



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112039459 B

(45) 授权公告日 2024. 03. 08

(21) 申请号 201910657418.2

H03H 9/02 (2006.01)

(22) 申请日 2019.07.19

H03H 9/10 (2006.01)

H03H 9/15 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112039459 A

(43) 申请公布日 2020.12.04

(73) 专利权人 中芯集成电路(宁波)有限公司上海分公司

地址 中国(上海)自由贸易试验区蔡伦路85弄95号1幢3楼C区309

(56) 对比文件

CN 107181472 A, 2017.09.19

CN 109586680 A, 2019.04.05

JP 2012104908 A, 2012.05.31

US 2002121337 A1, 2002.09.05

审查员 赵慧

(72) 发明人 罗海龙

(74) 专利代理机构 上海思捷知识产权代理有限公司 31295

专利代理师 王宏婧

(51) Int. Cl.

H03H 3/02 (2006.01)

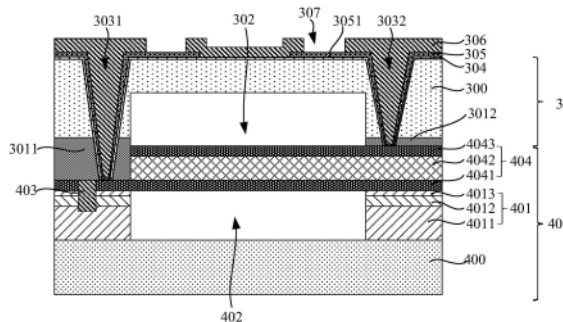
权利要求书3页 说明书14页 附图4页

(54) 发明名称

体声波谐振器的封装方法及封装结构

(57) 摘要

本发明提供一种体声波谐振器的封装方法及封装结构,提供的谐振器盖体中的第二空腔主要由第二衬底中的凹槽以及弹性键合材料层围成的空间组合而成,该弹性键合材料层可将谐振器盖体与谐振腔主体结构直接键合,并且该弹性键合材料层能键合后失去弹性,之后可以在谐振器盖体上形成穿通孔以及覆盖在穿通孔内表面上的导电互连层。由于第二空腔主要由第二衬底中的凹槽以及弹性键合材料层围成的空间组合而成,因此能避免因第二空腔全部由弹性键合材料层围成时因弹性键合材料层的性能随温湿度变化而不稳定的问题,即提高了谐振器的稳定性。



1. 一种体声波谐振器的封装方法,其特征在于,包括以下步骤:

提供谐振腔主体结构,所述谐振腔主体结构包括第一衬底以及形成在所述第一衬底上的体声波谐振结构,所述体声波谐振结构和所述第一衬底之间形成有第一空腔,所述谐振腔主体结构用于键合的表面具有台阶高度差异;

提供具有第二空腔的谐振器盖体,所述谐振器盖体包括具有凹槽的第二衬底以及覆盖在所述凹槽外围的所述第二衬底表面上的弹性键合材料层,所述第二空腔包括所述凹槽和所述弹性键合材料层所围的空间;

通过所述弹性键合材料层的厚度适应所述台阶高度差异变化将所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体键合在一起,且键合后,所述体声波谐振结构夹在所述第一衬底和所述第二衬底之间,所述弹性键合材料层失去弹性并夹在体声波谐振结构和第二衬底之间且位于所述凹槽的外围,且所述凹槽与第一空腔至少有部分对准,所述第二衬底和所述第一衬底相互背对的表面均保持水平;

采用硅穿孔刻蚀工艺刻蚀所述第二衬底和所述弹性键合材料层,形成穿过所述谐振器盖体并暴露出所述体声波谐振结构的相应的电连接部的贯通孔;以及,

形成导电互连层于所述贯通孔的表面以及所述贯通孔外围的部分所述谐振器盖体的表面上。

2. 如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,提供所述谐振器盖体的步骤包括:提供所述第二衬底,并去除部分所述第二衬底以形成所述凹槽;覆盖具有弹性的键合材料于所述第二衬底和所述凹槽的表面上;以及,图形化所述具有弹性的键合材料,以去除所述凹槽的侧壁和底壁上的键合材料,从而形成具有所述第二空腔的弹性键合材料层;或者,

提供所述谐振器盖体的步骤包括:提供所述第二衬底并在所述第二衬底上覆盖弹性键合材料层;依次图形化所述弹性键合材料层和部分厚度的所述第二衬底,以形成所述第二空腔。

3. 如权利要求2所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述弹性键合材料层的材料为光固化材料和/或热固化材料,能通过光照或加热后冷却的方式失去弹性。

4. 如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述弹性键合材料层为干膜。

5. 如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述体声波谐振结构包括靠近所述第一衬底的第一电极、位于所述第一电极上的压电层以及位于所述压电层上的第二电极。

6. 如权利要求5所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述电连接部包括:第一电连接部,包括伸出第一空腔的部分第一电极;第二电连接部,包括伸出第一空腔的部分第二电极。

7. 如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述体声波谐振结构在所述第一空腔外围的部分中具有暴露部分或全部的所述电连接部的开口;在所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体键合在一起时,所述弹性键合材料层的厚度能适应所述开口处的台阶高度而变化。

8. 如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,将所述谐振腔主体结构

和所述谐振器盖体键合在一起之后且在形成所述穿通孔之前,对所述第二衬底进行减薄。

9.如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,在形成所述导电互连层之后,还包括:形成图形化的钝化层,所述图形化的钝化层填满所述穿通孔并暴露出所述穿通孔外围的谐振器盖体表面上部分所述导电互连层,被暴露出的所述导电互连层形成导电接触垫。

10.如权利要求9所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,所述钝化层和所述体声波谐振结构中的压电层的材质相同;或者,所述钝化层包括氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、金属氮化物和聚合物中的至少一种材质。

11.如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,提供所述谐振腔主体结构步骤包括:

提供载体衬底,并依次形成用于制作体声波谐振结构的膜层和支撑层于所述载体衬底上;

刻蚀所述支撑层,以在所述支撑层中形成空腔;

提供所述第一衬底,并将所述第一衬底键合到所述支撑层上;以及,

去除所述载体衬底,以形成所述谐振腔主体结构。

12.如权利要求11所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,在用于制作体声波谐振结构的膜层上形成所述支撑层之前,或者,在去除所述载体衬底之后,将所述用于制作体声波谐振结构的膜层图形化,以形成所述体声波谐振结构。

13.如权利要求1所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,提供所述谐振腔主体结构步骤包括:

提供第一衬底,形成牺牲层于部分所述第一衬底上;

形成体声波谐振结构于所述牺牲层和所述第一衬底上;以及,

去除所述牺牲层,以形成所述第一空腔。

14.如权利要求13所述的体声波谐振器的封装方法,其特征在于,形成牺牲层于部分所述第一衬底上的步骤包括:刻蚀所述第一衬底,以形成凹槽于所述第一衬底中;形成所述牺牲层填充于所述凹槽中;或者,

形成牺牲层于部分所述第一衬底上的步骤包括:覆盖牺牲层于所述第一衬底上;图案化所述牺牲层,以形成牺牲层凸设于部分衬底上。

15.一种体声波谐振器的封装结构,其特征在于,包括:

谐振腔主体结构,所述谐振腔主体结构包括第一衬底以及形成在所述第一衬底上的体声波谐振结构,所述第一衬底和所述体声波谐振结构之间形成有第一空腔,所述谐振腔主体结构用于键合的表面具有台阶高度差异;

谐振器盖体,所述谐振器盖体包括弹性键合材料层和具有凹槽的第二衬底,所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体通过所述弹性键合材料层的厚度适应所述台阶高度差异变化而键合在一起,且键合后,所述弹性键合材料层失去弹性并夹在体声波谐振结构和第二衬底之间且位于所述凹槽的外围,所述凹槽和所述第一空腔至少有部分对准,所述第二衬底和所述第一衬底相互背对的表面均保持水平;所述谐振器盖体上具有第二空腔和穿通孔,所述第二空腔包括所述弹性键合材料层所围的空间和所述凹槽,所述穿通孔穿过所述第二空腔外围的谐振器盖体的第二衬底和弹性键合材料层,并暴露出所述体声波谐振结构

相应的电连接部;以及,

导电互连层,所述导电互连层形成于所述贯通孔的表面以及所述贯通孔外围的部分所述谐振器盖体的表面上。

16. 如权利要求15所述的体声波谐振器的封装结构,其特征在于,所述体声波谐振结构包括靠近所述第一衬底的第一电极、位于所述第一电极上的压电层以及位于所述压电层上的第二电极;所述电连接部包括:第一电连接部,包括伸出第一空腔的部分第一电极;第二电连接部,包括伸出第一空腔的部分第二电极。

17. 如权利要求15所述的体声波谐振器的封装结构,其特征在于,所述体声波谐振结构在所述第一空腔外围的部分中具有暴露部分或全部的所述电连接部的开口;在所述谐振器盖体和所述谐振腔主体结构键合在一起时,所述弹性键合材料层的厚度能适应所述开口处的台阶高度而变化。

18. 如权利要求15所述的体声波谐振器的封装结构,其特征在于,所述弹性键合材料层的材料为光固化材料和/或热固化材料,能通过光照或加热后冷却的方式失去弹性。

19. 如权利要求15所述的体声波谐振器的封装结构,其特征在于,还包括图形化的钝化层,所述图形化的钝化层填满所述贯通孔并暴露出所述贯通孔外围的谐振器盖体表面上部分所述导电互连层,被暴露出的所述导电互连层形成导电接触垫。

20. 如权利要求19所述的体声波谐振器的封装结构,其特征在于,所述钝化层和所述体声波谐振结构中的压电层的材质相同;或者,所述钝化层包括氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、金属氮化物和聚合物中的至少一种材质。

