



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103940884 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201410100281.8

(22)申请日 2014.03.18

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103940884 A

(43)申请公布日 2014.07.23

(73)专利权人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 吴东平 文宸宇 曾瑞雪 张世理

(74)专利代理机构 上海晨皓知识产权代理事务所(普通合伙) 31260

代理人 成丽杰

(51)Int.Cl.

G01N 27/414(2006.01)

(56)对比文件

- CN 103472115 A, 2013.12.25,
- US 5466348 A, 1995.11.14,
- CN 101183648 A, 2008.05.21,
- CN 102637601 A, 2012.08.15,
- US 2008/0001173 A1, 2008.01.03,
- CN 102169104 A, 2011.08.31,
- JP 昭61-84866 A, 1986.04.30,
- CN 1553514 A, 2004.12.08,

审查员 汪李

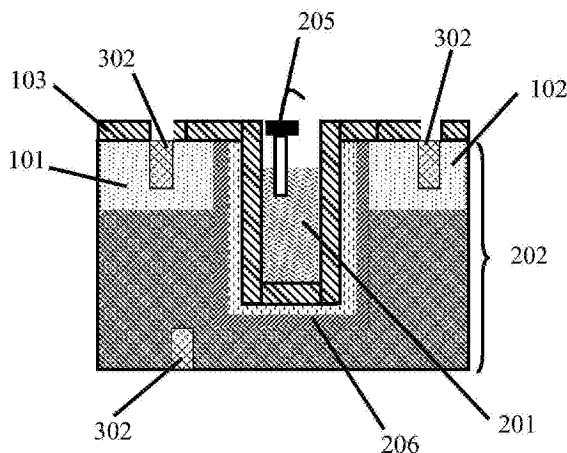
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54)发明名称

离子敏感场效应晶体管及其制备方法

(57)摘要

本发明涉及晶体管,公开了一种离子敏感场效应晶体管及其制备方法。该离子敏感场效应晶体管包含半导体衬底,场氧化层,位于半导体衬底上通过掺杂形成的源极和漏极,源极和漏极之间被刻蚀到半导体衬底内部的凹槽结构,位于凹槽外围并与源极和漏极掺杂类型相同的凹形掺杂区域,该凹形掺杂区域中掺杂浓度峰值处的区域为埋层凹槽,该埋层凹槽与凹槽互不接触,上述场氧化层位于半导体衬底上除源极、漏极和凹槽之外的所有区域,凹槽表面有离子敏感膜。与现有技术相比,本发明中的晶体管能够在测量时免遭周围环境中电磁场的干扰,而且测量时电流密度更大,还能够避免凹槽的表面缺陷或表面固态电荷在测量时对电流灵敏度的影响。



1. 一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,包含:半导体衬底,场氧化层,延伸到所述半导体衬底内部的凹槽,位于所述凹槽外围的凹形掺杂区域,以及位于所述半导体衬底上与所述凹形掺杂区域掺杂类型相同的源极和漏极;

所述场氧化层位于所述半导体衬底上除所述源极、漏极和凹槽之外的所有区域;

所述凹槽和所述凹形掺杂区域均位于所述源极和所述漏极之间;

所述凹形掺杂区域中位于掺杂浓度峰值处的区域形成埋层凹槽;

所述埋层凹槽与所述凹槽表面互不接触;

所述凹槽的深度大于所述源极和漏极的结深;

所述凹槽表面具有离子敏感膜。

2. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述半导体衬底是P型,所述源极、所述漏极以及所述凹形掺杂区域为N型掺杂;或者,

所述半导体衬底是N型,所述源极、所述漏极以及所述凹形掺杂区域为P型掺杂。

3. 根据权利要求2所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述半导体衬底为P型时,所述源极和漏极的N型掺杂浓度大于 $10^{16}/\text{cm}^2$ ,所述凹形掺杂区域的N型掺杂浓度小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,通过对所述凹槽倾斜掺杂形成所述凹形掺杂区域。

5. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述源极和漏极是通过先在半导体衬底上预设区域内掺杂,再通过所述凹槽把掺杂的预设区域分开的方式形成。

6. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述离子敏感膜为单层绝缘介质层,所述离子敏感膜的材料为以下任意一种:

二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述离子敏感膜为具有至少两层的绝缘介质层,与所述半导体衬底接触的层采用的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,最表面的绝缘层采用的材料为以下任意一种:

氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。

8. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,所述场氧化层的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或两者的组合。

9. 根据权利要求1所述的一种离子敏感场效应晶体管,其特征在於,还包含:源引出端、漏引出端和衬底引出端,为分别位于所述源极、漏极和所述半导体衬底背面的金属硅化物接触区。

10. 一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在於,包含以下步骤:

提供半导体衬底;

在所述半导体衬底上沉积场氧化层;

在所述场氧化层上刻蚀出源极和漏极掺杂区域;

对所述源极和漏极掺杂区域进行掺杂;

在所述场氧化层上刻蚀出凹槽区域;

在所述凹槽区域刻蚀出凹槽,所述凹槽将所述源极和漏极掺杂区域隔开形成源极和漏

极;其中,所述凹槽的深度大于所述源极和漏极的结深;

对所述凹槽外围进行与所述源极和漏极同种类型的掺杂,形成位于所述凹槽外围的凹形掺杂区域;其中,所述凹形掺杂区域中位于掺杂浓度峰值处的区域形成埋层凹槽,且所述埋层凹槽与所述凹槽表面互不接触;

在所述凹槽表面生成离子敏感膜。

11. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,所述对源极和漏极掺杂区域进行掺杂以及对所述凹槽外围进行与所述源极和漏极同种类型的掺杂的步骤中,所述半导体衬底是P型,进行N型掺杂;或者,

所述半导体衬底是N型,进行P型掺杂。

12. 根据权利要求11所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,所述半导体衬底为P型时,在所述半导体衬底上进行N型掺杂的掺杂浓度大于 $10^{16}/\text{cm}^2$ ,在所述凹槽外围进行N型掺杂的掺杂浓度小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。

13. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,在所述对凹槽外围进行与所述源极和漏极同种类型的掺杂,形成位于所述凹槽外围的凹形掺杂区域的步骤中,通过对所述凹槽进行倾斜掺杂形成所述凹形掺杂区域。

14. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,在所述凹槽表面生成离子敏感膜的步骤中,生成一层绝缘介质层作为所述离子敏感膜;

其中,所述离子敏感膜的材料为以下任意一种:

二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。

15. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,在所述凹槽表面生成离子敏感膜的步骤中,生成至少两层绝缘介质层作为所述离子敏感膜;

其中,与所述半导体衬底接触的层采用的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,最表面的绝缘层采用的材料为以下任意一种:

氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。

16. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,所述场氧化层为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或两者的叠层结构。

17. 根据权利要求10所述的一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,其特征在于,在所述凹槽表面生成离子敏感膜的步骤之后,还包含以下步骤:

在所述源极、漏极和所述半导体衬底背面形成金属硅化物接触区,分别作为所述源极、漏极和所述半导体衬底的引出端。

## 离子敏感场效应晶体管及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及场效应晶体管,特别涉及一种离子敏感场效应晶体管及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 现有技术中,离子敏感场效应晶体管ISFET器件的结构与去掉金属栅的金属氧化物半导体场效应管MOSFET极为相似,如图1和图2所示,其栅绝缘层是源极101与漏极102之间的平面部分,栅绝缘层上覆盖的一层敏感层103直接与被测溶液201接触,由于被测溶液201中氢离子的存在,在离子敏感膜103与被测溶液201界面上感应出对氢离子敏感的微小的能斯特Nernst响应电位:

$$[0003] \quad \Phi_I = \Phi_0 + 2.3026 \frac{RT}{F} \lg a_{H^+}$$

[0004] 其中 $\Phi_0$ 是标准电极电位, $\Phi_I$ 是感应出的对氢离子敏感的能斯特响应电位; $R$ 是理想气体常数,等于 $8.314570 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , $T$ 是绝对温度, $F$ 是法拉第常数, $1F$ 等于 $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $a_{H^+}$ 是氧化型和还原型化学物质的活度(活度=浓度\*活度系数)。这个能斯特电位使得栅绝缘层表面与源极形成一定的电势差,此电势差与被测溶液的pH值有关,构成所述结构的阈值电压项。阈值电压的表达式为:

$$[0005] \quad V_t(\text{ISFET}) = (E_{\text{ref}} + \Phi_{ij}) + x^{\text{sol}} - \Phi_{\text{eo}} - \left[ \frac{Q_{\text{ox}}}{C_{\text{ox}}} - 2\Phi_f - \frac{\sqrt{4\epsilon_0\epsilon_s q N_a}}{C_{\text{ox}}} + \frac{\Phi_{\text{Si}}}{q} \right]$$

[0006] 其中 $E_{\text{ref}}$ 为参比电极电位, $\Phi_{ij}$ 为参比电极和溶液间的电极电势, $x^{\text{sol}}$ 是溶液/栅绝缘层表面极化势, $\Phi_{\text{eo}}$ 为栅绝缘层与溶液间的界面势, $Q_{\text{ox}}$ 为栅绝缘层与衬底界面以及绝缘层中的总电荷, $\epsilon_0$ 为真空介电常数, $\epsilon_s$ 为硅衬底的介电常数, $\Phi_f$ 为硅衬底的费米势, $C_{\text{ox}}$ 为栅绝缘层电容, $N_a$ 为衬底掺杂浓度, $\Phi_{\text{Si}}$ 为衬底半导体的功函数, $q$ 为单位电荷。所述器件为一种离子敏感场效应晶体管ISFET,工

[0007] 作原理与传统MOSFET类似,线性区和饱和区的电学特性分别为:

[0008] 线性区:

$$[0009] \quad I_{\text{DS}} = \mu_n C_{\text{ox}} \frac{W}{L} (V_{\text{GS}} - V_t) V_{\text{DS}}$$

[0010] 饱和区:

$$[0011] \quad I_{\text{DS}} = \frac{1}{2} \mu_n C_{\text{ox}} \frac{W}{L} (V_{\text{GS}} - V_t)^2$$

[0012] 其中 $\mu_n$ 为电子迁移率, $W$ 是器件源极和漏极的宽度, $L$ 是栅绝缘层的长度, $V_{\text{GS}}$ 是通过参比电极加在器件上的电压, $V_t$ 是上述定义的ISFET的阈值电压, $V_{\text{DS}}$ 是加在器件源极和漏极之间的电压,器件的源和衬底接地。器件工作时在被测溶液中通过参比电极205加电压使器件开启,在源极101和漏极102间加一定偏压,使器件导通工作在线性区或者饱和区,通过恒

定电流测出电压变化或者恒定电压测电流变化就能反映出pH值的变化,通过公式换算就可得到溶液的pH值。

[0013] 由于对被测溶液201中存在的氢离子浓度测量时很容易受到周围电磁场的干扰,而现有技术中由于ISFET器件的栅绝缘层是一个平面区域,不能对被测溶液201中的氢离子起到对周围电磁场的屏蔽作用,而且,离子敏感膜103-被测溶液201界面之间的能斯特响应电位非常微小,稍有偏差就会使测量结果不稳定、重复性差、可靠度低。

[0014] 现有技术中源漏电流在栅绝缘层与衬底界面流动,而其界面的界面态和绝缘层中的固定电荷会影响电流测量的灵敏度,进而影响器件测量的稳定性。

[0015] 现有技术中源极和漏极的形成也存在很大的缺陷,目前的工艺是对半导体衬底202上对应源极和漏极的位置进行离子注入掺杂,在后续的退火过程中杂质的横向扩散会影响沟道的实际有效尺寸。而本发明中的凹槽结构,自动隔开源极和漏极区域,这样可以准确控制沟道区域的尺寸。

## 发明内容

[0016] 本发明的目的在于提供一种离子敏感场效应晶体管及其制备方法,在应用该晶体管进行pH值检测时,使被测溶液中的氢离子免遭周围环境中电磁场的干扰,增大信噪比,而且可以增大从源极到漏极的电流密度,提高电流测量的灵敏度,使测量结果更准确,重复性更高。

[0017] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种离子敏感场效应晶体管,包含:半导体衬底,场氧化层,延伸到所述半导体衬底内部的凹槽,位于所述凹槽外围的凹形掺杂区域,以及位于所述半导体衬底上与所述凹形掺杂区域掺杂类型相同的源极和漏极;

[0018] 所述场氧化层位于所述半导体衬底上除所述源极、漏极和凹槽之外的所有区域;

[0019] 所述凹槽和所述凹形掺杂区域均位于所述源极和所述漏极之间;

[0020] 所述凹形掺杂区域中位于掺杂浓度峰值处的区域形成埋层凹槽;

[0021] 所述埋层凹槽与所述凹槽表面互不接触;

[0022] 所述凹槽的深度大于所述源极和漏极的结深;

[0023] 所述凹槽表面具有离子敏感膜。

[0024] 本发明还提供了一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,包含以下步骤:

[0025] 提供半导体衬底;

[0026] 在所述半导体衬底上沉积场氧化层;

[0027] 在所述场氧化层上刻蚀出源极掺杂区域和漏极掺杂区域;

[0028] 对所述源极掺杂区域和漏极掺杂区域进行掺杂;

[0029] 在所述场氧化层上刻蚀出凹槽区域;

[0030] 在所述凹槽区域刻蚀出凹槽,所述凹槽将所述源极掺杂区域和漏极掺杂区域隔开形成源极和漏极;其中,所述凹槽的深度大于所述源极和漏极的结深;

[0031] 对所述凹槽外围进行与所述源极和漏极同种类型的掺杂,形成位于所述凹槽外围的凹形掺杂区域;其中,所述凹形掺杂区域中位于掺杂浓度峰值处的区域形成埋层凹槽,且所述埋层凹槽与所述凹槽表面互不接触;

[0032] 在所述凹槽表面生成离子敏感膜。

[0033] 与现有技术相比,本发明中ISFET在结构上做了改进,在源极和漏极之间具有凹槽,该凹槽被刻蚀到半导体内部,将源极和漏极分离,凹槽表面具有离子敏感膜,这个具有离子敏感膜的凹槽就相当于栅绝缘层,应用本发明的ISFET进行pH值检测时,将被测溶液注入凹槽内,由于该凹槽的刻蚀深度较深,对于被测溶液可以形成一个比较封闭的空间,这样就能对被测溶液中的氢离子起到屏蔽保护的作用,使得在测量氢离子浓度时免遭周围环境中电磁场的干扰,进而使测量结果的准确性和可重复性都得到了有效的提高;另外,本发明中凹槽外围有一个由掺杂浓度最大值所在的区域形成的埋层凹槽,因为这个埋层凹槽的掺杂类型与其两侧的源极和漏极的掺杂类型相同,电流就更趋向于通过这个凹槽外围的埋层凹槽而不是凹槽表面从源极流向漏极,因此电子或空穴在这个埋层凹槽内的迁移率更高,电流密度更大,同时避免了因为凹槽表面存在的缺陷或固定电荷影响测量电流的灵敏度,增大信噪比,而且可以增大从源极到漏极的电流密度,提高电流测量的灵敏度,重复性更高,提高了整个器件测量的准确性

[0034] 另外,所述半导体衬底是P型,所述源极、所述漏极以及所述凹形掺杂区域为N型掺杂;或者,所述半导体衬底是N型,所述源极、所述漏极以及所述凹形掺杂区域为P型掺杂。

[0035] 半导体衬底与源极和漏极的掺杂类型相反,是ISFET器件的基本特征,在本发明中优选衬底为P型,源极和漏极为N型掺杂的方案,因为电子的迁移率远大于空穴的迁移率,器件响应速度更快。另外,本发明更强调源极、漏极和凹形掺杂区域的掺杂类型是相同的,保证电流趋向于经过凹形掺杂区域而不是凹槽表面从源极流向漏极。

[0036] 优选地,所述半导体衬底为P型时,所述源极和漏极的N型掺杂浓度大于 $10^{16}/\text{cm}^2$ ,所述凹形掺杂区域的N型掺杂浓度小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。

[0037] 本发明中凹形掺杂区域的掺杂浓度要小于源极和漏极的掺杂浓度。若凹形掺杂区域的掺杂浓度过高,P型半导体衬底与N型凹形掺杂区域之间的耗尽层厚度在N型凹形掺杂区域中达到最大时,N型中性区仍然存在,埋层凹槽没有被耗尽,器件不能关断;同时埋层凹槽的位置不能太深,否则栅极将控制不了埋层凹槽,电流仍将在表面流动。只有栅极能够控制埋层凹槽,器件在正常导通时,有效的电子才能从半导体内部流过,避免了界面散射造成的迁移率的下降。

[0038] 优选地,通过对所述凹槽倾斜掺杂形成所述凹形掺杂区域。

[0039] 因为本发明中凹槽是垂直于半导体衬底内部的,所以通过倾斜掺杂保证凹槽外围的所有区域都能够得到掺杂,倾斜掺杂能够更易于形成围绕整个凹槽外围的整体掺杂密度分布较均匀的凹形掺杂区域。

[0040] 优选地,所述源极和漏极是通过先在半导体衬底上预设区域内掺杂,再通过所述凹槽结构把所述掺杂区域分开的方式形成。

[0041] 本发明中,整个半导体衬底表面先通过光刻工艺定义掺杂区域,然后再进行掺杂,然后在预设区域形成凹槽结构,把掺杂区域分开为源极和漏极,这种工艺能保证在整个源极和漏极的区域的掺杂都比较均匀,避免源极和漏极因为掺杂不均造成缺陷,影响器件性能;而且这种掺杂工艺在之后的凹槽形成过程中,源极和漏极与凹槽壁之间也不会出现因为掺杂不均形成的缺陷。

[0042] 其次,所述离子敏感膜为单层绝缘介质层,所述离子敏感膜的材料为以下任意一种:

[0043] 二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。

[0044] 上述离子敏感膜材料对氢离子比较敏感且吸附作用比较强,吸附浓度较高,灵敏度好,这样就使测量结果更加及时有效。

[0045] 再次,上述离子敏感场效应晶体管中的离子敏感膜也可以为至少两层绝缘介质层,其中,与半导体衬底接触的层采用的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,最表面的层采用的材料为氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 中的任意一种。因为 $\text{SiO}_2$ 与半导体衬底的结合性较好,而表面采用对氢离子比较敏感且吸附作用比较强的材料,因此,可以采用叠层结构,使离子敏感膜既能与半导体衬底的结合性较好,又能对氢离子具有较强的吸附作用。

[0046] 另外,所述场氧化层的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或两者的组合。

[0047] 场氧化层位于半导体衬底上除源极、漏极和凹槽之外的所有区域,起到与其他器件隔开的作用,采用绝缘材料二氧化硅或氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或两者的组合形成的叠层结构,该场氧化层在半导体衬底上把源极、漏极与被测溶液之间形成良好隔离,防止被测溶液渗入源极和漏极区域,在溶液和源极漏极之间产生漏电流,进一步保证离子敏感场效应晶体管工作状态的稳定性。

[0048] 另外,本发明中的离子敏感场效应晶体管还包含源引出端、漏引出端和衬底引出端,为分别位于上述源极、漏极和半导体衬底背面的金属硅化物接触区,以便于将源极、漏极和半导体衬底与外接电路相连。

