

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102664602 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 12

(21) 申请号 201210150828. 6

(22) 申请日 2012. 05. 15

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38 号

(72) 发明人 金浩 朱琦 周剑 冯斌 王德苗

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限
公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

H03H 9/17(2006. 01)

H03H 3/02(2006. 01)

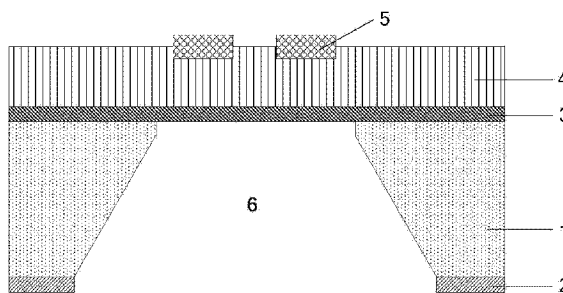
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR 及其制作方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 包括由衬底和铺设于衬底底部的掩膜层构成的衬底层, 衬底顶部铺设支撑膜层, 衬底层开有通孔, 支撑膜层上铺设压电薄膜层, 压电薄膜层上嵌有至少一对金属电极; 同时本发明还公开了该 FBAR 的制作方法。本发明的 FBAR 技术可以实现寄生模式频谱的搬移, 使器件获得较高的品质因数以及纯剪切波模式谐振, 在具体应用时具有传感灵敏度高、分辨率高、在液相环境中能保持较高 Q 值, 尤其适合于生物传感领域应用。



1. 一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 包括由衬底和铺设于衬底底部的掩膜层构成的衬底层, 所述的衬底顶部铺设支撑膜层, 所述的衬底层开有通孔, 所述的支撑膜层上铺设压电薄膜层, 所述的压电薄膜层上对应通孔的区域内嵌有至少一对金属电极。

2. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 所述的压电薄膜层采用氮化铝或氧化锌制成。

3. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 所述的压电薄膜层的厚度为 200~5000nm, 支撑膜层的厚度为 100~300nm。

4. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 所述的金属电极采用铝制金属电极或钼制金属电极。

5. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 所述的金属电极的宽度为 5~40 μm 。

6. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 所述的金属电极嵌入至压电薄膜层的深度为 50~200nm, 金属电极的厚度为 50~200nm。

7. 根据权利要求 1 所述的基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR, 其特征在于: 任一对金属电极的两个金属电极均为平行并排设置, 且间距为 5~40 μm 。

8. 一种如权利要求 1 所述的 FBAR 的制作方法, 包括如下步骤:

(1) 选取衬底, 对衬底清洗后烘干;

(2) 利用 LPCVD 技术在衬底的顶面和底面分别生长一层薄膜; 其中, 生长于衬底顶面的薄膜作为支撑膜层, 生长于衬底底面的薄膜作为掩膜层;

(3) 利用 RIE 技术在掩膜层上干法刻蚀出一腐蚀窗; 然后用氢氧化钾溶液对腐蚀窗区域内的衬底进行湿法刻蚀, 直至衬底剩余厚度为 10-20 μm 之间;

(4) 利用反应磁控溅射技术在支撑膜层上沉积一层薄膜作为压电薄膜层; 然后在压电薄膜层上均匀涂覆正性抗蚀剂, 进而在压电薄膜层上对应腐蚀窗的区域内光刻出至少一对电极窗口, 且保留在压电薄膜层除电极窗口以外的区域上的正性抗蚀剂;

(5) 利用 RIE 技术对压电薄膜层进行干法刻蚀, 从而在电极窗口处对应刻蚀出坑槽; 然后在压电薄膜层上沉积金属, 从而在坑槽内形成嵌入式的金属电极;

(6) 用腐蚀溶液溶解压电薄膜层上的正性抗蚀剂, 沉积在正性抗蚀剂上的金属会随正性抗蚀剂的溶解而剥离; 最后利用 ICP 技术干法刻蚀掉腐蚀窗区域内剩余厚度的衬底。

一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR 及其制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于压电传感技术领域,具体涉及一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR 及其制作方法。

背景技术

[0002] 薄膜体声波谐振器 (FBAR) 是近年来比较热门的压电谐振、压电传感技术,其工作原理类似石英晶振,只是压电层采用薄膜沉积的工艺制备,而非石英晶振所采用的将石英片切割、减薄的技术。FBAR 采用射频微机械工艺制备,可用于射频滤波器和射频传感器等领域。FBAR 按工作模式可分为纵波模式和剪切波模式,纵波模式常用于射频滤波器应用,而剪切波模式常用于射频传感器应用,尤其是需工作于液相环境的生物传感器应用。剪切波模式的 FBAR 按结构又可分为压电薄膜 c 轴倾斜生长和侧向场激励两大类,其中侧向场激励剪切波模式的 FBAR 通过外界施加的侧向电场,在压电薄膜体内激励起沿厚度方向传输的剪切波驻波谐振,具有制备工艺简单、成品率高、温度特性稳定、在液相环境中损耗小、可集成、可制作成传感阵列等优点,正受到生物传感领域越来越多的关注。

