



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102034853 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 27

(21) 申请号 201010232961. 7

H01S 5/323 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 07. 16

(30) 优先权数据

2009-218890 2009. 09. 24 JP

(71) 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府大阪市

(72) 发明人 山口小百合 松本直树 三上英则

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

代理人 孙志湧 穆德骏

(51) Int. Cl.

H01L 29/06 (2006. 01)

H01L 21/02 (2006. 01)

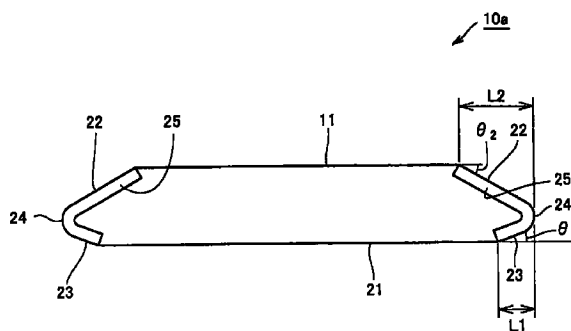
权利要求书 1 页 说明书 21 页 附图 11 页

(54) 发明名称

氮化物半导体衬底、半导体器件及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供了氮化物半导体衬底、半导体器件及其制造方法。该氮化物半导体衬底具有用作半极性面的主表面并且设置有倒角部分,该倒角部分能够有效防止破裂和碎裂。该氮化物半导体衬底具有:主表面,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜,或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜;以及倒角部分,所述倒角部分位于所述主表面的外围的边缘处。所述倒角部分相对于所述主表面和与所述主表面相反的一侧上的背侧表面中相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度 θ_1 或 θ_2 倾斜。因此,可以有效抑制从氮化物半导体衬底的外围边缘出现破裂和碎裂。



1. 一种氮化物半导体衬底,包括:

主表面,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜,或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜;以及

倒角部分,所述倒角部分位于所述主表面的外围的边缘处,

所述倒角部分相对于所述主表面和与所述主表面相反的一侧上的背侧表面中相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度倾斜。

2. 根据权利要求1所述的氮化物半导体衬底,其中在所述倒角部分的表面层上形成平均厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 或更大并且 $10\mu\text{m}$ 或更小的受损层。

3. 根据权利要求1所述的氮化物半导体衬底,其中所述倒角部分的倒角量是 0.02mm 或更大并且 0.5mm 或更小。

4. 根据权利要求1所述的氮化物半导体衬底,其中所述倒角部分的表面粗糙度Ra为 $0.07\mu\text{m}$ 或更大并且 $3\mu\text{m}$ 或更小。

5. 一种使用根据权利要求1所述的氮化物半导体衬底制造的半导体器件。

6. 一种用于制造氮化物半导体衬底的方法,包括如下步骤:

制备具有主表面的氮化物半导体衬底,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜;以及

倒角所述氮化物半导体衬底的所述主表面的外围的边缘,

倒角所述边缘的所述步骤包括形成相对于所述主表面和与所述主表面相反的一侧上的背侧表面中相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度倾斜的倒角部分的步骤。

7. 一种用于制造半导体器件的方法,包括如下步骤:

使用根据权利要求6所述的用于制造氮化物半导体器件的方法制备氮化物半导体衬底;以及

在所述氮化物半导体衬底的所述主表面上,形成外延层。

氮化物半导体衬底、半导体器件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及氮化物半导体衬底、半导体器件及制造氮化物半导体衬底和半导体器件的方法,更具体地讲,涉及具有用作半极性面的主表面的氮化物半导体衬底、半导体器件及用于制造氮化物半导体衬底和半导体器件的方法。

背景技术

[0002] 具有 3.4eV 的带隙和高热导率的诸如 GaN 衬底的氮化物半导体衬底作为用于诸如功率电子器件的半导体器件和短波长的光学器件的材料而备受关注。为了防止衬底碎裂、破裂等,建议在 GaN 衬底中的外围边缘设置倒角部分,该 GaN 衬底是上述氮化物半导体衬底的示例(例如,参见日本专利特许公开 No. 2004-319951)。

[0003] 然而,如上所述的日本专利特许公开 No. 2004-319951 公开了具有与 c 面对应的主表面的衬底,但是没有公开具有用作半极性面的主表面(从 c 面倾斜的主表面)的氮化物半导体衬底。另外,在通常用这种半极性面作为主表面的氮化物半导体衬底中,在外围边缘处形成什么类型的倒角部分来有效减少氮化物半导体衬底破裂和碎裂也是不知道的。

发明内容

[0004] 实施本发明来解决上述问题,本发明的目的在于提供一种氮化物半导体衬底、使用该氮化物半导体衬底制造的半导体器件和用于制造该氮化物半导体衬底和半导体器件的方法,其中该氮化物半导体衬底具有用作半极性面的主表面并且设置有倒角部分,该倒角部分能够有效防止破裂和碎裂。

[0005] 本发明的发明者已经认真研究发现,能够改进当制造半导体激光器件时的振荡产出率(oscillation yield)的氮化物半导体衬底具有:主表面,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71°或更大并且 79°或更小的角度倾斜,或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71°或更大并且 79°或更小的角度倾斜。本发明的发明者还发现了倒角部分的形状,该倒角部分的形状能够有效地抑制在通过采用具有上述主表面的氮化物半导体衬底用于半导体器件来制造半导体器件的过程中和处理氮化物半导体衬底的过程中在氮化物半导体衬底中出现破裂和碎裂。

[0006] 根据本发明的氮化物半导体衬底包括:主表面,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71°或更大并且 79°或更小的角度倾斜,或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71°或更大并且 79°或更小的角度倾斜;以及倒角部分,所述倒角部分位于所述主表面的外围边缘处。所述倒角部分相对于所述主表面和所述主表面相反一侧的背侧表面中相邻的一个以 5°或更大并且 45°或更小的角度倾斜。

[0007] 根据本发明的氮化物半导体衬底具有下述主表面,当制造半导体器件时,该主表面能够提高产出率。另外,还可以抑制氮化物半导体衬底中的外围边缘处出现破裂和碎裂。因此,可以抑制由于上述破裂和碎裂导致在氮化物半导体衬底中出现的缺陷,从而允许增加氮化物半导体衬底的产出率。

[0008] 根据本发明的用于制造氮化物半导体衬底的方法,包括如下步骤:制备具有下述主表面的氮化物半导体衬底,所述主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜;以及将所述氮化物半导体衬底的所述主表面的外围边缘倒角。将所述边缘倒角的步骤包括形成相对于所述主表面和所述主表面相反一侧的背侧表面中相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度倾斜的倒角部分的步骤。

[0009] 以此方式,可以制造根据本发明的氮化物半导体衬底。

[0010] 根据本发明的半导体器件是使用上述氮化物半导体衬底制造的半导体器件。在这种情况下,由于可以有效抑制氮化物半导体衬底的破裂和碎裂,因此可以实现提供高制造产出率的半导体器件。

[0011] 根据本发明的用于制造半导体器件的方法包括如下步骤:使用用于制造氮化物半导体衬底的上述方法制备氮化物半导体衬底;以及在所述氮化物半导体衬底的所述主表面上形成外延层。在这种情况下,由于可以有效抑制氮化物半导体衬底的破裂和碎裂,因此可以实现提供高制造产出率的半导体器件。

[0012] 根据本发明,可以有效抑制氮化物半导体衬底的破裂和碎裂,结果是可以制出提供高产出率的半导体器件。

[0013] 从结合附图的对本发明的详细描述中,本发明的以上和其它目的、特征、方面和优点将变得更加显而易见。

附图说明

[0014] 图1是根据本发明的氮化物半导体衬底的第一实施例的示意平面图。

[0015] 图2是沿着图1中的线II-II截取的示意横截面图。

[0016] 图3是示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的主表面和基准面(orientation flat)中的每个的面取向的示意图。

[0017] 图4是示出用于制造图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的方法的流程图。

[0018] 图5和图6是均示出图4中所示的倒角加工步骤(S20)的示意图。

[0019] 图7是示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的修改的局部横截面示意图。

[0020] 图8至图11是均示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的修改的局部横截面示意图。

[0021] 图12是示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的另一修改的示意平面图。

[0022] 图13是示出图12中所示的氮化物半导体衬底的主表面和第二基准面的晶体取向的示意图。

[0023] 图14是示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的另一修改的示意平面图。

[0024] 图15是图14中所示的区域R的放大示意图。

[0025] 图16和图17是均示出图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的另一修改的示意平面图。

[0026] 图18是用作使用根据本发明的氮化物半导体衬底制造的半导体器件的发光元件的示意横截面视图。

[0027] 图19是示出图18中所示的发光元件的发光层的示意横截面视图。

[0028] 图 20 是示出具有图 18 和图 19 中所示的发光元件中形成的电极的构造的示意横截面视图。

[0029] 图 21 是示出使用图 20 中所示的发光元件制造的发光器件的示意图。

[0030] 图 22 是示意性示出示例 1 中制造的半导体激光器件的横截面图。

[0031] 图 23 是示出从上看到的图 21 中所示的半导体激光器件中的波导的位置的示意图。

[0032] 图 24 是示意性示出图 21 中所示的半导体激光器件的端面和氮化物半导体衬底的主表面中的每个中的晶体取向的图。

具体实施方式

[0033] 下文中,将参照附图描述本发明的实施例,在附图中,相同或对应的组件用相同的附图标记表示,并且将不重复对其的描述。另外,在该说明书中,每个取向以方括号“[]”表示并且每个面以圆括号“()”表示。虽然在晶体学中负指数应该被表示为具有附在数字上的负号(上横(“-”)),但是在说明中负号(“-”)放在数字前面。不言而喻,在说明书中的特定取向和方向也包括具有与之等价的关系的取向和方向。

[0034] (第一实施例)

[0035] 参照图 1 至图 3,下文中将描述根据本发明的氮化物半导体衬底的第一实施例。

[0036] 如图 1 和图 2 中所示,从平面图来看,根据本发明的氮化物半导体衬底 10a 具有近似圆形的形状,并且具有通过对外围边缘的一部分进行直线形状处理形成的基准面 12。另外,在氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘上,形成顶侧倒角 22,该顶侧倒角 22 对应于位于主表面 11 侧的倒角部分。另外,在主表面 11 相反的一侧的背侧表面 21 的外围上,形成背侧倒角 23,该背侧倒角 23 对应于位于背侧表面 21 侧的倒角部分。在氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘,形成具有弯曲表面的边缘面 24,以连接顶侧倒角 22 和背侧倒角 23。这些顶侧倒角 22、背侧倒角 23 和边缘面 24 组成倒角部分(倒角)。顶侧倒角 22 的宽度 L2 大于背侧倒角 23 的宽度 L1。

[0037] 顶侧倒角 22 在以角度 $\theta 2$ 与主表面 11 延伸的方向相交的方向上延伸。另外,背侧倒角 23 在以角度 $\theta 1$ 与背侧表面 21 延伸的方向相交的方向上延伸。角度 $\theta 1$ 和 $\theta 2$ 可以是相同的值或不同的值。在顶侧倒角 22、背侧倒角 23 和边缘面 24 中的每个的表面层上形成受损层 25。如图 2 中所示,在顶侧倒角 22 中形成的受损层 25 的厚度大于背侧倒角 23 中形成的受损层 25 的厚度。

[0038] 主表面 11 对应于相对于 (0001) 面 (c+ 面) 向着 [1-100] 方向 (m+ 轴方向) 以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的面或者相对于 (000-1) 面 (c- 面) 向着 [-1100] 方向 (m- 轴方向) 以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的面,并且优选地对应于 (20-21) 面或 (-202-1) 面。要注意的是,主表面 11 的面取向可以从上述面取向 (20-21) 或 (-202-1) 以预定角度倾斜。

[0039] 下文中,将参照图 3 描述主表面 11 的面取向。如图 3 中所示,主表面 11 相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向 (m+ 轴方向) 以角度 θ 倾斜。换言之,主表面 11 相对于 (0001) 方向 (c 轴方向) 向着 [1-100] 方向 (m 轴方向) 以角度 θ 倾斜。角度 θ 是 71° 或更大并且 79° 或更小,优选地 73° 或更大并且 77° 或更小,并且更优选地, 74° 或更大并且 76°

或更小。要注意的是, (20-21) 面或 (-202-1) 面相对于 (0001) 面或 (000-1) 面向着 $m+$ 轴方向或 $m-$ 轴方向以大致 75° 的角度 (= 角度 θ) 倾斜。这里的 $m-$ 轴方向对应于 $[-1100]$ 方向。

[0040] 另外, 当上述角度 θ 是 71° 或更大并且 79° 或更小时, 使用此氮化物半导体衬底 10a 制造的半导体器件 (例如, 半导体激光器件) 的产出率可以得以改进 (例如, 50% 或更大)。当角度 θ 是 73° 或更大并且 77° 或更小时, 使用氮化物半导体衬底 10a 制造的半导体器件 (例如, 半导体激光器件) 的产出率可以进一步得以改进 (例如, 75% 或更大)。当角度 θ 是 74° 或更大并且 76° 或更小时, 使用此氮化物半导体衬底 10a 制造的半导体器件 (例如, 半导体激光器件) 的产出率可以又进一步得以改进 (例如, 80% 或更大)。

