



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102449737 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 09

(21) 申请号 201080010051. 2

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

(22) 申请日 2010. 03. 02

代理人 章蕾

(30) 优先权数据

61/156, 710 2009. 03. 02 US

61/184, 535 2009. 06. 05 US

(51) Int. Cl.

H01L 21/20 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 08. 31

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/025959 2010. 03. 02

(87) PCT申请的公布数据

W02010/101946 EN 2010. 09. 10

(71) 申请人 加利福尼亚大学董事会

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 罗伯特·M·法雷尔 迈克尔·伊萨

詹姆斯·S·斯佩克

史蒂文·P·登巴尔斯 中村秀治

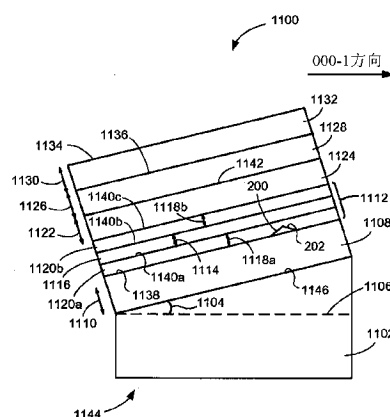
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 12 页

(54) 发明名称

生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的装置

(57) 摘要

本发明提供一种用于改进非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的生长形态的方法, 其中 (Ga, Al, In, B)N 薄膜直接生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底或模板上, 且生长期间所使用的载气的一部分由惰性气体构成。非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器可生长于依据本发明而生长的光滑的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜上。



1. 一种用于制造 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的方法,其包括:
直接在非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底或模板上生长 (Ga, Al, In, B)N 膜;以及在所述生长步骤期间使用载气,其中所述载体的至少一部分由惰性气体构成。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其进一步包括提供具有远离低指数结晶取向的斜切的所述衬底或模板。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述衬底或模板为 m 平面衬底或模板,所述斜切具有朝向 [000-1] 方向的介于 0.75° 与 1.50° 之间的斜切角度,且所述 (Ga, Al, In, B)N 膜生长于所述斜切的表面上。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述惰性气体由以下各项中的一者或一者以上构成: N_2 、He、Ne、Ar、Kr 或 Xe。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中将一个或一个以上装置层沉积在所述膜的上表面上,且在所述载气的至少一部分由 H_2 构成的情况下生长所述装置层。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述装置层包含所述装置的一个或一个以上 p 型掺杂层,且所述 p 型掺杂层是在所述载气的至少一部分由 H_2 构成的情况下生长。
7. 一种非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 膜,其包括:
上表面,其为非极性或半极性平面,具有平面且光学上光滑的区域,使得所述区域当使用光学显微镜且在介于 400 纳米与 600 纳米之间的光波长下测量时不存在可识别的非平面表面起伏或特征,其中所述区域足够大以用作衬底供外延沉积一个或一个以上装置层,所述装置层在 20 毫安驱动电流下发射具有至少 2 毫瓦输出功率的光。
8. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述区域不具有条纹。
9. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述区域为至少 100 微米见方。
10. 根据权利要求 9 所述的膜,其中所述上表面为原子级光滑的,且表面粗糙度大约为 Ga、Al、In、B 和 N 原子的直径。
11. 根据权利要求 9 所述的膜,其中所述上表面在所述区域内具有均方根小于 0.5 纳米的表面粗糙度。
12. 根据权利要求 9 所述的膜,其中所述上表面在所述区域内具有均方根小于 0.25 纳米的表面粗糙度。
13. 根据权利要求 9 所述的膜,其中所述膜沉积在 m 平面衬底的表面上,且所述 m 平面衬底的所述表面是朝向 [000-1] 方向呈介于 0.75° 与 1.50° 之间的斜切角度的斜切。
14. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述上表面的所述区域比图 2(a) 到图 2(b)、图 3(a) 到图 3(f)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5、图 6(a) 到图 6(b)、图 7(a) 到图 7(c)、图 8(a) 到图 8(c) 或图 9(d) 到图 9(f) 中所示的上表面光滑且平坦。
15. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述上表面的所述区域比特征为具有 $8.4 \times 10^2 \text{cm}^{-2}$ 的密度、10 微米的大小和 0.1° 的倾角的金字塔形小丘的表面光滑。
16. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述上表面的所述区域比特征为具有 $1.1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的密度的金字塔形小丘的表面光滑。
17. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述上表面具有至少与图 7(d) 到图 7(f)、图 8(d) 到图 8(f) 或图 9(a) 到图 9(c) 中所示的表面一样光滑的光滑度或表面粗糙度。
18. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述膜为 m 平面 GaN 膜,且所述上表面为所述 m 平

面 GaN 膜的 m 平面。

19. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述装置层具有至少与所述膜的所述上表面一样光滑的上表面。

20. 根据权利要求 7 所述的膜,其中所述上表面的表面光滑度或粗糙度如所生长的一般。

生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的装置

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案根据 35U. S. C. 章节 119(e) 主张以下共同待决且共同转让的美国临时专利申请案的权益：

[0003] 罗伯特·M·法雷尔 (Robert M. Farrell)、迈克尔·艾扎 (Michael Iza)、詹姆斯·S·司倍克 (James S. Speck)、史蒂文·P·登巴斯 (Steven P. DenBaars) 以及中村修二 (Shuji Nakamura) 在 2009 年 3 月 2 日申请的标题为“改进 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的表面形态的方法以及生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的装置 (METHOD OF IMPROVING SURFACE MORPHOLOGY OF (Ga, Al, In, B)N THIN FILMS AND DEVICES GROWN ON NONPOLAR OR SEMIPOLAR (Ga, Al, In, B)N SUBSTRATES)”的代理人案号为 30794. 306-US-P1 (2009-429-1) 的第 61/156, 710 号美国临时专利申请案；以及

[0004] 罗伯特·M·法雷尔、迈克尔·艾扎、詹姆斯·S·司倍克、史蒂文·P·登巴斯以及中村修二在 2009 年 6 月 5 日申请的标题为“改进 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的表面形态的方法以及生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的装置 (METHOD OF IMPROVING SURFACE MORPHOLOGY OF (Ga, Al, In, B)N THIN FILMS AND DEVICES GROWN ON NONPOLAR OR SEMIPOLAR (Ga, Al, In, B)N SUBSTRATES)”的代理人案号为 30794. 306-US-P2 (2009-429-2) 的第 61/184, 535 号美国临时专利申请案；

[0005] 所述申请案以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0006] 本发明涉及半导体材料、方法和装置，且更明确地说，涉及非极性或半极性氮化物发光二极管 (LED) 和二极管激光器的生长。

背景技术

[0007] (注意：本申请案参考了许多不同公开案，这些公开案在本说明书通篇中通过括号内的一个或一个以上参考数字来指示，例如 [参考文献 x]。根据这些参考数字排序的这些不同公开案的清单可在标题为“参考文献”的部分下找到。这些公开案中的每一者以引用的方式并入本文中。)

[0008] 已充分确立了氮化镓 (GaN) 和 (Ga, Al, In, B)N 合金用以制造可见光和紫外光电子装置和高功率电子装置的有用性。当前工艺水平的氮化物薄膜、异质结构和装置是沿 [0001] 轴生长的。这些膜的总极化由自发极化和压电极化作用组成，两者均源自纤维锌矿 (würtzite) 氮化物结晶结构 102 的单极 [0001] 轴 100，如图 1(a) 中说明。当氮化物异质结构以赝晶 (pseudomorphically) 方式生长时，在结晶 102 内的表面（例如 c 平面的表面 104，如图 1(a) 中所示）以及界面处形成极化不连续性。这些不连续性导致载流子在表面和界面处累积或消耗，这又产生电场。由于这些极化引起的电场的对准与氮化物薄膜和异质结构的典型 [0001] 生长方向重合，故这些场具有使氮化物装置的能带“倾斜”的效应。

[0009] 在 c 平面纤维锌矿氮化物量子阱中，“倾斜”的能带使电子波函数 106 与空穴波函

数 108 空间分离,如图 1(b) 中所说明。此空间电荷分离降低了辐射跃迁的振子强度,且使发射波长发生红移。这些效应是量子限制斯塔克效应 (quantum confined Stark effect, QCSE) 的表现形式,且已针对氮化物量子阱进行了详尽地分析 [参考文献 5-8]。另外,较大的极化引起的电场可能部分被掺杂剂和注入的载流子屏蔽 [参考文献 9、10],从而使得难以准确地工程设计发射特性。

[0010] 此外,理论上已预测出,赝晶双轴应变对减小 c 平面纤维锌矿氮化物量子阱中的有效空穴质量具有很少影响 [参考文献 11]。这与典型的 III-V 闪锌矿 (zinc-blende) 型基于 InP 和基于 GaAs 的量子阱完全相反,在这些量子阱中,各向异性应变引起的重空穴带与轻空穴带分裂导致有效空穴质量显著减小。有效空穴质量的减小导致典型的 III-V 闪锌矿型基于 InP 和基于 GaAs 的量子阱中任何给定载流子密度的准费米能级差 (quasi-Fermi level separation) 显著增加。作为此准费米能级差增加的直接结果,需要小得多的载流子密度来产生光学增益 [参考文献 12]。然而,在纤维锌矿氮化物结晶结构的情况下,发生双轴应变的 c 平面氮化物量子阱中氮原子的六角对称性和小自旋轨道耦合产生可忽略的重空穴带与轻空穴带分裂 [参考文献 11]。因此,有效空穴质量仍比发生双轴应变的 c 平面氮化物量子阱中的有效电子质量大得多,且需要非常高的电流密度以在 c 平面氮化物二极管激光器中产生光学增益。

[0011] 一种减小氮化物装置中的极化效应的方法是在结晶的非极性平面上生长装置。这些平面包含: {11-20} 平面,统称为 a 平面;以及 {10-10} 平面,统称为 m 平面。这些平面中每平面含有相等数目的镓原子和氮原子,且为电荷中性的。随后的非极性层彼此相当,因此大块结晶不会沿生长方向极化。

[0012] 另一减小氮化物装置中的极化效应和有效空穴质量的方法是在结晶的半极性平面上生长装置。术语“半极性平面”可用于指无法归类为 c 平面、a 平面或 m 平面的任何平面。在结晶学术语中,半极性平面将为具有至少两个非零 h、i 或 k 米勒指数 (Miller index) 以及一个非零 l 米勒指数的任何平面。随后的半极性层彼此相当,因此大块结晶沿生长方向将具有较少的极化。

[0013] 不同于发生应变的 c 平面 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱,已预测到发生应变的非极性或非极性 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱应展现出重空穴带与轻空穴带的各向异性分裂,这将导致这些结构的有效空穴质量减少 [参考文献 13]。发生压缩应变的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱的多体光学增益的自洽计算 (Self-consistent calculation) 表明:峰值增益对有效空穴质量和净量子阱极化非常敏感,且随着大体的生长取向与 c 轴之间的角度增加,峰值增益应显著增加,由此使垂直于 c 轴 (即,在非极性平面上) 的生长取向达到最大值 [参考文献 14、15]。

[0014] 最后,商用的 c 平面氮化物 LED 在其电致发光中并不展现出任何程度的光学极化。另一方面,非极性或非极性氮化物 LED 在其电致发光中已表现出较强的光学极化 [参考文献 16-18]。此光学极化可归因于发生压缩应变的非极性或非极性 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱中由各向异性应变引起的重空穴带与轻空穴带分裂,从而导致不同光学矩阵元件的量值出现显著差异。

