



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103917304 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 09

(21) 申请号 2012800530001. 1

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22) 申请日 2012. 10. 26

代理人 蔡洪贵

(30) 优先权数据

61/552, 482 2011. 10. 28 US

(51) Int. Cl.

B06B 1/02 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 04. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2012/055919 2012. 10. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/061298 EN 2013. 05. 02

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 P·迪克森 R·德克尔

V·A·亨内肯 A·莱韦斯泰因

B·马赛利斯 J·D·弗雷泽

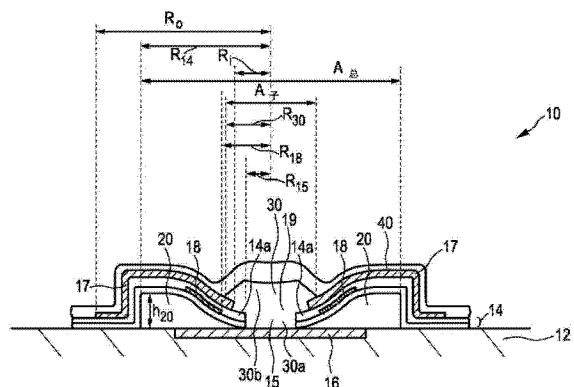
权利要求书1页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

具有应力层的预塌陷电容式微加工换能器单元

(57) 摘要

本发明涉及一种预塌陷电容式微加工换能器单元 (10), 所述单元 (10) 包括基底 (12) 和覆盖总膜区域 ($A_{总}$) 的膜 (14), 其中腔室 (20) 形成于所述膜 (14) 和所述基底 (12) 之间, 所述膜包括孔 (15) 和围绕所述孔 (15) 的边缘部分 (14a)。所述单元 (10) 还包括所述膜 (14) 上的应力层 (17), 所述应力层 (17) 相对于膜 (14) 具有预定应力值, 所述应力层 (17) 适于在所述膜 (14) 上在朝向所述基底 (12) 的方向上提供弯曲力矩, 以使得所述膜 (14) 的所述边缘部分 (14a) 塌陷至所述基底 (12)。本发明还涉及制造所述预塌陷电容式微加工换能器单元 (10) 的方法。



1. 一种预塌陷电容式微加工换能器单元 (10), 包括:
 - 基底 (12),
 - 膜 (14), 所述膜 (14) 覆盖总膜区域 ($A_{\text{总}}$), 其中腔室 (20) 形成于所述膜 (14) 和所述基底 (12) 之间, 所述膜包括孔 (15) 和围绕所述孔 (15) 的边缘部分 (14a),
 - 在所述膜 (14) 上的应力层 (17) 的至少一部分, 所述应力层 (17) 相对于所述膜 (14) 具有预定应力值, 所述应力层 (17) 适于在所述膜 (14) 上在朝向所述基底 (12) 的方向上提供弯曲力矩, 以使得所述膜 (14) 的所述边缘部分 (14a) 塌陷至所述基底 (12)。
2. 根据权利要求 1 所述的单元, 所述应力层 (17) 延伸超过所述总膜区域 ($A_{\text{总}}$)。
3. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述应力层 (17) 包括孔 (19)。
4. 根据权利要求 3 所述的单元, 其中所述应力层 (17) 的所述孔 (19) 大于所述膜 (14) 的所述孔 (15)。
5. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述应力层 (17) 由金属或金属合金制成。
6. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述应力层 (17) 由从包括钨 (W)、钛钨 (TiW)、钼 (Mo) 和钼铬 (MoCr) 的组中选择的至少一种材料制成。
7. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述膜 (14) 的塌陷压力 (P_c) 大于 1 巴, 特别地大于 5 巴或 10 巴。
8. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述膜 (14) 的直径小于 $150 \mu\text{m}$ 。
9. 根据权利要求 1 所述的单元, 还包括布置在所述膜 (14) 的所述孔 (15) 中的塞子 (30), 所述塞子 (30) 仅位于由所述膜 (14) 覆盖的所述总膜区域 ($A_{\text{总}}$) 的子区域 ($A_{\text{子}}$) 中。
10. 根据权利要求 1 所述的单元, 还包括布置在所述膜 (14) 和 / 或所述塞子 (30) 上的覆盖层 (40)。
11. 根据权利要求 1 所述的单元, 还包括在所述基底 (12) 之上或之中的第一电极 (16) 和 / 或在所述膜 (14) 之上或之中的第二电极 (18)。
12. 根据权利要求 1 所述的单元, 其中所述单元为用于发射和 / 或接收超声波的电容式微加工超声换能器 (cMUT) 单元。
13. 一种制造预塌陷电容式微加工换能器单元 (10) 的方法, 所述方法包括如下步骤:
 - 提供基底 (12),
 - 提供覆盖总膜区域 ($A_{\text{总}}$) 的膜 (14), 其中腔室 (20) 形成于所述膜 (14) 和所述基底 (12) 之间,
 - 在所述膜 (14) 上提供应力层 (17), 所述应力层 (17) 相对于所述膜 (14) 具有预定应力值,
 - 在所述膜 (14) 中提供孔 (15), 以使得所述膜 (14) 包括围绕所述孔 (15) 的边缘部分 (14a),所述应力层 (17) 适于在所述膜 (14) 上在朝向所述基底 (12) 的方向上提供弯曲力矩, 以使得所述膜 (14) 的所述边缘部分 (14a) 塌陷至所述基底 (12)。
14. 根据权利要求 13 所述的方法, 其中当提供在所述膜 (14) 中的所述孔 (15) 时, 所述膜 (14) 的所述边缘部分 (14a) 塌陷至所述基底 (12)。
15. 根据权利要求 13 所述的方法, 还包括移除所述应力层 (17)。

具有应力层的预塌陷电容式微加工换能器单元

发明领域

[0001] 本发明涉及一种预塌陷电容式微加工换能器单元,特别地涉及一种电容式微加工超声换能器(capacitive micro-machined ultrasound transducer)(cMUT)单元或一种电容式微加工压力传感器单元,以及制造所述换能器单元的方法。

背景技术

[0002] 最近,已开发出微加工超声换能器(MUT)。微加工超声换能器已以两种设计方法进行制造,一种利用具有压电性能的半导体层(pMUT),而另一种利用形成电容器(所谓的电容式微加工超声换能器(cMUT))的膜(或隔膜)和具有电极的基底(或电极板)。

[0003] cMUT单元包括膜下方的腔室。为了接收超声波,超声波引起膜移动或振动,并且电极之间的电容的振动可被检测。因此,超声波转变为相应的电信号。相反地,施加至电极的电信号引起膜移动或振动,并且从而发射超声波。

[0004] 初始地,cMUT单元生产成以已知为“未塌陷”模式操作。常规的“未塌陷”cMUT单元本质上为非线性装置,其中效率高度取决于电极之间施加的偏置电压。

[0005] 为解决这个问题,最近已开发出所谓的“预塌陷”cMUT单元。在预塌陷cMUT单元中,膜的一部分永久性地塌陷或固定至腔室的底部(或基底)。在一定的偏置电压之上,预塌陷cMUT的效率基本上与偏置电压无关,这使得cMUT单元更具线性。

[0006] 在预塌陷cMUT单元中,膜可利用不同的方法塌陷,例如,利用电塌陷或机械塌陷。

[0007] 电塌陷例如可利用偏置电压实现。W02009/037655A2公开了一种生产cMUT的方法,所述方法包括:提供几乎完整的cMUT,其中所述几乎完整的cMUT限定一个或多个cMUT元件,所述cMUT元件包括:(i)基底层,(ii)电极板,(iii)膜层,和(iv)电极环;限定穿过每个cMUT元件的膜层的至少一个孔;施加横跨一个或多个cMUT元件的膜层和基底层的偏置电压以使膜层相对于基底层塌陷;以及通过施加封装层而使塌陷膜层相对于基底层固定并密封。