[0049] 作为本发明的进一步改进,在半导体衬底进行掺杂之前还要在该半导体衬底上生成一层绝缘层 $\text{SiO}_2$ 或由 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 组成的叠层绝缘层,该绝缘层在半导体衬底上把源极漏极与被测溶液之间良好隔离,防止被测溶液渗入源极和漏极区域,在溶液和源极漏极之间产生漏电流,进一步保证离子敏感场效应晶体管工作状态的稳定性。

## 附图说明

[0050] 图1是现有技术中ISFET固态pH传感器工作原理示意图;

[0051] 图2A是根据本发明第一实施方式中的离子敏感场效应晶体管示意图;

[0052] 图2B是根据本发明第一实施方式中的离子敏感场效应晶体管测试时外加参比电极的示意图;

[0053] 图3A是根据本发明第二实施方式中的离子敏感场效应晶体管制备方法流程图;

[0054] 图3B~3M是根据本发明第二实施方式中的离子敏感场效应晶体管制备方法示意图;

[0055] 图3N是根据本发明第二实施方式中的离子敏感场效应晶体管制备方法中测试时外加参比电极的示意图。

## 具体实施方式

[0056] 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各实施方式进行详细的阐述。然而,本领域的普通技术人员可以理解,在本发明各实施方式中,为了使读者更好地理解本申请而提出了许多技术细节。但是,即使没有这些技术细节和基于以下各实施方式的种种变化和修改,也可以实现本申请各权利要求所要求保护的技术方案。

[0057] 本发明的第一实施方式涉及一种离子敏感场效应晶体管,如图2A所示,图中左图为俯视图,右图为对应左图中a-a'面的剖面示意图。

[0058] 该离子敏感场效应晶体管包含半导体衬底202,场氧化层204,源极101和漏极102,源极和漏极之间有一个延伸到半导体衬底内部的凹槽结构,该凹槽外围由掺杂形成凹形掺杂区域,该凹形掺杂区域的掺杂类型与上述源极和漏极的掺杂类型相同,凹形掺杂区域中掺杂浓度峰值处的区域形成埋层凹槽206,上述凹槽与该埋层凹槽表面彼此之间互不接触,且上述凹槽的深度大于源极和漏极的结深,上述场氧化层位于半导体衬底上除源极、漏极和凹槽之外的所有区域,凹槽表面生成离子敏感膜103,该凹槽结构和该离子敏感膜共同构成了沟道上的栅绝缘层,形成栅绝缘层后还要分别在源极、漏极和半导体衬底背面制作出金属硅化物接触区,以便于将源极、漏极和半导体衬底与外接电路相连。

[0059] 在本实施方式中半导体衬底的选择也尤为重要,所述半导体衬底可以是上述半导体衬底可以是P型或N型,若半导体衬底是P型,则通过掺杂形成的就是N型的源极、N型的漏极以及N型的凹形掺杂区域;若半导体衬底是N型,则通过掺杂形成的就是P型的源极、P型的漏极以及P型的凹形掺杂区域。半导体衬底与源极和漏极的掺杂类型相反,是ISFET器件的基本特征,在本实施例中,优选使用P型半导体衬底(在本实施方式中的以下叙述均以P型半导体衬底为前提),因为电子的迁移率远大于空穴的迁移率,器件响应速度更快。因此用电子为多数载流子的N型掺杂做源极、漏极和埋层凹槽。另外,本发明更强调源极、漏极和凹形掺杂区域的掺杂类型是相同的,保证电流趋向于经过凹形掺杂区域而不是凹槽表面从源极流向漏极。在本实施方式中的以下叙述均以P型半导体衬底为前提。

[0060] 当半导体衬底为P型时,源极和漏极的N型掺杂浓度大于 $10^{16}/\text{cm}^2$ ,凹形掺杂区域的N型掺杂浓度小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。本实施方式中凹形掺杂区域的掺杂浓度要小于源极和漏极的掺杂浓度。若凹形掺杂区域的掺杂浓度过高,P型半导体衬底与N型凹形掺杂区域之间的耗尽层厚度在N型凹形掺杂区域中达到最大时,N型中性区仍然存在,埋层凹槽没有被耗尽,器件不能关断;同时埋层凹槽的位置不能太深,否则栅极将控制不了埋层凹槽,电流仍将在表面流动。只有栅极能够控制埋层凹槽,器件在正常导通时,有效的电子才能从半导体内部流过,避免了界面散射造成的迁移率的下降。通过掺杂浓度大于 $10^{16}/\text{cm}^2$ 的N型掺杂形成高掺杂浓度的源极101和漏极102,并通过掺杂浓度小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。

[0061] 另外,本发明更强调源极、漏极和凹形掺杂区域的掺杂类型相同,且源极和漏极的掺杂浓度大于凹形掺杂区域的掺杂浓度,这样就既能保证电流趋向于经过凹槽外围的埋层凹槽而不是凹槽表面从漏极流向源极,防止由于凹槽表面存在缺陷使测量时器件的信噪比降低,提高测量电流的灵敏度,提高整个器件测量的准确性和可靠性。

[0062] 另外,因为本发明中凹槽是垂直于半导体衬底内部的,所以通过倾斜掺杂保证凹槽外围的所有区域都能够得到掺杂,倾斜掺杂能够更易于形成围绕整个凹槽外围的整体掺杂密度分布较均匀的凹形掺杂区域,进而形成掺杂浓度峰值也较均匀的埋层凹槽。

[0063] 在本实施例中所述的源极和漏极的形成工艺与现有技术有所不同,首先在半导体衬底表面的预设区域掺杂形成源极掺杂区域和漏极掺杂区域,然后再在预设的凹槽区域形成凹槽结构,该凹槽结构把源极掺杂区域和漏极掺杂区域隔开形成源极和漏极,这种工艺能够保证在整个源极和漏极区域掺杂都比较均匀,避免源极和漏极因为掺杂不均造成缺陷,影响器件性能;而且这种掺杂工艺在之后的凹槽形成过程中,源极和漏极与凹槽壁之间



也不会出现因掺杂不均而形成的缺陷。

[0064] 此外,对半导体衬底进行掺杂和对凹槽外围的掺杂可以采用离子注入等现有的比较成熟的方法实现,在此不再赘述。

[0065] 本实施例中的离子敏感膜为单层绝缘介质层,离子敏感膜材料为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,这些离子敏感膜材料对氢离子比较敏感且吸附作用比较强,吸附浓度较高,灵敏度好,这样就使测量结果更加及时有效。该离子敏感膜也可以是至少两层绝缘介质层,其中,与半导体衬底接触的层采用的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,因为 $\text{SiO}_2$ 与半导体衬底的结合性较好,最表面的层采用的材料为氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 中的任意一种,因为这些材料对氢离子比较敏感,且吸附作用比较强,采用这样的叠层结构,使离子敏感膜既能与半导体衬底的结合性较好,又能对氢离子具有较强的吸附作用。本实施例中离子敏感膜可以通过热氧化、化学气相沉积或原子层沉积的方式把上述材料制成薄膜,这些方式相对来说都比较简单易行,对成膜设备要求也不高,能降低整个器件的制备成本。

[0066] 另外,本实施方式中的场氧化层可以是二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或它们组成的叠层结构,该场氧化层在半导体衬底上把源极、漏极与被测溶液之间良好隔离,防止被测溶液渗入源极和漏极区域,在溶液和源极漏极之间产生漏电流,进一步保证离子敏感场效应晶体管工作状态的稳定性。

[0067] 如果上述场氧化层是二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,可以采用高温氧化技术、正硅酸乙酯 (TEOS) 低压化学气相沉积 (LPCVD) 技术或两种技术的结合来形成。LPCVD  $\text{SiO}_2$ 与高温热氧化 $\text{SiO}_2$ 相比,薄膜质量较疏松,但能在一定程度上弥补高温氧化技术形成较厚 $\text{SiO}_2$ 层时带来的应力和缺陷以及工艺温度过高的弊端。因此,采用LPCVD技术与高温氧化技术的结合运用,既能保证 $\text{SiO}_2$ 薄膜的致密性和与半导体衬底的粘附能力,又能提高了器件的电性能和成品率。

[0068] 本实施方式中当ISFET器件进行测量时可以另外在被测溶液里插入一个参比电极205,该参比电极为一个填充了3.5M氯化钾KCl溶液的银Ag/氯化银AgCl参比电极,该参比电极有稳定被测溶液电势的作用,如图2B所示。

[0069] 与现有技术相比,本实施方式中的绝缘栅层是凹槽结构,且这个凹槽的深度大于源极和漏极的结深。由于上述Nernst响应电位非常微小,外界环境中一个很小的影响因素就可能这个电位测量不准,本实施例中所述的凹槽较深,对于被测溶液可以形成一个比较封闭的空间,这样就能对被测溶液中的氢离子起到屏蔽保护的作用,使得在测量时氢离子免遭周围环境中电磁场的干扰,进而使测量结果的准确性和可重复性都得到了有效的提高。另外,本实施例中凹槽外围有一个由掺杂浓度最大值所在的区域形成的埋层凹槽,因为这个埋层凹槽的掺杂类型与其两侧的源极和漏极的掺杂类型相同,电流就更趋向于通过这个凹槽外围的埋层凹槽而不是凹槽表面从漏极流向源极,因此电子或空穴在这个埋层凹槽内的迁移率更高,电流密度更大,同时避免了因为凹槽表面存在的缺陷或固定电荷影响测量电流的灵敏度,增大信噪比,而且可以增大从源极到漏极的电流密度,提高电流测量的灵敏度,重复性更高,提高了整个器件测量的准确性。

