



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103476975 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 25

(21) 申请号 201280019349. 9

(22) 申请日 2012. 03. 30

(30) 优先权数据

2011-113341 2011. 05. 20 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 10. 18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2012/058527 2012. 03. 30

(87) PCT申请的公布数据

W02012/160872 JA 2012. 11. 29

(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 佐佐木信 西口太郎

(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 陈海涛 穆德骏

(51) Int. Cl.

C30B 29/36 (2006. 01)

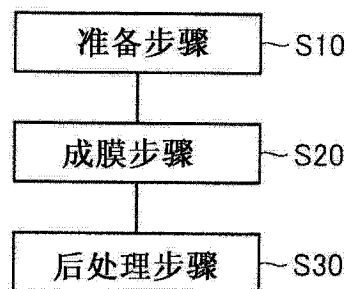
权利要求书2页 说明书19页 附图4页
按照条约第19条修改的权利要求书2页

(54) 发明名称

碳化硅衬底、碳化硅锭以及制造碳化硅衬底
和碳化硅锭的方法

(57) 摘要

本发明提供具有高度均匀的特性的碳化硅衬底和碳化硅锭以及制造所述碳化硅衬底和所述碳化硅锭的方法。制造碳化硅锭的方法包括：准备底部衬底的准备步骤 (S10)，所述底部衬底由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角，所述偏离角方向是相对于 (0001) 面的 $\langle 11\text{-}20 \rangle$ 方向或 $\langle 1\text{-}100 \rangle$ 方向；和在所述底部衬底的表面上生长碳化硅层的成膜步骤 (S20)。在所述成膜步骤 (S20) 中，在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有 (0001) 小平面的区域，所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧。



1. 一种制造碳化硅锭的方法,包括:

准备底部衬底(1)的步骤(S10),所述底部衬底(1)由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;以及

在所述底部衬底(1)的表面上生长碳化硅层的步骤(S20),

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)中,在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧。

2. 如权利要求1所述的制造碳化硅锭的方法,其中

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后的所述碳化硅层中,位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分是高浓度氮区域(6),所述高浓度氮区域(6)的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(7)的氮浓度。

3. 如权利要求2所述的制造碳化硅锭的方法,其中

所述高浓度氮区域(6)在所述偏离角方向上的宽度等于或小于所述底部衬底(1)在所述偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。

4. 如权利要求2或3所述的制造碳化硅锭的方法,还包括除去所述高浓度氮区域(6)的步骤(S30)。

5. 如权利要求2~4中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过所述高浓度氮区域(6)的透过率低于每单位厚度的所述光穿过所述碳化硅层中除了所述高浓度氮区域之外的部分(7)的透过率。

6. 如权利要求1~5中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分(6)的微管密度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(7)的微管密度。

7. 如权利要求1~6中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后所述碳化硅层的表面的最大曲率半径等于或大于所述底部衬底(1)的平面形状的外接圆半径的三倍。

8. 一种制造碳化硅衬底的方法,包括:

使用权利要求1的制造碳化硅锭的方法准备碳化硅锭(10)的步骤(S40),其中

在所述准备碳化硅锭(10)的步骤(S40)中,在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后的所述碳化硅层中,位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分是高浓度氮区域(6),所述高浓度氮区域(6)的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(7)的氮浓度,所述方法还包括:

从所述碳化硅锭(10)除去所述高浓度氮区域(6)的步骤;以及

在实施所述除去所述高浓度氮区域(6)的步骤之后对所述碳化硅锭(10)进行切片的步骤(S50)。

9. 一种碳化硅锭,包含:

底部衬底 (1), 其由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角, 所述偏离角方向是相对于 (0001) 面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向; 和

在所述底部衬底 (1) 的表面 (4) 上形成的碳化硅层,

在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成有具有 (0001) 小平面 (5) 的区域, 所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底 (1) 的所述表面 (4) 之间相交的角为锐角的一侧。

10. 如权利要求 9 所述的碳化硅锭, 其中

在所述碳化硅层中, 位于具有所述 (0001) 小平面 (5) 的所述区域下面的部分是高浓度氮区域 (6), 所述高浓度氮区域 (6) 的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面 (5) 的所述区域下面的所述部分之外的部分 (7) 的氮浓度。

11. 如权利要求 10 所述的碳化硅锭, 其中

所述高浓度氮区域 (6) 在所述偏离角方向上的宽度等于或小于所述底部衬底 (1) 在所述偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。

12. 如权利要求 10 或 11 所述的碳化硅锭, 其中

每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过所述高浓度氮区域 (6) 的透过率低于每单位厚度的所述光穿过所述碳化硅层中除了所述高浓度氮区域之外的部分 (7) 的透过率。

13. 如权利要求 9 ~ 12 中任一项所述的碳化硅锭, 其中

位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的部分 (6) 的微管密度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的所述部分 (6) 之外的部分 (7) 的微管密度。

14. 如权利要求 9 ~ 13 中任一项所述的碳化硅锭, 其中

所述碳化硅层的表面的最大曲率半径等于或大于所述底部衬底 (1) 的平面形状的外接圆半径的三倍。

15. 一种碳化硅衬底, 其通过对权利要求 9 的碳化硅锭 (10) 进行切片而得到。

16. 一种碳化硅衬底, 其通过在从权利要求 10 的碳化硅锭 (10) 除去所述高浓度氮区域 (6) 之后对所述碳化硅锭 (10) 进行切片而得到。

17. 如权利要求 16 所述的碳化硅衬底, 其中

氮浓度相对于平均值变化 10% 以下。

18. 如权利要求 16 所述的碳化硅衬底, 其中

位错密度相对于平均值变化 80% 以下。

19. 一种碳化硅衬底, 包含在 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向上的一个端部处形成的高浓度氮区域 (6), 所述高浓度氮区域 (6) 的氮浓度相对高于其他部分的氮浓度。

碳化硅衬底、碳化硅锭以及制造碳化硅衬底和碳化硅锭的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及碳化硅衬底、碳化硅锭以及制造碳化硅衬底和碳化硅锭的方法,更特别地,涉及诸如杂质浓度的特性的变化小的碳化硅衬底和碳化硅锭以及制造所述碳化硅衬底和所述碳化硅锭的方法。

背景技术

[0002] 作为用于代替硅(Si)的下一代半导体材料,常规已经对碳化硅(SiC)进行了研究。制造由碳化硅制成的衬底的常规方法是已知的,其中在籽晶衬底上生长碳化硅单晶以形成碳化硅锭,并对所述碳化硅锭进行切片以制造衬底。在该方法中,以(0001)面(所谓的c面)或相对于c面具有 10° 以下偏离角的结晶面作为生长表面准备籽晶,并在籽晶的生长表面上生长碳化硅单晶(参见例如日本特开2004-323348号公报(下文中称作专利文献1))。当在这种籽晶的生长表面上生长碳化硅单晶时,在已生长的碳化硅单晶的表面的中央部附近形成(0001)小平面。

[0003] 在专利文献1中,为了防止形成异质多形态晶体或不同表面取向的晶体并防止产生螺旋位错,准备包含能够产生螺旋位错的区域的位错控制籽晶,并在所述位错控制籽晶上生长碳化硅单晶。此外,在专利文献1中的生长碳化硅单晶的步骤中,在碳化硅单晶的表面上形成c面小平面,并以(0001)小平面叠盖螺旋位错产生区域的方式生长碳化硅单晶。根据专利文献1,通过以如上所述的方式生长碳化硅单晶,能够抑制异质多形态晶体或不同表面取向晶体的形成并能够异质在碳化硅单晶中产生螺旋位错。专利文献1还建议,在生长碳化硅单晶的步骤中,通过控制反应气体的浓度分布或通过控制籽晶的温度分布,对(0001)小平面的位置进行调节以叠盖螺旋位错产生区域。

[0004] 引用列表

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2004-323348号公报

发明内容

[0007] 技术问题

[0008] 与碳化硅单晶表面的其他部分相比,氮(N)在晶体生长期间相对更易于被引入到碳化硅单晶表面上的(0001)小平面内。因此,在生长碳化硅单晶期间,在其上已经形成(0001)小平面的表面下面的区域中形成氮浓度高于其他区域中的高浓度氮区域。期望的是,在锭和由锭形成的衬底中,碳化硅中的氮浓度尽可能均匀,因为其对碳化硅单晶的诸如导电性和光透过性的特性有影响。然而,在利用常规方法形成的碳化硅锭中,未对(0001)小平面的布置和尺寸进行特别调整以得到具有均匀氮浓度的锭和衬底。由此,在制得的碳化硅锭中,尽管可以将(0001)小平面布置在靠近锭端部的位置,但在锭内部形成特定尺寸的高浓度氮区域。结果,将高浓度氮区域布置在从锭切出的衬底中具有均匀氮浓度的区域

(即高浓度氮区域之外的区域)中。即,常规上难以形成具有均匀氮浓度的区域以作为碳化硅衬底中包含衬底中心区域的大区域。

[0009] 为了解决这种问题而完成了本发明,且本发明的目的是提供一种具有均匀特性的碳化硅衬底和碳化硅锭以及制造所述碳化硅衬底和所述碳化硅锭的方法。

[0010] 解决问题的技术方案

[0011] 本发明人基于碳化硅晶体生长的详细研究而完成了本发明。即,发明人发现,当将在相对于(0001)面的规定方向(偏离角方向)上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角的碳化硅衬底用作底部衬底(籽晶衬底),并在所述底部衬底的表面上生长碳化硅单晶时,通过调节底部衬底的偏离角方向和偏离角并进一步调节生长晶体的步骤中的加工条件,可在生长表面的端部处形成在已生长的碳化硅单晶的生长表面上形成的(0001)小平面,并可进一步形成尺寸与底部衬底的平面尺寸相比足够小的(0001)小平面。因此,在形成的碳化硅单晶中,能够降低位于(0001)小平面下面的部分(高浓度氮区域)的比例,由此形成具有相对低氮浓度的大区域。基于这些发现,根据本发明的制造碳化硅锭的方法包括:准备底部衬底的步骤,所述底部衬底由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;以及在所述底部衬底的表面上生长碳化硅层的步骤。在所述生长碳化硅层的步骤中,在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧。

[0012] 通过以此方式在锭的端部处形成易于引入氮的(0001)小平面,能够将具有相对高氮浓度的区域(位于(0001)小平面下面的高浓度氮区域)布置在碳化硅锭的端部处。由此,能够形成具有相对低氮浓度的区域(除了高浓度氮区域之外的区域)以作为包含碳化硅锭中心部的大区域。由此,当从锭切出碳化硅衬底时,能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域的碳化硅衬底。由于能够以此方式在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域(其中引入少量氮的具有稳定浓度的区域),所以能够在衬底表面上有效地形成半导体器件。

[0013] 当从具有在其中央部形成的特定尺寸的高浓度氮区域的碳化硅锭切出碳化硅衬底时,例如,具有低氮浓度的区域(低浓度氮区域)包围碳化硅衬底表面上的高浓度氮区域。由此,当在碳化硅衬底的具有相对低氮浓度的区域中的表面上形成器件时,在除了高浓度氮区域之外的区域中形成器件(即,在除了高浓度氮区域和高浓度氮区域与低浓度氮区域之间的边界区域之外的区域中形成器件),从而导致衬底的利用效率下降。然而,根据本发明,将高浓度氮区域布置在碳化硅衬底的端部,并由此在碳化硅衬底表面的中央部中形成低浓度氮区域。可以仅在低浓度氮区域中形成器件,由此有效地利用衬底。

[0014] 利用上述制造碳化硅锭的方法制造根据本发明的碳化硅锭。在此情况中,能够形成具有相对低氮浓度的区域(除了高浓度氮区域之外的区域)以作为包含碳化硅锭的中心部的大区域。由此,当从碳化硅锭切出碳化硅衬底时,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域的碳化硅衬底。

