



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105584986 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 18

(21) 申请号 201410571338. 2

(22) 申请日 2014. 10. 23

(71) 申请人 中国科学院微电子研究所

地址 100029 北京市朝阳区北土城西路 3 号

(72) 发明人 李俊杰 孟令款 李春龙 洪培真

崔虎山 李俊峰 赵超

(74) 专利代理机构 北京汉昊知识产权代理事务

所(普通合伙) 11370

代理人 朱海波

(51) Int. Cl.

B81C 1/00(2006. 01)

B81B 7/02(2006. 01)

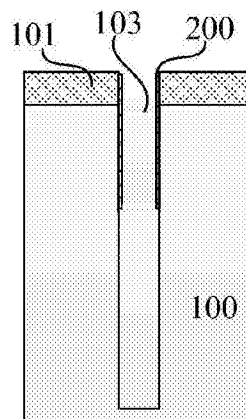
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种硅深孔刻蚀方法

(57) 摘要

本发明提供了一种硅深孔刻蚀方法,包括:  
a. 在硅片(100)上均匀涂覆掩膜(101),在掩膜(101)上形成所需图形;b. 基于掩膜(101)图案,采用稳态工艺在所述硅片上刻蚀深孔(102);  
c. 在所述第一深孔(102)的侧壁及底部形成钝化层(200);d. 去除位于所述深孔(102)底部的钝化层(200);e. 采用 bosch 工艺进行交替深刻蚀,对深孔进行深化,得到加深的第二深孔(103);f. 去除钝化层(200)。本发明将稳态刻蚀工艺与 bosch 刻蚀工艺相结合,有效消除了槽顶部侧壁的锯齿形貌,并弱化了底切现象(under cut),有效的提高了器件的可靠性与寿命。



1. 一种硅深孔刻蚀方法,包括:
  - a. 在硅片(100)上均匀涂覆掩膜(101),在掩膜(101)上形成所需图形;
  - b. 基于掩膜(101)图案,采用稳态工艺在所述硅片上刻蚀深孔(102);
  - c. 在所述第一深孔(102)的侧壁及底部形成钝化层(200);
  - d. 去除位于所述深孔(102)底部的钝化层(200);
  - e. 采用bosch工艺进行交替深刻蚀,对深孔进行深化,得到加深的第二深孔(103);
  - f. 去除钝化层(200)。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一深孔(102)的深度为 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ ,所述第二深孔(103)的深度为 $10\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述掩膜为光刻胶掩膜或金属掩膜或介质类掩膜,其中,在所述步骤b中,采用 $\text{SF}_6/\text{NF}_3/\text{C}_4\text{F}_8/\text{CH}_2\text{F}_2/\text{O}_2/\text{He}/\text{Ar}/\text{N}_2$ 中的一种和/或几种的组合气体稳态等离子刻蚀Si。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述步骤b的工艺条件为:压力: $8 \sim 80\text{mT}$ ,感应耦合等离子功率: $100\text{W} \sim 3000\text{W}$ ,偏置功率: $50\text{W} \sim 200\text{W}$ , $\text{SF}_6$ 流量: $10 \sim 2000\text{sccm}$ ;  $\text{O}_2$ 流量: $3 \sim 1000\text{sccm}$ ; He流量: $100 \sim 2000\text{sccm}$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$ 流量: $25 \sim 200\text{sccm}$ ,  $\text{N}_2$ 流量: $10 \sim 200\text{sccm}$ 。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述步骤c中,采用 $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$ 气体作为等离子侧壁钝化气体,包括 $\text{C}_4\text{F}_8$ 气体和/或其他气体。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述步骤c中,钝化层(200)的厚度为 $100 \sim 200\text{nm}$ 。
7. 根据权利要求5或6所述的方法,其特征在于,所述步骤c的工艺条件为:压力: $20 \sim 300\text{mT}$ ,感应耦合等离子功率: $100\text{W} \sim 3000\text{W}$ ,偏置功率: $0\text{W} \sim 200\text{W}$ , $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量: $10\text{sccm} \sim 2000\text{sccm}$ 。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述步骤d中,采用 $\text{SF}_6/\text{CF}_4/\text{O}_2$ 气体作为底部钝化层等离子开启气体。
9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述步骤d的工艺条件为:压力: $5 \sim 300\text{mT}$ ,感应耦合等离子功率: $100\text{W} \sim 3000\text{W}$ ,偏置功率: $0\text{W} \sim 200\text{W}$ , $\text{SF}_6$ 流量: $10\text{sccm} \sim 2000\text{sccm}$ ;  $\text{O}_2$ 流量: $0 \sim 500\text{sccm}$ 。
10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述步骤e中,采用Bosch工艺进行深硅刻蚀包括钝化步和刻蚀步,其中,钝化步采用 $\text{C}_4\text{F}_8$ 气体,刻蚀步采用 $\text{SF}_6$ 气体。
11. 根据权利要求10所述的方法,其特征在于,在所述步骤e中,钝化步的工艺条件为:压力: $20 \sim 300\text{mT}$ ,感应耦合等离子功率: $100\text{W} \sim 3000\text{W}$ ,偏置功率: $0\text{W} \sim 200\text{W}$ , $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量: $10\text{sccm} \sim 2000\text{sccm}$ ,时间: $0.5\text{s} \sim 10\text{s}$ 。
12. 根据权利要求10所述的方法,其特征在于,在所述步骤e中,刻蚀步的工艺条件为:压力: $20 \sim 300\text{mT}$ ,感应耦合等离子功率: $100\text{W} \sim 3000\text{W}$ ,偏置功率: $0\text{W} \sim 200\text{W}$ , $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量: $10\text{sccm} \sim 2000\text{sccm}$ ,时间: $0.5\text{s} \sim 10\text{s}$ 。
13. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述步骤f中,去除钝化层(200)的方法是采用 $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{O}_3$ 进行清洗。
14. 根据权利要求13所述的方法,其特征在于,在采用 $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{O}_3$ 进行清洗时,选