体声波谐振器的封装方法及封装结构

技术领域

[0001] 本发明涉及射频产品封装技术领域,尤其涉及一种体声波谐振器的封装方法及封装结构。

背景技术

[0002] 体声波谐振器(FBAR)包括典型地设置在压电层之上和/或之下的电极。响应于施加到电极的高频信号,压电层可以振荡。FBAR可以用于无线信号传输系统,以实现无线数据的输入和/或输出。例如,FBAR可以用在无线通信装置、无线功率发射器、无线传感器的滤波器、发射器、接收器、双工器等中。

[0003] 请参考图1,目前常规的体声波谐振器的封装工艺通常包括以下步骤:

[0004] (1)通过热氧化工艺或化学气相沉积工艺,在载体晶圆(未图示)上生长二氧化硅层200,并进一步通过光刻、刻蚀工艺,刻蚀去除部分厚度的所述二氧化硅层200而形成第二空腔2001。

[0005] (2)通过金-金键合(Au-Au bonding)工艺,将具有第二空腔2001的载体晶圆与预先制作好的具有第一空腔1011、体声波谐振结构102和第一衬底100的谐振腔主体结构键合在一起,此时第二空腔2001与第一空腔1011对准,并将体声波谐振结构102夹设在第二空腔(也称为上空腔)2001和第一空腔(也称为下空腔)1011之间。一般的,预先制作好的第一衬底100上形成有下腔体壁101,体声波谐振结构102包括第一空腔堆叠设置的第一电极(也称为下电极)1021、压电层1022、第二电极(也称为上电极)1023,下腔体壁101用于在第一衬底100和第一电极1021之间形成第一空腔1011。具体的,金-金键合工艺过程包括:首先采用金属剥离工艺(metal lift-off technology)在第二空腔2001外围的二氧化硅层200上形成键合所需的金层201,以及,在第一空腔1011外围的第一电极1021和第二电极1023上形成键合所需的金层103;然后在第一空腔1011和第二空腔2001相互对准后,通过加热的方式,融化金层201和金层103而形成金-金键合。其中金属剥离工艺是指:一基片经过涂覆光致抗蚀剂膜、曝光、显影后,以具有一定图形的光致抗蚀剂膜为掩模,带光致抗蚀剂膜蒸发所需的金属,然后在去除光致抗蚀剂膜的同时,把光致抗蚀剂膜上的金属一起剥离干净,在基片上只剩下所需图形的金属。

[0006] (3)利用背面减薄工艺,将键合后的结构中的载体晶圆去除,使得剩余的二氧化硅层200作为盖板,并对二氧化硅层200打孔从而形成暴露出键合的金表面的孔203。

[0007] (4)在二氧化硅层200和孔203的表面上电镀铜金属层204,并通过光刻、腐蚀等工艺将铜金属层204图形化,形成将第二电极1023和第一电极1021向外引出的导线。

[0008] (5)在二氧化硅层200和铜金属层204上沉积钝化层205,并通过光刻、腐蚀等工艺将钝化层205图形化,以暴露出部分铜金属层204而作为金属焊盘,且进一步在暴露出的铜金属层204处焊球,使得形成的焊球206与金属焊盘相接触。

[0009] 上述的体声波谐振器的封装工艺中,由于需要在载体晶圆上沉积、刻蚀二氧化硅层,并需要采用金-金键合工艺使第一空腔1011与第二空腔2001键合在一起,且在键合后需

要去除载体晶圆,因此工艺复杂,设备成本较高。并且因为金-金键合工艺引入了金元素,所以存在材料成本高且会对产线造成元素污染的问题。另外,上述工艺中的钝化层205通常是沉积较薄一层的氧化硅或氮化硅等常用的钝化层材料而形成,这会导致孔203处仍有间隙,使得第二空腔2001的侧壁较薄,进而造成上腔盖的机械强度不够,会导致器件可靠性风险。

发明内容

[0010] 本发明的目的在于提供一种体声波谐振器的封装方法及封装结构,能够简化工艺,降低成本,能够与谐振腔主体结构高度兼容且能避免金-金键合工艺对产线造成元素污染的问题,同时还能增强器件的可靠性。

[0011] 为了实现上述目的,本发明提供一种体声波谐振器的封装方法,包括以下步骤:

[0012] 提供谐振腔主体结构,所述谐振腔主体结构包括第一衬底以及形成在所述第一衬底上的体声波谐振结构,所述体声波谐振结构和所述第一衬底之间形成有第一空腔;

[0013] 提供具有第二空腔的谐振器盖体,所述谐振器盖体包括具有凹槽的第二衬底以及覆盖在所述凹槽外围的所述第二衬底表面上的弹性键合材料层,所述第二空腔包括所述凹槽和所述弹性键合材料层所围的空间;

[0014] 通过所述弹性键合材料层将所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体键合在一起并使得所述弹性键合材料层失去弹性,且键合后,所述体声波谐振结构夹在所述第一衬底和所述第二衬底之间且所述凹槽与第一空腔至少有部分对准;

[0015] 形成穿过所述谐振器盖体并暴露出所述体声波谐振结构的相应的电连接部的穿孔;以及,

[0016] 形成导电互连层于所述穿孔的表面以及所述穿孔外围的部分所述谐振器盖体的表面上。

[0017] 基于同一发明构思,本发明还提供一种体声波谐振器的封装结构,包括:

[0018] 谐振腔主体结构,所述谐振腔主体结构包括第一衬底以及形成在所述第一衬底上的体声波谐振结构,所述第一衬底和所述体声波谐振结构之间形成有第一空腔;

[0019] 谐振器盖体,所述谐振器盖体包括失去弹性的弹性键合材料层和具有凹槽的第二衬底,所述弹性键合材料层夹在体声波谐振结构和第二衬底之间且位于所述凹槽的外围,所述凹槽和所述第一空腔至少有部分对准,所述谐振器盖体上具有第二空腔和穿孔,所述第二空腔包括所述弹性键合材料层所围的空间和所述凹槽,所述穿孔穿过所述第二空腔外围的谐振器盖体,并暴露出所述体声波谐振结构相应的电连接部;以及,

[0020] 导电互连层,所述导电互连层形成于所述穿孔的表面以及所述穿孔外围的部分所述谐振器盖体的表面上。

[0021] 与现有技术相比,本发明的技术方案具有以下有益效果:

[0022] 1、本发明的封装方案中,提供的谐振器盖体中的第二空腔包括第二衬底中的凹槽以及弹性键合材料层围成的空间,该弹性键合材料层能使得谐振器盖体与谐振腔主体结构直接键合,并且该弹性键合材料层会在键合后失去弹性,之后可以在谐振器盖体上形成相应的穿孔以及覆盖在穿孔内表面上的导电互连层。由于谐振器盖体与谐振腔主体结构键合后的第二空腔主要是由第二衬底中的凹槽和以及第二衬底上的弹性键合材料层组成,因此能避免因第二空腔全部由弹性键合材料层围成时因弹性键合材料层的性能随温湿度

变化而不稳定的问题,即提高了谐振器的稳定性。

[0023] 2、本发明的封装方案,不仅具有低成本、工艺简单以及跟谐振腔主体结构工艺高度相容的特点,还由于通过弹性键合材料层键合第二衬底和谐振腔主体结构,因此不会造成金-金键合工艺的污染问题。

[0024] 3、本发明的封装方案中,由于谐振器盖体和谐振腔主体结构键合时的主要接触区域为第二空腔外围的弹性键合材料层,且弹性键合材料层具有一定的弹性,所以本发明的封装方案可以通过将谐振器盖体和谐振腔主体结构压合的方式实现两者的键合,键合工艺简单,不会影响第一空腔和第二空腔的性能,且能够利用弹性键合材料层的弹性来使其厚度能适应体声波谐振结构在第一空腔外围的台阶高度而变化,由此容忍谐振腔主体结构上的体声波谐振结构在第一空腔外围的区域上具有一定的台阶高度差异,进而在所述谐振器盖体和谐振腔主体结构键合在一起时,不但使得在第二衬底背向第一衬底的一面不发生倾斜,还能补足所述体声波谐振结构的台阶高度差异,保证键合的可靠性和稳定性。而且因为第二衬底背向第一衬底的一面水平,可以为导电互连层的制作工艺提供平坦的工艺窗口,进而保证形成的导电互连层的性能。

[0025] 4、本发明的封装方案中,谐振器盖体上所需的贯通孔、导电互连层、钝化层、导电接触垫等主要结构均是在第二衬底侧制作完成的,由此,最大限度地降低了对第一空腔的影响。

[0026] 5、本发明的封装方案中,可以选择采用与体声波谐振结构中的压电层相同的材质制作做钝化层,能够最大限度兼容第一空腔工艺,同时还能避免使用其他材料来制作钝化层时引起的温度漂移的问题以及引入不必要的应力的问题,由此提高谐振器的谐振性能。另外,钝化层填满相应的贯通孔,由此可以增强谐振器盖体的机械强度,进而提高谐振器的第二空腔的侧壁的支撑力,防止第二空腔变形而影响谐振器的谐振性能和可靠性。

[0027] 6、当谐振器盖体的第二衬底包括硅基底时,可以采用硅穿孔工艺形成谐振器盖体上所需的贯通孔,进而形成导电互连层和导电接触垫,由此简化工艺,降低工艺成本,并防止通过贯通孔将体声波谐振结构的第一电极和第二电极向外引出的工艺对器件产生污染。

附图说明

[0028] 图1是一种典型的体声波谐振器的封装结构的剖面结构示意图。

[0029] 图2是本发明具体实施例的体声波谐振器的封装方法流程图。

[0030] 图3A至图3E是本发明具体实施例的体声波谐振器的封装方法中的剖面结构示意图。

[0031] 图4是本发明另一实施例的谐振器盖体30的剖面结构示意图。

[0032] 其中,附图标记如下:

[0033] 100、400-第一衬底;101、401-下腔体壁;1011、402-第一空腔;102、404-体声波谐振结构;404'-体声波谐振结构的开口;1021、4041-第一电极;102、4042-压电层;1023、4043-第二电极;103、201-金层;200-二氧化硅层;2001、302-第二空腔;孔-203;204-铜金属层;205-钝化层;206-焊球;40-谐振腔主体结构;4011-第一下腔体壁层;4012-第二下腔体壁层;4013-第三下腔体壁层;403-对准标记;30-谐振器盖体;300-第二衬底;300a-凹槽;301-弹性键合材料层;301a-弹性键合材料层围成的空间(即第二空腔位于弹性键合材料层

中的部分);3011-第一上腔体壁;3012-第二上腔体壁;3031-第一穿孔;3032-第二穿孔;304-扩散阻挡层;305-导电互连层;3051-导电接触垫;306-钝化层;307-接触开口;H-台阶高度差;h-凹槽侧壁的高度差。(标号保持在3位数以内)

具体实施方式

[0034] 以下结合附图和具体实施例对本发明的技术方案作进一步详细说明。根据下面的说明,本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是,附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比例,仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。类似的,如果本文所述的方法包括一系列步骤,且本文所呈现的这些步骤的顺序并非必须是可执行这些步骤的唯一顺序,且一些所述的步骤可被省略和/或一些本文未描述的其他步骤可被添加到该方法。若某附图中的构件与其他附图中的构件相同,虽然在所有附图中都可轻易辨认出这些构件,但为了使附图的说明更为清楚,本说明书不会将所有相同构件的标号标于每一图中。

[0035] 请参考图2,本发明提供一种体声波谐振器的封装方法,包括以下步骤:

[0036] S1,提供谐振腔主体结构,所述谐振腔主体结构包括第一衬底以及形成在所述第一衬底上的体声波谐振结构,所述体声波谐振结构和所述第一衬底之间形成有第一空腔;

[0037] S2,提供具有第二空腔的谐振器盖体,所述谐振器盖体包括具有凹槽的第二衬底以及覆盖在所述凹槽外围的所述第二衬底表面上的弹性键合材料层,所述第二空腔包括所述凹槽和所述弹性键合材料层所围的空间;

[0038] S3,通过所述弹性键合材料层将所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体键合在一起并使得所述弹性键合材料层失去弹性,且键合后,所述体声波谐振结构夹在所述第一衬底和所述第二衬底之间且所述凹槽与第一空腔至少有部分对准;

[0039] S4,通过所述弹性键合材料层将所述谐振腔主体结构和所述谐振器盖体键合在一起并使得所述弹性键合材料层失去弹性,且键合后,所述体声波谐振结构夹在所述第一衬底和所述第二衬底之间且所述凹槽与第一空腔至少有部分对准,

[0040] S5,形成导电互连层于所述穿孔的表面以及所述穿孔外围的部分所述谐振器盖体的表面上;

[0041] S6,形成图形化的钝化层,所述图形化的钝化层填满所述穿孔并暴露出所述穿孔外围的谐振器盖体表面上部分所述导电互连层,被暴露出的所述导电互连层形成导电接触垫。

[0042] 请参考图3A,在步骤S1中,提供第一衬底400,并在第一衬底400上形成第一空腔402和体声波谐振结构404,以形成谐振腔主体结构40。

[0043] 具体实施时,可通过如下方法形成谐振腔主体结构40:

[0044] 首先,提供载体衬底,在一载体衬底上形成刻蚀停止层(未图示),载体衬底可以是本领域技术人员熟知的任意合适的衬底,例如可以是裸硅片或者陶瓷基底、石英或玻璃基底等。所述刻蚀停止层可以通过适合的沉积方法(例如化学气相沉积、物理气相沉积或原子层沉积等)或热氧化方法形成于载体衬底上,所述刻蚀停止层的材料包括但不限于氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、碳氟化合物(CF)、掺碳氧化硅(SiOC)、碳氮化硅等材料中的至少一种,所述刻蚀停止层可以在后续去除载体衬底工艺中作为工艺停止点,保护体声波谐振结构,其厚度例如为 $1000\text{\AA}\sim 10000\text{\AA}$ 。在本发明的其他实施例中,所述刻蚀停止层还可以是光固化

胶或热熔胶等可去除的膜层材料,可在后续去除载体衬底时一并去除。

[0045] 接着,可以通过蒸镀、磁控溅射等本领域技术人员熟知的任何适合的方法在刻蚀停止层的表面上依次覆盖用于制作第二电极4043的第二电极材料层(未图示)、用于制作压电层4042的压电材料层、用于制作第一电极4041的第一电极材料层,以形成用于制作体声波谐振结构404的膜层。其中,第一电极材料层和第二电极材料层的材料包括但不限于Ag、Au、Cu、Pd、Cr、Mo、Ti、Ta、Sn、W和Al中的至少一种金属。压电层4042的材料可以使用ZnO、AlN、GaN、锆钛酸铅、钛酸铅等具有纤锌矿型结晶结构的压电材料。对于压电材料层的厚度,可以根据目标谐振频率来设定,可选地设定为波长的1/2左右。本实施例中,使用Mo金属薄膜作为第一电极材料层和第二电极材料层,Mo金属薄膜厚度通常为2000Å到1μm,使用AlN作为压电材料层,AlN厚度范围通常为2000Å到2μm。在本发明的其他实施例中,待形成的体声波谐振结构还可以包括上述几种膜层之外的其他膜层,可根据实际的器件需要进行合理设置,在此并不做具体限制。

[0046] 然后,可以通过适合的沉积方法(例如化学气相沉积、物理气相沉积或原子层沉积等)或热氧化工艺等在第一电极材料层上依次形成第三下腔体壁层4013和第二下腔体壁层4012,第三下腔体壁层4013可以是氧化硅,第二下腔体壁层4012可以是氮化硅或氮氧化硅。第三下腔体壁层4013可以作为后续刻蚀第一下腔壁层4011形成第一空腔402时刻蚀停止点,能够保护第一电极材料层不受到不必要的损伤。第二下腔体壁层4012可以作为后续对准标记开口工艺中的硬掩膜层,有利于提高形成的对准标记开口的精度。

[0047] 接着,执行曝光、显影、刻蚀工艺,依次刻蚀第三下腔体壁层4013、第二下腔体壁层4012、第一电极材料层、压电材料层及第二电极材料层,刻蚀停止在载体衬底的表面上(如果形成有刻蚀停止层,则停止在载体衬底表面上的刻蚀停止层上),从而形成相应的对准标记开口(未图示)。对准标记开口的横截面(平行于载体衬底表面的平面)形状可以为圆形、十字形、椭圆形、多边形、光栅形等,对准标记开口的纵向剖面(垂直于载体衬底表面的平面)形状可以是矩形、U形、正梯形或倒梯形等。对准标记开口的位置一般设置于待形成的第一空腔402的外围,例如位于体声波谐振器的第一电极的接触区域和第二电极的接触区域的外侧,具体实施时,可以仅设置在待形成的体声波谐振器的外围一侧,也可以以轴对称或中心对称的方式设置体声波谐振器的外围两侧。

[0048] 然后,可以通过适合的沉积方法(例如化学气相沉积、物理气相沉积或原子层沉积等)沉积第一下腔体壁层4011,使其填充于对准标记开口中并覆盖在第二下腔体壁层4012上,沉积的第一下腔体壁层4011不仅能够填满对准标记开口,还需要在第二下腔体壁层4012上方具有足够的厚度,以在后续用于形成所需深度的第一空腔402。本实施例中,第一下腔体壁层4011为氧化硅,可以采用TEOS或者PEOX等材料,厚度选为0.5μm~4μm。在覆盖第一下腔体壁层4011之后,可以对第一下腔体壁层4011进行顶部平坦化(例如是采用化学机械研磨工艺进行平坦化),以使其顶面平坦,由此,一方面有利于提高后续形成的第一空腔工艺精度以及形成第一空腔的深度均一性,另一方面能够有利于后续的第一衬底400的键合。如图3A所示,第一下腔体壁层4011填满在对准标记开口中的部分形成对准标记403。对准标记用于后续的第二衬底300和第一衬底400的对准,以提高对准精度。第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层4013组成用于制作第一空腔402的支撑层。

[0049] 接着,执行曝光、显影、刻蚀工艺,刻蚀第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层

4013,而形成第一空腔402,第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层4013共同作为围成所述第一空腔402的腔体壁。所述第一空腔402的横截面(平行于载体衬底表面的截面)可以为矩形、五边形等多边形,也可以是圆形、椭圆形等。当需要在同一衬底上制作多个体声波谐振器时,可以同时形成多个第一空腔402,相邻的第一空腔402之间通过剩余的第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层4013的叠层结构来隔离,第一空腔402周围剩余的第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层4013作为后续用于支撑体声波谐振结构的支撑结构。第一下腔体壁层4011、第二下腔体壁层4012、第三下腔体壁层4013组成ONO(氧化层-氮化硅-氧化层)结构,堆叠的ONO结构具有较低的缺陷,其中氮化硅材质的第二下腔体壁层4012可以捕获电荷,抑制漏电流。第一空腔402的深度例如为 $0.5\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$ 。

[0050] 接着,提供第一衬底400,所述第一衬底400可以是本领域技术人员熟知的任意合适的载体材料,例如可以是以下所提到的材料中的至少一种:Si、Ge、SiGe、SiC、SiGeC、InAs、GaAs、InP或者其它III/V化合物半导体,还包括这些半导体构成的多层结构等,或者为绝缘体上硅(SOI)、绝缘体上层叠硅(SSOI)、绝缘体上层叠锗化硅(S-SiGeOI)、绝缘体上层叠锗化硅(SiGeOI)以及绝缘体上锗(GeOI),或者还可以为双面抛光硅片(Double Side Polished Wafers,DSP),也可为氧化铝等的陶瓷基底、石英或玻璃基底等。

