



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480000358.9

[43] 公开日 2005 年 11 月 16 日

[11] 公开号 CN 1698213A

[22] 申请日 2004.2.19

[21] 申请号 200480000358.9

[30] 优先权

[32] 2003.3.20 [33] JP [31] 077703/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2004/001952 2004.2.19

[87] 国际公布 WO2004/084318 日 2004.9.30

[85] 进入国家阶段日期 2004.12.14

[71] 申请人 索尼株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 奥山浩之 土居正人 琵琶刚志

铃木淳 大畑丰治

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

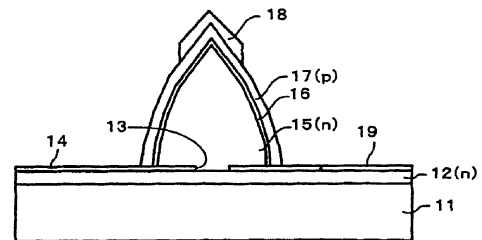
代理人 陶凤波 侯宇

权利要求书 8 页 说明书 24 页 附图 18 页

[54] 发明名称 半导体发光元件及其制法,集成半导体发光元件及其制法,图像显示装置及其制法,照明装置及其制法

### [57] 摘要

在蓝宝石衬底上生长 n 型 GaN 层,并且在其上形成例如 SiN 膜作为生长掩模。在生长掩模的开口部分下的 n 型 GaN 层上选择性生长六棱锥尖顶形的 n 型 GaN 层,此尖顶形 n 型 GaN 层由多个晶面组成,它们以不同的倾角相对于蓝宝石衬底的主面倾斜,从而整体来看形成一个凸起。在此 n 型 GaN 层上顺序形成一个有源层和 p 型 GaN 层,由此形成一个发光元件结构。然后,形成 p 侧电极和 n 侧电极。



1. 一种半导体发光元件，包括：
  - 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，所述凸
  - 5 起晶体部分具有倾斜晶面，该倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；
    - 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；
    - 第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及
    - 10 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与所述第二导电型的半导体层电连接。
  2. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中晶体部分具有纤锌矿晶体结构。
  3. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中晶体部分由氮化物 III-V
  - 15 族化合物半导体制成。
  4. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中第一导电型的半导体层、有源层和第二导电型的半导体层由氮化物 III-V 族化合物半导体制成。
  5. 根据权利要求2的半导体发光元件，其中构成倾斜晶面的晶面为 S 取向面。
  - 20 6. 根据权利要求2的半导体发光元件，其中从晶体部分的底部朝向其顶点，构成倾斜晶面的晶面的倾角逐渐变小。
  7. 根据权利要求6的半导体发光元件，其中在构成倾斜晶面的多个晶面中包括顶点在内的晶面的倾角在由 60 度至 65 度的范围内。
  8. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中晶体部分为尖顶形。
  - 25 9. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中晶体部分为六边尖顶构造。
  10. 根据权利要求1的半导体发光元件，其中晶体部分在沿平行于主面的方向上延长。
  11. 一种制造半导体发光元件的方法，该元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，
  - 30 倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾

斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

5 在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

10 12. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中生长掩模由氮化硅、氮氧化硅和氧化硅中之一或它们的叠层制成。

13. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中至少生长掩模的表面由氮化硅制成。

15 14. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中生长掩模中开口的尺寸在  $2\mu\text{m}$  至  $13\mu\text{m}$  的范围内。

15. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中晶体部分具有纤锌矿晶体结构。

16. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中晶体部分由氮化物 III-V 族化合物半导体制成。

20 17. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中第一导电型的半导体层、第一半导体层、第二半导体层、有源层和第二导电型的半导体层由氮化物 III-V 族化合物半导体制成。

18. 根据权利要求 14 的制造半导体发光元件的方法，其中构成倾斜晶面的晶面为 S 取向面。

25 19. 根据权利要求 15 的制造半导体发光元件的方法，其中构成倾斜晶面的晶面之倾角由晶体部分的底部朝向其顶点逐渐变小。

20. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中晶体部分为尖顶形。

30 21. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中晶体部分为六边尖顶构造。

22. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中晶体部分在

沿平行于主面的方向延长。

23. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中用于选择性生长的生长温度控制在 920°C 至 960°C 的范围内。

24. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中用于选择性生长的生长速度控制为等于或高于 6 $\mu$ m/h。

25. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中用于有源层和第二导电型的半导体层的生长温度设置为低于用于第二半导体层的选择性生长的生长温度。

26. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中在选择性生长第二半导体层从而在其顶部上具有基本平行于主面的晶面后，在第二半导体层的顶部上生长未掺杂的半导体层。

27. 根据权利要求 11 的制造半导体发光元件的方法，其中还包括：

在透过生长掩模中的开口暴露的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤与顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层的步骤之间，去除生长掩模的步骤。

28. 一种集成半导体发光装置，其包括多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

29. 一种制造集成半导体发光装置的方法，该装置集成多个集成的发光元件，每个元件包括第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的

第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

5 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

10 30. 根据权利要求 29 的制造集成半导体发光装置的方法，其中生长掩模中每个开口的尺寸在每个半导体发光元件尺寸的  $4/1$  至 1 倍的范围内。

31. 根据权利要求 29 的制造集成半导体发光装置的方法，其中最近的两个开口之间的距离等于或大于每个半导体发光元件尺寸的两倍。

32. 根据权利要求 29 的制造集成半导体发光装置的方法，其中生长掩模中开口的尺寸在  $2\mu\text{m}$  至  $13\mu\text{m}$  的范围内。

15 33. 根据权利要求 29 的制造集成半导体发光装置的方法，其中最近的两个开口之间的距离等于或大于  $10\mu\text{m}$ 。

34. 一种图像显示装置，包括多个半导体发光元件，每个元件包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成  
20 以在整体上表现为凸面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

25 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

35. 一种制造图像显示装置的方法，该装置集成多个集成的发光元件，每个元件包括第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导  
30 体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型

的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型

5 的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

36. 一种照明装置，其具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

10 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

15 第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

37. 一种制造照明装置的方法，该装置具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括第一导电型的半导体层，形成在  
20 主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层  
25 电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

30 顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

38. 一种半导体发光元件, 包括:

第一导电型的半导体层, 形成在主面上并包括凸起晶体部分, 凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面;

5 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层, 至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠;

第一电极, 与第一导电型的半导体层电连接; 以及

第二电极, 形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上, 并与第二导电型的半导体层电连接。

39. 一种制造半导体发光元件的方法, 该元件具有: 第一导电型的半导体层, 形成在主面上并包括凸起晶体部分, 凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面; 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层, 至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠; 第一电极, 与第一导电型的半导体层电连接; 以及第二电极, 形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上, 并与第二导电型的半导体层电连接, 该方法包括:

15 在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤;

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤;

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤; 以及

20 顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

40. 一种集成半导体发光装置, 其包括多个集成的半导体发光元件, 每个元件包括:

第一导电型的半导体层, 形成在主面上并包括凸起晶体部分, 凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面;

25 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层, 至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠;

第一电极, 与第一导电型的半导体层电连接; 以及

第二电极, 形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上, 并与第二导电型的半导体层电连接。

30 41. 一种制造集成半导体发光装置的方法, 该装置包括多个集成的发光元件, 每个元件具有: 第一导电型的半导体层, 形成在主面上并包括凸

- 起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的
- 5 半导体层电连接，该方法包括：
- 在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；
  - 在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；
  - 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及
- 10 顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。
42. 一种图像显示装置，包括多个半导体发光元件，每个元件包括：
- 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；
- 15 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；
- 第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及
  - 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。
- 20 43. 一种制造图像显示装置的方法，该装置集成多个集成的发光元件，每个元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成
- 25 在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：
- 在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；
  - 在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；
  - 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及
- 30 顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导



体层的步骤。

44. 一种照明装置，其具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

5 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

10 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

45. 一种制造照明装置的方法，该装置具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

20 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

半导体发光元件及其制法，集成半导体发光元件及其制法，  
图像显示装置及其制法，照明装置及其制法

5

### 技术领域

本发明涉及一种半导体发光元件及其制法，集成半导体发光元件及其制法，图像显示装置及其制法，照明装置及其制法，其特别适于应用于使用氮化物 III-V 族化合物半导体的发光二极管。

10

### 背景技术

申请人已经提出了一种作为半导体发光元件的发光二极管。这种半导体发光元件通过以下步骤制成，包括：在蓝宝石衬底上生长 n 型 GaN 层；接着在其上形成具有预定开口的生长掩模；选择性地生长具有由衬底主面倾斜的倾斜晶面，即具有 S 取向平面的六棱锥形式的 n 型 GaN 层；以及在倾斜晶面上生长有源层、p 型 GaN 层和其它层(见，例如，国际公开小册子 No. 02/07231(47 至 50 页和图 3 至 9))。这种发光二极管可以防止将来自衬底一侧的穿透错位 (penetrating dislocation) 传播至构成元件结构的各层，并可以改善这些层的晶体性质，可以获得高发光效率。

图 1A 和 1B 示出了上述文献中公开的典型半导体发光元件。此半导体发光元件通过以下方法制造。首先在具有 C+取向主面的蓝宝石衬底 101 上生长 n 型 GaN 层 102。其后，在 n 型 GaN 层 102 的整个表面上形成 SiO<sub>2</sub> 膜，并且通过光刻和蚀刻将其构图从而在用于形成元件的位置形成具有预定几何形状开口的生长掩模 104。开口 103 的几何形状为圆形或一边平行于 <11-20>方向的六边形。开口 103 的尺寸约为 10μm。在下面的步骤中，在生长掩模 104 存在的情况下，在通过开口 103 暴露的部分 n 型 GaN 层 102 上选择性生长 n 型 GaN 层 105。选择性生长的结果是六棱锥形式的 n 型 GaN 层 105。六棱锥 n 型 GaN 层 105 的六个面为由蓝宝石衬底 101 的主面倾斜的 S 取向平面。其后，在 n 型 GaN 层 105 上顺序生长，例如包括 InGaN 化合物的有源层 106，以及 p 型 GaN 层 107。通过这些步骤，此处获得了结构中包括六棱锥 n 型 GaN 层 105、有源层 106 和 p 型 GaN 层 107 的双异性结

构发光二极管，最后两层被顺序生长在六棱锥 n 型 GaN 层 105 的倾斜晶面上。在接下来的未在此处详细说明的步骤中，在 p 型 GaN 层 107 上形成 p 侧电极，并在 n 型 GaN 层上形成 n 侧电极。

5 现有半导体发光元件，其具有由通过选择性生长具有 S 取向倾斜晶面的六棱锥 n 型 GaN 层 105 和接着在 S 取向面上生长有源层 106 及 p 型 GaN 层 107 构成的发光元件结构，其发光效率不能满足需要，并且每个元件不可避免地占据较大的面积。

### 发明内容

10 因此，本发明的目的在于提供一种发光效率足够高且每个元件占据的面积小的半导体发光元件及制造该半导体发光元件的方法。

本发明的另一目的在于提供一种发光效率足够高且每个元件占据的面积小的集成半导体发光元件及其制造方法；一种图像显示装置及其制造方法；一种照明装置及其制造方法。

15 为实现该些目的，本发明的第一方面为一种半导体发光元件，包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶体面，其由以不同倾角从主面倾斜的多个晶体面组成以在整体上表现为凸面；

20 至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠的至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

25 第一导电型的半导体层、有源层和第二导电型的半导体层的材料基本没有限制。然而，通常使用具有纤锌矿（wurtzite）晶体结构的材料。具有纤锌矿晶体结构的半导体的示例为 III-V 族化合物半导体。另外，诸如 BeMgZnCdS 化合物半导体和 BeNgZnCdO 化合物半导体的 II-VI 族化合物半导体也可作为此类示例。最普遍地，氮化物 III-V 族化合物半导体包括  $Al_xB_yGa_{1-x-y-z}In_zAs_uN_{1-u-v}P_v$  (其中， $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $0 \leq z \leq 1$ ， $0 \leq u \leq 1$ ， $0 \leq v \leq 1$ ， $0 \leq x+y+z \leq 1$  且  $0 \leq u+v \leq 1$ )。更具体的示例包括  $Al_xB_yGa_{1-x-y-z}In_zN$  (其中， $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $0 \leq z \leq 1$  且  $0 \leq x+y+z \leq 1$ )。典型示例包括  $Al_xGa_{1-x-z}In_zN$  (其中， $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq z \leq 1$  且  $0 \leq x+z \leq 1$ )。

