

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103187446 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 03

(21) 申请号 201110457448. 2

(22) 申请日 2011. 12. 31

(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 赵猛

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务所(普通合伙) 31237

代理人 屈衡 李时云

(51) Int. Cl.

H01L 29/78(2006. 01)

H01L 21/336(2006. 01)

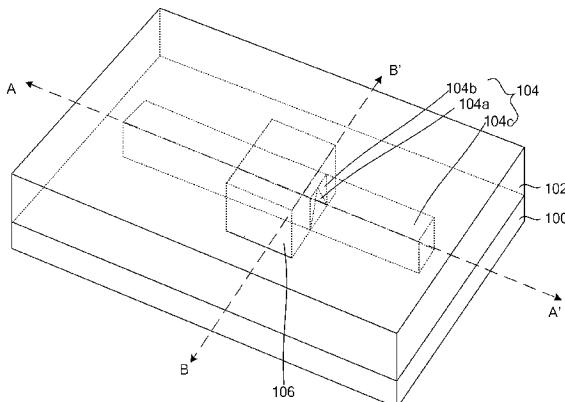
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

多栅极场效应晶体管及其制造方法

(57) 摘要

本发明揭示了一种多栅极场效应晶体管，其鳍状结构的中间区域包括硅层和硅锗层，所述硅层结构呈圆锥状或圆台状，所述硅锗层多个面包裹所述硅层，故能够对硅层产生较佳的应力作用，提高了鳍状结构中沟道区的迁移率，进一步提高了多栅极场效应晶体管的性能。同时，针对所述多栅极场效应晶体管的结构，本发明还揭示了一种多栅极场效应晶体管的制作方法，利用倾斜旋转离子注入的方法，在鳍状结构的中间区域形成掺杂区和无掺杂区，并利用掺杂区和无掺杂区的刻蚀速率差距，从而刻蚀去除掺杂区，保留的无掺杂区形成硅层，接着利用外延生长的选择性沉积的特性，在硅层上形成硅锗层，形成鳍状结构的工艺简单且提高了多栅极场效应晶体管的性能。



1. 一种多栅极场效应晶体管，包括：

基底，其上形成有层间介质层；

鳍状结构，位于所述层间介质层中，所述鳍状结构包括中间区域和两端区域；

栅极，位于所述层间介质层中，并跨设于所述鳍状结构的中间区域的顶面和侧壁上；

其特征在于，所述鳍状结构包括硅层和硅锗层，所述硅层呈圆锥状或圆台状，所述硅锗层包裹于所述硅层上，所述硅层和硅锗层中形成有沟道区。

2. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述圆锥状或圆台体的硅层的母线与所述基底所在面的夹角为  $0 \sim 75^\circ$ 。

3. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述硅锗层中锗的摩尔含量为 5%~35%。

4. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述栅极为多晶硅栅极或金属栅极。

5. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述栅极包括栅极介质层和位于所述栅极介质层上的栅极导电层。

6. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述鳍状结构的两端区域中形成有源区和漏区。

7. 如权利要求 1 所述的多栅极场效应晶体管，其特征在于，所述基底包括半导体层和位于所述半导体层上的氧化层。

8. 一种多栅极场效应晶体管的制作方法，包括

提供基底，在所述基底上形成单质硅材质的初始鳍状结构，所述初始鳍状结构包括中间区域和两端区域；

形成前置栅极，所述前置栅极横跨于鳍状结构的中间区域的侧壁和顶面上；

在基底上覆盖层间介质层，并进行化学机械研磨，直至暴露所述前置栅极的顶面；

刻蚀去除所述前置栅极，暴露所述初始鳍状结构的中间区域；

对所述初始鳍状结构的中间区域进行倾斜旋转离子注入，使所述初始鳍状结构的中间区域分为掺杂区和无掺杂区，所述无掺杂区呈圆锥状或圆台状；

对所述初始鳍状结构的中间区域进行干法刻蚀，去除所述初始鳍状结构的中间区域中的掺杂区，所述无掺杂区形成圆锥状或圆台状的硅层；

利用外延生长法，在所述硅层上形成硅锗层以形成鳍状结构，在所述硅锗层和所述硅层中形成沟道区；

形成跨设于所述沟道区的侧壁和顶面的栅极。

9. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法，其特征在于，所述倾斜旋转离子注入的注入离子为硼、磷或砷中的一种或其组合。

10. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法，其特征在于，所述圆锥状或圆台体的硅层的母线与所述基底所在面的夹角为  $0 \sim 75^\circ$ 。

11. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法，其特征在于，所述硅锗层中锗的摩尔含量为 5%~35%。

12. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法，其特征在于，所述栅极为多晶硅栅极或金属栅极。

13. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法, 其特征在于, 所述栅极包括栅极介质层和位于所述栅极介质层上的栅极导电层。

14. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法, 其特征在于, 所述鳍状结构的两端区域中形成有源区和漏区。

15. 如权利要求 8 所述的多栅极场效应晶体管的制作方法, 其特征在于, 所述基底包括半导体层和位于所述半导体层上的氧化层。

## 多栅极场效应晶体管及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种集成电路器件及其制造方法，尤其涉及一种多栅极场效应晶体管及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 近年来金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)不断向缩小尺寸的趋势发展，这是为了增加速度、提高组件集成度与降低集成电路的成本，晶体管的尺寸持续地减小，晶体管的缩小已经达到了各种性能的极限。其中栅极氧化物的厚度和源极/漏极结深度都达到了极限。