[0015] 然而,当前工艺水平的非极性或非极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底展现出不寻常的表面形态 [参考文献 2-4]。

[0016] 图 2(a) 到图 2(c) 是取自 [参考文献 2],其中图 2(a) 和图 2(b) 是分别展示显示

金字塔形小丘 200 的 m 平面 n 型 GaN 膜和 m 平面 LED 结构的上表面的诺曼斯基 (Nomarski) 光学显微照片, 且图 2(c) 是展示具有高度 h、宽度 w 和长度 l 的金字塔形小丘 200 的横截面的示意图, 且 m 平面 GaN 膜生长于标称轴上 m 平面 GaN 衬底上。

[0017] 图 3(a) 到图 3(g) 也取自 [参考文献 2], 其中图 3(a) 展示在显示四个金字塔面 (两个 a 倾斜面 a_1 和 a_2 , 以及两个 c^+ 倾斜面 c^+ 和 c^-) 的 $10 \times 10 \mu m^2$ 面积内的 n 型 GaN 膜的振幅图像, 其中金字塔的倾角相对于 a 倾斜金字塔面为 0.1° , 且相对于 c 倾斜面为 0.5° 到 0.6° , 图 3(b) 为 m 平面 LED 结构的振幅图像, 图 3(c) 到图 3(f) 分别是图 3(b) 中的 LED 结构的 c^- 、 a_1 、 a_2 和 c^+ 倾斜面的高度图像, 且图 3(g) 是展示 a^- 和 c^+ 倾斜小丘面装饰有微观金字塔 (图 3(d)、图 3(e) 和图 3(f) 中的小丘的平面图和横截面) 的示意图。

[0018] 图 4(a) 到图 4(b) 也取自 [参考文献 2], 且展示生长于具有不同斜切方向和斜切角度的离轴衬底上的 m 平面 GaN 膜的一系列诺曼斯基光学显微照片, 其中在图 4(a) 中, a 斜切角度的范围是以 0.1° 的增量从 0° 增加到 0.35° 以及 0.52° (从左到右), 且在图 4(b) 中, c^- 斜切角度从左到右分别为 0.01° 、 0.45° 、 5.4° 和 9.7° 。

[0019] 图 5 取自 [参考文献 3], 且展示通过光学微分相差显微术 (optical differential contrast microscopy) 观察到的在激光器结构外延生长之后 m 平面 GaN 衬底的表面形态。

[0020] 图 6(a) 到图 6(b) 取自 [参考文献 4], 其中图 6(a) 和图 6(b) 分别是在朝向 $\langle 0001 \rangle$ 方向呈 0.2° 和 2.2° 取向的倾斜衬底上生长的 m 平面 GaN 的诺曼斯基光学显微照片。

[0021] 需要提供较光滑的非极性和半极性膜。本发明将满足此需要。

发明内容

[0022] 本发明描述一种用于改进非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的表面形态的方法。所获得的光滑 (Ga, Al, In, B)N 薄膜可充当模板, 用于生长高性能非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器。可使用例如金属有机化学气相沉积法 (metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD) 和氢化物气相外延法 (hydride vapor phase epitaxy, HVPE) 等常见气相外延技术来生长 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。然而, 本发明同样适用于通过任何其它合适的气相生长技术进行的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜生长。

[0023] 非极性或半极性氮化物薄膜和异质结构的生长将提供一种减小纤维锌矿氮化物装置结构中的极化效应且减少纤维锌矿氮化物装置结构中的有效空穴质量的途径。术语“氮化物”、“(Ga, Al, In, B)N”或“III-氮化物”是指具有式 $Ga_wAl_xIn_yB_zN$ 的 (Ga, Al, In, B)N 半导体的任何合金组合物, 其中, $0 \leq w \leq 1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 且 $w+x+y+z=1$ 。当前市售的 LED 和二极管激光器是沿极性 $[0001]c$ 方向生长的。相关联的极化引起的电场和固有的较大有效空穴质量对于现有工艺水平的氮化物 LED 和二极管激光器的性能是有害的。在非极性或半极性平面上生长这些装置可通过减小极化引起的电场且减少有效空穴质量来显著改进装置性能。

[0024] 对于在蓝宝石上高温生长 c 平面 (Ga, Al, In, B)N, 大多数团体报告使用 100% H_2 作为载气。在典型的生长条件下, 将 100% H_2 用作载气将产生具有最低位错密度和最光滑外延表面的 c 平面 (Ga, Al, In, B)N 外延层 [参考文献 1]。然而, 当使用典型的 c 平面 (Ga, Al, In, B)N 生长条件在非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上再生长 (Ga, Al, In, B)N 时, 可能出现不寻常的表面形态 [参考文献 2-4]。

[0025] 本发明描述一种通过使用例如 N_2 等惰性载气来改进 (Ga, Al, In, B)N 薄膜在非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的生长形态的方法。举例来说,与 [参考文献 2-4] 中所生长的膜相比,本发明能够改进非极性和半极性膜的表面光滑度。

[0026] 改进的表面形态对于非极性或半极性氮化物装置的制造商来说可产生若干益处,包含(但不限于)给定装置中个别层的厚度、成分、掺杂、电性质以及发光特性更好的均匀性。此外,光滑表面对于非极性或半极性氮化物激光器二极管将尤其有益,由此引起光学散射损失的显著减少。

[0027] 因此,为了克服上文所述现有技术中的局限,且为了克服在阅读和理解了本说明书后将明白的其它局限,本发明揭示一种用于制造 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的方法,其包括:直接非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底或模板上生长 (Ga, Al, In, B)N 薄膜;以及在生长步骤期间使用载气,其中所述载气的至少一部分由惰性气体构成。

[0028] 所述方法可进一步包括提供衬底或模板,其具有远离低指数结晶取向的斜切。举例来说,所述衬底或模板可为 m 平面衬底或模板,所述斜切可具有朝向 [000-1] 方向的介于 0.75° 与 1.50° 之间的斜切角度,(Ga, Al, In, B)N 膜可生长于所述斜切的表面上。

[0029] 惰性气体可由以下各项中的一者或一者以上构成:氮气 (N_2)、氦气 (He)、氖气 (Ne)、氩气 (Ar)、氪气 (Kr) 或氙气 (Xe)。举例来说,载气的一部分或 100% 可为惰性气体。

[0030] 一个或一个以上装置层可沉积于膜的上表面上,且这些装置层可在至少一部分(或 100%)载气由 H_2 和 / 或 N_2 构成的情况下生长。所述一个或一个以上装置层可包括装置的一个或一个以上 p 型掺杂层,且所述 p 型掺杂层可在至少一部分(或 100%)载气由 H_2 构成的情况下生长。

[0031] 本发明进一步揭示一种非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 膜,其包括为非极性或半极性平面的上表面,这一表面具有平坦且光学上光滑的区域,使得所述区域当使用光学显微镜且在介于 400 纳米与 600 纳米之间的光波长下测量时不存在可识别的非平面表面起伏或特征,其中所述区域足够大以用作衬底供一个或一个以上装置层外延沉积在上表面的这一区域上,且这些装置层在 20 毫安 (mA) 的驱动电流下发射至少 2 毫瓦输出功率的光。

[0032] 所述区域可不具有条纹。

[0033] 举例来说,所述区域可为至少 100 微米见方。在 100 微米见方的区域内,所述上表面可为原子级光滑的,且表面粗糙度大约为上表面处 Ga、Al、In、B 和 N 原子的直径。在 100 微米见方的区域内,所述上表面可具有均方根 (RMS) 小于 0.5 或 0.25 纳米 (nm) 的表面粗糙度。

[0034] 所述上表面可比图 2(a)、图 2(b)、图 3(a) 到图 3(f)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5、图 6(a)、图 6(b)、图 7(a) 到图 7(c)、图 8(a) 到图 8(c) 或图 9(d) 到图 9(f) 中所示的上表面光滑且平坦。这一上表面可比特征为具有 $8.4 \times 10^2 \text{cm}^{-2}$ 或 $1.1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的密度、10 微米的大小和 / 或 0.1° 的倾角的金字塔形小丘的表面光滑。所述上表面可具有至少与图 7(d) 到图 7(f)、图 8(d) 到图 8(f) 或图 9(a) 到图 9(c) 中所示的表面一样光滑的光滑度或表面粗糙度。

[0035] 可将膜沉积在 m 平面衬底的表面上,且 m 平面衬底的表面可为朝向 [000-1] 方向呈介于 0.75° 与 1.50° 之间的斜切角度的斜切。

[0036] 所述膜可为 m 平面 GaN 膜,且所述上表面可为所述 m 平面 GaN 膜的 m 平面。所述

上表面的表面光滑度或粗糙度通常如所生长的一般。装置层的上表面可至少与膜的上表面一样光滑。

附图说明

[0037] 现在参看图式,其中相同参考编号始终表示对应部分:

[0038] 图 1(a) 是纤维锌矿氮化物结晶结构的示意图,且图 1(b) 是发生压缩应变的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱中因极化引起的电场的作用而弯曲的带的示意图,其中 E_c 是导带,且 E_v 是价带。

[0039] 图 2(a) 到图 2(c)、图 3(a) 到图 3(g)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5 以及图 6(a) 到图 6(b) 是 [参考文献 2-4] 中制造的 GaN 膜和 LED 结构的表面形态的图像。

[0040] 图 7(a) 到图 7(f) 以及图 8(a) 到图 8(f) 包括说明载气和斜切角度对在自立式 m 平面 GaN 衬底上生长的 GaN 薄膜的表面形态的影响的光学显微照片 (标度为 125 微米 (μm)),其中图 7(a) 到图 7(c) 以及图 8(a) 到图 8(c) 是以 H_2 载气制造,图 7(d) 到图 7(f) 以及图 8(d) 到图 8(f) 是以 N_2 载气制造,图 7(a) 和图 7(d) 是制造于具有 -0.05° 斜切的衬底上,图 7(b) 和图 7(e) 是制造于具有 0.45° 斜切的衬底上,图 7(c) 和图 7(f) 是制造于具有 0.61° 斜切的衬底上,图 8(a) 和图 8(d) 是制造于具有 1.03° 斜切的衬底上,图 8(b) 和图 8(e) 是制造于具有 1.88° 斜切的衬底上,且图 8(c) 和图 8(f) 是制造于具有 2.30° 斜切的衬底上,其中所有斜切均朝向 $[000-1]$ 方向。

[0041] 图 9(a) 到图 9(f) 包括说明 $[000-1]$ 斜切对原子级表面形态的影响的 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 原子力显微镜 (AFM) 扫描图像,其中箭头指示 $\langle 0001 \rangle$ 方向,图 9(a) 到图 9(f) 中朝向 $[000-1]$ 的斜切角度分别为 -0.06° 、 0.45° 、 0.89° 、 1.88° 、 2.30° 以及 3.24° ,且图 9(a) 到图 9(f) 中的 RMS 粗糙度分别为 0.134nm 、 0.176nm 、 0.221nm 、 0.620nm 、 0.625nm 以及 1.665nm 。

[0042] 图 10 展示对于 10 微米 (μm) 扫描区域,依据以度为单位的 $[000-1]$ 斜切角度 (即,朝 $[000-1]$ 方向的斜切) 而变的 RMS 粗糙度 (nm),展示了产生金字塔形小丘 (正方形)、原子级平坦表面 (圆形) 和横向条纹 (菱形) 的斜切角度,其中每一数据点为 3 次扫描的平均值。

