



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103958079 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201280056554. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 11. 05

B06B 1/02 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/560, 836 2011. 11. 17 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 05. 16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2012/056152 2012. 11. 05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/072803 EN 2013. 05. 23

(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 A·L·鲁滨逊 J·D·弗雷泽

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 韩宏 陈松涛

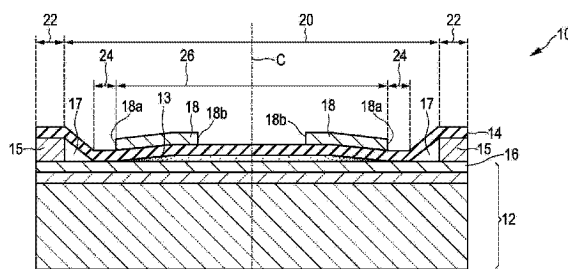
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

具有环形塌陷区域的预塌陷电容式微机械换能器元件

(57) 摘要

本发明涉及一种预塌陷电容式微机械换能器单元 (10), 包括衬底 (12) 和薄膜 (14), 所述衬底 (12) 包括第一电极 (16), 所述薄膜 (14) 包括第二电极 (18), 其中所述单元具有所述薄膜 (14) 被安装到所述衬底 (12) 所在的外部区域 (22) 以及在所述外部区域 (22) 内或被所述外部区域 (22) 包围的内部区域 (20), 其中在位于所述内部区域 (20) 内的第一塌陷环形区域 (24) 中, 所述薄膜 (14) 被塌陷到所述衬底 (12)。



1. 一种预塌陷电容式微机械换能器单元 (10), 包括:
  - 衬底 (12), 所述衬底 (12) 包括第一电极 (16),
  - 薄膜 (14), 所述薄膜 (14) 包括第二电极 (18),其中, 所述单元具有所述薄膜 (14) 被安装到所述衬底 (12) 所处的外部区域 (22) 以及在所述外部区域 (22) 内或被所述外部区域 (22) 包围的内部区域 (20),  
其中, 在位于所述内部区域 (20) 内的第一塌陷环形区域 (24) 中, 使所述薄膜 (14) 塌陷到所述衬底 (12)。
2. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述第二电极 (18) 位于所述环形第一塌陷区域 (24) 内的或被所述环形第一塌陷区域 (24) 包围的第一换能区域 (26) 中。
3. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述第二电极 (18) 位于所述环形第一塌陷区域 (24) 外的或包围所述环形第一塌陷区域 (24) 的第二换能区域 (27) 中。
4. 如权利要求 2 或 3 所述的单元, 其中, 所述第二电极 (18) 至少设置成紧靠所述环形第一塌陷区域 (24)。
5. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述第二电极 (18) 和 / 或所述第一电极 (16) 具有环形形状。
6. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述环形第一塌陷区域 (24) 设置成以所述单元 (10) 或薄膜 (14) 的中心 (C) 为圆心。
7. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 在位于所述内部区域 (20) 内的第二塌陷区域 (28) 中, 所述薄膜 (14) 被进一步塌陷到所述衬底 (12)。
8. 如权利要求 7 所述的单元, 其中, 所述第二塌陷区域 (28) 位于所述单元 (10) 或薄膜 (14) 的中心区域或所述中心 (C) 中。
9. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述薄膜 (14) 在所述内部区域 (20) 中具有固有应力。
10. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述薄膜 (14) 还包括位于所述第一塌陷区域 (24) 中的第三电极 (19)。
11. 如权利要求 1 所述的单元, 所述第二电极 (18) 和 / 或所述第三电极 (19) 具有至少一个开口, 其中, 到所述第四电极 (21) 和 / 或所述第二电极 (18) 的连接器 (38、39) 位于所述开口中。
12. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述薄膜 (14) 被永久性塌陷。
13. 如权利要求 1 所述的单元, 其中, 所述薄膜 (14) 仅在所述单元的操作期间被塌陷。
14. 一种制造预塌陷电容式微机械换能器单元 (10) 的方法, 所述方法包括:
  - 提供包括第一电极 (16) 的衬底 (12),
  - 提供包括第二电极 (18) 的薄膜 (14), 其中, 所述单元具有所述薄膜 (14) 被安装到所述衬底 (12) 所处的外部区域 (22) 以及在所述外部区域 (22) 内或被所述外部区域 (22) 包围的内部区域 (22), 并且
  - 在位于所述内部区域 (20) 内的第一塌陷环形区域 (24) 中, 使所述薄膜 (14) 塌陷到所述衬底 (12)。
15. 如权利要求 14 所述的方法, 所述薄膜 (14) 还包括位于所述第一塌陷区域 (24) 中的第三电极 (19),

其中,使所述薄膜(14)塌陷到所述衬底(12)包括在所述第一电极(16)和所述第三电极(19)之间施加电压。

## 具有环形塌陷区域的预塌陷电容式微机械换能器元件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及预塌陷电容式微机械换能器元件,特别涉及电容式微机械超声换能器(cMUT)单元或电容式微机械压力换能器/传感器单元,以及制造其的方法。

### 背景技术

[0002] 近来开发了微机械超声换能器(MUT)。以两种设计方法来制造微机械超声换能器,一种使用具有压电特性的陶瓷层(pMUT),而另一种使用薄膜(或隔膜)以及具有形成电容器的电极(或电极板)的衬底,所谓的电容式微机械超声换能器(cMUT)。

[0003] cMUT单元包括在薄膜下方的腔。为了接收超声波,超声波使薄膜移动或振动,并且可以检测电极之间的电容变化。由此将超声波转换为对应的电信号。相反地,施加到电极的电信号使薄膜移动或振动,并且由此发送超声波。波的这一接收或发送所凭借的机构被称为机电耦合,或简称为“耦合”。

[0004] 最初,cMUT单元被制造成以已知的“未塌陷”模式操作。常规的“未塌陷”cMUT单元实质上是非线性设备,其中耦合强烈地取决于电极之间所施加的偏置电压。

[0005] 为了解决该问题,所谓的“预塌陷”cMUT单元近来被开发。在预塌陷cMUT单元中,薄膜的一部分或区域塌陷到腔的底部(或衬底),所谓的“塌陷区域”。在一种类型的“预塌陷”cMUT单元中,薄膜被永久地塌陷到或固定到衬底,而在另一种类型的“预塌陷”cMUT单元中,薄膜仅被暂时地塌陷到衬底(例如仅在操作期间)。

[0006] 在宽范围的偏置电压上,预塌陷cMUT单元的耦合实质上是与偏置电压无关的,这使cMUT单元更加线性。此外,在使用的正常电压范围上,这样的“预塌陷”cMUT单元提供了比“未塌陷”cMUT单元更大的耦合。理由是,在衬底的固定底部电极与薄膜的柔性顶部电极之间的腔或间隙决定了单元的电容并且因此决定了其耦合。已知的是,在与使薄膜和衬底接触的点紧邻处获得了最高的耦合。恰好在塌陷区域周围的区域具有最小的间隙,并因此对耦合做出最大贡献。

[0007] 例如在W02010/097729A1中公开了一种预塌陷cMUT单元。W02010/097729A1公开了适于在超声cMUT换能器阵列中使用的cMUT换能器单元,其具有含有第一电极的薄膜、含有第二电极的衬底、以及在薄膜和衬底之间的腔。通过将薄膜偏置到具有腔的底面的塌陷状况来使该cMUT操作在预塌陷状态下,并且将晶状体(lens)投掷到塌陷的薄膜之上。当晶状体材料已聚合或具有足够的硬度时,移除偏置电压并且晶状体材料将薄膜保持在塌陷状态。

[0008] 然而,仍然需要提供一种具有提高的性能的预塌陷电容式微机械换能器单元。

### 发明内容

[0009] 本发明的目的是提供具有提高的性能的预塌陷电容式微机械换能器单元及其制造方法。

[0010] 在本发明的第一方面中,提出一种预塌陷电容式微机械换能器单元,其包括衬底

和薄膜,该衬底包括第一电极,该薄膜包括第二电极,其中该单元具有薄膜被安装到衬底所处的外部区域以及在外部区域内或被外部区域包围的内部区域,其中在位于内部区域内的第一塌陷环形区域中,薄膜被塌陷到衬底。

[0011] 在本发明的另一方面中,提出了一种制造预塌陷电容式微机械换能器单元的方法,该方法包括提供包括第一电极的衬底,提供包括第二电极的薄膜,其中该单元具有薄膜被安装到衬底所处的外部区域以及在外部区域内或被外部区域包围的内部区域,并且在位于内部区域内的第一塌陷环形区域中,将薄膜塌陷到衬底。

[0012] 本发明的基本理念是提供一种环形塌陷(钉住)区域。因此,单元的塌陷区域不是在单元的中心的圆形(非环形)塌陷区域,而现有技术的单元的塌陷区域是这种情况。如数学上定义的,环是环状几何图形或物体(在中间具有孔),或在两个同心闭合曲线(例如两个同心圆)之间的区域。应当理解的是,替代两个圆形,可以使用任何其它类型的闭合曲线。