[0003] 因此，业界开发出了多个栅极或多栅场效应晶体管(Multi-Gate Transistors)，多栅极场效应晶体管技术是一种新型电路结构技术。传统晶体管是每个晶体管只有一个栅用来控制电流在两个结构单元之间通过或中断，进而形成计算中所需的“0”与“1”。而多栅晶体管技术是每个晶体管有两个或三个栅，从而提高了晶体管控制电流的能力，即计算能力，并且大幅降低了功耗，减少了电流间的相互干扰。其中，多栅极场效应晶体管是一种将一个以上栅极并入到单个器件的MOSFET中的器件结构，这意味着，沟道在多个表面上被几个栅极包围，从而能够更多地抑制“截止”状态时的漏电流，并能够增强“导通”状态下的驱动电流，这样就获得了较低功耗和性能增强的器件结构。

[0004] J. P. Colinge 在一篇名称为“FinFETs and other Multi-Gate Transistors”的美国文献中介绍了多种类型的多栅极场效应晶体管，包括双栅晶体管(Double-Gate, FinFET)，三栅晶体管(Tri-Gate)，欧姆形栅晶体管( $\Omega$ -Gate)以及四边形栅晶体管(Quad-Gate)等。

[0005] 其中，以双栅晶体管为例，双栅晶体管使用了两个栅极以控制沟道，极大地抑制了短沟道效应。双栅晶体管的一个具体变形就是鳍型晶体管(FinFET)，所述FinFET包括垂直的鳍状结构和横跨在所述鳍状结构侧面的栅极，在栅极两侧的鳍状结构的两端部分别为源极和漏极，栅极下的鳍状结构中形成沟道。作为非平面器件，FinFET的鳍状结构的尺寸决定了晶体管器件的有效沟道长度。FinFET与常规平面的MOS晶体管相比更加紧凑，能够实现更高的晶体管密度和更小的整体微电子技术。此外，三栅晶体管是多栅晶体管的另一常见形状，其中所述栅极横跨在所述鳍状结构的侧面和顶部表面，以形成三面控制沟道，进一步提高器件的整体性能。

[0006] 鳍状结构的垂直方向高度和水平方向宽度和长度对驱动电流的性能、短沟道效应以及漏电流等都有巨大影响。例如垂直方向高度更高的鳍状结构提供更高的驱动电流，水平方向宽度更小的鳍状结构能够更好地抑制漏电流，其中，水平方向长度影响了的鳍状结构两端的源极和漏极到栅极的距离，而该距离影响器件的沟道长度。然而，由于尺寸的限制，鳍状结构水平方向长度会逐渐减小，器件的沟道长度会受到影响。因此，如何通过一种技术方法，提供足够的沟道长度，以充分抑制短沟道效应和漏电流，从而提高多栅极场效应晶体管的性能成为业界亟待研究的课题。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种本发明的目的是提供一种多栅极场效应晶体管的结构，并针对该结构提出一种多栅极场效应晶体管的制造方法，以提高多栅极场效应晶体管的迁移率。

[0008] 为解决上述技术问题，本发明提供一种多栅极场效应晶体管，包括：基底，其上形成有层间介质层；鳍状结构，位于所述层间介质层中，所述鳍状结构包括中间区域和两端区域；栅极，位于所述层间介质层中，并跨设于所述鳍状结构的中间区域的顶面和侧壁上；其中，所述鳍状结构包括硅层和硅锗层，所述硅层呈圆锥状或圆台状，所述硅锗层包裹于所述硅层上，所述硅层和硅锗层中形成有沟道区。