[0043] 图 11 是根据本发明的 LED 装置结构的横截面示意图。

[0044] 图 12 是展示对于 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 大小的 LED,依据 $[000-1]$ 斜切角度 (度) (即,朝 $[000-1]$ 方向的斜切) 而变的输出功率 (毫瓦, mW) 的图,其中数据是在 20mA 驱动电流下收集得到,且每一数据点为 3 个数据点的平均值。

[0045] 图 13 是展示对于 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 大小的 LED,依据 $[000-1]$ 斜切 (即,朝 $[000-1]$ 方向的斜切) 而变的电致发光 (EL) 峰值波长 (nm) 的图,其中数据是在 20mA 驱动电流下收集得到,且每一数据点为 3 个数据点的平均值。

[0046] 图 14 是展示对于 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 大小的 LED,依据 $[000-1]$ 斜切 (即,朝 $[000-1]$ 方向的斜切) 而变的 EL 半高全宽 (Full-Width-at-Half-Maximum, FWHM) (nm) 的图,其中数据是在 20mA 驱动电流下收集得到,且每一数据点为 3 个数据点的平均值。

[0047] 图 15 是展示依据 $[000-1]$ 斜切 (即,朝 $[000-1]$ 方向的斜切) 而变的正向电压 (V) 的图。

[0048] 图 16 是说明本发明方法的流程图。

具体实施方式

[0049] 在优选实施例的以下描述中,将参考形成本发明的一部分的附图,且其中以说明的方式展示可实践本发明的特定实施例。应理解,可利用其它实施例,且可在不脱离本发明范围的情况下作出结构改变。

[0050] 概述

[0051] 非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器的实现使氮化物 LED 和二极管激光器的可制造性取得了多项进步。在非极性或半极性平面上生长氮化物 LED 和二极管激光器可通过减小极化引起的电场且经由各向异性应变引起的重空穴带与轻空穴带分裂来减少有效空穴质量,从而显著改进装置性能。减小极化引起的电场可增加氮化物 LED 中的辐射效率。同样,减小极化引起的电场和减少有效空穴质量可减小在氮化物二极管激光器中产生光学增益所必需的电流密度。这可导致氮化物 LED 和二极管激光器中发热显著减少,对于装置制造商来说,这一点可产生较长的装置寿命和较高的产量。

[0052] 然而,对于通常针对生长于非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜所观察到的不寻常的表面形态 [参考文献 2-4], 装置制造商将难以实现非极性或半极性氮化物装置的预期优点。本发明描述一种用于改进非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的表面形态的方法。改进的表面形态对于非极性或半极性氮化物装置制造商来说可产生若干益处,包含(但不限于)给定装置中个别层的厚度、成分、掺杂、电性质以及发光特性更好的均匀性。因此,本发明能够实现非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器的前述益处。

[0053] 本发明的目的是产生具有改进的可制造性和高性能的氮化物 LED 和二极管激光器。所提出的装置将用作各种商业、工业或科学应用的光源。预期这些非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器可应用于与 c 平面氮化物 LED 和二极管激光器一样的应用中。这些应用包含固态投影显示器、高分辨率打印机、高密度光学数据存储系统、新一代 DVD 播放器、高效固态照明、光学感测应用以及医疗应用。

[0054] 技术描述

[0055] 本发明描述一种通过使用惰性载气来改进非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜和装置的生长形态的方法。本发明已用实验演示了通过 MOCVD 生长于由三菱化学有限公司 (Mitsubishi Chemical Co., Ltd) 制造的自立式 m 平面 GaN 衬底上的 GaN 薄膜和装置的这些效应。这些衬底通过 HVPE 在 c 方向上生长,且接着被切片以暴露 m 平面表面。m 平面表面是通过化学和机械表面处理技术制备。如由制造商所测量,所述衬底具有小于 $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 的穿透位错密度、约 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的载流子浓度以及小于 1nm 的 RMS 表面粗糙度。

[0056] 除载气的变化以外, MOCVD 的生长条件非常类似于通常用于 c 平面 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的生长条件。所有 MOCVD 生长都是在大气压 (AP) 下以典型的 V/III 比率 (> 3000) 且在典型的生长温度 ($> 1000^\circ\text{C}$) 下执行。三甲基镓 (TMGa)、氨 (NH_3) 以及硅烷 (SiH_4) 分别用作 Ga、N 和 Si 的前体。用不同的载气来执行两个 GaN 模板生长,以确定载气对表面形态的影响。对于上述两种生长,将在 [000-1] 方向上具有既定斜切范围的若干自立式 m 平

面衬底同时装载到 MOCVD 反应器中。使样本在由 NH_3 和载气组成的氛围中倾斜升温到生长温度之后,约 $10\text{ }\mu\text{m}$ 厚度的 Si 掺杂的 GaN 薄膜生长于自立式 m 平面 GaN 衬底之上。GaN 薄膜在高温下直接生长于自立式 m 平面 GaN 衬底之上,而不使用低温 GaN 成核层。在生长过程期间,所有载气和前体均保持恒定的流率。最后,在 GaN 薄膜生长结束时,使样本在由 NH_3 和 N_2 组成的环境中倾斜降回到室温。

[0057] 图 7(a) 到图 7(f) 以及图 8(a) 到图 8(f) 包括说明载气和斜切角度对分别生长于自立式 m 平面 GaN 衬底上的 GaN 薄膜 700a、700b、700c、700d、700e、700f、800a、800b、800c、800d、800e 和 800f 的表面形态的影响的光学显微照片。所列角度对应于衬底的朝向 $[000-1]$ 方向的斜切。图 7(a) 到图 7(c) 以及图 8(a) 到图 8(c) 中所示的样本 700a 到 700c 以及 800a 到 800c 分别 (总共 6 个样本) 通过同时将自立式 m 平面 GaN 衬底装载到 MOCVD 反应器中且在 100% H_2 载气下生长 GaN 膜 700a 到 700c 以及 800a 到 800c 来制造,而图 7(d) 到图 7(f) 以及图 8(d) 到图 8(f) 中所示的样本 700d 到 700f 以及 800d 到 800f 分别 (也总共 6 个样本) 通过同时将自立式 m 平面 GaN 衬底装载到 MOCVD 反应器中且在 100% N_2 载气下生长 GaN 膜 700d 到 700f 以及 800d 到 800f 来制造。如从显微照片可见,载气的选择对表面形态具有相当大的影响。对于具有小于 0.61° 的小 $[000-1]$ 斜切角度的样本 700a 到 700f,使用 H_2 载气导致表面 702a、702b、702c 分别具有相对较大且连续的金字塔形小丘 704a、704b、704c [参考文献 2],而使用 N_2 载气导致表面 702d、702e 和 702f 分别具有空间分离的中等大小的金字塔形小丘 706、708、710,以及其间的区域分别装饰非常小的金字塔形小丘 712、714、716。对于较大的 $[000-1]$ 斜切角度,使用 H_2 载气导致表面 802a、802b、802c 分别具有非常粗糙的石板状形态 804a、804b、804c,而使用 N_2 载气导致光学上光滑的表面 802d、802e、802f,同时不存在可识别的表面特征 (例如在表面 802d 到 802f 的区域 806 内)。

[0058] 图 9(a) 到图 9(f) 分别包括说明 $[000-1]$ 斜切对 GaN 膜 902a、902b、902c、902d、902e 和 902f 的原子级表面形态 900a、900b、900c、900d、900e 和 900f 的影响的 $10\text{ }\mu\text{m} \times 10\text{ }\mu\text{m}$ AFM 扫描图像。在存在金字塔形小丘的样本上,从面向 $[000-1]$ 方向的金字塔形小面收集 AFM 数据,因为此方向是所研究的斜切的方向。对于 $[000-1]$ 斜切角度小于约 1.5° 的衬底上的膜 902a 到 902c,发现样本表面 900a 到 900c 在原子级标度上非常光滑。然而,对于 $[000-1]$ 斜切角度大于约 1.5° 的衬底上的膜 902d 到 902f,表面形态 900d 到 900f 变为高密度横向条纹 904、906、908 占优势。

[0059] 图 10 展示依据 $[000-1]$ 斜切角度而变的 RMS 粗糙度。如从图 10 可见,对于大于 1.5° 的 $[000-1]$ 斜切角度, RMS 粗糙度急剧增加,这主要是由横向条纹 904、906、908 的高密度所致。然而,如图 7(a) 到图 7(c) 中所示, $[000-1]$ 斜切角度小于 0.61° 的样本 700a 到 700f 被高密度的金字塔形小丘 704a、704b、704c、706、708、710、712、714、716 覆盖,而不管其原子级光滑度如何。因为这些原因,本发明总结出 m 平面生长的最佳 $[000-1]$ 斜切角度在介于 0.75° 与 1.5° 之间的某一处。

[0060] 在演示了 MOCVD 生长的光滑 GaN 膜 (例如 800d 到 800f) 之后,在 GaN 膜之上生长 (Ga, Al, In, B)N 激光器结构,以确立这些膜作为如用于生长高质量 (Ga, Al, In, B)N 装置的基座一样的光滑模板的耐久性,如图 11 中所示。

[0061] 对于装置 1100 的生长,将具有在 $[000-1]$ 方向上呈角度 1104 (相对于非极性平

面,例如m平面1106)的既定斜切范围的若干MOCVD生长的Ga_N模板1102同时装载到MOCVD反应器中。使样本在由NH₃和载气组成的氛围中倾斜升温到生长温度之后,具有约2 μm厚度1110的Si掺杂的Ga_N薄膜1108在100% N₂载气中生长于Ga_N模板1102之上。在Si掺杂的Ga_N层1108生长之后,在100% N₂载气中生长5周期多量子阱(MQW)1112,其具有8nm厚度1114的InGa_N阱1116以及8nm厚度1118a、1118b的Ga_N势垒1120a、1120b。接下来,在100% N₂载气中生长具有15nm厚度1122的Mg掺杂的p-AlGa_N电子阻挡层1124。最后,在100% H₂载气中生长具有750nm厚度1126的Mg掺杂的p-Ga_N层1128以及具有20nm厚度1130的Mg掺杂的p⁺⁺-Ga_N接触层1132。尽管在100% H₂载气中生长p-Ga_N 1128和p⁺⁺-Ga_N接触层1132,但最终外延表面1134、1136仍维持在100% N₂载气中生长的下伏(Ga,Al,In,B)N层1108、1116、1120a、1120b、1124的表面1138、1140a、1140b、1140c和1142的光滑形态。斜切具有表面1146。

[0062] 在MOCVD生长之后,将激光器结构1100制造到具有200/3000Å Pd/Au p型接触的300 μm×300 μm LED中。所有测量都是通过在20mA注入电流下进行的晶片上探测执行。直流(dc)条件下的相对光功率测量值是由穿过Ga_N衬底1102到达经校准的大面积Si光电二极管上的背面1144发射获得的。图12到图15概述依据模板斜切而变的激光器结构的电学和光学性质。

[0063] 如图12中所示,相对光功率随着模板斜切增加而略有减小。然而,这一测量到的输出功率减小可归因于由表面粗糙度随模板取向的增加而减小所导致的光提取效率降低。图13和图14概述依据模板斜切1104而变的EL光谱。如图13和图14中所说明,随着模板斜切增加,EL峰值波长和EL FWHM两者非常均匀。最后,如图15所示,20mA下的正向电压随着斜切角度增加仍相对较低且恒定。

