

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B81C 1/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680023771.6

[43] 公开日 2008年7月2日

[11] 公开号 CN 101213142A

[22] 申请日 2006.6.27

[21] 申请号 200680023771.6

[30] 优先权

[32] 2005.6.30 [33] EP [31] 05105869.1

[86] 国际申请 PCT/IB2006/052109 2006.6.27

[87] 国际公布 WO2007/004119 英 2007.1.11

[85] 进入国家阶段日期 2007.12.28

[71] 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 R·德克尔 G·朗戈埃斯

H·珀尔曼 M·杜姆林

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 蔡洪贵

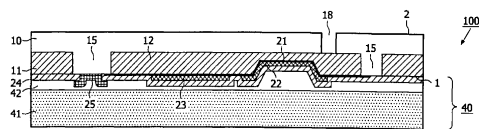
权利要求书 3 页 说明书 19 页 附图 7 页

[54] 发明名称

制造 MEMS 元件的方法

[57] 摘要

装置(100)包括具有第一表面和相反的第二表面(1, 2)的半导体材料基板(10)、和微机电(MEMS)元件(50), 所述微机电元件设有固定电极和可动电极(52, 51), 所述可动电极位于空腔(30)中。电极(51, 52)中的一个电极限定在基板(10)中。可动电极(51)可在第一间隙位置和第二位置之间向着和从固定电极(52)移动。空腔(30)通过基板(10)中的孔(18)敞开, 所述孔(18)暴露在基板(10)的第二表面(2)上。空腔(30)具有由基板(10)中的至少一个柱(15)限定的高度, 所述至少一个柱侧向基本上环绕着空腔(15)。



1. 一种制造电子器件的方法，所述电子器件包括微机电(MEMS)元件，所述微机电元件设有固定电极和可动电极，所述可动电极位于空腔中、且可在第一间隙位置和第二位置之间向着和从固定电极移动，所述方法包括以下步骤：

- 在基板的第一表面上提供牺牲层；
 - 设置具有位于牺牲层上的第一电极的电极结构；
 - 从与第一表面相反的第二表面在所述基板中提供至少一个蚀刻孔，所述蚀刻孔延伸直到暴露出牺牲层的区域；以及
 - 利用通过所述基板中的至少一个蚀刻孔的蚀刻剂去除牺牲层，从而形成所述空腔和位于固定电极和可动电极之间的间隙，
- 其特征在于，牺牲层通过局部氧化所述基板提供，且侧向至少基本上被基板的至少一个柱环绕，同时，所述电极结构延伸到所述基板的至少一个柱、且设有触点。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征在于，第二牺牲层设在第一电极的顶部上，所述第二牺牲层在去除步骤中被去除，使得第一电极是可动电极。

3. 如权利要求2所述的方法，其特征在于，固定电极限定在金属层中，所述金属层设在第二牺牲层的顶部上。

4. 如权利要求3所述的方法，其特征在于，处理基板中的至少一个蚀刻孔通过施加密封材料密封。

5. 如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，固定电极限定在所述基板中，为此，所述基板在邻近所述间隙的区域中是充分导电的。

6. 如权利要求 5 所述的方法，其特征在于，在处理基板中提供所述蚀刻孔之前，操纵基板粘接到所述基板，从而覆盖所述电极结构，且所述操纵基板在覆盖所述可动电极的区域被去除，使得暴露出所述可动电极。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述基板被充分地薄化、且被充分掺杂以充当可动电极，所述第一电极是固定电极。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，电极结构包括覆盖所述牺牲层的蚀刻阻挡层、和位于所述第一电极侧向的另一电极。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，在所述电极结构的沉积之前，所述牺牲层被选择性地蚀刻，以在所述第一电极的区域形成空腔，使得所述第一电极和所述可动电极之间的间隙小于另一可动电极和所述可动电极之间的间隙。

10. 一种电子器件，包括：具有第一表面和相反的第二表面的半导体材料基板、和微机电（MEMS）元件，所述微机电元件设有固定电极和可动电极，所述可动电极位于空腔中，且可在第一间隙位置和第二位置之间向着和从所述固定电极移动，所述电极中的至少一个限定在所述基板中，所述空腔通过所述基板中的孔敞开，所述基板中的

孔暴露在所述基板的第二表面上，其中，所述空腔具有由所述基板中的至少一个柱限定的高度，所述至少一个柱侧向基本上环绕着所述空腔。

11. 如权利要求 10 所述的电子器件，其特征在于，所述可动电极限定在所述基板的第一表面上的导电层中，且被包括在膜片中，所述膜片也暴露在远离所述空腔的一侧。

12. 如权利要求 10 所述的电子器件，其特征在于，晶体管限定在邻近 MEMS 元件的半导体基板层中或半导体基板层上，使得 MEMS 元件的所述第一电极与晶体管的栅限定在相同的层中。

13. 一种电子器件，包括：具有第一表面和相反的第二表面的半导体材料基板、和微机电（MEMS）元件，所述微机电元件设有固定电极、可动电极和空腔，所述可动电极可在第一间隙位置和第二位置之间向着和从所述固定电极移动，其中，所述可动电极位于所述基板上，所述空腔形成在所述可动电极下方，所述空腔通过设有孔的基板的一部分、和封闭所述孔的钝化层封闭。

制造 MEMS 元件的方法

技术领域

本发明涉及一种制造电子器件的方法，所述电子器件包括具有固定电极和可动电极的微机电（MEMS）元件，固定电极和可动电极由处于敞开位置的间隙彼此分离，所述可动电极可向着和从固定电极移动，所述方法包括以下步骤：

- 从与第一侧相反的第二侧在基板中提供至少一个蚀刻孔，使得暴露出牺牲层的区域，以及
- 使牺牲层通过基板中的至少一个蚀刻孔暴露在蚀刻剂下，利用蚀刻剂将牺牲层去除，从而使可动电极从固定电极分离。

本发明还涉及一种可使用所述方法制造的电子器件。

背景技术

这种方法和这种装置公知于 WO-A2004/071943。现有装置中的处理基板包括下、上半导体层和中间埋藏氧化层。埋藏氧化层在此是牺牲层，而可动电极和固定电极位于下半导体层中、且垂直于基板表面延伸。保留了该埋藏氧化层的多个部分。在埋藏氧化物中的接触插塞提供了与固定电极的电连接。操纵基板在去除牺牲层之后被合适地去除。合适地，另外的基板作为盖层粘接到下半导体层。仅固定电极被粘接，这是因为下半导体层已在去除牺牲层之前在可动电极的区域被稍微薄化。

现有装置和现有方法的不足是，牺牲层的去除难以控制。去除涉

及底蚀，且底蚀的形状仅由蚀刻时间决定。

发明内容

因此，本发明的目的是提供一种说明书起始段中所提及到的方法，其中，牺牲层的去除可以以可靠的方式执行。

上述目的的实现在于，在从第二侧提供蚀刻孔之前，包括以下步骤：

- 在基板的第一表面上提供牺牲层，所述牺牲层通过局部氧化基板提供，且侧向至少基本上由基板的至少一个柱环绕着；以及
- 设置具有第一电极的电极结构，所述电极结构延伸到基板的至少一个柱，且设有触点。

然后，牺牲层的去除使得在固定电极和可动电极之间产生间隙。

在本发明的方法中，牺牲层和至少一个电极位于基板上。这使得蚀刻阻挡层可覆盖牺牲层，从而，牺牲层可被选择性地蚀刻，而不会引起底蚀问题。蚀刻阻挡层可以是单独的层，但可选地，可动电极本身用作蚀刻阻挡层。牺牲层在此通过氧化基板提供。合适地，称作浅沟槽隔离的技术可用于此。

而且，用于限定牺牲层的浅沟槽隔离的使用使得可准确限定出要被去除的材料，从而可形成空腔。该浅沟槽隔离在第一侧的处理即前端处理的过程中应用。这样，它可以以亚微米级的高分辨率很好地应用，甚至低到 75nm 左右的先进平版印刷术尺寸。此外，基板的柱包括不同于牺牲层的另一种材料，且牺牲层可相对于基板被选择性地蚀刻。而且，沟槽隔离的高分辨率、特别是基板柱使得可调节柱的机械性能。特别地，它们可以是柔性的，或具有类似弹簧的特性。

