



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103789822 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201310520811. X

(22) 申请日 2013. 10. 29

(30) 优先权数据

10-2012-0122005 2012. 10. 31 KR

10-2012-0137988 2012. 11. 30 KR

(71) 申请人 LG 伊诺特有限公司

地址 韩国首尔

(72) 发明人 姜石民 金知慧

(74) 专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 许向彤 陈英俊

(51) Int. Cl.

C30B 25/02 (2006. 01)

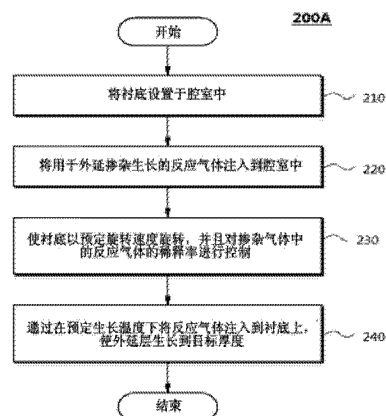
权利要求书1页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

外延片

(57) 摘要

所公开的是一种外延片,包括衬底和设置在所述衬底上的外延结构,其中所述外延结构掺杂有 n- 型或 p- 型掺杂物并且具有 10% 或更小的掺杂均匀度。



1. 一种外延片,包括:
衬底;以及
设置在所述衬底上的外延结构,
其中所述外延结构掺杂有 n- 型或 p- 型掺杂物并且具有 10% 或更小的掺杂均匀度。
2. 根据权利要求 1 所述的外延片,其中所述外延片从其中心到边缘具有所述掺杂均匀度。
3. 根据权利要求 1 和 2 中任一项所述的外延片,其中所述外延结构包括:
第一外延层;以及
设置在所述第一外延层上的第二外延层。
4. 根据权利要求 3 所述的外延片,其中所述第二外延层具有 $0.5/\text{cm}^2$ 或更小的表面缺陷密度。
5. 根据权利要求 3 所述的外延片,其中所述第一外延层的组成与所述第二外延层的组成相同。
6. 根据权利要求 3 所述的外延片,其中所述第一外延层按第一掺杂浓度进行掺杂,所述第二外延层按第二掺杂浓度进行掺杂,并且所述第一掺杂浓度大于所述第二掺杂浓度。
7. 根据权利要求 3 所述的外延片,其中所述衬底是碳化硅衬底且所述第一外延层和所述第二外延层中每一个包括碳化硅。
8. 根据权利要求 7 所述的外延片,其中掺杂有 n- 型掺杂物的所述第一外延层和所述第二外延层中每一个包括碳氮化硅(SiCN)。
9. 根据权利要求 7 所述的外延片,其中掺杂有 p- 型掺杂物的所述第一外延层和所述第二外延层中每一个包括铝碳化硅(AlSiC)。
10. 根据权利要求 3 所述的外延片,其中所述第一外延层具有 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 或更小的厚度。

外延片

技术领域

[0001] 实施例涉及的是一种外延片。

背景技术

[0002] 外延生长技术通常包括化学气相沉积法。根据该外延生长技术,通过将气相/液相/固相的硅复合物传送到单晶硅晶片(或者说是衬底)的表面上进行热分解或者说起到热分解的作用,这样来对晶片加热。同时,通过使单晶结构连续生长将硅层压到单晶硅晶片上,来制得外延片。如果要使制造的外延片具有特定的极性,例如 n- 型或 p- 型,那么在这种情况下,在外延生长法的过程中,向腔室内注入预定的掺杂气体。

[0003] 关键是,接受掺杂的外延片的掺杂均匀度要满足设计规范规定的公差。有一种传统方法可以实现此目的,在这种方法中,晶片、缓冲层和有源层的掺杂浓度不同,同时,缓冲层的掺杂浓度要比有源层的高。但是,尽管使用了这种方法,掺杂均匀度仍然无法达到所需的水平。

发明内容

[0004] 各实施例提供了一种高质量的外延片,其具有改进的掺杂均匀度因此其特性和产率也得到了加强。

[0005] 在一项实施例中,外延片包括衬底和设置在所述衬底上的外延结构,其中所述外延结构可以掺杂有 n- 型或 p- 型掺杂物并且具有 10% 或更小的掺杂均匀度。掺杂均匀度可以是 9% 或更小。

[0006] 所述外延片可以从其中心到边缘具有所述掺杂均匀度。

[0007] 所述外延结构可以包括第一外延层和设置在所述第一外延层上的第二外延层。

[0008] 所述第一外延层可以设置在所述衬底与所述第二外延层之间,使得在向所述外延片施加电压时诱发的漏电流受到抑制。

[0009] 所述第一外延层可以设置在所述衬底与所述第二外延层之间,使得所述衬底与所述第二外延层之间的晶格失配减小,由此所述第二外延层的表面缺陷减少。

[0010] 所述第二外延层可以具有 $0.5/\text{cm}^2$ 或更小的表面缺陷密度。

[0011] 所述第一外延层的组成可以与所述第二外延层组成相同。

[0012] 所述第一外延层可以按第一掺杂浓度进行掺杂,所述第二外延层可以按第二掺杂浓度进行掺杂,并且所述第一掺杂浓度可以大于所述第二掺杂浓度。

[0013] 所述衬底可以是碳化硅衬底且所述第一外延层和所述第二外延层中每一个可以包括碳化硅。

[0014] 掺杂有 n- 型掺杂物的所述第一外延层和所述第二外延层中每一个可以包括碳氮化硅(SiCN),且掺杂有 p- 型掺杂物的所述第一外延层和所述第二外延层中每一个可以包括铝碳化硅(AlSiC)。

[0015] 所述第一外延层可以具有 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 或更小的厚度。

[0016] 所述第一外延层可以具有 0.5 μm 到 1.0 μm 的厚度。

[0017] 在另一项实施例中,半导体装置包括所述外延片以及设置在所述第二外延层上的源极和漏极。

[0018] 所述半导体装置可以是金属半导体场效应晶体管(MESFET)。

[0019] 在另一项实施例中,一种用于在腔室中制造在衬底上具有外延结构的外延片的方法可以包括:将所述衬底设置于所述腔室中,以及在使所述衬底旋转的同时将包括生长气体和掺杂气体的反应气体注入到所述腔室中,来在所述衬底上对外延结构掺杂并使其生长。

[0020] 所述生长气体可以包括硅和碳,所述掺杂气体中的源气体的稀释率可以根据外延结构的碳硅比值(C/Si)进行确定,所述源气体所含的是掺杂到外延结构中的掺杂元素。

[0021] 当 C/Si 比值是 1 或更大时,源气体的稀释率可以确定为在 1/100 到 1/10 的范围内。此外,当 C/Si 比值小于 1 时,源气体的稀释率可以确定为在 1/70 到 1/30 的范围内。

[0022] 所述掺杂气体可以包括源气体和稀释气体,且源气体的稀释率可以表示如下。

[0023]

$$\text{源气体的稀释率} = \frac{\text{注入到腔室中的掺杂气体的流量}}{\text{源气体的流量} \times (\text{源气体的流量} + \text{稀释气体的流量})}$$