30

且  $0 \leq z \leq 1$ )。氮化物 III-V 族化合物半导体的具体示例包括 GaN、InN、AlN、AlGaInN 等。

在第一导电型的半导体层具有纤锌矿晶体结构的情况下，构成半导体层的凸出晶体部分的倾斜晶面的多个晶面一般地为 S 取向面(包括基本可以视作 S 取向面的面)。构成倾斜晶面的晶面的倾角由晶体部分的底部朝向其顶点逐渐变小。此晶体部分通常具有尖顶形构造，且大多数通常为六边。在此情况下，晶体部分最上部晶面的倾角，即包括晶体部分顶点在内的最上部分晶面优选在  $3\mu\text{m}$  至  $20\mu\text{m}$  的范围内，或通常在  $10\mu\text{m}$  至  $15\mu\text{m}$  的范围内。

10 本发明的第二方面为一种制造半导体发光元件的方法，该元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

15 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

在本发明的第二方面中，第一导电型的第一半导体层和第一导电型的第二半导体层对应于第一导电型的半导体层。

25 基本上，可以用任何材料用作衬底，只要在其上生长第一导电型的第一半导体层、第一导电型的第二半导体层、有源层、第二导电型的半导体层等时能够确保良好的结晶特性。更具体地，此处可使用蓝宝石( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )(包括 C 取向面、A 取向面和 R 取向面)、SiC(包括 6H、4H 和 3C)、氮化物 III-V 族化合物半导体(诸如 GaN、InAlGaIn、AlN 等)、Si、ZnS、ZnO、LiMgO、GaAs、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  等制成的衬底。优选地，使用该些材料中之一的六角晶体结构或立方晶体结构，但六角晶体结构更加优选。在第一导电型的第一半

导体层、第一导电型的第二半导体层、有源层、第二导电型的半导体层为氮化物 III-V 族化合物半导体时，可使用其主面为 C 取向面的蓝宝石衬底。此处，“C 取向面”包括任何由其微微倾斜约 5 至 6° 并且可基本被视为 C 取向面的晶面。

5 对于第一导电型的第一半导体层、第一导电型的第二半导体层、有源层、第二导电型的半导体层的生长，例如可使用金属有机化学汽相沉积 (MOCVD)、氢化物汽相外延或卤化物汽相外延 (HVPE)。为确保凸出晶体部分的倾斜晶面形成由多个倾角不同的晶面构成的良好凸面，用于第一导电型的第二半导体层的选择性生长的生长温度优选控制在 920°C 至 960°C 的范围内，更加优选地控制在 920°C 至 950°C 的范围内，或者更有选为 940°C 左右。选择性生长的生长速度控制为优选等于或高于 6 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，或者更加优选地在 6 $\mu\text{m}/\text{h}$  至 18 $\mu\text{m}/\text{h}$  的范围内。对于有源层和第二导电型的半导体层的生长，生长温度通常控制为比第一导电型的第二半导体层的生长温度降低例如 20 至 40°C 或更多。

15 基本上，生长掩模可以由任何能够使生长掩模上的成核充分少于第一半导体层上的成核(换言之，生长掩模上的生长得到抑制)且由此确保选择性生长的材料制成。然而，通常使用氮氧化硅(SiON)膜、氮化硅(SiN(特别是 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>))膜或它们的叠层作为生长掩模。此外，生长掩模可以是氧化铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)膜、钨(W)膜和组合任何这些膜及上述膜的叠层膜。为确保第二半导体层成为良好的尖顶形或锥形构造，特别是六边，生长掩模优选为至少其顶面由氮化硅制成的掩模，诸如氮化硅膜制成的掩模，或在氧化硅膜上叠置氮化硅膜制成的掩模。

25 生长掩模的开口可以具有任何几何形状。然而，通常为六边形或圆形。在生长掩模的开口为六边形的情况下，至少六边形的一边优选垂直于 <1-100> 方向或 <11-20> 方向，从而防止利用生长掩模生长的半导体层偏离所述六边形。

30 生长掩模中开口的尺寸(沿平行于衬底主面的方向测量最大值)优选较小，从而降低元件占据的面积。然而，若该尺寸过小，易于在第二半导体层的选择性生长期间产生诸如错位、沉积缺陷等的晶体缺陷。因此，生长掩模中开口的尺寸大致在半导体发光元件尺寸的 1/4 至 1 倍的范围内。例如，其在 2 $\mu\text{m}$  至 13 $\mu\text{m}$  的范围内。若略小一点的尺寸是优选的，开口的尺寸通

常在 $2\mu\text{m}$ 至 $5\mu\text{m}$ 的范围内,或更加优选地在 $2.5\mu\text{m}$ 至 $3.5\mu\text{m}$ 的范围内。若略大一点的尺寸是优选的,开口的尺寸通常在 $7\mu\text{m}$ 至 $13\mu\text{m}$ 的范围内,或更加优选地在 $9\mu\text{m}$ 至 $11\mu\text{m}$ 的范围内。

通常,第二半导体层选择性生长从而水平扩展得比生长掩模的开口更宽。然而,这不是必要的条件,第二半导体层可以生长在开口的限制之内。

通常,第二半导体层为选择性生长,从而形成尖顶形构造。然而,在选择性生长第二半导体层从而在其顶部形成基本平行于衬底的晶面后,可以在顶部上生长未掺杂的半导体层。由此,在第二电极形成在第二导电型的半导体层上而第一电极形成在包括第一半导体层和第二半导体层的第一导电型的半导体层上且在第一电极与第二电极之间施加电流时,生长而形成尖顶形晶体部分的顶点部分的未掺杂的半导体层起到了电流阻挡部分的作用,从而防止电流流过其中。由于晶体部分的顶点部分的晶体质量通常劣于其它部分,这种结构确保了电流绕过晶体部分的顶点部分,确保了电流仅流经具有良好晶体质量的其它部分,并有助于提高发光效率。

生长掩模在完成选择性生长后通常还保留下来。然而,可以在选择性生长后将其去除。在此情况下,在穿过生长掩模中的开口中的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤与顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤之间插入去除生长掩模的步骤。

除上述情况以外,结合本发明第一方面说明的情况也适用于本发明第二方面,由于其性质一致。

本发明的第三方面为一种集成半导体发光装置,其包括多个集成的半导体发光元件,每个元件包括:

第一导电型的半导体层,形成在主面上并包括凸起晶体部分,凸起晶体部分具有倾斜晶面,倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面;

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层,至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠;

第一电极,与第一导电型的半导体层电连接;以及

第二电极,形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上,并与第二导电型的半导体层电连接。

为确保凸出晶体部分的每个倾斜晶面表现为由多个倾角不同的晶面构成的良好凸面，通常，生长掩模每个开口的尺寸优选在每个半导体发光元件的1/4至1倍的范围内。更具体而言，其在 $2\mu\text{m}$ 至 $13\mu\text{m}$ 的范围内。若期望略小一点的尺寸，其通常在 $2\mu\text{m}$ 至 $5\mu\text{m}$ 的范围内，或更加优选地在 $2.5\mu\text{m}$ 至 $3.5\mu\text{m}$ 的范围内。若期望略大一点的尺寸，其通常在 $7\mu\text{m}$ 至 $13\mu\text{m}$ 的范围内，或更加优选地在 $9\mu\text{m}$ 至 $11\mu\text{m}$ 的范围内。生长掩模开口之间的距离通常为每个半导体发光元件尺寸的两倍或更大。更加具体而言，其为 $10\mu\text{m}$ 或更大，优选 $13\mu\text{m}$ 或更大，或通常在 $13\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 的范围内。

该集成半导体发光装置可用于任何用途。其典型应用例如为图像显示装置和照明装置。该集成半导体发光装置可构造为包括一体形成在公共衬底上的多个半导体发光元件的装置和包括首先一体地形成在公共衬底上、随后分为分立元件并再安装在另一衬底上的多个半导体发光元件的装置。

本发明的第四方面为一种制造集成半导体发光装置的方法，该装置集成多个集成的发光元件，每个元件包括第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

本发明的第五方面为一种图像显示装置，包括多个半导体发光元件，每个元件包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

5 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

本发明的第六方面为一种制造图像显示装置的方法，该装置集成多个集成的发光元件，每个元件包括第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

15 在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；  
在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；  
在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及  
顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

20 本发明的第七方面为一种照明装置，其具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；

25 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

30 本发明的第八方面为一种制造照明装置的方法，该装置具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：第一导电型的



5 半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有倾斜晶面，倾斜晶面由多个以不同倾角由主面倾斜的晶面组成以在整体上表现为凸面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

10 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

在本发明的第三至第八方面中，结合本发明的第一和第二方面说明的情况也适用，由于其性质一致。

15 本发明的第九方面为一种半导体发光元件，包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

20 第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

25 本发明的第十方面为一种制造半导体发光元件的方法，该元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

30 在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

5 本发明的第十一方面为一种集成半导体发光装置，其包括多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；

10 至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

15 本发明的第十二方面为一种制造集成半导体发光装置的方法，该装置包括多个集成的发光元件，每个元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，

20 并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

25 顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

本发明的第十三方面为一种图像显示装置，包括多个半导体发光元件，每个元件包括：

30 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾

斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

5 本发明的第十四方面为一种制造图像显示装置的方法，该装置包括多个集成的发光元件，每个元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；

10 以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

15 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

本发明的第十五方面为一种照明装置，其具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件包括：

20 第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；

至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；

第一电极，与第一导电型的半导体层电连接；以及

25 第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接。

30 本发明的第十六方面为一种制造照明装置的方法，该装置具有单个半导体发光元件或多个集成的半导体发光元件，每个元件具有：第一导电型的半导体层，形成在主面上并包括凸起晶体部分，凸起晶体部分具有整体来看基本表现为凸面的倾斜晶面；至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，至少在晶体部分的倾斜晶面上被顺序层叠；第一电极，与第一导

电型的半导体层电连接；以及第二电极，形成在晶体部分上面的第二导电型的半导体层上，并与第二导电型的半导体层电连接，该方法包括：

在衬底上生长第一导电型的第一半导体层的步骤；

在第一半导体层上形成在预定位置处具有开口的生长掩模的步骤；

5 在穿过生长掩模的开口露出的第一半导体层上选择性生长第一导电型的第二半导体层的步骤；以及

顺序生长至少所述有源层和第二导电型的半导体层从而覆盖第二半导体层的步骤。

10 在本发明的第九至第十六方面中，整体来看形成基本成凸面的每个倾斜晶面可局部包括平坦面。

在本发明的第九至第十六方面中，结合本发明的第一和第二方面说明的情况也适用，由于其性质一致。

15 根据具有上述概括构造的本发明，在预定部分具有开口的生长掩模存在的情况下选择性生长第一导电型的半导体层。由此，可以形成凸出晶体部分，该凸出晶体部分具有由倾角不同从而整体来看表现为良好凸面的多个晶面构成的倾斜晶面，或具有整体来看表现为基本成凸面的倾斜晶面。随后，通过顺序生长至少一个有源层和一个第二导电型的半导体层，从而覆盖该晶面，可以形成发光元件结构。在此情况下，第二导电型的半导体层也具有由倾角不同从而整体来看表现为良好凸面的多个晶面构成的倾斜晶面，或具有整体来看表现为基本成凸面的倾斜晶面。因此，在元件的工作中，由有源层产生的光可以有效地通过在第二导电型的半导体层的成凸面或基本成凸面的倾斜晶面反射而取出。另外，与其中晶体部分具有 S 取向倾斜晶面的结构相比，本发明可以减小晶体部分的尺寸，并由此可以减小通过

20 通过在晶体部分上顺序生长有源层和第二导电型的半导体层而制成的发光元件的尺寸。另外，由于光引出方向可以更接近垂直于主面的方向，即使当黑色掩模等设置在光发射部分以外的部分时，光更少受到阻挡。

25

#### 附图说明

图 1A 和 1B 为传统 GaN 基发光二极管的平面图和截面图；

30 图 2A 和 2B 为用于说明根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法的平面图和截面图；

图 3A 和 3B 为用于说明根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法的平面图和截面图;

图 4A 和 4B 为用于说明根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法的平面图和截面图;

5 图 5A 和 5B 为用于说明根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法的平面图和截面图;

图 6 为示出根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法中形成在掩模中的开口阵列的平面图;