[0009] 进一步的，所述圆锥状或圆台体的硅层的母线与所述基底所在面的夹角为0～75°。

[0010] 进一步的，所述硅锗层中锗的摩尔含量为5%～35%。

[0011] 进一步的，所述栅极为多晶硅栅极或金属栅极。

[0012] 进一步的，所述栅极包括栅极介质层和位于所述栅极介质层上的栅极导电层。

[0013] 进一步的，所述鳍状结构的两端区域中形成有源区和漏区。

[0014] 进一步的，所述基底包括半导体层和位于所述半导体层上的氧化层。

[0015] 本发明还提供一种多栅极场效应晶体管的制作方法，包括以下步骤：

[0016] 提供基底，在所述基底上形成单质硅材质的初始鳍状结构，所述初始鳍状结构包括中间区域和两端区域；

[0017] 形成前置栅极，所述前置栅极横跨于所述初始鳍状结构的中间区域的侧壁和顶面上；

[0018] 在基底上覆盖层间介质层，并进行化学机械研磨，直至暴露所述前置栅极的顶面；

[0019] 刻蚀去除所述前置栅极，暴露所述初始鳍状结构的中间区域；

[0020] 对所述初始鳍状结构的中间区域进行倾斜旋转离子注入，使所述初始鳍状结构的中间区域中分为掺杂区和无掺杂区，所述无掺杂区呈圆锥状或圆台状；

[0021] 对所述初始鳍状结构的中间区域进行干法刻蚀，去除所述初始鳍状结构的中间区域中的掺杂区，所述无掺杂区形成圆锥状或圆台状的硅层；

[0022] 利用外延生长法，在所述硅层上形成硅锗层以形成鳍状结构，在所述硅锗层和所述硅层中形成沟道区；

[0023] 形成跨设于所述沟道区的侧壁和顶面的栅极。

[0024] 进一步的，所述倾斜旋转离子注入的注入离子为硼、磷或砷中的一种或其组合。

[0025] 进一步的，所述圆锥状或圆台体的硅层的母线与所述基底所在面的夹角为0～75°。

[0026] 进一步的，所述硅锗层中锗的摩尔含量为5%～35%。

[0027] 进一步的，所述栅极为多晶硅栅极或金属栅极。

[0028] 进一步的，所述栅极包括栅极介质层和位于所述栅极介质层上的栅极导电层。

[0029] 进一步的，所述鳍状结构的两端区域中形成有源区和漏区。

[0030] 进一步的，所述基底包括半导体层和位于所述半导体层上的氧化层。

[0031] 相比于现有技术，本发明的多栅极场效应晶体管的鳍状结构的中间区域包括硅层和硅锗层，所述硅层结构呈圆锥状或圆台状，而所述硅锗层包裹所述硅层，由于硅锗层多个面均包裹所述硅层，故能够对硅层产生较佳的应力作用，提高了鳍状结构中沟道区的迁移率，进一步提高了多栅场效应晶体管的性能。

[0032] 同时，针对所述多栅极场效应晶体管的结构，本发明所揭示的制作方法中，利用倾斜旋转离子注入的方法，在鳍状结构的中间区域形成掺杂区和无掺杂区，并利用掺杂区和无掺杂区的刻蚀速率差距，从而刻蚀去除掺杂区，保留的无掺杂区形成硅层，接着利用外延生长的选择性沉积的特性，形成鳍状结构的工艺简单且提高了多栅极场效应晶体管的性能。

## 附图说明

[0033] 图 1 为本发明一实施例中多栅极场效应晶体管的结构示意图。

[0034] 图 2 为沿图 1 中 AA' 方向的多栅极场效应晶体管的剖面图。

[0035] 图 3 为沿图 1 中 BB' 方向的多栅极场效应晶体管的剖面图。

[0036] 图 4 为本发明一实施例中的多栅极场效应晶体管的制作方法的流程图。

[0037] 图 5a ~ 图 5e 为沿图 1 中 AA' 方向的多栅极场效应晶体管的制作过程的剖面图。

[0038] 图 6a ~ 图 6e 为沿图 1 中 BB' 方向的多栅极场效应晶体管的制作过程的剖面图。

## 具体实施方式

[0039] 为使本发明的内容更加清楚易懂，以下结合说明书附图，对本发明的内容作进一步说明。当然本发明并不局限于该具体实施例，本领域内的技术人员所熟知的一般替换也涵盖在本发明的保护范围内。

[0040] 其次，本发明利用示意图进行了详细的表述，在详述本发明实例时，为了便于说明，示意图不依照一般比例局部放大，不应以此作为对本发明的限定。

[0041] 图 1 为本发明一实施例中多栅极场效应晶体管的结构示意图，图 2 为沿图 1 中 AA' 方向的剖面图，图 3 为沿如图 1 中 BB' 方向的剖面图，结合图 1 ~ 图 3，本发明所述多栅极场效应晶体管包括：基底 100、鳍状结构 104 和栅极 106，所述基底 100 上形成有层间介质层 102，所述鳍状结构 104 位于所述层间介质层 102 中，所述鳍状结构 104 包括中间区域和两端区域 104c，所述栅极 106 跨设于所述鳍状结构 104 的中间区域的顶面和侧壁上，所述鳍状结构 104 的中间区域包括硅层 104a 和硅锗层 104b，所述硅层 104a 和硅锗层 104b 中形成有沟道区，所述硅层 104a 呈圆锥状或圆台状，所述硅锗层 104b 包裹于所述硅层 104a 上。所述鳍状结构 104 的两端区域 104c 中形成有源区和漏区，所述鳍状结构 104 的中间区域中形成有沟道区，所述栅极 106 跨设于所述鳍状结构 104 的中间区域的顶面和侧壁上，所述栅极 106 的三面均与鳍状结构 104 的中间区域接触。

[0042] 结合图 5a ~ 图 5e 所示，所述基底 100 包括半导体层 100a 和位于所述半导体层 100a 上的氧化层 100b，所述半导体层 100a 可以为硅、锗或硅锗化合物等，所述氧化层 100b 可以为二氧化硅。

[0043] 重点参考图 2，所述栅极 106 包括栅极介质层 106a 和位于所述栅极介质层 106a 上

的栅极导电层 106b, 形成栅极 106 为多晶硅栅极或金属栅极。对于多晶硅栅极, 所述栅极导电层 106b 的材质可以为多晶硅, 所述栅极介质层 106a 的材质可以为二氧化硅; 对于金属栅极, 所述栅极导电层 106b 的材质为金属栅极, 例如铝, 所述栅极介质层 106a 的材质为高介电常数材料层。

[0044] 其中, 所述圆锥状或圆台体的硅层 104a 的母线与所述基底 100 所在面的夹角  $\alpha$  为  $0 \sim 75^\circ$ 。所述硅锗层 104b 中锗的摩尔含量为 5% ~ 35%, 保证锗在硅锗层 104b 中的含量能够提高应力作用, 同时避免过量的锗引起扩散造成短沟道效应。

[0045] 在较佳的实施例中, 所述鳍状结构 104 的高度为 50nm ~ 90nm, 所述鳍状结构 104 的宽度为 15nm ~ 20nm, 在上述高度和宽度的尺寸范围内的鳍状结构 104 具有良好的驱动电流性能, 并能够抑制短沟道效应和漏电流。

[0046] 图 4 为本发明一实施例中的多栅极场效应晶体管的制作方法的流程图。如图 4 所示, 本发明还提供一种多栅极场效应晶体管的制作方法, 包括以下步骤:

[0047] 步骤 S01: 提供基底, 在所述基底上形成单质硅材质的初始鳍状结构, 所述初始鳍状结构包括中间区域和两端区域;

