



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103604538 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 26

(21) 申请号 201310635292. 1

(22) 申请日 2013. 11. 29

(71) 申请人 沈阳工业大学

地址 110870 辽宁省沈阳市经济技术开发区  
沈辽西路 111 号

(72) 发明人 揣荣岩 王健 郭浩 赵豪

(74) 专利代理机构 沈阳智龙专利事务所 (普通  
合伙) 21115

代理人 宋铁军 周楠

(51) Int. Cl.

G01L 1/22 (2006. 01)

B81B 3/00 (2006. 01)

B81C 1/00 (2006. 01)

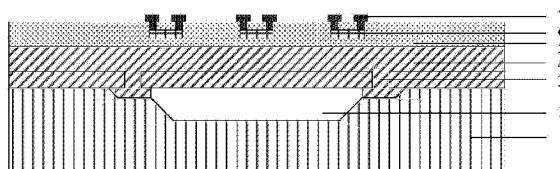
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器及其制造方法,适用于测量绝对压力,包括单晶硅衬底,在单晶硅衬底的凹槽上设置平坦型弹性膜片,弹性膜片边缘设置腐蚀孔,弹性膜片与硅衬底凹槽构成密闭空腔,在弹性膜片上面设有四个单晶硅应变电阻,各单晶硅应变电阻之间以及它们与弹性膜片之间采用绝缘介质隔离,四个应变电阻通过金属导线连接成惠斯通电桥,将压力转换成电压输出。本发明具有体积小、重复性和迟滞性好、灵敏度高、工作温度范围宽、制造工艺与集成电路工艺兼容等特点。



1. 一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,包括单晶硅衬底(1);特征在于:在单晶硅衬底(1)的凹槽上设置平坦型弹性膜片(4);弹性膜片(4)与单晶硅衬底(1)凹槽构成密闭空腔(2);在弹性膜片(4)上面设有四个单晶硅应变电阻(6),每个单晶硅应变电阻(6)之间以及单晶硅应变电阻与弹性膜片(4)之间采用氧化层(5)隔离,四个单晶硅应变电阻(6)通过金属导线(7)连接成惠斯通电桥,将压力转换成电压输出;弹性膜片(4)边缘设置有腐蚀孔(3)。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,其特征在于:弹性膜片(4)和四个单晶硅应变电阻(6)是采用 SOI 技术中的智能剥离法与 MEMS 牺牲层技术相结合制造而成。

3. 根据权利要求 1 所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,其特征在于:密闭空腔(2)中形成近似真空。

4. 根据权利要求 1 所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,其特征在于:弹性膜片(4)由多晶硅构成,形状为矩形或圆形。

5. 根据权利要求 1 的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,其特征在于:单晶硅应变电阻(6)为单晶硅薄膜电阻。

6. 一种如权利要求 1 所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片制造方法,其特征在于:工艺步骤如下:

(1) 在单晶硅衬底上采用湿法腐蚀凹槽;

(2) 在单晶硅衬底上淀积氧化层做为牺牲层,通过抛光使衬底平坦化,并去掉凹槽以外区域的氧化物;

(3) 淀积第一层多晶硅并退火,刻蚀腐蚀孔;

(4) 通过腐蚀孔,选择性湿法刻蚀牺牲层并干燥;

(5) 淀积第二层多晶硅,密封腐蚀孔,形成弹性膜片;

(6) 采用 SOI 技术中的智能剥离法,将表面氧化后已注入氢离子层的单晶硅片与上述制备了弹性膜片的硅片接触键合,之后低温退火使注入的氢离子形成气泡令硅片剥离,这样在氧化层和氢离子层之间的单晶硅薄膜就留在弹性膜片上,最后通过抛光将这层单晶硅薄膜表面平坦化;

(7) 在弹性膜片的单晶硅薄膜上扩散或离子注入掺杂,并通过光刻形成四个单晶硅应变电阻;

