实现的谐振频率相对于隔膜半径的曲线。相对于较大的直径,对于较小的直径,谐振频率增加,因为隔膜按照更加刚性的方式表现。曲线 410 示出了针对隔膜中 0MPa 的机械应力的谐振频率,并且曲线 420 示出了针对 100MPa 的谐振频率(张应力(tensile stress))。曲线 430 示出了针对示例隔膜直径的测量的谐振频率。

[0058] 图 5A 示出了根据其他示例实施例的对于静电激励的隔膜中心的挠曲,并且图 5B 示出了根据其他实施例的有关相位。具体地,相对于环境压力下的 $90\mu m$ 半径隔膜的激励频率,绘制了挠曲振幅和相位,所述隔膜可以如图 1、2 和 / 或 3 所示地实现。在 50Hz 附近增加的噪声是由于测量设置的机械振动。线 510 和 520 两者的交叉点表示截止频率(530)。正弦激励具有 2V 的振幅,并且偏置电压是 8V(上部方块)和 10V(下部方块)。

[0059] 在低频率下,挠曲振幅不受到腔室中气体的限制,并且挠曲与激励同相。移动是如此之慢,使得将气体泵浦通过孔(例如,图 2 的 207、208)。在约 200Hz 的频率下,由于在流过腔室中的薄间隙(例如,图 2 的 205)的同时气体的增加的阻尼,振幅开始下降。所述阻尼依赖于间隙的几何形状和内部表面性质以及气体的剪切粘度。所述阻尼也引起相位延迟的增加。检测经由隔膜的脉冲或周期性激励施加的这些阻尼效应,并且用于检测对压力加以表示的隔膜的基于频率的特性。在 10kHz 以上的频率下,气体的阻尼如此之高,使得在一

个周期内气体不能流入流出间隙区域。因此,随着频率增加,减小了通过间隙的侧向气流。因为更少的空气流动,并且由于气体的低体积粘度,阻尼力再次降低。在这些频率下,间隙内部的空气的压缩力成为支配性的。因为体积粘度通常小于剪切粘度,所以挠曲的相位回到 0,表示减小的阻尼。在 10Hz 以上的频率下,将测量气体的压缩测量为恒定的挠曲振幅。

[0060] 对于具有较小半径的器件,隔膜的中心和孔之间的距离更小,使得增大了线 510 和 520 交叉处的截止频率 (530),在该截止频率下气体没有足够的时间离开谐振器间隙。图 6 示出了如可以结合隔膜实现的截止频率相对于隔膜半径的曲线。

[0061] 图 7 示出了对于 $90\ \mu\text{m}$ 隔膜直径的阻抗相对于频率的曲线,示出了由于根据一个或多个实施例实现的间隙压力的变化导致的谐振频率的偏移。示出了在大气压力 (710)、900mbar 以上 (720)、860mbar 以上 (730)、860mbar (740)、200mbar (750)、60mbar (760) 和 $2e^{-2}\text{mbar}$ (770) 下的相应曲线。当将压力从 0 增加至 100kPa 时,谐振频率的增加因子为 2.2。例如,通过在隔膜两端施加 DC 偏置电压 V_{dc} 的同时测量激励电极 (例如,如图 2 所示) 之间相对于频率的电阻抗,来测量谐振频率。通过静电力刺激隔膜,并且通过测量电容性电流 (电极 201 和 202 之间的电容是距离 $z_0 + \Delta z$ 的函数) 来检测隔膜的运动。

[0062] 在一些实施例中,具有放大器的反馈环用于产生 MEMS 振荡器,所述 MEMS 振荡器连续地产生具有依赖于外部压力的频率的 AC 输出信号。输出信号的频率是压力的量度。使用多种方式的一个或多个来确定频率,其中测量 MEMS、机械谐振器或 RLC 电路的谐振频率。

[0063] 如以上的等式 (3) 所示,可以在较大范围的压力下进行所述测量,并且所述测量可以在更高的压力下变得更加灵敏。然而在较低压力下,可以使腔室中的间隙 z_0 较小,面积 A 较大、 k_{mem} 较小、并且频率 f_0 高到足以防止由于谐振的隔膜而导致推出气体。在一些实施例中,将相对于诸如振动膜尺寸、孔直径和腔室尺寸之类的物理性质而具有不同灵敏度范围的压力传感器的阵列进行组合以提供宽广的灵敏度范围。在某个实施例中,对这里讨论的压力感测与谐振的 Q 因子测量的实现方式进行组合,例如结合以上引用的参考文件 Nakamoto 所讨论的。

[0064] 根据各种示例实施例,校准方法用于对如这里讨论的压力传感器进行校准,例如补偿隔膜的谐振频率的偏移,所述偏移可能是由于工艺条件的变化产生的,例如可以涉及不均匀的隔膜厚度。在一些实现方式中,在参考压力下确定隔膜的谐振频率以查看是否存在偏移。其他的实现方式涉及通过使用具有不同尺寸或孔密度的器件来检查“基础”压力谐振频率是否已经偏移;如果孔与孔的距离足够小,基本谐振频率将变得与压力无关,并且隔膜中的任意质量差异或变化可以精确地确定,并且用于对压力灵敏隔膜的校准进行校正。另外的实现方式涉及使用频率扫描来确定压力开始对于总体质量弹簧系统的弹簧常数起作用时的截止频率 (例如,以上的图 5A 中的 530),以根据例如截止频率确定参考压力下的校准曲线并且随后使用所述曲线确定环境压力。

[0065] 在其他实施例中,校准用于考虑温度对于谐振频率的影响,如可以基于材料的热膨胀系数,热膨胀导致了谐振频率的偏移 (杨氏模量的温度变化比热膨胀效应小得多)。可以使用温度传感器和查找表来校正这种偏移。在一些情况下,湿度可能具有对器件的质量或弹簧常数的影响。由于湿度导致的变化也可以通过湿度传感器和查找表来校正。根据校准或模型获得查找表中的校准数据。

[0066] 在某些实施例中,减轻湿度变化对于压力传感器的影响。例如,在一些实现方式

中,用疏水涂层涂覆谐振器隔膜。在其他实现方式中,减小隔膜的表面粗糙度和多孔性。

[0067] 在另一个实施例中,测量相同隔膜的多个较高谐振频率(f_1 、 f_2 、 f_3 ...)并且用于实现校准。因为质量或弹簧常数变化对于谐振频率的影响与压力对于谐振频率的影响不同,谐振频率之比(例如 f_2/f_1 、 f_3/f_2)用于将质量负荷的影响与压力变化进行区分。实质上,最低的隔膜模式(f_1)将比较高模式(要求少得多的腔体体积变化)对于压力灵敏得多。所有模式都近似地如 $\sqrt{k/m}$ 那样依赖于质量和弹簧常数。

[0068] 多种方法可以用于制造这里讨论的传感器设备。在一些实施例中,沉积底部金属电极(例如200nm厚的PVDA1)并且随后在衬底上进行构图,例如裸硅芯片上的氧化硅或氮化硅的普通隔离层,或者下面具有集成电路的CMOS晶片顶部上的隔离层。使用PECVD或LPCVD在顶部上共形地沉积隔离氮化硅或氧化硅,接着是牺牲层(例如,诸如Mo、Al或Cr之类的300-500nm厚的金属层)的沉积,将牺牲层构图为具有襟翼(flap)的合适圆形形状,以便在圆形隔膜区域外部访问这一层以进行牺牲刻蚀。更大的牺牲膜厚度可以用于产生更大的间隙和更小的弹簧常数,具有总体上更小的灵敏度。更小的厚度可以用于测量更低的气体压力。牺牲层沉积之后接着是均匀沉积的氮化硅或氧化硅盖层的沉积(例如200-300nm厚)。将薄的顶部电极(Al)沉积到顶部上并且随后进行构图。越薄电极(例如100nm-200nm)可以用于实现越小的温度膨胀系数。然后用PECVD氮化硅或氧化硅层盖上电极。