[0048] 步骤 S02: 形成前置栅极, 横跨于所述初始鳍状结构的中间区域的侧壁和顶面上;

[0049] 步骤 S03: 在基底上覆盖层间介质层, 并进行化学机械研磨, 直至暴露所述前置栅极的顶面;

[0050] 步骤 S04: 刻蚀所述前置栅极, 暴露所述初始鳍状结构的中间区域;

[0051] 步骤 S05: 对所述初始鳍状结构的中间区域进行倾斜旋转离子注入, 使所述初始鳍状结构的中间区域中分为掺杂区和无掺杂区, 所述无掺杂区呈圆锥状或圆台状;

[0052] 步骤 S06: 对所述初始鳍状结构的中间区域进行干法刻蚀, 去除所述初始鳍状结构的中间区域中的掺杂区, 所述无掺杂区形成圆锥状或圆台状的硅层;

[0053] 步骤 S07: 利用外延生长法, 在所述硅层上形成硅锗层以形成鳍状结构, 在所述硅锗层和所述硅层中形成沟道区;

[0054] 步骤 S08: 形成跨设于所述沟道区的侧壁和顶面的栅极。

[0055] 图 5a ~ 图 5e 为沿图 1 中 AA' 方向的多栅极场效应晶体管的制作过程的剖面图。图 6a ~ 图 6e 为沿图 1 中 BB' 方向的多栅极场效应晶体管的制作过程的剖面图。以下结合图 5a ~ 图 5e 和图 6a ~ 图 6e 详细说明本发明一实施例中多栅极场效应晶体管的制作过程。

[0056] 如图 5a 和 6a 所示, 在步骤 S01 中, 提供一基底 100, 所述基底 100 可以包括半导体层 100a 和位于所述半导体层 100a 上的氧化层 100b, 可以根据工艺条件及器件性能确定所述半导体层 100a 和氧化层 100b 的厚度。在所述基底 100 上形成单质硅材质的初始鳍状结构 104', 所述初始鳍状结构 104' 包括中间区域 104a、104b 和两端区域 104c。

[0057] 接着, 在步骤 S02 中, 形成前置栅极 103, 所述前置栅极 103 横跨于所述初始鳍状结构 104' 的中间区域的侧壁和顶面上; 前置栅极 103 作为后续形成的栅极的前期替代物, 其材质可以为多晶硅。

[0058] 然后, 在步骤 S03 中, 在基底 100 上覆盖层间介质层 102, 该层间介质层 102 完全覆盖前置栅极 103 以及基底 100; 随后, 进行化学机械研磨, 直至暴露所述前置栅极 103 的顶面, 形成如图 5a 所示结构。

[0059] 结合图 5b 和图 6b, 在步骤 S04 中, 刻蚀去除所述前置栅极 104, 暴露所述初始鳍状

结构 104' 的中间区域；在较佳的实施例中，选择前置栅极 103 与初始鳍状结构 104' 刻蚀速率差别大的刻蚀物质，能够更好地保护初始鳍状结构 104'，降低刻蚀损伤。

[0060] 结合图 5c 和图 6c，本发明的关键在于，在步骤 S05 中，对所述初始鳍状结构 104' 的中间区域进行倾斜旋转离子注入 200，使所述初始鳍状结构 104' 的中间区域中分为掺杂区和无掺杂区，所述无掺杂区呈圆锥状或圆台状；所述倾斜旋转离子注入 200 的离子束与基底 100 所在面之间的夹角 b 的范围为  $0^\circ \sim 75^\circ$ 。

[0061] 在步骤 S06 中，对所述初始鳍状结构 104' 的中间区域进行干法刻蚀，由于刻蚀对掺杂区和无掺杂区的刻蚀速率相差较大，从而能够去除所述初始鳍状结构 104' 的中间区域中的掺杂区，保留所述无掺杂区，剩余的无掺杂区形成如图 5d 和图 6d 所示的硅层 104a。

[0062] 结合图 5e 和图 6e 所示，在步骤 S07 中，利用外延生长法，在所述硅层 104a 上形成硅锗层 104b，在所述硅锗层 104b 和所述硅层 104a 中形成沟道区，最终形成鳍状结构 104；其中，在含有锗的氛围中通入硅烷和氮气等，选择性地在硅层 104a 上形成硅锗，硅锗层 104b 中锗的较佳的摩尔浓度为 5% ~ 35%，锗掺杂有利于载流子迁移率提高，同时避免锗含量过高引起扩散影响迁移率的提高。由于外延生长的选择性沉积，使形成的硅锗层 104b 包裹所述硅层 104a，相比于现有技术的化学气相沉积工艺结合刻蚀工艺的方法，减少了刻蚀工艺对多栅极场效应晶体管结构的刻蚀损伤，提高了多栅极场效应晶体管的性能。

[0063] 最后，在步骤 S08 中，形成栅极 106，跨设于所述沟道区的侧壁和顶面，形成如图 1 及图 2 所示结构。所述栅极 106 为多晶硅栅极或金属栅极，栅极 106 包括栅极介质层 106a 和位于所述栅极介质层 106a 上的栅极导电层 106b；对于多晶硅栅极，所述栅极导电层 106b 的材质可以为多晶硅，所述栅极介质层 106a 的材质可以为二氧化硅或氮化硅中的一种或其组合等，对于金属栅极，所述栅极导电层 106b 的材质为金属栅极，例如铝，所述栅极介质层 106a 的材质为高介电常数材料层。其形成过程为本领域技术人员所熟知的技术手段，故不再赘述。

