



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114975637 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210471231.5

H01L 29/16 (2006.01)

(22) 申请日 2022.04.28

H01L 29/06 (2006.01)

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第十三研究所

地址 050051 河北省石家庄市合作路113号

(72) 发明人 周闯杰 蔚翠 何泽召 郭建超  
马孟宇 刘庆彬 余浩 高学栋  
冯志红

(74) 专利代理机构 石家庄国为知识产权事务所  
13120

专利代理师 刘少卿

(51) Int. Cl.

H01L 29/812 (2006.01)

H01L 29/66 (2006.01)

H01L 29/423 (2006.01)

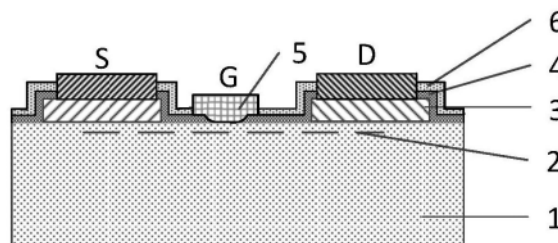
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

### (54) 发明名称

高频场效应晶体管及其制备方法

### (57) 摘要

本申请适用于半导体器件制造技术领域,提供了高频场效应晶体管及其制备方法,该制备方法包括:在金刚石衬底上形成氢终端;在氢终端上表面形成源极与漏极金属层,源极与漏极间隔设置,形成源漏欧姆接触;在氢终端上表面形成第一钝化层,在第一钝化层与栅极对应的区域,形成有裸露氢终端的栅槽;在氢终端上和栅槽内形成栅金属层;在第一钝化层上形成第二钝化层,在第二钝化层与源极与漏极对应的区域,形成有裸露源极与漏极的刻蚀图形;根据刻蚀图形,刻蚀形成源极与漏极。本申请通过采用可控的介质代替不可控的空气气氛吸附,通过低损伤的湿法腐蚀实现介质的刻蚀,从而实现基于氢终端金刚石衬底高频场效应晶体管的低损伤制备。



1. 一种高频场效应晶体管, 其特征在于, 包括:

金刚石衬底;

氢终端, 形成于所述金刚石衬底上表面, 包括多条导电沟道;

源极金属与漏极金属层, 形成于所述氢终端上表面, 所述源极与所述漏极间隔设置, 形成源漏欧姆接触;

第一钝化层, 形成于所述氢终端和源极与漏极金属层上表面, 且所述第一钝化层在与栅极对应的区域形成有裸露所述氢终端的栅槽;

栅金属层, 形成于所述氢终端上和所述栅槽内, 且与所述氢终端形成肖特基结;

第二钝化层, 形成于所述第一钝化层上, 且所述第二钝化层在与源极、漏极与栅极对应的区域形成有裸露所述源极、漏极与栅极的刻蚀图形。

2. 如权利要求1所述的高频场效应晶体管, 其特征在于, 所述第一钝化层的材质包括以下至少一种材料: 氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN; 所述第一钝化层厚度为5nm~500nm。

3. 如权利要求1所述的高频场效应晶体管, 其特征在于, 所述第二钝化层的材料包括以下至少一种材料:  $\text{SiN}_x$ 、氧化铝、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN; 所述第二钝化层厚度为5nm~20 $\mu\text{m}$ 之间。

4. 一种高频场效应晶体管制备方法, 其特征在于, 包括:

在金刚石衬底上形成氢终端;

在所述氢终端上表面形成源极与漏极金属层, 所述源极与漏极间隔设置, 形成源漏欧姆接触;

在所述氢终端上表面形成第一钝化层, 在所述第一钝化层与栅极对应的区域, 形成有裸露所述氢终端的栅槽;

在所述氢终端上和所述栅槽内形成栅金属层;

在所述第一钝化层上形成第二钝化层, 在所述第二钝化层与源极与漏极对应的区域, 形成有裸露所述源极与漏极的刻蚀图形;

根据所述刻蚀图形, 刻蚀形成所述源极与漏极。

5. 如权利要求4所述的高频场效应晶体管制备方法, 其特征在于, 所述在金刚石衬底上形成氢终端, 包括:

在所述金刚石衬底上生长金刚石外延层, 通过外延生长形成金刚石表面, 得到所述氢终端, 其中, 所述金刚石外延层的厚度在1nm至100 $\mu\text{m}$ 之间。

6. 如权利要求4所述的高频场效应晶体管制备方法, 其特征在于, 所述在所述氢终端上表面形成源极与漏极金属层, 包括:

通过光刻得到源极区域和漏极区域, 根据所述源极区域和漏极区域淀积源极金属和漏极金属, 去除光刻胶, 经过或者不经过退火形成源漏欧姆接触。

7. 如权利要求6所述的高频场效应晶体管制备方法, 其特征在于, 采用Ti、Pt、Au、Ir材料中的至少一种, 经过或者不经过高温合金退火形成所述源漏欧姆接触。

8. 如权利要求4所述的高频场效应晶体管制备方法, 其特征在于, 所述在所述第一钝化层与栅极对应的区域形成有裸露所述氢终端的栅槽, 包括:

对所述第一钝化层上与栅极对应的区域进行光刻, 得到栅槽光刻图形;

对所述栅槽光刻图形进行刻蚀, 在所述第一钝化层形成栅槽;

其中,所述第一钝化层的材质包括以下至少一种材料:氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN;所述第一钝化层厚度为5nm~500nm。

9.如权利要求4所述的高频场效应晶体管制备方法,其特征在于,所述在所述氢终端上和所述栅槽内形成栅金属层,包括:

在所述栅极对应的区域进行光刻得到栅形貌,根据所述栅形貌在所述栅槽淀积栅金属,剥离光刻胶形成栅电极;其中,所述栅金属与氢终端金刚石形成肖特基结,所述栅形貌呈现“T”型栅结构。

10.如权利要求9所述的高频场效应晶体管制备方法,其特征在于,所述栅金属,包括铝、钛、镍、铂、金其中的一种或者两种及以上的组合,所述栅金属层厚度为2nm~50 $\mu\text{m}$ 之间。

## 高频场效应晶体管及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本申请属于半导体器件制造技术领域,尤其涉及高频场效应晶体管及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 金刚石在射频方面的材料特性优值,显著优于SiC和GaN材料,是制作大功率、高频微波器件的理想材料。基于氢终端金刚石衬底高频场效应晶体管作为放大器件,具有较大的输出功率和较高的工作频率。而且金刚石优异的导热性能可以有效减小散热成本及体积,适用于高频大功率的微波领域。

[0003] 目前基于氢终端金刚石的MESFET器件,其栅源和栅漏之间存在裸露的氢终端,而其导电特性受空气中的吸附物影响较大,导致器件稳定性差;基于氢终端金刚石的MISFET或者MOSFET器件,其栅下存在一层厚的栅介质,导致它的工作频率较低。

### 发明内容

[0004] 为克服相关技术中存在的问题,本申请实施例提供了高频场效应晶体管及其制备方法。

[0005] 本申请是通过如下技术方案实现的:

[0006] 第一方面,本申请实施例提供了一种高频场效应晶体管,包括:金刚石衬底;氢终端,形成于所述金刚石衬底上表面,包括多条导电沟道;源极金属与漏极金属层,形成于所述氢终端上表面,所述源极与所述漏极间隔设置,形成源漏欧姆接触;第一钝化层,形成于所述氢终端和源极与漏极金属层上表面,且所述第一钝化层在与栅极对应的区域形成有裸露所述氢终端的栅槽;栅金属层,形成于所述氢终端上和所述栅槽内,且与所述氢终端形成肖特基结;第二钝化层,形成于所述第一钝化层上,且所述第二钝化层在与源极、漏极与栅极对应的区域形成有裸露所述源极、漏极与栅极的刻蚀图形。

[0007] 基于第一方面,在一些可能的实现方式中,所述第一钝化层的材质包括以下至少一种材料:氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN;所述第一钝化层厚度为5nm~500nm。

[0008] 基于第一方面,在一些可能的实现方式中,其特征在于,所述第二钝化层的材料包括以下至少一种材料: $\text{SiN}_x$ 、氧化铝、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN;所述第二钝化层厚度为5nm~20 $\mu\text{m}$ 之间。