[0069] 图8示出了根据具体实施例的在形成谐振压力传感器的工艺流程的步骤中的压力设备800。可以根据上述方法形成设备800,开始于衬底810、绝缘层820、各个氮化物层830和840、底部电极850、牺牲层860、顶部电极870和氮化物盖层880。工艺流程继续,在牺牲层860上停止在隔膜周围按照圆周形式对孔的构图和干法刻蚀(例如,诸如图3所示的开口312之类的开口,直径是 $2\mu\text{m}$)。

[0070] 图9示出了另外步骤时的设备800,其中在牺牲层860的刻蚀期间经由开口990形成了腔体。在一些实施例中,利用PES刻蚀(磷酸、硫酸和乙酸的混合物)选择性地去除基于Mo的牺牲层。在一些实现方式中,设备800还进一步覆盖有在层880上的层(例如,SiN),以减轻谐振隔膜的污染。与用于激励的顶部和底部电极的电连接和接合焊盘通过后续的构图、刻蚀和沉积产生。

[0071] 多种隔膜类型用于适应具体应用。在一些实施例中,厚度小于约2nm或只有几个原子厚度的石墨烯或其他隔膜(例如氮化硼或二硫化钼)用于期望较小的柔性刚度的应用。隔膜中的张力/弹簧常数可能由于较小的厚度(h)而较低,使得内置应力(σ)乘以厚度的乘积非常小($k = 4\pi\sigma h$)。因此,小得多的尺寸的隔膜可以用于实现类似的弹簧常数。例如,实现石墨烯隔膜以获得与具有小得多(小100-1000倍)面积的隔膜类似的压力灵敏度(dz/dP)。在其他实施例中,使用半透性隔膜或具有微孔/纳米孔的隔膜。因为这些隔膜具有针对不同气体的不同渗透性,可以使隔膜对于不同气体的部分压力是选择性的,从而用于通过将传感器的压力读数与不同半透性隔膜进行比较来确定混合物中气体的比率。

[0072] 其他实施例涉及包括压力传感器和欧姆MEMS开关在内的设备,可以使用类似的工艺流程进行处理。通过将传感器和开关进行组合,可以在相同的器件中实现具有不同直径的几个压力传感器。所述开关然后用于在不同的压力传感器之间切换,因为越大的隔膜在越低的压力下越灵敏,而越小的隔膜在越高的压力下越灵敏。利用这种方法可以实现具

有低电容的低成本处理,其中在小的衬底面积上具有减小的寄生电容和非常宽广的压力范围。

[0073] 图 10 示出了根据另一个示例实施例的将压力传感器与 MEMS 麦克风进行组合的设备 1000。设备 1000 包括在共同集成电路衬底 1005 (例如硅) 上的 MEMS 压力传感器和 MEMS 麦克风,所述 MEMS 压力传感器包括具有开口 1022 的隔膜 1020,所述 MEMS 麦克风包括具有开口 1042 的隔膜 1040。所述隔膜由氧化硅材料 1007 和 1008 支撑。背板具有分别在压力传感器和麦克风隔膜上的区域 1010 和 1030 (例如,多晶硅),并且在其中构图有开口 1012 和 1032。电极 (例如金) 1051-1057 如所示地定位。当隔膜由硅制成时为了获得较大的谐振频率,可以将压力传感器的直径选择在 50-100 μm 之间。例如,可以经由背板 1010 施加的偏置来激励隔膜 1020。在一些实现方式中,压力传感器比麦克风的直径 (例如 1mm) 小得多,并且制造在 MEMS 麦克风管芯的角落处。

[0074] 图 11 示出了也将压力传感器与 MEMS 麦克风进行组合的另一个设备 1100。设备 1100 与图 10 所示的设备类似,并且用类似的参考数字进行标记,在压力感测设备上不存在如图 10 所示的在隔膜 1020 上的背板区域 1010。在该实施例中,在下面衬底 1005 和隔膜 1020 之间执行激励。衬底 1005 包括诸如高掺杂硅之类的导电材料,并且用于测量谐振隔膜和衬底之间的阻抗。

[0075] 图 12 示出了如结合一个或多个示例实施例实现的具有已处理晶片 (例如,经由 CMOS) 1230 的设备 1200。CMOS 后端 1232 包括顶部金属层 1234,传感器在 CMOS 后端之上,其间是钝化层 1236。压力传感器包括平面下电极,在该示例中所述平面下电极包括具有富 Si 的 SiN 的 Al 层 1238 或碳化硅盖层 1240。在一些实现方式中,使用 Ti/TiN 或钨底部电极。下电极通过互连通孔与 CMOS 顶部金属层相连。顶部和底部电极通过牺牲氧化物 1241 间隔开,随后在电容器电极之间的区域中进行处理时去除该牺牲氧化物 1241。通过在例如 CMOS 电路等集成电路的顶部上形成压力传感器,实现了全集成方案。CMOS 电路的顶部金属层 1234 可以用作针对上覆 (overlying) 的底部电极的屏蔽板,并且也用于使能互连的形成。

[0076] CMOS 的集成便于对接合引线的消除,这减小了寄生电容。使用如所示的在底部电极下面延伸穿过钝化层 1236 的通孔,也经由位于底部电极下面的金属互连 1234 实现了与压力传感器底部电极的电连接,所述通孔也向上延伸穿过钝化层 1236 和氧化物 1242 以连接接触焊盘 1248。

[0077] 顶部接触焊盘可以用于电路的输入和输出。图 12 示出了 (通过顶部金属层中的侧向连接) 与底部电容器电极接触的接触焊盘。在一些实现方式中,省略了这种直接接触,并且电容器电极实现与用于信号处理的下面 IC 的接触。于是,所述接触焊盘用于 IC 输入和输出。

[0078] 设备 1200 包括钨顶部电极 1244 和电介质密封层 1246。例如,顶部电极可以包括钛-钨、钛、氮化钛、铝、SiGe 和 / 或这些材料的组合。针对电极 1234、1238 和 1244 的多种沉积方法用于适应各种实施例,并且可以包括物理气相沉积、高密度等离子溅射、等离子增强化学气相沉积 (PECVD)、化学气相沉积 (CVD) 和原子层沉积 (ALD)。

[0079] 在牺牲氧化物去除之后沉积密封层 1246,并且密封层 1246 用于部分地或者完全地填充在压力传感器的腔体区域上形成的牺牲刻蚀开口,这可以用于减小隔膜中通风孔的

直径和 / 或个数。在一些实现方式中,密封所述隔膜,然后在选定的点打开开口以产生通风孔。在其他实现方式中,形成不同尺寸的孔,其中在共同的密封工艺中,填充较小的孔并使得较大的孔变小,得到了具有所需孔尺寸的所需个数的孔。在一些实施例中,密封层包括二氧化硅、氮化硅或者这些材料的叠置组合之中的一种或多种。用于氧化硅的沉积方法包括高密度等离子氧化 (HDP 氧化)、等离子增强化学气相沉积 (PECVD)、化学气相沉积 (CVD) 和原子层沉积 (ALD)。

[0080] 铝接触焊盘 1248 提供与器件的连接,填充了 W 的通孔从顶部铝接触焊盘向下延伸至底部电极层,并且也从底部电极层延伸至 CMOS 顶部金属层,如上所述。如果选择不同的材料作为顶部电极,例如选择 SiGe,则因此用不同的材料 (SiGe) 填充通孔和锚定点。

