



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104049112 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201410300612. 2

(22) 申请日 2014. 06. 27

(73) 专利权人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

地址 200050 上海市长宁区长宁路 865 号

专利权人 东南大学

(72) 发明人 李铁 袁志山 陈云飞 梁晨
张啸 倪中华 易红 王跃林

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所 31219
代理人 李仪萍

(51) Int. Cl.

G01Q 70/12(2010. 01)

审查员 李媛媛

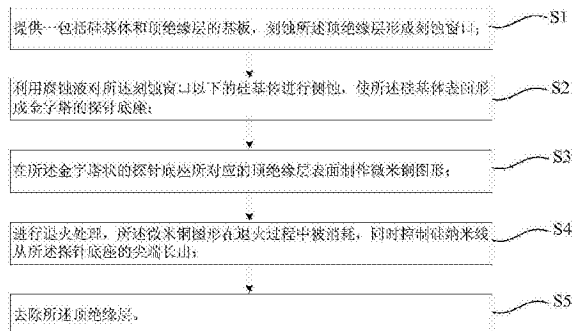
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种硅纳米线探针结构的制作方法

(57) 摘要

本发明提供一种硅纳米线探针结构的制作方法,包括:首先提供一包括硅基体和顶绝缘层的基板,刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口;然后利用腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀,使所述硅基体表面形成金字塔状的探针底座;接着在所述金字塔状的探针底座所对应的顶绝缘层表面制作微米铜图形;再进行退火处理,所述微米铜图形在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线从所述探针底座的尖端长出;最后去除所述顶绝缘层。本发明工艺简单、硅纳米线探针生长长度可控、效率高且结构体积小,与 CMOS 工艺的兼容使其有较好的扩展性,在扫描探针显微镜领域、微电子领域、生化检测领域有着较广的使用前景。



1. 一种硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于,所述制作方法至少包括:
 - 1) 提供一包括硅基体和顶绝缘层的基板,刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口;
 - 2) 利用腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀,使所述硅基体表面形成金字塔状的探针底座;
 - 3) 在所述金字塔状的探针底座所对应的顶绝缘层表面制作微米铜图形;
 - 4) 进行退火处理,所述微米铜图形在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线从所述探针底座的尖端长出;
 - 5) 去除所述顶绝缘层。
2. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述步骤1)中采用反应离子刻蚀工艺刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口。
3. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述顶绝缘层的厚度范围为100~600nm。
4. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述步骤2)中采用碱性腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀。
5. 根据权利要求4所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述碱性腐蚀液为四甲基氢氧化铵或者氢氧化钾。
6. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述步骤3)制作微米铜图形的步骤包括:
 - 3-1) 采用溅射或者蒸发工艺在所述步骤2)获得的结构表面形成铜纳米薄膜;
 - 3-2) 通过光刻和等离子刻蚀工艺刻蚀所述铜纳米薄膜,在探针底座所对应的顶绝缘层表面制作出微米铜图形。
7. 根据权利要求6所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述铜纳米薄膜的厚度范围为100~1000nm。
8. 根据权利要求6所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述微米铜图形的尺寸范围为 $(1.5\sim 5\mu\text{m})\times(1.5\sim 5\mu\text{m})$ 。
9. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述步骤4)中的退火处理在氩气和氢气的混合气体中进行,所述氩气的流量范围为500~1500sccm,所述氢气的流量范围为50~150sccm,退火处理的温度范围为1000°C~1200°C,退火的时间范围为10~120min。
10. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述基板还包括位于所述硅基体下表面的底绝缘层。
11. 根据权利要求10所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述顶绝缘层和底绝缘层均为SiO₂。
12. 根据权利要求1所述的硅纳米线探针结构的制作方法,其特征在于:所述步骤5)中采用HF气体刻蚀去除所述顶绝缘层。

一种硅纳米线探针结构的制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于微纳器件制备与应用技术领域,涉及一种纳米探针结构的制作方法,特别是涉及一种硅纳米线探针结构的制作方法。