图 7 为在根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法中, 就在刚刚形成发光元件结构后, GaN 处理衬底的表面构造的扫描电子显微镜照片;

图 8 为在用于与本发明第一实施例进行比较的 GaN 基化合物发光二极管的制造方法中, 就在刚刚形成发光元件结构后, GaN 处理衬底的表面构造的扫描电子显微镜照片;

15 图 9 为在根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法中, 就在刚刚形成发光元件结构后, GaN 处理衬底的表面构造的扫描电子显微镜照片;

图 10 为在根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法中, 就在刚刚形成发光元件结构后, GaN 处理衬底的表面构造的扫描电子显微镜照片;

图 11 为示出在根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法中, 在生长形成发光元件结构的 GaN 基半导体层的工艺中引入的晶体缺陷的分布的截面图;

图 12 为示出来自通过本发明第一实施例制造的 GaN 基发光二极管的发射方面的截面图;

图 13 为示出根据本发明第二实施例的 GaN 基发光二极管的截面图;

图 14 为由其 n 侧电极一侧获得的根据本发明第二实施例的 GaN 基发光二极管的透视图;

图 15 为示出根据本发明第三实施例的图像显示装置的透视图;

30 图 16A 和 16B 为示出根据本发明第五实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图;

图 17A 和 17B 为示出根据本发明第六实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图;

图 18A 和 18B 为示出根据本发明第七实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图;

5 图 19A 和 19B 为示出根据本发明第八实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图;

图 20A 和 20B 为示出根据本发明第九实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图; 以及

10 图 21A 和 21B 为示出根据本发明第十实施例的 GaN 基发光二极管的平面图和截面图。

### 具体实施方式

下面将参照附图说明本发明的实施例。在示出本发明实施例的所有附图中, 共同或等效的部件由共同的附图标记表示。

15 图 2A 和 2B 至图 5A 和 5B 示出了根据本发明第一实施例的 GaN 基发光二极管的制造方法, 其中由后缀 A 标记的图为平面图, 而由后缀 B 标记的图为截面图。

在第一实施例中, 首先参照图 2A 和 2B, 制备例如具有 C+取向主面的蓝宝石衬底 11。通过例如热清理清洁蓝宝石衬底 11 的表面后, 通过例如金属有机化学汽相沉积(MOCVD)在蓝宝石衬底 11 上生长以诸如 Si 的 n 型掺杂杂质的 n 型 GaN 层 12。n 型 GaN 层 12 的晶体缺陷和穿透错位尽可能的小, 且在大多数情况下 2 $\mu$ m 左右的厚度就足够了。可采用各种技术形成减少了缺陷的 n 型 GaN 层 12。典型技术首先在蓝宝石衬底 11 上在 500 $^{\circ}$ C 左右的低温下生长 GaN 缓冲层或 AlN 缓冲层(未示出), 所后升高温度至近似  
20 1000 $^{\circ}$ C 从而将其结晶化, 并在其上生长 n 型 GaN 层 12。此技术可以调整为在生长 GaN 缓冲层或 AlN 缓冲层并在其后生长 n 型 GaN 层 12 后生长未掺杂的 GaN 层。

在接下来的步骤中, 例如约 200nm 的 SiO<sub>2</sub> 膜和约 10nm 厚的 SiN 膜(特别是 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)通过 CVD、真空蒸法、溅镀等、或优选通过等离子体 CVD 顺序  
30 形成在 n 型 GaN 层 12 的整个表面上。其后, 通过光刻在其上形成预定几何形状的抗蚀图形(未示出)。随后, 在此抗蚀图案作为掩模存在的情况下, 通

过使用例如氟酸基蚀刻剂的湿法蚀刻或通过使用诸如  $\text{CF}_4$ 、 $\text{CFH}_3$  等的含氟蚀刻气体的 RIE 蚀刻,对所述  $\text{SiN}$  膜和  $\text{SiO}_2$  膜进行刻蚀并为在用于形成元件的位置具有开口 13 的生长掩模 14 进行构图。每个开口具有一边垂直于  $\langle 1-100 \rangle$  或  $\langle 11-20 \rangle$  取向的六边形形状。开口的尺寸  $D$  确定为满足要求。通常, 5 为其为 2 至  $13\mu\text{m}$ 。在此实施例中, 例如, 其为  $3\mu\text{m}$ 。图 2A 和 2B 仅示出一个开口。然而, 实际上, 形成多个开口的阵列。图 6 示出了开口 13 的典型布置。在图 6 中,  $P$  表示开口的间距。在大多数情况下, 间距  $P$  为  $10\mu\text{m}$  或更大。在此实施例中, 例如, 其可以为  $14\mu\text{m}$ 。

在接下来的步骤中, 如图 3A 和 3B 所示, 在穿过生长掩模 14 中的开口 10 13 露出的  $n$  型 GaN 层 12 上选择性生长以诸如 Si 的  $n$  型掺杂杂质的  $n$  型 GaN 层 15。此工艺中的生长温度可以是  $940^\circ\text{C}$ 。生长速度设置得非常高, 例如, 在平面生长还原反应中高达  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$ 。在此选择性生长工艺中, 可以通过降低生长温度低于  $940^\circ\text{C}$  从而使与  $n$  型 GaN 层 12 交界附近的生长更慢而降低生长速度。然而, 对于除去与  $n$  型 GaN 层 12 交界附近以外的 15 的绝大部分的生长, 生长温度设置为  $940^\circ\text{C}$ , 且在平面生长还原反应中的生长速度升高至  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的高速。此选择性生长的结果是获得了六边尖顶形  $n$  型 GaN 层 15。尖顶形  $n$  型 GaN 层 15 中六个面的每一个包括多个(通常为许多或无数)由蓝宝石衬底 11 的主面倾斜的晶面, 其彼此倾角不同。然而, 此处假定六个平面的每一个包括四个晶面  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$ , 并且其整体 20 形成了凸出的倾斜晶面。在此情况下, 晶面  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$  的倾角由  $n$  型 GaN 层 15 底朝向其顶点变得更小。包括顶点在内的最上部分的晶面  $F_4$  的倾角例如为  $62^\circ$  至  $63^\circ$ , 而包括底部在内的最下部分的晶面  $F_1$  的倾角例如为  $74^\circ$  至  $82^\circ$ 。组成一般凸出倾斜晶面的所有晶面可以视作  $S$  取向平面或基本为  $S$  取向平面。因此,  $n$  型 GaN 层 15 为彼此结晶取向略微不同的多个单 25 个晶体的组合。 $n$  型 GaN 层 15 的尺寸可以根据需要确定。在此情况下, 然而, 其大于开口 13 的尺寸。更具体而言, 其近似于开口 13 尺寸的三倍。

如上所述地生长  $n$  型 GaN 层 15 以后, 如图 4A 和 4B 所示, 例如 InGaN 的有源层 16 和以诸如 Mg 的  $p$  型掺杂杂质的  $p$  型 GaN 层 17 顺序生长在蓝宝石衬底上。结果, 六边尖顶形  $n$  型 GaN 层 15 以及生长在  $n$  型 GaN 层 15 30 倾斜晶面上的有源层 16 和  $p$  型 GaN 层 17 形成了具有双异性结构的发光二极管结构。其后,  $p$  型 GaN 层 17 中的 Mg 通过在控制于  $850^\circ\text{C}$  左右温度的

氮气环境中退火而活化。有源层和 p 型 GaN 层 17 的厚度根据需要确定。然而，有源层 16 的厚度优选为例如 3nm(生长后有源层 16 的厚度由顶到底部通常具有较小的尺寸分布)。部 p 型 GaN 层 17 的厚度在不对发射性能产生负面影响的范围内优选尽可能地薄。例如，其可以是 0.2 $\mu\text{m}$ 。若其为 0.05 $\mu\text{m}$ ，  
5 可以将工作电压降低至 3V 或更低。这些 GaN 基半导体层的生长温度控制在 650 至 800 $^{\circ}\text{C}$  的范围内，更加具体而言，例如对于有源层 16 为 740 $^{\circ}\text{C}$ 。对于 p 型 GaN 层 17，在不对有源层 16 的性能产生负面影响的范围内，生长温度设置成相当高的温度，即在 880 至 940 $^{\circ}\text{C}$ ，更加具体而言，例如为 900 $^{\circ}\text{C}$ 。有源层 16 可以包括或者是例如 InGaN 的单层或者是例如 In 组分不同的两个交替叠置的 InGaN 层的多量子阱结构。In 组分根据期望的发射波长来确定。在 p 型 GaN 层 17 中，其最上层的 Mg 浓度优选增大，从而确保与将在后面介绍的 p 侧电极的良好的欧姆接触。或者，例如以 Mg 作为 p 型掺杂杂质并易于形成欧姆接触的 p 型 InGaN 层可以生长在 p 型 GaN 层 17 上，且 p 侧电极可以形成于其上。

15 发光结构的尺寸 W 约为例如 10 $\mu\text{m}$ (见图 4B)。

关于用于生长上述 GaN 基半导体层的源材料，此处使用例如三甲基镓(( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>Ga, TMG)作为 Ga 源材料、三甲基铝(( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>Al, TMA)作为 Al 源材料、三甲基铟(( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>In, TMI)作为 In 源材料，而  $\text{NH}_3$  作为 N 源材料。对于掺杂剂，此处使用硅烷( $\text{SiH}_4$ )作为 n 型掺杂剂，而二(甲基-茂基)镁(( $\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4$ )<sub>2</sub>Mg)或二(茂基)镁(( $\text{C}_5\text{H}_5$ )<sub>2</sub>Mg)作为 p 型掺杂剂。  
20

对于 GaN 基半导体层生长期间的载体气体气氛，将  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  的混合气体用于 n 型 GaN 层 12 和 n 型 GaN 层 15。对于有源层 16 的生长，使用  $\text{N}_2$  作为载体气体气氛。对于 p 型 GaN 层 17 的生长，使用  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  的混合气体。在此情况下，由于  $\text{N}_2$  气用作有源层 16 生长期间的载体气体气氛且载体气体气氛不含  $\text{H}_2$ ，可以防止 In 的消除和由此导致的有源层 16 劣化。然而，由于使用  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  的混合气体气氛作为用于 p 型 GaN 层 17 生长的载体气体气氛，p 型层能够以良好的结晶质量生长。  
25

其后，其上生长有 GaN 基半导体层的蓝宝石衬底 11 由 MOCVD 设备中移除。

30 在接下来的步骤中，例如，通过真空蒸发在整个衬底表面上顺序沉积 Ni 膜、Ag 膜(或 Pt 膜)和 Au 膜。其后，通过光刻在其上形成预定几何形状



的抗蚀图形。在抗蚀图形作为掩模存在的情况下，蚀刻 Ni 膜、Ag 膜和 Au 膜。结果，在包括生长在六边尖顶形 n 型 GaN 层 15 有源层上的 16 和 p 型 GaN 层 17 的顶端在内的区域中形成了 Ni/Ag(或 Pt)/Au 构成的 p 侧电极 18。确定 p 侧电极 18 的尺寸，从而最小化 n 型 GaN 层 15 和其它层中缺陷区域中的驱动电流。更加具体而言，其可以为近似  $4\mu\text{m}$ 。

在接下来的步骤中，通过蚀刻选择性地去除生长掩模 14，从而暴露 n 型 GaN 层 12。其后，通过真空蒸发在整个衬底表面上顺序沉积 Ti 膜、Pt 膜和 Au 膜，并在其上通过光刻形成预定几何形状的抗蚀图形。其后，在抗蚀图形作为掩模存在的情况下，蚀刻 Ti 膜、Pt 膜和 Au 膜。结果，Ti/Pt/Au 结构的 n 侧电极 19 形成为与 n 型 GaN 层 12 相接触。

其后，利用切块机或准分子激光器通过蚀刻或剥落将其上具有发光二极管结构阵列的衬底分为芯片，从而获得期望的 GaN 基发光二极管。在将具有发光二极管结构阵列的衬底分为芯片前，可以对该结构进行使其表面近似水平的额外处理。

由此获得的 GaN 基发光二极管通过在 p 侧电极 18 与 n 侧电极 19 之间施加电流来驱动从而测试。结果，通过蓝宝石衬底 11 的发射依据有源层中 In 的组分确定在 380 至 620nm 范围内的发射波长，例如，450nm 的发射波长。发射效率高，且在例如  $200\mu\text{A}$  的驱动电流下，发射输出为  $40\mu\text{W}$ 。