[0064] 综上所述，相比于现有技术，本发明的多栅极场效应晶体管的鳍状结构的中间区域包括硅层和硅锗层，所述硅层结构呈圆锥状或圆台状，而所述硅锗层包裹所述硅层，由于硅锗层多个面均包裹所述硅层，故能够对硅层产生较佳的应力作用，提高了鳍状结构中沟道区的迁移率，进一步提高了多栅场效应晶体管的性能。

[0065] 同时，针对所述多栅极场效应晶体管的结构，本发明所揭示的制作方法中，利用倾斜旋转离子注入的方法，在鳍状结构的中间区域形成掺杂区和无掺杂区，并利用掺杂区和无掺杂区的刻蚀速率差距，从而刻蚀去除掺杂区，保留的无掺杂区形成硅层，接着利用外延生长的选择性沉积的特性，形成鳍状结构的工艺简单且提高了多栅极场效应晶体管的性能。

[0066] 虽然本发明已以较佳实施例揭露如上，然其并非用以限定本发明，任何所属技术领域中具有通常知识者，在不脱离本发明的精神和范围内，当可作些许的更动与润饰，因此本发明的保护范围当视权利要求书所界定者为准。

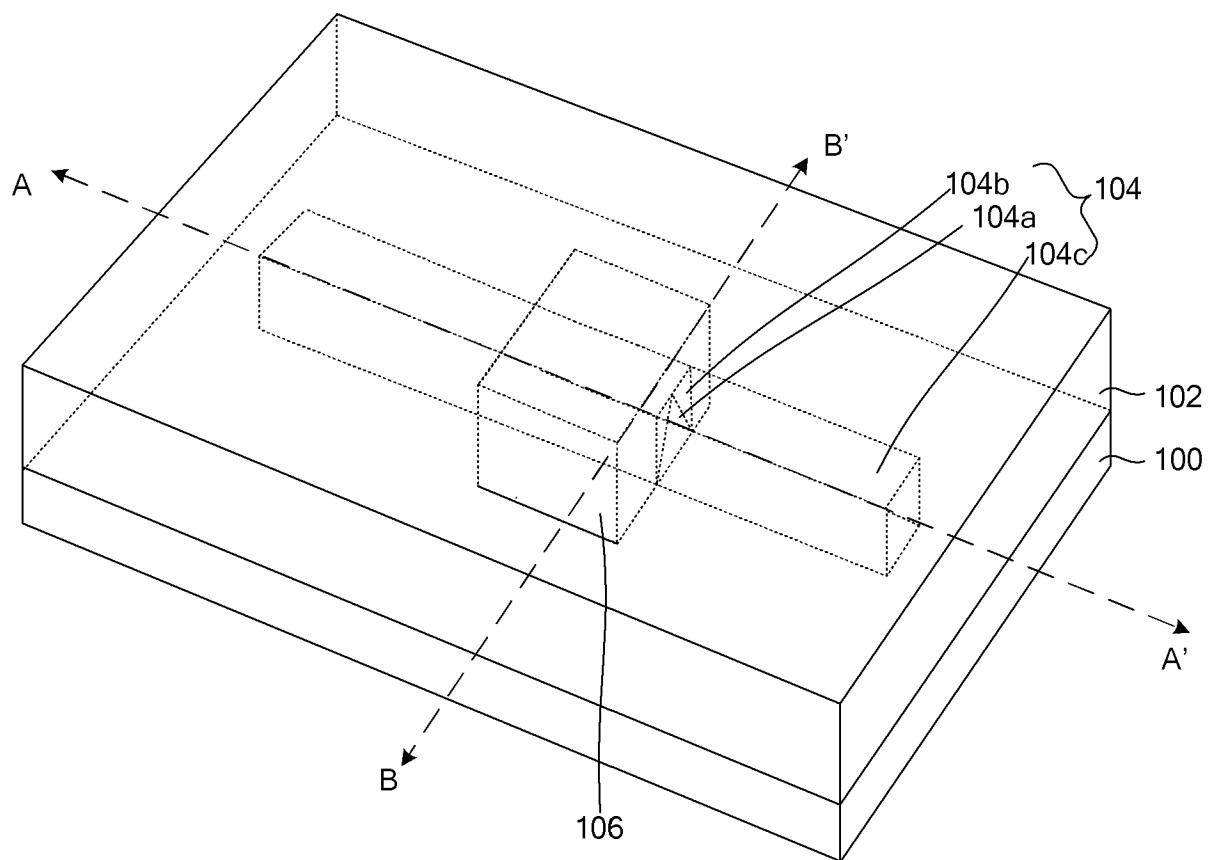


图 1

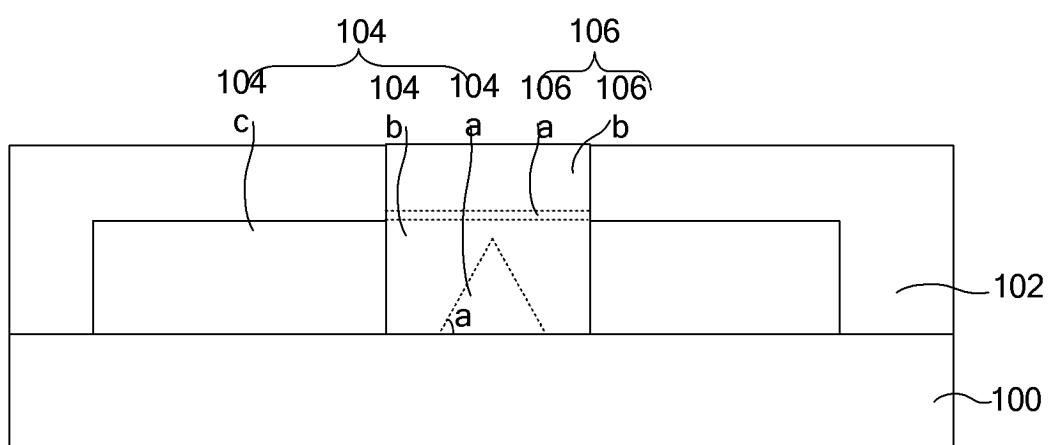


图 2

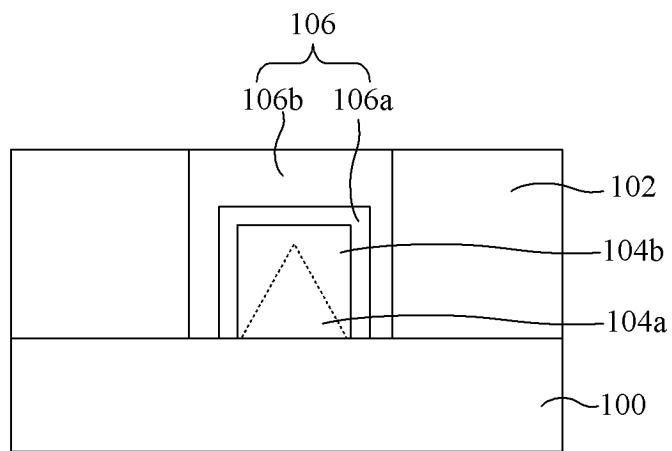


