



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103594362 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 19

(21) 申请号 201210287382. 1

(22) 申请日 2012. 08. 13

(71) 申请人 中芯国际集成电路制造(上海)有限公司

地址 201203 上海市浦东新区张江路 18 号

(72) 发明人 禹国宾

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 骆苏华

(51) Int. Cl.

H01L 21/336(2006. 01)

H01L 29/78(2006. 01)

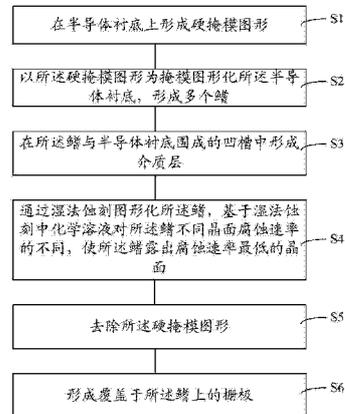
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

鳍式场效应晶体管及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种鳍式场效应晶体管的制造方法,包括:在半导体衬底上形成硬掩模图形;以所述硬掩模图形为掩模图形化所述半导体衬底,形成多个鳍;在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽中形成介质层;通过湿法蚀刻图形化所述鳍,基于湿法蚀刻中化学溶液对所述鳍不同晶面腐蚀速率的不同,使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面;去除所述硬掩模图形;形成覆盖于所述鳍上的栅极。相应地,本发明还提供一种鳍式场效应晶体管,包括:半导体衬底;位于所述半导体衬底上的鳍;形成于位于鳍之间的半导体衬底上的介质层;所述介质层露出的所述鳍的侧壁为晶面;覆盖于所述鳍上的栅极。本发明可以使鳍式场效应晶体管具有良好的电学性能。



1. 一种鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,包括:
在半导体衬底上形成硬掩模图形;
以所述硬掩模图形为掩模图形化所述半导体衬底,形成多个鳍;
在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽中形成介质层;
通过湿法蚀刻图形化所述鳍,基于湿法蚀刻中化学溶液对所述鳍不同晶面腐蚀速率的不同,使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面;
去除所述硬掩模图形;
形成覆盖于所述鳍上的栅极。
2. 如权利要求1所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述半导体衬底的材料为硅,使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面的步骤中,所述鳍露出的晶面为(111)晶面。
3. 如权利要求1所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述图形化所述半导体衬底,形成多个鳍的步骤中,通过干刻法图形化所述半导体衬底。
4. 如权利要求1所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述介质层的材料为二氧化硅,所述在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽形成介质层的步骤包括:
通过化学气相沉积的方法在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽中填充二氧化硅材料;
通过化学机械研磨工艺去除多余的二氧化硅材料,使剩余二氧化硅材料与硬掩模图形齐平;
通过化学蚀刻去除部分剩余二氧化硅材料,形成介质层。
5. 如权利要求1所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,在图形化半导体衬底以形成鳍的步骤中,在鳍靠近硬掩模图形的侧壁上形成保护层;
在所述图形化所述鳍的步骤之前还包括:去除所述保护层;
去除所述保护层后图形化所述鳍,所述图形化的鳍在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈正梯形。
6. 如权利要求5所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述半导体衬底的材料为硅,所述保护层为二氧化硅;
所述去除所述保护层的步骤包括:通过稀释的氢氟酸去除所述保护层。
7. 如权利要求1所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述图形化所述介质层露出的鳍的步骤中,所述图形化的鳍在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈沙漏形。
8. 如权利要求2所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述通过湿法蚀刻图形化所述介质层露出的鳍的步骤中,所述化学溶液为四甲基氢氧化氨或氨水。
9. 如权利要求8所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,所述化学溶液为四甲基氢氧化氨,所述通过湿法蚀刻图形化所述介质层露出的鳍的步骤中,所述四甲基氢氧化氨的浓度的范围位于5%~70%的范围内,湿法蚀刻的温度位于0~90℃的范围内。
10. 如权利要求2所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,图形化所述半导体衬底,形成多个鳍的步骤中,所述鳍的宽度位于5~50nm的范围内。
11. 如权利要求2所述的鳍式场效应晶体管的制造方法,其特征在于,图形化所述半导体衬底,形成多个鳍的步骤中,去除的硅的厚度位于20~200nm的范围内。