[0013] 因为换能器单元的最强烈耦合区域紧邻塌陷区域,所以本发明增大了高耦合区域。因此增大了单元的有效耦合。因此,因为增大了提供高耦合的面积,所以提高了单元的性能。特别地,在衬底和薄膜之间的腔的高度在塌陷区域处平滑地或持续地减小到零。与现有技术的单元的中心塌陷区域相比,该环形塌陷区域可特别地更接近或靠近单元的周边。可替代中心塌陷区域,而使用该环形塌陷区域,或除中心塌陷区域之外,还使用该环形塌陷区域。

[0014] 在单元的内部区域中,在薄膜和衬底之间形成至少一个腔。因为存在环形塌陷区域,在薄膜和衬底之间形成至少两个腔。第一腔形成在环形塌陷区域内部(或被环形塌陷区域包围)的区域中的薄膜和衬底之间,而第二腔形成在环形塌陷区域外部(或包围环形塌陷区域)的区域中的薄膜和衬底之间。

[0015] 利用本发明,提高了单元的换能效率。首先,从电能到机械能的换能通常仅发生在薄膜中紧邻塌陷区域的区域中。这是薄膜中薄膜经历由于电荷的紧密接近或集中所致的强静电力并且薄膜能够响应于该力同时移动所在的区域。薄膜中已经与衬底接触的区域(例如塌陷区域)不能够移动。薄膜中能够移动但是未紧靠塌陷区域的区域并不具有电荷的大集中。第二,因为通常将大的电信号用于发送,并且在薄膜中引起大的运动,因此强换能的实际区域跨越换能器单元的表面来回移动。通过具有环形塌陷区域,高机电耦合的区域(其是活跃的换能区)已被从单元的中心移走。另外,可以建立两个换能区,而不是一个。因为这将活跃的换能区的面积变成两倍多,因此提高了换能效率。换言之,这将活跃的换能区的长度变成两倍多,而不减小其有效宽度。

[0016] 在从属权利要求书中限定了本发明的优选实施例。应当理解的是,所要求保护的方法具有与所要求保护的单元以及与从属权利要求中定义的相似和/或相同的优选实施例。

[0017] 在第一实施例中,第二电极位于环形第一塌陷区域内的或被环形第一塌陷区域包围的第一换能区域中。

[0018] 在第二实施例中,第二电极位于环形第一塌陷区域外的或包围环形第一塌陷区域的第二换能区域中。该实施例可特别用作第一实施例的替代或与第一实施例结合使用。

[0019] 在变型中,第二电极至少设置成紧靠环形第一塌陷区域。在该区域中,在薄膜的第

二电极和衬底的相对应的第一电极之间仅存在小间隙。以该方式,提供了增大的或最大化的机电耦合。该变型可特别与第一实施例和 / 或第二实施例一起使用。

[0020] 在另一实施例中,第二电极和 / 或第一电极具有环形。因此,电极最佳地适配于环形塌陷区域。以该方式,电极可使单元的电容的非机电耦合部分最小化。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

[0021] 在另外的实施例中,环形第一塌陷区域设置成以单元或薄膜的中心为圆心。以该方式,可提供对称的塌陷区域和单元。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

[0022] 在另一实施例中,薄膜被进一步塌陷到位于内部区域内的第二塌陷区域中的衬底。以该方式,进一步扩大了单元的机电耦合面积。该实施例可特别与第一和 / 或第二实施例一起使用。在变型中,第二塌陷区域位于单元或薄膜的中心区域或中心。第二塌陷区域可特别具有圆形(非环形)。在另一变型中,第二电极至少设置成紧靠第二塌陷区域。例如,第二电极的外边缘可紧靠第一塌陷区域,并且第二电极的内边缘可紧靠第二塌陷区域。

[0023] 在另外的实施例中,薄膜在内部区域中具有固有应力。以该方式,在薄膜塌陷到环形第一塌陷区域中的衬底时或期间,可形成或维持薄膜和衬底之间的腔。因此,可以以简单方式提供薄膜和衬底之间的腔。特别地,固有应力可使薄膜凸起远离衬底。

[0024] 在另外的实施例中,薄膜进一步包括位于第一塌陷区域中的第三电极。以该方式,可以以简单和 / 或可靠的方式提供环形第一塌陷区域。特别地,可以在衬底的第一(底部)电极和第三电极之间施加足够的电压,以便使薄膜塌陷并且提供环形第一塌陷区域。第三电极可特别具有圆形形状。

[0025] 因此,在另一实施例或变型中,当薄膜进一步包括位于第一塌陷区域中的第三电极时,将薄膜塌陷到衬底包括在第一电极和第三电极之间施加电压。

[0026] 在另外的实施例中,薄膜进一步包括位于第二塌陷区域中的第四电极。以该方式,可以以简单和 / 或可靠的方式提供第二塌陷区域。特别地,可以在衬底的第一(底部)电极和第四电极之间施加足够的电压,以便使薄膜塌陷并且提供中心第二塌陷区域。第四电极可特别具有圆形形状。

[0027] 因此,在另一实施例或变型中,当薄膜进一步包括位于第二塌陷区域中的第四电极时,将薄膜塌陷到衬底包括在第一电极和第四电极之间施加电压。

[0028] 在另一实施例中,第二电极和 / 或第三电极在其环形形状中具有至少一个开口,其中到第四电极和 / 或第二电极的连接器位于该开口内。这提供了成本节约和较不复杂的单元,因为不需要在电极的顶部上的过孔。在一个示例中,第二电极可以在其环形形状中具有至少一个开口,其中到第四电极的连接器位于该开口中。在另一示例中,第三电极可以在其环形形状中具有至少一个开口,其中到第二电极的连接器位于该开口中。

[0029] 在另一实施例或变型中,第三电极被分隔为多个区段,其中到第二电极的连接器在第三电极的多个区段中的两个区段之间延伸。以该方式,第二电极和第三电极相互电气分离或相互电气绝缘。

[0030] 在另一实施例中,薄膜被永久性塌陷。因此,薄膜被永久地固定到衬底或被机械地塌陷。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

[0031] 在另一实施例中,薄膜仅在单元的操作期间被塌陷。因此,薄膜仅被临时塌陷到衬底(非永久地),或被电气地塌陷(例如通过在两个电极之间施加偏置电压)。因此,单元

的操作可包括偏置电压的施加。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

[0032] 在另一实施例中,单元是圆形单元。圆形形状提供了对可用空间的相当良好的填充和/或非常少的高阶振动模式(特别是与传输能量的期望模式竞争或产生使期望的接收信号模糊的非期望信号的振动模式)。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

[0033] 在另外的实施例中,该单元是用于传输和/或接收超声波的电容式微机械超声换能器单元(cMUT)。在可替代实施例中,该单元是用于测量压力的电容式微机械超声换能器(或传感器)单元。该实施例可特别与任何其它实施例结合使用。

### 附图说明

[0034] 根据下文描述的实施例本发明的这些和其它方面将是清楚的,并且参考下文描述的实施例来阐明本发明的这些和其它方面。在下面的附图中,

[0035] 图 1 示出并非根据本发明的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0036] 图 1a 示出图 1 的单元的顶视图,

[0037] 图 2 示出根据本发明的第一实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0038] 图 2a 示出图 2 的单元的顶视图,

[0039] 图 3 示出根据本发明的第二实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0040] 图 3a 示出图 3 的单元的顶视图,

[0041] 图 4 示出根据本发明的第三实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0042] 图 4a 示出图 4 的单元的顶视图,

[0043] 图 5 示出根据本发明的第四实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0044] 图 6 示出根据本发明的第五实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0045] 图 7 示出根据本发明的第六实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,

[0046] 图 8a-c 每个示出根据图 6 的第五实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的电极的顶视图的不同示例,

[0047] 图 9 示出根据本发明的另外实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,以及

[0048] 图 9a 示出图 9 的单元的顶视图。

### 具体实施方式

[0049] 图 1 示出并非根据本发明的预塌陷电容式微机械换能器单元 10 的截面图,并且图 1a 示出图 1 的单元的顶视图。在图 1 中,预塌陷电容式微机械换能器单元 10 包括衬底 12 和薄膜 14,该衬底 12 包括第一(底部)电极 16,该薄膜 14 包括第二(顶部)电极 18。在衬底 12 和薄膜 14 之间形成腔 13。在位于单元 10 的薄膜 14 的中心 C(或单元 C 的中心 C)中的塌陷区域中,将薄膜 14 塌陷到衬底 12。

[0050] 在图 1 以及图 1a 中,腔 13 中的阴影或加点表示根据位置的机电耦合。增大的点密度表示增大的耦合。如可看到的,在中心 C 周围的中心区域不具有耦合,这是因为其被塌陷(钉住)到衬底 12。就在薄膜 14 与衬底 12 接触的点处获得最高的耦合。原因是(固定的)底部电极 16 和(柔性)的顶部电极 18 之间的腔 13(或间隙)的高度决定了换能器单元 10 的电容,并且因此决定了其耦合。

