

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02105907.1

C30B 29/38 (2006.01)
C30B 31/00 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
H01L 21/22 (2006.01)
H01L 33/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 8 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1269999C

[22] 申请日 2002.4.9 [21] 申请号 02105907.1

[30] 优先权

[32] 2001. 4. 12 [33] JP [31] 113872/01

[71] 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 元木健作 上野昌纪

审查员 刘晓静

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 范明娥 张平元

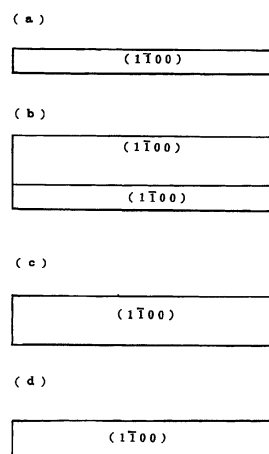
权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 4 页

[54] 发明名称

往氮化镓结晶掺杂氧的方法和掺杂氧的 n 型氮化镓单晶基板

[57] 摘要

本发明提供一种可以收取氧作为 n 型掺杂剂的氮化镓单晶的成长方法。该法采用在表面(上面)具有 C 面以外的面的种晶,在供给含镓原料、氮原料和掺杂必要的含氧的原料气的同时,保持 C 面以外的表面,使氮化镓结晶进行气相成长,通过该表面,在氮化镓结晶中掺杂氧。或者,使用表面上具有 C 面的种晶,在供给镓原料、氮原料和掺杂必需的含氧原料气的同时,使产生 C 面以外的小平面,在保住该小平面的同时使氮化镓结晶以 c 轴方向进行气相成长,通过小平面,在氮化镓结晶中掺杂氧。



1. 一种往氮化镓结晶掺杂氧的方法，其特征是，在种晶或基板上，在供给：镓原料、氮原料和必须掺杂的含氧的原料气的同时保住{0001}面以外的表面，使氮化镓结晶通过 MOCVD 法、MOC 法、HVPE 法或升华法进行气相成长，通过该{0001}面以外的面，往结晶中进行氧的掺杂。

2. 权利要求 1 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，在保住{kk-2kh}面的同时，使氮化镓结晶成长，通过{kk-2kh}面，往结晶中进行氧的掺杂，其中 k, h 为整数。

3. 权利要求 1 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，在保住{k-k0h}面的同时，使氮化镓结晶成长，通过{k-k0h}面，往结晶中进行氧的掺杂，其中 k, h 为整数。

4. 权利要求 2 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，在保住{11-20}面的同时，使氮化镓结晶成长，通过{11-20}面，往结晶中进行氧的掺杂。

5. 权利要求 3 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，在保住{1-100}面的同时，使氮化镓结晶成长，通过{1-100}面，往结晶中进行氧的掺杂。

6. 一种往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，以 c 轴方向使氮化镓进行结晶成长时，在种晶或基板上，在供给镓原料、氮原料和必要掺杂的含氧的原料气的同时，使产生{0001}面以外的小平面，在保住小平面的同时使氮化镓结晶以 c 轴方向通过 MOCVD 法、MOC 法、HVPE 法或升华法进行气相成长，通过该小平面，往结晶中进行氧的掺杂。

7. 权利要求 6 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，使发生以{kk-2kh}表示的小平面，在保住{kk-2kh}小平面的同时，使氮化镓结晶以 c 轴方向气相成长，通过{kk-2kh}小平面，往结晶中掺杂氧，其中 k, h 为整数。

8. 权利要求 7 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，通过使具有由{11-22}面构成的小平面的结晶成长，从该小平面进行氧的掺杂。

9. 权利要求 6 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，使发生以{k-k0h}表示的小平面，在保住{k-k0h}小平面的同时，使氮化镓结晶以

c 轴方向气相成长，通过 $\{k-k0h\}$ 小平面，往结晶中进行氧的掺杂，其中 k, h 为整数。

10. 权利要求 9 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，通过使具有由 $\{1-101\}$ 面构成的小平面的结晶成长，从该小平面对氧的掺杂。

5 11. 权利要求 6 所述的往氮化镓结晶中掺杂氧的方法，其特征是，使发生以 $\{kk-2kh\}$ 和 $\{k-k0h\}$ 表示的面方位不同的 2 种或 2 种以上的小平面，在保住 $\{kk-2kh\}$ 和 $\{k-k0h\}$ 小平面的同时，使氮化镓结晶以 c 轴方向气相成长，通过 $\{kk-2kh\}$ 和 $\{k-k0h\}$ 小平面，往结晶中进行氧的掺杂，其中 k, h 为整数。

10 12. 一种氮化镓单晶基板，其中，往具有(0001)面以外的面的氮化镓单晶基板上，供给镓原料、氮原料、含氧或含氧化合物的原料气的同时，保住(0001)面以外的表面，使氮化镓结晶以非 c 轴方向通过 MOCVD 法、MOC 法、HVPE 法或升华法进行气相成长，通过该(0001)面以外的非(0001)面，往结晶中进行氧的掺杂，除去或不除去非(0001)面氮化镓基板，得到独立的含有作为 n 型杂质的氧的非(0001)面 n 型氮化镓单晶基板，该基板用于在其上制造半导体器件。

15 13. 权利要求 12 所述的氮化镓单晶基板，其特征是，在具有 $\{kk-2kh\}$ 面的氮化镓单晶基板上，在保住 $\{kk-2kh\}$ 面的同时，使氮化镓结晶成长，通过 $\{kk-2kh\}$ 面，往结晶中进行氧的掺杂，由此得到具有 $\{kk-2kh\}$ 面的 n 型氮化镓单晶基板，其中 k, h 为整数。

20 14. 权利要求 12 所述的氮化镓单晶基板，其特征是，在具有 $\{k-k0h\}$ 面的氮化镓单晶基板上，在保住 $\{k-k0h\}$ 面的同时，使氮化镓结晶成长，通过 $\{k-k0h\}$ 面，往结晶中进行氧掺杂，由此得到具有 $\{k-k0h\}$ 面的 n 型氮化镓单晶基板，其中 k, h 为整数。

25 15. 权利要求 13 所述的氮化镓单晶基板，其特征是，在具有 $\{11-20\}$ 面的氮化镓基板上，在保住 $\{11-20\}$ 面的同时，使氮化镓结晶成长，通过 $\{11-20\}$ 面，往结晶中进行氧的掺杂，由此得到具有 $\{11-20\}$ 面的 n 型氮化镓单晶基板。

30 16. 权利要求 14 所述的氮化镓单晶基板，其特征是，在具有 $\{1-100\}$ 面的氮化镓单晶基板上，在保住 $\{1-100\}$ 面的同时使氮化镓结晶成长，通过 $\{1-100\}$ 面，往结晶中进行氧的掺杂，由此得到具有 $\{1-100\}$ 面的 n 型氮化镓单晶基板。

17. 一种氮化镓单晶基板, 其中, 往氮化镓以外的材料基板或(0001)面氮化镓基板上, 在供给含镓原料、氮原料和含氧或含氧合化物的原料气的同时, 使产生(0001)面以外的小平面并保住非(0001)面小平面, 使氮化镓结晶以 c 轴方向通过 MOCVD 法、MOC 法、HVPE 法或升华法进行气相成长, 5 通过该非(0001)面小平面, 往结晶中进行氧的掺杂, 从所得到的结晶研磨除去小平面, 在用氮化镓以外的基板时除去基板, 在用(0001)面氮化镓基板的场合, 除去或不除去基板, 得到独立的以所含氧作为 n 型杂质的(0001)面 n 型的氮化镓单晶基板, 该基板用于在其上制造半导体器件。