[0009] 第二方面,本申请实施例提供了一种高频场效应晶体管制备方法,包括:在金刚石衬底上形成氢终端;在所述氢终端上表面形成源极与漏极金属层,所述源极与漏极间隔设置,形成源漏欧姆接触;在所述氢终端上表面形成第一钝化层,在所述第一钝化层与栅极对应的区域,形成有裸露所述氢终端的栅槽;在所述氢终端上和所述栅槽内形成栅金属层;在所述第一钝化层上形成第二钝化层,在所述第二钝化层与源极与漏极对应的区域,形成有裸露所述源极与漏极的刻蚀图形;根据所述刻蚀图形,刻蚀形成所述源极与漏极。

[0010] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,所述在金刚石衬底上形成氢终端,包

括:在所述金刚石衬底上生长金刚石外延层,通过外延生长形成金刚石表面,得到所述氢终端,其中,所述金刚石外延层的厚度在1nm至100 $\mu$ m之间。

[0011] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,所述在所述氢终端上表面形成源极与漏极金属层,包括:通过光刻得到源极区域和漏极区域,根据所述源极区域和漏极区域淀积源极金属和漏极金属,去除光刻胶,经过或者不经过退火形成源漏欧姆接触。

[0012] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,采用Ti、Pt、Au、Ir材料中的至少一种,经过或者不经过高温合金退火形成所述源漏欧姆接触。

[0013] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,所述在所述第一钝化层与栅极对应的区域形成有裸露所述氢终端的栅槽,包括:对所述第一钝化层上与栅极对应的区域进行光刻,得到栅槽光刻图形;对所述栅槽光刻图形进行刻蚀,在所述第一钝化层形成栅槽;其中,所述第一钝化层的材质包括以下至少一种材料:氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与AlN;所述第一钝化层厚度为5nm~500nm。

[0014] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,所述在所述氢终端上和所述栅槽内形成栅金属层,包括:在所述栅极对应的区域进行光刻得到栅形貌,根据所述栅形貌在所述栅槽淀积栅金属,剥离光刻胶形成栅电极;其中,所述栅金属与氢终端金刚石形成肖特基结,所述栅形貌呈现“T”型栅结构。

[0015] 基于第二方面,在一些可能的实现方式中,所述栅金属,包括铝、钛、镍、铂、金其中的一种或者两种及以上的组,所述栅金属层厚度为2nm~50 $\mu$ m之间。

[0016] 上述高频场效应晶体管制备方法,通过采用可控的介质代替不可控的空气气氛吸附,通过低损伤的湿法腐蚀实现介质的刻蚀,栅极通过肖特基结可以实现较高的工作频率。从而实现基于氢终端金刚石衬底高频场效应晶体管的低损伤制备。

[0017] 可以理解的是,上述第二方面至第五方面的有益效果可以参见上述第一方面中的相关描述,在此不再赘述。

[0018] 应当理解的是,以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的,并不能限制本说明书。

## 附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1是本申请一实施例提供的高频场效应晶体管的结构示意图;

[0021] 图2是本申请一实施例提供的高频场效应晶体管制备的流程示意图;

[0022] 其中:1为金刚石衬底,2为氢终端金刚石表面导电沟道,3为源极与漏极金属层,4为第一钝化层,5为栅金属,6为第二次钝化层,S为源极,G为栅极,D为漏极。

## 具体实施方式

[0023] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体

细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0024] 应当理解,当在本申请说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0025] 还应当理解,在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。

[0026] 如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的那样,术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地,短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

[0027] 另外,在本申请说明书和所附权利要求书的描述中,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0028] 在本申请说明书中描述的参考“一个实施例”或“一些实施例”等意味着在本申请的一个或多个实施例中包括结合该实施例描述的特定特征、结构或特点。由此,在本说明书中的不同之处出现的语句“在一个实施例中”、“在一些实施例中”、“在其他一些实施例中”、“在另外一些实施例中”等不是必然都参考相同的实施例,而是意味着“一个或多个但不是所有的实施例”,除非是以其他方式另外特别强调。术语“包括”、“包含”、“具有”及它们的变形都意味着“包括但不限于”,除非是以其他方式另外特别强调。