[0008] 机械塌陷例如可利用环境空气压力实现。W02010/097729A1公开了一种cMUT单元,该cMUT单元包括基底、附接至基底的第一电极、以及与第一电极间隔开的关系形成的可移动膜、附接至膜的第二电极和保持构件;该保持构件在膜处于预塌陷状态时遮盖可移动膜,这在不存在偏置电压的情况下作用以将膜保持在其预塌陷状态。在一个实例中,保持构件铸造(cast)于cMUT换能器单元上方,同时膜通过对该膜施加(大气)压力被带入至预塌陷状态。

[0009] 如W02010/097729A1中所公开的预塌陷cMUT单元已成功地制造为具有较大直径膜的低频cMUT单元。塌陷压力是低的并且cMUT单元通过环境空气压力塌陷(即,膜接触腔室的底部)。然而,关于高频cMUT单元,不能施加如W02010/097729A1所公开的保持构件,因为塌陷压力非常大并且可容易地超出例如5巴或甚至10巴。在这种情况下,如W02010/097729A1中所公开的保持层的强度不足以将膜保持到位。因此,如W02010/097729A1中所公开的cMUT单元的问题为,其本质上为“大膜”解决方案,但是对具

有小膜直径的高频 cMUT 单元不起作用。

[0010] 存在改善此类预塌陷电容式微加工换能器单元（特别是高频）的需求。

发明内容

[0011] 本发明的目标是提供一种改善的预塌陷电容式微加工换能器单元和制造该换能器单元的方法，特别是针对高频预塌陷电容式微加工换能器单元。

[0012] 在本发明的第一方面，提出一种预塌陷电容式微加工换能器单元，其包括基底、覆盖总膜区域的膜，其中腔室形成于膜和基底之间，膜包括孔和围绕该孔的边缘部分。所述单元还包括在膜上的应力层的至少一部分，应力层相对于膜具有预定应力值，应力层适于在膜上在朝向基底的方向上提供弯曲力矩以使得膜的边缘部分塌陷至基底。

[0013] 在本发明的另一方面，提出了一种预塌陷电容式微加工换能器单元，其包括基底、膜和形成于膜和基底之间的腔室，膜包括孔和围绕孔的边缘部分，膜的边缘部分塌陷至基底。所述单元还包括形成在膜上的应力层的至少一部分，应力层相对于膜具有预定应力或应力值。

[0014] 在本发明的又一方面，提出了一种制造预塌陷电容式微加工换能器单元的方法，所述方法包括以下步骤：提供基底，提供覆盖总膜区域的膜，其中腔室形成于膜和基底之间。该方法还包括以下步骤：在膜上提供应力层，应力层相对于膜具有预定应力值；在膜中提供孔以使得膜包括围绕孔的边缘部分，应力层适于在膜上在朝向基底的方向上提供弯曲力矩以使得膜的边缘部分塌陷至基底。

[0015] 本发明的基本思想是提供一种简约解决方案，以用于提供一种预塌陷电容式微加工换能器单元，特别地高频预塌陷电容式微加工换能器单元。相对于膜具有特定应力或应力值的应力层（或成品单元中的应力层的至少一部分）存在或形成于膜上。应力层适于或构造成在膜上在朝向基底的方向上提供弯曲力矩（或膜的偏转），以使得膜的边缘部分塌陷至基底。换句话说，弯曲力矩充分大以使基底的边缘部分塌陷至基底。应力层用于将膜的边缘部分带至基底（或腔室的底部）。换句话说，应力层引起弯曲力矩，该弯曲力矩迫使膜塌陷（特别地，弯曲力矩足够大以使膜弯曲至基底或腔室的底部）。应力层因此迫使膜塌陷。特别地，偏转的幅度或无约束偏转（即，在不存在基底的情况下）应超出腔室的高度（或间隙距离），以使得膜塌陷至基底。特别地，如果应力层布置在膜的背离基底的侧面上，那么应力值应为负的，因而是压缩应力或压缩力。在这种情况下，应力层具有预定量的压缩应力。或者，如果应力层布置在膜的面向基底的侧面上，那么应力值应为正的，因而是拉伸应力。在这种情况下，应力层具有预定量的拉伸应力。

[0016] 额外应力层被施加或引入所述单元（形成于膜上），额外应力层具有（有意地产生的）特定应力值或水平并且优选是特定位置，以迫使膜塌陷。另外，应力层的位置可有助于在膜上在朝向基底的方向上提供弯曲力矩（或在朝向基底的方向上产生膜的位移）。应力层的应力值以及可能地还有其位置可选择成使得在膜中提供孔时膜的边缘部分塌陷至基底。应力层可临时存在（例如，仅在制造过程中）或永久性地存在（例如，在制造的成品单元中）。

[0017] 本发明的优选实施例限定于从属权利要求中。应理解，所要求保护的制造方法具有与所要求保护的单元和从属权利要求中所限定的优选实施例类似的和 / 或等同的优选

实施例。

[0018] 在一个实施例中,应力层延伸超过总膜区域。如此,应力层的位置在膜上在朝向基底的方向上提供了弯曲力矩。例如,在圆形单元和膜的情况下,总膜区域可由膜(或腔室)的直径限定。在该情况下,应力层的外半径可大于总膜区域的半径。

[0019] 在另一个实施例中,应力层包括孔。如此,可容易地在膜中(特别地在总膜区域的中心)提供孔。应力层中的孔也可特别地处于总膜区域的中心。优选地,应力层中的孔的中心和膜中的孔的中心对齐。

[0020] 在本实施例的变型中,应力层的孔大于膜的孔。如此,应力层的位置有助于在膜上在朝向基底的方向上提供弯曲力矩,特别是在结合先前实施例使用时。应力层的这种孔对膜的偏转外形具有有益效果。孔的尺寸可优化以实现最大效果。例如,在圆形单元和膜的情况下,应力层的内半径(或边缘部分的边缘)可大于膜的孔的半径。

[0021] 在又一个实施例中,应力层由金属或金属合金制成。这些材料已表现出以容易方式提供所需的应力值。

[0022] 在又一个实施例中,应力层由从包括钨(W)、钛钨(TiW)、钼(Mo)和钼铬(MoCr)的组选择的至少一种材料制成。这些材料已表现出以有利的方式提供所需的应力值,因为它们提供了高熔点。利用这些金属(合金),应力值可调节至所需值。

[0023] 更进一步,在一个实施例中,膜的塌陷压力大于1巴。在本实施例的变型中,膜的塌陷压力大于5巴。在本实施例的另一变型中,膜的塌陷压力大于10巴。具有大于1巴(或5巴或甚至10巴)的塌陷压力的膜不会通过环境压力塌陷,而是需要应力层来提供塌陷。

[0024] 在另一个实施例中,膜的直径小于 $150\ \mu\text{m}$,特别地小于 $100\ \mu\text{m}$ 。如此,提供了高频预塌陷电容式微加工换能器单元。中心频率可例如大于8MHz,特别地大于10MHz。

[0025] 在又一个实施例中,所述单元还包括布置在膜的孔中的塞子,塞子仅位于由膜覆盖的总膜区域的子区域中。

[0026] 在又一个实施例中,所述单元还包括布置在膜和/或塞子上的覆盖层。如此,可实现所述单元厚度或膜厚度与所述单元的特定共振频率的匹配(从而提供声学性能控制)或与操作范围的匹配。另外,覆盖层可提供化学钝化。