[0051] 然后,可以通过本领域技术人员熟知的任意合适的键合工艺,将第一衬底400键合到第一下腔体壁层4011上,例如可以通过在第一衬底400上涂敷热熔胶等方式,将第一下腔体壁层4011背向载体衬底的一面键合第一衬底400上。由此,将第一空腔402封闭在第一衬底400和用于制作第一电极4041的第一电极材料层之间。再例如采用真空键合的方式将第一衬底400键合到第一下腔体壁层4011上,所述真空键合工艺的条件包括:键合压力为 $1\text{Pa} \sim 10^5\text{Pa}$,键合温度为 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 。

[0052] 接着,可以根据载体衬底的材质特性,选择合适的工艺去除载体衬底,例如,当所述载体衬底为裸硅片时,可以通过CMP工艺或者通过CMP工艺结合湿法刻蚀的工艺去除载体衬底。

[0053] 然后,倒置整个结构,使得第一衬底400在下,用于制作第二电极4043的第二电极材料层在上,并通过曝光、显影、刻蚀工艺,来依次图案化第一电极材料层、压电材料层和第二电极材料层或者依次图案化第一电极材料层、压电材料层和第二电极材料层,以此定义出第一电极4041(即剩余的第一电极材料层,也称为下电极)、压电层4042(即剩余的压电材料层)和第二电极4042(即剩余的第二电极材料层,也称为上电极),由此形成体声波谐振结构404。在此工艺中,可以同时刻蚀去除第一空腔402外围一侧的体声波谐振结构404中的部分第二电极材料层及其下方的压电材料层和部分厚度的对准标记403,以暴露出第一电极4041,从而形成开口404',开口404'的俯视形状为半环形或者闭合环形,如此一来在第一空腔402外围形成具有台阶的体声波谐振结构404,且台阶高度均匀,记为H。需要说明的是,在本发明的其他实施例中,也可以在用于制作体声波谐振结构404的膜层上形成第三下腔体壁层4013之前,将所述用于制作体声波谐振结构404的膜层图形化,以形成所述体声波谐振结构404。

[0054] 至此,完成了步骤S1中提供谐振腔主体结构40的工艺过程。

[0055] 在本发明的其他实施例中,也可以不利用载体衬底而是利用牺牲层来直接在第一衬底400上形成第一空腔402和体声波谐振结构404,以获得谐振腔主体结构40,具体过程包

括:

[0056] 首先,刻蚀去除第一衬底400部分区域中的部分厚度,以形成用于制作第一空腔402的凹槽(未图示),此处,第一衬底400可以包括基底(未图示)以及覆盖在基底(未图示)上的至少一层薄膜(未图示),也可以是半导体材质的裸片。

[0057] 接着,在第一空腔402中填满牺牲层(未图示),该牺牲层的顶面与第一衬底400的顶面齐平,也可以高于第一衬底400的顶面,也可以略低于第一衬底400的顶面,该牺牲层可以是单层结构,也可以是叠层结构。

[0058] 之后,在第一衬底400和牺牲层的顶面上依次覆盖用于制作第一电极4041的第一电极材料层(未图示)、用于制作压电层4042的压电材料层、用于制作第二电极4043的第二电极材料层,并通过曝光、显影和刻蚀等工艺,来依次图案化第一电极材料层、压电材料层和第二电极材料层或者依次图案化第二电极材料层、压电材料层和第一电极材料层,以定义出第一电极4041、压电层4042和第二电极4043,由此,形成体声波谐振结构404。

[0059] 然后,在第一空腔402区域中且靠近边缘处的体声波谐振结构404上开释放孔(未图示),通过向释放孔中引入刻蚀剂来去除牺牲层,以重新清空凹槽,由此获得了体声波谐振结构404和第一衬底400之间的第一空腔402,第一空腔402为整个底部凹陷在所述第一衬底400中的凹槽结构。至此,完成了步骤S1中提供谐振腔主体结构40的工艺过程。

[0060] 在本发明的其他实施例中,还可以提供另外一种利用牺牲层来直接在第一衬底400上形成第一空腔402和体声波谐振结构404,以获得谐振腔主体结构40的方法,其具体过程包括:

[0061] 首先,在第一衬底400上全面覆盖牺牲层(未图示),牺牲层可以是单层结构,也可以是叠层结构。

[0062] 然后,执行曝光、显影、刻蚀工艺,刻蚀牺牲层以使其图形化,以形成用于制作第一空腔402的图形化的牺牲层;

[0063] 接着,在第一衬底400和牺牲层的顶面上依次覆盖用于制作第一电极4041的第一电极材料层(未图示)、用于制作压电层4042的压电材料层、用于制作第二电极4043的第二电极材料层,并通过曝光、显影和刻蚀等工艺,来依次图案化第一电极材料层、压电材料层和第二电极材料层或者依次图案化第二电极材料层、压电材料层和第一电极材料层,以定义出第一电极4041、压电层4042和第二电极4043,由此,形成体声波谐振结构404。

[0064] 然后,可以在体声波谐振结构404的边缘区域上开释放孔(未图示),通过向释放孔中引入刻蚀剂来去除牺牲层,由此获得了体声波谐振结构404和第一衬底400之间的第一空腔402,第一空腔402是凸设在第一衬底400上的。至此,完成了步骤S1中提供谐振腔主体结构40的工艺过程。

[0065] 此外,需要说明的是,当第一衬底400为晶圆时,第一衬底400上的体声波谐振结构404的数量并不仅仅限定于一个,也就是说,可以在第一衬底400上同时形成有多个体声波谐振结构404,每个体声波谐振结构404和第一衬底400之间都具有一个第一空腔402,相邻第一空腔402之间可以通过下腔体壁401隔开,相邻的体声波谐振结构404之间可以是相互断开的,或者有部分膜层是连接在一起的。

[0066] 请参考图3B,在步骤S2中,首先,提供第二衬底300,所述第二衬底300可以为包括硅基底的衬底,例如为体硅衬底、绝缘体上硅衬底或者由硅基底及层叠在硅基底上的二氧

化硅层组成的衬底(此时该二氧化硅层面向体声波谐振结构设置),以在后续能够采用硅穿孔(TSV)工艺形成相应的贯通孔。然后,利用一次光刻工艺(包括光刻胶涂覆、曝光、显影等)并结合硅刻蚀的工艺,来刻蚀去除部分厚度的第二衬底300,以在第二衬底300中刻出凹槽300a,此时凹槽300a侧壁高度均匀(即凹槽300a周围的第二衬底300的顶面齐平或者基本齐平),凹槽300a的深度可以为 $3\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$,例如为 $6\mu\text{m}$ 左右。

[0067] 需要说明的是,当体声波谐振结构404具有暴露出第一电极4041的开口404'而使得谐振腔主体结构40用于键合的表面具有台阶高度差异时,在步骤S2中可以保持凹槽300a侧壁的高度均匀(即凹槽300a周围的第二衬底300的顶面齐平或者基本齐平),后续在使形成的谐振器盖体30和谐振腔主体结构40键合时,可以通过键合处的弹性键合材料层301的厚度适应性变化,而补偿谐振腔主体结构40的台阶高度差异,最终使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平。当然,在本发明的其他实施例中,也可以在第二衬底300中形成凹槽时就考虑补偿部分或全部的谐振腔主体结构40用于键合的表面具有台阶高度差异,具体地,请参考图4,考虑到谐振腔主体结构40的用于键合的表面具有台阶高度差异(即开口404'处的台阶高度差H),在步骤S2中,可以用两次光刻结合硅刻蚀的工艺,来形成刻蚀第二衬底300,形成侧壁高度不均一的凹槽,即形成的凹槽周围的第二衬底300的顶面不齐平,例如凹槽的一侧的第二衬底300的顶面低于凹槽另一侧的第二衬底300的顶面,此时在第二衬底300中形成的凹槽的侧壁3002对应谐振腔主体结构40的开口404',侧壁3001对应谐振腔主体结构40的开口404'以外的区域,侧壁3002和侧壁3001的高度差h可以等于H,也可以小于H,也可以大于H,且当侧壁3002和侧壁3001的高度差h不等于H时,后续在使形成的谐振器盖体30和谐振腔主体结构40键合时,依旧可以通过键合处的弹性键合材料层301的厚度适应性变化,来补偿键合面的台阶高度差异,最终使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平。

[0068] 请参考图3B和图4,在步骤S2中,接着,所述第二衬底300和凹槽300a上覆盖具有弹性的弹性键合材料层301。弹性键合材料层301所选用的材料需要满足:能图形化、能在一定的条件下固化、能稳定地与上下层的材料粘附且具有弹性以能够在后续键合晶圆时容忍一定的台阶高度差异,因此,所述键合材料层301的材料可以为光固化材料、热固化材料或者光固化材料和热固化材料的组合,能通过光照、加热后冷却的方式失去弹性,例如为干膜。可选地,可以通过涂覆工艺(例如旋涂、喷涂、滚涂或丝网印刷)涂覆流动性干膜光阻材料或者通过压膜机压合固态或半固态的干膜材料于所述第二衬底300和凹槽300a上,以形成弹性键合材料层301。例如,使用压膜机,在 $80^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ (例如 110°C)下且在抽真空状态下,将固体干膜材料贴附于所述第二衬底300上而形成弹性键合材料层301。弹性键合材料层301可以是三层结构,例如,一层是PE保护层,中间是干膜层,另一层是PET保护层。PE保护层是以特殊聚乙烯(PE)塑料薄膜为基材的膜层,例如高密度聚乙烯保护膜、中密度聚乙烯和低密度聚乙烯。PET保护层全称是聚对苯二甲酸乙二酯,它是由对苯二甲酸与乙二醇缩合聚合反应而得的。PE保护层和PET层都只是起保护作用,在压膜前和显影前都会去掉的,因此最终夹在第二衬底300和第一衬底400之间的是中间一层干膜层,它具有一定的粘性和良好的感光性,弹性键合材料层301的厚度为 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 。然后,通过包括曝光、显影在内的一系列光刻工艺,图形化所述弹性键合材料层301,仅保留凹槽300a外围上的弹性键合材料层301,以形成第二空腔302,此时第二空腔302主要由凹槽300a和剩余的弹性键合材料层301所围空