12. 一种鳍式场效应晶体管,其特征在于,包括:
半导体衬底;
位于所述半导体衬底上的鳍;
形成于位于鳍之间的半导体衬底上的介质层;
所述鳍的侧壁为晶面;
覆盖于所述鳍上的栅极。

13. 如权利要求 12 所述的鳍式场效应晶体管,其特征在于,所述半导体衬底为硅,所述晶面为 (111) 晶面。

14. 如权利要求 12 所述的鳍式场效应晶体管,其特征在于,所述鳍在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈正梯形。

15. 如权利要求 12 所述的鳍式场效应晶体管,其特征在于,所述鳍在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈由正梯形、位于其上的倒梯形组成的沙漏形。

16. 如权利要求 12 所述的鳍式场效应晶体管,其特征在于,所述鳍高度位于 20~200nm 的范围内。

鳍式场效应晶体管及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体制造领域,尤其涉及一种鳍式场效应晶体管及其制造方法。

背景技术

[0002] 为了跟上摩尔定律的脚步,人们不得不不断地缩小 MOSFET 晶体管的特征尺寸。这样做可以带来增加芯片密度,提高 MOSFET 的开关速度等好处。随着器件沟道长度的缩短,漏极与源极的距离也随之缩短,这样一来栅极对沟道的控制能力变差,栅极电压夹断 (pinch off) 沟道的难度也越来越大,如此便使亚阈值漏电 (Subthreshold leakage) 现象,即所谓的短沟道效应 (SCE: short-channel effects) 更容易发生。

[0003] 由于这样的原因,平面 CMOS 晶体管渐渐向三维 (3D) 鳍式场效应晶体管 (Fin Field Effect Transistor, FinFET) 器件结构过渡。在 FinFET 中,栅至少可以从两侧对超薄体进行控制,具有比平面 MOSFET 器件强得多的栅对沟道的控制能力,能够很好的抑制短沟道效应。而且相对其它器件具有更好的集成电路生产技术的兼容性。

[0004] 参考图 1, 示出了现有技术一种 FinFET 的立体结构示意图。如图 1 所示, FinFET 包括: 半导体衬底 15; 位于半导体衬底 15 上的氧化埋层 16 (BOX, Buried Oxide); 所述氧化埋层 16 上形成有凸起结构, 所述凸起结构为 FinFET 的鳍 (Fin) 17; 栅极结构, 横跨在所述鳍 17 上, 覆盖所述鳍 17 的顶部和侧壁, 栅极结构包括栅介质层 (图中未示出) 和位于栅介质层上的栅电极 18, 所述栅极结构沿 X 方向具有一定的长度, 沿 Y 方向覆盖于所述鳍 17 上, 称所述 X 方向为栅极结构的延伸方向, 所述 Y 方向为垂直于所述栅极结构延伸方向的方向。鳍 17 的顶部以及两侧的侧壁与栅极结构相接触的部分都成为沟道区, 即具有多个栅, 有利于增大驱动电流, 改善器件性能。

[0005] 在公开号为 CN100521116C 的中国专利中公开了一种鳍式场效应晶体管的形成方法。所述鳍式场效应晶体管的形成方法包括下列步骤: 形成鳍; 以及在邻接所述鳍的第一末端处形成源极区, 并在邻接所述鳍的第二末端处形成漏极区; 在所述鳍之上形成假栅极; 以及在所述假栅极的周围形成介电层; 去除所述假栅极, 以便在所述介电层中形成沟槽; 以及在所述沟槽中形成金属栅极。所述专利形成的鳍式场效应管晶体管可以降低多晶硅空乏效应与门极电阻值。