明显相关的方法公知于 WO-A2004/009440。在该现有技术方法

中，使用具有高掺杂 (n^+) 和低掺杂 (n^-) 基板层的基板。孔通过高掺杂 (n^+) 层从第一侧蚀刻。在完成基板的第一侧的处理之后，低掺杂 (n^-) 层被部分蚀刻掉，同时 n^+ 和 n^- 层之间的接合部作为蚀刻阻挡部。该方法具有的缺点在于，孔的蚀刻需要与其他前侧蚀刻结合起来。如果其他元件也需要设在基板的第一侧，这是极其不实用的：孔易于充填任何流体，该流体由于毛细管作用不能被合适地去除。而且，该现有技术方法不能产生膜片由基板中的柱支撑的结构。

有利地，第一电极限定在金属层或多晶硅层中，所述金属层或多晶硅层也可用于邻近于 MEMS 元件限定出晶体管的栅电极。栅介电体在此是绝缘层。当与晶体管组合时，第一电极例如平行于基板表面合适地侧向延伸。然而，这不是严格必需的。在一个实施例中，第一电极是固定电极，在另一个实施例中，它是可动电极。

多晶硅栅用作 MEMS 元件的可动电极本身是公知的，例如描述于 R. Maboudian 和 R.T.Howe, *J.Vac.Sci.Techn.B* 15 (1997), 1 - 20 中。然而，文献仅涉及从上侧的蚀刻，而不涉及例如通过基板从下侧的蚀刻。而且，从下侧的蚀刻可减少毛细管作用的问题。这种问题描述于该文献中，且实质上是指蚀刻剂在去除牺牲层之后由于毛细力趋向于残留。通过本发明，可改善通向在牺牲层的去除中所产生的间隙的通路。不仅基板可被充分薄化以使到间隙具有短的路径，而且蚀刻孔的数目可增大，它们的直径也可大些。而且，利用与传统半导体制造操作分开的处理，这使得可采用更多种方法克服毛细力。

与多晶硅可动电极的传统显露 (release) 相比，本发明的方法的另外和更为重要的优点是，可动电极的显露可在对处理基板上的多层进行处理完成之后执行。这在现有技术中是有问题的，由于蚀刻孔是孔，且沉积其上的任何层均可进入孔中并污染结构。通常建议设置帽，

但这会往往需要单独为每个 MEMS 元件执行操作，产生大的费用。还建议粘接完整基板，但这也需要细心操作。而且，如 EP-A1396470 中所描述的，如果需要真空密封封装，这并不是特别容易。在本发明中，间隙的封闭是处理中的最后一步。如果希望，这可与封装工序组合。

在第一实施例中，第二牺牲层设在第一电极的顶部上，所述第二牺牲层在去除步骤中被去除，使得第一电极是可动电极。第二牺牲层优选还侧向延伸到可动电极。沟槽可位于可动电极中，用于优化机械性能和用于改善蚀刻剂的扩散。因此，多晶硅或金属可用作可动电极，代替传导基板区域。考虑到多晶可动电极的机械性能，多晶可动电极的使用在 MEMS 领域中是公知的。由于该层被沉积出，为了充分弯曲，它的成分、厚度和形状可被很好地优化。可选地，可利用可动元件，可动电极是可动元件的一部分，且可动元件还包括薄膜压电致动器，以使可动元件弯曲。

合适地，MEMS 元件的电极被定向成大致平行于基板（“水平形式”），尽管也可以可选地将 MEMS 元件设计成“竖直”形式。在水平形式中，固定电极可限定在基板的一部分中，或限定在可动电极的相反侧的导电层中。可以坚固的方式将固定电极限定在基板中。然而，它具有的缺点是，对于 RF 性能，基板的导电性可能不足。将固定电极限定在金属层中不具有该缺点。而且，固定电极可设在具有显著大的厚度的层中。该层此时可用于限定互连元件和感应器，以限制电损耗和具有足够高的 Q 因子，这两者都是 RF 应用所需的。

在最合适的变型中，处理基板中的至少一个蚀刻孔通过施加密封材料密封。合适地，这种密封材料是由化学气相沉积（CVD）施加的材料，例如是由相位增强 CVD 施加的氧化物或氮化物，或是由低压

CVD 施加的磷硅酸盐玻璃、氮化物或多晶硅。这种密封技术本身公知于 C.Liu 和 Y.Tai, *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems*, 8 (1999), 135 - 145, 该文献通过引用并于此。

在另一变型中, 固定电极限定在基板中, 为此, 基板在邻近间隙的区域处充分导电, 且在可动电极的相反侧的材料被去除, 以暴露可动电极。在这种变型下, MEMS 元件适合于用作传感器, 特别是压力传感器。更为优选地, MEMS 元件用作传声器。此外, 可动电极被实施为膜片, 且固定电极设有蚀刻孔, 该蚀刻孔设计成起着声孔的作用。合适地, 膜片通过类似弹簧的结构悬吊, 这在 RF MEMS 的领域中是公知的, 特别是公知于 US6557413B2。这种悬吊膜片由于其柔顺性而可自由调整, 且对于 $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 的正方形膜片来说, 如果膜片具有例如至少 10Mpa 的较大的固有应力, 同样具有较好的声学性能。此外, 它不具有弯曲结构, 使得声信号更均匀地传输。然而, 缺点是由于缝而使产生声捷径且具有较脆的结构。

最合适地, 特别是与本实施例组合, 在处理基板中提供蚀刻孔之前, 操纵基板粘接到基板上, 从而覆盖电极结构, 且其中操纵基板在覆盖可动电极的区域被去除, 以暴露可动电极。从而, 装置具有期望强度。

在另一实施例中, 基板被充分薄化、且被充分掺杂以充当可动电极, 且第一电极是固定电极。该实施例当与电极结构包括覆盖牺牲层的蚀刻阻挡层、和与第一电极邻近的另一电极的情况组合时特别有利。换言之, 蚀刻阻挡层与金属层中的固定电极的组合使用使得: 固定电极可更小, 且一个或多个另外电极可限定成邻近固定电极, 同时至少部分仍覆盖可动电极。也能使另外的结构这样限定, 因为金属层限定在基板的第一侧。在与第二侧相反的该侧, 亚微米级分辨率的平

版印刷术是众所周知的，且甚至通常应用于限定晶体管。从而，固定电极可以这种方式被图案化处理成具有比可动电极高得多的分辨率。

在另一变型中，牺牲层被选择性地蚀刻，以在第一电极的区域形成空腔。该蚀刻在沉积电极结构之前执行。它被执行成使第一电极和可动电极之间的间隙小于另一致动电极（actuation electrode）和可动电极之间的间隙。通过采用这种方式，第一调整电极比致动电极更靠近可动电极。双间隙设计对于 MEMS 可调电容器本身是公知的，且旨在防止吸合（pull-in）作用，根据吸合作用，可动电极在高于一定的吸合电压时会下降到固定电极。通常，该双间隙设计被实施成可动元件具有三维形状，而固定电极是平的。在本实施例中，是相反的情形，且通过柔和精细的蚀刻步骤产生空腔。该相反的结构具有的优点是，它可更容易地制造，特别是由于可动元件可被尽可能简单地保持。另外，机械性能期望得到改善，这是因为可动元件的弯曲不限于可动元件的某一区域。这趋向于现有技术中的情况，其中，不具有用于弯曲的调整电极区域。此外，在本发明的方法中可相当容易地将双间隙设计扩展到三间隙设计或另一设计，以防止任何吸合，同时降低驱动电压和/或降低固定电极与可动电极的粘合。

本发明还涉及一种设有基板和上述类型的 MEMS 元件的电子器件。在此，可动元件包括可动电极，它可在第一间隙位置和第二位置之间向着和从固定电极移动，且可动电极可大致处于空间中，以便可移动。具有 MEMS 元件的这种电子器件的许多示例是公知的。

第一种类型的 MEMS 元件包括在基板中的空腔内实施或作为基板的一部分的 MEMS 元件。这种类型的 MEMS 元件用于传感器，例如加速度传感器。合适地，它们可与用于探测由传感器提供的任何信号的有源电路组合在一个基板上。这种装置的缺点是，传感器必须在

