



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101569069 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 16

(21) 申请号 200880001217. 7

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

(22) 申请日 2008. 05. 20

11105

代理人 彭久云

(30) 优先权数据

139963/2007 2007. 05. 28 JP

202522/2007 2007. 08. 03 JP

110540/2008 2008. 04. 21 JP

(51) Int. Cl.

H01S 5/223(2006. 01)

H01L 33/00(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 05. 27

(56) 对比文件

JP 特开 2006-295016 A, 2006. 10. 26, 附图 1, 实施例 1.

CN 1898842 A, 2007. 01. 17, 全文.

JP 特开平 5-183233 A, 1993. 07. 23, 全文.

JP 特开平 11-54828 A, 1999. 02. 26, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2008/059195 2008. 05. 20

审查员 孙寒

(87) PCT申请的公布数据

W02008/146651 JA 2008. 12. 04

(73) 专利权人 索尼株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 冈野展贤 狩野祥男 鎌田满

高瀬英治 大金诚 长竹刚

成井启修

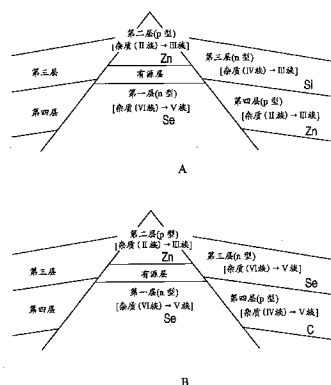
权利要求书 5 页 说明书 79 页 附图 29 页

(54) 发明名称

半导体发光装置

(57) 摘要

本发明公开了一种半导体发光装置, 该半导体发光装置包括: (A) 发光单元 (20), 由具有第一导电类型的第一化合物半导体层 (21) (下面将“化合物半导体层”称作“层”)、有源层 (23) 和具有第二导电类型的第二层 (22) 组成; 以及 (B) 电流阻挡层 (40), 形成为与发光部分的侧面接触并由具有第一导电类型的第三层 (43) 和具有第二导电类型的第四层 (44) 组成。使第一层 (21) 具有第一导电类型的杂质由第一层 (21) 中的杂质的置换位置与第二层 (22) 中使第二层 (22) 具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的杂质组成。使第三层 (43) 具有第一导电类型的杂质由第三层 (43) 中的杂质的置换位置与第四层 (44) 中使第四层 (44) 具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的杂质组成。在该半导体发光装置中, 可以进一步减少电流阻挡层中的电流泄漏。



1. 一种半导体发光装置,包括:

(A) 由层叠结构组成的发光部分,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

(B) 电流阻挡层,与该发光部分的侧面接触,

其中该电流阻挡层由具有该第一导电类型的第三化合物半导体层和具有该第二导电类型且与该第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

使该第一化合物半导体层具有该第一导电类型的杂质包括在该第一化合物半导体层中的置换位置处的杂质,该第一化合物半导体层中的该置换位置与该第二化合物半导体层中使该第二化合物半导体层具有该第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争,并且

使该第三化合物半导体层具有该第一导电类型的杂质包括在该第三化合物半导体层中的置换位置处的杂质,该第三化合物半导体层中的该置换位置与该第四化合物半导体层中使该第四化合物半导体层具有该第二导电类型的杂质的置换位置相竞争;

其中该第一化合物半导体层、该第二化合物半导体层、该第三化合物半导体层和该第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成。

2. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置,其中该第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

该第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

3. 根据权利要求 2 所述的半导体发光装置,其中该第四化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从该第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,

至少该第四 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触,

该第四 A 化合物半导体层和该第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

该第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

4. 根据权利要求 2 所述的半导体发光装置,其中该第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。

5. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置,

其中该第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在该第一 A 化合物半导体层上以与该有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

该第二化合物半导体层包括与该有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在该第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

该第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

该第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

该第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

该第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

6. 根据权利要求 5 所述的半导体发光装置，

其中该第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从该第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，至少该第四 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触，

该第四 A 化合物半导体层和该第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

该第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

7. 根据权利要求 5 所述的半导体发光装置，其中该第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。

8. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置，

其中该第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

该第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

9. 根据权利要求 8 所述的半导体发光装置，

其中该第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从该第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，至少该第三 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触，

该第三 A 化合物半导体层和该第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

该第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。

10. 根据权利要求 8 所述的半导体发光装置，

其中该第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。

11. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置，

其中该第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在该第一 A 化合物半导体层上以与该有源层接触的第一 B 化合物半导体层，

该第二化合物半导体层包括与该有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在该第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

该第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

该第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

该第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

该第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

12. 根据权利要求 11 所述的半导体发光装置，

其中该第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从该第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，至少该第三 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触，

该第三 A 化合物半导体层和该第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

该第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅。

13. 根据权利要求 11 所述的半导体发光装置,其中该第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。

14. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置,

其中该第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

该第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

15. 根据权利要求 14 所述的半导体发光装置,

其中该第四化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从该第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,

至少该第四 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触,

该第四 A 化合物半导体层和该第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

该第四 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。

16. 根据权利要求 14 所述的半导体发光装置,其中该第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。

17. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置,

其中

该第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在该第一 A 化合物半导体层上以与该有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

该第二化合物半导体层包括与该有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在该第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

该第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

该第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

该第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

该第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

18. 根据权利要求 17 所述的半导体发光装置,

其中该第四化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从该第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,

至少该第四 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触,

该第四 A 化合物半导体层和该第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

该第四 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。

19. 根据权利要求 17 所述的半导体发光装置,其中该第四化合物半导体层中的杂质包

括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。

20. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置，

其中该第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

该第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

21. 根据权利要求 20 所述的半导体发光装置，

其中该第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从该第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，

至少该第三 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触，

该第三 A 化合物半导体层和该第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

该第三 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

22. 根据权利要求 20 所述的半导体发光装置，其中该第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。

23. 根据权利要求 1 所述的半导体发光装置，

其中该第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在该第一 A 化合物半导体层上以与该有源层接触的第一 B 化合物半导体层，

该第二化合物半导体层包括与该有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在该第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

该第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

该第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

该第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

该第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

该第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

24. 根据权利要求 23 所述的半导体发光装置，

其中该第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从该第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，

至少该第三 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触，

该第三 A 化合物半导体层和该第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

该第三 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

25. 根据权利要求 23 所述的半导体发光装置，其中该第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。

26. 根据权利要求 2、5、8、11、14、17、20、23 任意一项所述的半导体发光装置，

其中该电流阻挡层具有还包括第二导电类型的第五化合物半导体层的结构，并且

该第三化合物半导体层夹设在该第四化合物半导体层和该第五化合物半导体层之间，而且

使该第三化合物半导体层具有该第一导电类型的杂质包括在该第三化合物半导体层中的置换位置处的杂质,该第三化合物半导体层中的该置换位置与该第五化合物半导体层中使该第五化合物半导体层具有该第二导电类型的杂质的该置换位置相竞争。

27. 根据权利要求 2、5、8、11、14、17、20、23 任意一项所述的半导体发光装置,其中该电流阻挡层具有还包括第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,并且该第四化合物半导体层夹设在该第三化合物半导体层和该第六化合物半导体层之间,而且

使该第四化合物半导体层具有该第二导电类型的杂质包括在该第四化合物半导体层中的置换位置处的杂质,该第四化合物半导体层中的该置换位置与该第六化合物半导体层中使该第六化合物半导体层具有该第一导电类型的杂质的置换位置相竞争。

半导体发光装置

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体发光装置,特别是包括电流阻挡层的半导体发光装置,该电流阻挡层沿发光部分的横向方向设置,用于减小电流。

背景技术

[0002] 具有 SDH(Separated Double Hetero Junction-SDH,分离双异质结)结构的半导体激光器(在下文中称为“SDH 型半导体激光器”)被认为是具有低阈值电流 I_{th} 的半导体层,其中 SDH 结构可以通过一次外延生长工艺形成,例如见专利 No. 2990837。

[0003] 在 SDH 型半导体激光器中,首先凸起部分形成在以 {100} 平面作为主表面的基板上以沿 {110}A 平面方向延伸。在基板的主表面上形成的晶体中,由化合物半导体层的层叠结构组成的发光部分形成在凸起部分的 {100} 平面(为了方便起见,称为“凸起平面”)上。发光部分由这样的层叠结构组成,例如其中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层。另外,发光部分具有沿着在与凸起部分的延伸方向垂直的方向上的虚拟平面剖取的三角形截面形状,发光部分的侧面(倾斜表面)由 {111}B 平面组成。在 MOCVD 法(也称为“MOVPE 法”)中,{111}B 平面除了特殊的晶体生长条件外一般被认为是非生长面。因此,在 SDH 型半导体激光器的情况下,当形成 {111}B 平面作为侧表面的发光部分时,在发光部分的晶体生长中保持“自生长终止”,即便其后仍然继续 MOCVD 生长。

[0004] 在说明书中,为了方便起见,下面的晶体平面符号表示 (hk1) 平面和 (hk-1) 平面。

[0005] (h k l)plane

[0006] (h k $\bar{l}$)plane

[0007] 在说明书中,为了方便起见,下面的晶体方向符号表示 [hk1] 方向和 [hk-1] 方向。

[0008] [h k l]direction

[0009] [h k $\bar{l}$]direction

[0010] 另一方面,非生长表面不出现在用作基板主表面的 {100} 平面的除凸起部分外的部分(为了方便起见,称为“凹进表面”)中,当继续 MOCVD 生长时,通过从凹进表面开始的晶体生长而形成的化合物半导体层将完全覆盖发光部分。通过从凹进表面开始的晶体生长而形成的化合物半导体层具有这样的结构,其中在第二化合物半导体层上依次形成电流阻挡层定位层(current-blocking layer positioning layer)、电流阻挡层和埋入层。在这样的结构中,电流阻挡层定位层的厚度可以控制为使得在从凹进表面通过晶体生长形成化合物半导体层期间且在该化合物半导体层完全覆盖发光部分之前(特别是,在化合物半导体层靠近形成在发光部分中的有源层的侧表面时)形成电流阻挡层,由此形成只有发光部分的有源层可以被注入电流的结构。

[0011] 这样,在 SDH 型半导体激光器中,化合物半导体层的每一个都可以通过一次晶体生长工艺形成。另外,具有比有源层的能带隙足够大的能带隙的材料,即具有低折射率的材料被选择为化合物半导体层(第一化合物半导体层和第二化合物半导体层)所用的材料以

及电流阻挡层、埋入层和电流阻挡层定位层所用的材料,化合物半导体层将有源层沿垂直方向夹持在发光部分中,电流阻挡层、埋入层和电流阻挡层定位层设置在发光部分的外面,从而有源层完全被适合于光限制的化合物半导体层覆盖。结果,可以使得从以凸起部分的侧表面作为发光表面的半导体激光器发射的光束的形状接近圆形。也就是,可以获得远场图案 (far field pattern, FFP), $\theta_{//} \neq \theta_{\perp}$ 。或者,例如根据与透镜等的耦合效率,从半导体激光器发射的光束的形状可以为椭圆形。在此情况下,例如可以采用所谓的闪光条结构 (flare strip structure) 而将 FFP 的 $\theta_{//}$ 控制得比较小,其中在闪光条结构中增加了靠近凸起部分边缘的宽度。

[0012] 在上述的 SDH 型半导体激光器中,电流阻挡层质量(抑制电流泄漏的程度)的改善是非常重要的技术因素。

发明内容

[0013] 这样,通过从凹进表面开始的晶体生长而获得的电流阻挡层由从发光部分的侧面延伸的 {311}B 晶面区域、沿着基板的主表面延伸的 {100} 晶面区域以及位于在 {311}B 晶面区域和 {100} 晶面区域之间的 {h11}B 晶面区域(为了方便起见,其可以被称为“高阶晶面区域”,其中 h 是 4 或者更大的整数)组成。具体地,在 {h11}B 晶面区域中或者其附近,存在这样的问题:因构成电流阻挡层的 n 型化合物半导体层和 p 型化合物半导体层之间的杂质互扩散而导致电流阻挡层消失或者厚度减少,从而电流阻挡层的作用不稳定,由此增加了电流泄漏。

[0014] 因此,为了解决该问题,在专利 No. 2990837 中 p 型基板用作基板,并且电流阻挡层由 p 型化合物半导体层组成。这样, {311}B 晶面区域可以容易地制成 n 型,并且高阶晶面区域可以容易地制成 p 型。因此, {311}B 晶面区域厚度减小而比基础 p 型外延生长膜薄并成为薄膜部分,同时因 p 型使高阶晶面区域厚度增加而变为厚膜部分。结果,电流阻挡层的高阶晶面区域厚度增加,因此可以可靠地避免该区域中的电流泄漏。

[0015] 这样,专利 No. 2990837 中所披露的技术是解决上述问题的非常有效的技术,但是强烈地要求采用 p 型基板。另外,即使采用了 p 型基板,也希望进一步减小电流阻挡层中的电流泄漏。

[0016] 另外,当 SDH 型半导体激光器用大驱动电流驱动时,由于从电流阻挡层扩散进入有源层的杂质,使得电流泄漏变成了不可忽略的问题。

[0017] 因此,本发明的第一个目标是提供具有这样的结构和构造的半导体发光装置:能够在由多个晶面组成的电流阻挡层的整个表面上实现高稳定性而不受构成电流阻挡层的多个化合物半导体层间的杂质互扩散的影响,并且能够进一步减少电流阻挡层的电流泄漏。此外,本发明的第二个目标是提供具有这样结构和构造的半导体发光装置:杂质很少从电流阻挡层扩散到有源层。

[0018] 为了实现第一个目标,根据本发明第一实施例的半导体发光装置包括:

[0019] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0020] (B) 电流阻挡层,设置为与该发光部分的侧面接触,

[0021] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类

型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，

[0022] 使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第一化合物半导体层中的在与第二化合物半导体层中使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质，并且

[0023] 使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第三化合物半导体层中的在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。

[0024] 另外，可以采用从下面开始的第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层的层叠结构，或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层 / 第四化合物半导体层的层叠结构。

[0025] 根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得：

[0026] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和该第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成，

[0027] 第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0028] 第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0029] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0030] 为了方便起见，该构造称为“根据本发明实施例 1-A-1 的半导体发光装置”。

[0031] 根据本发明实施例 1-A-1 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0032] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[0033] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层接触，

[0034] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0035] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

[0036] 通过这样的构造可以实现第二个目标。为了方便起见，该构造称为“根据本发明实施例 1-A-2 的半导体发光装置”。另外，第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触。

[0037] 或者，根据本发明实施例 1-A-1 的半导体发光装置可以构造为使得第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。第二个目标可以通过这样的构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-A-3 的半导体发光装置”。换言之，在根据本发明的实施例 1-A-3 的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0038] 或者，根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得：

[0039] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成，

[0040] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层，

[0041] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在该第

二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

[0042] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

[0043] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0044] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

[0045] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

[0046] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0047] 为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-B-1 的半导体发光装置”。

[0048] 根据本发明的实施例 1-B-1 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0049] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[0050] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0051] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0052] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。

[0053] 第二个目标可以通过这样的构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-B-2 的半导体发光装置”。另外，第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触。

[0054] 或者，根据本发明的实施例 1-B-1 的半导体发光装置可以构造为使得第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。第二个目标可以通过这样的构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-B-3 的半导体发光装置”。换言之，根据本发明的实施例 1-B-3 的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0055] 或者，根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得：

[0056] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成，

[0057] 第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0058] 第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0059] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

[0060] 为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-a-1 的半导体发光装置”。

[0061] 第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，

[0062] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0063] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

[0064] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。

[0065] 第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-a-2 的半导体发光装置”。另外，第三 B 化合物半导体层部分或者整个地与有源层的侧

面接触。

[0066] 或者,根据本发明的实施例 1-a-1 的半导体发光装置可以构造为使得第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-a-3 的半导体发光装置”。换言之,在根据本发明的实施例 1-a-3 的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的硅 (Si)。

[0067] 或者,根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0068] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0069] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0070] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0071] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

[0072] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

[0073] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

[0074] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的该置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

[0075] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

[0076] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-b-1 的半导体发光装置”。

[0077] 根据本发明的实施例 1-b-1 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0078] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[0079] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[0080] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

[0081] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是 (Si)。

[0082] 第二个目标可以通过构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-b-2 的半导体发光装置”。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整个地与有源层的侧面接触。

[0083] 或者,根据本发明的实施例 1-b-1 的半导体发光装置可以构造为使得第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-b-3 的半导体发光装置”。换言之,根据本发明的实施例 1-b-3 的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的硅 (Si)。

[0084] 或者,根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0085] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0086] 第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

- [0087] 第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置, 并且
- [0088] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。
- [0089] 为了方便起见, 该构造称为“根据本发明的实施例 1-C-1 的半导体发光装置”。
- [0090] 根据本发明的实施例 1-C-1 的半导体发光装置可以构造为使得:
- [0091] 第四化合物半导体层具有三层结构, 该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,
- [0092] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,
- [0093] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置, 并且
- [0094] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是 (Si)。
- [0095] 第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见, 该构造称为“根据本发明的实施例 1-C-2 的半导体发光装置”。另外, 第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层接触。
- [0096] 或者, 根据本发明的实施例 1-C-1 的半导体发光装置可以构造为使得第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和 (Si)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见, 该构造称为“根据本发明的实施例 1-C-3 的半导体发光装置”。换言之, 根据本发明的实施例 1-C-3 的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的硅 (Si)。
- [0097] 根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得:
- [0098] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,
- [0099] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,
- [0100] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,
- [0101] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,
- [0102] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,
- [0103] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,
- [0104] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置, 并且
- [0105] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。
- [0106] 为了方便起见, 该构造称为“根据本发明的实施例 1-D-1 的半导体发光装置”。
- [0107] 根据本发明的实施例 1-D-1 的半导体发光装置的半导体发光装置可以构造为使得:
- [0108] 第四化合物半导体层具有三层结构, 该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,
- [0109] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,
- [0110] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子

占据的位置,并且

[0111] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是 (Si)。

[0112] 第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-D-2 的半导体发光装置”。另外,第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层接触。

[0113] 或者,根据本发明的实施例 1-D-1 的半导体发光装置可以构造为使得第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和 (Si)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-D-3 的半导体发光装置”。换言之,根据本发明的实施例 1-D-3 的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的硅 (Si)。

[0114] 或者,根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0115] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0116] 第一化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

[0117] 第二化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且

[0118] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置 and 该第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0119] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-c-1 的半导体发光装置”。

[0120] 根据本发明的实施例 1-c-1 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0121] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[0122] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[0123] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

[0124] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是 (C)。

[0125] 第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-c-2 的半导体发光装置”。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层接触。

[0126] 或者,根据本发明的实施例 1-c-1 的半导体发光装置可以构造为使得第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 1-c-3 的半导体发光装置”。换言之,根据本发明的实施例 1-c-3 的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0127] 或者根据本发明第一实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0128] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0129] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0130] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B

化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

[0131] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0132] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

[0133] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的该置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0134] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0135] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0136] 为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-d-1 的半导体发光装置”。

[0137] 根据本发明的实施例 1-d-1 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0138] 第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，

[0139] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0140] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，并且

[0141] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是 (C)。

[0142] 第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-d-2 的半导体发光装置”。另外，第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与该有源层接触。

[0143] 或者，根据本发明的实施例 1-d-1 的半导体发光装置可以构造为使得第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。第二个目标可以通过该构造实现。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 1-d-3 的半导体发光装置”。换言之，根据本发明的实施例 1-d-3 的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0144] 上面描述的具有根据本发明第一实施例的优选构造的半导体装置，即根据本发明的实施例 1-A-1、1-a-1、1-B-1、1-b-1、1-C-1、1-c-1 和 1-D-1 的半导体装置可以构造为使得：

[0145] 电流阻挡层具有还包括第二导电类型的第五化合物半导体层的结构，并且

[0146] 第三化合物半导体层夹设在第四化合物半导体层和第五化合物半导体层之间，而且

[0147] 使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第三化合物半导体层中的在与第五化合物半导体层中使第五化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。另外，可以采用从下面开始的第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层 / 第五化合物半导体层的层叠结构，或者可以采用从下面开始的第五化合物半导体层 / 第三化合物半导体层 / 第四化合物半导体层的层叠结构。

[0148] 或者，上面描述的半导体装置可以构造为使得：

[0149] 电流阻挡层具有还包括第一导电类型的第六化合物半导体层的结构，并且

[0150] 第四化合物半导体层夹设在第三化合物半导体层和第六化合物半导体层之间，而且

[0151] 使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第四化合物半导体层中的

在与第六化合物半导体层中使第六化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。另外,可以采用从下面开始的第三化合物半导体层 / 第四化合物半导体层 / 第六化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第六化合物半导体层 / 第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层的层叠结构。

[0152] 为了实现第一个目标,根据本发明第二实施例的半导体发光装置包括:

[0153] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0154] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0155] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层,并且

[0156] 使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质与使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质不同。

[0157] 具体地讲,包含与使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质不同的杂质的第一化合物半导体层是至少与有源层接触的部分。与第一化合物半导体层接触的有源层包括阱层或者限制层。这适用于下面的描述。通过设置限制层,可以限制光和 / 或载流子。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层 / 第四化合物半导体层的层叠结构。

[0158] 在根据本发明第二实施例的半导体发光装置中,使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质与使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质相比优选对平面取向具有更低的依赖性。

[0159] 在下面的描述中,选自硒 (Se)、碲 (Te) 和硫 (S) 的至少一种杂质简称为“VI 族杂质”,选自硅 (Si) 和锡 (Sn) 的至少一种杂质简称为“IV 族杂质”,并且选自锌 (Zn)、镁 (Mg)、铍 (Be) 和锰 (Mn) 的至少一种杂质简称为“II 族杂质”。

[0160] 具有根据本发明第二实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0161] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0162] 使第一化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0163] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0164] 为了简便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 2-A 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 2-A 的半导体发光装置具有 (第一化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $3 \times 2 = 6$ 种组合。

[0165] 或者,具有根据本发明第二实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0166] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0167] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0168] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0169] 使第一 A 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0170] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0171] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0172] 使第二 A 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C),

[0173] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,并且

[0174] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质。

[0175] 为了简便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 2-B 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 2-B 的半导体发光装置具有 (第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第三化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $2 \times 3 \times 4 \times 1 \times 2 \times 4 = 192$ 种组合。

[0176] 或者,具有根据本发明第二实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0177] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0178] 使第一化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0179] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)。

[0180] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 2-C 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 2-C 的半导体发光装置具有 (第一化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 1 = 4$ 种组合。

[0181] 或者,具有根据本发明第二实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0182] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0183] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在该第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0184] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0185] 使第一 A 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C),

[0186] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0187] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0188] 使第二 A 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0189] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C),并且

[0190] 使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质。

[0191] 为了简便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 2-D 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 2-D 的半导体发光装置具有 (第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第三化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $1 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 \times 3 = 72$ 种组合。

[0192] 为了实现第一个目标,根据本发明第三实施例的半导体发光装置包括:

[0193] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0194] (B) 电流阻挡层,设置为与该发光部分的侧面接触,

[0195] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,并且

[0196] 使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质与使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质不同。

[0197] 具体地讲,包含与使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质不同的杂质的第二化合物半导体层是至少与有源层(包括阱层或者限制层)接触的部分。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层/第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层/第四化合物半导体层的层叠结构。

[0198] 在根据本发明第三实施例的半导体发光装置中,使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质与使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质相比优选对平面取向具有更低的依赖性。

[0199] 具有根据本发明第三实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0200] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0201] 使第二化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0202] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[0203] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 3-a 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 3-a 的半导体发光装置具有(第二化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 1 = 4$ 种组合。

[0204] 或者,具有根据本发明第三实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0205] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0206] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0207] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0208] 使第一 A 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0209] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0210] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0211] 使第二 A 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C),

[0212] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0213] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[0214] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 3-b 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 3-b 的半导体发光装置具有(第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化

合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第三化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $2 \times 3 \times 4 \times 1 \times 3 \times 1 = 72$ 种组合。

[0215] 或者,具有根据本发明第三实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0216] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0217] 使第二化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0218] 使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0219] 为了简便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 3-c 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 3-c 的半导体发光装置具有(第二化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $2 \times 3 = 6$ 种组合。

[0220] 或者,具有根据本发明第三实施例的优选形式的半导体发光装置可以构造为使得:

[0221] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0222] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0223] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0224] 使第一 A 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C),

[0225] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0226] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0227] 使第二 A 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0228] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0229] 使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0230] 为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 3-d 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 3-d 的半导体发光装置具有(第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第三化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $1 \times 4 \times 3 \times 2 \times 4 \times 2 = 192$ 种组合。

[0231] 为了实现第一个目标,根据本发明第四实施例的半导体发光装置包括:

[0232] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0233] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0234] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

[0235] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0236] 使第一化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0237] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0238] 根据本发明第四实施例的半导体发光装置具有(第一化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $3 \times 2 = 6$ 种组合。

[0239] 具体地讲,包含 VI 族杂质的第一化合物半导体层是至少与有源层(包括阱层或者限制层)接触的部分。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层/第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层/第四化合物半导体层的层叠结构。

[0240] 为了实现第一个目标,根据本发明第五实施例的半导体发光装置包括;

[0241] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0242] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0243] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

[0244] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0245] 使第二化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0246] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[0247] 根据本发明第五实施例的半导体发光装置具有(第二化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 1 = 4$ 种组合。

[0248] 具体地讲,包含 II 族杂质的第二化合物半导体层是至少与有源层(包括阱层或者限制层)接触的部分。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层/第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层/第四化合物半导体层的层叠结构。

[0249] 为了实现第一个目标,根据本发明第六实施例的半导体发光装置包括;

[0250] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0251] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0252] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

[0253] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0254] 使第一化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0255] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)。

[0256] 根据本发明第六实施例的半导体发光装置具有(第一化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 1 = 4$ 种组合。

[0257] 具体地讲,包含 II 族杂质的第一化合物半导体层是至少与有源层(包括阱层或者限制层)接触的部分。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层/第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层/第四化合物半导体

层的层叠结构。

[0258] 为了实现本发明的第一个目标,根据本发明第七实施例的半导体发光装置包括:

[0259] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0260] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0261] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

[0262] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0263] 使第二化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0264] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是硅 IV 族杂质。

[0265] 根据本发明第七实施例的半导体发光装置具有(第二化合物半导体层中的杂质和第四化合物半导体层中的杂质的) $3 \times 2 = 6$ 种组合。

[0266] 具体地讲,包含 VI 族杂质的第二化合物半导体层是至少与该有源层(包括阱层或者限制层)接触的部分。另外,可以采用从下面开始的第四化合物半导体层/第三化合物半导体层的层叠结构,或者可以采用从下面开始的第三化合物半导体层/第四化合物半导体层的层叠结构。

[0267] 为了实现第一个目标,根据本发明第八实施例的半导体发光装置包括:

[0268] (A) 发光部分,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层,和

[0269] (B) 电流阻挡层,设置为与发光部分的侧面接触,

[0270] 其中电流阻挡层由层叠结构组成,在该层叠结构中至少依次层叠具有第二导电类型的第四化合物半导体层和具有第一导电类型的第三化合物半导体层,

[0271] 使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第四化合物半导体层中的在与第三化合物半导体层中使第三化合物半导体层具有第一导电类型的置换位置相竞争的置换位置处的杂质,以及在与第一化合物半导体层中使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质,

[0272] 使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第二化合物半导体层中的在与第三化合物半导体层中使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质,并且

[0273] 当设想经过第一化合物半导体层、电流阻挡层和第二化合物半导体层的旁通路径(alternative route)时,在该旁通路径中存在由各化合物半导体层之间的界面组成的至少三个 pn 结界面。

[0274] 根据本发明第八实施例的半导体发光装置可以构造为使得第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面接触。在此情况下,旁通路径由第一化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层和第二化合物半导体层组成,并且 pn 结界面包括三个界面:第一化合物半导体层的侧面/第四化合物半导体层、第四化合物半导体层/第三化合物半导体层和第三化合物半导体层/第二化合物半导体层的侧面。

[0275] 或者,根据本发明第八实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0276] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0277] 使第一 B 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第一 B 化合物半导体层中的在与第一 A 化合物半导体层中使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质,以及在与第二化合物半导体层中使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质。在此情况下,使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第一 A 化合物半导体层中的在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。

[0278] 这样,在采用第一 B 化合物半导体层的构造的情况下,第一 B 化合物半导体层和与第一 B 化合物半导体层的侧面接触的第四化合物半导体层之间的关系可以是杂质的置换位置彼此不相竞争的关系。在此情况下,杂质扩散首先发生在第一 B 化合物半导体层的侧面和第四化合物半导体层之间,然后到达构成电流阻挡层的第三化合物半导体层,由此可能形成电流泄露路径。

[0279] 因此,在此情况下,可以形成在第四化合物半导体层的下面设置具有第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,其中,

[0280] 使第六化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第六化合物半导体层中的在与第一化合物半导体层(或者第一 A 化合物半导体层)中使第一化合物半导体层(或者第一 A 化合物半导体层)具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质,并且

[0281] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面(第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面)相接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。通过采用该结构,具有不相竞争的杂质置换位置的第一 B 化合物半导体层和第四化合物半导体层不彼此接触,因此可以防止杂质扩散。在此情况下,旁通路径包括第一化合物半导体层(第一 A 化合物半导体层和第一 B 化合物半导体层)、第六化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层和第二化合物半导体层,并且 pn 结界面包括三个界面:第六化合物半导体层/第四化合物半导体层、第四化合物半导体层/第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层/第二化合物半导体层的侧面。

[0282] 或者,在此情况下,杂质扩散势垒层优选设置在电流阻挡层中,以防止因从第一 B 化合物半导体层到电流阻挡层的杂质扩散而导致的电流泄漏的产生。具体地讲,可以在具有第二导电类型的第四化合物半导体层中插入作为杂质扩散势垒层的具有第二导电类型的第七化合物半导体层,第四化合物半导体层和第七化合物半导体层具有不同的杂质置换位置。更具体地讲,至少一个具有第二导电类型的杂质扩散势垒层(例如,第七化合物半导体层)可以插入到构成电流阻挡层且具有第二导电类型的第四化合物半导体层中,并且杂质可以选择为使得第四化合物半导体层中的杂质置换位置与杂质扩散势垒层(例如,当设置杂质扩散势垒层时的第七化合物半导体层)中的杂质置换位置不相同。通过采用该构造,能够更加可靠地防止因杂质扩散进入到电流阻挡层中而导致的在旁通路径中形成电流

泄漏通道的现象。

[0283] 或者,根据本发明第八实施例的半导体发光装置可以构造为使得:

[0284] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,并且

[0285] 使第二 B 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第二 B 化合物半导体层中的在与第二 A 化合物半导体层中使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质,以及在与第一化合物半导体层中使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质。在此情况下,使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第二 A 化合物半导体层中的在与第三化合物半导体层中使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。

[0286] 这样,在采用第二 B 化合物半导体层的构造的情况下,第二 B 化合物半导体层和与第二 B 化合物半导体层的侧面接触的第三化合物半导体层之间的关系可以是杂质的置换位置彼此不相竞争的关系。在此情况下,杂质扩散首先发生在第二 B 化合物半导体层的侧面和第三化合物半导体层之间,然后到达构成电流阻挡层的第四化合物半导体层,由此可能形成电流泄漏通道。

[0287] 因此,在此情况下,可以形成在第三化合物半导体层上设置具有第二导电类型的第五化合物半导体层的结构,

[0288] 使第五化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第五化合物半导体层中的在与第二化合物半导体层(或者第二 A 化合物半导体层)中使第二化合物半导体层(或者第二 A 化合物半导体层)具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质,并且