[0024] 在将反应气体注入腔室内时衬底的旋转速度可以确定为在 50rpm 到 100rpm 或 50rpm 到 70rpm 的范围内。

[0025] 所述外延结构的生长可以包括将第一外延层生长于所述衬底上以及将第二外延层生长于所述第一外延层上,其中,所述第一外延层的生长和所述第二外延层的生长可以没有间歇地连续执行。

[0026] 所述第一外延层可以按第一生长速度生长,所述第二外延层可以按第二生长速度生长,并且所述第一生长速度可以低于所述第二生长速度。

[0027] 在所述第一外延层的生长期间,所述外延结构的碳硅比值(C/Si)可以控制在 0.7 到小于 1 的值,在所述第二外延层的生长期间,碳硅比值(C/Si)可以控制在 1 或更大。

[0028] 所述外延结构的掺杂和生长可以进一步包括在所述第一外延层生长之后、所述第二外延层生长之前通过将反应气体注入到所述衬底上按特定的生长速度执行的中间生长,所述生长速度线性或步进式地从第一生长速度增加到第二生长速度。

[0029] 在所述第一外延层生长期间,注入在反应气体中所包含的掺杂气体和稀释气体,使得下面的等式所定义的注入参数满足 1/45min/Ml 到 1/10min/Ml。

[0030]

$$\text{注入参数} = \frac{\text{注入到腔室中的反应气体的流量}}{\text{掺杂气体的流量} \times (\text{掺杂气体的流量} + \text{稀释气体的流量})}$$

[0031] 在所述第二外延层生长期间,可以注入生长气体和稀释气体,使得注入参数满足 1/20min/Ml 到 1min/Ml。

[0032] 在所述第一外延层生长期间,反应气体中所含的生长气体的流量与稀释气体的流量的比值是 1/4,000 到 1/3,000,在所述第二外延层生长期间,反应气体中所含的生长气体的流量与稀释气体的流量的比值是 1/1,000 到 1/600。

[0033] 在所述第一外延层生长期间,碳硅比值(C/Si)可以是 0.5 到 0.8,在所述第二外延

层生长期间该比值可以是 0.8 到 1.2, 同时外延结构生长的温度和压力可以分别是 1,600℃ 到 1,650℃ 和 70 毫巴到 120 毫巴。

[0034] 反应气体中, 掺杂气体可以包括氮气且稀释气体可以包括氢气。

附图说明

[0035] 下面将参看附图详细地说明各种配置和实施例, 在图中, 类似的附图标记表示相同的元件, 其中:

[0036] 图 1A 到图 1C 是说明用于制造根据一项实施例的外延片的方法的截面图;

[0037] 图 2 是说明用于制造根据一项实施例的外延片的方法的流程图;

[0038] 图 3 是示出采用上述用于制造根据所述实施例的外延片的方法制得的外延片的掺杂均匀度的曲线图;

[0039] 图 4 是说明根据一项实施例的外延片的截面图;

[0040] 图 5 是根据另一项实施例的外延片的截面图;

[0041] 图 6 是说明用于制造根据另一项实施例的外延片的方法的流程图;

[0042] 图 7 和图 8 示出了根据一项实例进行外延掺杂和生长得到的缓冲层和有源层; 以及

[0043] 图 9 和图 10 示出了根据一项比较例进行外延掺杂和生长得到的缓冲层和有源层。

具体实施方式

[0044] 现在详细说明优选实施例, 这些优选实施例的实例于附图中予以图示。本公开不应被理解为受限于本文所陈述的各实施例, 而是包括与所附权利要求书所界定的本公开精神与范围相符的各种修改、变体、等效形式和替代形式。

[0045] 应了解, 尽管本文中使用包括第一或第二等这样的序数的术语来描述各种元件, 但是, 这些元件不应受到这些术语的限制。这些术语仅仅用于将一个元件与另一个元件进行区分。例如, 在不偏离本发明的教导的前提下, 第一元件可以被称作第二元件, 第二元件也可以被称作第一元件。术语“和 / 或”包括多个相关术语或其组合中的任何一种。

[0046] 本公开使用的术语仅仅是为了实现对特定实施例进行描述的目的, 而不是意图限制本公开。如本公开和所附权利要求书中所使用的, 单数形式也意图包括复数形式, 除非文中另有明确指示。应进一步了解, 当本说明书中使用“包含”和 / 或“具有”时, 它们表示了所陈述特征、整体、步骤、操作、元件、部件或其组合的存在, 但并不排除一个或多个其他的特征、整体、步骤、操作、元件、部件和 / 或其组合的存在或新增。

[0047] 除非另有定义, 否则本文中使用的术语(包括技术术语和科学术语)所具有的意义与本领域的普通技术人员通常所理解的一样。应进一步了解, 像常用词典中定义的这些术语, 应该被解释成其意义与在相关技术和本公开的上下文中的意义一致, 而不应该将它们解释得过于理想化或过于正式, 除非本文中另有明确定义。

[0048] 应了解, 当将层、薄膜、区域或衬底等元件称作位于层、薄膜、区域或衬底等另一元件“上”时, 这个元件可以是直接位于另一元件上, 或者也可以存在中间元件。对照而言, 当将一个元件称作“直接在”另一个元件“上”时, 则不存在中间元件。

[0049] 下文中, 将参考附图详细描述各实施例。所有附图尽可能使用相同的附图标记来

表示相同或类似的部分。重复的描述将省略。

[0050] 本实施例提供一种外延片,这种外延片从其中心到边缘的掺杂均匀度是 10% 或更小,具体地讲是 9% 或更小,以及一种用于制造这种外延片的方法。

[0051] 这里,外延片的掺杂均匀度表示标准偏差与掺杂浓度的平均值之间的百分比,而且可以表示成下文的等式 1。

[0052] [等式 1]

[0053]

$$\text{掺杂均匀度}(\%) = \frac{\sigma}{\text{mean}} \times 100$$

[0054] 这里,mean 表示掺杂浓度的平均值,σ 表示掺杂浓度的标准偏差。掺杂均匀度 (%) 的值越是减小,掺杂越均匀。

[0055] 根据本实施例,外延片的掺杂均匀度可以在掺杂过程中通过各种参数加以改进,这些参数如:温度、压力、C/Si 比值、Si/H₂ 比值、衬底(或晶片)的旋转速度、掺杂气体的稀释率、稀释气体与源气体的比值,等等。

[0056] 在前述参数中,与所注入的掺杂气体的实际掺杂元素相对应的源气体的稀释率可以作为掺杂均匀度的改进中最关键的参数。因此,用于制造根据一项实施例的外延片的方法有助于通过源气体的稀释率改进掺杂均匀度。下文中,将参看附图描述根据该实施例的外延片和用于制造该外延片的方法。

[0057] 根据本实施例,可以制造出自中心到边缘均匀掺杂的外延片,这样的外延片具有误差范围是 10% 或更小的掺杂均匀度。在为此而注入的掺杂气体中源气体的稀释率是根据 C/Si 比值进行适当控制的,因此,衬底的旋转速度也由此得到适当的控制。