[0015] 根据本发明的制造碳化硅衬底的方法包括使用上述制造碳化硅锭的方法准备碳化硅锭的步骤和对所述碳化硅锭进行切片的步骤。

[0016] 在此情况中,在碳化硅锭中,能够形成具有相对低氮浓度的区域(除了高浓度氮区域之外的区域)以作为包含碳化硅锭中心部的大区域。由此,当在切片步骤中从碳化硅锭切出碳化硅衬底时,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域的碳化硅衬底。

[0017] 利用上述制造碳化硅衬底的方法制造根据本发明的碳化硅衬底。因此,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域的碳化硅衬底。

[0018] 根据本发明的制造碳化硅锭的方法包括:准备底部衬底的步骤,所述底部衬底由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;以及在所述底部衬底的表面上生长碳化硅层的步骤。在所述生长碳化硅层的步骤中,在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧。在生长碳化硅层的步骤之后的碳化硅层中,每单位厚度的具有450nm以上且500nm以下的波长的光穿过位于具有(0001)小平面的区域下面的部分的透过率小于每单位厚度的相同光穿过碳化硅层中除了位于具有(0001)小平面的区域下面的所述部分之外的部分的透过率。

[0019] 通过以此方式在锭的端部处形成易于引入氮的(0001)小平面,将由于在生长碳化硅层期间从小平面向其中引入的氮而具有下降的光透过率的区域布置在锭的端部(位于(0001)小平面下面的部分)。由此,能够形成包含碳化硅锭中心部的其他部分以作为具有相对高透过率的区域。因此,当从锭切出碳化硅衬底时,能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对高光透过率的区域的碳化硅衬底。由于能够以此方式在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对高光透过率的区域(其中引入少量氮的具有稳定的氮浓度和透过率的区域),所以能够在衬底表面上有效形成半导体器件。

[0020] 根据本发明的碳化硅锭包含:底部衬底,其由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;和在所述底部衬底的表面上形成的碳化硅层。在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧。

[0021] 在上述碳化硅锭的碳化硅层中,位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分可以是高浓度氮区域,所述高浓度氮区域的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分之外的部分的氮浓度。

[0022] 通过以此方式在锭的端部处形成易于引入氮的(0001)小平面,能够将具有相对高氮浓度的区域(位于(0001)小平面下面的高浓度氮区域)布置在碳化硅锭的端部处。由此,能够形成具有相对低氮浓度的区域(除了高浓度氮区域之外的区域)以作为包含碳化硅锭中心部的大区域。由此,当从锭切出碳化硅衬底时,能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域的碳化硅衬底。由于能够以此方式在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域(其中引入少量氮的具有稳定的氮浓度的区域),所以能够在衬底表面上有效形成半导体器件。

[0023] 通过对上述碳化硅锭进行切片得到根据本发明的碳化硅衬底。因此,能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的区域(或具有高透过率的区域)的碳化硅衬底。

[0024] 在从碳化硅锭除去高浓度氮区域之后,通过对碳化硅锭进行切片得到根据本发明的碳化硅衬底。通过以此方式提前除去高浓度氮区域(具有低光透过率的区域),使用仅包含氮浓度低于高浓度氮区域的区域(透过率高于高浓度氮区域的区域)的碳化硅锭形成碳化硅衬底。因此,能够得到氮浓度和光透过率的变化更小的碳化硅衬底。

[0025] 根据本发明的碳化硅衬底包含高浓度氮区域,所述高浓度氮区域的氮浓度相对高于在<11-20>方向或<1-100>方向上在一个端部处形成的其他部分中的氮浓度。所述高浓度氮区域可以形成在上游侧的端部处,所述上游侧为在<11-20>方向或<1-100>方向(偏离角方向)上在所述碳化硅衬底的<0001>方向轴与所述碳化硅衬底的表面之间相交的角为锐角的一侧。通过在生长用于形成碳化硅衬底的碳化硅锭时以此方式控制(0001)小平面的布置,能够易于将高浓度氮区域布置在碳化硅衬底的端部处。

[0026] 有益效果

[0027] 根据本发明,能够得到具有高度均匀的特性如氮浓度的碳化硅锭和碳化硅衬底。

附图说明

[0028] 图1是说明根据本发明制造碳化硅锭的方法的流程图。

[0029] 图2是说明根据本发明制造碳化硅衬底的方法的流程图。

[0030] 图3是说明图1中所示的成膜步骤的实例的示意图。

[0031] 图4是根据本发明的碳化硅锭的示意性平面图。

[0032] 图5是沿图4中所示的线V-V的示意性横截面图。

[0033] 图6是显示从图4和图5中所示的碳化硅锭切出的碳化硅衬底的示意性平面图。

[0034] 图7是用于实施图1中所示的成膜步骤的晶体生长装置的示意性横截面图。

[0035] 图8是显示根据本发明的碳化硅衬底的另一个实例的示意性平面图。

[0036] 图9是显示根据本发明的碳化硅锭的第一变体的示意性平面图。

[0037] 图10是显示从图9中所示的碳化硅锭切出的碳化硅衬底的示意性平面图。

[0038] 图11是显示图10中所示的碳化硅衬底的变体的示意性平面图。

[0039] 图12是显示根据本发明的碳化硅锭的第二变体的示意性平面图。

[0040] 图13是显示从图12中所示的碳化硅锭切出的碳化硅衬底的示意性平面图。

[0041] 图14是显示图13中所示的碳化硅衬底的变体的示意性平面图。

[0042] 图15是显示根据本发明的碳化硅锭的第三变体的示意性平面图。

[0043] 图16是显示从图15中所示的碳化硅锭切出的碳化硅衬底的示意性平面图。

[0044] 图17是显示图16中所示的碳化硅衬底的变体的示意性平面图。

具体实施方式

[0045] 下文中参考附图对本发明的实施方案进行说明。应注意,在下图中相同或相应的部分用相同的标号表示,并不再重复其说明。

[0046] 参考图1~8,将对根据本发明的制造碳化硅锭和碳化硅衬底的方法进行说明。

[0047] 如图 1 中所示,在根据本发明制造碳化硅锭(下文中也称作锭)的方法中,首先实施准备步骤(S10)。具体地,将例如图 3 中所示的支持构件 2 布置在用于形成锭的晶体生长装置的处理容器内,并将充当用于形成锭的籽晶衬底的底部衬底 1 安装在支持构件 2 上。底部衬底 1 具有圆形平面形状。底部衬底 1 是包含主表面的碳化硅(SiC)衬底,所述主表面具有相对于(0001)面设置为 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 0.5° 以上且 8° 以下的偏离角。在本说明书中,单个面取向用(hkl)表示,且将包括(hkl)和在晶体几何学方面与其等价的面取向的总面取向用{hkl}表示。各个方向用[hkl]表示,且将包括[hkl]和在晶体几何学方面与其等价的方向的方向用<hkl>表示。尽管在晶体几何学方面通常将“-”(横杠)附加到表示负指数的数字顶上,但在本说明书中将负号(-)附加在表示指数的数字之前。

[0048] 然后,实施成膜步骤(S20)。具体地,在将晶体生长装置的处理容器中的压力和气氛设定为规定条件之后,在对底部衬底 1 进行加热的时候,利用升华重结晶法等底部衬底 1 的表面 4 上生长碳化硅单晶。以此方式形成如图 3~5 中所示的碳化硅锭 10。在该成膜步骤(S20)中,在锭 10 的表面上形成(0001)小平面 5(下文中也称作小平面 5)。以当从锭 10 的上表面观察时将小平面 5 布置在一个外周端部的方式设置用于成膜步骤(S20)的加工条件。后面对加工条件进行说明。

[0049] 与小平面 5 的下面相连的区域是高浓度氮区域 6,所述高浓度氮区域 6 的氮浓度相对高于其他区域的氮浓度,因为从小平面引入其中的氮的量比引入其他区域中的量大。即,在生长碳化硅以形成锭 10 期间,与其他区域相比,相对更大量的氮被从已生长的碳化硅表面上的小平面 5 引入碳化硅,高浓度氮区域 6 的氮浓度比作为其他区域的低浓度氮区域 7 的氮浓度相对更高。

[0050] 小平面 5 位于箭头 26 所示的偏离角方向上的端部处。能够使用任意方法(加工条件)以此方式将小平面 5 布置在锭 10 的端部处。例如,在如图 7 中所示的包含坩埚 11 和加热盘管 12 的晶体生长装置中,以在底部衬底 1 的表面上生长的锭 10 的最上生长表面(图 7 中锭 10 的与放置底部衬底 1 的表面相反的表面,或者锭 10 的面对图 7 中的箭头 13 所示的方向的表面,所述方向是原料气体的供应方向)总是平坦的方式(以底部衬底 1 的表面与锭 10 的最上生长表面相互平行的方式)生长锭 10。优选的是,充当籽晶衬底的底部衬底 1 的主表面(在其上生长用于变为锭 10 的晶体的表面)在相对于(0001)面的<11-20>方向或<1-100>方向上倾斜 1° 以上且 10° 以下。可以将主表面的倾斜角设定为 0.1° 以上且 10° 以下。通过使用这种底部衬底 1,如图 7 中所示,仅在锭 10 的端部处的小区域中产生(0001)小平面 5。尽管未显示图 3 中所示的支持构件 2 并将底部衬底 1 直接布置在图 7 中所示的晶体生长装置中的坩埚 11 的内壁上,但是可以如图 3 中所示将支持构件 2 布置在底部衬底 1 上,并可以利用插入其间的支持构件 2 将底部衬底 1 固定在坩埚 11 的内壁上。

[0051] 此处,使得锭 10 的最上生长表面尽可能平坦(例如使得最上生长表面在垂直于晶体生长方向的方向上延伸)是在锭 10 端部处产生尽可能小的(0001)小平面 5 的条件。为了制备平坦的最上生长表面,在图 7 中所示的锭 10 的最上生长表面上的中央部 14、端部 15 和最外周部 16 的温度是重要的。端部 15 在锭 10 的端部区域中并位于距坩埚 11 的内壁为锭 10 的直径的 10% 以内的距离处。当将中央部 14 的温度表示为 T_a ,将端部 15 的温度表示为 T_b ,并将最外周部 16 的温度表示为 T_c 时,优选的是,这些温度之间的关系满足关系式

$T_c > T_b \geq T_a$, 且温度 T_b 与温度 T_a 之间的温度梯度 ((温度 T_a 与温度 T_b 之差的绝对值) / (中央部 14 与端部 15 之间的距离)) 为 $10^\circ\text{C}/\text{cm}$ 以下。

[0052] 为了满足这种温度条件, 需要降低在底部衬底 1 的背面侧 (即图 7 中坩埚 11 的上表面侧) 上的温度分布 (使得温度变化更小)。具体地, 优选使用例如其中形成在坩埚 11 的上表面侧上的散热孔的直径大于锭 10 的宽度的结构。因此, 在锭 10 表面上的中央部 14 与端部 15 之间的曲率半径能够等于或大于锭 10 的半径的三倍。例如, 按如下计算曲率半径。首先, 在中央部 14 与端部 15 之间以 5mm 的间距测量锭 10 的高度 (从底部衬底 1 的表面到锭 10 的表面的距离)。然后, 根据各间距之间的高度差, 计算与间距之间的锭 10 的表面相对应的弧的半径。然后, 将在中央部 14 与端部 15 之间的各间距之间计算的弧的半径的最小半径定义为曲率半径。