[0003] 但在实际应用中剪切波模式的 FBAR 虽然比纵波模式的 FBAR 在液相环境中使用时具有更高的 Q 值(品质因数),但其 Q 值仍然比空气中的 Q 值要低很多。这是因为在剪切波模式的 FBAR 器件中,往往存在主剪切波和纵波及其他寄生波同时存在的混合模式。这一混合模式的存在是因为电场在压电薄膜中的分布并非理想地垂直于厚度方向,尤其在电极下方及边缘处,从而使得主谐振频率为混合模式,而非纯剪切波模式。因此,作者 A. D. Wathen、F. Munir 和 W. D. Hunt 在标题为 Trapped hybrid modes in solidly mounted resonators based on c-axis oriented hexagonal crystals (Journal of Applied Physics, 2010, 108(11):114503) 的文章中详细论述了混合模式的存在是导致剪切波模式 FBAR 传感器在液相环境中使用时 Q 值不高的主要原因。

[0004] 电极是压电传感器的重要组成部分,电极的结构会直接影响压电传感器的品质因数和动态阻抗等关键参数,进而影响传感器的频率稳定性和负载测量范围。公开号为 CN101257287A 的中国专利公开了一种压电晶体谐振器电极形状设计方法以及公开号为 CN101520436A 的中国专利公开了一种具有椭圆电极的压电体声波传感器,这两种技术均在剪切模式下,通过对电极的优化设计改善了品质因数;但是仍无法解决由于剪切模式侧向场激励的寄生振动产生的如上表面波、次表面波、寄生纵波等杂波导致寄生干扰过大的问题。

[0005] 公开号为 CN101800524A 的中国专利公开了一种具有非对称叉指结构的剪切模式 FBAR,这种结构在一定程度上减小了寄生干扰,但仍无法完全消除寄生干扰,主谐振频率仍被寄生模式干扰,主剪切波和纵波及其他寄生波同时存在使得谐振模式不纯、频率分辨率较差等问题仍然存在,这些问题的存在严重影响了器件的 Q 值以及频率检测的准确度,而在作为敏感元件的谐振式传感器设计中,上述两个指标是影响传感器性能的关键参数;并且这种结构复杂,不利于生产。

发明内容

[0006] 针对现有技术所存在的上述技术缺陷,本发明提供了一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR 及其制作方法,能够获得纯剪切模式谐振,提高器件的品质因数。

[0007] 一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR,包括由衬底和铺设于衬底底部的掩膜层构成的衬底层,所述的衬底顶部铺设支撑膜层,所述的衬底层开有通孔,所述的支撑膜层上铺设压电薄膜层,所述的压电薄膜层上对应通孔的区域内嵌有至少一对金属电极。

[0008] 所述的衬底为硅衬底或砷化镓衬底,衬底的厚度为 $250\sim 400\ \mu\text{m}$ 。

[0009] 所述的掩膜层和支撑膜层均采用氮化硅或二氧化硅等制成;所述的掩膜层的厚度为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 。

[0010] 所述的压电薄膜层采用氮化铝、氧化锌或 PZT (锆钛酸铅)制成,优选地,压电薄膜层采用氮化铝或氧化锌制成;适合于用磁控溅射技术制成 Q 值高,机电耦合系数适合的压电薄膜。

[0011] 压电薄膜层和支撑膜层的厚度主要影响器件的剪切模式主谐振频率,优选地,所述的压电薄膜层的厚度为 $200\sim 5000\text{nm}$,支撑膜层的厚度为 $100\sim 300\text{nm}$ 。

[0012] 金属电极采用铝、钼、金、白金等金属制成,优选地,所述的金属电极采用铝制金属电极或钼制金属电极;与压电薄膜匹配良好,声学性能佳,适合制备高性能的 FBAR 器件。

[0013] 金属电极宽度主要影响寄生模式高次模之间的频率间隔,优选地,所述的金属电极的宽度为 $5\sim 40\ \mu\text{m}$ 。

[0014] 电极嵌入到压电薄膜中的深度和金属电极厚度主要影响寄生模式整体频谱的搬移以及各高次模之间的频率间隔。优选地,所述的金属电极嵌入至压电薄膜层的深度为 $50\sim 200\text{nm}$,金属电极的厚度为 $50\sim 200\text{nm}$ 。

[0015] 金属电极的间距主要影响主谐振频率与其高次模之间的频率间隔,优选地,任一对金属电极的两个金属电极均为平行并排设置,且间距为 $5\sim 40\ \mu\text{m}$ 。

[0016] 所述的 FBAR 的制作方法,包括如下步骤:

[0017] (1) 选取衬底,对衬底清洗后烘干;

[0018] (2) 利用 LPCVD (低压化学汽相淀积)技术在衬底的顶面和底面分别生长一层薄膜;其中,生长于衬底顶面的薄膜作为支撑膜层,生长于衬底底面的薄膜作为掩膜层;

[0019] (3) 利用 RIE (反应离子刻蚀)技术在掩膜层上干法刻蚀出一腐蚀窗;然后用氢氧化钾溶液对腐蚀窗区域内的衬底进行湿法刻蚀,直至衬底剩余厚度为 $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 之间;