[0058] 图 1A 到图 1C 是说明用于制造根据一项实施例的外延片的方法 200A 的截面图。图 2 是说明用于制造根据一项实施例的外延片的方法 200A 的流程图。

[0059] 下文中,参看图 1A 到图 1C 描述图 2 中示例性示出的用于制造外延片的方法 200A,但是,该实施例不限于图 1A 到图 1C 所示出的截面图。

[0060] 在用于制造根据该实施例的外延片的方法 200A 中,如图 1A 所示例性示出,衬底 110 设置在反应腔室(未图示)中(步骤 210)。这里,衬底 110 可以是半导体衬底,例如是基于碳化硅的衬底。此外,衬底 110 可以是如图 1A 到图 1C 中所示出的 4H-SiC 衬底,但是,该实施例不限于此。也就是说,除了 4H-SiC 衬底外,还可以根据在根据该实施例的外延片上最终形成的元件或产品的类型而使用像 6H-SiC、3C-SiC 或 15R-SiC 等衬底。

[0061] 在步骤 210 后,将反应气体(或者称反应源)注入腔室内,并且使衬底 110 旋转,从而将外延层 115、117 和 119 生长于衬底 110 上(步骤 220 到步骤 240)。

[0062] 这里,外延结构可以包括多个外延层 115、117 和 119,但是,该实施例不限于此。如果将由特定物质制成的材料层压或生长到衬底 110 上来形成层压层(未图示),那么可能会由于衬底 110 与该层压层之间的晶格常数失配而导致难以确保该层压层的可靠性。为了解决这个问题,如图 1A 中所示例性示出,外延层 115 可以作为缓冲层层压到衬底 110 上。接着,如图 1B 中所示例性示出,第一外延层 117 生长到缓冲层 115 上。然后,如图 1C 所示例性示出,第二外延层 119 生长到第一外延层 117 上。这里,可以略去缓冲层 115 的生长。

[0063] 首先,注入用于在衬底 110 上进行外延掺杂生长的反应气体(步骤 220)。这里,反

应气体可以包括用作外延生长源的生长气体和用于生长过程中的掺杂的掺杂气体,但是,该实施例不限于此。

[0064] 前述掺杂气体可以包括源气体和用于稀释源气体的稀释气体,所述源气体对应于实际被掺杂到通过外延生长而层压得到的外延层 115、117 和 119 上的元素,但是,该实施例不限于此。

[0065] 根据该实施例,当将反应气体注入到腔室内时,对衬底 110 的旋转速度进行控制(或者称调整),同时对掺杂气体中的源气体的稀释率进行控制(步骤 230)。根据如图 2 中所示例性示出的用于制造外延片的方法 200A,在步骤 220 后,执行步骤 230 然后执行步骤 240。但是,步骤 220 到步骤 240 也可以同时执行。对衬底 110 的旋转速度以及源气体的稀释率进行的控制可以按照以下方法执行。

[0066] 首先,如果执行外延生长所在的衬底 110 是基于碳化硅的衬底(例如是 4H-SiC 衬底),如图 1A 到图 1C 所示例性示出,那么可以用作外延生长的生长气体的是:含碳和硅的液态、气态或固态物质(或化合物),例如, $\text{SiH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8 + \text{H}_2$ 、MTS (CH_3SiCl_3)、TCS (SiHCl_3)、 Si_xC_x ($1 \leq x \leq 17$)、 Si_xC_y ($1 \leq x \leq 17, 1 \leq y \leq 18$),这些材料的晶格常数与衬底 110 的相匹配。如果情况是,通过上文所述的外延生长方法层压到衬底 110 上的外延层 115、117 和 119 掺杂了 n- 型掺杂物,那么可以使用氮气(N_2)等 V 族元素作为源气体,但是,该实施例不限于这种源气体物质。

[0067] 此外,反应气体可以根据对外延层 115、117 和 119 进行层压时所在的衬底 110 的材料和类型加以改变。此外,实际上涉及掺杂的源气体也可以根据掺杂类型(n- 型或 p- 型)进行改变。为了使描述简便且重点突出,在以下说明中会假设外延掺杂生长是在基于碳化硅的衬底 110 上执行的,使用氮气作为源气体,但是,该实施例不限于此。

[0068] 此外,这里的说明还假设氢气(H_2)是稀释气体,用于对源气体也就是氮气进行稀释,但是,该实施例不限于此。例如,惰性气体(例如, Ar 或 He)也可以用作稀释气体。

[0069] 关于步骤 220 中注入的掺杂气体,源气体的稀释率可以表示成以下的等式 2。

[0070] [等式 2]

[0071]

$$\text{源气体的稀释率} = \frac{\text{注入到腔室中的掺杂气体的流量}}{\text{源气体的流量} \times (\text{源气体的流量} + \text{稀释气体的流量})}$$

[0072] 根据该实施例,源气体的稀释率可以根据外延结构 115、117 和 119 的碳硅比值(C/Si)来确定,其中源气体的稀释率与注入到腔室内的掺杂气体中实际掺杂到外延层 115、117 和 119 上的掺杂元素相对应。当外延层 115、117 和 119 的 (C/Si) 比值是 1 或更大时,如果源气体的稀释率小于 1/100 或高于 1/10,这时等式 1 所表示的掺杂均匀度可能会恶化。因此,当外延层 115、117 和 119 的 C/Si 比值是 1 或更大时,源气体的稀释率可以设置在 1/100 到 1/10 的范围内。

[0073] 此外,当外延层 115、117 和 119 的 C/Si 比值低于 1 时,如果源气体的稀释率小于 1/70 或高于 1/30,这时等式 1 所表示的掺杂均匀度也可能会恶化。因此,当外延层 115、117 和 119 的 C/Si 比值低于 1 时,可以对源气体的稀释率进行控制,将其设置在 1/70 到 1/30 的范围内。

[0074] 此外,掺杂气体通过设置在这个腔室内的入口加以供应,通过一个出口排出,由此

使腔室内的掺杂气体的浓度保持恒定。但是,实际上,因为设置了入口的这个区域的掺杂浓度可能要比设置了出口的这个区域的掺杂浓度高,所以,可能无法做到对于从衬底 110 的中心到边缘的整个表面以均匀的浓度来供应掺杂气体,这是不利的。因此,根据该实施例,当生长外延层 115、117 和 119 时,使衬底 110 发生旋转。当衬底 110 的旋转速度小于 50rpm 或大于 100rpm 时,外延片的掺杂均匀度可能会恶化。因此,如果对衬底 110 的旋转速度进行控制,例如将其设置在 50rpm 到 100rpm 的范围内,那么供应到衬底 110 上的掺杂气体的浓度便可以保持恒定。

[0075] 图 3 是示出采用上述用于制造根据所述实施例的外延片的方法 200A 制得的外延片的掺杂均匀度的曲线图。在图 3 中, x 轴表示测试次数, y 轴表示外延片的掺杂均匀度。