[0041] 另外, 在如上所述的氮化物半导体衬底 10a 中, 倒角部分相对于主表面 11 和主表面 11 相反一侧的背侧表面 21 中与倒角部分相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度 (图 2 中的角度 θ_1 或角度 θ_2) 倾斜。以此方式, 可以抑制从氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘出现破裂和碎裂。因此, 可以抑制由于上述破裂和碎裂导致的氮化物半导体衬底 10a 中出现的缺陷, 由此允许氮化物半导体衬底 10a 的加工产出率得以改进。另外, 可以改进使用氮化物半导体衬底 10a 制造的半导体器件 (例如, 半导体激光器件) 的产出率。

[0042] 而且, 如图 1 和图 2 中所示, 由于在主表面 11 和背侧表面 21 之间倒角部分中顶侧倒角 22 和背侧倒角 23 中的每个的尺寸 (例如, 均对应于倒角量的宽度 L_1 和宽度 L_2) 不同, 因此通过视觉地观察每个倒角的尺寸, 可以将主表面 11 和背侧表面 21 彼此区分开。

[0043] 另外, 在倒角部分中, 与顶侧表面对应的主表面 11 侧的受损层 25 的厚度与背侧表面 21 侧的受损层 25 的厚度不同。因此, 可以改进氮化物半导体衬底 10a 的形狀的稳定性。

[0044] 另外, 参照图 1, 通过以弓形的形状切掉氮化物半导体衬底 10a 的外围的一部分以显示出氮化物半导体衬底 10a 的晶体取向来获得基准面 12。换言之, 从上面来看, 基准面 12 对应于主表面 11 的圆形的一部分中形成的直线区域。要注意的是, 发明者首先发现, 当主表面对应于相对于 (0001) 面向着 $[1-100]$ 方向以 75° 的角度倾斜的 (20-21) 面或者相对于 (000-1) 面向着 $[-1100]$ 方向以 75° 的角度倾斜的 (-202-1) 面时, 容易在大致与主表面正交的 (-1017) 面或 (10-1-7) 面以及其附近进行解理。因此, 基准面 12 对应于 (-1017) 面、(10-1-7) 面或以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度从这些面倾斜的面, 更优选地对应于 (-1017) 面、(10-1-7) 面或以 -0.2° 或更大并且 0.2° 或更小的角度从这些面倾斜的面, 并且最优选地对应于 (-1017) 面或 (10-1-7) 面。

[0045] 下文中, 将参照图 3 描述基准面 12 的面取向。如图 3 中所示, 基准面 12 处于 (-1017) 面或 (10-1-7) 面及其附近。(-1017) 面和 (10-1-7) 面大致与 (20-21) 面或 (-202-1) 面正交 (以 90.10° 的角度交叉)。因此, 基准面 12 大致与主表面 11 正交。这些 (-1017) 面和 (10-1-7) 面均与诸如传统的 c 面、 m 面或 a 面的传统解理面不同。

[0046] (-1017) 面或 (10-1-7) 面的法线方向大致在 $[-1014]$ 方向或 $[10-1-4]$ 方向延伸。

[0047] 因此, 已首次发现, 当主表面相对于 (0001) 面向着 $[1-100]$ 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜时, 可以容易地在与对应于 (-1017) 面的法线方向的 $[-1014]$ 方向正交的面中形成基准面 12, 或者当主表面相对于 (000-1) 面向着 $[-1100]$ 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜时, 可以容易地在与对应于 (10-1-7) 面的法线方向的 $[10-1-4]$ 方向正交的面中形成基准面 12。

[0048] 另外,本发明的发明者通过认真的研究发现,从不同的观点,(-1017)面、(10-1-7)面或从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面往往容易解理。因此,基准面12可以容易地形成在上述面中。另外,基准面12可以容易地形成在(-1017)面、(10-1-7)面或从这些面以 -0.2° 或更大并且 0.2° 或更小的角度倾斜的面中。另外,基准面12可以形成在(-1017)面或(10-1-7)面中。

[0049] 要注意的是,c+面代表具有Ga极性的(0001)面,并且c-面代表具有N极性的(000-1)面。m轴方向包括[1-100]方向、[10-10]方向、[-1100]方向、[-1010]方向、[01-10]方向、[0-110]方向和平行于这些方向的方向。

[0050] 另外,(-1017)面位于(10-1-7)面相反一侧。

[0051] 氮化物衬底10a是(例如) $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, x+y \leq 1$),优选地 $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$),并且更优选地GaN。另外,当氮化物半导体衬底是圆形的形状时,直径优选地为10mm或更大,更优选地为30mm或更大,进一步优选地为2英寸或更大,又进一步优选地为3英寸或更大。而且,当氮化物半导体衬底具有四边形的形状时,边的长度优选地为10mm或更大,更优选地为18mm或更大,进一步优选地为30mm或更大。优选地,衬底的厚度为100 μm 或更大并且1000 μm 或更小。当厚度为100 μm 或更大时,衬底是易于操作的并且当厚度是1000 μm 或更小时可以切割衬底。更优选地,厚度是300 μm 或更大并且400 μm 或更小。

[0052] 参照图4,将描述用于制造图1和图2中所示的氮化物半导体衬底的方法。

[0053] 参照图4,首先执行衬底制备步骤(S10)。具体来讲,在步骤(S10)中,制备(例如)通过气相沉积方法制造的氮化物半导体衬底。虽然氮化物半导体衬底可以具有任意的平面形状,但是(例如)它可以具有圆形的形状。另外,例如,具有圆形形状的氮化物半导体衬底可以具有2英寸(大致50mm)的直径。氮化物半导体衬底可以被构造成包含使其表现出任意导电类型(例如,n型)的掺杂物。例如,可以施加硅(Si)和氧(O)作为用于使衬底表现出n型导电性的掺杂物。

[0054] 在该步骤(S10)中,可以执行用于将例如通过气相沉积法生长的氮化物半导体的晶锭的外直径设置成预定值的处理步骤(例如,外围研削步骤和心钻步骤)和通过将经处理的晶锭切片得到晶圆的步骤。

[0055] 要注意的是,可以通过任意方法制造在该步骤(S10)中制备的氮化物半导体衬底。例如,可以制备通过以下的方法制造的氮化物半导体衬底。

[0056] 制备下层衬底。要制备的下层衬底可以由与将生长的氮化物半导体衬底10a的材料相同或不同的材料制成。例如,可以使用GaN衬底、砷化镓(GaAs)衬底、蓝宝石(Al_2O_3)衬底、氧化锌(ZnO)衬底、碳化硅(SiC)衬底等作为上述下层衬底。

[0057] 然后,在下层衬底上形成氮化物半导体晶体。用于生长氮化物半导体晶体的方法不具体受限,而是可以包括气相沉积法,例如升华法、HVPE(氢化物气相外延)法、MOCVD(金属有机化学气相沉积)法和MBE(分子束外延)法;和液相沉积法,例如熔剂法和氨热法。

[0058] 然后,从处理以实现具有预定值的外径的氮化物半导体晶体切割出氮化物半导体衬底。在这种情况下,氮化物半导体衬底被切割出为主表面相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜。例如,当下层衬底的主表面对应于c+面时,氮化物半导体晶体在c+轴方向上生长。为此,沿着图3中与主表面11平行的平坦面(相

对于 c+ 面向着 m+ 轴方向以角度 θ 倾斜的面) 来切割出氮化物半导体衬底。当氮化物半导体衬底被切割出为主表面相对于 (000-1) 面向着 [-1100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜时, (0001) 面位于 (000-1) 面相反的一侧, 因此上述晶体的底部对应于 (000-1) 面。因此, 只需要将氮化物半导体衬底切割出为主表面相对于该面向着 [-1100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜。

[0059] 用于切割出氮化物半导体衬底的方法不具体受限, 例如, 可以采用诸如切割的机械移除方法。设置有外刃的切片机、设置有内刃的切片机、线锯等的切割装置用于从氮化物半导体晶体机械地切割出氮化物半导体衬底 10a。

[0060] 要注意的是, 如果必要的话, 可以移除下层衬底。虽然用于移除下层衬底的方法不具体受限, 但是例如, 可以采用诸如切割、研削等的方法。设置有由电沉积的金刚石砂轮的外刃的切片机、线锯等的切割装置用于在氮化物半导体晶体和下层衬底之间进行机械切割 (切片); 用于在氮化物半导体晶体和下层衬底之间的界面上施加或喷射激光脉冲或水分子; 用于沿着晶格面引起解理; 以及用于通过诸如蚀刻的化学方法机械切割开氮化物半导体晶体和下层衬底。另外, 作为研削装置, 磨石旋转以与下层衬底的表面接触, 从而在厚度方向上进行研削。为了通过研削移除下层衬底, 例如, 通过设置有金刚石磨石的研削设备等, 机械地研削下层衬底。

[0061] 制造具有相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜或者相对于 (000-1) 面向着 [-1100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的主表面的氮化物半导体衬底的工艺不限于从在 c 轴方向上生长的氮化物半导体晶体以所需角度切割出氮化物半导体衬底的工艺。另外, 还可以通过以下步骤制造氮化物半导体衬底: 在如上所述得到的氮化物半导体衬底的主表面上进一步生长氮化物半导体晶体; 沿着与晶体衬底的主表面平行的面切割出生长的氮化物半导体晶体, 以生成氮化物半导体衬底; 以及采用与上述相同的方式处理氮化物半导体衬底的主表面。用作用于进一步生长 (重复生长) 上述氮化物半导体晶体的下层衬底的氮化物半导体衬底的数量不必限于一, 而是可以使用多个小尺寸的晶体衬底。在重复生长过程中, 衬底可以接合在一起以制造单个晶体。另外, 从重复生长过程中接合的氮化物半导体晶体中切割出的晶体衬底还可以用作用于另一重复生长过程的下层衬底。因此, 可以通过重复使用和生长氮化物半导体晶体降低生产成本。

[0062] 然后, 如图 4 中所示, 执行倒角处理步骤 (S20)。在该步骤 (S20) 中, 在氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘处形成如图 2 中所示的倒角 (倒角部分)。具体来讲, 例如, 如图 5 和图 6 中所示的橡胶磨石 30 用于处理氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘。

[0063] 例如, 如图 5 中所示, 具有圆锥形形状的表面 31 的橡胶磨石 30 用于研削氮化物半导体衬底 10a 的外围边缘的成角度部分。在这种情况下, 橡胶磨石 30 的表面 31 与氮化物半导体衬底 10a 的边缘接触的区域形成为直线形状。因此, 形成图 2 中所示的顶侧倒角 22。而且, 图 5 中所示的橡胶磨石 30 如图 5 中的箭头所示地围绕连接到橡胶磨石 30 的轴旋转。另外, 通过调节橡胶磨石 30 的表面 31 和氮化物半导体衬底 10a 的主表面 11 之间形成的角度, 可以任意地改变图 2 中所示的主表面 11 延伸的方向和顶侧倒角 22 延伸的方向之间形成的角度 $\theta 2$ 。

[0064] 另外, 通过使图 5 中所示的橡胶磨石 30 从背侧表面 21 侧与氮化物半导体衬底 10a

的边缘接触并且研削边缘,可以形成图 2 中所示的背侧倒角 23。

[0065] 此外,通过使具有形成为弯曲形状的表面 32 的橡胶磨石 30 与氮化物半导体衬底 10a 的边缘面接触并且研削边缘面,得到图 2 中所示的具有弯曲表面的边缘面 24。虽然可以适当地选择诸如如上所述的橡胶磨石 30 的粒度的条件,但是可以使用(例如)300# 至 3000# 的粒度的橡胶磨石 30。

[0066] 在该倒角加工步骤(S20)中,使用显微镜来检测氮化物半导体衬底 10a 的主表面 11 和背侧表面 21 的表面状况的差别,以区分顶侧表面和背侧表面。然后,在该步骤(S20)中,改变顶侧倒角 22 和背侧倒角 23 中的每个的加工量(例如,改变每个倒角量以及角度 $\theta 1$ 和 $\theta 2$),以允许在随后的步骤中能够容易地将衬底的顶侧表面和背侧表面彼此区分开。

[0067] 接着,执行背侧表面研削步骤(S30)。在该步骤(S30)中,研削氮化物半导体衬底 10a 的背侧表面 21。在研削工艺中,可以采用传统上已知的任意的的方法。该步骤(S30)目的在于将氮化物半导体衬底 10a 形成为具有预定值的厚度。

[0068] 要注意的是,在该步骤(S30)之后和下述的顶侧表面研削步骤(S40)之前,可以执行背侧表面蚀刻步骤。在该背侧表面蚀刻步骤中,可以(例如)使用 KOH 作为蚀刻溶液执行湿蚀刻。执行此来移除在上述步骤(S30)中在衬底的背侧表面上形成的受损层(例如,厚度为 1-30 μm)。因此,根据受损层的厚度适当地选择蚀刻量。例如,可以将蚀刻量设置为 1 μm 或更大并且 30 μm 或更小。

[0069] 接着,执行顶侧表面研削步骤(S40)。具体来讲,在该步骤(S40)中,对与氮化物半导体衬底 10a 的顶侧表面对应的主表面 11 进行研削加工。执行该研削加工,作为下述抛光步骤的预处理。要注意的是,在该顶侧表面研削步骤(S40)中可以采用传统上已知的任意方法。另外,在该研削步骤中形成的受损层的厚度是例如,0.5 μm 或更大并且 20 μm 或更小。

[0070] 接着,执行抛光步骤(S50)。在该步骤(S50)中,通过任意的的方法研削主表面 11。因此,可以使主表面 11 变成镜面状态。例如,在抛光步骤(S50)中,可以执行粗抛光和精细抛光。这导致在主表面 11(顶侧表面)上和在其周围形成受损层。该受损层的厚度可以是 0.1 μm 或更大并且 5 μm 或更小,尽管该厚度是根据条件而变化的。