[0006] 然而, 现有技术中鳍式场效应晶体管的电流稳定性不够好, 影响了鳍式场效应晶体管的电学性能。

发明内容

[0007] 本发明提供一种电学性能较好的鳍式场效应晶体管及其制造方法。

[0008] 为解决上述问题, 本发明提出了一种鳍式场效应晶体管的制造方法, 包括: 在半导体衬底上形成硬掩模图形; 以所述硬掩模图形为掩模图形化所述半导体衬底, 形成多个鳍; 在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽中形成介质层; 通过湿法蚀刻图形化鳍, 基于湿法蚀刻中化学溶液对所述鳍不同晶面腐蚀速率的不同, 使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面; 去除

所述硬掩模图形；形成覆盖于所述鳍上的栅极。

[0009] 相应地，本发明还提供一种鳍式场效应晶体管，包括：半导体衬底；位于所述半导体衬底上的鳍；形成于位于鳍之间的半导体衬底上的介质层；所述介质层露出的所述鳍的侧壁为晶面；覆盖于所述鳍上的栅极。

[0010] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：本发明通过湿法蚀刻图形化所述介质层露出的鳍，使鳍露出腐蚀速率最低的晶面，由于晶面的平滑度较好，因此所述鳍的表面粗糙度较小，可以使最终形成的鳍式场效应晶体管具有良好的性能。

附图说明

[0011] 图 1 为现有技术中的一种 FinFET 的立体结构示意图；

[0012] 图 2 为本发明鳍式场效应晶体管制造方法一实施方式的流程示意图；

[0013] 图 3 至图 8 是本发明制造方法第一实施例形成的鳍式场效应晶体管的侧面示意图；

[0014] 图 9 是本发明制造方法另一实施例形成的鳍式场效应晶体管的侧面示意图。

具体实施方式

[0015] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广，因此本发明不受下面公开的具体实施的限制。

[0016] 其次，本发明利用示意图进行详细描述，在详述本发明实施例时，为便于说明，所述示意图只是示例，其在此不应限制本发明保护的范围。

[0017] 为了解决现有技术的问题，发明人对现有技术的鳍式场效应管进行了研究，发现鳍式场效应晶体管中鳍的表面粗糙度会影响金属栅极功函数，所述鳍表面越平滑，金属栅极功函数偏差越小，鳍式场效应晶体管电流稳定性越好，鳍式场效应晶体管的电学性能越优良。

[0018] 相应地，为了使鳍式场效应晶体管鳍的表面更加平滑，本发明提供一种鳍式场效应晶体管的制造方法。参考图 2，示出了本发明鳍式场效应晶体管制造方法一实施方式的流程示意图。所述制造方法大致包括以下步骤：

[0019] 步骤 S1，在半导体衬底上形成硬掩模图形；

[0020] 步骤 S2，以所述硬掩模图形为掩模图形化所述半导体衬底，形成多个鳍；

[0021] 步骤 S3，在所述鳍与半导体衬底围成的凹槽中形成介质层；

[0022] 步骤 S4，通过湿法蚀刻图形化所述鳍，基于湿法蚀刻中化学溶液对所述鳍不同晶面腐蚀速率的不同，使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面；

[0023] 步骤 S5，去除所述硬掩模图形；

[0024] 步骤 S6，形成覆盖于所述鳍上的栅极。

[0025] 本发明通过湿法蚀刻图形化所述介质层露出的鳍，使鳍露出腐蚀速率最低的晶面，由于晶面的平滑度较好，因此所述鳍的表面粗糙度较小，可以使最终形成的鳍式场效应晶体管具有良好的性能。

[0026] 参考图 3 至图 8，示出了本发明制造方法一实施例形成的鳍式场效应晶体管的剖

面示意图。

[0027] 如图 3 所示,执行步骤 S1,在半导体衬底 100 上形成硬掩模图形 101。本实施例中所述半导体衬底 100 为硅基底。对于硅材料而言,与(110)晶面相比,(111)晶面具有较低的活性,不容易与湿法蚀刻中的化学溶液发生反应,不会被去除,因此通过湿法蚀刻,所述(111)晶面在其他晶面被去除时仅被少量去除而得以保留,成为鳍的平滑表面。