[0064] 本发明的一个实施例包括在自立式非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N衬底上生长(Ga,Al,In,B)N薄膜。然而,本发明的范围还包含在所有可能的外来衬底的所有可能的结晶取向上生长的非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N薄膜。

[0065] 工艺步骤

[0066] 图16是说明根据本发明一个实施例的制造装置(例如,(Ga,Al,In,B)膜)的方法的流程图。所述方法可包括以下步骤。

[0067] 框1600表示提供具有远离低指数结晶取向的斜切的非极性或半极性衬底或模板的步骤。举例来说,衬底或模板1102通常为具有朝向[000-1]方向呈介于0.75°与1.50°之间的斜切角度1104的斜切的m平面衬底或模板(所述斜切通常具有某一量值、方向和表面1146)。所述衬底可为(Ga,Al,In,B)N衬底,例如自立式(Ga,Al,In,B)N衬底。可通过将外来衬底从较厚的非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N层去除或通过将大块的(Ga,Al,In,B)N锭料或台基锯成个别非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N晶片来产生(Ga,Al,In,B)N衬底。模板可为例如外来衬底上的(Ga,Al,In,B)N模板。举例来说,可通过外延横向过生长(EL0)来生长(Ga,Al,In,B)N模板。

[0068] 框1602表示(例如直接)在非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N衬底或模板上生长(Ga,Al,In,B)N(例如薄)膜的步骤。(Ga,Al,In,B)N膜1108可在非极性或半极性(Ga,Al,In,B)N衬底或模板1102的表面(例如,具有表面1146的斜切)上。

[0069] 框1604表示在框1102的生长步骤期间使用载气的步骤,其中在生长期间使用的

载气的至少一部分由惰性气体构成。惰性气体可由 N_2 、He、Ne、Ar、Kr 和 / 或 Xe 构成。举例来说,100%的载气可为惰性气体。

[0070] 载气的成分,和 / 或斜切的方向和 / 或量值可经选择以影响 (Ga, Al, In, B)N 薄膜和 / 或任何后续层的以下性质中的至少一者:表面形态、生长速率、合金成分、发光特性和电性质。

[0071] (Ga, Al, In, B)N 薄膜可包括具有不同或分级成分的多个层。举例来说, (Ga, Al, In, B)N 薄膜可生长于 Ga 极性平面或 N 极性平面上。(Ga, Al, In, B)N 薄膜可掺杂有例如 Fe、Si、Zn 和 / 或 Mg 等元素。然而, (Ga, Al, In, B)N 薄膜也可未经既定掺杂。(Ga, Al, In, B)N 薄膜可含有成核层或缓冲层。

[0072] 框 1606 表示通过前述步骤制造的膜。可将 (Ga, Al, In, B)N 薄膜用作后续生长的衬底,例如通过氢化物气相外延 (HVPE)、金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 和 / 或分子束外延 (molecular beam epitaxy, MBE) 进行的生长。

[0073] 框 1606 的 (例如) 膜 1108 可为包括作为非极性或非极性平面的上表面 1138 的非极性或非极性 (Ga, Al, In, B)N 膜,所述表面 1138 具有平坦且光学上光滑的区域,使得所述区域当使用光学显微镜在介于 400nm 与 600nm 之间的光波长下测量时不存在可识别的非平面表面起伏或特征 200、704a 到 704c、706、708、710、712、714、716,其中所述区域足够大以用作衬底供一个或一个以上装置层 1112、1116、1124、1128、1132 外延沉积在上表面 1138 的这一区域上,且装置层 1116 在 20 毫安的驱动电流下发射具有至少 2 毫瓦输出功率的光。所述区域可为图 8(d) 到图 8(f) 中所示的表面 802d 到 802f 的区域 806,或图 9(a) 到图 9(c) 中所示的表面形态 900a 到 900c 的区域,例如至少 100 微米见方。

[0074] 在 100 微米见方的区域内,上表面 1138 可为原子级光滑的,且表面粗糙度大约为上表面 1138 处 Ga、Al、In、B 和 N 原子的直径。所述区域可不具有条纹,例如横向条纹 904、906、908。在 100 微米见方的区域内,上表面 1138 可具有 RMS 小于 0.5nm 或 0.25nm 的表面粗糙度。

[0075] 膜 1108 可沉积在 m 平面衬底 1102 的表面 1146 上,且表面 1146 可为 m 平面衬底的朝向 [000-1] 方向呈介于 0.75° 与 1.50° 之间的斜切角度 1104 的斜切。

[0076] 上表面 1138 可比图 2(a) 到图 2(b)、图 3(a) 到图 3(f)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5、图 6(a) 到图 6(b)、图 7(a) 到图 7(c)、图 8(a) 到图 8(c) 和 / 或图 9(d) 到图 9(f) 中所示的上表面光滑且平坦。举例来说,与图 2(a) 到图 2(b)、图 3(a) 到图 3(f)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5、图 6(a) 到图 6(b)、图 7(a) 到图 7(c)、图 8(a) 到图 8(c) 和 / 或图 9(d) 到图 9(f) 中所示的表面相比,上表面 1138 可具有带有相对于平面表面 204、1138、800d 到 800f 倾斜的表面 202 的可识别性较小 (或密度较小) 的结构 200 (例如,所述可识别结构可为金字塔形结构 200、小丘、特征、表面起伏或表面条纹)。平面表面 204、1138 通常大体上平行于衬底表面 1146。

[0077] 与图 2(a) 到图 2(b)、图 3(a) 到图 3(f)、图 4(a) 到图 4(b)、图 5、图 6(a) 到图 6(b)、图 7(a) 到图 7(c)、图 8(a) 到图 8(c) 和 / 或图 9(d) 到图 9(f) 中所示的表面起伏或金字塔形小丘相比,上表面 1138 可具有大小较小的表面起伏、特征或金字塔形小丘。举例来说,上表面 1138 相比膜的上表面可更光滑或具有更小的表面粗糙度,其中斜切角度 1104 远离 [000-1] 方向且小于 0.75° ,或远离 [000-1] 方向且大于 1.50° 。

[0078] 上表面 1138 可比特征为具有 $8.4 \times 10^2 \text{cm}^{-2}$ 或 $1.1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的密度、10 微米的大小和 / 或 0.1° 的倾角的金字塔形小丘的表面光滑且平坦。举例来说, 上表面 1138 可具有至少与图 7(d) 到图 7(f)、图 8(d) 到图 8(f) 和 / 或图 9(a) 到图 9(c) 所示的 702d 到 702f、802d 到 802f、900a 到 900c 一样光滑的光滑度或表面粗糙度。

[0079] 所述膜可为 m 平面 GaN 膜, 且上表面 1138 可为 GaN 的 m 平面。上文所述的上表面的表面光滑度或粗糙度可如所生长的一般 (即, 直接由生长产生), 但可在生长之后执行表面处理 (例如, 抛光 / 清洗)。

[0080] 框 1608 表示在框 1606 的膜的上表面 1138 上沉积 (例如, 生长) 一个或一个以上装置层 1112、1124、1128、1132 的步骤。可在至少一部分 (或 100%) 载气由 H_2 构成的情况下生长装置层 1112、1124、1128、1132。所述一个或一个以上装置层 1112、1124、1128、1132 可包括一个或一个以上 p 型掺杂层 1124、1128、1132, 其可在至少一部分 (或 100%) 载气由 H_2 构成的情况下生长。装置层 1112、1124、1128、1132 可具有上表面 1134、1136、1140c, 其至少与膜 1108 的上表面 1138 一样光滑。

[0081] 框 1610 表示先前步骤的最终结果, 例如非极性或半极性 LED、激光器或晶体管等装置 (例如光电子装置)。

[0082] 可能的修改

[0083] 在不脱离本发明范围的情况下, 例如生长温度、生长压力、V/III 比率、前体流和源材料等 MOCVD 生长条件的变化也是可能的。界面质量的控制是本工艺的一个重要方面, 且直接与特定反应器设计的流切换能力有关。生长条件的不断优化可引起对上文所述非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的更准确的成分和厚度控制。

[0084] 通过在 100% N_2 载气中生长膜来改进上文所述非极性 GaN 薄膜的表面形态。然而, 本发明的范围还涵盖在载气的一部分是由惰性气体构成的任何载气中生长非极性或半极性氮化物 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。此惰性气体可包含 N_2 、He、Ne、Ar、Kr 和 / 或 Xe。这些载气和此处未列出的其它载气的使用均在本发明的范围内。

[0085] 上文所述的薄膜是由直接生长于自立式非极性 GaN 衬底上的单一同质且连续的 GaN 层构成。然而, 本发明的范围还涵盖由具有不同或分级成分的多个层构成的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。

[0086] 额外的杂质或掺杂剂也可并入本发明中所描述的非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜中。举例来说, 常常将 Fe、Mg、Si 和 Zn 添加到氮化物异质结构中的各个层, 以改变这些层和邻近层的传导性质。这些掺杂剂和本文未列出的其它掺杂剂的使用在本发明的范围内。

[0087] 本发明的范围也不仅仅涵盖技术描述中所陈述的一个非极性取向 (m 平面)。此观念也与可用于生长基于氮化物的半导体装置的所有非极性和半极性平面有关。术语“非极性平面”包含 {11-20} 平面, 统称为 a 平面; 以及 {10-10} 平面, 统称为 m 平面。术语“半极性平面”可用于指无法被归类为 c 平面、a 平面或 m 平面的任何平面。在结晶学术语中, 半极性平面可为具有至少两个非零 h、i 或 k 米勒指数以及一个非零 l 米勒指数的任何平面。

[0088] 本发明还涵盖特定结晶极性的选择。本文件通篇使用的波形括号 {} 表示对称等效的平面族。因此, {10-12} 族包含 (10-12)、(-1012)、(1-102)、(-1102)、(01-12) 和 (0-112) 平面。所有这些平面均为 Ga 极性的, 意味着结晶的 c 轴指向远离衬底的方向。同

样, {10-1-2} 族包含 (10-1-2)、(-101-2)、(1-10-2)、(-110-2)、(01-1-2) 和 (0-11-2) 平面。所有这些平面均为 N 极性的, 意味着结晶的 c 轴将指向衬底。单个结晶族内的所有平面对于本发明的目的来说是等效的, 但极性的选择可影响生长过程的行为。在一些应用中, 将希望在 N 极性的半极性平面上生长, 而在其它情况下, 在 Ga 极性的平面上生长将是优选的。两种极性对于本发明的实践来说均为可接受的。

[0089] 此外, 可将除自立式非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底外的衬底用于 (Ga, Al, In, B)N 薄膜生长。本发明的范围包含在所有可能的外来衬底的所有可能的结晶取向上生长非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。这些外来衬底包含 (但不限于) 碳化硅、氮化镓、硅、氧化锌、氮化硼、铝酸锂、铈酸锂、锆、氮化铝、镓酸锂、部分取代的尖晶石以及共有 γ -LiAlO₂ 结构的四元四方氧化物 (quaternary tetragonal oxide)。

[0090] 此外, 非极性或半极性氮化物成核 (或缓冲) 层以及成核层生长方法的变化对于本发明的实践来说是可接受的。成核层的生长温度、生长压力、取向和成分无需与后续非极性或半极性薄膜和异质结构的生长温度、生长压力、取向和成分匹配。本发明的范围包含使用所有可能的成核层和成核层生长方法在所有可能的衬底上生长非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。