此处说明了构成六边尖顶形 n 型 GaN 层 15 的每个凸出倾斜晶面的多个晶面中的晶面  $F_1$  的倾角与发射效率之间的关系。如上所述， $F_1$  的倾角为例如  $74^\circ$  至  $82^\circ$ 。随着倾角增大，发光效率倾向于变得更好。例如，在倾角为  $74^\circ$  的情况下，当在平面生长还原反应中 n 型 GaN 层 15 的生长厚度为  $2\mu\text{m}$  时，在开口 13 的尺寸 D 为  $D=10\mu\text{m}$  且间距 P 为  $P=29\mu\text{m}$  的情况下，发光效率为  $100\text{mW/A}$ 。在倾角为  $76^\circ$  的情况下，当在平面生长还原反应中 n 型 GaN 层 15 的生长厚度为  $2\mu\text{m}$  时，在开口 13 的尺寸 D 为  $D=3\mu\text{m}$  且间距 P 为  $P=17\mu\text{m}$  的情况下，发光效率为  $200\text{mW/A}$ 。在  $82^\circ$  的情况下，当在平面生长还原反应中 n 型 GaN 层 15 的生长厚度为  $4\mu\text{m}$  时，在开口 13 的尺寸 D 为  $D=3\mu\text{m}$  且间距 P 为  $P=17\mu\text{m}$  的情况下，发光效率为  $210\text{mW/A}$ 。

接下来，说明图 6 所示的生长掩模 14 中开口 13 的尺寸 D 和间距 P 与发光效率的关系。在 3 至  $10\mu\text{m}$  的范围内改变 D 并在 11 至  $28\mu\text{m}$  的范围内改变 P 的同时制备组合  $(D, P)(\mu\text{m})$  的多种样品，并且在各个样品上选择性生

长 n 型 GaN 层 15。结果, 存在间距 P 越大、尖顶形 n 型 GaN 层 15 的倾斜晶面就越好且发光效率就越高的趋势。对于尺寸 D, 存在尺寸 D 越小、发光效率就越高的趋势。另外, 观察到无论如何取出光, 表现出大量的光中由元件整体发射, 不仅从元件的中心部分, 还从侧面进行发射。

5 图 7 示出了由扫描电子显微镜(SEM)摄取的六边尖顶形 n 型 GaN 层 15 的照片。生长掩模 14 中开口 13 的尺寸 D 为  $3\mu\text{m}$ , 且间距 P 为  $10\mu\text{m}$ 。为比较, 图 8 示出了具有 S 取向倾斜晶面的传统六棱锥 n 型 GaN 层的 SEM 照片。生长掩模 14 中开口 13 的尺寸 D 为  $10\mu\text{m}$ , 且间距 P 为  $29\mu\text{m}$ 。

另外, 图 9 示出了 n 型 GaN 层 15 的 SEM 照片, 其中生长掩模 14 中  
10 开口 13 的尺寸 D 为  $3\mu\text{m}$ , 且间距 P 近似为  $17\mu\text{m}$ 。图 10 示出了 n 型 GaN 层 15 的 SEM 照片, 其中生长掩模 14 中开口 13 的尺寸 D 为  $3\mu\text{m}$ , 且间距 P 近似为  $28\mu\text{m}$ (注意, 比例为图 9 的 1/2)。由图 9 和 10 可见, 间距 P 近似  $28\mu\text{m}$  的情况与间距 P 近似  $17\mu\text{m}$  的情况相比, 六边尖顶形 n 型 GaN 层 15 在生长掩模 14 附近具有更高的倾角。

15 根据第一实施例, 可以获得以下多种优点。

如图 11 所示, 在生长 n 型 GaN 层 15 的同时, 其中出现了错位 20 和沉积缺陷 21。其中的某些延伸越过有源层 16, 但其至少在接近 n 型 GaN 层 15 顶点的部分消失。考虑这一点, 第一实施例将 p 侧电极的尺寸确定为使得施加在 p 侧电极 18 与 n 侧电极 19 之间的驱动电流不会流经 n 型 GaN 层  
20 15 及其它层中的缺陷区域。由此, 第一实施例可以使 GaN 基发光二极管的发光效率明显增强且可靠性出色。

另外, 第一实施例生长了六边尖顶形 n 型 GaN 层 15, 每个包括多个以彼此不同的倾角由蓝宝石衬底 11 的主面倾斜的晶面( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$ ), 从而整体来看表现为突出的晶面, 并且还在该晶面上生长了有源层 16 和 p 型  
25 GaN 层 17。由此, p 型 GaN 层 17 也具有与 n 型 GaN 层 15 类似的倾斜晶面。由此, 当在 p 侧电极 18 与 n 侧电极 19 之间施加驱动电流时, 在由有源层 16 射出的光中朝向 p 型 GaN 层 17 的部分光在 p 型 GaN 层 17 的外表面反射, 并朝向蓝宝石衬底 11 行进。另一方面, 在由有源层 16 射出的光中朝向 n 型 GaN 层 17 的部分光直接朝向蓝宝石衬底 11 行进。结果, 第一实施例可  
30 以有效地通过蓝宝石衬底 11 由有源层 16 引出光, 并可增强发光效率(见图 12)。

另外，在根据第一实施里的 GaN 基发光二极管中，与图 1A 和 1B 所示的传统 GaN 基发光二极管相比，由每个元件占据的面积可以形成得非常小。例如，传统 GaN 基发光二极管六棱锥发光元件结构的尺寸为近似 20 $\mu\text{m}$ ，而根据第一实施例的 GaN 基发光二极管六边尖顶形发光元件结构的尺寸则小得多，即近似 10 $\mu\text{m}$ 。

另外，由于第一实施例使用包括反射率高的 Au 的 Ni/Ag/Au 结构作为 p 侧电极 18，第一实施例可增强六边尖顶形 p 型 GaN 层 17 形成了 p 侧电极 18 的上部的反射率。由此，第一实施例还可以进一步增强光引出效率，并且还可以进一步增强发光效率。

另外，根据第一实施例，光引出方向可以更接近垂直于衬底表面的方向。即，来自平面上发光元件的发射分布通常称作朗伯(Lambertian)面，或者也称作全漫射面。在此情况下，来自各个方向的发射是各向异性的。然而，若设置黑色掩模等，光也会朝向黑色掩模行进。由此，为向前引出光，需要透镜。然而，第一实施例可以仅通过控制生长来控制光引出方向。

下面，将介绍根据本发明第二实施例的 GaN 基发光二极管。

在第二实施例中，在通过与第一实施例相同的步骤生长达到 p 型 GaN 层 17 后，在 p 型 GaN 层 17 上形成 p 侧电极。其后，n 型 GaN 层 12 和其他更上的层通过由蓝宝石衬底 11 的底部利用准分子激光器照射激光束而由蓝宝石衬底上剥落。其后，通过例如蚀刻使剥落的 n 型 GaN 层 12 的底面光滑，并且在 n 型 GaN 层 12 的光滑底面上形成 n 侧电极 19，如图 13 所示。例如，n 侧电极 19 可以是 ITO 制成的透明电极。在此情况下，n 侧电极可以形成覆盖在 n 型 GaN 层 12 底面包括六边尖顶形结构下区域在内的宽泛区域上。在 n 侧电极 19 为 Ti/Pt/Au 结构的金属叠层膜的情况下，在 n 侧电极 19 中设置与六边尖顶形 n 型 GaN 层 15 对准的开口 19a，如图 14a 所示，从而允许光通过 n 型 GaN 层 12 离开。

第二实施例确保了与第一实施例相同的优点。

下面将介绍根据本发明第三实施例的图像显示装置。图 15 示出了该图像显示装置。

如图 15 所示，该图像显示装置包括在蓝宝石衬底 11 平面内沿正交的 x 和 y 方向规则排列的 GaN 基发光二极管从而形成 GaN 基发光二极管的二维阵列。每个 GaN 基发光二极管的结构可以例如与第一实施例的相同。

沿 y 方向, 用于发射红光(R)的 GaN 基发光二极管、用于发射绿光(G)的 GaN 基发光二极管和用于发射蓝光(B)的 GaN 基发光二极管以靠拢的关系排列, 并且三个不同颜色的 GaN 基发光二极管构成一个像素。用于红光的 GaN 基发光二极管的单个 p 侧电极 18 沿 x 方向通过引线 22 彼此连接。

5 类似的, 用于绿光的 GaN 基发光二极管的单个 p 侧电极 18 沿 x 方向通过引线 23 彼此连接, 而用于蓝光的 GaN 基发光二极管的单个 p 侧电极 18 沿 x 方向通过引线 24 彼此连接。另一方面, n 侧电极 19 沿 y 方向延伸并且每个用作一系列沿 y 方向排列的 GaN 基发光二极管的公共电极的功能。

具有上述构造的简单矩阵图像显示装置可以依据待显示图像的信号通过选择引线 22 至 24 和 n 侧电极 19 来显示图像, 由此, 向选定像素的选定 GaN 基发光二极管施加电流从而驱动其发光。

根据第三实施例, 每个 GaN 基发光二极管具有与第一实施例相同的构造, 因此具有很高的发光效率。由此, 可以实现高亮度全色图像显示装置。

接着将介绍根据本发明第四实施例的照明装置。该照明装置具有与图 15 所示的图像显示装置相同的构造。

该照明装置可以依据照明光的颜色通过选择引线 22 至 24 和 n 侧电极 19 来发射照明光, 由此向选定像素的选定 GaN 基发光二极管施加电流从而驱动其发光。

20 根据第四实施例, 每个 GaN 基发光二极管具有与第一实施例相同的构造, 因此具有很高的发光效率。由此, 可以实现高亮度全色照明装置。

接着将介绍根据本发明第五实施例的 GaN 基发光二极管。此 GaN 基发光二极管如图 16A 和 16B 所示。

25 在第五实施例中, GaN 基发光二极管按照与第一实施例相同的方式制造。然而, 第五实施例与第一实施例的区别在于, 生长掩模 14 中开口 13 的尺寸 D 为  $D=10\mu\text{m}$ , 而间距 P 为  $P=28\mu\text{m}$ 。

30 根据第五实施例, 由于生长掩模 14 中的开口 13 具有相对较小的尺寸  $D=10\mu\text{m}$ , 其减小了易于在 n 型 GaN 层 15 的选择性生长期间产生错位和沉积缺陷 21 的区域, 并且由此减小了这些晶体缺陷对光发射的负面影响。结果, 可以获得发光效率和稳定性增强的 GaN 基发光二极管。例如, 当所述驱动电流为  $200\mu\text{A}$ , 则获得  $25\mu\text{W}$  的发射输出。另外, 第五实施例确保了与第一实施例相同的优点。

接着将介绍根据本发明第六实施例的 GaN 基发光二极管。图 17A 和 17B 示出了此 GaN 基发光二极管。

在第六实施例中，具有开口 13 的生长掩模 14 按照与第一实施例相同的方式形成。然而，与第一实施例不同的是，开口 13 的尺寸 D 为  $D=10\mu\text{m}$ ，而间距 P 为  $P=28\mu\text{m}$ 。然后，在此生长掩模 14 存在的情况下，选择性生长 n 型 GaN 层 15。在此工艺中，生长温度设定在例如  $1020^\circ\text{C}$ ，并且在平面生长还原反应中生长速度设定为  $4\mu\text{m/h}$ 。在此选择性生长的工艺中，可以通过降低生长温度低于  $1020^\circ\text{C}$  使其与 n 型 GaN 层 12 的界面附近的生长更慢而降低生长速度。然而，对于除去与 n 型 GaN 层 12 交界附近以外的绝大部分的生长，生长温度升高至  $1020^\circ\text{C}$ ，且在平面生长还原反应中的生长速度升高至  $4\mu\text{m/h}$ 。其后，在  $0.5\mu\text{m/h}$  的低生长速度下继续生长。结果，生长出具有倾斜晶面的尖顶形 n 型 GaN 层 15，每个所述倾斜晶面整体来看表现为一个凸出晶面，如图 17A 和 17B 所示。在此情况下，倾斜晶面包括形成在 n 型 GaN 层 15 下部侧面上的 M 取向或更小的倾斜晶面和形成在 n 型 GaN 层 15 上部侧面上的 S 取向面。

其后，按照与第一实施例相同的方式继续所述工艺，并且完成图 17A 和 17B 所示的 GaN 基发光二极管。在此情况下，发光元件的尺寸 W 为  $W=13\mu\text{m}$ 。