[0071] 然后,执行蚀刻步骤(S60)。在该步骤(S60)中,通过蚀刻移除氮化物半导体衬底 10a 的主表面 11 和倒角部分中的每个中的受损层的至少一部分。可以使用任意的的方法作为蚀刻方法,例如,可以使用干蚀刻。例如,在该步骤(S60)中,虽然完全移除主表面 11 的受损层,但是可以将与倒角部分对应的外围部分中的受损层保留为具有厚度 1 μm 或更大并且 3 μm 或更小。要注意的是,不必执行该蚀刻步骤(S60)。优选地,按照 Ra 标准,氮化物半导体衬底的主表面的粗糙度是 10nm 或更小。优选地,按照 Ra 标准,背侧表面的粗糙度是 10 μm 或更小。

[0072] 要注意的是,可以在步骤(S20)之前或之后执行形成基准面 12 的步骤。具体来讲,虽然用于形成基准面 12 的方法不具体受限,但是对氮化物半导体衬底进行(例如)切割、研削等以暴露(-1017)面、(10-1-7)面或从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面。

[0073] 因此,可以得到图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a。

[0074] 参照图 7 至图 11,然后将描述图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的修改。

[0075] 参照图 7,图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的修改在结构上基本上类似于图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a,但是边缘面 24 的形状是不同的。换言之,图 7 中所示的氮化物半导体衬底 10a 设置有具有如图 7 所示的直线形状横截面的边缘面 24。具有这种构造的衬底也允许得到与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的效果类似的效果。

[0076] 参照图 8,图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的另一修改在结构上基本上类似于图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a,但是倒角部分中受损层 25 的形状是不同的。换言之,在图 8 中所示的氮化物半导体衬底 10a 中,只在顶侧倒角 22 中形成受损层 25。这种构造的衬底也能够得到与图 1 和图 2 所示的氮化物半导体衬底的效果类似的效果。

[0077] 图 9 中所示的氮化物半导体衬底 10a 与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 在结构上基本类似,但是倒角部分的形状不同。换言之,在图 9 中所示的氮化物半导体衬底 10a 中,背侧倒角 23 的宽度(倒角量)大于形成倒角部分的顶侧倒角 22 的宽度(倒角量)。上述构造的衬底也能够得到与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的效果类似的效果。

[0078] 图 10 中所示的氮化物半导体衬底 10a 是图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的另一修改,但是倒角部分的形状与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 不同。换言之,在图 10 中所示的氮化物半导体衬底 10a 中,构成倒角部分的顶侧倒角 22、背侧倒角 23 和边缘面 24 中的每个的剖面轮廓具有弯曲形状。上述构造的衬底也能够得到与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的效果类似的效果。

[0079] 图 11 中所示的氮化物半导体衬底 10a 在构造上与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 基本类似,但不同之处在于倒角部分的形状与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 不同。换言之,在图 11 中所示的氮化物半导体衬底 10a 中,顶侧倒角 22 和背侧倒角 23 在宽度上几乎相等。上述构造的衬底也能够得到与图 1 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的效果类似的效果,例如,防止从衬底边缘出现破裂和碎裂。另外,当顶侧倒角 22 和背侧倒角 23 在宽度上几乎相等时,可以减小氮化物半导体衬底的卷曲。

[0080] 参照图 12 和图 13,将描述图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的另一修改。

[0081] 图 12 中所示的氮化物半导体衬底 10b 在构造上与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 基本类似,但其与氮化物半导体衬底 10a 的不同之处在于氮化物半导体衬底 10b 还包括第二基准面 13。

[0082] 第二基准面 13 用作 IF(识别面)或子基准面,用于提供取向的识别并且用于区分顶侧表面和背侧表面。第二基准面 13 大致与基准面 12 正交。第二基准面 13 对应于 (11-20) 面(a 面)或者从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面,更优选地,对应于 (11-20) 面。

[0083] 参照图 13,下文中将描述第二基准面 13 的面取向。如图 13 中所示,第二基准面 13 处于 (11-20) 面或者其附近。(11-20) 面大致与 (20-21) 面或 $(-202-1)$ 面正交,并且还大致与 (-1017) 面或 $(10-1-7)$ 面正交。

[0084] 第二基准面 13 也允许指定 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更

小的角度倾斜的面。还允许容易地将顶侧表面和背侧表面彼此区分开。另外,在可以因此容易地提供第二基准面 13 的 (11-20) 面处或其附近容易出现解理。在第二基准面 13 在 (11-20) 面处或其附近的情况下,可以进一步提高半导体器件的产出率。

[0085] 要注意的是,如上所述的 a 面包括并且等价于 (11-20) 面、(1-210) 面、(-2110) 面、(-1-120) 面、(-12-10) 面、(2-1-10) 面和与这些面平行的面。另外,图 3 中的 [1-210] 方向和 [-12-10] 方向在 a 轴方向上延伸。a 轴方向包括 [11-20] 方向、[1-210] 方向、[-2110] 方向、[-1-120] 方向、[-12-10] 方向、[2-1-10] 方向和与这些方向平行的方向。

[0086] 优选地,基准面 12 的长度 L12 与第二基准面 13 的长度 L13 不同。更优选地,这些长度足够地不同,从而能够肉眼区分这两个长度之差。给出基准面 12 和第二基准面 13 中的每个的尺寸的示例,例如当氮化物半导体衬底 10b 的主表面 11 的直径是 50mm 时,基准面 12 的长度 L12 (例如) 是 2mm 或更大并且 30mm 或更小,第二基准面 13 的长度 L13 (例如) 比长度 L12 短 2mm 或更大并且 20mm 或更小。

[0087] 要注意的是,没有考虑基准面 12 的长度 L12 和第二基准面 13 的长度 L13 之间的相对关系。

[0088] 如图 12 中所示,从上面看,基准面 12 的长度 L12 和第二基准面 13 的长度 L13 分别对应于氮化物半导体衬底 10b 中的直线形状区域的每个长度。

[0089] 用于制造图 12 中所示的氮化物半导体衬底的方法在构造上与用于制造图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的方法基本上类似,但是不同之处在于还包括形成第二基准面 13 的步骤。具体来讲,在形成基准面 12 之前、之后或同时,形成与 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面对应的第二基准面 13。

[0090] 如上所述,根据本实施例的氮化物半导体衬底 10b 还包括与 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面对应的第二基准面 13。

[0091] 解理倾向于发生在 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面,其中可以因此容易形成第二基准面 13。这也允许将氮化物半导体衬底 10b 的顶侧表面和背侧表面彼此区分开。

[0092] 参照图 14 和图 15,下文中将描述图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的另一修改。图 14 和图 15 中所示的氮化物半导体衬底 10c 在构造上与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 基本上类似,但是不同之处在于其包括作为指示器的凹口 15。

[0093] 凹口 15 是设置在氮化物半导体衬底 10c 的外围处的切除部分。如图 14 和图 15 中所示,设置凹口 15,以指定 (-1017) 面、(-1017) 面或者从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面。具体来讲,如图 15 中所示,当三个点 A、B 和 C 定位在凹口 15 中时,从点 B 和点 C 之间的中间点延伸到点 A 的方向对应于 [-1014] 方向或 [10-1-4] 方向。

[0094] 如图 15 中所示,凹口 15 的深度 H 是 (例如) 2mm 或更大并且 10mm 或更小,并且角度 α 是 30° 或更大并且 120° 或更小。在深度 H 是 10mm 或更小并且角度 α 是 120° 或更小的情况下,可以防止氮化物半导体衬底 10c 的主表面 11 的面积减小。在深度 H 是 2mm 或更大并且角度 α 是 30° 或更大的情况下,可以容易地识别凹口 15。

[0095] 用于制造图 14 和图 15 中所示的氮化物半导体衬底 10c 的方法在构造上与用于制造图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的方法基本上类似,但是不同之处在于,设置

了凹口 15 来取代基准面 12。用于提供凹口 15 的方法不具体受限,而是可以通过切割、研削、抛光等来提供凹口 15。

[0096] 参照图 16,下文中将描述图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的另一修改。

[0097] 图 16 中所示的氮化物半导体衬底 10d 在结构上与图 14 和图 15 中所示的氮化物半导体衬底 10c 基本上类似,但是与图 14 和图 15 中所示的氮化物半导体衬底 10c 的不同之处在于设置了第二凹口 16。

[0098] 提供第二凹口 16,以提供取向的指示并且区分顶侧表面和背侧表面。第二凹口 16 的方向与凹口 15 的方向大致正交。第二凹口 16 用于指示 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面,更优选地,用于指示 (11-20) 面。

[0099] 优选地,可以将凹口 15 和第二凹口 16 彼此区分为凹口 15 对应于主凹口且第二凹口 16 对应于子凹口。例如,凹口 15 可以大于第二凹口 16,以将这两个凹口彼此区分开。

[0100] 用于制造图 16 中所示的氮化物半导体衬底 10d 的方法在构造上与用于制造图 14 和图 15 中所示的氮化物半导体衬底 10c 的方法基本上类似,但是不同之处在于,还设置了第二凹口 16。

[0101] 参照图 17,下文中将描述图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底的另一修改。图 17 中所示的氮化物半导体衬底 10e 在构造上与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 的方法基本类似,但是不同之处在于,设置了标记 17 作为指示器。

[0102] 通过施加激光束或者通过用金刚石笔进行研削来设置标记 17。标记 17 被设置为可以指定 (-1017) 面、 $(10-1-7)$ 面或从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面。例如,与 $[10-1-4]$ 方向、 $[-1014]$ 方向或从这些方向以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的方向平行地设置多个标记 17。

[0103] 另外,优选地,标记 17 被设置为允许指定 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面。例如, $[-1014]$ 或 $[10-1-4]$ 方向上的标记 17 被设置成在尺寸、数量等方面与 $[11-20]$ 方向上的标记 17 不同。在图 17 中所示的氮化物半导体衬底 10e 中, $[11-20]$ 方向上的标记 17 的数量大于 $[-1014]$ 方向上的标记 17 的数量。因此,可以识别 $[-1014]$ 方向和 $[11-20]$ 方向。

[0104] 虽然在图 17 中标记 17 作为多个点提供在一个地方,但是可以在两个或更多区域中设置标记 17,可以设置单个标记 17,并且标记 17 可以具有除了点之外的形状。

[0105] 优选地,标记 17 设置在与用于氮化物半导体衬底 10e 中的外延生长的面相反的一侧的面中。即使在背侧表面中设置标记 17 并且形成不可渗透的金属膜等的情况下,由于氮化物半导体具有透光性,因此对其主表面进行抛光处理,以从而允许容易地识别背侧表面中设置的标记 17。

[0106] 根据本实施例的制造氮化物半导体衬底 10e 的方法在构造上与图 1 和图 2 中所示的氮化物半导体衬底 10a 基本类似,但是不同之处在于设置标记 17 取代基准面 12。

[0107] 虽然用于设置标记 17 的方法不具体受限,但是(例如)可以采用用于通过施加激光束设置激光束照射标记的方法或者用于提供通过用金刚石笔进行研削制成的标记的方法。因此,可以容易地设置标记 17。还可以以改进的处理精度来设置标记 17。

[0108] 虽然已经通过关于上述氮化物半导体衬底 10a-10e 的指示器的示例描述了基准面 12、凹口 15 和标记 17,但是本发明的氮化物半导体衬底的指示器不特别限于此。另外,

本发明的氮化物半导体衬底可以包括基准面、凹口、标记等的组合。

[0109] (第二实施例)

[0110] 参照图 18 和图 19, 随后将描述使用根据本发明的氮化物半导体衬底制造的发光元件。

[0111] 参照图 18, 发光元件包括与 n 型导电型的 GaN 衬底对应的氮化物半导体衬底 10a、n 型 GaN 层 41、形成在 n 型 GaN 层 41 上的 AlGaIn 层 42、形成在 AlGaIn 层 42 上的发光层 43、形成在发光层 43 上的 p 型 AlGaIn 层 44 和形成在 p 型 AlGaIn 层 44 上的 p 型 GaN 层 45。作为 N 型 GaN 衬底的氮化物半导体衬底 10a 表现出如下特性: 例如, 电阻值为 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 并且 n 型导电杂质的浓度为 $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。例如, 可以将 n 型 GaN 层 41 构造成具有 $1 \mu \text{m}$ 的厚度。另外, 硅 (Si) 可以用作该 n 型 GaN 层中包含的导电杂质。例如, n 型 AlGaIn 层 42 可以被构造成具有 150nm 的厚度。例如, 硅可以用作该 n 型 AlGaIn 层 42 中包含的导电杂质。例如, AlGaIn 层 42 可以具有 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 的组成。

[0112] 另外, 例如, 如图 19 所示的多个量子阱结构可以用作发光层 43。具体来讲, 发光层 43 可以具有通过交替层叠 GaN 层 43a 和 GaInN 层 43b 得到的多层结构。在这种情况下, 例如, GaN 层 43a 和 GaInN 层 43b 可以被构造成分别具有 10nm 和 3nm 的厚度。另外, 例如, $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 可以用作 GaInN 层的组成。

[0113] 位于发光层 43 上的 p 型 AlGaIn 层 44 可以被构造成具有 20nm 的厚度。另外, 镁 (Mg) 可以用作该 p 型 AlGaIn 层中包含的导电杂质。例如, $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 可以用作该 p 型 AlGaIn 层 44 的组成。