[0070] 本发明第二实施方式涉及一种离子敏感场效应晶体管的制备方法,如图3A是本实施方式提供的离子敏感场效应晶体管的制备方法的流程图,图3B至图3M为本实施方式提供的离子敏感场效应晶体管的制备方法中各步骤对应的俯视图(左)和对应俯视图中a-a'面的剖面示意图(右)。下面结合图3A至图3M,对本实施方式提供的离子敏感场效应晶体管的

制备方法进行具体说明。

[0071] 步骤S1:提供半导体衬底202,并在该半导体衬底上形成场氧化层204,如图3B和3C所示。

[0072] 上述半导体衬底可以是P型或N型,若半导体衬底是P型,则通过掺杂形成的就是N型的源极和漏极;若半导体衬底是N型,则通过掺杂形成的就是P型的源极和漏极。P型半导体衬底通过掺杂形成N型的源极和漏极,因为电子的迁移率远大于空穴的迁移率,因此用电子为多数载流子的N型掺杂做源极和漏极,器件响应速度更快。本实施例中,以下叙述均以P型半导体衬底为例来说明。

[0073] 上述场氧化层可以是一层或多层结构,绝缘层的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ 、氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 或它们组成的叠层结构,该场氧化层在半导体衬底上把源极和漏极与被测溶液之间良好隔离,防止被测溶液渗入源极和漏极区域,在溶液和源极、漏极之间产生漏电流,进一步保证离子敏感场效应晶体管工作状态的稳定性。

[0074] 本实施例中场氧化层为 $\text{SiO}_2$ 材料,可以通过高温氧化技术、正硅酸乙酯(TEOS)低压化学气相淀积(LPCVD)技术或两种技术的结合来形成,应用TEOS LPCVD技术实现 $\text{SiO}_2$ 在半导体衬底表面的淀积,在一定程度上弥补了高温氧化技术形成较厚 $\text{SiO}_2$ 层时间过长、工艺温度过高和产生应力及缺陷等弊端。采用TEOS LPCVD技术与高温氧化技术的合理运用,既保证了 $\text{SiO}_2$ 薄膜的致密性和与半导体衬底的粘附能力,又提高了器件的电性能和成品率。

[0075] 步骤S2:第一次光刻后,刻蚀出需要进行N型掺杂的掺杂区域,并对其进行掺杂,形成源极和漏极掺杂区域203,如图3D和3H所示。

[0076] 具体的说,上述步骤S2中还包含以下子步骤:

[0077] 步骤S201,在场氧化层上涂覆一层光刻胶301,如图3D所示。该层光刻胶可以采用旋转涂覆的方式涂覆在该场氧化层上。

[0078] 步骤S202,通过曝光、显影工艺制备出如图3E所示的条状图形,暴露出需要去除的场氧化层204。

[0079] 步骤S203,用干法刻蚀或湿法刻蚀与干法刻蚀结合的方式刻蚀掉步骤S202中已经暴露的场氧化层,裸露出条状半导体衬底202,如图3F所示。

[0080] 步骤S204,对表面进行N型离子注入掺杂,形成条状的N型源极和漏极掺杂区域203,此源极和漏极掺杂区域为之后形成N型源极和N型漏极奠定基础,如图3G所示。

[0081] 步骤S205,去除光刻胶后,暴露出条状的场氧化层204和条状的N型源极和漏极掺杂区域203,如图3H。

[0082] 步骤S3:第二次光刻,在N型源极和漏极掺杂区域和半导体衬底上刻蚀出凹槽,将源极和漏极掺杂区域隔开,形成N型源极和N型漏极。

[0083] 具体的说,再经过一次匀胶、对准曝光、显影并刻蚀后(即重复步骤S201~步骤S203,只是换一个掩模板,此处不再赘述),得到4个(示意图中显示4个,实际上会有很多个)刻蚀到半导体衬底内部的凹槽,如图3I所示,该凹槽将源极和漏极掺杂区域203隔开形成源极101和漏极102,且该凹槽的刻蚀深度大于源极或漏极的结深,至此,源极和漏极形成。

[0084] 在测量时,被测溶液201注入凹槽,凹槽就能对被测溶液201中的氢离子起到屏蔽保护的作用,使得在测量时,氢离子免遭周围环境中电磁场的干扰,进而使测量结果的准确

性和可重复性都得到了有效的提高。

[0085] 凹槽结构是用干法刻蚀或湿法刻蚀与干法刻蚀结合的方式刻蚀至半导体衬底内部的,利用干法刻蚀各项异性好、刻蚀速率高和可以高保真的转移光刻图形的优点,准确、快速的刻蚀出上述凹槽;湿法刻蚀与干法刻蚀结合的方式能先利用干法刻蚀的各向异性刻出高深宽比的凹槽,再用湿法刻蚀刻蚀的各项同性使得凹槽棱角处圆滑。这样避免了器件工作时栅极氧化层容易在尖锐的棱角处击穿的问题,使得器件工作的稳定性与寿命提升。

[0086] 步骤S4:对凹槽外围进行倾斜N型掺杂,形成埋层凹槽206。

[0087] 具体地说,对凹槽外围进行倾斜的N型掺杂,使凹槽外围形成一个N型的凹形掺杂区域作为埋层凹槽206,如图3J所示。

[0088] 因为这个埋层凹槽的掺杂类型与其两侧的源极和漏极的掺杂类型都是N型,器件开启时电流在埋层凹槽内流动,载流子在埋层凹槽中的表面散射小,迁移率更高,避免了因为凹槽表面存在的缺陷影响信噪比,或槽体表面存在的固定电荷影响测量电流的灵敏度,提高了整个器件测量的准确性。

[0089] 形成埋层凹槽之后去除光刻胶,如图3K所示。

[0090] 步骤S5:热氧化法或/和原子层沉积(ALD)的方法在整个半导体衬底表面生成离子敏感膜103,如图3L所示。

[0091] 其中的离子敏感膜可以是单层绝缘介质层,离子敏感膜材料为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,这些离子敏感膜材料对氢离子比较敏感且吸附作用比较强,吸附浓度较高,灵敏度高,这样就使测量结果更加及时有效。该离子敏感膜也可以是至少两层绝缘介质层,其中,与半导体衬底202接触的层采用的材料为二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ,因为 $\text{SiO}_2$ 与半导体衬底202的结合性较好,最表面的层采用的材料为氮化硅 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、氧化铝 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或五氧化二钽 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 中的任意一种。本实施例中离子敏感膜可以通过热氧化、化学气相沉积或原子层沉积等方式把上述材料制成薄膜,这些方式相对来说都比较简单易行,对成膜设备要求也不高,本实施方式中优选使用热氧化法,降低整个器件的制备成本。

[0092] 步骤S6:经过第三次光刻,刻蚀出金属硅化物接触孔,沉积形成金属硅化物接触区302,如图3M。

[0093] 具体地说,再次经过匀胶、对准曝光、显影并刻蚀后(即重复步骤S201~步骤S203,只是换一个掩模板,此处不再赘述),分别在源极、漏极及半导体衬底下形成金属硅化物接触孔,然后在金属硅化物接触孔内形成金属硅化物接触区302,最后,在金属硅化物接触区上镀一层金属镍Ni,退火后形成金属硅化物接触,便于之后整个器件与外部电路的连接。

[0094] 在本实施方式中当ISFET器件进行测量时可以另外在被测溶液201里插入一个参比电极205,如图3N所示。该参比电极为一个填充了3.5M KCl溶液的Ag/AgCl参比电极,该参比电极有稳定被测溶液电势的作用,从而进一步提高了测量结果的准确性和可靠性。

[0095] 不难发现,本实施方式可与第一实施方式互相配合实施。第一实施方式中提到的相关技术细节及制备步骤在本实施方式中依然有效,为了减少重复,这里不再赘述。相应地,本实施方式中提到的相关技术细节也可应用在第一实施方式中。

[0096] 本领域的普通技术人员可以理解,上述各实施方式是实现本发明的具体实施例,而在实际应用中,可以在形式上和细节上对其作各种改变,而不偏离本发明的精神和范围。

