



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113497596 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 12

(21) 申请号 202011635382.7
 (22) 申请日 2020.12.31
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 113497596 A
 (43) 申请公布日 2021.10.12
 (66) 本国优先权数据
 202010267621.1 2020.04.08 CN
 (73) 专利权人 诺思(天津)微系统有限责任公司
 地址 300462 天津市滨海新区开发区西区
 新业五街27号
 (72) 发明人 庞慰 闫德海 杨清瑞
 (74) 专利代理机构 北京金诚同达律师事务所
 11651
 专利代理师 汤雄军

(51) Int. Cl.
 H03H 3/007 (2006.01)
 H03H 3/02 (2006.01)
 H03H 9/02 (2006.01)
 H03H 9/13 (2006.01)
 H03H 9/15 (2006.01)
 H03H 9/17 (2006.01)
 H03H 9/46 (2006.01)
 H03H 9/48 (2006.01)
 H03H 9/54 (2006.01)

(56) 对比文件
 CN 109889177 A, 2019.06.14
 审查员 杨呈祥

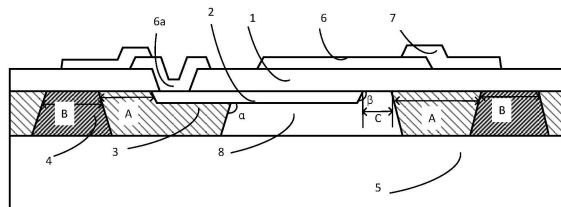
权利要求书3页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

体声波谐振器、体声波谐振器组件、滤波器及电子设备

(57) 摘要

本发明涉及一种体声波谐振器及其制造方法。该谐振器包括：基底；声学镜；底电极；顶电极；和压电层，设置在底电极与顶电极之间，其中：压电层与基底之间设置有声学阻抗结构；所述声学阻抗结构包括在横向方向上彼此相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层，第一声学阻抗层与第二声学阻抗层的声学阻抗不同；所述声学镜在谐振器的横向方向上位于所述第一声学阻抗层之间。第一声学阻抗层与第二声学阻抗层与压电层接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$ ，其中m和n均为奇数， λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。本发明还涉及一种体声波谐振器组件、一种滤波器以及一种电子设备。



1. 一种体声波谐振器,包括:

基底;

声学镜;

底电极;

顶电极;和

压电层,设置在底电极与顶电极之间,

其中:

压电层与基底之间设置有声学阻抗结构;

所述声学阻抗结构包括在横向方向上彼此相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层的声学阻抗不同,所述声学镜在谐振器的横向方向上位于所述第一声学阻抗层之间,

其中:

在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离;或者

在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面和电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离。

2. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

第一声学阻抗层与第二声学阻抗层与压电层接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$,其中 m 和 n 均为奇数, λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。

3. 根据权利要求2所述的谐振器,其中:

m 与 n 相同。

4. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

形成第一声学阻抗层和第二声学阻抗层中的一层的材料选自氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅,形成第一声学阻抗层和第二声学阻抗层中的另一层的材料自二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅,形成第一声学阻抗层的材料不同于形成第二声学阻抗层的材料。

5. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

在通过底电极的非电极连接端和顶电极的非电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离。

6. 根据权利要求1或5所述的谐振器,其中:

所述距离在 $0.5\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 的范围内。

7. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

在横向方向上,所述压电层在所述底电极和所述顶电极的非电极连接端的端面与声学阻抗结构之间的部分设置有释放孔。

8. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述底电极的电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖。

9. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

在通过底电极的非电极连接端和顶电极的非电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端被声学阻抗结构的一部分所覆盖。

10. 根据权利要求9所述的谐振器,其中:

所述底电极的非电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖。

11. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

第一声学阻抗层的外侧面所在面与压电层的底面之间形成的角度在 20° - 80° 或 100° - 160° 的范围内;和/或

底电极的端面外侧与压电层的底面之间形成的角度在 90° - 160° 的范围内。

12. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述压电层设置有底电极过孔,所述谐振器还包括电极引出部,所述电极引出部通过所述过孔与所述底电极的电极连接端电连接。

13. 根据权利要求12所述的谐振器,其中:

所述电极引出部由与顶电极相同的材料形成且具有与顶电极同层布置的引出部分。

14. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述声学镜为声学镜空腔;

所述声学镜空腔在谐振器的横向方向上的边界由所述第一声学阻抗层限定。

15. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述声学阻抗结构包括在横向方向上周期相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层。

16. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述声学阻抗结构包括在横向方向上依次相邻布置的第一声学阻抗层、第二声学阻抗层以及第一声学阻抗层。

17. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述压电层为单晶压电层。

18. 一种体声波谐振器组件,包括:

至少两个根据权利要求1-17中任一项所述的谐振器,所述至少两个谐振器共用同一基底。

19. 根据权利要求18所述的谐振器组件,其中:

所述至少两个谐振器包括两个谐振器,所述两个谐振器在横向方向上相邻且分别具有第一声学阻抗结构和第二声学阻抗结构,所述两个声学阻抗结构共用至少一层第一声学阻抗层或至少一层第二声学阻抗层。

20. 根据权利要求19所述的谐振器组件,其中:

所述两个谐振器之间包括奇数个声学阻抗层。

21. 一种体声波谐振器的制造方法,所述体声波谐振器包括基底;声学镜;底电极;顶电极;和单晶压电层,设置在底电极与顶电极之间,所述方法包括:

步骤1:在衬底上形成单晶压电层和底电极,底电极位于单晶压电层的第一侧;

步骤2:在步骤1之后,在单晶压电层上形成在横向方向上彼此相邻布置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,在横向方向上相邻的第一声学阻抗层之间形成有声学镜空间,底电极的至少一部分在横向方向上位于所述空间内,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层高度

相同且声学阻抗不同；

步骤3:将基底与第一声学阻抗层和第二声学阻抗层相接,且移除衬底以露出压电层的第二侧;以及

步骤4:在单晶压电层的第二侧形成顶电极以及对应的电极电连接结构。

22.根据权利要求21所述的方法,其中:

第一声学阻抗层与第二声学阻抗层与单晶压电层接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$,其中 m 和 n 均为奇数, λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。

23.根据权利要求22所述的方法,其中:

在步骤2中,以所述第二声学阻抗层填充所述声学镜空间;

所述方法在步骤3与步骤4之间还包括步骤3-1:在压电层中形成电极开孔以及释放孔,所述电极开孔露出所述底电极,所述释放孔与所述声学镜空间相通;

在步骤4中,所述电极电连接结构包括通过所述电极开孔与所述底电极的电极连接端电连接的底电极电连接结构;且

所述方法还包括步骤5:经由释放孔从声学镜空间释放所述第二声学阻抗层。

24.根据权利要求23所述的方法,其中:

在步骤2中,使得在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离,或者使得在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面和电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离。

25.一种滤波器,包括根据权利要求1-17中任一项所述的体声波谐振器,或者根据权利要求18-20中任一项所述的体声波谐振器组件。

26.一种电子设备,包括根据权利要求25所述的滤波器,或者根据权利要求1-17中任一项所述的体声波谐振器,或者根据权利要求18-20中任一项所述的体声波谐振器组件。

体声波谐振器、体声波谐振器组件、滤波器及电子设备

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及半导体领域,尤其涉及一种体声波谐振器及其制造方法、一种具有该谐振器的滤波器,一种体声波谐振器组件,以及一种电子设备。

背景技术

[0002] 随着5G通信技术的日益发展,对通信频段的要求越来越高。传统的射频滤波器受结构和性能的限制,不能满足高频通信的要求。薄膜体声波谐振器(FBAR)作为一种新型的MEMS器件,具有体积小、质量轻、插入损耗低、频带宽以及品质因子高等优点,很好地适应了无线通信系统的更新换代,使FBAR技术成为通信领域的研究热点之一。

[0003] 薄膜体声波谐振器的结构主体为由电极-压电薄膜-电极组成的“三明治”结构,即两层金属电极层之间夹一层压电材料。通过在两电极间输入正弦信号,FBAR利用逆压电效应将输入电信号转换为机械谐振,并且再利用压电效应将机械谐振转换为电信号输出。薄膜体声波谐振器主要利用压电薄膜的纵向压电系数产生压电效应,所以其主要工作模式为厚度方向上的纵波模式,即体声波谐振器的声波主要在谐振器的薄膜体内,而且主要的震动方向在纵向。但是由于存在边界,在边界处会存在不垂直于压电膜层的兰姆波,这时横向的兰姆波会从压电膜层的横向漏出,导致声学损失,从而使得谐振器的Q值减小。

发明内容

[0004] 为缓解或解决现有技术中的上述问题的至少一个方面,为了提高体声波谐振器的Q值,提出本发明。

[0005] 根据本发明的实施例的一个方面,提出了一种体声波谐振器,包括:

[0006] 基底;

[0007] 声学镜;

[0008] 底电极,与电极引出部相接;

[0009] 顶电极,与顶电极引出部相接;和

[0010] 压电层,设置在底电极与顶电极之间,

[0011] 其中:

[0012] 压电层与基底之间设置有声学阻抗结构;

[0013] 所述声学阻抗结构包括在横向方向上彼此相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层的声学阻抗不同,所述声学镜在谐振器的横向方向上位于所述第一声学阻抗层之间。

[0014] 本发明的实施例还涉及一种体声波谐振器组件,其包括至少两个上述谐振器,所述至少两个谐振器共用同一基底。可选的,所述至少两个谐振器包括两个谐振器,所述两个谐振器在横向方向上相邻且分别具有第一声学阻抗结构和第二声学阻抗结构,所述两个声学阻抗结构共用第一声学阻抗层或第二声学阻抗层。

[0015] 本发明还涉及一种体声波谐振器的制造方法,所述体声波谐振器包括基底;声学

镜;底电极,与电极引出部相接;顶电极,与顶电极引出部相接;和压电层,设置在底电极与顶电极之间,所述方法包括:

[0016] 步骤1:在衬底上形成单晶压电层和底电极,底电极位于压电层的第一侧;