[0053] 利用如下测量方法可以测量锭 10 的表面的平坦性。即, 在距锭 10 的表面的中心 5mm 间距的十字方向 (优选 5mm 间距的矩阵) 上布置的多个位置 (测量点) 处测量锭 10 的表面距参考表面的高度。然后, 测量相邻的测量点之间的高度差。此外, 根据由该高度差和测量点之间的距离确定的正切 ($\tan$), 确定与相邻测量点之间的锭 10 表面的倾斜相对应的角度。优选的是, 由此确定的多个角度平均为 10° 以下。进一步优选的是, 所有测量的角度都为 10° 以下。不将测量点布置在距锭 10 的最外周部为锭 10 直径的 10% 以内距离的区域内。

[0054] 关于温度 T_c 与温度 T_b 之间的关系, 优选的是, 温度 T_b 与温度 T_c 之差的绝对值为 1°C 以上且 50°C 以下 (更具体地, 温度 T_c 高于温度 T_b , 并且温度 T_b 与温度 T_c 之差为 1°C 以上且 50°C 以下)。如果所述差的绝对值小于 1°C , 则碳化硅多晶可能附着到并生长在由石墨制成的坩埚 11 的内周表面上, 从而阻止单晶锭的生长。如果所述差超过 50°C , 则由于源自坩埚 11 的辐射热等的影响, 锭 10 的末端表面部分的温度也会升高。中央部 14 与端部 15 之间的温度差由此变大, 从而导致不能保持锭 10 的表面的平坦性。

[0055] 通过在这种条件下生长晶体, 锭 10 的表面变平坦, 且仅在锭 10 的端部处产生 (0001) 小平面 5。优选的是, (0001) 小平面 5 的宽度 (底部衬底 1 在偏离方向上的宽度) 等于或小于锭 10 的直径的 10%。

[0056] 为了按上述将 (0001) 小平面 5 布置在锭 10 的端部处, 优选在整个生长锭 10 的过程中具有在锭 10 的径向上不存在温度分布的环境 (在径向上的温度差小的状态)。为了该目的, 除了在生长的初期之外, 需要在温度升高步骤期间以及在生长的中后期期间分别按如下仔细管理温度。

[0057] 例如, 当将普通的高频加热坩埚用于加热坩埚 11 时, 对坩埚 11 的侧表面进行加热。由此, 在温度升高步骤中, 倾向于在锭 10 的径向上产生温度分布。因此, 在坩埚 11 的底表面的温度在 1 个小时以内从室温达到 2000°C 以上的情况中, 优选将坩埚在 40kPa 以上且 100kPa 以下的气氛压力和预定生长温度下保持 5 分钟以上以使得温度分布均匀, 然后将气氛压力降至预定生长压力。

[0058] 在生长的中后期期间, 将锭 10 生长至 1cm 以上的高度, 由此最上生长表面的温度变得高于生长初期期间的温度。结果, 锭 10 的最上生长表面与原料之间的温度梯度变得不太陡。这造成在端部 15 和最外周部 16 处的温度环境从生长初期期间的状态发生变化, 这可以包括端部 15 的温度 T_b 与最外周部 16 的温度 T_c 之间的大小关系反转。锭 10 在这种

状态下具有凹入形状,使得(0001)小平面5从锭10的端部朝中央部移动。

[0059] 因此,在生长的中后期期间,需要通过使得坩埚11的侧表面的温度高于生长初期期间的温度,或者通过提高从坩埚11的上侧散逸的热量而始终保持满足温度 $T_c > \text{温度 } T_b$ 的条件的环境。另外,由于锭10的凹入表面形状提高了发生裂纹的可能性,所以优选的是,锭10具有平坦或轻微凸起的表面形状。进一步优选的是,提前使得锭10的原料的最上表面平坦,从而防止原料的填充深度的变化。

[0060] 利用如上所述方法形成的根据本发明的锭10具有小尺寸的(0001)小平面5和高度平坦的表面。由此,发生位错的可能性在锭10的全部表面上基本均匀,并随着锭10的生长而均匀下降。即,在根据本发明的锭10中,可以在基本整个区域上降低位错。

[0061] 仅在锭10的端部处产生小平面的替代方法可以是使得产生小平面的部分的温度高于其他部分的温度。即,优选的是,在图7中小平面侧端部17的温度 T_d 和小平面侧最外周部18的温度 T_e 满足关系 $T_e > T_d$,并且小平面侧端部17与小平面侧最外周部18之间的温度差(即 $T_e - T_d$)为 20°C 以上且 100°C 以下。此外,由于中央部14与端部15之间的大温度差增大了小平面区域,所以优选将中央部14与端部15之间的温度梯度设定为 $20^\circ\text{C}/\text{cm}$ 以下。

[0062] 还优选仅在小平面侧端部17与小平面侧最外周部18之间产生相对大的温度差,同时在锭10的外周部的其他部分中将端部15与最外周部16之间的温度差设定为 20°C 以下。为了实现该目的,例如可以仅对形成小平面5的部分进行加热。如果利用感应加热法对坩埚11进行加热,则例如通过将坩埚11的中心线从用于加热的盘管12的中心线向形成(0001)小平面5的侧移动指定的距离(例如约1mm以上且5mm以下),能够实施这种加热。另外,不考虑加热方法,与其他部分的厚度相比,可仅在接近形成小平面5的区域的部分中提高坩埚11周围的绝热材料的厚度(可以从其他部分的绝热材料的厚度提高约2mm以上且约10cm以下)。替代方法可以是在面对形成小平面5的部分的区域中对在坩埚11的上部中为了散热而形成的孔(散热孔)进行填充。

[0063] 将小平面5布置在锭10的端部处的替代方法例如可以是如图3中所示在支持构件2中布置温度调节构件3,并与其他部分的温度相比,改变形成小平面5的区域(底部衬底1的端部)的加热温度。通过诸如电加热器的加热构件可以实现这种温度调节构件3。将小平面5布置在锭10的端部处的替代方法例如可以是仅向形成小平面5的区域供应用于在底部衬底1上生长碳化硅的原料气体,或者可以是通过对于从处理容器的内部排放用于生长碳化硅的原料气体的排放单元的布置进行调节而使得在形成小平面5的区域中碳化硅的生长速率高于其他区域的生长速率。

[0064] 接下来,实施后处理步骤(S30)。具体地,将由此形成的锭10从处理容器中移出,并实施需要的后处理如对表面层进行研磨、在锭10上形成指示锭10的晶体取向的标记和进一步将底部衬底1与锭10分离。

[0065] 关于在得到的锭10中已经生长碳化硅晶体的部分的最上表面9(参见图5),优选的是,在图5中所示的横截面中的最大曲率半径等于或大于图4中所示的锭10的平面形状的外接圆(如果锭10具有如图4中所示的圆形平面形状,则为形成锭10的平面形状的外周的圆)的半径的三倍。

[0066] 将高浓度氮区域6布置在箭头26所示的偏离角方向上的上游侧。偏离角方向是

其中设置底部衬底 1 的偏离角的方向,且例如为 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向。当底部衬底 1 的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与底部衬底 1 的表面 4 相交时,将其中 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴相对于表面 4 的法线倾斜的方向定义为上游侧,并将与所述上游侧相反的方向定义为下游侧。高浓度氮区域 6 中的氮浓度等于或大于低浓度氮区域 7 中的氮浓度的 1.1 倍。例如,能够利用 SIMS 对氮浓度进行评价。

[0067] 而且,每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过高浓度氮区域 6 的透过率低于每单位厚度的相同光穿过锭 10 中除了高浓度氮区域 6 之外的低浓度氮区域 7 的透过率。例如,利用 FTIR(傅里叶变换红外光谱仪)能够测量光透过率。

[0068] 例如,能够将衬底 20 的厚度设定为 400 μm ,且利用可见光光谱仪能够测量具有上述波长的光在衬底 20 的厚度方向上穿过衬底 20 的高浓度氮区域 6 的透过率,以及具有上述波长的光在衬底 20 的厚度方向上穿过衬底 20 的低浓度氮区域 7 的透过率。

[0069] 根据这种锭 10,由于将具有相对高氮浓度的高浓度氮区域 6 布置在锭 10 的端部处,所以能够形成具有相对低氮浓度的低浓度氮区域 7 以作为包含锭 10 的中心部的大区域。由此,当从锭 10 切出碳化硅衬底 20 时,能够易于得到在包含衬底中央部的大区域中形成相对低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0070] 接下来,使用由此得到的锭 10,以通过图 2 中所示的工艺制造图 6 中所示的碳化硅衬底 20。参考图 2,将对制造碳化硅衬底 20 的方法进行具体说明。

[0071] 在根据本发明的制造碳化硅衬底的方法中,首先按图 2 中所示实施锭准备步骤(S40)。在该步骤(S40)中,准备由碳化硅制成并通过实施图 1 中所示的步骤而得到的锭 10。

[0072] 接下来,实施切片步骤(S50)。具体地,在步骤(S50)中,以任意方式对锭 10 进行切片。例如,利用线锯或利用具有布置在其表面上的硬磨粒如金刚石的切割构件(例如内径刀刃)能够实施切片。能够在任意方向如沿底部衬底 1 的表面 4 的方向(沿图 5 中的直线 8 的方向)上对锭 10 进行切片。在此情况中,能够将高浓度氮区域 6 布置在已切出的碳化硅衬底 20 的端部处。或者,可以沿由底部衬底 1 的偏离角方向和底部衬底 1 的表面 4 的法线限定的面对锭 10 进行切片(即,使得图 5 中所示的锭 10 的横截面为碳化硅衬底 20 的主表面)。

[0073] 接下来,实施后处理步骤(S60)。具体地,对通过切片而得到的衬底的表面和/或背面进行研磨并抛光以将表面精加工成任意表面状态如镜面状态。因此,得到诸如图 6 中所示的碳化硅衬底 20。在碳化硅衬底 20 中,在包含主表面的中央部的大部分中形成低浓度氮区域 7,并将高浓度氮区域 6 布置在端部处。如图 8 中所示,通过研磨等可以将高浓度氮区域 6 除去,以在碳化硅衬底 20 的外周中形成凹部 21。在此情况中,在碳化硅衬底 20 的基本整个表面上形成低浓度氮区域 7,由此得到具有均匀特性的碳化硅衬底 20。

[0074] 根据这种碳化硅衬底 20,能够易于在碳化硅衬底 20 的表面上形成具有高度均匀的特性的碳化硅外延层。

[0075] 如果在图 1 中所示的后处理步骤(S30)中通过研磨等将高浓度氮区域 6 从锭 10 除去之后实施图 2 中所示的制造碳化硅衬底的方法,则能够得到诸如图 8 中所示的不含高浓度氮区域的碳化硅衬底 20,即具有形成在整个表面上的低浓度氮区域的碳化硅衬底 20。除了已经将图 6 中所示的高浓度氮区域 6 除去之外,图 8 中所示的碳化硅衬底 20 基本具有

与图 6 中所示的碳化硅衬底 20 类似的结构。结果,图 8 中所示的碳化硅衬底 20 具有在高浓度氮区域 6 所位于的外周端部中部分形成的凹部 21。当通过在沿图 5 中的直线 8 的方向上对锭 10 进行切片而得到这种碳化硅衬底 20 时,凹部 21 位于在碳化硅衬底 20 的偏离角方向上的端部处。

[0076] 尽管将具有圆形平面形状的衬底用作上述制造锭 10 和碳化硅衬底 20 的方法中的底部衬底 1,但是能够将具有另一种任意形状的衬底用作底部衬底 1。如果将具有方形平面形状的衬底用作底部衬底 1,则例如能够如图 9 中所示得到具有基本方形平面形状的锭 10。在此情况中同样,通过在图 1 中所示的成膜步骤 (S20) 中控制加工条件,当对锭 10 进行二维观察时能够将小平面 5 布置在端部处。沿图 9 中的线 V-V 的横截面类似于图 5 中所示的横截面。优选的是,得到的锭 10 的最上表面的最大曲率半径 (图 5 中最上表面 9 的最大曲率半径) 等于或大于图 9 中所示锭 10 的平面形状的外接圆 25 的半径的三倍。