背景技术

[0002] 纳米探针是随着纳米技术发展的新产物,高尖锐度特性使得其在扫描探针显微镜(SPM)领域有着极为广泛的应用。扫描探针显微镜的分辨率取决于探针尖端尺寸,探针尖端尺寸越小,扫描探针显微镜获得的图像清晰度也就更为精确。另外,利用纳米探针制作的生物传感器具有体积小,能在细胞内进行实时、无损伤或者微伤测量,是研究单细胞最基本技术。因此,纳米探针的研究具有着重要的意义。

[0003] 目前,常用的商业探针多为金字塔结构,这种结构对制作工艺水平要求很高。如崔岩等提出一种基于(110)单晶硅的微悬臂梁探针制作方式(参见中国专利申请号:201110055371.6,公开号:CN 102279289 A),该方法采用了(110)单晶硅的各向异性腐蚀自停止的优点实现探针的制作。该方法工艺复杂、要求高,尤其是在制作悬臂梁氮化硅膜时,需要考虑热应力补偿,这给器件的制造带来较大的难度。利用硅的各向异性刻蚀制作探针尖端的方法确实能够降低生产成本,但是探针针尖尖锐度不够高。因此纳米线探针的制作方法也随着提出。其中最典型的代表是利用碳纳米管作为探针针尖的办法,由于碳管的直径很小,因此可以做出尖锐度很高的探针,(J.Martinez等“Length control and sharpening of atomic forcemicroscope carbon nanotube tips assisted by an electronbeam”,Nanotechnology 16(2005)2493-2496),但其高成本限制其使用范围。国际商业机器公司的G·M·科昂等人提出一种通过纳米线生长的单片高纵横比纳米尺寸扫描探针显微镜(SPM)尖端。该方法制造工艺繁琐,同时生长出的纳米线数量较多,需要特殊处理才能最终实现纳米线探针。尤其可见,低成本和小尺寸针尖间相互矛盾的问题追求一直是制约着探针的制作。如果提出一种工艺简单、制造成本低的纳米线探针的制造方法,必将具有重要的意义。

发明内容

[0004] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种硅纳米线探针结构的制作方法,用于解决现有技术中纳米线探针低成本制造和小尺寸针尖间相互矛盾的问题,同时实现现有技术与CMOS技术相兼容,能有效降低制造工艺复杂程度、控制成本上升、避免环境污染等问题。

[0005] 为实现上述目的及其他相关目的,本发明提供一种硅纳米线探针结构的制作方法,所述制作方法至少包括步骤:

[0006] 1)提供一包括硅基体和顶绝缘层的基板,刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口;

[0007] 2)利用腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀,使所述硅基体表面形成金字塔状的探针底座;

- [0008] 3)在所述金字塔状的探针底座所对应的顶绝缘层表面制作微米铜图形;
- [0009] 4)进行退火处理,所述微米铜图形在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线从所述探针底座的尖端长出;
- [0010] 5)去除所述顶绝缘层。
- [0011] 可选地,所述步骤1)中采用反应离子刻蚀工艺刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口。
- [0012] 可选地,所述顶绝缘层的厚度范围为100~600nm。
- [0013] 可选地,所述步骤2)中采用碱性腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀。
- [0014] 可选地,所述碱性腐蚀液为四甲基氢氧化铵或者氢氧化钾。
- [0015] 可选地,所述步骤3)制作微米铜图形的步骤包括:
- [0016] 3-1)采用溅射或者蒸发工艺在所述步骤2)获得的结构表面形成铜纳米薄膜;
- [0017] 3-2)通过光刻和等离子刻蚀工艺刻蚀所述铜纳米薄膜,在探针底座所对应的顶绝缘层表面制作出微米铜图形。
- [0018] 可选地,所述铜纳米薄膜的厚度范围为100~1000nm。
- [0019] 可选地,所述微米铜图形的尺寸范围为(1.5~5 μ m)*(1.5~5 μ m)。
- [0020] 可选地,所述步骤4)中的退火处理在氩气和氢气的混合气体中进行,所述氩气的流量范围为500~1500sccm,所述氢气的流量范围为50~150sccm,退火处理的温度范围为1000 $^{\circ}$ C~1200 $^{\circ}$ C,退火的时间范围为10~120min。
- [0022] 可选地,所述基板还包括位于所述硅基体下表面的底绝缘层。
- [0023] 可选地,所述顶绝缘层和底绝缘层均为SiO₂。
- [0024] 可选地,所述步骤5)中采用HF气体刻蚀去除所述顶绝缘层。
- [0025] 如上所述,本发明的硅纳米线探针结构的制作方法,包括步骤:首先,提供一包括硅基体和顶绝缘层的基板,刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口;然后,利用腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀,使所述硅基体表面形成金字塔状的探针底座;接着,在所述金字塔状的探针底座所对应的顶绝缘层表面制作微米铜图形;再进行退火处理,所述微米铜图形在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线从所述探针底座的尖端长出;最后去除所述顶绝缘层。
- [0026] 本发明具有以下有益效果:
- [0027] 1、与CMOS技术兼容。采用CMOS技术制作出作为纳米线探针的金字塔底座,同时纳米线生长时,采用铜作为催化剂,与CMOS技术兼容。
- [0028] 2、硅纳米线探针的硅纳米线尖端长度可控。本发明实现硅纳米线在金字塔底座的顶端顶定位生长,金字塔位于氧化硅绝缘层下方,为纳米线提供硅源,因此可以通过控制金字塔形状的大小控制硅纳米线的长度。
- [0029] 3、纳米线的生长没有有毒的气态硅源,避免传统CVD方法使用有毒的气态硅源对环境的污染。