[0076] 图 3 中所示例性示出的测试实例是在以下条件下得到的:按上文所述的源气体稀释率执行外延掺杂和生长,同时使衬底 110 按上文所述的速度进行旋转。从图 3 可见,所有的 10 次测试的掺杂均匀度都满足 10% 或更小的误差范围。惯用产品的掺杂均匀度通常在 15% 或更小的误差范围内,从这一事实可见,外延层 115、117 和 119 在根据该实施例的条件下接受掺杂和生长所具备的掺杂均匀度相当好。

[0077] 因此,根据如图 2 所示例性示出的用于制造外延片的方法 200A,只需控制好衬底 110 的旋转速度,同时根据外延层 115、117 和 119 的 C/Si 比值适当控制源气体的稀释率,便可以确保获得相当好的掺杂均匀度。

[0078] 继续按照前述的条件控制来执行外延生长,直到外延层生长到所设计的目标厚度为止,如图 2 的步骤 240 中所示。即,在步骤 220 和 230 期间,将外延层 115、117 和 119 生长到衬底 110 上(步骤 240)。

[0079] 外延层 115、117 和 119 可以按照以下方法形成于衬底 110 上。

[0080] 用于制造根据本实施例的外延片的方法 200A 可以包括一个如图 1A 和图 1B 所示预生长步骤,以及如图 1C 所示的生长步骤。

[0081] 在预生长步骤中,将用于外延生长的反应气体注入到设置在腔室内的衬底 110 上,在预定的第一生长速度和第一生长温度下,使外延层 115 和 117 生长到预定的第一厚度。

[0082] 在生长步骤中,将反应气体注入到衬底 110 上,在预定的第二生长速度和第二生长温度下将外延层 119 生长到目标厚度。第一生长速度低于第二生长速度,并且生长步骤和预生长步骤是没有间歇地连续执行的。

[0083] 例如,第一生长速度可以设置成 $3\mu\text{m/h}$ 到 $5\mu\text{m/h}$ 或更小的速度(也就是说,以此速度,每小时将外延层 115 和 117 层压 $3\mu\text{m}$ 或更小的厚度,或者 $5\mu\text{m}$ 或更小的厚度)。第一生长速度和第二生长速度中每一种速度都可以通过控制注入到腔室内的反应气体的流量来进行控制。

[0084] 大体而言,当外延层 117 和 119 高速生长时,要使外延层 117 和 119 均匀地发生层压和生长可能比较困难。因此,根据预生长步骤,通过将温度维持在预定的第一生长温度,反应气体的原子之间开始发生迁移,由此提供了实现均匀生长的环境,同时,可以通过降低生长速度,确保让原子能够均匀分布和生长到衬底 110 上的时间。因此,因为在外延层 119 生长之前,外延层 115 和 117 通过预生长步骤生长于衬底 110 上,所以减小了衬底 110 与外延层 119 之间的晶格失配,并因此大大减少了外延层 119 的表面缺陷。

[0085] 因此,预生长步骤这一初步过程减小了在早期生长阶段因为晶格失配引起的表面缺陷,并由此而有益于生长步骤。因此,约 $0.5\ \mu\text{m}$ 到约 $1.0\ \mu\text{m}$ 的厚度范围对于通过预生长步骤生长成的外延层(115 或 / 和 117) 已经足够。这里,可以对通过预生长步骤生长成的外延层 115 或 / 和 117 的厚度进行控制,方式是,通过控制第一生长温度、第一生长速度,以及生长时间。

[0086] 在生长步骤中,外延层 119 适当地生长在根据预生长步骤生长成的外延层 115 和 117 上。因为生长步骤是跟随在预生长步骤后面的,所以此生长步骤可以使外延层 119 按远大于预生长步骤中的第一生长速度的第二生长速度生长。例如,第二生长速度可以是 $20\ \mu\text{m/h}$ 或更大,第二生长温度例如可以设置在从 $1,500^\circ\text{C}$ 到 $1,700^\circ\text{C}$ 的范围内。该生长步骤可以一直执行到外延层 115、117 和 119 的总厚度达到所需的目标厚度为止。同时,所述目标厚度可以根据外延片的利用目的和具体应用、最终元件和产品的特征、设计规范等等加以改变。

[0087] 在上文所述的生长条件下,可以实施控制以便让预生长步骤获得 0.7 到小于 1 的 C/Si 比值,并且让生长步骤获得 1 或更大的 C/Si 比值。因此,在预生长步骤以及生长步骤期间,可以对预生长步骤进行控制,以便将源气体的稀释率设置在 $1/30$ 到 $1/70$ 的范围内;并且可以对生长步骤进行控制,以便将源气体的稀释率设置在 $1/10$ 到 $1/100$ 的范围内。

[0088] 根据一项实施例,生长步骤和预生长步骤是没有间歇地连续执行的。即,可以连续执行预生长步骤和生长步骤,而无需停止反应气体的注入(同时不会停止生长步骤)。生长步骤的连续执行可以由以下方法来完成。

[0089] 首先,可以在预生长步骤后紧接着执行生长步骤。或者,可以在生长与预生长之间插入一项中间生长步骤。中间生长步骤这一过程是用于通过在衬底 110 上注入反应气体来生长外延层,该中间生长步骤的生长速度会线性式地或步进式地从作为预生长步骤生长速度的第一生长速度增加到作为生长步骤生长速度的第二生长速度。

[0090] 图 4 是说明根据一项实施例的外延片 300A 的截面图。

[0091] 图 4 中所示例性示出的外延片 300A 包括衬底(或者称晶片)310 和设置在衬底 310 上的外延结构 320。衬底 310 可以是半导体衬底,例如可以是基于碳化硅的衬底。就此而言,外延结构 320 也可以是碳化硅结构。衬底 310 可以对应于图 1A 到图 1C 所示例性示出的衬底 110。

[0092] 外延结构 320 可以包括第一和第二外延层 322 和 324,并且可以掺杂有 n- 型或 p- 型掺杂物。第一外延层 322 设置在衬底 310 上,而第二外延层 324 设置在第一外延层 322 上。第一外延层 322 和第二外延层 324 在生长过程中通过外延生长而成,其中使衬底 310 进行旋转,同时控制气体源的稀释率,因此将掺杂均匀度保持在 10% 或更小。

[0093] 第一和第二外延层 322 和 324 可以分别对应于图 1B 和图 1C 中所示的第一和第二外延层 117 和 119。在这种情况下,如上文所述,因为用于形成第一外延层 322 的预生长步骤和用于形成第二外延层 324 的生长步骤是连续执行且并未停止反应气体的注入,所以第一外延层 322 和第二外延层 324 可以具有相同的组成。

[0094] 可以将第一外延层 322 设置在衬底 310 与第二外延层 324 之间来抑制对外延片 300A 施加电压后产生的漏电流。同时,第一外延层 322 的厚度可以是 $1\ \mu\text{m}$ 或更小,例如,厚度是 $0.5\ \mu\text{m}$ 到 $1.0\ \mu\text{m}$ 。

[0095] 第二外延层 324 可以通过上述生长步骤形成到目标厚度,并且表面缺陷密度是 $0.5/\text{cm}^2$ 或更低。

[0096] 衬底 310 可以是碳化硅(SiC)衬底,第一外延层 322 和第二外延层 324 中每一个都可以包括碳化硅。当衬底 310 是碳化硅(SiC)衬底,并且第一外延层 322 和第二外延层 324 这两个层都是由 n- 型导电碳化硅形成时,第一外延层 322 和第二外延层 324 中的每一个都可以由碳氮化硅(SiCN)形成。

