



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103959482 B

(45)授权公告日 2016.10.12

(21)申请号 201280058391.1

(22)申请日 2012.11.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103959482 A

(43)申请公布日 2014.07.30

(30)优先权数据

1103617 2011.11.28 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.05.28

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2012/073629 2012.11.26

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/079446 FR 2013.06.06

(73)专利权人 原子能和替代能源委员会

地址 法国巴黎

(72)发明人 劳伦·莫拉德 尼古拉斯·贝尔

约翰·罗瑟曼

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有

限公司 11270

代理人 王艳波 张颖玲

(51)Int.Cl.

H01L 31/103(2006.01)

H01L 31/18(2006.01)

(56)对比文件

US 5466953 A, 1995.11.14,

US 4137544, 1979.01.30,

CN 1965111 A, 2007.05.16,

审查员 谢添

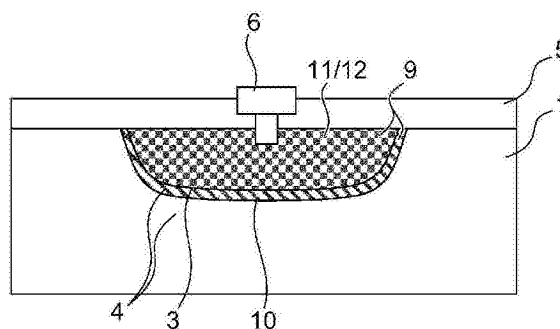
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

用于红外成像器的具有在HgCdTe上自定位的可控异质结构的P-N型二极管

(57)摘要

本发明涉及包括至少一个具有异质结构的p-n型二极管的装置,所述装置包括HgCdTe衬底,所述HgCdTe衬底对于每个二极管包括:第一部分(4),具有第一镉浓度;浓缩部分(11),具有大于第一浓度的第二镉浓度,从而与所述第一部分(4)形成异质结构;以及p+型掺杂带(9),位于所述浓缩部分(11)内并延伸到所述第一部分中,从而与被称为单独板(1)的所述第一部分(4)的n型掺杂部分形成p-n结(10),其特征在于,所述浓缩部分(11)仅位于p+型掺杂带(9)内,并且形成具有给定镉浓度的壳体(12)。



1. 一种具有至少一个异质结构p/n型二极管的装置,所述装置包括大部分是n型掺杂的基于HgCdTe的衬底,所述衬底对于每个二极管包括:

第一部分(4),具有第一镉浓度,

第二部分(11),具有大于所述第一镉浓度的第二镉浓度,所述第二部分、即浓缩部分(11)与所述第一部分(4)形成异质结构,

p+型掺杂带(9)、即p型掺杂带位于所述浓缩部分(11)内并延伸到所述第一部分(4)中,并且与所述第一部分(4)或者基极板(1)的n掺杂部分形成p/n结(10),和

导体触点(6.0),用于回收二极管中产生的任何电流,

其中,所述浓缩部分(11)仅位于所述p+型掺杂带(9)内,并且形成镉浓度恒定的阱(12)。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述阱(12)具有基极,所述基极相对于所述p/n结(10)位于恒定的平均距离(D)处。

3. 根据权利要求2所述的装置,其中,当所述装置包括至少两个相邻的异质结构p/n型二极管时,所述两个相邻的二极管的阱(12)被分开,并且两个二极管中的一个二极管中的平均相对距离(D)等于另一个二极管中的平均相对距离(D)。

4. 根据权利要求1至3中任意一项所述的装置,其中,所述p+型掺杂带(9)掺杂有受主掺杂剂(8)。

5. 根据权利要求4所述的装置,其中,所述受主掺杂剂(8)是砷。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述基极板(1)由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成,其中x具有介于0.15和0.95之间的值,并且表达所述第一镉浓度。

7. 根据权利要求6所述的装置,其中,所述阱(12)由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成,其中y具有大于0.15且小于或等于0.95的值,严格大于x值,并且表达所述第二镉浓度。

8. 一种用于生产具有至少一个异质结构p/n型二极管的装置的方法,包括以下连续步骤:

a)将受主掺杂剂(8)离子注入到由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成的衬底(101)中,所述衬底具有第一镉浓度,包含n型非本征施主,被称为基极板(1);

b)扩散并激活所述衬底中的所述掺杂剂(8),以在所述衬底中限定p+型掺杂带(9);

c)在步骤b)之前或之后,将元素之一是镉Cd的钝化层(5)沉积在所述基极板(1)和所述p+型掺杂带(9)的顶部上;

d)填充最初存在于所述衬底中的汞能隙,或者填充在扩散并激活所述掺杂剂的步骤期间所形成的汞能隙,所述基极板(1)变成n型掺杂的,并且与所述p+型掺杂带(9)形成p+/n结或p/n结(10),

其特征在于,所述方法包括:在步骤d)之前且在步骤b)和c)之后,使镉从所述钝化层(5)选择性相互扩散到所述p+型掺杂带(9)中,以形成第一部分(4),以及第二部分(11)、阱(12)或浓缩部分,所述第一部分由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成,具有第一镉浓度,所述第二部分、所述阱或所述浓缩部分由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成,具有第二镉浓度,所述第二镉浓度恒定,并且大于所述第一镉浓度,所述阱(12)位于所述p+型掺杂带(9)的内部。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,选择性镉相互扩散的步骤包括选择性扩散退火,所述选择性扩散退火在大于100℃的温度下进行大于一分钟的时间。

10. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 所述受主掺杂剂(8)是砷。

11. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 所述阱(12)具有形成界面的边界, 或具有形成位于所述p/n结(10)处的异质结(3)的边界, 所述阱(12)具有基极, 并且所述方法用于同时生产多个p/n型二极管, 对于所述方法期间所产生的所有二极管, 在所述阱(12)的基极处的所述异质结(3)位于距离p/n结(10)的相同的平均相对距离(D)处, 在所述p+型掺杂区(9)的内部。

12. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 在沉积所述钝化层(5)的步骤之前, 整个衬底(101)具有第一浓度的镉浓度。

用于红外成像器的具有在HgCdTe上自定位的可控异质结构的 P-N型二极管

技术领域

[0001] 本发明涉及由半导体材料制造的二极管领域。更具体地,本发明涉及在基于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 类材料的衬底中形成的p/n型二极管,该p/n型二极管可用于红外成像器。

背景技术

[0002] p/n型二极管通常形成在主要为n型掺杂的衬底100.0中。它们在该衬底100.0中包括被称为基极板1.0的n型掺杂区域(图1)和与基极板1.0相邻的p+型掺杂带9.0或p型掺杂带。n型掺杂区域1.0和p+型掺杂带9.0之间的界面通常被称为“p/n结”10.0。在热力学平衡处,空间电荷区7.0形成在p/n结10.0的两侧上。在空间电荷区7.0的第一边界7.1处,n型掺杂的基极板1.0带正电;并且,在空间电荷区的第二边界7.2处,p+型掺杂带9.0是通过诱导强电场而带负电。

[0003] 当电磁波W经由基极板1.0穿透衬底时,它通过与基极板1.0的材料的原子相互作用而形成电子-空穴对。在与多数载流子(在这种情况下为电子)再结合之前,基极板上的少数载流子(在这种情况下为空穴)自基极板1.0中的空穴扩散长度扩散。如果少数载流子扩散至空间电荷区7.0,少数载流子不会立即再结合。少数载流子通过电场而被加速到p+型掺杂带9.0。少数载流子在p+型掺杂带内再结合,从而在p+型掺杂带9.0和n型掺杂的基极板1.0之间形成反向电流。

[0004] 如果电磁波W穿过基极板1.0并且在空间电荷区7.0中产生电子/空穴对,那么该对被电场瞬间分开。空穴被引向第二边界7.2和p+型掺杂带9.0,而电子被引向第一边界7.1和n型掺杂的基极板1.0。这种现象比之前提到的现象更罕见,并且通常需要基极板1.0非常薄,电磁波W必需穿过整个基极板1.0。

[0005] p/n型二极管仅对能量足以使电子经过基极板1.0的材料能隙(gap)以形成电子/空穴对的波长敏感。因此,电磁波需要具有最小能量以便被检测到。相反地,如果电磁波具有远大于能隙的能量,那么电磁波与基极板1.0显著地相互作用,并且电子/空穴对的大多数在远离p/n结处形成,并且空穴与大多数载流子再结合而不能够检测到波。以这种方式,基极板1.0的材料能隙限定了能被二极管检测到的最小波长和适合于最佳检测的波长范围。

[0006] 在由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料制成的二极管中,材料能隙以及这种二极管检测到的波长范围取决于在基极板1.0中的镉浓度。低镉浓度确保了二极管和长波长的电磁波检测的小能隙。然而,小能隙提高了二极管对缺陷的敏感性并导致暗电流增大。特别是,如果材料中存在缺陷,那么在材料的某些局部点处人为降低该能隙。在小能隙的材料中,这种人为降低与能隙成更大比例。

[0007] 暗电流是热骚动引起的光电二极管的不完整性(imperfection)。到达一定程度时,热骚动可对电子提供足够能量以通过自发形成电子-空穴对。如果由自发所形成的空穴出现在空间电荷区中或接近p/n结处,那么电流在缺少入射电磁波的情况下形成在二极管