附图说明

- [0030] 图1显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法的工艺流程图。
- [0031] 图2~图3显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法步骤1)中呈现的结构示意

图。

[0032] 图4显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法步骤2)中呈现的结构示意图。

[0033] 图5~图6显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法步骤3)中呈现的结构示意图。

[0034] 图7显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法步骤4)中呈现的结构示意图。

[0035] 图8显示为本发明硅纳米线探针结构的制作方法步骤5)中呈现的结构示意图。

[0036] 元件标号说明

[0037] S1~S5 步骤

[0038] 1 基板

[0039] 10 硅基体

[0040] 100 探针底槽

[0041] 101 金字塔探针底座

[0042] 11 顶绝缘层

[0043] 110 刻蚀窗口

[0044] 12 底绝缘层

[0045] 2 铜纳米薄膜

[0046] 21 微米铜图形

[0047] 3 硅纳米线

具体实施方式

[0048] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

[0049] 请参阅附图1至图8。需要说明的是,本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,遂图式中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0050] 如图1所示,本发明提供一种硅纳米线探针结构的制作方法,所述制作方法至少包括以下步骤:

[0051] S1,提供一包括硅基体和顶绝缘层的基板,刻蚀所述顶绝缘层形成刻蚀窗口;

[0052] S2,利用腐蚀液对所述刻蚀窗口以下的硅基体进行侧蚀,使所述硅基体表面形成金字塔状的探针底座;

[0053] S3,在所述金字塔状的探针底座所对应的顶绝缘层表面制作微米铜图形;

[0054] S4,进行退火处理,所述微米铜图形在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线从所述探针底座的尖端长出;

[0055] S5,去除所述顶绝缘层。

[0056] 下面结合具体附图对本发明硅纳米线探针结构的制作方法作详细的介绍。

[0057] 首先执行步骤S1,提供一包括硅基体10和顶绝缘层11的基板1,刻蚀所述顶绝缘层

11形成刻蚀窗口110。

[0058] 请参阅附图2,所述基板1还可以包括位于所述硅基板1下表面的底绝缘层12。即,所述基板1整体由底绝缘层12、位于所述底绝缘层12上的硅基板10、以及位于所述硅基板10上的顶绝缘层11构成。

[0059] 所述硅基板10可以是单晶硅、多晶硅或者多晶硅等,在此不限。本实施例中,所述硅基板10为单晶硅。

[0060] 作为示例,所述顶绝缘层11和底绝缘层12均为SiO₂。所述顶绝缘层11和底绝缘层12的厚度可以在100~600nm范围内,本实施例中,所述顶绝缘层11和底绝缘层12的厚度暂选为300nm,当然,在其他实施例中,所述顶绝缘层11和底绝缘层12的厚度还可以是200nm、400nm、500nm或者600nm等。