根据第六实施例，可以获得与第一和第二实施例相同的优点。例如，当驱动电流为  $200\mu\text{A}$  时，获得了  $25\mu\text{W}$  的发射输出。

接着将介绍根据本发明第七实施例的 GaN 基发光二极管。图 18A 和 18B 示出了此 GaN 基发光二极管。

在第七实施例中，具有开口 13 的生长掩模 14 按照与第一实施例相同的方式形成。然而，开口 13 的尺寸 D 为  $D=10\mu\text{m}$ ，而间距 P 为  $P=28\mu\text{m}$ 。然后，与第一实施例类似地，在此生长掩模 14 存在的情况下，选择性生长 n 型 GaN 层 15，并在其上生长有源层 16 和 p 型 GaN 层 17。在此实施例中，有源层 16 具有包括垒层 16a、阱层 16b、垒层 16c、阱层 16d 和垒层 16e 构成的 MQW 结构。例如，垒层 16a、阱层 16b、垒层 16c、阱层 16d 和垒层 16e 可以是 InGaN 层。在此情况下，发光结构的尺寸 W 为  $W=13\mu\text{m}$ 。

其后，按照与第一实施例相同的方式继续工艺，从而完成图 18A 和 18B 所示的 GaN 基发光二极管。

根据第七实施例，可以获得与第一和第二实施例相同的优点。例如，当驱动电流为  $200\mu\text{A}$  时，获得了  $80\mu\text{W}$  的发射输出。

接着将介绍根据本发明第八实施例的 GaN 基发光二极管。图 19A 和 19B 示出了此 GaN 基发光二极管。

5 在第八实施例中，具有开口 13 的生长掩模 14 按照与第一实施例相同的方式形成。然而，与第一实施例不同的是，开口 13 的尺寸 D 为  $D=10\mu\text{m}$ ，而间距 P 为  $P=28\mu\text{m}$ 。然后，在此生长掩模 14 存在的情况下，选择性生长 n 型 GaN 层 15。在此工艺中，生长温度设定在例如  $940^\circ\text{C}$ ，并且在平面生长还原反应中生长速度设定为  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。在此选择性生长的工艺中，可以通过降低生长温度低于  $940^\circ\text{C}$  使其与 n 型 GaN 层 12 的界面附近的生长更慢而降低生长速度。然而，对于除去与 n 型 GaN 层 12 交界附近以外的绝大部分的生长，生长温度升高至  $940^\circ\text{C}$ ，且在平面生长还原反应中的生长速度升高至  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。其后，在  $0.5\mu\text{m}/\text{h}$  的低生长速度下继续生长。结果，生长出具有倾斜晶面的六边截头形尖顶形式的尖顶形 n 型 GaN 层 15，每个所述倾斜晶面整体来看表现为一个凸出晶面并在顶点部分具有 C 取向或近似 C 取向晶面，如图 19A 和 19B 所示。接着，在例如  $940^\circ\text{C}$  的生长温度和  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的生长速度下生长未掺杂的 GaN 层 22 至约  $100\text{nm}$  的厚度，从而在 n 型 GaN 层 15 的顶尖部分上完成所述六棱锥。所述未掺杂的 GaN 层 22 用作电流阻挡区域。

15 其后，按照与第一实施例相同的方式继续所述工艺，从而完成图 19A 和 19B 所示的 GaN 基发光二极管。在此情况下，发光结构的尺寸 W 为  $W=13\mu\text{m}$ 。

20 根据第八实施例，可以获得与第一和第二实施例相同的优点。具体而言，由于未掺杂的 GaN 层 22 起到电流阻挡区域的作用，并且可以防止驱动电流流经晶体程度差的区域，实现了较高的发光效率。例如，当驱动电流为  $200\mu\text{A}$  时，获得了  $80\mu\text{W}$  的发射输出。

25 接着将介绍根据本发明第九实施例的 GaN 基发光二极管。图 20A 和 20B 示出了此 GaN 基发光二极管。

30 在第九实施例中，具有开口 13 的生长掩模 14 按照与第一实施例相同的方式形成。然而，与第一实施例不同的是，开口 13 的形式是一个长的六边形，其具有例如在最大尺寸为  $30\mu\text{m}$ ，在垂直于最大尺寸方向的法向方向的

最小尺寸为  $10\mu\text{m}$  并且所述间距  $P$  为  $28\mu\text{m}$ 。然后,在此生长掩模 14 存在的情况下,选择性生长  $n$  型 GaN 层 15。在此工艺中,生长温度设定在例如  $940^\circ\text{C}$ ,并且在平面生长还原反应中生长速度设定为  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。在此选择性生长的工艺中,可以通过降低生长温度低于  $940^\circ\text{C}$  使其与  $n$  型 GaN 层 12 的界面附近的生长更慢而降低生长速度。然而,对于除去与  $n$  型 GaN 层 12 交界附近以外的绝大部分的生长,生长温度升高至  $940^\circ\text{C}$ ,且在平面生长还原反应中的生长速度升高至  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。结果,在沿生长掩模 14 的开口 13 的最小尺寸方向截取的截面中,生长出尖顶形  $n$  型 GaN 层 15,以在沿垂直于截面的方向延伸并包括倾斜晶面,每个所述倾斜晶面整体来看表现为一个凸形面,如图 20A 和 20B 所示。

其后,按照与第一实施例相同的方式继续所述工艺,从而完成图 20A 和 20B 所示的 GaN 基发光二极管。在此情况下,发光结构的尺寸  $W$  为  $W=13\mu\text{m}$ 。

根据第九实施例,可以获得与第一和第二实施例相同的优点。例如,当驱动电流为  $200\mu\text{A}$  时,获得了  $80\mu\text{W}$  的发射输出。

接着将介绍根据本发明第十实施例的 GaN 基发光二极管。图 21A 和 21B 示出了此 GaN 基发光二极管。

在第十实施例中,具有开口 13 的生长掩模 14 按照与第一实施例相同的方式形成。然而,与第一实施例不同的是,开口 13 的尺寸  $D$  为  $D=10\mu\text{m}$ ,而间距  $P$  为  $P=28\mu\text{m}$ 。然后,在此生长掩模 14 存在的情况下,选择性生长  $n$  型 GaN 层 15。在此工艺中,生长温度设定在例如  $940^\circ\text{C}$ ,并且在平面生长还原反应中生长速度设定为  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。在此选择性生长的工艺中,可以通过降低生长温度低于  $940^\circ\text{C}$  使其与  $n$  型 GaN 层 12 的界面附近的生长更慢而降低生长速度。然而,对于除去与  $n$  型 GaN 层 12 交界附近以外的绝大部分的生长,生长温度升高至  $940^\circ\text{C}$ ,且在平面生长还原反应中的生长速度升高至  $11.0$  至  $11.3\mu\text{m}/\text{h}$  的非常高的速度。

其后,通过使用例如氟酸基蚀刻剂的湿法蚀刻或通过使用诸如  $\text{CF}_4$ 、 $\text{CFH}_3$  等的含氟蚀刻气体的 RIE 去除生长掩模。

其后,在例如  $960^\circ\text{C}$  的生长温度下,生长厚度例如约  $1\mu\text{m}$  的  $n$  型 GaN 层(未示出)。接着,在  $n$  型 GaN 层的清洁表面上生长有源层 16 和  $p$  型 GaN 层 17。在此情况下,发光结构的尺寸  $W$  为  $W=13\mu\text{m}$ 。

其后，按照与第一实施例相同的方式继续所述工艺直至 p 侧电极 18。

接着，通过光刻形成抗蚀图形(未示出)从而覆盖除用于形成 n 侧电极的区域以外的区域中的 p 型 GaN 层 17。在抗蚀图形作为掩模的情况下，通过例如 RIE 蚀刻选择性去除 p 型 GaN 层 17 和有源层 16，从而形成开口并通过该开口露出 n 型 GaN 层 12。其后，去除抗蚀图形。然后，通过例如真空蒸发在整个衬底表面上顺序形成 Ti 膜、Pt 膜和 Au 膜，并在其上通过光刻形成预定几何形状的抗蚀图形。在抗蚀图形作为掩模的情况下，蚀刻 Ti 膜、Pt 膜和 Au 膜。结果，形成了通过在 p 型 GaN 层 17 和有源层 16 中形成的开口与 n 型 GaN 层 12 相接触的 Ti/Pt/Au 结构的 n 侧电极 19。

根据第十实施例，可以获得与第一和第二实施例相同的优点。例如，当驱动电流为  $200\mu\text{A}$  时，获得了  $25\mu\text{W}$  的发射输出。

另外，第十实施例具有以下优点。如上所述，传统的 GaN 基发光二极管需要在通过氧化硅( $\text{SiO}_2$ )或氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )的生长掩模中的开口暴露的 n 型 GaN 层上选择性生长具有倾斜于衬底主面的倾斜晶面的六棱锥 n 型 GaN 层的工艺；以及在其上存在保留的生长掩模的情况下在倾斜晶面上生长有源层、p 型 GaN 层及其它的工艺。然而，由于 n 型 GaN 层的选择性生长和其后 p 型 GaN 层的生长在  $900^\circ\text{C}$  或更高的高温下进行，由此可出现在生长期硅(Si)和氧(O)由生长掩模的表面除去并结合入生长在附近的层中的现象。在 p 型 GaN 层的生长期，该现象的负面影响特别严重。现已发现，若可用作 GaN 的 n 型杂质的 Si 在 GaN 生长的同时结合入 p 型 GaN 层，难以获得期望的 p 型 GaN 层，且即使获得了 p 型 GaN 层，空穴浓度和迁移率都明显下降，由此妨碍了发光二极管发光效率的提高。另外，传统 GaN 基发光二极管需要用于在生长掩模中形成开口的光刻的工艺，并且此工艺需要使抗蚀剂靠近接触掩模表面从而局部将掩模去除的工艺。然而，在此去除工艺中，抗蚀剂易于保留在生长掩模的精细缝隙中并难以去除。在后面高温下的生长中，任何存留的抗蚀剂可以变为杂质源，并且可以劣化 p 型 GaN 层等的性质。相反，在第十实施例中，由于生长掩模 14 在有源层 16 和 p 型 GaN 层 17 的生长前通过蚀刻去除，在生长有源层 16 和 p 型 GaN 层 17 时生长掩模 14 不存在。由此，第十实施例不受不期望的 Si 从生长掩模 14 结合进入在该处生长的层中的影响，并且不受由抗蚀剂污染的影响。因此，第十实施例确保了充足 Mg 掺杂且低电阻 p 型 GaN 层 17 的生长，并且还能够



增强 GaN 基发光二极管的发光效率。

以上，已经说明了本发明的具体实施例。然而，本发明不限于这些实施例，还打算基于本发明技术概念做出各种变化和改动。

例如，第一至第十实施例中提出的例如数值、材料、结构、形状、衬底、源材料、工艺等仅用作示例，并且若有必要，可以使用其它的数值、材料、结构、形状、衬底、源材料、工艺等。

更加具体而言，为增强第一至第十实施例中有源层 16 的性能，例如，可以在有源层 16 附近形成光限制性能出色的 AlGa<sub>N</sub> 层，和/或可形成例如 In 成分较少的 InGa<sub>N</sub> 层。若期望通过所谓弯曲来减少带隙的效应，向 InGa<sub>N</sub> 中加入 Al 从而形成 AlInGa<sub>N</sub>。另外，若有必要，可以在有源层 16 与 n 型 Ga<sub>N</sub> 层 12 和/或有源层 16 与 p 型 Ga<sub>N</sub> 层 17 之间插入光导层。

尽管第一至第十实施例使用蓝宝石衬底，然而可以在适合时使用诸如 SiC 衬底、Si 衬底等的任何其它衬底。或者，可以使用通过诸如 ELO(外延横向过生长)或 Pendeo 的横向晶体生长技术制成的 Ga<sub>N</sub> 衬底。

在第一至第十实施例中，可以在 p 型 Ga<sub>N</sub> 层 17 与 p 侧电极 18 之间插入厚度等于或大于允许产生于有源层 16 中的光穿过的 Ni、Pd、Co、Sb 等的接触金属层。在此情况下，通过接触金属层增强反射的效果进一步增强了 Ga<sub>N</sub> 基发光二极管的发光效率。

在第三和第四实施例中，多个 Ga<sub>N</sub> 基发光二极管整体地形成在蓝宝石衬底上。然而，可以将整体形成在蓝宝石衬底 11 上的 Ga<sub>N</sub> 基发光二极管分为分散元件，随后按照与第三和第四实施例相同的分布在基座上安装，并通过引线按照与上述相同的构造连接。