[0077] 在此情况中同样,通过在与底部衬底 1 的表面 4 平行的方向 (即图 5 中用直线 8 所示的方向) 上对锭 10 进行切片,能够得到具有诸如图 10 中所示的平面形状的碳化硅衬底 20。在图 10 中所示的碳化硅衬底 20 中同样,将高浓度氮区域 6 布置在端部处,并将低浓度氮区域 7 形成在其他区域中。这种碳化硅衬底 20 具有与图 6 中所示的碳化硅衬底 20 类似的效果。

[0078] 另外,通过研磨等将高浓度氮区域 6 从图 10 中所示的碳化硅衬底 20 除去,能够如图 11 中所示得到具有形成在其整个表面上的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。可以在形成锭 10 的步骤 (具体地,图 1 中所示的后处理步骤 (S30)) 中提前将高浓度氮区域 6 从锭 10 除去。这种碳化硅衬底 20 具有与图 8 中所示的碳化硅衬底 20 类似的效果。

[0079] 或者,能够将由碳化硅单晶制成并具有诸如图 12 中所示的矩形平面形状的衬底用作形成形成锭 10 的底部衬底 1。在此情况中同样,利用图 1 中所示的制造锭 10 的方法能够形成具有诸如图 12 中所示的平面形状的锭 10。沿图 12 中的锭 10 的线 V-V 的横截面形状基本与图 5 中所示的锭 10 类似。优选的是,图 12 中所示的锭 10 的最上表面 9 (参见图 5) 的最大曲率半径等于或大于图 12 中所示的锭 10 的平面形状的外接圆 25 的半径的三倍。

[0080] 然后,通过对图 12 中所示的锭 10 进行切片并利用图 2 中所示的方法对锭 10 进行后处理,能够得到具有诸如图 13 中所示的矩形平面形状的碳化硅衬底 20。在平行于图 12 的图的平面的方向 (沿底部衬底的表面的方向) 上实施切片。在这种碳化硅衬底 20 中同样,将高浓度氮区域 6 形成在端部处,并将低浓度氮区域 7 形成在大的其他区域中。这种碳化硅衬底 20 具有与图 6 中所示的衬底类似的效果。

[0081] 此外,通过从图 13 中所示的碳化硅衬底 20 除去高浓度氮区域 6,如图 14 中所示,能够得到具有形成在其整个表面上的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。在此情况中,通过在形成图 12 中所示的锭 10 的步骤中从锭 10 除去高浓度氮区域 6 且其后对锭 10 进行切片,可以得到图 14 中所示的碳化硅衬底 20。

[0082] 或者,能够将具有六边形平面形状的衬底用作底部衬底 1。当将这种衬底用作底部衬底 1 时,能够得到具有诸如图 15 中所示的六边形平面形状的锭 10。在这种锭 10 中同样,能够将 (0001) 小平面 5 布置在已经生长锭 10 的晶体的最上表面 9 (参见图 5) 的端部处。图 15 中所示的锭 10 沿线 V-V 的横截面图与图 5 中所示的横截面图类似。优选的是,

得到的锭 10 的最上表面 9 的最大曲率半径（图 5 中的最上表面 9 的最大曲率半径）等于或大于图 15 中所示的锭 10 的平面形状的外接圆 25 的半径的三倍。

[0083] 然后,通过利用图 2 中所示的方法对图 15 中所示的锭 10 进行切片并加工,能够得到具有诸如图 16 中所示的六边形平面形状的碳化硅衬底 20。在平行于图 15 中的图的平面的方向（沿底部衬底 1 的表面的方向）上实施切片。在这种碳化硅衬底 20 中同样,将高浓度氮区域 6 布置在端部处,并将低浓度氮区域 7 形成在其他区域中。这种衬底具有与图 6 中所示的衬底类似的效果。

[0084] 此外,通过研磨等从图 16 中所示的碳化硅衬底 20 除去高浓度氮区域 6,如图 17 中所示,能够得到具有形成在其整个表面上的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。在此情况中,通过在形成图 15 中所示的锭 10 的步骤中从锭 10 除去高浓度氮区域 6 且其后对锭 10 进行切片,可以得到图 17 中所示的碳化硅衬底 20。

[0085] 尽管在上述实施方案中已经对本发明的一些特征进行了说明,但现在将对本发明的特征进行说明。

[0086] 如图 1 中所示,根据本发明的制造碳化硅锭 10 的方法包括:准备底部衬底 1 的步骤,所述底部衬底 1 由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于 (0001) 面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向（准备步骤 S10）;和在底部衬底 1 的表面上生长碳化硅层的步骤（成膜步骤 S20）。在所述成膜步骤（S20）中,在上游侧的端部处在已生长的碳化硅层的表面上形成具有 (0001) 小平面 5 的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在底部衬底 1 的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与底部衬底 1 的表面 4 之间相交的角为锐角的一侧。

[0087] 通过以此方式在锭 10 的端部处形成易于引入氮的 (0001) 小平面 5,能够将具有相对高氮浓度的区域（位于 (0001) 小平面下面的高浓度氮区域 6）布置在碳化硅锭 10 的端部处。由此,能够形成具有相对低氮浓度的区域（除了高浓度氮区域之外的低浓度氮区域 7）以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此,当从锭 10 切出碳化硅衬底 20 时,能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。由于能够以此方式在包含衬底中央部的大区域中形成低浓度氮区域 7（即其中引入少量氮的具有稳定浓度的区域）,所以能够以更高的衬底利用效率在碳化硅衬底 20 的表面上有效地形成半导体器件。

[0088] 在上述制造碳化硅锭的方法中,在生长碳化硅层的步骤（成膜步骤（S20））之后的碳化硅层中,位于具有 (0001) 小平面的区域下面的部分是高浓度氮区域 6,所述高浓度氮区域 6 的浓度高于在所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分（低浓度氮区域 7）的氮浓度。

[0089] 在此情况中,高浓度氮区域 6 形成在具有 (0001) 小平面 5 的区域的下面,并将氮浓度低于高浓度氮区域 6 中的低浓度氮区域 7 形成在包含锭中央部的其他部分中。因此,通过对这种碳化硅锭 10 进行切片能够易于得到具有形成在包含表面中央部的大区域中的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0090] 在上述制造碳化硅锭的方法中,高浓度氮区域 6 在偏离角方向（沿图 3 中的箭头 26 的方向）上的宽度等于或小于底部衬底 1 在所述偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。在此情况中,高浓度氮区域 6 的尺寸相对于整个碳化硅锭 10 足够小。由此,在得自碳化硅锭 10 的

碳化硅衬底 20 的表面（主表面）上能够降低由高浓度氮区域 6 占据的面积。因此，能够在碳化硅衬底 20 的表面上形成足够大尺寸的低浓度氮区域 7（具有稳定的氮浓度）。而且，在对碳化硅锭 10 的外周进行研磨和成形的步骤中能够容易地将高浓度氮区域 6 除去，由此抑制对碳化硅锭 10 进行加工所需要的时间的增加。

[0091] 上述制造碳化硅锭的方法还包括除去高浓度氮区域的步骤（图 1 中的后处理步骤（S30））。在此情况中，能够在碳化硅锭 10 的大部分中形成低浓度氮区域 7。结果，能够在从碳化硅锭 10 切出的碳化硅衬底 20 的整个表面上形成低浓度氮区域 7，由此得到具有稳定的氮浓度和高均匀性的碳化硅衬底 20。

[0092] 在上述制造碳化硅锭的方法中，每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过高浓度氮区域 6 的透过率低于每单位厚度的相同光穿过所述碳化硅层（在底部衬底 1 上生长的碳化硅层）中除了所述高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）的透过率。

[0093] 穿过碳化硅锭 10 的上述光透过率倾向于随氮浓度的增大而降低。由此，高浓度氮区域 6 和除了高浓度氮区域之外的区域（低浓度氮区域 7）关于光透过率特性也具有不同值。因此，根据本发明，由于将具有相对低的光透过率的区域（高浓度氮区域 6）布置在碳化硅锭 10 的端部处，所以关于光透过率特性，也能够形成具有相对高的光透过率的区域（低浓度氮区域 7）以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此，当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时，能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对高光透过率的区域的碳化硅衬底 20。

[0094] 在上述制造碳化硅锭 10 的方法中，位于具有（0001）小平面的区域下面的部分（高浓度氮区域 6）的微管密度高于在碳化硅层中除了位于具有（0001）小平面的区域下面的部分之外的部分（低浓度氮区域 7）的微管密度。在此情况中，由于将具有相对高微管密度的高浓度氮区域 6 布置在碳化硅锭 10 的端部处，所以关于微管密度特性，也能够形成具有相对低微管密度的区域（低浓度氮区域 7）以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此，当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时，能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低微管密度的区域（低浓度氮区域 7）的碳化硅衬底 20。

[0095] 在上述制造碳化硅锭 10 的方法中，在生长碳化硅层的步骤（成膜步骤（S20））之后碳化硅层的表面（图 5 中所示的最上表面 9）的最大曲率半径等于或大于底部衬底 1 的平面形状的外接圆 25 的半径的三倍。优选的是，碳化硅层的表面（图 5 中的最上表面 9）的最大曲率半径为在碳化硅层中包含距底部衬底 1 的表面最远的部分的区域（最上表面）的最大曲率半径。

[0096] 在此情况中，形成在底部衬底 1 上的碳化硅层能够具有足够大的体积，由此确保碳化硅锭 10 的足够大的体积。由此，当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时，能够有效地得到具有大面积的碳化硅衬底 20。可在平面形状大于底部衬底 1 的平面形状的条件下（例如以平面形状随距底部衬底 1 的距离增大而变大的方式或在随着距底部衬底 1 的距离增大侧壁向外倾斜的条件下），形成碳化硅层（包含高浓度氮区域 6 和低浓度氮区域 7 的碳化硅外延生长层）。

[0097] 利用上述制造碳化硅锭 10 的方法制造根据本发明的碳化硅锭 10。在此情况中，能够形成具有相对低氮浓度的区域（低浓度氮区域 7）以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大

区域。由此,当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0098] 如图 2 中所示,根据本发明的制造碳化硅衬底 20 的方法包括:使用根据上述制造碳化硅锭 10 的方法准备碳化硅锭的步骤(S40);以及对所述碳化硅锭 10 进行切片的步骤(切片步骤(S50))。

[0099] 在此情况中,在碳化硅锭 10 中,形成具有相对低氮浓度的区域(除了高浓度氮区域之外的低浓度氮区域 7)以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此,当在切片步骤(S50)中从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0100] 在上述制造碳化硅衬底的方法中在准备碳化硅锭的步骤(锭准备步骤(S40))中,在生长碳化硅层的步骤(成膜步骤(S20))之后的碳化硅层中,位于具有(0001)小平面的区域下面的部分可以是高浓度氮区域 6,所述高浓度氮区域 6 的氮浓度高于在所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(低浓度氮区域 7)的氮浓度。上述制造碳化硅衬底的方法,在对碳化硅锭 10 进行切片的切片步骤(S50)之前,可还包括从碳化硅锭 10 除去高浓度氮区域 6 的步骤(例如通过研磨将包括在图 1 中的后处理步骤(S30)中的高浓度氮区域 6 除去的步骤)。