[0061] 需要说明的是,所述基板1是已经在上下两个表面制作完成SiO₂绝缘层的硅基板10,直接提供就可以为本发明所利用。

[0062] 可以采用光刻、反应离子刻蚀工艺(Reactive-Ion Etching,RIE)刻蚀所述顶绝缘层11,在所述顶绝缘层中制作探针底座的刻蚀窗口110。制作出的刻蚀窗口110如图3所示。该窗口可以作为后续侧蚀硅基板10的掩膜。

[0063] 然后执行步骤S2,如图4所示,利用腐蚀液对所述刻蚀窗口110以下的硅基板10进行侧蚀,使所述硅基板10表面形成金字塔状的探针底座101。

[0064] 如图4所示,可以采用碱性溶液刻蚀硅基板10,在所述硅基板10上制作出探针底槽100,所述探针底槽100的(111)面组成金字塔探针底座101。在本实施例中,采用浓度为25%的四甲基氢氧化铵(TMAH)溶液,在80℃恒温水浴环境中刻蚀4分钟,通过TMAH的各向异性的特点侧蚀硅基板10,获得如图4所示金字塔探针结构。

[0065] 接着执行步骤S3,在所述金字塔状的探针底座101所对应的顶绝缘层11表面制作微米铜图形21。

[0066] 可以通过图形化处理 and 刻蚀工艺得到形状规则的微米铜图形21。本实施例中,采用光刻和等离子刻蚀(Ion beam etching)工艺,具体过程为:

[0067] 第一步,请参阅附图5,采用溅射或者蒸发工艺在所述顶绝缘层11表面形成铜纳米薄膜2,当然,也可以采用其他合适的工艺在所述顶绝缘层11表面形成铜纳米薄膜2,在此不限。

[0068] 形成的铜纳米薄膜2的厚度范围为100~1000nm。本实施例中,铜纳米薄膜2的厚度暂选为600nm。当然,在其他实施例中,铜纳米薄膜2的厚度还可以制作为400nm、500nm、600nm、700nm、800nm、900nm等。

[0069] 第二步,在所述铜纳米薄膜2上涂敷光刻胶,之后通过光刻图形化所述光刻胶形成开口,再利用等离子刻蚀工艺刻蚀所述开口以下的铜纳米薄膜2形成微米铜图形21,如图6所示。

[0070] 形成的微米铜图形21的尺寸范围为(1.5~5μm)*(1.5~5μm)。在本实施例中,所述微米铜图形21的尺寸为2μm*2μm。

[0071] 需要说明的是,在其他实施例中,也可以通过光刻、溅射或者蒸镀工艺组成的剥离工艺实现形成微米铜图形21。具体地,在所述顶绝缘层11表面涂敷光刻胶后,通过紫外曝光、显影、清洗和甩干得到无光刻胶阵列图形;再通过溅射或者蒸镀工艺在光刻胶和无光刻

胶区域制作铜纳米薄膜2,最后将整个基底置于丙酮溶液中浸泡,光刻胶和光刻胶表面的纳米铜薄膜2与基底分离,留下部分的纳米铜薄膜2形成微米铜图形21。

[0072] 之后执行步骤S4,请参阅附图7,进行退火处理,所述微米铜图形21在退火过程中被消耗,同时控制硅纳米线3从所述探针底座101的尖端长出。

[0073] 具体地,将步骤S3获得的结构置于石英炉中央,然后往石英炉中通入氩气和氢气的混合气体作为退火气体。优选地,所述氩气的流量范围选择为500~1500sccm,所述氢气的流量选择为50~150sccm。本实施例中,所述氩气的流量为1000sccm,所述氢气的流量为40sccm。

[0074] 优选地,退火处理的温度范围选择为1000℃~1200℃,退火的时间范围选择为10~120min。本实施例中,退火处理的温度为1080℃,退火的时间为30min。