---

用的清洗材料为 HF/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HF/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>比例为 1:7 ~ 1:2。

## 一种硅深孔刻蚀方法

### 技术领域

- [0001] 本发明属于微机电系统 (MEMS) 微纳加工领域, 尤其涉及一种硅深孔刻蚀方法。
- [0002] 深孔或者深孔选择一个最合适的。

### 技术背景

[0003] 近年来, 计算机、通讯、汽车电子、航空航天工业和其他消费品对微电子封装提出了更高的要求, 即更小、更薄、更轻、高可靠、多功能、低功耗和低成本, 需要在硅圆片上制作出许多垂直互连深孔来实现不同芯片之间的电互连, 因此硅深孔刻蚀工艺成为微机电系统 (MEMS) 纳加工领域一个重要技术。

[0004] 在 Si 片上形成高深宽比沟槽或孔并具有垂直侧壁结构是现在先进 MEMS 器件或 3D TSV 封装常见工艺步骤。Bosch 工艺是目前最常用的获得高深宽比刻蚀的方法。Bosch 工艺, 也被称作“切换式刻蚀工艺”, 以氟的等离子气体化学方法刻硅, 在刻蚀过程中, 加入刻蚀气体刻蚀一段时间, 然后再用碳氟等离子气体对刻蚀基底侧壁钝化, 钝化一段时间, 之后再继续进行刻蚀, 这样循环地进行刻蚀和钝化交替加工; 在实际刻蚀过程中, 需要上百次的刻蚀与钝化交替重复加工, 来提高刻蚀的选择性。该工艺主要存在的问题是刻蚀侧壁出现锯齿状表面 (如示意图 1), 随着器件尺寸的不断微缩, 锯齿尖角形貌对于亚微米的微细结构的性能影响已成为不可忽略的因素。