[0081] SiC 层 1240 减轻 / 防止顶部和底部电极之间的短路,并且避免通过牺牲 HF 气相刻蚀对于下面钝化层 1236 的刻蚀。在一些实现方式中,将富 Si 的 SiN 用作刻蚀停止 / 钝化层。将通孔实现为电连接路径以实现与顶部电极以及下面电子器件的接触。在一些实现方式中,锚 1250 用作腔体周围的刻蚀停止保护环,并且用作机械锚以固定隔膜周界处的隔膜挠曲。

[0082] 如上所述的工艺流程和 / 或针对所示和所述的各种设备使用了各种方法。例如,可以将富 Si 的 SiN 层,而不是 SiC,设置在底部电极上,以防止顶部和底部电极之间的短路。可以将这种抗短路层设置在牺牲氧化物层的顶部上,或者可以在牺牲刻蚀氧化物下面和上面均使用富 Si 的 SiN 层。可以对这些层之一进行构图以形成器件抗静摩擦凸块。当将富 Si 的 SiN 层设置在牺牲氧化物层的顶部上时,可以将富 Si 的 SiN 层用作顶部金属电极的支撑层以避免弯折。

[0083] 在一些实现方式中,将电极 1238 用作激励的底部电极,将电极 1239 用作感测电极。其他双电极结构用于适应某些实施例。

[0084] 基于以上讨论和说明,本领域普通技术人员应该理解的是在不严格遵循这里说明和描述的示范实施例和应用的情况下,可以对实施例进行各种改进和变化。例如,可以使用不同形状、厚度和类型的隔膜材料,并且可以将不同的孔尺寸、位置和数量用于隔膜以适应不同的应用。这些改进不脱离包括所附权利要求的本发明的真实精神和范围。