上。

[0008] 为了限制小能隙的红外图像中的暗电流,一个选择是生产如图2G所示的所谓的“异质结构”二极管。在由J.M Arias等人在1993年出版在“Journal of Electronic Materials”(电子材料杂志),第22卷,第8期,1049至1053页的“MBE HgCdTe Heterostructure p-on-n Planar Infrared Photodiodes”(分子束外延HgCdTe异质结构p对n平面红外光电二极管)的文献中对这种结构和方法进行了描述。生产异质结构二极管涉及形成p/n型二极管,p/n型二极管具有p/n结10.0和围绕p/n结的空间电荷区7.0,二极管的基极板1.0是由小能隙的材料制成,但是p/n结10.0或者特别是空间电荷区7.0的第二边界7.2是由较大能隙的材料制成。在这种情况下,因为提供以形成电子-空穴对的能量大于基极板1.0中的能量,所以空间电荷区7.0中的自发电子-空穴对减少。在这种情况下,二极管不易受缺陷和暗电流影响。

[0009] 然而,必须能够回收在基极板1.0中吸收电磁波而产生的电流。因而,p/n结10.0应该位于足够靠近小能隙的基极板1.0处,更具体地,使得空间电荷区7.0的第一边界7.1在小能隙的基极板1.0中。

[0010] 这样,二极管为大部分p+型掺杂带9.0位于衬底100.0的与基极板1.0相比具有更大镉浓度的部分中,而不在元素之一为镉Cd的钝化层5.0中。这种设计使得二极管能够根据基极板1.0的能隙来检测包括短波长的波长范围,同时与非异质结构二极管相比,不易受噪音、暗电流和缺陷影响。

[0011] 本领域技术人员知道如何使用衬底100.0形成异质结构二极管,其中,基极板1.0由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 类的基极层形成,其中“x”等于例如0.22,而与基极板1.0接触的表面层2.0是由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成,其中“y”具有大于“x”的值,例如0.28。表面层2.0相比基极板1.0具有更大的能隙。术语异质结3.0表示基极板在1.0和表面层2.0之间的界面。

[0012] 然后,p+型掺杂带9.0或p型掺杂带形成在表面层2.0中,使得p+型掺杂带9.0相比表面层2.0具有更大的厚度并且从异质结构3.0中稍稍突出。在p+型掺杂带9.0和n掺杂基极板1.0之间的界面限定了p/n结10.0。p/n结10.0从表面层2.0中突出,使得空间电荷区7.0的至少第一边界7.1位于基极板1.0中。然后,p/n结10.0被定位在基极板1.0的带中,其中,来自表面层2.0的镉可轻微扩散。

[0013] 通常,这种基于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的二极管涂有元素之一是镉Cd的钝化层5.0,以稳定二极管。此外,为了操作二极管,导体触点6.0存在于p+型掺杂带9.0中以回收二极管中产生的任何电流。

[0014] 根据现有技术用于制造异质结构二极管的方法描述在图2A至2G中。

[0015] 首先,选择由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成的用作基极板1.0的初始衬底(图2A)。“x”的值可以是例如0.22。这个值选择为 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 能隙是检测给定的电磁波的所需能隙,给定的电磁波具有对应于这种能隙的最小能量。基极板1.0通常可具有从十分之几微米到几十微米的厚度,例如10 μm 。

[0016] 优选地,基极板1.0最初包括使用在其制造期间引入的一种或多种施主型掺杂剂而确立的n型掺杂。在不引入非本征掺杂剂的情况下,基极板1.0可以是n或p类型。

[0017] 如图2B所示,通过分子束外延或液相外延在基极板1.0的顶部形成由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成的表面层2.0,其中“y”相比“x”具有严格大的值,例如0.28。表面层2.0可具有例如1 μm 的

厚度。表面层与基极板1.0形成衬底100.0。在基极板1.0和表面层2.0之间的界面3.0被称为异质结3.0。

[0018] 随后,受主型掺杂剂8.0通过离子注入被引入到位于表面层2.0中的掺杂带中(图2C)。离子注入将掺杂剂8.0以掺杂剂原子的形式注入到所限定的深度并且形成含有掺杂剂8.0的注入带70.0。

[0019] 然后,进行掺杂剂8.0的扩散。该扩散使掺杂剂原子移动,并从而产生用于p/n型二极管的常规形式的掺杂区域(图2D)。然后,激活掺杂剂8.0,该激活是指掺杂剂原子被引入到基极板1.0的晶格中。这样,例如掺杂剂诸如砷的激活使取代碲原子的砷原子在表面层2.0和基极板1.0中移动。激活形成了p+型掺杂带9.0。掺杂剂的扩散和激活通常合成单一的扩散和激活步骤。

[0020] 优化该扩散和激活步骤以扩散掺杂剂直到在p+型掺杂带9.0与表面层2.0和基极板1.0的剩余部分之间的界面被定位在靠近异质结3.0。这种界面延伸超过表面层2.0进入基极板1.0中。如下文所述,p+/n结10.0将形成在这种界面上。同时,该扩散和激活步骤以p型掺杂的掺杂促使包括基极板1.0、表面层2.0和p+型掺杂带9.0的整个衬底100.0形成汞能隙。在p+型掺杂带9.0与基极板1.0和表面层2.0的剩余部分之间的界面变成了p+/p结。为了简化目的,该界面将被称为p/n结10.0。

[0021] 优选地,尝试将在基极板1.0中的p/n结10.0定位在异质结3.0的边界处,以使得p/n结10.0在基极板1.0的镉浓度和表面层2.0的镉浓度之间的中间镉浓度的带中。

[0022] 在扩散并激活掺杂剂的步骤之前或之后,将元素之一是镉Cd的钝化层5.0沉积在表面层2.0的顶部(图2E)。钝化层的目的是为了保护p/n型二极管结构。

[0023] 为了将上述p+/p结转化成p+/n结10.0,本领域的技术人员知道在以上描述的步骤之后进行填充汞能隙的步骤。填充汞能隙的步骤的目的是消除由在离子注入和用于扩散和激活掺杂剂的步骤期间形成缺陷而引起的p型掺杂。在填充能隙的这一步骤之后,具有施主型掺杂剂的基极板1恢复为n型掺杂(图2F)。然后,p+/p结变成通常被称为p/n结的p+/n结10.0。

[0024] 然后,加入优选由金属制成的导体触点6.0(图2G)。这种触点穿过钝化层5.0并进入p+型掺杂带9.0而未到达基极板1.0。可以使用常规微电子技术来形成导体触点6.0。然后,将它连接到未示出的外部电路。未示出的第二触头通常形成在二极管外部,并且它们用于在n型掺杂基极板1.0与外部电路之间形成电接触。联合操作的两种类型的触点可有助于回收例如在电磁波的影响下易于在p/n结10.0出现的任何电流。

[0025] 这种异质结构二极管的缺点很多。

[0026] 在下文正文中的附图标记参照图2G,图2G示出了通过使用现有技术的方法得到的异质结构p/n型二极管。

[0027] 首先,难以生长由无晶体缺陷的 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成的表面层2.0,并且特别难以得到无缺陷的异质结3.0。尽管花费时间和金钱以降低风险,但通常仍然存在缺陷,从而使二极管的p/n结10.0变弱并且使二极管更容易受噪音影响。

[0028] 第二种限制是异质结3.0存在于整个衬底100.0上。由于异质结3.0的存在,衬底100.0具有晶体缺陷的可能性因此是显著的。

[0029] 第三种限制在于p/n结10.0相对异质结的相对位置取决于掺杂剂的扩散,特别是

取决于掺杂剂的注入条件和扩散和激活退火条件。掺杂剂的注入和扩散是难以精细控制的随机统计现象。

[0030] 使用这种生产异质结构p/n型二极管的方法,p/n结10.0相对异质结3.0的相对位置因此难以控制。永远不能够确保p/n结10.0在异质结3.0的边界处到达基极板1.0,或相反地,它不会过度地从其中突出。

[0031] 第四,如上所述,谋求使p/n结10.0有利地位于基极板1.0中,靠近表面层2.0,其中存在镉浓度梯度。在两个相邻的二极管之间的p/n型二极管10.0的深度上的小差异导致了p/n结10.0处于梯度的不同点处并因而在p/n结10.0处具有不同镉浓度。因此,p/n结10.0可被定位在一个二极管到另一个二极管的不同能隙材料中。

[0032] 通过将这种现象加入到上面对第三限制所描述的现象,应注意,p/n结10.0的精确镉浓度难以预测和控制。因此,二极管的性能,例如量子效率、检测出的波长范围内的暗电流,可能随着从一个二极管到另一个二极管而发生变化。因此,存在对于从一个二极管到另一个二极管的相同辐射通量而不能得到相同信号的风险。

发明内容

[0033] 根据本发明的具有p/n结的异质结构的二极管和根据本发明的方法用于降低这些限制的影响。特别是,它们用于以较低成本生产优良品质的异质结构以促进控制p/n结相对异质结的相对位置并增强从一个衬底到另一个衬底以及在同一衬底中从一个二极管到另一个二极管的该相对位置的再现性和重复性。

[0034] 因此,本发明首先涉及具有至少一个异质结构p/n型二极管的装置,所述异质结构p/n型二极管含有大部分是n掺杂的基于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的衬底。该衬底对于每个二极管包括:

[0035] 第一部分,第一部分具有第一镉浓度,

[0036] 第二部分,第二部分具有大于第一镉浓度的第二镉浓度,第二部分或者浓缩部分与第一部分形成异质结构,

[0037] p+型掺杂带或p型掺杂带,p+型掺杂带或p型掺杂带位于浓缩部分内并延伸到第一部分中,并且与n型掺杂的被称为基极板的第一部分的一部分形成p/n结。

[0038] 衬底通过引入非本征施主而进行n型掺杂。

[0039] 根据本发明的装置的特征在于浓缩部分仅位于p+型掺杂带内,并且形成基本恒定的镉浓度阱。这种装置适用于解决上述问题。事实上,由于异质结构包含在p+型掺杂带中,它未存在于装置的二极管外部的衬底中。这样,可以不存在与两个相邻二极管之间的异质结构相关的问题。此外,具有第一镉浓度的第一部分容易在二极管的边缘处经历处理,而无需如根据现有技术结构中的情况一样,被具有另一镉浓度的表面层所涂覆。

[0040] 优选地,该阱具有相对于p/n结位于基本上恒定的平均距离处的基极。以这种方式,根据本发明的装置适用于控制二极管的性能,与现有技术相比,平均相对距离中的差异减少。

[0041] 当根据本发明的装置包括至少两个相邻异质结构p/n型二极管,两个相邻二极管的阱是分开的,并且两个二极管之一的平均相对距离基本上等于另一二极管中的平均相对距离,从而为每个二极管的p/n结和异质结构之间提供了基本上相同的位置,并为每个二极管提供了可靠的性能。事实上,每个二极管具有在p/n结和异质结构之间的基本上相同的相

对位置,每个二极管的性能基本上相同。

[0042] p+型掺杂带掺杂有受主掺杂剂,受主掺杂剂有利地是砷。

[0043] 基极板是由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成,其中x具有优选在0.15和0.95之间的值,例如0.3。该x值表达镉浓度的值并且适合于计算镉浓度。x值基本上等于第一镉浓度值的两倍。

[0044] 类似地,阱是由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成,其中y具有有利地在0.15和0.95之间的相比x值严格更大的值。y值表达镉浓度值并且适合于计算该镉浓度。x和y的这些值确保了二极管将对红外光谱内的波长敏感。y值基本上等于第二浓度值的两倍。

[0045] 优选地,x和y的值不具有过大的差异。具体地,这种差异小于0.5或0.2。如果x和y之间的差值过大,那么过大的能隙差会形成在基极板和任何导体触点之间。然后,这种很大的能隙差将需要通过来自电磁波和基极板之间的相互作用的任何空穴来通过。这在某些情况下可能会导致检测装置的效率下降或功耗增加。

[0046] 本发明还涉及用于生产根据本发明的具有至少一个异质结构p/n的装置的方法。这种方法包括以下连续步骤:

[0047] a)将受主掺杂剂离子注入到由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成的衬底中,衬底包括n类型非本征施主,具有第一镉浓度,称为基极板,

[0048] b)扩散并激活注入衬底中的掺杂剂,以在衬底中限定具有标准掺杂带形状的p+型掺杂带,

[0049] c)在步骤b)之前或之后,将元素之一是镉Cd的钝化层沉积在p+型掺杂带的顶部上,以保护二极管并限制汞从二极管中的解吸,

[0050] d)填充最初存在于衬底中的汞能隙,或填充在扩散并激活掺杂剂的步骤期间所形成的汞能隙。步骤d)之后,汞能隙引起的任何p型掺杂都消失,通过扩散和激活掺杂剂的步骤所人为进行p型掺杂的基极板再次变成n型掺杂,并且与p+型掺杂带形成p+/n结或p/n结。

[0051] 因此,基极板在步骤a)中被限定为衬底的一部分,其中,不存在受主掺杂剂。

[0052] 根据本发明的方法的特征在于,它包括:优选在步骤d)之前且优选在步骤b)和步骤c)之后,使镉从钝化层选择性相互扩散(inter-diffusion)到p+型掺杂带的步骤。以这种方式,形成第一部分和第二部分(阱或浓缩部分),第一部分由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成,具有第一镉浓度,第二部分、阱或浓缩部分由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成,具有第二镉浓度,第二镉浓度基本上恒定,并且大于基极板的第一镉浓度。阱位于p+型掺杂带的内部。以这种方式,在填充能隙的步骤d)之后,阱被划定在p/n结所限定的带内部。

[0053] 根据本发明方法的选择性相互扩散步骤适用于不需要外部控制地自动形成镉浓缩的第二部分,该第二部分以最佳方式位于p+型掺杂区域内,且自定位。扩散是选择性的,由选择性相互扩散步骤的操作条件和p+型掺杂带的形状控制,因此,控制p+型掺杂带的形状会控制阱。因此,不存在得到相对于p/n结不适当地定位异质结构的危险,p/n结限定为p+型掺杂带和n型掺杂基极板之间的边界。此外,具有较高的镉浓度的、通过使镉在初始晶格中扩散所获得的阱具有与衬底的初始晶格相同的晶格。

[0054] 优选地,在沉积钝化层的步骤c)之前进行扩散和激活掺杂剂的步骤b)。

[0055] 可以颠倒步骤b)和c)。

[0056] 选择性镉相互扩散步骤有利地包括选择性扩散退火。在限制材料降解的压力和温度条件下,选择性扩散退火优选地在大于100℃的温度下进行多于一分钟的时间。因此,镉

在p+型掺杂带中的扩散通过退火温度和时间而得以控制,退火温度和时间是影响选择性相互扩散步骤的操作条件的两个参数。这些参数对整个衬底是相同的,并且易于重复生产根据本发明的其它装置。以这种方式,在相同衬底上,以及从一个衬底到另一个衬底,镉扩散相对于p+型掺杂带是基本上相同,甚至是从一个二极管到另一个二极管的p+型掺杂带具有基本上不同的形状。因此,根据本发明的装置特性存在有意义的重复性和再现性,特别是对于来自相同衬底的或在相同操作条件下经历扩散退火的任何衬底的任何二极管,p/n结和阱布置有基本相同的相对位置。

[0057] 受主掺杂剂优选是砷。

[0058] 无论掺杂剂是否为砷,离子注入可能以通常介于 10^{12} 和 10^{16} at/cm²之间的剂量进行。

[0059] 根据本发明的方法所形成的阱具有与具有第一镉浓度的衬底的剩余部分形成界面或异质结构的边界。阱被包含在p+型掺杂带内部,异质结也包含在p+型掺杂带的内部。所述阱具有基极,并且所述方法用于同时生产多个p/n型二极管,对于该方法期间所产生的所有二极管,在阱的基极处的异质结位于距离p/n结(10)的基本上相同的平均相对距离(D)处,在p+型掺杂带内部。以这种方式,根据本发明的方法为由于控制相互扩散步骤的温度和持续时间而适用于相对p/n结精确且可重复地定位异质结。

[0060] 最后,优选地,在沉积钝化层的步骤之前,整个衬底具有第一浓度的镉浓度。这意味着,不存在如现有技术的情况,由HgCdTe制成的表面层具有与衬底不同的镉浓度。因此,由于根据本发明的方法能够生产异质结构二极管而不需要包括外延层的衬底,而对于外延层的生产需要较长时间且处理昂贵,并且进一步会引起缺陷形成,所以根据本发明的方法能够实现显著的经济获益。

附图说明

[0061] 阅读作为非限制性实施例给出的下面描述并参考所附附图,将更清楚地理解本发明,并且呈现其它细节及其优点和特征,其中:

[0062] 图1示出了根据现有技术的异质结构p/n型二极管;

[0063] 图2A至2G示出了根据现有技术的技术用于生产异质结构p/n型二极管的方法的各步骤;

[0064] 图3示出了根据本发明的装置的异质结构p/n型二极管;

[0065] 图4A到4G示出了根据本发明方法的各步骤;

[0066] 图5示出了根据本发明将两个SIMS测量点定位在二极管上;

[0067] 图6A和图6B示出了对根据本发明的二极管的两个测量所获得的一方面的镉的浓度曲线以及另一方面的镉和砷的浓度曲线。

[0068] 各个附图的相同部分、相似部分或等同部分标注相同附图标,以便容易地从一个附图过渡到另一个附图。

[0069] 为了使附图更加清晰,附图中所示的各个部分不一定是相同比例。

[0070] 根据本发明的装置的各个实施方式的示例性附图作为实施例给出,而非限制性的。

具体实施方式

[0071] 本发明首先涉及包括至少一个异质结构p/n型二极管的装置。根据本发明的这种装置示于图3。

[0072] 在衬底101上存在的异质结构二极管包括n型掺杂的半导体材料的层或基极板1，并且该半导体材料属于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 类。由 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制成的基极板1具有第一镉浓度，第一镉浓度由基极板1的镉成分x表征。成分x优选为介于0.15和0.95之间。

[0073] 如果试图形成对称为长波长红外(LWIR)的、具体介于 $9\mu\text{m}$ 和 $30\mu\text{m}$ 之间的所谓长波长的红外电磁波敏感的二极管，那么x的值有利地介于0.15和0.25之间，例如0.22。

[0074] 如果试图形成对称为中波长红外(MWIR)的、具体介于 $3\mu\text{m}$ 和 $9\mu\text{m}$ 之间的所谓中波长的红外电磁波敏感的二极管，那么x的值有利地介于0.25和0.4之间，例如0.3。