[0005] 通过对 Bosch 工艺沉积与刻蚀比例的调节优化, 提高切换频率 (缩短沉积与刻蚀切换周期) 或弱化沉积与刻蚀比例, 可以让亚微米级槽大部分表面相对光滑 (锯齿高度小于 10nm), 但是槽顶部一定高度还是会有明显的锯齿: 因为顶部速率相对快 (包括刻蚀与沉积) 和绝缘掩膜下难以完全避免的刻蚀底切现象 (under cut), 如图 2, 锐利的锯齿形貌在某些特殊应用领域严重影响器件的可靠性与寿命 (当槽设计尺寸亚微米级时影响尤为明显)。

[0006] 因此, 亟需对现有工艺进行改进, 获得整个槽侧壁非常光滑的深孔形貌。

### 发明内容

- [0007] 本发明提供了一种硅深孔刻蚀方法, 包括:
- [0008] a. 在硅片上均匀涂覆掩膜, 在掩膜上形成所需图形;
- [0009] b. 以光刻胶为掩膜, 采用稳态工艺在所述硅片上刻蚀第一深孔;
- [0010] c. 在所述深孔的侧壁及底部形成钝化层;
- [0011] d. 去除位于所述所述深孔底部的钝化层;
- [0012] e. 采用 bosch 工艺进行交替深刻蚀, 对第一深孔进行深化, 得到深孔;
- [0013] f. 去除钝化层深孔深孔。
- [0014] 其中, 所述第一深孔的深度为 1um ~ 100um, 所述第二深孔的深度为 10um ~ 500um。
- [0015] 其中, 所述掩膜为光刻胶掩膜或金属掩膜或介质类掩膜, 其中, 在所述步骤 b 中,

采用  $\text{SF}_6/\text{NF}_3/\text{C}_4\text{F}_8/\text{O}_2/\text{He}/\text{Ar}$  中的一种和 / 或几种的组合气体稳态等离子刻蚀 Si。

[0016] 其中,所述步骤 b 的工艺条件为:压力:8 ~ 80mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:50W ~ 200W,  $\text{SF}_6$ 流量:10 ~ 2000sccm;  $\text{O}_2$ 流量:3 ~ 1000sccm; He 流量:100 ~ 2000sccm。

[0017] 其中,在所述步骤 c 中,采用  $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$  气体作为等离子侧壁钝化气体,包括  $\text{C}_4\text{F}_8$  气体和 / 或其他气体。

[0018] 其中,在所述步骤 c 中,钝化层的厚度为 100 ~ 200nm。

[0019] 其中,所述步骤 c 的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量:10sccm ~ 2000sccm。

[0020] 其中,在所述步骤 d 中,采用  $\text{SF}_6/\text{CF}_4/\text{O}_2$  气体作为底部钝化层等离子开启气体。

[0021] 其中,所述步骤 d 的工艺条件为:压力:5 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{SF}_6$ 流量:10sccm ~ 2000sccm;  $\text{O}_2$ 流量:0 ~ 500sccm。

[0022] 其中,在所述步骤 e 中,采用 Bosch 工艺进行深硅刻蚀包括钝化步和刻蚀步,其中,钝化步采用  $\text{C}_4\text{F}_8$  气体,刻蚀步采用  $\text{SF}_6$  气体。

[0023] 其中,在所述步骤 e 中,钝化步的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量:10sccm ~ 2000sccm,时间:0.5s ~ 10s。

[0024] 其中,在所述步骤 e 中,刻蚀步的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$ 流量:10sccm ~ 2000sccm,时间:0.5s ~ 10s。

[0025] 其中,在所述步骤 e 中,去除钝化层 (200) 的方法是采用  $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{O}_3$  进行清洗;其中,选用的清洗材料为  $\text{HF}/\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HF}/\text{H}_2\text{SO}_4$  比例为 1:7 ~ 1:2。