[0097] 或者,当第一外延层 322 和第二外延层 324 这两个层都由 p- 型导电碳化硅形成时,第一外延层 322 和第二外延层 324 中每一个都可以由铝碳化硅(AlSiC)形成。

[0098] 根据该实施例的外延片 300A 的掺杂均匀度改进为 10% 或更小,同时展现出了特性和产率加强等高质量。

[0099] 下文中,将参看附图描述根据另一项实施例的外延片以及用于制造该外延片的方法。

[0100] 根据另一项实施例,外延片的掺杂均匀度的误差范围可以是 9% 或更小。为此,注入的掺杂气体中源气体的稀释率根据 C/Si 比值进行适当控制,因此,衬底的旋转速度也由此得到适当的控制。

[0101] 图 5 是根据另一项实施例的外延片 300B 的截面图。图 6 是说明用于制造根据另一项实施例的外延片的方法 200B 的流程图。

[0102] 参看图 5,外延片 300B 包括衬底(或者称晶片) 330 以及外延结构 340。

[0103] 衬底 330 可以与图 1A 到图 1C 或图 4 所示例性示出的衬底 110 和 310 相同,并且可以包括半导体衬底。例如,衬底 330 可以是基于碳化硅的衬底。此外,衬底 330 可以根据最终要制造到外延片上的元件或产品的类型而为各种类型的衬底,例如,4H-SiC、6H-SiC、3C-SiC 或 15R-SiC。

[0104] 外延结构 340 可以设置在衬底 330 上,并且可以掺杂有 n- 型或 p- 型掺杂物。外延结构 340 可以包括通过外延生长形成的缓冲层(或者称第一外延层)342,和通过外延生长形成的有源层(或者称第二外延层) 344。

[0105] 缓冲层 342 设置在衬底 330 上,有源层 344 设置在缓冲层 342 上。当衬底 330 是基于碳化硅的衬底时,缓冲层 342 和有源层 344 也可以由掺杂的基于碳化硅的材料形成。缓冲层 342 可以按第一掺杂浓度进行掺杂,有源层 344 可以按第二掺杂浓度进行掺杂。

[0106] 提供缓冲层 342 来减小衬底 330 与有源层 344 之间的晶格常数差异造成的晶体缺陷,并且第一掺杂浓度大于第二掺杂浓度。例如,缓冲层 342 的第一掺杂浓度是 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 到 $7 \times 10^{18}/\text{cm}^3$,而有源层 344 的第二掺杂浓度是 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 到 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 。

[0107] 根据图 5 和图 6 所示例性示出的实施例,缓冲层 342 和有源层 344 的掺杂均匀度是 9% 或更小。

[0108] 当衬底 330 是由碳化硅(SiC)来实现时,缓冲层 342 和有源层 344 中每一个都可以包括碳化硅。例如,缓冲层 342 和有源层 344 中每一个都可以包括 n- 型导电碳化硅,即,碳氮化硅(SiCN),但是该实施例不限于此。根据另一项实施例,缓冲层 342 和有源层 344 中每一个都可以包括 p- 型导电碳化硅,即,铝碳化硅(AlSiC),但是该实施例不限于此。

[0109] 图 5 中所示例性示出的外延片 300B 可以如图 4 中所示例性示出的外延片 300A 一样应用到各种半导体装置上。

[0110] 参看图 6, 将衬底 330 设置在反应腔室中(步骤 260)。步骤 260 可以与图 2 中所示例性示出的步骤 210 相同。

[0111] 在步骤 260 后, 将反应气体注入到腔室内, 同时使衬底 330 在预定的旋转速度下旋转, 通过在衬底 330 上掺杂来对外延结构 340 掺杂并使其生长(步骤 270 和 280)。

[0112] 首先, 以预定的旋转速度使衬底 330 旋转, 同时, 将用于使缓冲层 342 掺杂生长的反应气体注入腔室内, 以便将缓冲层 342 生长到衬底 330 上(步骤 270)。

[0113] 然后, 以预定的旋转速度使衬底 330 旋转, 并且将用于使有源层 344 掺杂生长的反应气体注入腔室内, 以便将有源层 344 生长到缓冲层 342 上(步骤 280)。

[0114] 用于步骤 270 和 280 中的反应气体可以包括用作缓冲层 342 或有源层 344 的外延生长源的生长气体(或者称生长源), 用于在生长步骤期间掺杂的掺杂气体(或者称掺杂源或源气体), 以及用于稀释掺杂气体的稀释气体, 但是该实施例不限于此。

[0115] 根据该实施例, 在步骤 270 和 280 中, 对衬底 330 的旋转速度、反应气体的注入参数以及生长气体的稀释率进行控制。对衬底 330 的旋转速度、反应气体的注入参数以及生长气体的稀释率的控制可以使用以下方法来完成。

[0116] 例如, 如果生长外延结构 340 所在的衬底 330 是基于碳化硅的衬底(例如是 4H-SiC 衬底), 那么可以用作外延生长的生长气体的是: 含碳和硅的液态、气态或固态物质(或化合物), 例如, $\text{SiH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8 + \text{H}_2$ 、MTS (CH_3SiCl_3)、TCS (SiHCl_3)、 Si_xC_x ($1 \leq x \leq 17$)、 Si_xC_y ($1 \leq x \leq 17$, $1 \leq y \leq 18$), 这些材料的晶格常数与衬底 330 的相匹配。

[0117] 如果情况是, 通过上文所述的外延生长步骤层压到衬底 330 上的缓冲层 342 和有源层 344 掺杂了 n- 型掺杂物, 那么可以使用氮气(N_2)等 V 族元素作为掺杂气体, 但是, 该实施例不限于这种掺杂气体物质。

[0118] 此外, 生长气体可以根据对缓冲层 342 和有源层 344 进行层压时所在的衬底 330 的材料和类型进行改变。此外, 实际上涉及掺杂的掺杂气体也可以根据掺杂类型(n- 型或 p- 型)进行改变。下文中, 为了使描述简便且重点突出, 在以下说明中假设外延掺杂生长是在基于碳化硅的衬底 110 上执行的, 使用氮气作为掺杂气体。

[0119] 此外, 下文的说明还假设氢气(H_2)是稀释气体, 用于对氮气也就是掺杂气体进行稀释, 但是, 该实施例不限于此。例如, 惰性气体(例如, Ar 或 He)也可以用作稀释气体。

[0120] 在步骤 270 中, 为了让缓冲层 342 生长, 将反应气体的注入参数控制在 10ml/min 到 45ml/min 的范围内, 同时生长气体的流量与稀释气体的流量的比值控制在 1/4,000 到 1/3,000 的范围内, 同时配合以下条件: 碳硅比值(C/Si)是 0.5 到 0.8, 温度从 1,600°C 到 1,650°C, 以及压力从 70 毫巴到 120 毫巴。