如上所述，根据本发明，第一导电型的半导体层形成在主面上，其包括一个凸出晶体部分，所述凸出晶体部分具有由多个以不同的倾角从主面倾斜的晶面组成的整体上表现为凸形面的倾斜晶面，或具有整体上表现为基本凸形面的倾斜晶面。然后，至少在倾斜晶面上，至少顺序沉积有源层和第二导电型的半导体层，从而形成发光元件结构。因此，本发明可以提供半导体发光元件、集成半导体发光元件、图像显示装置和照明装置，其可以明显提高发光效率且每个元件占据的面积小。

图 1A

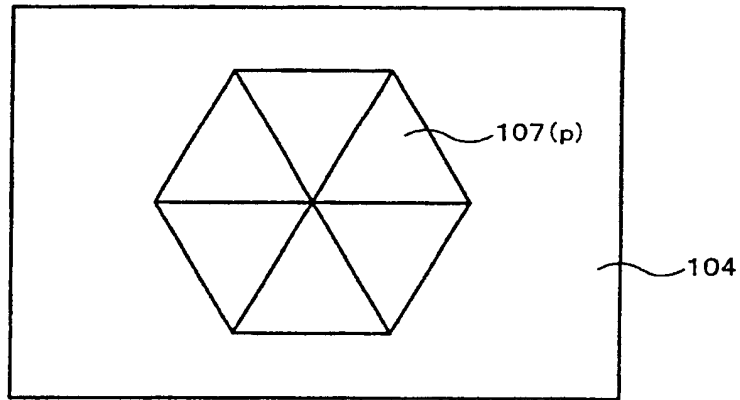
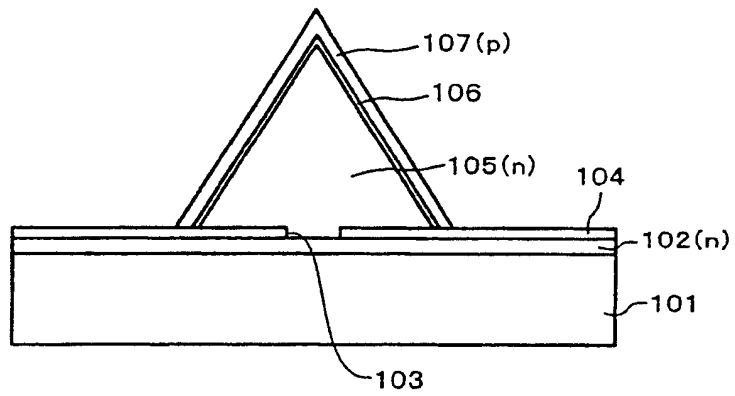