[0114] 另外, p 型 GaN 层 45 可以被构造成具有 150nm 的厚度。另外, 镁可以用作该 p 型 GaN 层 45 中包含的导电杂质。

[0115] 通过执行下述步骤来形成图 18 和 19 中所示的半导体元件: 通过使用用于制造图 4 中所示的衬底的方法制备根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 中的一个; 然后在氮化物半导体衬底 10a-10e 中的一个的主表面 11 上外延生长预定膜。

[0116] 然后, 如图 20 中所示, 在图 18 和图 19 中所示的半导体元件的顶侧表面和背侧表面上形成电极。具体来讲, 参照图 20, 在 p 型 GaN 层 45 上形成 p 侧电极 46。例如, 可以使用具有镍 (Ni) 和金 (Au) 的层叠结构的电极作为该 p 侧电极 46。另外, 在由 n 型 GaN 制成的氮化物半导体衬底 10a 的表面上, 可以使用具有由钛 (Ti)/ 铝 (Al)/ 钛 (Ti)/ 金 (Au) 制成的层叠结构的电极作为 n 侧电极 47, 如图 20 中所示。N 侧电极 47 大致位于氮化物半导体衬底 10a 的表面的中心。p 侧电极 46 被形成为覆盖 p 型 GaN 层 45 的表面。

[0117] 然后, 以此方式制造的发光元件附着到如图 21 所示的管座。参照图 21, 图 20 中所示的发光元件的 p 侧电极 46 通过焊料 53 固定地连接到管座 52。另一方面, n 侧电极 47 通过引线 54 电连接到引脚 51。因此, 以倒装贴片构造 (其中形成在氮化物半导体衬底 10a 上的外延层朝向管座 52 连接的构造) 安装在管座 52 上的发光元件具有与氮化物半导体衬底 10a (参见图 20) 对应的透明 n 型 GaN 衬底, 因此光还可以从该衬底侧发射到外部。另外, 由于发光层 43 位于管座 52 附近, 因此从发光层产生的热容易地传输到管座 52, 这提高了散热性能。要注意的是, GaN 衬底也具有高的热传导性, 这使得也从衬底侧散热。

[0118] 可以将发光元件构造成具有 430nm 至 550nm 的光发射波长。可以通过发光层的 In 组分来调节光发射波长。根据本发明的氮化物半导体衬底, 可以改进在外延生长期间 In 的

吸收 (take in) 效率,因此在绿色区域的光发射波长为 500nm 至 550nm 可以实现优良的发光特性。

[0119] 下文中将描述本发明的特征构造,尽管其与上述实施例部分重叠。

[0120] 根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 包括相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的主表面 11 或者相对于 (000-1) 面向着 [-1100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的主表面 11;以及位于主表面 11 的外围边缘的倒角部分。该倒角部分相对于主表面 11 和与主表面 11 相反的一侧的背侧表面 21 中与倒角部分相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度倾斜。

[0121] 根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 均具有允许在制造半导体器件时改进产出率的主表面 11。另外,可以抑制从氮化物半导体衬底 10a-10e 的外围边缘出现破裂和碎裂。因此,可以抑制由于上述破裂和碎裂造成的氮化物半导体衬底 10a-10e 中出现的缺陷,并且还可以提高氮化物半导体衬底 10a-10e 的产出率。

[0122] 要注意的是,如上所述,主表面 11 相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜或主表面 11 相对于 (000-1) 面向着 [-1100] 方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜,这是因为特别在该角度范围内可以提高半导体器件的产出率。另外,倒角部分的倾斜角 θ_1 或 θ_2 的下限被设置为 5° 。这是因为,当角度小于该下限时,在衬底的外围边缘处得到的角度部分与基本上没有形成倒角部分的情况中能够得到的几乎相同,从而不能实现抑制破裂和碎裂的效果。另外,倾斜角的上限被设置为 45° 。这是因为,当角度大于该上限时,倒角部分和主表面之间的界面处得到的角度部分表现出小于 135° 的角度,这产生了在该角度部分中破裂和碎裂的问题。

[0123] 要注意的是,如上所述的倒角部分的倾斜角优选地为 15° 或更大并且 35° 或更小,更具体地讲, 17° 或更大并且 25° 或更小。如上所述设置值范围的原因在于,可以增加防止在随后步骤(顶侧表面研削和背侧表面研削步骤)中出现破裂、断裂和碎裂的可能性。

[0124] 在上述的氮化物半导体衬底 10a-10e 中,主表面 11 可以从 (20-21) 面或 (-202-1) 面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜。在这种情况下,具有上述面作为主表面 11 的氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个用于制造半导体器件,这允许特别改进其特性。

[0125] 在上述的氮化物半导体衬底 10a-10e 中,可以在倒角部分的表面层上形成平均厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 或更大并且 $10\mu\text{m}$ 或更小的受损层 25。

[0126] 在这种情况下,在氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个的外围边缘处形成受损层 25,由此允许在外围边缘处设置具有剩余应力的区域。因此,可以通过适当地调节受损层 25 的厚度实现减少氮化物半导体衬底 10a-10e 形状上的诸如卷曲的缺陷的效果。

[0127] 要注意的是,可以通过 TEM(透射电子显微镜)测量受损层 25 的平均厚度。平均厚度的下限被设置为 $0.5\mu\text{m}$,这是由于当通过抛光和研削形成倒角部分时,厚度小于 $0.5\mu\text{m}$ 的受损层使得抑制卷曲的效果降低,这导致了器件产出率的降低。另外,平均厚度的上限被设置为 $10\mu\text{m}$,这是由于被形成为具有大于 $10\mu\text{m}$ 的厚度的受损层使得出现破裂和断裂的可能性增加,这导致器件的产出率的进一步下降。

[0128] 要注意的是,受损层的平均厚度优选地为 $1\mu\text{m}$ 或更大并且 $5\mu\text{m}$ 或更小。如上所述设置值范围的原因在于,在平均厚度为 $1\mu\text{m}$ 或更小的工艺中使用大粒度的磨石,这增加了加工时间,从而导致制造成本增加,并且在平均厚度为 $5\mu\text{m}$ 或更大的工艺中使用小粒度

尺寸（较粗糙）的磨石，这由于诸如产生颗粒的问题导致器件的产出率的降低。

[0129] 在上述氮化物半导体衬底 10a-10e 中，倒角部分的倒角量（图 2 中的宽度 L1 和 L2）可以是 0.02mm 或更大并且 0.5mm 或更小。在这种情况下，可以容易地实现如下效果：抑制从氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个的外围边缘出现破裂和碎裂。

[0130] 另外，倒角量的下限被设置为 0.02mm。这是因为，当该值小于该下限值时，在衬底的外围边缘处得到的角度部分与在基本上没有形成倒角部分的情况下得到的相同，结果不能实现抑制破裂和碎裂的效果。另外，倒角量的上限被设置为 0.5mm。这是因为，当倒角量大于该上限时，在衬底的主表面中过度地增加了倒角部分的面积，由此引起从衬底得到的半导体器件的数目减少，这导致半导体器件的制造成本增加。

[0131] 要注意的是，上述倒角量优选地是 0.05mm 或更大并且 0.3mm 或更小，更优选地是 0.05mm 或更大并且 0.2mm 或更小。如上所述地设置值范围的原因在于，较大的倒角量（导致研削量增加）引起在加工期间施加到衬底的负荷增大，这导致出现诸如破裂等的缺陷的可能性增加。

[0132] 在上述的氮化物半导体衬底 10a-10e 中，倒角部分的顶侧表面中的算术平均粗糙度 (Ra) 可以是 0.07 μm 或更大并且 3 μm 或更小。

[0133] 在这种情况下，可以防止由于倒角部分的表面的过度粗糙导致出现问题（例如，产生颗粒）。要注意的是，上述表面粗糙度的下限的 Ra 设置为 0.07 μm ，这是由于难以以合理的成本将表面粗糙度降低到该下限之下。另外，上述表面粗糙度的上限的 Ra 被设置为 3 μm ，这是由于大于该上限的值造成出现诸如产生颗粒的问题的可能性增大。

[0134] 另外，上述表面粗糙度 Ra 优选地为 0.07 μm 或更大并且 1 μm 或更小，更优选地，0.07 μm 或更大并且 0.5 μm 或更小。如上所述地设置值范围的原因在于，可以抑制发生 Ra 越小颗粒（杂质）越细的现象，这使得器件元件的产出率增大。

[0135] 在上述的氮化物半导体衬底 10a-10e 中，主表面 11 可以进行镜面处理。主表面 11 的表面粗糙度的均方根粗糙度 (RMS) 可以是 0.2nm 或更大并且 4nm 或更小。

[0136] 在这种情况下，当在主表面 11 上形成外延膜时，可以抑制在外延膜中形成缺陷。

[0137] 要注意的是，将主表面 11 的表面粗糙度的下限设置为上述值是由于难以以工业合理的成本将该表面粗糙度降到上述值之下。另外，上述表面粗糙度的上限被设置在上述值，这是由于大于上述值的值造成外延膜中形成缺陷的可能性增加。

[0138] 另外，主表面 11 的上述表面粗糙度的 RMS 优选地为 1nm 或更大并且 3nm 或更小。如上所述地设置值范围的原因在于，在成本和质量方面，该值范围是优选的，与上述原因一样。

[0139] 可以在上述氮化物半导体衬底 10a-10e 中设置用于指示预定面的指示器（基准面 12 和 13、凹口 15 和 16、标记 17）。

[0140] 在这种情况下，当处理氮化物半导体衬底 10a-10e 时或者当氮化物半导体衬底 10a-10e 被用于制造半导体器件（参见图 18-21）时，能够容易地识别氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个的面取向。

[0141] 在上述氮化物半导体衬底 10a-10e 中，由指示器指示的预定面可以是 (-10|17) 面、(10-1-7) 面或者从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面，或者可以是 (11-20) 面或从该面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面。

[0142] 根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 均具有当制造半导体器件时允许提高产出率的主表面 11。作为认真研究以为了将均具有主表面 11 的氮化物半导体衬底 10a-10e 应用于半导体器件而指定面取向的结果,本发明的发明者发现,(-1017)面和(10-1-7)面及其附近趋于容易解理。然后,发明者首先发现了(-1017)面、(10-1-7)面或从这些面以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面由指示器来指示。该指示器允许指定下述面,其在使用均具有该主表面 11 的氮化物半导体衬底 10a-10e 制造半导体器件时容易解理。因此,能够通过使用容易解理的面对齐或判别晶体取向。由此,可以通过使用根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 制造表现出改进的特性的半导体器件。因此,根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e 能够用于半导体器件。

[0143] 用于制造根据本发明的氮化物半导体衬底的方法包括:制备氮化物半导体衬底的步骤(S10),该氮化物半导体衬底具有相对于(0001)面向着[1-100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的主表面或者相对于(000-1)面向着[-1100]方向以 71° 或更大并且 79° 或更小的角度倾斜的主表面;将氮化物半导体衬底的主表面的外围边缘倒角的步骤(S20)。将边缘倒角的步骤(S20)包括形成倒角部分的步骤,该倒角部分相对于主表面 11 和主表面 11 相反的一侧的背侧表面 21 中与倒角部分相邻的一个以 5° 或更大并且 45° 或更小的角度(θ_1 和 θ_2)倾斜。以此方式,可以制造根据本发明的氮化物半导体衬底 10a-10e。

[0144] 使用上述氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个制造根据本发明的半导体器件,如图 18-21 所示。在这种情况下,由于能够有效抑制在氮化物半导体衬底 10a-10e 中出现破裂和碎裂,因此可以实现表现出高制造产出率的半导体器件。

[0145] 根据本发明用于制造半导体器件的方法包括如下步骤:使用用于制造如图 4 中所示的上述氮化物半导体衬底的方法制备氮化物半导体衬底 10a-10e;以及在氮化物半导体衬底 10a-10e 中的每个的主表面 11 上形成外延层。在这种情况下,由于有效抑制了在氮化物半导体衬底 10a-10e 中出现破裂和碎裂,因此可以实现表现出高制造产出率的半导体器件。

[0146] [示例 1]

[0147] 在该示例中,检验以 68° 和 82° 之间的范围内的角度 θ 在[1-100]方向从(0001)GaN 晶锭切割出的 GaN 衬底的可用性(测试 1)。具体来讲,具有与角度 θ 不同的角度的衬底被用于形成半导体激光器件的元件并且测量元件的振荡产出率(oscillation yield)。另外,检查倒角部分相对于主表面 11 和主表面 11 相反的一侧的背侧表面 21 中相邻的一个的倾斜角(θ_1 和 θ_2)的效果(测试 2)。

[0148] (测试 1)

[0149] 样品的制备

[0150] 首先,使用晶圆切片设备在[1-100]方向上以 68° 和 82° 之间的范围内的角度 θ 切割通过 HVPE 法生长的厚的(0001)GaN 晶锭,以制造 GaN 衬底(下述表 1 中的样品 ID:I-1 至 I-9),其中,[0001]方向和[1-100]方向之间形成的倾斜角 θ 具有在 68° 和 82° 之间的范围内的所需偏离角(off angle)。例如,当以 75° 的角度 θ 切割晶锭时,得到将具有(20-21)面作为主表面的 GaN 衬底。该主表面对应于图 3 中的六边形晶格中的主表面 11。