完成有源电路的处理之后制作。不仅这可产生另外的处理步骤，而且还在这种传感器制造中存在失败的危险，所述传感器制造包括相当多的空腔中蚀刻和/或空腔蚀刻。

第二种类型的 MEMS 装置包括位于基板表面上且特别希望用于 RF 应用的 MEMS 装置。鉴于为限定出电感器需要高的基板电阻，这些 MEMS 装置通常未集成在晶体管的集成电路中。然而，缺乏集成也是它们的缺点，因为这意味着它为了一种特殊的 MEMS 应用而需要特殊工序。本希望具有一种经一些较小的改动即可用于不同应用的工序。上述第二种类型的 MEMS 的另一缺点是，为了致动，需要分离的激励晶体管。这些晶体管的分离组件的成本不低，且由于这种激励晶体管和实际 MEMS 元件之间具有相对较长的路径可引起相对较高的损耗。

因此，本发明的目的是提供一种上述类型的改进电子器件，其可用于不同的应用场合，且还可以不同的工序集成。

上述目的通过以下实现：在基板的第一表面，可动元件周围的部分空间被限定为浅沟槽，所述沟槽侧向被基板的至少一个柱环绕，且蚀刻孔从基板的第二表面至所述部分空间。该装置包括已通过从第一表面的处理限定出、并在完成第一侧的处理之后形成的空间。电极的至少一部分也位于第一表面上。因此，最重要的步骤处于第一表面的处理过程中，且可被包括在有源电路的处理中。然而，在基板的第一表面处理过程中不需要对空腔或空间进行蚀刻，因此，在处理可继续之前没有空腔需要再次封闭。

在第一实施例中，所述部分空间在固定电极和可动电极之间形成间隙，且固定电极和可动电极中的一个电极限定在邻近基板的第二表面处的基板部分中，另一个电极限定在位于基板的第一表面上的导电

层中。该实施例的 MEMS 装置具有大致平行于基板的电极。这有利于集成，且还可减少蚀刻剂的去除问题，由于空间不是非常高。

在特殊的变型中，可动元件限定在位于基板的第一表面上的导电层中，且被限定成能够谐振的膜片，其中，空间在可动元件背向基板的另一侧上延伸。

具体地讲，可动元件的另一侧上的空间延伸成使膜片暴露，从而能够使 MEMS 元件用作压力传感器。

最优选地，MEMS 元件是传声器，且基板中的至少一个蚀刻孔被限定成固定电极中的声孔。已经发现，优选穿孔部分处于表面面积的 20% - 40% 的范围内，更特别地处于表面面积的 25 - 30% 的范围内。这是低的声阻（其与带宽成比例）和大的电容（其与信号强度成比例）之间的最佳值。该声孔优选具有高达大约 30 微米的尺寸，且可具有任何形状。优选形状是正方形和圆形。直径为 10 微米或更小的小孔是优选的，这是因为这对于给定的穿孔部分来说会产生较低的声阻。而且，薄基板是优选的，这是因为孔的深度增大声阻，从而降低带宽。基板的厚度特别是声孔直径或与声孔的直径处于相同的水平上或更小。

在第二实施例中，可动元件和固定电极限定在基板的第一表面上，且至少一个蚀刻孔使用密封材料密封，以密封可动元件周围的空间。在该实施例中，封装是一体式的。合适地，接触孔邻近于蚀刻孔位于基板中，且用于外部连接的接触垫通过这些接触孔暴露。接触垫合适地限定在基板的第一表面上的金属或多晶硅层中。

合适地，晶体管邻近于 MEMS 元件限定在半导体基板层中或半导体基板层上，使得 MEMS 元件的第一电极与晶体管的栅限定在同一层中。这以有益的方式利用了本发明的装置的固有特征。

优选地，具有操纵基板，以便在从基板的第二表面进行任何薄化或蚀刻的过程中覆盖第一表面上的任何结构。

附图说明

参看附图进一步描述本发明的方法和装置的这些和其他方面，附图未按比例绘制，且不同图中的相同的附图标记表示相同的或相应的部件，附图包括：

图 1 - 4 以剖视图的形式示出了本发明的方法的第一实施例；

图 5 - 9 以剖视图的形式示出了本发明的方法和装置的第二实施例；

图 9 示出了根据图 5 - 8 构造的本发明的装置的传声器实施例的变换图；

图 10 示出了第二实施例的变型；以及

图 11 - 13 示出了本发明的方法中的另一密封步骤。

具体实施方式

图 1 - 4 以剖视图的形式示出了本发明的方法的第一实施例。

图 1 示出了具有第一表面 1、和第二表面 2 的基板 10。在这种情况下，基板 10 是硅基板，它被掺杂成 n 型或 p 型而使得是充分传导的。掺杂物特别地延伸到 10 - 20 微米的深度。在第一表面 1，基板 10 已被局部氧化，并形成出至少一个柱 15、牺牲层 12 和氧化层 11 的其他部分。这种氧化通过称作如在 S. M. Sze, Semiconductor Physics and Technology 中所述的浅沟槽氧化的工序执行，在该示例中，形成的 MEMS 元件设有第一和第二间隙，如其他图所示。为此，牺牲层 12 再次被构造，以形成凹部 14。尽管未在此示出，但基板 10 还可包括

其他任何元件，特别是晶体管和二极管。

图 2 示出了在基板的第一表面 1 上执行另外的两个步骤之后的基板 10。在该示例中由氮化硅制成、且由低压化学气相沉积 (LPCVD) 沉积的蚀刻阻挡层 21 沉积在牺牲层 12 上，并延伸到柱 15。金属图案 22、23 由铝或铝合金合适地沉积在此。两个图案 22、23 将在最终的 MEMS 元件中起着可动电极的作用。图案 22 延伸到凹部 14 中，且具有调整功能。图案 23 仅在牺牲层 12 上延伸，且具有致动功能。金属图案 22、23 通过未示出的互连元件合适地连接到触点或其他元件。介电层 24 施加到金属图案的顶部上，且合适地包括氧化物、氮化物或有机介电层，例如苯并环丁烷 (BCB)。触点 25 延伸通过介电层到达基板 10。该触点 25 可使得接触将限定在基板 10 中的可动电极。

带有其沉积层的基板 10 覆盖有封装体 40。在这种情况下，它是玻璃基板 41，该玻璃基板 41 利用粘合剂 42 加装到介电层 24 和触点 25。可选地，可施加陶瓷基板或第二半导体基板代替玻璃基板。此外，可施加树脂层，例如聚酰亚胺或环氧包覆物 (overmould)。也可通过电镀生长 (growth electroplating) 或非电镀的镍或通过组装施加足够厚的金属层。也可使用组合物。例如，临时操纵基板可加装到树脂层，且可在对基板 10 的第二表面 2 进行处理之后去除。

尽管未示出，但接触垫集成在装置中。这种接触垫也可被限定到基板 10 的第一表面 1，类似于触点 25。然后，这些接触垫通过局部去除基板而被暴露出来。最合适地，这种接触垫设在氧化物岛的顶部上，氧化物岛侧向被硅柱环绕。当在另一步骤中选择性地去除氧化物时，这些接触垫可暴露出来。可选地，接触垫可邻近封装体设置。它们可在对基板 10 的第二表面 2 进行处理之后暴露出来。在玻璃基板 41 的该示例中，接触垫的暴露涉及到例如本身公知于 ShellCase 的工

序。在可移除的操纵基板和树脂层的情况下，可通过树脂层提供进一步的金属化。

尽管在此未示出，但无源元件例如带状线、电阻器、感应器和电容器可通过在基板 10 的第一表面 1 上的沉积和图案化处理特定层而集成在装置中。然后，金属化将涉及比仅在此示出的图案 22、23 多的层。

图 3 示出了处于处理的另一阶段的装置 100，该处理在基板 10 的第二表面 2 上进行。处理首先涉及通过磨削薄化整个基板和可选的另一湿蚀刻步骤。随后，基板被图案化处理，以产生孔 18。牺牲层 12 通过这些开口 18 暴露出来。

图 4 示出了在去除牺牲层 12 之后的最终装置 100，其中，形成空腔 30。同时，氧化层 11 的其他部分未被去除，因为它们没有暴露在蚀刻溶液下。可利用湿蚀刻或等离子体蚀刻去除氧化层。此时 MEMS 元件 50 形成，且包括固定电极 52、53 和限定在基板 10 中的可动电极 51。