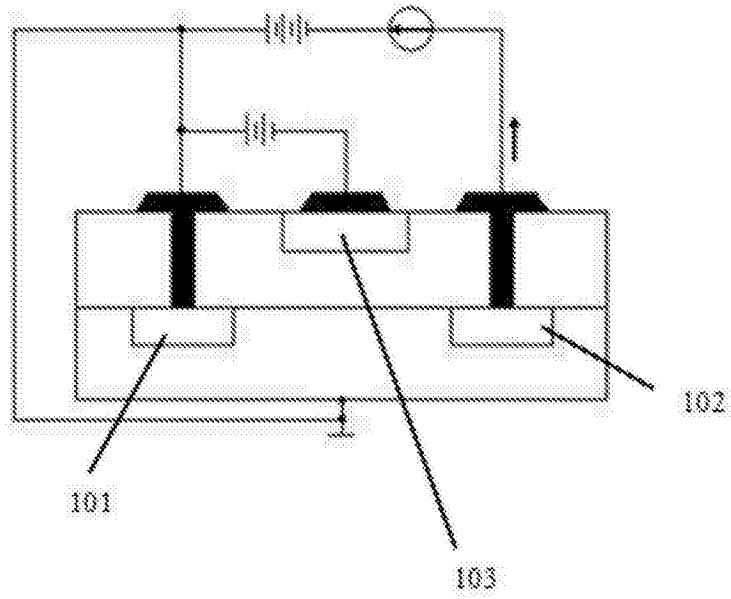


图1

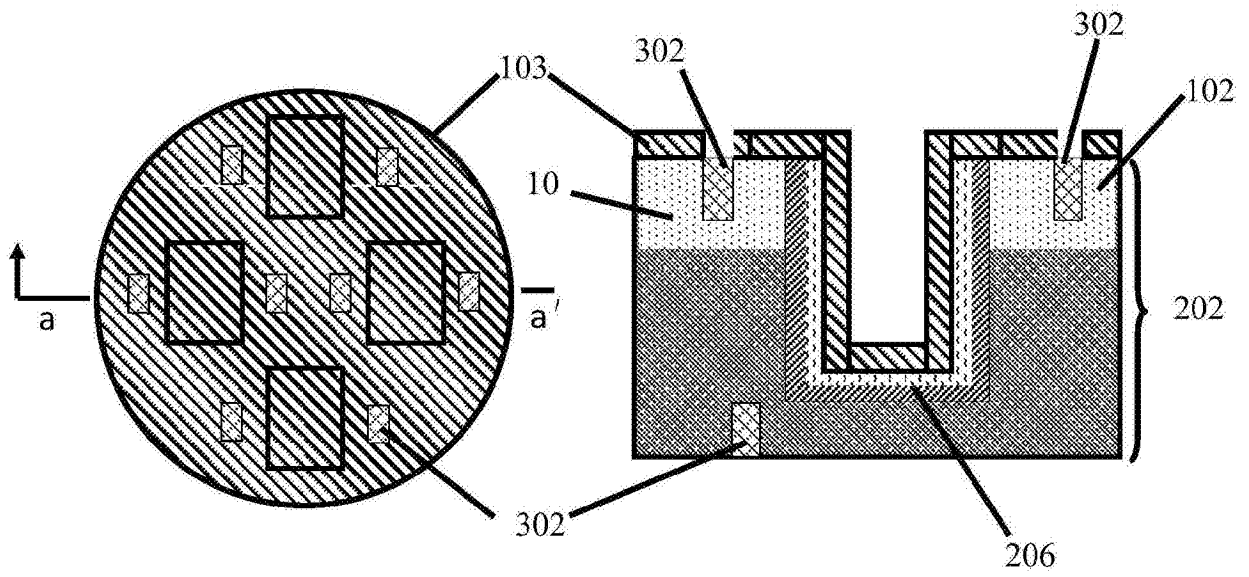


图2A

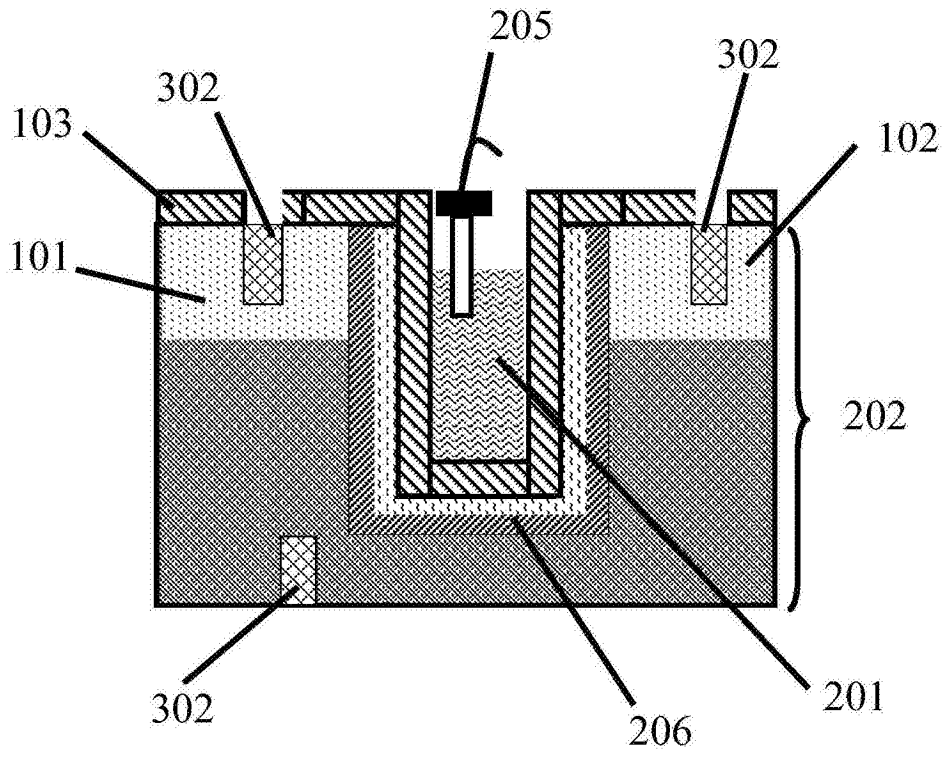


图2B

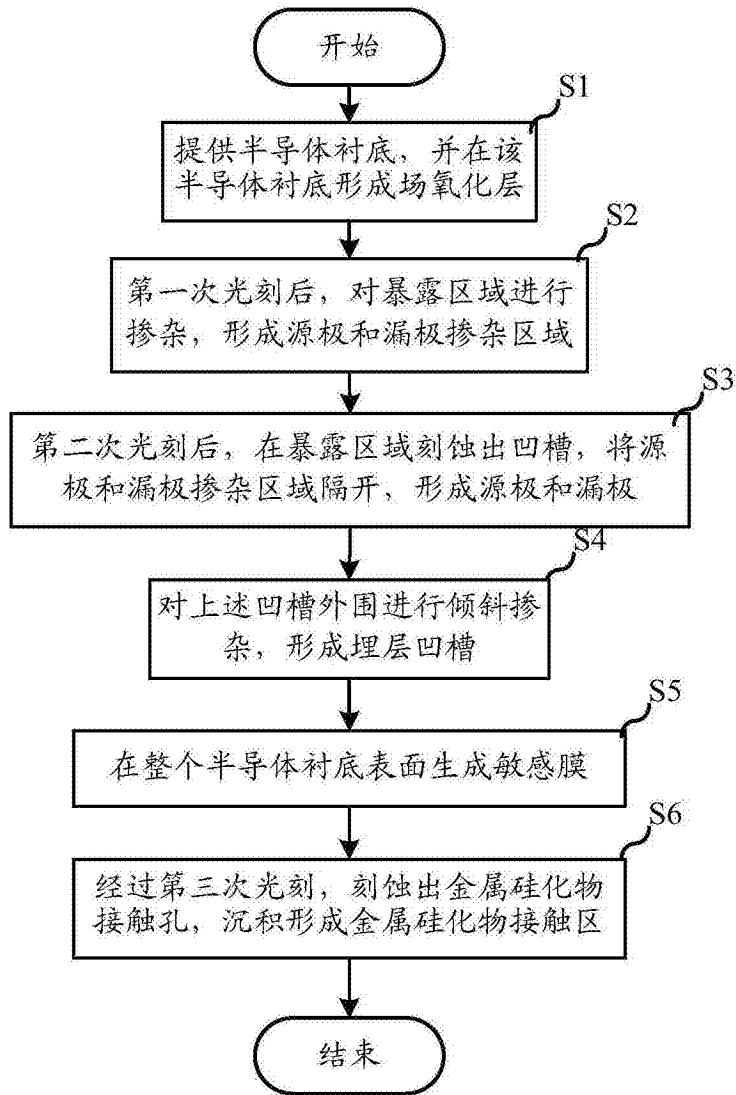


图3A