[0151] 在 GaN 衬底中,在其外围边缘处形成倒角部分。另外,当树脂磨石用于倒角加工

时,会从 GaN 衬底的外围出现断裂或破裂。因此,在本示例中,为了防止断裂和破裂,将橡胶磨石用于加工过程。具体来讲,使用其中 40wt% 的粒度为 #1000 的金刚石磨粒和 60wt% 的 Fe_2O_3 磨粒的混合物固定到具有 CR(氯丁橡胶)的基体的磨石来研削外围。在这种情况下,顶侧表面的算术平均粗糙度(Ra)是 $0.1\ \mu\text{m}$ 。橡胶磨石的孔隙率为 0%,并且其厚度等于衬底的厚度。基于顶侧和背侧上的形状彼此对称的图 11 中所示的形状形成倒角部分的形状(倒角形状)。倒角的角度(倒角)被统一设置为 20° ,并且倒角量被统一设置为 0.2mm 。要注意的是,当确定了衬底厚度、顶侧表面和背侧表面的倒角以及倒角量时,也确定了剩余长度,因此,倒角可以通过平滑的弯曲表面彼此连接。

[0152] 另外,在该 GaN 衬底中,形成与 (-1017) 面对应的基准面。

[0153] 然后,通过金属有机化学气相沉积法将 GaN 衬底用于形成半导体激光器件。所得的半导体激光器件 100 具有图 22 和图 23 中所示的构造。另外,在金属有机化学气相沉积法中使用的材料包括三甲基镓(TMGa)、三甲基铝(TMA1)、三甲基铟(TMIn)、氨(NH_3)和硅烷(SiH_4)。

[0154] 具体来讲,在反应器中的基座上放置 GaN 衬底作为氮化物半导体衬底 10a 之后,在随后的生长工艺中生长外延层。首先,参照图 22,在氮化物半导体衬底 10a(GaN 衬底)的主表面上生长厚度为 1000nm 的 n 型 GaN 作为 n 型缓冲层 102。然后,生长厚度为 1200nm 的 n 型 InAlGaIn 包覆层作为 n 型包覆层 103。然后,生长厚度为 200nm 的 n 型 GaN 引导层作为 n 型引导层 104,以及厚度为 65nm 的未掺杂的 InGaIn 引导层作为未掺杂引导层 105。然后,生长由厚度为 15nm 的 GaN 和厚度为 3nm 的 InGaIn 制成的 3-周期 MQW 结构作为有源层 106。然后,生长厚度为 65nm 的未掺杂 InGaIn 引导层作为未掺杂引导层 107,厚度为 20nm 的 p 型 AlGaIn 阻挡层作为 p 型阻挡层 108,以及厚度为 200nm 的 p 型 GaN 引导层作为 p 型引导层 109。然后,生长厚度为 400nm 的 p 型 InAlGaIn 包覆层作为 p 型包覆层 110。最后,生长厚度为 50nm 的 p 型 GaN 接触层作为 p 型接触层 111。

[0155] 然后,在 p 型接触层 111 上形成由 SiO_2 制成的绝缘膜 112 之后,使用光刻法在绝缘膜 112 中通过湿蚀刻提供宽度为 $10\ \mu\text{m}$ 的带状窗口。在这种情况下,由于可以通过基准面 12 在上述外延层中指明 $[-1014]$ 方向,因此激光带的方向从 $[-1014]$ 方向以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜,如图 23 中所示。

[0156] 由于在上述方向上设置绝缘膜 112 的开口(带状窗口),因此半导体激光器件 100 的波导 100c 的取向处于 $[-1014]$ 方向上或者相对于该方向向着 $[1-100]$ 方向以 -4° 或更大并且 4° 或更小的角度倾斜,并且在与 $[1-100]$ 方向正交的方向上以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜,如图 23 中所示。换言之,在与端面 100a 和 100b((-1017)面、(10-1-7)面或相对于这些面向着 $[1-100]$ 方向以 -4° 或更大并且 4° 或更小的角度倾斜并且在与 $[1-100]$ 方向正交的方向上以 -0.5° 或更大并且 0.5° 或更小的角度倾斜的面)大致垂直的方向上形成波导 100c。

[0157] 然后,在提供带状窗口之后,气相沉积由 Ni/Au 制成的 p 型电极 113 和由 Ti/Al 制成的焊盘电极(未示出)。接着,通过使用金刚石浆,研削 GaN 衬底(氮化物半导体衬底 10a)的背侧表面,以实现有利于解理的 $100\ \mu\text{m}$ 或更小的衬底厚度,并且制造具有镜面状态的背侧表面的衬底产品。在 GaN 衬底的背侧表面(抛光表面)上,通过气相沉积形成由 Ti/Al/Ti/Au 制成的 n 型电极 114。

[0158] 使用采用了波长为 355nm 的 YAG 激光束的激光划片机制造用于该激光带的谐振腔反光镜。当激光划片机用于切割时,与使用金刚石划片法的情况相比,可以提高振荡芯片产出率。在激光输出被设置为 100mW 并且扫描速度被设置为 5mm/s 的条件下,形成划片槽。例如,所得到的划片槽的长度为 30 μm ,宽度为 10 μm 且深度为 40 μm 。通过以 800 μm 为节距通过 GaN 衬底的绝缘膜中的开口向外延层的表面直接施加激光束,形成划片槽。谐振器长度被设置为 600 μm 。

[0159] 通过使用刀片进行切割来制造谐振器发光镜。将刀片压靠 GaN 衬底的下侧以切割衬底产品,由此制造激光条。更具体来讲,如图 24 中所示,用于激光谐振器的端面 100a 和 100b 分别对应于 (-1017) 面和 (10-1-7) 面。主表面 11、端面 100a 和 100b 分别与诸如传统的 c 面、m 面和 a 面的传统的解理面不同。

[0160] 作为利用扫描电子显微镜观察通过切割而提供的面的结果,观察不到明显的突出和凹陷。因此,假设通过切割得到的面的平坦度(突出和凹陷的尺寸)是 20nm 或更小。另外,相对于上述面的样品表面的垂直度落入 $\pm 5^\circ$ 的范围内。

[0161] 然后,通过真空沉积法,用电介质多层膜覆盖激光条的端面。通过交替层叠 SiO_2 (二氧化硅)和 TiO_2 (二氧化钛)形成电介质多层膜。膜厚度被调节为落入 50nm 或更大并且 100nm 或更小的范围内,以将反射率的中心波长设计成落入 500nm 或更大并且 530nm 或更小的范围内。在一侧,将反射面设置为 10 个周期,并且将反射率的设计值设置为约 95%。在另一侧,将反射面设置为 6 个周期,并且将反射率的设计值设置为约 80%。

[0162] 测试和结果

[0163] 关于如上所述构造的半导体激光器件,检验 GaN 衬底的主表面相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向的倾斜角 θ 和振荡产出率之间的关系。在本示例中,振荡产出率被定义为(振荡芯片的数量)/(测量芯片的数量)。结果在表 1 中示出。

[0164] [表 1]

[0165]

ID	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9
主表面的角度($^\circ$)	82	79	77	76	75	74	73	71	68
倒角的角度($^\circ$)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
元件产出率(%)	15	51	77	84	85	82	75	50	10

[0166] 表 1 示出了优良的结果,即在 [0001] 方向和 [1-100] 方向之间形成的 GaN 衬底的倾斜角 θ (表 1 中描述的主表面的角度)落入 71° 或更大并且 79° 或更小的范围内时,振荡产出率为 50%或更大。

[0167] (测试 2)

[0168] 在测试 2 中,基本上关于具有 75° 的上述倾斜角 θ (主表面的角度)的衬底进行实验。具体来讲,在顶侧和背侧表面处于不同角度的情况下,检验元件产出率和衬底产出率。与衬底不遭受破裂、断裂和碎裂的百分比对应的衬底产出率被定义为(不遭受能视觉

上确认观察到的破裂、断裂和碎裂的衬底的数量)/(测量的衬底的数量)。

[0169] 样品的制备

[0170] 通过与用于制造如上所述的测试 1 中制备的样品基本类似的方法制造 GaN 衬底的样品(下述表 2 中的样品 ID:II-1 至 II-11)和半导体激光器件的样品。然而,如下述表 2 中所示,主表面的角度(倾斜角 θ)被设置为 75° 、 71° 或 79° 。另外,对于每个样品,倒角部分的倒角在 0° 至 60° 的范围内变化,如表 2 中所示。在这种情况下,粒度为 #1000 的磨石用于倒角。另外,使用具有相同厚度的衬底。基于其中顶侧和背侧的形状彼此对称的图 11 中所示的形状形成倒角部分的形状(倒角形状)。倒角量统一地设置在 0.2mm。

[0171] 测试和结果

[0172] 关于如上所述制造的 GaN 衬底的样品,通过视觉地观察出现诸如破裂、断裂和碎裂的情形来计算衬底产出率。另外,关于使用 GaN 衬底的每个样品制造的半导体激光器件,以与测试 1 相同的方式来测量振荡产出率(元件产出率)。结果在表 2 中示出。

[0173] [表 2]

[0174]

ID	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7	II-8	II-9	II-10	II-11
主表面的角度 (°)	75	75	75	75	75	75	75	71	71	79	79
倒角的角度 (°)	0	5	15	25	35	45	60	5	45	5	45
元件产出率 (%)	85	84	83	84	85	84	83	51	50	52	51
衬底产出率 (%)	11	65	72	90	69	60	25	59	60	62	61

[0175] 如表 2 中所示,得到了优良的结果,即,当倒角的角度为 5° 或更大并且 45° 或更小时,衬底产出率为 50%。另外,当使用倒角量和倒角的角度在顶侧表面和背侧表面之间均不同的倒角部分时,也得到类似的结果。

[0176] 另外,当主表面的角度(倾斜角 θ)落入 71° 和 79° 的范围内时,也得到类似的结果。同样关于通过溶剂法生长的晶体,得到与上述结果相同的结果。另外,当多个 GaN 衬底用于下层衬底以通过 HVPE 法在多个下层衬底上生长单个 GaN 晶体时,也得到与上述结果相同的结果。

[0177] [示例 2]

[0178] 在本示例中,在用于倒角部分的不同加工条件(倒角加工条件)下,在倒角部分中具有不同厚度的受损层的衬底用于检验由受损层厚度导致的效果。具体来讲,制备在倒角部分中受损层厚度不同的 GaN 衬底的样品。然后,使用 GaN 衬底制造具有与示例 1 相同结构的半导体激光器件,并且检验元件产出率。

[0179] 样品的制备

[0180] 基本上通过与示例 1 中的 GaN 衬底的制造方法相同的制造方法制造 GaN 衬底的样品(下表的表 3 中的样品 ID:III-1 至 III-9)。通过调节用于倒角加工的橡胶磨石的粒度等改变受损层的厚度。另外,GaN 衬底被构造为具有相对于(0001)面向着[1-100]方向以 75° 或 73° 的角度(主表面的角度)倾斜的主表面。

[0181] 然后,与示例 1 一样,使用所得到的 GaN 衬底制造半导体激光器件。另外,使用具有相同厚度的衬底,并且基于其中顶侧和背侧的形状彼此对称的图 11 中所示的形状形成倒角部分的形状(倒角形状)。倒角角度被统一地设置在 20° ,并且倒角量被统一地设置在 0.2mm。

[0182] 测试和结果

[0183] 关于制造的半导体激光器件,进行振荡实验以检验倒角部分中受损层的厚度(平均的受损层厚度)和振荡产出率(元件产出率)之间的关系。结果在表 3 中示出。

[0184] [表 3]

[0185]

ID	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5	III-6	III-7	III-8	III-9
主表面的角度($^\circ$)	75	75	75	75	75	75	75	73	73
倒角中受损层的厚度(μm)	0.5	1	3	5	7	9	11	1	11
元件产出率(%)	50	85	86	84	53	51	13	73	11

[0186] 如表 3 中所示,获得了优良的结果,即当倒角中的平均受损层厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 或更大并且 $10\mu\text{m}$ 或更小时,元件产出率为 50%或更大。另外,当使用倒角量和倒角角度在顶侧表面和背侧表面之间均不同的倒角部分时,也得到相同的结果。同样关于通过溶剂法生长的晶体,得到与上述结果相同的结果。另外,当多个 GaN 衬底用于下层衬底以通过 HVPE 法在多个下层衬底上生长单个 GaN 晶体时,也得到与上述结果相同的结果。

[0187] [示例 3]

[0188] 在本示例中,在用于倒角部分的不同加工条件(倒角加工条件)下,具有以不同量进行倒角的倒角部分的衬底用于检验由倒角量造成的效果。具体来讲,制备具有以不同量进行倒角的倒角部分的 GaN 衬底的样品,以检验衬底产出率。

[0189] 样品的制备

[0190] 基本上通过与示例 1 中的 GaN 衬底的制造方法相同的制造方法制造 GaN 衬底的样品（下述表 4 中的样品 ID：IV-1 至 IV-9）。GaN 衬底的主表面相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向的倾斜角 θ （主表面的角度）被设置在 75° 或 74° 。在这种情况下，粒度为 #1000 的磨石用于倒角。另外，使用具有相同厚度的衬底，并且基于其中顶侧和背侧的形状彼此对称的图 11 中示出的形状形成倒角部分的形状（倒角形状）。倒角角度被统一地设置在 20° 。

[0191] 测试和结果

[0192] 关于如上所述制造的 GaN 衬底的样品，通过视觉地观察出现诸如破裂、断裂和碎裂的缺陷的情形，计算衬底产出率。结果在表 4 中示出。

[0193] [表 4]

[0194]