[0027] 在另一个实施例中,所述单元还包括基底之上或之中的第一电极和/或膜之上或之中的第二电极。如此,可以容易的方式提供电容式单元。

[0028] 在又一个实施例中,第二电极为环形电极。在另一个实施例中,腔室为环形腔室。在这些实施例的任一者中,所述单元可为圆形单元。圆形状是一种有利的单元形状,因为该形状提供了可用空间的相当良好的填充和/或非常少的较高阶振动模式,特别是与对于发射的能量所需的模式对抗或产生掩盖所需的接收信号的非所需信号的振动模式。

[0029] 在又一个实施例中,所述方法还包括移除应力层。如此,提供了一种具有改善的热特性的单元,特别地与温度更少地相关(例如,如果应力层由金属制成)。特别地,可移除整个应力层,或可移除应力层的主要部分(例如,仅留下应力层的一些残余物)。

[0030] 在另一个实施例中,当在膜上提供额外的层时提供应力层。如此,可以容易的方式提供应力值。

[0031] 在一个实施例中,所述单元为电容式微加工超声换能器(cMUT)单元以用于发射

和 / 或接收超声波。在替代实施例中,所述单元为用于测量压力的电容式微加工压力换能器 (或传感器) 单元。

附图说明

[0032] 本发明的这些和其他方面参考下文所描述的实施例将是显而易见的并进行阐述。在附图中:

[0033] 图 1 根据第一实施例示出了预塌陷电容式微加工换能器单元的横截面示意图,

[0034] 图 2 根据第二实施例示出了预塌陷电容式微加工换能器单元的横截面示意图,

[0035] 图 3a 至 3i 各自示出了制造根据第一实施例或第二实施例的塌陷电容式微加工换能器单元的方法的不同制造步骤,

[0036] 图 3f 和 3g 各自示出了制造根据第二实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元的方法的制造步骤,和

[0037] 图 4 示出了根据一个实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元的一组掩模的顶视图。

具体实施方式

[0038] 可示出,塌陷压力 P_c (即,静态空气或水压力,膜通过静态空气或水压力恰好接触基底或腔室的底部) 等于

$$[0039] \quad P_c = \frac{64 \cdot g \cdot D}{r^4}, \text{ 其中 } D = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)},$$

[0040] 其中 g 为腔室的高度 (也称为间隙), r 为膜的半径, t 为膜的厚度, E 为杨氏模量并且 ν 为泊松比。

[0041] 如根据上式可见,塌陷压力刻度分为 $P_c \sim 1/r^4$, 其中 r 为膜的半径。膜的较小直径意味着更高的塌陷压力。对于许多实际超声装置,例如 10MHz 超声探针,塌陷压力容易地超出 5 巴或甚至 10 巴。这点对高频单元,例如在约 8MHz 或以上的中心频率,是特别真实的。在这种情况下,如例如 W02010/097729 所公开的保持构件或层将无法保持塌陷模式。

[0042] 图 1 示出了根据第一实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元 10 的横截面示意图,并且图 2 示出了根据第二实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元 10 的横截面示意图。本文所述的单元 10 可特别地为高频预塌陷电容式微加工换能器单元,例如具有小于 150 μm 、特别地小于 100 μm 的膜直径和 / 或大于 8MHz、特别地大于 10MHz 的中心频率。仅作为实例,具有约 10MHz 的频率的换能器单元具有约 60 μm 的膜直径。然而,将理解的是,本文所描述的单元也可施加较低的频率。

[0043] 图 1 或图 2 的单元 10 包括基底 12。基底 12 可例如由硅制成,但不限于此。基底 12 可例如载有 ASIC, ASIC 电连接至单元 10 并从而提供外部电连接。

[0044] 单元 10 还包括覆盖总膜区域 $A_{\text{总}}$ (在基底之中或平行于基底的平面中) 的可移动的或柔性的膜 14 (或隔膜)。腔室 20 形成于膜 14 和基底 12 之间。膜 14 包括孔 15 和围绕孔 15 的 (内部) 边缘部分 14a。(内部) 边缘部分 15 形成台阶或突出部或脊部。换句话说,边缘部分 14a 的上表面高于膜 14 的上表面 (或其电极)。膜 14 的孔 15 位于总膜区

域 $A_{\text{总}}$ 的中心或中心区域。边缘部分 14a 塌陷至基底 12, 从而提供预塌陷单元。换句话说, 边缘部分 14a (或膜 14) 接触基底 12 (或腔室 20 的底部)。

[0045] 图 1 中所示的第一实施例或图 2 中所示的第二实施例的单元 10 还包括形成于基底 12 之上或之中的第一电极 16 和形成于 (或嵌于) 膜 14 中的第二电极 18。换句话说, 基底 12 包括位于其中或其上的第一电极, 并且膜 14 包括位于其中的第二电极 18。特别地, 第一电极 16 可视为基底 12 的一部分, 并且第二电极 18 可视为膜 14 的一部分。如此, 提供了一种电容式单元。单元 10 可特别地为电容式微加工超声换能器单元以用于发射和 / 或接收超声波。为了接收超声波, 超声波引起膜 14 (和其电极 18) 移动或振动, 并且第一电极 16 和第二电极 18 之间的电容的振动可被检测。因此, 超声波转变为相应的电信号。相反地, 施加至电极 16、电极 18 的电信号引起膜 14 (和其电极 18) 移动或振动, 并且从而发射超声波。或者, 所述单元也可为任何其它合适的电容式微加工换能器单元, 诸如, 例如用于测量压力的电容式微加工压力换能器 (或传感器) 单元。

[0046] 在本文所描述的实施例中, 膜 14 包括多个 (例如, 两个) 层, 特别地电绝缘层或介电层 (例如, ONO 层), 该多个层具有嵌入其中或其之间的第二电极 18。仅作为实例, 每个 ONO 层可各自具有约 $0.25 \mu\text{m}$ 的厚度, 但不限于此。另外, 仅作为实例, 膜 14 的直径可介于 $25 \mu\text{m}$ 和 $150 \mu\text{m}$ 之间, 特别地 $50 \mu\text{m}$ 和 $150 \mu\text{m}$ 之间或 $40 \mu\text{m}$ 和 $90 \mu\text{m}$ 之间或 $60 \mu\text{m}$ 和 $90 \mu\text{m}$ 之间。此外, 仅作为实例, 腔室的高度 (间隙高度) 可介于 $0.25 \mu\text{m}$ 和 $0.5 \mu\text{m}$ 之间。然而, 将理解的是, 可使用任何其他合适的膜 (例如, 单层膜) 或尺寸。另外, 在本文所描述的实施例中, 第二 (顶部) 电极 18 为环形电极 (或环状电极), 该电极在其中心或中间具有孔。然而, 将理解的是, 可使用任何其他合适的第二电极。

[0047] 相比于图 2 的第二实施例, 图 1 的第一实施例的单元 10 还包括 (永久性地) 形成于膜上的应力层 17, 应力层 17 相对于膜 14 具有预定应力或应力值 (特别地为非零)。应力层适于在膜 14 上在朝向基底 12 的方向上 (图 1 中向下) 提供弯曲力矩 (或力) (并从而提供膜 14 的偏转), 以使得膜 14 的边缘部分 14a 塌陷至基底 12。弯曲力矩足够大以使边缘部分 14a 塌陷至基底 12。在图 1 的第一实施例中, 应力层 17 永久性地存在, 从而存在于制造的成品单元中。因此, 在这个实施例中, 应力层 17 也为可移动的或柔性的, 以能够与膜 14 一起移动或振动。