间301a(也可以称为第二空腔302位于弹性键合材料层301中的部分)组合而成。具体地,在所述弹性键合材料层301上形成掩膜,真空条件下进行紫外线曝光,曝光后静置片刻,所述紫外线曝光的辐照剂量优选为 $200\text{J}/\text{cm}^2 \sim 300\text{mJ}/\text{cm}^2$;接着,在 $100^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ (例如 130°C)的温度下,对曝光后的所述弹性键合材料层301预烘烤100秒 \sim 300秒(例如200秒);然后,在常温(即自然环境的温度)下,多次(例如3次)在预烘烤后的所述弹性键合材料层301旋喷显影液,来对预烘烤后的所述弹性键合材料层301显影,以形成具有第二空腔302的弹性键合材料层301,所述显影液为PGMEA,其成分包括丙二醇甲醚醋酸酯,丙二醇甲醚醋酸酯的分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_3$,可以使得弹性键合材料层301的显影工艺能在常温下进行,并能去除凹槽300a的侧壁和底壁上的弹性键合材料层301,使得剩余的弹性键合材料层301仅位于凹槽300a外围的第二衬底300上。至此,完成了谐振器盖体30的制作。其中第二空腔302的形状和尺寸可以与第一空腔402相同,也可以不完全相同,只要第二空腔302能够使得在后续谐振腔主体结构30和谐振器盖体40键合后,体声波谐振结构404的第一电极层4041、压电层4042以及第二电极层4042具有与第一空腔402和第二空腔302同时重叠的部分即可,由此形成谐振器的有效谐振区。

[0069] 需要说明的是,如图3B所示当凹槽300a的侧壁高度均匀时,剩余的弹性键合材料层301在垂直于第二衬底300的表面的方向上的厚度也均匀;而如图4所示,当凹槽300a的侧壁高度不均一时,剩余的弹性键合材料层301在垂直于第二衬底300的表面的方向上的厚度也不均一,但是剩余的弹性键合材料层301背向第二衬底300的表面是基本齐平的,由此有利于降低后续键合时的工艺难度,特别是能够降低键合时第一空腔和第二空腔的对准难度。当然,在本发明的其他实施例中,当凹槽300a的侧壁高度不均一旦凹槽的侧壁高度差异 $h=H$ 时,剩余的弹性键合材料层301在垂直于第二衬底300的表面的方向上的厚度也可以是均一的,这种情况下,后续在使形成的谐振器盖体30和谐振腔主体结构40键合时,可以通过凹槽300a不均一的侧壁高度来补偿谐振腔主体结构40的键合面的台阶高度差异,最终使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平。

[0070] 此外,需要说明的是,上述步骤S2中制作谐振器盖体30的工艺并不仅仅限定于上述方案,在本发明的其他实施例中,也可以在提供的所述第二衬底上先全面覆盖弹性键合材料层;然后通过光刻结合刻蚀的工艺,依次图形化所述弹性键合材料层和部分厚度的所述第二衬底,以形成具有所述第二空腔的谐振器盖体30。由此可简化工艺,避免覆盖和去除多余的弹性键合材料层的工艺难度。

[0071] 请参考图3C,在步骤S3中,将所述第二空腔302的开口朝向所述体声波谐振结构404放置(即弹性键合材料层301面向谐振腔主体结构40的键合面放置),并使得第二空腔302与第一空腔402至少部分对准,再通过所述弹性键合材料层301将所述第二衬底300和所述体声波谐振结构404以及下腔体壁401键合在一起。其中,第二空腔302与第一空腔402至少部分对准的含义包括以下情形:当第二空腔402和第一空腔302相向的开口的形状和大小均相同时,第二空腔302与第一空腔402是基本上完全对准的(即凹槽300a与第一空腔402是正对的,二者的中心是重合的);当第二空腔402和第一空腔302相向的开口的形状和大小不完全相同时,第二空腔302与第一空腔402是部分对准的(即凹槽300a与第一空腔402是部分对准的,二者的中心可以有一定的错位)。此外,体声波谐振结构404在所述第一空腔402外围的区域中具有暴露出第一电极4041(即体声波谐振结构404的相应的电连接部)的开口

404' ,所述开口404' 使得所述体声波谐振结构404具有高度为H的台阶,后续的第一穿孔将形成在开口404' 的区域中。本实施例中,通过用力压合的方式将所述第二衬底300和所述谐振腔主体结构40键合在一起(即第二衬底300通过弹性键合材料层301与体声波谐振结构404及其暴露出的下腔体壁401键合在一起),所述弹性键合材料层301的厚度能适应性地随所述开口404' 处的台阶而变化,并同时使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平。此时,所述弹性键合材料层301因其本身具有的弹性而适应台阶高度差异变化为两部分:一部分粘接到被开口404' 暴露出的第一电极4041和对准标记403的表面上而形成高度较大的第一上腔体壁3011,另一部分粘接到第一空腔402外围的与第一上腔壁3011相对的第二电极4043的表面上,形成高度较小的第二上腔体壁3012,第一上腔体壁3011和第二上腔体壁3012面向第一衬底400的一面的高度差为H,第一上腔体壁3011和第二上腔体壁3012面向第二衬底300的一面齐平或接近齐平,所述第二衬底300和所述第一衬底400通过第一上腔体壁3011和第二上腔体壁3012的弹性键合材料层301的粘性以及弹性键合材料层301与体声波谐振结构之间的分子结合力键合在一起。这种键合工艺简单,不会影响第一空腔402和第二空腔302的性能,且能容忍第一衬底400上的体声波谐振结构404在第一空腔402外围的区域上具有一定的台阶高度差异,由此使得在所述第二衬底300和所述第一衬底400键合在一起后,避免台阶高度差异引起第二衬底背向第一衬底的一面发生倾斜的问题以及避免因台阶高度差异而引起键合不可靠的问题。可选地,键合谐振器盖体30和谐振腔主体结构40的工艺条件包括:键合压力为1Pa~10⁵Pa,真空键合,温度为150℃~200℃(例如为150℃),施压时间为20min~30min,由此在保证键合性能的前提下,避免影响产品的谐振性能。在键合完以后通过光照、加热后冷却的方式固化弹性键合材料层301,即使得弹性键合材料层301失去弹性,以使得谐振器盖体30和谐振腔主体结构40可靠地连接在一起。固化弹性键合材料层301的工艺可以选用高温固化工艺(即加热后冷却的方式),其固化温度为180℃~220℃(例如为190℃),固化时间为1.5小时~2小时(例如为2小时)。在本发明的其他实施例中,固化弹性键合材料层301的工艺也可以选择紫外光固化工艺,紫外线固化的辐照剂量可选为200mJ/cm²~300mJ/cm²,与图形化弹性键合材料层301时的紫外线曝光工艺所使用的光照相同,以简化工艺,降低成本。

[0072] 当然,在本发明的其他实施例中,当第二衬底300中的凹槽的侧壁的高度不均一时,步骤S3中键合谐振器盖体30和谐振腔主体结构40时,弹性键合材料层301的厚度适应性变化的量会有所不同,但最终结果均能使得键合可靠且键合后的所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平,由此为后续导电互连层的制作提供平坦的工艺窗口。

[0073] 在步骤S4中,首先,请参考图3D,通过化学机械研磨(CMP)工艺,从所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的一面进行减薄,例如将第二衬底300的厚度减薄至60μm~80μm。然后,采用硅穿孔(TSV)刻蚀工艺,从第一上腔体壁3011处的所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的一侧开孔至穿透第一上腔体壁3011而暴露出开口404' 处的部分第一电极4041,形成第一穿孔3031,从第二上腔体壁3012处的所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的一侧开孔至穿透第二上腔体壁3012而暴露部分第二电极4043,形成第二穿孔3032,其中,被第一穿孔3031暴露出的伸出第一空腔402的部分第一电极4041,称为第一电连接部,被第二穿孔3032暴露出的伸出第一空腔402的部分第二电极4043,称为第二电连接部。具体的,可以通过曝光、显影和刻蚀工艺,依次刻蚀第一上腔体壁

3011处的所述第二衬底300以及第一上腔体壁3011而形成第一贯通孔3031,形成第一贯通孔3031的刻蚀过程直至露出第一电极4041为止,然后再通过曝光、显影和刻蚀工艺刻蚀第二上腔体壁3012处的所述第二衬底300以及第二上腔体壁3012而形成第二贯通孔3032,第二贯通孔3032的刻蚀过程直至露出第二电极4043为止,当然在本发明的其他实施例中,也可以先形成第二贯通孔3032再形成第一贯通孔3031。第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的尺寸可以根据需要暴露的电极范围以及刻蚀条件确定。本实施例中,第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的开口直径约 $20\mu\text{m} \sim 70\mu\text{m}$,第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的深度约 $60\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 。