[0051] 在图 1 中,由于连续的顶部电极 18 在整个薄膜区域之上延伸,中心 C 中的塌陷区域加入了寄生电容,但不是耦合,因为其不能移动。如在图 1 中可看到的,腔 13(或间隙)的高度从塌陷区域的边缘向着周边单调地增大。距中心 C 越远,增加的区域越大,但是腔 13(或间隙)的高度越大。可例如通过施加更多的偏置电压来增大高耦合区域。这将增大塌陷区域的面积和周边,而周边提供增大的耦合。不幸的是,这还将增大塌陷区域的非期望电容。

[0052] 图 2 示出根据本发明的第一实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元 10 的截面图,并且图 2a 示出图 2 的单元的顶视图。预塌陷电容式微机械换能器单元 10 包括衬底 12 和可移动或柔性薄膜 14,该衬底 12 包括第一电极 16,该可移动或柔性薄膜 14 包括第二电极 18。在第一(底部)电极 16 和第二(顶部)电极 18 之间形成电容器。在衬底基础材料上应用第一电极 16,并在薄膜基础材料上应用第二电极 18。然而,应当理解的是,第一电极 16 也可嵌入衬底基础材料,而第二电极 18 也可嵌入薄膜基础材料 14 中,或以任何其它适当的方式置于其中或其上。

[0053] 在衬底 12 和薄膜 14 之间形成腔 13。当接收到例如超声波时,超声波引起薄膜 14 移动或振动,并且可检测到电极 16、18 之间的电容变化。由此将超声波转换成对应的电信号。相反,施加到电极 16、18 的电信号引起薄膜 14 移动或振动,并由此传输超声波。

[0054] 衬底 12 的基础材料可例如是导电或半导体材料,例如是硅。然而,应当理解的是,可使用任何其它适当的材料。如果衬底 12 的基础材料是导电的或半导体的,则可在衬底基础材料和第一(底部)电极 16 之间施加绝缘层。绝缘层可被涂敷在第一(底部)电极 16 的顶部上。以该方式,接触表面两者或都是相同的绝缘体。薄膜 14 的基础材料例如是绝缘材料,例如二氧化硅、氮化硅和 / 或氮氧化硅。然而,应当理解的是,可使用任何其它适当的材料。

[0055] 如在图 2a 中看出的,该实施例的单元 10 是具有中心 C 的圆形单元。该单元是围绕中心 C(圆形)对称的。单元 10 具有薄膜 14 被安装到衬底 12 所在的外部区域 22。在图 2 的实施例中,该单元包括在衬底 12 和薄膜 14 之间的支撑物 15,其用于将薄膜 14 安装到衬底 12。腔的高度(或间隙厚度)在支撑物 15 处突然地或不连续地(从其最大高度)到零。支撑物 15 可以是环形支撑物。然而,应当理解的是,可以任何其它适当的方式将薄膜安装到衬底。

[0056] 单元 10 还包括在外部区域 22 内或被外部区域 22 包围的内部区域 20。内部区域 20 被支撑物 15 限制。在单元的内部区域 20 中,形成腔。在位于内部区域 20 内的第一塌陷区域 24 中,薄膜 14 被塌陷到衬底 12。第一塌陷区域 24 具有环形形状(或圆环形状)。环形第一塌陷区域 24 被设置成以单元 10 的中心 C(或薄膜 14 的中心 C)为圆心。腔 13 的高度(或间隙厚度)在塌陷区域 24 处平滑地或连续地减小到零。换能器单元 10 的最高耦合区域紧邻塌陷区域 24。因此,增大了单元的耦合。在图 2 以及图 2a 中,腔 13 中的阴影或加点表示根据位置的耦合。增大的点密度表示增大的耦合。如可看到的,耦合在单元的中心 C 中是可忽略的,并且从中心 C 向着预塌陷区域 24 增大。机电耦合有时还被称为单元的“灵敏度”,虽然灵敏度严格说来取决于外部条件以及机电耦合。

[0057] 因为在内部区域 20 内存在环形塌陷区域 24,因此形成了第一腔 13 和第二腔 17。第一腔 13 在环形塌陷区域 24 内部。换言之,第一腔 13 形成在薄膜 14 和衬底 12 之间的环



形塌陷区域 24 内部的区域中或被环形塌陷区域 24 包围的区域中。第二腔 17 在环形塌陷区域 24 外部。换言之,第二腔 17 形成在薄膜 14 和衬底 12 之间的环形塌陷区域 24 外部的区域中或包围环形塌陷区域 24 的区域中。第二腔 17 是环形的。

[0058] 第二(顶部)电极 18 具有环形形状。因此,第二电极 18 最优地适于环形塌陷区域 24。以该方式,第二电极 18 可使单元的电容的非机电耦合部分最小化。机电耦合取决于使当薄膜移动时电容改变的部分与不改变的部分的比率最大化。这通过使用环形第二电极 18 并因此使在预塌陷区域 24 之上的电极暴露最小化来实现。替代地,还可使用未电连接到第二电极 18 的独立电极。

[0059] 第二电极 18(至少)设置成紧靠(或紧邻)环形第一塌陷区域 24。第二电极 18 位于第一腔 13 之上的在腔 13 的高度平滑地或连续地减小到零的区域中。如在图 2 中看到的,第二电极 18 的外边缘 18a 终止在塌陷区域 24 开始的点处。第二电极 18 的内边缘 18b 限定了环形电极 18 的孔。在图 2 示出的实施例中,第二电极 18 位于环形第一塌陷区域 24 内部(或被环形第一塌陷区域 24 包围)的第一换能区域 26 内。换言之,第二(顶部)电极 18 位于第一腔 13 之上和第一(底部)电极 16 之上。这形成了单元的活跃换能区。

[0060] 图 3 示出了根据本发明的第二实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,并且图 3a 示出了图 3 的单元的顶视图。第一实施例的相应解释和附图标记还适用于图 3 的实施例。与图 1 的第一实施例比较,在图 3 的实施例中,第二电极 18 位于环形第一塌陷区域 24 外部或围绕环形第一塌陷区域 24 的第二换能区域 27 内。换言之,第二电极 18 位于第二腔 17 之上。第二电极 18(至少)设置成紧靠(或紧邻)环形第一塌陷区域 24。第二电极 18 位于在腔 17 之上的腔 17 的高度平滑地或连续地减小到零的区域中。在图 3 以及图 3a 中,腔 17 中的阴影或加点表示根据位置的耦合。增大的点密度表示增大的耦合。如可看到的,耦合在支撑物 15(或单元的外部区域 22)处是最小的或可忽略的,并且向着预塌陷区域 24 增大。

[0061] 应当理解的是,第一实施例和第二实施例的组合也是可以的。在这样的情况下,第二电极 18 可包括位于第一换能区域 26 内的第一电极部分和位于第二换能区域 27 内的第二电极部分。

[0062] 图 4 示出了根据本发明的第三实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,并且图 4a 示出了图 4 的单元的顶视图。之前实施例的相应解释和附图标记还适用于图 4 的实施例。图 4 的实施例的单元基于图 2 的实施例的单元。然而,在图 4 的实施例中,薄膜 14 进一步在位于内部区域 20 内的第二塌陷区域 28 中被塌陷到衬底 12。以该方式,进一步扩大了单元的机电耦合面积。第二塌陷区域 28 位于单元 10 或薄膜 14 的中心 C。第一腔 13 现在具有环形形状。第二塌陷区域 28 具有圆形(非环形)形状。在图 4 的实施例中,如参考图 2 解释的,环形第二电极 18 位于第一换能区域 26 内。第二电极 18(至少)设置成紧靠(或紧邻)第二塌陷区域 28。第二电极 18 设置成紧靠第一塌陷区域 24 并且紧靠第二塌陷区域 28。更具体地,第二电极 18 的外边缘 18a 设置成紧靠第一塌陷区域 24,并且第二电极 18 的内边缘 18b 设置成紧靠第二塌陷区域 28。在图 4 以及图 4a 中,腔 13 中的阴影或加点表示根据位置的耦合。增大的点密度表示增大的耦合。如可看到的,耦合在环形腔 13 的中心中是最小的或可忽略的,并且向着第一塌陷区域 24 和向着第二塌陷区域 28 增大。

[0063] 在上面讨论的实施例中,薄膜 14 可以是永久塌陷的(机械塌陷的)或薄膜 14 可

以仅在单元的操作期间是塌陷的（电塌陷的）。现在，参考图 5 到图 8，将描述使用附加的塌陷电极的电塌陷的情况。

[0064] 图 5 示出了根据本发明的第四实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图。之前实施例的相应解释和附图标记还适用于图 5 的实施例。图 5 的实施例的单元基于图 2 的实施例的单元。然而，在图 5 的实施例中，薄膜 14 进一步包括位于第一塌陷区域 24 中的第三电极 19。第三电极 19 用于将薄膜 14 塌陷到衬底 12。通过在第一电极 16 和第三电极 19 之间施加（足够的）电压来将薄膜 12 塌陷到衬底 12。因此，薄膜 14 的第三电极 19 用于使薄膜或单元塌陷（也被称为塌陷电极），并且薄膜 14 的第二电极 18 是感测电极。因为这些电极 18、19 是电气分离的，因此预塌陷区域 24 不会有助于寄生电容。