[0101] 从不同的观点来看,如图 2 中所示,根据本发明的制造碳化硅衬底 20 的方法包括使用上述制造碳化硅锭 10 的方法准备碳化硅锭的步骤(锭准备步骤 S40)。在准备碳化硅锭的步骤(锭准备步骤(S40))中,在生长碳化硅层的步骤(成膜步骤(S20))之后的碳化硅层中,位于具有(0001)小平面的区域下面的部分可以是高浓度氮区域 6,所述高浓度氮区域 6 的氮浓度高于在所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(低浓度氮区域 7)的氮浓度。所述方法还包括:从碳化硅锭 10 除去高浓度氮区域 6 的步骤(例如通过研磨将包括在图 1 中的后处理步骤(S30)中的高浓度氮区域 6 除去的步骤);以及在实施除去高浓度氮区域 6 的步骤之后对碳化硅锭 10 进行切片的步骤(切片步骤(S50))。

[0102] 在此情况中,将高浓度氮区域 6 从切出碳化硅衬底 20 的碳化硅锭 10 除去,由此提高碳化硅锭 10 中的氮浓度、透过率等的均匀性。

[0103] 利用上述制造碳化硅衬底的方法制造根据本发明的碳化硅衬底 10。因此,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0104] 根据本发明的制造碳化硅锭的方法包括:准备底部衬底 1 的步骤,所述底部衬底 1 由单晶碳化硅制成并在偏离角方向(图 3 中箭头 26 所示的方向)上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向(准备步骤(S10));和在底部衬底 1 的表面上生长碳化硅层的步骤(成膜步骤(S20))。在所述成膜步骤(S20)中,在上游侧的端部处在已生长的碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面 5 的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在底部衬底 1 的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与底部衬底 1 的表面 4 之间相交的角为锐角的一侧。在成膜步骤(S20)之后的碳化硅层中,每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过位于具有(0001)小平面 5 的区域下面的部分(高浓度氮区域 6)的透过率小于每单位厚度的相同光

穿过在碳化硅层中除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的部分 (低浓度氮区域 7) 的透过率。

[0105] 通过以此方式在碳化硅锭 10 的端部处形成易于引入氮的 (0001) 小平面 5, 将由于在生长碳化硅层期间从 (0001) 小平面 5 向其中引入氮而具有下降的透过率的区域 (高浓度氮区域 6) 布置在碳化硅锭 10 的端部处 ((0001) 小平面 5 下面的部分)。由此, 能够形成包含碳化硅锭 10 的中心部的其他部分 (低浓度氮区域 7) 以作为具有相对高的光透过率的区域。因此, 当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 时, 能够易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对高的光透过率的区域 (低浓度氮区域 7) 的碳化硅衬底 20。由于能够以此方式在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对高的光透过率的区域 (其中引入少量氮的具有稳定的氮浓度和透过率的区域), 所以能够在衬底表面上有效形成半导体器件。

[0106] 根据本发明的碳化硅锭 10 包含: 底部衬底 1, 其由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下、更优选 1° 以上且 10° 以下的偏离角, 所述偏离角方向是相对于 (0001) 面的 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向或 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 方向; 和在所述底部衬底 1 的表面上形成的碳化硅层。在上游侧的端部处在已生长的碳化硅层的表面上形成有具有 (0001) 小平面 5 的区域, 所述上游侧为在偏离角方向上在底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与底部衬底 1 的表面 4 之间相交的角为锐角的一侧。

[0107] 在碳化硅锭 10 的碳化硅层中, 位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分可以是高浓度氮区域 6, 所述高浓度氮区域 6 的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分 (低浓度氮区域 7) 的氮浓度。

[0108] 通过以此方式在锭 10 的端部处形成易于引入氮的 (0001) 小平面 5, 能够将具有相对高氮浓度的区域 (位于 (0001) 小平面 5 下面的高浓度氮区域 6) 布置在碳化硅锭 10 的端部处。由此, 能够形成具有相对低氮浓度的区域 (低浓度氮区域 7) 以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此, 当从锭 10 切出碳化硅衬底 20 时, 易于得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成低浓度氮区域 7 的碳化硅衬底 20。

[0109] 在碳化硅锭 10 中, 高浓度氮区域 6 中的氮浓度可以等于或大于除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的部分 (低浓度氮区域 7) 中的氮浓度的 1.1 倍。

[0110] 在此情况中, 通过氮浓度、光透过率等能够容易地将高浓度氮区域 6 和低浓度氮区域 7 相互区分。因此, 当通过研磨将高浓度氮区域 6 从碳化硅锭 10 除去时, 或当从碳化硅锭 10 切出碳化硅衬底 20 以在碳化硅衬底 20 的表面上形成器件时, 能够容易地在除了高浓度氮区域 6 之外的区域中形成器件 (或能够不在高浓度氮区域 6 与低浓度氮区域 7 之间的边界部分上形成器件)。

[0111] 在碳化硅锭 10 中, 高浓度氮区域 6 在偏离角方向上的宽度可以等于或小于底部衬底 1 在偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。在此情况中, 高浓度氮区域 6 的尺寸小, 由此能够确保除了高浓度氮区域 6 之外的区域 (低浓度氮区域 7) 的尺寸足够大。

[0112] 在碳化硅锭 10 中, 每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过高浓度氮区域 6 的透过率可以低于每单位厚度的相同光穿过碳化硅层中除了高浓度氮区域之外的部分 (低浓度氮区域 7) 的透过率。

[0113] 在此情况中, 通过光透过率能够容易地将高浓度氮区域 6 和低浓度氮区域 7 相互

区分。因此,通过研磨能够容易地将高浓度氮区域 6 从碳化硅锭 10 除去。

[0114] 在碳化硅锭 10 中,穿过高浓度氮区域 6 的透过率可以比穿过碳化硅层中除了高浓度氮区域之外的低浓度氮区域 7 的透过率低 5% 以上。在此情况中,通过透过率差能够容易地将高浓度氮区域 6 和低浓度氮区域 7 相互区分。

[0115] 在碳化硅锭 10 中,位于具有 (0001) 小平面的区域下面的部分 (高浓度氮区域 6) 的微管密度可以高于在碳化硅层中除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的部分 (低浓度氮区域 7) 的微管密度。在此情况中,形成除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的部分 (具有相对低微管密度的低浓度氮区域 7) 以作为包含碳化硅锭 10 的中心部的大区域。由此,当从锭 10 切出碳化硅衬底 20 时,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低微管密度的区域的碳化硅衬底 20。

[0116] 在碳化硅锭 10 中,位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分 (高浓度氮区域 6) 的微管密度可以等于或大于碳化硅层中除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的部分 (低浓度氮区域 7) 的微管密度的 1.2 倍。

[0117] 在此情况中,除了位于具有 (0001) 小平面 5 的区域下面的部分之外的低浓度氮区域 7 因此具有相对低的微管密度。由此,能够得到在包含中心部的大区域中具有下降的微管密度的碳化硅锭 10。

[0118] 在碳化硅锭 10 中,碳化硅层的表面 (图 5 中所示的最上表面 9) 的最大曲率半径可以等于或大于底部衬底 1 的平面形状的外接圆 25 的半径的三倍。在此情况中,形成在底部衬底 1 上的碳化硅层具有足够大的体积,由此确保碳化硅锭 10 的体积足够大。

[0119] 通过对碳化硅锭 10 进行切片得到根据本发明的碳化硅衬底 20。因此,能够容易地得到其中在包含衬底中央部的大区域中形成具有相对低氮浓度的低浓度氮区域 7 (或具有高光透过率的区域) 的碳化硅衬底 20。

[0120] 在将高浓度氮区域 6 从碳化硅锭 10 除去之后,可通过对碳化硅锭 10 进行切片而得到根据本发明的碳化硅衬底 20。因此,由于提前将高浓度氮区域 6 (具有低光透过率的区域) 除去,所以使用碳化硅锭 10 形成碳化硅衬底 20,在所述碳化硅锭 10 中在其大区域中形成氮浓度低于高浓度氮区域 6 的低浓度氮区域 7 (光透过率比高浓度氮区域中更高的区域) (或在所述碳化硅锭 10 中仅形成低浓度氮区域 7)。因此,能够得到氮浓度和光透过率的变化更小的碳化硅衬底 20。

[0121] 在碳化硅衬底 20 中,氮浓度可以相对于平均值变化 10% 以下。在此情况中,氮浓度的变化足够小,从而不会不利地影响碳化硅衬底 20 的特性,由此确保具有均匀特性的碳化硅衬底 20。

[0122] 在碳化硅衬底 20 中,位错密度可以相对于平均值变化 80% 以下。此外,低浓度氮区域 7 中的位错密度可以相对于平均值变化 80% 以下。在这种位错密度的变化下,能够抑制碳化硅衬底 20 的主表面中的特性变化,从而不存在实用上的问题。

[0123] 在根据本发明的碳化硅衬底 20 中,在 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向上的一个端部处形成有氮浓度相对高于其他部分的高浓度氮区域 6。高浓度氮区域 6 可以形成在上游侧的端部处,所述上游侧为在所述 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向 (偏离角方向) 上碳化硅衬底 20 的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与碳化硅衬底 20 的表面之间相交的角为锐角的一侧。因此,当生长用于形成碳化硅衬底 20 的碳化硅锭 10 时,通过控制 (0001) 小平面的布置能够易于将高浓

度氮区域 6 布置在碳化硅衬底 20 的端部处。

[0124] 碳化硅衬底 20 可以具有 4 英寸以上的尺寸（例如在进行二维观察时的最大宽度）。当应用于具有 4 英寸以上尺寸的碳化硅衬底 20 时，在器件的制造效率方面本发明能够具有特别显著的效果。

[0125] 在碳化硅衬底 20 中，高浓度氮区域 6 中的氮浓度可以等于或大于其他部分中的氮浓度的 1.1 倍。在此情况中，通过光透过率等能够容易地将高浓度氮区域 6 和除了高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）相互区分。

[0126] 在碳化硅衬底 20 中，高浓度氮区域 6 在 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向上的宽度可以等于或小于碳化硅衬底 20 在相同方向上的宽度的 1/10。在此情况中，高浓度氮区域 6 的尺寸小，由此确保除了高浓度氮区域 6 之外的区域（低浓度氮区域 7）的尺寸足够大。

[0127] 在碳化硅衬底 20 中，每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过高浓度氮区域 6 的透过率可以低于每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过除了高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）的透过率。此外，穿过高浓度氮区域 6 的透过率可以比穿过除了高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）的透过率低 5% 以上。

[0128] 在此情况中，通过透过率能够容易地将高浓度氮区域 6 和低浓度氮区域 7 相互区分。因此，当在碳化硅衬底 20 的表面上形成器件时，所述器件能够容易地形成在除了高浓度氮区域 6 之外的区域中（或能够不形成在高浓度氮区域 6 与其他区域之间的边界部分上）。

[0129] 在碳化硅衬底 20 中，高浓度氮区域 6 的微管密度可以高于除了高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）的微管密度。此外，在碳化硅衬底 20 中，高浓度氮区域 6 的微管密度可以等于或大于除了高浓度氮区域之外的部分（低浓度氮区域 7）的微管密度的 1.2 倍。

[0130] 在此情况中，在占据碳化硅衬底的大部分的低浓度氮区域 7 中微管密度下降。由此，当在碳化硅衬底 20 的表面上形成碳化硅外延层时，在碳化硅外延层中能够抑制由碳化硅衬底 20 中的微管造成的缺陷的发生。

[0131] 在碳化硅衬底中，氮浓度可以相对于平均值变化 10% 以下。在此情况中，氮浓度的变化足够小，从而不会不利地影响碳化硅衬底的特性，由此确保具有均匀特性的碳化硅衬底。

[0132] 在碳化硅衬底中，位错密度可以相对于平均值变化 80% 以下。此外，低浓度氮区域中的位错密度可以相对于平均值变化 80% 以下。在这种位错密度的变化下，能够抑制碳化硅衬底的主表面中的特性变化，从而不存在实用上的问题。