[0075] 如果试图形成对称为短波长红外(SWIR)的、具体介于 $0.8\mu\text{m}$ 和 $3\mu\text{m}$ 之间的所谓短波长的红外电磁波敏感的二极管，那么x的值有利地介于0.4和0.95之间，例如0.45。

[0076] 在本发明的一个实例中，x的值基本上等于0.3。

[0077] 基极板1可存在于图3中未示出的衬底的一侧上。基极板1可存在于适用于支撑 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的层的任何类型的衬底上。然而，如果二极管打算用于成像器，那么衬底选择为对于成像器敏感的给定波长可透过的。特别是，衬底选择为对于能量等于基极板的能隙的电磁波可透过的。如果衬底不是可透过的或者如果该步骤增强了化合物的性能，那么进一步选择在随后的步骤期间去除衬底。

[0078] 在基极板1的顶部，存在由CdTe制成的钝化层5。该层与基极板1接触。

[0079] 基极板1在一侧上包含不与任何衬底接触的充当p+型掺杂带9的p型掺杂区域。p+型掺杂带9使用受主型掺杂剂对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 进行掺杂。砷(As)是这种类型的有利掺杂剂。适合于使用的受主型掺杂剂进一步是例如磷(P)、锑(Sb)、铋(Bi)等或其它原子。在掺杂剂激活步骤期间，这些掺杂剂以及砷在碲原子的取代中被定位。在镉或汞原子的取代中定位的锂(Li)、铜(Cu)或金(Au)也是适用于本发明的范围内使用的受主掺杂剂。在下文中的描述中，我们将描述砷的情况。显然，本发明还涉及上面提到的其它受主类型掺杂剂。

[0080] 异质结构p/n型二极管和非异质结构p/n型二极管的p+型掺杂带9都具有可与现有技术中发现的形状相媲美的形状。因此，p+型掺杂带9与钝化层5接触。根据常规掺杂剂扩散曲线，p+型掺杂带9以有限的方式进一步延伸到基极板1中，例如在基极板1中高达约 $1\mu\text{m}$ 的深度。在p+型掺杂带9和n型掺杂基极板1之间的界面形成了p+/n结或p/n结10。

[0081] 有利的是，如在根据现有技术的二极管中，导体触点6穿过钝化层5并且进入p+型掺杂带9。

[0082] 根据本发明的装置的二极管特别不同于现有技术在于：被称为浓缩部分11的、相比基极板1的剩余部分具有更高镉浓度的部分存在于p+型掺杂带9的大部分中。浓缩部分11由相比第一镉浓度具有严格更大的镉浓度的 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 组成。该第二镉浓度由浓缩部分11中的镉成分y表征。

[0083] 浓缩部分11是阱12的形式，具有基本上恒定的镉浓度，与位于p/n结10的衬底的剩余部分具有边界。因此，衬底包括由基极板1组成的异质结构，其中，插入由相比基极板1具有严格更高的镉浓度的 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成的至少一个阱12。

[0084] 除具有钝化层5的界面之外,阱12的边界与具有镉成分x的基极板1形成了异质结3。异质结3基本上位于p/n结处,但是始终基本上位于p+型掺杂带9内部。事实上,有利地,异质结3未覆盖有p/n结,但发现完全在p+型掺杂带9内部。因此,存在非第二浓度的p+型掺杂带9的部分。

[0085] 成分y介于0.15和0.95之间,例如0.5。浓缩部分11的镉成分有利地是基本上恒定的。

[0086] 优选地,y值包含在与上述x相同的范围值内。然而,如果x和y的值之间的差异不是非常大,则y值可包含在除上面提到的那些范围值内的x之外的另一范围值内。特别是,该差异通常小于0.5。将采取措施以确保x和y之间的差异不是较大。否则,显著的能隙差异可能会形成在基极板 and 二极管中存在的任何导体触点之间。这种显著的能隙差异必需通过来自电磁波和基极板之间的相互作用的任何空穴来克服。这可能会导致检测装置的效率下降或功耗增加。

[0087] 因此,在第一近似中,根据本发明的衬底包括第一部分4,第一部分4具有第一镉浓度,包括n型掺杂基极板1和p+型掺杂带9的并非第二浓度的部分。

[0088] 优选地,具有在基极板1中的第一浓度和在阱12中的第二浓度之间的中间镉浓度的中间带位于p/n结10处,但在阱12外部。

[0089] 中间带优选至少在整个并非第二浓度的p+型掺杂带上延伸。以常规扩散曲线的形式,中间带具有在第一浓度和第二浓度之间的镉浓度梯度。以这种方式,当达到热力学平衡时,未示出的空间电荷区形成在p/n结10的周围,空间电荷区主要是由具有中间浓度或第二浓度的材料组成,即,它相比第一浓度通常具有更高的镉浓度。结果,空间电荷区由相比基极板1的材料能隙具有更大能隙的材料制成。有利地,p/n结为空间电荷区的第一边界是在基极板1中或在中间带的镉浓度接近基极板1的镉浓度的部分中,并且空间电荷区的第二边界是在阱12中或在中间带的镉浓度接近阱12的镉浓度的部分中。

[0090] 具有基极的阱12、由阱12的边界形成的异质结3和由p+型掺杂带9的边界形成的p/n结10在阱12的基极处被给定的平均相对距离平均分开。因而,异质结3与p/n结10具有给定的相对位置。如果在根据本发明的装置中存在多个p/n型二极管,那么对于在该方法期间生产的所有二极管,异质结3和p/n结的相对位置基本上相同。

[0091] 这样,在根据本发明的装置中存在的P/n型二极管中,在p/n型二极管中存在降低噪音的异质结3。此外,异质结3仅存在于装置中的p/n结10的附近,并且异质结得以产生而不形成界面缺陷。

[0092] 本发明还涉及用于生产根据本发明的装置的方法。参照4A到4G,在下文中对根据本发明的这种方法进行描述。

[0093] 首先,选择包括具有如上所述的第一镉浓度和组成的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 类型材料的层或基极板1的衬底101(图4A)。基极板1可以具有从几微米到几十微米例如10微米的厚度。它可以例如通过分子束外延(MBE)或通过液相外延(LPE)而形成。优选地,基极板1最初包括由在其形成期间所引入的非本征施主型掺杂剂例如铟所形成的n型掺杂带。这种掺杂剂可以具有本领域技术人员所知的低密度,例如通常介于 $1 \cdot \text{E}^{14} \text{at}/\text{cm}^3$ 和 $5 \cdot \text{E}^{16} \text{at}/\text{cm}^3$ 之间。如果掺杂剂在基极板1的形成期间未被引入,则在上面提到的步骤之前将其加入。

[0094] 随后,对于根据现有技术的方法,进行掺杂剂原子形式的受主型掺杂剂8的局部离

子注入(图4B)。该掺杂剂可以是前面在装置的描述中提到的掺杂剂中的一种,特别是砷。标准注入条件是例如500KeV的能量和 $2 \cdot 10^{15} \text{at/cm}^2$ 的注入剂量。其他离子注入条件可以根据对于二极管所寻求的性能而使用,并且为本领域技术人员所熟知。注入能量可以通常在例如10KeV和600KeV之间变化,并且注入剂量可以通常在例如 10^{12} 和 10^{16}at/cm^2 之间变化。掺杂物8被发现注入到嵌在基极板1中的注入带7中。可以任选地同时注入多个掺杂剂。

[0095] 随后,优选进行扩散和激活掺杂剂的步骤(图4C)。该步骤有利地通过使用掺杂剂扩散和激活退火而进行。然后,掺杂剂原子在三个方向中扩散:沿着限定基极板1的主表面13的两个方向,以及在与该主表面13垂直的方向13'上。在退火期间,汞能隙形成并且在整个衬底上引起p掺杂,包括在最初n掺杂的基极板1中。

[0096] 当扩散时,掺杂剂原子被激活。这意味着,它们被定位以便在它们存在的材料中给予补充的p极性。在通常使用的注入剂量的情况下,补充的极性在掺杂剂扩散的材料中引起p+型掺杂。对于砷掺杂剂,激活由将取代砷原子的砷掺杂剂原子定位组成。扩散和激活退火通常在饱和汞压力下,优选在300℃和500℃之间的温度下,例如优选在几分钟和几小时之间的时间内进行。一个具体的实例是440℃的温度和5小时的时间。显然,本领域的技术人员能够根据对于二极管所使用的掺杂剂类型、所使用的注入剂量和预期的使用类型来调整掺杂剂扩散和激活退火时间和温度。

[0097] 在p+型掺杂带9中,在扩散和激活后,受主掺杂剂原子可以具有通常介于 10^{15} 和 10^{20}at/cm^3 之间的密度。然后,元素之一是镉Cd的钝化层5被沉积在基极板1的顶部上。该层可以通过物理气相沉积(PVD)或通过任何其它技术而获得。该层具有通常介于0.5微米和5微米之间例如1微米的厚度。

[0098] 如果在沉积钝化层5之前未进行,则进行掺杂剂扩散和激活退火。

[0099] 然后,发明人提出了用于镉的选择性相互扩散的步骤(图4E)。该步骤引起镉从富含镉的钝化层5中扩散到基极板1,并且特别是选择性地扩散到存在于具有汞能隙的p型掺杂的基极板1中的p+型掺杂带9。