[0091] 上文所述的非极性 GaN 薄膜是生长于自立式非极性 GaN 衬底上。然而, 本发明的范围还涵盖生长于外延横向过生长 (ELO) (Ga, Al, In, B)N 模板上的非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜。ELO 技术是一种减小后续外延层中穿透位错 (TD) 的密度的方法。减小 TD 密度可引起装置性能的改进。对于 c 平面氮化物 LED 和二极管激光器, 这些改进可包含增加的输出功率、增加的内部量子效率、较长的装置寿命以及减小的阈值电流密度 [参考文献 19]。这些优点将与生长于 ELO 模板上的所有非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器有关。

[0092] 上文所呈现的技术描述论述了非极性 GaN 薄膜在自立式非极性 GaN 衬底上的生长, 这些薄膜是在 c 方向上通过 HVPE 进行生长的, 且接着被切片以暴露 m 平面表面。还可通过将外来衬底从较厚的非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 层去除、通过将大块的 (Ga, Al, In, B)N 锭料或台基锯成个别的非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 晶片, 或通过任何其它可能的结晶生长或晶片制造技术, 来产生自立式非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底。本发明的范围包含通过任何可能的结晶生长方法和晶片制造技术来产生非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 薄膜在所有可能的自立式非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 晶片上的生长。

[0093] 优点和改进

[0094] 现有的实践是沿极性 [0001]c 方向生长氮化物 LED 和二极管激光器。相关联的极化引起的电场和固有的较大有效空穴质量对现有工艺水平的 c 平面氮化物 LED 和二极管激光器的性能是有害的。氮化物 LED 和二极管激光器在非极性或半极性平面上的生长可通过减小极化效应且减少有效空穴质量来显著改进装置性能。

[0095] 本发明描述一种用于改进非极性或半极性 (Ga, Al, In, B)N 衬底上的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜的表面形态的方法。这些光滑的 (Ga, Al, In, B)N 薄膜可为高性能的非极性或半极性氮化物 LED 和二极管激光器的生长充当模板。对于在蓝宝石上高温生长 c 平面 (Ga, Al, In, B)N, 大多数团体报告使用 100% H₂ 作为载气。在典型的生长条件下, 将 100% H₂ 用作载气会产生具有最低位错密度和最光滑外延表面的 c 平面 (Ga, Al, In, B)N 外延层 [参考文献

1]。然而,当将典型的c平面(Ga, Al, In, B)N生长条件用于(Ga, Al, In, B)N在非极性或半极性(Ga, Al, In, B)N衬底上的再生长时,可能出现不寻常的表面形态[参考文献2-4]。本发明描述一种通过使用例如N₂等惰性载气来改进非极性或半极性(Ga, Al, In, B)N衬底上的(Ga, Al, In, B)N薄膜的生长形态的方法。

[0096] 改进的表面形态对于非极性或半极性氮化物装置的制造商来说可产生若干益处,包含(但不限于)给定装置中个别层的厚度、成分、掺杂、电性质以及发光特性更好的均匀性。此外,光滑表面对于非极性或半极性氮化物激光器二极管将尤其有益,由此引起光学散射损失的显著减少。

[0097] 本发明的应用包含固态投影显示器、高分辨率打印机、高密度光学数据存储系统、新一代DVD播放器、高效固态照明、光学感测应用以及医疗应用。

[0098] 参考文献

[0099] 以下参考文献以引用的方式并入本文中。

[0100] 1. Y·S·赵(Y. S. Cho)、H·哈特德根(H. Hardtdegen)、N·卡鲁扎(N. Kaluza)、R·斯坦(R. Steins)、G·海德堡(G. Heidelberger)以及H·卢斯(H. Luth),《晶体生长杂志》(J. Cryst. Growth),307,6(2007)。

[0101] 2. A·平井(A. Hirai)、Z·贾(Z. Jia)、M·C·施密特(M. C. Schmidt)、R·M·法雷尔(R. M. Farrell)、S·P·登巴斯(S. P. DenBaars)、S·中村(S. Nakamura)、J·S·司倍克(J. S. Speck)、K·藤东(K. Fujito),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.),91,191906(2007)。

[0102] 3. Y·津田(Y. Tsuda)、M·太田(M. Ohta)、P·O·瓦卡罗(P. O. Vaccaro)、S·伊藤(S. Ito)、S·比留川(S. Hirukawa)、Y·川口(Y. Kawaguchi)、Y·藤代(Y. Fujishiro)、Y·高平(Y. Takahira)、Y·植田(Y. Ueta)、T·高仓(T. Takakura)以及T·汤浅(T. Yuasa),《应用物理学快讯》(Appl. Phys. Express),1,011104(2008)。

[0103] 4. K·冈本(K. Okamoto)、H·太田(H. Ohta)、D·仲川(D. Nakagawa)、M·园部(M. Sonobe)、J·市原(J. Ichihara)以及H·高须(H. Takasu),《日本应用物理学杂志》(Jpn. J. Appl. Phys.),45,L1197(2006)。

[0104] 5. T·竹内(T. Takeuchi)、S·相太(S. Sota)、M·桂川(M. Katsuragawa)、M·小森(M. Komori)、H·竹内(H. Takeuchi)、H·天野(H. Amano)以及I·赤崎(I. Akasaki),《日本应用物理学杂志》(Jpn. J. Appl. Phys.),36,L382(1997)。

[0105] 6. P·勒费弗尔(P. Lefebvre)、A·莫雷尔(A. Morel)、M·嘉勒特(M. Gallart)、T·塔列希欧(T. Taliercio)、J·阿莱格尔(J. Allegre)、B·吉尔(B. Gil)、H·马蒂厄(H. Mathieu)、B·达米拉诺(B. Damilano)、N·格兰德让(N. Grandjean)以及J·马西斯(J. Massies),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.),78,1252(2001)。

[0106] 7. N·格兰德让(N. Grandjean)、B·达米拉诺(B. Damilano)、S·达拉马索(S. Dalmaso)、M·勒鲁(M. Leroux)、M·劳(M. Laugt)以及J·马西斯(J. Massies),《应用物理学杂志》(J. Appl. Phys.),86,3714(1999)。

[0107] 8. J·S·艾姆(J. S. Im)、H·科勒默(H. Kollmer)、J·奥夫(J. Off)、A·索默(A. Sohmer)、F·斯科尔茨(F. Scholz)以及A·汉格雷特(A. Hangleiter),《物理评论B》(Phys. Rev. B),57,R9435(1998)。

[0108] 9. A·迪卡罗 (A. Di Carlo)、F·德拉莎拉 (F. Della Sala)、P·拉格利 (P. Lugli)、V·费奥伦提尼 (V. Fiorentini) 以及 F·伯纳迪尼 (F. Bernardini),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.), 76, 3950 (2000)。

[0109] 10. F·德拉莎拉 (F. Della Sala)、A·迪卡罗 (A. Di Carlo)、P·拉格利 (P. Lugli)、F·伯纳迪尼 (F. Bernardini)、V·费奥伦提尼 (V. Fiorentini)、R·斯科尔茨 (R. Scholz) 以及 J·M·安川 (J. M. Jancu),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.), 74, 2002 (1999)。

[0110] 11. M·铃木 (M. Suzuki) 和 T·上野山 (T. Uenoyama),《日本应用物理学杂志》(Jpn. J. Appl. Phys.), 35, 1420 (1996)。

[0111] 12. E·亚布洛诺维基 (E. Yablonovitch) 和 E·O·凯恩 (E. O. Kane),《光波技术杂志》(J. Lightwave Tech.), 4, 504 (1986)。

[0112] 13. S·H·帕克 (S. H. Park),《应用物理学杂志》(J. Appl. Phys.), 91, 9904 (2002)。

[0113] 14. S·H·帕克 (S. H. Park),《日本应用物理学杂志》(Jpn. J. Appl. Phys), 42, L170 (2003)。

[0114] 15. S·H·帕克 (S. H. Park),《应用物理学杂志》(J. Appl. Phys.), 93, 9665 (2003)。

[0115] 16. N·F·嘉德纳 (N. F. Gardner)、J·C·金 (J. C. Kim)、J·J·韦耶尔 (J. J. Wierer)、Y·C·申 (Y. C. Shen) 以及 M·R·克雷姆 (M. R. Krames),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.), 86, 111101 (2005)。

[0116] 17. H·增井 (H. Masui)、A·查克拉波尔迪 (A. Chakraborty)、B·A·哈斯科尔 (B. A. Haskell)、U·K·米希拉 (U. K. Mishra)、J·S·司倍克 (J. S. Speck)、S·中村 (S. Nakamura)、S·P·登巴斯 (S. P. Denbaars),《日本应用物理学杂志》(Jpn. J. Appl. Phys), 44, L1329 (2005)。

[0117] 18. T·小山 (T. Koyama)、T·小沼 (T. Onuma)、H·增井 (H. Masui)、A·查克拉波尔迪 (A. Chakraborty)、B·A·哈斯科尔 (B. A. Haskell)、S·凯勒 (S. Keller)、U·K·米希拉 (U. K. Mishra)、J·S·司倍克 (J. S. Speck)、S·中村 (S. Nakamura)、S·P·登巴斯 (S. P. Denbaars)、T·相太 (T. Sota)、S·F·秩父 (S. F. Chichibu),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.), 89, 091906 (2006)。

[0118] 19. S·中村 (S. Nakamura)、M·千樱 (M. Senoh)、S·长滨 (S. Nagahama)、N·岩佐 (N. Iwasa)、T·山田 (T. Yamada)、T·松下 (T. Matsushita)、H·日野 (H. Kiyoku)、Y·杉本 (Y. Sugimoto)、T·幸崎 (T. Kozaki)、H·梅本 (H. Umemoto)、M·佐野 (M. Sano) 以及 K·乔乔 (K. Chocho),《应用物理学快报》(Appl. Phys. Lett.), 72, 211 (1998)。

[0119] 20. S·中村 (S. Nakamura) 和 G·法索尔 (G. Fasol),《蓝色激光器二极管》(The Blue Laser Diode), (位于海登堡的斯普林格出版社 (Springer, Heidelberg), 1997)。本书提供对 c 平面 (Ga, Al, In, B)N 光电子技术的概述。

[0120] 21. L·科登 (L. Coldren) 和 S·科铮 (S. Corzine),《二极管激光器和光子集成电路 (Diode lasers and Photonic Integrated Circuits), (位于纽约的威立公司在线出版平台 (Wiley Interscience, New York), 1995)。第 4 章和附录 8 到 11 论述了与应变量子阱激光器有关的理论。

[0121] 总结

[0122] 此部分总结本发明优选实施例的描述。为了说明和描述的目的,已经呈现了对本

发明一个或一个以上实施例的前述描述。前述描述无意为详尽的或将本发明限于所揭示的精确形式。鉴于以上教导,许多修改和变化是可能的。本发明的范围拟不受此详细描述限制,而是受所附权利要求书限制。

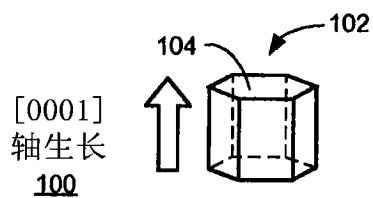


图 1(a)