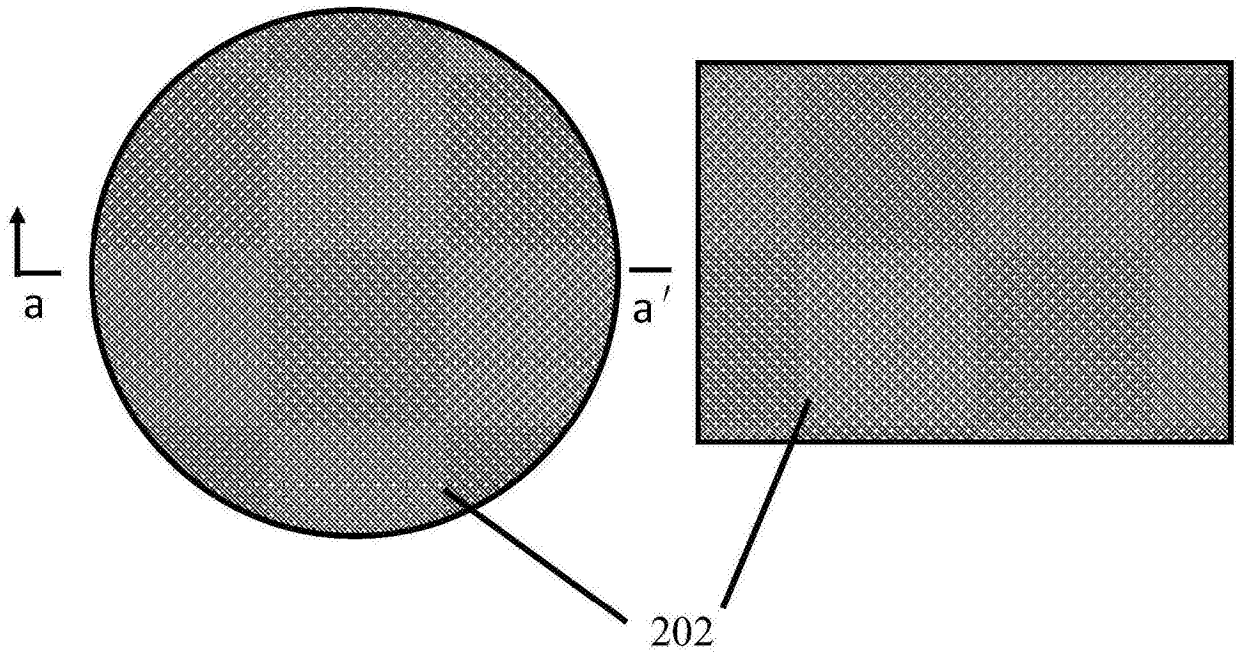


图3B

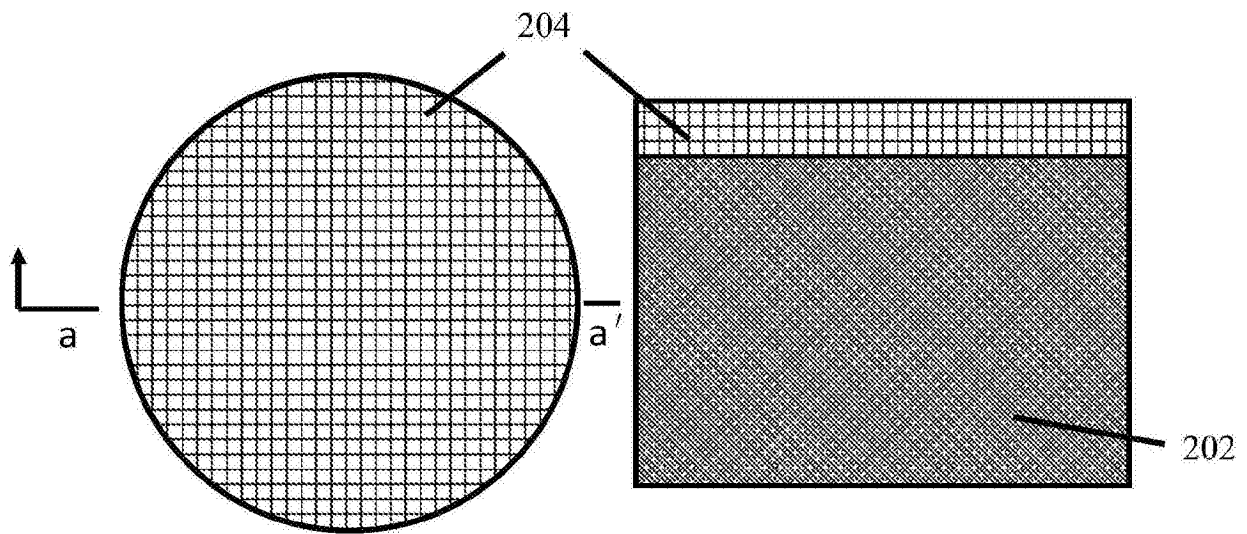


图3C

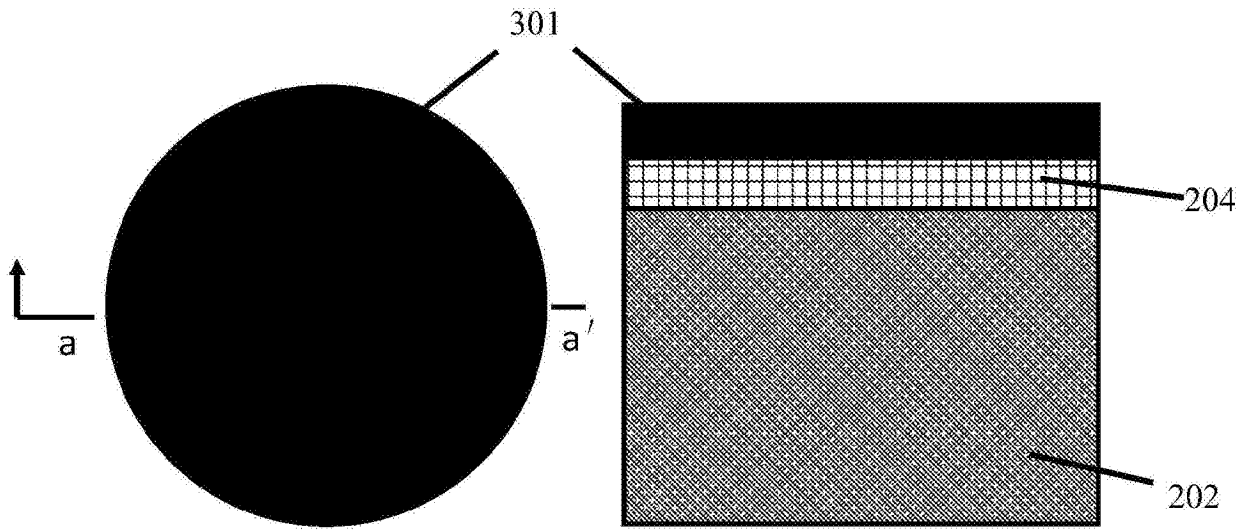


图3D

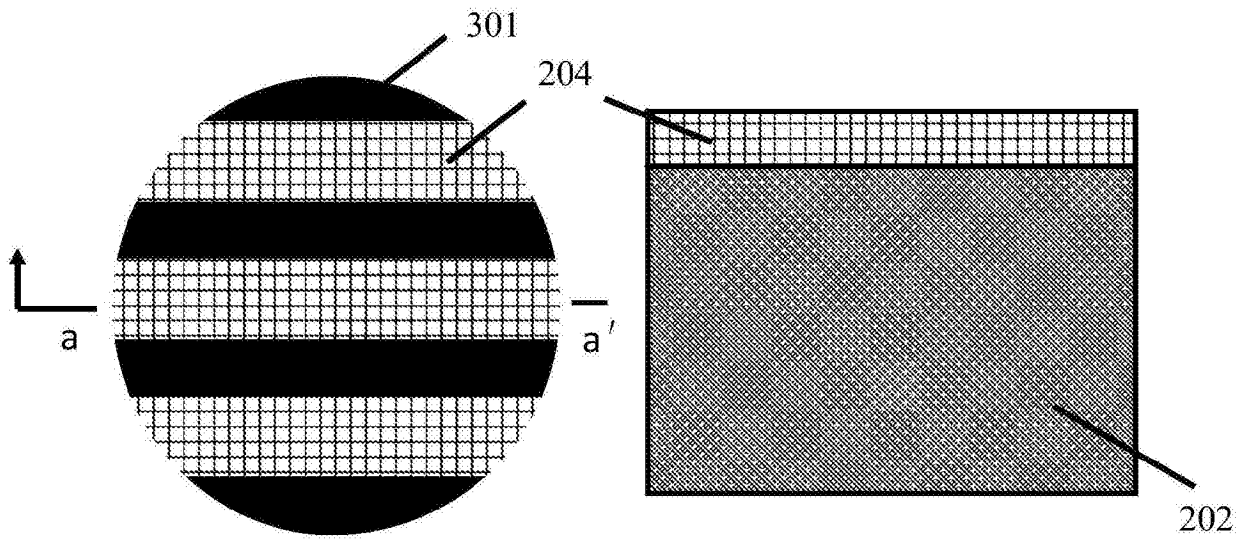


图3E



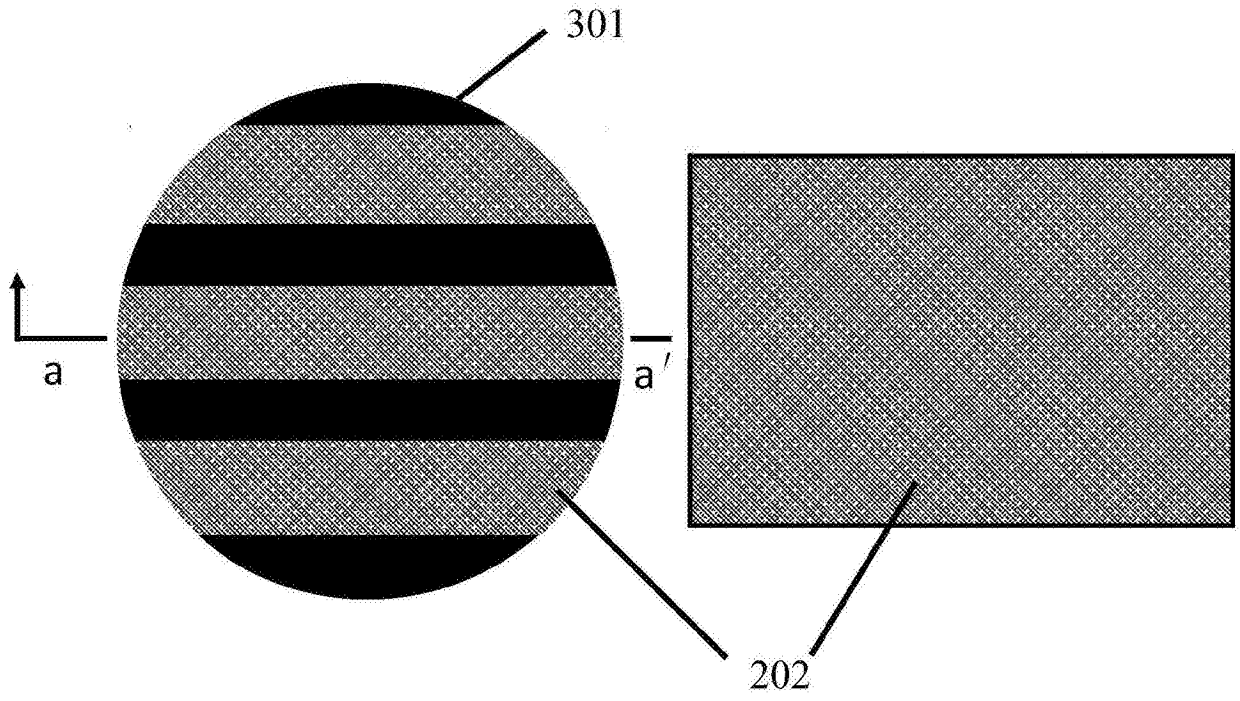