[0100] 为了这个目的,有利地用大于100℃的温度进行选择扩散退火。该退火可以具有大于一分钟的持续时间。特别是,选择性扩散退火优选地具有小于400℃的温度以便限制掺杂剂的任何进一步扩散。

[0101] 镉扩散是离子扩散。这意味着镉原子以 Cd^{2+} 离子的形式经由格隙位置(interstitial site)扩散。特征扩散长度D可表示如下:

$$[0102] \quad D = \left(\frac{p}{n_i} \right) D_{\text{Cd}^{2+}}$$

[0103] 其中 $D_{\text{Cd}^{2+}}$ 是在给定温度下的镉扩散系数,p是空穴密度值,而 n_i 是在基极板1中的本征载流子密度。

[0104] 因此,如果比率[(空穴密度)/ n_i]或扩散率上升,则促进镉扩散。相反地,在扩散率小于1的掺杂区域中,镉扩散很低。

[0105] 因此,相对于基极板1的剩余部分,扩散选择性地发生在p+型掺杂带9中,其中载流子浓度在 10^{17} 至 10^{20}at/cm^3 的区域中。事实上,基极板1虽然是p型掺杂的,但相对于本征载流子密度具有非常低的空穴密度。扩散被认为在整个p+型掺杂带9内是瞬时的,而受主掺杂剂的浓度在为砷的情况下大于 n_i 。

[0106] 因此,镉在p+型掺杂带中具有选择性的扩散长度 L_4 ,选择性扩散长度 L_4 远大于在p型掺杂基极板1中的镉的标准扩散长度 L_5 。可调节选择性扩散退火时间和温度,以便控制p+型掺杂带9中的镉的选择性扩散长度 L_4 和镉扩散量。

[0107] 在镉的选择性扩散退火期间,镉基本上在p+型掺杂带中扩散。因此, $Hg_{1-y}Cd_yTe$ 的阱12得以形成,具有第二镉浓度,第二镉浓度基本上恒定并且相比基极板1更富含镉。在阱12和基极板1之间的界面被称为“异质结3”。由于镉基本上在砷以相比本征载流子浓度 n_i 更大的量存在的地方扩散,这意味着阱12完全包含在p+型掺杂带9中,并且意味着异质结3未从p/n结10中突出。在具有恒定浓度的阱12和基极板1之间存在中间带,在中间带中,镉浓度在基极板1的第一浓度和阱12的第二浓度之间的中间。结合图6A和图6B,将对中间带进行更详细描述。中间带包括在基极板中的镉扩散梯度,在基极板中的镉扩散梯度在本发明中被称为“中间曲线”。中间带和基极板1是衬底的两个部分,这两个部分处于与第二镉浓度不同的浓度,并且它们一起限定了第一部分4。另一方面,如果形成了多个二极管,那么各个二极管的所有阱12可以被认为属于第二部分,第二部分具有在所有点上基本上恒定的第二镉浓度。

[0108] 控制选择性扩散长度 L_4 和所扩散的镉量确保了这两个重要参数被精确控制:阱12中的第二镉浓度值和中间曲线的形状。此外,如果在衬底101上生产多个二极管,由于镉扩散在p+型掺杂带9中被认为是瞬时的,那么对于在衬底101上所包括的所有二极管的在异质结3和p/n结之间的相对位置也以基本相同的方式设置。

[0109] 选择性扩散退火温度和时间是用于设置阱12中镉浓度和中间带的扩散曲线的形状及其长度的控制手段。

[0110] 事实上,如果温度低,那么镉扩散系数对于显著扩散来说太低。然而,如果温度过高,那么扩散系数高,但是砷于是会扩散,这将改变p+型掺杂带9的形状。可找到用于获得所寻求的镉相互扩散而没有修改p+型掺杂带9的最佳扩散温度和时间。因此,选择性扩散退火温度具有重要作用,而且其控制适合于显著扩散控制,并能够改变扩散曲线和所扩散的镉量。调整退火时间能够进行更严格但更可控的变化。

[0111] 控制中间带的长度和中间曲线有助于控制在p/n结10处和在空间电荷区中的镉浓度。因此,能够仅通过改变退火温度和/或时间以精确和可重复的方式控制在p/n结10处的能隙和p/n型二极管的性能,而不需要控制p+掺杂带9的尺寸。

[0112] 在选择性相互扩散步骤之后,该方法继续以常规步骤进行。进行填充汞能隙的步骤(图4F),由此p型掺杂的基极板1再次变成n型掺杂的,受主型汞能隙已被填充。这个步骤可包括在几分钟和几天之间例如一天或两天的期间内在150℃和350℃之间例如250℃的温度下的低温退火。

[0113] 随后,例如由金属制成的导体触点6穿过钝化层5并进入p+型掺杂带9(图4G)。

[0114] 上面描述的方法适用于获得具有异质结构的p/n型二极管,使得异质结3位于接近二极管的p/n结10的周边地区,优选位于由p/n型二极管所限定的体积内部。这种异质结构是自定位的,即,实施方式和异质结构相对于p/n结10的相对位置仅是由于总体处理衬底101的方法步骤,而没有任何局部处理步骤,诸如蚀刻、局部辐照等。

[0115] 根据本发明的方法适合于获得根据本发明的具有至少一个p/n型二极管的装置。发明人能够证明通过第二离子质谱(SIMS)所得到的镉浓度曲线与砷原子浓度曲线有关。

[0116] 图5示出了根据本发明的装置,该装置包括:p+型掺杂带9、具有较高镉浓度的阱12和钝化层5,钝化层5与p+型掺杂带9接触且与衬底的具有n型掺杂并形成基极板1的部分接触的方式进行定位。

[0117] 通过第二离子质谱(SIMS)完成两种浓度曲线测量。测量镉和砷的浓度曲线。沿着图5中所示的箭头16,在钝化层5与n型掺杂的基极板1接触的点完成第一测量16。沿着图5中所示的箭头17,在钝化层5与p+型掺杂带9接触的点完成第二测量17。

[0118] 图6A示出了在第一测量过程中得到的镉浓度曲线。y轴表示以任意单位测定的浓度,而x轴表示以任意单位计的在衬底中的深度测量,从而钝化层5的外表面被认为y轴的原点。二极管的结构元件的附图标记应参考图5理解。

[0119] 镉浓度曲线18具有峰台地(peak plateau),峰台地似乎确定为钝化层5。然后,可以观察到与转移到 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的基极板1对应的浓度下降。它迅速地继续进入与基极板1中的镉浓度相对应的最终镉台地。在基极板1中,接近钝化层5,观察到大于基极板1的剩余部分中存在的镉量的轻微的镉梯度19。这个梯度19标志着有限的镉从钝化层5扩散到基极板1中。

[0120] 在这个测量中,因为砷不存在,所以未计算砷的量。

[0121] 图6B示出了在第二测量过程中得到的浓度曲线。y轴表示以任意单位测定的浓度,而x轴表示以任意单位计的在衬底中的深度测量,从而钝化层5的外表面被认为y轴的原点。

[0122] 从y轴零开始,观察到镉曲线18'是最大的带。该带对应于钝化层5。在y轴的增加方向上,观察到曲线中的第一下降,随后观察到镉台地22。在镉台地22之后,出现了曲线25的第二下降。台地22限定了与第二镉浓度的阱12对应的带。镉曲线25中的第二下降对应上面提到的中间带,中间带包括在第一浓度和第二浓度之间的中间值的镉浓度梯度。

[0123] 镉曲线18'证实了形成由 $\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}$ 制成的阱,其中,成分y的值大于表达基极板1中的第一镉浓度的值x。

[0124] 然后,研究在第二测量过程中得到的砷曲线24。可以观察到,沿着镉台地22长度的砷曲线24的峰覆盖镉台地22。从在砷的任何扩散后发生镉扩散的方法的角度来看,该覆盖证明了镉扩散发生在由于砷的存在所限定的带中。

[0125] 可观察到p/n结10的定位。根据图6B中的曲线观察,p/n结位于镉曲线18'的曲线下降25处。因此,可以观察到p/n结位于比阱12更深的深度处,在由镉曲线25的第二下降的浓度梯度所确定的中间带中。中间带横跨n型掺杂的基极板1和p+型掺杂带9的区域。

[0126] 本领域技术人员将容易理解,能够通过使用如上所述的选择性扩散退火操作条件来调节曲线下降25的梯度中的长度和镉浓度。

[0127] 这种SIMS分析证明了:根据本发明的方法确实能够生产在 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的基极板1中自定位的异质结3,并且能够控制在二极管的p/n结10和在p/n结周围形成的空间电荷区中的镉浓度。

[0128] 根据本发明的方法和装置适合于得到用于生产特别是能够检测低能量电磁波而同时使噪音和暗电流最小化,并且对于二极管性能方面具有优异的均匀性的红外成像器的二极管阵列或单个二极管。