[0029] 卫星通讯系统的发展对半导体功放器件提出了更高的要求,例如小型化、高可靠性、耐太空粒子辐照等。金刚石材料的禁带宽度大,击穿电场高,具有显著的抗辐射能力;热导率高,可以减少器件的散热设备,减轻设备质量;同时,金刚石半导体材料还具有高的电子和空穴迁移率,应用在射频领域具有巨大的优势。金刚石在射频方面的材料特性优值,显著优于SiC和GaN材料,是制作大功率、高频微波器件的理想材料。基于氢终端金刚石衬底高频场效应晶体管作为放大器件,具有较大的输出功率和较高的工作频率。而且金刚石优异的导热性能可以有效减小散热成本及体积,适用于高频大功率的微波领域。

[0030] 大部分金刚石器件研究集中在金刚石MESFET,MISFET或者MOSFET以及金刚石材料作为其他材料器件散热层等。目前金刚石的掺杂仍然是一个问题:激活率较高的只有硼掺杂,实现p型载流子,但是载流子迁移率较低;金刚石的N型掺杂目前仍未找到一个合适的激活率较高的掺杂源。氢终端金刚石表面二维空穴气作为导电沟道为金刚石器件实现打开了一扇窗。目前基于氢终端金刚石的MESFET器件,其栅源和栅漏之间存在裸露的氢终端,而其导电特性受空气中的吸附物影响较大,导致器件稳定性差;基于氢终端金刚石的MISFET或者MOSFET器件,其栅下存在一层厚的栅介质,导致它的工作频率较低。

[0031] 基于上述问题,本申请提供了一种高频场效应晶体管及其制备方法。为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图通过具体实施例来进行说明。

[0032] 图1示出了申请实施例提供的高频场效应晶体管的结构示意图。参见图1,上述高频场效应晶体管可以包括金刚石衬底1、氢终端金刚石表面导电沟道2、源极与漏极金属层3、第一钝化层4、栅金属5与第二次钝化层6。氢终端2形成于金刚石衬底1上表面,包括多条导电沟道;源极金属与漏极金属层3形成于氢终端2上表面,源极S与漏极D间隔设置,形成源

漏欧姆接触；第一钝化层4形成于氢终端2和源极与漏极金属层3上表面，且第一钝化层4在与栅极G对应的区域形成有裸露氢终端的栅槽；栅金属层5，形成于氢终端2上和栅槽内，且与氢终端3形成肖特基结；第二钝化层6，形成于第一钝化层4上，且第二钝化层6在与源极S、漏极D与栅极G对应的区域形成有裸露源极S、漏极D与栅极G的刻蚀图形。

[0033] 可选的，第一钝化层4的材质包括以下至少一种材料：氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与 $\text{AlN}$ ；钝化介质层4厚度为 $5\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 。

[0034] 可选的，第二次钝化层6的材料包括以下至少一种材料： $\text{SiN}_x$ 、氧化铝、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与 $\text{AlN}$ ；所述第二钝化层厚度为 $5\text{nm} \sim 20\mu\text{m}$ 之间。

[0035] 上述高频场效应晶体管，由于不存在栅介质，从而可以实现较高的工作频率；在栅源和栅漏之间的金刚石表面采用氧化铝钝化，可以提高器件的稳定性和击穿电压。由于金刚石衬底本身的宽禁带、高击穿场强、高散热率，相比于氮化镓器件，金刚石射频器件可以承载较大的功率密度，减小给器件配套的散热设备。

[0036] 图2是本申请一实施例提供的高频场效应晶体管制备方法的示意性流程图，参照图2，对该高频场效应晶体管制备方法的详述如下：

[0037] 在金刚石衬底1上形成氢终端2；

[0038] 在氢终端2上表面形成源极与漏极金属层3，源极S与漏极D间隔设置，形成源漏欧姆接触；

[0039] 在氢终端2上表面形成第一钝化层4，在第一钝化层与栅极G对应的区域，形成有裸露氢终端2的栅槽；

[0040] 在氢终端2上和栅槽内形成栅金属层5；

[0041] 在第一钝化层4上形成第二钝化层6，在第二钝化层6与源极S与漏极D对应的区域，形成有裸露源极S与漏极D的刻蚀图形；

[0042] 根据刻蚀图形，刻蚀形成源极S与漏极D。

[0043] 具体的，参见图2中的(a)，在金刚石衬底1上形成氢终端2，包括在金刚石衬底1上生长金刚石外延层，通过外延生长形成金刚石表面，得到氢终端2，其中，金刚石外延层的厚度在 $1\text{nm}$ 至 $100\mu\text{m}$ 之间。