[0026] 本发明将稳态刻蚀工艺与 bosch 刻蚀工艺相结合,有效的消除了现有工艺中由于刻蚀底切现象 (under cut) 在槽顶部一定高度上引起的锯齿形貌,有效的提高了器件的可靠性与寿命。

## 附图说明

[0027] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0028] 图 1 为 Bosch 工艺侧壁形貌示意图 (深度递增);

[0029] 图 2(a) 为改进的 Bosch 工艺得到的深孔侧壁形貌示意图;

[0030] 图 2(b) 为图 2(a) 中改进的 Bosch 工艺得到的深孔上端形貌放大图;

[0031] 图 3 ~ 图 8 为根据本发明的一个具体实施方式刻蚀深孔各个阶段的剖面图;

[0032] 图 9 为本发明实施例得到的深孔剖面图;其中,

[0033] 图 9(a) 为本发明实施例工艺得到的深孔侧壁形貌示意图;

[0034] 图 9(b) 为图 9(a) 中本发明实施例得到的深孔上端形貌放大图。

[0035] 附图中相同或相似的附图标记代表相同或相似的部件。

## 具体实施方式

[0036] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明的实施例作详细描述。

[0037] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能解释为对本发明的限制。

[0038] 首先,在硅片 100 上的掩膜 101 形成所需图案,如图 3 所示在硅片 100 上均匀生长等离子增强气相沉积 (PECVD) 氧化硅膜层 101,厚度约 1 ~ 6 $\mu\text{m}$ ,并在其上涂覆光刻胶采用光刻工艺在光刻胶上制备出所需图形,以光刻为掩膜,采用等离子刻蚀氧化硅的方法将光刻图形转移到氧化硅上。此过程主要包括氧化硅生长,涂光刻胶,曝光和显影,氧化硅等离子刻蚀,去胶清洗 6 个步骤,其目的分别是在硅片上淀积氧化硅,涂覆光刻胶并在光刻胶上形成图案,将光刻胶上的图案转移到氧化硅掩膜上,以及去除光刻胶,采用现有工艺技术即可完成,在本实施例中,采用工业界主流标配的 ASML 或 Nikon 的光刻设备,采用 Lam 或 TEL 的等离子刻蚀设备,采用 masson 和 Lam 的去胶清洗设备,工艺方法为工业界成熟常规工艺,在此不再赘述。

[0039] 接下来,如图 4 所示,基于 101 氧化硅掩膜图案,采用稳态工艺在所述硅片上刻蚀深孔 102。具体的,采用工业界主流的硅刻蚀设备如 Lam research 的硅刻蚀机,采用  $\text{SF}_6/\text{NF}_3/\text{C}_4\text{F}_8/\text{O}_2/\text{He}/\text{Ar}$  气体稳态等离子刻蚀 Si,优选的,采用  $\text{SF}_6/\text{O}_2/\text{He}$  气体进行等离子刻蚀来获得陡直光滑的侧壁,该方法近似工业界成熟常规工艺。在本实施例中,稳态刻蚀的工艺条件为:压力:8 ~ 80mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:50W ~ 200W,  $\text{SF}_6$  流量:10 ~ 2000sccm;  $\text{O}_2$  流量:3 ~ 1000sccm; He 流量:100 ~ 2000sccm。

[0040] 接下来,如图 5 所示在所述深孔 102 的侧壁及底部形成钝化层 200。具体的,采用工业界主流的深硅刻蚀设备如 Lam research 的深硅刻蚀机,采用  $\text{C}_x\text{F}_y$  气体在等离子条件下反应,在硅侧壁与表面形成  $\text{C}_x\text{F}_y$  为主要成分的长链有机聚合物层,以保护在后续工艺中表面不被损伤;优选的,采用  $\text{C}_4\text{F}_8$  气体。在本实施例中,形成钝化层的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$  流量:10sccm ~ 2000sccm。