[0048] 在图 1 的第一实施例中, 应力层 17 的位置也有助于在膜上在朝向基底 12 的方向上提供弯曲力矩 (或偏转)。如图 1 中可见, 应力层 17 延伸超过总膜区域 $A_{\text{总}}$ 。应力层 17 还包括孔 19。应力层 17 中的孔 19 处于总膜区域 $A_{\text{总}}$ 的中心或中心区域, 并且与膜 14 中的孔 15 对齐。然而, 应力层 17 的孔 19 大于膜 14 的孔 15。

[0049] 关于应力层材料的选择, 在沉积时, 例如由于化学组成、沉积温度和环境温度之间的热收缩或两者的组合, 许多材料可具有固有应力。在材料层沉积时, 沉积条件可确定应力值。例如, 应力层可通过溅射进行沉积 (例如, 用于金属应力层的沉积)。在这种情况下, 例如, 溅射期间的气体压力可确定应力值。

[0050] 应力层 17 可特别地由金属或金属合金制成, 特别地由从包括钨 (W)、钛钨 (TiW)、钼 (Mo) 和钼铬 (MoCr) 的组选择的至少一种材料制成。这些材料已呈现出以有利的方式提供所需的应力值, 因为它们提供了高熔点。利用这些金属 (合金), 应力值可调节至所需值。在另一个实例中, 应力层 17 可由压缩氮化物和蚀刻停止层 (优选地金属) 的组合制成。或

者,应力层 17 也可由非金属材料制成。例如,应力层 17 可由 Si_3N_4 (硅氮化物)制成,特别地在“应力条件”下沉积。

[0051] 例如,应力层 17(例如,由 Si_3N_4 制成)可通过等离子体增强化学气相沉积来沉积。作为实例,如果硅氮化物沉积于等离子体增强化学沉积系统中,并且如果调整该系统的操作参数(诸如,例如压力、温度、等离子体电源、RF 设置或两种元素的气流速率),那么 Si 对 N 的比率可变化(例如,从严格的 3:4 比率变化)。这可例如用于诱导应力层中的固有应力。

[0052] 在图 1 的实施例中,应力层 17 布置在膜 14 的背离基底的侧面上(在图 1 中膜的顶部上)。因此,为了提供塌陷状态,应力值应为负的,因而是压缩应力。换句话说,图 1 的应力层 17 具有预定量的压缩应力。然而,将理解的是,应力层或者也可布置在膜的面向基底的侧面上。于是,为了提供塌陷状态,应力值应为正的,因而是拉伸应力。在这种情况下,应力层具有预定量的拉伸应力。

[0053] 应力值也取决于几何形状,特别是膜的厚度 t 、膜的直径(或半径),和/或腔室 20 的高度 h_{20} (或也称为间隙值 g),因而所需的偏转的量。应力值特别地选择,以使得偏转的幅度超出腔室 20 的(最大)高度 h_{20} 使得膜 14 塌陷至基底 12。仅作为实例,应力值可约为 100 兆帕斯卡(Mpa)的数倍。上文所引用的金属可例如调节至最多 1000Mpa。特别地,膜 14(和其电极 18)的塌陷压力 P_c (参见上式)可大于 1 巴,或 5 巴,或甚至 10 巴。

[0054] 膜 14(包括其电极 18)的层、覆盖层 40 和此外图 1 的实施例中的应力层 17 移动或振动。这些层确定膜或振动元件的总体刚度。总体刚度连同膜直径和间隙高度 h_{20} 是换能器的性能的重要因素(例如,共振频率和电气(塌陷)电压)。

[0055] 相比于图 1 的第一实施例,图 2 的第二实施例的所述单元在制造的成品单元 10 中并不包括应力层。然而,将理解的是,这种应力层可临时存在,因而仅存在于制造过程中并且不存在于最终产品中。

[0056] 图 2 的第二实施例是优选的实施例。这将在下文中进行解释。在金属用作应力层 17 时,应力值由于热膨胀系数的差异也与温度相关。如果应力层 17 将保持在成品单元 10 或最终产品中,那么将导致所述单元(特别地 cMUT)的与温度相关的特性,这可引起例如塌陷电压的热漂移。为此,应力层 17 在图 2 的优选第二实施例中移除。如果为了声学原因而需要额外的金属层(以改善膜的声学阻抗),那么其必须添加为覆盖整个膜的最后层。现在,热漂移预期小很多(其在理论上将精确为零,因为无力矩)。

[0057] 在另一个实施例(未示出)中,仅应力层 17 的一部分(或残余物)可存在于成品单元 10 或最终产品中。在这种情况下,应力层 17 在制造过程中被移除合理的量,但是应力层 17 的残余物,特别地在所述单元的中心,是存在的(或至少可能是可见的)。

[0058] 图 1 中所示的第一实施例或图 2 中所示的第二实施例的单元 10 还包括布置在膜 14 的孔 15 中的塞子 30。塞子 30 仅位于由膜 14 覆盖的总膜区域 $A_{\text{总}}$ 的子区域 $A_{\text{子}}$ 中。总膜区域 $A_{\text{总}}$ 由膜 14(或腔室 20)的直径 $2 \cdot R_{14}$ 限定。塞子 30 接触或被固定至基底 12。塞子 30 是静止的(非可移动的)。塞子 30 的高度和/或宽度可确定塞子的强度。仅作为实例,可能需要约 $1 \mu\text{m}$ 的最小高度。塞子 30 可特别地由氮化物制成。在另一个实例中,塞子 30 由二氧化硅或氮化物和二氧化硅的组合制成。然而,任何其他合适的材料是可能的。

[0059] 在图 1 的第一实施例或图 2 的第二实施例中,塞子 30 具有“蘑菇状”形状。因此,

塞子 30 包括布置在（且接触或固定于）基底 12 上的茎部 30a 和布置在（且接触或固定于）膜的边缘部分 14a 上的头部 30b。子区域 $A_{子}$ （塞子 30 位于其中）小于由环形（或环状）第二电极 18 的孔所限定的区域。换句话说，塞子（在子区域 $A_{子}$ 中）处于第二电极 18 的电极环的孔内部。这是因为塞子 30 为静止的（非可移动的）并且第二电极 18 应位于膜 14 的可移动区域中。如果第二电极 18 位于非可移动区域（例如，塞子 30 位于其中的子区域 $A_{子}$ ）中，那么这将有损所述单元的换能性能。因此，如此，第二电极 18 位于膜 14 的可移动区域中并且不位于非可移动区域中，使得所述单元的良好换能性能得以保持。

[0060] 塞子 30 位于或仅覆盖总膜区域的子区域，并且因此其并非位于或覆盖整个总膜区域（且可能延伸超过总膜区域）的保持层。与塞子 30 相反，这种保持层有些类似于弹簧，因为其将把膜保持至表面，但是如果您在向上方向上（远离基底）在膜上施加足够强的力（例如，拉），那么膜仍将移动。该过程将为可逆的。人们可想象，例如在环境压力（1 巴）下，这种保持层将足够强以保持膜，但在真空中，膜可被释放。与之相反，塞子 30 真实地将膜固定（或钉牢）至基底表面。释放膜的唯一方式将是破坏塞子 30。

[0061] 如果在图 2 的第二实施例的情况下，如上文所解释，应力层 17 临时地存在（仅制造过程中），那么塞子 30 可包括通过移除应力层 17 而形成的凹部。该凹部是塞子 30（特别地由氮化物制成）中的通过移除应力层 17 而产生的具有一种悬垂结构的形式的特征图案。