图 1B



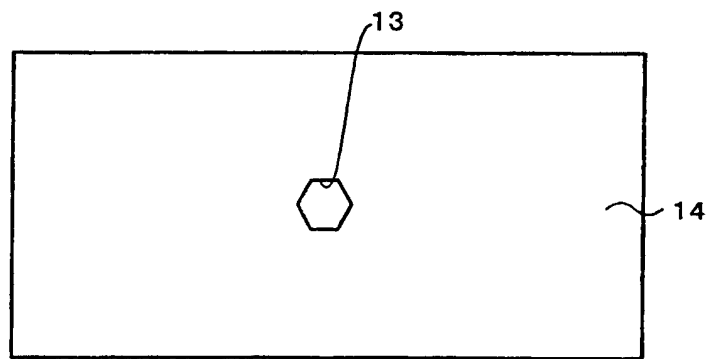


图 2A

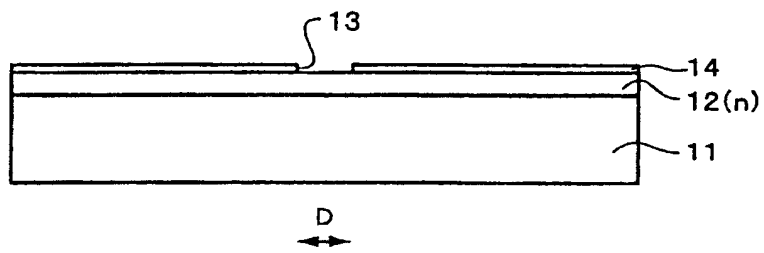


图 2B

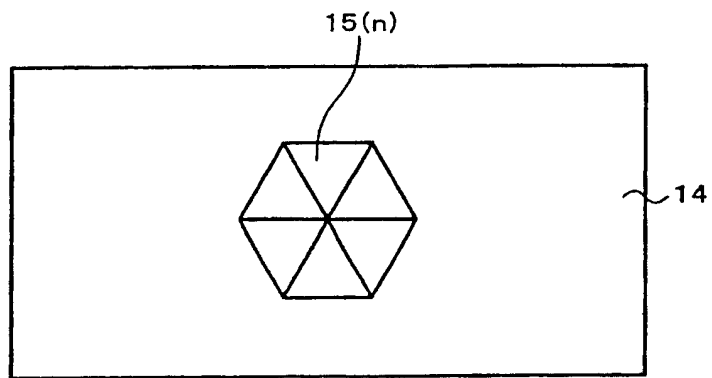


图 3A

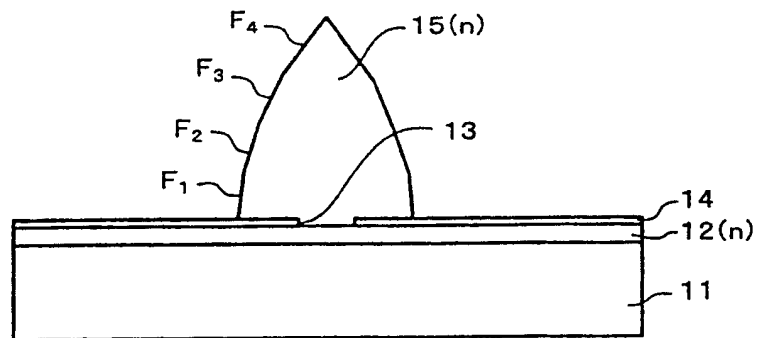


图 3B

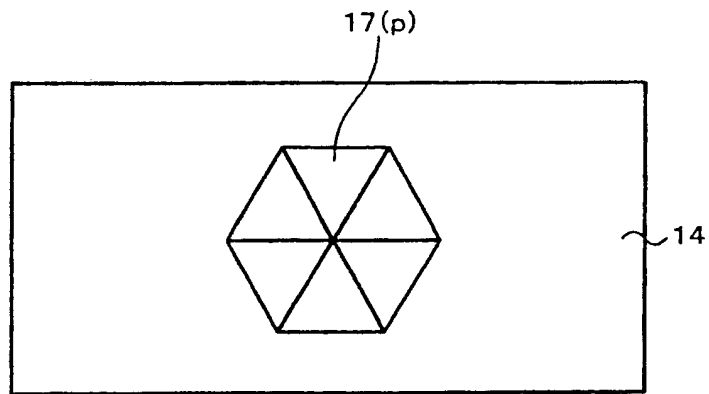


图 4A

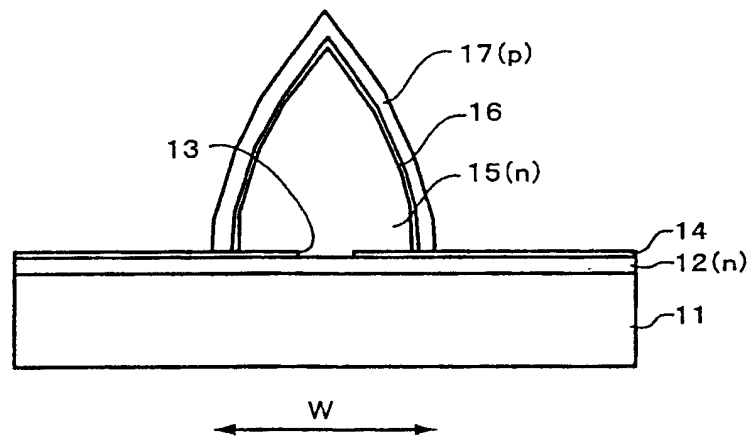


图 4B

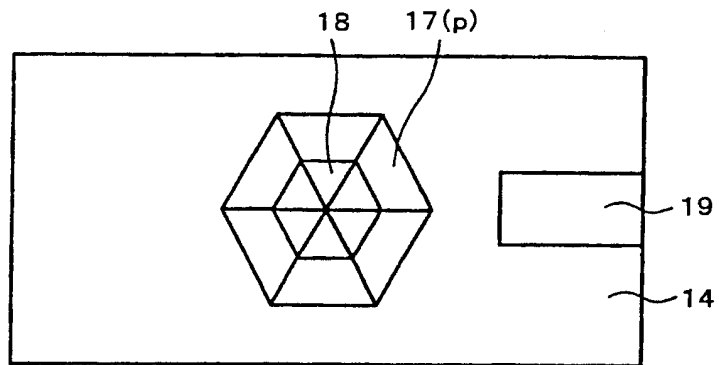


图 5A

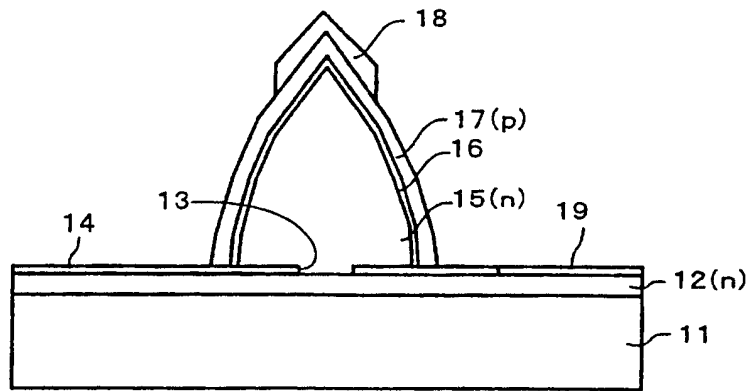


图 5B

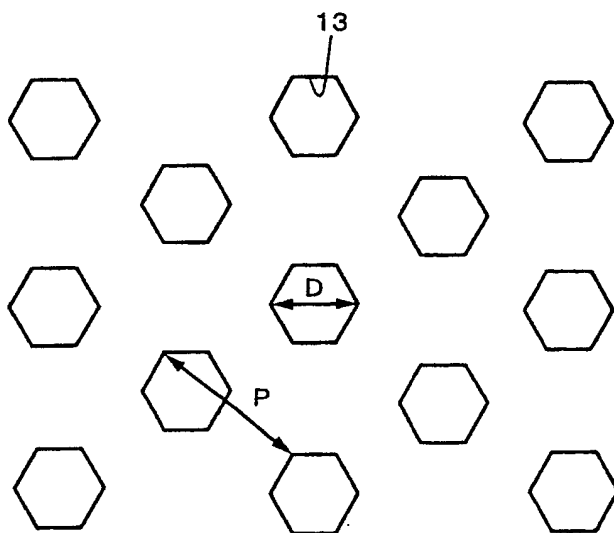


图 6

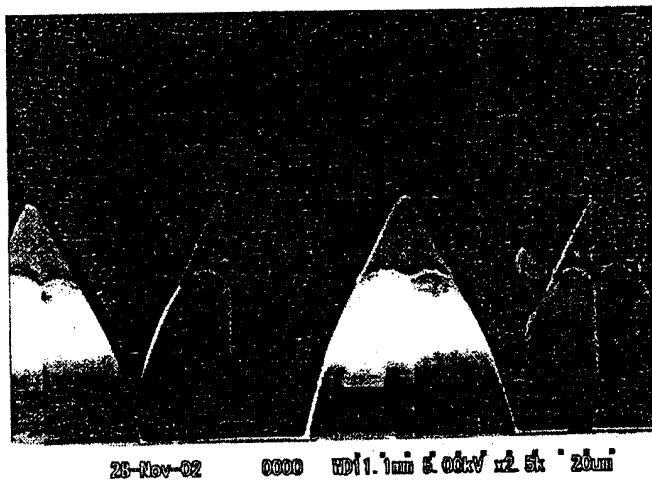


图 7

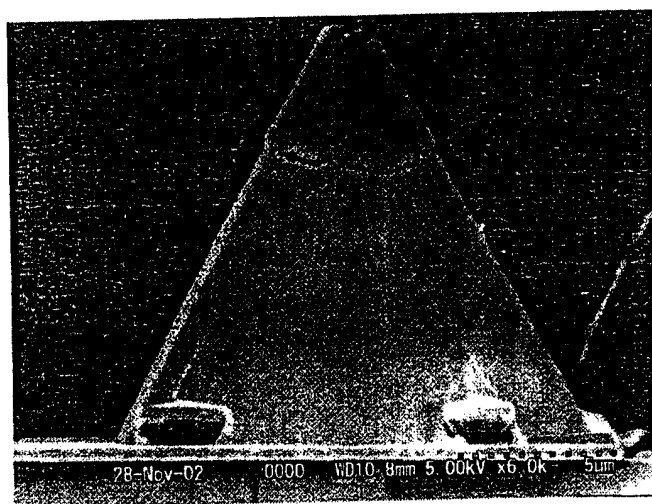


图 8



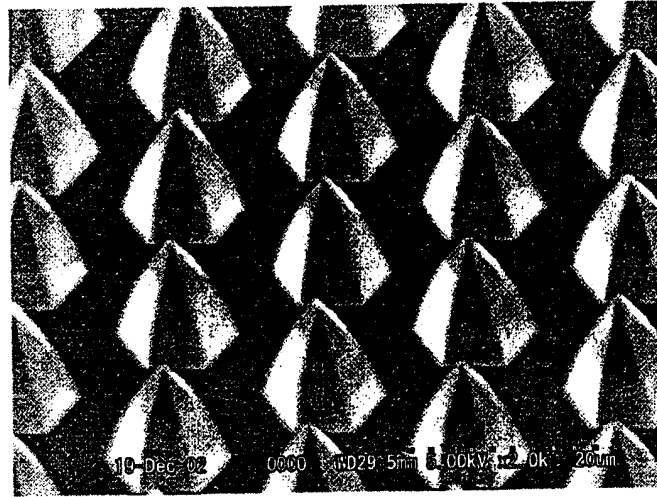


图 9

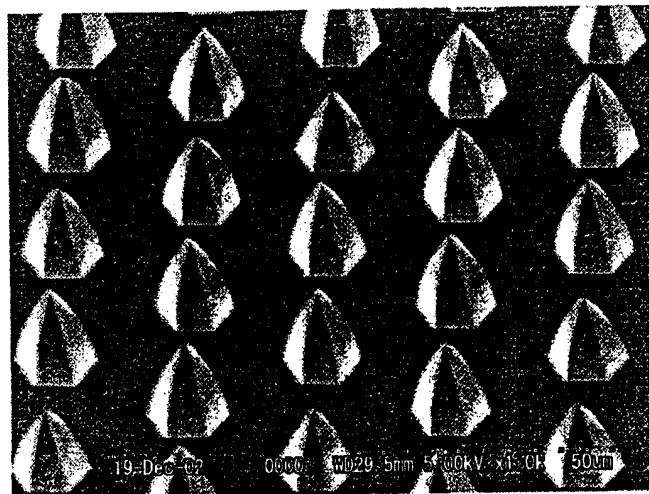


图 10

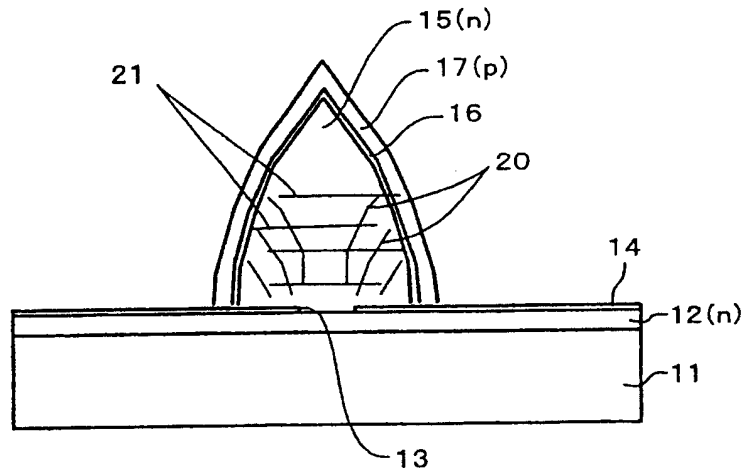


图 11

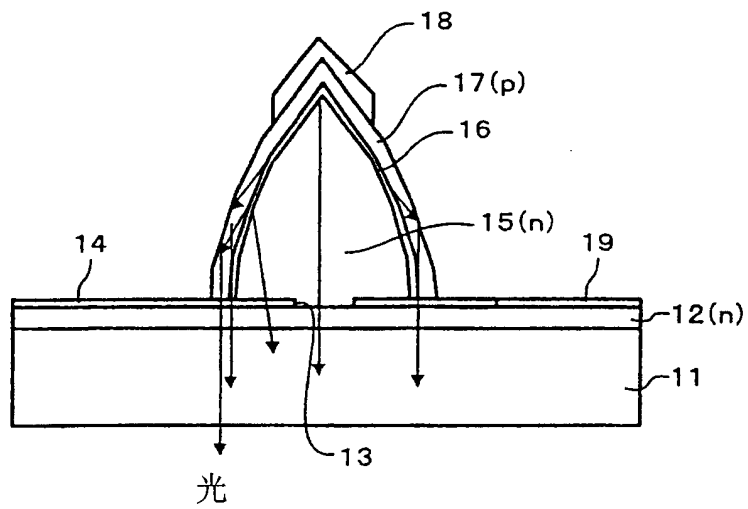


图 12

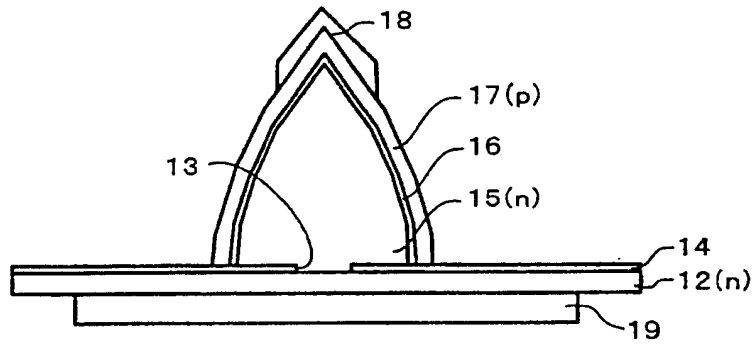


图 13