ID	IV-1	IV-2	IV-3	IV-4	IV-5	IV-6	IV-7	IV-8	IV-9
主表面的角度 ($^\circ$)	75	75	75	75	75	75	75	74	74
倒角量 (mm)	0	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	0.6	0.1	0.6
衬底产出率 (%)	8	65	80	90	89	53	25	88	20

[0195] 如表 4 中所示，得到了优良的结果，即，当倒角量为 0.02mm 或更大并且 0.5mm 或更小时，衬底产出率为 50% 或更大。另外，当使用倒角量和倒角的角度均在顶侧表面和背侧表面之间不同的倒角部分时，也得到相同的结果。同样关于通过溶剂法生长的晶体，得到与上述结果相同的结果。另外，当多个 GaN 衬底用于下层衬底以通过 HVPE 法在多个下层衬底上生长单个 GaN 晶体时，也得到与上述结果相同的结果。

[0196] [示例 4]

[0197] 在本示例中，在用于倒角部分的不同加工条件（倒角加工条件）下，使用其倒角部分具有不同表面粗糙度的衬底来检验由表面粗糙度引起的效果。具体来讲，制备其倒角部分具有不同表面粗糙度的 GaN 衬底的样品。然后，使用 GaN 衬底来制造与具有示例 1 中相同结构的半导体激光器件，以检验元件产出率。

[0198] 样品的制备

[0199] 基本通过与示例 1 中的 GaN 衬底的制造方法相同的制造方法，制造 GaN 衬底的样品（下述表 5 中的样品 ID：V-1 至 V-9）。另外，通过调节用于倒角加工的橡胶磨石的粒度等，改变倒角部分的表面的算术平均粗糙度 (Ra)。另外，GaN 衬底被构造成具有相对于 (0001) 面向着 [1-100] 方向以 75° 或 76° 的角度 θ （主表面的角度）倾斜的主表面。使用具有相同厚度的衬底。基于其中顶侧和背侧的形状彼此对称的图 11 中示出的形状形成倒角部分的形状（倒角形状）。倒角角度被统一地设置在 20° ，倒角量被统一地设置为 0.2mm。

[0200] 然后，使用所得到的 GaN 衬底，以与示例 1 相同的方式制造半导体激光器件。

[0201] 测试和结果

[0202] 关于所制造的半导体激光器件，进行振荡实验，以检验倒角部分的表面粗糙度（倒角的粗糙度）和振荡产出率（元件产出率）之间的关系。结果在表 5 中示出。

[0203] [表 5]

[0204]

ID	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8	V-9
主表面的角度 (°)	75	75	75	75	75	75	75	76	76
倒角的粗糙度 Ra (μm)	0.07	0.1	0.5	1	2	3	4	0.1	3
元件产出率 (%)	91	88	86	62	55	52	12	90	51

[0205] 如表 5 中所示,得到了优良的结果,即,当倒角部分的表面粗糙度为 0.07 μm 或更大并且 3 μm 或更小时,元件产出率为 50%或更大。另外,当使用倒角量和倒角角度均在顶侧表面和背侧表面之间不同的倒角部分时,也得到相同的结果。同样关于通过溶剂法生长的晶体,得到与上述结果相同的结果。另外,当多个 GaN 衬底用于下层衬底以通过 HVPE 法在多个下层衬底上生长单个 GaN 晶体时,也得到与上述结果相同的结果。