18. 权利要求 17 所述的氮化镓单晶基板, 其特征是, 使产生以 {kk-2kh} 10 表示的小平面, 在保住 {kk-2kh} 小平面的同时, 使氮化镓结晶以 c 轴方向气相成长, 通过 {kk-2kh} 小平面, 往结晶中进行氧的掺杂, 通过研磨除去 {kk-2kh} 小平面, 得到独立的以所含氧作为 n 型杂质的(0001)面 n 型氮化镓基板, 其中 k, h 为整数。

19. 权利要求 18 所述的氮化镓单晶基板, 其特征是, 通过使具有由 15 {11-22} 面构成的小平面的结晶成长, 从该 {11-22} 小平面进行氧的掺杂, 用研磨除去 {11-22}, 得到独立的以所含氮作为 n 型杂质的(0001)面 n 型氮化镓基板。

20. 权利要求 17 所述的氮化镓单晶基板, 其特征是, 使产生以 {k-k0h} 20 表示的小平面, 在保住 {k-k0h} 小平面的同时, 使氮化镓结晶以 c 轴方向气相成长, 通过 {k-k0h} 小平面, 往结晶中进行氧的掺杂, 通过研磨, 除去 {k-k0h} 小平面, 得到独立的以所含氧作为 n 型杂质的(0001)面 n 型氮化镓基板, 其中 k, h 为整数。

21. 权利要求 20 所述的氮化镓单晶基板, 其特征是, 通过使含有由 25 {1-101} 面构成的小平面的结晶成长, 从该小平面进行氧的掺杂, 通过除去 {1-101} 面, 得到独立的以所含氧作为 n 型杂质的(0001)面 n 型氮化镓基板。

往氮化镓结晶掺杂氧的方法和掺杂
氧的 n 型氮化镓单晶基板

5

技术领域

本发明涉及由 3~5 族氮化物系化合物半导体构成的发光二极管以及半导体激光等发光装置，以及在电子装置中用的氮化镓(GaN)单晶基板结晶的掺杂氧的方法。在基板上，在外延成长的 GaN 薄膜成长及 GaN 大块结晶成长时，往 GaN 结晶本体掺杂杂质。与氮化物系化合物半导体一样表现的是，它层压的薄膜不仅是 GaN 薄膜，而且，是往里添加 In、P、As.....等成分的三元混晶膜、四元混晶膜等层压膜。发光活性层是 GaInN。而主体是 GaN。因还有其他成分，所以，与氮化物系一起正确加以叙述。因此，在以后的叙述中，GaN 系装置或 GaInN 系装置可认为是表现相同的装置。

15

现有技术

采用氮化物系半导体的发光装置，首先是蓝色 LED，早已实用化。从前，采用的氮化物系半导体的发光装置，是用蓝宝石作为基板。在单晶蓝宝石基板上，使 GaN 层、GaInN 层等进行外延生长，作为外晶片。对于 GaN，作为 n 型掺杂剂使用的是 Si。在外晶片上，通过晶片工艺制造 GaInN-LED 装置。蓝宝石是极稳定的坚固基板。在蓝宝石基板上能良好外延成长 GaN 层以及再在其上良好生长 GaInN 层。目前，GaN 系蓝色 LED 可在蓝宝石基板上制作。蓝宝石(α -Al₂O₃)和 GaN 的晶格常数不同(失配)，然而，GaN 层还是在蓝宝石基板上良好成长。而且，GaN 层虽然有很大的转位重排，但未劣化，仍然坚固。

25

因为蓝宝石形成三方晶系单晶，所以，使 GaN 薄膜在其 C 面上成长。由于蓝宝石和 GaN 的晶系不同，仅在 3 维对称性的 C 面上使 GaN 进行外延成长。因此，现在实际使用的 GaInN-LED，都是在 C 面的蓝宝石基板上，由在 C 轴方向成长的薄膜聚集而构成的。

30

即，蓝宝石面上的 GaN 及 GaInN 薄膜等表层全都是 C 面成长。仅限于使用蓝宝石的基板上，进行 C 面成长。在其他面方位上，不可能外延成长。

因此，现在制造使用的 GaInN-LED、GaInN-LD，全都是 C 面成长的 GaN、GaInN 层等聚集而成的，而不存在其他面方位的薄膜。然而，ELO(外延横向附生)及 pendeo-epi，在成长中段，于端部呈现 C 面以外的面，但不限于这些。

蓝宝石和 GaN 的晶格失配大，缺陷多，然而，GaN 在陶瓷附近是坚固的，缺陷不能成长，不能说缺陷增大就变脆。很高的缺陷密度，使 GaN-LED 可以长寿命，已得到明显的实用业绩，获得相当高的评价。

但是，蓝宝石基板有几个缺点。蓝宝石基板极硬，不能解离面。因此，采用晶片工艺，在晶片上形成装置后，在切成晶片时，采用劈开进行分离也是不可能的。采用机械切割(切成小块)的其他方法也不行。因为要有切块工序，所以，成本增加。

LED 的场合也一样，然而，LD(半导体激光)的场合，形成共振器的反射镜面必须在活性层的两侧。因为无解离面，所以，通过自然解离不能形成反射镜面。采用 RIE(活性离子蚀刻)等气相蚀刻等，把端面加工成精度良好平坦平滑，制出反射镜面。这不是简单的作业。而必须在加工各种基片时，需繁杂的作业。生产共振器面的作业是造成 GaInN 系-LD 制造成本上升的原因。

因为蓝宝石是绝缘体，不能在底面形成电极。p 电极、n 电极等必须在上部形成。在蓝宝石基板上，n 型层要使几层加以层压。因为电流横向流过，所以，必须形成厚的 n 型导电层。在层压的 n 型层上，叠放 p 型层，形成 pn 接合。当然，在上部的 p 型层上带有 p 电极也可以，然而，稍许去除外周部分的 p 型层，则使 n 型层露出，在该部分使 n 电极进行电阻性接合是繁杂的。工序数、工序时间增加，成本加高。因为在同一面上的两处形成电极的必要性，所以，要加大必要的晶片面积。因这一点引起成本增大。蓝宝石基板的 GaN 系 LED 已有实际应用，然而，上述缺点没有克服。

可以解决这些问题的理想基板是 GaN 单晶基板。因为 GaN 及 GaInN 等表层被堆积，所以，如果是 GaN 基板，结晶晶格的失配问题完全没有。如果这样制作 n 型 GaN，则从晶片底面制造 n 型电极是可能的。如在其上下配置 p 电极、n 电极，装置的制造也变得更加容易，在往组件上实际安装时，引线接合也容易。可以减少必要的晶片面积。

因为 GaN 有解离性，所以，可通过自然解离把基片切割成晶片。但是，解离面处于正三角形边的方向，没有矩形解离面。因此，只是解离，而不能

切成矩形晶片。从这点看，与 Si 半导体以及 GaAs 半导体不同，这是缺点。然而，通过部分解离，可使晶片分离。因此，采用切块，可以减轻切割加工。尤其在半导体激光(LD)的场合，通过解离，可以切出必要的共振器反射镜面。如果通过解离，可得到平坦平滑的反射镜面，理应可以更简单地制作