[0289] 第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触,并且第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面(第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面)相接触。通过采用该结构,具有不相竞争的杂质置换位置的第二 B 化合物半导体层和第四化合物半导体层不彼此接触,因此可以防止杂质扩散。在此情况下,旁通路径包括第一化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层、第五化合物半导体层和第二化合物半导体层(第二 B 化合物半导体层和第二 A 化合物半导体层),并且 pn 结界面包括三个界面:第一化合物半导体层的侧面/第四化合物半导体层、第四化合物半导体层/第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层/第五化合物半导体层。

[0290] 或者,在此情况下,杂质扩散势垒层优选设置在电流阻挡层中,以防止因从第二 B 化合物半导体层到电流阻挡层的杂质扩散而导致的泄漏电流的产生。具体地讲,具有第一导电类型的第八化合物半导体层可以作为杂质扩散势垒层插入到具有第一导电类型的第三化合物半导体层中,第三化合物半导体层和第八化合物半导体层具有不同杂质置换位置。更具体地讲,具有第一导电类型的至少一个杂质扩散势垒层(例如,第八化合物半导体)可以插入到构成电流阻挡层且具有第一导电类型的第三化合物半导体层中,并且杂质可以选择为使得第三化合物半导体层中的杂质置换位置与杂质扩散势垒层(例如,当设置杂质扩散势垒层时的第八化合物半导体)中的杂质置换位置不相同。通过采用该构造,能

够更加可靠地防止因杂质扩散进入到电流阻挡层中而导致的在旁通路径中形成电流泄漏通道的现象。

[0291] 在根据本发明第八实施例的半导体发光装置中,第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第四化合物半导体层和第三化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成。或者,第一 A 化合物半导体层、第一 B 化合物半导体层、第二化合物半导体层、第四化合物半导体层和第三化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成。或者,第一化合物半导体层、第二 B 化合物半导体层、第二 A 化合物半导体层、第四化合物半导体层和第三化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成。

[0292] 此外,可以制造这样的构造,其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-A 的半导体发光装置”。另外,可以制造这样的结构,其中第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。

[0293] 这里,根据本发明的实施例 8-A 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0294] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,并且

[0295] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-A-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-A-1 的半导体发光装置具有(第一化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $2 \times 4 \times 4 \times 2 = 64$ 种组合。

[0296] 或者,根据本发明的实施例 8-A 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0297] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0298] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-A-2 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-A-2 的半导体发光装置具有(第一化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 2 \times 2 \times 4 = 64$ 种组合。

[0299] 或者,可以制造这样的构造,其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。为了方便,该构造称为“根据本发明的实施例 8-a 的半导体发光装置”。另外,可以制作这样的结构,其中第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。

[0300] 这里,根据本发明的实施例 8-a 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0301] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0302] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-a-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-a-1 的半导体发光装置具有 (第一化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $3 \times 1 \times 1 \times 3 = 9$ 种组合。

[0303] 或者,根据本发明的实施例 8-a 的半导体发光装置可以构造为使得 :

[0304] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C), 并且

[0305] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-a-2 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-a-2 的半导体发光装置具有 (第一化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $1 \times 3 \times 3 \times 1 = 9$ 种组合。

[0306] 或者,可以制造这样的构造,其中第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-B 的半导体发光装置”。

[0307] 这里,根据本发明的实施例 8-B 的半导体发光装置可以构造为使得 :

[0308] 使第一 B 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0309] 使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质, 并且

[0310] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-B-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-B-1 的半导体发光装置具有 (第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $2 \times 3 \times 4 \times 4 \times 2 = 192$ 种组合。

[0311] 在此情况下,可以形成在第四化合物半导体层的下面设置具有第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,

[0312] 使第六化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质是 IV 族杂质, 并且

[0313] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面 (第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面) 相接触, 并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层相接触。

[0314] 或者,根据本发明的实施例 8-B 的半导体发光装置可以构造为使得 :

[0315] 使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0316] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C), 并且

[0317] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-B-2 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-B-2 的半导体发光装置具有(第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $4 \times 1 \times 2 \times 2 \times 4 = 64$ 种组合。

[0318] 在此情况下,可以形成在第四化合物半导体层的下面设置具有第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,

[0319] 使第六化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0320] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面(第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面)相接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。

[0321] 或者,可以制作这样的构造,其中第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-b 的半导体发光装置”。

[0322] 这里,根据本发明的实施例 8-b 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0323] 使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0324] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,并且

[0325] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳(C)。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-b-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-b-1 的半导体发光装置具有(第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $3 \times 2 \times 1 \times 1 \times 3 = 18$ 种组合。

[0326] 在此情况下,可以形成在第四化合物半导体层的下面设置具有第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,

[0327] 使第六化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0328] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面(第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面)相接触,并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。

[0329] 或者,根据本发明的实施例 8-b 的半导体发光装置可以构造为使得:

[0330] 使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳(C),

[0331] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0332] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质。为了方便起见,该构造称为“根据本发明的实施例 8-b-2 的半导体发光装置”。

根据本发明的实施例 8-b-2 的半导体发光装置具有（第一 A 化合物半导体层中的杂质、第一 B 化合物半导体层中的杂质、第二化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的） $1 \times 4 \times 3 \times 3 \times 1 = 36$ 种组合。

[0333] 在此情况下，可以形成在第四化合物半导体层的下面设置具有第一导电类型的第六化合物半导体层的结构，

[0334] 使第六化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质是碳 (C)，并且

[0335] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面（第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面）相接触，并且第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面相接触。

[0336] 或者，可以制作这样的构造，其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置，并且第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-C 的半导体发光装置”。

[0337] 这里，根据本发明的实施例 8-C 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0338] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质，

[0339] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质，并且

[0340] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-C-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-C-1 的半导体发光装置具有（第一化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的） $2 \times 4 \times 1 \times 4 \times 2 = 64$ 种组合。

[0341] 在此情况下，可以形成在第三化合物半导体层上设置具有第二导电类型的第五化合物半导体层的结构，

[0342] 使第五化合物半导体层和第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质是 II 族杂质，并且

[0343] 第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面（第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面）相接触，并且第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触。

[0344] 或者，根据本发明的实施例 8-C 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0345] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质，

[0346] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质，并且

[0347] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-C-2 的半导体发光装置”。根据本发明的实施

例 8-C-2 的半导体发光装置具有（第一化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的） $4 \times 2 \times 3 \times 2 \times 4 = 192$ 种组合。

[0348] 在此情况下，可以形成在第三化合物半导体层上设置具有第二导电类型的第五化合物半导体层的结构，

[0349] 使第五化合物半导体层和第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质是 IV 族杂质，并且

[0350] 第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面（第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面）相接触，并且第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触。

[0351] 或者，可以制作这样的构造，其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置，并且第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-c 的半导体发光装置”。

[0352] 这里，根据本发明的实施例 8-c 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0353] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质，

[0354] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳，并且

[0355] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-c-1 的半导体发光装置”。根据本发明的实施例 8-c-1 的半导体发光装置具有（第一化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的） $3 \times 1 \times 4 \times 1 \times 3 = 36$ 种组合。

[0356] 在此情况下，可以形成在第三化合物半导体层上设置具有第二导电类型的第五化合物半导体层的结构，

[0357] 使第五化合物半导体层和第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质是碳 (C)，并且

[0358] 第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面（第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面）相接触，并且第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触。

[0359] 或者，根据本发明的实施例 8-c 的半导体发光装置可以构造为使得：

[0360] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)，

[0361] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质，并且

[0362] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。为了方便起见，该构造称为“根据本发明的实施例 8-c-2 的半导体发光装置”。根据本发明的实施

例 8-c-2 的半导体发光装置具有 (第一化合物半导体层中的杂质、第二 A 化合物半导体层中的杂质、第二 B 化合物半导体层中的杂质、第四化合物半导体层中的杂质和第三化合物半导体层中的杂质的) $1 \times 3 \times 2 \times 3 \times 1 = 18$ 种组合。

[0363] 在此情况下,可以形成在第三化合物半导体层上设置具有第二导电类型的第五化合物半导体层的结构,

[0364] 使第五化合物半导体层和第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0365] 第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面 (第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面) 相接触,并且第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面相接触。

[0366] 或者,在根据本发明第八实施例的半导体发光装置中,多个化合物半导体层可以设置在构成电流阻挡层的第四化合物半导体层和第三化合物半导体层之间。换言之,可以制作这样的构造,其中包括具有第一导电类型的化合物半导体层和具有第二导电类型的化合物半导体层的至少两个化合物半导体层进一步地依次层叠在第四化合物半导体层和第三化合物半导体层之间。具体地讲,当第一导电类型和第二导电类型分别为 n 型和 p 型时,电流阻挡层可以构造为四层的层叠结构:包括 p 型第四化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层和 n 型的第三化合物半导体层;或者构造为六层的层叠结构:包括 p 型的第四化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层和 n 型的第三化合物半导体层;或者构造为八层的层叠结构:包括 p 型的第四化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层、n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层和 n 型的第三化合物半导体层。这样的层叠结构可以表示为“p 型的第四化合物半导体层、(n 型的化合物半导体层、p 型的化合物半导体层)_m 和 n 型的第三化合物半导体层 (其中 $m = 1, 2, 3, \dots$)”。或者,具体地当第一导电类型和第二导电类型分别为 p 型和 n 型时,电流阻挡层可以构造为 n 型的第四化合物半导体层、(p 型的化合物半导体层、n 型的化合物半导体层)_m 和 p 型的第三化合物半导体层 (其中 $m = 1, 2, 3, \dots$) 的结构。这样,当电流阻挡层构造为多层结构时,即使发光部分和电流阻挡层间的相对位置移动,也可以更加可靠地防止在旁通路径中形成电流泄漏通道的现象。此外,即使电流阻挡层构造为多层结构,也不希望增加电流阻挡层的厚度,并且希望构成电流阻挡层的化合物半导体层的至少一个 pn 界面 (或者 np 界面) 与有源层的侧面进行接触。构成电流阻挡层的化合物半导体层的每个层与发光部分的侧面的接触区域减少,从而电阻值增加。因此,可以进一步抑制电流泄漏,由此使得改善光学输出成为可能。

[0367] 此外,作为构成电流阻挡层的化合物半导体层的每个层与发光部分的侧面的接触区域的希望的形式,优选构成电流阻挡层的化合物半导体层的每个层的接触区域的宽度 (接触区域沿着发光部分的侧面的垂直方向的长度) 小于有源层的宽度 (有源层沿着发光部分的侧面的垂直方向的长度), 其中有源层夹设在第一化合物半导体层 (或者第一 B 化合物半导体层) 和第二化合物半导体层 (或者第二 B 化合物半导体层) 之间。或者,当有源层具有量子阱结构时,优选构成电流阻挡层的化合物半导体层的每个层的接触区域的宽度小于构成量子阱结构的阱层的每个层的宽度 (阱层沿着发光部分的垂直方向的长度)。

该结构具有这样的问题：构成电流阻挡层的化合物半导体层的每一个的厚度必须显著地减小，因此如上所述在惯用技术中，由于 n 型化合物半导体层 / p 型化合物半导体层（或者 p 型化合物半导体层 / n 型化合物半导体层）界面处的杂质相互扩散引起的导电类型的中和，包括 {311} B 面和高阶晶面的电流阻挡层将部分消失或者反过来显著增加。然而，在本发明的半导体发光装置中，当构成电流阻挡层的化合物半导体层的每一个获得所希望的导电类型时，从抑制泄漏电流的观点看，导电类型的组合通过杂质置换位置间的竞争关系的常规考虑来确定。因此，即使构成电流阻挡层的化合物半导体层的每一个的厚度显著减少时，也能够抑制因杂质相互扩散引起的导电类型的中和，以改善电流阻挡层本身的电流阻挡质量，并进而实现用于可靠地抑制来自发光部分的侧面的泄漏电流的结构。

[0368] 为了实现第二个目标，根据本发明第九实施例的半导体发光装置包括：

[0369] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0370] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0371] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，

[0372] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[0373] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0374] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置，并且

[0375] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面部分或者整体地接触。

[0376] 为了实现第二个目标，根据本发明第十实施例的半导体发光装置包括：

[0377] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0378] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0379] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，并且

[0380] 第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。换言之，根据本发明第十实施例的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0381] 为了实现第二个目标，根据本发明第十一实施例的半导体发光装置包括：

[0382] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0383] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0384] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，

[0385] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[0386] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0387] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置，并且

[0388] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面部分或者整体地接触。

[0389] 为了实现第二个目标，根据本发明第十二实施例的半导体发光装置包括：

[0390] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0391] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0392] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，并且

[0393] 第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。换言之，根据本发明第十二实施例的半导体发光装置中的第四化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的硅 (Si)。

[0394] 为了实现第二个目标，根据本发明第十三实施例的半导体发光装置包括：

[0395] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0396] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0397] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，

[0398] 第三化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层，

[0399] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[0400] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置，并且

[0401] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面部分或者整体地接触。

[0402] 为了实现第二个目标，根据本发明第十四实施例的半导体发光装置包括：

[0403] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0404] (B) 电流阻挡层，设置为与发光部分的侧面接触，

[0405] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成，并且

[0406] 第三 B 化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。换言之，根据本发明第十四实施例的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 V 族原子占据的置换位置处的杂质和硅 (Si)。

[0407] 为了实现第二个目标，根据本发明第十五实施例的半导体发光装置包括：

[0408] (A) 发光部分，由层叠结构组成，在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层，和

[0409] (B) 电流阻挡层, 设置为与发光部分的侧面接触,

[0410] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成,

[0411] 第三化合物半导体层具有三层结构, 该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[0412] 至少第三 B 化合物半导体层与该有源层的侧面接触,

[0413] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置, 并且

[0414] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面部分或者整体地接触。

[0415] 为了实现第二个目标, 根据本发明第十六实施例的半导体发光装置包括:

[0416] (A) 发光部分, 由层叠结构组成, 在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层, 和

[0417] (B) 电流阻挡层, 设置为与发光部分的侧面接触,

[0418] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成, 并且

[0419] 第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和碳 (C)。换言之, 根据本发明第十六实施例的半导体发光装置中的第三化合物半导体层共掺杂有在 III 族原子占据的置换位置处的杂质和作为杂质的碳 (C)。

[0420] 在包括根据本发明第一至第十六实施例的各种优选构造和形式的上述半导体发光装置中, 层叠结构的相对的侧面优选由 {111}B 面组成。另外, 在此情况下, 发光部分可以构造为形成在基板的发光部分形成区域上, 基板的发光部分形成区域包括凸起部分, 该凸起部分形成在作为基板主表面的 {100} 面上, 大致沿 {110}A 的晶面方向延伸, 并且具有作为上表面的 {100} 面。此外, 第三化合物半导体层可以构造为包括从发光部分的侧面延伸的 {311}B 晶面区域、沿着基板的主表面延伸的 {100} 晶面区域和位于 {311}B 晶面区域和 {100} 晶面区域之间的 {h11}B 晶面区域 (其中 h 是 4 或者更大的整数)。或者, 第四化合物半导体层可以构造为包括从发光部分的侧面延伸的 {311}B 晶面区域、沿着基板主表面延伸的 {100} 晶面区域和位于 {311}B 晶面区域和 {100} 晶面区域之间的 {h11}B 晶面区域 (其中 h 是 4 或者更大的整数)。

[0421] 在包括根据本发明的第一至第十六实施例的各种优选构造和形式的上述半导体发光装置 (下面可以简称为“本发明的半导体发光装置”) 中, 作为基板, 可以以 GaN 基板、GaP 基板、GaAs 基板、AlN 基板、AlP 基板、InN 基板、InP 基板、AlGaInN 基板、AlGaN 基板、AlInN 基板、GaInN 基板、AlGaInP 基板、AlGaP 基板、AlInP 基板、GaInP 基板和 ZnS 基板作为范例。具体地, 优选采用具有闪锌矿型晶体结构的基板或者在其上形成有晶体膜的基板。作为构成具有闪锌矿型晶体结构的基板的原子, 至少可以采用 As、Sb 或 Bi 等。更优选采用的是包含加到其上的这样的原子从而包含该原子成为混合晶体的基板。此外, 可以采用在其表面 (主表面) 上形成有下层 (underlying layer) 和缓冲层的基板作为基板。另外, 在采用这样的基板的晶体生长中, As、Sb 和 Bi 的至少一个优选作为 V 族材料加入或者用作混合晶体。因此, 可以容易地设定防止 III 族原子迁移的晶体生长条件, 由此允许在作为最上

表面的 {111}B 面上形成 V 族的三聚体并形成作为非生长面的 {111}B 面。

[0422] 在本发明的半导体发光装置中,作为包括有源层的各种化合物半导体层,例如可以以 GaInNAs 化合物半导体 (GaInAs 混合晶体或者包含 GaNAs 混合晶体)、AlGaInP 化合物半导体、AlGaInAs 化合物半导体、GaInAs 化合物半导体、GaInAsP 化合物半导体、GaInP 化合物半导体、GaP 化合物半导体和 InP 化合物半导体作为范例。作为包括有源层的各种化合物半导体层的形成 (沉积) 方法,可以采用金属有机化学气相沉积法 (MOCVD 法或 MOVPE 法)、金属有机分子束外延法 (MOMBE 法) 和卤素有助于输运或反应的氢化物气相外延法 (HVPE 法)。另外,作为半导体发光装置,可以采用半导体激光器和发光二极管 (LED)。

[0423] 在根据本发明第一实施例的半导体发光装置中,使构成电流阻挡层的第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第三化合物半导体层中的在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。因此,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的 n 型化合物半导体层和 p 型化合物半导体层之间。因此,能够避免电流阻挡层消失或者厚度减小的问题,并因此能够避免电流阻挡层的作用不稳定由此泄漏电流增加的问题。另外,使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第一化合物半导体层中的在与第二化合物半导体层中使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质。因此,通过控制每一层中的杂质浓度和掺杂位置,可以容易并精确地设计出通过第一化合物半导体层和第二化合物半导体层之间的故意的杂质互扩散而实现的 pn 结控制,从而使改善发光特性成为可能。

[0424] 在根据本发明的第二实施例的半导体发光装置中,使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质与使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质不同。另外,在根据本发明的第三实施例的半导体发光装置中,使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质与使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质不同。此外,在根据本发明的第四实施例的半导体发光装置中,使第一化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质为 VI 族杂质,而使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质为 IV 族杂质。另外,在根据本发明的第五实施例的半导体发光装置中,使第二化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质为 II 族杂质,而使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质为碳 (C)。此外,在根据本发明的第六实施例的半导体发光装置中,使第一化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质为 II 族杂质,而使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质为碳 (C)。另外在根据本发明的第七实施例的半导体发光装置中,使第二化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质为 VI 族杂质,而使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质为 IV 族杂质。通过采用这些构造和结构,能够实现杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的 n 型化合物半导体层和 p 型化合物半导体层之间的构造和结构。因此,能够避免电流阻挡层消失或者厚度减小的问题,并因此能够避免电流阻挡层的作用不稳定由此泄漏电流增加的问题。

[0425] 此外,在根据本发明第八实施例的半导体发光装置中,当设想经过第一化合物半导体层、电流阻挡层和第二化合物半导体层的旁通路径时,由各化合物半导体层之间的界面组成的至少三个 pn 结界面存在在旁通路径中。另外,使每一个化合物半导体层具有预定导电类型的杂质包括每个化合物半导体层中的在与相邻化合物半导体层中使相邻化合物

半导体层具有预定导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。因此,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的 n 型化合物半导体层和 p 型化合物半导体层之间,并且杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的 n 型化合物半导体层和 p 型化合物半导体层与构成发光部分的 p 型化合物半导体层和 n 型化合物半导体层之间。因此,能够避免电流阻挡层消失或者厚度减小的问题,并因此能够避免电流阻挡层的作用不稳定由此泄漏电流增加的问题。

[0426] 根据本发明的第九、第十一、第十三和第十五实施例的半导体发光装置具有至少包括三个层的第三化合物半导体层或者至少包括三个层的第四化合物半导体层,并且与有源层的侧面接触的第三 B 化合物半导体层或者第四 B 化合物半导体层包含作为扩散能力较低的杂质的碳 (C) 或者硅 (Si)。因此,可以减少从与有源层的侧面接触的化合物半导体层到有源层的杂质扩散。另一方面,根据本发明的第十、第十二、第十四和第十六实施例的每一个的半导体发光装置具有第三化合物半导体层或者第四化合物半导体层,其由共掺杂有作为扩散能力较低的杂质的碳 (C) 或者硅 (Si) 的化合物半导体层组成。因此,可以减少从与有源层的侧面接触的化合物半导体层到有源层的杂质扩散。

附图说明

- [0427] 图 1(A) 和 (B) 分别为示例 1 和示例 5 的半导体发光装置的概念图。
- [0428] 图 2(A) 和 (B) 分别为示例 10 和示例 18 的半导体发光装置的概念图。
- [0429] 图 3(A) 和 (B) 分别为示例 11 和示例 19 的半导体发光装置的概念图。
- [0430] 图 4(A) 和 (B) 分别为示例 2 和示例 6 的半导体发光装置的概念图。
- [0431] 图 5(A) 和 (B) 分别为示例 12 和示例 20 的半导体发光装置的概念图。
- [0432] 图 6(A) 和 (B) 分别为示例 13 和示例 21 的半导体发光装置的概念图。
- [0433] 图 7(A) 和 (B) 分别为示例 3 和示例 7 的半导体发光装置的概念图。
- [0434] 图 8(A) 和 (B) 分别为示例 14 和示例 22 的半导体发光装置的概念图。
- [0435] 图 9(A) 和 (B) 分别为示例 15 和示例 23 的半导体发光装置的概念图。
- [0436] 图 10(A) 和 (B) 分别为示例 4 和示例 8 的半导体发光装置的概念图。
- [0437] 图 11(A) 和 (B) 分别为示例 16 和示例 24 的半导体发光装置的概念图。
- [0438] 图 12(A) 和 (B) 分别为示例 17 和示例 25 的半导体发光装置的概念图。
- [0439] 图 13(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的概念图。
- [0440] 图 14(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的修改示例的概念图。
- [0441] 图 15(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的另一修改示例的概念图。
- [0442] 图 16(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的另一修改示例的概念图。
- [0443] 图 17(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0444] 图 18(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0445] 图 19(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0446] 图 20(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0447] 图 21(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0448] 图 22(A) 和 (B) 为示例 9 的半导体发光装置的又一修改示例的概念图。
- [0449] 图 23(A) 和 (B) 分别为示例 1 的半导体发光装置的示意性局部截面图和放大的示

意性局部截面图。

[0450] 图 24(A) 和 (B) 为基板等的示意性局部截面图,用于图解示例 1 的半导体发光装置的制造方法。

[0451] 图 25 为基板等的示意性局部截面图,用于图解示例 1 的半导体发光装置继图 24(B) 后的制造方法。

[0452] 图 26(A) 和 (B) 分别为示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置的截面照片的图。

[0453] 图 27(A) 和 (B) 分别为示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置的发光状态的照片的图。

[0454] 图 28(A) 是示出示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置的阈值电流测量结果和斜度效率测量结果的曲线图,而图 28(B) 是示出包括具有多层结构的电流阻挡层的半导体发光装置的阈值电流测量结果和斜度效率测量结果的曲线图。

[0455] 图 29(A) 和 (B) 分别为示例 3 的半导体发光装置的示意性局部截面图和放大的示意性局部截面图。

[0456] 图 30 是示出示例 10 的半导体发光装置和如表 1A 所示的示例 1 与比较示例 1 的半导体发光装置的光输出测量结果的曲线图。

具体实施方式

[0457] 下面,将在示例的基础上参考附图描述本发明。

[0458] 示例 1

[0459] 示例 1 涉及根据本发明第一实施例(更具体地讲为实施例 1-A-1)、本发明第二实施例(更具体地讲为实施例 2-A)和本发明第四实施例的半导体发光装置。

[0460] 在下面描述的示例 1 或者示例 2 至 25 中,采用选自硒(Se)、碲(Te)和硫(S)的至少一种杂质(VI 族杂质),具体地为硒(Se);采用选自硅(Si)和锡(Sn)的至少一种杂质(IV 族杂质),具体地为硅(Si);并且采用选自锌(Zn)、镁(Mg)、铍(Be)和锰(Mn)的至少一种杂质(II 族杂质),具体地为锌(Zn)。但是,杂质并不限于这些。

[0461] 另外,下面描述的示例 1 或者示例 2 至 25 中的半导体发光装置的每一个都由半导体激光器组成,更具体地讲,由 SDH 型半导体激光器组成。

[0462] 这里,如图 1(A) 的概念图、图 23(A) 的示意性局部截面图和图 23(B) 的放大的示意性局部截面图所示,根据本发明第一实施例的示例 1 的半导体发光装置是设置有如下部分的半导体发光装置:

[0463] (A) 发光部分 20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型(在示例 1 中为 n 型)的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型(在示例 1 中为 p 型)的第二化合物半导体层 22A 和 22B;以及

[0464] (B) 电流阻挡层 40,设置为与发光部分 20 的侧面接触,

[0465] 其中电流阻挡层 40 由具有第一导电类型(n 型)的第三化合物半导体 43 和具有第二导电类型(p 型)且与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 组成。为了简化附图,在附图中将第二化合物半导体层 22A 和 22B 示为一层(第二化合物半导体层 22)。

[0466] 在图 1(A) 和 (B) 至 22(A) 和 (B) 的每一个中,“化合物半导体层”简单地表示为

“层”。就是说,例如第一层代表第一化合物半导体层。这里,在图 23(B) 所示的示例中,第三化合物半导体层 43 形成在第四化合物半导体层 44 上。另外,第四化合物半导体层 44(p 型)和形成其上的第三化合物半导体层 43(n 型)之间的 pn 结界面沿着 {311}B 晶面延伸,并且 pn 结界面的端部与发光部分 20(具体地讲,有源层 23 的侧面)接触,以形成两个新的结界面。就是说,形成具有 pnpn 结结构的电流通道,pnpn 结结构包括第二化合物半导体层 22A、22B/ 第三化合物半导体层 43 的 pn 结界面、第三化合物半导体层 43/ 第四化合物半导体层 44 的 np 结界面以及第四化合物半导体层 44/ 第一化合物半导体层 21 的 pn 结界面,由此提供了电流阻挡结构的优选设计。

[0467] 另一方面,与这样的层叠结构相反,第三化合物半导体层 43(n 型)和第四化合物半导体层 44(p 型)可以以其间相反的位置关系形成。另外,在此情况下,第四化合物半导体层 44(p 型)和设置在其下的第三化合物半导体层 43(n 型)之间的 pn 结界面沿着 {311}B 晶面延伸,并且该 pn 结界面的端部与发光部分 20(具体地讲,有源层 23 的侧面)接触,以形成两个新的结界面。就是说,存在第二化合物半导体层 22A、22B/ 第四化合物半导体层 44 的 pp 结界面、第四化合物半导体层 44/ 第三化合物半导体层 43 的 pn 结界面以及第三化合物半导体层 43/ 第一化合物半导体层 21 的 nn 结界面。这样,就形成了第二化合物半导体层 22A、22B/ 第四化合物半导体层 44/ 第三化合物半导体层 43/ 第一化合物半导体层 21 的 ppnn 结结构。然而,电流阻挡层 40 和发光部分 20 之间的接触区域(具体地讲为 nn 接触区域)可以减少,以增加接触区域的电阻,由此允许优选作为电流阻挡结构的设计。

[0468] 此外,使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型(n 型)的杂质包括在与包含在第二化合物半导体层 22A 和 22B 中使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型(p 型)的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处包含在第一化合物半导体层 21 中的杂质。此外,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型(n 型)的杂质包括在与包含在与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型(p 型)的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含在第三化合物半导体层 43 中的杂质。

[0469] 具体地讲,当参考本发明的实施例 1-A-1 来描述示例 1 的半导体发光装置时,

[0470] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B、第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0471] 第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

[0472] 第二化合物半导体层 22A 和 22B 中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

[0473] 第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层 44 中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0474] 或者,当参考本发明的第二实施例进行描述时,示例 1 的半导体发光装置包括:

[0475] (A) 发光部分 20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型(n 型)的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型(p 型)的第二化合物半导体层 22A 和 22B,和

[0476] (B) 电流阻挡层 40,设置为与发光部分 20 的侧面接触。

[0477] 另外,电流阻挡层 40 由具有第一导电类型(n 型)的第三化合物半导体 43 和具有

第二导电类型(p型)且与第三化合物半导体层43接触的第四化合物半导体层44组成,并且

[0478] 使第一化合物半导体层21具有第一导电类型(n型)的杂质不同于使第三化合物半导体层43具有第一导电类型(n型)的杂质。

[0479] 具体地讲,当参考本发明的实施例2-A来描述示例1的半导体发光装置时,

[0480] 第一化合物半导体层21、第二化合物半导体层22A和22B、第三化合物半导体层43和第四化合物半导体层44由III-V族化合物半导体组成,

[0481] 使第一化合物半导体层21具有n型的第一导电类型的杂质为VI族杂质,并且

[0482] 使第三化合物半导体层43具有n型的第一导电类型的杂质为IV族杂质。

[0483] 或者,当参考本发明的第四实施例进行描述时,示例1的半导体发光装置包括:

[0484] (A) 发光部分20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层21、有源层23和具有第二导电类型的第二化合物半导体层22A和22B,和

[0485] (B) 电流阻挡层40,设置为与发光部分20的侧面接触。

[0486] 另外,电流阻挡层40由具有第一导电类型的第三化合物半导体43和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层43接触的第四化合物半导体层44组成,

[0487] 第一化合物半导体层21、第二化合物半导体层22A和22B、第三化合物半导体层43和第四化合物半导体层44由III-V族化合物半导体组成,

[0488] 使第一化合物半导体层21具有n型的第一导电类型的杂质为VI族杂质,并且

[0489] 使第三化合物半导体层43具有n型的第一导电类型的杂质为IV族杂质。

[0490] 具体地讲,在示例1的半导体发光装置中,每层都具有下面的表1A或者1B所示的构造,但是第一化合物半导体层21、第二化合物半导体层22A和22B以及构成电流阻挡层40的化合物半导体层由比构成有源层23的化合物半导体层具有更大的带隙,即更小的折射率的化合物半导体组成。在表1A所示的示例中,第三化合物半导体层43层叠在第四化合物半导体层44上,而在表1B所示的示例中,第四化合物半导体层44层叠在第三化合物半导体层43上。在下述表1A、表1B、表2A、表2B、表3A、表3B、表4A、表4B、表5A、表5B、表6A、表6B、表7A、表7B、表8A、表8B或者表9A至表9L所示的层叠结构中,在上行中描述的层就位于上层中。

[0491] 在表1A、表1B、表2A、表2B、表5A、表5B、表6A、表6B、表9A、表9C、表9E、表9G、表9I和表9K中,具有下表所示结构的有源层表示为“有源层-A”。在该层叠结构中,在上行中描述的层就位于上层中。

[0492] [有源层-A]

[0493] 限制层 $\cdots p\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}:\text{Zn}$

[0494] 限制层 $\cdots i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$

[0495] 多量子阱结构 $\cdots i\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (阱层)

[0496] $i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ (势垒层),和

[0497] $i\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (阱层)

[0498] 限制层 $\cdots i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$

[0499] 限制层 $\cdots n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}:\text{Se}$

[0500] 在表 3A、表 3B、表 4A、表 4B、表 7A、表 7B、表 8A、表 8B、表 9B、表 9D、表 9F、表 9H、表 9J 和表 9L 中,具有下表所示结构的有源层表示为“有源层 -B”。在该层叠结构中,在上行中描述的层就位于上层中。

[0501] [有源层 -B]

[0502] 限制层 $\cdots n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}:\text{Se}$

[0503] 限制层 $\cdots i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$

[0504] 多量子阱结构 $\cdots i\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (阱层)

[0505] $i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ (势垒层),和

[0506] $i\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (阱层)