(8) 单晶硅应变电阻制成后淀积形成氧化层,刻引线孔后溅射金属,光刻金属层形成金属导线,划片完成传感器芯片制造。

## 基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明主要涉及基于 SOI（绝缘衬底上的硅）技术的 MEMS 压力传感器及其制造方法，属于微机电系统（MEMS）领域。

### 背景技术

[0002] 目前使用广泛的半导体压力传感器是硅杯结构扩散硅压力传感器，这种传感器的力敏电桥采用 p 型单晶硅应变电阻，弹性膜是在 n 型硅衬底上腐蚀硅杯而成，电阻间以及电阻与弹性膜之间靠反偏 pn 结隔离，当工作温度超过 120℃ 时，pn 结漏电流加剧，使传感器特性严重失效，因而不适合在高温条件下工作。如果采用介质隔离可以提高传感器的最高工作温度达到 200℃ 以上，SOI 是在顶层硅和衬底硅之间引入二氧化硅埋层，顶层与衬底之间是介质隔离，因此，SOI 材料是制作高温压力传感器的良好材料。

[0003] 当前，绝大多数 SOI 高温压力传感器是将 SOI 顶层单晶硅薄膜制成四个单晶硅应变电阻，并溅射金属将应变电阻连成惠斯通电桥，之后在对应四个应变电阻的适当位置的单晶硅衬底背面制作硅杯结构形成弹性膜片。由于采用硅杯结构，传感器体积较大，工艺与集成电路工艺不易兼容，不利于集成化。

[0004] 为了克服硅杯结构缺点，人们研制了表面微机械压力传感器。这种传感器采用二氧化硅为牺牲层，多晶硅为弹性膜片，介质隔离的多晶硅应变电阻，具有体积小、工作温度范围宽和与集成电路工艺兼容有利于集成化的优点。但由于使用多晶硅应变电阻，传感器的重复性和迟滞等性能较差。

[0005] 本发明旨在提出一种综合单晶硅应变电阻、牺牲层腔体结构和介质隔离等三方面优点于一身的半导体压力传感器芯片的制造方法。

### 发明内容

#### [0006] 发明目的

本发明是一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片及其制造方法，目的是提高传感器性能，有利于集成化，减小芯片面积，扩大工作温度范围。

#### [0007] 技术方案

本发明是通过以下技术方案来实现的：

一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片，包括单晶硅衬底；特征在于：在单晶硅衬底的凹槽上设置平坦型弹性膜片；弹性膜片与单晶硅衬底凹槽构成密闭空腔；在弹性膜片上面设有四个单晶硅应变电阻，每个单晶硅应变电阻之间以及单晶硅应变电阻与弹性膜片之间采用氧化层隔离，四个单晶硅应变电阻通过金属导线连接成惠斯通电桥，将压力转换成电压输出；弹性膜片边缘设置有腐蚀孔。

[0008] 弹性膜片和四个单晶硅应变电阻是采用 SOI 技术中的智能剥离法与 MEMS 牺牲层技术相结合制造而成。

[0009] 密闭空腔中形成近似真空。

[0010] 弹性膜片由多晶硅构成,形状为矩形或圆形。

[0011] 单晶硅应变电阻为单晶硅薄膜电阻。

[0012] 一种如上所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片制造方法,其特征在于:工艺步骤如下:

(1) 在单晶硅衬底上采用湿法腐蚀凹槽;

(2) 在单晶硅衬底上淀积氧化层做为牺牲层,通过抛光使衬底平坦化,并去掉凹槽以外区域的氧化物;

(3) 淀积第一层多晶硅并退火,刻蚀腐蚀孔;

(4) 通过腐蚀孔,选择性湿法刻蚀牺牲层并干燥;

(5) 淀积第二层多晶硅,密封腐蚀孔,形成弹性膜片;

(6) 采用 SOI 技术中的智能剥离法,将表面氧化后已注入氢离子层的单晶硅片与上述制备了弹性膜片的硅片接触键合,之后低温退火使注入的氢离子形成气泡令硅片剥离,这样在氧化层和氢离子层之间的单晶硅薄膜就留在弹性膜片上,最后通过抛光将这层单晶硅薄膜表面平坦化;

(7) 在弹性膜片的单晶硅薄膜上扩散或离子注入掺杂,并通过光刻形成四个单晶硅应变电阻;

(8) 单晶硅应变电阻制成后淀积形成氧化层,刻引线孔后溅射金属,光刻金属层形成金属导线,划片完成传感器芯片制造。

[0013] 优点及效果

本发明具有如下优点及有益效果:

本发明提供了一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片及其制造方法,由于采用牺牲层结构使传感器易集成和小型化;采用单晶硅扩散电阻使传感器灵敏度高、重复性和稳定性好;采用介质隔离提高了传感器工作温度范围。