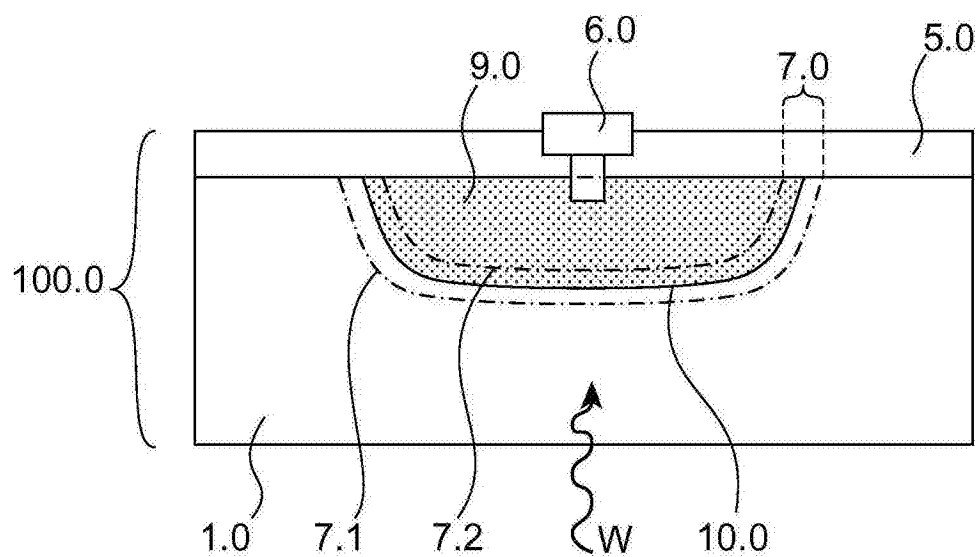


图1

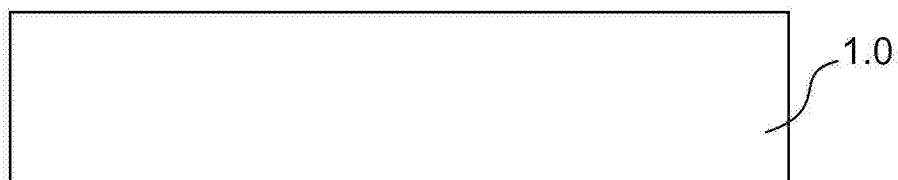


图2A

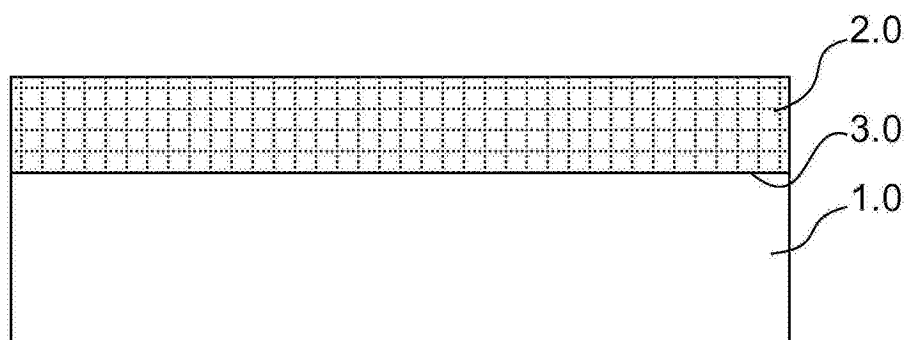


图2B

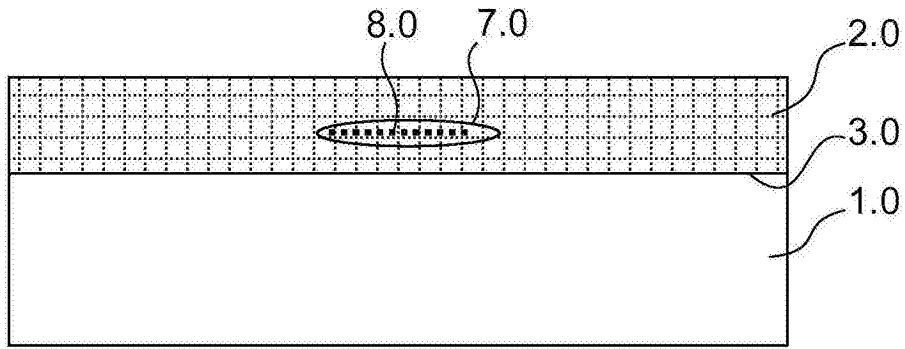


图2C

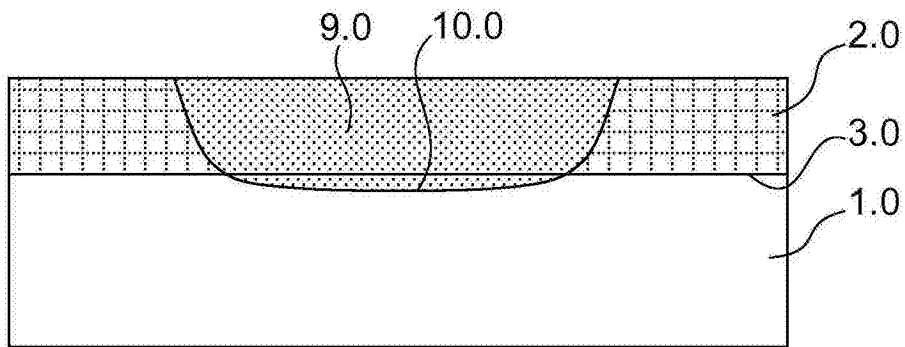


图2D

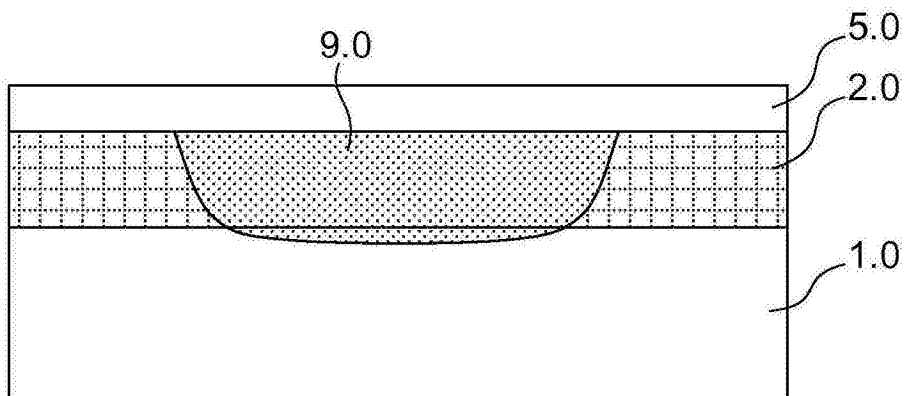


图2E