[0507] 限制层 $\cdots i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$

[0508] 限制层 $\cdots p\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}:\text{Zn}$

[0509] [表 1A]

[0510] (发光部分的构造)

[0511] 第二化合物半导体层 22B $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0512] 第二化合物半导体层 22A $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0513] 有源层 23 $\cdots$ [有源层 -A]

[0514] 第一化合物半导体层 21 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$

[0515] (电流阻挡层)

[0516] 埋入层 31 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0517] 第三化合物半导体层 43 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0518] 第四化合物半导体层 44 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0519] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0520] (整体)

[0521] 接触层 32 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[0522] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在第二化合物半导体层 22B 形成之后形成。

[0523] (注 2) 第四化合物半导体层 44 在电流阻挡层定位层 30 形成之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层 44 和电流阻挡层定位层 30 之间基本上没有界面存在。

[0524] (注 3) 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层(对应于埋入层 31 的与第三化合物半导体层 43 形成界面的部分)可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和埋入层 31 之间。

[0525] [表 1B]

[0526] (发光部分的构造)

[0527] 第二化合物半导体层 22B $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0528] 第二化合物半导体层 22A $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0529] 有源层 23 $\cdots$ [有源层 -A]

[0530] 第一化合物半导体层 21 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$

[0531] (电流阻挡层)

[0532] 埋入层 31 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0533] 第四化合物半导体层 44 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0534] 第三化合物半导体层 43 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0535] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0536] (整体)

[0537] 接触层 32 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[0538] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在第二化合物半导体层 22B 形成之后形成。

[0539] (注 2) 埋入层 31 在第四化合物半导体层 44 形成之后连续地形成,从而在埋入层 31 和第四化合物半导体层 44 之间基本上没有界面存在。

[0540] (注 3) 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层 30 的与第三化合物半导体层 43 形成界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和电流阻挡层定位层 30 之间。

[0541] 在下面描述的示例 1 或者示例 2 至示例 25 的半导体发光装置中,发光部分 20 形成在基板 10 的发光部分形成区域 11 上。基板 10 的发光部分形成区域 11 包括形成在作为基板 10 的主表面的 $\{100\}$ 面上的凸起部分,其沿着 $\{110\}$ A 面的方向 (在附图所示的示例中 $[011]$ A 面的方向) 延伸,并且具有 $\{100\}$ 面 (附图所示的示例中的 (100) 面) 作为上表面。此外,基板 10 包括 GaAs 基板,并且基板 10 的导电类型与第一化合物半导体层的导电类型相同。另外,发光部分形成区域 11 具有所谓的台式结构 (凸起部分)。在示例 1 或者下面描述的示例 2 至示例 25 的半导体发光装置中,层叠结构 (发光部分 20) 的相对的侧表面由 $\{111\}$ B 面 (更具体地讲, $(11-1)$ B 面和 $(1-11)$ B 面) 组成。

[0542] 此外,构成电流阻挡层的一部分的第三化合物半导体层 43 由如下部分组成:

[0543] $\{311\}$ B 晶面区域 (更具体地讲, $(31-1)$ B 面和 $(3-11)$ B 面),从发光部分 20 的侧面延伸,

[0544] $\{100\}$ 晶面区域,沿着基板 10 的主表面延伸,和

[0545] $\{h11\}$ B 晶面区域 (更具体地讲, $(h1-1)$ B 面和 $(h-11)$ B 面,其中 h 是 4 或者更大的整数),设置在 $\{311\}$ B 晶面区域和 $\{100\}$ 晶面区域之间。为了简便起见, $\{h11\}$ B 晶面区域 (其中 h 是 4 或者更大的整数) 称为“高阶晶面区域”。

[0546] 此外,与第三化合物半导体层 43 相类似,形成在第三化合物半导体层 43 下面的第四化合物半导体层 44 由如下部分组成:

[0547] $\{311\}$ B 晶面区域,从发光部分 20 的侧面延伸,

[0548] $\{100\}$ 晶面区域,沿着基板 10 的主表面延伸,和

[0549] 高阶晶面区域,设置在 $\{311\}$ B 晶面区域和 $\{100\}$ 晶面区域之间。

[0550] 另外,在下面描述的示例 2 至示例 25 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 具有与上述结构基本上相同的结构,除了层之间的垂直位置关系以及除了设置第三 B 化合物半导体层或者第四 B 化合物半导体层外。

[0551] 在示例 1 的半导体发光装置中,具有第一导电类型且由 GaAs 组成的缓冲层 12、第一化合物半导体层 21、有源层 23 和第二化合物半导体层 22A 依次形成在设置在基板 10 上具有台式结构的发光部分形成区域 11 上 (在凸起部分的 $\{110\}$ 面或者在凸起表面的表面上),并且第二化合物半导体层 22B 还形成在第二化合物半导体层 22A 上,以形成顶部。这里,包括第二化合物半导体层 22B 的发光部分 20 在沿着 $\{011\}$ A 面剖取的发光部分形成区域 11 的截面中具有三角形的截面形状,并且发光部分 20 的侧面包括如上所述的 $\{111\}$ B

面。具有三角形的截面形状的发光部分 20 可以通过改变第二化合物半导体层 22A 和第二化合物半导体层 22B 的成分而精确地形成。在 MOCVD 方法（也称为 MOVPE 法）中，除了特殊的晶体生长条件外 {111}B 面通常被认为是覆盖有 As 三聚体的非生长面。因此，在 SDH 型半导体激光器的情况下，当形成以 {111}B 面作为倾斜表面（侧面）的发光部分 20 时，在发光部分的晶体生长过程中保持“自生长终止”，即使 MOCVD 仍然继续。{111}B 面处于 547 度的角度处。具有三角形的截面形状的部分可以仅由发光部分 20 形成。

[0552] 另一方面，与发光部分 20 相同的结构、电流阻挡层定位层 30（基本上从第二化合物半导体层 22 继续）、电流阻挡层 40 和埋入层（埋入的覆帽层）31 依次形成在作为基板主表面的 {100} 面（如图所示的示例中的 {100} 面的部分）（为了方便起见，称为“凹进表面”）上。

[0553] 另外，整体被接触层（帽层）32 覆盖，接触层（帽层）32 具有第二导电类型且由 GaAs 组成。此外，第一电极 51 形成在基板 10 的背面，第二电极 52 形成在接触层（帽层）32 上。

[0554] 除了设置第三 B 化合物半导体层或者第四 B 化合物半导体层时外，下面描述的示例 2 至示例 25 的半导体发光装置具有与上述结构相同的结构。

[0555] 例如，通过下面描述的方法可以制造出示例 1 的半导体发光装置。

[0556] [步骤 100]

[0557] 通过光刻技术，具有要求宽度的条状蚀刻掩模形成在由 n-GaAs 组成的基板 10 的 {100} 晶面（例如由 {100} 晶面组成的主表面）上以在 [011]A 方向上延伸，并且采用蚀刻掩模通过包含例如配比为 3 : 1 : 1 的 H_2SO_4 、 H_2O_2 和 H_2O 的蚀刻溶液来湿法蚀刻主表面以形成在 [011]A 方向上延伸的发光部分形成区域 11。发光部分形成区域 11 的宽度方向与 [0-11]B 方向平行。然后，去除蚀刻掩模。结果，可以获得如图 24(A) 的结构。在发光部分形成区域 11 中，形成由 {111}B 面组成的倾斜表面（侧面）。

[0558] [步骤 110]

[0559] 通过常规 MOCVD 法，也就是采用有机金属和氢化合物作为原料气体的 MOCVD，在凸起表面和凹进表面上外延生长缓冲层 12、第一化合物半导体层 21、有源层 23 以及第二化合物半导体层 22A 和 22B。在该生长过程中，凸起表面的化合物半导体层的倾斜表面（侧面）由如上所述的为非生长面的 {111}B 面组成。因此，缓冲层 12、第一化合物半导体层 21、有源层 23 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 形成（层叠）为处于这些层在凸起表面上的区域与凹进表面上的区域之间分开的状态。因此，可以获得如图 24(B) 所示的结构。

[0560] 通过适当选择发光部分形成区域 11（凸起表面）的宽度和深度并且通过适当选择缓冲层 12、第一化合物半导体层 21、有源层 23 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 的每一个的厚度，在光部分形成区域 11（凸起表面）上可以获得具有三角形截面的发光部分 20 的层叠结构。

[0561] [步骤 120]

[0562] 然后，通过 MOCVD，继形成第二化合物半导体层 22B 之后在整个表面上形成电流阻挡层定位层 30，并且通过 MOCVD 进一步地依次形成例如由第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 组成的电流阻挡层 40（参考图 25）。电流阻挡层 40 不生长在 {111}B 面上。另外，电流阻挡层 40 形成为使得电流阻挡层 40 的端部至少覆盖有源层 23 的侧面。通

过适当选择电流阻挡层定位层 30 的厚度可以实现该构造和结构。第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 的构造和结构如上所述。

[0563] [步骤 130]

[0564] 然后,通过 MOCVD,在整个表面上依次形成埋入层 31 和接触层(帽层)32。也就是,当 MOCVD 继续时,由通过从凹进表面开始的晶体生长而形成的化合物半导体组成的埋入层 31 完全覆盖自生长终止状态下的发光部分 20。然后,通过真空沉积法,在接触层 32 上形成第二电极 52。另一方面,将基板 10 的背面研磨到适当的厚度,然后通过真空沉积法形成第一电极 51。

[0565] [步骤 140]

[0566] 然后,分离出单个的半导体发光装置以获得半导体发光装置。通过与上述方法基本相同的方法,可以制造出下面描述的示例 2 至示例 25 的发光装置。

[0567] 附带提及,在[步骤 120]中,通过 MOCVD 法形成由第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 组成的电流阻挡层 40。这里,第四化合物半导体层 44 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成,而第三化合物半导体层 43 由 $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$ 组成。就是说,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型(n型)的第三化合物半导体层 43 中的杂质(Si)的置换位置是由 III 族原子占据的位置。同样,使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型(p型)的第四化合物半导体层 44 中的杂质(Zn)的置换位置是由 III 族原子占据的位置。换言之,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质包括在与第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含在第三化合物半导体层 43 中的杂质。

[0568] 因此,当沉积第三化合物半导体层 43 后沉积第四化合物半导体层 44 和埋入层 31 时,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 之间。同样,杂质互扩散很少发生在电流阻挡层 40 和与电流阻挡层 40 的上表面及下表面接触的两个层之间。结果,能够避免电流阻挡层 40 厚度减少或者消失的问题,并由此避免电流阻挡层 40 不稳定从而泄漏电流增加的问题。

[0569] 另外,使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型(n型)的杂质包括在与第二化合物半导体层 22A 和 22B 中使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型(p型)的杂质的置换位置(III 族原子占据的位置)不相竞争的置换位置(V 族原子占据的位置)处包含在第一化合物半导体层 21 中的杂质。因此,通过控制每一层中的杂质浓度和掺杂位置,可以容易并精确地设计出通过第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 之间的故意的杂质互扩散而实现的 pn 结控制,使改善发光特性成为可能。

[0570] 这里,在示例 1 的半导体发光装置中,形成在发光部分形成区域 11(凸起表面)上的有源层 23 在横向方向(侧面)上被折射率低于有源层 23 的电流阻挡层 40 包围,在垂直方向上被折射率低于有源层 23 的第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 包围。因此,有源层 23 具有光在垂直方向和横向上被完全限制的结构。另外,p-n-p-n 结构(p型埋入层 31-n型第三化合物半导体层 43-p型第四化合物半导体层 44、p型电流阻挡层定位层 30(p型第二化合物半导体层 22B)和 p型第二化合物半导体层 22A-n型第一化合物半导体层 21),即闸流晶体管结构,形成在靠近有源层 23 的侧面的凹进表面上。因此,抑制了流过凹进表面的电流,因此电流集中在有源层 23 中,由此使得减少阈值电流成为可

能。在此情况下, p 型电流阻挡层定位层 30 可以被认为 p 型第四化合物半导体层 44 或者 p 型第二化合物半导体层 22B。这适用于稍后描述的示例 2、示例 5 和示例 6。

[0571] 尽管图 23 示出了电流阻挡层 40 的端部与有源层 23 的侧面接触的结构, 但是也可以形成电流阻挡层 40 的端部与第二化合物半导体层 22A 和 22B 的侧面接触的结构, 或者电流阻挡层 40 的端部与第一化合物半导体层 21 的侧面接触的结构。在该结构中, 实际上可以抑制泄漏电流。然而, 关于电流阻挡层 40 与发光部分 20 接触的端部的位置, 优选电流阻挡层 40 的至少一部分与有源层 23 的侧面接触。这适用于下面描述的示例 2 至示例 9。

[0572] 图 26(A) 示出了示于表 1A 中的示例 1 的半导体发光装置的截面照片。同样, 图 26(B) 示出了比较示例 1 的半导体发光装置的截面照片。此外, 图 27(A) 和 (B) 分别示出了示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置的发光状态 (近场图案, NFT) 的照片。

[0573] 这里, 在比较示例 1 中, 使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质是硒 (Se)。换言之, 在比较示例 1 中, 使第三化合物半导体层具有第一导电类型 (n 型) 的杂质包括在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型 (p 型) 的杂质 (Zn) 的置换位置 (III 族原子占据的位置) 不相竞争的置换位置 (V 族原子占据的位置) 处包含在第三化合物半导体层中的杂质 (Se)。尽管在比较示例 1 中, 在与 [步骤 120] 相同的步骤中, 通过 MOCVD 依次形成由第三化合物半导体层和第四化合物半导体层组成的电流阻挡层, 但是第三化合物半导体层由 $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$ 组成, 第四化合物半导体层由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成。结果, 当在层叠第三化合物半导体层 43 之后层叠第四化合物半导体层 44 时, 杂质互扩散发生在构成电流阻挡层的第三化合物半导体层和第四化合物半导体层之间, 并且因此电流阻挡层的一部分 (高阶晶面区域的部分) 消失 (参考图 26(B))。在表 1A 所示的示例 1 中, 电流阻挡层 40 的这一部分没有消失。如图 27(B) 所示, 在比较示例 1 中, 通过 NFP 估测中的光和阴影观察到了电流阻挡层的部分消失引起的明显的泄漏电流。

[0574] 在如图 27(A) 所示的示例 1 的半导体发光装置的发光状态 (自发发射状态) 的照片中, 仅在一个位置上拍摄到了明亮的发射区域, 并且该明亮的发射区域对应于发光部分。另一方面, 在图 27(B) 所示的比较示例 1 的半导体发光装置的发光状态的照片中, 拍摄到了三个明亮的发射区域, 中间位置处的明亮发射区域对应于自发发射, 周边区域中左右两个位置处的光和阴影是由第三化合物半导体层 43 的部分消失引起的。如上所述, 因为第三化合物半导体层 43 与第四化合物半导体层 44 接触, 所以在比较示例 1 中由于杂质互扩散而导致高阶晶面容易消失。这里, 通过 NFP 中的光和阴影可以容易地分辨区域消失和区域不消失, 并且因为电流集中在注入电流容易地泄漏的区域中, 所以泄漏区域可以通过 NFP 中的光和阴影的变化来确定。

[0575] 此外, 图 28(A) 示出了示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置的阈值电流测量结果和斜度效率测量结果。在图 28(A) 或者下面描述的图 28(B) 或者图 30 中, 通过半导体发光装置的电流值示为横坐标, 而光学输出示为纵坐标。

[0576] 与示例 1 相比较发现, 比较示例 1 因大的泄漏电流而具有低的斜度效率和高的阈值电流值。

[0577] 另外, 对于在 MOCVD 法的晶体生长过程中将杂质结合入晶体的效率, 当硅 (Si) 用作使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (n 型) 的杂质时, 平面取向依赖性

(plane orientation dependence)(晶体平面取向依赖性)明显小于硒(Se)用作使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型(n 型)的杂质时的平面取向依赖性(例如,参考 Makoto Kondo, et.al., " Crystallographic orientation dependence of impurity incorporation into III-V compound semiconductors grown by metalorganic vapor phase epitaxy", J. Appl. Phys. 76(2), 1994 年 7 月 15 日)。此外,当沉积第三化合物半导体层 43 时, Si_2H_6 (乙硅烷)气体优选作为添加硅(Si)的原料气体。其主要原因是结合入 A 面晶体(A plane crystal)的 Si 杂质的晶面取向依赖性可以通过采用 Si_2H_6 (乙硅烷)气体而进一步改善以被减小。因此,当对采用 A 面晶体的半导体激光器或者本发明的 SDH 激光器(采用 B 面晶体的半导体发光装置)等的常规半导体发光装置采用 Si_2H_6 (乙硅烷)气体时,不需要考虑采用 A 面晶体或者 B 面晶体的半导体发光装置的杂质掺杂的晶体平面取向依赖性,由此明显方便了对 Si 掺杂的控制。这适用于下面描述的示例。

[0578] 这里,当晶体的生长温度和杂质原料气体的供给速率不变时,在 B 面的斜角(off angle)(与 {100} 面的倾斜角)或者 A 面的斜角(与 {100} 面的倾斜角)示为横坐标而单层晶体膜中的杂质浓度示为纵坐标的曲线图中,可以认为,特性图曲线越平坦,晶面取向依赖性就越小。具体地,在对比评估中,可以认为,图曲线越接近平坦的,晶体平面取向依赖性就越小。这应用于示例 3、示例 5 和示例 7。

[0579] 因此,在形成(沉积)第三化合物半导体层 43 时,在第三化合物半导体层 43 中形成从发光部分 20 的侧面延伸的 {311}B 晶面区域、沿着基板 10 的主表面延伸的 {100} 晶面区域以及位于 {311}B 晶面区域和 {100} 晶面区域之间的高阶晶面区域,而在这些区域中作为杂质的 Si 的掺杂浓度将发生很小的变化。从而,可以形成(层叠)具有稳定(均匀)的杂质浓度的第三化合物半导体层 43,并且可以容易地控制第三化合物半导体层 43 和与其接触且具有其它导电类型的层之间的浓度平衡。因此,可以获得具有高电流阻挡能力的电流阻挡层 40。另外,因为可以形成(层叠)具有稳定的杂质浓度的第三化合物半导体层 43,所以当在第四化合物半导体层 44 上形成第三化合物半导体层 43 或者在第三化合物半导体层 43 上形成第四化合物半导体层 44 时,可以更加可靠地避免第三化合物半导体层 43 或者第四化合物半导体层 44 消失或者电流阻挡层 40 厚度减小的问题,并且由此避免电流阻挡层 40 的作用不稳定,从而泄漏电流增加的问题。

[0580] 示例 2

[0581] 示例 2 是示例 1 的修改并且涉及本发明的实施例 1-B-1 和本发明的实施例 2-B。

[0582] 具体地讲,如图 4(A) 的概念图所示,当参考本发明的实施例 1-B-1 描述示例 2 的半导体发光装置时,

[0583] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0584] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0585] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0586] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,

[0587] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,

- [0588] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置，
- [0589] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置，并且
- [0590] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。
- [0591] 或者，当参考本发明的实施例 2-B 描述示例 2 的半导体发光装置时，
- [0592] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成，
- [0593] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层，
- [0594] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，
- [0595] 使第一 A 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质，
- [0596] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质，
- [0597] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质，
- [0598] 使第二 A 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)，
- [0599] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质，并且
- [0600] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质。
- [0601] 更具体地讲，在示例 2 的半导体发光装置中，每个层具有下述表 2A 或者表 2B 所示的构造。在表 2A 所示的示例中，第三化合物半导体层层叠在第四化合物半导体层上，而在表 2B 所示的示例中，第四化合物半导体层层叠在第三化合物半导体层上。
- [0602] [表 2A]
- [0603] (发光部分的构造)
- [0604] 第二 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{C}$
- [0605] 第二 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$
- [0606] 有源层 ... [有源层 -A]
- [0607] 第一 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$
- [0608] 第一 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Si}$
- [0609] (电流阻挡层)
- [0610] 埋入层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$
- [0611] 第三化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$
- [0612] 第四化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$
- [0613] 电流阻挡层定位层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$
- [0614] (整体)
- [0615] 接触层 ... $p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)
- [0616] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。
- [0617] (注 2) 第四化合物半导体层在形成电流阻挡层定位层之后连续地形成，从而在第四化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间基本上不存在界面。
- [0618] (注 3) 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层可以被认为形成在第三化合物半导体层和埋入层之间。

[0619] [表 2B]

[0620] (发光部分的构造)

[0621] 第二 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[0622] 第二 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[0623] 有源层 ... [有源层 -A]

[0624] 第一 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[0625] 第一 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[0626] (电流阻挡层)

[0627] 埋入层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0628] 第四化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0629] 第三化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0630] 电流阻挡层定位层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0631] (整体)

[0632] 接触层 ... $p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[0633] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0634] (注 2) 埋入层在形成第四化合物半导体层之后连续地形成,从而在埋入层和第四化合物半导体层之间基本上不存在界面。

[0635] (注 3) 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层(对应于电流阻挡层定位层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分)可以被认为形成在第三化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间。

[0636] 在示例 2 中,第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,第四化合物半导体层中的杂质的置换位置也是由 III 族原子占据的位置,并且与第四化合物半导体层接触的第三化合物半导体层中的杂质的置换位置也是由 III 族原子占据的位置。就是说,使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型(n 型)的杂质包括在与使第四化合物半导体层具有第二导电类型(p 型)的第四化合物半导体层中的杂质的置换位置(III 族原子占据的位置)相竞争的置换位置(由 III 族原子占据的位置)处结合入第一 A 化合物半导体层的杂质,并且还包括在与使与第四化合物半导体层接触的第三化合物半导体层具有第一导电类型(n 型)的杂质的置换位置(III 族原子占据的位置)相竞争的置换位置处的杂质。因此,当沉积第四化合物半导体层时,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的第四化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层之间或者在第四化合物半导体层和第三化合物半导体层之间,因此可以形成可靠性高的电流阻挡层。另外,第四化合物半导体层和第三化合物半导体层组成的电流阻挡层中的杂质互扩散的抑制对应于 {311} B 面和高阶面的抑制作用,并且不同于第四化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层之间的界面处的杂质互扩散的抑制,因为后者对应于 {311} B 面的界面的抑制作用。

[0637] 示例 3

[0638] 示例 3 也是示例 1 的修改并且涉及本发明的实施例 1-C-1 和本发明的实施例 2-C,并且还涉及本发明的第六实施例。在示例 3 或者稍后描述的示例 4 中,导电类型与示例 1 的相反。就是说,在示例 3 或者稍后描述的示例 4 中,第一导电类型为 p 型,而第二导电类型为 n 型。

[0639] 具体地讲,如图 7(A) 的概念图、图 29(A) 的示意性局部截面图和图 29(B) 的放大的示意性截面图所示,当参考本发明的实施例 1-C-1 描述示例 3 的半导体发光装置时,

[0640] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 以及电流阻挡层 40(第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44) 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0641] 第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,

[0642] 第二化合物半导体层 22A 和 22B 中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且

[0643] 第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层 44 中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。

[0644] 或者,当参考本发明的实施例 2-C 描述示例 3 的半导体发光装置时,

[0645] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 以及电流阻挡层 40(第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44) 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0646] 使第一化合物半导体层 21 具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0647] 使第三化合物半导体层 43 具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)。

[0648] 此外,当参考本发明的第六实施例进行描述时,示例 3 的半导体发光装置包括,

[0649] (A) 发光部分 20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层 21 和具有第二导电类型的第二化合物半导体层 22A 和 22B,和

[0650] (B) 电流阻挡层 40,设置为与发光部分 20 的侧面接触。

[0651] 另外,电流阻挡层 40 由具有第一导电类型(p 型)的第三化合物半导体层 43 和具有第二导电类型(n 型)且与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 组成,

[0652] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B、第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0653] 使第一化合物半导体层 21 具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0654] 使第三化合物半导体层 43 具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)。

[0655] 更详细地讲,在示例 3 的半导体发光装置中,每个层具有表 3A 或者表 3B 所示的构造。在表 3A 所示的示例中,第三化合物半导体层 43 层叠在第四化合物半导体层 44 上,而在表 3B 所示的示例中,第四化合物半导体层 44 层叠在第三化合物半导体层 43 上。

[0656] [表 3A]

[0657] (发光部分的构造)

[0658] 第二化合物半导体层 22B $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0659] 第二化合物半导体层 22A $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[0660] 有源层 23 $\cdots$ [有源层 -B]

[0661] 第一化合物半导体层 21 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[0662] (电流阻挡层)

[0663] 埋入层 31 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0664] 第三化合物半导体层 43 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[0665] 第四化合物半导体层 44 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0666] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0667] (整体)

- [0668] 接触层 32 $\cdots n\text{-GaAs:Se}$ (或 Si)
- [0669] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。
- [0670] (注 2) 第四化合物半导体层 44 在形成电流阻挡层定位层 30 之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层 44 和电流阻挡层定位层 30 之间基本上不存在界面。
- [0671] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于埋入层 31 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和埋入层 31 之间。
- [0672] [表 3B]
- [0673] (发光部分的构造)
- [0674] 第二化合物半导体层 22B $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$
- [0675] 第二化合物半导体层 22A $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$
- [0676] 有源层 23 $\cdots$ [有源层 -B]
- [0677] 第一化合物半导体层 21 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$
- [0678] (电流阻挡层)
- [0679] 埋入层 31 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$
- [0680] 第四化合物半导体层 44 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$
- [0681] 第三化合物半导体层 43 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$
- [0682] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$
- [0683] (整体)
- [0684] 接触层 32 $\cdots n\text{-GaAs:Se}$ (或 Si)
- [0685] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。
- [0686] (注 2) 埋入层 31 在形成第四化合物半导体层 44 之后连续地形成,从而在埋入层 31 和第四化合物半导体层 44 之间基本上不存在界面。
- [0687] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层 30 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和电流阻挡层定位层 30 之间。
- [0688] 还是在示例 3 中,在与示例 1 的 [步骤 120] 相同的步骤中,通过 MOCVD 方法依次形成由电流阻挡层定位层 30、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 组成的电流阻挡层 40。这里,第三化合物半导体层 43 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$ 组成,而第四化合物半导体层 44 由 $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$ 组成。就是说,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (p 型) 的第三化合物半导体层 43 中的杂质 (C) 的置换位置是 V 族原子占据的位置。同样,使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (n 型) 的第四化合物半导体层 44 中的杂质 (Se) 的置换位置是 V 族原子占据的位置。换言之,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质包括在与第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含在第三化合物半导体层 43 中的杂质。
- [0689] 因此,当沉积第三化合物半导体层 43 后沉积第四化合物半导体层 44 时,或者当沉积第四化合物半导体层 44 后沉积第三化合物半导体层 43 时,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 之间。结果,能够防止电流阻挡层 40 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题,并因此防止电流阻挡层 40 的作用

不稳定,由此泄漏电流增加的问题。

[0690] 另外,使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型(p 型)的杂质包括在与第二化合物半导体层 22A 和 22B 中使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型(n 型)的杂质的置换位置(由 V 族原子占据的位置)不相竞争的置换位置(由 III 族原子占据的位置)处包含于第一化合物半导体层 21 中的杂质。因此,通过控制各层中的杂质浓度和掺杂位置,可以容易并精确地设计出通过第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 之间的故意的杂质互扩散而实现的 pn 结控制,由此使改善发光特性成为可能。

[0691] 这里,还是在示例 3 的半导体发光装置中,形成在发光部分形成区域 11(凸起表面)上的有源层 23 在横向方向上(侧面)被折射率低于有源层 23 的电流阻挡层 40 包围,在垂直方向上被折射率低于有源层 23 的第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 包围。因此,有源层 23 具有光在垂直方向和横向方向上完全被限制的结构。另外, n-p-n-p 结构(n 型埋入层 31-p 型第三化合物半导体层 43-n 型第四化合物半导体层 44-n 型电流阻挡层定位层 30(n 型第二化合物半导体层 22B) 和 n 型第二化合物半导体层 22A-p 型第一化合物半导体层 21),即闸流晶体管结构,形成在靠近有源层 23 的凹进表面上。因此,抑制了流过凹进表面的电流,因此电流集中在有源层 23 中,从而使得阈值电流减少成为可能。在此情况下,n 型电流阻挡层定位层 30 可以被看作 n 型第四化合物半导体层 44 或 n 型第二化合物半导体层 22B。这适用于下面将描述的示例 4、示例 7 和示例 8。

[0692] 在 MOCVD 法中,当沉积第三化合物半导体层 43 时,通过 III 族原子的原料气体的分解而获得的甲基或者乙基可以故意地用作添加碳(C)的原料气体。或者,在 MOCVD 法中,当沉积第三化合物半导体层 43 时,可以添加 CBr₄ 气体或 CCl₄ 气体。

[0693] 示例 4

[0694] 示例 4 是示例 1 和示例 3 的修改并且涉及本发明的实施例 1-D-1 和本发明的实施例 2-D。

[0695] 具体地讲,如图 10(A) 的概念图所示,当参考本发明的实施例 1-D-1 来描述示例 4 的半导体发光装置时,

[0696] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0697] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0698] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0699] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,

[0700] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,

[0701] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,

[0702] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且

[0703] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。

[0704] 或者,当参考本发明的实施例 2-D 来描述示例 4 的半导体发光装置时,

[0705] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物

半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0706] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0707] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0708] 使第一 A 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C),

[0709] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0710] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0711] 使第二 A 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0712] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C), 并且

[0713] 使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质。

[0714] 更具体地讲, 在示例 4 的半导体发光装置中, 每层具有下面的表 4A 或者表 4B 所示的构造。在表 4A 所示的示例中, 第三化合物半导体层层叠在第四化合物半导体层上, 而在表 4B 所示的示例中, 第四化合物半导体层层叠在第三化合物半导体层上。

[0715] [表 4A]

[0716] (发光部分的构造)

[0717] 第二 A 化合物半导体层...n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Si

[0718] 第二 B 化合物半导体层...n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Se

[0719] 有源层 ...[有源层 -B]

[0720] 第一 B 化合物半导体层...p-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Zn

[0721] 第一 A 化合物半导体层...p-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:C

[0722] (电流阻挡层)

[0723] 埋入层 ...n-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:Se

[0724] 第三化合物半导体层 ...p-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:C

[0725] 第四化合物半导体层 ...n-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:Se

[0726] 电流阻挡层定位层 ...n-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:Se

[0727] (整体)

[0728] 接触层 ...n-GaAs:Se (或 Si)

[0729] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0730] (注 2) 第四化合物半导体层在形成电流阻挡层定位层之后连续地形成, 从而在第四化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间基本上不存在界面。

[0731] (注 3) n-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:Zn 组成的第五化合物半导体层 (对应于埋入层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层和埋入层之间。

[0732] [表 4B]

[0733] (发光部分的构造)

[0734] 第二 A 化合物半导体层...n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Si

[0735] 第二 B 化合物半导体层...n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Se

[0736] 有源层 ...[有源层 -B]

[0737] 第一 B 化合物半导体层...p-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Zn

[0738] 第一 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[0739] (电流阻挡层)

[0740] 埋入层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0741] 第四化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0742] 第三化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[0743] 电流阻挡层定位层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0744] (整体)

[0745] 接触层 ... $n\text{-GaAs:Se}$ (或 Si)

[0746] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0747] (注 2) 埋入层在形成第四化合物半导体层之后连续地形成,从而在埋入层和第四化合物半导体层之间基本上不存在界面。