[0017] 步骤2:在步骤1之后,在压电层上形成在横向方向上彼此相邻布置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,在横向方向上相邻的第一声学阻抗层之间形成有声学镜空间,底电极的至少一部分在横向方向上位于所述空间内,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层高度相同且声学阻抗不同;

[0018] 步骤3:将基底与第一声学阻抗层和第二声学阻抗层相接,且移除衬底以露出压电层的第二侧;以及

[0019] 步骤4:在压电层的第二侧形成顶电极以及对应的电极电连接结构。

[0020] 本发明的实施例还涉及一种滤波器,包括上述的体声波谐振器或谐振器组件。

[0021] 本发明的实施例也涉及一种电子设备,包括上述的滤波器或者上述的谐振器或组件。

附图说明

[0022] 以下描述与附图可以更好地帮助理解本发明所公布的各种实施例中的这些和其他特点、优点,图中相同的附图标记始终表示相同的部件,其中:

[0023] 图1为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的仰视示意图;

[0024] 图2A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的沿图1中的MOM' 线截得的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域,且底电极的电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖,底电极的非电极连接端与第一声学阻抗层在横向方向上间隔开;

[0025] 图2B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的MOM' 线截得的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域,且底电极的电极连接端与非电极连接端均与第一声学阻抗层3在横向方向上间隔开,图2B中示出了全空腔结构;

[0026] 图3A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的沿图1中的NON' 线截得的一个截面示意图,其中示出了具有释放孔的区域及非电极连接边位置;

[0027] 图3B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的NON线截得的另一个截面示意图,其中示出了具有释放孔的区域及非电极连接边位置;

[0028] 图4A-4L以图2A为例示例性示出了图2A中的体声波谐振器的制造过程;

[0029] 图5为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的MOM' 线截得的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域,且底电极的电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖,底电极的非电极连接端与第一声学阻抗层在横向方向上间隔开;

[0030] 图6A-6C例示例性示出了图5中的体声波谐振器的部分制造过程;

[0031] 图7A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图;

[0032] 图7B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图;

[0033] 图8A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,其中

示出了两个谐振器,图8A与图7A相比,多了一组反射层;

[0034] 图8B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,图8B与图7B相比,多了一组反射层。

具体实施方式

[0035] 下面通过实施例,并结合附图,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。在说明书中,相同或相似的附图标号指示相同或相似的部件。下述参照附图对本发明实施方式的说明旨在对本发明的总体发明构思进行解释,而不应当理解为对本发明的一种限制。发明的一部分实施例,而并不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0036] 首先,本发明的附图中的附图标记说明如下:

[0037] 1:单晶压电层,可选单晶氮化铝、单晶氮化镓、单晶铈酸锂、单晶锆钛酸铅、单晶铈酸钾、单晶石英薄膜、或者单晶钽酸锂等材料,还可包含上述材料的一定原子比的稀土元素掺杂材料,例如可以是掺杂氮化铝,掺杂氮化铝至少含一种稀土元素,如钪(Sc)、钇(Y)、镁(Mg)、钛(Ti)、镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、铥(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)等。

[0038] 2:底电极,材料可选钼、钽、金、铝、镁、钨、铜,钛、铌、钽、铬或以上金属的复合或其合金等。

[0039] 3:第一声学阻抗层,材料可以为氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅。

[0040] 4:第二声学阻抗层,同时也作为牺牲层。第二声学阻抗层的材料可以为二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅等,但与第一声阻抗层材料不同,且第二声学阻抗层的刻蚀剂不易刻蚀或不刻蚀第一声阻抗层材料。

[0041] 5:基底,可选材料为单晶硅、氮化镓、砷化镓、蓝宝石、石英、碳化硅、金刚石等。

[0042] 5a:辅助基底,可选材料为单晶硅、氮化镓、砷化镓、蓝宝石、石英、碳化硅、金刚石等,也可以是铈酸锂、钽酸锂、铈酸钾等单晶压电衬底。

[0043] 6:顶电极,其材料可与底电极相同,材料可选钼、钽、金、铝、镁、钨、铜,钛、铌、钽、铬或以上金属的复合或其合金等。顶电极和底电极材料一般相同,但也可以不同。

[0044] 6a:电极连接部一(或电极引出部),其可与顶电极同时制得,材料可选钼、钽、金、铝、镁、钨、铜,钛、铌、钽、铬或以上金属的复合或其合金等。

[0045] 7:电极连接部二(Bonding PAD,或底电极电连接层),材料可为铜,金或以上金属的复合或其合金等。

[0046] 8:声学镜,可为空腔,也可采用布拉格反射层及其他等效形式。本发明所示的实施例中采用的是空腔。

[0047] 9:释放孔,其用于蚀刻牺牲层形成空腔。

[0048] 9a:电极开口或过孔,其可与释放孔同时制得,用于电极连接部一与底电极的电极连接端电连接。

[0049] 图1为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的仰视示意图。图2A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器沿图1中的MOM'线的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域,且底电极的电极连接端被第一

声学阻抗层的一部分覆盖,底电极的非电极连接端与第一声学阻抗层在横向方向上间隔开。如图1和图2A所示,体声波谐振器包括:基底5;声学镜8;底电极2;顶电极6;和单晶压电层1,其设置在底电极与顶电极之间。单晶压电层1与基底5之间设置有声学阻抗结构,声学镜8在谐振器的横向方向上位于声学阻抗结构之间,所述声学阻抗结构包括在横向方向上彼此相邻设置的第一声学阻抗层3和第二声学阻抗层4,更具体的,声学镜8在谐振器的横向方向上位于第一声学阻抗层3之间。

[0050] 在本发明中,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层的声学阻抗不同,以形成阻抗不匹配,对声波形成连续反射,形成对横向声波的反射结构,从而用于防止横向声波泄露,有利于将能量锁定在谐振器内,从而提高Q值。

[0051] 在本发明中,利用了单晶压电材料,可以使压电损耗更低,从而得到更高的谐振器Q值,同时可以提高机电耦合系数和功率容量。

[0052] 在进一步的实施例中,第一声学阻抗层3与第二声学阻抗层4与单晶压电层1接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$,其中m和n均为奇数,例如为1,3,5,7等, λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。所述谐振频率是谐振器谐振区间内的某一频率,可以是谐振器的串联谐振频率或并联谐振频率,也可以是串并联谐振频率之间的某一频率,或者略低于串联谐振频率或略高于并联谐振频率的某一频率。在附图中,第一声学阻抗层3的所述宽度以A表示,而第二声学阻抗层4的所述宽度则以B表示。选取上述宽度,有利于形成有效的声学阻抗不匹配,防止横向声波泄露,进一步提高谐振器的Q值。m与n可以相同,也可以不同,均在本发明的保护范围之内。

[0053] 形成第一声学阻抗层3的材料包括氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅,形成第二声学阻抗层4的材料包括二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅。第一声学阻抗层3的材料与第二声学阻抗层4的材料彼此不同。可选的,形成第一声学阻抗层3的材料包括二氧化硅,形成第二声学阻抗层4的材料包括多晶硅。或者,形成第一声学阻抗层3的材料包括氮化硅或氮化铝,形成第二声学阻抗层4的材料包括二氧化硅或掺杂二氧化硅。在本发明中,为了提高第一声学阻抗层3与第二声学阻抗层4的相接处的声学不匹配程度,两者的声学阻抗之差可以选择的尽可能大。

[0054] 如后面参照附图4A-4L所述的,在制造谐振器的过程中,第二声学阻抗层同时用作牺牲层,因此在释放牺牲层时,需要选择合适的释放刻蚀剂,使得该刻蚀剂只刻蚀第一声学阻抗材料,不刻蚀或刻蚀极少量第二声阻抗材料。

[0055] 如图2A所示,底电极2的非电极连接端(图2A中的右端)的端面在横向方向上与声学阻抗结构中的第一声学阻抗层3间隔开,使得声波在底电极的非电极连接端和空隙之间的横向界面也形成全反射,从而减少声波泄露。基于非电极连接端处的空隙结构,可以进一步防止横向声波泄露,提高谐振器的Q值。另一方面,底电极2的非电极连接端(图2A中的右端)的端面如果被第一声阻抗层3覆盖,则会与顶电极在空腔外的部分形成寄生电容,从而影响谐振器的机电耦合系数。

[0056] 在可选的实施例中,在通过底电极2的电极连接端的谐振器的一个纵截面中(例如如图2A所示的截面图中),底电极2的非电极连接端的端面在横向方向上与声学阻抗结构间隔开的距离C在 $0.5\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 的范围内。该距离除了端值之外,还可以是例如 $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$ 等。

[0057] 在图2A所示的实施例中,底电极2在电极连接端的一侧被第一声学阻抗层3和第二

声学阻抗层4形成的连续反射层或者声学阻抗结构包裹住,更具体的,被第一声学阻抗层3覆盖,一方面这种结构有利于提高谐振器的机械稳定性,且更容易将谐振器工作时产生的热量通过电极和第一声阻抗层3传导到衬底,从而提高谐振器的功率容量,另一方面,虽然能量会从底电极端面泄露到第一声阻抗层3中,但是由于存在第二声学阻抗层与第一声阻抗层形成的反射界面,因此,有利于使能量尽可能多的锁定在谐振器内部,使谐振器保持较高Q值。

[0058] 图2B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的MOM'线截得的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域。

[0059] 如图2B所示,底电极2的非电极连接端的端面和电极连接端的端面在横向方向上均与第一声学阻抗层3间隔开,使得声波在底电极与空隙的横向界面也形成全反射,从而减少声波泄露,能够提高谐振器的Q值。相较于图2A所示的结构,因为在电极连接端也设置有空隙,从而有利于进一步防止横向声波泄露,但是由于电极与第一声阻抗层没有形成直接接触,热量必须通过压电材料间接传导到第一声阻抗层及衬底中,从而会导致功率容量变差。同样的,电极连接端的端面在横向方向上与声学阻抗结构间隔开的距离可以是C,也可以是不同于C的值。