[0121] 在步骤 280 中, 为了让有源层 344 生长, 将反应气体的注入参数控制在 1ml/min 到 20ml/min 的范围内, 同时生长气体的流量与稀释气体的流量的比值控制在 1/1,000 到 1/600 的范围内, 同时配合以下条件: (C/Si)比值是 0.8 到 1.2, 温度从 1,600°C 到 1,650°C, 以及压力从 70 毫巴到 120 毫巴。

[0122] 反应气体的注入参数可以由以下等式 3 来定义。

[0123] [等式 3]

[0124]

注入参数

$$= \frac{(a_1 \times \text{注入到腔室中的反应气体的流量} + b_1)}{(a_2 \times \text{掺杂气体的流量} + b_2) \times (a_3 \times \text{掺杂气体的流量} + a_4 \times \text{稀释气体的流量} + b_3)}$$

[0125] 在等式 3 中, a_1 到 a_4 表示正的实数, b_1 到 b_3 表示实数。例如, $a_1=a_2=a_3=a_4=1$, $b_1=b_2=b_3=0$ 。反应气体的流量、掺杂气体的流量以及稀释气体的流量这三个量的单位是 Ml/min 。

[0126] 当在步骤 270 中形成缓冲层 342 时, 可以注入反应气体、掺杂气体和稀释气体, 使得等式 3 中所示的注入参数满足 $1/45\text{min/Ml}$ 到 $1/10\text{min/Ml}$ (也就是 10Ml/min 到 45Ml/min)。

[0127] 此外, 当在步骤 280 中形成有源层 344 时, 可以注入反应气体、掺杂气体和稀释气体, 使得上述等式 3 中所示的注入参数满足 $1/20\text{min/Ml}$ 到 1min/Ml (也就是 1Ml/min 到 20Ml/min)。

[0128] 同时, 掺杂气体通过设置在腔室内的入口加以供应, 通过一个出口排出, 由此使腔室内的掺杂气体的浓度保持恒定。但是, 实际上, 因为掺杂气体在设置了入口的这个区域附近的掺杂浓度可能要比掺杂气体在设置了出口的这个区域附近的掺杂浓度高, 所以, 可能无法做到对于从衬底 330 的中心到边缘的整个表面以均匀的浓度来供应掺杂气体, 这是不利的。因此, 在步骤 270 和 280 期间, 供应到衬底 330 上的掺杂气体的浓度可以通过适当控制衬底 330 的旋转速度来进行保持均匀。

[0129] 例如, 在步骤 270 和 280 期间, 衬底 330 的旋转速度可以控制在 50rpm 到 70rpm (也就是 50 到 70 转 / 分)。

[0130] 图 7 到图 10 示例性示出的是在前述条件下, 在衬底 330 上执行外延掺杂生长的实例和比较例。

[0131] 图 7 和图 8 图示了根据该实例的经过外延掺杂并生长于 4 英寸的衬底 330 上的缓冲层 342 和有源层 344, 图 9 和图 10 图示了根据比较例的经过外延掺杂并生长在衬底上的缓冲层 342 和有源层 344。

[0132] 图 7 和图 8 中所示例性示出的缓冲层 342 和有源层 344 是使用 C-V (电容 - 电压) 计量仪进行测量的。结果, 图 7 的缓冲层 342 的掺杂均匀度如上文所述的等式 1 所表示, 为 8.65%, 而图 8 的有源层 344 的掺杂均匀度为 8.62%。这样可见, 当条件满足本实施例的衬底 330 的旋转速度、反应气体的注入参数以及生长气体的稀释率时, 缓冲层 342 和有源层 344 的掺杂均匀度是 9% 或更小。

[0133] 另一方面, 图 9 中示例性示出了缓冲层 342 在除了以下条件外其他都是相同的条件下进行外延掺杂和生长的情况: 衬底 330 的旋转速度设置为 40rpm 。此外, 图 10 中示例性示出了有源层 344 在除了以下条件外其他都是相同的条件下进行外延掺杂和生长的情况: 衬底 330 的旋转速度设置在高于 70rpm 的水平。图 9 和图 10 中所示例性示出的缓冲层 342 和有源层 344 是使用 C-V (电容 - 电压) 计量仪进行测量的。结果, 图 9 中所示例性示出的缓冲层 342 的平均掺杂浓度是 $6.79 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, 标准偏差是 $2.06 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, 并且掺杂均匀度是 30.35%。此外, 图 10 中所示例性示出的有源层 344 的平均掺杂浓度是 $2.08 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, 标准偏差是 $3.12 \times 10^{14}/\text{cm}^3$, 并且掺杂均匀度是 14.98%。

[0134] 这样,当衬底 330 的旋转速度设置在 40rpm 时,掺杂均匀度更恶化,同时掺杂浓度的偏差增加。此外,当衬底 330 的旋转速度设置在高于 70rpm 的水平时,掺杂均匀度约 15%,而掺杂浓度的偏差和厚度差增加,并且缺陷率也因此增加。

[0135] 惯用产品的掺杂均匀度通常约 15%,从这一事实可见,在根据本实施例的条件下接受掺杂和生长的外延结构 300B 的掺杂均匀度相当好。

[0136] 对上述条件进行控制来进行外延掺杂生长这一过程可以一直继续到有源层 344 生长到所设计的目标厚度为止。

[0137] 在根据本实施例的外延片的制造过程中,使缓冲层 342 生长的生长速度可以低于使有源层 344 生长的生长速度。例如,缓冲层 342 的生长速度设置在例如 $1\mu\text{m/h}$ 到 $3\mu\text{m/h}$ (也就是说,以此速度,每小时将外延层层压 $1\mu\text{m}$ 到 $3\mu\text{m}$ 的厚度)。

[0138] 当以高生长速度执行外延生长时,要达到均匀的层压效果(生长效果)可能一般比较困难。因此,在缓冲层 342 的生长过程中,通过将速度维持在预定的生长速度,通过反应气体的原子之间开始发生迁移,由此提供了实现均匀生长的环境,同时,可以通过降低生长速度,确保让原子能够均匀分布且生长到衬底上的时间。缓冲层 342 的生长过程可以减小晶格失配因此大大减少表面缺陷。缓冲层 342 的生长过程这一初步过程用于减小因为衬底 330 与有源层 344 之间的晶格失配以及热膨胀系数差引起的基面差排(basal plane dislocation, BPD)。因此,缓冲层 342 的厚度约 $0.5\mu\text{m}$ 到 $1.0\mu\text{m}$ 已经足够。

[0139] 这样,有源层 344 的生长过程可以使外延生长以高于缓冲层 342 生长速度的速度进行。例如,有源层 344 的生长过程可以在 $20\mu\text{m/h}$ 或更大的速度下执行。有源层 344 的生长过程可以一直执行到外延结构 340 的总厚度达到所需的目标生长厚度为止。所述目标厚度可以根据外延片的利用目的和具体应用、最终元件和产品的特征、设计规范等等加以改变。

[0140] 根据该实施例,缓冲层 342 的生长和有源层 344 的生长是没有间歇地连续执行的。即,可以连续执行缓冲层生长和有源层生长,而无需停止反应气体的注入(同时不会停止生长步骤)。生长步骤的连续执行可以由以下方法来完成。