[0044] 在一些实施例中，参见图2中的(b)，在氢终端2上表面形成源极与漏极金属层3，包括：通过光刻得到源极区域和漏极区域，根据所述源极区域和漏极区域淀积源极金属和漏极金属，去除光刻胶，经过或者不经过退火形成源漏欧姆接触。

[0045] 具体的，采用Ti、Pt、Au、Ir材料中的至少一种，经过或者不经过高温合金退火形成源漏欧姆接触。

[0046] 在一些实施例中，参见图2中的(c)，在第一钝化层4与栅极G对应的区域形成有裸露氢终端2的栅槽，包括：对第一钝化层4上与栅极G对应的区域进行光刻，得到栅槽光刻图形；对栅槽光刻图形进行刻蚀，在第一钝化层4形成栅槽；其中，第一钝化层4的材质包括以下至少一种材料：氧化铝、 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MoO}_3$ 与 $\text{AlN}$ ；第一钝化层厚度为 $5\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 。

[0047] 具体的，通过湿法腐蚀形成栅槽，湿法腐蚀液采用酸性的或者碱性的溶液；湿法腐蚀也可替换成低损伤的RIE或者ICP干法刻蚀。

[0048] 在一些实施例中，参见图2中的(d)，在氢终端2上和栅槽内形成栅金属层5，包括：在栅极G对应的区域进行光刻得到栅形貌，根据栅形貌在栅槽淀积栅金属，剥离光刻胶形成

栅电极G;其中,栅金属与氢终端金刚石形成肖特基结,栅形貌呈现“T”型栅结构。

[0049] 具体的,栅金属包括铝、钛、镍、铂、金其中的一种或者两种及以上的组合,栅金属层5厚度为2nm~50μm之间。

[0050] 可选的,栅金属栅金属包括但不限于使用电子束蒸发技术,也可以采用ALD技术或者别的金属薄膜沉积技术。

[0051] 在一些实施例中,参见图2中的(e),在第一钝化层4上形成第二钝化层6,在第二钝化层6与源极S与漏极G对应的区域,形成有裸露源极S与漏极D的刻蚀图形;根据刻蚀图形,刻蚀形成所述源极S与漏极D。

[0052] 可选的,形成第二钝化层6包括但不限于使用CVD技术,第二钝化层6的材料包括以下至少一种材料:SiNx、氧化铝、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、MoO<sub>3</sub>与AlN;第二钝化层6厚度为5nm~20μm之间。通过使用干法刻蚀或者湿法刻蚀技术腐蚀出源极S与漏极D,并对源极S与漏极D进行加厚以利于后续的键合、导线引出。

[0053] 在一些实施例中,上述高频场效应晶体管制备方法可以包括:

[0054] (1) 在单晶CVD金刚石衬底上使用MPCVD设备在600℃下处理30min,形成氢终端金刚石,结合表面吸附空气中的气体形成表面导电沟道;

[0055] (2) 光刻有源区图形,使用氧等离子体清洗机处理30min,实现器件隔离,丙酮,酒精,去离子水处理,去除光刻胶;

[0056] (3) 光刻出源极区域和漏极区域,淀积金属Ti/Au,分别为50/300nm,剥离后,经过在退火炉中500℃退火30min,形成欧姆接触;

[0057] (4) ALD沉积200nm氧化铝作为钝化层;

[0058] (5) 电子束光刻出刻槽区,通过BOE湿法腐蚀,形成栅槽;去胶;

[0059] (6) 电子束光刻出栅形貌,淀积200nm栅金属Al,剥离形成栅电极;

[0060] (7) PECVD淀积200nm钝化层SiN;