[0041] 接下来,如图 6 所示,去除位于所述深孔 102 底部的钝化层 200,钝化层 200 的厚度为 100 ~ 200nm。具体的,采用工业界主流的深硅刻蚀设备如 Lamresearch 或 STS 的深硅刻蚀机,采用含 F 和 O 的气体(如  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  组合)利用等离子刻蚀的各向异性刻蚀(垂直于硅片的纵向要大于平行于硅片的横向刻蚀速率)来打开深孔底部的钝化层,以便于进一步刻蚀槽。在本实施例中,这一步骤的工艺条件为:压力:5 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{SF}_6$  流量:10sccm ~ 2000sccm;  $\text{O}_2$  流量:0 ~ 500sccm。

[0042] 接下来,如图 7 所示,采用 bosch 工艺进行交替深刻蚀,对深孔 102 进行深化,得到深孔 103, bosch 工艺是业界成熟工艺,采用工业界主流的深硅刻蚀设备如 Lam research 或 STS 的深硅刻蚀机将深孔刻蚀到预期深度。其中,采用 Bosch 工艺进行深硅刻蚀包括钝化步和刻蚀步,其中,钝化步采用  $\text{C}_4\text{F}_8$  气体,刻蚀步采用  $\text{SF}_6$  气体。钝化步的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$  流量:10sccm ~ 2000sccm,时间:0.5s ~ 10s;刻蚀步的工艺条件为:压力:20 ~ 300mT,感应耦合等离子功率:100W ~ 3000W,偏置功率:0W ~ 200W,  $\text{C}_4\text{F}_8$  流量:10sccm ~ 2000sccm,时

间:0.5s ~ 10s。

[0043] 接下来,如图 8 所示,去除钝化层 200。因为钝化层成分为常规的  $C_xF_y$  的富碳聚合物,清洗方法也采用常规干法+湿法相结合的方式;干法一般采用标准的干法去胶设备(工业界主流为 masson 的去胶设备),采用  $O_2$  为主的等离子体将聚合物长链结构打断;湿法一般采用业界标配的槽式或者单片清洗设备(主流为 Lam research 等厂商)在带氧化性和酸性溶液中将聚合物氧化溶解掉。在本实施例中,采用  $HF/H_2O_2/H_2SO_4/O_3$  进行清洗,优选的,采用  $HF/H_2SO_4$  进行清洗, $HF/H_2SO_4$  比例为 1:7 ~ 1:2。

[0044] 以上每个步骤的操作方法都是工业界成熟设备的工艺流程与方法,不存在操作上的特殊性。

[0045] 本发明将稳态刻蚀工艺与 bosch 刻蚀工艺相结合,有效的消除了槽顶部一定高度上引起的锯齿形貌(如图 9 所示),弱化了刻蚀底切现象(under cut);有效的提高了器件的可靠性与寿命。

[0046] 虽然关于示例实施例及其优点已经详细说明,应当理解在不脱离本发明的精神和所附权利要求限定的保护范围的情况下,可以对这些实施例进行各种变化、替换和修改。对于其他例子,本领域的普通技术人员应当容易理解在保持本发明保护范围内的同时,工艺步骤的次序可以变化。

[0047] 此外,本发明的应用范围不局限于说明书中描述的特定实施例的工艺、结构、制造、物质组成、手段、方法及步骤。从本发明的公开内容,作为本领域的普通技术人员将容易理解,对于目前已存在或者以后即将开发出的工艺、结构、制造、物质组成、手段、方法或步骤,其中它们执行与本发明描述的对应实施例大体相同的功能或者获得大体相同的结果,依照本发明可以对它们进行应用。因此,本发明所附权利要求旨在将这些工艺、结构、制造、物质组成、手段、方法或步骤包含在其保护范围内。