[0065] 图 6 示出了根据本发明的第五实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图。之前实施例的相应解释和附图标记还适用于图 6 的实施例。图 6 的实施例的单元基于图 4 的实施例的单元。然而，在图 6 的实施例中，薄膜 14 进一步包括位于第一塌陷区域 24 中的第三电极 19（见图 5 的解释）和位于第二塌陷区域 28 中的第四电极 21。第三电极 19 和第四电极 21 用于将薄膜 14 塌陷到衬底 12。通过在第一电极 16 和第三电极 19 之间施加（足够的）电压并通过在第一电极 16 和第四电极 21 之间施加（足够的）电压来将薄膜 12 塌陷到衬底 12。因此，薄膜 14 的第三电极 19 和第四电极 21 用于使薄膜或单元塌陷（也被称为塌陷电极），并且薄膜 14 的第二电极 18 是感测电极。

[0066] 图 7 示出了根据本发明的第六实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图。之前实施例的相应解释和附图标记还适用于图 7 的实施例。图 7 的实施例的单元基于第一实施例和第二实施例的组的单元。因而，第二电极包括第一环形电极部分 18'（位于第一换能区域 26 内）和第二环形电极部分 18''（位于第二换能区域 27 内）。然而，在图 7 的实施例中，薄膜 14 进一步包括位于第一塌陷区域 24 中的第三电极 19（见图 5 或图 6 的解释）。因此第三电极 19 位于第一环形（内部）电极部分 18'（其在环形塌陷区域 24 内部）和第二环形（外部）电极部分 18''（其在环形塌陷区域 24 外部）之间。

[0067] 图 8a-c 每个示出根据图 6 的第五实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的电极的顶视图的不同示例。在图 8a-c 的每个中，示出第二（感测）电极 18、第三（塌陷）电极 19 和第四（塌陷）电极 21。第二（感测）电极 18 与第三（塌陷）电极 19 和 / 或第四（塌陷）电极 21 电气分离。第三和第四（塌陷）电极 19、21 可电气连接。然而，如果需要或期望将不同的电压施加到第三和第四（塌陷）电极 19、21 的话，第三和第四（塌陷）电极 19、21 也可电气分离。

[0068] 图 8b 或图 8c 还示出到第二环形电极 18 的连接器的 38 和到第三电极 19 和第四电极 21 的连接器的 39。因此，图 8b 或图 8c 示出示例性电极几何尺寸，以便为电极规划路线，以提供到中心的独立通道。在图 8a-c 中的每个中，需要到中心的独立通道以将电压加到电极 21，而不将其连接到电极 18。在图 8a 中，这将例如通过在电极 18 的顶部上的过孔来实现。然而，这将要求几个额外的处理步骤，从而增加设备的成本和复杂性。在图 8b 中，第二电极 18 在其环形形式中具有单个开口，并且第三电极 19 在其环形形状中具有单个开口。到第四电极 21 的连接器的 39 位于第二电极 18 的开口中，并且到第二电极 18 的连接器的 38 位于第三电极 19 的开口中。在图 8c 中，第二电极 18 在其环形形状中具有多个开口，并且第三电极 19 在其环形形状中具有多个开口。以该方式，第二电极 18 和第三电极 19 每个被分隔成多个

区段。在图 8c 中,电极 18、19 中的每个被分隔成四个区段。可期望的是将每个电极分隔成更多的区段,以提供更适当的径向对称。然而,还可将电极分隔成更少的区段,因此分隔成至少两个区段。可在内部区域(或薄膜区域)之外外部地连接区段。如在图 8c 中可看到的,到第二电极 18 的每个连接器 38 在第三电极 19 的两个区段之间延伸。每个连接器 39 在第二电极 18 的两个区段之间延伸。换言之,到第四电极 21 的一个连接器 39 位于第二电极 18 的每个开口中,并且到第二电极 18 的一个连接器 38 位于第三电极 19 的每个开口中。

[0069] 通常,在预塌陷单元中,可使用不同方法(例如使用电塌陷或机械塌陷)来使薄膜塌陷。在一个示例中,薄膜 14 可在内部区域中具有固有应力。特别地,该固有应力可引起薄膜从衬底凸出。以该方式,提供了薄膜 14 和衬底 12 之间的腔 13、17。在不具有固有应力的情况下,第一换能区域 26(在环形塌陷区域 24 内部的区域或被环形塌陷区域 24 包围的区域)可以保持与衬底 12 接触。

[0070] 在一个示例中,薄膜 14 在第一换能区域 25 中的残余应力可抗压,从而存在第一腔 13(或间隙)。压应力区域将必须处于薄膜的中性平面与薄膜中(背对)远离腔或间隙的表面之间。此外,压应力区域可从中心延伸出到大约环形塌陷区域的半径。如在板或壳的机械工程理论中已知的,在薄膜中存在中性平面,其在薄膜是弯曲的时候不经受拉伸或压缩。在中性平面的一侧上的任何压应力将薄膜凹陷远离被加压侧弯曲,并且相反地,在中性平面的一侧上的任何拉应力将薄膜凹陷向着被加压侧弯曲。

[0071] 在可替代示例中,应力可以是拉伸的,并且在薄膜的中性平面和薄膜的邻近(或面向)腔或间隙的表面之间。其它示例可包括塌陷环上的拉伸远端(distal),在塌陷环上的压缩近端(proximal),或前述示例的任意组合。另外,在塌陷环之外可存在附加层,例如压缩和远端、或拉伸近端。

[0072] 薄膜的固有应力可例如通过薄膜的化学计量和/或通过使用具有不同材料和层中应力的多层薄膜来控制。例如,材料沉积条件可影响薄膜应力。作为特定的示例,如果薄膜的基础材料由二氧化硅、氮化硅和/或氮氧化硅制成,二氧化硅可以是压缩的,氮化硅可以是拉伸的,并且氮氧化硅中的应力可利用化学计量来控制。电极材料的组成还可有助于应力。可通过电极材料和沉积参数的选择以及通过适当的附加材料的图案层来包括附加的应力贡献。

[0073] 图 9 示出根据本发明的另外实施例的预塌陷电容式微机械换能器单元的截面图,并且图 9a 示出图 9 的单元的顶视图。之前实施例的相应解释和附图标记还适用于图 9 的实施例。在图 9 的实施例中,通过在衬底 12(或其电极 16)的平面表面上的柱或突出物 15a 将薄膜 14 安装至中心区域 29 中的衬底 12。突出物 15a 位于衬底 12 和薄膜 14 之间。第一环形腔 13 形成在薄膜 14 和衬底 12 之间的包围突出物 15a 的区域中。优选地,可在与设置支撑物 15 相同的步骤中设置突出物 15a。突出物 15a 是圆形的,并且位于围绕单元的中心 C 的中心区域 29 中。在突出物 15a 处,腔 13 的高度(或间隙厚度)突然地或不连续地(从其最大高度)变到零。因此,突出物 15a 不是第二塌陷区域,并且并不提供更多的耦合(与具有第二塌陷区域的图 4 或图 6 相比)。然而,图 9 的实施例是牢固的并且容易制造。在图 9 的实施例中,通过施加到第三(塌陷)电极 19 的偏置电压,而不是通过在薄膜 14 上施加应力来使薄膜 14 塌陷。因此,薄膜中的固有应力在图 9 的实施例中不是必须的。

[0074] 在图 9 以及图 9a 中,第一腔 13 和第二腔 17 中的阴影或加点表示根据位置的耦合。

增大的点密度表示增大的耦合。如可看到的,在环形第二腔 17 中,耦合在支撑物 15 处(或在单元的区域 22 之外)是最小的或可忽略的,并且向着预塌陷区域 24 增大。在环形第一腔 13 中,耦合在突出物 15a 处(在中心 C 处)是最小的或可忽略的,并且向着预塌陷区域 24 增大。

[0075] 应指出的是,图 9 的截面图示出单个(圆形)单元 10,如在图 9a 的顶视图中可看出。单元 10 是围绕中心 C 或中心突出物 15a(圆形)对称。另外,在图 9 的实施例中,第二电极包括第一环形电极部分 18' (位于第一换能区域 26 中)和第二环形电极部分 18'' (位于第二换能区域 27 中)。然而,应当理解的是,第二电极也可仅位于第一换能区域 26 或第二换能区域 27 中。

[0076] 在上面参考图 2 到图 9 描述的实施例中,第一(底部)电极 16 被示为被施加到衬底基础材料和在整个内部区域 20(或薄膜或单元)延伸的连续层。然而,应当理解的是,可使用任何适当的第一电极。例如,第一电极可以是环形电极和/或可不在整个内部区域(或薄膜或单元)延伸。虽然,在上面参考图 2 到图 7 描述的实施例中,第二电极 18 是环形电极并且不在整个内部区域 20(或薄膜或单元)延伸,应当理解的是可使用任何适当的第二电极。例如,第二电极可以是圆形电极和/或可在整个内部区域(或薄膜或单元)延伸。在本文描述的所有情况或实施例中,在不影响换能器单元操作的情况下,可以在薄膜和衬底之间互换电极配置。