5 GaInN 系蓝色 LD。

但是，高质量大面积的 GaN 单晶长时间也不能培育成。因无法得到 GaN 基板，所以，在 GaN 基板上，不可能制作 GaInN 系 LED 和 LD。因此，也不能制作实用的 GaN 基板上的 LED 和 LD。

10 因为氮的蒸汽压高，所以，往装入 GaN 熔融液的坩埚中加入种晶，以通常的拉晶法进行拉晶，制作 GaN 结晶是不行的。施加超高压，可合成 GaN 单晶，然而，制成的仅是小型单晶。非常实用的大的 GaN 结晶的成长是不可能的。另外，在封入石英管的舟皿中加入多晶，加热熔融，从端部固化的舟皿法也不能制作 GaN 单晶。采用其他的结晶成长技术也不能制造 GaN 大型基板。

15 然而，近年来用气相成长法使 GaN 单晶成长的方法已提出各种改进方案。由于不用大型 GaN 基板而使用不同种材料基板。在该基板上采用与薄膜成长同样的气相合成法，GaN 单晶层发生累集。气相成长法，本来是用于薄膜成长的方法，然而，随着时间使其持续成长，也可以得到厚的结晶层。厚的 GaN 结晶成长后的基板，用蚀刻或研磨法将其去除，可得到 GaN 单体基
20 板。不言而喻，仅单纯用气相合成法，仍不易得到优质 GaN 结晶。要有多种方法。

气相合成虽有几种不同的方法。由于其任何一种都是在蓝宝石基板上使 GaN 薄层成长而开发的方法。以有机金属(例如，三甲基镓，TMG)和氮作原料的有机金属气相成长法(MOCVD)、把镓单体放入舟皿内用氯化氢气体进行
25 氧化，制成 GaCl 的 HVPE 法(氯化物气相外延生长法)以及，使有机金属和 HCl 反应，制成 GaCl，再与氮反应的 MOC 法(有机金属氯化物气相成长法)、加热 GaN 多晶使其升华，累集在基板上的升华法。在蓝宝石基板上成长，可用于制造前述 GaInN 系 LED。其分别具有各种优点和缺点。

(1) 有机金属气相成长法(MOCVD 法)

30 其中，最好使用的是 MOCVD 法。在冷的器壁反应炉中，把 TMG 和氮经氢气稀释后的原料气喷射到加热的基板上，在基板上立即进行反应，合成

GaN。这样喷射的大量气体，仅一部分用于形成 GaN 薄膜，而其余部分是无用的。收率低。成长速度不可能增大。可用于构成 LED 一部分的 GaN 薄层的形成，然而，对厚的 GaN 结晶层的聚集不能面对。这将使含在有机金属中的碳作为杂质混入其中，有时使特性降低。

5 (2) 有机金属氯化物成长法(MOC 法)

MOC 法是在热壁型反应炉中使 TMG 和 HCl 反应而一旦制成 GaCl，则使其在加热的基板附近，与氨反应，生成 GaN。因为该法经过 GaCl，所以，比 MOCVD 法的碳混入少，然而，这样的碳的混入，也引起电子迁移率的降低。

10 (3) 氢化物气相成长法(HVPE 法)

HVPE 法以 Ga 单体作原料。通过图 1 加以说明。在热壁型反应炉 1 的周围，设置加热器 2。在反应炉 1 的上顶部设置用于导入 2 种原料气的气体导入管 3、4。在反应炉 1 内部的上方空间设置 Ga 舟皿 5。Ga 熔融液 6 放在 Ga 舟皿 5 中用加热器 2 进行加热。反应炉 1 上方的气体导入口 3 对着 Ga 舟皿开口。由此导入 H_2+HCl 气体。另一个气体导入管 4，从 Ga 舟皿 5 的下方开口。由此导入 H_2+NH_3 。

在反应炉 1 内部空间的下方，通过用旋转轴 8 可支承自由旋转升降的基座 7。在基座 7 的上方载有 GaAs 基板。或者，如果从 GaAs 基板出发制作 GaN，也可在基座 7 上载置 GaN 基板。用加热器 2 加热基座 7 和基板 9。从气体导入管 3 供给 $HCl(+H_2)$ 气体，喷射至 Ga 熔融液 6 中，生成 GaCl 气态中间生成物。其落在炉内，在加热的基板近旁与氨接触。在基板 9 上，GaCl 和 NH_3 起反应，合成 GaN。因为该方法的原料不含碳，所以，碳不会混入 GaN 薄膜中，不会造成电学特性的恶化，这是优点。

20 (4) 升华法

GaN 既不施以高压也不是以熔融液体。于低压加热使其升华。该法是把 GaN 多晶加热使升华而输送至空间中，聚集在较低温度的基板上。

另外，有人提出在蓝宝石基板上使 GaN 薄膜成长的改进方法。下面介绍有效的改良法之一。

[横向附生法]

30 ①碓井彰，“用氢化物 VPE 的厚膜 GaN 结晶的成长”，电子情报通信学会论文志，Vol. 1, J81-C-II, No. 1, P58~64(1998 年 1 月)。在该文中，对横向

附生法的 GaN 成长进行了详细说明。在蓝宝石基板上，在带有条纹状(或棒状)窗的一种掩模上使 GaN 成长。个别晶粒从窗中成长，穿越过窗，在窗外的掩模上合为一体。因此，缺陷密度减少。这就是在蓝宝石基板上附着 GaN 膜时使缺陷密度减少的方法。

- 5 本发明人在气相合成法中利用 HVPE 法也对 GaN 结晶基板的制造方法进行了改良。因为想要制作 GaN 基板，所以用异种材料作为基板，如使用蓝宝石作为基板，则不可能仅把蓝宝石去除。由于其化学、物理性质的坚固，采用研磨或蚀刻也不可能只除去蓝宝石。

10 与此相反，也有方法采用 GaAs 作为基板。在三维对称性的 GaAs 基板上，以 Ga 金属和氢气稀释的 HCl、氢气稀释的 NH_3 作为原料使 GaN 成长。当然，在 c 轴方向成长的成长面为 C 面。原封不动地转位成长为线状。转位不消失，达到永久伸长。

本发明人提出，直接在 GaAs 基板上使 GaN 成长，或在 GaAs 基板上成长某种程度的 GaN 层后，载置在有多个有规则的整齐排列的孔的掩模上，通过掩模孔，使 GaN 继续成长的方法等。这不是蓝宝石基板，而是在 GaAs 基板上按横向附生法使 GaN 成长。例如，通过本申请人的

20 ②特原平 10-183446 号进行说明。这是把 GaAs(111)面打点作为基板，用条纹状窗的掩模涂层基板，在其上气相成长 GaN 膜的方法。因为结晶核从孤立的窗独立成长的掩模上合为一体，所以，缺陷数可以减少。切断转位延伸，而使缺陷少的结晶成长。

采用这样的方法，在三维对称性的 GaAs(111)面上，使 GaN 层气相成长，采用蚀刻(王水)、研磨除去 GaAs 基板，可制造出只由 GaN 构成的独立膜。因此，这样的 GaN 结晶，其表面为 C 面(0001)。即，(0001)面 GaN 结晶。