尽管未示出，但也可在基板 10 的该第二表面 2 上设置另外的封装层。这种封装层适合于在组装步骤中提供。一种特别合适的工序是使用双重光阻材料层，光阻材料层具有用于提供焊球的凹孔。这种光阻材料层合适地设置成片材，以防止填充空腔。该工序描述于 US6621163 中。另一种合适的工序是使用可弯曲的基板，该基板通过锚固结构加装，如在 W0-A2003/084861 中所描述的。在另一合适的工序中，环形接触垫限定在 MEMS 元件 50 的周围，且设有焊料。当组装在相对的载体上时，环形焊料可形成密封封装。为了在焊料和基板 10 之间提供合适的电绝缘，环适合被环形硅柱和另一氧化物材料环环绕着。

图5-8以剖视图的形式示出了本发明的方法的第二实施例的几个阶段。该实施例产生装置100，该装置100包括MEMS元件50和有源元件60，它们互连以形成CMOS集成电路。该实施例的MEMS元件50设计成充当传声器；然而，该设计也可被最优化成另一应用例如高频谐振器、传感器或开关。

图5示出了具有其第一表面1和第二表面2的基板10。第一表面1被局部氧化以形成牺牲层12、至少一个柱15和氧化物层的其他部分11。另外，掺杂区域62、63设在基板中，以形成一个或多个有源元件60。掺杂区域在该实施例中起着场效应晶体管60的源61和漏极62的作用，且通过通道63互连。传导图案22设在牺牲层12上。栅电极64与传导图案设在相同的传导材料层上。在该示例中，传导材料是多晶硅，多晶硅如现有技术所知适合于被充分掺杂。合适的传导材料的其他示例包括金属和硅化物。一个或多个介电层24和触点45以及未示出的互连元件和接触垫在以本领域普通技术人员公知的方式制作晶体管60之后提供。钝化层26覆盖介电层24、触点25和互连元件的上述结构。接触垫可设在基板10的第一表面1上，使得它们通过局部移除基板而被暴露出来，如针对第一实施例所作的描述那样。可选地或另外地，它们可设在钝化层26下方，且通过其中的凹孔暴露出来。接触垫甚至可位于钝化层26上，从而更充分地利用可用表面区域。后一选择对于该实施例是优选的，这将在以下继续讨论。

图6示出了在图案化处理钝化层26和设置封装体40之后的工序第二阶段的基板10。钝化层26和下介电层24被图案化处理，以暴露出传导图案22。该传导图案22将充当MEMS元件50的可动电极。该图案22的早暴露使得它侧向尺寸得到良好限定。从而，设定了可动电极52的尺寸，这会影晌性能特别是谐振频率。层24、26的图案化

处理适合于利用湿蚀刻技术执行。这使得传导图案 22 可有效地充当蚀刻阻挡层。从而，在被图案化处理的层 24、26 中的凹孔 241 的直径向着传导图案 22 减小。从而，将显露以在随后的处理阶段中充当膜片的传导层 22 被有效地锚固。这样，机械稳定性是最优的。

在钝化层 26 下方具有接触垫的情况下，接触垫优选在同一图案化处理步骤中暴露。由于接触垫由传导材料制成，因此，接触垫本身可用作蚀刻阻挡物，使得位于传导图案 22 上方的凹孔 241 比位于接触垫上方的凹孔深。

随后，凹孔 241 被填充粘合剂 42，且被玻璃板 41 覆盖。封装体 40 的其他形式也是可以的，但玻璃板 41 在这种情况下显得非常合适：粘合剂 41 可用于克服非平坦部分；玻璃板 41 可利用粉末爆炸或其他本身公知的方法图案化处理，好于环氧树脂；以及玻璃板可提供足够的机械刚性，好于柔性聚酰亚胺树脂层。

而且，在传导图案 22 不是板状封闭结构、但包括孔或缝的情况下，该封装工序仍可有效地进行：此时，湿蚀刻处理可延伸通过孔或缝，甚至可部分蚀刻掉下牺牲层 12。传导图案 22 作为独立膜片的上述显露在基板被从它的第二表面 2 薄化的随后处理步骤中可具有负面影响。然而，粘合剂 42 有效地填充孔。而且，粘合剂 42 可有效地在接下来的处理步骤中被去除。

图 7 示出了在从基板 10 的第二表面 2 对基板 10 进行处理后的另一处理阶段的装置 100。这涉及将基板 10 通过磨削或湿破坏蚀刻(wet damage etch) 薄化到 10-50 微米左右的厚度。然后，在基板 10 中提供孔 18。这最适合于通过干蚀刻执行。牺牲层 12 将充当干蚀刻处理的蚀刻阻挡层。

图 8 示出了在另一去除步骤之后的最终装置 100。这包括玻璃板

41 的图案化处理、从第二侧 2 对牺牲层 12 的湿蚀刻、粘合剂 42 的局部去除，使得显露传导图案 22 以形成膜片。粘合剂的去除适合于采用氧气等离子蚀刻进行。此时，MEMS50 形成；膜片 22 在此充当可动电极 51，且基板区域充当固定电极 52。可动电极 51 执行传声器中的振动膜的功能，固定电极执行背板的功能。

由于振动膜由多晶硅层的显露产生，因此，传声器性能受该层的应力和厚度限制。对于 $0.5 \times 0.5 \text{mm}^2$ 的振动膜，优选特别是小于 10Mpa 的低的张应力。如果这不可实现，人们可使用由梁悬吊的膜片。悬吊膜片的柔顺度可被自由地调整，且不具有弯曲结构的缺点。然而，使用悬吊膜片具有因缝和易碎结构而存在声捷径的缺点。

优选地，振动膜具有大约 300nm 的厚度、和 $0.5 \times 0.5 \text{mm}^2$ 的尺寸。对于具有 $2.33 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的密度的多晶硅，悬吊振动膜的质量是 $1.75 \times 10^{-10} \text{kg}$ ，对于图中所示的膜片来说，质量是 $2.52 \times 10^{-10} \text{kg}$ 。

在本发明中，气隙是固定的，且对应于牺牲部分即基板中的氧化层的厚度。在该示例中，大约 1 微米。

合适的传声器所用的量度是与膜片的谐振频率相关的 Q 因数。该 Q 因数可用气隙中的空气声阻抗 R_a 、振动膜的质量 L_d 和振动膜的柔顺度 C_d 表示。当忽略声辐射质量、气隙中的空气质量和背后腔室空间的柔顺度时，Q 因数可近似表示如下：

$$Q \approx \frac{1}{R_a} \sqrt{\frac{L_d}{C_d}} \quad (1)$$

品质因数 Q 优选大些。当 $Q > 1$ 时，传声器的带宽接近于膜片的谐振频率。在这种情况下，频谱在接近于谐振频率时灵敏度增大。然而，

对于 $Q < 1$ ，带宽由气隙的声阻抗和膜的柔顺度确定。

因此，通过形成大孔和大的气隙降低声阻抗 R_a 是重要的。然而，电灵敏度通过较大的孔和气隙的增大降低 ($C = \epsilon A/d$ ，其中，尺寸 A 由于孔而降低，距离 d 是气隙距离)。

因此，溶液使得背板中的声孔的形状变化。已发现，这可适合于使用为湿化学蚀刻的特殊蚀刻工艺实现。

图 9 示出了曲线图，其中，示出了两种类型的传声器的仿真频谱：一个具有利用湿化学蚀刻制造出的锥形孔，一个具有通过干蚀刻制作的直声孔。输出以声压到膜运动的转换的机械量的形式给出。向电域的转换与频率无关。在所选的孔几何结构中，干蚀刻传声器由于孔中的空气阻力而不具有全带宽。

对于 $0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ 的振动膜，具有 $10^8/\text{m}^2$ 个蚀刻孔 18 的密度的 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ 的基板中的正方形声孔（背板的 25% 被穿孔）是典型合适的结构。声阻抗 R_a 包括由作为被推出气隙的空气中的结果的“节流孔”部分和作为背板即限定在基板中的固定电极 52 的厚度的结果的管部分。当孔通过反应离子蚀刻被各向异性地蚀刻时，声管阻抗决定了总声阻抗的 40% 的部分（对于上述结构）。我们可通过利用湿化学蚀刻声孔而去除该部分，这从图 9 可以清楚地看出。