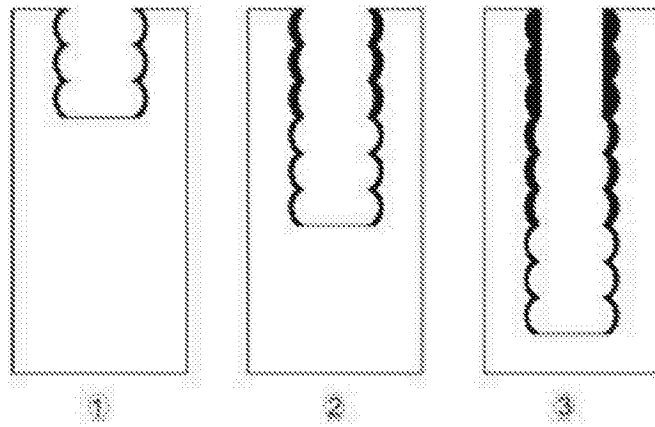


图 1

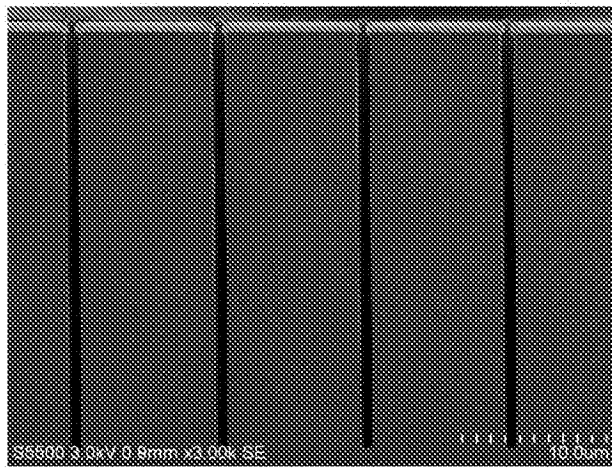


图 2(a)

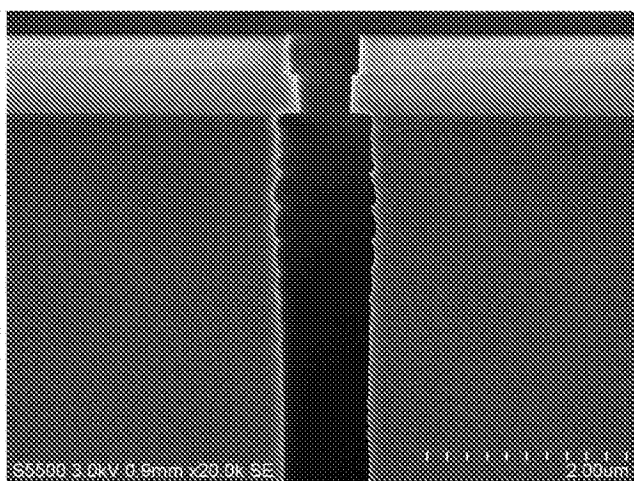


图 2(b)