[0028] 需要说明的是在其他实施例中,所述半导体衬底 100 也可以锗材料,或者为绝缘体上硅结构,或者本领域技术人员公知的其他半导体衬底。只要所述衬底 100 不同晶面与化学溶液反应速率不同,可以使反应速率较低的晶面露出而成为鳍的表面即可。

[0029] 所述硬掩模图形 101 用于图形化所述半导体衬底 100,以形成鳍。具体地,所述硬掩模图形 101 的宽度与待形成的鳍的宽度相当,所述硬掩模图形 101 之间的间距与待形成的鳍之间的间距相当。

[0030] 本实施例中,所述硬掩模图形 101 的材料氮化硅,但是本发明对硬掩模图形 101 的材料不做限制。

[0031] 如图 4 所示,执行步骤 S2,以所述硬掩模图形 101 为掩模图形化所述半导体衬底 100,形成多个鳍 106;本实施例中,所述鳍 106 的材料为硅,所述鳍的侧壁对应于硅(110)晶面。

[0032] 具体地,通过干刻法去除所述硬掩模图形 101 露出的半导体衬底 100 的部分,形成位于所述硬掩模图形 101 下方的鳍 106,鳍 106 以及位于鳍 106 之间的半导体衬底 100 围成凹槽 102。

[0033] 如果鳍 106 的宽度过小,容易在后续图形化所述鳍 106 的过程中使所述鳍 106 被大部分地去除,而未露出所述(111)晶面 105 构成的表面。如果鳍 106 的宽度过大,则容易影响鳍式场效应晶体管的集成性。在本实施例中,优选地,所形成的鳍 106 的宽度位于 5~50nm 的范围内。

[0034] 如果图形化所述半导体衬底 100 的步骤中去除的半导体衬底 100 的厚度过小(即凹槽 102 的深度越小),容易造成(111)晶面 105 未完全有效地露出。如果图形化所述半导体衬底 100 的步骤中去除的半导体衬底 100 的厚度过大(即凹槽 102 的深度越大),容易使所述鳍的高宽比过大而容易在后续工艺中受到损伤。因此,优选地,图形化所述半导体衬底,形成多个鳍的步骤中,去除的硅的厚度(即凹槽 102 的深度)位于 20~200nm 的范围内。

[0035] 需要说明的是,在图形化所述半导体衬底 100 的过程中,容易在靠近所述硬掩模图形 101 的鳍 106 的侧壁上形成一层氧化硅,所述氧化硅起到保护层的作用,可以使鳍 106 不受损伤。这样容易造成靠近所述硬掩模图形 101 的鳍 106 难以去除。

[0036] 执行步骤 S3,在所述鳍 106 与半导体衬底围成的凹槽形成介质层;具体地,形成介质层的步骤包括:

[0037] 如图 5 所示,通过化学气相沉积的方法在所述鳍 106 与半导体衬底 100 围成的凹槽 102 中填充二氧化硅材料 103;

[0038] 之后,通过化学机械研磨工艺(Chemical Mechanical Polishing, CMP)去除多余的二氧化硅材料 103,使剩余二氧化硅材料 103 与硬掩模图形 101 齐平;

[0039] 最后,如图 6 所示,通过化学蚀刻去除部分剩余二氧化硅材料 103,形成介质层 104。

[0040] 具体地,本实施例中,可以通过稀释的氢氟酸去除部分二氧化硅材料 103,以形成介质层 104,在其他实施例中还可以通过其他化学溶液去除部分二氧化硅材料 103。本发明对此不做限制

[0041] 需要说明的是,通过稀释的氢氟酸去除部分二氧化硅材料 103 时,还可以去除位于鳍 106 侧壁上的保护层(也是二氧化硅材料),从而将鳍 106 完全露出。