100

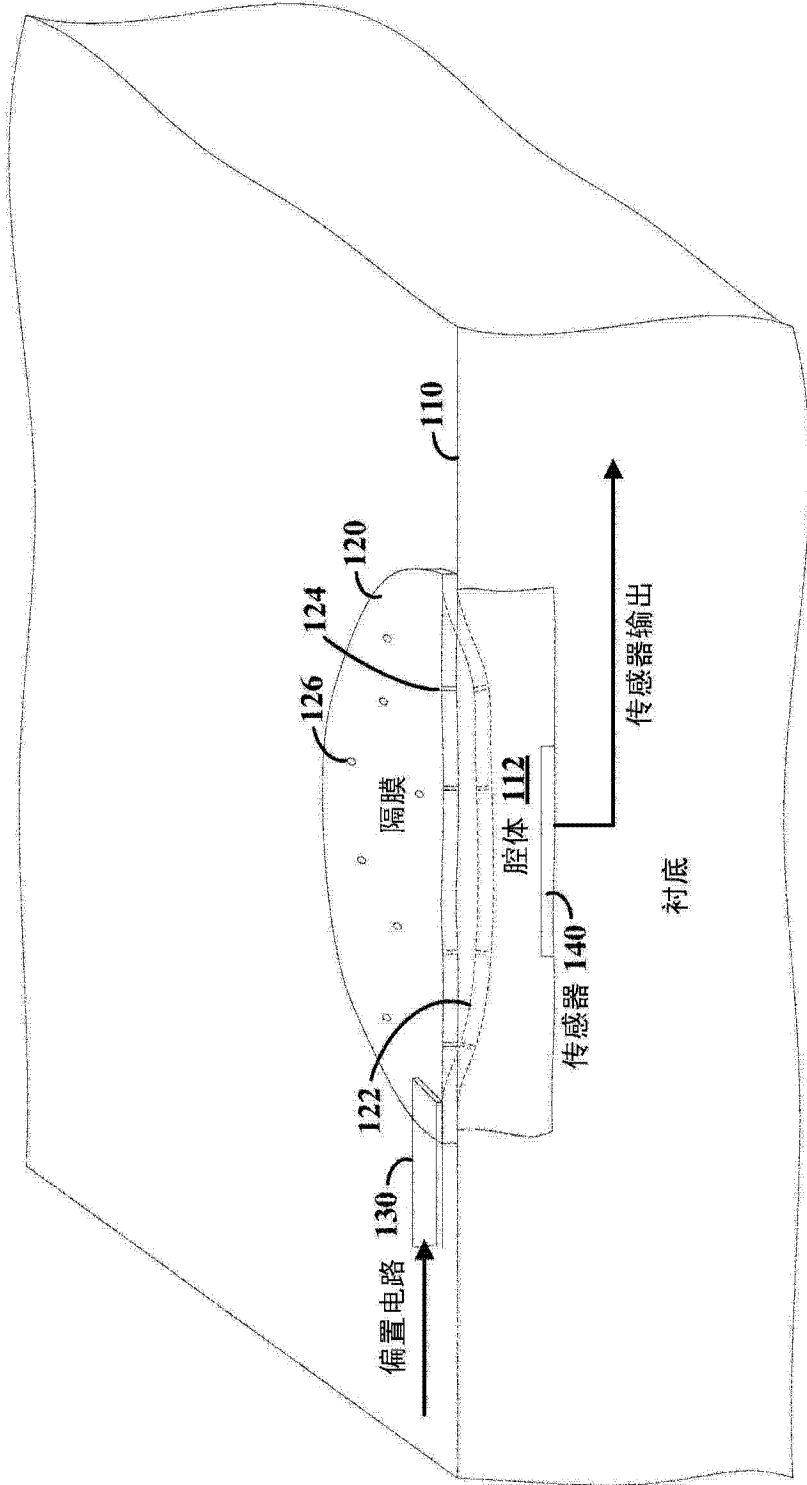


图 1

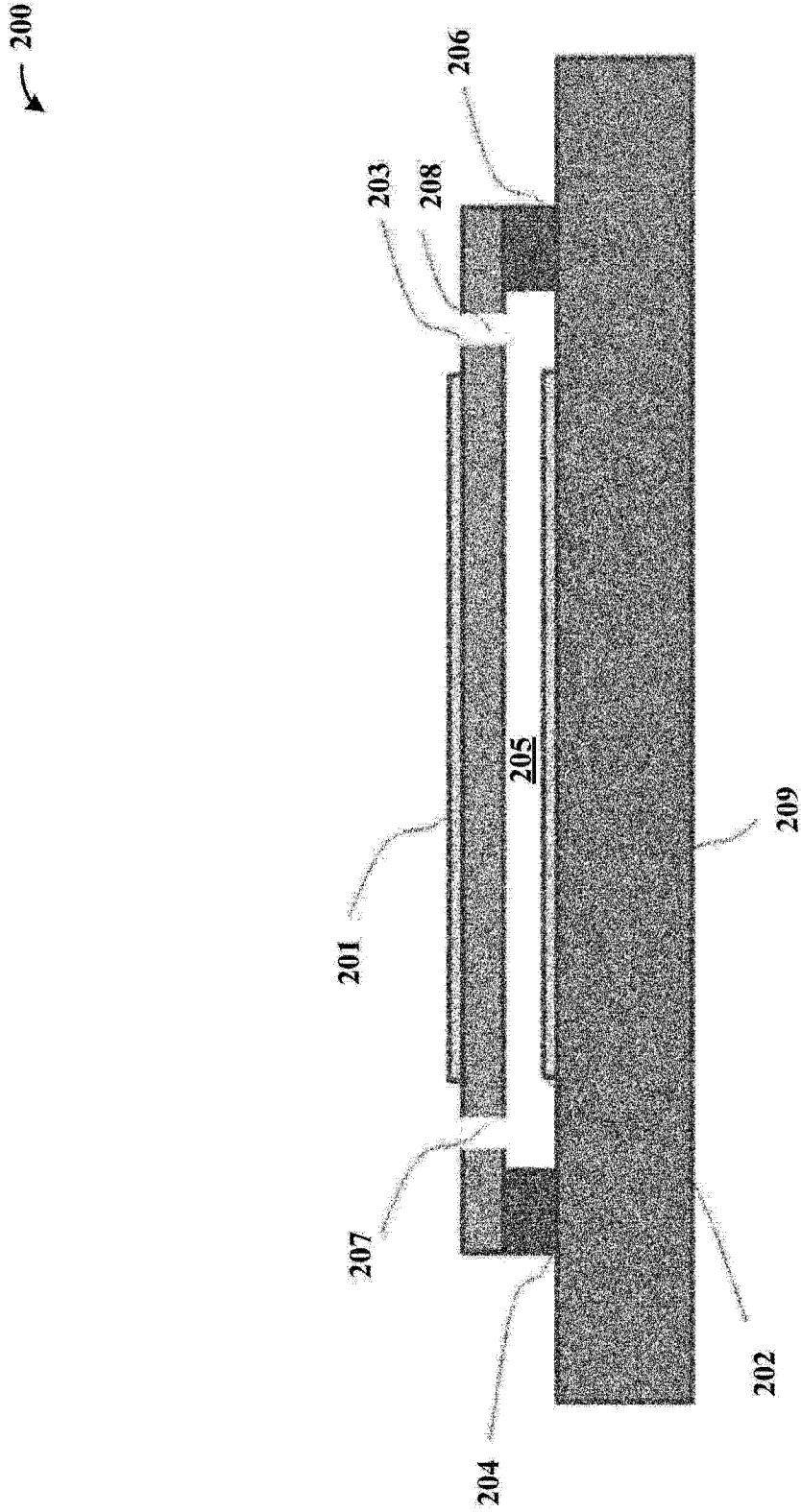


图 2

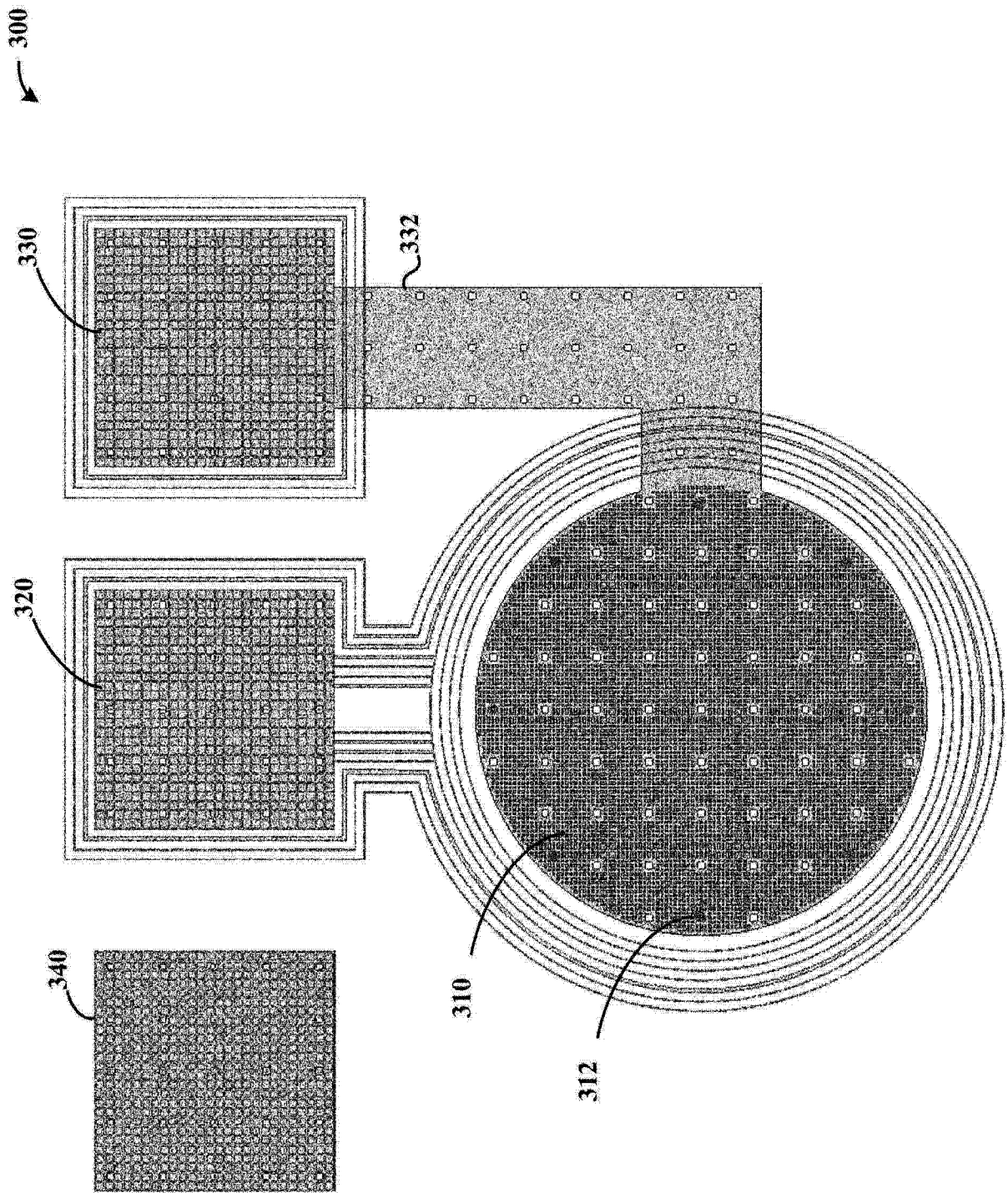