[0075] 本实施例中,采用水平加热炉进行退火处理,退火过程中,在所述微米铜图形21的催化作用下,硅基体10中部分的硅原子穿过顶绝缘层11,并在顶绝缘层11上的微米铜图形21位置精确定位生长出硅纳米线3。而催化生长过程中,所述微米铜图形21被消耗。如图7所示,硅纳米线3探针生长于金字塔的尖端,穿过顶绝缘层11定位在微米铜图形21的位置。

[0076] 硅纳米线作为探针的应用决定了硅纳米线的长度不能太长或太短,本发明可以通过控制金字塔形状的大小来控制硅纳米线的长度,使硅纳米线生长的长度满足应用的要求。

[0077] 本发明中硅纳米线精确定位生长的原理是:高温退火过程中,氧化硅表面的微米铜图形开始收缩,直至收缩到微米铜图形的中央位置形成纳米尺寸的铜图形;接着纳米尺寸铜与氧化硅发生反应生成铜-硅化合物,消耗掉纳米尺寸铜下方的氧化硅,使得铜-硅化合物与硅基体接触;接着硅基体的硅原子迁移至铜-硅化合物中并随着降温过程析出,形成硅纳米线,同时铜也被消耗掉至氧化硅中,从而实现硅纳米线3探针在尖端上的生长。

[0078] 最后执行步骤S5,如图8所示,去除所述顶绝缘层。

[0079] 可以采用氢氟酸气体(HF Vapor)刻蚀顶绝缘层11,得到硅纳米线探针。在去除顶绝缘层11的同时,底绝缘层12、以及顶绝缘层11与硅纳米线3探针界面之间残留的铜-硅化合物也被完全去除。

[0080] 综上所述,本发明提供的一种硅纳米线探针结构制作方法,解决了传统方法中纳米线探针制造成本与探针尖端尺寸之间相互矛盾的问题。实现了硅纳米线在金字塔底座的顶端精确定位生长,从而制造出纳米线探针。同时器件制作过程中没有使用硅烷等其他气态硅源,所以避免了使用有毒污染物。本发明与CMOS工艺的完全兼容使其有较好的扩展性和较广的使用范围。所以,本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