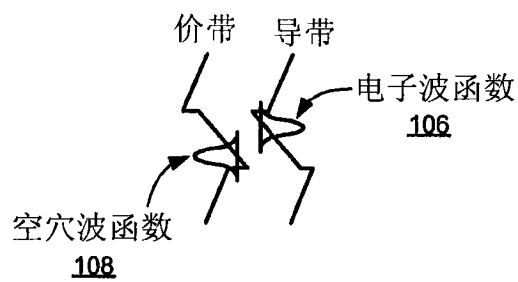


图 1(b)

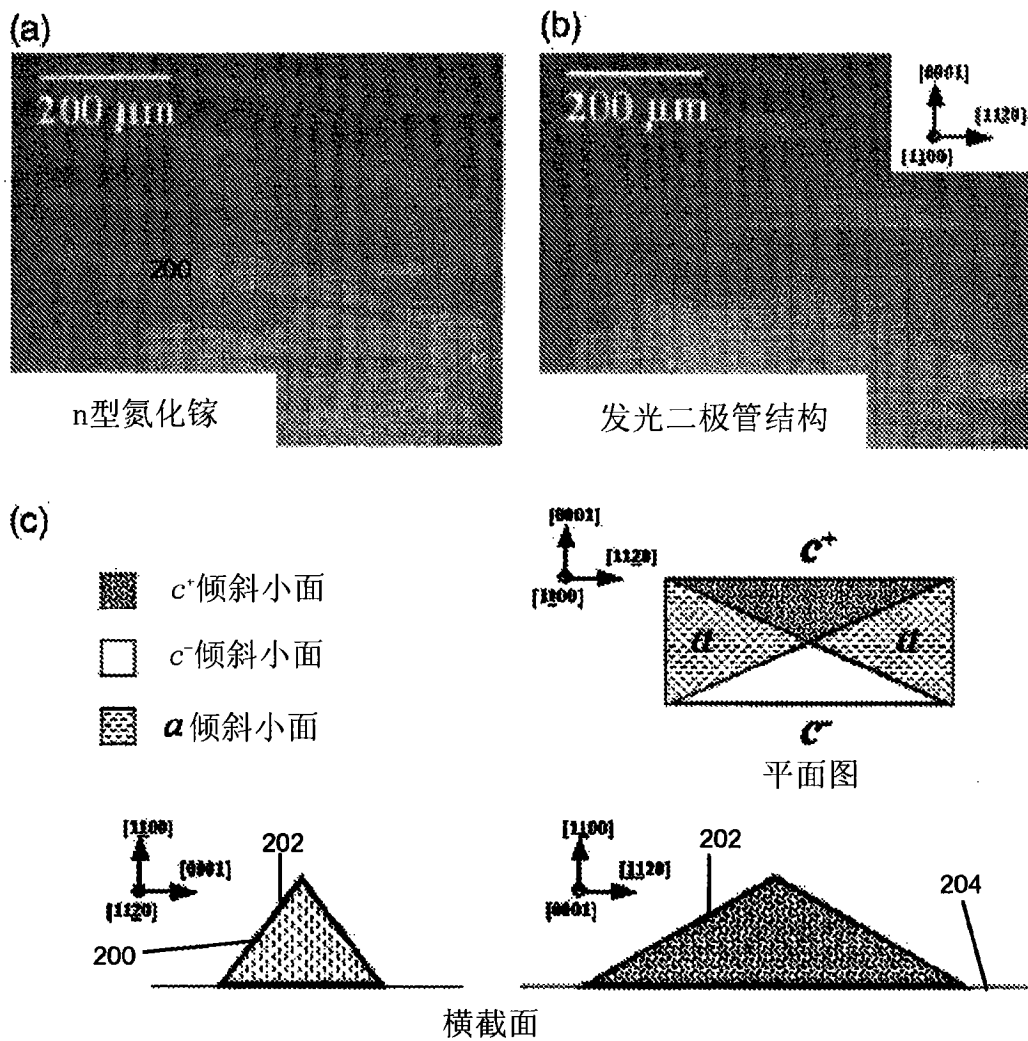


图 2

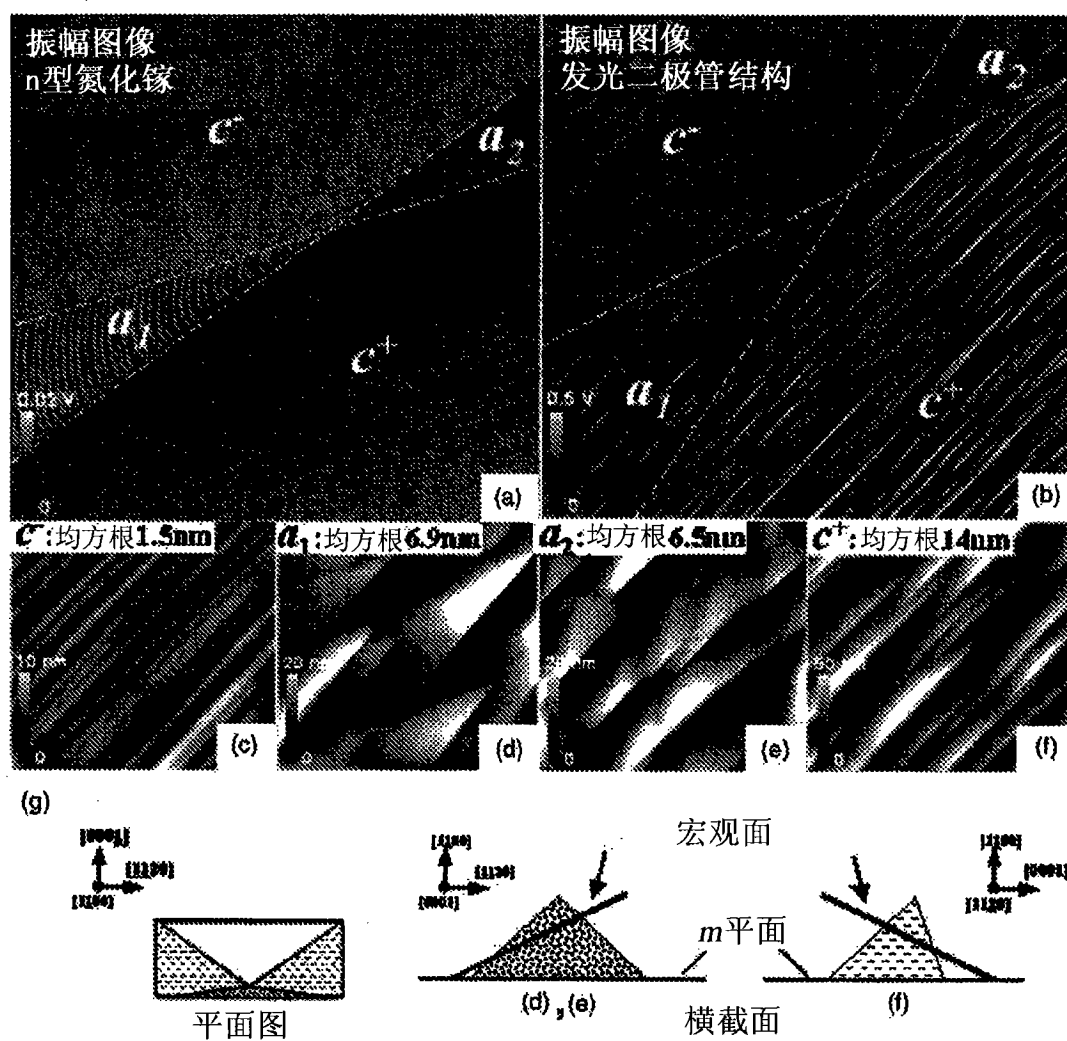


图 3

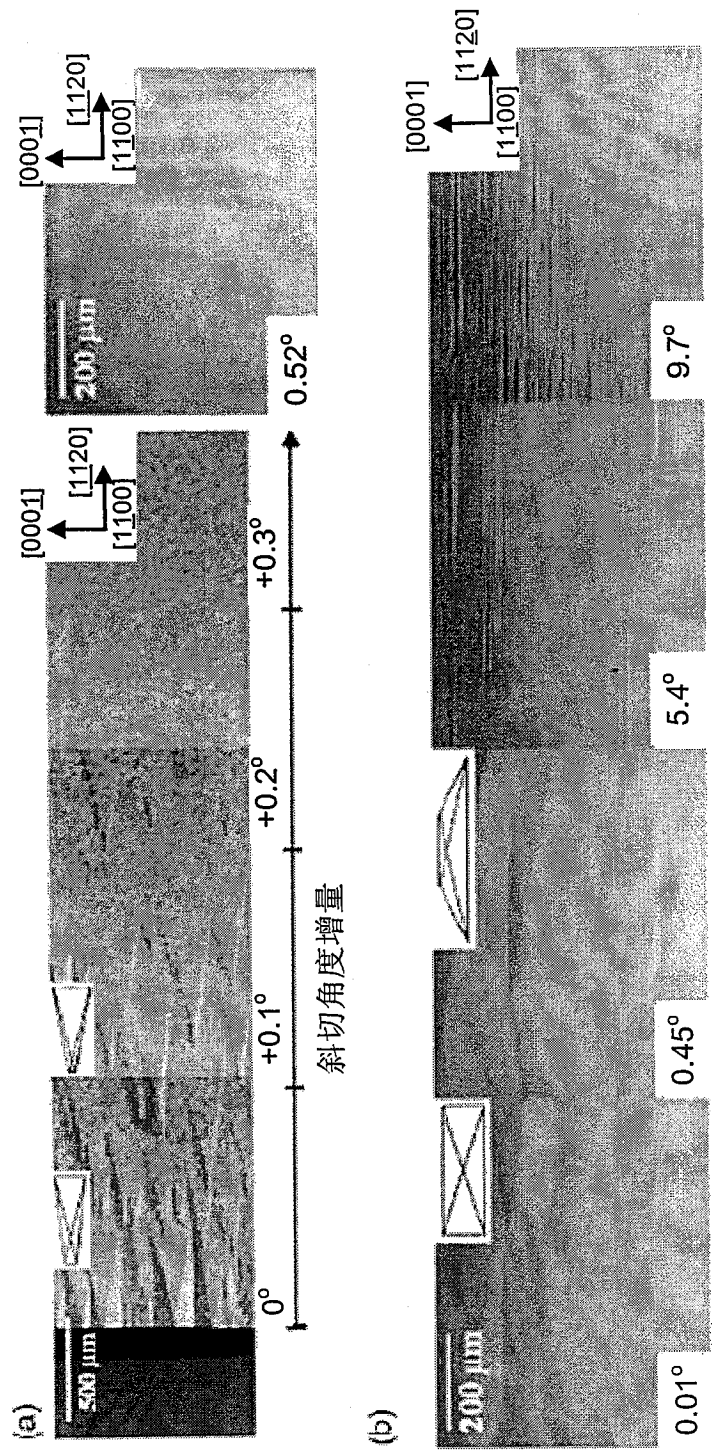


图 4

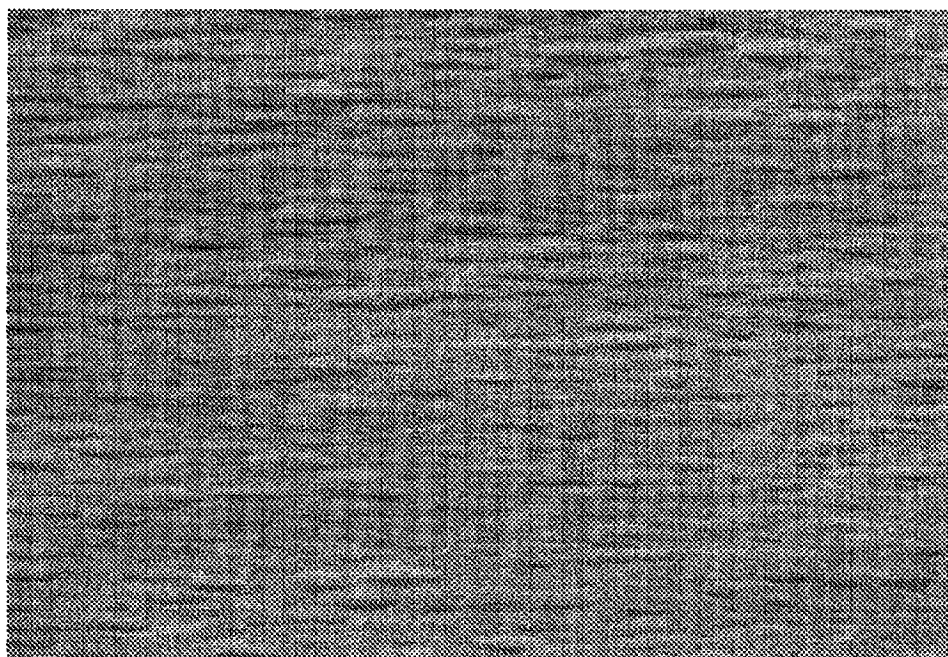


图 5