[0061] (8) 光刻出电极图形,使用ICP刻蚀出电极,并对电极进行加厚以利于后续的键合、导线引出。

[0062] 由于氢终端金刚石导电沟道位于金刚石表面,容易受到空气气氛、等离子体等影响。上述高频场效应晶体管制备方法,通过采用可控的介质代替不可控的空气气氛吸附,通过低损伤的湿法腐蚀实现介质的刻蚀,栅极通过肖特基结可以实现较高的工作频率。从而实现基于氢终端金刚石衬底高频场效应晶体管的低损伤制备。

[0063] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0064] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0065] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

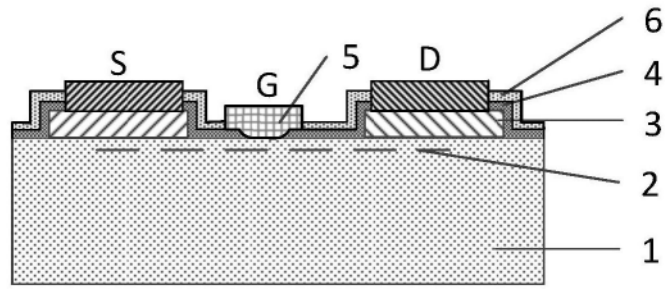


图1

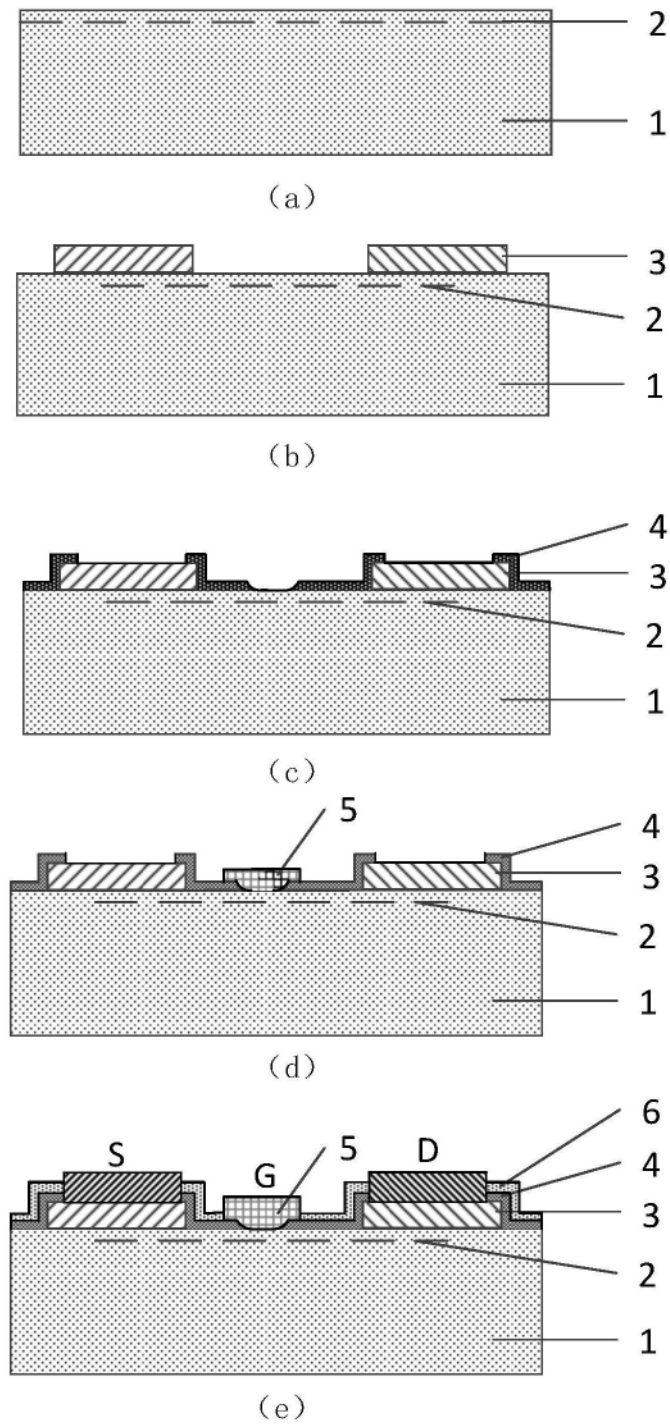


图2