[0077] 在上面参考图 2 到图 9 描述的实施例中,单元 10 是圆形单元。圆形形状提供了对可用空间的相当好的填充和/或非常少的高阶振动模式(特别是与传送能量的期望模式竞争或产生使期望的接收信号模糊的非期望信号的振动模式)。然而,应当理解的是,可使用任何适当的单元形状,例如椭圆形、多边形、六角形、矩形或正方形等。因此,用于描述概念的圆形对称不应被认为是限制性的。

[0078] 可基于一个或多个以下实施例进一步描述本发明。在第一实施例中,代替在中心中的通常塌陷区域,塌陷在远离中心的环形区域中被发起,或除了在中心中的通常塌陷区域之外,塌陷还在远离中心的环形区域中被发起。以该方式,大大增加了有效换能器的面积。在第二实施例中,一个或两个电极可提供塌陷区域,一个在设备的中心,而第二个进一步在周边。在第三实施例中,单独的环形电极被设置用于换能。在第四实施例中,薄膜可被构建有固有应力分布,其将引起薄膜在换能区域中凸起远离衬底。

[0079] 从技术观点,本发明的预塌陷电容式微机械超声换能器单元(特别是 cMUT)可原理上按照与常规(未塌陷)电容式微机械超声换能器单元(特别是 cMUT)相同或相似的方式制造,该常规(未塌陷)电容式微机械换能器单元例如在 W02010/032156(其通过引用并入本文)中被详细描述。

[0080] 本发明可应用于用于发射和/或接收超声波的任何电容式微机械超声换能器单元(cMUT),特别是大到足以支撑多个电极结构(例如,至少高到 30MHz 或更高)的 cMUT 单元。然而,原则上,本发明还适用于任何其它预塌陷电容式微机械换能器,例如用于测量压力的压力传感器或换能器。应当理解的是,术语换能器还包括传感器的特定例子。

[0081] 尽管在附图和前面描述中详细说明和描述了本发明,然而这样的说明和描述应当被认为是说明性或示例性而不是限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本领域技术人员在实践所要求保护的发明,根据对附图、公开文本和所附权利要求的研究,可理解和实现

对所公开的实施例的其它变型。

[0082] 在权利要求中,词语“包括”并不排除其它元件或步骤,并且不定冠词“一个(a)”或“一种(an)”并不排除多个。单个元件或其它单元可实现在权利要求中记载的数项功能。某些措施被记载在相互不同的从属权利要求中的事实并不表明这些措施的组合不能用于改进。