[0074] 请参考图3E,在步骤S5中,首先,可以采用包括溅射、等离子体物理气相沉积、高密度等离子体化学气相沉积、低压化学气相沉积、原子层沉积等沉积扩散阻挡层304,由于采用沉积工艺形成扩散阻挡层304,所以扩散阻挡层304不仅形成在第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的内表面上,还覆盖在第二衬底300背向体声波谐振结构404的一面上。该扩散阻挡层304可选为叠层结构,包括用于使得后续形成的导电互连层305与第二衬底300电学绝缘隔离的氮化物层(未图示)以及层叠在该氮化物层表面上的阻挡粘附层(未图示),该阻挡粘附层的材料包括Al、Au、Cr、Co、Ni、Cu、Mo、Ti、Ta、W、Pt等中的至少一种。其中等离子体物理气相沉积、高密度等离子体化学气相沉积、低压化学气相沉积、原子层沉积工艺具有较佳的台阶覆盖能力,可以避免形成的扩散阻挡层304填充满所述第一贯通孔3031和第二贯通孔3032。然后刻蚀去除第一贯通孔3031和第二贯通孔3032底部的扩散阻挡层304,以暴露出第一贯通孔3031和第二贯通孔3032底壁上的第一电极4041和第二电极4043,此时,第一贯通孔3031和第二贯通孔3032周围的第二衬底300的表面上仍覆盖有扩散阻挡层,以实现后续第一贯通孔3031和第二贯通孔3032中的导电互连层之间的电性绝缘隔离。

[0075] 请继续参考图3E,在步骤S5中,接着,可以采用包括溅射、电镀、等离子体物理气相沉积、高密度等离子体化学气相沉积、低压化学气相沉积、原子层沉积等工艺进行通孔金属化,以形成导电互连层305,此时,导电互连层305覆盖在扩散阻挡层304及其暴露出的第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的底壁上。所述导电互连层305的材料可选为与第二电极和第一电极材料相同,沉积工艺条件和后续的刻蚀工艺条件也相同,由此能最大程度的兼容步骤S1的工艺,并简化工艺。此外在本发明的其他实施例中,所述导电互连层305的材料可以是包括Ti、Ta、W、Mo、Cu、W等中的至少一种。然后通过曝光、显影和刻蚀工艺去除第二衬底300背向第一衬底400的表面上的部分导电互连层305,以图形化导电互连层305,形成的图形化的导电互连层305分别电连接第二电极4043和第一电极4042。

[0076] 请参考图3E,在步骤S6中,首先,可以采用包括溅射、电镀、等离子体物理气相沉积、高密度等离子体化学气相沉积、低压化学气相沉积、原子层沉积等工艺,在第一贯通孔3031和第二贯通孔3032中以及第二衬底300背向所述第一衬底400的表面上的导电互连层305和第二衬底300被导电互连层305暴露出的表面上沉积钝化层306,沉积的钝化层306的厚度足以填满第一贯通孔3031和第二贯通孔3032,其中可选地,钝化层306的材质与压电层4042相同,并采用与压电层4042完全相同的沉积工艺,由此最大限度兼容谐振腔主体结构40的工艺,同时还能避免使用其他材料来制作钝化层时引起的温度漂移的问题以及引入不必要的应力的问题,由此提高谐振器的谐振性能。接着,通过曝光、显影、刻蚀工艺图形化钝化层306,以形成接触开口307,其中,图形化钝化层306的工艺条件可以与图形化压电层402

的工艺条件完全相同,由此最大限度兼容谐振腔主体结构40的工艺,该接触开口307能够暴露出第二衬底300背向所述第一衬底400的表面上的部分导电互连层306,以形成导电接触垫(pad)3051,该导电接触垫3051包括与第一电极4041电性连接的导电接触垫和与第二电极4043电性连接的导电接触垫。此时,钝化层306还填满第一贯通孔3031和第二贯通孔3032,以增强上腔体壁301的机械支撑性能。

[0077] 需要说明的是,在本发明的其他实施例中,上述步骤S1和S2也可以同时执行,或者先执行步骤S2后执行步骤S1。此外,在本发明的其他实施例中,也可以采用常规的钝化材料来形成钝化层306,这些常规的钝化材料包括氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、金属氮化物和聚合物中的至少一种。

[0078] 综上所述,本发明的体声波谐振器的封装方法,不仅具有低成本、工艺简单以及跟谐振腔主体结构的工艺高度相容的特点,还不会造成金-金键合工艺的污染问题。且能容忍体声波谐振结构在第一空腔外围的区域上具有一定的台阶高度差异,保证键合的可靠性和稳定性。而且,由于谐振器盖体上所需的主要结构均是在第二衬底上完成的,因此能最大限度地降低了对第一空腔的影响。更重要的是,由于谐振器盖体与谐振腔主体结构键合后的第二空腔主要是由第二衬底中的凹槽和弹性键合材料层所围的空间组成,由此能避免因第二空腔全部由弹性键合材料层围成时因弹性键合材料层的性能随温湿度变化而不稳定的问题,即提高了谐振器的稳定性。

[0079] 请参考图3A至3E,本发明一实施例还提供一种采用本发明的体声波谐振器的封装方法制作而成的体声波谐振器的封装结构。所述体声波谐振器的封装结构包括谐振腔主体结构40和谐振器盖体30,所述谐振腔主体结构40包括第一衬底400、体声波谐振结构404以及第一腔体402,所述谐振器盖体包括具有凹槽300a的第二衬底300、围成第二空腔302的部分空间301a且失去弹性的弹性键合材料层301、第一贯通孔3031和第二贯通孔3032、导电互连层305以及图形化的钝化层306。其中,体声波谐振结构404形成在所述第一衬底400上,第一空腔402夹在体声波谐振结构404和第一衬底400之间。第二衬底300设置在体声波谐振结构404的上方,所述弹性键合材料层301夹在所述第二衬底300和所述体声波谐振结构404之间,并形成在凹槽300a外围的第二衬底300上,第二空腔302主要由凹槽300a和弹性键合材料层301围成的空间301a组合而成,所述第二空腔302与所述第一空腔402至少有部分对准。所述第一贯通孔3031和第二贯通孔3032均位于所述第一空腔402和所述第二空腔302的外围,穿过谐振器盖体,并暴露出所述体声波谐振结构相应的电连接部。导电互连层305覆盖第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的内表面(包括侧壁和底壁),并分别从第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的侧壁上连续延伸到所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的部分表面上,即所述导电互连层305形成于第一贯通孔3031和第二贯通孔3032的内表面以及所述第一贯通孔3031和第二贯通孔3032外围的部分所述谐振器盖体的表面上。图形化的钝化层306填满所述第一贯通孔3031和第二贯通孔3032中并覆盖所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的表面上的部分所述导电互连层305,且被图形化的钝化层306暴露出的所述导电互连层305形成相应的导电接触垫。

[0080] 本实施例中,所述体声波谐振结构404具有依次层叠在所述第一衬底400上的第一电极4041、压电层4042和第二电极4043,且第一空腔402形成在所述第一衬底400和所述第一电极4041之间,该第一空腔402通过下腔体壁401围成。本实施例中,所述下腔体壁401是

不同于第一衬底400和体声波谐振结构404的材料的支撑层(即3E和图4中的第一下腔体壁层4011至第三下腔体壁层4013),所述第一衬底400和所述体声波谐振结构400之间通过该支撑层键合在一起,所述第一空腔402形成在所述支撑层中,失去弹性的弹性键合材料层301形成在第一空腔402外围的支撑层上。在本发明的其他实施例中,所述第一空腔402可以是整个底部凹陷在所述第一衬底400中的凹槽结构,此时,下腔体壁401为凹槽周围的第一衬底400;或者,所述第一空腔402为整体上凸设在所述第一衬底400表面上的腔体结构,这两种情况下,失去弹性的弹性键合材料层302形成在第一空腔402外围的第一衬底400上。

[0081] 所述第二衬底300通过所述弹性键合材料层301和体声波谐振结构404及其暴露出的下腔体壁401、对准标记403键合在一起,也就是说,体声波谐振结构404和第二衬底300通过弹性键合材料层301相连。所述第二空腔302与所述第一空腔402至少有部分对准,此时部分体声波谐振结构404被限制在所述第二空腔302与所述第一空腔402之间(即部分体声波谐振结构404与所述第二空腔302、所述第一空腔402均重叠,构成体声波谐振结构404用于谐振的主体区域)。

[0082] 由于本实施例的所述体声波谐振结构404包括第一电极4041和第二电极4043,所以本实施例中,所述第一贯通孔402从所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的表面贯通至暴露出部分第一电极4041的表面,所述第二贯通孔3032从所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的表面贯通至暴露出部分所述第二电极4043的表面。也就是说,本实施例中,体声波谐振结构404的电连接部包括:第一电连接部,包括伸出第一空腔的部分第一电极4041;第二电连接部,包括伸出第一空腔的部分第二电极4043。

[0083] 本实施例中,覆盖所述第二衬底300背向所述体声波谐振结构404的表面上的图形化的钝化层306具有接触开口307,接触开口307暴露出相应区域的所述导电互连层305,所述导电互连层305被接触开口307暴露的部分形成导电接触垫3051,导电互连层305分别电连接第二电极4043和第一电极4041,以用于分别将第二电极4043和第一电极4041通过相应的导电接触垫3051向外引出。

[0084] 本实施例中,第二衬底300可选为包括硅基底的衬底,例如是体硅衬底、绝缘体上硅衬底、硅基底上覆盖有二氧化硅层的衬底,由此使得第一贯通孔3031和第二贯通孔3032可以通过硅穿孔工艺制作,进而简化工艺,降低工艺成本。

[0085] 本实施例中,弹性键合材料层301所选用的材料需要满足:能图形化、能在一定的条件下固化、能稳定地与上下层的材料粘附且具有弹性以能够在后续键合晶圆时容忍一定的台阶高度差异,因此,所述弹性键合材料层301的材料可以为光固化材料、热固化材料或者光固化材料和热固化材料的组合,能通过光照、加热后冷却的方式失去弹性,例如为干膜。

[0086] 本实施例中,所述体声波谐振结构404在所述第一空腔402外围的部分中具有暴露部分所述第一电极4041的开口404',开口404'的形状为闭合的环形或半环形等,体声波谐振结构404在开口404'处形成的台阶的高度均匀,均为H;凹槽300a的侧壁的高度均一(即凹槽300a周围的第二衬底300的顶面齐平或者基本齐平),所述第二衬底300和所述第一衬底400之间的所述弹性键合材料层301的厚度能适应所述体声波谐振结构404的台阶高度而变化,并同时能维持所述第二衬底300和第一衬底400相互背向的表面水平,以利于形成的体声波谐振器产品与其他产品集成在同一个印刷电路板上。在本发明的其他实施例中,凹槽