[0141] 首先,可以在缓冲层 342 生长后紧接着执行有源层 344 的生长。或者,可以在有源层 344 的生长与缓冲层 342 的生长之间插入中间生长步骤。中间生长步骤这一过程是用于通过注入反应气体来按特定的生长速度生长外延层,其生长速度线性式地或步进式地从在将反应气体注入到腔室中之后生长缓冲层 342 的过程中的生长速度,增加到在生长有源层 344 的过程中的生长速度。

[0142] 根据该另一项实施例的外延片 300B 的掺杂均匀度可以改进为 9% 或更小,同时展现出了特性和产率加强等高质量。

[0143] 上文所述的外延片 300A 和 300B 可以应用到金属半导体场效应晶体管(MESFET)上。例如,通过在根据本实施例的第二外延层 324 和 344 上形成包括源极和漏极的欧姆接触层来制造金属半导体场效应晶体管(MESFET)。此外,根据所述实施例的外延片 300A 和 300B 可以应用到各种半导体装置上。

[0144] 尽管参看诸多实施例图例描述了各种实施例,但是应了解,本领域的技术人员可以设计出落在本公开原理的精神和范围内的许多其他修改和实施例。具体而言,在本公开、附图和所附权利要求范围内的主题组合配置的各组成部分和 / 或各配置是可以进行各种