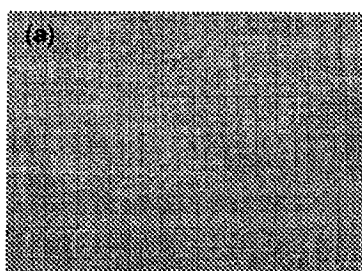


图 6

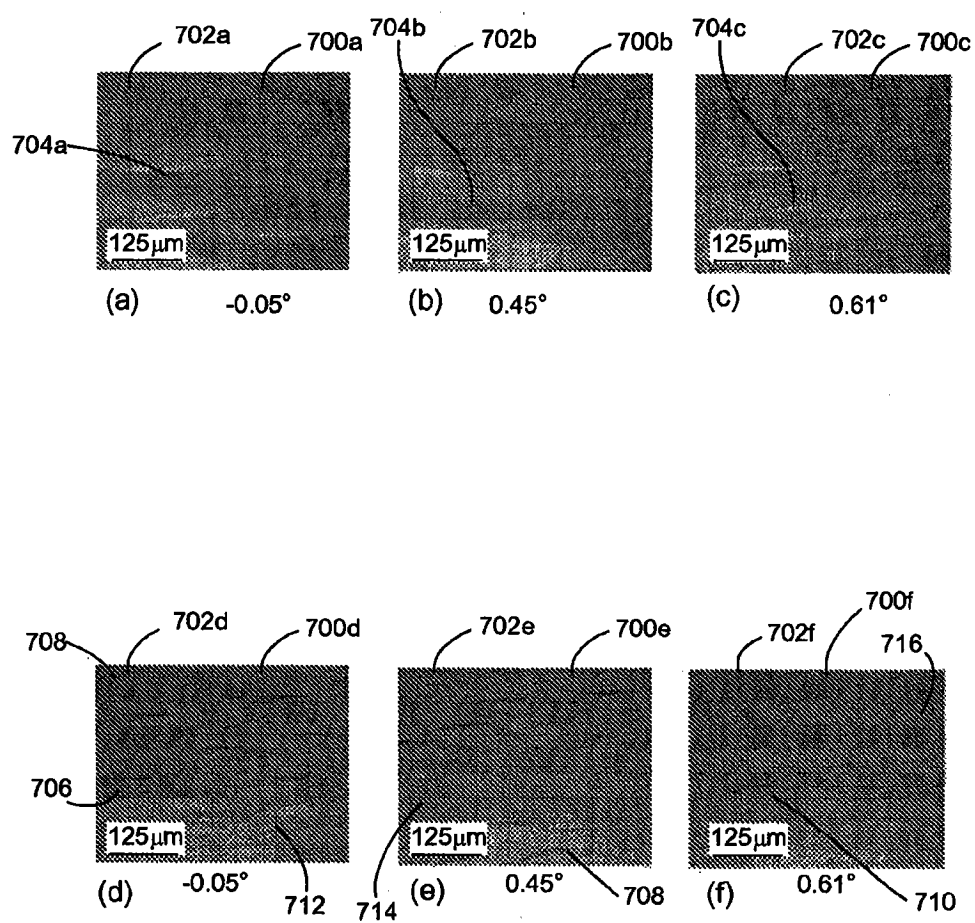


图 7

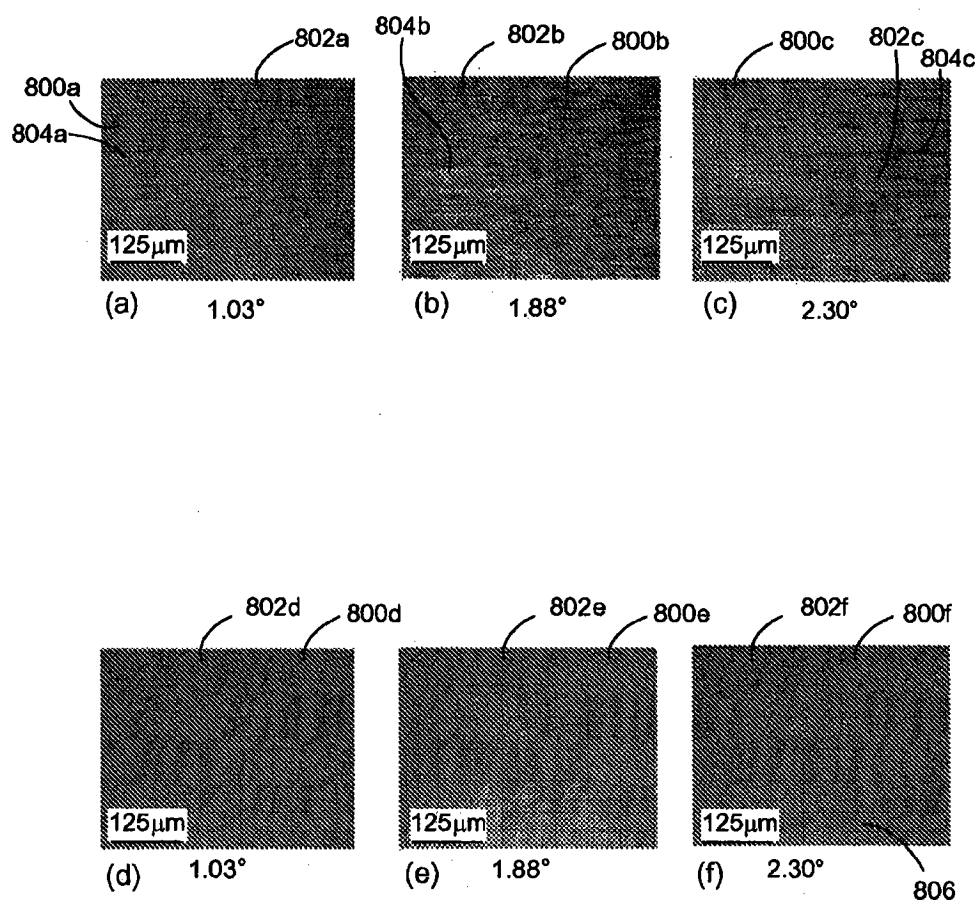


图 8

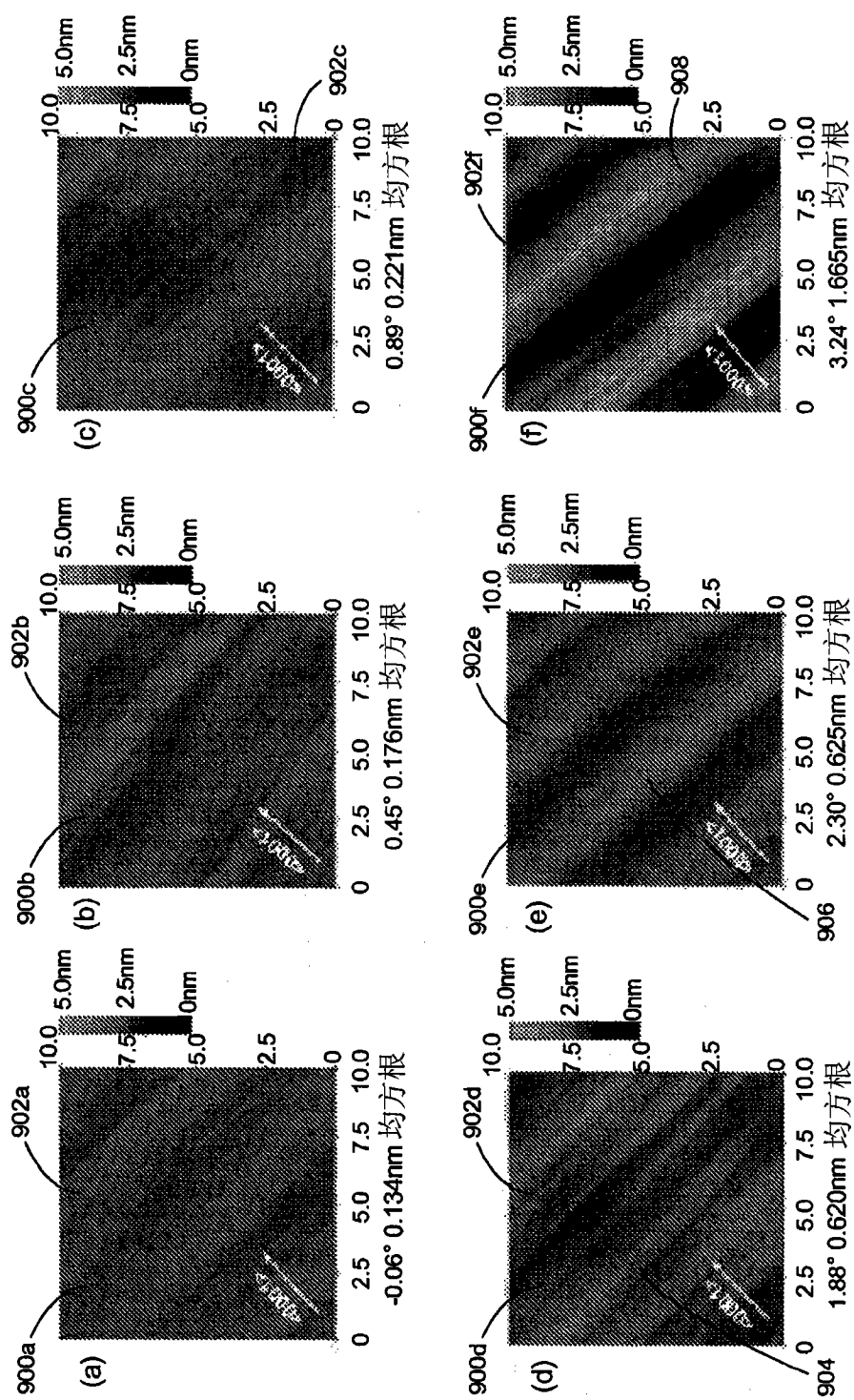


图 9

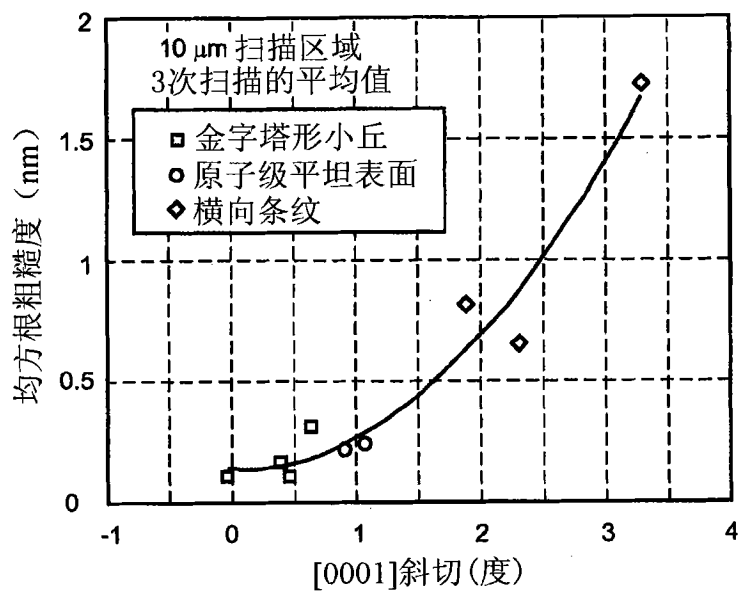


图 10

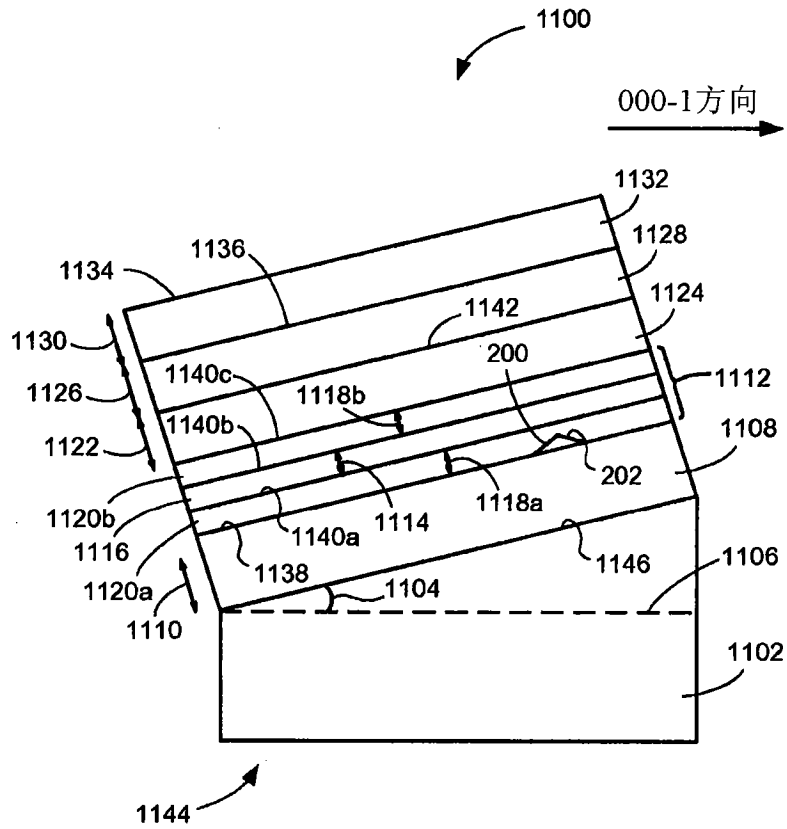