[0748] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间。

[0749] 在示例 4 中,与图 10 (A) 所示的示例不同,当形成包括第四化合物半导体层和形成其上的第三化合物半导体层的层叠结构时,第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,第四化合物半导体层中的杂质的置换位置也是 V 族原子占据的位置,并且与第四化合物半导体层接触的第三化合物半导体层中的杂质的置换位置也是 V 族原子占据的位置。就是说,使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型 (p 型) 的杂质包括在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型 (n 型) 的杂质的置换位置 (由 V 族原子占据的位置) 相竞争的置换位置 (由 V 族原子占据的位置) 处结合于第一 A 化合物半导体层中的杂质,并且还包括在与使与第四化合物半导体层接触的第三化合物半导体层具有第一导电类型 (p 型) 的杂质的置换位置 (由 V 族原子占据的位置) 相竞争的置换位置处的杂质。因此,当沉积第四化合物半导体层时,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层的第四化合物半导体层和第一 A 化合物半导体层之间,或者第四化合物半导体层和第三化合物半导体层之间,因此可以形成可靠性高的电流阻挡层。结果,能够更有效地避免流阻挡层 40 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题,并且因此避免电流阻挡层 40 的作用不稳定,由此泄漏电流增加的问题。

[0750] 示例 5

[0751] 示例 5 涉及根据本发明第一实施例 (更具体地讲,实施例 1-a-1)、本发明第三实施例 (更具体地讲,实施例 3-a) 和本发明第五实施例的半导体发光装置。

[0752] 具体地讲,如图 1 (B) 的概念图所示,当参考本发明的实施例 1-a-1 来描述示例 5 的半导体发光装置时,

[0753] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 和电流阻挡层 40 (第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43) 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0754] 第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,

[0755] 第二化合物半导体层 22A 和 22B 中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且

[0756] 第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层 44 中的杂质

的置换位置是由 V 族原子占据的位置。示例 5 的半导体发光装置的示意性局部截面视图与图 23(A) 和 (B) 所示的相同。

[0757] 或者,当参考本发明的第三实施例来进行描述时,示例 5 的半导体发光装置包括,

[0758] (A) 发光部分 20,有层叠结构组成,其中依次层叠具有第一导电类型(在示例 5 中,n 型)的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型(在示例 5 中,p 型)的第二化合物半导体层 22A 和 22B,和

[0759] (B) 电流阻挡层 40,与发光部分 20 的侧面接触。

[0760] 另外,电流阻挡层 40 由具有第一导电类型(n 型)的第三化合物半导体层 43 和具有第二导电类型(p 型)且与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 组成,并且

[0761] 使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型(p 型)的杂质与使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型(p 型)的杂质不同。

[0762] 具体地讲,当参考本发明的实施例 3-a 来描述示例 5 的半导体发光装置时,

[0763] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 以及电流阻挡层 40(第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43) 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0764] 使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0765] 使第四化合物半导体层 44 具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳(C)。

[0766] 或者,当参考本发明的第五实施例来进行描述时,示例 5 的半导体发光装置包括,

[0767] (A) 发光部分 20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型的第二化合物半导体层 22A 和 22B,和

[0768] (B) 电流阻挡层 40,与发光部分 20 的侧面接触。

[0769] 另外,电流阻挡层 40 由具有第一导电类型的第三化合物半导体层 43 和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 组成,

[0770] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 和电流阻挡层 40(第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43) 由 III-V 族化合物半导体组成,

[0771] 使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,并且

[0772] 使第四化合物半导体层 44 具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳(C)。

[0773] 更具体地讲,在示例 5 的半导体发光装置中,每层具有下面的表 5A 或者表 5B 所示的构造。在表 5A 所示的示例中,第三化合物半导体层 43 层叠在第四化合物半导体层 44 上,而在表 5B 所示的示例中,第四化合物半导体层 44 层叠在第三化合物半导体层 43 上。

[0774] [表 5A]

[0775] (发光部分的构造)

[0776] 第二化合物半导体层 22B...p-Al_{0.47}Ga_{0.53}As:Zn

[0777] 第二化合物半导体层 22A...p-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Zn

[0778] 有源层 23 ...[有源层 -A]

[0779] 第一化合物半导体层 21 ...n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As:Se

[0780] (电流阻挡层)

[0781] 埋入层 31 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0782] 第三化合物半导体层 43 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$

[0783] 第四化合物半导体层 44 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{C}$

[0784] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0785] (整体)

[0786] 接触层 32 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[0787] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。

[0788] (注 2) 第四化合物半导体层 44 在形成电流阻挡层定位层 30 之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层 44 和电流阻挡层定位层 30 之间基本上不存在界面。

[0789] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于埋入层 31 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和埋入层 31 之间。

[0790] [表 5B]

[0791] (发光部分的构造)

[0792] 第二化合物半导体层 22B $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0793] 第二化合物半导体层 22A $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0794] 有源层 23 $\cdots$ [有源层 -A]

[0795] 第一化合物半导体层 21 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$

[0796] (电流阻挡层)

[0797] 埋入层 31 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0798] 第四化合物半导体层 44 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{C}$

[0799] 第三化合物半导体层 43 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$

[0800] 电流阻挡层定位层 30 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0801] (整体)

[0802] 接触层 32 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[0803] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。

[0804] (注 2) 埋入层 31 在形成第四化合物半导体层 44 之后连续地形成,从而在埋入层 31 和第四化合物半导体层 44 之间基本上不存在界面。

[0805] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层 30 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和电流阻挡层定位层 30 之间。

[0806] 在示例 5 中,在与实例 1 的 [步骤 120] 相同的步骤中,例如,通过 MOCVD 方法依次形成由电流阻挡层定位层 30、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 组成的电流阻挡层 40。这里,第四化合物半导体层 44 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{C}$ 组成,第三化合物半导体层 43 由 $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$ 组成。就是说,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (n 型) 的第三化合物半导体层 43 中的杂质 (Se) 的置换位置是由 V 族原子占据的位置。同样,第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (p 型) 的杂质 (C) 的置换位置是由 V 族原子占据的位置。换言之,使第三化合物半导体层 43 具有第一导

电类型的杂质包括在与第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含于第三化合物半导体层 43 的杂质。另外，使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质与使第二化合物半导体层 22 具有第二导电类型的杂质相比，具有更小的结合在晶体中的杂质质量的平面取向依赖性。

[0807] 因此，当沉积第四化合物半导体层 44 后沉积第三化合物半导体层 43 时，或者当沉积第三化合物半导体层 43 后沉积第四化合物半导体层 44 时，杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 之间。结果，能够避免电流阻挡层 40 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题，并且因此避免电流阻挡层 40 的作用不稳定，由此泄漏电流增加的问题。

[0808] 另外，使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型（n 型）的杂质包括在与第二化合物半导体层 22A 和 22B 中使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型（p 型）的杂质的置换位置（由 III 族原子占据的位置）不相竞争的置换位置（由 V 族原子占据的位置）处包含于第一化合物半导体层 21 的杂质。因此，通过控制每层中的杂质浓度和掺杂位置，可以容易并精确地设计出通过第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 之间的故意的杂质互扩散而实现的 pn 结控制，由此使得改善发光特性成为可能。

[0809] 这里，还是在示例 5 的半导体发光装置中，形成在发光部分形成区域 11（凸起表面）上的有源层 23 在横向方向上（侧面）被折射率低于有源层 23 的电流阻挡层 40 包围，在垂直方向上被折射率低于有源层 23 的第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 包围，因此，有源层 23 具有光在垂直方向和横向方向上完全被限制的结构。另外，p-n-p-n 结构（p 型埋入层 31-n 型第三化合物半导体层 43-p 型第四化合物半导体层 44、p 型电流阻挡层定位层 30（p 型第二化合物半导体层 22B）和 p 型第二化合物半导体层 22A-n 型第一化合物半导体层 21），即闸流晶体管结构，形成在靠近有源层 23 的侧面的凹进表面上。因此，抑制了流过凹进表面的电流，因此电流集中在有源层 23 中，由此使得阈值电流减少成为可能。

[0810] 示例 6

[0811] 示例 6 是示例 5 的修改并且涉及根据本发明的实施例 1-b-1 和本发明的实施例 3-b 的半导体发光装置。

[0812] 具体地讲，如图 4(B) 的概念图所示，当参考本发明的实施例 1-b-1 来描述示例 6 的半导体发光装置时，

[0813] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成，

[0814] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层，

[0815] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

[0816] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

[0817] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，

[0818] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置，

[0819] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置，并且

[0820] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置。

[0821] 或者,当参考本发明的实施例 3-b 来描述示例 6 时,

[0822] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0823] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0824] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0825] 使第一 A 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质,

[0826] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,

[0827] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质,

[0828] 使第二 A 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C),

[0829] 使第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0830] 使第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[0831] 更具体地讲,在示例 6 的半导体发光装置中,每层具有下面的表 6A 或者表 6B 所示的构造。在表 6A 所示的示例中,第三化合物半导体层层叠在第四化合物半导体层上,而在表 6B 所示的示例中,第四化合物半导体层层叠在第三化合物半导体层上。

[0832] [表 6A]

[0833] (发光部分的构造)

[0834] 第二 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[0835] 第二 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[0836] 有源层 ... [有源层 -A]

[0837] 第一 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[0838] 第一 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[0839] (电流阻挡层)

[0840] 埋入层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[0841] 第三化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0842] 第四化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[0843] 电流阻挡层定位层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[0844] (整体)

[0845] 接触层 ... $p\text{-GaAs:C}$ (或 Zn)

[0846] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0847] (注 2) 第四化合物半导体层在形成电流阻挡层定位层之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间基本上不存在界面。

[0848] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层可以被认为形成在第三化合物半导体层和埋入层之间。

[0849] [表 6B]

[0850] (发光部分的构造)

- [0851] 第二 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$
- [0852] 第二 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$
- [0853] 有源层 ... [有源层 -A]
- [0854] 第一 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$
- [0855] 第一 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$
- [0856] (电流阻挡层)
- [0857] 埋入层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$
- [0858] 第四化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$
- [0859] 第三化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$
- [0860] 电流阻挡层定位层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$
- [0861] (整体)
- [0862] 接触层 ... $p\text{-GaAs:C}$ (或 Zn)
- [0863] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。
- [0864] (注 2) 埋入层在形成第四化合物半导体层之后连续地形成,从而在埋入层和第四化合物半导体层之间基本上不存在界面。
- [0865] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层(对应于电流阻挡层定位层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分)可以被认为形成在第三化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间。
- [0866] 示例 7
- [0867] 示例 7 也是示例 5 的修改并且涉及本发明的实施例 1-c-1 和本发明的实施例 3-c,并且还涉及本发明的第七实施例。在示例 7 或者下面的示例 8 中,导电类型与示例 5 中的相反。也就是,在示例 7 或者下面描述的示例 8 中,第一导电类型为 p 型,而第二导电类型为 n 型。
- [0868] 具体地讲,如图 7(B) 的概念图所示,当参考本发明的实施例 1-c-1 来描述示例 7 的半导体发光装置时,
- [0869] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 和电流阻挡层 40(第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44) 由 III-V 族化合物半导体组成,
- [0870] 第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,
- [0871] 第二化合物半导体层 22A 和 22B 中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,并且
- [0872] 第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层 44 中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。另外,示例 7 的半导体发光装置的示意性局部截面图与图 29(A) 和 (B) 所示的相同。
- [0873] 或者,当参考本发明的实施例 3-c 来描述示例 7 的半导体发光装置时,
- [0874] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 和电流阻挡层 40(第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44) 由 III-V 族化合物半导体组成,
- [0875] 使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且
- [0876] 使第四化合物半导体层 44 具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0877] 此外,当参考本发明第七实施例来描述示例 7 的半导体发光装置时,半导体发光装置包括,

[0878] (A) 发光部分 20,由层叠结构组成,在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型的第二化合物半导体层 22A 和 22B,和

[0879] (B) 电流阻挡层 40,与发光部分 20 的侧面接触。

[0880] 另外,电流阻挡层 40 由具有第一导电类型的第三化合物半导体层 43 和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层 43 接触的第四化合物半导体层 44 组成,

[0881] 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体层 22A 和 22B 和电流阻挡层 40 (第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44) 由 III-V 化合物半导体组成,

[0882] 使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质,并且

[0883] 使第四化合物半导体层 44 具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0884] 更具体地讲,在示例 7 的半导体发光装置中,每层具有下面的表 7A 或者表 7B 所示的构造。在表 7A 所示的示例中,第三化合物半导体层 43 层叠在第四化合物半导体层 44 上,而在表 7B 所示的示例中,第四化合物半导体层 44 层叠在第三化合物半导体层 43 上。

[0885] [表 7A]

[0886] (发光部分的构造)

[0887] 第二化合物半导体层 22B... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0888] 第二化合物半导体层 22A... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[0889] 有源层 23 ... [有源层 -B]

[0890] 第一化合物半导体层 21 ... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[0891] (电流阻挡层)

[0892] 埋入层 31 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0893] 第三化合物半导体层 43 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0894] 第四化合物半导体层 44 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0895] 电流阻挡层定位层 30 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0896] (整体)

[0897] 接触层 32 ... $n\text{-GaAs:Si}$ (或 Se)

[0898] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。

[0899] (注 2) 第四化合物半导体层 44 在形成电流阻挡层定位层 30 之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层 44 和电流阻挡层定位层 30 之间基本上不存在界面。

[0900] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于埋入层 31 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和埋入层 31 之间。

[0901] [表 7B]

[0902] (发光部分的构造)

[0903] 第二化合物半导体层 22B... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[0904] 第二化合物半导体层 22A... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[0905] 有源层 23 … [有源层 -B]

[0906] 第一化合物半导体层 21 … $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0907] (电流阻挡层)

[0908] 埋入层 31 … $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0909] 第四化合物半导体层 44 … $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0910] 第三化合物半导体层 43 … $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0911] 电流阻挡层定位层 30 … $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0912] (整体)

[0913] 接触层 32 … $n\text{-GaAs}:\text{Si}$ (或 Se)

[0914] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。

[0915] (注 2) 埋入层 31 在形成第四化合物半导体层 44 之后连续地形成,从而在埋入层 31 和第四化合物半导体层 44 之间基本上不存在界面。

[0916] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层 30 的形成与第三化合物半导体层 43 的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层 43 和电流阻挡层定位层 30 之间。

[0917] 还是在示例 7 中,在与示例 1 的 [步骤 120] 相同的步骤中,例如通过 MOCVD 方法依次形成由电流阻挡层定位层 30、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 组成的电流阻挡层 40。这里,第三化合物半导体层 43 由 $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成,而第四化合物半导体层 44 由 $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$ 组成。就是说,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (p 型) 的第三化合物半导体层 43 中的杂质 (Zn) 的置换位置是由 III 族原子占据的位置。同样,使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (n 型) 的第四化合物半导体层 44 中的杂质 (Si) 的置换位置是由 III 族原子占据的位置。换言之,使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质包括在与第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含于第三化合物半导体层 43 中的杂质。

[0918] 因此,当沉积第三化合物半导体层 43 后沉积第四化合物半导体层 44 时,或者当沉积第四化合物半导体层 44 后沉积第三化合物半导体层 43 时,杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 之间。结果,能够避免电流阻挡层 40 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题,并且因此能够避免电流阻挡层 40 的作用不稳定,由此泄漏电流增加的问题。

[0919] 另外,使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型 (p 型) 的杂质包括在与第二化合物半导体层 22A 和 22B 中使第二化合物半导体层 22A 和 22B 具有第二导电类型 (n 型) 的杂质的置换位置 (由 V 族原子占据的位置) 不相竞争的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 处包含于第一化合物半导体层 21 中的杂质。因此,通过控制每层中的杂质浓度和掺杂位置,可以容易并精确地设计出通过第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层 22A 和 22B 之间的杂质互扩散而实现的 pn 结控制,由此使改善发光特性成为可能。

[0920] 这里,还是在示例 7 的半导体发光装置中,形成在发光部分形成区域 11 (凸起表面) 上的有源层 23 在横向方向上 (侧面) 被折射率低于有源层 23 的电流阻挡层 40 包围,在垂直方向上被折射率低于有源层 23 的第一化合物半导体层 21 和第二化合物半导体层

22A 和 22B 包围,因此,有源层 23 具有光在垂直方向和横向方向上被完全限制的结构。另外, n-p-n-p 结构 (n 型埋入层 31-p 型第三化合物半导体层 43-n 型第四化合物半导体层 44-n 型电流阻挡层定位层 30 (n 型第二化合物半导体层 22B) 和 n 型第二化合物半导体层 22A-p 型第一化合物半导体层 21),即 闩流晶体管结构,形成在靠近有源层 23 的侧面的凹进表面上。因此,抑制了流过凹进表面的电流,因此电流集中在有源层 23 中,由此使阈值电流减少成为可能。

[0921] 另外,使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (n 型) 的硅 (Si) 与使第二化合物半导体层 21 具有第二导电类型 (n 型) 的硒 (Se) 相比具有更小的平面取向依赖性。因此,在形成 (沉积) 第三化合物半导体层 43 时,从发光部分 20 的侧面延伸的 {311}B 晶面区域、沿着基板 10 的主表面延伸的 {100} 晶面区域以及位于 {311}B 晶面区域和 {100} 晶面区域之间的高阶晶面区域形成在第三化合物半导体层 43 中,而在这些区域中作为杂质的 Si 的掺杂浓度很少发生变化。因此,可以形成 (层叠) 具有稳定 (均匀) 的杂质浓度的第三化合物半导体层 43,并且可以容易地控制第三化合物半导体层 43 和与它接触且具有其它导电类型的层之间的浓度平衡。因此,可以获得电流阻挡能力高的电流阻挡层 40。另外,因为可以形成 (层叠) 杂质浓度稳定的第三化合物半导体层 43,所以当第四化合物半导体层 44 形成在第三化合物半导体层 43 上时,或者当第三化合物半导体层 43 形成在第四化合物半导体层 44 上时,能够更加可靠地避免第三化合物半导体层 43 或第四化合物半导体层 44 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题,并且因此能够避免电流阻挡层 40 的作用不稳定,从而泄漏电流增加的问题。

[0922] 示例 8

[0923] 示例 8 是示例 5 和示例 7 的修改并且涉及本发明的实施例 1-d-1 和本发明的实施例 3-d。

[0924] 具体地讲,如图 10 (B) 的概念图所示,当参考本发明的实施例 1-d-1 描述示例 8 的半导体发光装置时,

[0925] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0926] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[0927] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[0928] 第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

[0929] 第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,

[0930] 第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 V 族原子占据的位置,

[0931] 第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置,并且

[0932] 第三化合物半导体层中的杂质的置换位置和第四化合物半导体层中的杂质的置换位置是 III 族原子占据的位置。

[0933] 或者,当参考本发明的实施例 3-d 描述示例 8 的半导体发光装置时,

[0934] 第一化合物半导体层、第二化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层由 III-V 族化合物半导体组成,

[0935] 第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层，

[0936] 第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层，

[0937] 使第一 A 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)，

[0938] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质，

[0939] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质，

[0940] 使第二 A 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质，

[0941] 使第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质，

[0942] 使第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质。

[0943] 更具体地讲，在示例 8 的半导体发光装置中，每层具有下面的表 8A 或者表 8B 所示的构造。在表 8A 所示的示例中，第三化合物半导体层层叠在第四化合物半导体层上，而在表 8B 所示的示例中，第四化合物半导体层层叠在第三化合物半导体层上。

[0944] [表 8A]

[0945] (发光部分的构造)

[0946] 第二 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Si}$

[0947] 第二 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$

[0948] 有源层 ... [有源层 -B]

[0949] 第一 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0950] 第一 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{C}$

[0951] (电流阻挡层)

[0952] 埋入层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0953] 第三化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[0954] 第四化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0955] 电流阻挡层定位层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[0956] (整体)

[0957] 接触层 ... $n\text{-GaAs}:\text{Si}$ (或 Se)

[0958] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0959] (注 2) 第四化合物半导体层在形成电流阻挡层定位层之后连续地形成，从而在第四化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间基本上不存在界面。

[0960] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于埋入层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层和埋入层之间。

[0961] [表 8B]

[0962] (发光部分的构造)

[0963] 第二 A 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Si}$

[0964] 第二 B 化合物半导体层... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Se}$

[0965] 有源层 ... [有源层 -B]

[0966] 第一 B 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[0967] 第一 A 化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{C}$

[0968] (电流阻挡层)

[0969] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0970] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0971] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0972] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0973] (整体)

[0974] 接触层 $\cdots n\text{-GaAs:Si}$ (或 Se)

[0975] (注 1) 电流阻挡层定位层在形成第二 A 化合物半导体层之后形成。

[0976] (注 2) 埋入层在形成第四化合物半导体层之后连续地形成,从而在埋入层和第四化合物半导体层之间基本上不存在界面。

[0977] (注 3) $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$ 组成的第五化合物半导体层 (对应于电流阻挡层定位层的形成与第三化合物半导体层的界面的部分) 可以被认为形成在第三化合物半导体层和电流阻挡层定位层之间。

[0978] 示例 9

[0979] 示例 9 涉及根据本发明第八实施例 (更具体地讲, 实施例 8-A-1) 的半导体发光装置。如图 13(A) 的概念图、图 23(A) 的示意性局部截面图和图 23(B) 的放大的示意性局部截面图所示, 示例 9 的半导体发光装置包括,

[0980] (A) 发光部分 20, 由层叠结构组成, 在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型 (在示例 9 中, n 型) 的第一化合物半导体层 21、有源层 23 和具有第二导电类型 (在示例 9 中, p 型) 的第二化合物半导体层 22A 和 22B, 和

[0981] (B) 电流阻挡层 40, 与发光部分 20 的侧面接触。

[0982] 电流阻挡层 40 由层叠结构组成, 在该层叠结构中至少依次层叠具有第二导电类型的第四化合物半导体层 44 和具有第一导电类型的第四化合物半导体层 44。另外, 使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质包括第四化合物半导体层 44 中的在与第三化合物半导体层 43 中使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质, 以及在与第一化合物半导体层 21 中使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。同样, 使第二化合物半导体层 22 具有第二导电类型的杂质包括第二化合物半导体层 22 中的在与第三化合物半导体层 43 中使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。此外, 当设想经过第一化合物半导体层 21、电流阻挡层 40 和第二化合物半导体层 22 的旁通路径时, 在旁通路径中存在由各个化合物半导体层之间的界面组成的至少三个 pn 结界面。

[0983] 第四化合物半导体层 44 与第一化合物半导体层 21 的侧面接触, 第三化合物半导体层 43 与第二化合物半导体层 22 的侧面接触。另外, 具体地讲, 旁通路径由第一化合物半导体层 21、第四化合物半导体层 44、第三化合物半导体层 43 和第二化合物半导体层 22 组成, 并且 pn 结界面包括三个界面: 第一化合物半导体层 21 的侧面 / 第四化合物半导体层 44、第四化合物半导体层 44 / 第三化合物半导体层 43 以及第三化合物半导体层 43 / 第二化合物半导体层 22 的侧面。

[0984] 同样, 在示例 9 的半导体发光装置中, 第一化合物半导体层 21、第二化合物半导体

层 22、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 由 III-V 族化合物半导体组成。或者,如下所述,第一 A 化合物半导体层 21A、第一 B 化合物半导体层 21B、第二化合物半导体层 22、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 由 III-V 族化合物半导体组成。或者,第一化合物半导体层 21、第二 A 化合物半导体层 22A、第二 B 化合物半导体层 22B、第四化合物半导体层 44 和第三化合物半导体层 43 由 III-V 族化合物半导体组成。

[0985] 这里,在示例 9 中,第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层 22 中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层 44 中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。另外,使第一化合物半导体层 21 和第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的 n 型的杂质是 IV 族杂质(具体地讲,硅(Si)),而使第二化合物半导体层 22 和第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的 p 型的杂质是 II 族杂质(具体地讲,锌(Zn))。

[0986] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置中,每层具有下面的表 9A 所示的构造。

[0987] [表 9A]

[0988] (发光部分的构造)

[0989] 第二化合物半导体层 22B... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0990] 第二化合物半导体层 22A... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[0991] 有源层 23 ... [有源层 -A]

[0992] 第一化合物半导体层 21 ... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[0993] (电流阻挡层)

[0994] 埋入层 31 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0995] 第三化合物半导体层 43 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[0996] 第四化合物半导体层 44 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0997] 电流阻挡层定位层 30 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[0998] (整体)

[0999] 接触层 32 ... $p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1000] (注 1) 电流阻挡层定位层 30 在形成第二化合物半导体层 22B 之后形成。

[1001] (注 2) 第四化合物半导体层 44 在形成电流阻挡层定位层 30 之后连续地形成,从而在第四化合物半导体层 44 和电流阻挡层定位层 30 之间基本上不存在界面。

[1002] 这里,在图 23(B) 所示的示例中,第三化合物半导体层 43 形成在第四化合物半导体层 44 上。另外,第三化合物半导体层 43(n 型)和形成在其下的第四化合物半导体层 44(p 型)之间的 pn 结界面沿着 {311} B 晶面延伸,并且 pn 结界面的端部与发光部分 20(特别是,有源层 23 的侧面)接触以形成两个新的结界面。就是说,形成了具有 pnpn 结结构的电流通道,该 pnpn 结结构包括:第二化合物半导体层 22A、22B/ 第三化合物半导体层 43 的 pn 结界面,第三化合物半导体层 43/ 第四化合物半导体层 44 的 pn 结界面和第四化合物半导体层 44/ 第一化合物半导体层 21 的 pn 结界面,由此提供了电流阻挡结构的优选设计。

[1003] 此外,在示例 9 中,第一化合物半导体层 21 中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层 44 中的杂质的置换位置、第三化合物半导体层 43 中的杂质的置换位置和第二化合物半导体层 22 中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。就是说,使第一化合物半导体层 21 具有第一导电类型(n 型)的杂质包括第一化合物半导体层 21 中的在与第四化合

物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (p 型) 的杂质的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 相竞争的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 处的杂质。另外, 使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (n 型) 的杂质包括第三化合物半导体层 43 中在与第四化合物半导体层 44 中使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型 (p) 的杂质的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 相竞争的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 处的杂质。此外, 使第二化合物半导体层 22 具有第二导电类型 (p) 的杂质包括第二化合物半导体层 22 中在与第三化合物半导体层 43 中使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型 (n 型) 的杂质的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 相竞争的置换位置 (由 III 族原子占据的位置) 处的杂质。因此, 当沉积第四化合物半导体层 44 时, 杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第四化合物半导体层 44 和第一化合物半导体层 21 之间, 并且当沉积第三化合物半导体层 43 时, 杂质互扩散很少发生在构成电流阻挡层 40 的第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 之间, 或者第三化合物半导体层 43 和第二化合物半导体层 22 之间。因此, 可以形成可靠性高的电流阻挡层 40。换言之, 能够可靠地避免电流阻挡层 40 消失或者电流阻挡层 40 厚度减少的问题, 并且因此能够避免电流阻挡层 40 的作用不稳定, 从而泄漏电流增加的问题。

[1004] 另外, 除了上述各点外, 示例 9 的半导体发光装置基本上具有与示例 1 相同的构造和结构, 因此省略其详细的描述。

[1005] 下面, 将描述示例 9 的半导体发光装置的修改示例。

[1006] 图 13(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-A-2 的半导体发光装置,

[1007] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质 (具体地讲, Zn), 并且

[1008] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质 (具体地讲, Si)。

[1009] 更具体地讲, 在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中, 每层具有下面的表 9B 所示的构造。另外, 附加与表 9A 的 (注 1) 和 (注 2) 相同的注释 (这适用于下面的表 9C 至 9J)。

[1010] [表 9B]

[1011] (发光部分的构造)

[1012] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[1013] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1014] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1015] 第一化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1016] (电流阻挡层)

[1017] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1018] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1019] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[1020] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1021] (整体)

[1022] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1023] 图 14(A) 和 14(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-a 的半导体发光装置, 其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。

[1024] 另外, 图 14(A) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-a-1 的半导体发光装置,

[1025] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲, Se), 并且

[1026] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[1027] 更具体地讲, 在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中, 每层具有下面的表 9C 所示的构造。

[1028] [表 9C]

[1029] (发光部分的构造)

[1030] 第二化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1031] 第二化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1032] 有源层 $\cdots$ [有源层 -A]

[1033] 第一化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1034] (电流阻挡层)

[1035] 埋入层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1036] 第三化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1037] 第四化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1038] 电流阻挡层定位层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1039] (整体)

[1040] 接触层 32 $\cdots p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1041] 或者, 图 14(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-a-2 的半导体发光装置,

[1042] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C), 并且

[1043] 使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲, Se)。

[1044] 更具体地讲, 在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中, 每层具有下面的表 9D 所示的构造。

[1045] [表 9D]

[1046] (发光部分的构造)

[1047] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1048] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1049] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1050] 第一化合物半导体层... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1051] (电流阻挡层)

[1052] 埋入层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1053] 第三化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1054] 第四化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1055] 电流阻挡层定位层 ... $n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1056] (整体)

[1057] 接触层 ... $p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1058] 图 15(A) 和 15(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-B 的半导体发光装置,

[1059] 其中第一化合物半导体层包括第一 A 化合物半导体层和设置在第一 A 化合物半导体层上以与有源层接触的第一 B 化合物半导体层,

[1060] 使第一 B 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括在与第一 A 化合物半导体层中使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处包含于第一 B 化合物半导体层中的杂质,以及在与第二化合物半导体层中使第二化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质。另外,使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括在与第四化合物半导体层中使第四化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含于第一 A 化合物半导体层中的杂质。具体地讲,第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。

[1061] 另外,图 15(A) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-B-1 的半导体发光装置,

[1062] 其中使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质 (具体地讲, Si),

[1063] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲, Se), 并且

[1064] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质 (具体地讲, Zn)。

[1065] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中,每层具有下面的表 9E 所示的构造。

[1066] [表 9E]

[1067] (发光部分的构造)

[1068] 第二化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1069] 第二化合物半导体层 ... $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1070] 有源层 ... [有源层 -A]

[1071] 第一 B 化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1072] 第一 A 化合物半导体层 ... $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1073] (电流阻挡层)

[1074] 埋入层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[1075] 第三化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[1076] 第四化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[1077] 电流阻挡层定位层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[1078] (整体)

[1079] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[1080] 或者,图 15(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-B-2 的半导体发光装置,

[1081] 其中使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质 (具体地讲, Zn),

[1082] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C), 并且

[1083] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质 (具体地讲, Si)。

[1084] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中,每层具有下面的表 9F 所示的构造。

[1085] [表 9F]

[1086] (发光部分的构造)

[1087] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[1088] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Si}$

[1089] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1090] 第一 B 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{C}$

[1091] 第一 A 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}:\text{Zn}$

[1092] (电流阻挡层)

[1093] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$

[1094] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Zn}$

[1095] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Si}$

[1096] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}:\text{Se}$

[1097] (整体)

[1098] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs}:\text{Zn}$ (或 C)

[1099] 图 15(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的进一步的修改示例如图 16(A) 和 (B) 所示。在这些进一步的修改示例中,

[1100] 具有第一导电类型的第六化合物半导体层设置在第四化合物半导体层的下面,

[1101] 使第六化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第六化合物半导体层中的在与第一 A 化合物半导体层中使第一 A 化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质 (具体地讲,在图 16(A) 中, IV 族杂质 Si,而在图 16(B) 中, II 族杂质 Zn), 并且

[1102] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面 (第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分以及第一 B 化合物半导体层的整个侧面) 接触,第三化合物半导体层与第

二化合物半导体层的侧面接触。另外,旁通路径包括第一化合物半导体层(第一 A 化合物半导体层和第一 B 化合物半导体层)、第六化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层和第二化合物半导体层,并且 pn 结界面包括三个界面:第六化合物半导体层/第四化合物半导体、第四化合物半导体层/第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层/第二化合物半导体层的侧面。

[1103] 图 17(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-b 的半导体发光装置,其中第一 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且第一 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。

[1104] 另外,图 17(A) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-b-1 的半导体发光装置,

[1105] 其中使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质(具体地讲,Se),

[1106] 使第一 B 化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质(具体地讲,Si),并且

[1107] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳(C)。

[1108] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中,每层具有下面的表 9G 所示的构造。

[1109] [表 9G]