[0081] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

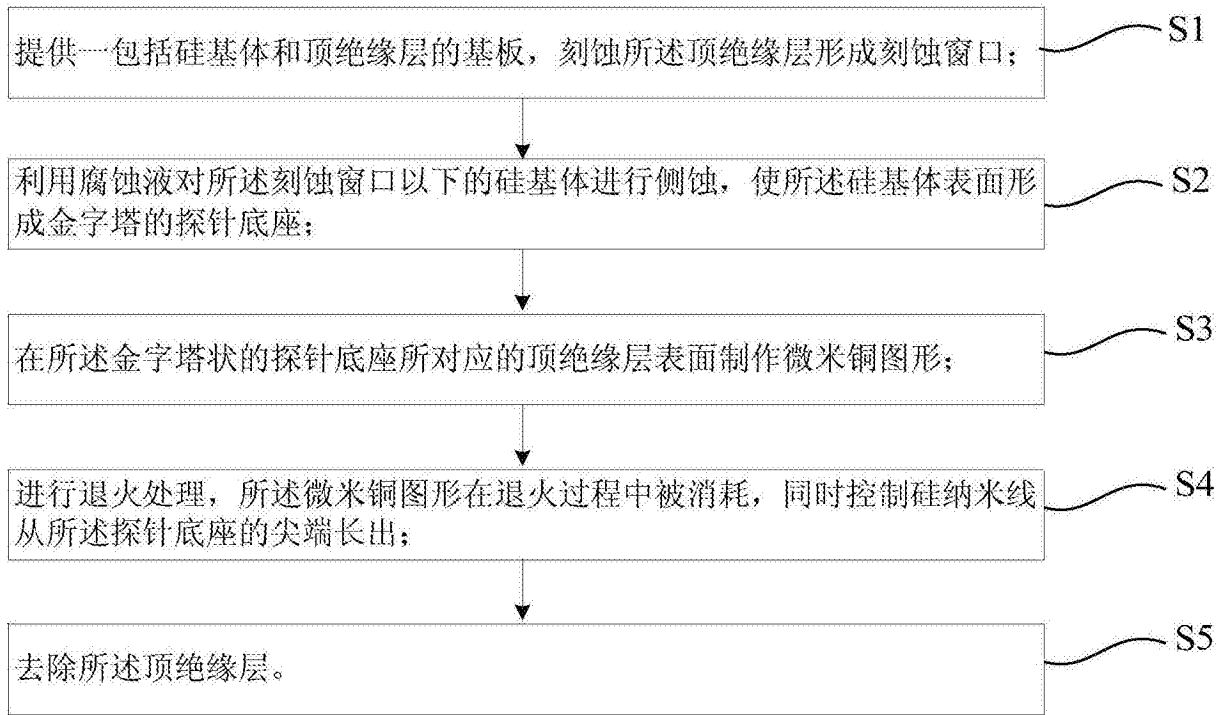


图1

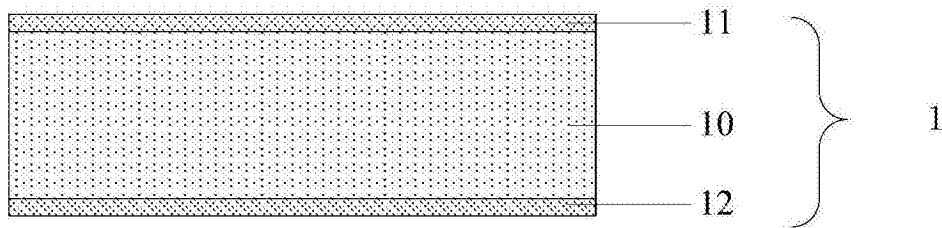


图2

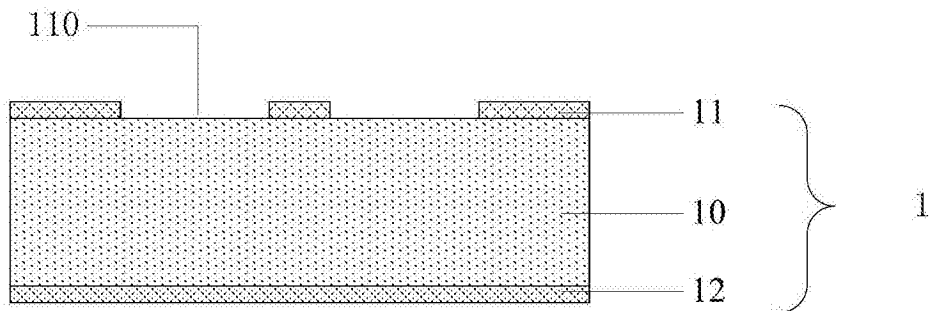


图3