图 11

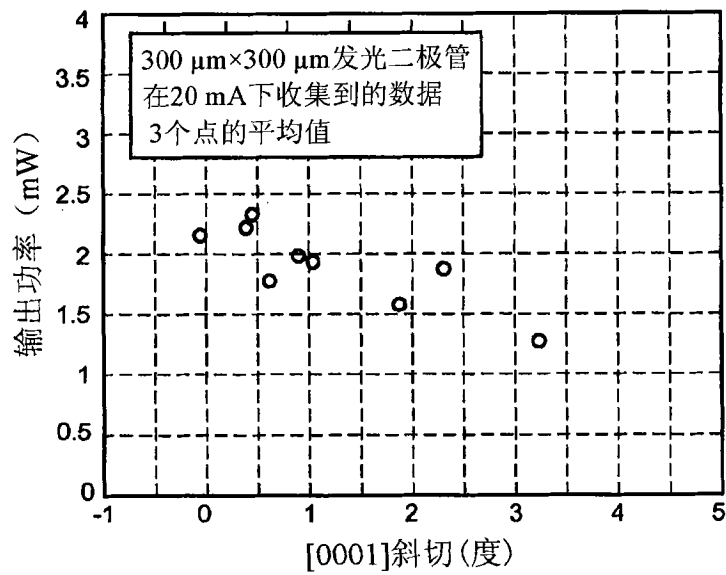


图 12

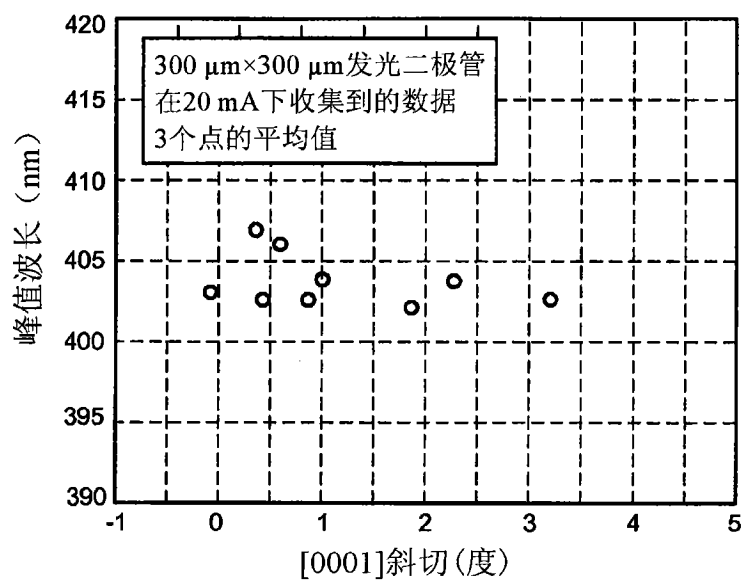


图 13

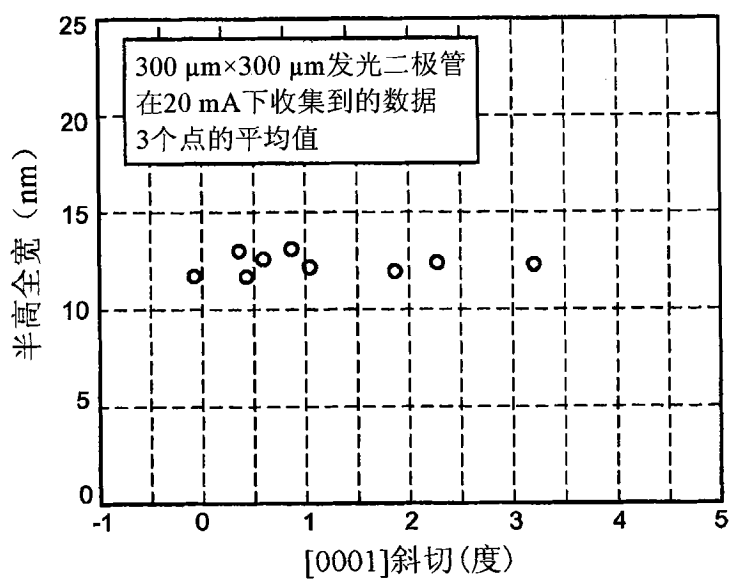


图 14

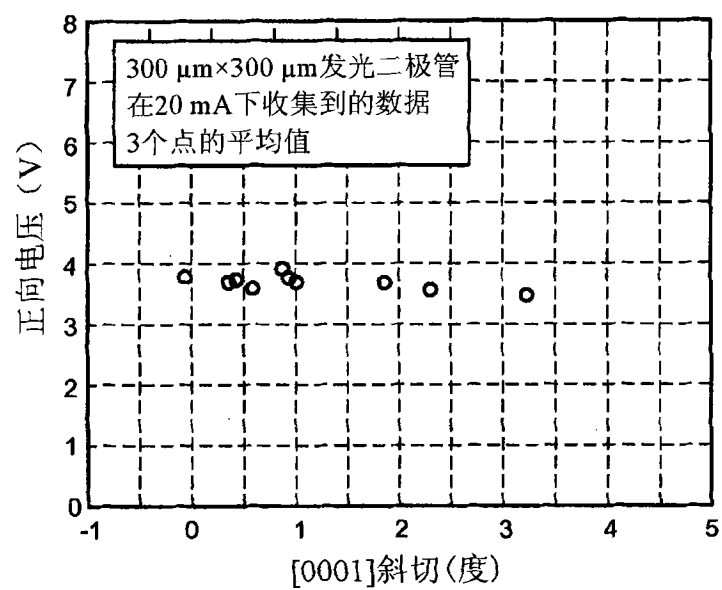


图 15

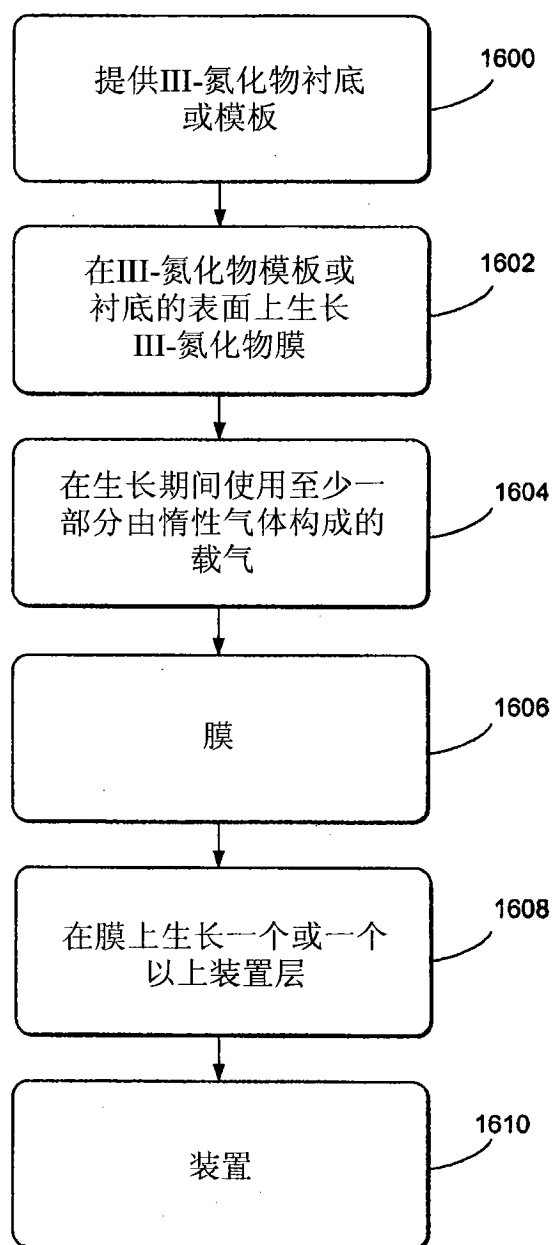


图 16