[0042] 如图 7 所示,步骤 S4,通过湿法蚀刻图形化所述介质层 104 露出的鳍 106,基于湿法蚀刻中化学溶液对所述鳍 106 不同晶面腐蚀速率的不同,使所述鳍露出腐蚀速率最低的晶面;

[0043] 由于本实施例中,半导体衬底 100 的材料为硅,硅的不同晶面具有不同的活性,其中硅(111)的晶面活性较差,难以与化学溶液发生反应,因此,通过湿法蚀刻图形化所述介质层 104 露出的鳍 106 时,硅的(111)晶面 105 由于腐蚀速率最低而被露出,具体地,在鳍 106 的侧壁上的侧壁上露出硅的(111)晶面 105。

[0044] 经过所述湿法蚀刻图形化的鳍 106 在后续形成的栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈正梯形。

[0045] 在湿法蚀刻中使用的化学溶液为四甲基氢氧化铵或氨水。本实施例中所述化学溶液为四甲基氢氧化铵。所述通过湿法蚀刻图形化所述介质层 104 露出的鳍 106 的步骤中,如果所述四甲基氢氧化铵的浓度过大或温度过高,容易使(111)面在湿法蚀刻中被去除,而无法形成表面光滑的鳍 106;而如果所述四甲基氢氧化铵的浓度过小或温度过低,则会影响湿法蚀刻工艺的效率,因此优选地,所述四甲基氢氧化铵的浓度的范围位于 5%~70% 的范围内,湿法蚀刻的温度位于 0~90℃ 的范围内。

[0046] 如图 8 所示,执行步骤 S5,去除所述硬掩模图形 101;本实施例中,所述硬掩模图形 101 的材料为氮化硅,可以通过选择性较好的化学溶液去除所述硬掩模图形 101,防止所述去除所述硬掩模图形 101 的步骤会影响鳍 106 表面的表面粗糙度。

[0047] 步骤 S6,形成覆盖于所述鳍 106 露出的晶面上的栅极(图未示)。具体地,在鳍 106 的侧壁和顶部覆盖栅极材料,形成栅极。由于所述鳍 106 的侧壁为晶面(111),具有较低的粗糙度,因此可以与栅极具有良好的界面形貌,从而使鳍式场效应晶体管的电流具有良好的稳定性,提高了鳍式场效应晶体管的电学性能。

[0048] 本发明鳍式场效应晶体管还包括形成源区和漏区等的步骤,与现有技术相同,在此不再赘述。

[0049] 本发明还提供了鳍式场效应晶体管的第二实施例。本实施例与第一实施例的相同之处不再赘述。参考图 9,本实施例与第一实施例的区别在于:在通过湿法蚀刻图形化介质层 204 露出的鳍的步骤之前,并不去除在鳍 206 靠近硬掩模图形 201 的侧壁上形成保护层。这样,所述保护层在图形化所述介质层 201 露出的鳍 206 的步骤中,可以保护靠近硬掩模图形 201 的鳍 206 的侧壁,使所述图形化的鳍 206 在靠近硬掩模图形 201 的部分仅被少量去除,从而具有较大的宽度。因此,图形化的鳍 206 在后续形成的栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈由正梯形以及位于其上的倒梯形组成的沙漏形。

[0050] 本实施例中,半导体衬底 200 的材料为硅,从而使鳍 206 的材料也为硅。可以采用氨水湿法蚀刻所述鳍 206,由于相对于硅的(110)面,氨水对硅的(111)面 205 的去除速率比较小,因此,氨水图形化所述鳍 260,露出的晶面(111) 205,晶面(111)具有光滑表面,粗