25 而且，在文献②中提出，采用这样的制造方法制成的具有 20mm 以上直径、0.07mm 以上厚度的 GaN 独立单晶基板。这也是具有 C 面的 GaN(0001)结晶。另外，本发明人的发明还涉及

③特原平 10-171276 号

30 该申请提出，采用这样的制造方法制造 GaN 独立单晶基板。这也是(0001)面 GaN 结晶。在这些发明中，因为在 GaAs 基板上使 GaN 产生厚的气相成长，所以，难免会颠倒过来，为了减少这种颠倒，采用什么方法呢？这是个问题。另外，当成长面(C 面)由平坦的面构成时，或有时由锯齿状粗面构成

时，要找出其条件。导电型是几乎不成问题的。

④ Kensaku Motoki, Takuji Okahisa, Naoki Matsumoto, Masato Matsushima, Hiroya Kimura, Hitoshi Kasai, Kikuro Takemoto, Koji Uematsu, Tetsuya Hirano, Masahiro Nakayama, Seiji Nakahata, Masaki Ueno, Daijiro Hara, Yoshinao Kumagai, Akinori Koukitu 和 Hisashi Seki, “用 GaAs 作为起始基片，采用氢化物蒸汽相取向附生制造大型独立式的 GaN 基片”，Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40(2001) pp. L140~143。以 GaAs(111)结晶作为基板，采用横向附生法制造 GaN 单晶独立膜。这也是(0001)GaN 结晶。厚度为 500 μm ，直径为 2 英寸的结晶。对 n 型导电型加以说明。转位密度为 $2 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ ，载流子浓度 $n=5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，迁移率为 $170 \text{cm}^2/\text{Vs}$ ，电阻率为 $8.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 。对 n 型掺杂剂没有说明。

⑤特原平 11-144151 号

本发明人首次发现，氧作为 n 型掺杂剂是有效的。并且提出以氧作为 n 型掺杂剂的 n 型 GaN 独立膜。另外，发现氧在 GaN 中的活性率高，接近 1。因为碳(C)在 GaN 中也是 n 型杂质，所以，必须尽量将其排除。因此，现在作为主流的 MOCVD 法不是优选的。认为 HVPE 法是优选的。

因为 GaN 是三维对称性的六方晶系结晶，所以，结晶面的表示方法与 GaAs(闪锌矿型)等的立方晶系不同。对六方晶系的结晶表示法加以简单说明。有用 3 个参数表示的方法，也有用 4 个参数表示的方法。这里用的是 4 参数表示法。首先，把 3 个主轴作为 a 轴、b 轴和 d 轴。这些主轴在一个平面上，形成 120 度的中心角。并且 $a=b=d$ 。

与 a、b、d 的任何一个都是垂直相交的轴。这就是 c 轴。对 a 轴、b 轴和 d 轴来说，c 轴是独立的。存在多个平行的结晶面。从其结晶面的原点起数，切割第 1 结晶面的 a 轴、b 轴、d 轴、c 轴的切片，离原点的距离为 a/h 、 b/k 、 d/m 、 c/n 。在不切割这些轴的正向部分时，考虑反向延长的与 -a、-b、-d 的交叉点。h、k、m、n 必须是整数。此时的面指数写成(hk \bar{m} n)加以约束。

涉及 3 个主轴 a、b、d 的指数，存在着几何学的限制条件 $h+k+m=0$ 。与 c 轴的交叉点指数 n 是自由的。在表示面指数时，习惯是不加入逗号，所以，把正负整数 4 个放入括弧内加以表示。而负数，在数字上部划线加以表示是矿物学确定的。因不能这样做，所以，这里是在前面加负号进行表示。

用(hk \bar{m} n)表示的是个别面的表示。用{hk \bar{m} n}表示的是所有面的表示。通

过该结晶的对称操作，加以变换得到的全部面方位均包含在内的总括表示。

所谓面方位是另外显示线方向的表示。个别方向用 $[hkmn]$ 表示。这意指个别面方位 $(hkmn)$ 垂直相交的方向。总括方向表示为 $\langle hkmn \rangle$ 。这些是从个别方位 $(hkmn)$ ，通过结晶允许的对称操作达到的全部个别方向的集合。

- 5 C面是最有代表性的面。历来，通过结晶成长制成的 GaN，可认为全部为 C 面成长。在采用蓝宝石及 GaAs 等异种单晶基板时，因为仅使用三维对称性面，所以，其上成长的面限定在 C 面。C 面 (0001) 以外，重要的面有 2 个。

- 一个是 $\{1-100\}$ 面。这是解离面。垂直于 C 面的面是 6 个个别面的集合。
10 把 $(1-100)$ 、 $(10-10)$ 、 $(01-10)$ 、 (-1100) 、 (-1010) 、 $(0-110)$ 的全部称作 M 面。解离面互成 60 度的角度，没有垂直相交。

另一个重要的面是 $\{11-20\}$ 面。通称为 A 面。A 面不是解离面。A 面也是 6 个个别面的总称。把 $(11-20)$ 、 $(1-210)$ 、 (-2110) 、 $(2-1-10)$ 、 $(-12-10)$ 、 $(-1-120)$ 的全部称作 A 面。

- 15 C面是由 1 个含义决定的，而 A 面和 M 面具有 3 个不同的方向。某个 A 面和某个 M 面垂直相交。因此，A 面、M 面、C 面可以构成垂直相交的面组。本发明人的

- ⑥特原平 10-147049 号提出，边上具有解离面(M 面)的 GaN 装置。这也是以 C 面作为表面的 GaN 结晶。可以举出解离面有问题的发明。用于减少
20 贯通转位的办法也有各种建议。本发明人的

⑦特原平 11-273882 号认为，C 面不是镜面成长，而在保有 C 面以外的小平面的原样 c 轴方向成长的，在小平面上扫除转位，从而使转位降低。这就是所说的保持小平面，而平均地在 C 面成长。而且，本发明人的

- ⑧特原平 2000-207783 号发现，GaN 中的贯通转位具有与面垂直相交而
25 延伸的性质。在 C 成长的 c 轴方向，延伸贯通转位。本发明提出把 C 面成长的 GaN，在 A 面方向切出，在其上使 A 面成长或使 C 面成长 GaN，并在其 M 面方向切出，在其上使 M 面成长的所谓集中方法。然后，在 C 面切出，得到低转位的 GaN 结晶。

- 只有这种原有技术⑦、⑧在 C 面以外的面成长，这是第一次提出的。它
30 与本发明目的不同，因为本发明初次着眼于面方位，所以这里加以介绍。

本发明拟解决的课题

在蓝宝石基板上的 GaN 气相成长法，毫无例外地以 C 面作为上面而成长。在蓝宝石基板(α -Al₂O₃)的三维对称面上使 GaN 成长时，C 面构成具有六维对称性的镜面，它最易于成长。因此，现在制造使用的蓝宝石基板上的 GaInN-LED 和 GaInN 系-LD 是 C 面的 GaN 层、GaInN 层重叠成的。