[0020] (4) 利用反应磁控溅射技术在支撑膜层上沉积一层薄膜作为压电薄膜层;然后在压电薄膜层上均匀涂覆正性抗蚀剂,进而在压电薄膜层上对应腐蚀窗的区域内光刻出至少一对电极窗口,且保留在压电薄膜层除电极窗口以外的区域上的正性抗蚀剂;

[0021] (5) 利用 RIE 技术对压电薄膜层进行干法刻蚀,从而在电极窗口处对应刻蚀出坑槽;然后在压电薄膜层上沉积金属,从而在坑槽内形成嵌入式的金属电极;

[0022] (6) 用腐蚀溶液溶解压电薄膜层上的正性抗蚀剂,沉积在正性抗蚀剂上的金属会随正性抗蚀剂的溶解而剥离;最后利用 ICP (感应耦合等离子刻蚀)技术干法刻蚀掉腐蚀窗区域内剩余厚度的衬底。

[0023] 本发明的 FBAR 技术可以实现寄生模式频谱的搬移,使器件获得较高的品质因数

以及纯剪切波模式谐振,在具体应用时具有传感灵敏度高、分辨率高、在液相环境中能保持较高 Q 值,尤其适合于生物传感领域应用。

附图说明

- [0024] 图 1 为本发明 FBAR 的结构示意图。
[0025] 图 2 为本发明 FBAR 的制作工艺流程示意图。
[0026] 图 3 为传统侧向场激励 FBAR 的导纳频率响应特性图。
[0027] 图 4 为传统侧向场激励 FBAR 主谐振模式和寄生模式所在的区域分布图。
[0028] 图 5 为本发明侧向场激励 FBAR 的导纳频率响应特性图。

具体实施方式

[0029] 为了更为具体地描述本发明,下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案及其相关机理进行详细说明。

[0030] 如图 1 所示,一种基于嵌入式电极侧向场激励的 FBAR,包括由硅衬底 1 和铺设于硅衬底 1 底部的掩膜层 2 构成的衬底层,硅衬底 1 顶部铺设支撑膜层 3,衬底层开有通孔 6,支撑膜层 3 上铺设压电薄膜层 4,压电薄膜层 4 上对应通孔 6 的区域内嵌有一对金属电极 5。

[0031] 本实施方式中,硅衬底的厚度为 $350\ \mu\text{m}$,掩膜层和支撑膜层均采用氮化硅制成,掩膜层的厚度为 $4.5\ \mu\text{m}$,支撑膜层的厚度为 250nm ;压电薄膜层采用氧化锌制成,厚度为 790nm ;金属电极采用铝金属电极,厚度为 150nm ,宽度为 $40\ \mu\text{m}$,嵌入深度为 120nm ,两块铝金属电极平行并排设置,且间距为 $20\ \mu\text{m}$ 。

[0032] 本实施方式 FBAR 的制作方法,包括如下步骤:

[0033] (1) 选取双抛低阻厚度为 $350\ \mu\text{m}$ 的硅衬底 1,根据 RCA 标准清洗法对硅衬底 1 进行清洗,并烘干;

[0034] (2) 利用 LPCVD 技术在硅衬底 1 的顶面和底面分别生长一层氮化硅薄膜;其中,生长于硅衬底 1 顶面的氮化硅薄膜作为支撑膜层 3,厚度为 250nm ;生长于硅衬底 1 底面的氮化硅薄膜作为掩膜层 2,厚度为 $4.5\ \mu\text{m}$,如图 2(a) 所示;

[0035] (3) 利用 RIE 技术在掩膜层 2 上干法刻蚀出一腐蚀窗;然后在 80°C 温度下用浓度为 40% 的氢氧化钾溶液对腐蚀窗区域内的硅衬底 1 进行湿法刻蚀,直至硅衬底 1 剩余厚度为 $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ 之间,如图 2(b) 所示;

[0036] (4) 利用反应磁控溅射技术在支撑膜层 3 上沉积一层氧化锌薄膜作为压电薄膜层 4,厚度为 790nm ,如图 2(c) 所示;本实施方式中,氧化锌薄膜采用射频反应磁控溅射沉积,溅射的功率密度为 $2\sim 25\text{W}/\text{cm}^2$,靶材到衬底的距离为 $5\sim 10\text{cm}$,靶材为纯度 99.999% 的金属锌靶,反应气体为纯度 99.999% 的氧气,工作气体为纯度 99.999% 的氩气;

[0037] 然后在压电薄膜层 4 上均匀涂覆正性抗蚀剂 7,进而在压电薄膜层 4 上对应腐蚀窗的区域内光刻出一对电极窗口,且保留在压电薄膜层 4 除电极窗口以外的区域上的正性抗蚀剂 7,电极窗口的宽度为 $40\ \mu\text{m}$,两块电极窗口的间距为 $20\ \mu\text{m}$;如图 2(d) 所示;

[0038] (5) 利用 RIE 技术对压电薄膜层 4 进行干法刻蚀,从而在两块电极窗口处对应刻蚀出两块坑槽,坑槽深度为 120nm ,如图 2(e) 所示;然后在压电薄膜层 4 上沉积金属铝,从而

在两块坑槽内分别形成两块嵌入式的铝金属电极 5, 厚度为 150nm, 如图 2(f) 所示;