## 附图说明

[0014] 图 1 是本发明传感器俯视图;

图 2 是本发明传感器剖面图;

图 3 是本发明形成凹槽后的剖面图;

图 4 是本发明形成牺牲层平坦化后的剖面图;

图 5 是本发明形成腐蚀孔后的剖面图;

图 6 是本发明形去掉牺牲层后的剖面图;

图 7 是本发明形成第二层多晶硅并密封腔体后的剖面图;

图 8 是本发明键合工艺后裂片前的剖面图;

图 9 是本发明应变电阻制成后钝化前的剖面图。

[0015] 其中:1. 单晶硅衬底,2. 空腔,3. 腐蚀孔,4. 弹性膜片,5. 氧化层,6. 单晶硅应变电阻,7. 金属导线,8. 单晶硅片,101. 凹槽,102. 牺牲层,103. 第一层多晶硅,104. 第二层多晶硅,105. 氢离子层。

## 具体实施方式

[0016] 下面参照附图对本发明进行详细的说明：

本发明是一种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片,如图 1- 图 9 中所示,传感器包括单晶硅衬底 1 ;在单晶硅衬底 1 的凹槽 101 上设置平坦型弹性膜片 4 ;弹性膜片 4 与单晶硅衬底 1 的凹槽 101 构成密闭空腔 2 ;在弹性膜片 4 上面设有四个单晶硅应变电阻 6 ,每个单晶硅应变电阻 6 之间以及单晶硅应变电阻 6 与弹性膜片 4 之间采用氧化层 5 隔离,四个单晶硅应变电阻 6 通过金属导线 7 连接成惠斯通电桥,将压力转换成电压输出 ;弹性膜片 4 边缘设置有腐蚀孔 3 。

[0017] 密闭空腔 2 中形成近似真空。

[0018] 传感器结构采用多晶硅弹性膜片 4 ,弹性膜片 4 由多晶硅构成,形状为矩形或圆形。

[0019] 单晶硅应变电阻 6 为单晶硅薄膜电阻。

[0020] 弹性膜片 4 和四个单晶硅应变电阻 6 是采用 SOI 技术中的智能剥离法与 MEMS 牺牲层技术相结合制造而成。

[0021] 通过改变本发明传感器弹性膜片厚度和膜片尺寸,可设计出各种量程的压力传感器。

[0022] 一种如上所述的基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片制造方法,其特征在于 :工艺步骤如下 :

(1) 在单晶硅衬底 1 上采用湿法腐蚀形成阶梯凹槽 101 ;

(2) 在单晶硅衬底 1 上淀积氧化物做为牺牲层 102 ,通过抛光使衬底平坦化,并去掉凹槽以外区域的氧化物 ;

(3) 淀积第一层多晶硅 103 并退火,退火后刻蚀腐蚀孔 3 ;

(4) 通过腐蚀孔 3 ,湿法刻蚀牺牲层 102 并干燥 ;

(5) 淀积第二层多晶硅 104 或多层多晶硅,密封腐蚀孔 3 ,形成弹性膜片 4 ;

(6) 采用 SOI 技术中的智能剥离法,将表面氧化后已注入氢离子层 105 的单晶硅片 8 与上述制备了弹性膜片 4 的硅片接触键合,之后低温退火使注入的氢离子形成气泡令硅片剥离,这样在氧化层 5 和氢离子层 105 之间的单晶硅薄膜就留在了弹性膜片 4 上,最后通过抛光将这层单晶硅薄膜表面平坦化 ;

(7) 在弹性膜片 4 的单晶硅薄膜上扩散或离子注入掺杂,并通过光刻形成四个单晶硅应变电阻 6 ;

(8) 单晶硅应变电阻 6 制成后淀积形成氧化层 5 ,刻引线孔后溅射金属,光刻金属层形成金属导线 7 ,划片完成传感器芯片制造。

[0023] 本发明的设计原理 :本发明的主要结构由单晶硅衬底、弹性膜片、腔体、腐蚀孔和单晶硅应变电阻构成。弹性膜片由多晶硅弹性膜片构成,腔体采用表面微机械加工技术,即牺牲层技术,用氢氟酸通过腐蚀孔去掉二氧化硅牺牲层而成,用多晶硅封闭腐蚀孔,弹性膜片和单晶硅衬底构成封闭腔体,近似为真空。在传感器弹性膜片的边缘和中心各设置两个单晶硅应变电阻,单晶硅应变电阻之间以及单晶硅应变电阻与弹性膜片之间采用氧化物介质隔离,并连接成差动全桥,构成压力测量电路,电路采用恒压源或恒流源供电。