其与 GaAs 作为基板时的情况同样，在 GaAs 的三维对称面(111)上使 GaN 成长时，C 面成长变成表面。

本发明人想用氧(O)作为 GaN 的 n 型掺杂剂。最近，本发明人发现在以氧作为掺杂剂时，不那么容易进入成长面(C 面)。

10 这是不易理解的现象。因此，此前谁也没有注意到。本发明人对 C 面成长的 GaN 试样表面组成，用 SIMS(次级离子质谱仪)进行了分析。该法是在加速离子(一级离子)的试样中，计数从试样出来的次级离子数，求出在试样表面存在的物质的存在比的方法。因初始时是分解能不充分的离子峰，范围相当宽，所以，次级离子从宽的范围放出。在这里发现，由于氧的次级离子也是从试样面放出，所以，C 面也是氧进行掺杂的。

然而，意外的发现，通过峰的缩小，可以提高 SIMS 分解能。当细看粗糙的 C 面时，除 C 面部分外，凹凸(小平面)很多，一边保持倾斜面一边成长。二级离子既可从 C 面也可从凹凸部分放出。当对 C 面和凹凸部位(小平面)加以区别测定氧次级离子时，发现几乎没有氧从 C 面出来。换算后发现，即使 C 面以外的氧浓度达到 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 时，在同一结晶表面上的 C 面，氧浓度小于 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。即，收取氧的能力相差 50 倍。次级氧离子实际上不从 C 面出来而从小平面放出。

另外，改变成长条件，制成全部镜面的 C 面样品，从表面用 SIMS 进行分析，氧浓度仍热低至 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。

25 这种情况说明 C 面几乎未掺杂氧。C 面成长时，氧未进入 C 面，氧进入自然界，造成 C 面以外的小平面。这样的事一开始就已经知道。

由于单晶成长，所以面内的哪个部分的结晶方位相同。小平面部分也具有上方构成 c 轴那样的结构。因此，是在 c 轴方向成长。总之，可以说露出表面的面不是 C 面。所以，含在原料气中的氧不进入结晶内，能否可以说，并不是由于该部位的内部结晶结构，而是由于结晶成长时表面本身的微观结构所致。表面倾斜的 C 面以外的面，例如，M 面及 A 面露出，则由于该面

具有的独立的氧吸附能力而吸取氧。

在 GaN 成长中，形成小平面的部分沿着平均的成长方向连续成长的情况多。小平面不能频繁消灭·重复发生。例如，结晶在 c 轴方向成长时，小平面被保持，GaN 以纵向往 c 轴方向成长。因此，把 SIMS 和蚀刻加以组合，
5 在结晶的深度方向，在 c 轴方向测定氧浓度，结果显示氧浓度分布大致以某种深度也具有同样的分散。因此，即使在 C 面成长中，氧掺杂是存在于 C 面以外的微观小平面上。

对这种情况，本领域的专家们也不知道。氧掺杂的 GaN 形成 n 型的理由，本发明人通过⑤的研究已初步明了。氧取代了氮的位置，成为 n 型杂质。
10 然而，氧在 GaN 中用作 n 型掺杂剂的说法还不是主流。本发明人仅同意这个观点。作为 GaN 中 n 型掺杂剂主流的是硅(Si)。人们认为，Si 取代了镓(Ga)位置变成 n 型。氧作为 n 型掺杂剂的设想，除本发明人外还未见别人提出。在氧掺杂时，对具有面方位依赖性的情况还不了解。GaN 成长，是从三维对称性的异种材料成长的，所以，未必以 C 面作为表面进行成长。然而，从上述实验可知，氧几乎不进入 C 面。因此，当坚持在 C 面镜面成长时，则氧不能以规定的浓度掺杂。这就是说，不可能制作具有所希望电阻率的 n 型 GaN
15 基板。基于这样的新发现，本发明提出的氧作为效率良好的掺杂剂的 GaN 结晶成长方法。

20 用于解决本课题的办法

对改变成长面使其成长等进行详细研究的结果发现，氧的进入量对面方位的依赖性。发现氧掺杂量对面方位依赖性是本发明人的实验结果。由此可知，既不进入 C 面也不进入任何面方位的氧是不存的。在 C 面以外，存在氧易进入(进行掺杂)的面。易进行氧掺杂的面方位大致可分成 2 类。

25 这是下面的面方位。

(1) $\{k-k-2kh\}$ (k, h 是整数)

特别是， $\{11-20\}$ 面显示明显的效果，这是已经了解的。在 $\{11-22\}$ 面，氧进入的效率。随着高面指数的形成，氧的进入效率有下降的倾向。

(2) $\{k-k0h\}$ (k, h 是整数)

30 特别是， $\{1-100\}$ 面显示明显的效果。在 $\{1-101\}$ 面，氧的进入效率高。随着该面方位形成高面指数，氧的进入效率有降低的倾向。

即, 在面{hkmn}上具有固有的氧掺杂能力。它可以通过 $OD\{hkmn\}$ 的系数加以表示。

$OD\{hkmn\}$ 的详细情况还不了解, 然而, C 面以外的面{hkmn}, 可以说是 $OD\{hkmn\} > OD\{0001\}$ 。即, 可以说 C 面是氧掺杂最难的面。

5 对 A 面{11-20}来说, $OD\{11-20\} > 50 OD\{0001\}$ 。可以认为 A 面比 C 面的氧掺杂容易 50 倍以上。

对于 M 面{1-100}, $OD\{1-100\} > 50 OD\{0001\}$ 。M 面比 C 面的氧掺杂容易 50 倍以上。

10 在进行氧掺杂时, 使上面具有 C 面以外的面, 通过结晶成长, 可有效的进行掺杂。在用该法掺杂时, 在大块结晶内, 在结晶成长滞后的 C 面以外的面区域内, 形成氧掺杂。

不必把全部面作为这些结晶面(C 面除外)。只要是部分的以小平面的形式存在就可以了。当然, 在 C 面成长部分广泛存在的场合, 其中部分的氧收取效率降低。

15 氧的收取对其面方位依赖性现象仅是本发明人发现的。其详细机理尚不明确。因伸出结晶面表面的原子键的状态的不同, 特定元素的结合方法也不同, 所以, 可以认为收取杂质的方法发生变化。

特别是 GaN(0001)Ga 面作为成长面的场合, 可以推测, 在作为氧要进入作为 n 型载流子的氮的位置上, 由于非常难以进入的机理在起作用。当然, 20 这种现象在用蓝宝石、SiC、GaN 等这样的基底基板、种晶的场合, 也是普遍的现象。

本发明的实施方案

25 还有, 氧掺杂, 在结晶成长的原料气中含水的情况下是最有效的。在 HVPE 的场合, 在氨(NH₃)、氯化氢气体(HCl)中可以含水。原来, NH₃、HCl 中所含的水多数是作为杂质, 特别是, 即使原料气中不添补水, 而通过原来所含的水分也能使氧掺杂。然而, 为了稳定的进行氧掺杂, 要求有微量水定量地加至原料气中。

30 根据本发明的思想, 有效的进行氧掺杂的方法大多分成二个办法。一个是使在 c 轴以外的方向成长(非 c 轴成长), 另一个是在 c 轴方向使小平面成长。即, 非 c 轴成长和小平面 c 轴成长。