300a的侧壁高度不均一,如图4所示,凹槽的侧壁3002和侧壁3001具有高度差 h , h 可以等于 H ,也可以小于 H ,也可以大于 H ,且当侧壁3002和侧壁3001的高度差 h 不等于 H 时,谐振器盖体30和谐振腔主体结构40键合后,键合处的弹性键合材料层301的厚度适应性变化且不均一,来补偿键合面的台阶高度差异,最终使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平,当 $h=H$ 时,谐振器盖体30和谐振腔主体结构40键合后,键合处的弹性键合材料层301的厚度均一,凹槽的侧壁高度差异 h 能正好补偿键合面的台阶高度差异,最终使得所述第二衬底300和第一衬底400相互背对的表面均保持水平。

[0087] 此外,在本发明的一些实施例中,所述钝化层306和所述压电层4042的材质相同,沉积工艺和刻蚀工艺也相同,以最大限度兼容第一空腔工艺,同时还能避免使用其他材料来制作钝化层时引起的温度漂移的问题以及引入不必要的应力的问题,由此提高谐振器的谐振性能。当然,在本发明的另外一些实施例中,也可以采用常规的钝化材料来形成钝化层306,这些常规的钝化材料包括氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、金属氮化物和聚合物中的至少一种。

[0088] 此外,本实施例中,所述第一衬底400和所述第一电极4041之间用于围出所述第一空腔402的下腔体壁401中还形成有对准标记403,所述对准标记403穿通所述体声波谐振结构404而与所述弹性键合材料层301键合在一起。该对准标记403在键合谐振腔主体结构40和谐振器盖体30的工艺中,能够确定第二空腔302和第一空腔402的对准位置和对准程度。

[0089] 需要说明的是,由于本实施例的体声波谐振器的封装结构采用本发明的体声波谐振器的封装方法制作,因此,其中各个结构的材质、尺寸等参数均可以参考上文的体声波谐振器的封装方法中的内容,在此不再赘述。