图 10 示出了该第二实施例的另一变型。在此，钝化层 26 和介电层 24 被图案化处理，以使传导图案 22 仅局部暴露出来。特别地，暴露区域 241 是环状或类似形状。这使得在可动电极 51 的顶部上产生质量体 54。尽管在此未示出，但质量体 54 可包括多个金属层，以增大其重量。可选地，相对较大的质量体可成玻璃盘的形式从支撑玻璃基板施加。最终的 MEMS 元件 50 可合适地作为传感器，用于测量加速度。

在另一步骤中，基板 10 的第二表面 2 中的孔 18 可通过施加密封层 19 封闭。这种密封层 19 可采用减小压力下的相位增强化学气相沉积施加，这本身公知于 Chang Liu 和 Yu-Chong Tai, *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems*, 8(1999), 135 - 145。密封层 19 例如包括氧化物，但氮化物和其他材料并未被排除在外。作为低压的结果，氧化选择性地发生于孔 18 的外侧。此时，最终的层由跨过和封闭孔的帽构成。合适地，孔 18 具有小于 5 微米的宽度，且优选处于 0.5-2.5 微米的范围内。并不排除一些孔例如为了暴露接触垫或为了敞开空腔 30 而被再次打开。在传声器应用中使用 MEMS 元件时，这是优选的。

上述密封步骤在图 11 - 13 中示出。这些图以剖视图的形式示出了本发明的方法的第三实施例。

图 11 示出了基板 10，在它的第一表面 1 上具有多个层和封装体 40。在此，基板 10 在它已被从第二表面 2 薄化的状态下示出。基板 10 的薄化处理被执行到小于 50 微米的厚度，优选处于 20-30 微米的范围内，除柱 15 的厚度以外。如同较前的实施例，基板 10 在它的第一表面 1 上被局部氧化，以形成牺牲层 12、柱 15 和氧化层 11 的其他部分。传导图案 22 施加在牺牲层 12 的顶部上，且延伸到至少一个柱 15。第二牺牲层 27 设在传导图案 22 的顶部上，例如为正硅酸四乙酯 (TEOS) 层。蚀刻阻挡层 28 以被合适地图案化处理的形式设于此。在该示例中，利用低压化学气相沉积 (LPCVD) 沉积氮化物作为蚀刻阻挡层 28。触点 25 和另外的图案 32、33 设于此。这些图案 22、25、32、33 的合适材料是多晶硅，但也可以是金属例如铜或铜合金或铝合金，或甚至是传导氮化物或氧化物例如 TiN 或铟锡氧化物。而且，传导图案 22 可由不同于图案 25、32、33 的其他材料制成。合适的选择例如

是，使充当可动电极的传导图案 22 由多晶硅制成，而其他图案由可选地具有 Al 的 TiN 制成。可选地，传导图案 22 设在另一层上，例如压电层上。此时，将产生压电 MEMS 装置。

钝化层 26 施加在图案 25、32、33 的顶部上。合适地，但未示出，其他介电层和金属层设置成用于限定互连元件、接触垫和其他任何无源元件例如耦合器、带状线、电容器、电阻器和电感器。而且，基板 10 可包括其他元件例如晶体管或沟槽电容器。合适地，接触垫在该示例中设在基板 10 侧。

封装体 40 例如包括玻璃板 41 和粘合层，但也可选择性地由包覆树脂层例如环氧树脂层或其他任何层制成。需要封装体 40 实现化学保护并提供足够的稳定性；且可使用任何实现这些要求的结构。特别地，在该示例中，不必对封装体进行图案化处理或去除封装体 40。

图 12 示出了在孔 18 从基板的第二表面 2 设在基板 10 中、且牺牲层 12、27 已被去除之后的装置 100。该去除有效地通过湿化学蚀刻执行。有利地，传导图案 22 包括孔或缝，以使蚀刻剂有效分布和减少毛细作用的问题。该去除可选择性地至少部分通过干蚀刻执行。这种去除步骤显露出了用作 MEMS 元件 50 的可动电极 51 的传导图案 22。传导图案 32、33 被暴露作为 MEMS 元件的固定电极 52、53。特别地，电极 52 是致动器电极，电极 53 是传感电极。尽管在此未示出，但孔 18 周围的基板区域可用作另一固定电极。显然，可动电极 51 的设计仅是说明性的。可选地应用被双重或多重夹持的可动电极 51，且弹簧结构可植入该可动电极 51 中。

图 13 示出了具有密封层 19 的最终装置 100。在该示例中，利用 PECVD 氧化层。合适地，密封层 19 的厚度与孔 18 的宽度处于相同的水平上。此时，空腔 30 将由于 PECVD 氧化物的差的阶梯覆盖而自动

封闭。空腔 30 中的最终压力等于或类似于在用于沉积 PECVD 氧化物的反应器中的减小压力。

附图标记：

- 1 基板 10 的第一表面
- 2 基板 10 的第二表面
- 10 基板
- 11 氧化层
- 12 牺牲层
- 14 凹部
- 15 柱
- 18 孔
- 19 密封层
- 21 蚀刻阻挡层
- 22, 23 传导图案
- 24 介电层
- 25 触点
- 26 钝化层
- 27 第二牺牲层
- 28 蚀刻阻挡层
- 30 空腔
- 32, 33 传导图案
- 40 封装体
- 41 玻璃板
- 42 粘合剂