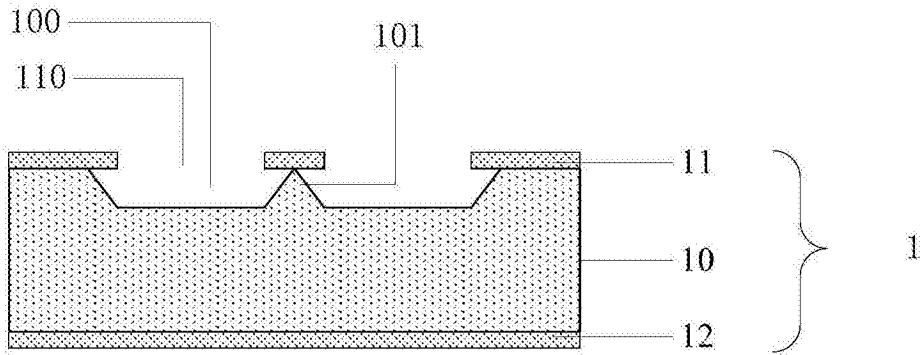


图4

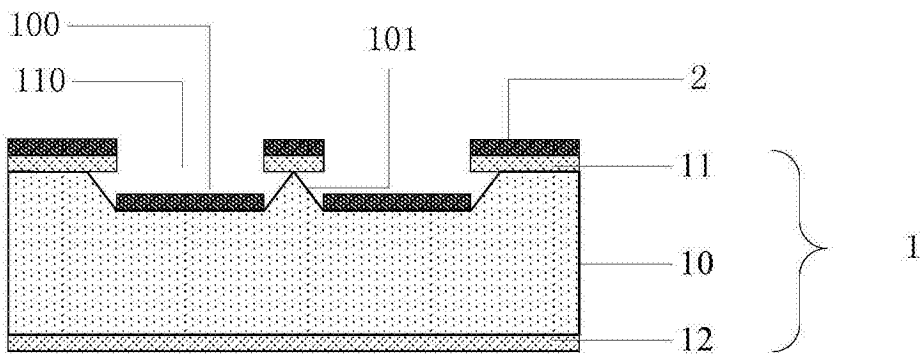


图5

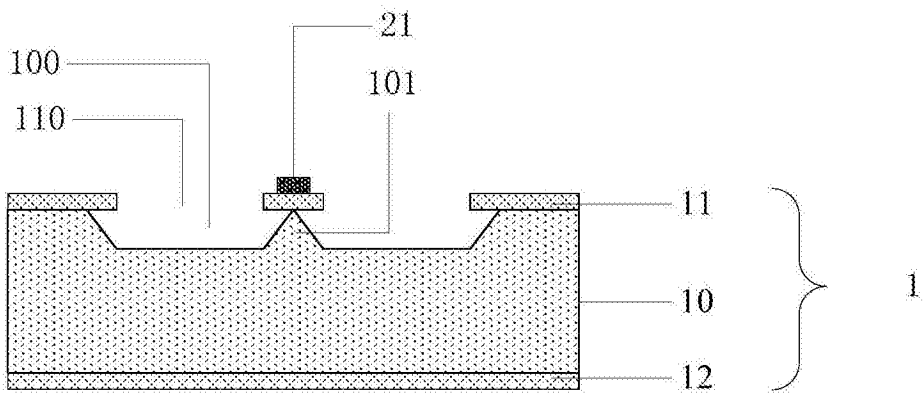


图6

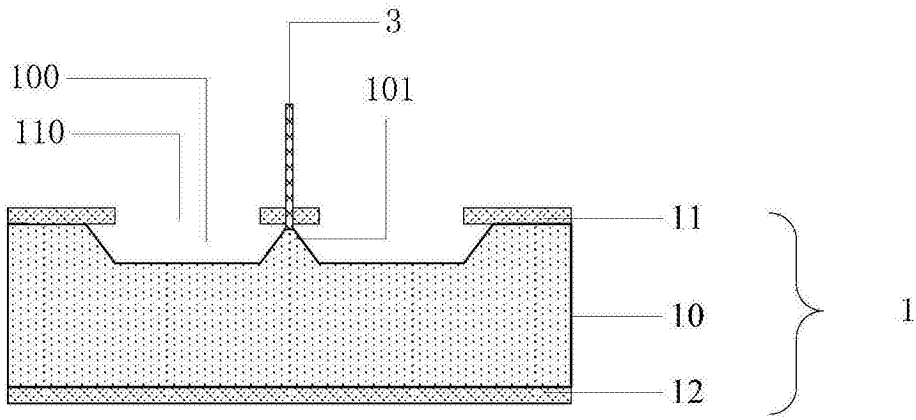


图7

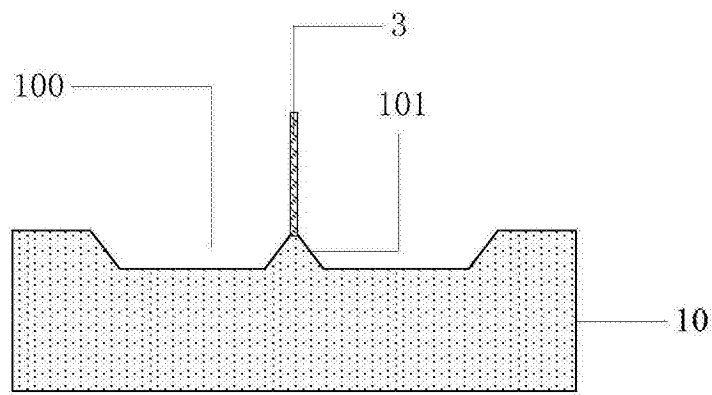


图8