[0090] 本发明的体声波谐振器的封装结构,能够改善谐振器的谐振性能,且可以采用本发明的体声波谐振器的封装方法制作,以简化工艺,降低成本。

[0091] 显然,本领域的技术人员可以对发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

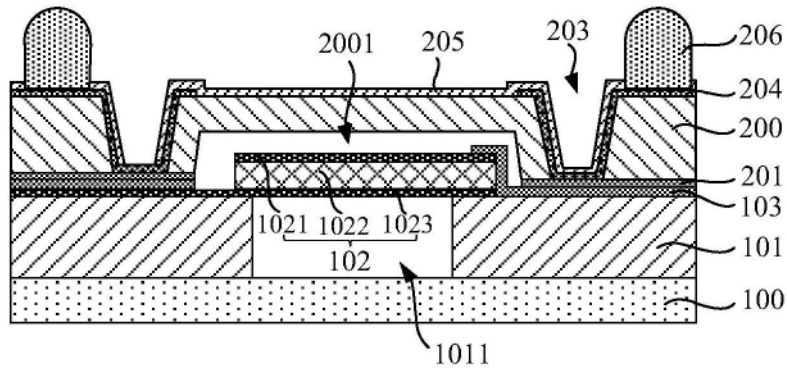


图1

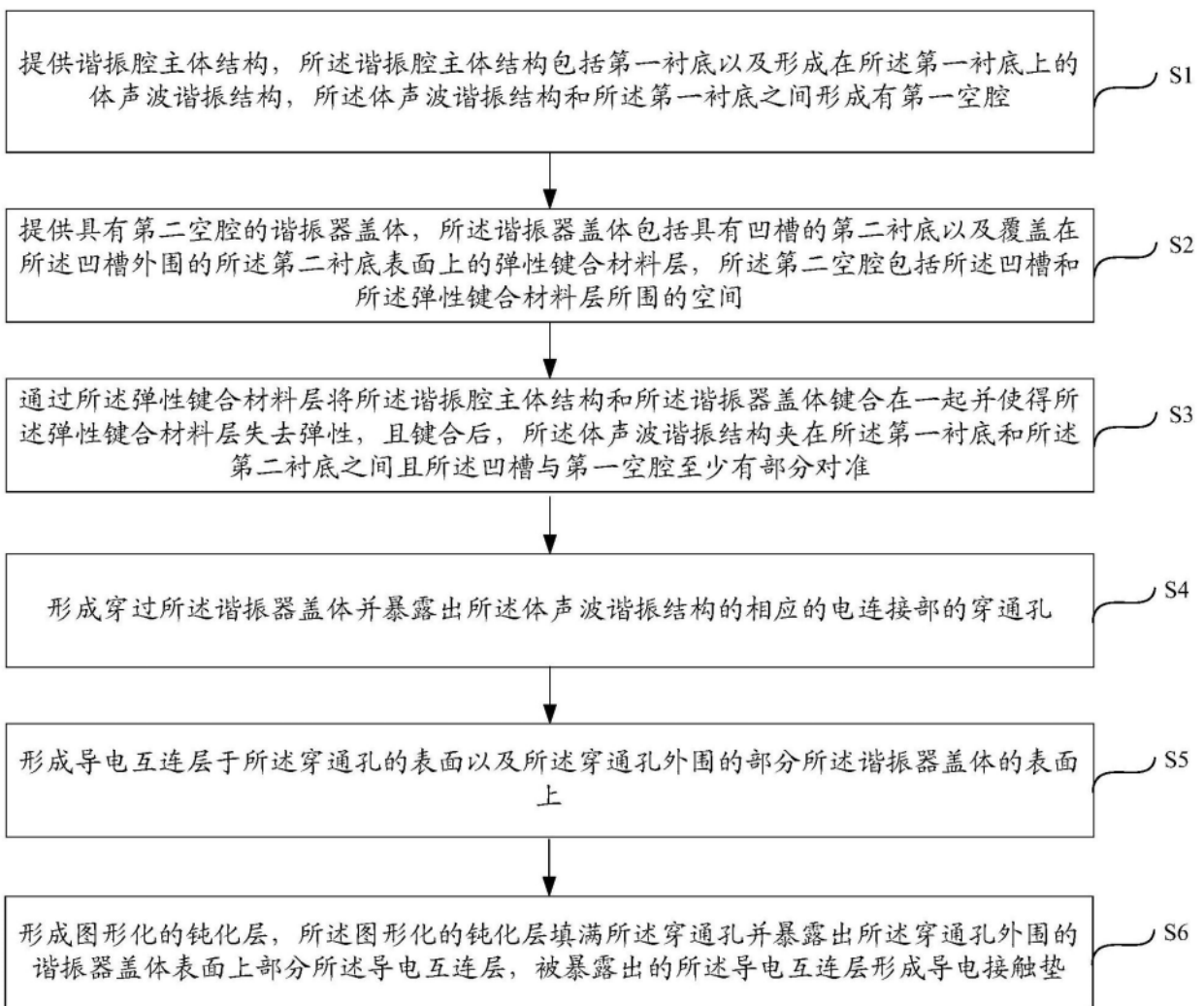


图2

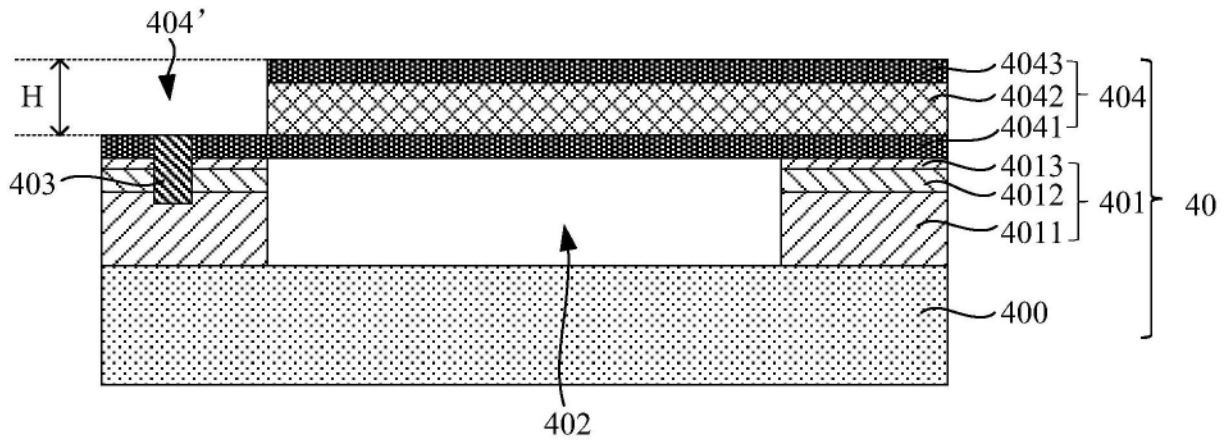


图3A

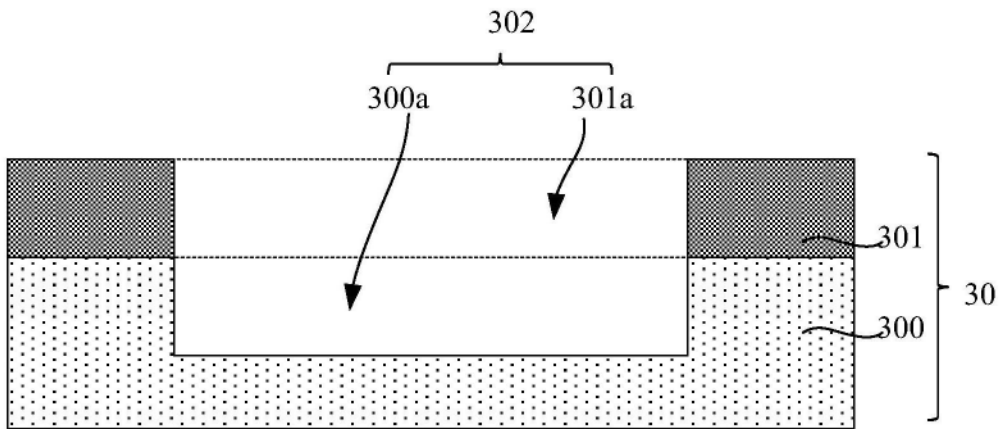


图3B

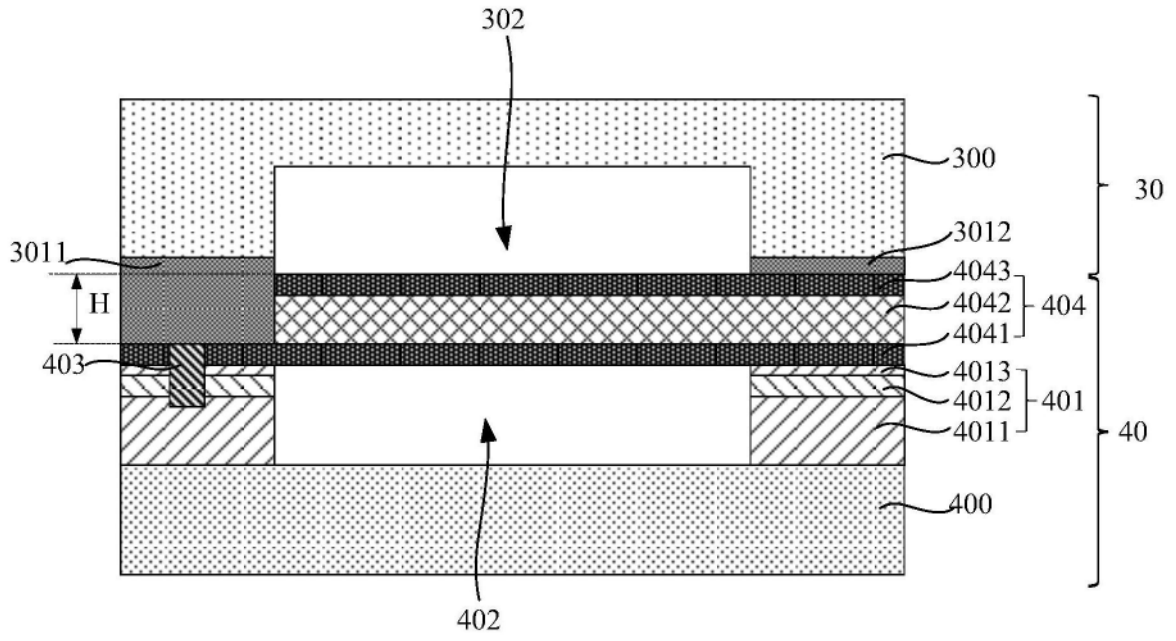


图3C

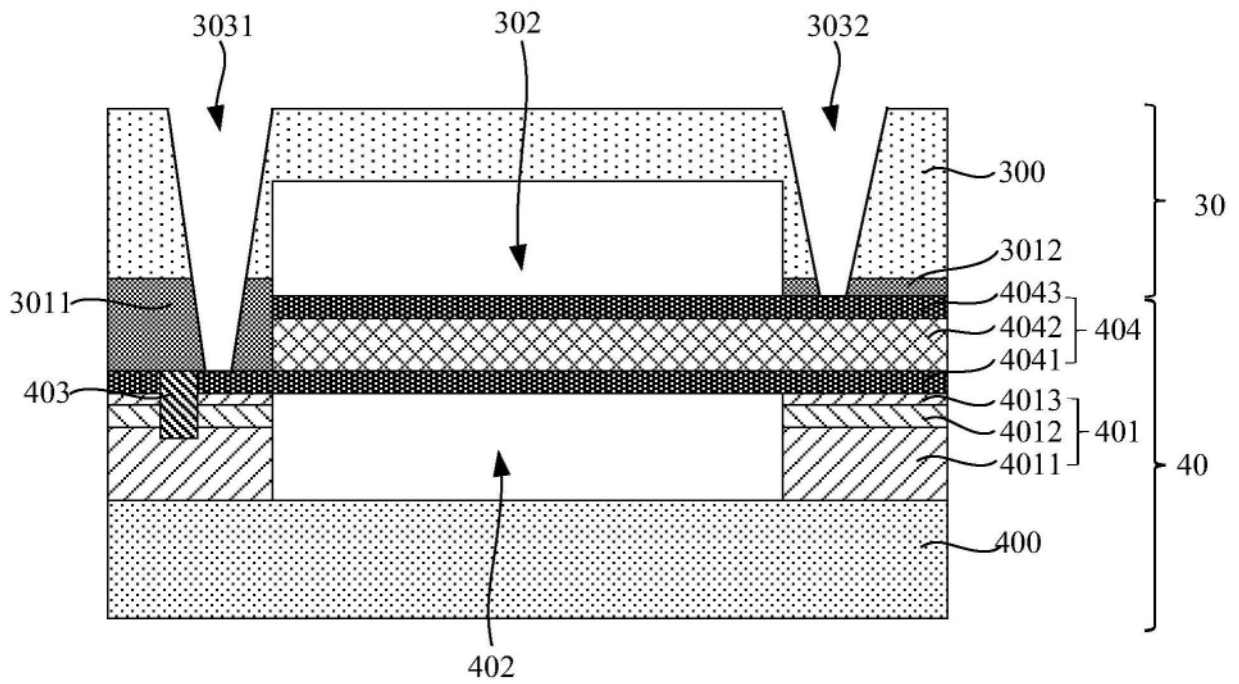


图3D

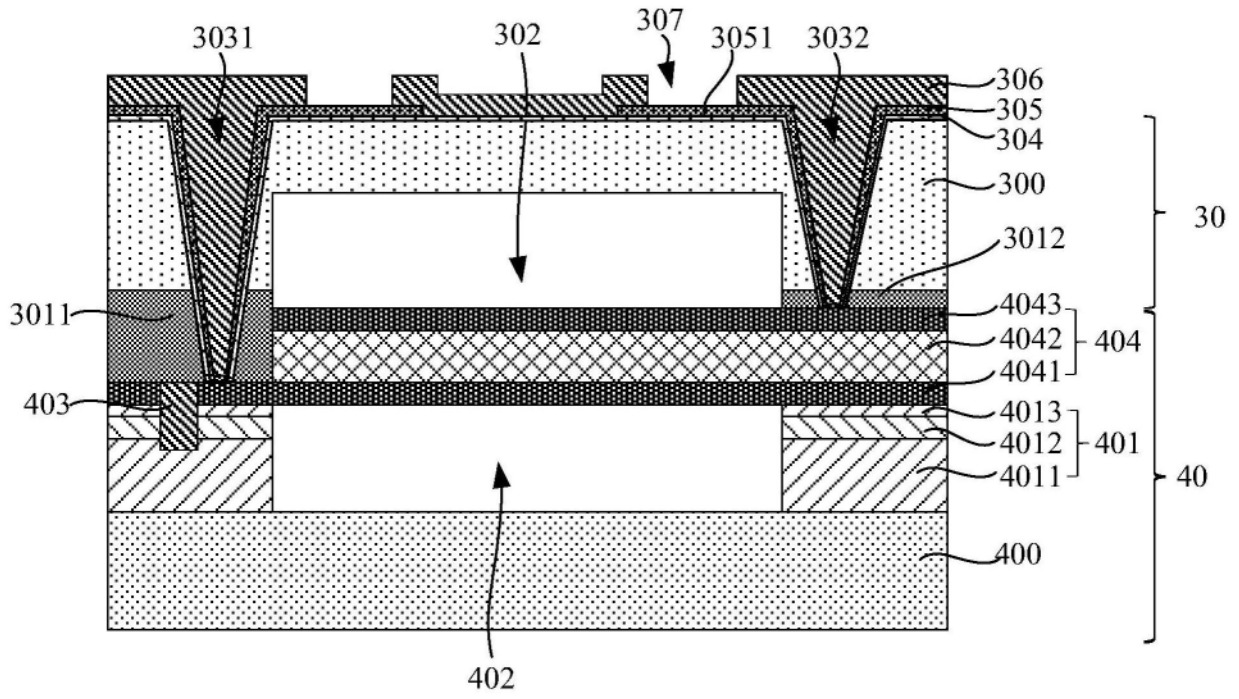


图3E

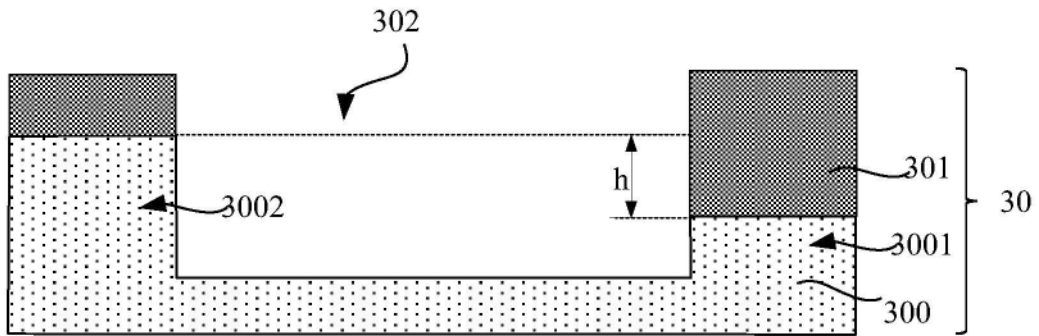


图4