[1110] (发光部分的构造)

[1111] 第二化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1112] 第二化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1113] 有源层 $\cdots [\text{有源层 -A}]$

[1114] 第一 B 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1115] 第一 A 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1116] (电流阻挡层)

[1117] 埋入层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1118] 第三化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1119] 第四化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1120] 电流阻挡层定位层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1121] (整体)

[1122] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn (或 C)}$

[1123] 或者,图 17(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-b-2 的半导体发光装置,

[1124] 其中使第一 A 化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳(C),

[1125] 使第一 B 化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质(具体地

讲, Zn), 并且

[1126] 使第二化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲, Se)。

[1127] 更具体地讲, 在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中, 每层具有下面的表 9H 所示的构造。

[1128] [表 9H]

[1129] (发光部分的构造)

[1130] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1131] 第二化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1132] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1133] 第一 B 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1134] 第一 A 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1135] (电流阻挡层)

[1136] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1137] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1138] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1139] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1140] (整体)

[1141] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1142] 图 17(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例的进一步的修改示例如图 18(A) 和 (B) 所示。在这些进一步的修改示例中,

[1143] 具有第一导电类型的第六化合物半导体层设置在第四化合物半导体层的下面,

[1144] 使第六化合物半导体层具有第一导电类型的杂质包括第六化合物半导体层中的在与第一 A 化合物半导体层中使第一 A 化合物半导体层具有第一电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质 (具体地讲, 在图 18(A) 中为 VI 族杂质 Se, 而在图 18(B) 中为碳 (C)), 并且

[1145] 第六化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面 (第一 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第一 B 化合物半导体层的整个侧面) 接触, 而第三化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面接触。另外, 旁通路径包括第一化合物半导体层 (第一 A 化合物半导体层和第一 B 化合物半导体层)、第六化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层和第二化合物半导体层, 并且 pn 结界面包括三个界面: 第六化合物半导体层 / 第四化合物半导体层、第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层 / 第二化合物半导体层的侧面。

[1146] 图 19(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-C 的半导体发光装置,

[1147] 其中第二化合物半导体层包括与有源层接触的第二 B 化合物半导体层和设置在第二 B 化合物半导体层上的第二 A 化合物半导体层,

[1148] 使第二 B 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括在与第二 A 化合物半导体层中使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置

处包含于第二 B 化合物半导体层中的杂质,以及在与第一化合物半导体层中使第一化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置不相竞争的置换位置处的杂质。另外,使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括在与第三化合物半导体层中使第三化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处包含于第二 A 化合物半导体层中的杂质。具体地讲,第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置。

[1149] 另外,图 19(A) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-C-1 的半导体发光装置,

[1150] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 IV 族杂质 (具体地讲, Si), 并且

[1151] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质 (具体地讲, Zn), 而

[1152] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C)。

[1153] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中,每层具有下面的表 9I 所示的构造。

[1154] [表 9I]

[1155] (发光部分的构造)

[1156] 第二 B 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1157] 第二 A 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1158] 有源层 $\cdots [\text{有源层 -A}]$

[1159] 第一化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1160] (电流阻挡层)

[1161] 埋入层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1162] 第三化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[1163] 第四化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1164] 电流阻挡层定位层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1165] (整体)

[1166] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn (或 C)}$

[1167] 或者,图 19(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-C-2 的半导体发光装置,

[1168] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是 II 族杂质 (具体地讲, Zn),

[1169] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质 (具体地讲, Si), 并且

[1170] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲, Se)。

[1171] 更具体地讲,在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中,每层具有下面的表 9J 所

示的构造。

[1172] [表 9]

[1173] (发光部分的构造)

[1174] 第二 B 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1175] 第二 A 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1176] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1177] 第一化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1178] (电流阻挡层)

[1179] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1180] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1181] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Si}$

[1182] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1183] (整体)

[1184] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn}$ (或 C)

[1185] 图 19(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例的进一步的修改示例如图 20(A) 和 (B) 所示。在这些进一步的修改示例中,

[1186] 具有第二导电类型的第五化合物半导体层设置在第三化合物半导体层上,

[1187] 使第五化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第五化合物半导体层中的在与第二 A 化合物半导体层中使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质 (具体地讲,在图 20(A) 中为 II 族杂质 Zn,而在图 20(B) 中为 IV 族杂质 Si),并且

[1188] 第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面接触,而第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面 (第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面) 接触。另外,旁通路径包括第一化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层、第五化合物半导体层和第二化合物半导体层 (第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层),并且 pn 结界面包括三个界面:第一化合物半导体层的侧面 / 第四化合物半导体层、第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层 / 第五化合物半导体层。

[1189] 图 21(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-c 的半导体发光装置,其中第一化合物半导体层中的杂质的置换位置、第二 A 化合物半导体层中的杂质的置换位置、第四化合物半导体层中的杂质的置换位置和第三化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,而第二 B 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置。

[1190] 另外,图 21(A) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例对应于根据本发明的实施例 8-c-1 的半导体发光装置,

[1191] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 n 型的第一导电类型的杂质是 VI 族杂质 (具体地讲,Se),

[1192] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是碳 (C),并且

[1193] 使第二 B 化合物半导体层具有 p 型的第二导电类型的杂质是 II 族杂质（具体地讲，Zn）。

[1194] 更具体地讲，在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中，每层具有下面的表 9K 所示的构造。

[1195] [表 9K]

[1196] （发光部分的构造）

[1197] 第二 A 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1198] 第二 B 化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Zn}$

[1199] 有源层 $\cdots$ [有源层 -A]

[1200] 第一化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1201] （电流阻挡层）

[1202] 埋入层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1203] 第三化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1204] 第四化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1205] 电流阻挡层定位层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Zn}$

[1206] （整体）

[1207] 接触层 $\cdots p\text{-GaAs:Zn}$ （或 C）

[1208] 或者，图 21(B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装置的修改示例是根据本发明的实施例 8-c-2 的半导体发光装置，

[1209] 其中使第一化合物半导体层和第三化合物半导体层具有 p 型的第一导电类型的杂质是碳 (C)，

[1210] 使第二 A 化合物半导体层和第四化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 VI 族杂质（具体地讲，Se），并且

[1211] 使第二 B 化合物半导体层具有 n 型的第二导电类型的杂质是 IV 族杂质（具体地讲，Si）。

[1212] 更具体地讲，在示例 9 的半导体发光装置的修改示例中，每层具有下面的表 9L 所示的构造。

[1213] [表 9L]

[1214] （发光部分的构造）

[1215] 第二 A 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Se}$

[1216] 第二 B 化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:Si}$

[1217] 有源层 $\cdots$ [有源层 -B]

[1218] 第一化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As:C}$

[1219] （电流阻挡层）

[1220] 埋入层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1221] 第三化合物半导体层 $\cdots p\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:C}$

[1222] 第四化合物半导体层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1223] 电流阻挡层定位层 $\cdots n\text{-Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As:Se}$

[1224] （整体）

[1225] 接触层 ...p-GaAs:Zn (或 C)

[1226] 图 21(A) 和 (B) 的概念图所示的示例 9 的半导体发光装的修改示例的进一步的修改示例如图 22(A) 和 (B) 所示。在这些进一步的修改示例中,

[1227] 具有第二导电类型的第五化合物半导体层设置在第三化合物半导体层上,

[1228] 使第五化合物半导体层具有第二导电类型的杂质包括第五化合物半导体层中的在与第二 A 化合物半导体层中使第二 A 化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的的置换位置处杂质 (具体地讲,在图 22(A) 中为碳 (C),而在图 22(B) 中为 VI 族杂质 Se),并且

[1229] 第四化合物半导体层与第一化合物半导体层的侧面接触,并且第五化合物半导体层与第二化合物半导体层的侧面 (第二 A 化合物半导体层的侧面的至少一部分和第二 B 化合物半导体层的整个侧面) 接触。另外,旁通路径包括第一化合物半导体层、第四化合物半导体层、第三化合物半导体层、第五化合物半导体层和第二化合物半导体层 (第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层),并且 pn 结界面包括三个界面:第一化合物半导体层的侧面 / 第四化合物半导体层、第四化合物半导体层 / 第三化合物半导体层以及第三化合物半导体层 / 第五化合物半导体层。

[1230] 电流阻挡层中可以设置杂质扩散势垒层。具体地讲,在构成电流阻挡层的具有第二导电类型的第四化合物半导体层中可以插入具有第二导电类型的至少一个杂质扩散势垒层 (例如,第七化合物半导体层),并且可以选择杂质使得第四化合物半导体层中的杂质置换位置与杂质扩散势垒层 (例如,当设置杂质扩散势垒层时的第七化合物半导体层) 中的杂质置换位置不同。更具体地讲,例如,在图 15(A) 和 16(A) 所示的结构中,可以采用这样的结构:其中第四化合物半导体层中的杂质是锌 (Zn),而插入第四化合物半导体层中的第二导电类型的杂质扩散势垒层 (第七化合物半导体层) 中的杂质是碳 (C)。就是说,可以采用下面的构造。

[1231] n 型第三化合物半导体层 (杂质:Si)

[1232] p 型第四化合物半导体层 (杂质:Zn)

[1233] p 型第七化合物半导体层 (杂质:C)

[1234] p 型第四化合物半导体层 (杂质:Zn)

[1235] 或者,在图 15(B) 和 16(B) 所示的结构中,可以采用这样的构造:其中第四化合物半导体层中的杂质是硅 (Si),并且插入第四化合物半导体层中的第二导电类型的杂质扩散势垒层 (第七化合物半导体层) 中的杂质是硒 (Se)。就是说,可以采用下面的构造。

[1236] p 型第三化合物半导体层 (杂质:Zn)

[1237] n 型第四化合物半导体层 (杂质:Si)

[1238] n 型第七化合物半导体层 (杂质:Se)

[1239] n 型第四化合物半导体层 (杂质:Si)

[1240] 通过采用这样的构造,例如,当作为杂质的 VI 族杂质 (Se) 或者碳 (C) 从第一 B 化合物半导体层扩散进入电流阻挡层 (Zn 掺杂层或者 Si 掺杂层) 时,该杂质不能扩散进入在与 VI 杂质或者碳相竞争的置换位置处包含杂质 (碳或者硒) 的第七化合物半导体层中,因此可以形成可靠性高的电流阻挡层。

[1241] 同样,具有第一导电类型的至少一个杂质扩散势垒层 (例如,第八化合物半导体

层)可以插入构成电流阻挡层的具有第一导电类型的第三化合物半导体层中,并且可以选择杂质使得第三化合物半导体层中的杂质置换位置与杂质扩散势垒层(例如,当设置杂质扩散势垒层时的第八化合物半导体层)中的杂质置换位置不同。例如,在图 19(A) 和 29(A) 所示的结构中,可以采用这样的构造:其中第三化合物半导体层中的杂质是硅(Si),而插入第三化合物半导体层中的第一导电类型的杂质扩散势垒层(第八化合物半导体层)中的杂质是硒(Se)。就是说,可以采用下面的构造。

[1242] n 型第三化合物半导体层(杂质:Si)

[1243] n 型第八化合物半导体层(杂质:Se)

[1244] n 型第三化合物半导体层(杂质:Si)

[1245] p 型第四化合物半导体层(杂质:Zn)

[1246] 或者,在图 19(B) 和 20(B) 所示的结构中,可以采用这样的结构:其中第三化合物半导体层中的杂质是锌(Zn),而插入第三化合物半导体层中的第一导电类型的杂质扩散势垒层(第八化合物半导体层)中的杂质是碳(C)。就是说,可以参用下面的构造。

[1247] p 型第三化合物半导体层(杂质:Zn)

[1248] p 型第八化合物半导体层(杂质:C)

[1249] p 型第三化合物半导体层(杂质:Zn)

[1250] n 型第四化合物半导体层(杂质:Si)

[1251] 通过采用该构造,例如,当作为杂质的碳(C)或者硒(Se)从第二 B 化合物半导体层扩散进入电流阻挡层(Si 掺杂层或者 Zn 掺杂层)时,该杂质不能扩散进入在与第二 B 化合物半导体层中的杂质相竞争的置换位置处包含杂质(VI 族杂质 Se 或者碳)的第八化合物半导体层中,因此可以形成可靠性高的电流阻挡层。

[1252] 这样的构造也可以适用于由包括第一 A 化合物半导体层和第一 B 化合物半导体层的第一化合物半导体层组成的另一个半导体发光装置或者由包括第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层的第二化合物半导体层组成的另一个半导体发光装置。

[1253] 具体地,对于插入杂质扩散势垒层(第七化合物半导体层或者第八化合物半导体层)的形式,在图 16(A) 和 (B)、图 18(A) 和 (B)、图 20(A) 和 (B)、图 22(A) 和 (B) 等中可以容易地实现杂质扩散势垒的效果,并且上面描述了第七化合物半导体层或者第八化合物半导体层作为杂质扩散势垒层而被插入与第七化合物半导体层或者第八化合物半导体层导电类型相同的化合物半导体层(第四化合物半导体层或第三化合物半导体层)的示例。然而,用于杂质扩散势垒的杂质扩散势垒层的数目可以是两个或者多个,只要用作杂质扩散势垒层的化合物半导体层具有与从第一化合物半导体层(或第一 B 化合物半导体层)或者第二化合物半导体层(或第二 B 化合物半导体层)扩散进入电流阻挡层的杂质的置换位置相同的杂质置换位置。杂质扩散势垒层设置的位置不仅是与杂质扩散势垒层具有相同导电类型的化合物半导体层,而且一个或者多个层可以插入具有不同导电类型的化合物半导体层中。

[1254] 或者,电流阻挡层可以构造为多层结构。具体地讲,例如,在图 16(A) 所示的结构中,取代 n 型第三化合物半导体层 /p 型第四化合物半导体层 /n 型第六化合物半导体层的层叠结构,电流阻挡层可以构造为如下的结构而不改变电流阻挡层的总体厚度。

[1255] 五层的层叠结构包括:

[1256] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1257] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1258] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1259] (4)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1260] (5)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1261] 七层的层叠结构包括 :

[1262] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1263] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1264] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1265] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1266] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1267] (6)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1268] (7)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1269] 九层的层叠结构包括 :

[1270] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1271] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1272] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1273] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1274] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1275] (6)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1276] (7)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1277] (8)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1278] (9)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1279] 十一层的层叠结构包括 :

[1280] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1281] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1282] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1283] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1284] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1285] (6)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1286] (7)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1287] (8)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1288] (9)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1289] (10)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1290] (11)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1291] 类似地,在图 18(A) 所示的结构中,取代 n 型第三化合物半导体层 /p 型第四化合物半导体层 /n 型第六化合物半导体层的层叠结构,电流阻挡层可以构造为如下的结构而不改变电流阻挡层的总厚度。

[1292] 五层的层叠结构包括 :

[1293] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1294] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1295] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1296] (4)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :C)

[1297] (5)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1298] 七层的层叠结构包括 :

[1299] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1300] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1301] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1302] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1303] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1304] (6)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :C)

[1305] (7)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1306] 九层的层叠结构包括 :

[1307] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1308] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1309] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1310] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1311] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1312] (6)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1313] (7)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1314] (8)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :C)

[1315] (9)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1316] 十一层的层叠结构包括 :

[1317] (1)n 型第三化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1318] (2)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1319] (3)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1320] (4)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1321] (5)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1322] (6)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1323] (7)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1324] (8)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)

[1325] (9)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1326] (10)p 型第四化合物半导体层 (杂质 :C)

[1327] (11)n 型第六化合物半导体层 (杂质 :Se)

[1328] 另外,在图 16(B) 所示的结构中,取代 p 型第三化合物半导体层 /n 型第四化合物半导体层 /p 型第六化合物半导体层的层叠结构,电流阻挡层可以构造为下面的结构而不改变电流阻挡层的总厚度。

[1329] 五层的层叠结构包括 :

[1330] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1331] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1332] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1333] (4)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1334] (5)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1335] 七层的层叠结构包括 :

[1336] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1337] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1338] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1339] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1340] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1341] (6)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1342] (7)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1343] 九层的层叠结构包括 :

[1344] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1345] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1346] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1347] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1348] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1349] (6)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1350] (7)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1351] (8)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1352] (9)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1353] 十一层的层叠结构包括 :

[1354] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1355] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1356] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1357] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1358] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1359] (6)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1360] (7)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1361] (8)n 型化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1362] (9)p 型化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1363] (10)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Si)

[1364] (11)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :Zn)

[1365] 同样,在图 18(B) 所示的结构中,取代 p 型第三化合物半导体层 /n 型第四化合物半导体层 /p 型第六化合物半导体层的层叠结构,电流阻挡层可以构造为下面的结构而不改变电流阻挡层的总厚度。

[1366] 五层的层叠结构包括 :

- [1367] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1368] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1369] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1370] (4)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1371] (5)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1372] 七层的层叠结构包括 :
- [1373] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1374] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1375] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1376] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1377] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1378] (6)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1379] (7)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1380] 九层的层叠结构包括 :
- [1381] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1382] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1383] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1384] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1385] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1386] (6)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1387] (7)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1388] (8)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1389] (9)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1390] 十一层的层叠结构包括 :
- [1391] (1)p 型第三化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1392] (2)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1393] (3)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1394] (4)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1395] (5)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1396] (6)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1397] (7)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1398] (8)n 型化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1399] (9)p 型化合物半导体层 (杂质 :C)
- [1400] (10)n 型第四化合物半导体层 (杂质 :Se)
- [1401] (11)p 型第六化合物半导体层 (杂质 :C)

[1402] 这样,当电流阻挡层以多层结构形成而不增加电流阻挡层的总厚度时,可以选择设计以任意地减小构成电流阻挡层的每个化合物半导体层 (从上述的第三化合物半导体层到第六化合物半导体层的所有化合物半导体层的至少一个化合物半导体层,或者如上所述,在图 20(A) 或 (B) 或者图 22(A) 或 (B) 所示的情况下,从第五化合物半导体层到第四化

合物半导体层的所有化合物半导体层的至少一个化合物半导体层) 的厚度, 因此可以减少构成电流阻挡层的一个层与发光部分的侧面之间的接触区域。在该接触区域中, 当构成电流阻挡层的每个化合物半导体层的厚度调整为使接触区域进一步减少时, 能够避免构成电流阻挡层的层中只有一层的接触区域在有源层 (或者阱层) 的整个侧面上延伸的情况。因此, 能够更加可靠地防止在旁通路径中形成电流泄漏通道的现象。在图 28(B) 中, 曲线“A”示出了在具有图 16(A) 所示的包括具有上述七层层叠结构的电流阻挡层的结构的半导体发光装置中的阈值电流测量结果和斜度效率测量结果。作为参考, 在图 28(B) 中, 曲线“B”示出了在包括具有三个层 (即第五化合物半导体层、第三化合物半导体层和第四化合物半导体层) 的电流阻挡层的半导体发光装置中的阈值电流测量结果和斜度效率测量结果。另外, 两种结构的电流阻挡层具有相同的总厚度。由图 28(B) 可见, 在多层结构的电流阻挡层中, 可以进一步减少泄漏电流, 并改善斜度效率, 从而进一步减少阈值电流。

[1403] 在示例 9 中, 同样, 第一化合物半导体层可以构造为包括第一 A 化合物半导体层和第一 B 化合物半导体层, 并且第二化合物半导体层可以构造为包括第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层。

[1404] 示例 10

[1405] 示例 10 是示例 1 的修改并且涉及本发明实施例 1-A-2 和本发明第九实施例的半导体发光装置。在示例 10 的半导体发光装置中, 第四化合物半导体层具有与示例 1 中描述的半导体发光装置中的第四化合物半导体层不同的构造和结构。示例 10 的半导体发光装置的概念图如图 2(A) 所示。

[1406] 这里, 当参考本发明第九实施例进行描述时, 示例 10 的半导体发光装置包括,

[1407] (A) 发光部分, 由层叠结构组成, 在该层叠结构中依次层叠具有第一导电类型的第一化合物半导体层、有源层和具有第二导电类型的第二化合物半导体层, 和

[1408] (B) 电流阻挡层, 与发光部分的侧面接触,

[1409] 其中电流阻挡层由具有第一导电类型的第三化合物半导体层和具有第二导电类型且与第三化合物半导体层接触的第四化合物半导体层组成。

[1410] 另外, 当参考本发明的第十实施例至第十六实施例描述下面所述的示例 11、示例 14、示例 15、示例 18、示例 19、示例 22 和示例 23 的每一个的半导体发光装置时, 半导体发光装置具有与上述的构造和结构相同的构造和结构。

[1411] 此外, 当参考本发明的实施例 1-A-2 或者本发明第九实施例描述示例 10 的半导体发光装置时,

[1412] 第四化合物半导体层具有三层结构, 该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,

[1413] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1414] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置, 并且

[1415] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。另外, 第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触, 然而更具体地, 第四 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1416] 具体地讲, 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质是锌 (Zn) 或

者镁 (Mg)。另外,第四化合物半导体层具有三层结构。在此情况下,第四 A 化合物半导体层和第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,此外第四 C 化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 1 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构相同。同样,第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 1 的第四化合物半导体层的构造和结构相同。此外,第四 B 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与例如示例 5 的第四化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1417] 示例 10 或者下面描述的示例 12、示例 14、示例 16、示例 18、示例 20、示例 22 或者示例 24 的半导体发光装置具有至少包括三个层的第三化合物半导体层或者至少包括三个层的第四化合物半导体层,并且与有源层的侧面接触的第三 B 化合物半导体层或者第四 B 化合物半导体层包含作为扩散能力相对较低的杂质的碳 (C) 或者硅 (Si)。因此,可以减少从与有源层的侧面接触的化合物半导体层到有源层的杂质扩散。

[1418] 图 30 示出了示例 10 的半导体发光装置以及表 1A 所示的示例 1 和比较示例 1 的半导体发光装置中的光学输出的测量结果。在图 30 中,示例 10 的结果由“A”示出,示例 1 的结果由“B”示出,比较示例 1 的结果由“C”示出。图 30 表明与示例 1 和比较示例 1 相比在示例 10 中可以获得更高的光学输出。

[1419] 示例 11

[1420] 示例 11 也是示例 1 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-A-3 和本发明第十实施例的半导体发光装置。示例 11 的半导体发光装置的概念图如图 3(A) 所示。

[1421] 这里,当参考本发明的实施例 1-A-3 或者本发明的第九实施例来描述示例 11 的半导体发光装置时,第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌 (Zn) 或者镁 (Mg)] 和碳 (C)。换言之,在示例 11 的半导体发光装置中,第四化合物半导体层共掺杂 (co-dope) 有作为杂质的在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌 (Zn) 或者镁 (Mg)] 和碳 (C)。就是说,第四化合物半导体层是共掺杂层。在此情况下, $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 可用作碳 (C) 的杂质浓度,并且 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 可用作锌 (Zn) 或镁 (Mg) 的杂质浓度。另外,(碳的杂质浓度 / 锌或镁的杂质浓度) 的比率不受限制,但 $0.1 \leq (\text{碳的杂质浓度} / \text{锌或镁的杂质浓度}) \leq 1$ 可以作为范例。具体地讲,在示例 11 中,碳的杂质浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$,而锌或镁的杂质浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[1422] 第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 1 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1423] 示例 11 或者下面描述的示例 13、示例 15、示例 17、示例 19、示例 21、示例 23 或者示例 25 的半导体发光装置设置有包括共掺杂有作为扩散能力相对较低的杂质的碳 (C) 或硅 (Si) 的化合物半导体层的第三化合物半导体层或第四化合物半导体层。因此,可以减少从与有源层的侧面接触的化合物半导体层到有源层的杂质扩散。

[1424] 示例 12

[1425] 示例 12 是示例 2 的修改并且涉及根据本发明的实施例 1-B-2 的半导体发光装置。示例 12 的半导体发光装置的概念图如图 5(A) 所示。

[1426] 在示例 12 的半导体发光装置中，

[1427] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[1428] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[1429] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置，并且

[1430] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。另外，第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触，然而更具体地，第四 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1431] 在示例 12 中，第四化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 10 的这些层的构造和结构相同。因此，省略其详细的描述。

[1432] 示例 13

[1433] 示例 13 也是示例 2 的修改并且涉及根据本发明的实施例 1-B-3 的半导体发光装置。示例 13 的半导体发光装置的概念图如图 6(A) 所示。

[1434] 在示例 13 的半导体发光装置中，第四化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质 [具体地讲为锌 (Zn) 或者镁 (Mg)] 和碳 (C)。换言之，在示例 13 的半导体发光装置中，第四化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 III 族原子占据的置换位置处的杂质 [具体地讲为锌 (Zn) 或者镁 (Mg)] 和碳 (C)。就是说，第四化合物半导体层是共掺杂层。

[1435] 在示例 13 中，第四化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 11 的这些层的构造和结构相同。因此，省略其详细的描述。

[1436] 示例 14

[1437] 示例 14 是示例 3 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-C-2 的半导体发光装置。示例 14 的半导体发光装置的概念图如图 8(A) 所示。

[1438] 当参考本发明的实施例 1-C-2 或者本发明的第十一实施例描述示例 14 的半导体发光装置时，

[1439] 第四化合物半导体层具有三层结构，该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层，

[1440] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触，

[1441] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置，并且

[1442] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。另外，第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触，然而更具体地，第四 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1443] 具体地讲，第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质是硒 (Se)。

另外,第四化合物半导体层具有三层结构。在此情况下,第四 A 化合物半导体层和第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,此外第四 C 化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 3 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构相同。同样,第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 3 的第四化合物半导体层的构造和结构相同。此外,第四 B 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与例如示例 7 的第四化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1444] 示例 15

[1445] 示例 15 也是示例 3 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-C-3 和本发明第十二实施例的半导体发光装置。示例 15 的半导体发光装置的概念图如图 9(A) 所示。

[1446] 这里,当参考本发明的实施例 1-C-3 或者本发明的第十二实施例来描述示例 15 的半导体发光装置时,第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)] 和硅 (Si)。换言之,在示例 15 的半导体发光装置中,第四化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)] 和硅 (Si)。就是说,第四化合物半导体层是共掺杂层。在此情况下, $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 可用作硅 (Si) 的杂质浓度,并且 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 可用作硒 (Se) 的杂质浓度。另外,(硅的杂质浓度 / 硒的杂质浓度的) 比率不受限制,而 $0.1 \leq (\text{硅的杂质浓度} / \text{硒的杂质浓度}) \leq 1$ 可以作为范例。具体地讲,在示例 15 中,硅 (Si) 的杂质浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 而硒 (Se) 的杂质浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[1447] 第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 1 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1448] 示例 16

[1449] 示例 16 是示例 4 的修改并且涉及本发明实施例 1-D-2 的半导体发光装置。示例 16 的半导体发光装置的概念图如图 11(A) 所示。

[1450] 在示例 16 的半导体发光装置中,

[1451] 第四化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第三化合物半导体层侧层叠的第四 A 化合物半导体层、第四 B 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层,

[1452] 至少第四 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1453] 第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且

[1454] 第四 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。另外,第四 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触,然而更具体地,第四 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1455] 在示例 16 中,第四化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 14 的这些层的构造和结构相同。因此,省略其详细的描述。

[1456] 示例 17

[1457] 示例 17 也是示例 4 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-D-3 的半导体发光装置。示例 17 的半导体发光装置的概念图如图 12(A) 所示。

[1458] 在示例 17 的半导体发光装置中,第四化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)]和硅 (Si)。换言之,在示例 17 的半导体发光装置中,第四化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)]和硅 (Si)。就是说,第四化合物半导体层是共掺杂层。

[1459] 在示例 17 中,第四化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 15 的这些层的构造和结构相同。因此,省略其详细的描述。

[1460] 示例 18

[1461] 示例 18 是示例 5 的修改并且涉及本发明实施例 1-a-2 和本发明第十三实施例的半导体发光装置。示例 18 的半导体发光装置的概念图如图 2(B) 所示。

[1462] 当参考本发明的实施例 1-a-2 或者本发明的第十三实施例来描述示例 18 的半导体发光装置时,

[1463] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[1464] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1465] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且

[1466] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触,然而更具体地,第三 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1467] 具体地讲,第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质是硒 (Se)。另外,第三化合物半导体层具有三层结构。在此情况下,第三 A 化合物半导体层和第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,此外第三 C 化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 5 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构相同。同样,第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 5 的第三化合物半导体层的构造和结构相同。此外,第三 B 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与例如示例 1 的第三化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1468] 示例 19

[1469] 示例 19 也是示例 5 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-a-3 和本发明第十四实施例的半导体发光装置。示例 19 的半导体发光装置的概念图如图 3(B) 所示。

[1470] 这里,当参考本发明的实施例 1-a-3 或者本发明的第十四实施例来描述示例 19 的半导体发光装置时,第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)]和硅 (Si)。换言之,在示例 19 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 V 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为硒 (Se)]

和硅 (Si)。就是说,第三化合物半导体层是共掺杂层。在此情况下,硅的杂质浓度和硒的杂质浓度与示例 15 的相同。

[1471] 第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 5 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1472] 示例 20

[1473] 示例 20 是示例 6 的修改并且涉及本发明实施例 1-d-2 的半导体发光装置。示例 20 的半导体发光装置的概念图如图 5(B) 所示。

[1474] 在示例 20 的半导体发光装置中,

[1475] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[1476] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1477] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 V 族原子占据的位置,并且

[1478] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是硅 (Si)。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触,然而更具体地,第三 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1479] 在示例 20 中,第三化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 18 的这些层的构造和结构相同。因此,省略其详细的描述。

[1480] 示例 21

[1481] 示例 21 也是示例 6 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-b-3 的半导体发光装置。示例 21 的半导体发光装置的概念图如图 6(B) 所示。

[1482] 在示例 21 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层中的杂质包括在 V 族原子占据的置换位置处的杂质 [具体地讲为硒 (Se)] 和硅 (Si)。换言之,在示例 21 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 V 族原子占据的置换位置处的杂质 [具体地讲为硒 (Se)] 和硅 (Si)。就是说,第三化合物半导体层是共掺杂层。

[1483] 在示例 21 中,第三化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 19 的这些层的相同。因此,省略其详细的描述。

[1484] 示例 22

[1485] 示例 22 是示例 7 的修改并且涉及本发明实施例 1-c-2 和本发明第十五实施例的半导体发光装置。示例 22 的半导体发光装置的概念图如图 8(B) 所示。

[1486] 当参考本发明的实施例 1-c-2 或者本发明第十五实施例来描述示例 22 的半导体发光装置时,

[1487] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[1488] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1489] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且

[1490] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触,然而更具体地,第三 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1491] 具体地讲,第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质是锌 (Zn)。另外,第三化合物半导体层具有三层结构。在此情况下,第三 A 化合物半导体层和第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,此外第三 C 化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 7 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构相同。同样,第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 7 的第三化合物半导体层的构造和结构相同。此外,第三 B 化合物半导体层的构造和结构可以制成为与例如示例 3 的第四化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1492] 示例 23

[1493] 示例 23 也是示例 7 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-c-3 和本发明第十六实施例的半导体发光装置。示例 23 的半导体发光装置的概念图如图 9(B) 所示。

[1494] 这里,当参考本发明的实施例 1-c-3 或者本发明的第十六实施例来描述示例 23 的半导体发光装置时,第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌 (Zn) 或镁 (Mg)]和碳 (C)。换言之,在示例 23 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌 (Zn) 或镁 (Mg)]和碳 (C)。就是说,第三化合物半导体层是共掺杂层。在此情况下,碳 (C) 的杂质浓度和锌 (Zn) 的杂质浓度与示例 11 的相同。

[1495] 第三化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。同样,第四化合物半导体层部分地与有源层的侧面接触。第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 7 的第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第三化合物半导体层的构造和结构相同。因此,省略其详细描述。