(甲) 非 c 轴成长 采用在表面(上面)上具有 C 面以外的面{hkmn}的种晶, 在 C 面以外的面结晶成长, 在该面方位上制造成长的单晶块的方法。

甲方法, 以原样保持种晶的结晶面{hkmn}而结晶成长的场合, 全面有效的进行氧掺杂。

- 5 例如, 在种晶的整个面中, 在{1-100}面(M 面)或一般的{k-k0h}面(k, h 为整数)的场合下, 可有效地进行氧掺杂。

另外, 在{11-20}(A 面)或一般的{kk-2kh}面(k, h 为整数)中也同样。在该场合下, 氧的掺杂效率, 简单地以

$$OD=OD\{hkmn\}$$

- 10 象征性地表示。该法原理简单, 但实行起来有几个问题。具有 C 面以外表面的 GaN 单晶既不是天然存在的, 也不是从不同基板通过气相成长制造的。现在 LED 及 LD 中使用的在蓝宝石的三维对称面上成长的 GaN-GaInN 薄膜是 C 面结晶。如上所述, 在蓝宝石基板上成长时, 不去除蓝宝石就得不到 GaN 结晶单体。

- 15 在 GaAs(111)面上气相成长的场合, 具有 C 面的 GaN 结晶成长。用王水除去 GaAs 基板后, 可得到 GaN 单体单晶。然而, 该结晶表面也是 C 面。制作厚的 GaN 结晶, 例如, 切断 A 面方向, 制作表面具有 A 面的单晶时, 可将其作为种晶。因此, 必须要有制作具有 C 面以外面的种晶前期工序。

- 20 (乙) 小平面 c 轴成长 使以 C 面作为上面的结晶成长, 微观来看, 是使具有 C 面以外的小平面成长的方法。

乙法中, 种晶表面的平均结晶面是 C 面, 从微观看, 具有 C 面以外的小平面成长时, 通过小平面, 可以得到氧掺杂的效果。

作为具体的小平面, 有{1-101}面等的{k-k0h}面(k, h 为整数)。这些是使 M 面倾斜的面。因 M 面本身与 C 面垂直, 所以, 不是小平面。

- 25 或者, 有{11-22}面等的{kk-2kh}面等。这些是使 A 面倾斜的面。由于 A 面本身与 C 面垂直, 所以, 用于 C 面成长的也不是小平面。这是单一的小平面包含在 C 面内的场合。

- 30 虽说单一, 因 GaN 结晶在 c 轴周围有六维对称性, 所以, 这些面是 6 个个别面的集合。尽管是单一的面, 在 C 面上仍可以形成 6 角纺锤状的孔(坑)或 6 角纺锤状的突起。全部的面有时也不出现, 但还是形成 3 角锥状孔、突起的异形 5 角纺锤状孔、突起。

这是含单一的小平面的场合，然而，通过使含多个小平面的 C 面成长，可以有效的进行氧掺杂。例如，在含由 {kk-2kh} 面、{k-k0h} 面构成的多个小平面的场合使结晶成长时，可以使氧进行掺杂。例如 {11-21} 面 6 个和 {1-101} 面 6 个可以形成正 12 角锥。通过使 2 个面组合，可以形成这样的孔或突起。如 3 个以上的面加以集合，可以制出更复杂形状的角锥的孔或突起。

一边保留由 {kk-2kh} 面、{k-k0h} 面 (k, h 为整数) 集合构成的反六角锥 (六角锥孔)、反十二角锥 (十二角锥孔) 形状的坑状的小平面，一边使 C 面成长的场合，在该坑状小平面上，可进行氧掺杂。该方法是复合的，当把 {hkmn} 面的 C 面内存在的几率用 $\rho\{hkmn\}$ 表示时，

$$10 \quad OD = \sum \rho\{hkmn\} OD\{hkmn\}$$

则氧的掺杂效率可以象征性地加以表示。

GaN 的成长方法，作为原有的在蓝宝石基板上的成长方法，可以用有效的 HVPE 法、MOC 法、MOCVD 法、升华法等所有方法。

15 附图的简单说明

图 1 是采用 HVPE 法的 GaN 结晶成长装置的简要剖面图。

图 2 是在具有 M 面 (1-100) 的 GaN 种晶上，用气相成长法使 GaN 层成长的实施例 1 的工序中的 GaN 结晶的剖面图。(a) 是具有 M 面 (1-100) 的 GaN 种晶剖面图；(b) 是在 GaN 种晶上使 (1-100) 结晶成长的状态下 GaN 结晶剖面图；(c) 除去种晶后只有成长部分的 GaN 结晶剖面图；(d) 是进一步研磨状态下 M 面 GaN 结晶的剖面图。

图 3 是在具有 C 面 (0001) 的 GaN 种晶上，用气相成长法使 GaN 层成长的比较例 1 工序中的 GaN 结晶剖面图。(a) 是具有 C 面 (0001) 的 GaN 种晶剖面图；(b) 在 GaN 种晶上，使 (0001) 结晶成长的状态下 GaN 结晶剖面图；(c) 除去种晶而只有成长部分的 GaN 结晶剖面图；(d) 进一步研磨状态下 C 面 GaN 结晶的剖面图。

图 4 是在具有 C 面 (0001) 的 GaN 种晶上，一边保持小平面对一边用气相成长法使 GaN 层成长的实施例 2 工序的 GaN 结晶剖面图。(a) 是具有 C 面 (0001) 的 GaN 种晶剖面图；(b) 是在 GaN 种晶上使具有数个小平面的 (0001) 结晶成长的状态下 GaN 结晶剖面图；(c) 是除去种晶而只有成长部分的 GaN 结晶剖面图；(d) 是进一步研磨状态下的 C 面 GaN 结晶剖面图。

实施例

实施例 1(以 M 面(1-100)作为上面的结晶成长; 图 2)

从 GaN 单晶锭切出的表面, 准备一种由 M 面(1-100)构成的 GaN 种晶(图 2(a))。GaN 单晶是在 GaAs 基板上通过横向附生法, 使 GaN 以 C 面成长, 然后用王水溶解除去 GaAs 基板。所以, M 面是以与该结晶成长方向平行的一个面上切成的。

把该 M 面种晶进行表面研磨, 除去表面加工杂质层使其完全不存在。

在该种晶上, 用 HVPE 法使 GaN 结晶成长(图 2(b))。其成长条件如下。对于作为氮原料气的 NH_3 , 使用的是含有约 2ppm 水的原料气。水是作为氧源而含有的。

- 成长温度 1020°C
- NH_3 分压 0.2 大气压($2 \times 10^4\text{Pa}$)
- HCl 分压 1×10^{-2} 大气压(10^3Pa)
- 成长时间 6 小时

15 成长膜厚达到约 $500\mu\text{m}$ 。然而, 研磨除去基底的种晶部分(图 2(c))。进一步研磨表面(图 2(d))。除去种晶, 只有成长部分的结晶层厚度约为 $400\mu\text{m}$ 。

该试样的电学特性, 通过霍尔(Hall)法测定求出, 用 4 点的平均值在下列数值的结晶内, 大致是均匀的。

- 载流子浓度= $6 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
- 20 · 载流子迁移率= 160Vs/cm^2

而且, 在同一样品的表面附近进行 SIMS(次级离子质谱仪)分析。测定结果如下:

- 氢(H) $2 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$
- 碳(C) $3 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$
- 25 氧(O) $8 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
- 硅(Si) $3 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$