[0083] 权利要求中的任何附图标记不应被认为限制范围。

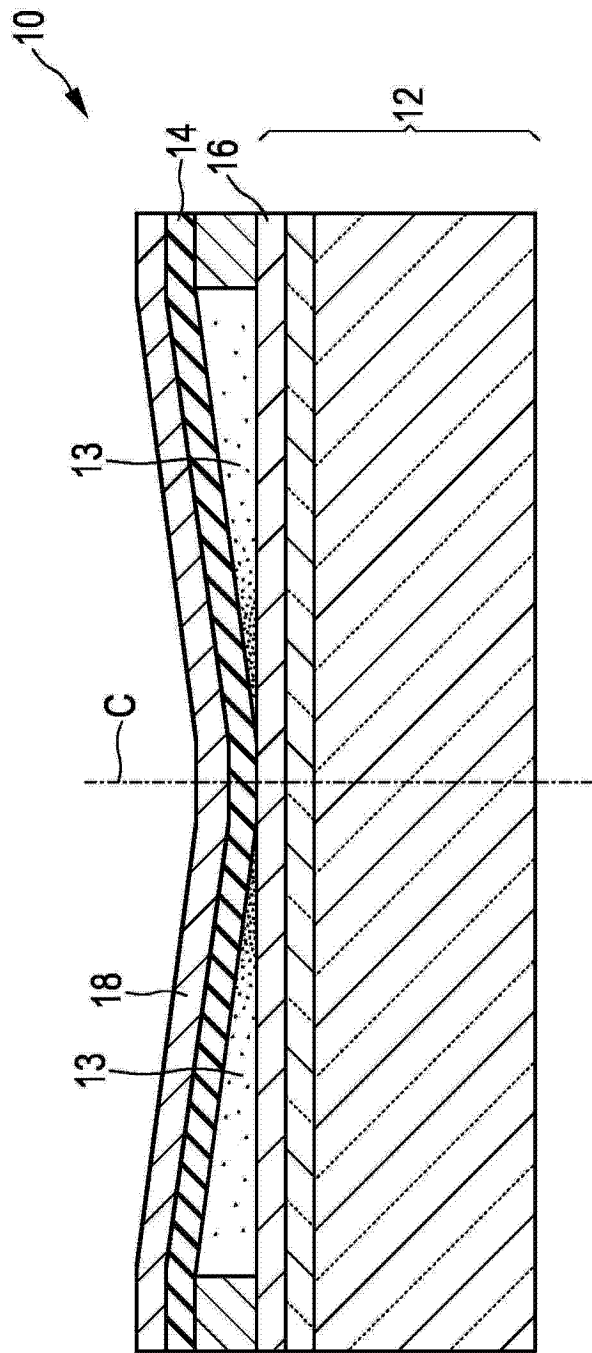


图 1

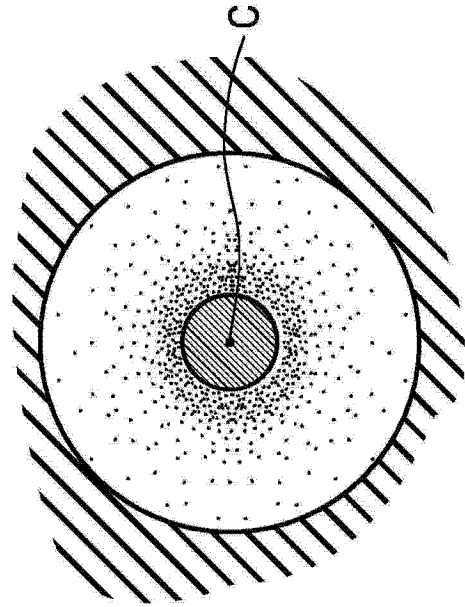


图 1a

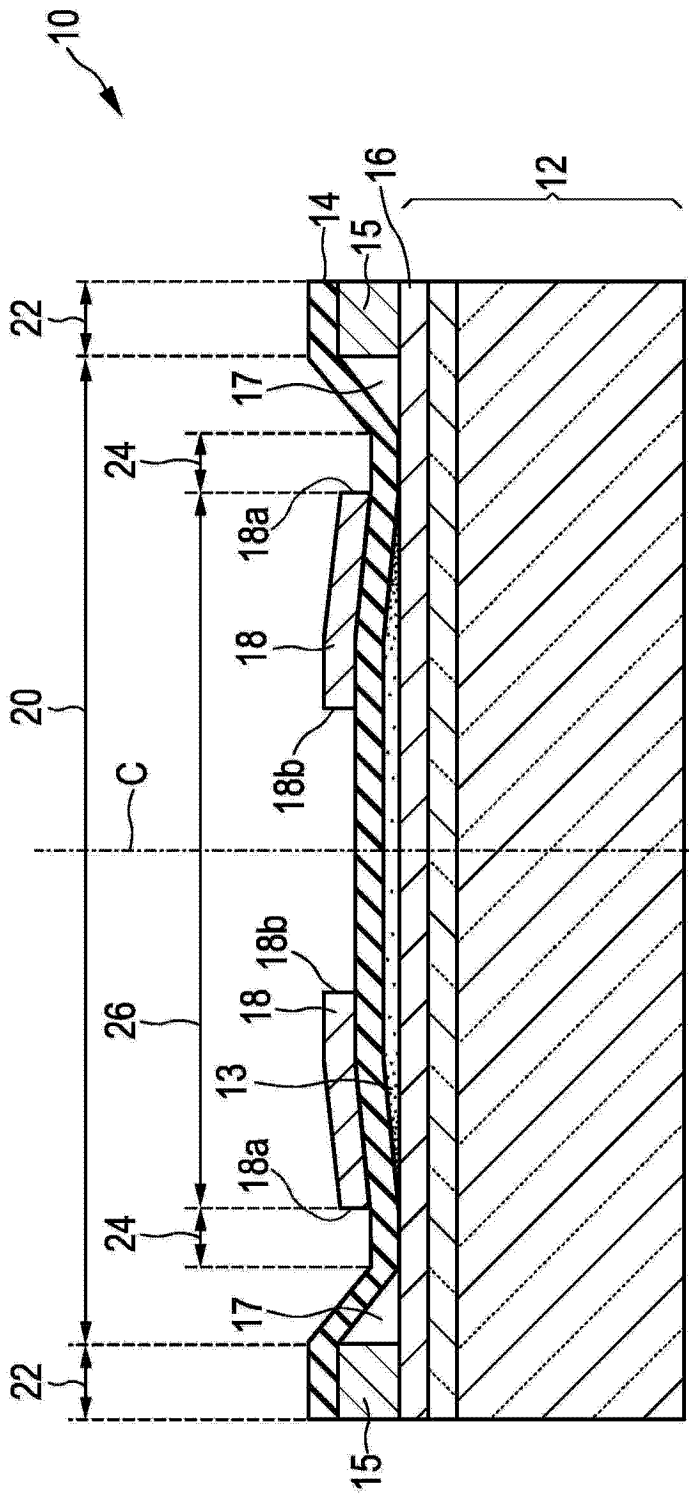


图 2

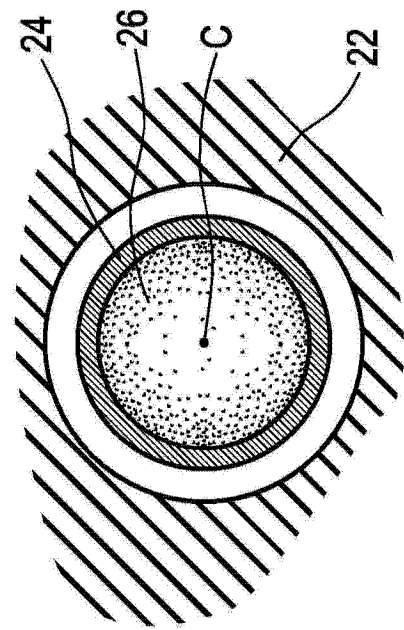


图 2 a

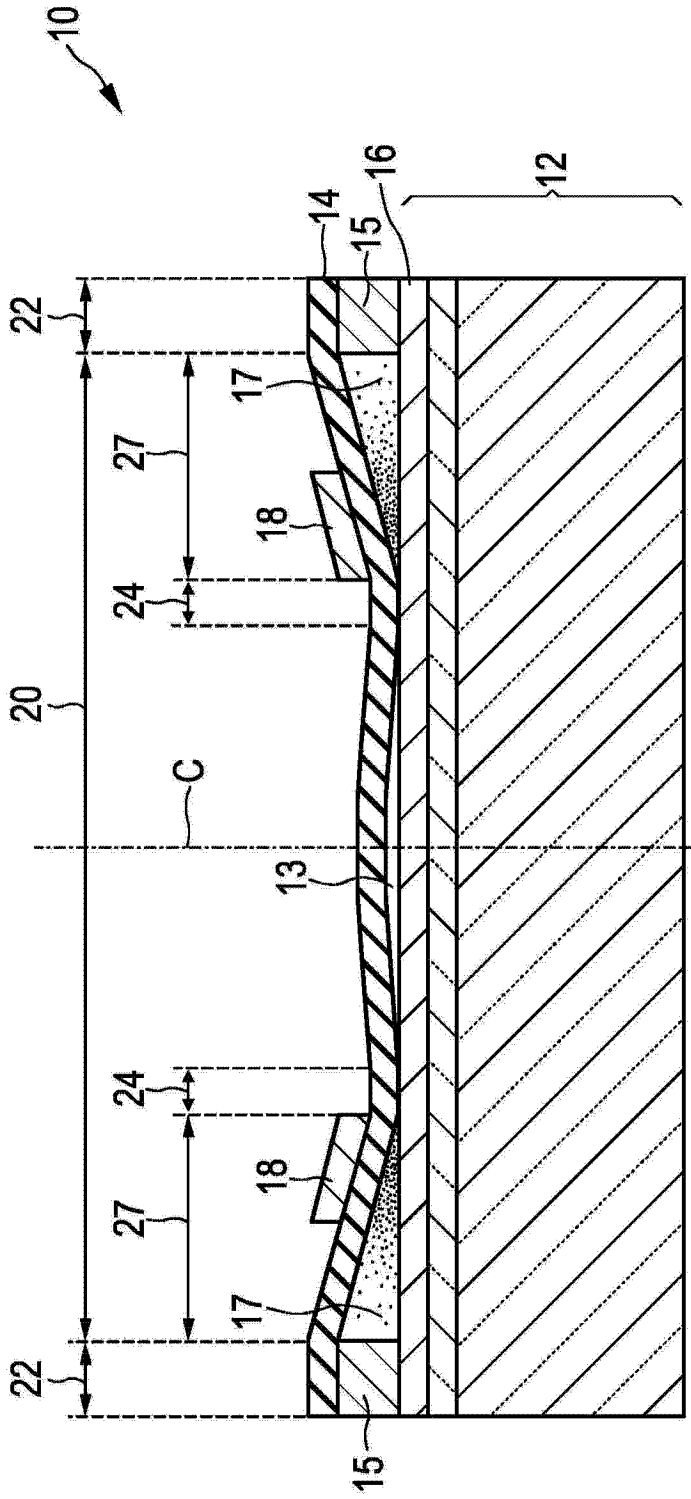