[0039] (6)用腐蚀溶液溶解压电薄膜层 4 上的正性抗蚀剂 7, 沉积在正性抗蚀剂 7 上的金属铝会随正性抗蚀剂 7 的溶解而剥离, 如图 2(g) 所示; 最后利用 ICP 技术干法刻蚀掉腐蚀窗区域内剩余厚度的硅衬底 1, 如图 2(h) 所示。

[0040] 利用 Comsol Multiphysics 有限元仿真软件对本实施方式的 FBAR 进行仿真, 分析其导纳频率特性; 具体的仿真模型参数为: 氧化锌厚度 790nm, 铝电极厚度 150nm, 铝电极宽度 $40\ \mu\text{m}$, 铝电极间距 $20\ \mu\text{m}$ 。当铝电极嵌入氧化锌的深度为零, 也即传统的侧向场激励 FBAR 时, 获得的导纳频率特性如图 3 所示, 图中横坐标为频率, 纵坐标为导纳幅度。其中主谐振频率被众多的寄生杂波包围, 导致模式不纯、频率分辨率差等不足。

[0041] 为了进一步分析寄生模式产生的机理, 重绘主谐振模式和寄生模式所在的区域分布图如图 4 所示, 根据声场谐振的原理, 主谐振模式的频率 f_0 由区域 1 的尺寸 y_1 及压电薄膜的声速 v_1 决定(场在 x 方向分布均匀): $(2\pi f_0/v_1) \times y_1 = \pi$; 寄生模式的频率 f_{sp} 由区域 2 的尺寸 x_1, y_1, y_2 及压电薄膜的声速 v_1 , 电极的声速 v_2 决定。由于寄生模式的谐振频率较多, 故首先考虑寄生模式的基模, 即场在 x 方向均匀分布, y 方向半波谐振; 此时, 寄生模式基模的频率 f_{sp0} 可由 $(2\pi f_{sp0}/v_1) \times y_1 + (2\pi f_{sp0}/v_2) \times y_2 = \pi$ 获得, 当寄生模式的场在 x 方向也呈驻波分布(半波长的整数倍)时, 就出现了一系列的高次寄生模。因为传统的侧向场激励 FBAR 器件都是在压电薄膜之上沉积金属电极获得的, 于是有 $(2\pi f_{sp0}/v_1) \times y_1 < (2\pi f_{sp0}/v_1) \times y_1 + (2\pi f_{sp0}/v_2) \times y_2 = \pi = (2\pi f_0/v_1) \times y_1$, 从而得到 $f_{sp0} < f_0$, 也即寄生模式基模的频率始终小于剪切波主模式的频率。因此, 寄生模式就会对主模产生干扰, 结果就是如图 3 所示主模附近杂波较多, 使主模产生形变, 从而严重影响 Q 值, 并降低了主模的频率检测准确度。

[0042] 重新观察公式 $(2\pi f_{sp0}/v_1) \times y_1 + (2\pi f_{sp0}/v_2) \times y_2 = \pi$, 可以发现: 若将区域 2 中压电薄膜的厚度减小, 使之小于区域 1 中压电薄膜的厚度, 则可以提高寄生模式基模的谐振频率 f_{sp0} , 若 f_{sp0} 提高到一定程度, 则有望使寄生模式整体偏离主谐振频率, 从而获得高 Q、纯剪切波谐振的主模式。为了验证这一想法的可行性, 将之前结构中 150nm 厚的 Al 电极下沉 120nm, 嵌入到 ZnO 薄膜中, 重新进行有限元仿真, 获得的结果如图 5 所示, 图中横坐标为频率, 纵坐标为导纳幅度。其中主谐振频率明显比图 3 中纯净得多, Q 值也较高。

[0043] 综上, 本实施方式的 FBAR 具有高品质因数、纯剪切波模式谐振的特性, 作为传感器应用时具有传感灵敏度高、分辨率高、在液相环境中能保持较高 Q 值等优点, 适合于生物传感领域应用。