载流子浓度为 $6 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, 氧浓度为 $8 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 。在 GaN 中, 作为 n 型杂质可能存在的碳(10^{16}cm^{-3} 级)、硅(10^{17}cm^{-3} 级), 比载流子浓度(10^{18}cm^{-3} 级)低得多。这些载流子(电子)来自于氧。氧是作为 n 型杂质而起作用的, 其活性率相当高。

30 测定电阻率的结果是 $7 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}$ 左右, 具有相当高的导电性。可用作

n 型导电性 GaN 基板。即，在蓝宝石上面，不是必须要形成 n 电极，而从 n 型 GaN 基板的底面形成 n 电极也是可能的。

按该实施例制造的试样，是表面平坦的厚度 400 μm 单体的 GaN 基板。在 GaN 基板上，其后进行外延生长，形成可用于制作装置的形状。

5 比较例 1(以 C 面(0001)作为上面的结晶成长；图 3)

从 GaN 单晶块切取，准备一种表面是由 C 面(0001)的面构成的 GaN 种晶(图 3(a))。表面的极性是 Ga 面。把该 C 面种晶进行表面研磨，在表面，加工使杂质层完全不存在。

10 用 HVPE 法使 GaN 在该种晶上成长。其成长条件如下所述。与实施例 1 同样，对作为氮成分的原料气氨 NH_3 ，使用含水量约 2ppm 的原料气。

- 成长温度 1050 $^{\circ}\text{C}$
- NH_3 分压 0.15 大气压($1.5 \times 10^4 \text{Pa}$)
- HCl 分压 5×10^{-3} 大气压($5 \times 10^2 \text{Pa}$)
- 成长时间 10 小时

15 成长膜厚达到约 500 μm (图 3(b))。表面是由(0001)面构成的平坦的镜面状态。已知成长后的表面还保持 C 面。然后，研磨除去基底的种晶部分(图 3(c))。研磨表面，除去种晶，只有成长部分的结晶层厚度是约 400 μm (图 3(d))。

20 该试样的电学特性是通过霍尔法测定后求出的，但不能直接测定。其原因是，GaN 结晶构成高电阻膜，电导率极低，用现有的测量仪器是无法测定的。即使在基板面内的某个点，也是不能测定的。即，自由运动的电子缺乏，载流子浓度过低，无充分的电流流动，所以，无法测定。

另外，在试样表面附近进行 SIMS(次级离子质谱仪)分析。测定结果如下所示。

25 氢(H) $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$
 碳(C) $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$
 氧(O) $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$
 硅(Si) $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下

30 该氧浓度比实施例 1 低得多。已知低约 1/100 左右。这是仅起因于面方位(C 面和 M 面)的不同。即，这是因为收取氧对面方位的显著依赖性所致。对 Si 来说，也减少约 1/10，对 Si 也发现有面方位依赖性。碳和氢，不如说，在 C 面成长时，更多地进入结晶中。但没有依赖性。显示最显著的面方位依

赖性的是氧。

在该比较例中，因为作为 n 型杂质的氧收取量少，所以，n 型载流子(电子)不能放出，而变成绝缘体。这样的高电阻基板，不能从底面放出电子，故不能用作 GaN 装置的导电性基板。

5 实施例 2(保持以 C 面(0001)作为上面的坑状小平面的结晶成长；图 4)

从 GaN 单晶块切取，准备一种表面是由 C 面(0001)构成的 GaN 种晶(图 4(a))。该表面的极性是 Ga 面。把该 C 面种晶进行表面研磨，除去表面的加工变质层，使其完全不存在。

10 在该种晶上，采用 HVPE 法，使 GaN 成长。其成长条件如下所述。作为氮成分原料气的氨 NH_3 ，使用的是含水量约 2ppm 的原料气。

- 成长温度 1030℃
- NH_3 分压 0.2 大气压($2 \times 10^4 \text{Pa}$)
- HCl 分压 1×10^{-2} 大气压(10^3Pa)
- 成长时间 5 小时

15 成长膜厚度达到约 $500 \mu\text{m}$ (4(b))。表面状态，不是比较例 1 那样的平坦的 C 面镜面。成长后的结晶表面具有由 C 面以外的小面所构成的多个小平面。小平面闪耀，并可见到反射光。特别是，可以见到由反六角锥状、反十二角锥状的小平面构成的坑状形态。即，角锥坑的集合。这些纺锤面是小平面。在该样品中，几乎未见到 C 面。

20 各种面方位的面混在一起。多数是 $\{1-101\}$ 面、 $\{11-22\}$ 面、 $\{1-102\}$ 面、 $\{11-24\}$ 面。把它们加以汇总，可以用 $\{k-k0h\}$ (k, h 为整数)、 $\{kk-2kh\}$ 面(k, h 为整数)表示。

25 然后，研磨除去基底的种晶部分(图 4(c))。除去种晶，仅有成长部分的结晶层厚度为约 $400 \mu\text{m}$ 。该基板是小平面，表面不平坦。这里将两个面加以研磨，制成厚度 $350 \mu\text{m}$ 的基板(图 4(d))。

该试样的电学特性用霍尔法测定求出，4 点平均为约

- 载流子浓度= $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$
- 载流子迁移率= 170Vs/cm^2

的结晶内，是几乎均匀的。

30 另外，在同样试样表面附近，进行 SIMS(次级离子质谱仪)分析。其测定结果如下所示。

氢(H) $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$

碳(C) $3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$

氧(O) $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$

硅(Si) $4 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下

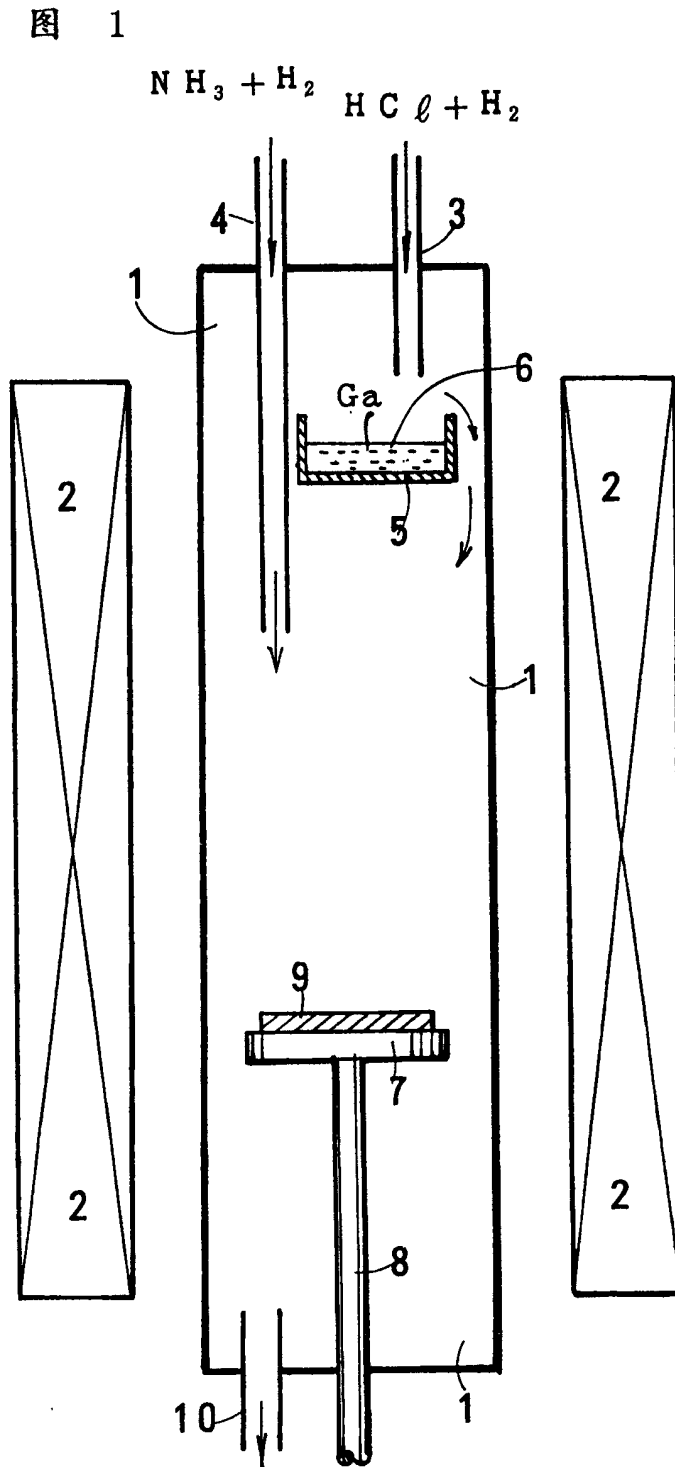
- 5 载流子浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，氧浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。在 GaN 中，可能成为 n 型杂质的碳(10^{16}cm^{-3} 级)、硅(10^{16}cm^{-3} 级)，比载流子浓度(10^{18}cm^{-3} 级)低得多。这些载流子(电子)就是来自于氧。氧浓度和载流子浓度相同程度时，说明氧作为 n 型杂质起作用，其活性率相当高。