[1496] 示例 24

[1497] 示例 24 是示例 8 的修改并且涉及本发明实施例 1-d-2 的半导体发光装置。示例 24 的半导体发光装置的概念图如图 11(B) 所示。

[1498] 在示例 24 的半导体发光装置中,

[1499] 第三化合物半导体层具有三层结构,该三层结构至少包括从第四化合物半导体层侧层叠的第三 A 化合物半导体层、第三 B 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层,

[1500] 至少第三 B 化合物半导体层与有源层的侧面接触,

[1501] 第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层中的杂质的置换位置是由 III 族原子占据的位置,并且

[1502] 第三 B 化合物半导体层中的杂质是碳 (C)。另外,第三 B 化合物半导体层部分或者整体地与有源层的侧面接触,然而更具体地,第三 B 化合物半导体层整体地与有源层的侧面接触。

[1503] 在示例 24 中,第三化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 22 的这些层的相同。因此,省略其详细的描述。

[1504] 示例 25

[1505] 示例 25 也是示例 8 的修改并且涉及根据本发明实施例 1-d-3 的半导体发光装置。示例 25 的半导体发光装置的概念图如图 12(B) 所示。

[1506] 在示例 25 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层中的杂质包括在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌(Zn)或镁(Mg)]和碳(C)。换言之,在示例 25 的半导体发光装置中,第三化合物半导体层共掺杂有作为杂质的在 III 族原子占据的置换位置处的杂质[具体地讲为锌(Zn)或镁(Mg)]和碳(C)。就是说,第三化合物半导体层是共掺杂层。

[1507] 在示例 25 中,第三化合物半导体的构造和结构以及第一化合物半导体层、有源层、第二化合物半导体层和第四化合物半导体层的构造和结构可以制成为与示例 23 的这些层的相同。因此,省略其详细的描述。

[1508] 尽管本发明通过优选实施例进行了上面的描述,但是本发明不限于这些示例。

[1509] 示例 1 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 1(A))和示例 2 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 4(A))可以组合,示例 1 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 1(A))和示例 2 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 4(A))可以组合,示例 3 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 7(A))和示例 4 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 10(A))可以组合,或者示例 3 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 7(A))和示例 4 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 10(A))可以组合。另外,示例 5 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 1(B))和示例 6 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 4(B))可以组合,示例 5 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 1(B))和示例 6 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 4(B))可以组合,示例 7 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 7(B))和示例 8 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 10(B))可以组合,或者示例 7 中的第二化合物半导体层的结构(参考图 7(B))和示例 8 中的第一化合物半导体层的结构(参考图 10(B))可以组合。

[1510] 同样,示例 1 至示例 8 中描述的半导体发光装置可以构造为使得:

[1511] 电流阻挡层 40 具有还包括第二导电类型的第五化合物半导体层的结构,

[1512] 第三化合物半导体层 43 夹设在第四化合物半导体层 44 和第五化合物半导体层之间,并且

[1513] 使第三化合物半导体层 43 具有第一导电类型的杂质包括第三化合物半导体层 43 中的在与第五化合物半导体层中使第五化合物半导体层具有第二导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。

[1514] 在示例 1、示例 2、示例 5 和示例 6 中,根据第三化合物半导体层 43 和第四化合物半导体层 44 的层叠条件,电流阻挡层定位层 30 可以被看作第五化合物半导体层,或者埋入层 31 可以被看作第五化合物半导体层。这适用于示例 3、示例 4、示例 7 和示例 8。

[1515] 或者,示例 1 至示例 8 中描述的半导体发光装置可以构造为使得:

[1516] 电流阻挡层 40 具有还包括第一导电类型的第六化合物半导体层的结构,

[1517] 第四化合物半导体层 44 夹设在第三化合物半导体层 43 和第六化合物半导体层之间,并且

[1518] 使第四化合物半导体层 44 具有第二导电类型的杂质包括第四化合物半导体层 44 中的在与第六化合物半导体层中使第六化合物半导体层具有第一导电类型的杂质的置换位置相竞争的置换位置处的杂质。

[1519] 在示例 1、示例 2、示例 5 和示例 6 中,电流阻挡层 40 可以构造为包括依次层叠的三个层:第三化合物半导体层 43(n 型)/第四化合物半导体层 44(p 型)/第六化合物半导体层(n 型),或者可以构造为包括依次层叠的三个层:第六化合物半导体层(n 型)/第四化合物半导体层 44(p 型)/第三化合物半导体层 43(n 型)。同样,在示例 3、示例 4、示例 7 和示例 8 中,电流阻挡层 40 可以构造为包括依次层叠的三个层:第三化合物半导体层 43(p 型)/第四化合物半导体层 44(n 型)/第六化合物半导体层(p 型),或者可以构造为包括依次层叠的三个层:第六化合物半导体层(p 型)/第四化合物半导体层 44(n 型)/第三化合物半导体层 43(p 型)。

[1520] 在示例 1、示例 3、示例 5 和示例 7 中,第二化合物半导体层具有两层构造,该两层构造包括从有源层侧开始设置的第二化合物半导体层 22A 和第二化合物半导体层 22B,并且在示例 2、示例 4、示例 6 和示例 8 中,第二化合物半导体层具有两层构造,该两层构造包括从有源层侧开始设置的第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层。在前者的情况下,具有两层构造的第二化合物半导体层通过带隙(或者折射率)的改变来确定。另一方面,在后者的情况下,具有两层构造的第二化合物半导体层通过杂质置换位置的改变来限定。因此,在每个示例描述的第二化合物半导体层的层叠结构中,特别是在包括第二 A 化合物半导体层和第二 B 化合物半导体层的两层构造的情况下,第二 A 化合物半导体层可以被看作第二化合物半导体层 22A,并且第二 B 化合物半导体层可以被看作第二化合物半导体层 22B。或者,例如,第二 A 化合物半导体层可以构造为包括第二化合物半导体层 22A 和 22B 的层叠结构,或者第二 B 化合物半导体层可以构造为包括第二化合物半导体层 22A 和 22B 的层叠结构。

[1521] 示例 10 至示例 25 中描述的具有多层构造的第三化合物半导体层或者第四化合物半导体层可以与共掺杂层组合。具体地讲,例如,在示例 10、示例 12、示例 14 和示例 16 中,当第四化合物半导体层具有多层构造时,第四 A 化合物半导体层和第四 C 化合物半导体层可以形成为与示例 11、示例 13、示例 15 和示例 17 中的第四化合物半导体层相类似的共掺杂层。另外,在示例 18、示例 20、示例 22 和示例 24 中,当第三化合物半导体层具有多层构造时,第三 A 化合物半导体层和第三 C 化合物半导体层可以形成为与示例 19、示例 21、示例 23 和示例 25 中的第三化合物半导体层相类似的共掺杂层。尽管在示例中共掺杂层中的杂质浓度是不变的,但是杂质浓度可以在化合物半导体层的厚度方向上改变。尽管在示例 10 至示例 25 中第三化合物半导体层或者第四化合物半导体层具有三层构造,但是可以采用包括三个或者多个层的多层构造。

[1522] 另外,当第一化合物半导体层为添加有诸如硒(Se)等的扩散能力强的杂质的 n 型化合物半导体层时,根据情况掺杂有作为杂质的硅(Si)的 n 型化合物半导体层可以形成在第一化合物半导体层和有源层之间,以抑制从第一化合物半导体层到有源层的杂质扩散。同样,当第二化合物半导体层为添加有诸如锌(Zn)、镁(Mg)等的扩散能力强的杂质的 p 型

化合物半导体层时,根据情况掺杂有作为杂质的碳(C)的p型化合物半导体层可以形成在第二化合物半导体层和有源层之间,以抑制从第二化合物半导体层到有源层的杂质扩散。另外,当n型化合物半导体层至少共掺杂有硅(Si)和在与硅(Si)的杂质置换位置不同的杂质置换位置处的n型杂质时,可以控制杂质量以增加对有源层具有低扩散能力的硅(Si)对n型导电性的贡献率(rate of contribution),而保持n型杂质的浓度(载流子浓度)在所希望的恒定浓度。结果,可以有效地抑制从电流阻挡层到有源层的杂质扩散。同样,当p型化合物半导体层至少共掺杂有碳(C)和在与碳(C)的杂质置换位置不同的杂质置换位置处的杂质时,可以控制杂质量以增加对有源层具有低扩散能力的碳(C)对p型导电性的贡献率,而保持p型杂质的浓度(空穴浓度)在所希望的恒定浓度。结果,可以有效地抑制从电流阻挡层到有源层的杂质扩散。