[0062] 图 1 中所示的第一实施例或图 2 中所示的第二实施例的单元 10 还包括布置在膜 14（或应力层 17）上和塞子 30 上的覆盖层 40。覆盖层 40 也为可移动的或柔性的，以能够与膜 14 一起移动或振动。然而，将理解的是，这样的覆盖层是任选的。在 cMUT 单元的情况下，覆盖层 40 提供了单元 10，或更具体地所述单元的或膜的厚度，与所述单元的特定共振频率的匹配。在压力传感器单元的情况下，覆盖层 40 提供了与操作范围的匹配。还任选地，可施加额外的层或涂层，诸如，例如聚对二甲苯 C 或声学透镜材料（例如，硅）的涂层。

[0063] 图 4 示出了根据一个实施例，特别地上文所解释的第一实施例或第二实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元 10 的一组（蚀刻）掩模（或包括（蚀刻）掩模或刻线布局的多个层）的顶视图。如图 4 中可见，单元 10 为圆形单元。于是膜 14 为环形膜。因此，总膜区域 $A_{总}$ 为圆形区域并且由膜 14 的（外）直径 $2 * R_{14}$ 限定（或限制）。最大直径 $2 * R_{30}$ 的塞子 30（图 4 中未示出）将布置在膜 14 的孔 15（具有直径 $2 * R_{15}$ ）中，塞子 30 仅位于总膜区域 $A_{总}$ 的子区域 $A_{子}$ （图 4 中由虚线表示）中。任选地，如图 4 所示，除了中心孔 15 之外，一些蚀刻孔 50（图 4 中三个蚀刻孔 50）可存在于膜 14 的边沿。

[0064] 在图 4 中，环形第二电极 18 的所述孔具有 $2 * R_{18}$ 的直径，或也称为第二电极 18 的内径。在图 4 中所示的实例中，第二电极 18 的外径延伸超过总膜区域 $A_{总}$ 。换句话说，在该实例中，第二电极 18 的外径大于膜 14 的外径。然而，将理解的是，第二电极 18 的外径可小于膜 14 的外径（或在总膜区域 $A_{总}$ 内），如例如图 1 或图 2 的实施例中所示。

[0065] 在图 4 中，在中间单元 10 周围示出多个（四个）额外的单元。这些单元可形成单元或换能器元件的阵列。中间单元 10（或其电极）通过电连接件 60 电连接至其他单元。

[0066] 在圆形单元的情况下，现返回参考图 1 或图 2，第二电极 18 为环形电极。于是腔室 20 为环形腔室。在这种圆形单元的情况下，那么应力层 17 也为环形层。在这种情况下，如图 1 中可见，应力层 17 的外半径 R_o 可大于膜 14 或总膜区域 $A_{总}$ 的半径 R_{14} 。因此，如之前所述，应力层 17 可延伸超过总膜区域 $A_{总}$ 。或者，应力层 17 的外半径 R_o 在理论上也可小于半

径 R_{14} ，只要提供必需的弯曲力矩。另外，在这种情况下，如图 1 中可见，应力层 17 的内半径 R_i 可大于膜 14 的孔 15 的半径 R_{15} 。因此，如之前所述，应力层 17 的孔 19（具有直径 $2 * R_i$ ）可大于膜 14 的孔 15（具有直径 $2 * R_{15}$ ）。

[0067] 在这种圆形单元的情况下，于是塞子 30 是圆形塞子 30。塞子 30 小于环形第二电极 18 的所述孔（具有直径 $2 * R_{18}$ ）。换句话说，如图 1 或图 2 中可见，圆形塞子的半径 R_{30} 小于环形第二电极 18 的所述孔的半径 R_{18} （或第二电极 18 的内半径 R_{18} ）。因此，如之前所述，子区域 $A_{子}$ （塞子 30 位于其中）小于由环形第二电极 18 的所述孔限定的区域。为圆形单元的所述单元的形状是有利的。然而，将理解的是，任何其他合适的单元形状是可能的。

[0068] 图 3a 至图 3i 各自示出了制造根据第一实施例或第二实施例的塌陷电容式微加工换能器单元 10 的方法的不同制造步骤。结合图 1、图 2 和图 4 做出的解释也适用于图 3 中所示的方法，反之亦然。

[0069] 在图 3a 中所示的初始步骤中，首先提供基底 12，其中第一电极 16 存在于基底之中或之上。然后，将膜 14（覆盖总膜区域 $A_{总}$ ）提供于基底 12 上。如上文所述，膜 14 包括具有嵌入其中或之间的第二电极 18 的两个层（例如，ONO 层或 ON 层或 O 层或 N 层或其组合）。如图 3a 中可见，在该实例中，具有厚度 h_{20} 的牺牲层 21 提供于基底 12 上。在移除牺牲层 21（例如，干蚀刻或湿蚀刻）时，牺牲层 12 将用于形成腔室 20。膜 14 提供于牺牲层 21 上。然而，将理解的是，可使用提供腔室 20 的任何其他合适方式。

[0070] 在另一个步骤中，如图 3b 所示，应力层 17 提供或形成（例如，贴敷或沉积）于膜 14 上，应力层 17 相对于膜 14 具有预定应力值，如上文结合第一实施例所解释。图 3b 中所示的应力层 17 具有良好限定的内半径 R_i 和外半径 R_o 。优选地，应力层 17 的外径 $2 * R_o$ 超出膜 14 的直径 $2 * R_{14}$ 。或者，应力层 17 的外径 $2 * R_o$ 在理论上也可小于直径 $2 * R_{14}$ 。目标是诱导弯曲力矩，该弯曲力矩足够大以便一旦释放膜 14 就使膜 14 弯曲至基底 12 或腔室 20 的底部。

[0071] 然后，参考图 3c，膜 14 通过在膜 14 中提供（例如，蚀刻）孔 15 而释放。在利用牺牲层 21 的实例的情况下，膜 14 通过提供孔 15 和通过执行牺牲层 21 的牺牲蚀刻而释放。在提供孔 15 之后，膜 14 于是包括围绕孔 15 的边缘部分 14a。膜 14 的边缘部分 14a 然后塌陷至基底 12（或腔室 20 的底部）。更具体地，当在膜 14 中提供孔 15 之时或之后，膜 14 的边缘部分 14a 塌陷至基底 12。这是由于这一事实：应力层 17 在膜 14 上在朝向基底 12 的方向上提供了弯曲力矩，如上文所述。膜 14 现在接触基底 12（或腔室 20 的底部）。

[0072] 在该实例中，具有高度 h_{20} 的腔室 20 通过移除（例如，蚀刻）牺牲层 21 而形成于膜 14 和基底 12 之间。在本文中，这在当在膜 14 中提供孔 15 时的步骤中或当提供孔 15 时的步骤之后的步骤中进行。特别地，在第一蚀刻步骤中，可在膜 14 中提供孔 15，并且在后续蚀刻步骤中，可移除牺牲层 21。因此，孔 15 也起作用为蚀刻孔。任选地，额外蚀刻孔可存在于膜的边沿，诸如，例如图 4 中的蚀刻孔 50。

[0073] 图 3d 和图 3e 中示出的步骤用于提供布置在膜 14 的孔 15 中的塞子 30，如上文所解释。塞子 30 仅位于总膜区域 $A_{总}$ 的子区域 $A_{子}$ 中。首先，参考图 3d，将额外层 29（例如，由氮化物制成）提供于至少总膜区域 $A_{总}$ （全部的总膜区域 $A_{总}$ ）中的膜 14 上。在图 3d 中，额外层 29 延伸超过总膜区域 $A_{总}$ 。额外层 29 将腔室 20 从其周围密封并且将膜 14 永久性地固定至基底 12（腔室 20 的底部）。此外，蚀刻孔 50 可由额外层 29 封闭。现在，所述单元不