图3F

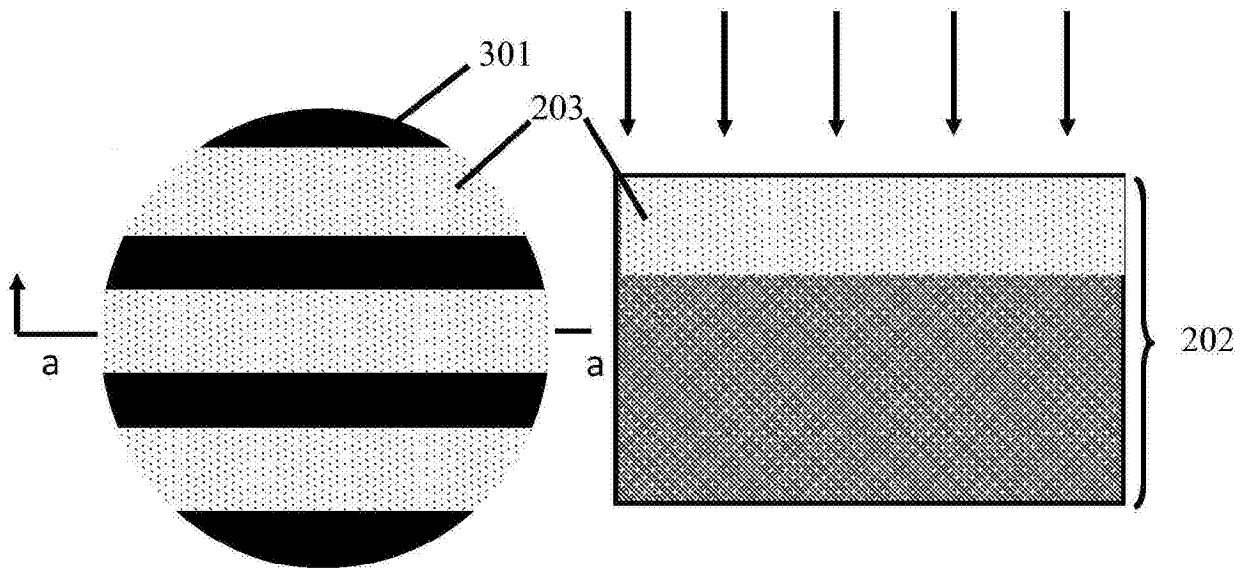


图3G

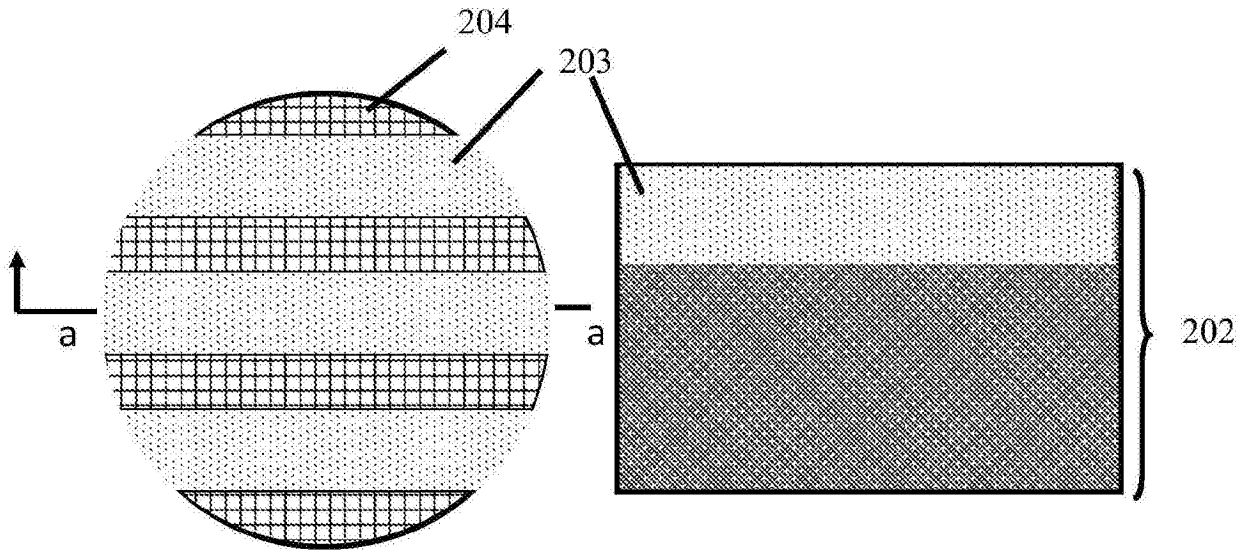


图3H

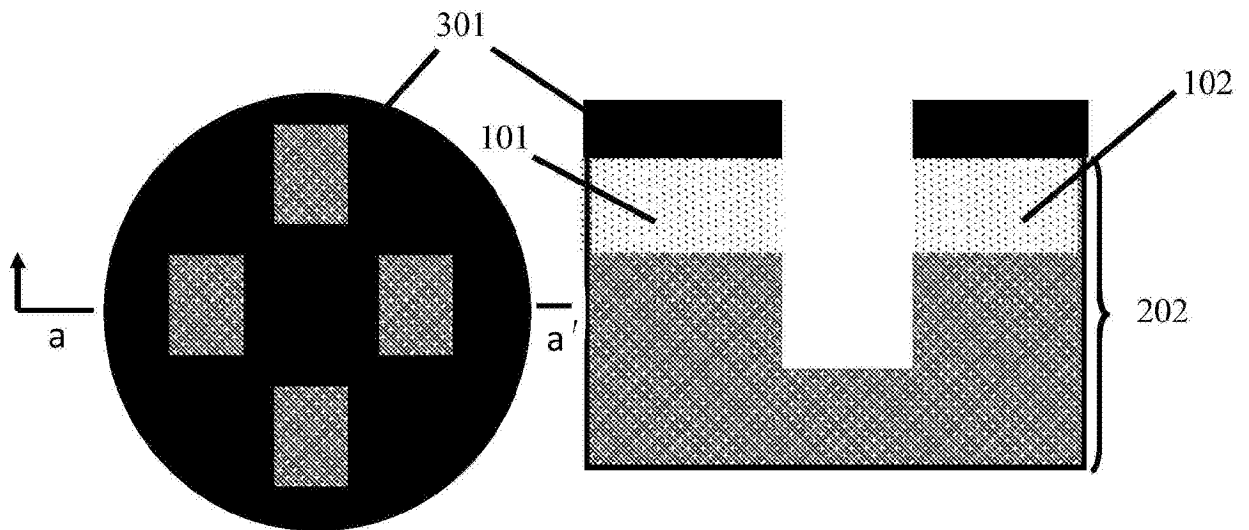


图3I

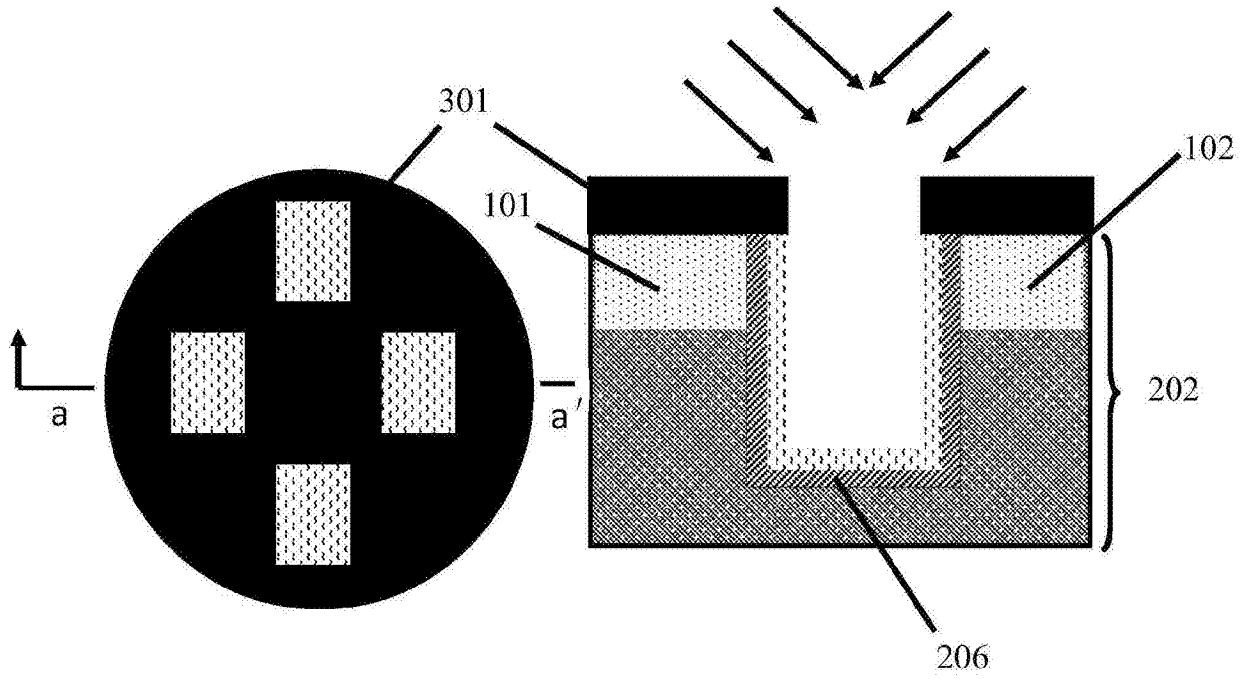