图 3

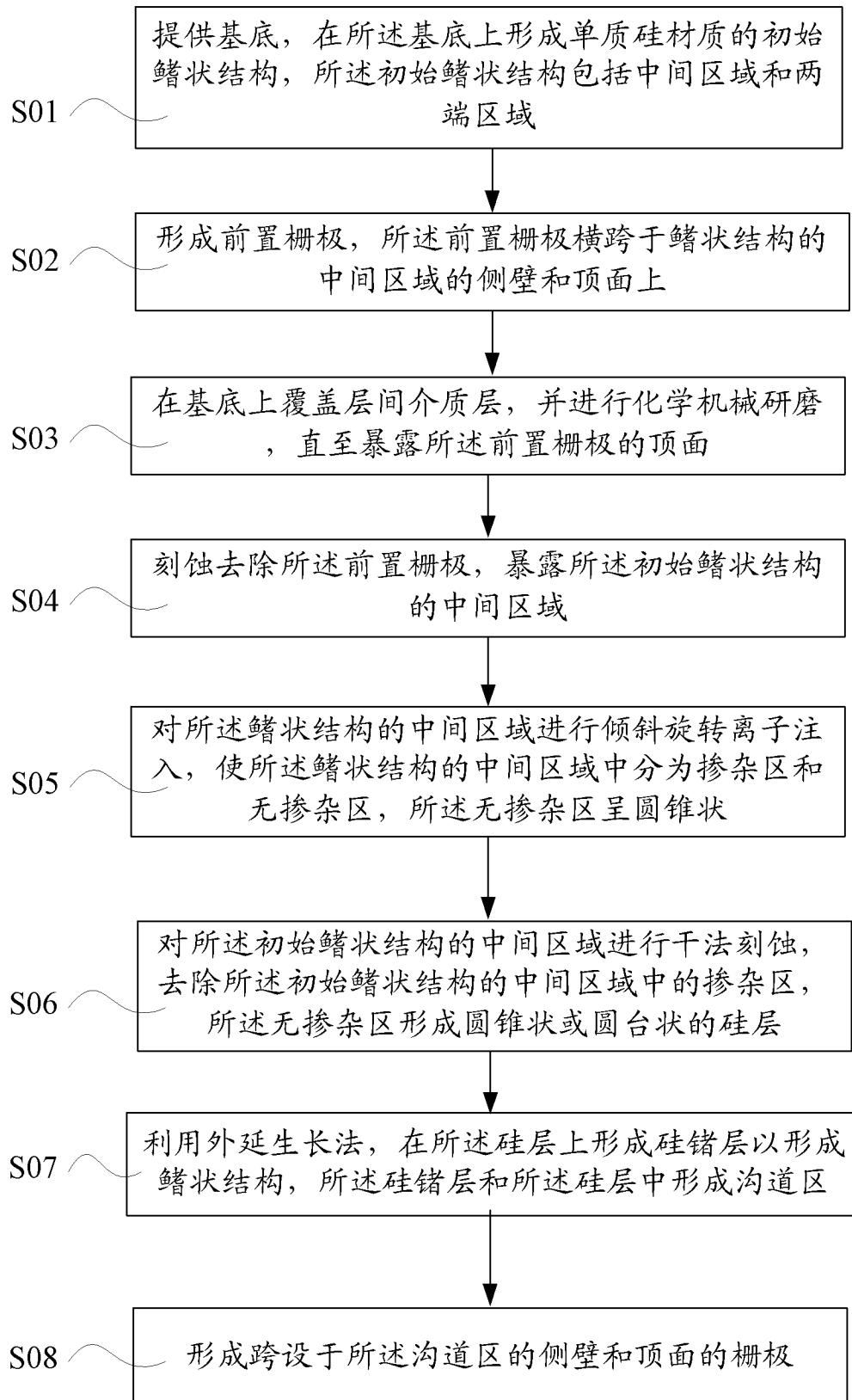


图 4

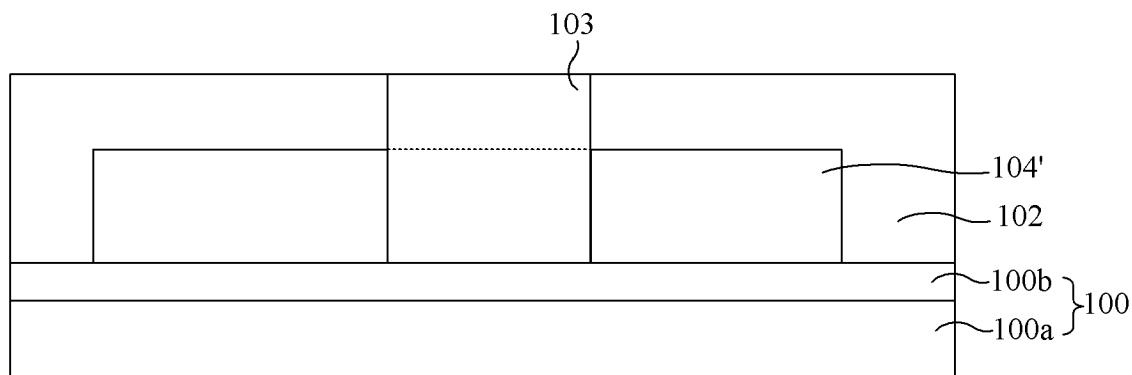


图 5a

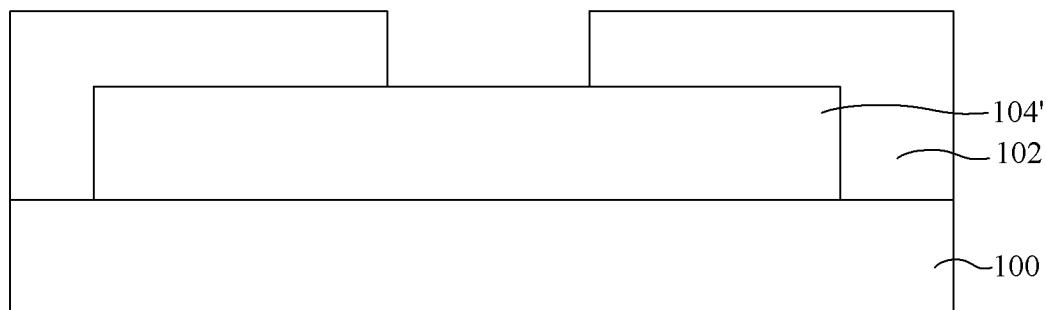


图 5b

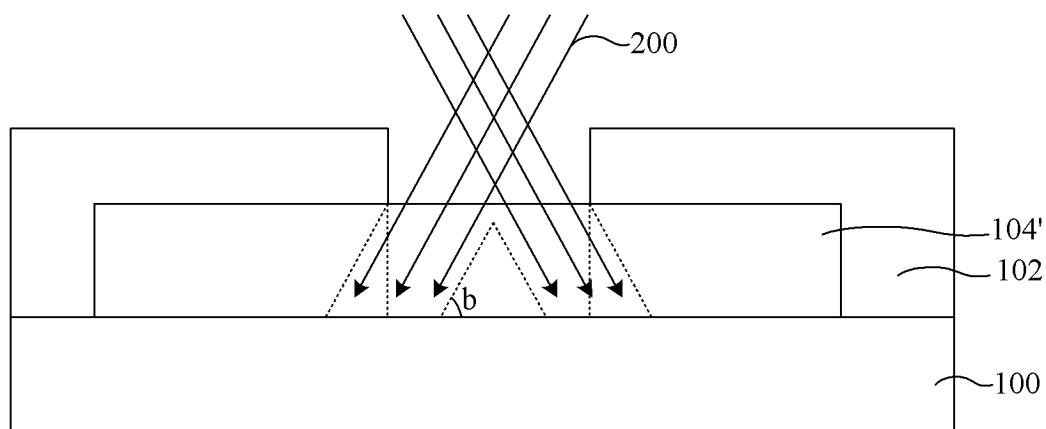


图 5c

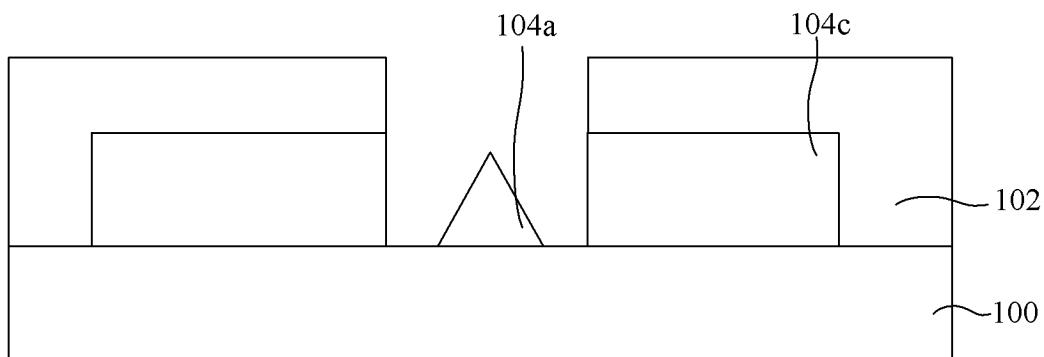


图 5d