图 3

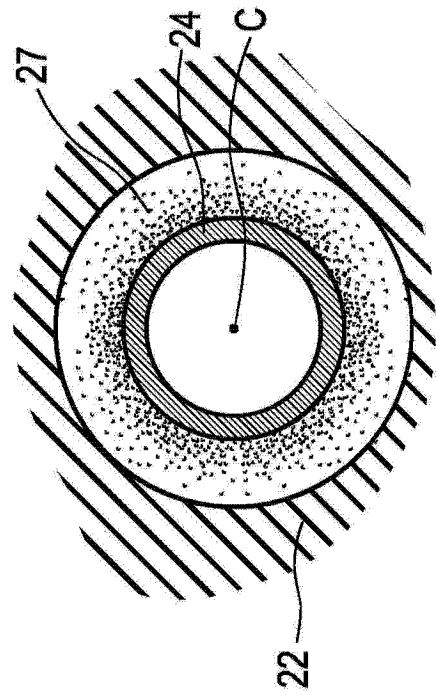


图 3 a



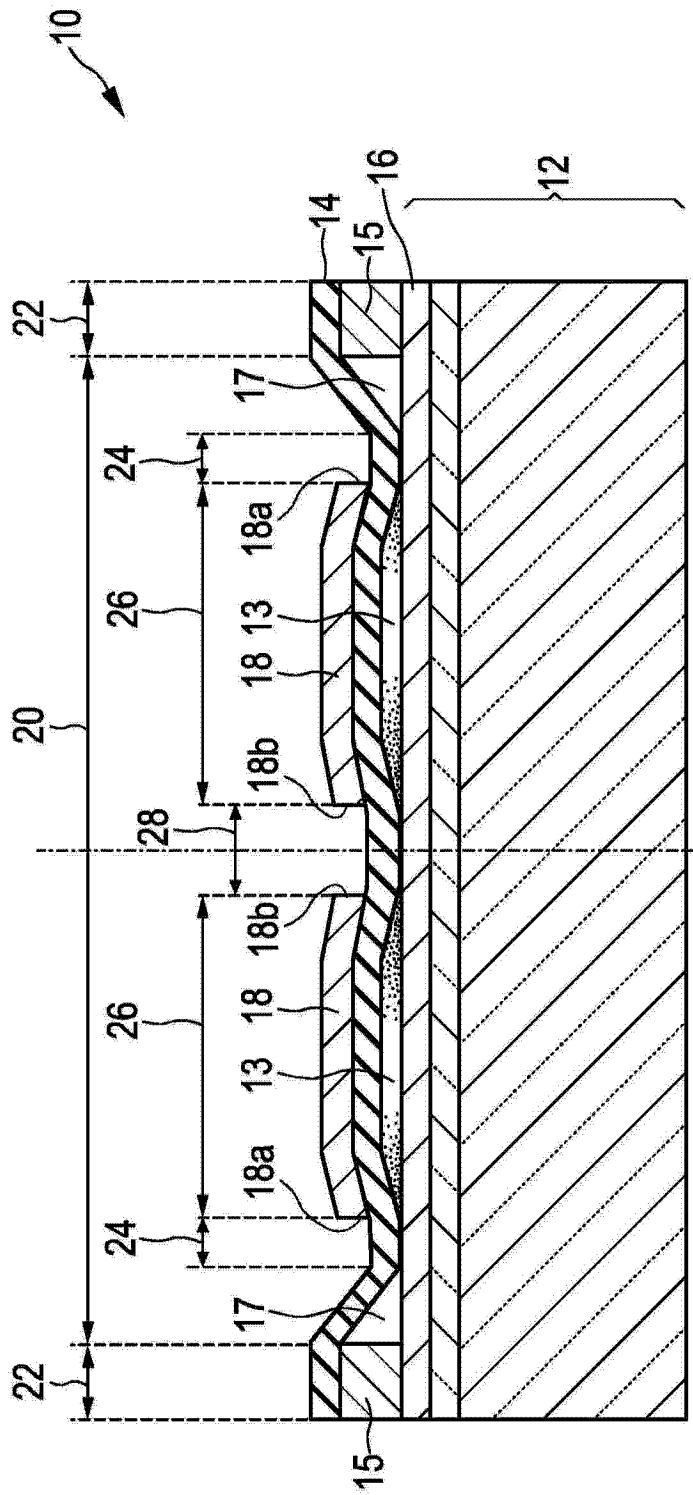


图 4

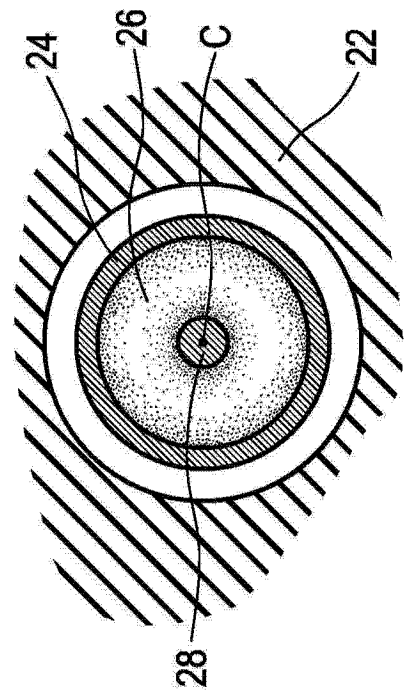


图 4 a

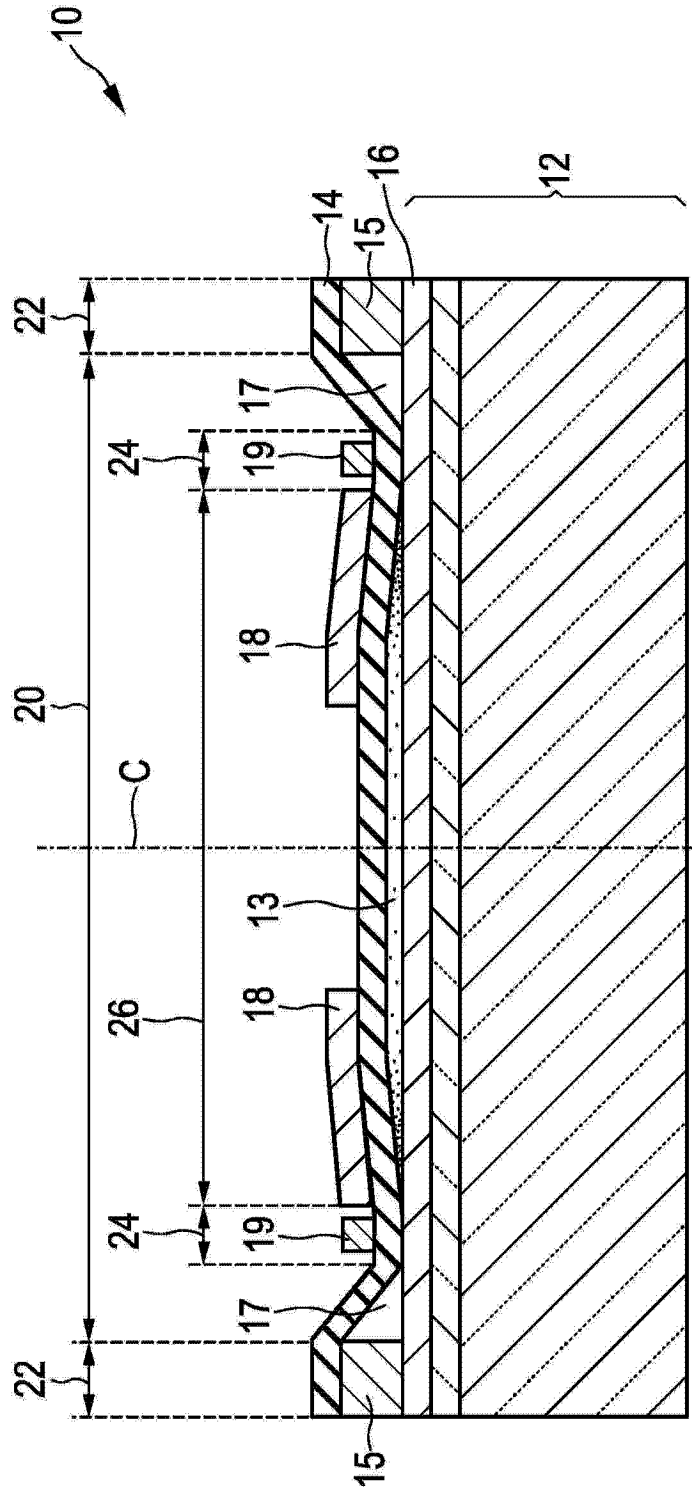


图 5

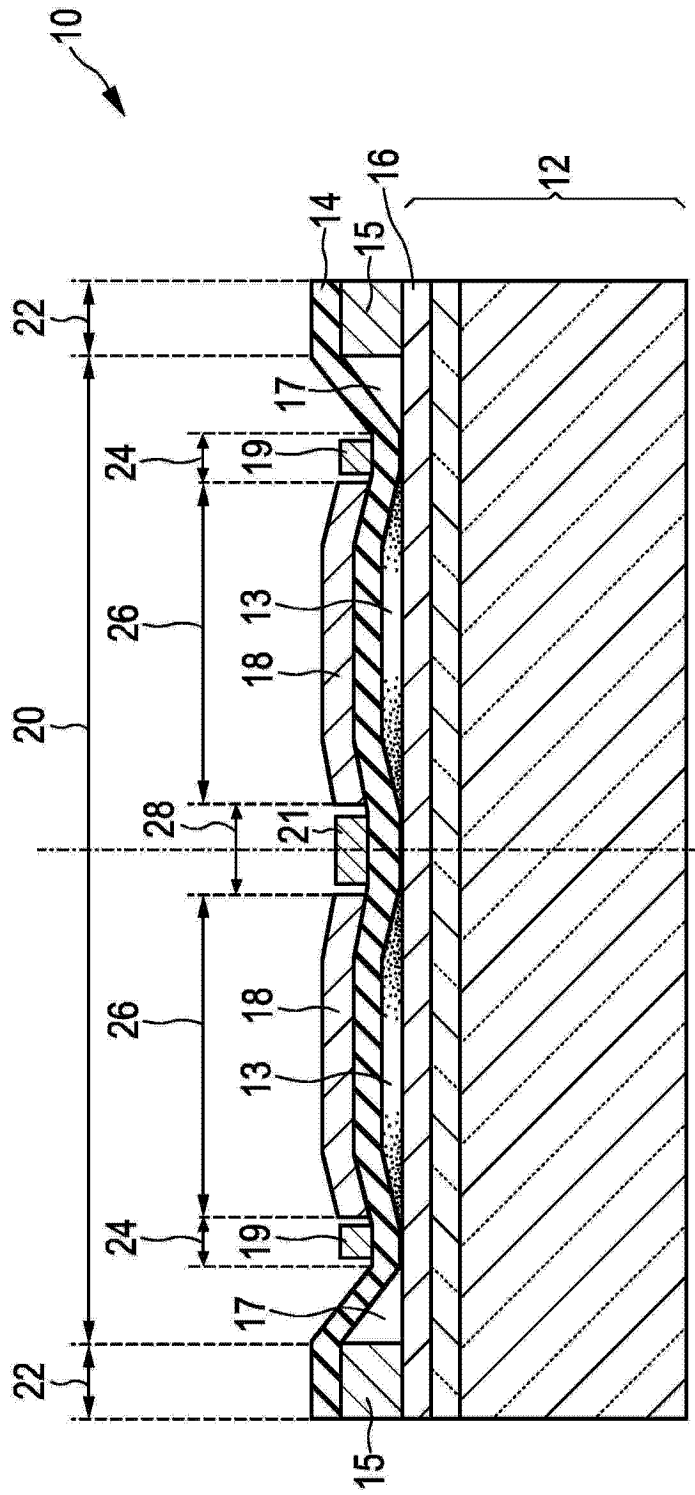


图 6

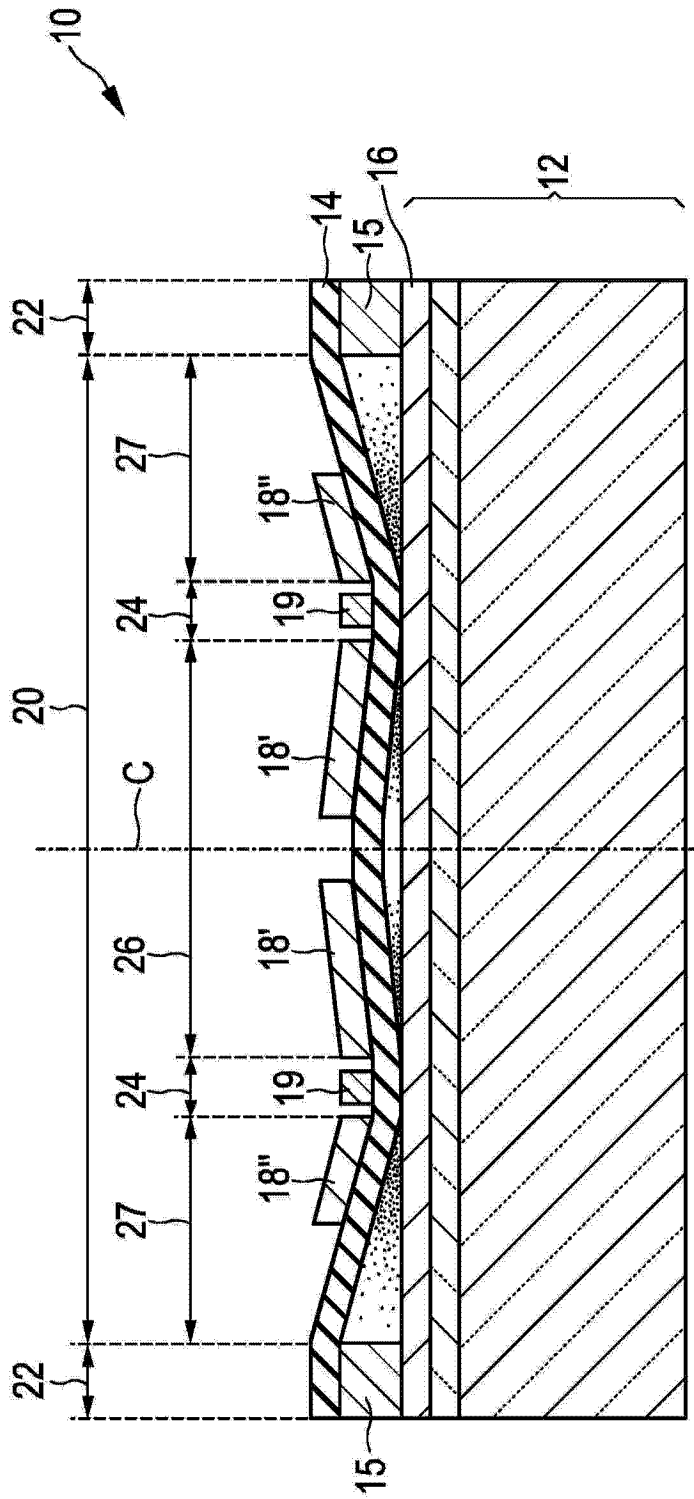