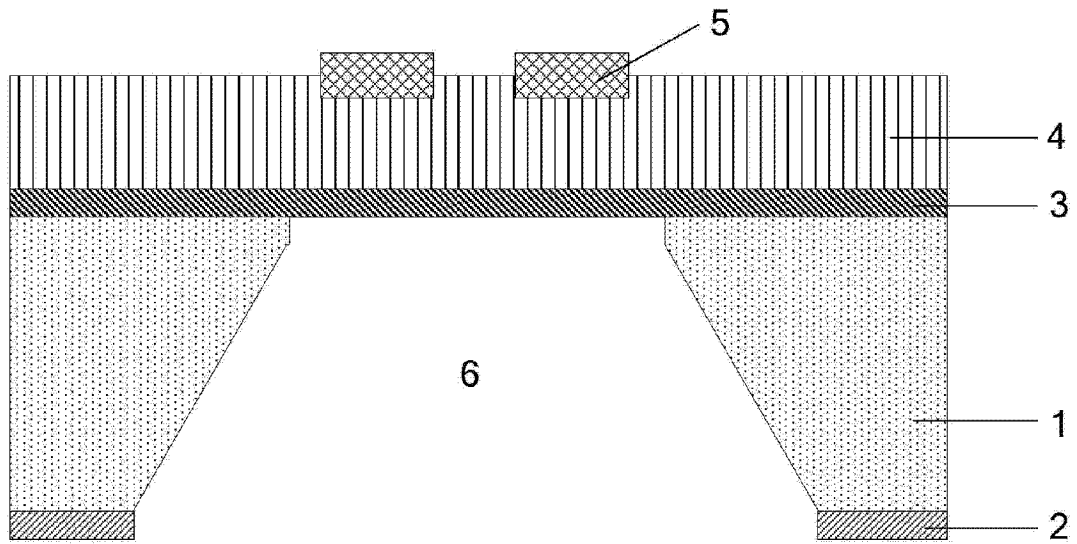
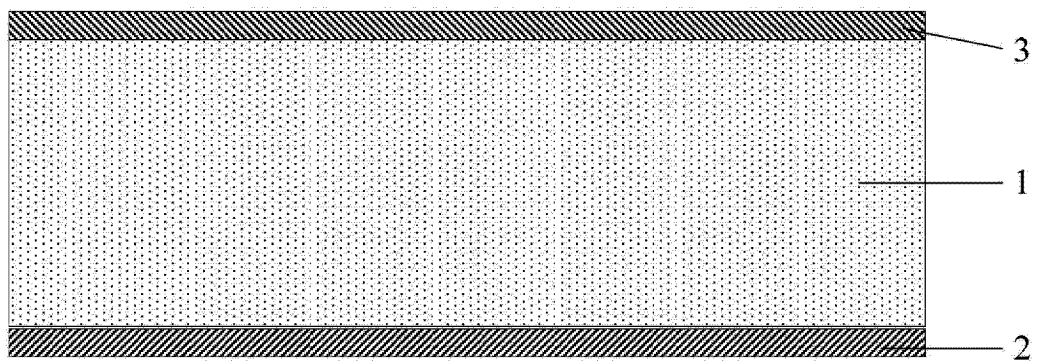
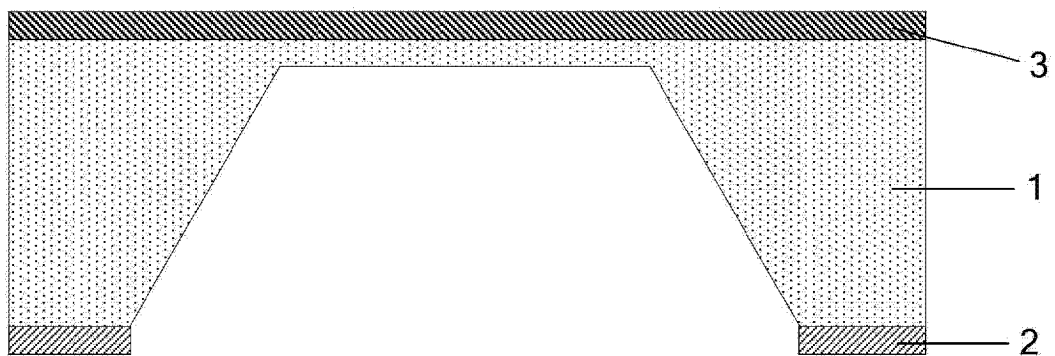