- 10 测定电阻率的结果是达到 $6 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 左右，具有相当高的导电性。可用作 n 型导电性 GaN 基板。即，在蓝宝石的上面，不是必须要形成 n 电极，而从 n 型 GaN 基板的底面形成 n 电极已成为可能。该实施例，即使在 c 轴方向成长，仍可以一边保持 C 面以外的小平面，一边使其成长，从小平面收取氧，意味着可以制造低电阻的 n 型 GaN 结晶。

- 15 在该实施例中的这种试片，是表面平坦、厚度 $350 \mu\text{m}$ 单体的 n 型 GaN 基板。然后，在 GaN 基板表面上再进行外延生长，形成制造装置的可能的性状。

发明的效果

- 20 此前，在进行 GaN 的 C 面镜面成长中，氧掺杂几乎是不可能的。本发明，把 C 面以外的面作为上面使其成长，或者一边保持小平面对一边使 C 面成长，因此，一边使 C 面以外的面露出一边进行 GaN 成长。按照本发明，可以使氧有效的进入 GaN 结晶中。通过决定面方位，可以正确控制氧的掺杂量。可以有效的使氧发挥作为 n 型掺杂剂的功能，是极有效的氧掺杂方法。

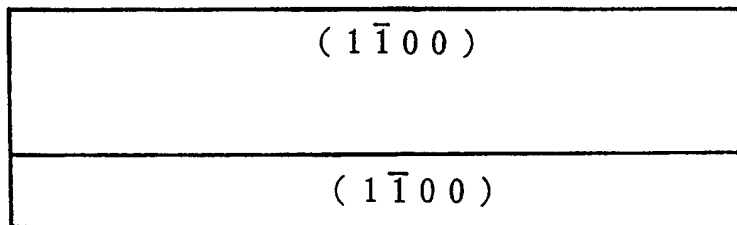


实施例1

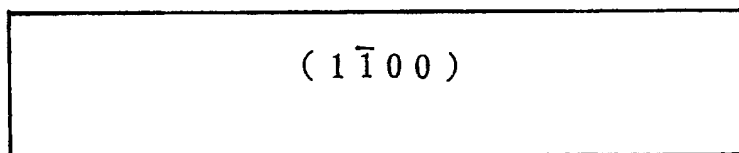
(a)



(b)



(c)



(d)

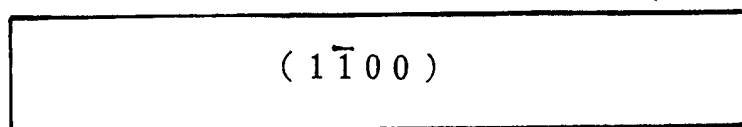
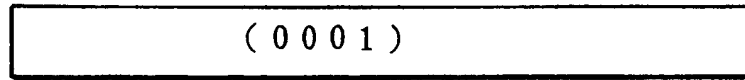


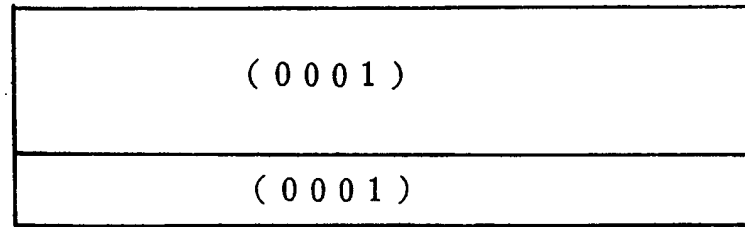
图 2

比较例1

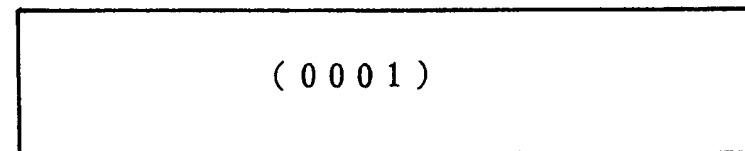
(a)



(b)



(c)



(d)

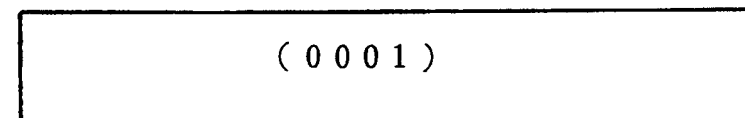


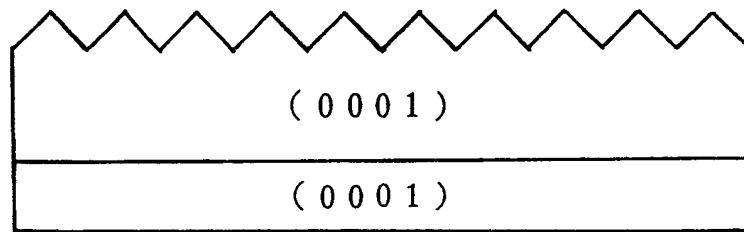
图 3

实施例2

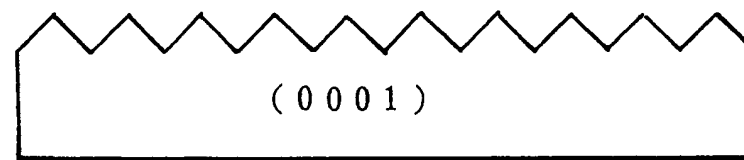
(a)



(b)



(c)



(d)

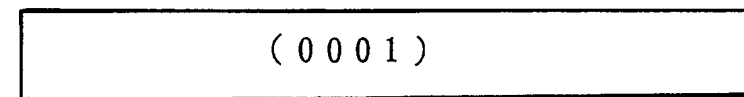


图 4