图 3

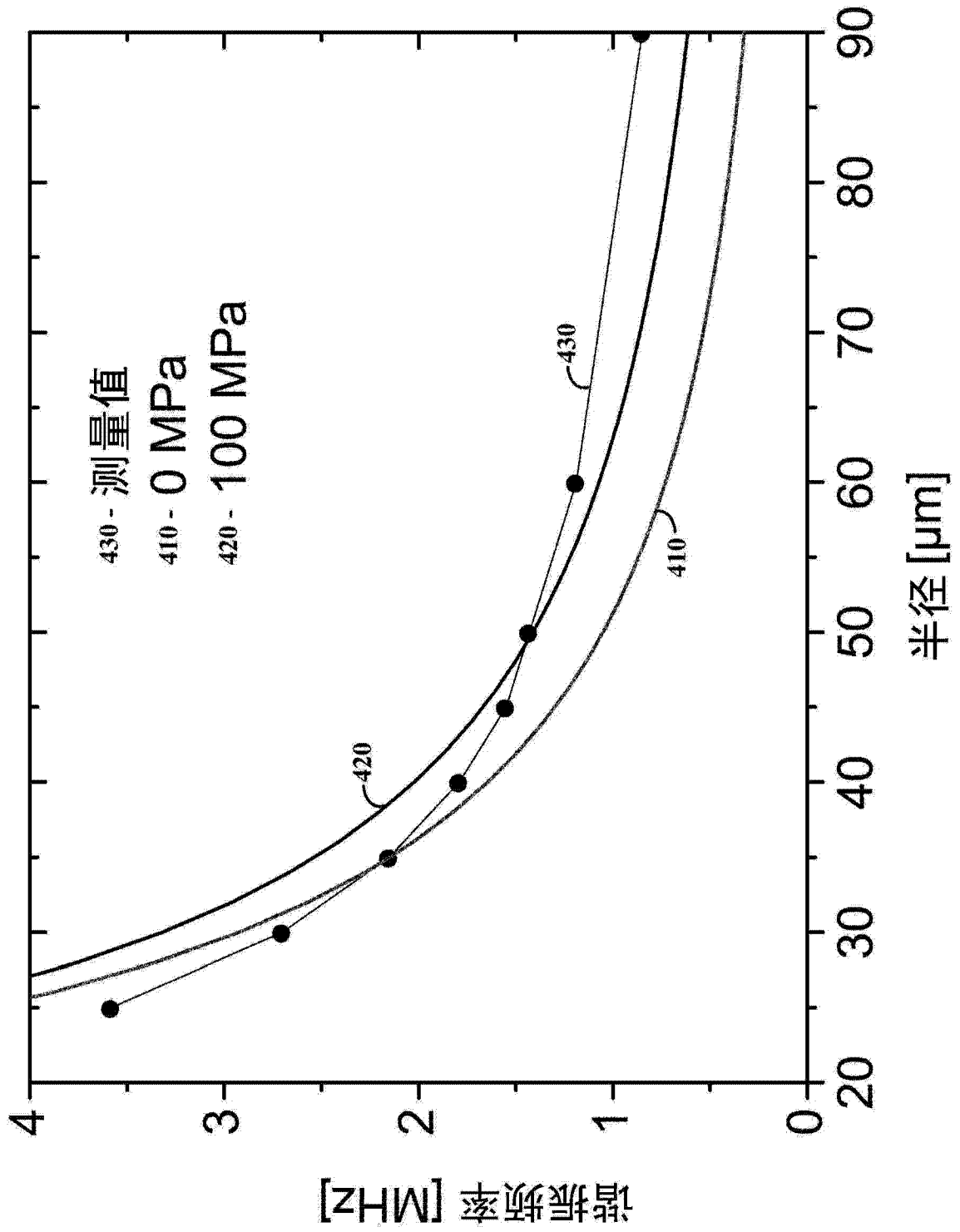


图 4

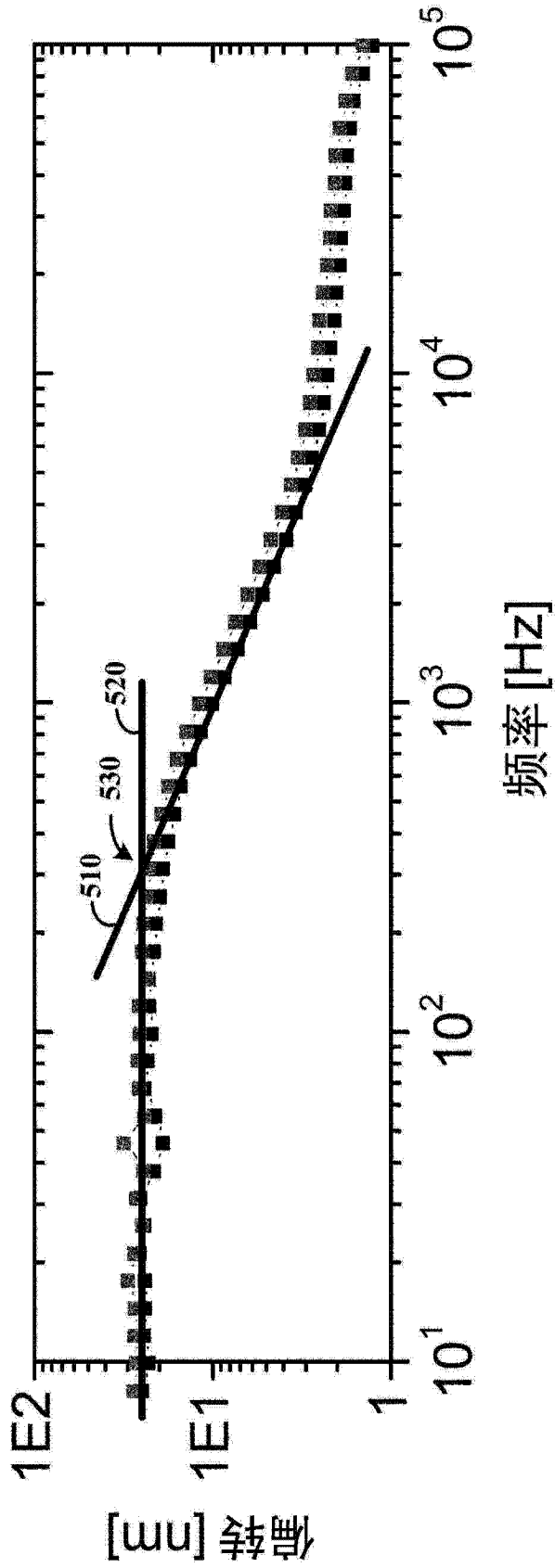


图 5A