50	MEMS 元件
51	可动电极
52	固定电极
54	质量体
60	有源元件, 特别是晶体管
61	掺杂区域, 特别是源电极
62	掺杂区域, 特别是漏极电极
63	通道
64	栅电极
100	最终装置
241	凹孔

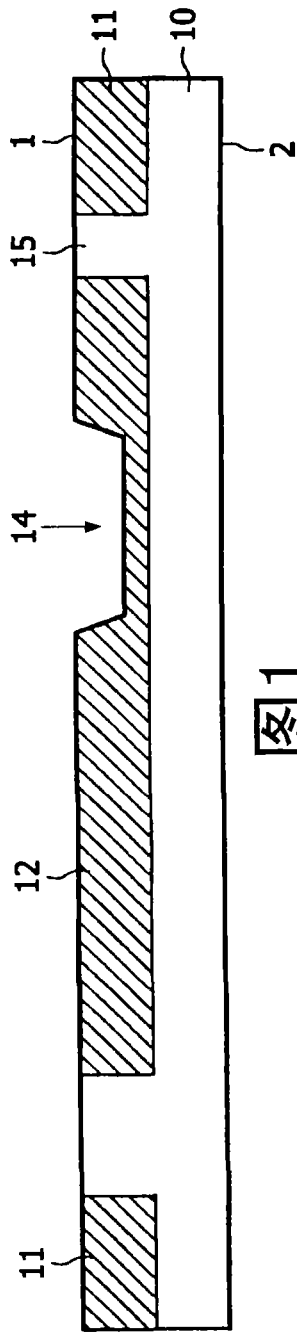


图1

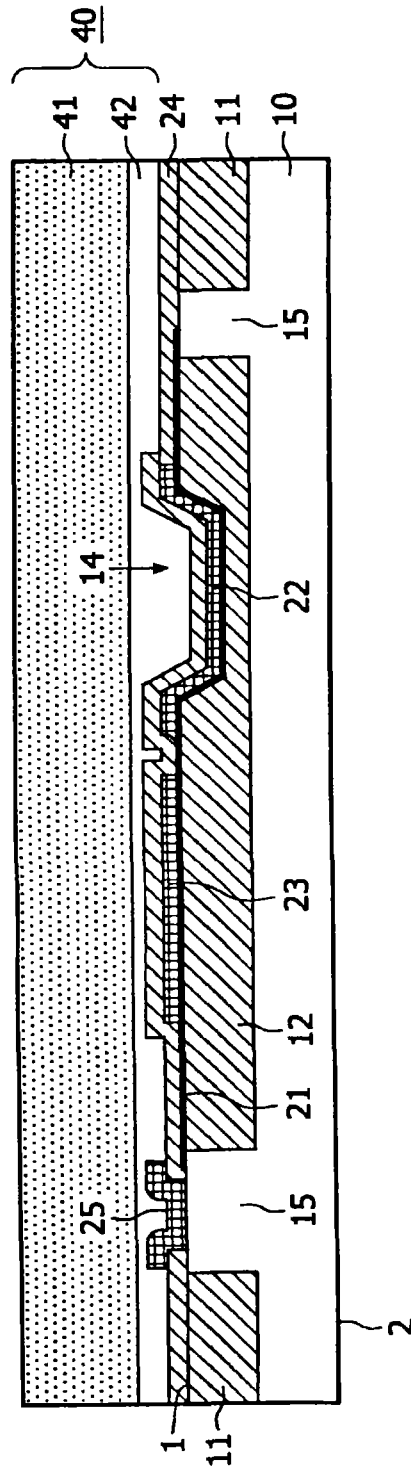


图2

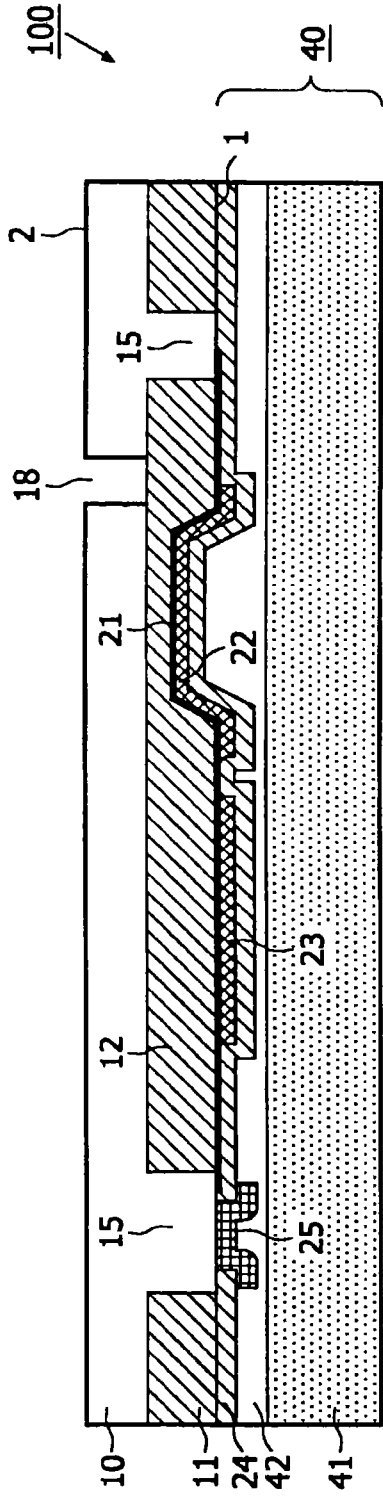