[0133] 如上所述，根据本发明的制造碳化硅锭的方法，能够将小平面布置在碳化硅锭 10 的端部处。在此情况中，通过仅对锭 10 的端部进行研磨并然后对锭 10 进行切片，能够得到在整个表面上不具有小平面的衬底 20。小平面与除了小平面之外的区域在氮的掺杂量和主位错方面相互不同。尽管所述差别不会对尺寸小于 4 英寸的衬底 20 造成大的影响，但是会明显影响具有 4 英寸以上尺寸的衬底，从而使得本发明的效果特别显著。

[0134] 当对衬底 20 进行抛光步骤时，碳化硅衬底中的氮掺杂量对 CMP 的抛光速率有影响。由此优选的是，衬底 20 中的氮掺杂量均匀。当衬底具有 4 英寸以上的尺寸时，衬底 20

的翘曲和 TTV 也随衬底尺寸的增大而增大。氮掺杂量的影响也变得显著。即,当衬底中的氮掺杂量的面内变化变小时,由诸如氮的杂质造成的内部应力分布的变化变小,从而改善翘曲和 TTV。

[0135] 此外,形成器件的步骤(例如热处理步骤)也受到氮的掺杂量等的影响。即,氮的掺杂量不同改变了衬底的光吸收率,从而在对衬底进行加热时造成局部温差。因为热传导的效果,这种温差不会明显影响具有小尺寸的衬底 20。然而,当衬底具有 4 英寸以上的大直径时,热传导的影响随温度升高而变小,由此在衬底 20 中易于产生温度分布。因此,温度条件在衬底的面内发生变化,从而导致不能在衬底表面上形成均匀的膜。在得自根据本发明的锭 10 的衬底中能够抑制这种问题的发生,因为氮的掺杂量高度均匀。

[0136] 能够利用 SIMS 测量氮掺杂量(氮浓度)。在根据本发明的由碳化硅制成的锭 10 中,例如,在氮掺杂量高的部分中的氮浓度等于或大于其他区域中的氮浓度的 1.5 倍。

[0137] 如果从根据本发明的锭 10 切出的衬底 20 具有 400 μm 的厚度,则优选的是,具有 400nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过衬底 20 的透过率满足如下条件。即,当利用可见光光谱仪在衬底 20 的多个部分(例如包含中央部的 10 个部分)处测量光透过率时,优选的是,平均光透过率为 20% 以上且 65% 以下。还优选的是,在衬底主表面的大部分(面积比等于或大于 70% 的区域)中,局部透过率在平均透过率的 $\pm 20\%$ 以内。还优选的是,衬底 20 的折射率为 2.5 以上且 2.8 以下。

[0138] 通过利用熔融盐 KOH 作为腐蚀溶液进行腐蚀而对衬底表面进行处理以使得位错可视化,对衬底的位错密度进行测量。具体地,将熔融盐 KOH 加热至 500 $^{\circ}\text{C}$,并将衬底 20 在熔融盐 KOH 的溶液中浸渍约 1 ~ 10 分钟。结果,在衬底 20 的表面中形成与位错相对应的蚀坑。然后,利用 Nomarski 差分干涉显微镜对蚀坑的数目进行计数并将其除以测量范围的面积,以计算每单位面积的蚀坑数目(即每单位面积的位错数目)。

[0139] 如果在作为底部衬底 1 的位错密度的微管密度(MPD)为 10 ~ 100 cm^{-2} 且蚀坑密度(EPD)为 1 ~ 5E4 cm^{-2} 的条件下,对通过在距底部衬底 1 为 20mm 距离的位置中对根据本发明的锭 10 进行切片而得到的衬底 20 测量位错数目,则相对于底部衬底 1,微管密度和蚀坑密度下降至约 1/2 ~ 约 1/20。

实施例

[0140] 为了确认本发明的效果,按如下制造锭和衬底并对其特性进行测量。

[0141] (试样)

[0142] 在本发明的实施例和比较例中按如下制备碳化硅锭和通过对所述碳化硅锭进行切片而得到的碳化硅衬底的试样。

[0143] <对本发明的实施例和比较例中的底部衬底进行取样>

[0144] 为了制造碳化硅锭,准备具有如下条件的碳化硅单晶衬底以作为底部衬底。具体地,为了制造根据本发明的锭,准备六个 4H-SiC 单晶衬底(三个用于实施例且三个用于比较例)以作为底部衬底 1。底部衬底 1 具有 50 ~ 180mm 的直径和 100 ~ 2000 μm 的厚度。底部衬底 1 具有 800 μm 的厚度。底部衬底 1 的主表面在相对于 (0001) 面的 <11-20> 方向上具有 4 $^{\circ}$ 的偏离角。至少对各底部衬底 1 的在其上生长晶体的表面进行镜面抛光。作为位错密度,底部衬底 1 具有 10 ~ 100 cm^{-2} 的微管密度(MPD)和 1 ~ 5E4 cm^{-2} 的蚀坑密度(EPD)。

按如下测量这些位错密度。即,在将各底部衬底 1 在通过加热至 500℃而熔融的 KOH 中浸渍 1 ~ 10 分钟之后,通过利用 Nomarski 差分干涉显微镜对底部衬底的表面进行观察,对蚀坑的数目进行计数。然后,根据观察的区域的面积和计数的数目计算每单位面积的蚀坑的数目。

[0145] (实验方法)

[0146] 制造锭:

[0147] < 实施例的锭 >

[0148] 通过在实施例中的各底部衬底的表面上形成碳化硅外延层制造了实施例的碳化硅锭。具体地,将底部衬底 1 和作为底部衬底 1 的原料的粉末形式的 SiC 引入由石墨制成的坩埚中。将原料与底部衬底之间的距离设定在 10mm ~ 100mm 的范围内。将普通的生长方法如升华法或改进的 Rayleigh 法用于制造。具体地,将这种坩埚布置在加热坩埚中并升高温度。在温度升高期间,将气氛的压力设定在 50kPa 到大气压的范围内。在晶体生长期间,将坩埚下部的温度设定在 2200℃以上 ~ 2500℃以下的范围内,并将坩埚上部的温度设定在 2000℃以上 ~ 2350℃以下的范围内。将坩埚下部的温度设定得高于坩埚上部的温度。在升高晶体生长时的温度之后,将气氛压力控制在 0.1 ~ 20kPa 的范围内。将 He、Ar、N₂ 中的任一种或包含 He、Ar、N₂ 中的两种以上的混合气体用作气氛气体。在此情况中将 Ar+N₂ 的气体用作气氛气体。在冷却期间,将气氛压力升至 50kPa 到大气压的范围内,然后降低加热坩埚的温度。

[0149] 在晶体生长期间,以在底部衬底 1 的表面上生长的锭 10 的最上生长表面(图 7 中的锭 10 的与放置底部衬底 1 的表面相反的表面,或锭 10 的面对图 7 中的箭头 13 所示的方向的表面,其中在所述方向上供应原料气体)如图 7 中所示始终平坦的方式生长锭 10。具体地,如同参考图 7 所述的,当将图 7 中的锭 10 的中央部 14 的温度表示为 Ta,将端部 15 的温度表示为 Tb,并将最外周部 16 的温度表示为 Tc 时,以这些温度之间的关系满足关系式 $T_c > T_b \geq T_a$ 的方式生长晶体,且温度 Tb 与温度 Ta 之间的温度梯度((温度 Ta 与温度 Tb 之差的绝对值)/(中央部 14 与端部 15 之间的距离))为 10℃/cm 以下。具体地,使得位于坩埚上表面侧的毡中的散热孔的直径大于锭 10 的直径。将由以此方式在底部衬底上生长的碳化硅制成的锭移出。

[0150] < 比较例的锭 >

[0151] 通过在比较例中的各底部衬底的表面上形成碳化硅外延层制造比较例的碳化硅锭。除了将毡直接布置在坩埚的上表面上并且在毡的中心部中形成的散热孔具有 20mm 的直径之外,基本以与上述制造实施例的锭的方式类似的方式制造了比较例的锭。因此,散热效果仅在散热孔附近更大,从而导致在形成的锭的中央部 14 与端部 15 之间的温度梯度为 10℃/cm 以上。将比较例的由以此方式生长的碳化硅制成的锭移出。

[0152] 测量锭的最上表面的平坦性:

[0153] 对于实施例和比较例的锭测量表面的平坦性。通过在除了相对于外周侧的锭的直径在 10% 范围以内的区域之外的(中央部的)区域中测量锭的高度(从底部衬底的表面到锭的表面的距离)确定各个锭的平坦性。尽管优选在锭的全部表面上具有高度分布,但仅需要在十字方向上从锭的中心起以 1mm ~ 5mm 的间距测量锭的高度。

[0154] 在十字方向上按如下测量平坦性。即,从锭 10 的表面的中心起以 5mm 间距在十字

方向上（优选以 5mm 间距的矩阵）布置的多个位置处测量锭 10 的表面的高度。然后，计算相邻测量点之间的高度差。此外，根据由该高度差和测量点之间的距离确定的正切（tan），确定与相邻测量点之间的锭的表面的倾斜相对应的角度（倾斜角）。

[0155] 测量衬底：

[0156] 在按上述测量表面形状之后，将实施例和比较例的锭形成为圆柱状。然后，利用线锯在沿底部衬底的表面的方向上对各个锭进行切片，从而制造碳化硅衬底。所述衬底具有 $400\text{ }\mu\text{m} \sim 500\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度。在切片之后，对碳化硅衬底的两个表面都进行镜面抛光加工。因此，碳化硅衬底具有 $350\text{ }\mu\text{m} \sim 420\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度。

[0157] 测量氮的浓度：

[0158] 关于由此制备的衬底，对位于锭的（0001）小平面下面并具有相对高氮浓度的区域（高浓度氮区域）和其他区域中的氮浓度进行测量。利用 SIMS（二次离子质谱法）进行测量。将测量的厚度设定为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以抑制测量偏差。

[0159] 测量透过率：

[0160] 关于由此制备的衬底，对穿过高浓度氮区域和穿过其他区域的透过率进行测量。利用可见光光谱仪测量具有 $400\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 范围内的波长的光穿过各个区域的透过率。

[0161] 测量位错密度：

[0162] 关于由此制备的衬底，对表面的位错密度进行测量。具体地，按如下进行测量。首先，将碳化硅衬底在加热至 500°C 的熔融盐 KOH 溶液中浸渍约 1 ~ 10 分钟。然后，利用 Nomarski 差分干涉显微镜对碳化硅衬底的表面进行观察，对形成的蚀坑的数目进行计数。优选通过拍摄整个表面的绘图（mapping）照片，对蚀坑的总数目进行计数并计算每单位面积的平均密度来进行计数。例如，当使用具有 2 英寸直径的碳化硅衬底时，例如，通过在包括衬底中央部和在十字方向上距中央部约 18mm 距离的位置的总共五个点处对每单位面积的蚀坑数目进行计数并取其平均值，可以采用五个以上测量点的平均蚀坑密度作为蚀坑密度。各个被评价的碳化硅衬底为距制备的锭的底部衬底的最上表面 20mm 距离的位置中的衬底，并将其与底部衬底数据进行比较。

[0163] （结果）

[0164] 关于锭：

[0165] 在实施例的锭中，将（0001）小平面布置在底部衬底的偏离角方向上的端部（上游侧的端部）的最上表面上。当进行二维观察时（0001）小平面在偏离角方向上的宽度，当锭的直径为 163mm 时为 12.5mm，当锭的直径为 115mm 时为 11mm，且当锭的直径为 63mm 时为 5.5mm。锭的高度的平均值，当锭的直径为 163mm 时为 13mm，当锭的直径为 115mm 时为 8mm，且当锭的直径为 63mm 时为 4mm。表示表面平坦性的倾斜角在各种情况中平均等于或小于 10° ，指示足够程度的平坦性。