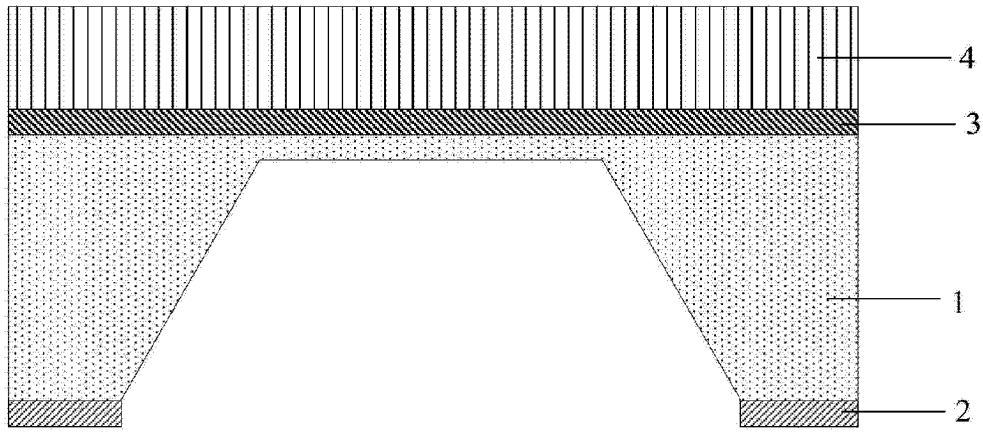
图 1



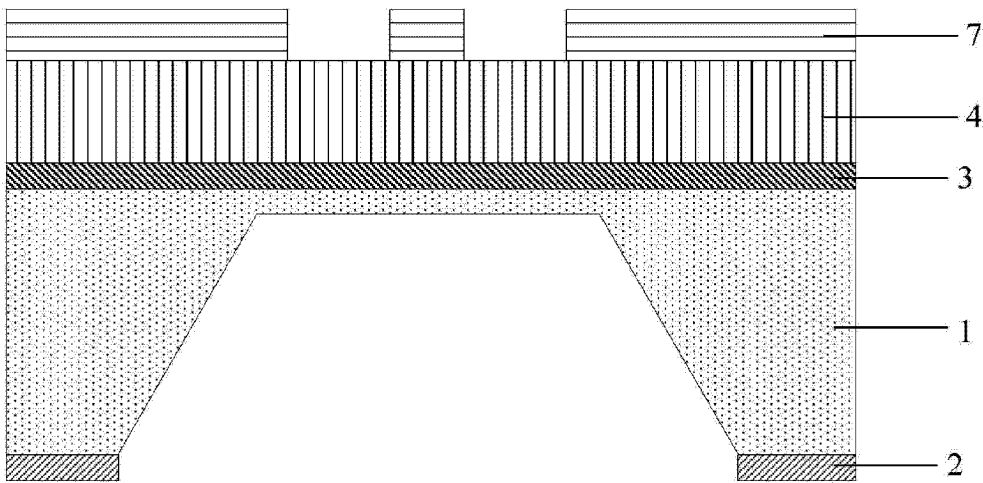
(a)



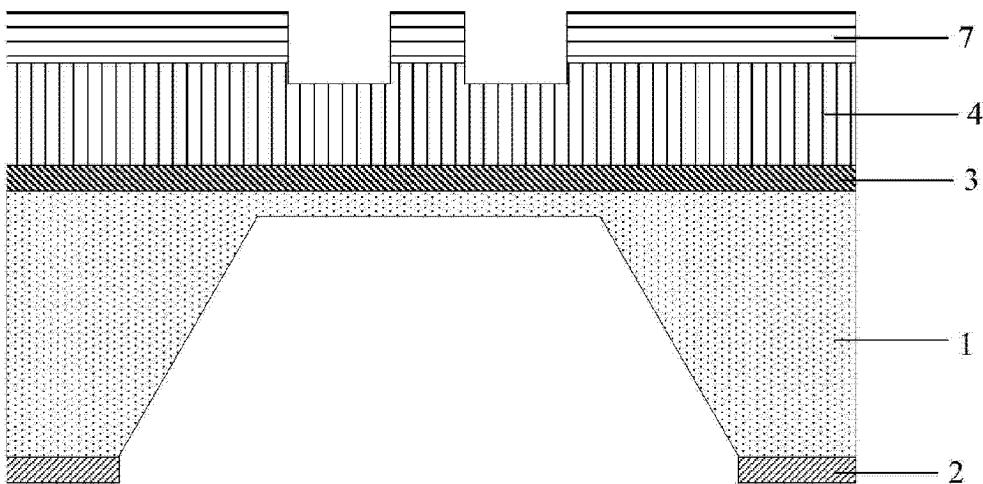
(b)



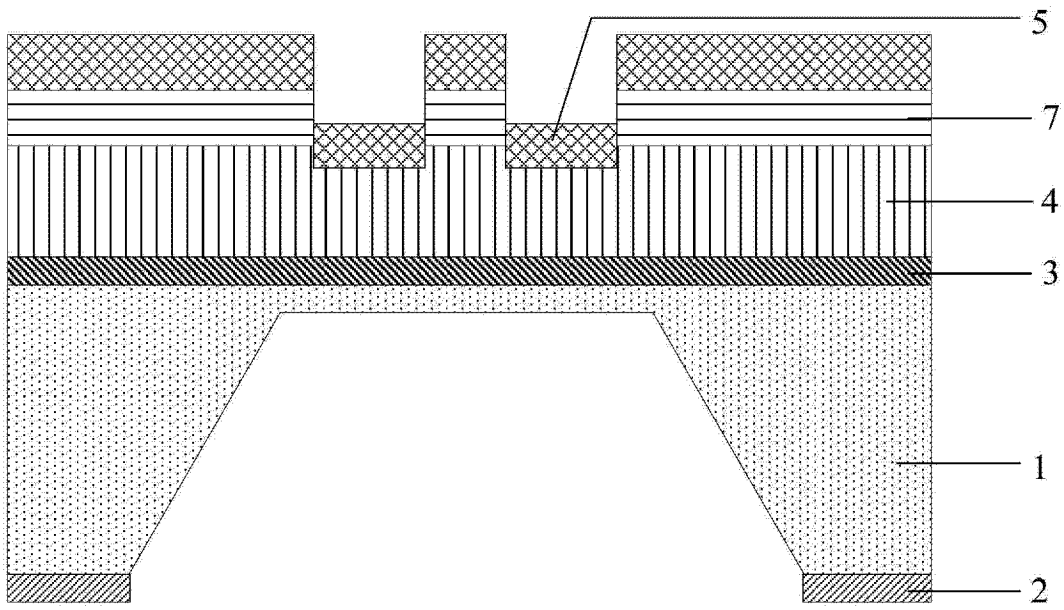
(c)