[0206] 本发明特别有利地应用于具有用作半极性面的主表面的氮化物半导体衬底和使用该氮化物半导体衬底制造的半导体器件。

[0207] 虽然已经详细描述和示出了本发明,但是清楚理解的是,这只是以示出和示例而不是限制的方式进行的描述和示出,应该根据权利要求来解释本发明的范围。

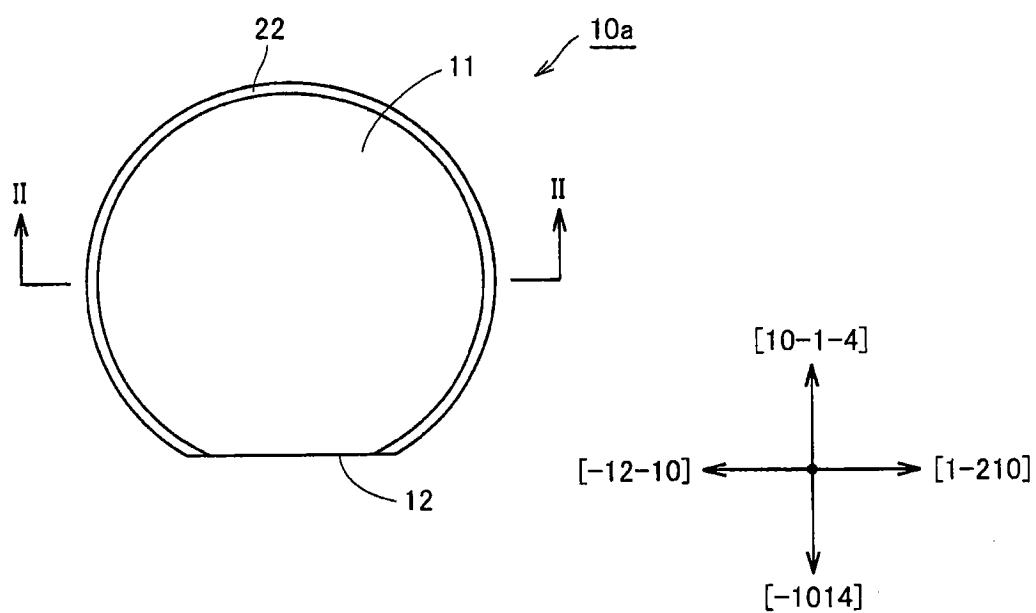


图 1

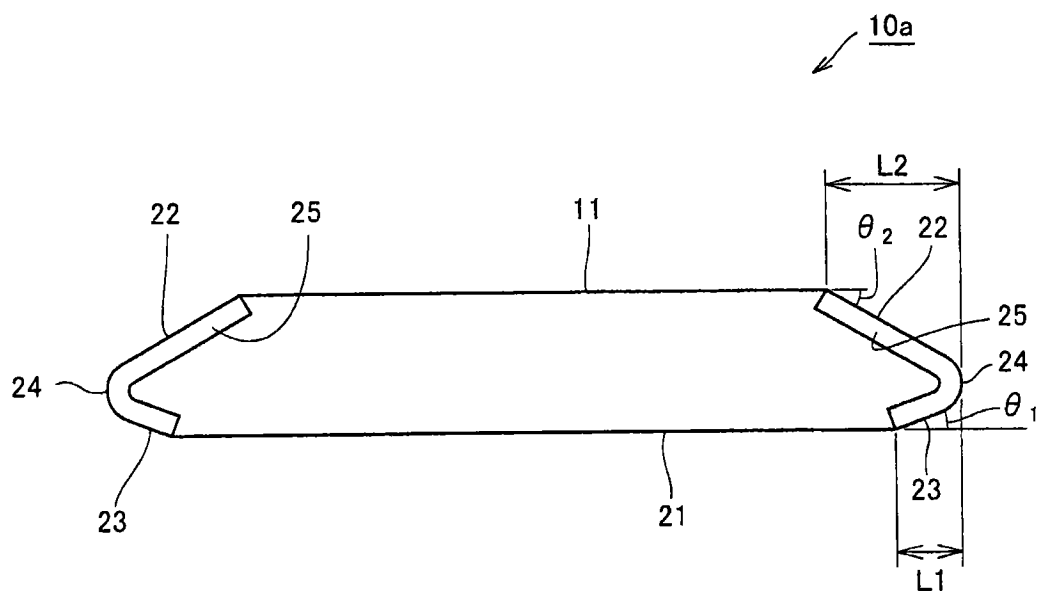


图 2

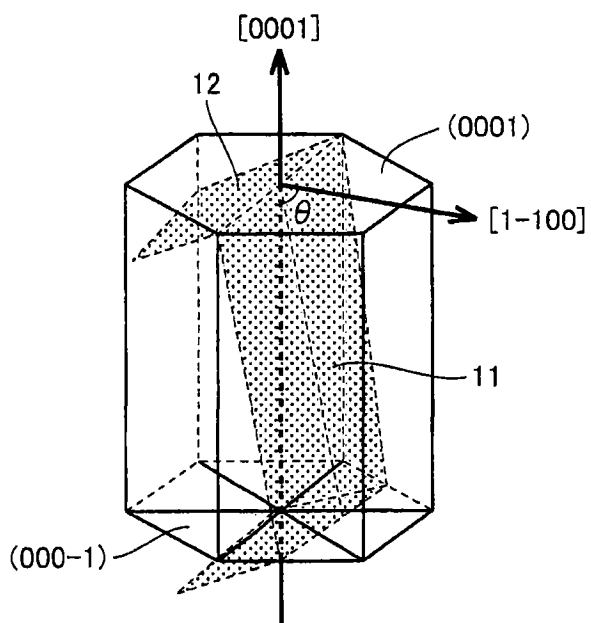


图 3

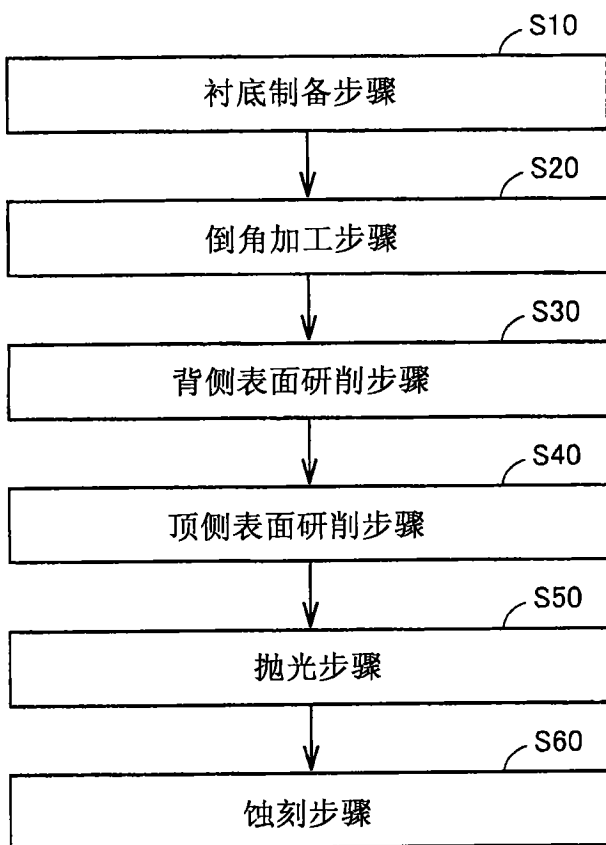


图 4

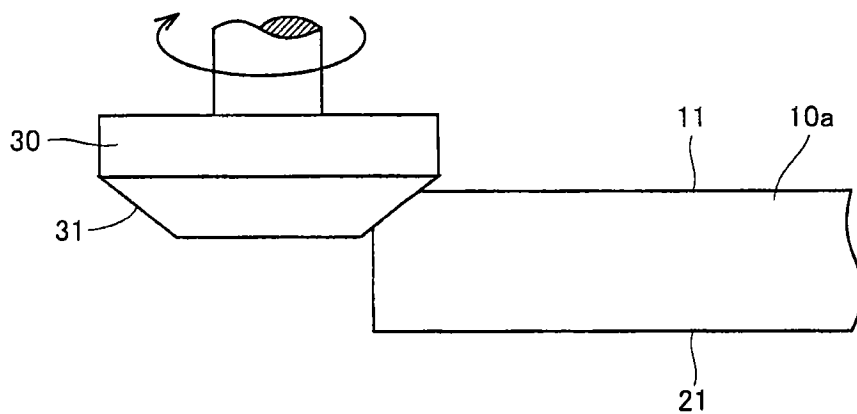


图 5

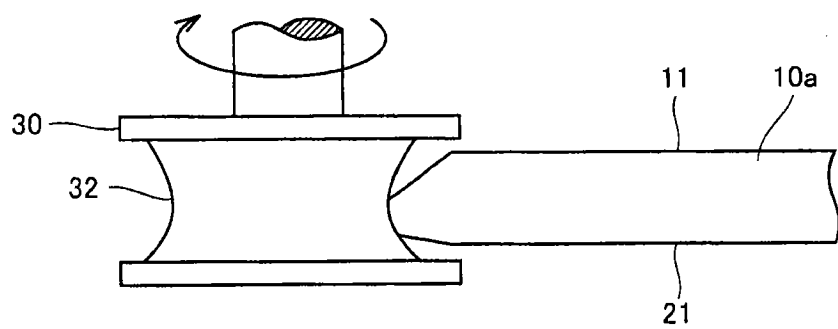


图 6

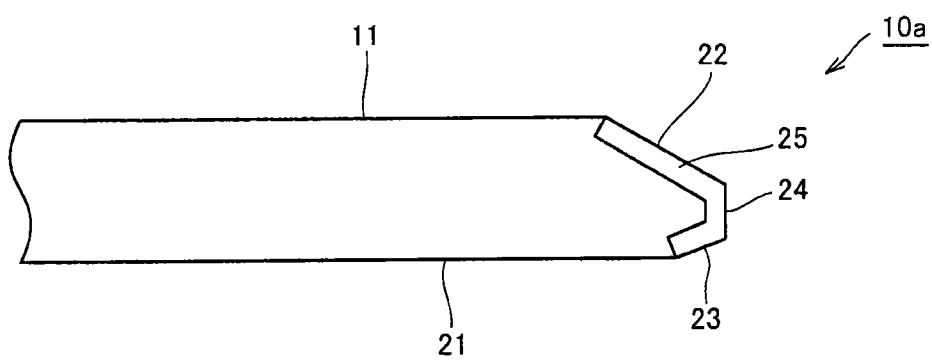


图 7

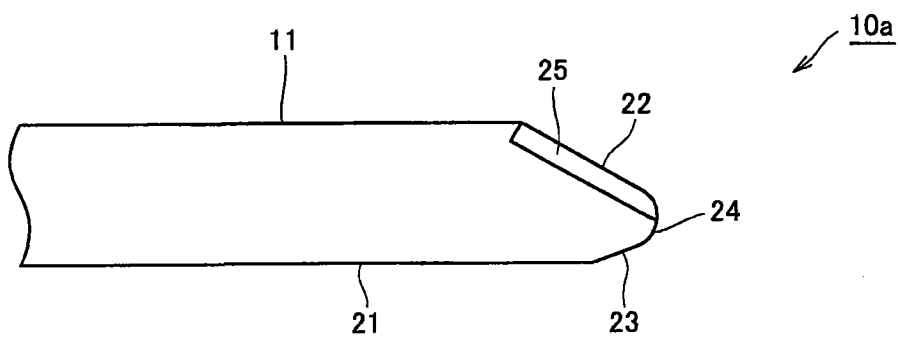


图 8

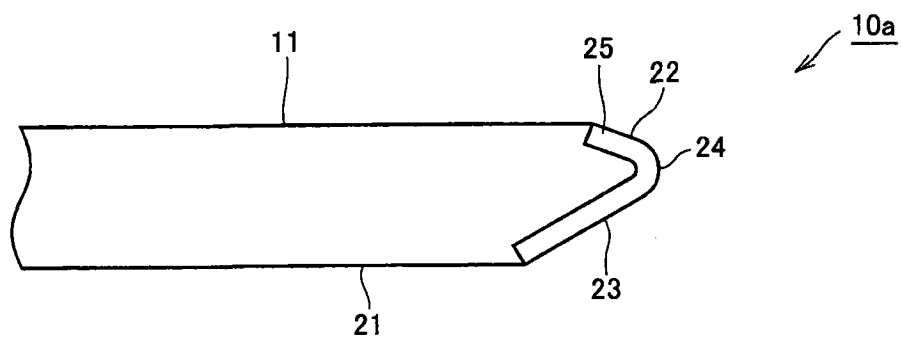


图 9

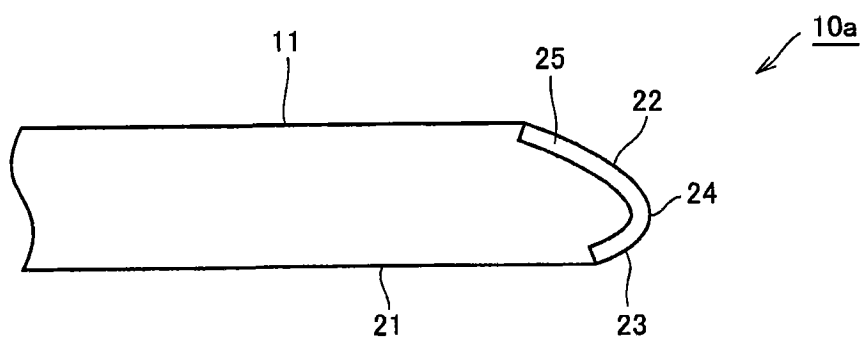


图 10