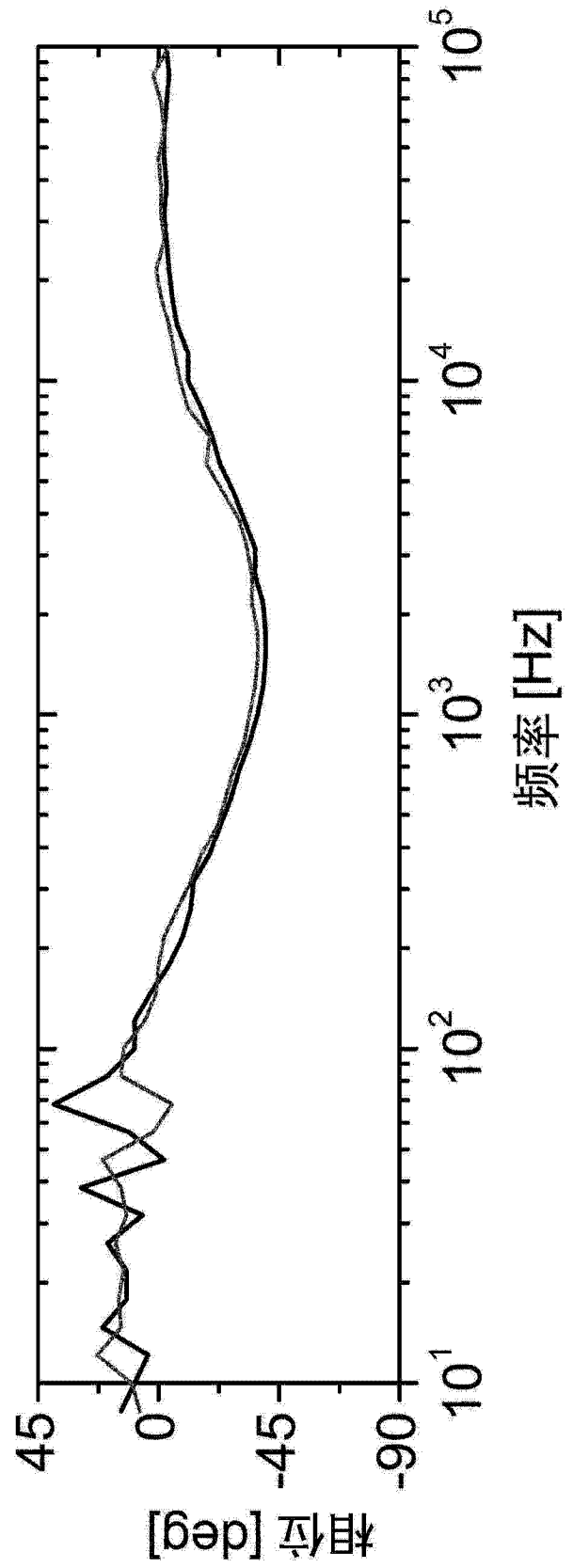


图 5B

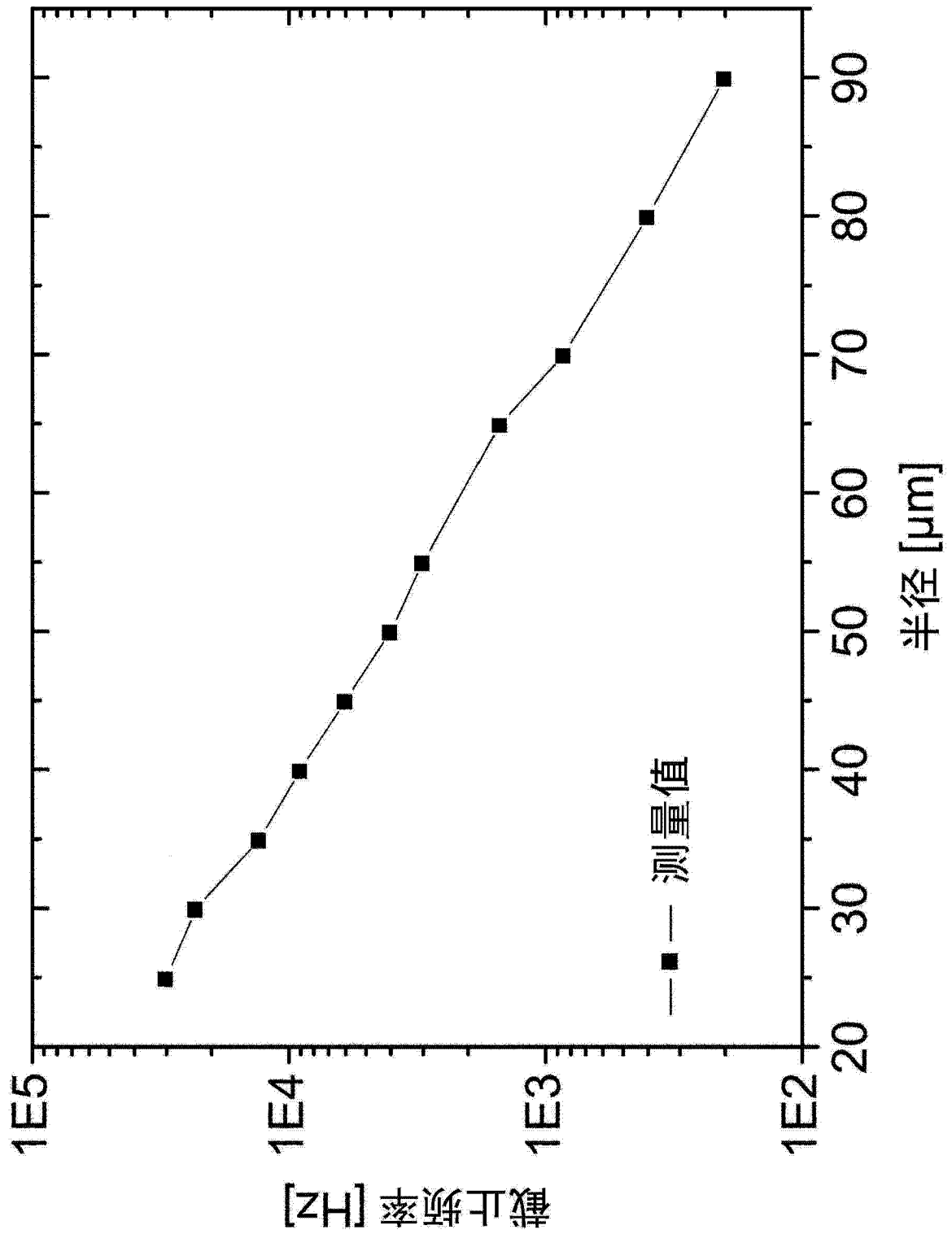


图 6

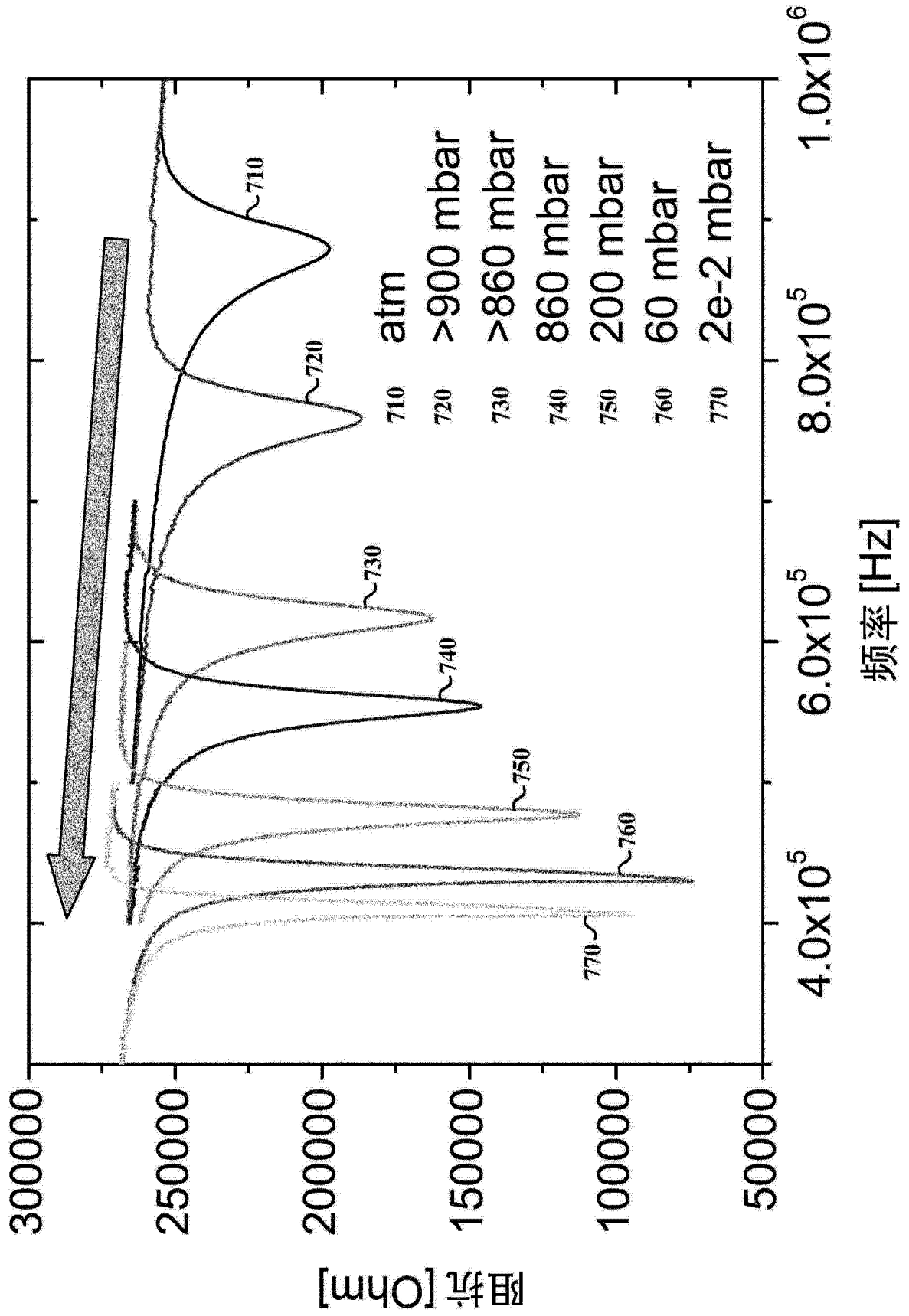