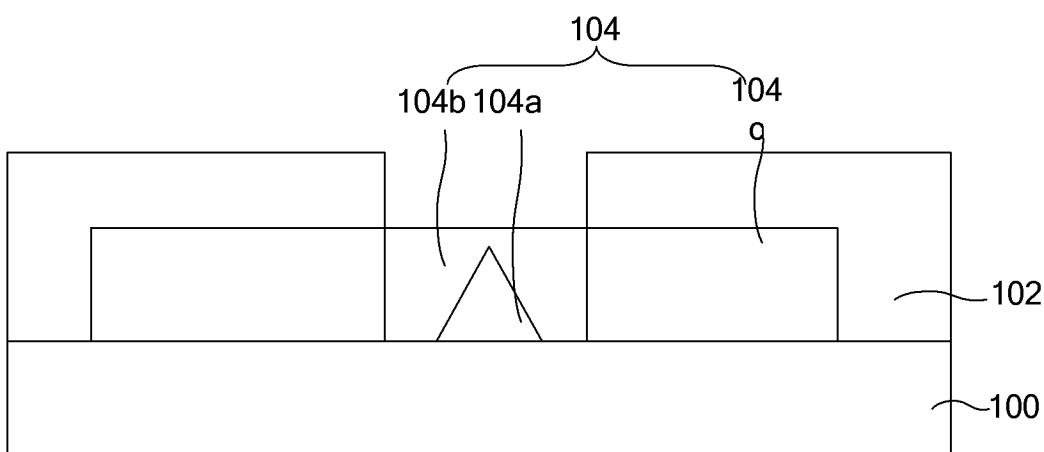


图 5e

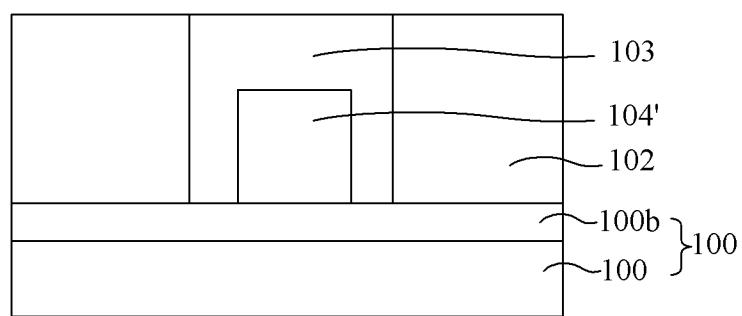


图 6a

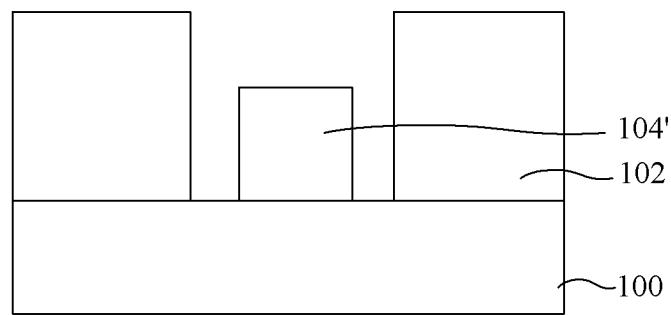


图 6b

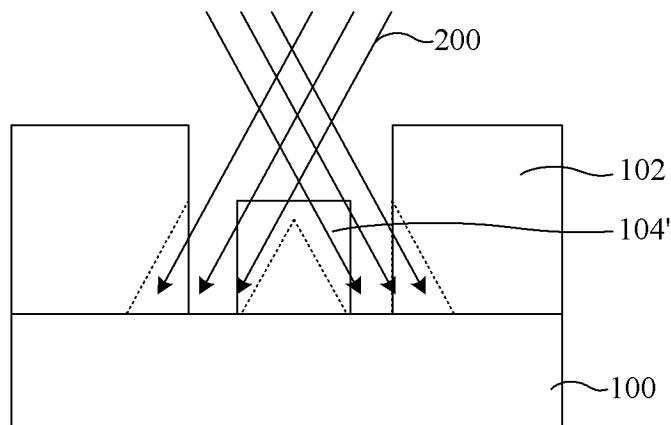


图 6c

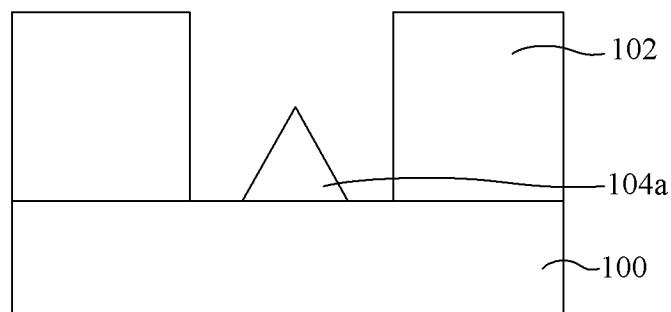


图 6d

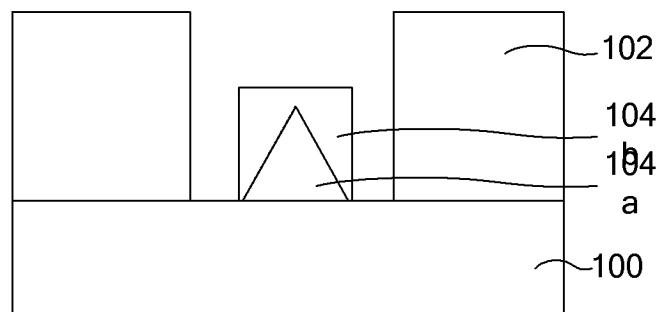


图 6e