图 7

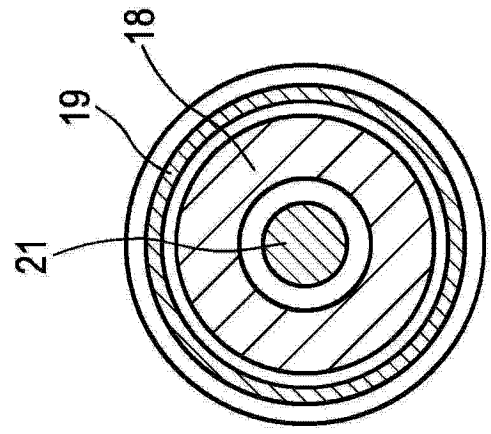


图 8 a

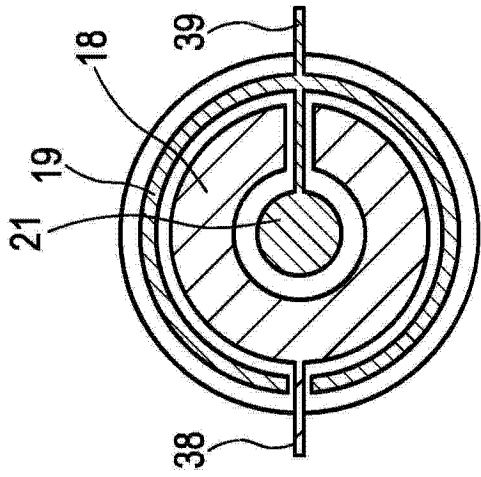


图 8 b

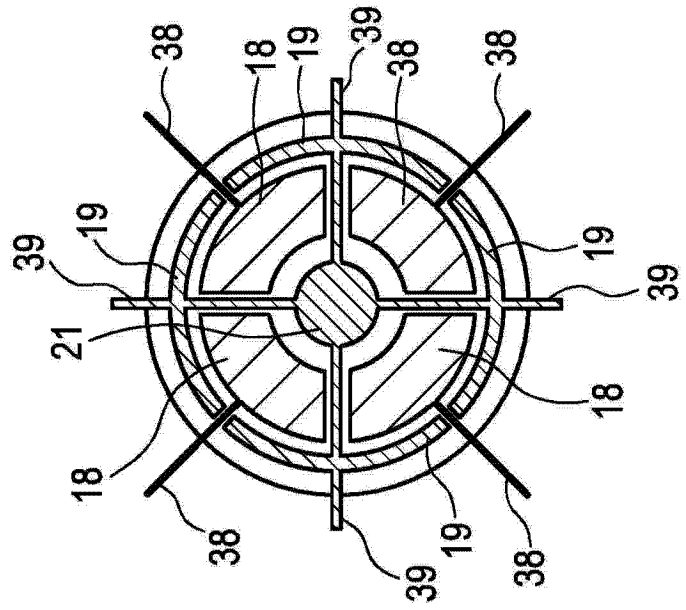


图 8 c

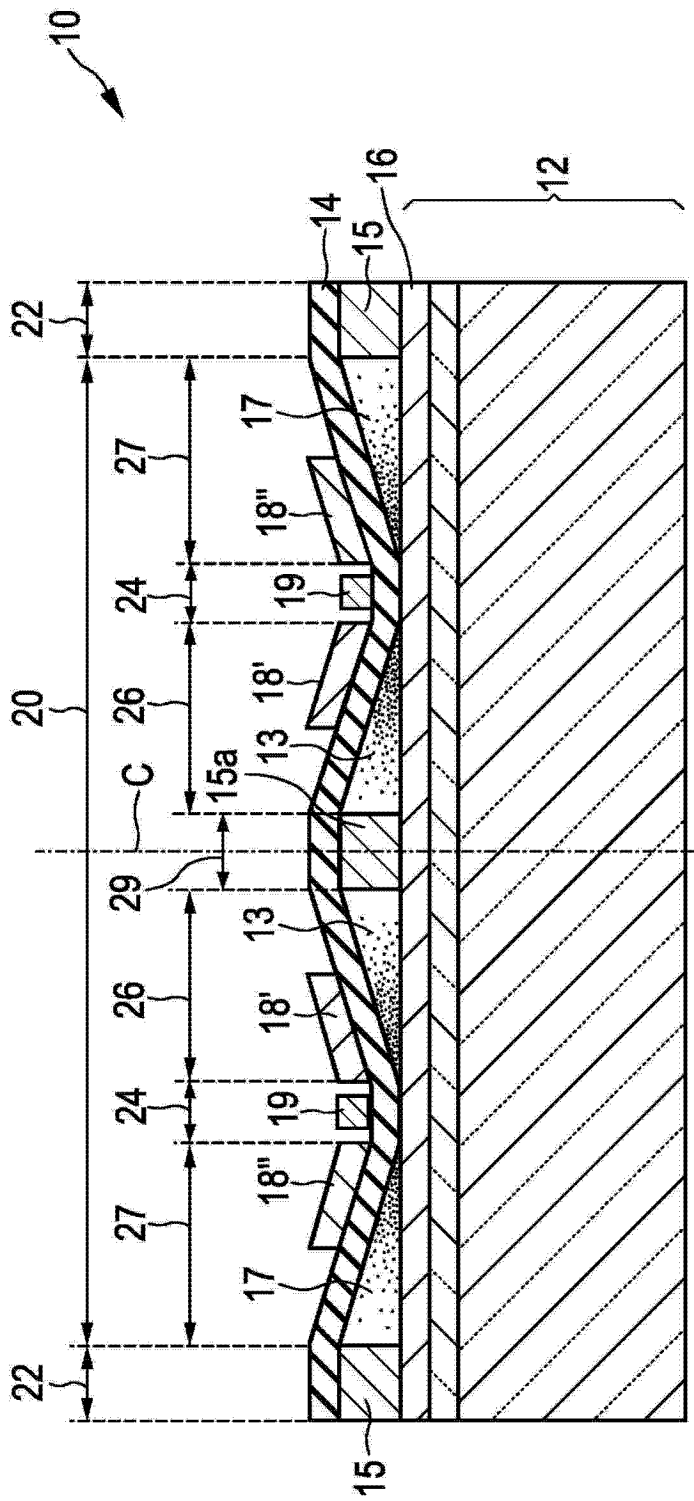


图 9

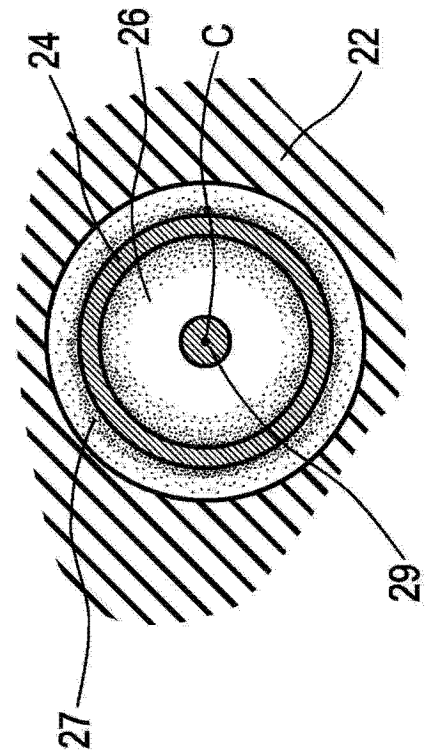


图 9 a