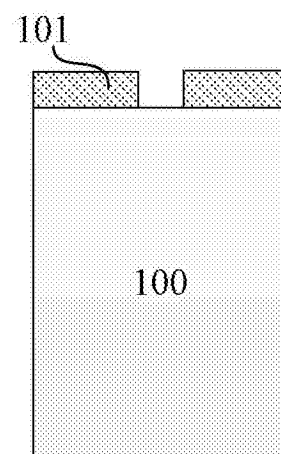


图 3



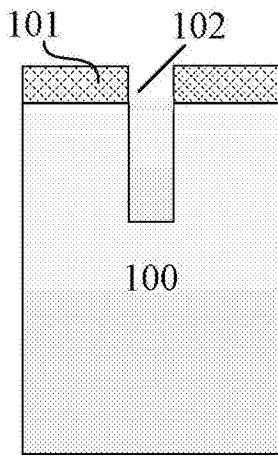


图 4

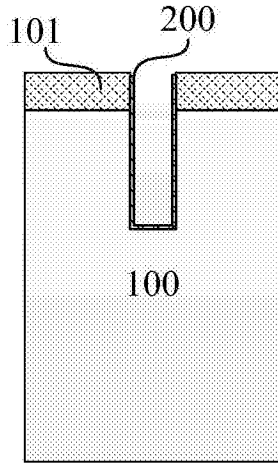


图 5

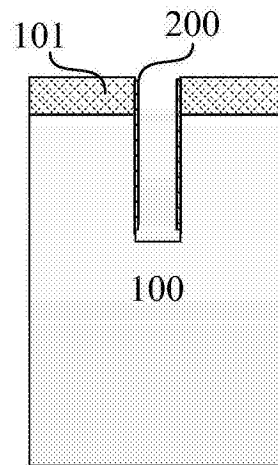


图 6

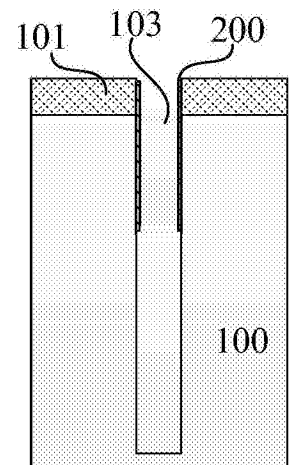


图 7

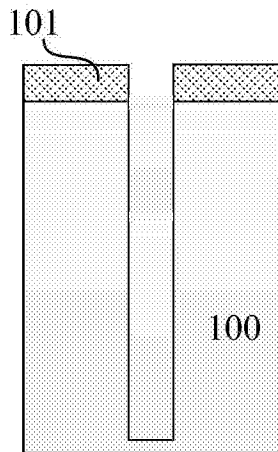


图 8

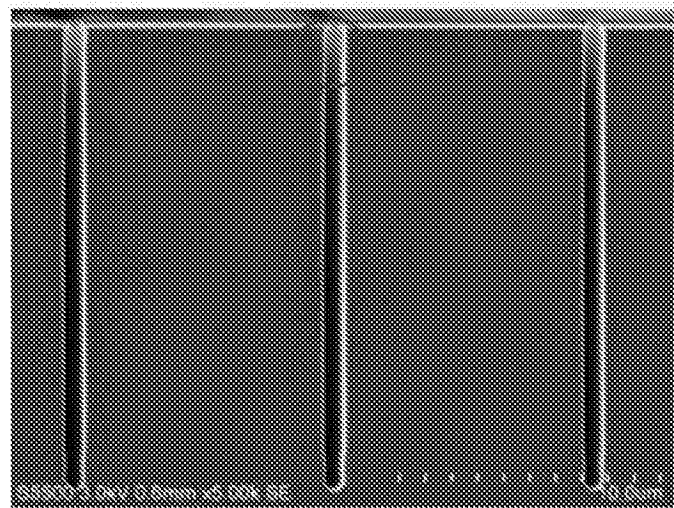


图 9(a)

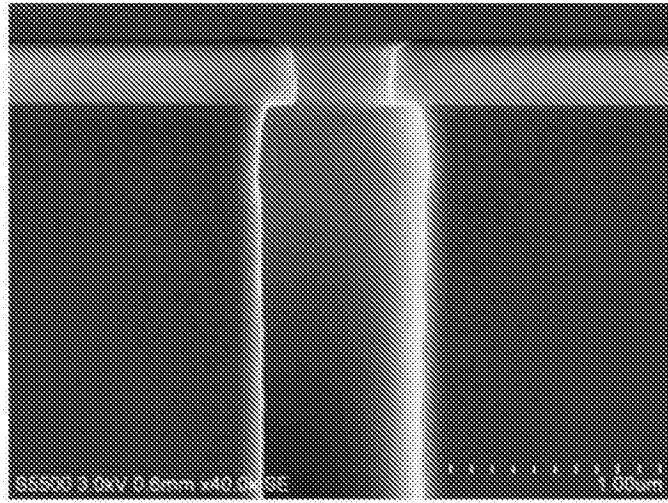


图 9 (b)