[0024] 当压力作用时,传感器膜片发生弯曲,导致单晶硅应变电阻产生压阻效应,差动全桥输出差动电压信号与压力值对应。当压力在传感器量程范围时,传感器输出与压力成线

性关系的电压值,当压力超过量程达某一值时,传感器的弹性膜片与衬底接触,减缓膜片应力随压力变化趋势,保证大压力下膜片不断裂,提高过载能力。

[0025] 为了实现在多晶硅膜片上设置的单晶硅应变电阻,采用了 SOI 技术。SOI (绝缘衬底上的硅)是在顶层硅和衬底硅之间引入二氧化硅埋层而实现的。目前制造 SOI 晶圆的方法主要有两种,一是注氧隔离法;二是智能剥离法。注氧隔离法是采用大束流专用氧离子注入机把氧离子注入到硅晶圆中,然后在惰性气体中进行高温退火,从而在硅晶圆顶部形成厚度均匀的极薄表面硅层和二氧化硅埋层。注氧隔离法优点是硅薄层和二氧化硅埋层的厚度可精确控制,缺点是由于氧注入会引起对硅晶格的破坏,导致硅薄层缺陷密度较高。智能剥离法是对表面氧化后的单晶硅片进行中等剂量的氢离子注入,在单晶硅片表面附近形成一定深度的气流层,然后在低温下单晶硅片氧化层面与另一个单晶硅衬底接触键合,再进行低温退火使注氢的硅晶圆片从气流层位置剥离下来,同时氧化层以及氧化层和气流层之间的单晶硅薄膜留在了另一片单晶硅衬底上,最后经抛光使表面的单晶硅薄膜平坦化得到 SOI 单晶硅衬底。该方法克服了注氧隔离法的缺点。本发明采用智能剥离法,将表面氧化后的已注入了氢离子层的单晶硅片键合到含有牺牲层结构的单晶硅衬底上,低温退火使注入氢离子形成气泡令硅片剥离后,高温退火增加键合力度,表面平坦化后形成含有多晶硅、氧化物和单晶硅三层的弹性膜片,然后对最上层的单晶硅进行掺杂并通过光刻形成四个单晶硅应变电阻。

[0026] 多晶硅弹性膜片的内应力是表面微机械工艺中的重要控制参数,它对机械结构的性能和形变影响很大,压内应力会使结构层发生屈曲,而大张内应力将可能使结构层断裂。为保证器件有良好的机械特性,结构层最好为零内应力,至少应使结构层保证为小内张应力。人们已研究出多种降低多晶硅内应力的工艺方法,主要方法是采用掺杂、退火工艺。本方案采用了退火工艺。

[0027] 当牺牲层腐蚀后干燥时,如果不采取措施,由于多晶硅内应力和液体表面张力的作用会使腔体内上下表面之间粘附在一起,造成器件失效。为防止黏附,牺牲层腐蚀后干燥方法可采用冷却干燥法、临界干燥法、液桥裂解法或疏水性涂层法。

#### [0028] 实施例 1

基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器的制造方法,如图 2~图 9 所示,具体步骤为:

(1)在单晶硅衬底上采用各向同性腐蚀剂 HNA (氢氟酸/硝酸/乙酸)通过两次光刻和腐蚀,形成阶梯型凹槽,结果如图 3 所示;

(2)在形成了阶梯型凹槽的单晶硅衬底上采用 PECVD 淀积二氧化硅作为牺牲层 101,通过抛光使衬底恢复平整,同时去掉了凹槽以外区域的二氧化硅,结果如图 4 所示;

(3)采用 LPCVD 淀积一层多晶硅形成第一层多晶硅 103,退火后干法刻蚀形成腔体腐蚀孔 3,结果如图 5 所示;

(4)芯片放到氢氟酸溶液中通过腐蚀孔腐蚀去掉二氧化硅牺牲层,采用临界干燥法,即腐蚀液逐渐用高压液态 CO<sub>2</sub> 代替,之后样品置于 CO<sub>2</sub> 临界点上,气、液相的界面消失,再干燥硅片,结果如图 6 所示;