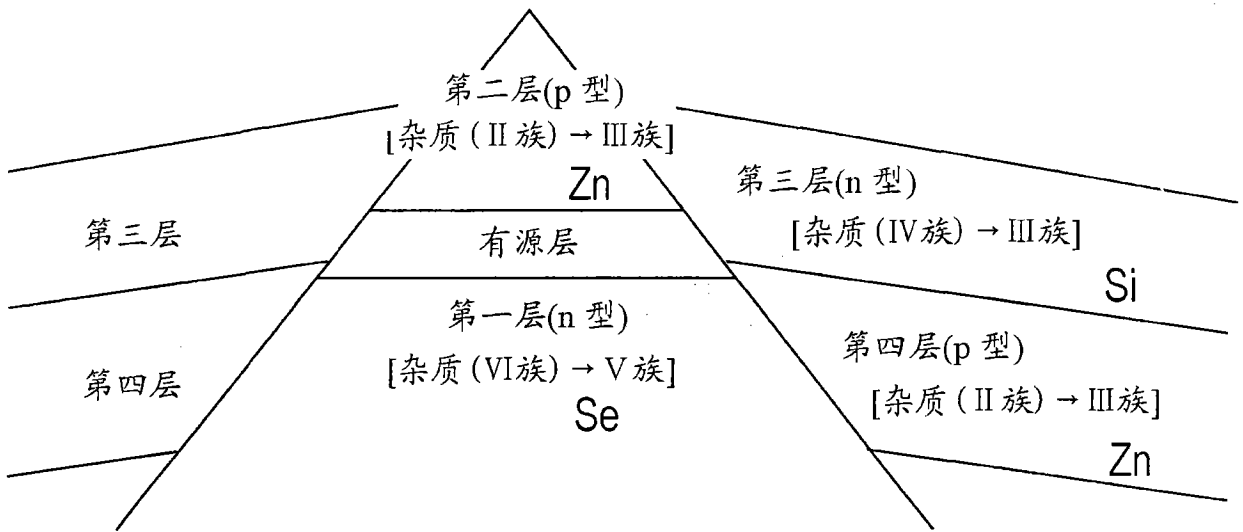


图 1A

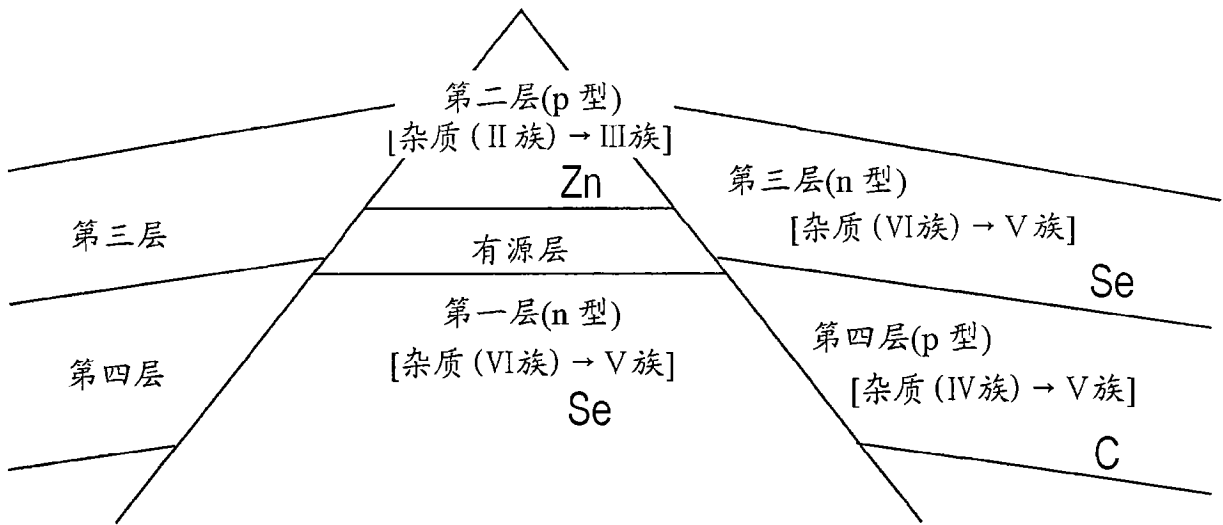


图 1B

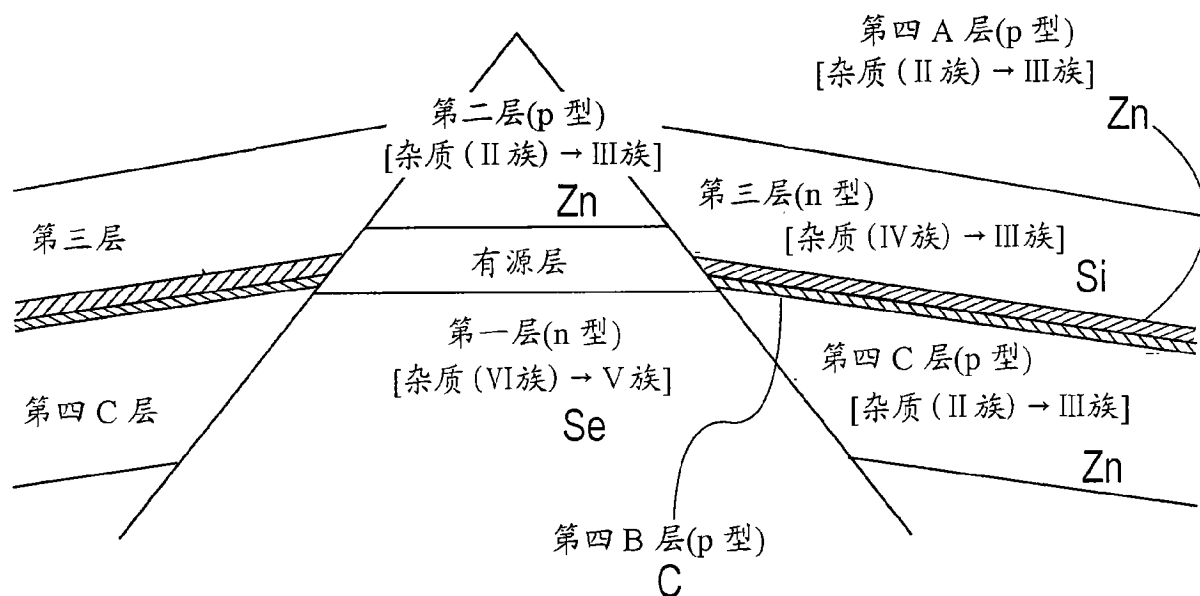


图 2A

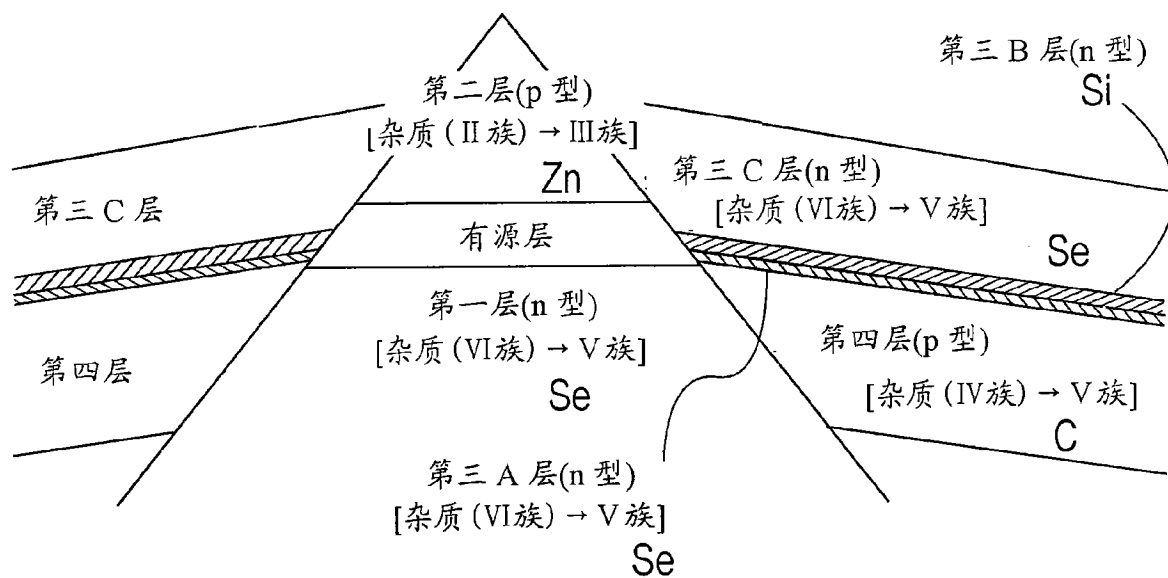


图 2B

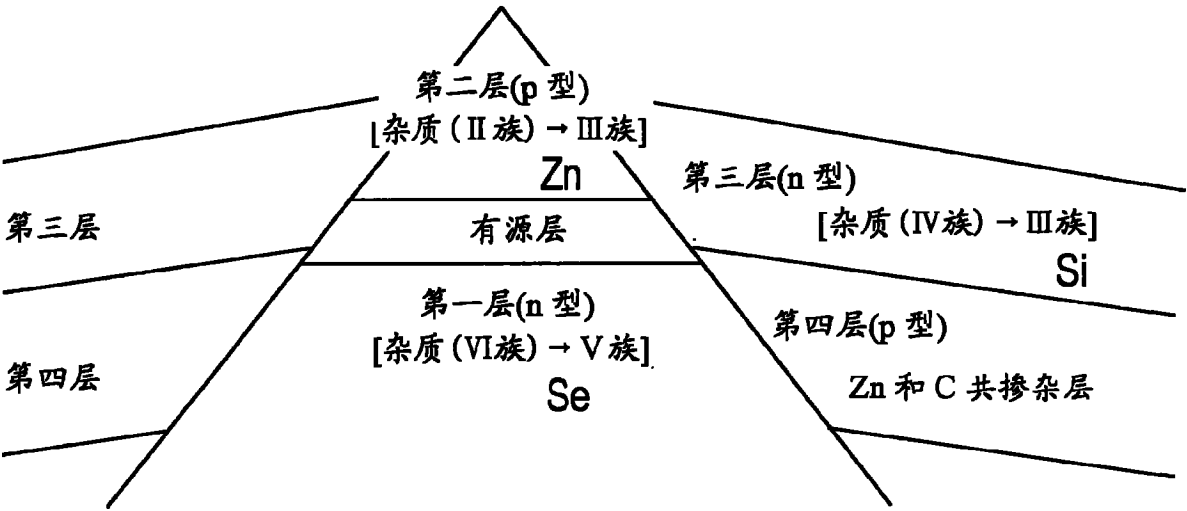


图 3A

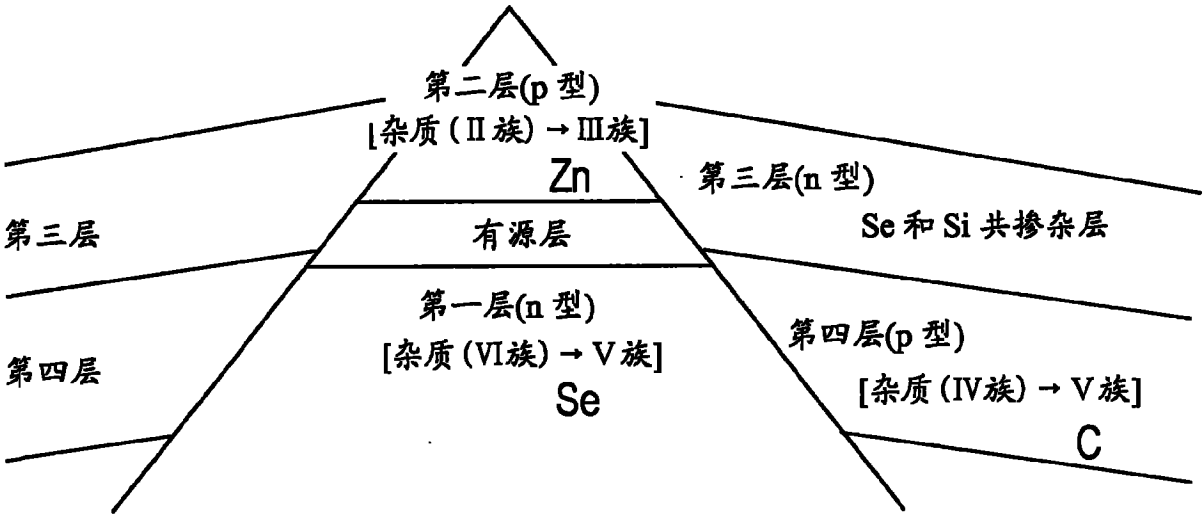


图 3B

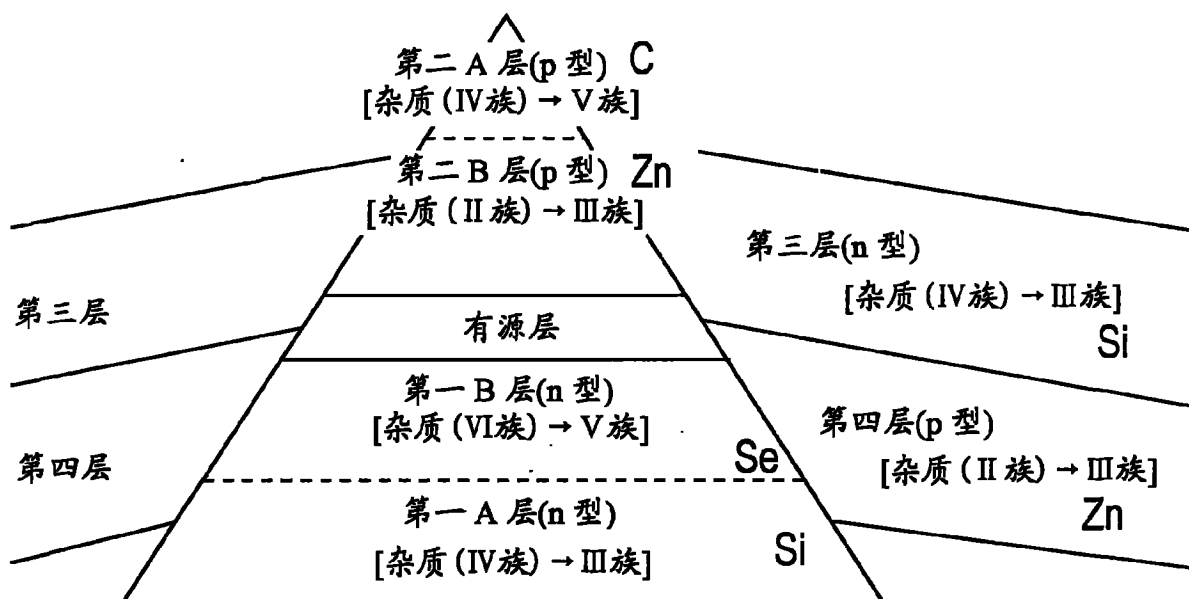


图 4A

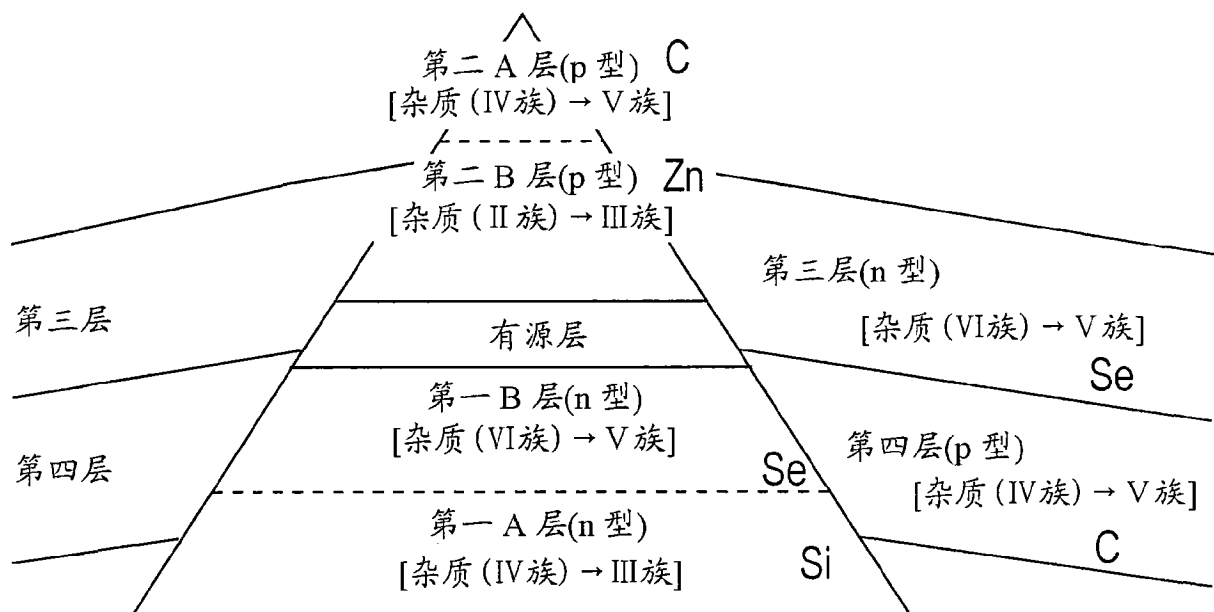


图 4B

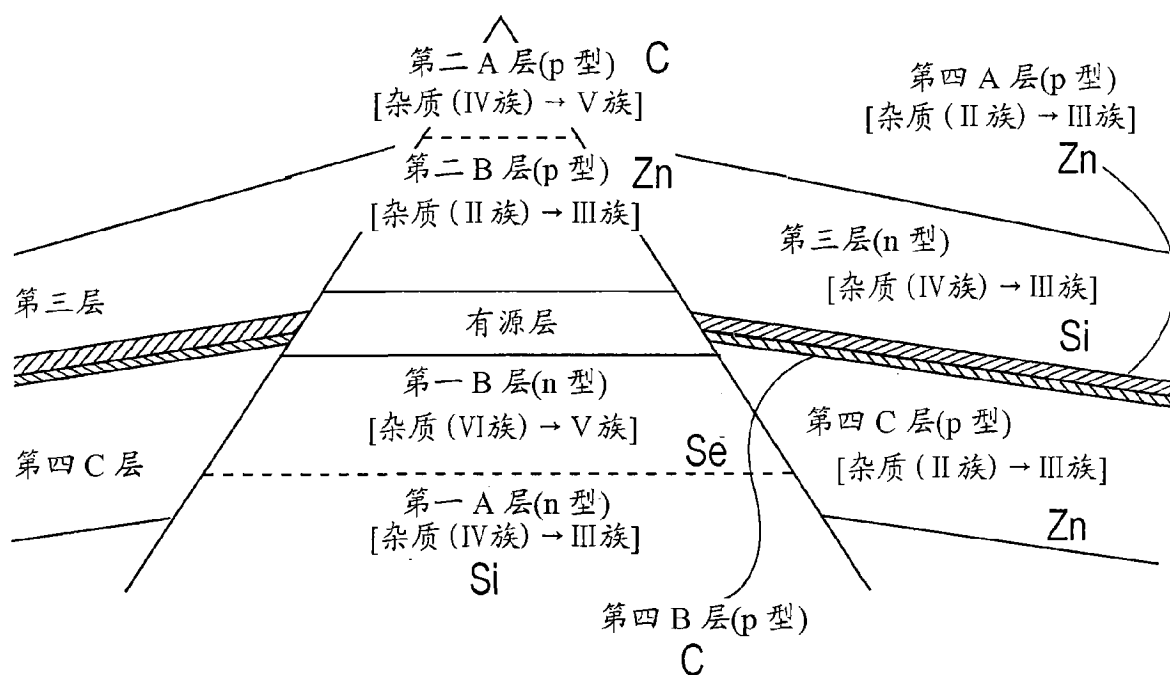


图 5A

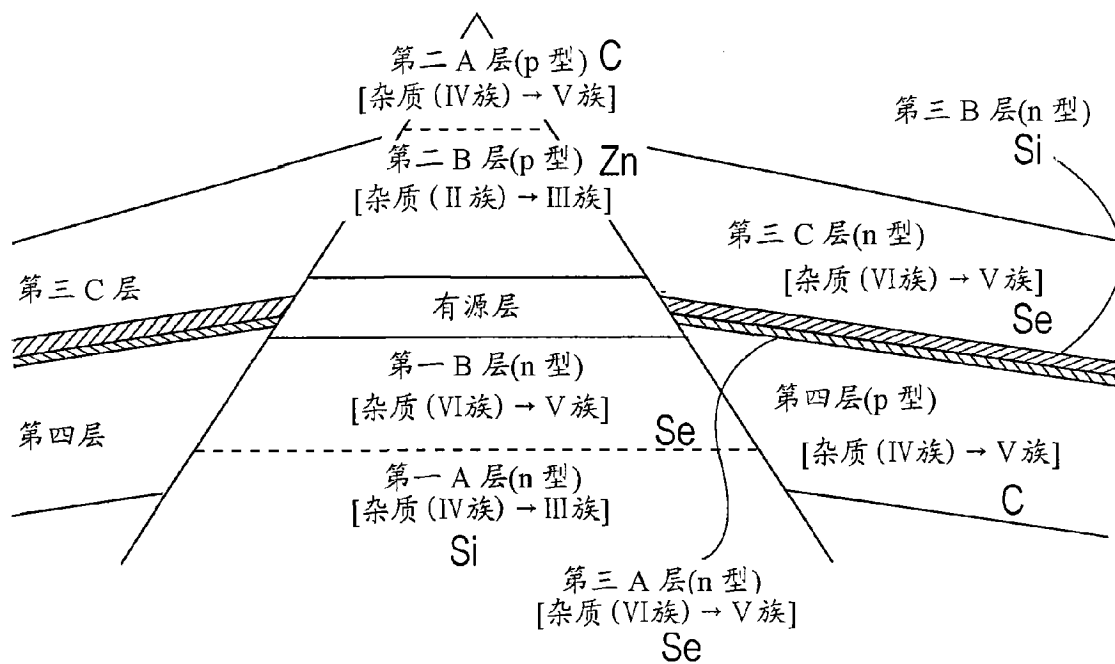


图 5B

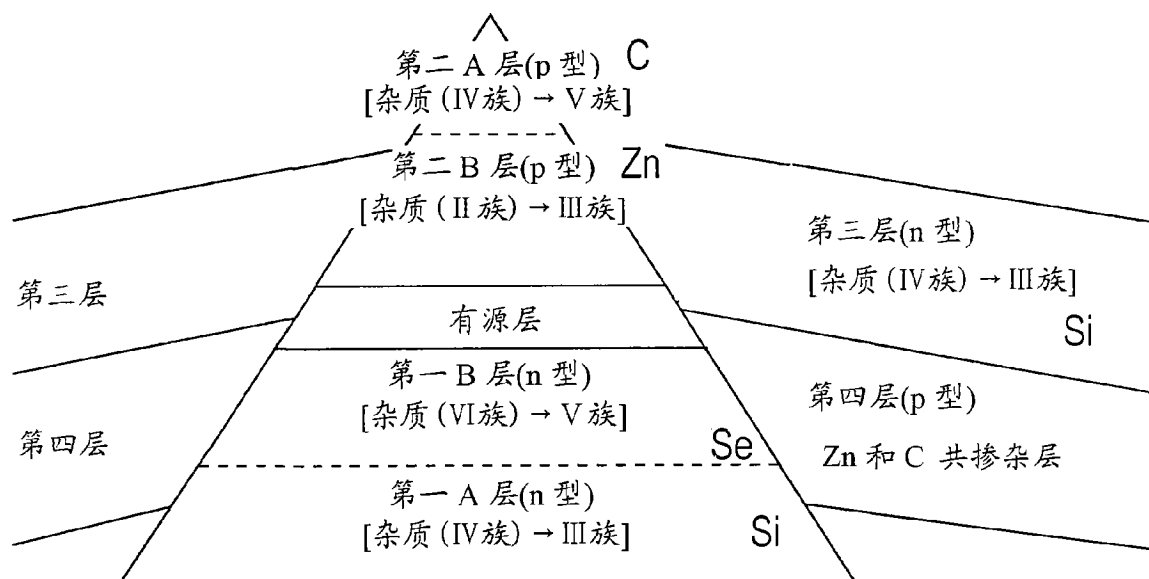


图 6A

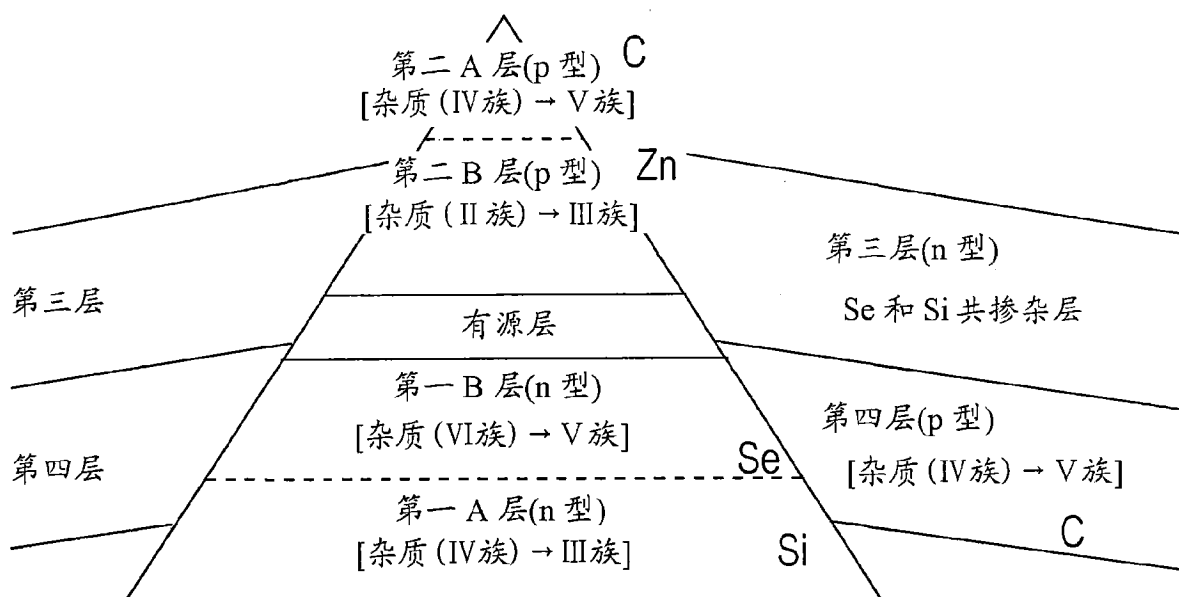


图 6B

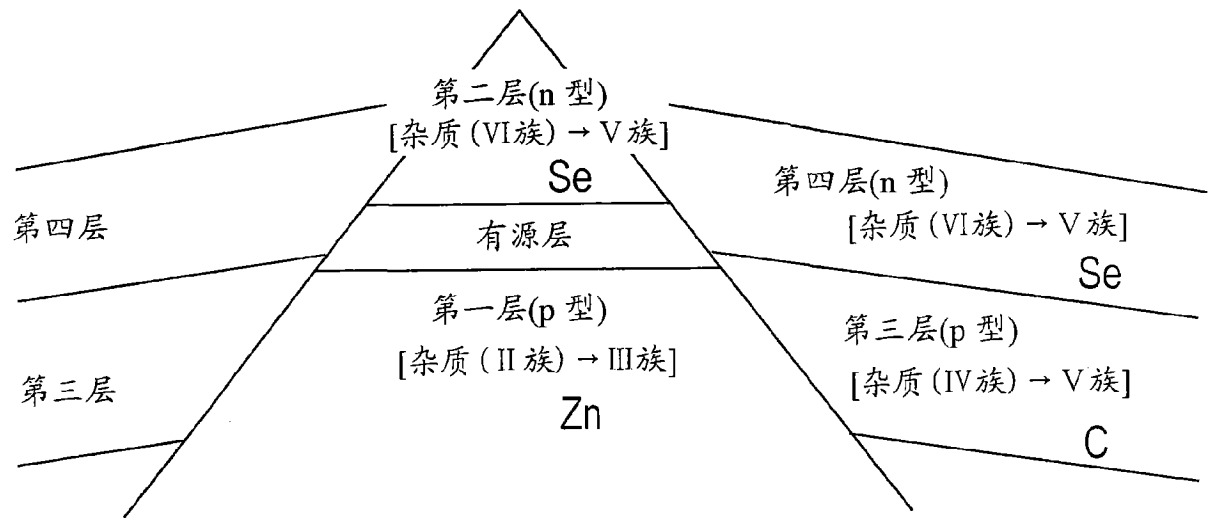


图 7A

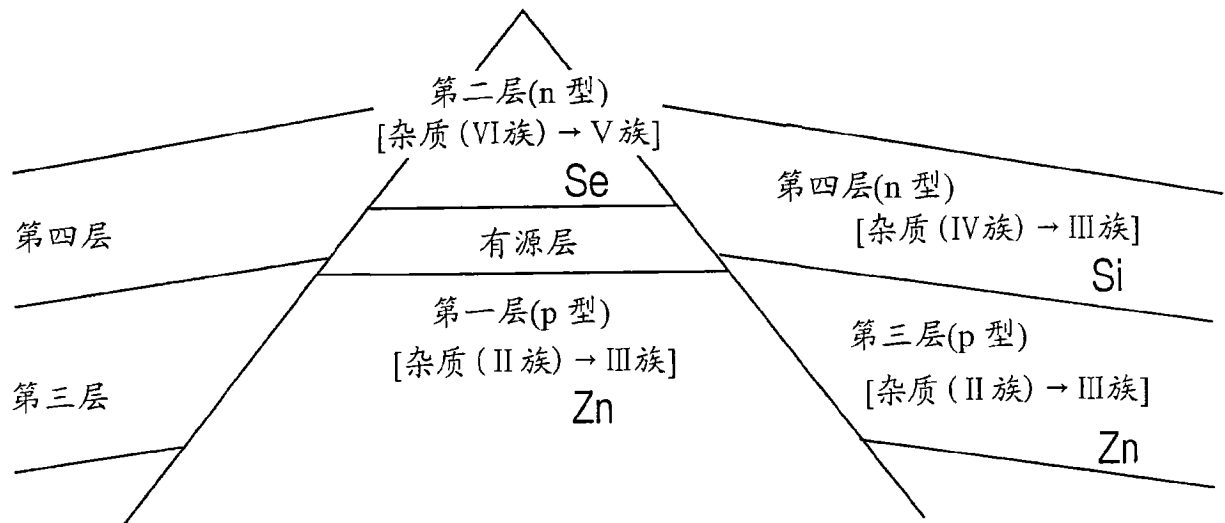


图 7B

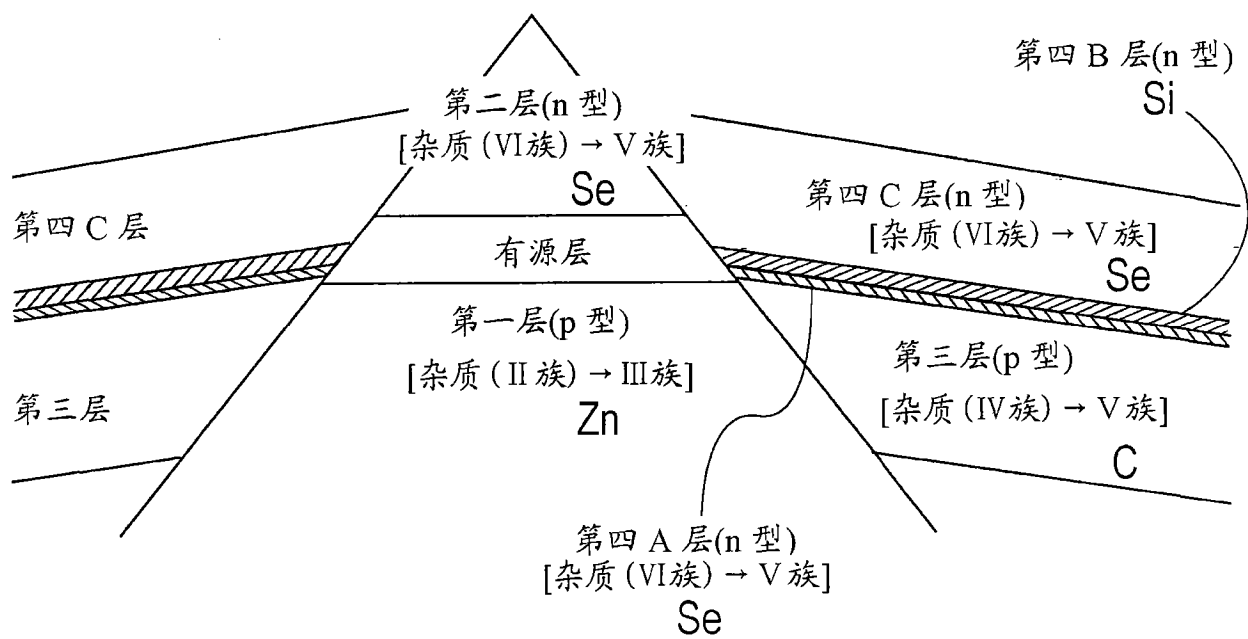


图 8A

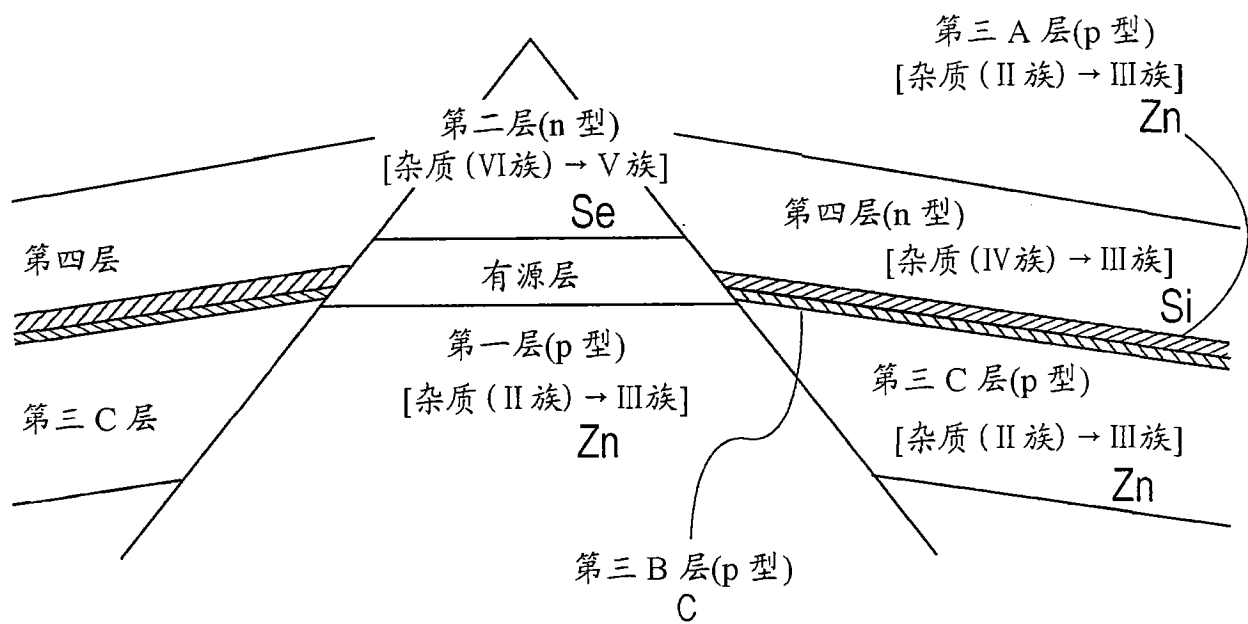


图 8B

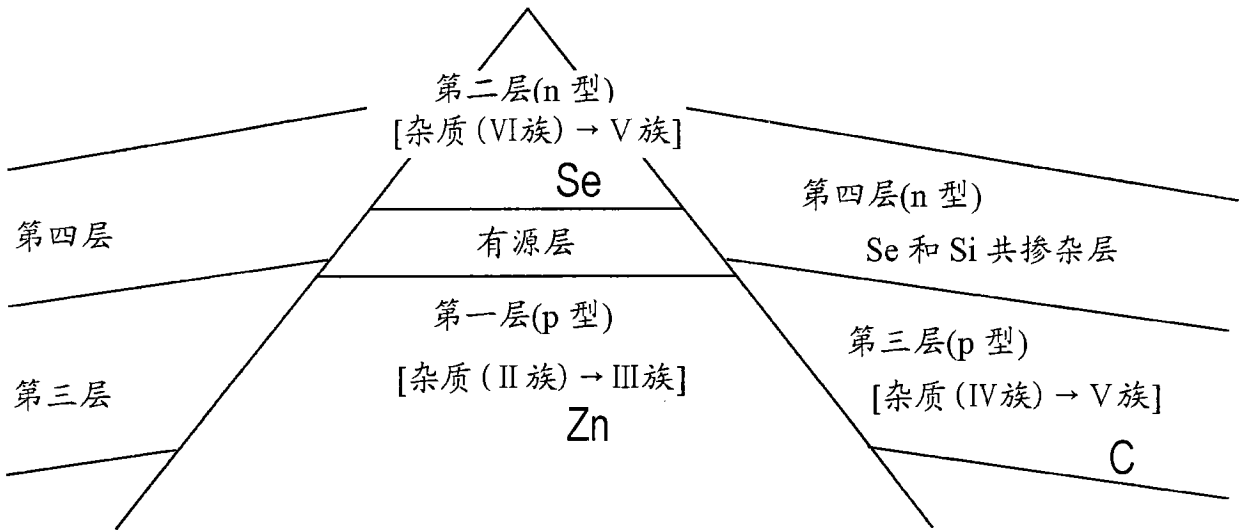


图 9A

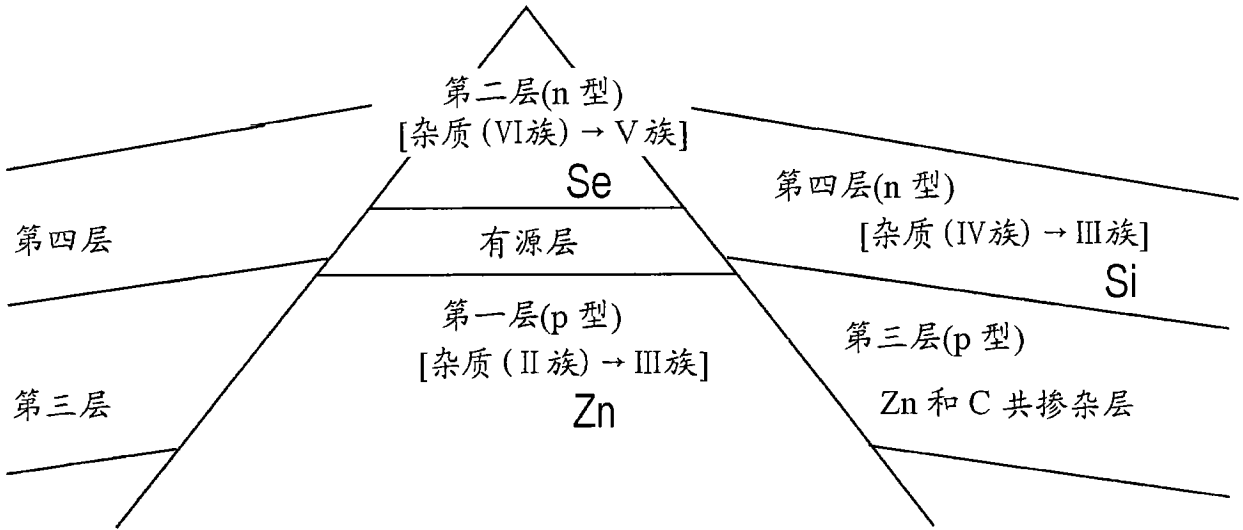


图 9B

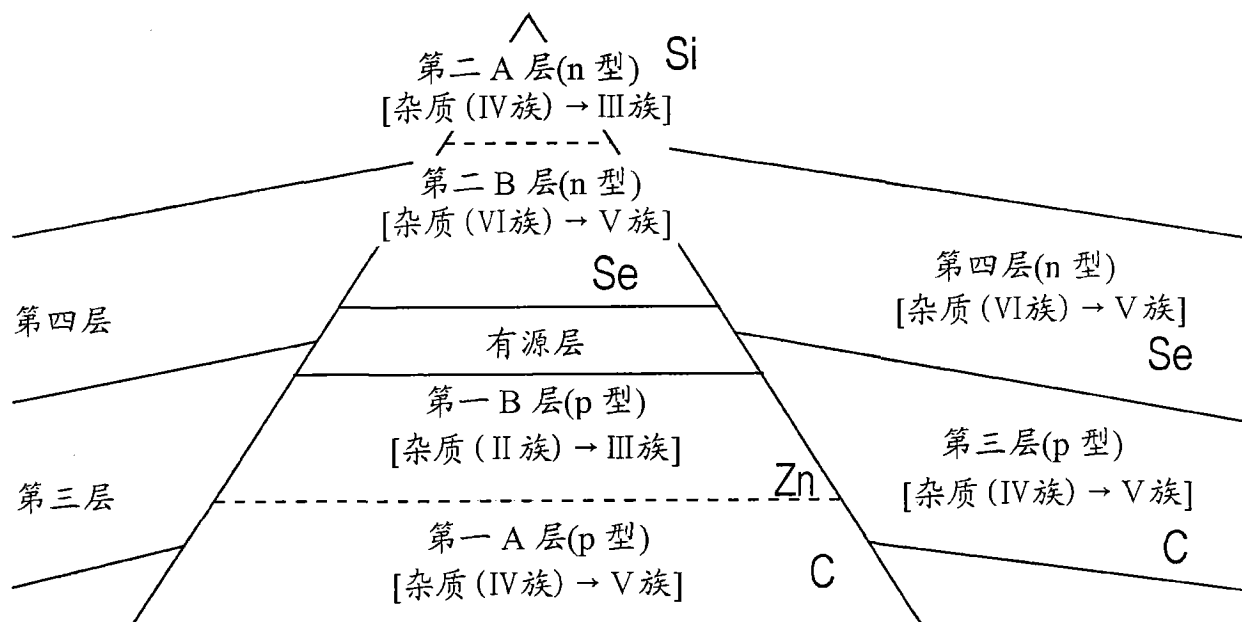


图 10A