[0166] 另一方面，在比较例的锭中，在锭的最上表面的中央部中产生（0001）小平面。（0001）小平面在偏离角方向上的宽度在锭直径的 12% ~ 45% 的范围内。指示表面平坦性的倾斜角平均超过 10° 。

[0167] 关于衬底：

[0168] 在从实施例的锭切出的衬底中，在位于（0001）小平面下面的区域（位于衬底端部处的区域）中形成了具有相对高氮浓度的高浓度氮区域。高浓度氮区域的位置基本与小平

面的位置相同。尽管在锭的高度方向上存在分布,但是高浓度氮区域的宽度相对于锭直径在 3 ~ 9.5% 的范围内。

[0169] 在从比较例的锭切出的衬底中,同样地,在位于(0001)小平面下面的区域(位于衬底中央部中的区域)中形成了高浓度氮区域。比较例中的高浓度氮区域的位置也基本与小平面的位置相同。高浓度氮区域的尺寸在锭的高度方向上存在分布,且高浓度氮区域的宽度相对于锭直径在 5 ~ 45% 的范围内。比较例中高浓度区域的宽度(尺寸)也等于或小于锭直径的 10%,但仅在距底部衬底的表面位置为 5mm 以下的区域中。这是因为,在该区域中由于生长的碳化硅的总量仍然小,所以相对保持生长的碳化硅的表面的平坦性,且这是与其中在晶体生长期间始终保持平坦性的实施例不同的结果。

[0170] 关于氮浓度:

[0171] 在实施例的衬底中,高浓度氮区域的氮浓度为 $1.2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$,其他区域的氮浓度为 $8 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。在除了高浓度氮区域之外的区域中的任意五个点中的氮浓度相对于这五个点的平均浓度在 20% 的范围以内。

[0172] 在比较例的衬底中,高浓度氮区域的氮浓度为 $1.2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$,其他区域的氮浓度为 $8 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

[0173] 关于透过率:

[0174] 在实施例和比较例的衬底中,具有 400nm ~ 500nm 波长的光穿过高浓度氮区域的透过率为 10 ~ 20%。穿过衬底中的其他区域的透过率为 25 ~ 35%。在与本实验中不同的从轻微掺杂有氮的锭切出的碳化硅衬底中,穿过高浓度氮区域的透过率为 35 ~ 45%,且穿过其他区域的透过率为 45 ~ 65%。根据透过率的波长特性进行计算而得到的各个碳化硅衬底的折射率在两个实例中都为 2.5 ~ 2.8。

[0175] 关于位错密度:

[0176] 对通过在距底部衬底为 20mm 距离的位置中对锭进行切片而得到的衬底进行测量。当作为位错密度,底部衬底具有 $10 \sim 100 \text{cm}^{-2}$ 的微管密度(MPD)和 $1 \sim 5 \times 10^4 \text{cm}^{-2}$ 的蚀坑密度(EPD)时,在实施例的衬底中,相对于在除了高浓度氮区域之外的区域中的底部衬底,MPD 和 EPD 两者都可以下降至 $1/2 \sim 1/20$ 。

[0177] 另一方面,在比较例的衬底中,MPD 和 EPD 在 $1/2 \sim 2.5$ 的范围内下降或增大。

[0178] 应理解,本文中公开的实施方案和实施例在任何方面都是示例性和非限制性的。本发明的范围由权利要求书的权项确定,而不是由上述说明限定,且旨在包括在与权利要求书的权项等价的范围和含义内的所有变体。

[0179] 工业实用性

[0180] 将本发明特别有利地应用于制造碳化硅锭和碳化硅衬底的方法。

[0181] 附图标记

[0182] 1:底部衬底;2:支持构件;3:温度调节构件;4:表面;5:小平面;6:高浓度氮区域;7:低浓度氮区域;8:直线;9:最上表面;10:锭;11:坍塌;12:盘管;13:箭头;14:中央部;15:端部;16:最外周部;17:小平面侧的上端部;18:小平面侧的最外周部;20:碳化硅衬底;21:凹部;25:外接圆;26:箭头。