(5)采用 LPCVD 淀积一层多晶硅形成第二层多晶硅 104,实现多晶硅密封腐蚀孔,形成真空密闭空腔 2,第一层多晶硅 103 和第二层多晶硅 104 两层多晶硅构成弹性膜片,结果如图 7 所示;

(6)采用 SOI 技术中的智能剥离法,将表面氧化后已注入氢离子层 105 的单晶硅片 8 的氧化层 5 与上述制备了弹性膜片 4 的硅片接触键合,之后低温退火使注入的氢离子形成气泡令硅片剥离,这样在氧化层 5 和氢离子层 105 之间的单晶硅薄膜就留在了弹性膜片 4 上,通过抛光将这层单晶硅薄膜表面平坦化,形成含有多晶硅、二氧化硅和单晶硅三层的弹性膜片,结果如图 8 所示;

(7)在表面单晶硅薄膜上通过离子注入或扩散方法进行硼掺杂,光刻形成四个单晶硅应变电阻 6,结果如图 9 所示;

(8)单晶硅应变电阻 6 制成后淀积氧化层 5,刻引线孔后通过常规微电子工艺实现铝金属导线 7,最后划片完成传感器芯片制造,结果如图 2 所示。

[0029] 本发明这种基于 SOI 技术的 MEMS 压力传感器芯片可广泛用于汽车中多路压力测量、环境控制压力测量以及航空系统、石化、电力等领域中的压力测量。