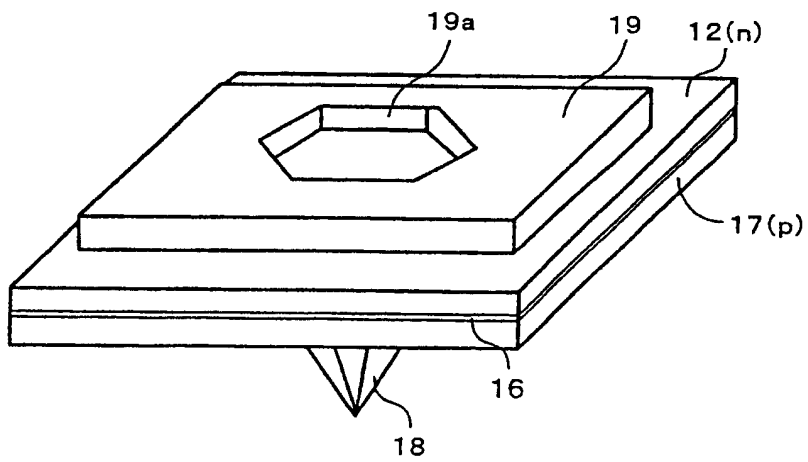


图 14

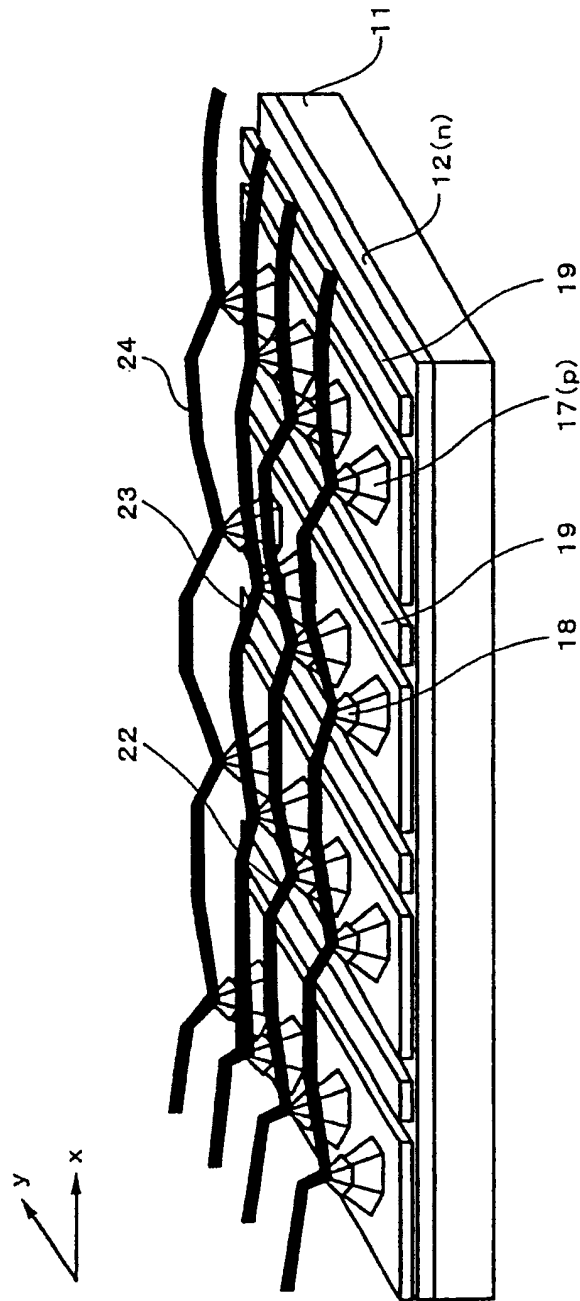


图 15

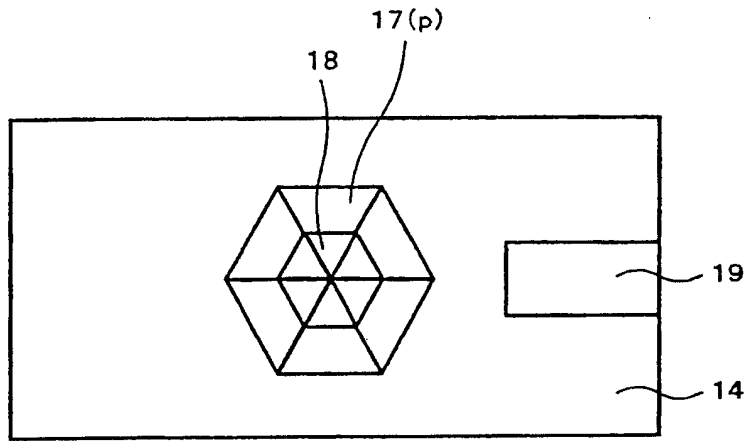


图 16A

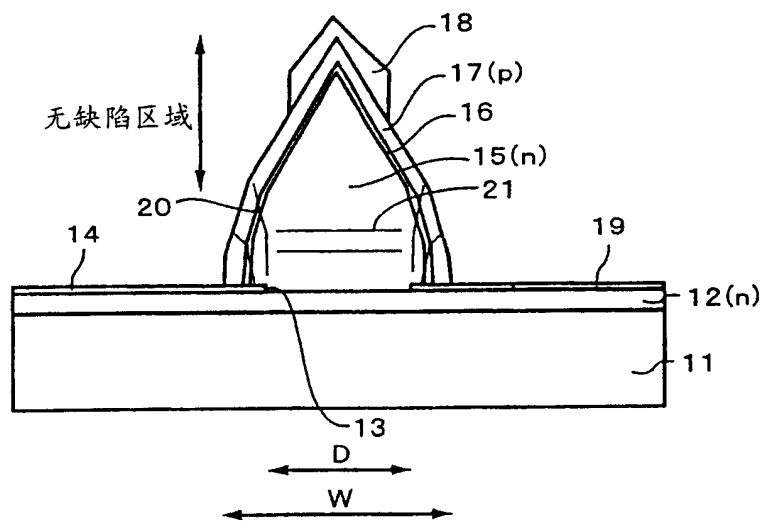


图 16B

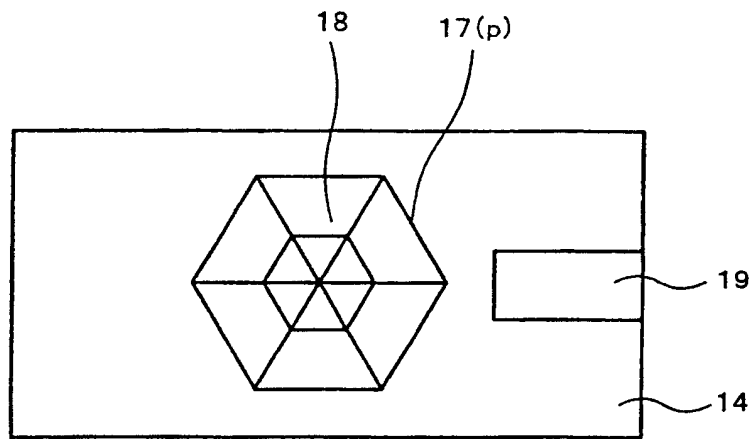


图 17A

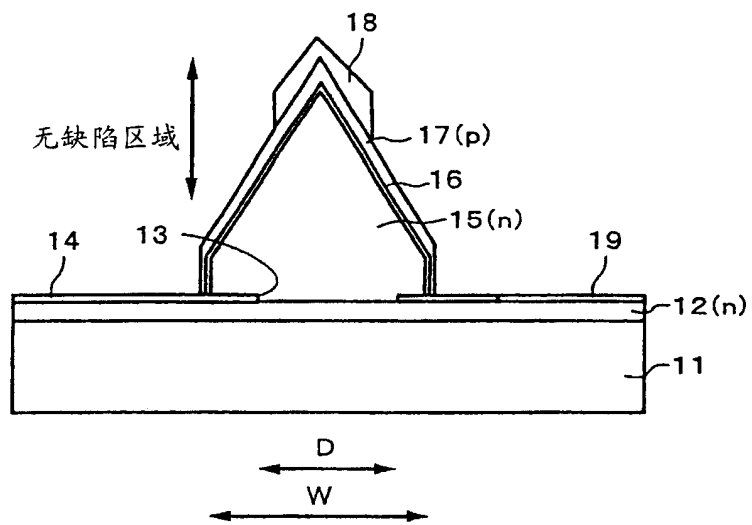


图 17B

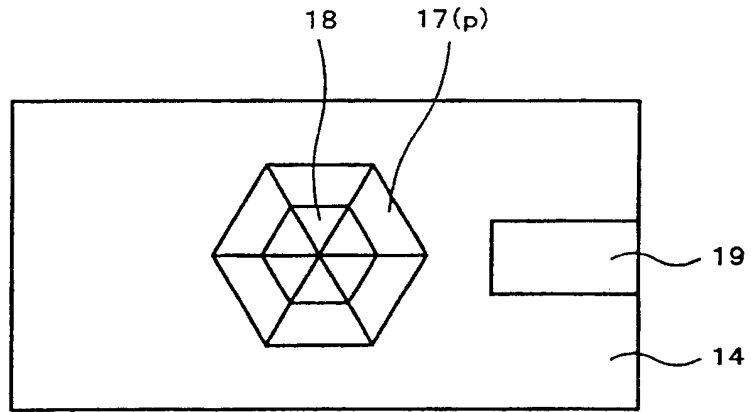


图 18A

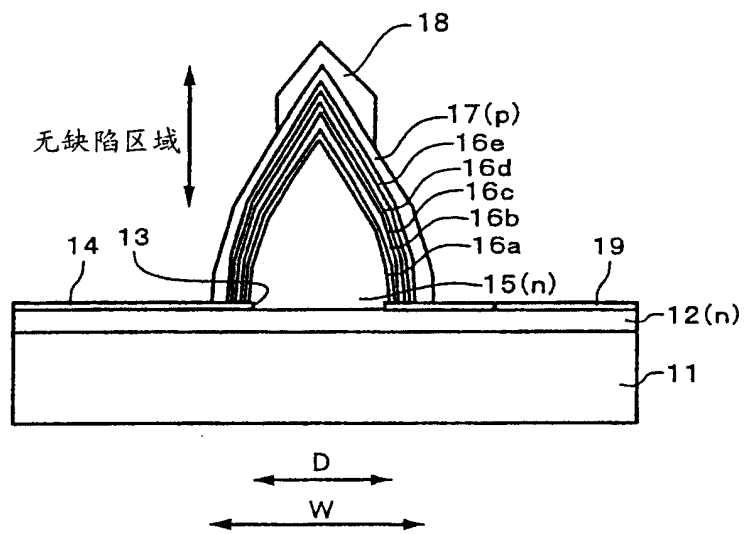


图 18B

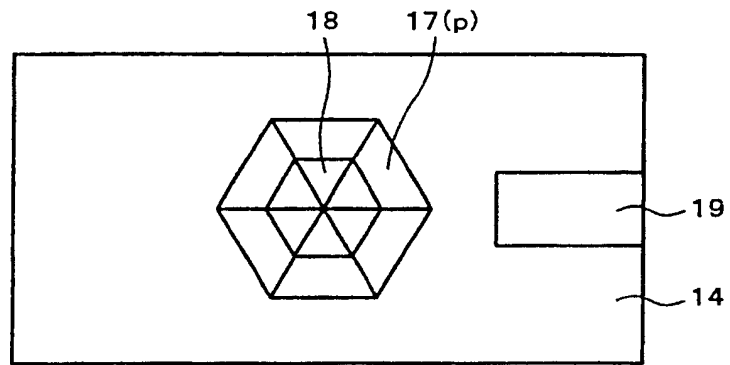


图 19A

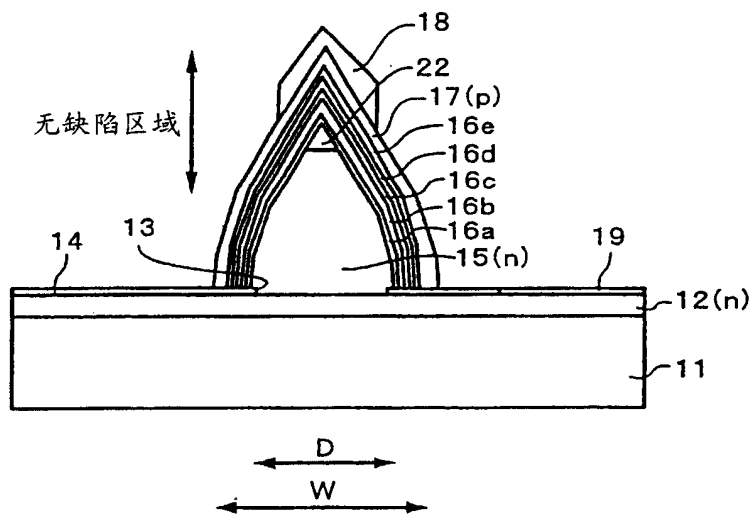


图 19B



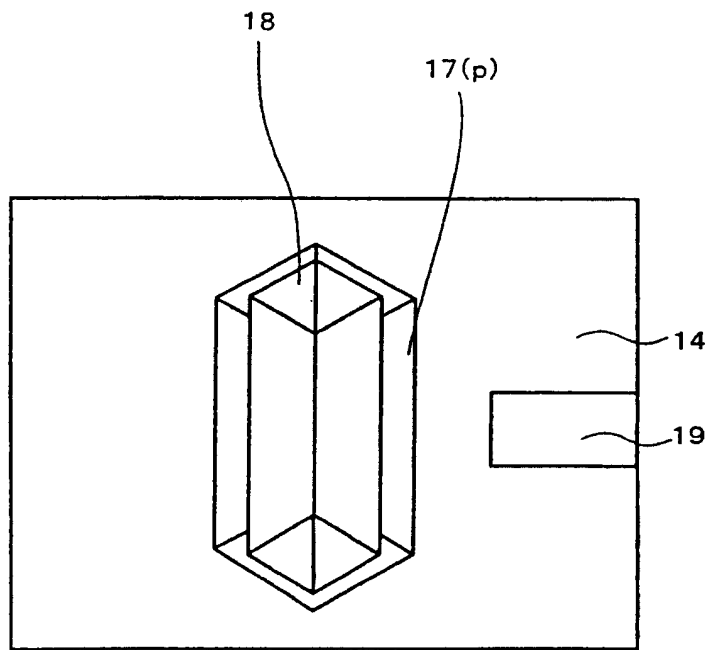


图 20A

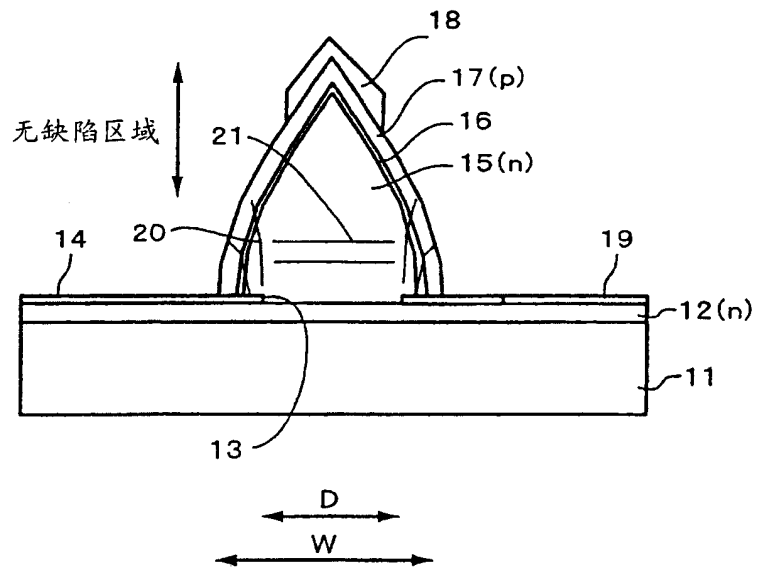


图 20B

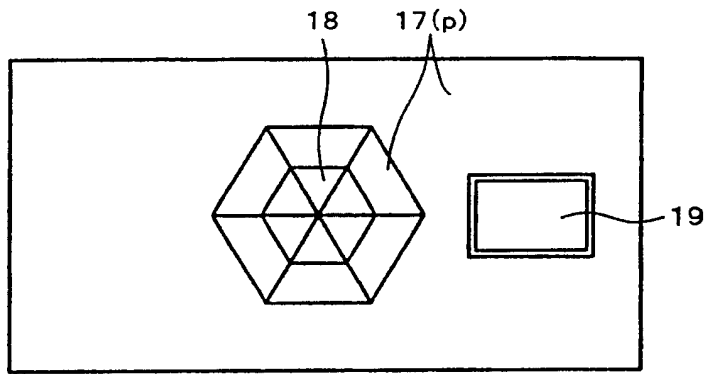


图 21A

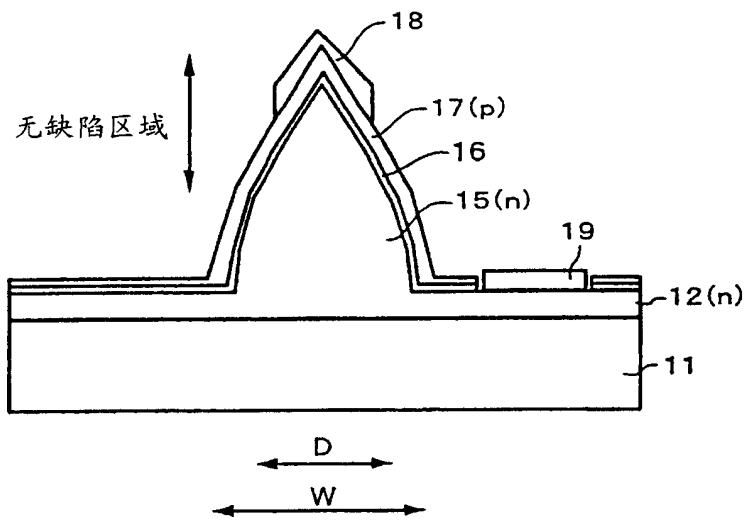


图 21B

## 附图标记描述:

	11	蓝宝石衬底
	12	n型 GaN 层
5	13	开口
	14	生长掩膜
	15	n型 GaN 层
	16	有源层
	17	p型 GaN 层
10	18	p 侧电极
	19	n 侧电极