受外部污染。

[0074] 为了提供塞子,参考图 3e,移除额外层 29,位于子区域 A_z 中的层部分除外。如此,提供了塞子 30(例如,由氮化物制成)。因此,额外层 29 被图案化而且仅存在于子区域 A_z 中,子区域 A_z 处于膜 14 的中心。特别地,塞子 30 的高度可为额外层 29(例如,由氮化物制成)的高度。膜 14 现在通过塞子 30 永久性地固定至基底 12(或腔室 20 的底部)。

[0075] 仅作为具体实例,如果额外层 29(或塞子层)由氮化物制成,那么额外层 29 的沉积典型地处于 300°C 至 400°C。因此,应力为处于所述温度(并且非室温)下的应力值。在这种具体实例中,钨作为应力层材料是个良好的选择。

[0076] 到此为止,根据图 1 中所示的第一实施例和图 2 中所示的第二实施例的所述单元的制造是等同的。现在,将描述图 2 的第二实施例的其他制造步骤。图 3f 和图 3g 各自示出了制造根据第二实施例的预塌陷电容式微加工换能器单元的方法的制造步骤。所述方法包括移除应力层 17 的步骤,如图 3f 所示。这例如可通过针对膜 14(例如,ONO 层)进行选择性地蚀刻来执行。膜 14 无法向后翻转,因为它通过塞子 30(例如,由氮化物制成)永久性地固定至基底 12 或腔室 20 的底部。在图 3f 中,移除整个应力层 17。然而,将理解的是,也可仅移除应力层的主要部分(例如,仅留下应力层的一些残余物)。仅作为实例,湿蚀刻工艺(各向同性)可移除全部的应力层(例如,由金属制成)。作为另一个实例,干蚀刻工艺(定向或各向异性)可仅移除应力层的主要部分并留下残余物(特别是塞子 30 的凹部中的残余物)。

[0077] 任选地,参照图 3g,覆盖层 40 可提供或布置于膜 14 和塞子 30(例如,利用 N 沉积)上。这样的覆盖层 40 提供了单元 10,或更具体地所述单元的或膜的厚度与所述单元的特定共振频率的匹配。

[0078] 还任选地,可执行多个额外处理步骤。仅作为实例,可提供单元 10 至电源(例如,用于偏置和射频的供电)的电连接和单元阵列的不同单元之间的电连接。仅作为实例,可从接合焊盘(bondpad)移除一些层(例如,氮化物层)以产生对电极的传导路径。此外,作为另一个实例,可施加用于电绝缘的保护层或涂层(例如,聚对二甲苯 C)。

[0079] 从技术上看,本发明的预塌陷电容式微加工换能器单元(特别地,cMUT)可在原理上以与传统“未塌陷”电容式微加工换能器单元(特别地,cMUT)(其例如在 W02010/032156 中详细地描述,该专利以引用的方式并入本文)相同或类似的方式制造。这具有例如 CMOS 兼容性的优点,以使得 cMUT 可结合 ASIC,特别是所谓的微波束成形器(micro beam former)。

[0080] 本发明还可基于下述实施例进行描述:

[0081] 在一个实施例中,所述单元或 cMUT 单元包括具有嵌入的环形电极的膜。堆叠涉及用于电极的铝、用于膜的 ONO 和氮化物,如例如 W02010/032156 中详细地描述。

[0082] 在另一个实施例中,临时图案化的应力层的沉积随后是牺牲蚀刻。在释放膜时,应力层引起迫使膜塌陷的弯曲力矩。

[0083] 在另一个实施例中,氮化物层用于将膜永久性地固定至腔室的底部:所述单元或 cMUT 单元现为预塌陷的。该氮化物层被图案化并且很大部分被移除,从而仅留下氮化物的中心塞子或铆钉。

[0084] 在又一个实施例中,临时图案化的应力层完全地移除(优选的实施例)。

[0085] 在另一个实施例中,预塌陷单元或 cMUT 单元由成品氮化物层完成。现在,膜厚度匹配所需特性,诸如共振频率。

[0086] 本发明可适用于任何 cMUT 应用,特别是涉及超声的那些,但原则上也适用于任何其他预塌陷电容式微加工换能器,诸如,例如压力传感器或压力换能器。在应用至压力传感器的情况下,以灵敏度为代价改善了线性。

[0087] 电容式微加工压力传感器或换能器测量电极之间的电容值。对于间隔开距离 d 并具有面积 A 的两个平坦电极,电容值 C 为 $C = \epsilon * A / d \sim 1/d$ 。为简单起见,本式省略了电极之间的介电绝缘层的存在。

[0088] 在一个实例中,压力传感器通过电子手段可为电子振荡器电路的一部分,振荡器频率 f 为 $f = 1 / (R * C) \sim d$,其中 R 为一些外部电阻器的电阻。在这种情况下,压力传感器输出为电子电路的频率并且为距离 d 的直线距离。应注意,该频率与膜的机械共振频率无关。因此,随着压力增加,两个板朝向彼此移动,电容值增加并且频率下降。压力 P 引起膜向下移动 h 量, h 量可写为 $h = P * r^4 / (64D)$,其中 r 为膜的半径,并且 D 为常数。现在,电极之间的距离 d 为 $d = g - h$,因为间隙 g 已经减少 h 量,或 $f \sim (g-h) / R$ 。因此,压力与频率为近似线性的,直至膜塌陷。然而,实际上,电极或膜的形状不是平坦的。膜进行弯曲,从而发生电极距离的变化。因此如果电极很小,以必须测量小电容值的代价来获得最佳线性。在实践中,与膜半径相比具有 50% 半径的电极已为相当线性的。

[0089] 在本文中,已描述了测量电容值的一个实例。然而,将理解的是,电容值也可以任何其他合适的方式进行测量。

[0090] 虽然本发明已在附图和前述说明书中详细地说明和描述,但是该说明和描述应视为说明性或示例性的并且非限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本领域的技术人员在实践所要求保护的发明过程中根据对附图、公开内容和所附权利要求书的研究可理解并实现所公开实施例的其他变型。

[0091] 在权利要求书中,词语“包括”并不排除其他元件或步骤,并且不定冠词“一个”或“一种”并不排除复数。单个元件或其他单元可实现权利要求书中所记载的一些项目的功能。某些措施在相互不同的从属权利要求中记载,这一事实并不表示这些措施的组合不能有利地使用。