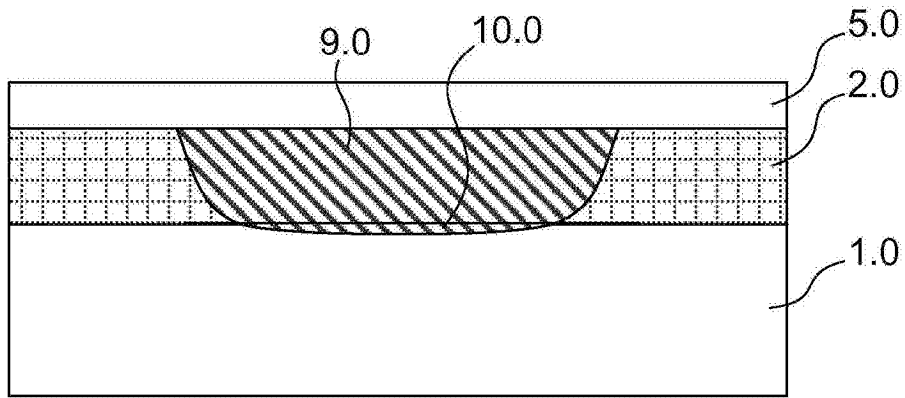


图2F

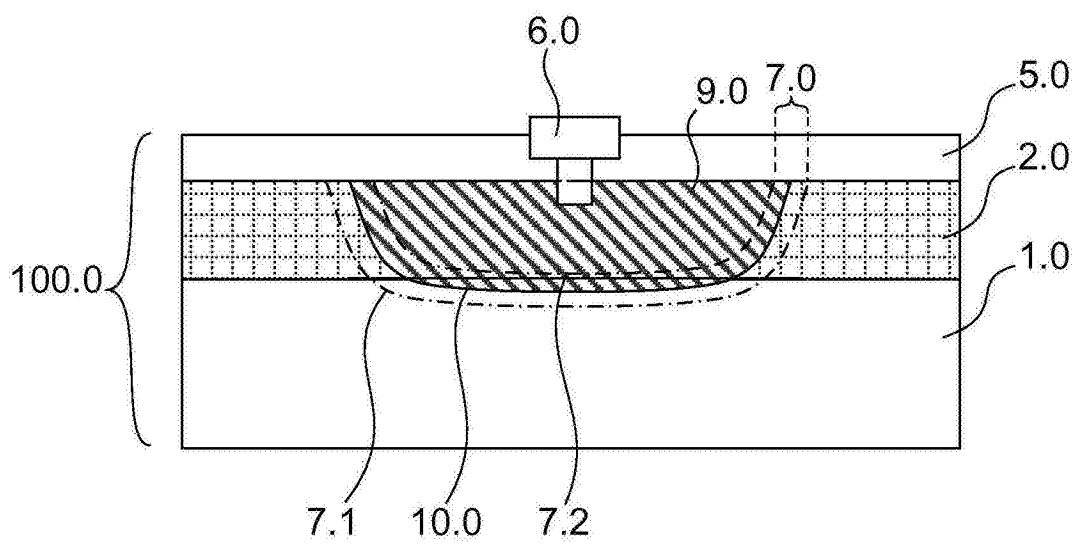


图2G

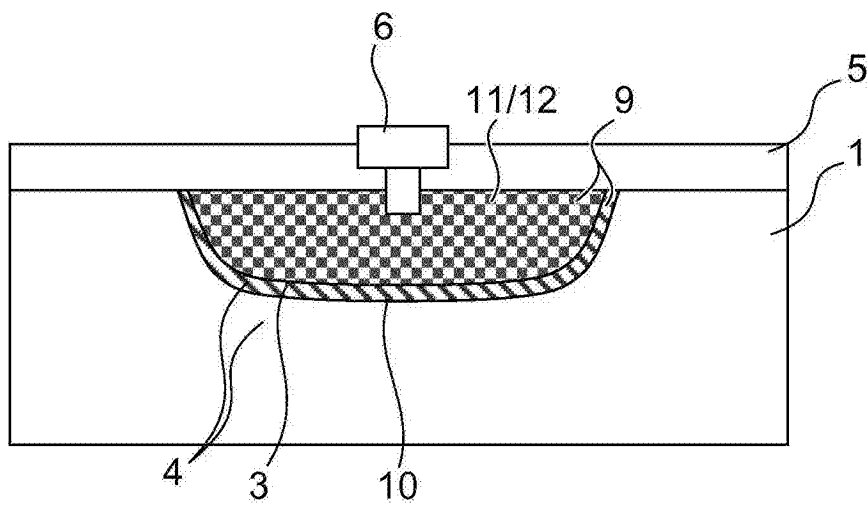


图3

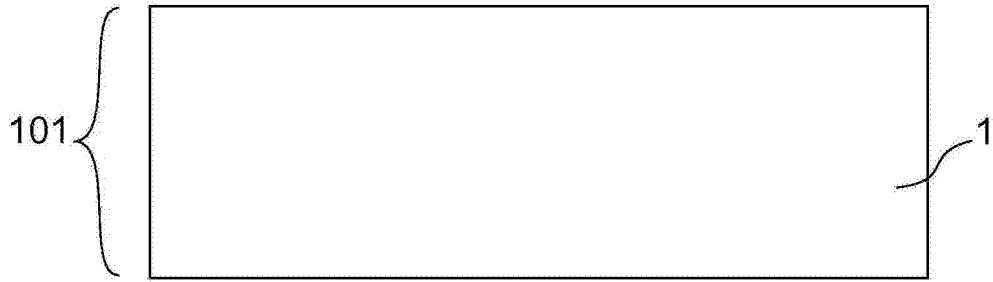


图4A

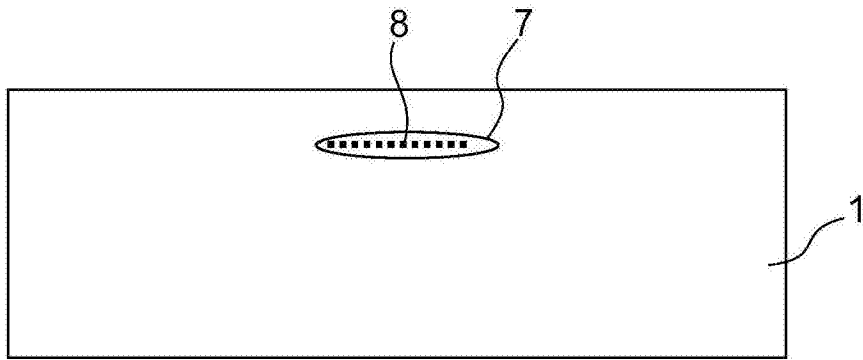


图4B

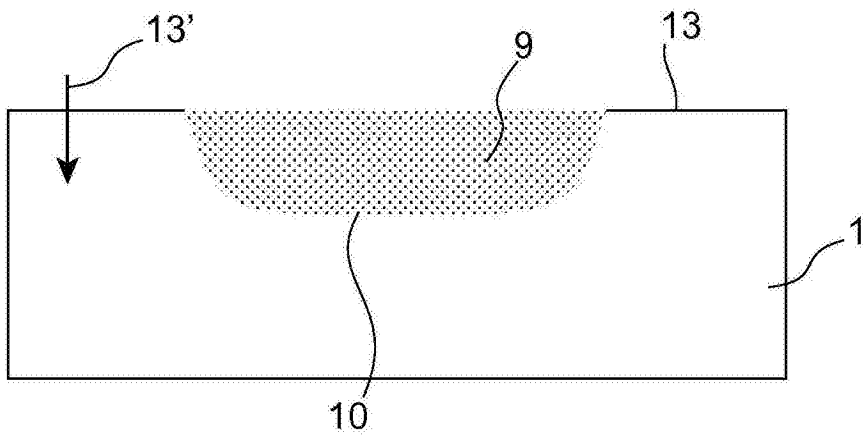


图4C

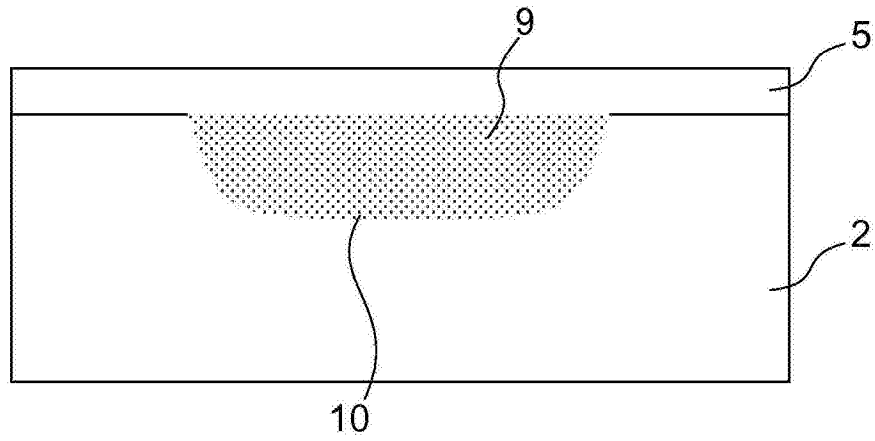