糙度低,可以使最终形成的鳍式场效应晶体管具有良好的电学性能。

[0051] 相应地,本发明还提供一种鳍式场效应晶体管。继续参考图 8,本发明提供了鳍式场效应晶体管第一实施例的示意图,所述鳍式场效应晶体管包括:半导体衬底 100;位于所述半导体衬底 100 上的鳍 106;形成于位于鳍 106 之间的半导体衬底 100 上的介质层 104;所述介质层 104 露出的所述鳍 106 的侧壁为晶面;覆盖于所述鳍 106 上的栅极(图中未示出)。其中,

[0052] 所述半导体衬底 100 为硅。鳍 106 为图形化所述硅而形成的,具体地,所述鳍高度位于 20~200nm 的范围内。

[0053] 所述介质层 104 的材料为氧化硅,所述介质层 104 露出鳍 106 的一部分。所述晶面为硅的(111)晶面 105,构成所述鳍 106 的侧壁。具体地,所述鳍 106 在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈正梯形。

[0054] 由于晶面表面光滑,具有较低的粗糙度,可以与位于其上的栅极具有良好的界面形貌,从而使鳍式场效应晶体管具有良好的电学性能。

[0055] 继续参考图 9,本发明提供了鳍式场效应晶体管第二实施例的示意图。本实施例与第一实施例的相同之处不再赘述,本实施例与第一实施例的不同之处在于,所述鳍 206 在栅极延伸方向上呈条形,在垂直于所述栅极延伸方向上呈由正梯形、位于其上的倒梯形组成的沙漏形。

[0056] 具体地,所述鳍 206 的材料为硅,所述鳍 206 的侧壁为(111)晶面,可以使鳍式场效应晶体管具有稳定的电学性能。

[0057] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案作出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