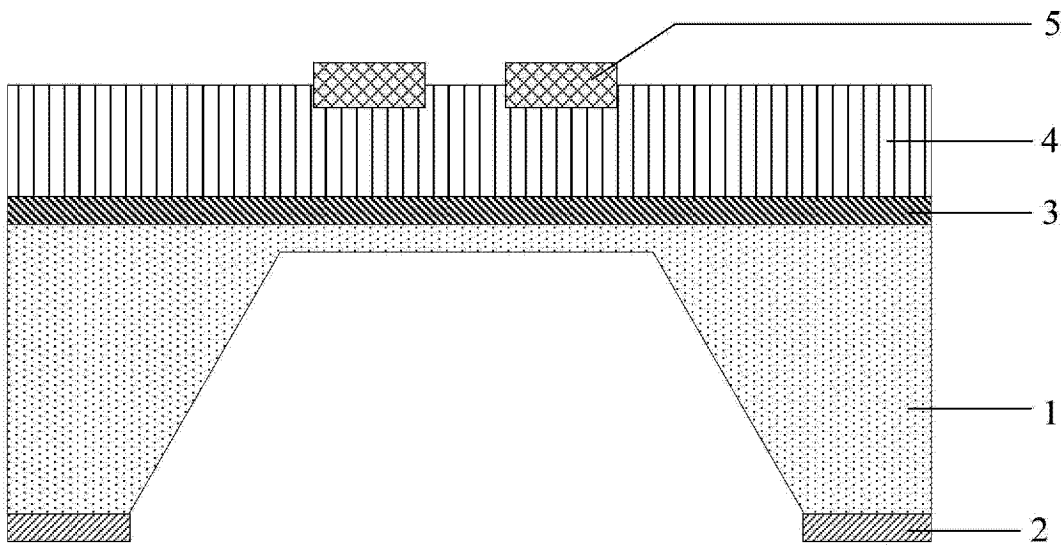
(d)



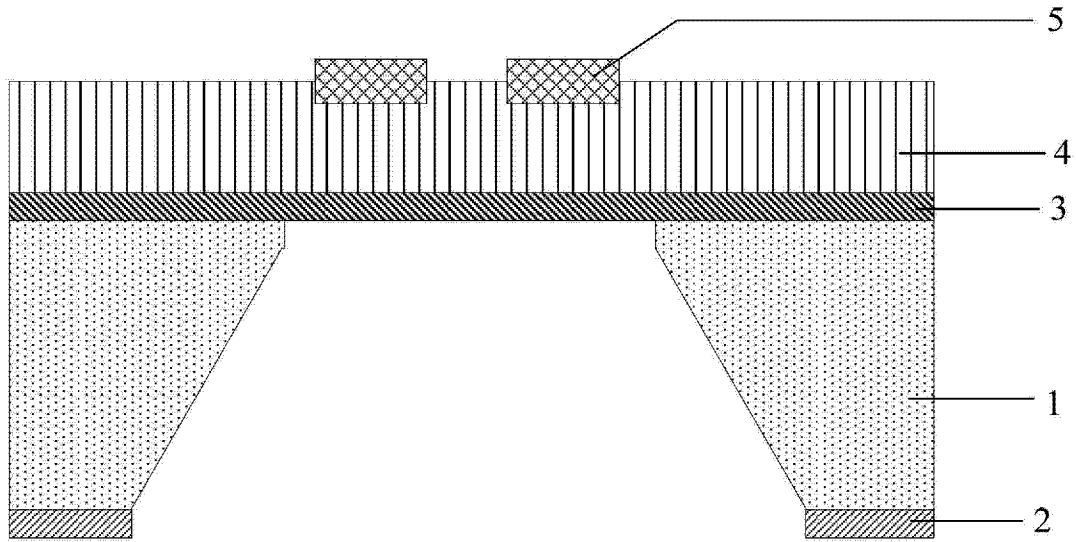
(e)



(f)



(g)



(h)