变更和修改的。除了各组成部分和 / 或各配置的变更和修改外,替代使用对于本领域的技术人员也是一目了然的。

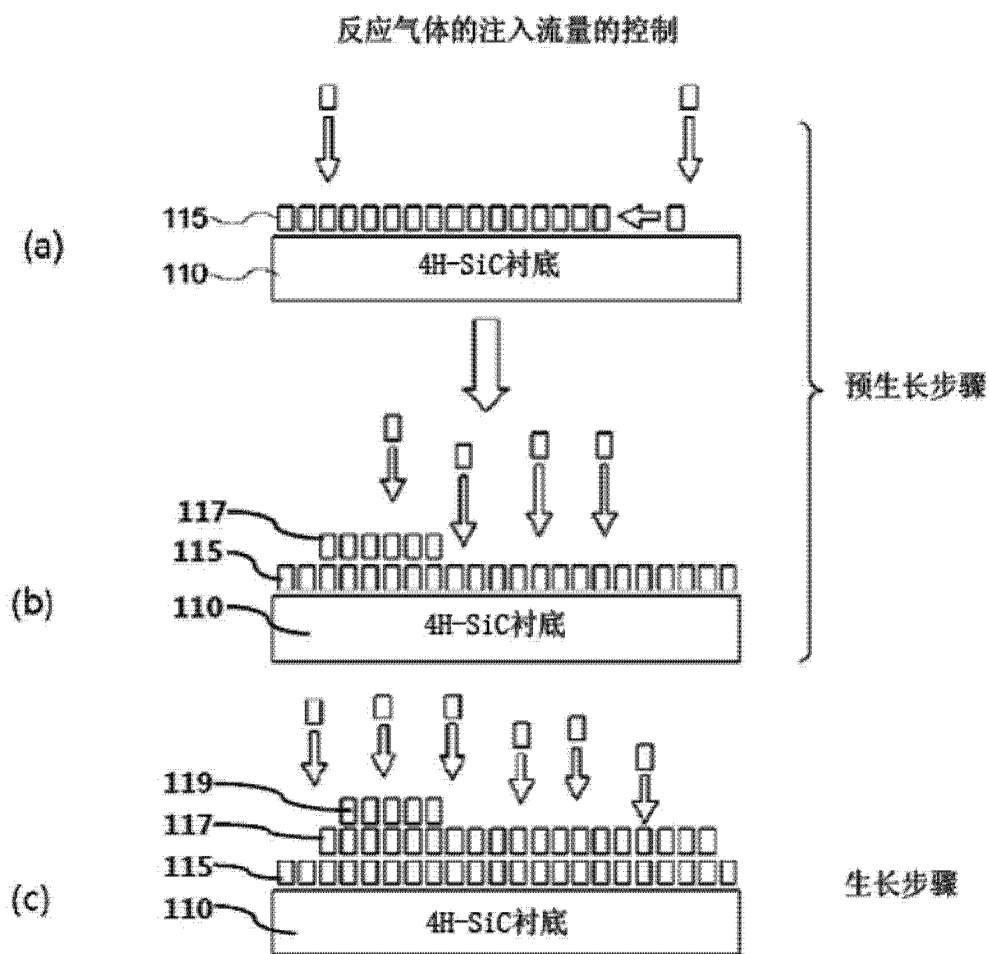


图 1

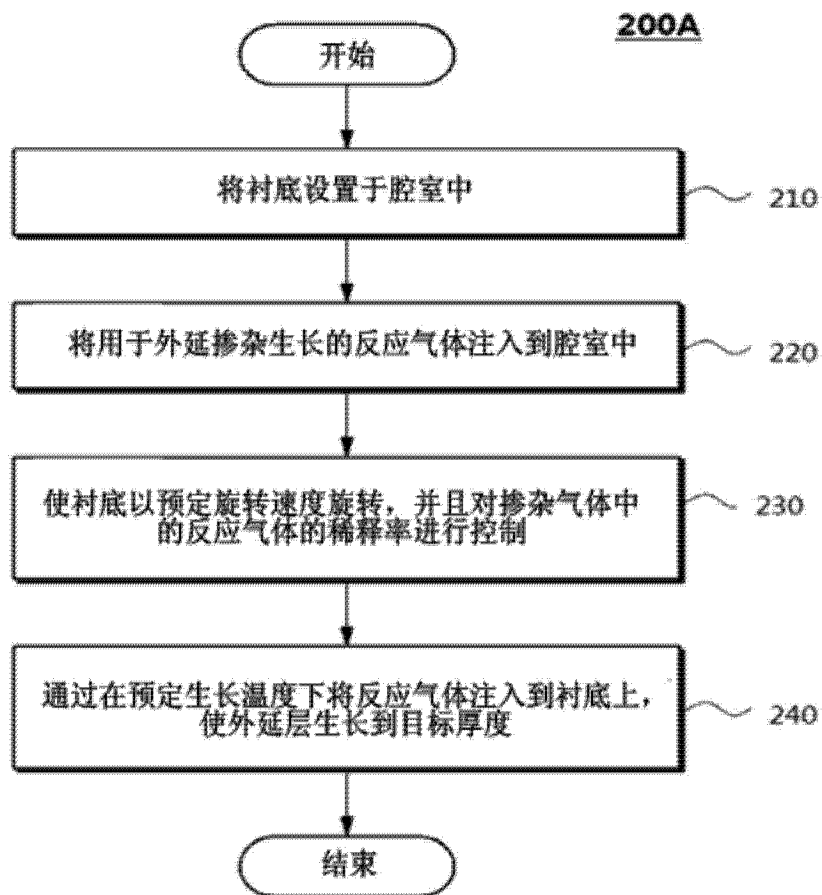


图 2

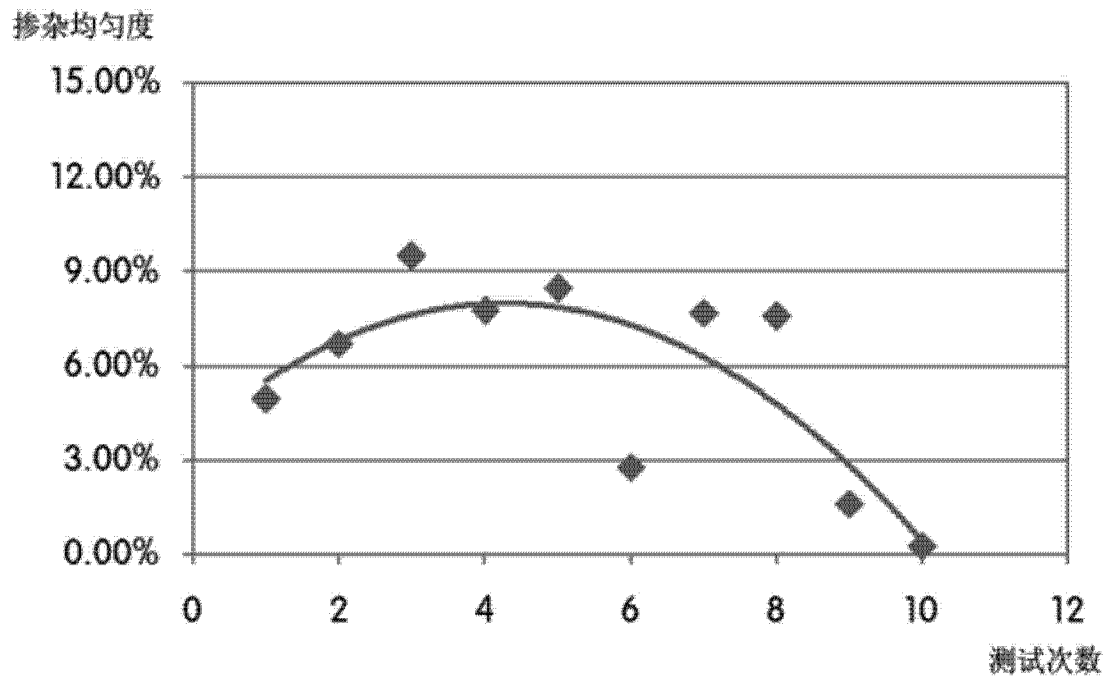


图 3

300A



图 4

300B

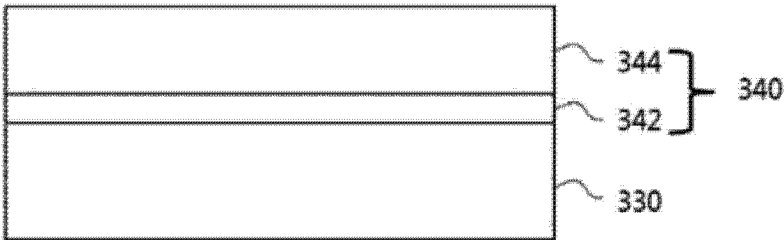


图 5

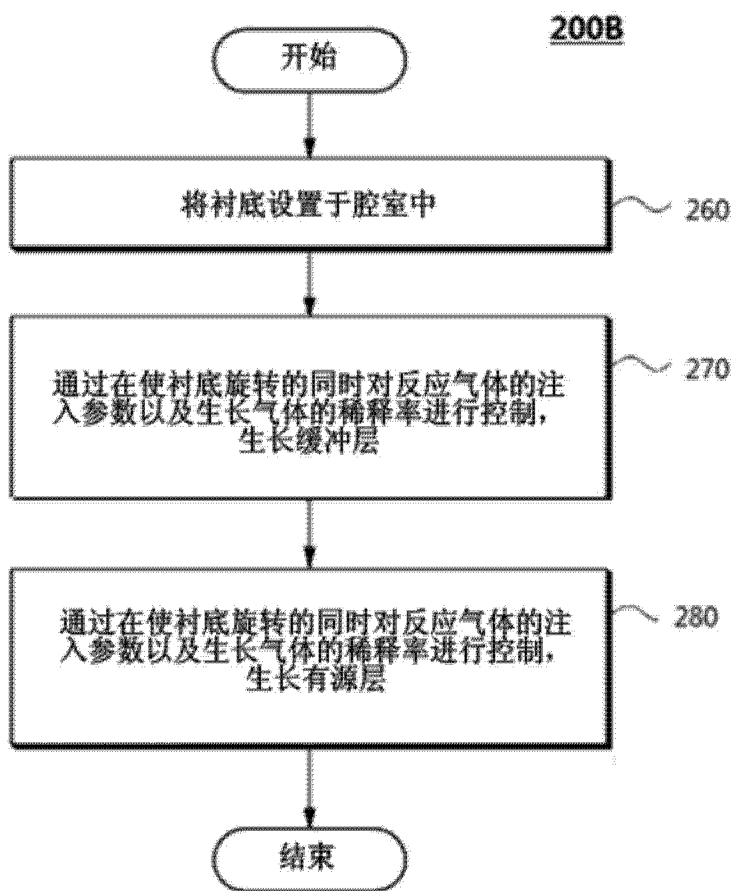


图 6

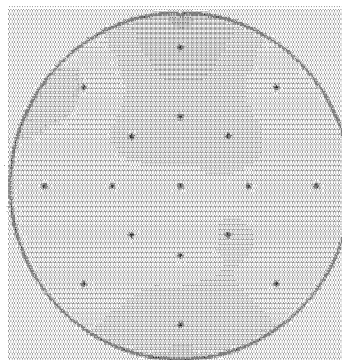


图 7

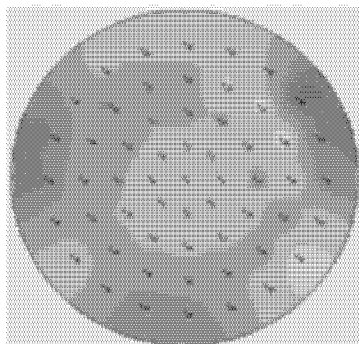


图 8

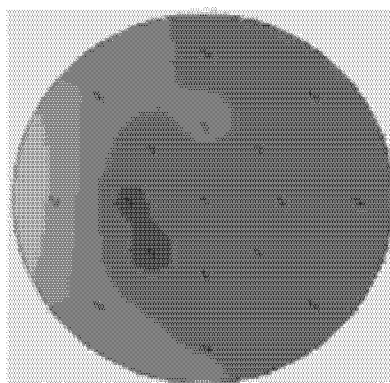


图 9

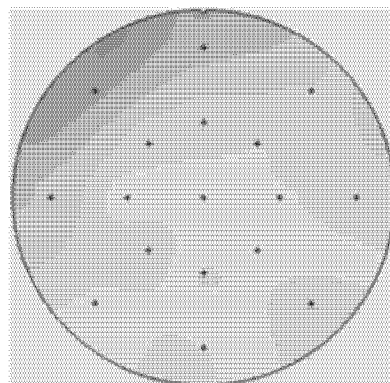


图 10