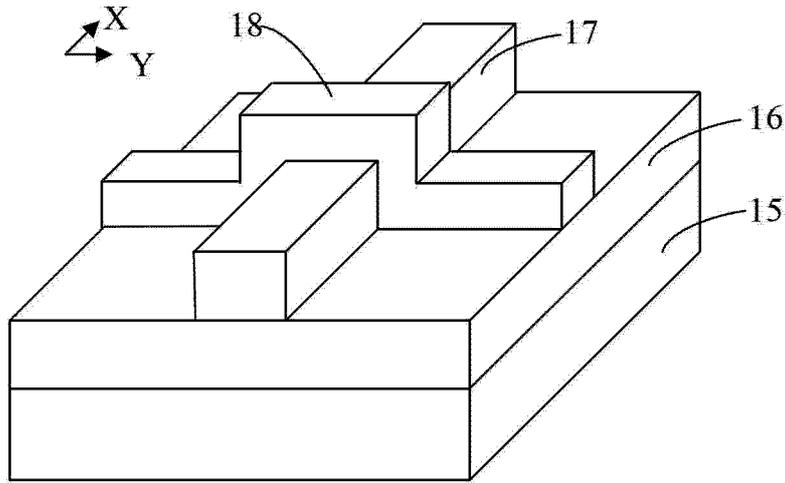


图 1

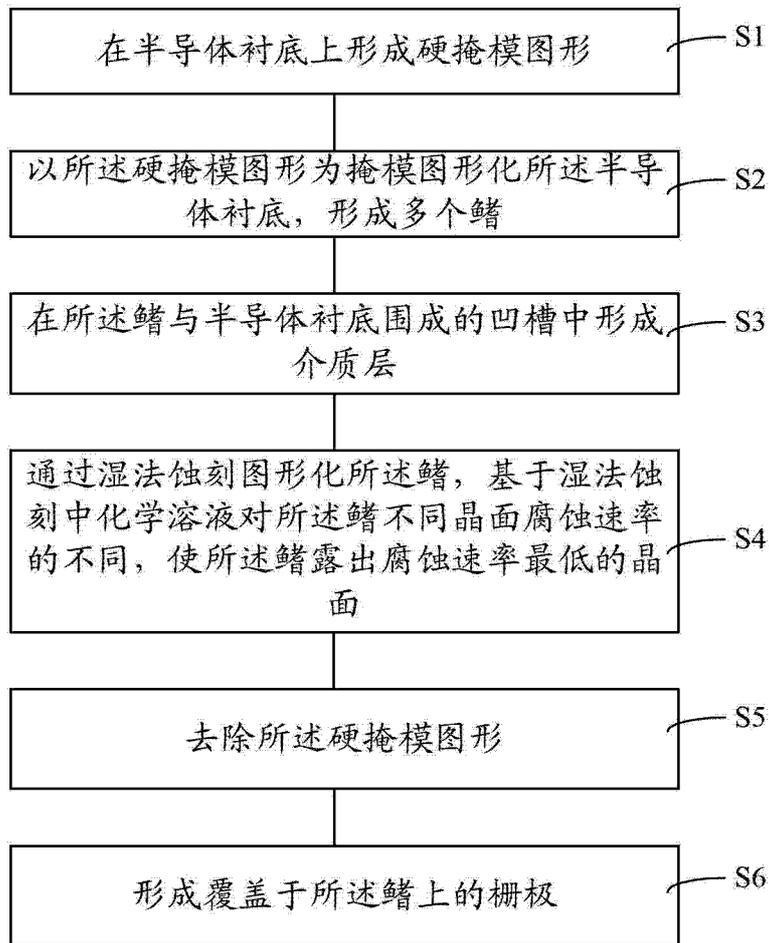


图 2

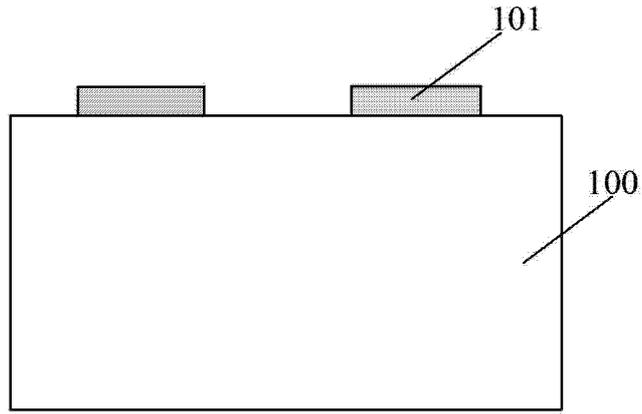


图 3

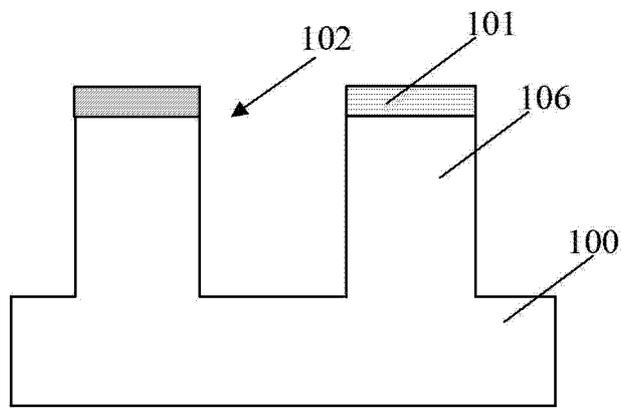


图 4

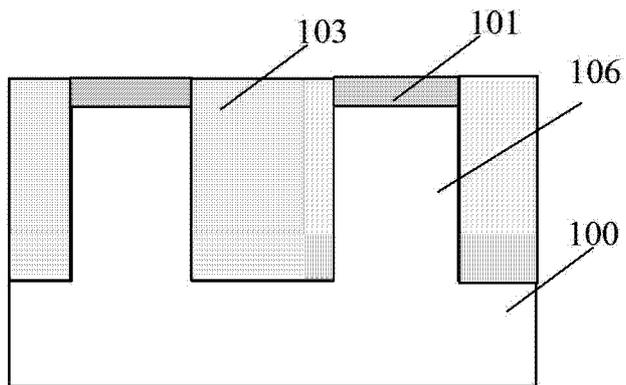