[0060] 图3A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的沿图1中的NON'线截得的一个截面示意图,其中示出了具有释放孔9的区域及非电极连接边位置。如图3A所示,在横向方向上,单晶压电层1在底电极2的非电极连接端的端面与第一声学阻抗层3之间的部分设置有释放孔9。在图3A中,底电极的非电极连接端两侧均没有被第一声学阻抗层3覆盖,使得声波在底电极与空隙的横向界面形成全反射,从而减少声波泄露,能够提高谐振器的Q值。但是,由于电极与第一声阻抗层没有形成直接接触,热量必须通过压电材料间接传导到第一声阻抗层及衬底中,从而会导致功率容量变差。

[0061] 图3B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的NON'线截得的另一个截面示意图,其中示出了具有释放孔9的区域及非电极连接边位置。在图3B中,在横向方向上,在底电极2的非电极连接端的端面与第一声学阻抗层3之间的单晶压电层1设置有释放孔9,此外,底电极的非电极连接边除释放孔区域以及位于顶电极连接端下方的部分之外可以被第一声学阻抗层3覆盖。相比于图3A所示结构,图3B的结构中,由于底电极连接端被声阻抗层所覆盖,更有利于提高谐振器的机械稳定性,且更容易将谐振器工作时产生的热量通过电极和第一声阻抗层传导到衬底,从而提高谐振器的功率容量,另一方面,虽然能量会从底电极端面泄露到第一声阻抗层3中,但是由于存在第二声学阻抗层与第一声阻抗层形成的反射界面,因此,有利于使能量尽可能多的锁定在谐振器内部,使谐振器保持较高Q值。

[0062] 图2A、2B所示截面结构可以与图3A、3B所示截面结构任意组合形成最终谐振器结构,其中,图2B和3A所组合形成的谐振器结构,相比其他组合,具有更高的Q值,而图2A和3B所组合形成的谐振器结构,由于大部分底电极边缘均被第一声阻抗层所覆盖(仅上电极连接边下方的底电极与第一声阻抗层层间隔开一定距离),相比其他组合具有更高的功率容量,且由于存在第二声学阻抗层与第一声阻抗层形成的反射界面,使得谐振器Q值保持较高。

[0063] 在本发明的一个实施例中,如图2A、2B,3A、3B所示,可以选择第一声学阻抗层3的外侧面所在面与压电层的底面之间形成的角度 α 在 100° - 160° 的范围内,具体的,可以为 100° , 120° , 160° 等。选取该角度有利于在图形化了第一声学阻抗层3之后填充第二声学阻抗层4。在本发明的一个实施例中,如图2A、2B,3A、3B以后后面提及的图5所示,可以选择底电极2的端面外侧与单晶压电层1的底面之间形成的角度 β 在 90° - 160° 的范围内,具体的,可以为 90° 、 100° , 120° , 160° 等。选取该角度有利于填充第一声学阻抗层3和第二声学阻抗层4。

[0064] 图5为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器的类似于沿图1中的MOM'线截得的截面示意图,其中示出了底电极的电极引出部区域以及顶电极的电极引出部区域,且底电极的电极连接端被第一声学阻抗层3的一部分覆盖,底电极的非电极连接端与第一声学阻抗层3在横向方向上间隔开。在本发明的实施例中,如图5所示,可以选择第一声学阻抗层3的外侧面所在面与压电层的底面之间形成的角度 α 在 20° - 80° 的范围内,具体的,可以为 20° , 60° , 80° 等。

[0065] 如图2A所示,单晶压电层1设置有底电极过孔9a(参见后面说明的图4H),电极连接部6a通过过孔9a与底电极2的电极连接端电连接。如后面说明的图4I和4J所示的,电极连接部6a由与顶电极6相同的材料形成且具有与顶电极同层布置的引出部分。但并不排除电极连接部6a也可由其他不同于顶电极6的材料单独形成。

[0066] 在本发明中,第一声学阻抗层3与第二声学阻抗层4可以一起构成声学阻抗结构。但是,本发明不限于此,换言之,声学阻抗层的布置方式不限于此。其可以是包括在横向方向上依次相邻布置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,或第一声学阻抗层、第二声学阻抗层以及第一声学阻抗层,或以上的组合。

[0067] 本发明也涉及一种体声波谐振器组件,其可以包括至少两个上述的谐振器,这些谐振器共用同一个基底。

[0068] 在进一步的实施例中,所述至少两个谐振器包括两个谐振器,所述两个谐振器在横向方向上相邻且分别具有第一声学阻抗结构和第二声学阻抗结构,所述两个声学阻抗结构共用至少一层第一声学阻抗层3或至少一层第二声学阻抗层4。图7A、7B、8A和8B分别示出了谐振器组件的不同实施例。

[0069] 图7A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,其中示出了两个谐振器以及各自电极的连接方式,其中两个谐振器的底电极2的电极连接端被第一声学阻抗层3的一部分覆盖,在顶电极的电极连接部的下方,底电极2的非电极连接端与第一声学阻抗层3在横向方向上间隔开。如图7A所示,两个谐振器的声学镜之间包含三个声学阻抗层,第一声学阻抗层、第二声学阻抗层和第一声学阻抗层。两个谐振器至少共用位于中间位置的第二声学阻抗层4。

[0070] 图7B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,其中示出了两个谐振器,两个谐振器的底电极2在单晶压电层1下侧连接在一起,声学阻抗结构覆盖处于声学镜8外侧的底电极2的区域,在图7B中并未示出底电极的电极引出连接结构。如图7B所示,两个谐振器的声学镜之间包含三个声学阻抗层,第一声学阻抗层、第二声学阻抗层和第一声学阻抗层。两个谐振器至少共用位于中间位置的第二声学阻抗层4。

[0071] 图8A为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,其中

示出了两个谐振器以及各自电极的连接方式,其中两个谐振器的底电极2的电极连接端被第一声学阻抗层3的一部分覆盖,在顶电极的电极连接部的下方,底电极2的非电极连接端与第一声学阻抗层3在横向方向上间隔开。如图8A所示,两个谐振器的声学镜之间包含五个声学阻抗层,第一声学阻抗层、第二声学阻抗层、第一声学阻抗层、第二声学阻抗层和第一声学阻抗层。两个谐振器至少共用位于中间位置的第一声学阻抗层3。图8A与图7A中相比,多了一组反射层,即对于单个谐振器而言,围绕声学镜8的声学阻抗结构包括从内侧到外侧依次布置的第一声学阻抗层3、第二声学阻抗层4、第一声学阻抗层3。相应的,在图8A中,两个谐振器至少共用最外侧的第一声学阻抗层3。

[0072] 图8B为根据本发明的另一个示例性实施例的体声波谐振器组件的截面示意图,其中示出了两个谐振器,两个谐振器的底电极2在单晶压电层1下侧连接在一起,声学阻抗结构覆盖处于声学镜8外侧的底电极2的区域,在图8B中并未示出底电极的电极引出连接结构。如图8B所示,两个谐振器的声学镜之间包含五个声学阻抗层,第一声学阻抗层、第二声学阻抗层、第一声学阻抗层、第二声学阻抗层和第一声学阻抗层。两个谐振器至少共用位于中间位置的第一声学阻抗层3。图8B与图7B中相比,多了一组反射层,即对于单个谐振器而言,围绕声学镜8的声学阻抗结构包括从内侧到外侧依次布置的第一声学阻抗层3、第二声学阻抗层4、第一声学阻抗层3。相应的,在图8B中,两个谐振器至少共用最外侧的第一声学阻抗层3。

[0073] 相邻谐振器的连接方式并不限于图7A-8B中所示的情况,同时,相邻谐振器之间也可以没有电连接,但相邻谐振器之间可以存着多组声学阻抗层。此外,相邻谐振器之间也可以只存在一层声学阻抗层(第一声学阻抗层)。而多增加第一声学阻抗层3和第二声学阻抗层4可以形成更多的反射界面,进一步减少声波的泄露,使谐振器的Q值升高。另外,通过选择第一声学阻抗层和第二声学阻抗层的层数和/或宽度,可以使第一声学阻抗层3和第二声学阻抗层4的图形占比密度更均匀,使利用CMP(chemical mechanical polishing,化学机械抛光)制程更容易形成表面平坦的膜层。

[0074] 下面参照图4A-4L示例性说明图2A所示的单晶压电薄膜体声波谐振器的制作过程。

[0075] 如图4A所示,在辅助基底5a(如硅、碳化硅)表面上沉积单晶压电层1,如单晶氮化铝(A1N)、氮化镓(GaN),所用沉积工艺包括但不限于MOCVD(金属有机化学气相沉积)、MBE(分子束外延)、CBE(化学分子束外延)、LPE(液相外延)等;或者通过在辅助衬底Aux1(如铌酸锂、钽酸锂衬底)表面通过离子注入形成一个分界层,在分界层上方形成单晶压电层1,此时单晶压电层1材料与辅助基底5a材料相同。

[0076] 如图4B所示,在单晶压电层1表面沉积金属层并将金属层图形化成底电极2)。

[0077] 如图4C所示,在图4B所得到的结构的单晶压电层1及底电极2的表面沉积一层第一声学阻抗材料,并图形化以形成第一声学阻抗层3,第一声学阻抗材料可以是氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅等。

[0078] 如图4D所示,在图4C所得到的结构的单晶压电层1、第一声学阻抗层3以及底电极2的表面沉积第二声学阻抗材料,第二声学阻抗层的材料可以为二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅等,但与第一声学阻抗层材料不同。

[0079] 如图4E所示,通过CMP(化学机械研磨)法将第二声学阻抗材料磨平直至与露出第

一声学阻抗层3,位于第一声学阻抗层3的外侧的第二声学阻抗材料构成第二声学阻抗层4,而位于第一声学阻抗层3之间的第二声学阻抗材料则构成牺牲层。换言之,在本实施例中,第二声学阻抗材料还是牺牲材料。

[0080] 如图4F所示,将基底5接合(bonding)在第一声学阻抗层3和第二声学阻抗层4的下侧面上。可选的,基底5的表面还可以有辅助键合层(图中没有示出),如二氧化硅、氮化硅等材料。