图4D

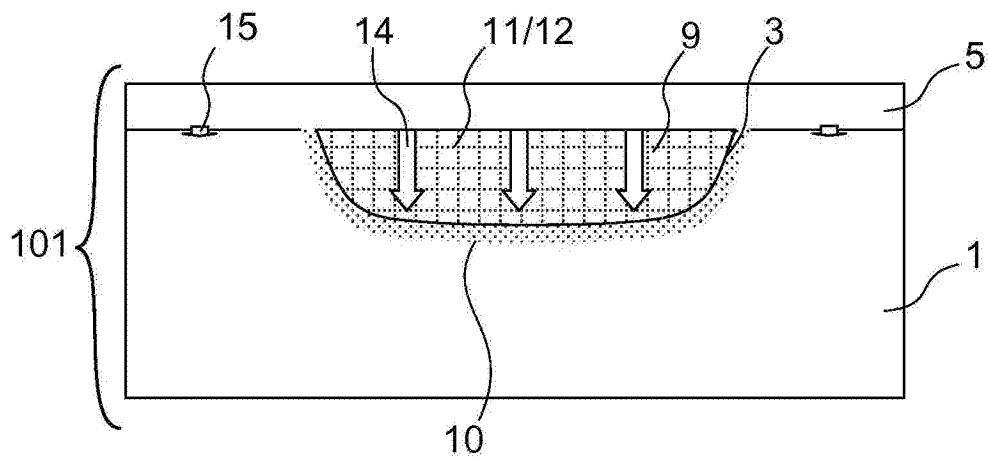


图4E

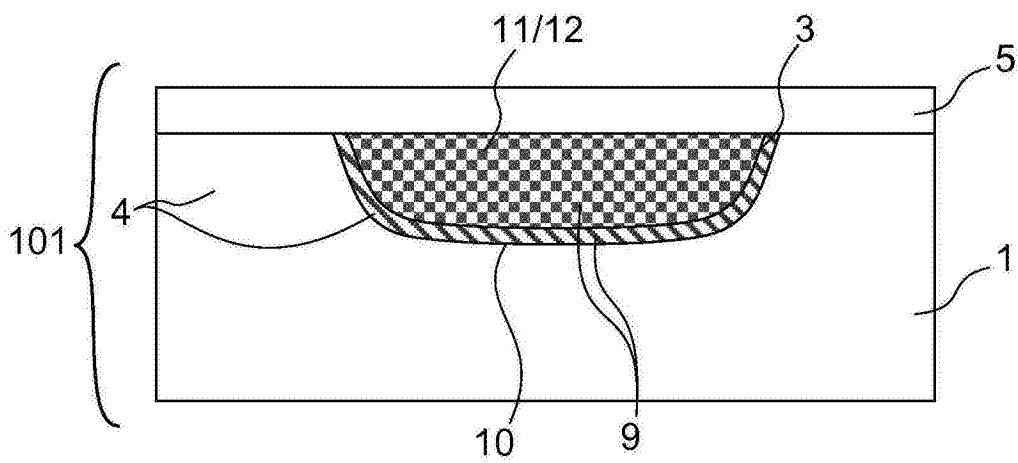


图4F

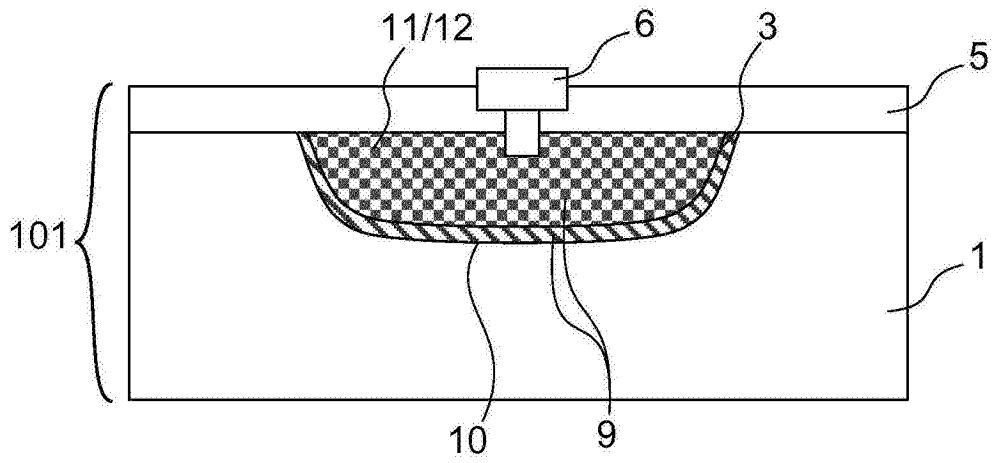


图4G

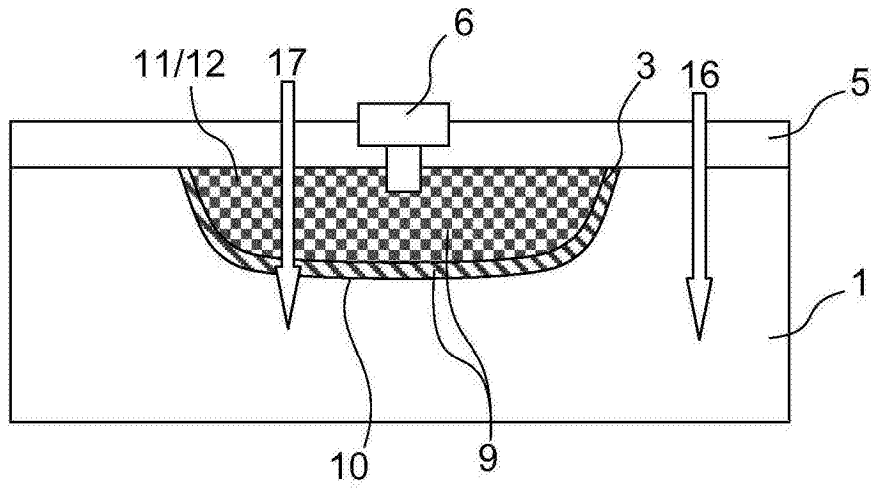


图5

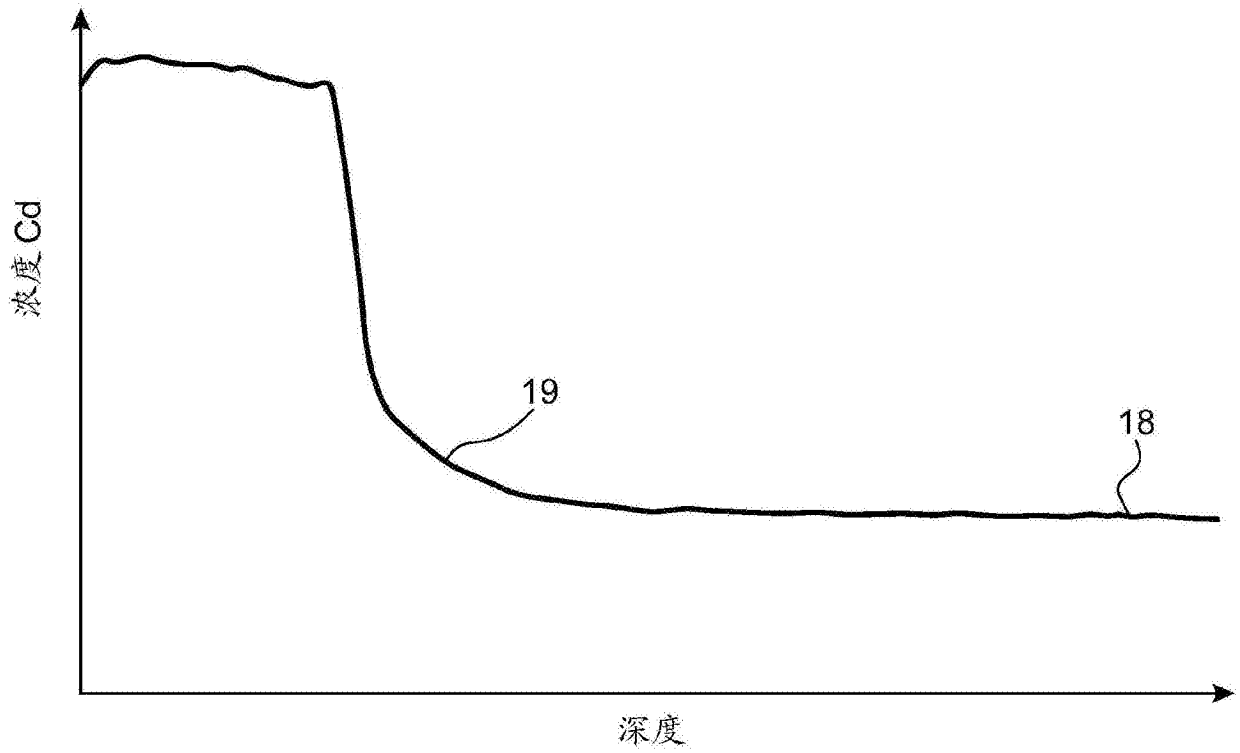


图6A

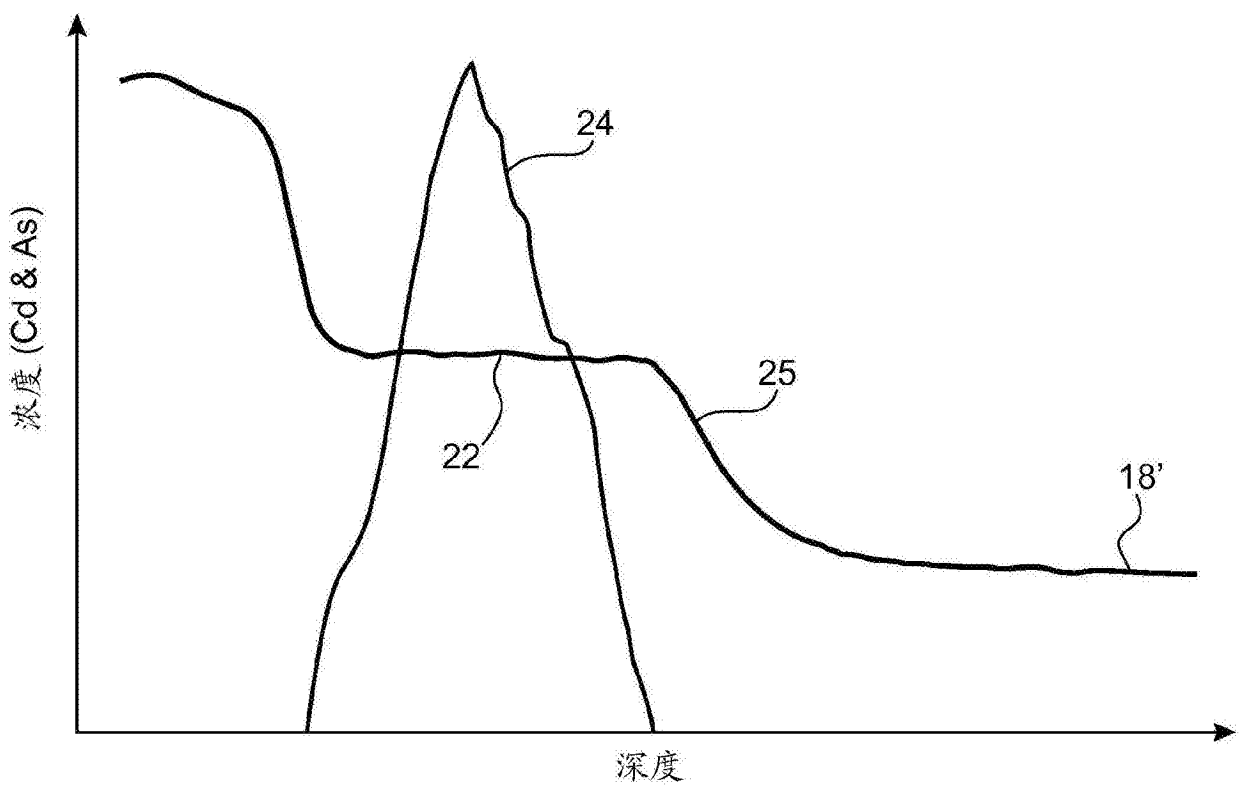


图6B