图3

50

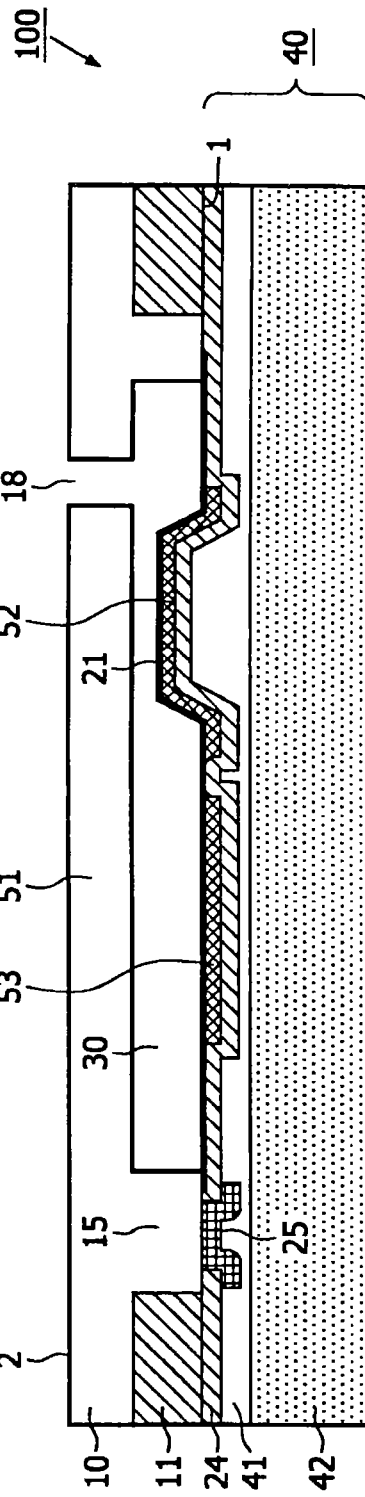


图4

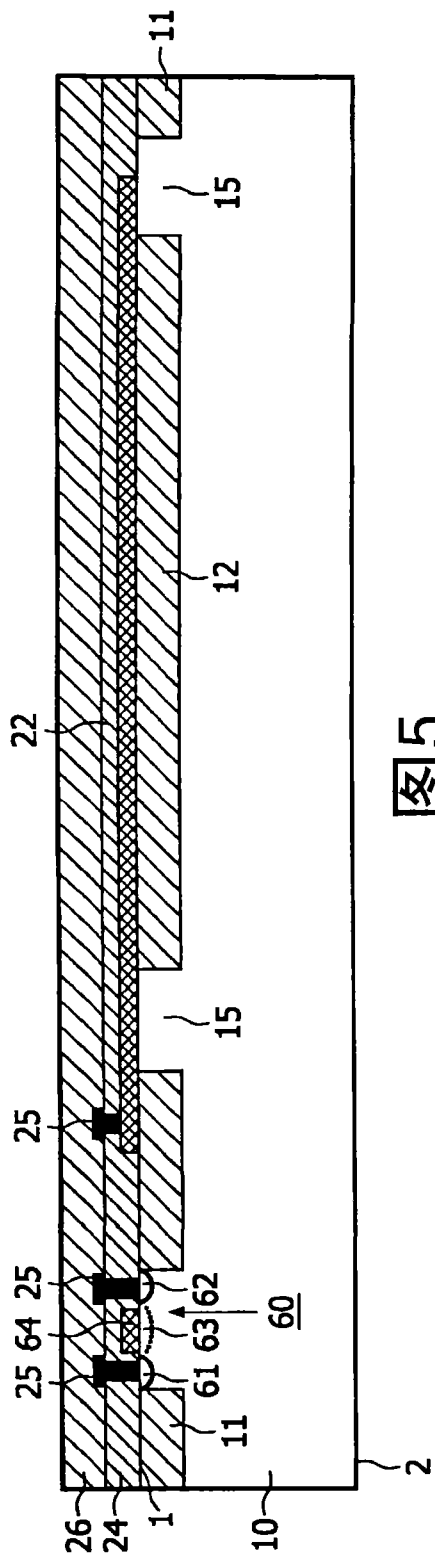


图5

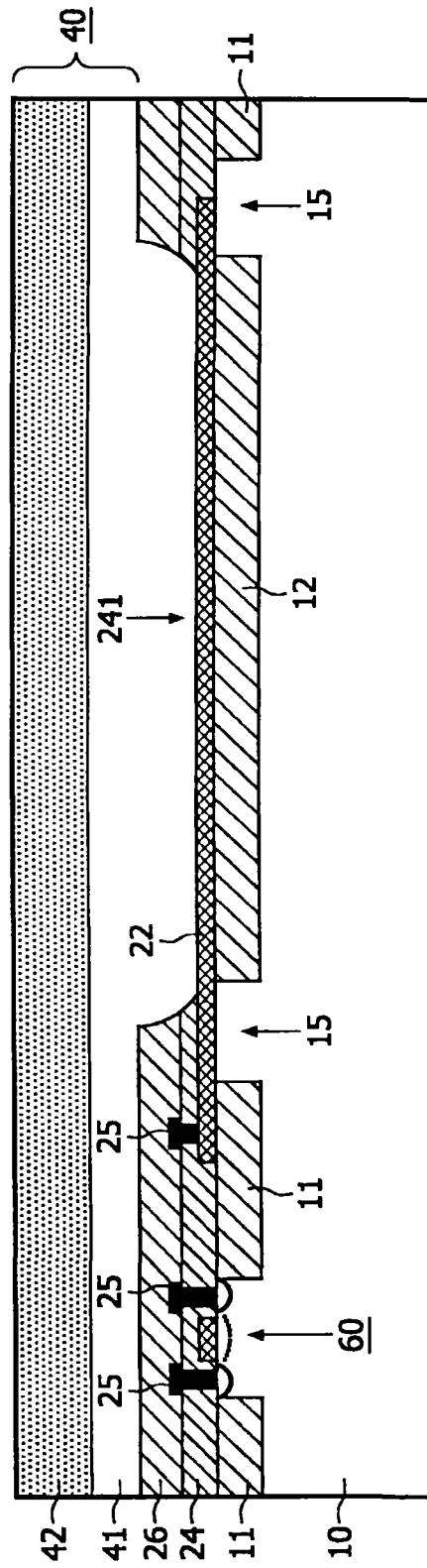


图6

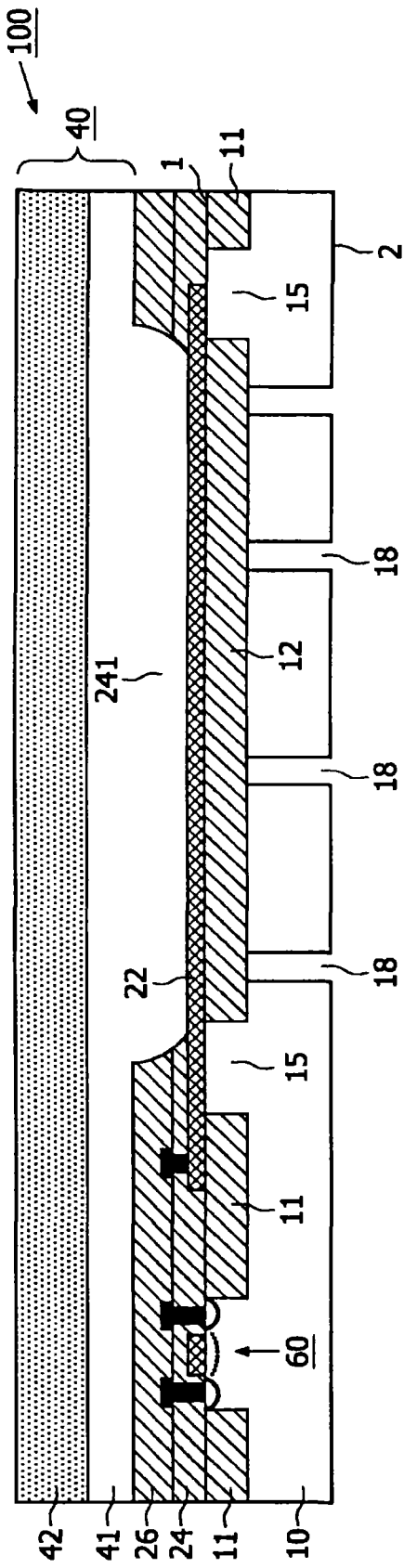


图7

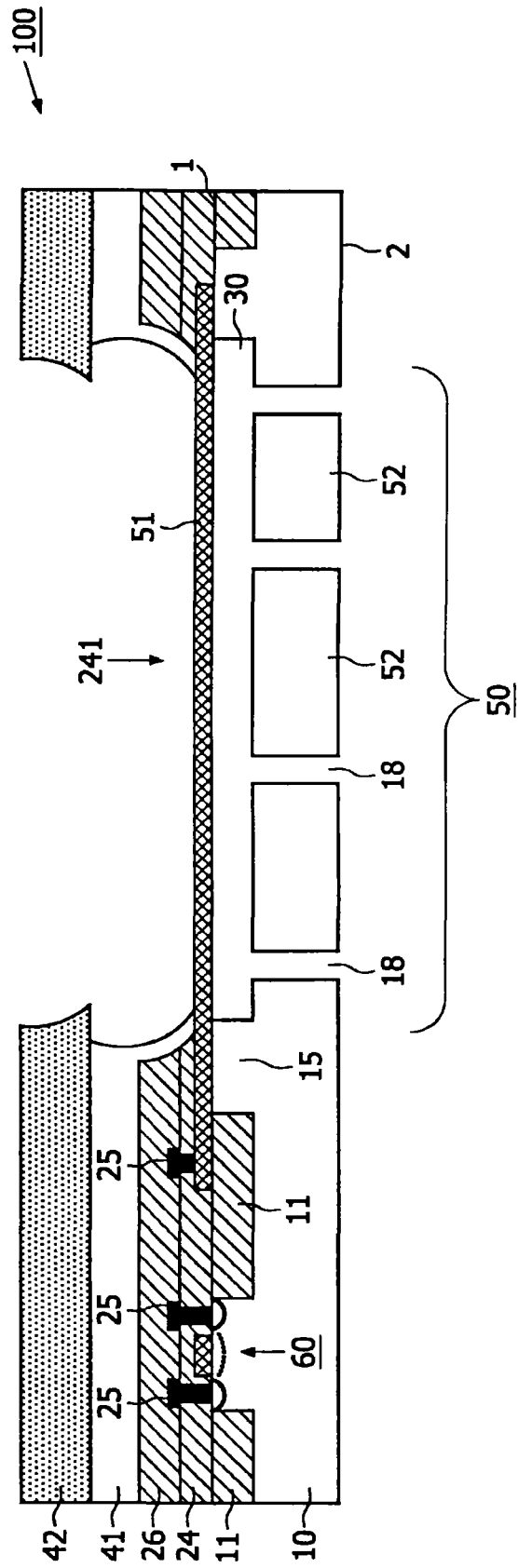