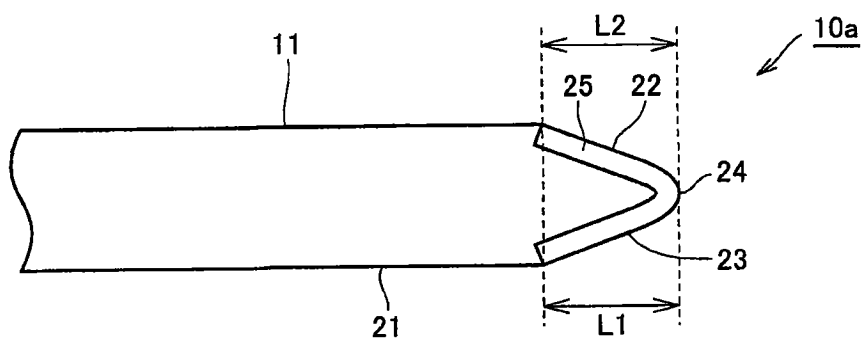


图 11

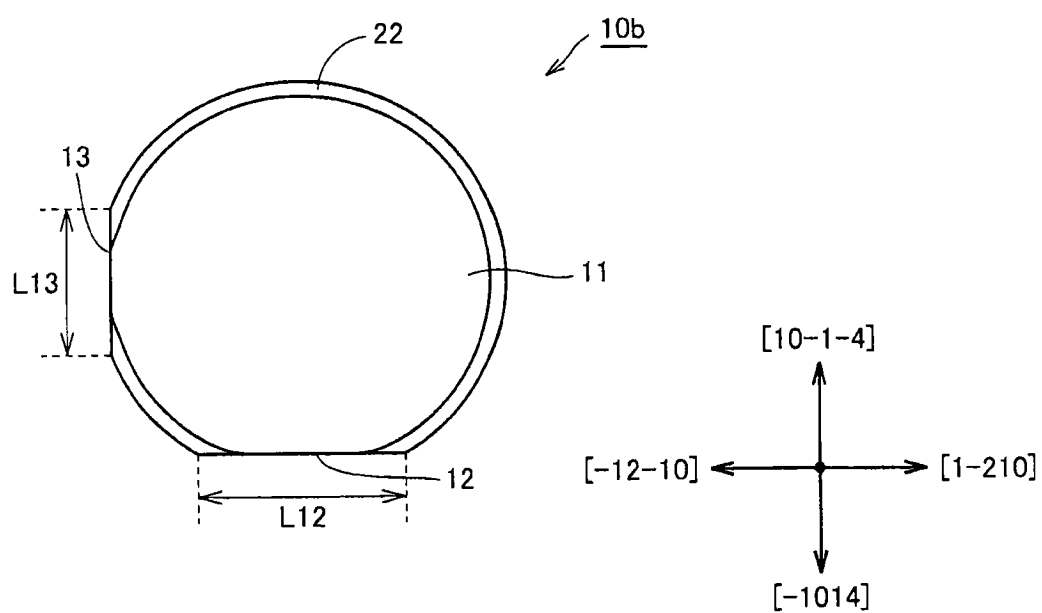


图 12

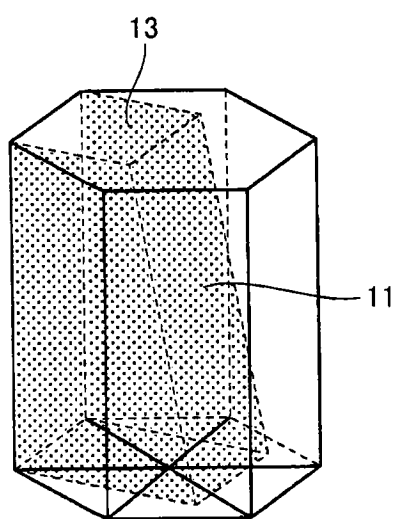


图 13

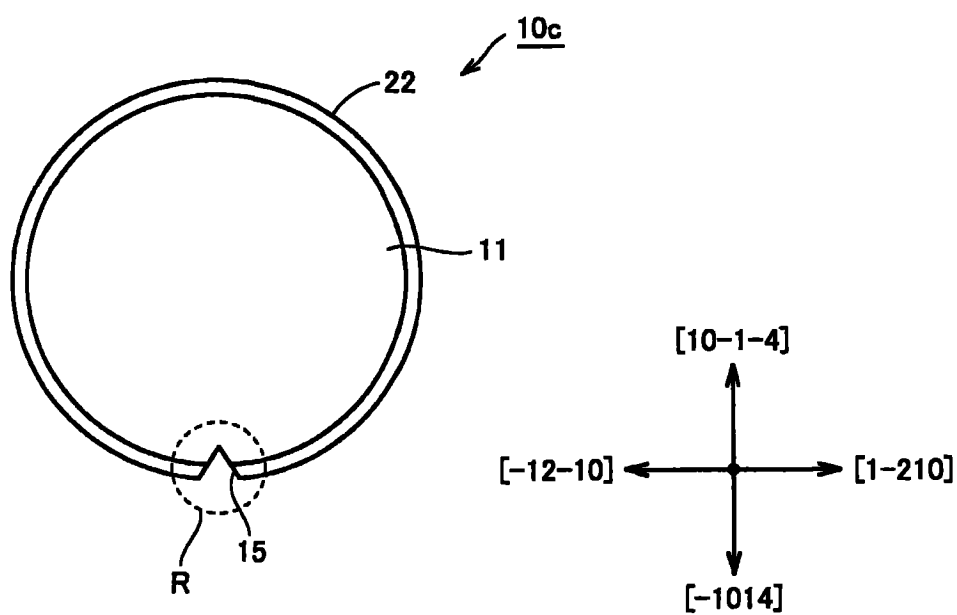


图 14

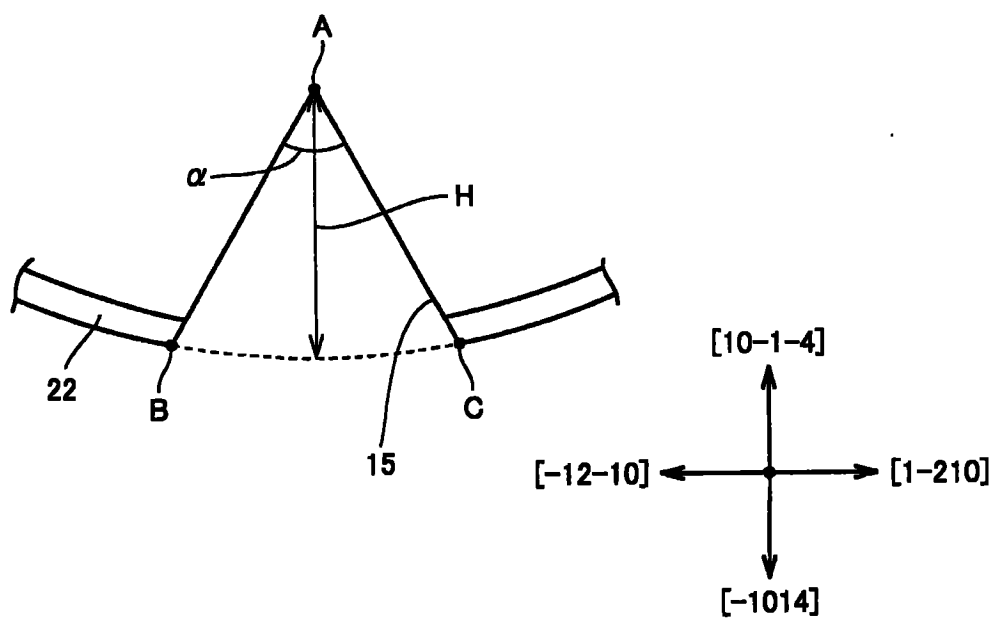


图 15

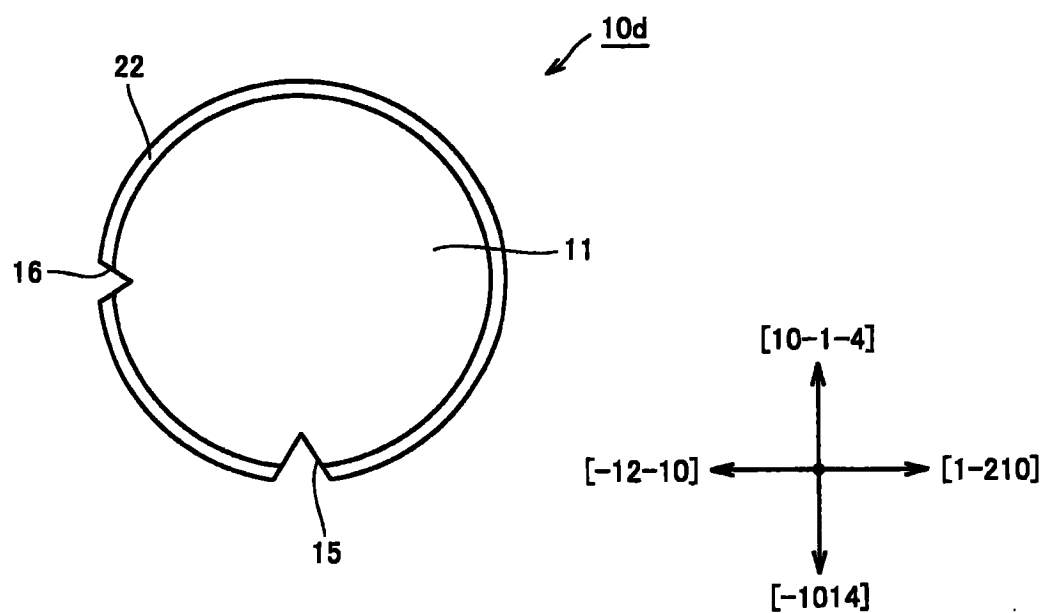


图 16

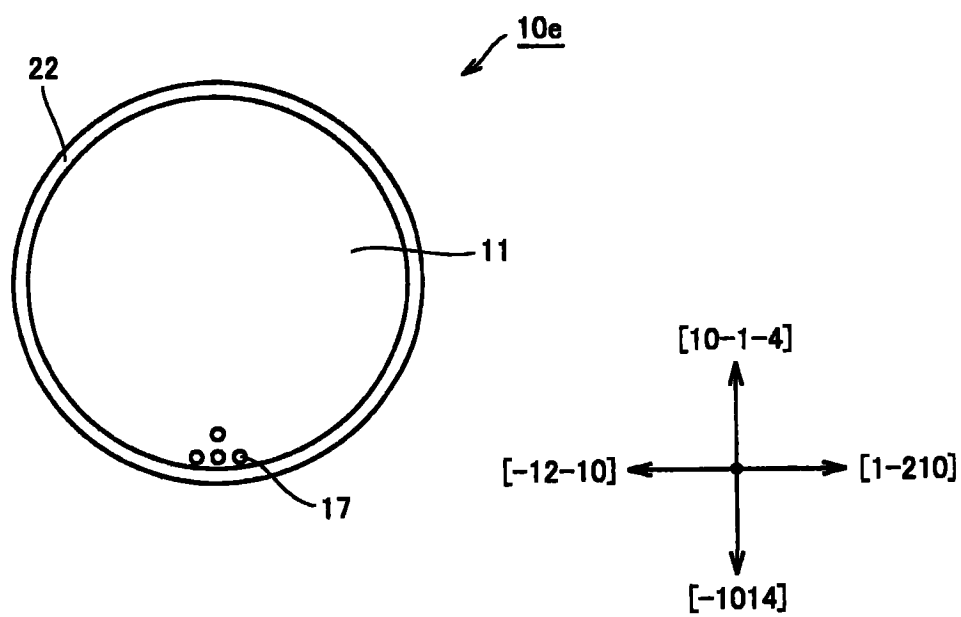


图 17

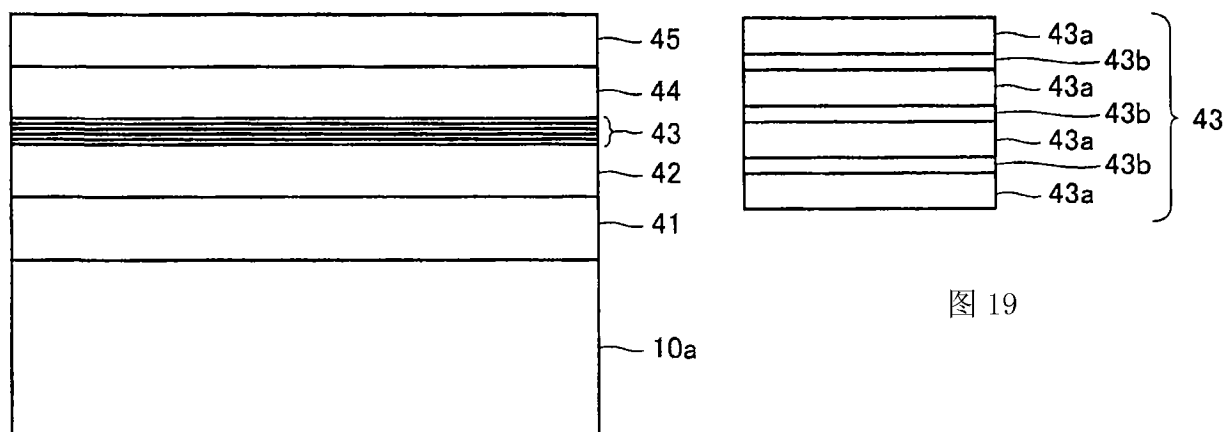


图 19

图 18

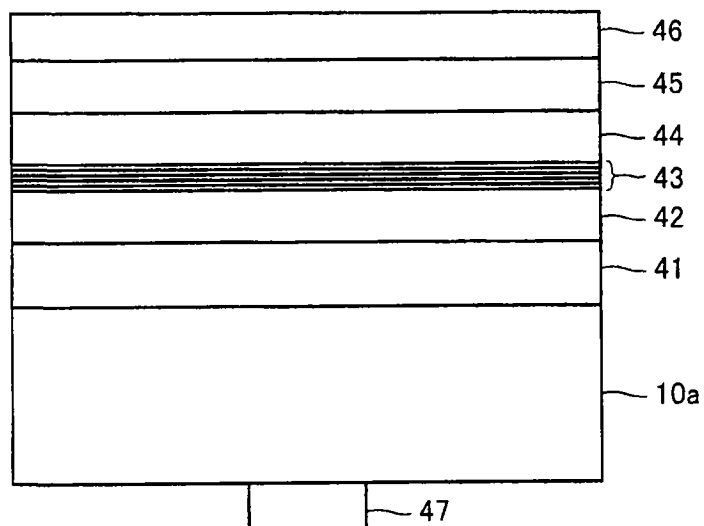


图 20

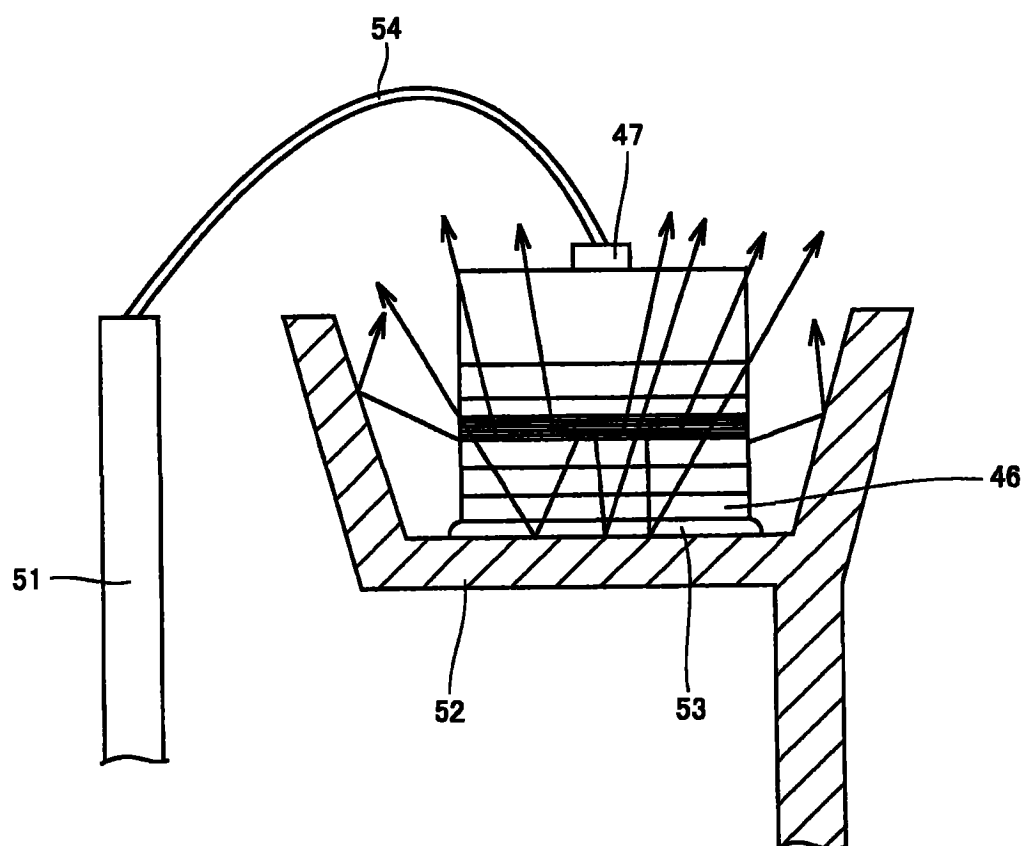


图 21

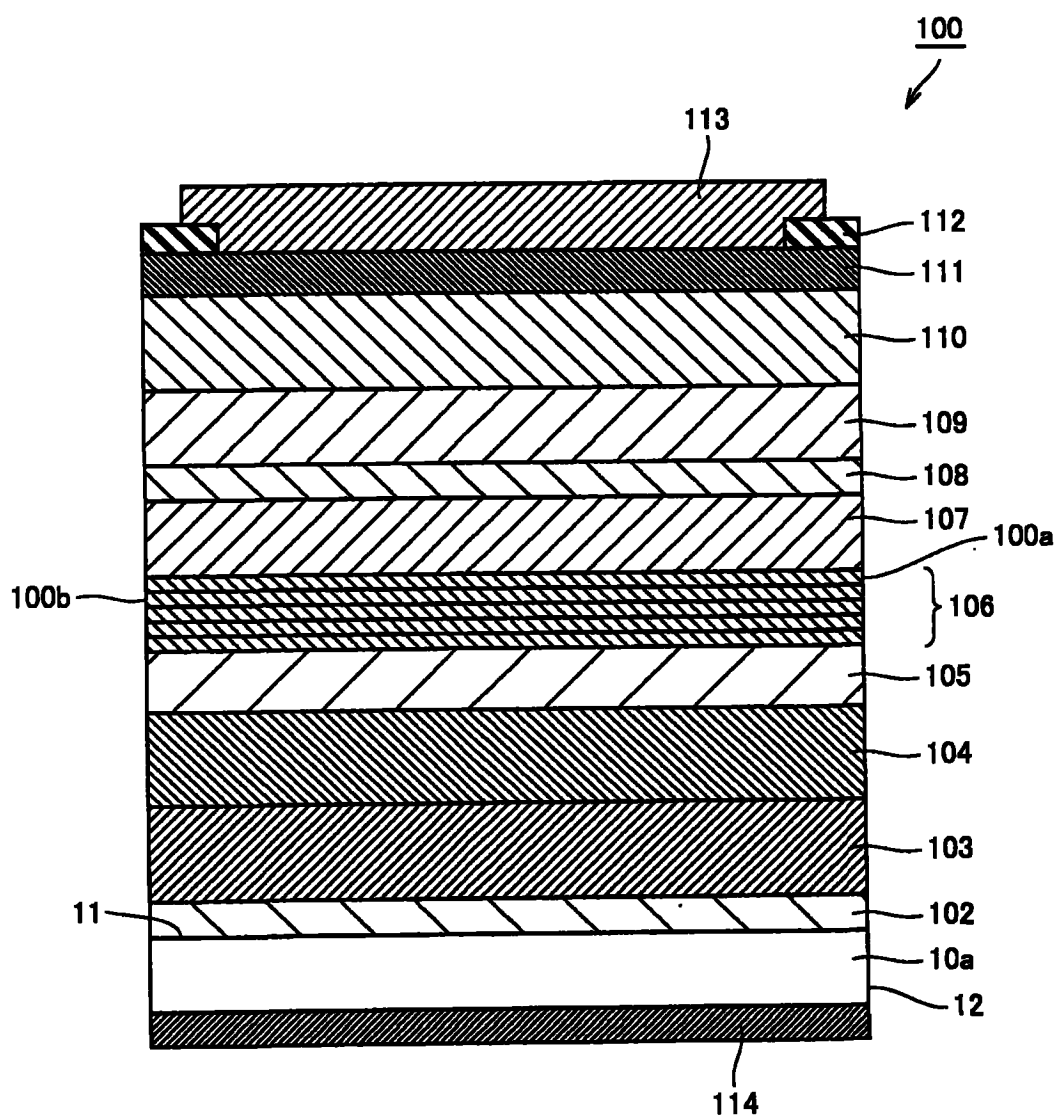


图 22

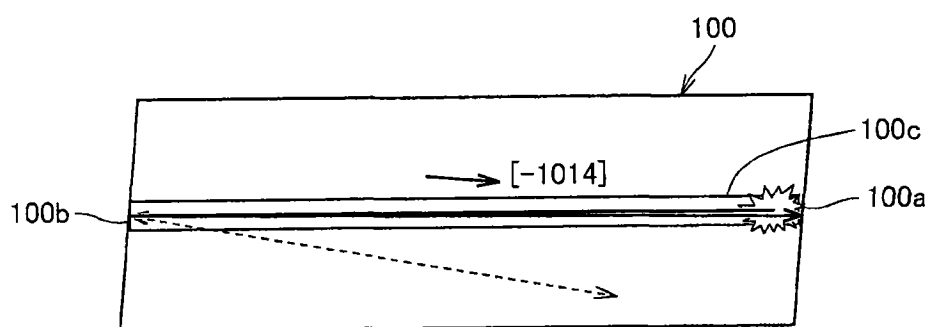


图 23

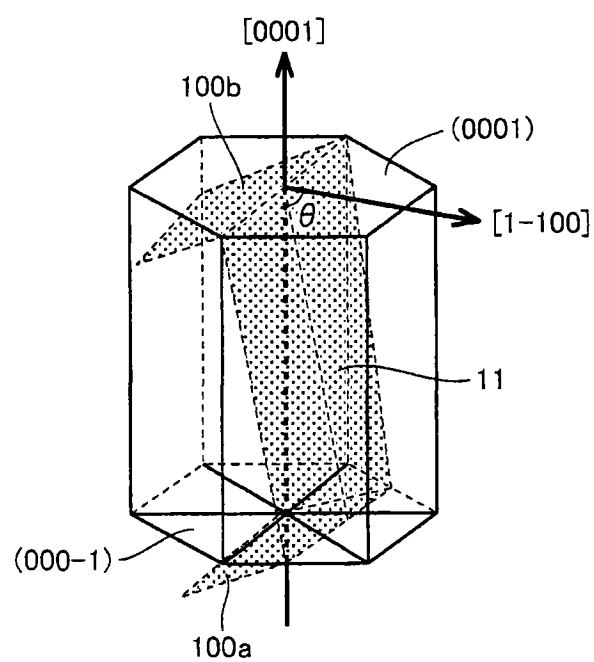


图 24