[0081] 如图4G所示,通过研磨、刻蚀工艺或离子注入层分离的方法将辅助基底5a去除,以露出单晶压电层1的上表面,可选的,并对其分离界面进行CMP处理,使其表面光整,具有较低的粗糙度。

[0082] 如图4H所示,通过光刻和刻蚀的工艺在单晶压电层1中刻蚀出通孔9a,同时,在单晶压电层1上蚀刻出牺牲层释放孔(图中没有示出),该过孔直接通到底电极的电极连接端,或该过孔直接与声学镜空腔相通或者直接通到位于声学镜空腔中的第二声学阻抗材料即牺牲层。

[0083] 如图4I所示,沉积用于顶电极6的电极材料层,如图所示,该材料层覆盖压电层的顶面以及进入到过孔9a以及释放孔之内。

[0084] 如图4J所示,对电极材料层刻蚀,以移除释放孔内的电极材料,以及图形化而形成顶电极6。

[0085] 如图4K所示,通过薄膜沉积的工艺沉积然后图形化导电材料以形成电极连接部分(bonding pad)或电极连接部7,包括顶电极连接层和底电极连接层。注意从如图4H到4K的加工过程并不唯一,如也可以先沉积顶电极,再制作通孔,再沉积底电极连接层。

[0086] 如图4L所示,经由释放孔通入刻蚀剂以释放声学镜空腔8内的第二声学阻抗层材料或牺牲层,以得到对应于图2A的结构。

[0087] 在上述的制造过程中,先制作第一声学阻抗层3,然后制作第二声学阻抗层4,因此使得第一声学阻抗层3的外侧面所在面与压电层的底面之间形成的角度 α 在 100° - 160° 的范围内。但是也可以先制作第二声学阻抗层4,再制作第一声学阻抗层3。基于制作工序的不同,第一声学阻抗层3的端面外侧与压电层的底面之间的角度可以与图2A中所示不同。

[0088] 下面参照图6A-6C示例性说明图5中的体声波谐振器的部分制造过程。

[0089] 如图6A所示,在基底5a上设置单晶压电层1,底电极2后,在图6A所得到的结构的单晶压电层1及底电极2的表面沉积一层第二声学阻抗材料,并图形化以形成第二声学阻抗层4(其中包括了位于声学镜空腔内在后续步骤中需要刻蚀移除的牺牲层),第二声学阻抗层的材料可以为二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅等。

[0090] 如图6B所示,在图6A所得到的结构的单晶压电层1、第二声学阻抗层4以及底电极2的表面沉积第一声学阻抗材料,第一声学阻抗层的材料可以为氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅等,但与第二声学阻抗层材料不同。

[0091] 如图6C所示,通过CMP(化学机械研磨)法将第一声学阻抗材料磨平直至与露出第二声学阻抗层4,位于第二声学阻抗层4之间以及内侧的第一声学阻抗材料构成第一声学阻抗层3,而位于第一声学阻抗层3之间的第二声学阻抗层则构成牺牲层。换言之,在本实施例中,第二声学阻抗材料还是牺牲材料。

[0092] 形成图5的体声波谐振器的后续步骤与上述参照附图4F-4L的步骤一致,在此不再

赘述。在本发明中,提到的数值范围除了可以为端点值之外,还可以为端点值之间的中值或者其他值,均在本发明的保护范围之内。

[0093] 注意,在图1中,第一声阻抗层和第二声学阻抗层均围绕谐振器的声学镜形成环状,但是,也可以是在第一声阻抗层的局部位置嵌入第二声学阻抗层,其截面也具有如图2A、2B、3A、3B、5所示的结构。

[0094] 在本发明中,压电层的材料还可以是非单晶材料。

[0095] 如本领域技术人员能够理解的,根据本发明的体声波谐振器可以用于形成滤波器或其他半导体器件。

[0096] 基于以上,本发明提出了如下技术方案:

[0097] 1、一种体声波谐振器,包括:

[0098] 基底;

[0099] 声学镜;

[0100] 底电极;

[0101] 顶电极;和

[0102] 压电层,设置在底电极与顶电极之间,

[0103] 其中:

[0104] 压电层与基底之间设置有声学阻抗结构;

[0105] 所述声学阻抗结构包括在横向方向上彼此相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层的声学阻抗不同,所述声学镜在谐振器的横向方向上位于所述第一声学阻抗层之间。

[0106] 2、根据权利要求1所述的谐振器,其中:

[0107] 第一声学阻抗层与第二声学阻抗层与压电层接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$,其中 m 和 n 均为奇数, λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。

[0108] 3、根据2所述的谐振器,其中:

[0109] m 与 n 相同。

[0110] 4、根据1所述的谐振器,其中:

[0111] 形成第一声学阻抗层和第二声学阻抗层中的一层的材料选自氮化铝、二氧化硅、氮化硅、多晶硅、非晶硅,形成第一声学阻抗层和第二声学阻抗层中的另一层的材料自二氧化硅、掺杂二氧化硅、多晶硅、非晶硅,形成第一声学阻抗层的材料不同于形成第二声学阻抗层的材料。

[0112] 5、根据1所述的谐振器,其中:

[0113] 在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离;或者

[0114] 在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面和电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离。

[0115] 6、根据5所述的谐振器,其中:

[0116] 在通过底电极的非电极连接端和顶电极的非电极连接端的谐振器的一个纵截面

中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔开一个距离。

[0117] 7、根据5或6所述的谐振器,其中:

[0118] 所述距离在 $0.5\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 的范围内。

[0119] 8、根据7所述的谐振器,其中:

[0120] 在横向方向上,所述压电层在所述底电极和所述顶电极的非电极连接端的端面与声学阻抗结构之间的部分设置有释放孔。

[0121] 9、根据5所述的谐振器,其中:

[0122] 所述底电极的电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖。

[0123] 10、根据5所述的谐振器,其中:

[0124] 在通过底电极的非电极连接端和顶电极的非电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端被声学阻抗结构的一部分所覆盖。

[0125] 11、根据10所述的谐振器,其中:

[0126] 所述底电极的非电极连接端被第一声学阻抗层的一部分覆盖。

[0127] 12、根据1所述的谐振器,其中:

[0128] 第一声学阻抗层的外侧面所在面与压电层的底面之间形成的角度在 20° - 80° 或 100° - 160° 的范围内;和/或

[0129] 底电极的端面外侧与压电层的底面之间形成的角度在 90° - 160° 的范围内。

[0130] 13、根据1所述的谐振器,其中:

[0131] 所述压电层设置有底电极过孔,所述谐振器还包括电极引出部,所述电极引出部通过所述过孔与所述底电极的电极连接端电连接。

[0132] 14、根据13所述的谐振器,其中:

[0133] 所述电极引出部由与顶电极相同的材料形成且具有与顶电极同层布置的引出部分。

[0134] 15、根据1所述的谐振器,其中:

[0135] 所述声学镜为声学镜空腔;

[0136] 所述声学镜空腔在谐振器的横向方向上的边界由所述第一声学阻抗层限定。

[0137] 16、根据1所述的谐振器,其中:

[0138] 所述声学阻抗结构包括在横向方向上周期相邻设置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层。

[0139] 17、根据1所述的谐振器,其中:

[0140] 所述声学阻抗结构包括在横向方向上依次相邻布置的第一声学阻抗层、第二声学阻抗层以及第一声学阻抗层。

[0141] 18、根据1-17中任一项所述的谐振器,其中:

[0142] 所述压电层为单晶压电层。

[0143] 19、一种体声波谐振器组件,包括:

[0144] 至少两个根据1-18中任一项所述的谐振器,所述至少两个谐振器共用同一基底。

[0145] 20、根据19所述的谐振器组件,其中:

[0146] 所述至少两个谐振器包括两个谐振器,所述两个谐振器在横向方向上相邻且分别具有第一声学阻抗结构和第二声学阻抗结构,所述两个声学阻抗结构共用至少一层第一声

学阻抗层或至少一层第二声学阻抗层。

[0147] 21、根据22所述的谐振器组件,其中:

[0148] 所述两个谐振器之间包括奇数个声学阻抗层。

[0149] 22、一种体声波谐振器的制造方法,所述体声波谐振器包括基底;声学镜;底电极;顶电极;和单晶压电层,设置在底电极与顶电极之间,所述方法包括:

[0150] 步骤1:在衬底上形成单晶压电层和底电极,底电极位于单晶压电层的第一侧;

[0151] 步骤2:在步骤1之后,在单晶压电层上形成在横向方向上彼此相邻布置的第一声学阻抗层和第二声学阻抗层,在横向方向上相邻的第一声学阻抗层之间形成有声学镜空间,底电极的至少一部分在横向方向上位于所述空间内,第一声学阻抗层与第二声学阻抗层高度相同且声学阻抗不同;

[0152] 步骤3:将基底与第一声学阻抗层和第二声学阻抗层相接,且移除衬底以露出压电层的第二侧;以及

[0153] 步骤4:在单晶压电层的第二侧形成顶电极以及对应的电极电连接结构。

[0154] 23、根据22所述的方法,其中:

[0155] 第一声学阻抗层与第二声学阻抗层与单晶压电层接触的部分的宽度分别为 $m\lambda_1/4$ 和 $n\lambda_2/4$,其中 m 和 n 均为奇数, λ_1 和 λ_2 分别为第一声学阻抗层和第二声学阻抗层在谐振频率处沿横向传播的声波波长。

[0156] 24、根据23所述的方法,其中:

[0157] 在步骤2中,以所述第二声学阻抗层填充所述声学镜空间;

[0158] 所述方法在步骤3与步骤4之间还包括步骤3-1:在压电层中形成电极开孔以及释放孔,所述电极开孔露出所述底电极,所述释放孔与所述声学镜空间相通;

[0159] 在步骤4中,所述电极电连接结构包括通过所述电极开孔与所述底电极的电极电连接端电连接的底电极电连接结构;且

[0160] 所述方法还包括步骤5:经由释放孔从声学镜空间释放所述第二声学阻抗层。

[0161] 25、根据24所述的方法,其中:

[0162] 在步骤2中,使得在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔一个距离,或者使得在通过底电极的电极连接端和顶电极的电极连接端的谐振器的一个纵截面中,所述底电极的非电极连接端的端面和电极连接端的端面在横向方向上与第一声学阻抗层间隔一个距离。

[0163] 26、一种滤波器,包括根据1-18中任一项所述的体声波谐振器,或者根据20-22中任一项所述的体声波谐振器组件。

[0164] 27、一种电子设备,包括根据26所述的滤波器,或者根据1-18中任一项所述的体声波谐振器,或者根据19-21中任一项所述的体声波谐振器组件。

[0165] 这里的电子设备,包括但不限于射频前端、滤波放大模块等中间产品,以及手机、WIFI、无人机等终端产品。

[0166] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行变化,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

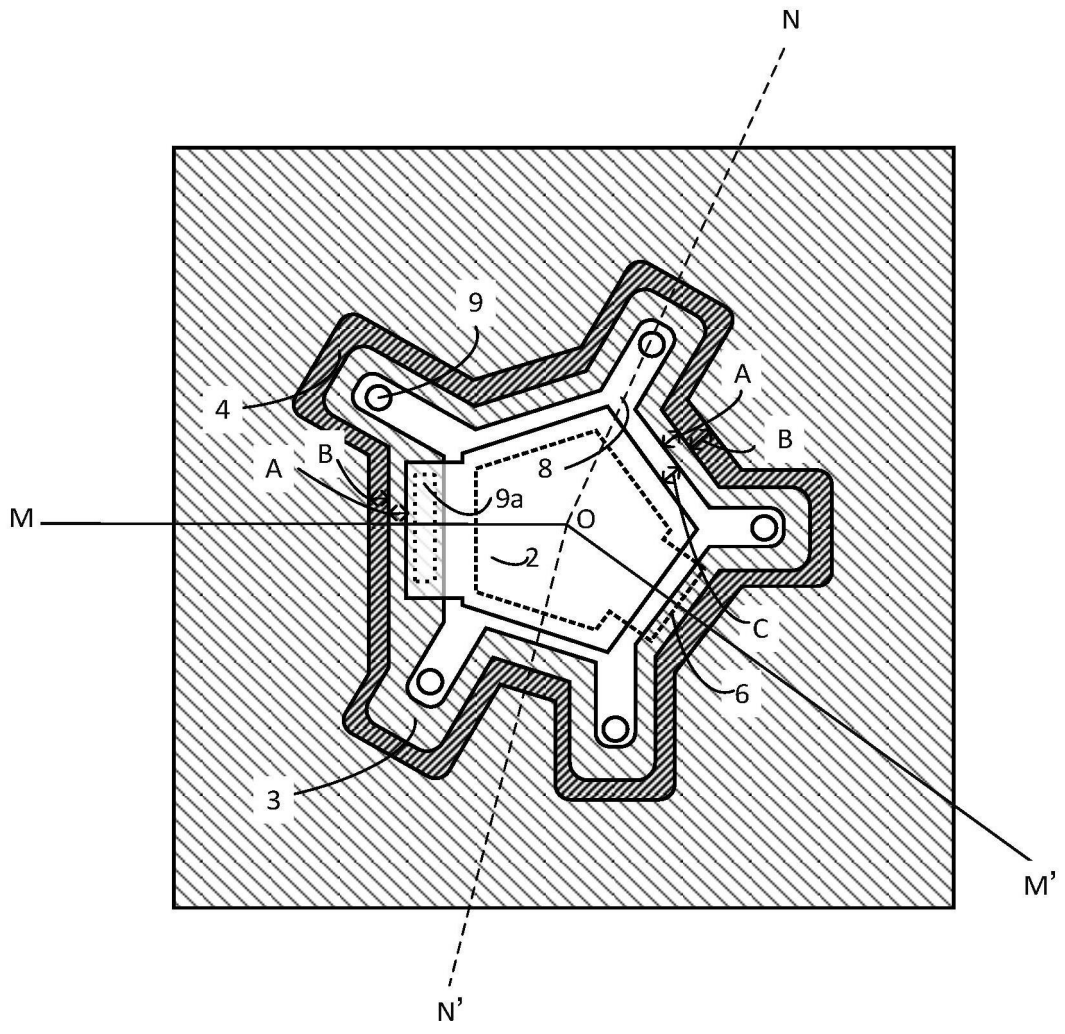


图1

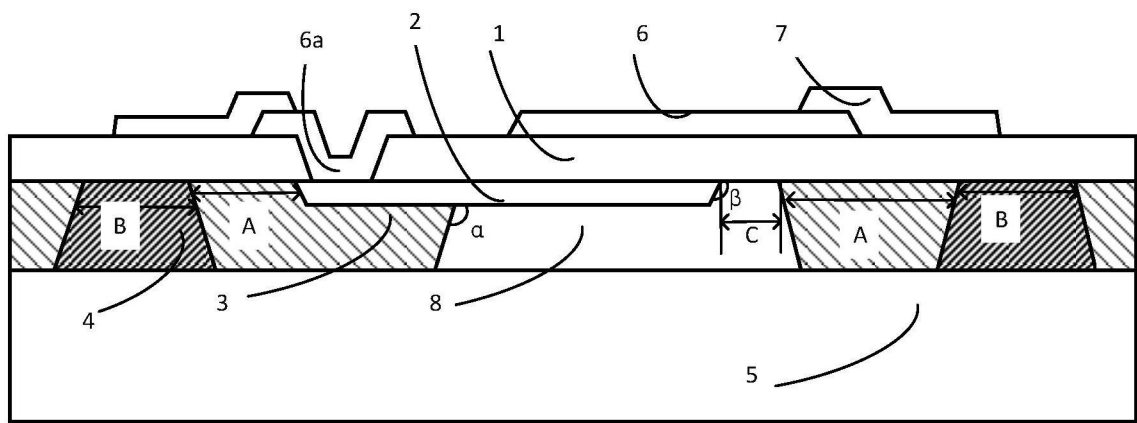


图2A

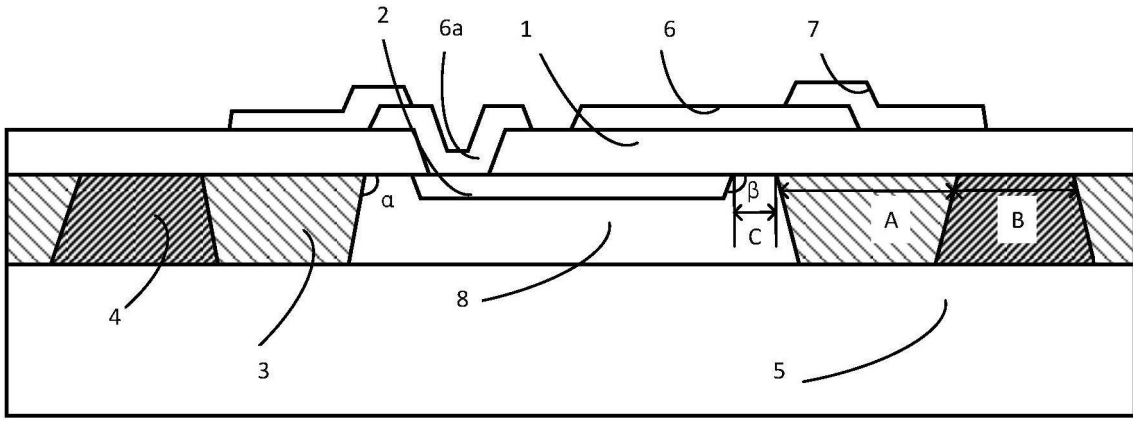


图2B

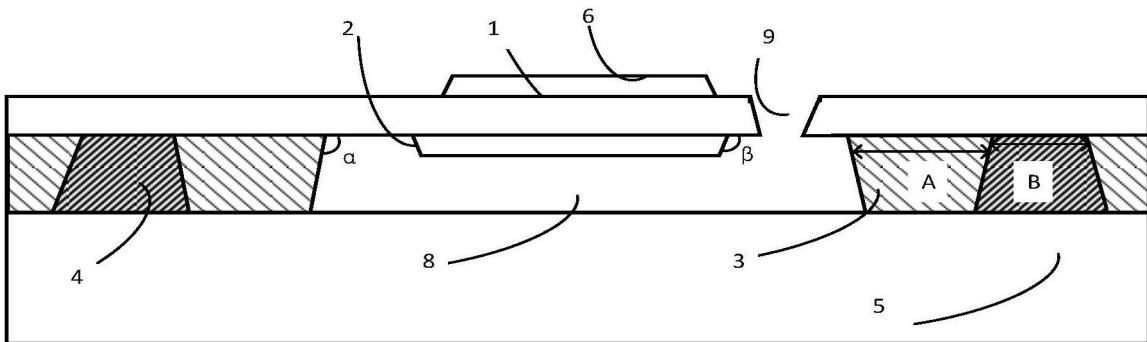


图3A

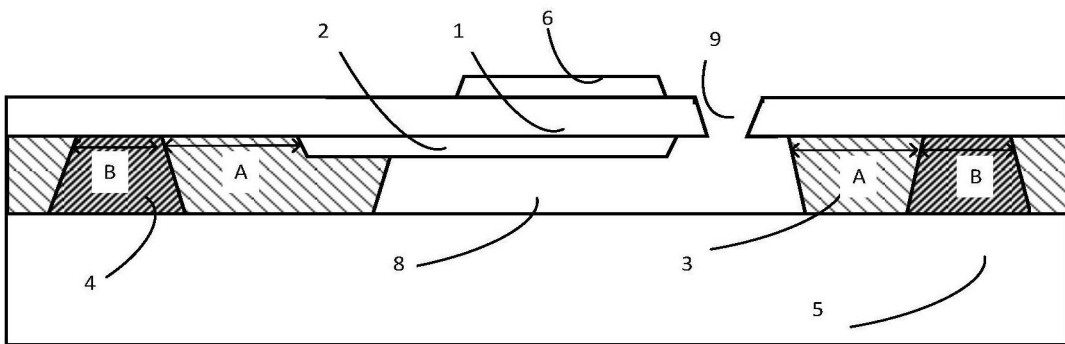


图3B

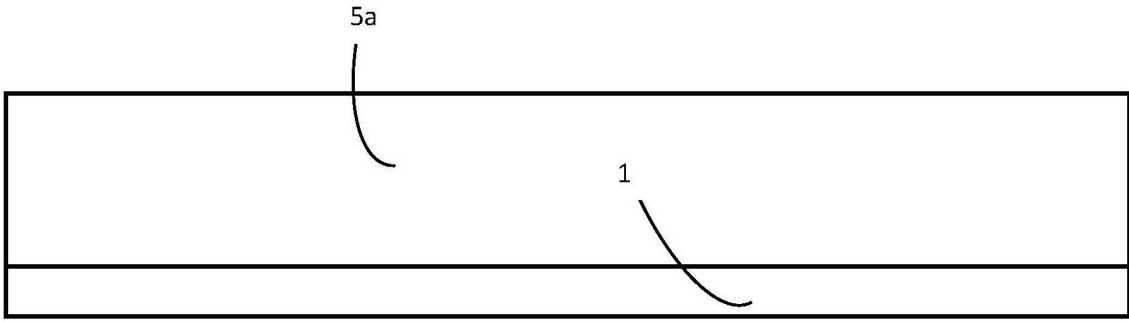


图4A

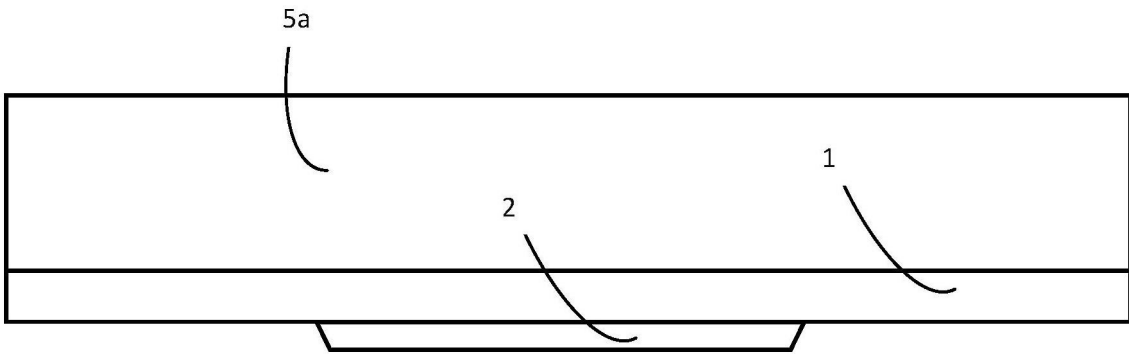


图4B

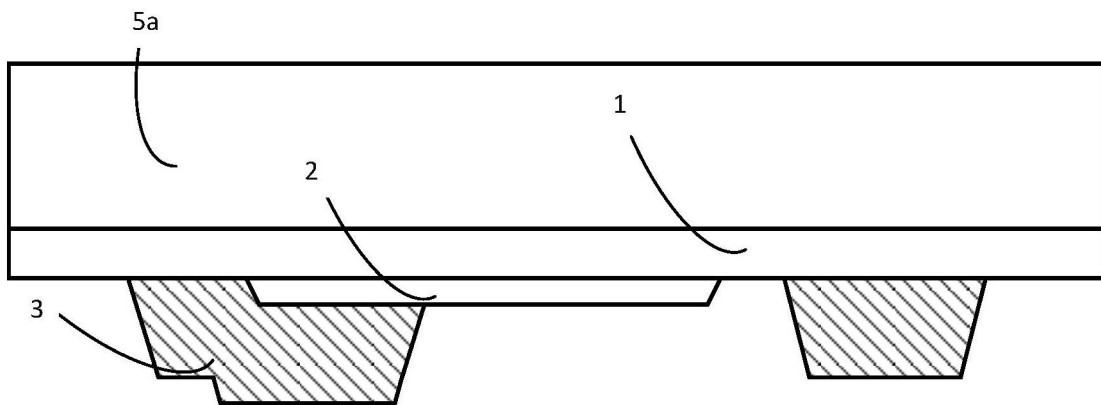