图3J

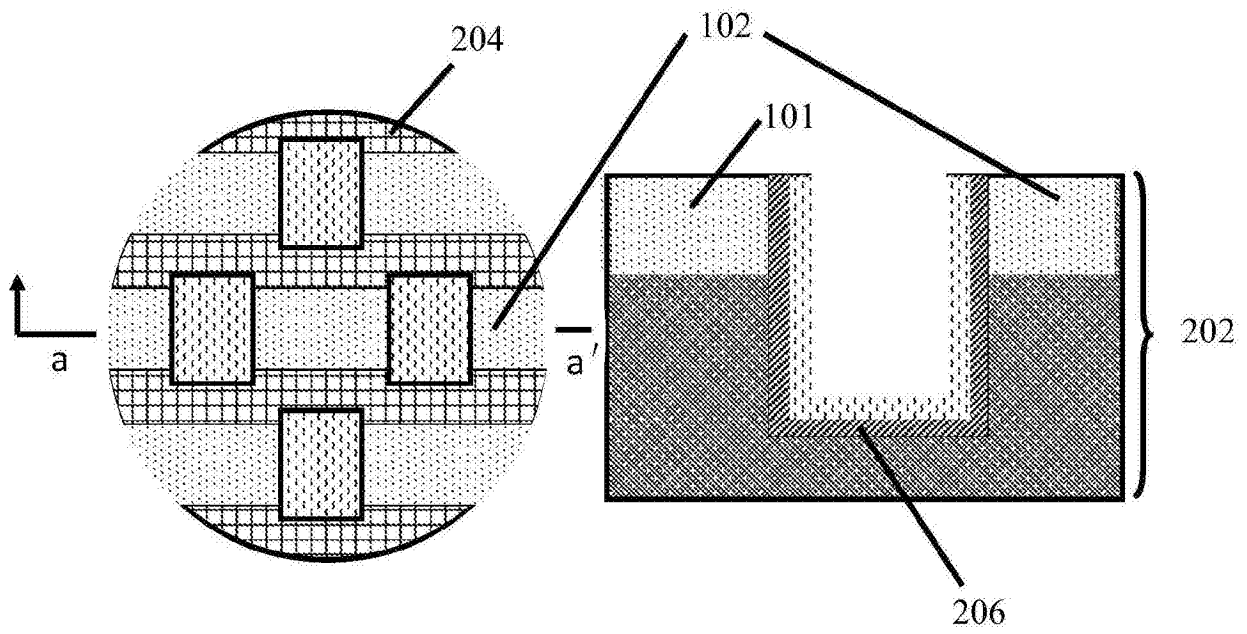


图3K

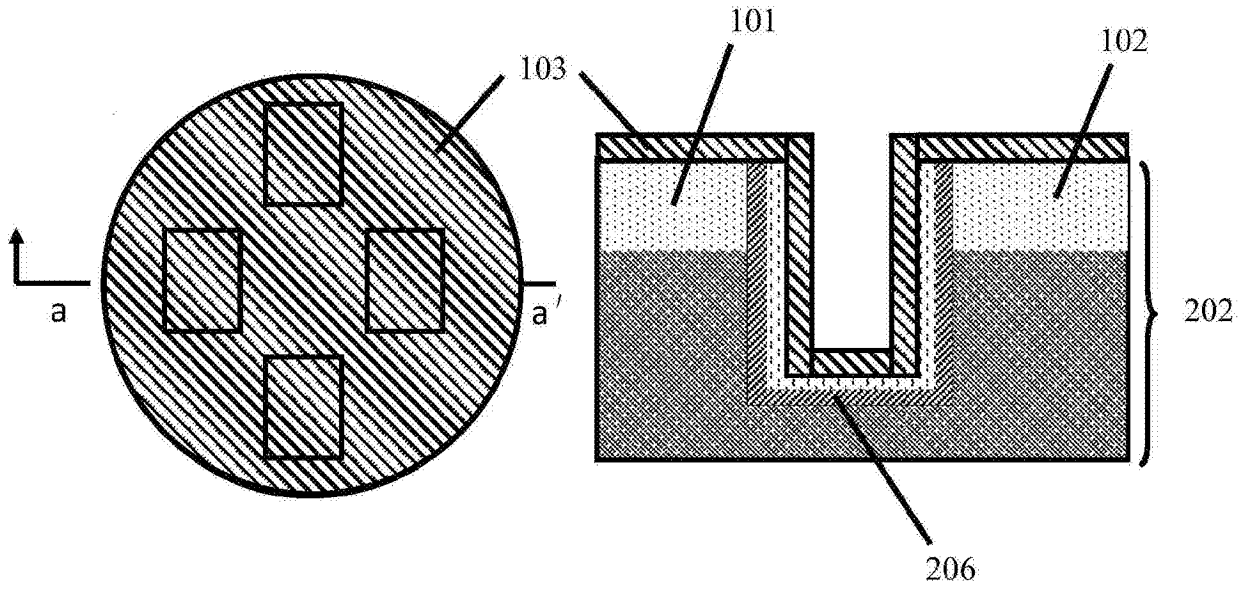


图3L

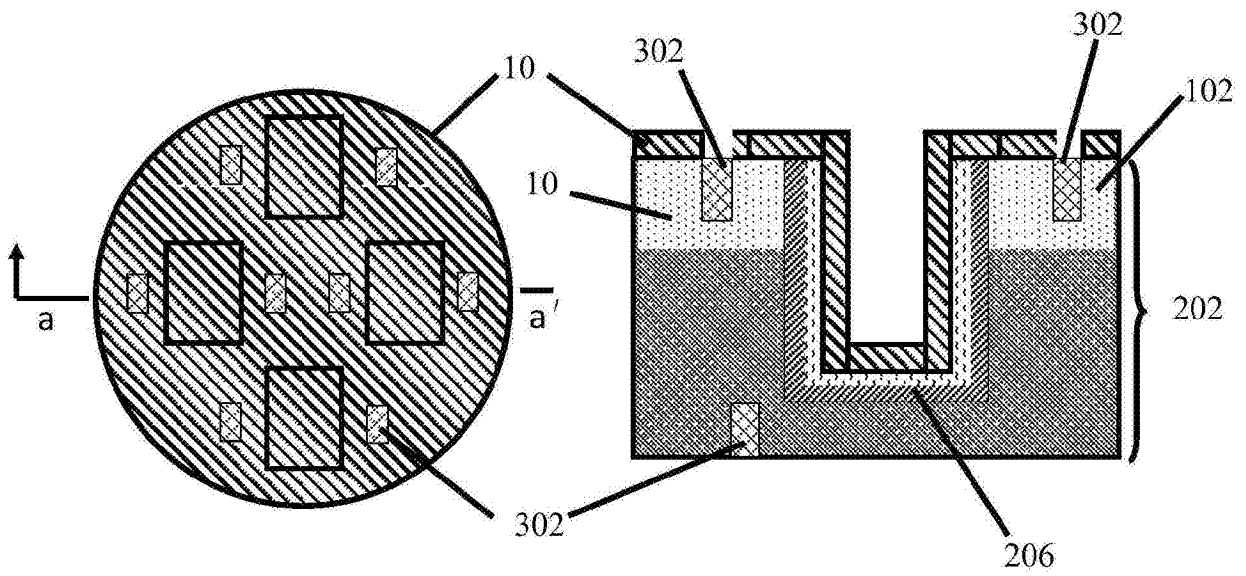


图3M

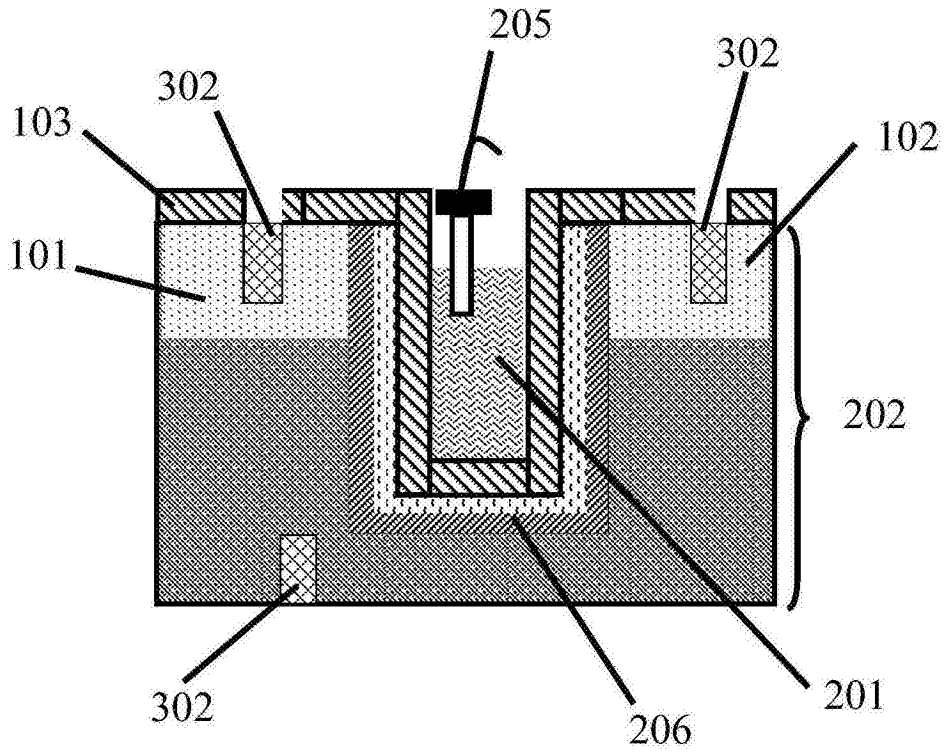


图3N