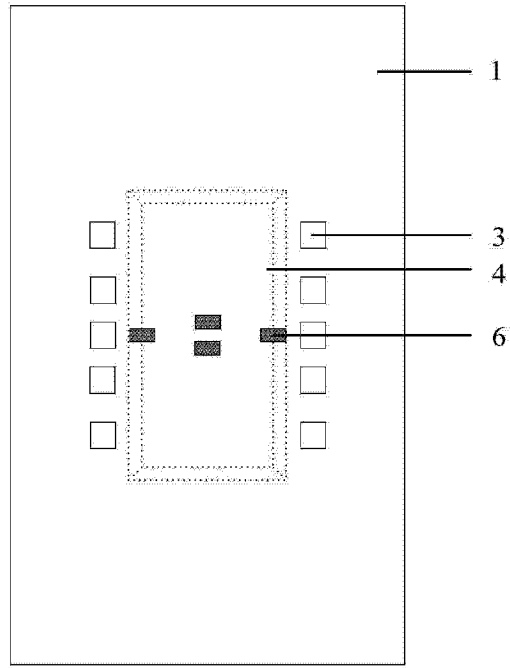


图 1

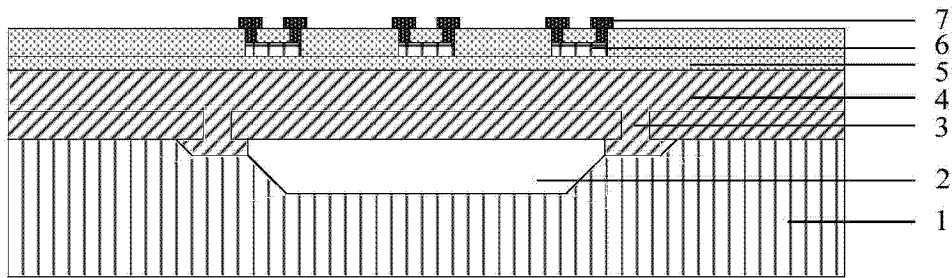


图 2

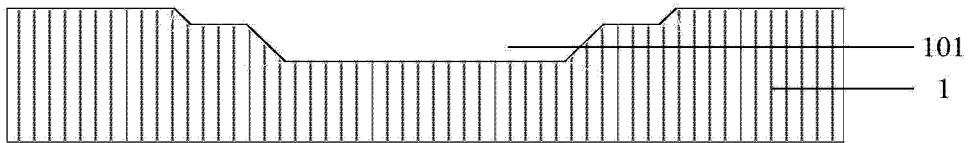


图 3

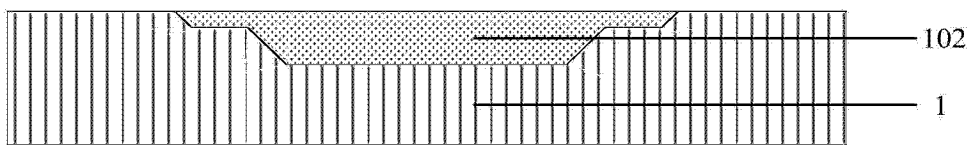


图 4



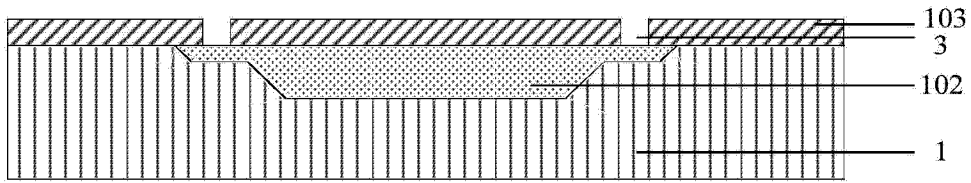


图 5

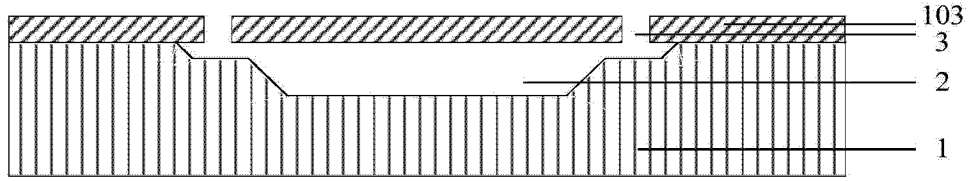


图 6

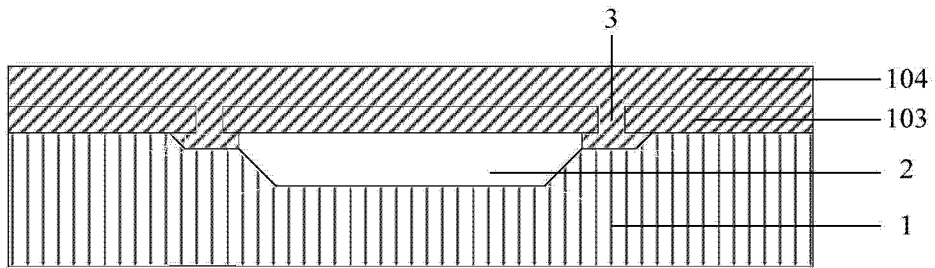


图 7

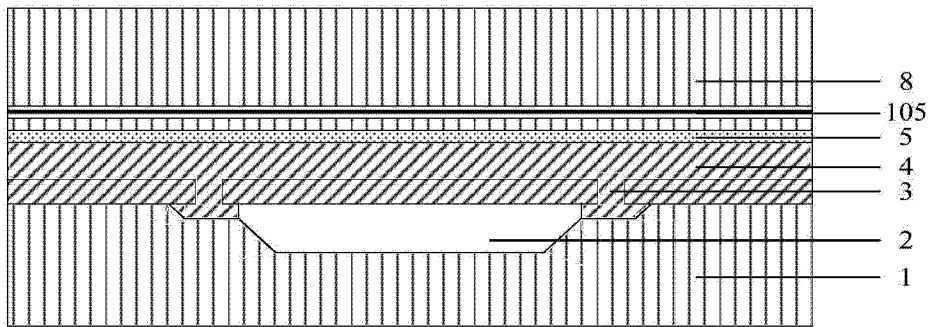


图 8

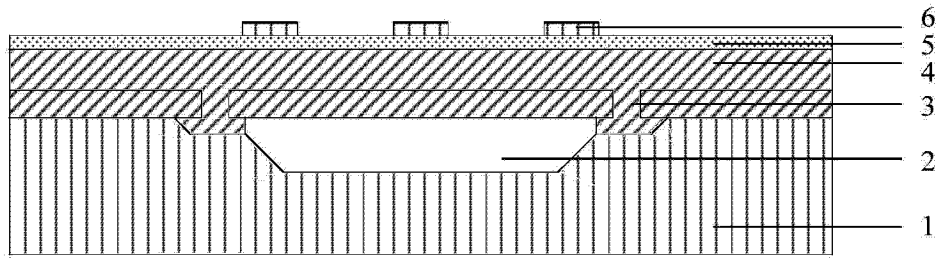


图 9