图8

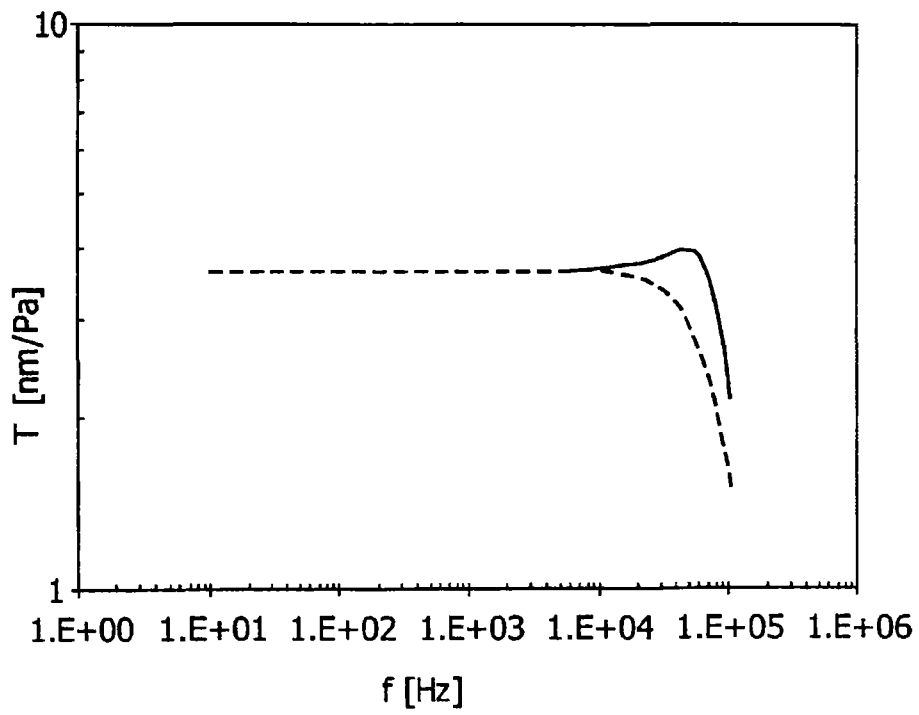


图9

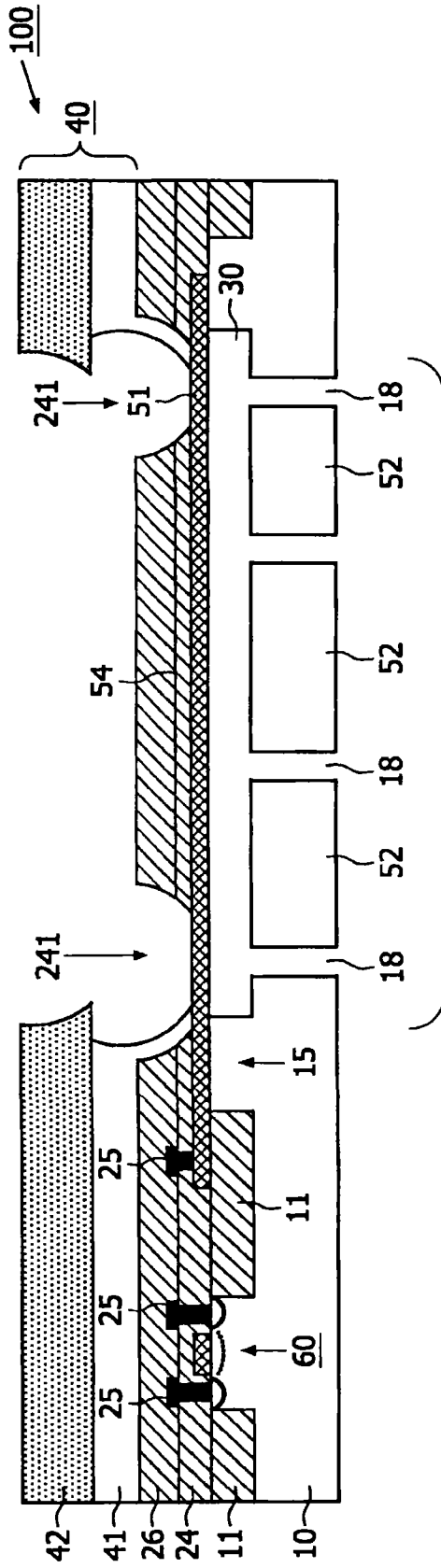


图10

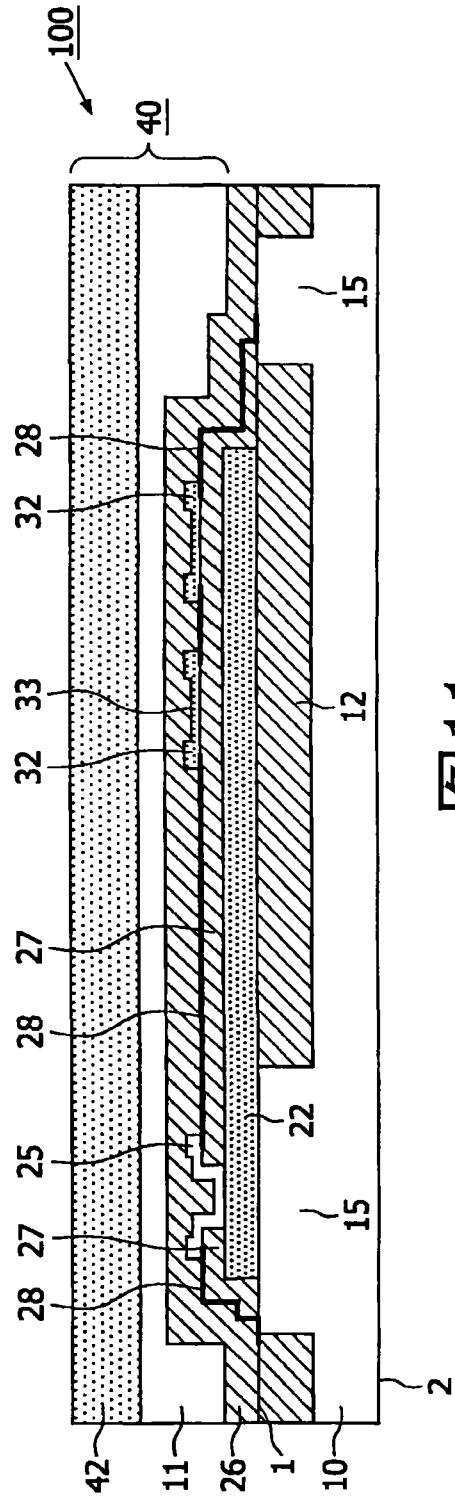


图11

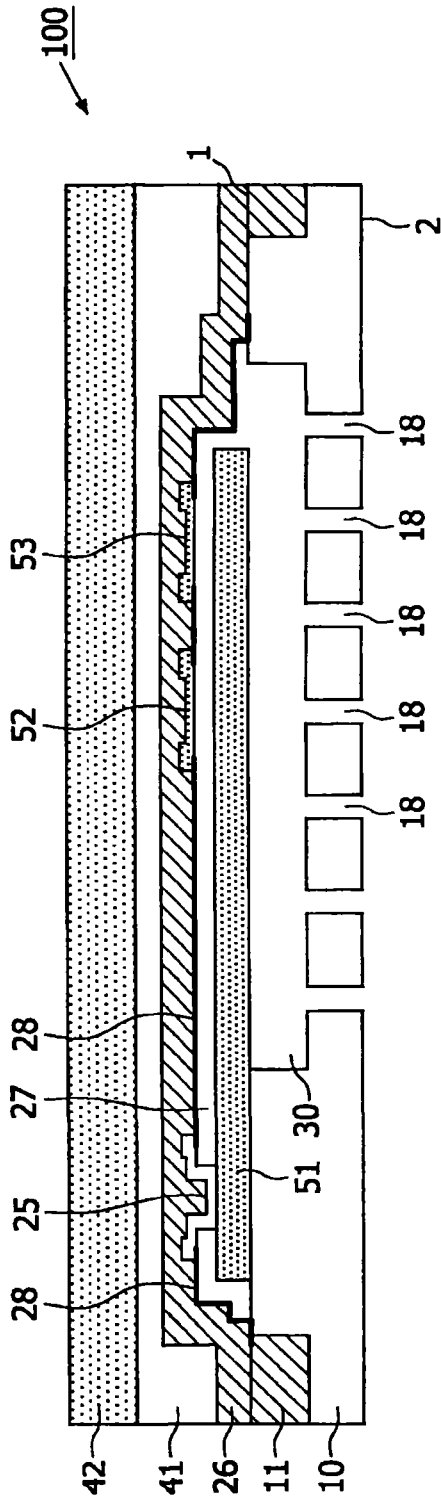


图12

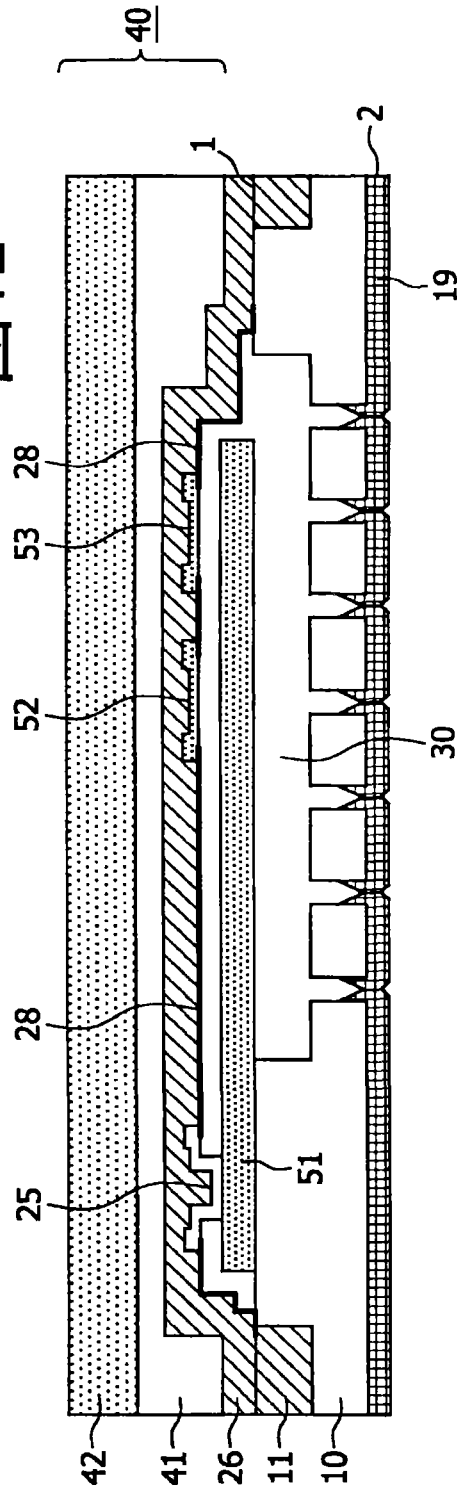


图13