[0092] 权利要求书中的任何附图标记不应解释为限制范围。

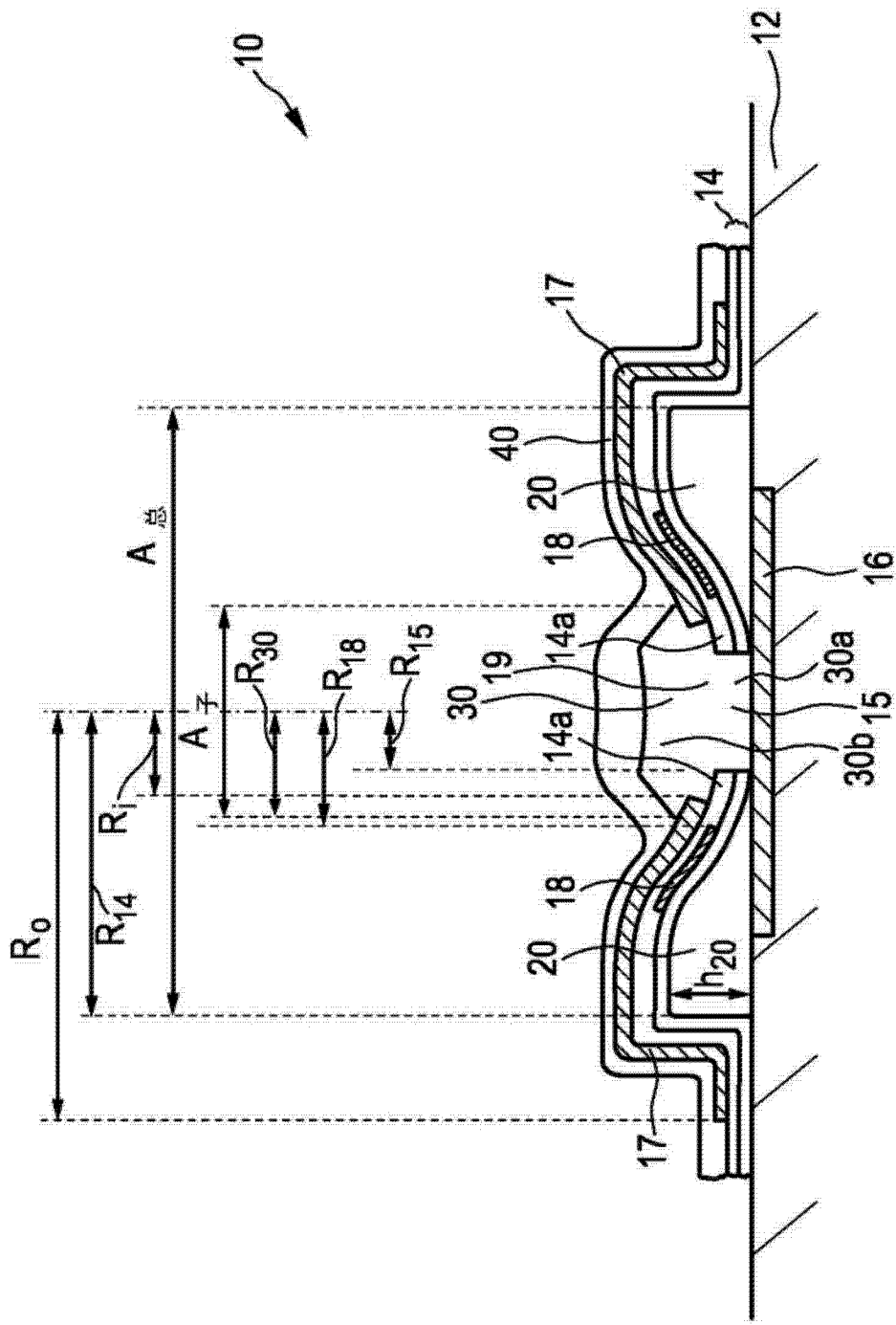


图 1

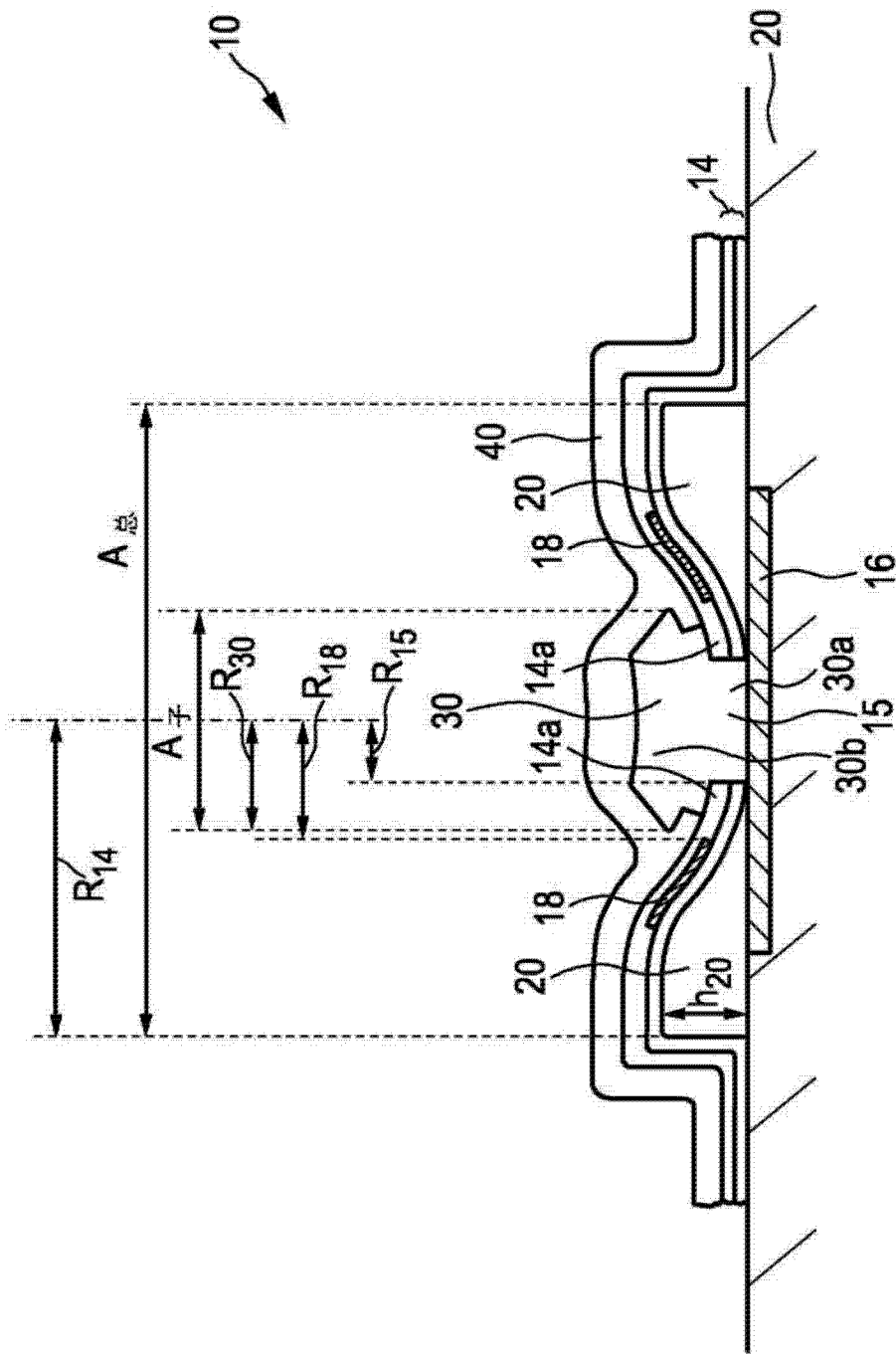


图 2

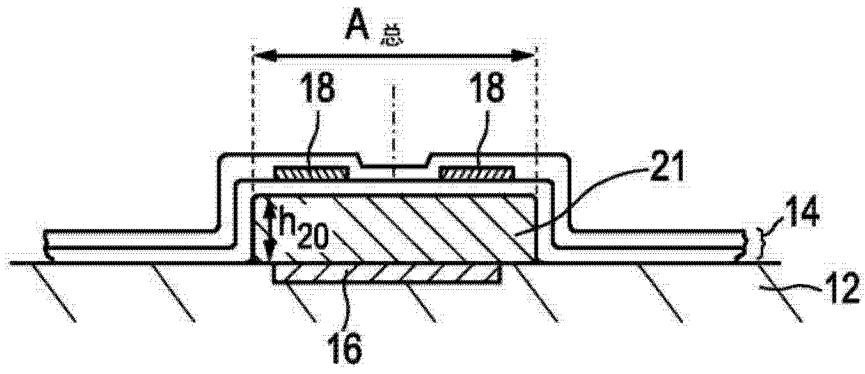


图 3a

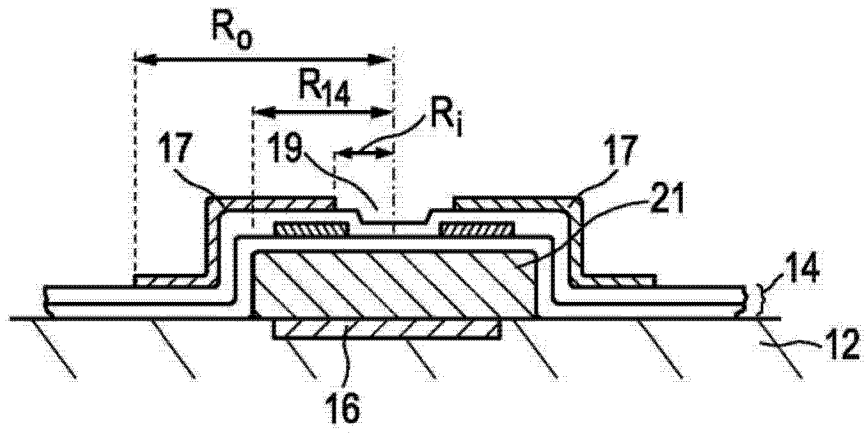