图 2

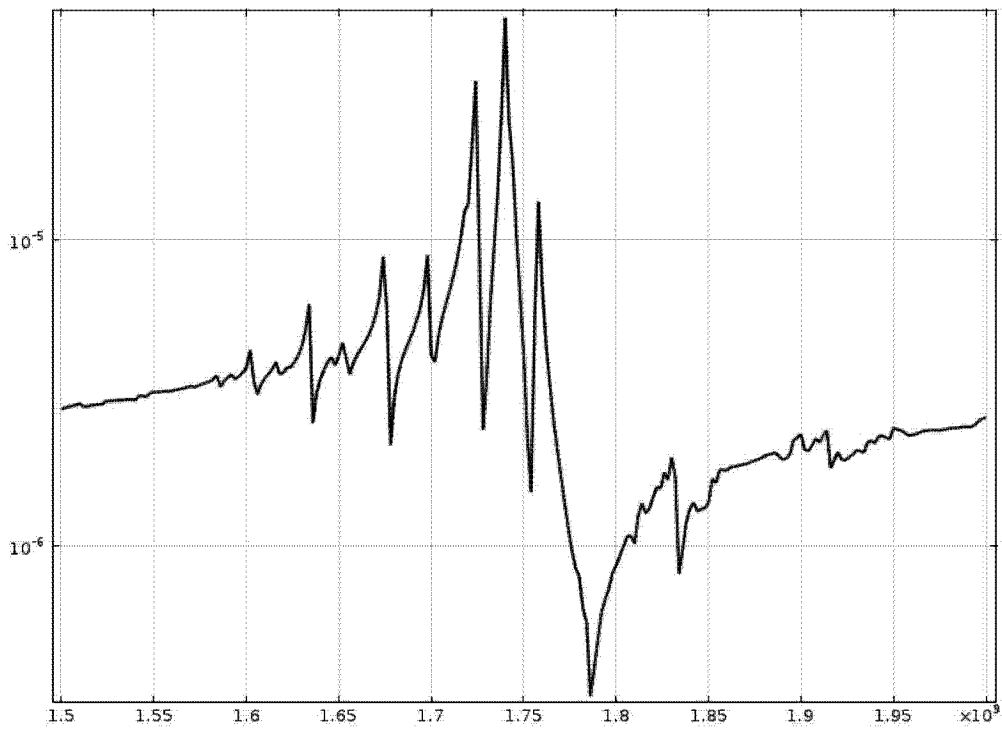


图 3

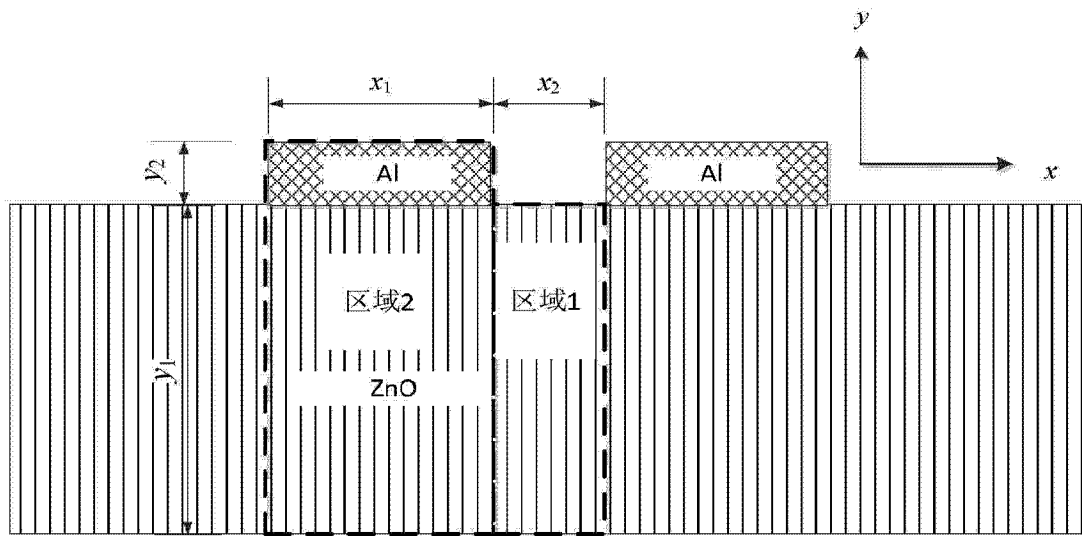


图 4

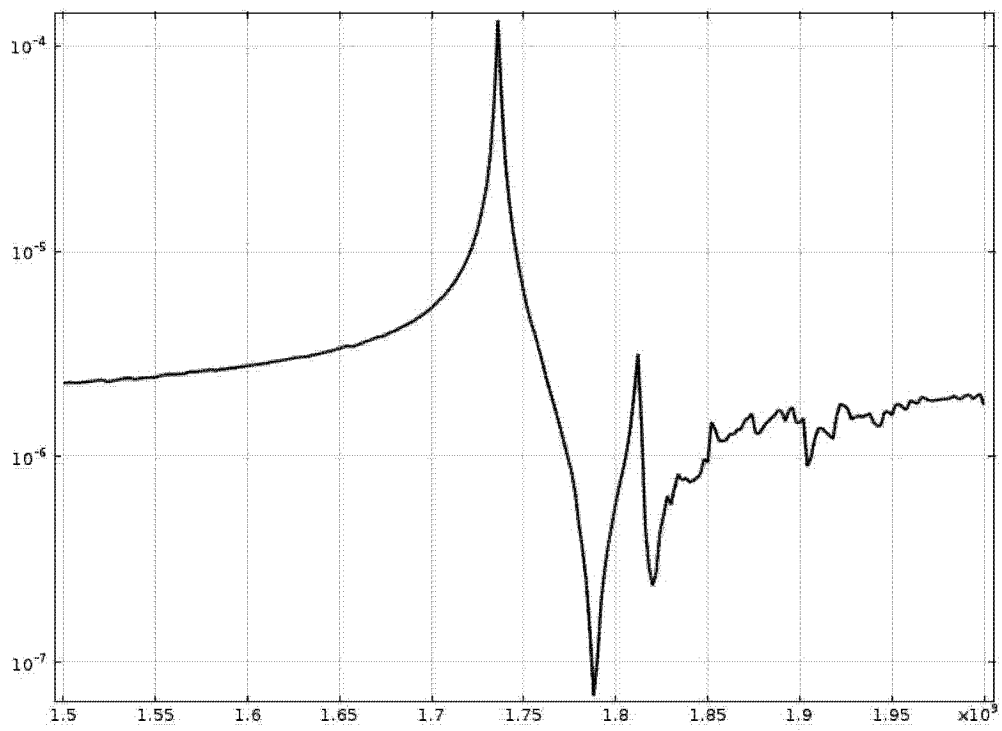


图 5