图 7

800

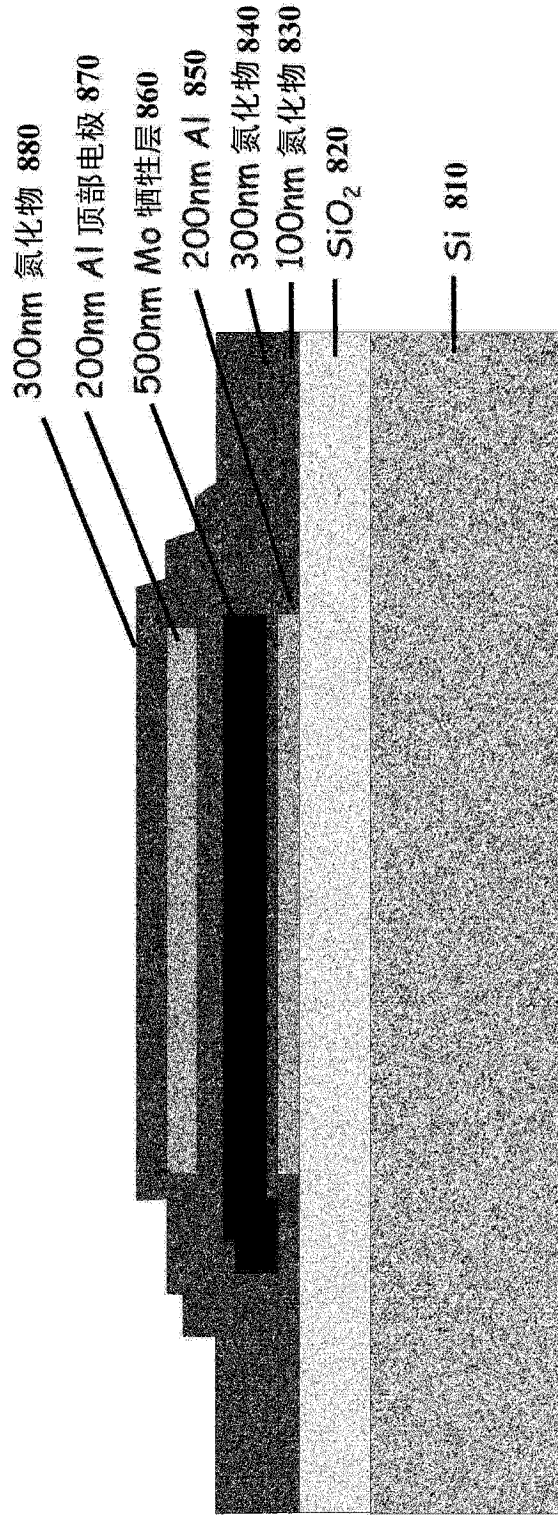


图 8

800

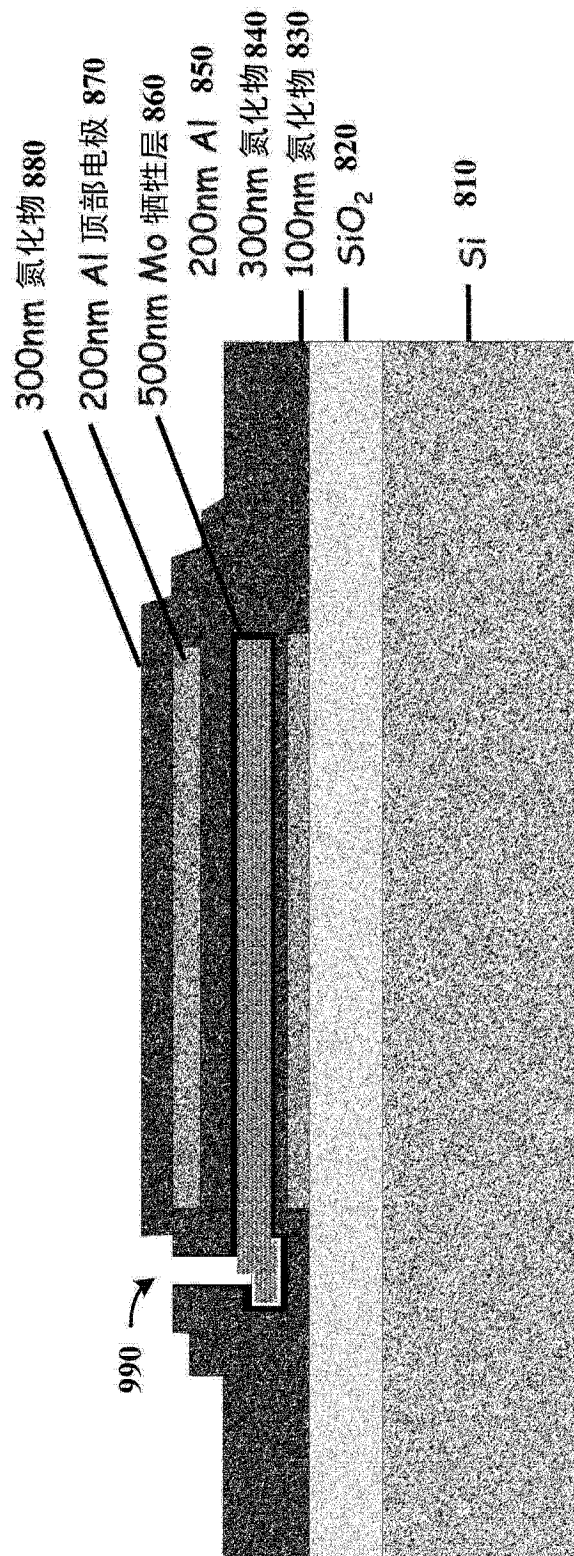


图 9