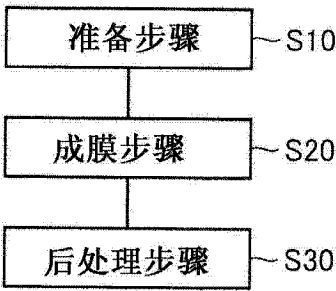


图 1

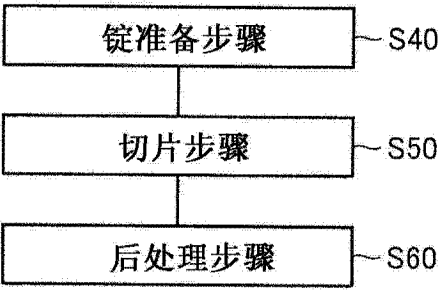


图 2

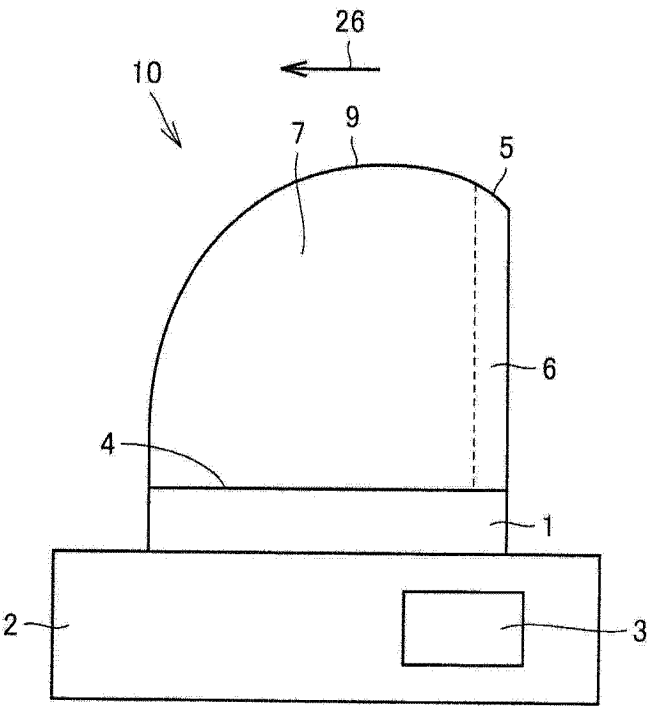


图 3

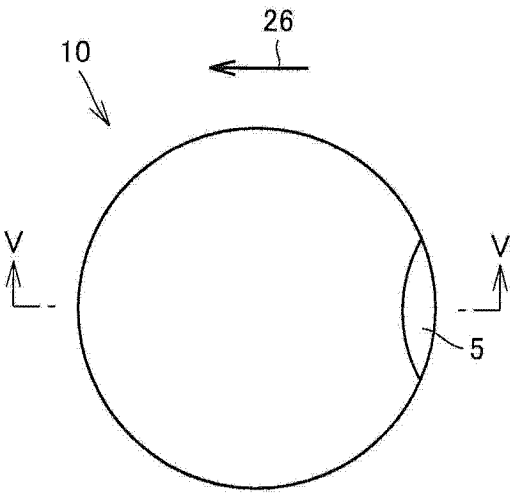


图 4

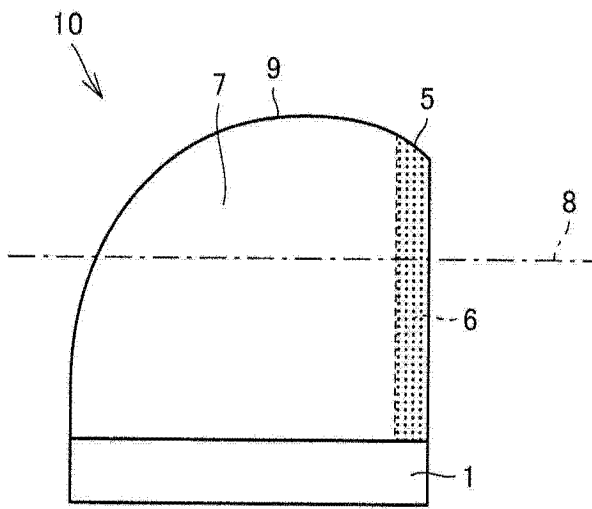


图 5

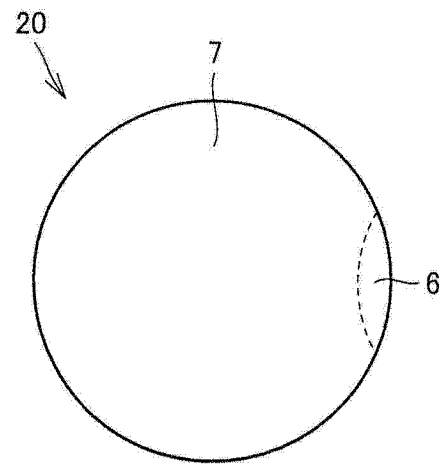


图 6

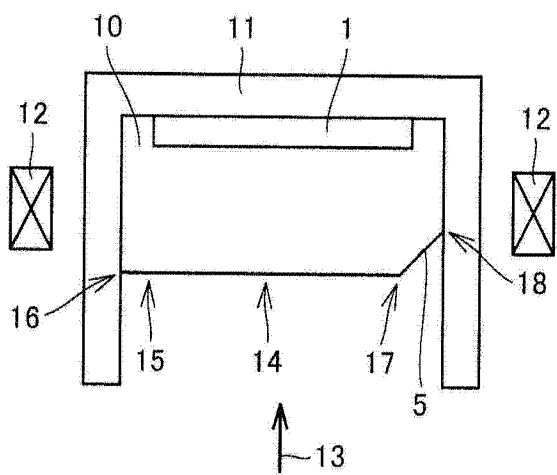


图 7

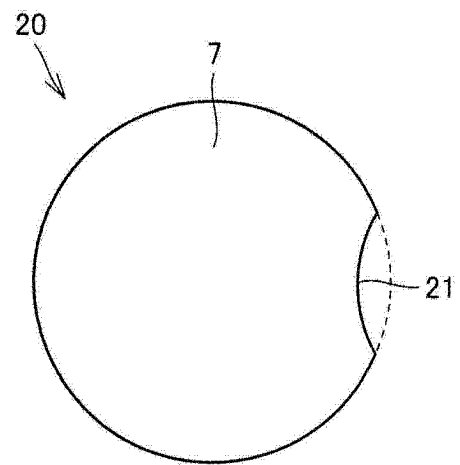


图 8

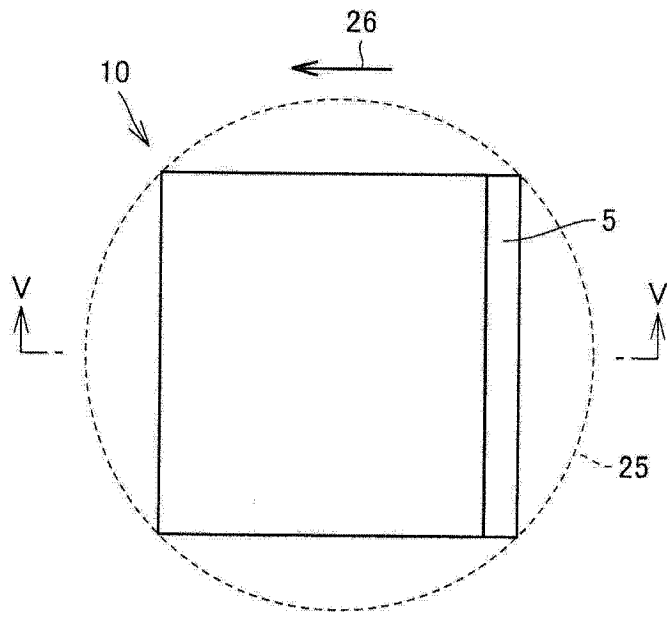


图 9

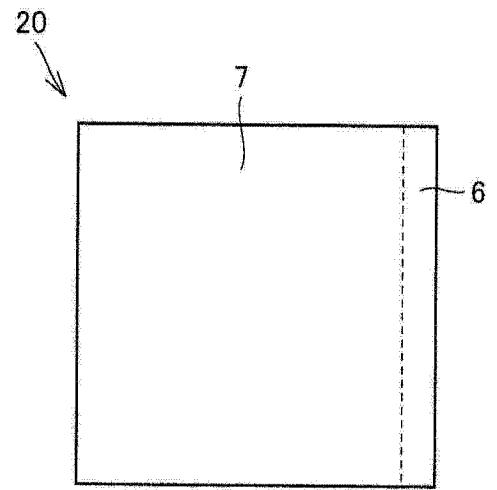


图 10

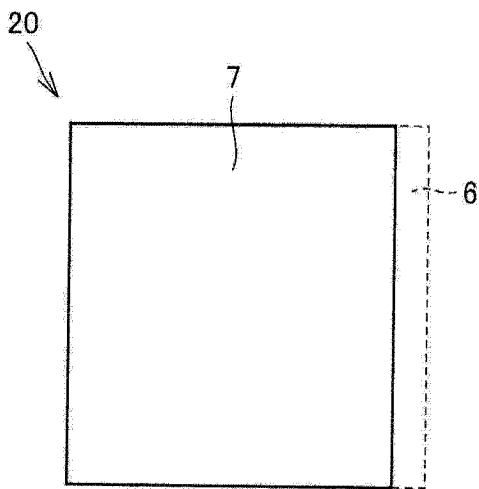


图 11

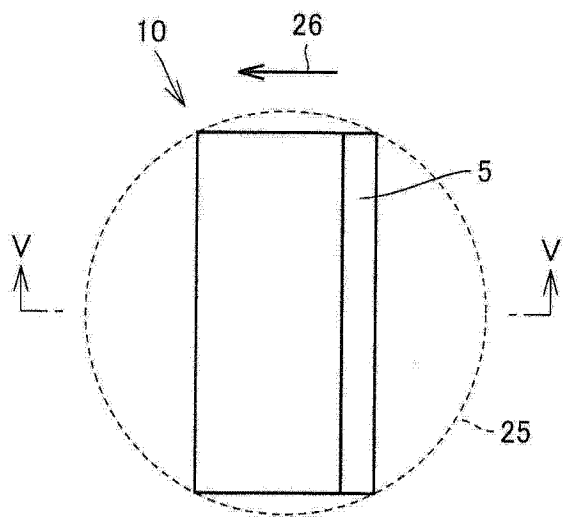


图 12

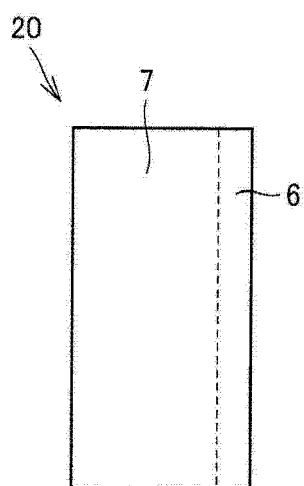


图 13

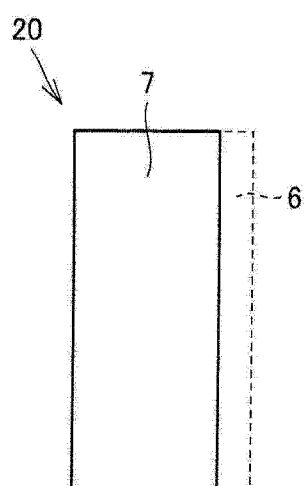


图 14

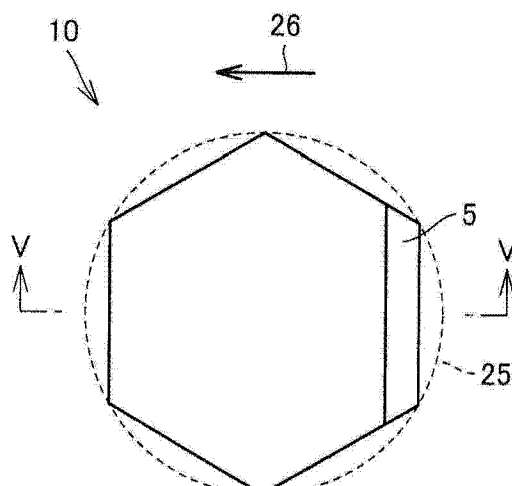


图 15

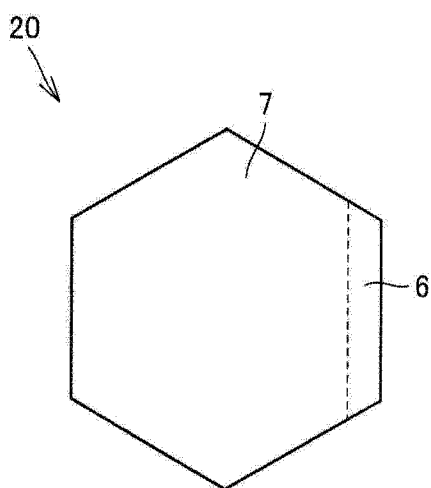


图 16

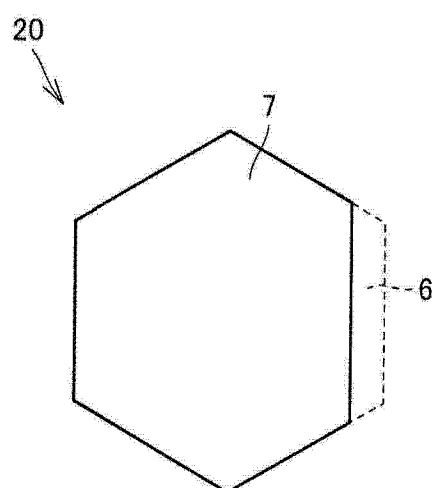


图 17

1. 一种制造碳化硅锭的方法,包括:

准备底部衬底(1)的步骤(S10),所述底部衬底(1)由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于(0001)面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;以及

在所述底部衬底(1)的表面上生长碳化硅层的步骤(S20),其中

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)中,在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成具有(0001)小平面的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底的所述表面之间相交的角为锐角的一侧,以及

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)中,当将已生长的所述碳化硅层的表面的中央部的温度设为 T_a ,将表面的最外周部的温度设为 T_c ,并将距所述最外周部的距离在所述碳化硅层的直径的10%之内的表面的端部区域的温度设为 T_b 时,满足条件: $T_c > T_b \geq T_a$,并且以(温度 T_a 和温度 T_b 之差的绝对值)/(所述中央部和所述端部区域之间的距离)定义的温度梯度为 $10^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以下。

2. 如权利要求1所述的制造碳化硅锭的方法,其中

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后的所述碳化硅层中,位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分是高浓度氮区域(6),所述高浓度氮区域(6)的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(7)的氮浓度。

3. 如权利要求2所述的制造碳化硅锭的方法,其中

所述高浓度氮区域(6)在所述偏离角方向上的宽度等于或小于所述底部衬底(1)在所述偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。

4. 如权利要求2或3所述的制造碳化硅锭的方法,还包括除去所述高浓度氮区域(6)的步骤(S30)。

5. 如权利要求2~4中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过所述高浓度氮区域(6)的透过率低于每单位厚度的所述光穿过所述碳化硅层中除了所述高浓度氮区域之外的部分(7)的透过率。

6. 如权利要求1~5中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分(6)的微管密度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的所述部分之外的部分(7)的微管密度。

7. 如权利要求1~6中任一项所述的制造碳化硅锭的方法,其中

在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后所述碳化硅层的表面的最大曲率半径等于或大于所述底部衬底(1)的平面形状的外接圆半径的三倍。

8. 一种制造碳化硅衬底的方法,包括:

使用权利要求1的制造碳化硅锭的方法准备碳化硅锭(10)的步骤(S40),其中

在所述准备碳化硅锭(10)的步骤(S40)中,在所述生长碳化硅层的步骤(S20)之后的所述碳化硅层中,位于具有所述(0001)小平面的所述区域下面的部分是高浓度氮区域(6),所述高浓度氮区域(6)的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述(0001)小平

面的所述区域下面的所述部分之外的部分 (7) 的氮浓度,所述方法还包括:

从所述碳化硅锭 (10) 除去所述高浓度氮区域 (6) 的步骤;以及

在实施所述除去所述高浓度氮区域 (6) 的步骤之后对所述碳化硅锭 (10) 进行切片的步骤 (S50)。

9. 一种碳化硅锭,包含:

底部衬底 (1),其由单晶碳化硅制成并在偏离角方向上具有 0.1° 以上且 10° 以下的偏离角,所述偏离角方向是相对于 (0001) 面的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向;和

在所述底部衬底 (1) 的表面 (4) 上形成的碳化硅层,

在上游侧的端部处在已生长的所述碳化硅层的表面上形成有具有 (0001) 小平面 (5) 的区域,所述上游侧为在所述偏离角方向上在所述底部衬底的 $\langle 0001 \rangle$ 方向轴与所述底部衬底 (1) 的所述表面 (4) 之间相交的角为锐角的一侧。

10. 如权利要求 9 所述的碳化硅锭,其中

在所述碳化硅层中,位于具有所述 (0001) 小平面 (5) 的所述区域下面的部分是高浓度氮区域 (6),所述高浓度氮区域 (6) 的氮浓度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面 (5) 的所述区域下面的所述部分之外的部分 (7) 的氮浓度。

11. 如权利要求 10 所述的碳化硅锭,其中

所述高浓度氮区域 (6) 在所述偏离角方向上的宽度等于或小于所述底部衬底 (1) 在所述偏离角方向上的宽度的 $1/10$ 。

12. 如权利要求 10 或 11 所述的碳化硅锭,其中

每单位厚度的具有 450nm 以上且 500nm 以下的波长的光穿过所述高浓度氮区域 (6) 的透过率低于每单位厚度的所述光穿过所述碳化硅层中除了所述高浓度氮区域之外的部分 (7) 的透过率。

13. 如权利要求 9 ~ 12 中任一项所述的碳化硅锭,其中

位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的部分 (6) 的微管密度高于所述碳化硅层中除了位于具有所述 (0001) 小平面的所述区域下面的所述部分 (6) 之外的部分 (7) 的微管密度。

14. 如权利要求 9 ~ 13 中任一项所述的碳化硅锭,其中

所述碳化硅层的表面的最大曲率半径等于或大于所述底部衬底 (1) 的平面形状的外接圆半径的三倍。

15. 一种碳化硅衬底,其通过对权利要求 9 的碳化硅锭 (10) 进行切片而得到。

16. 一种碳化硅衬底,其通过在从权利要求 10 的碳化硅锭 (10) 除去所述高浓度氮区域 (6) 之后对所述碳化硅锭 (10) 进行切片而得到。

17. 如权利要求 16 所述的碳化硅衬底,其中

氮浓度相对于平均值变化 10% 以下。

18. 如权利要求 16 所述的碳化硅衬底,其中

位错密度相对于平均值变化 80% 以下。

19. 一种碳化硅衬底,包含在 $\langle 11-20 \rangle$ 方向或 $\langle 1-100 \rangle$ 方向上的一个端部处形成的高浓度氮区域 (6),所述高浓度氮区域 (6) 的氮浓度相对高于其他部分的氮浓度。