图 5

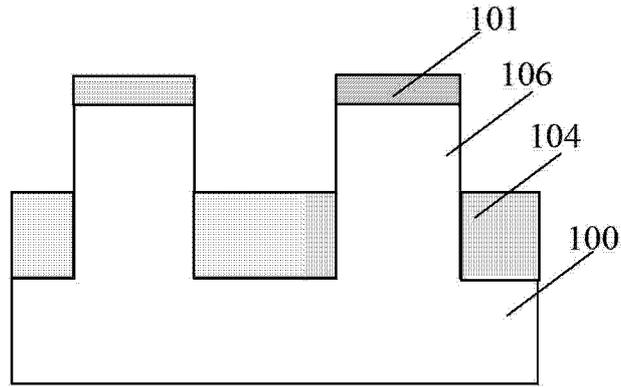


图 6

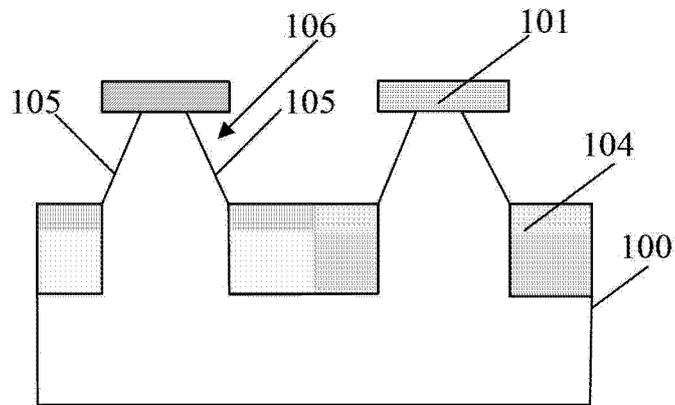


图 7

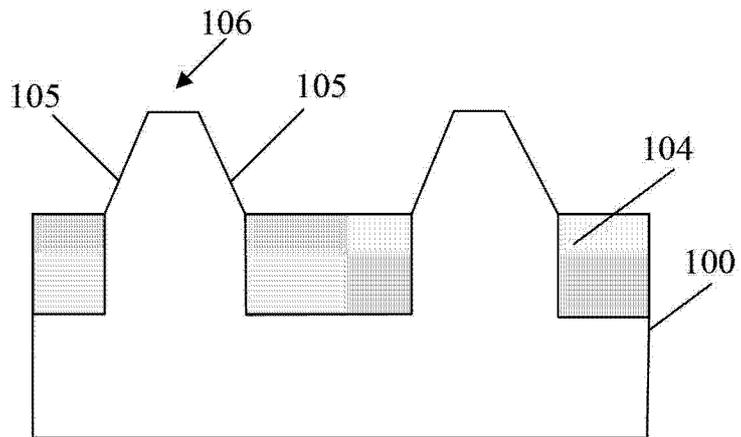


图 8

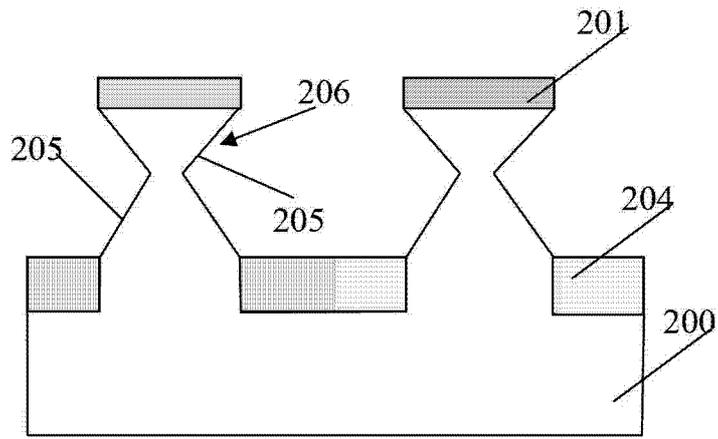


图 9