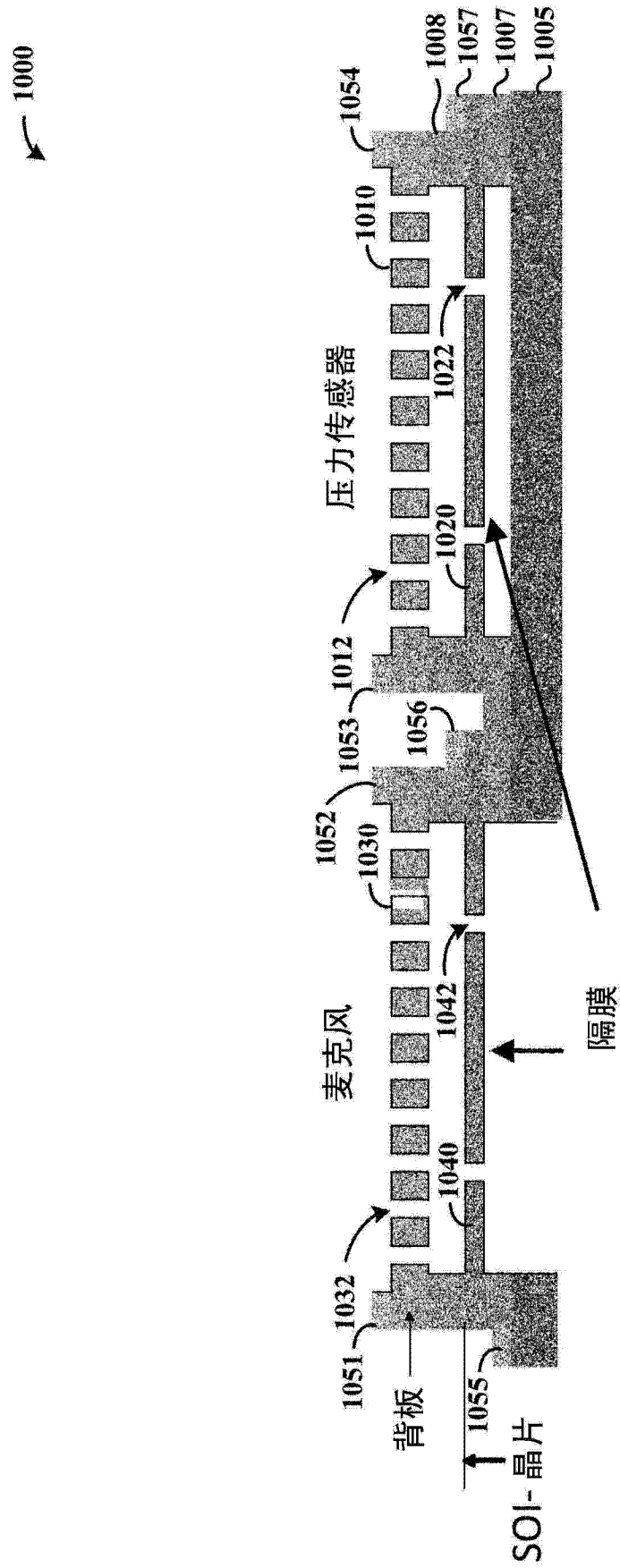


图 10

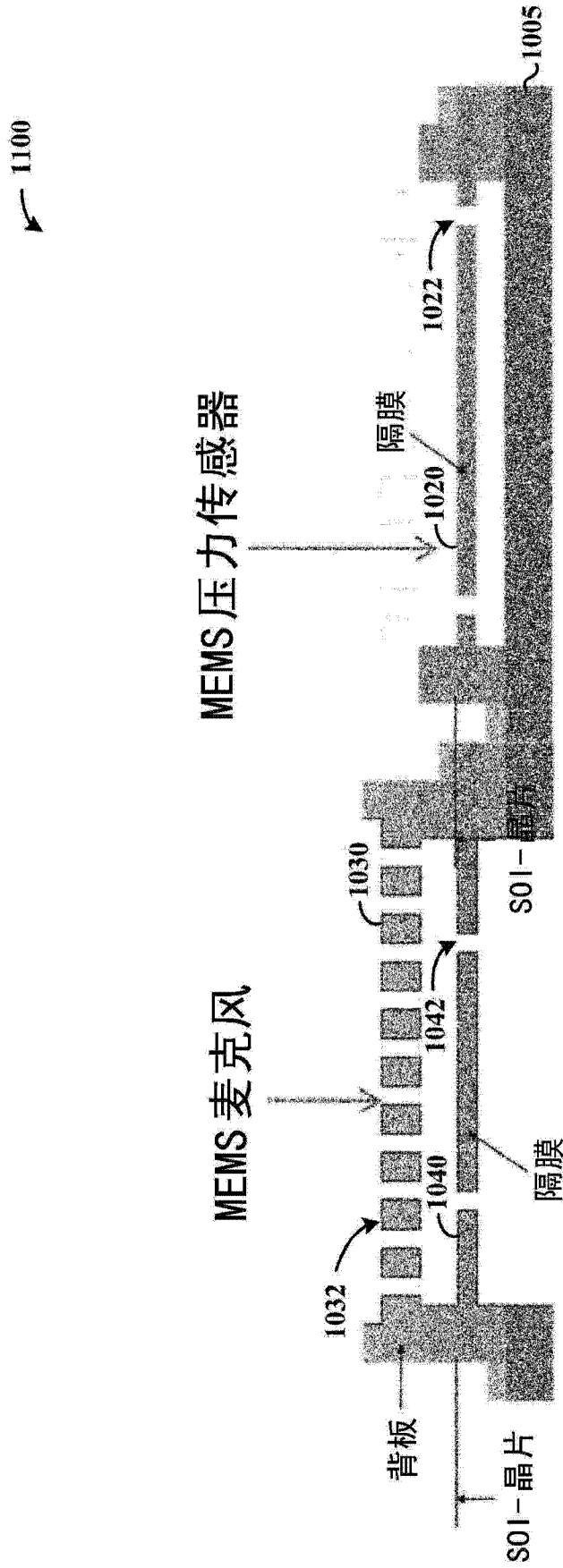


图 11

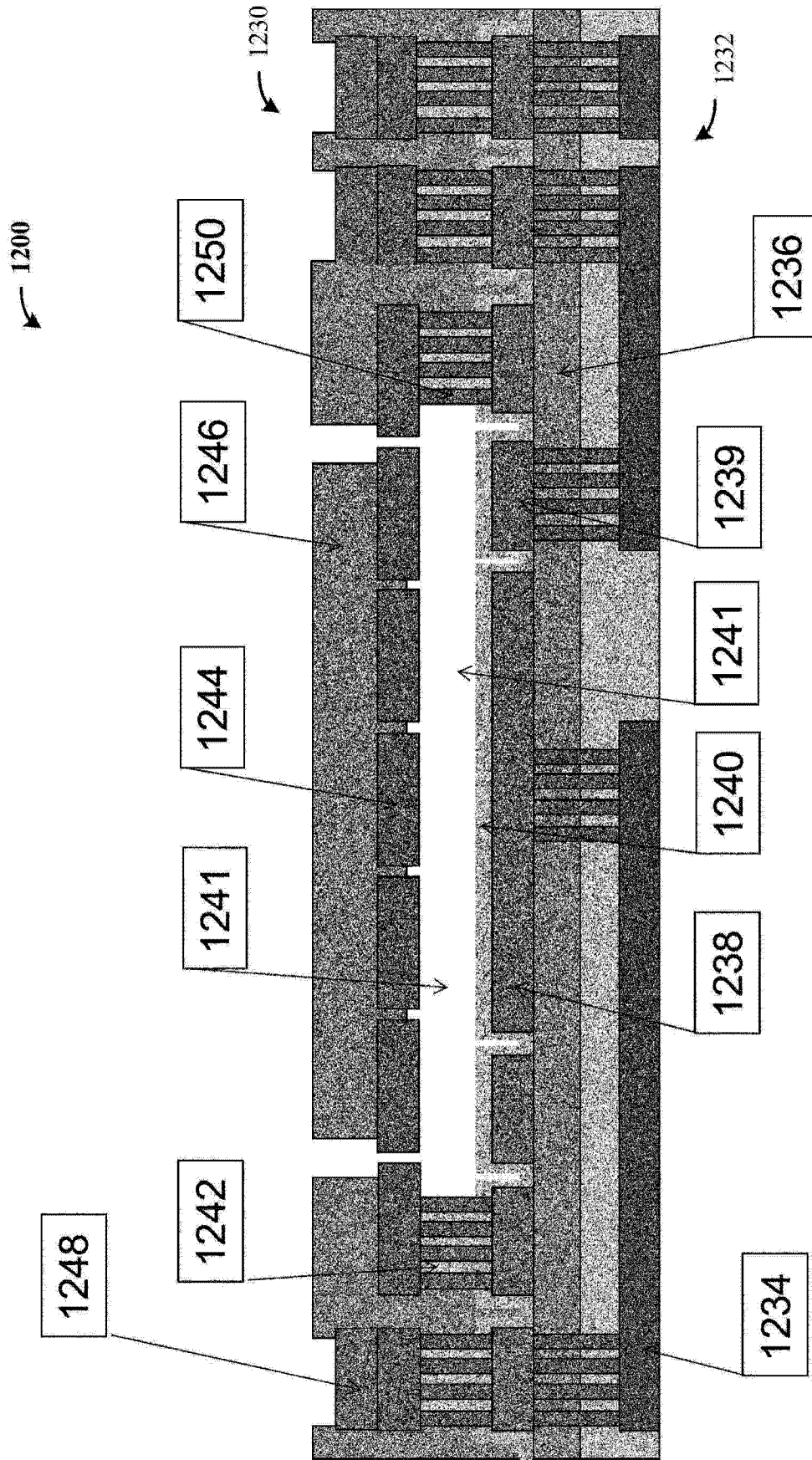


图 12