图4C

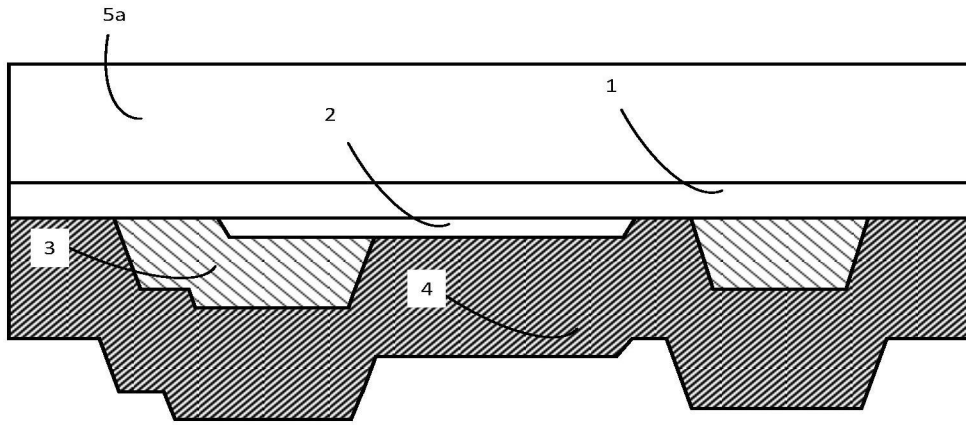


图4D

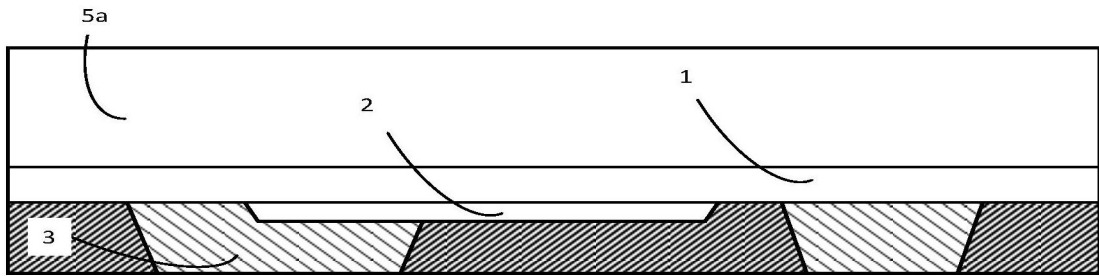


图4E

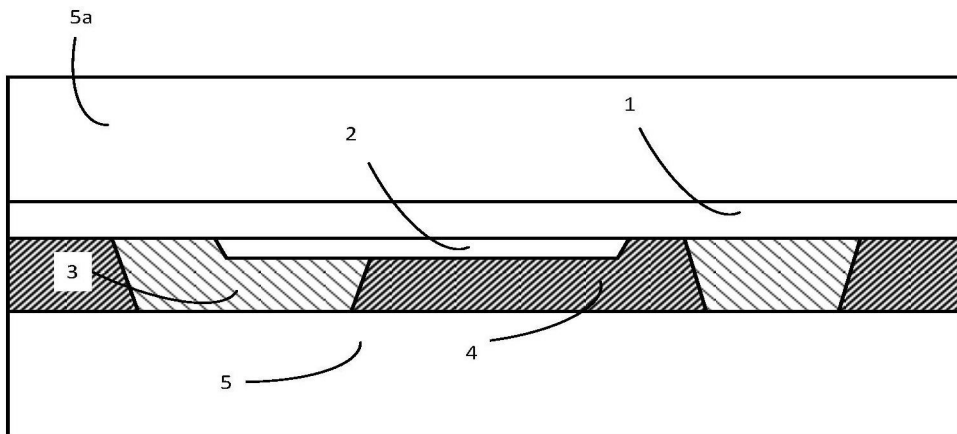


图4F

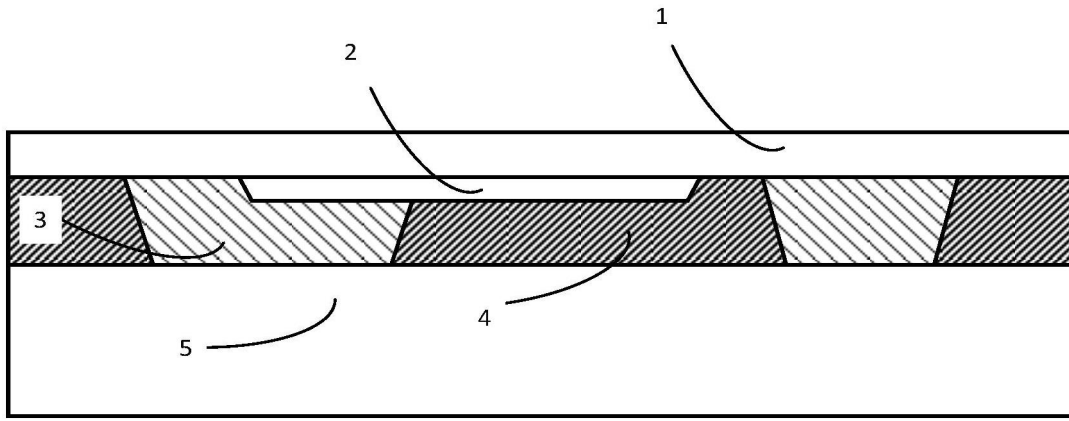


图4G

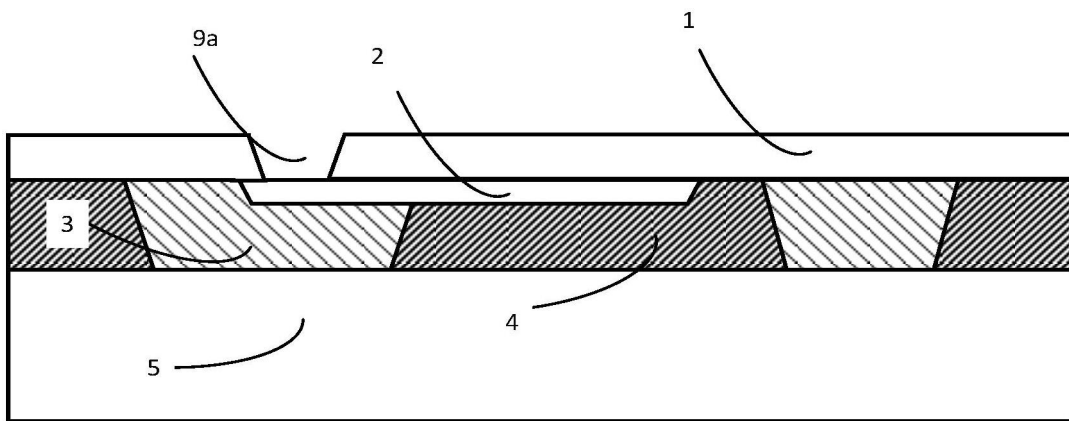


图4H

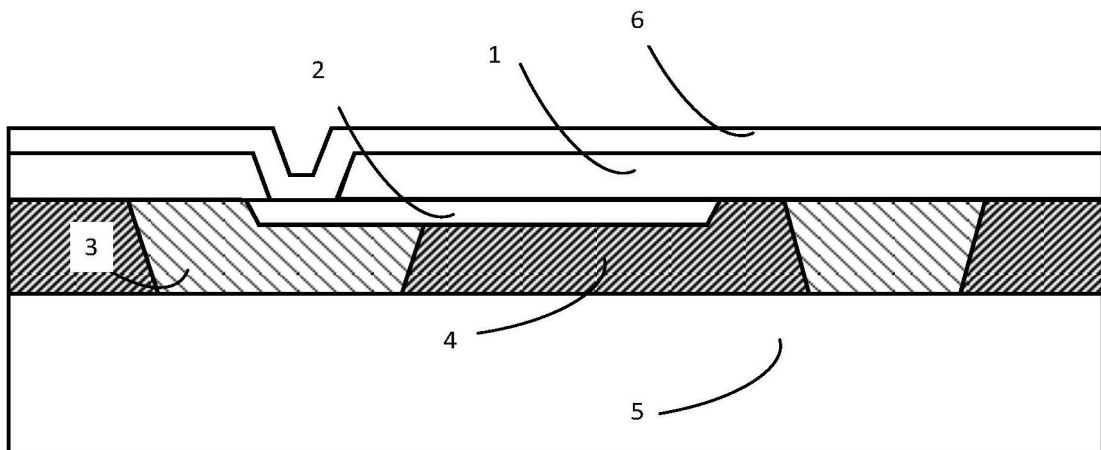


图4I

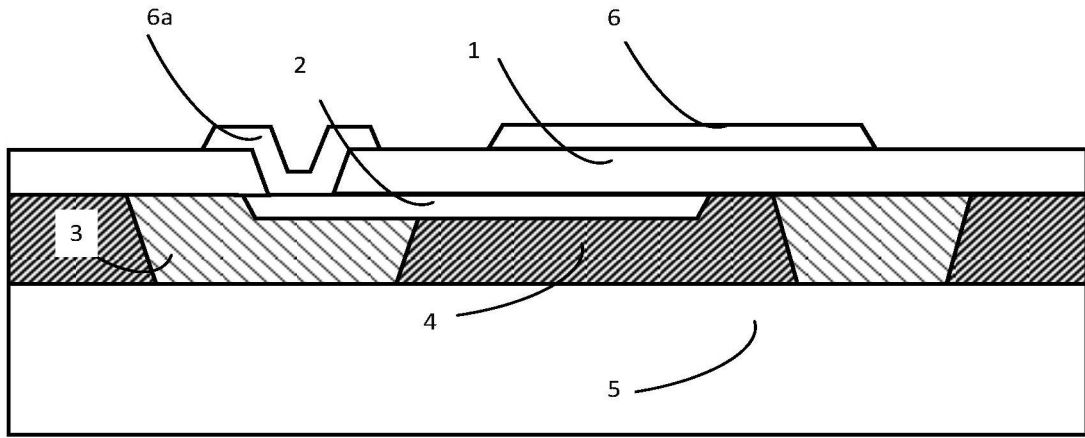


图4J

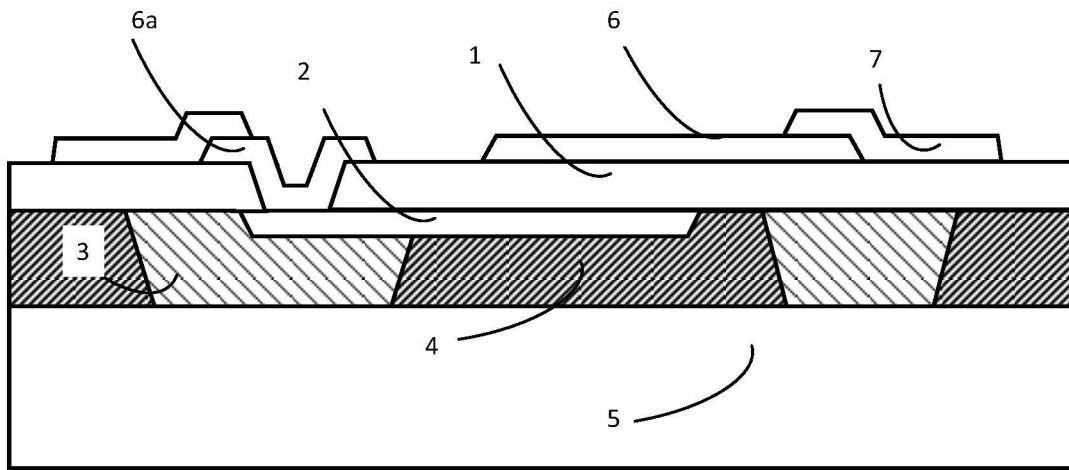


图4K