图 3b

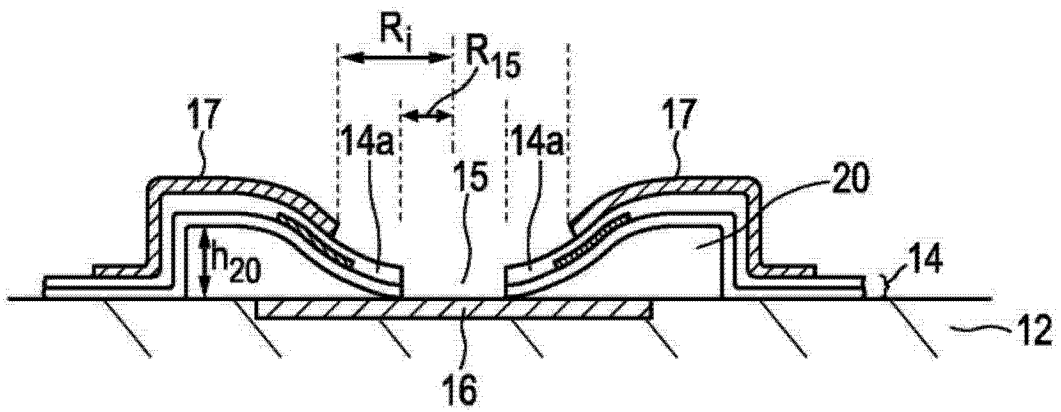


图 3c

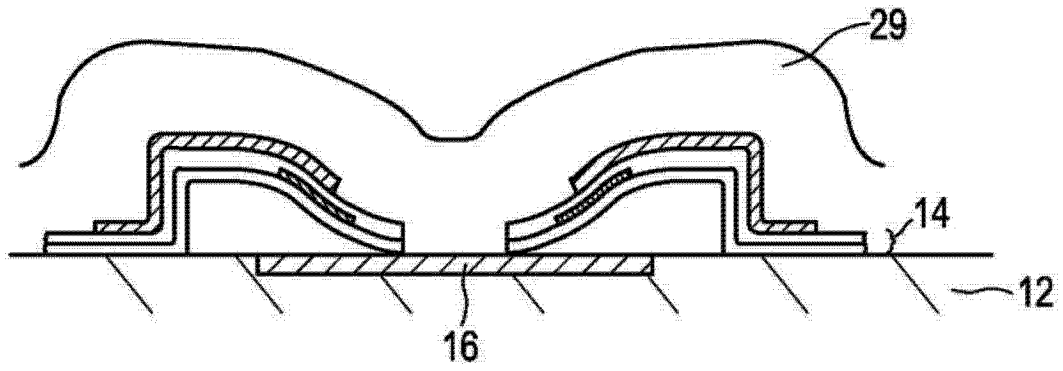


图 3d

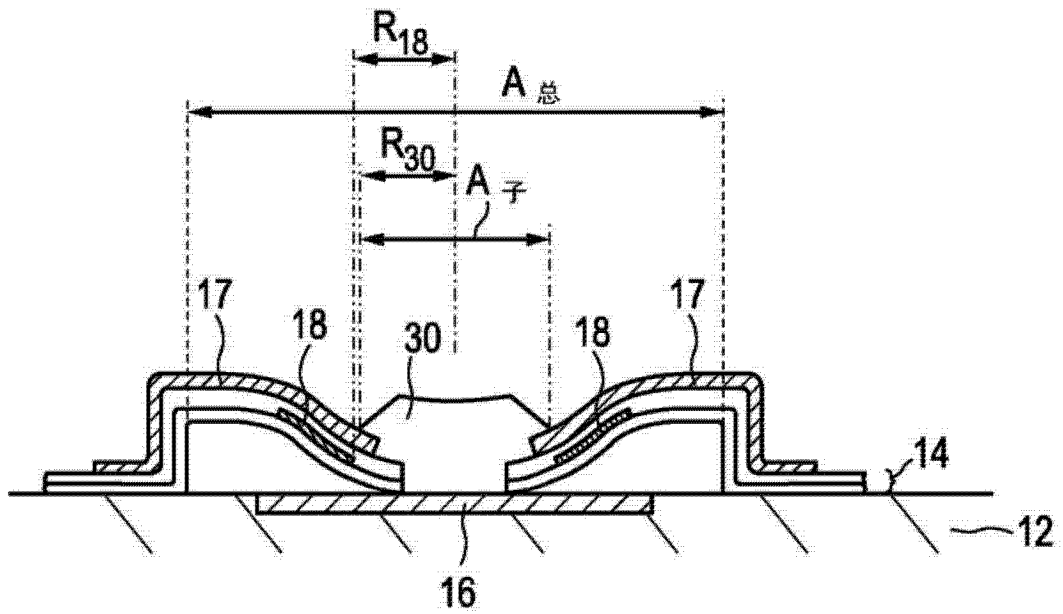


图 3e

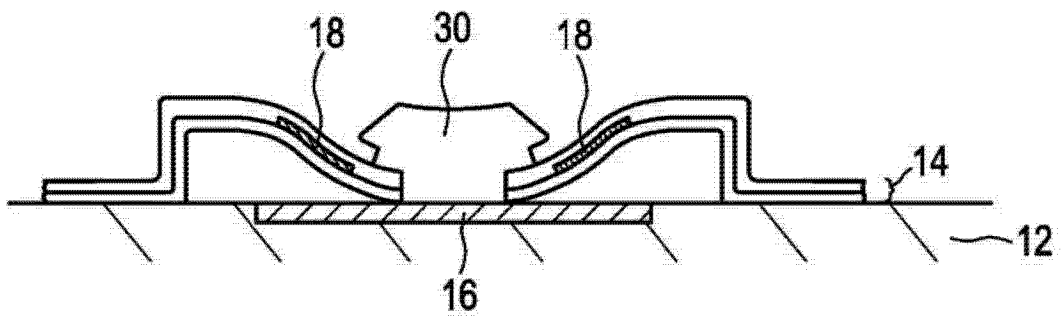


图 3f