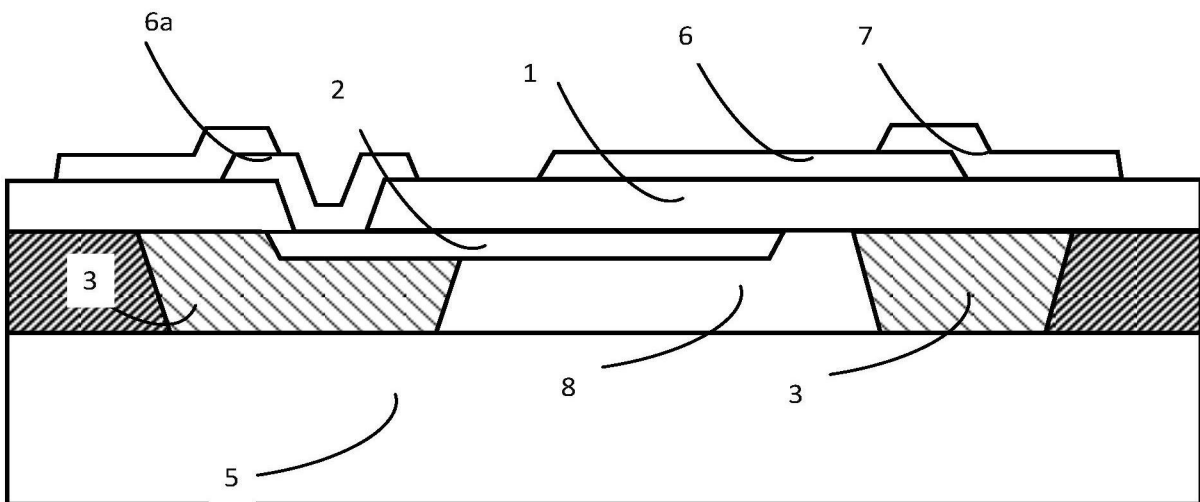


图4L

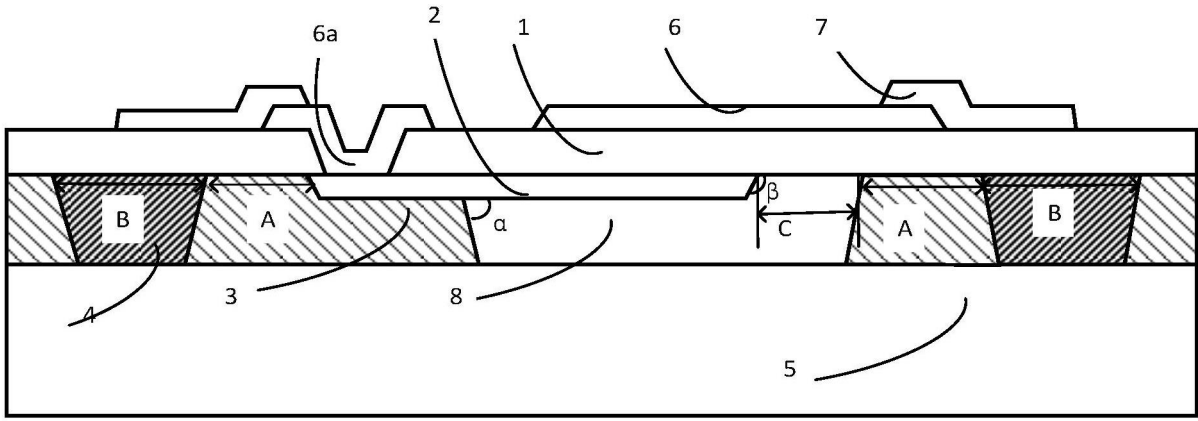


图5

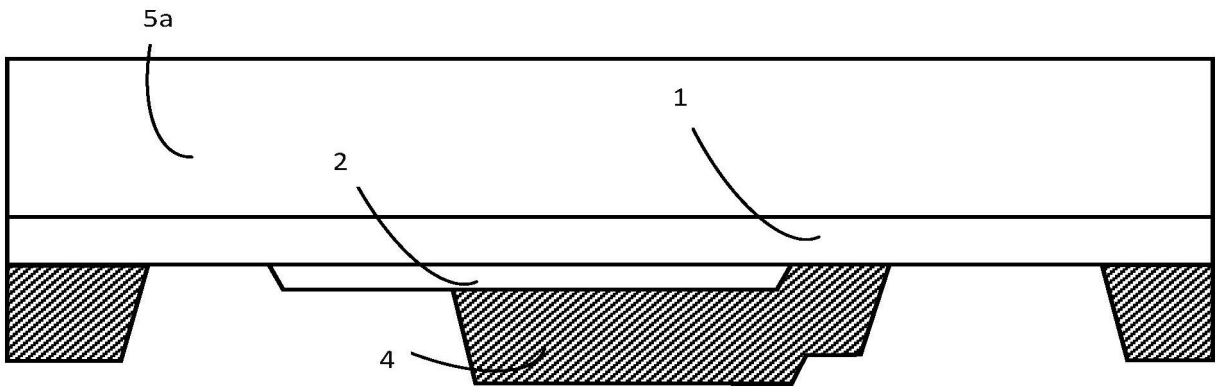


图6A

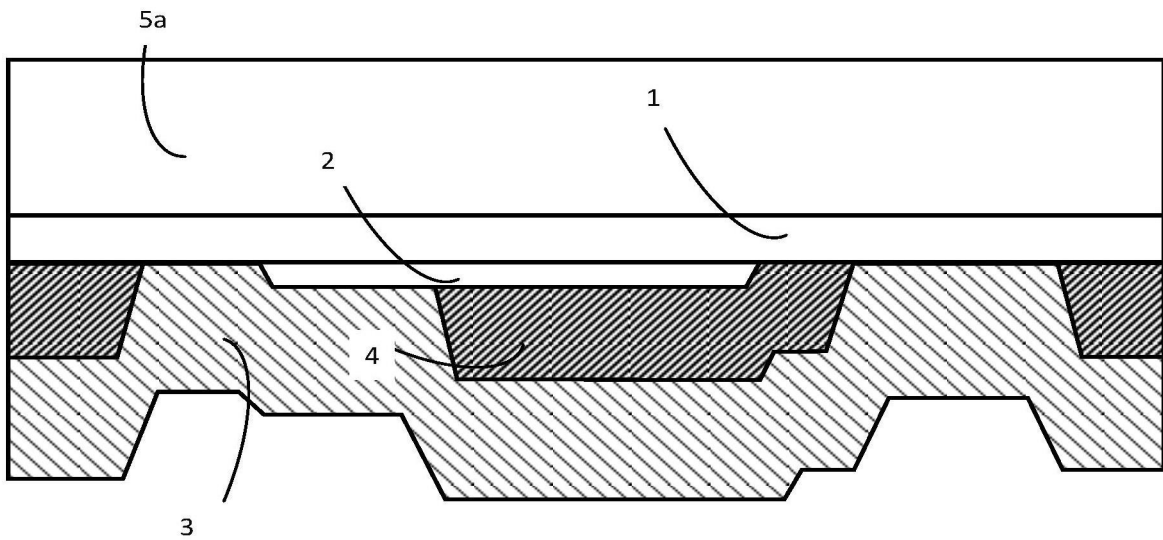


图6B

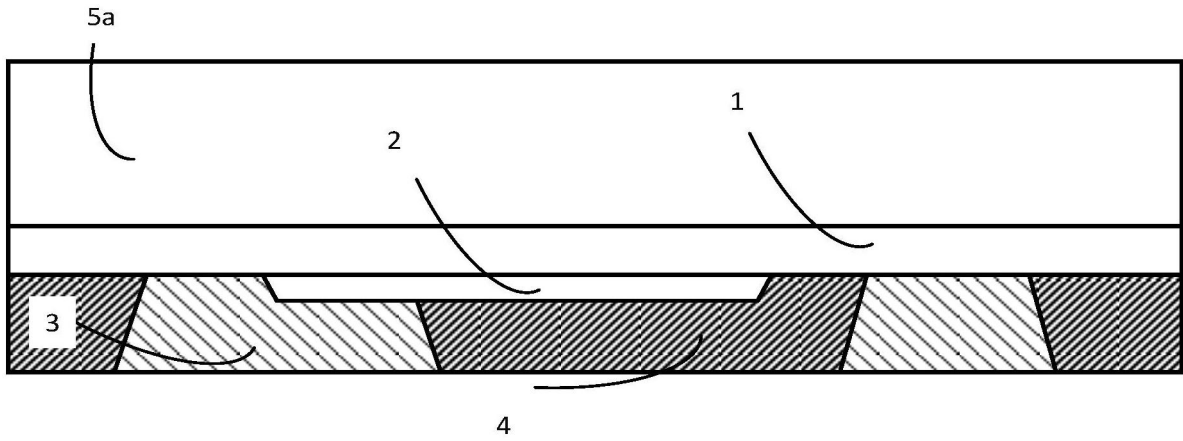


图6C

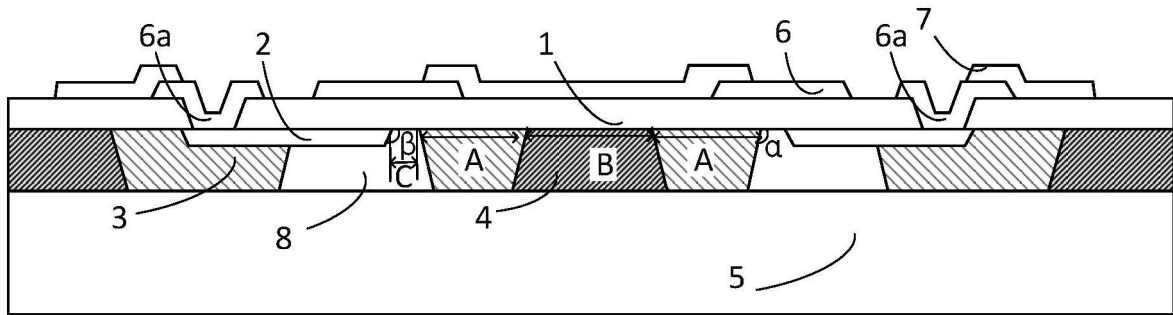


图7A

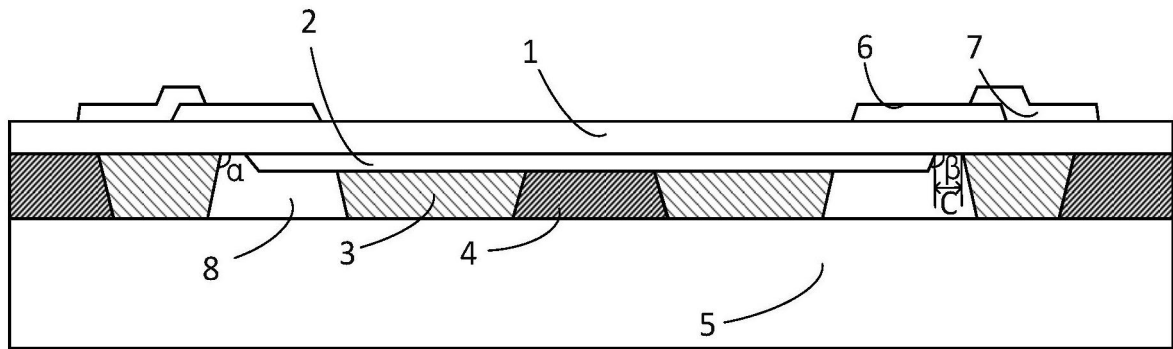


图7B

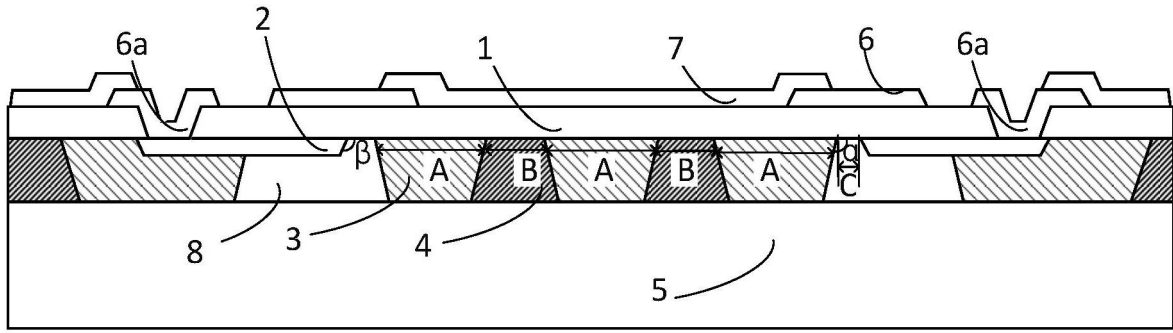


图8A

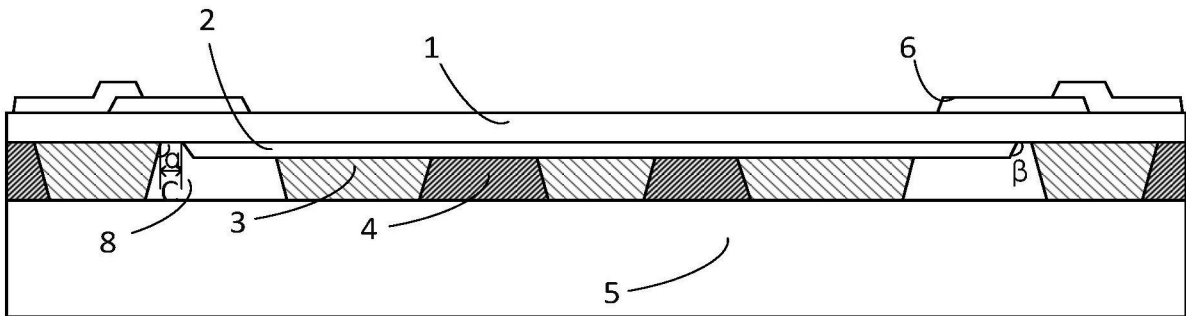


图8B