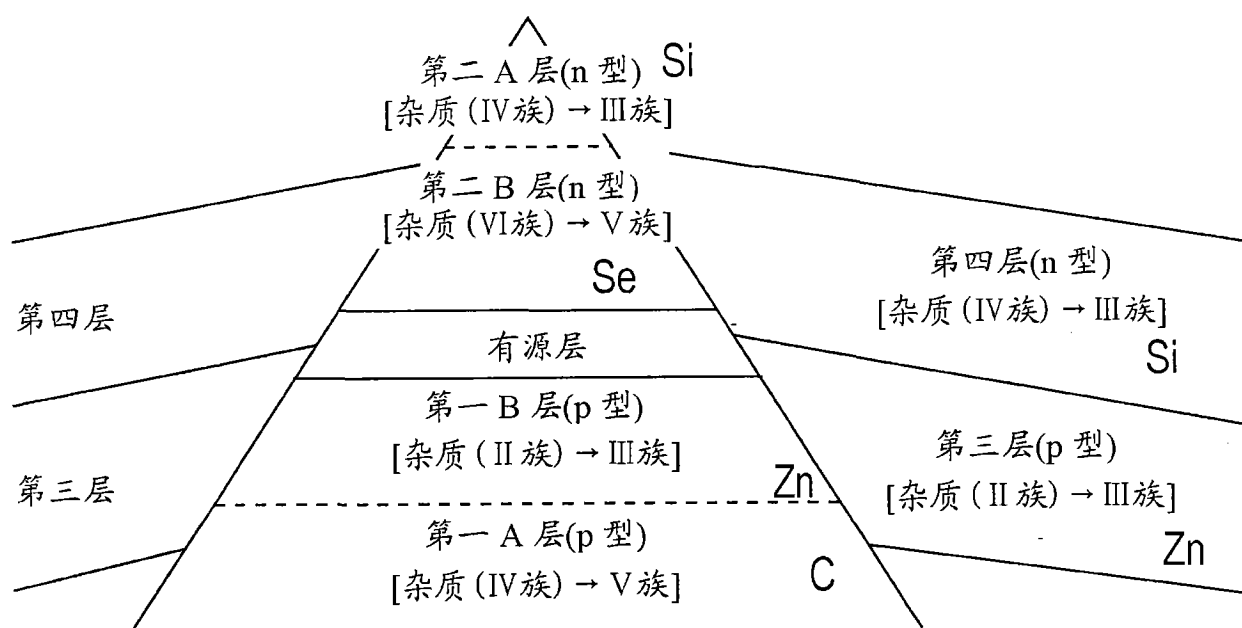


图 10B

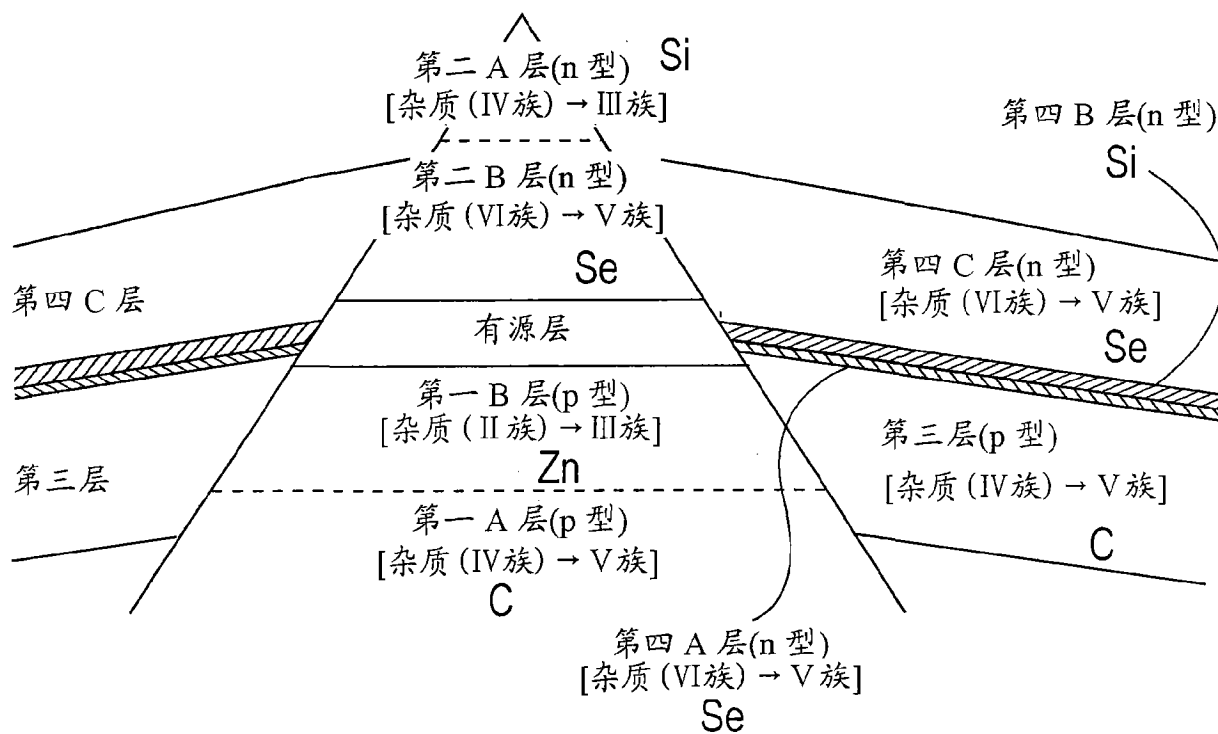


图 11A

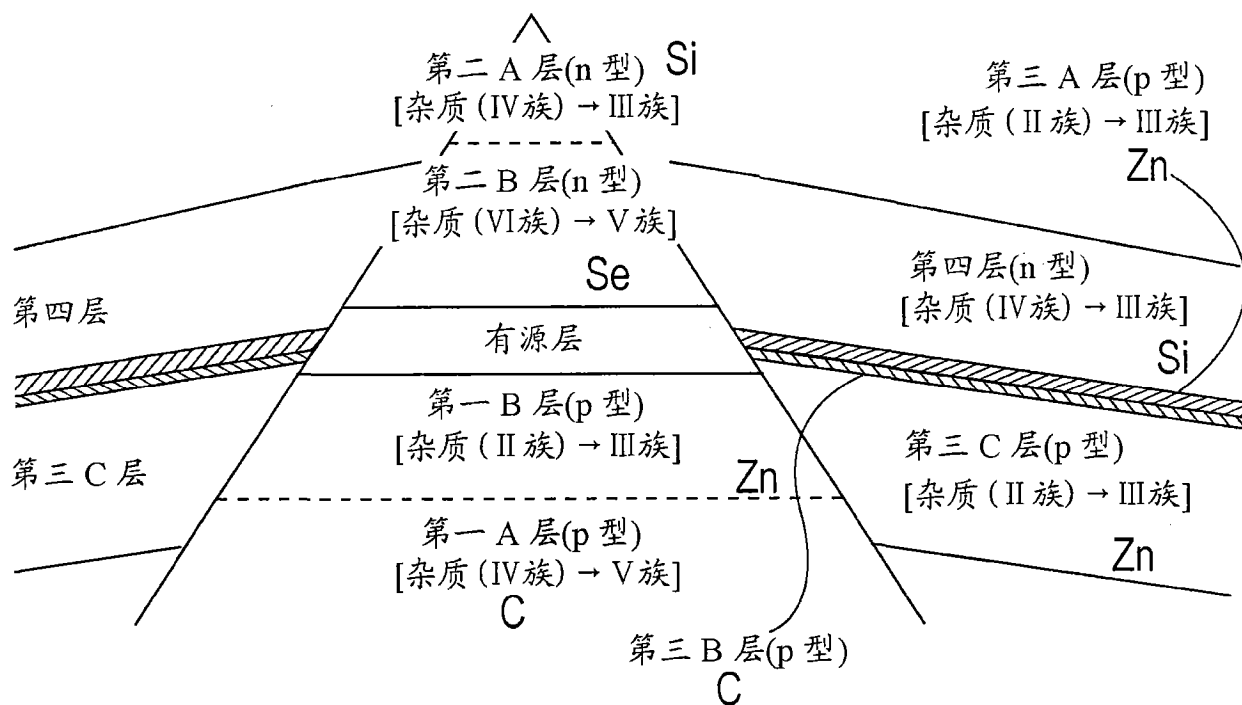


图 11B

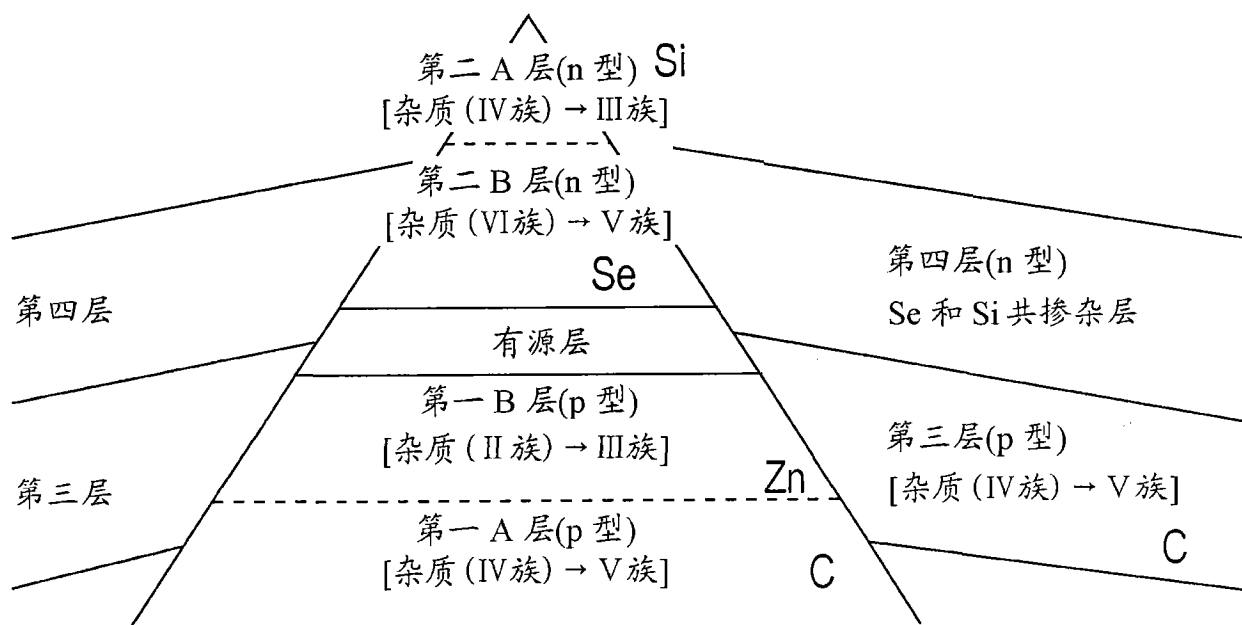


图 12A

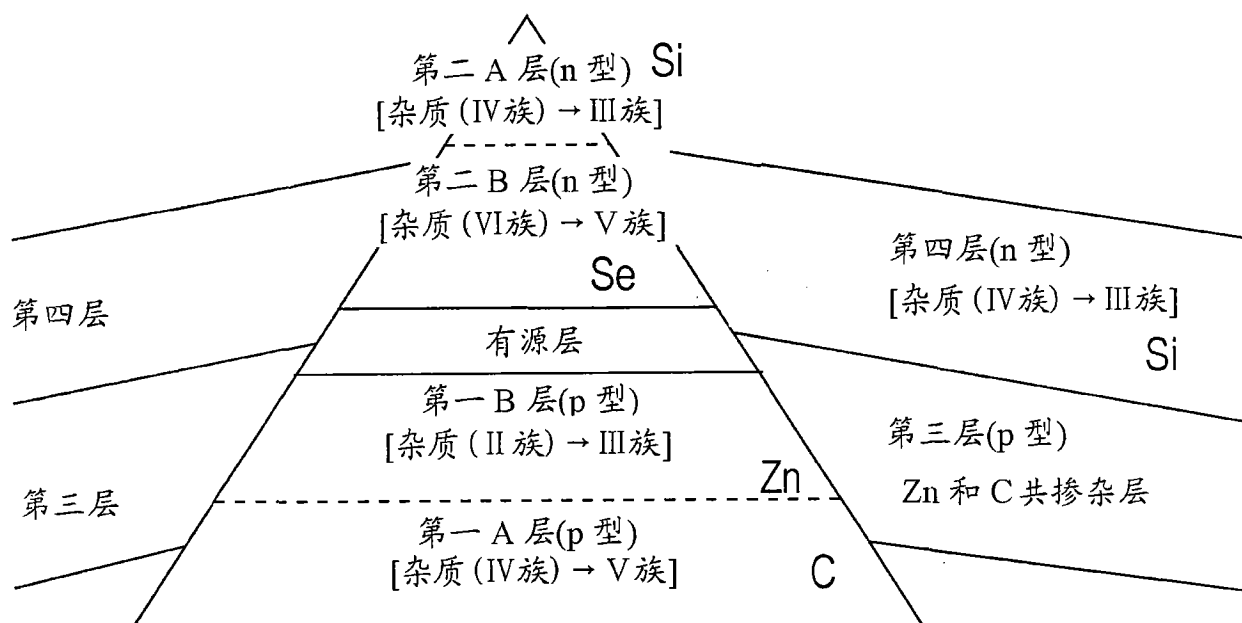


图 12B

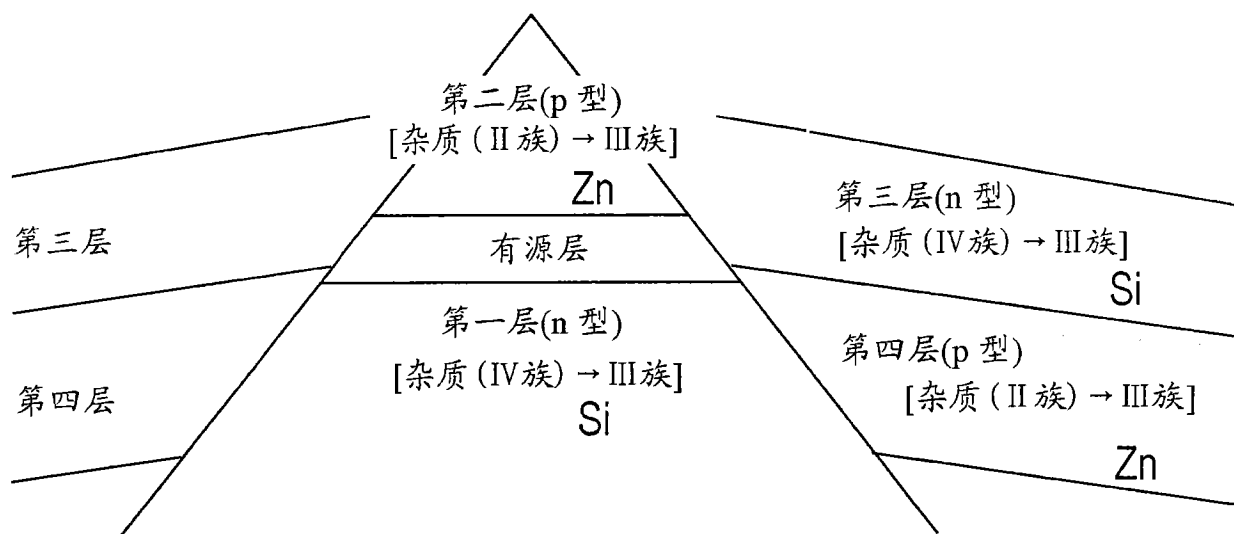


图 13A

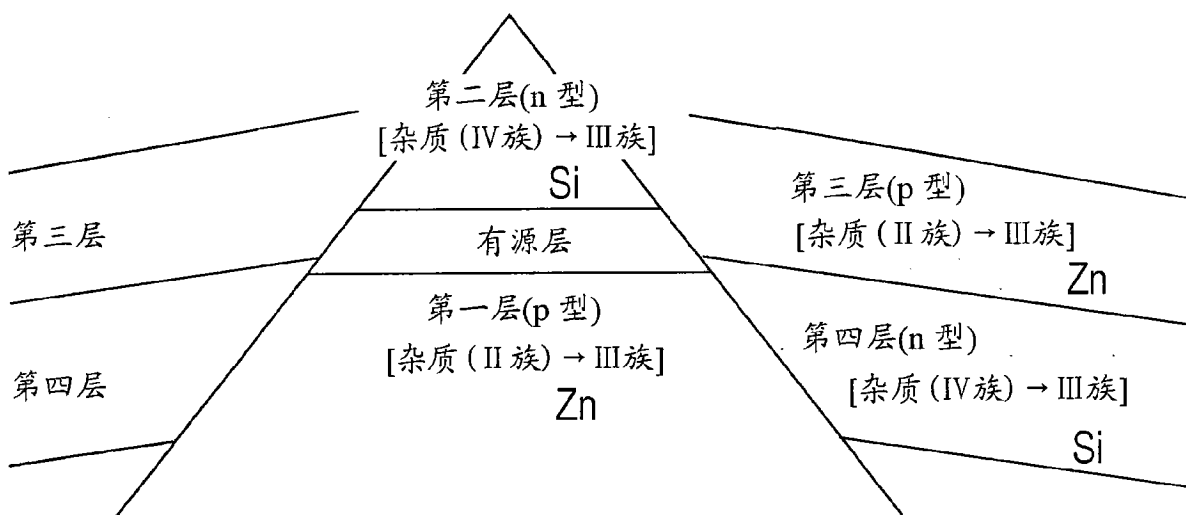


图 13B

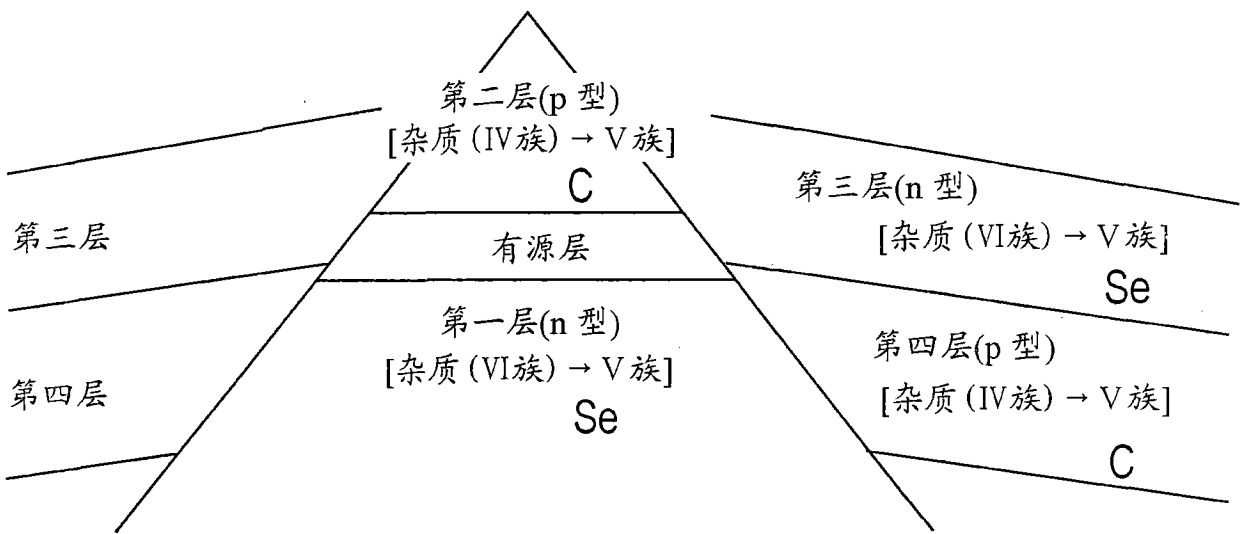


图 14A

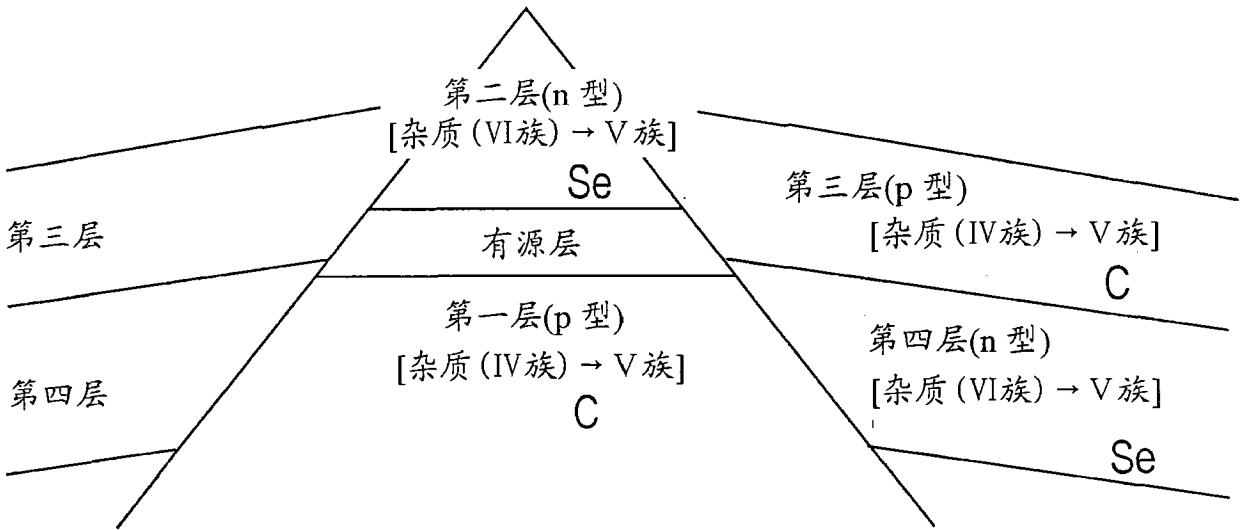


图 14B

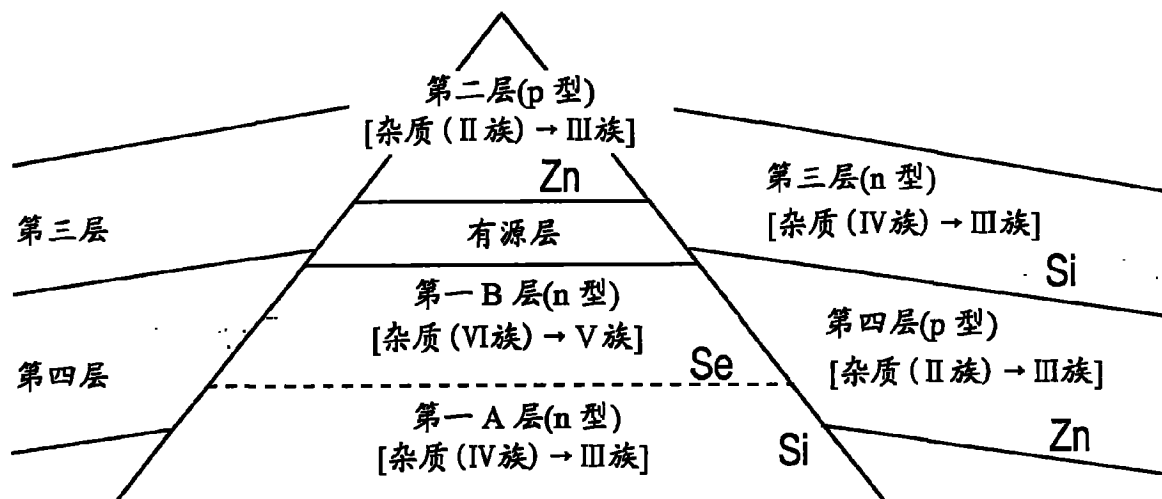


图 15A

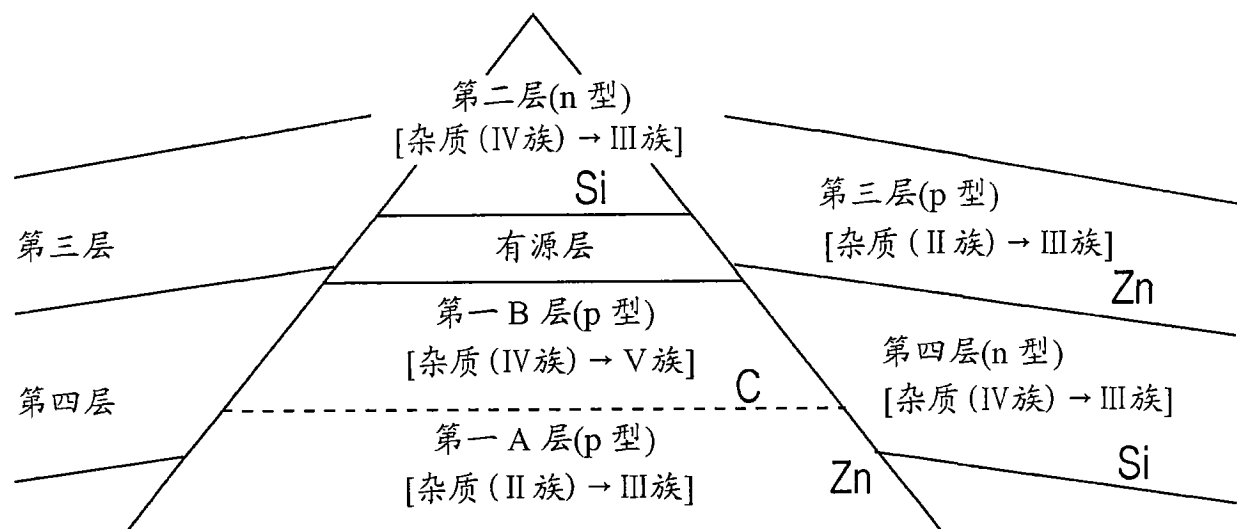


图 15B

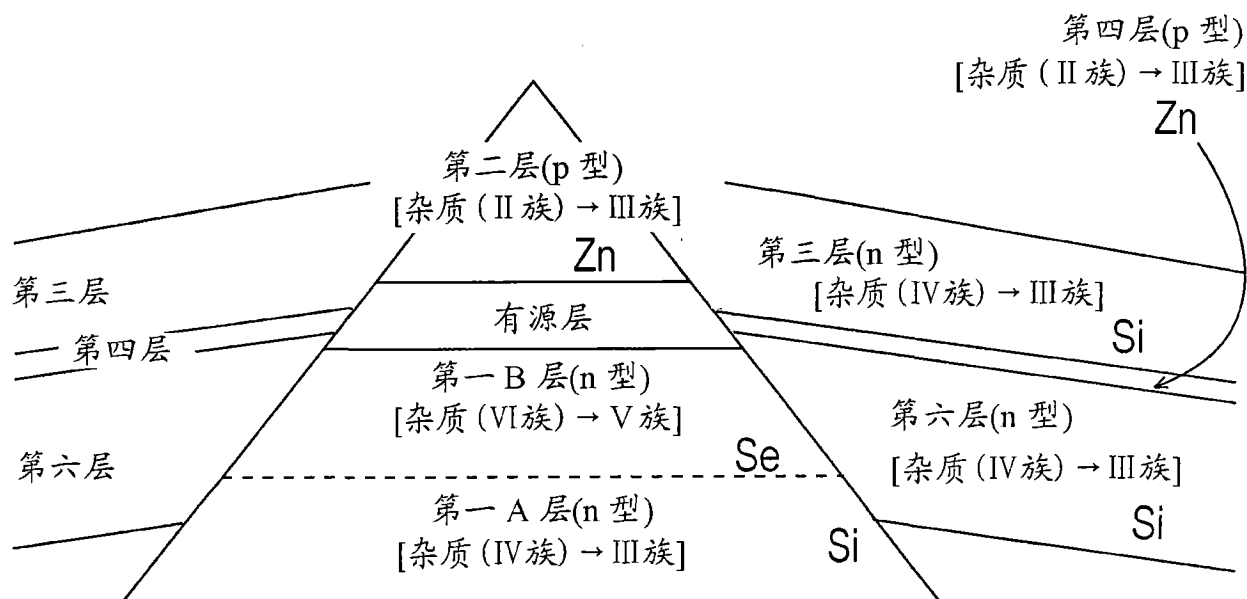


图 16A

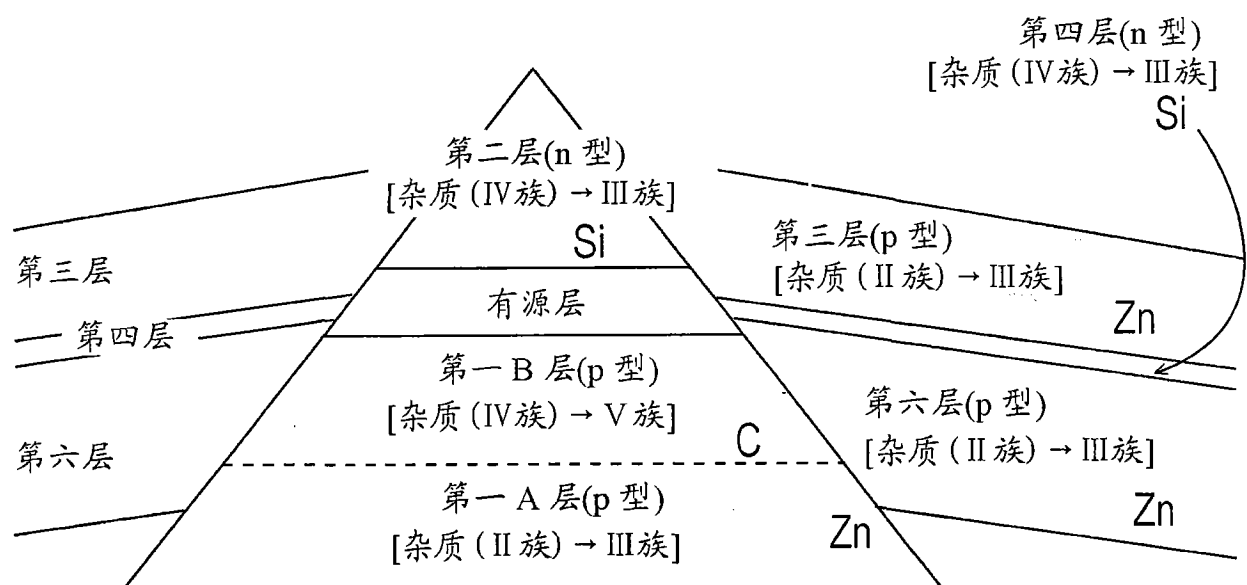


图 16B

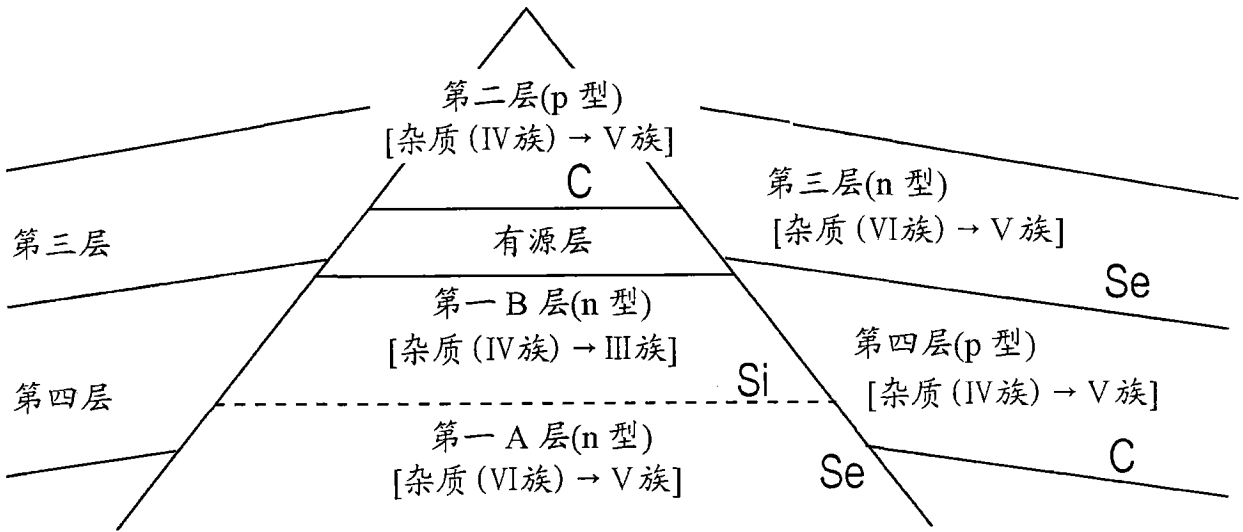


图 17A

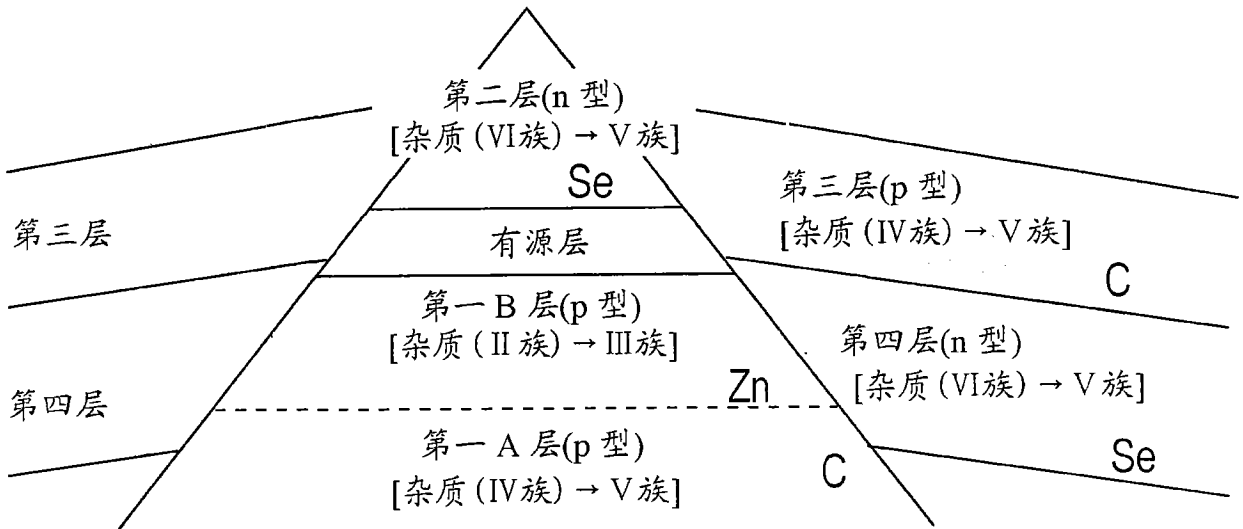


图 17B

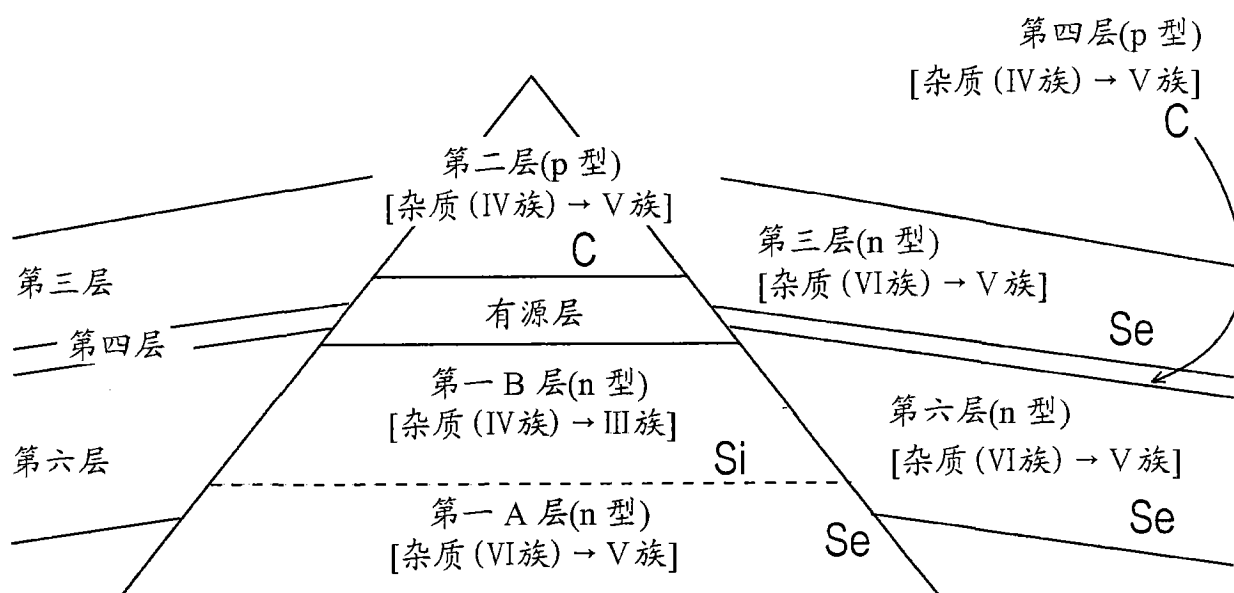


图 18A

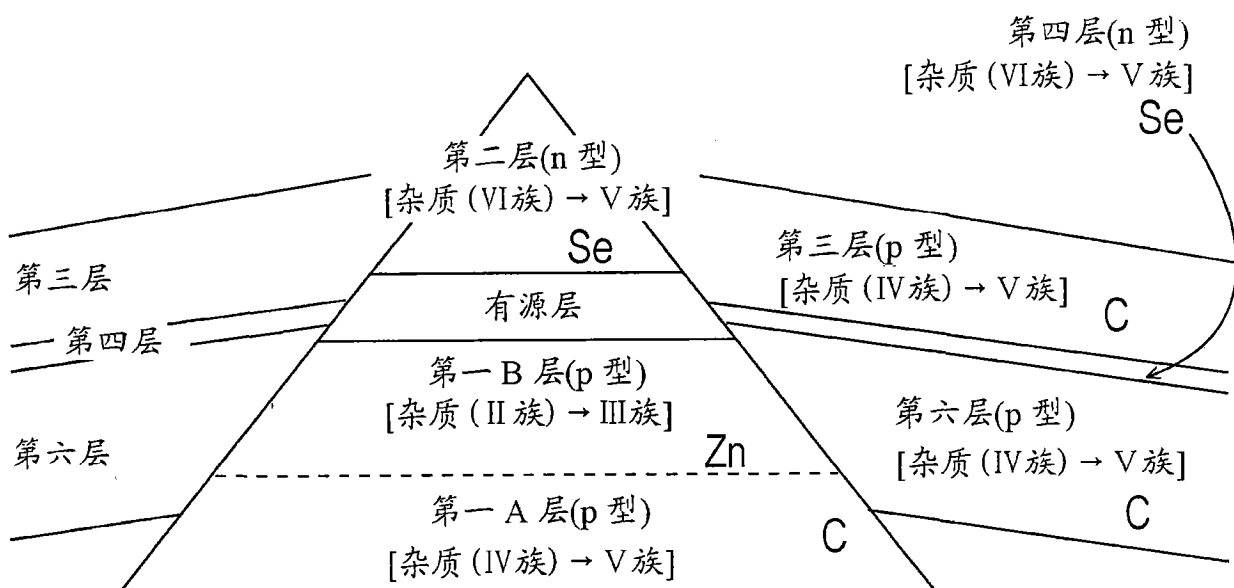


图 18B

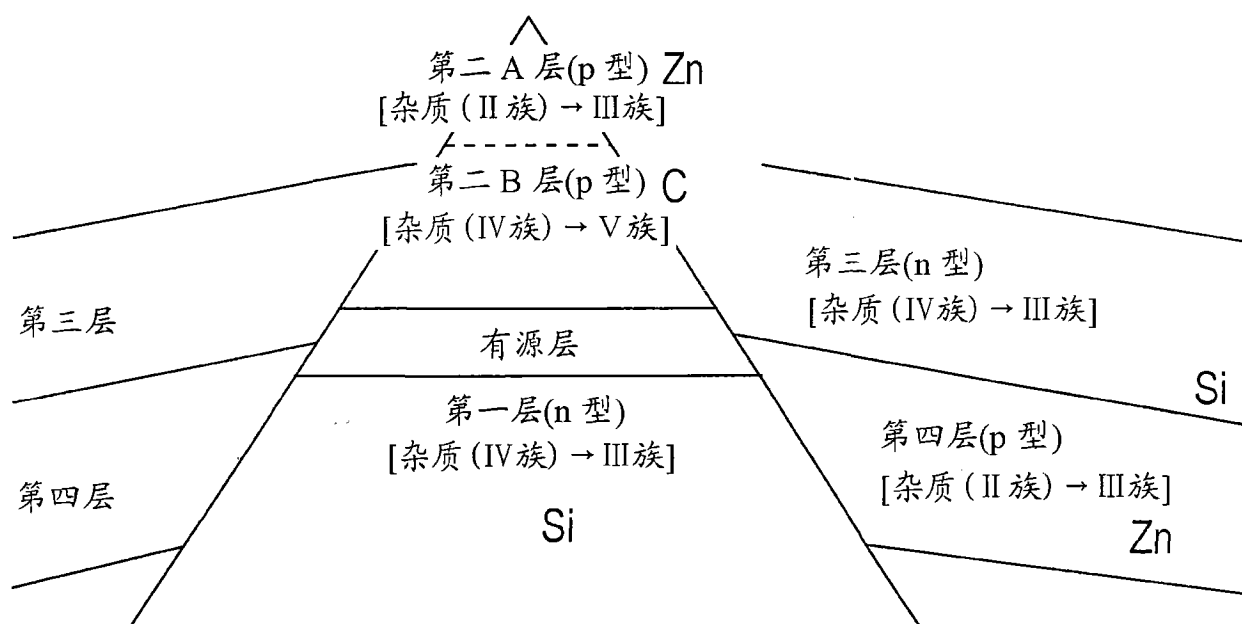


图 19A

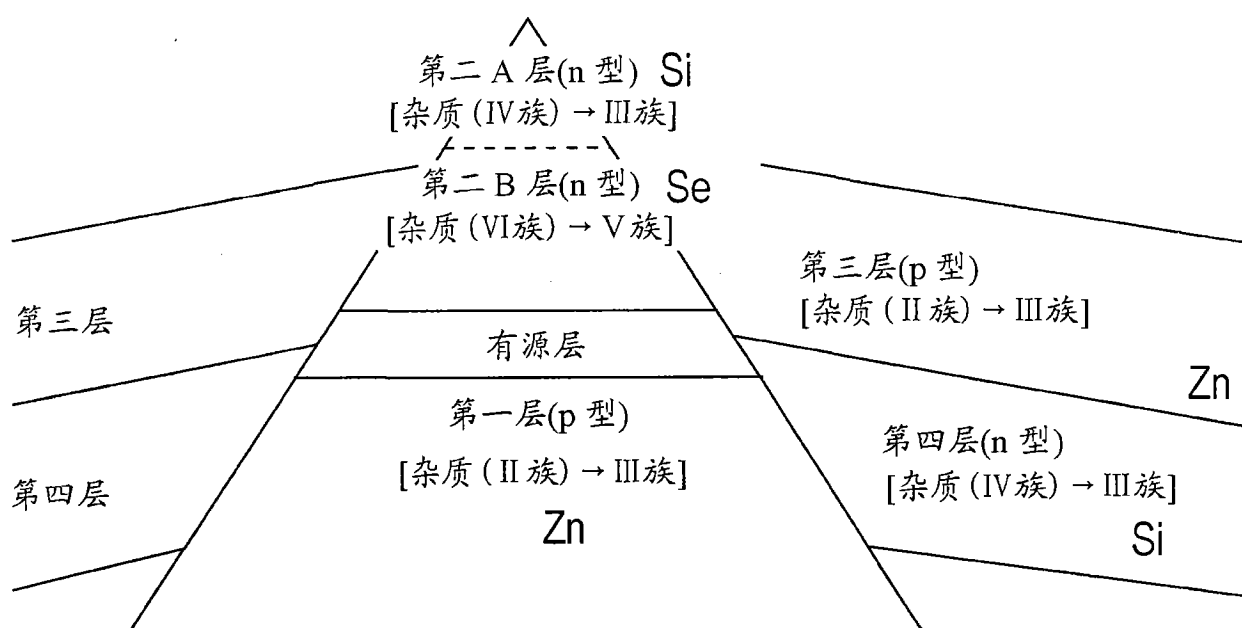


图 19B

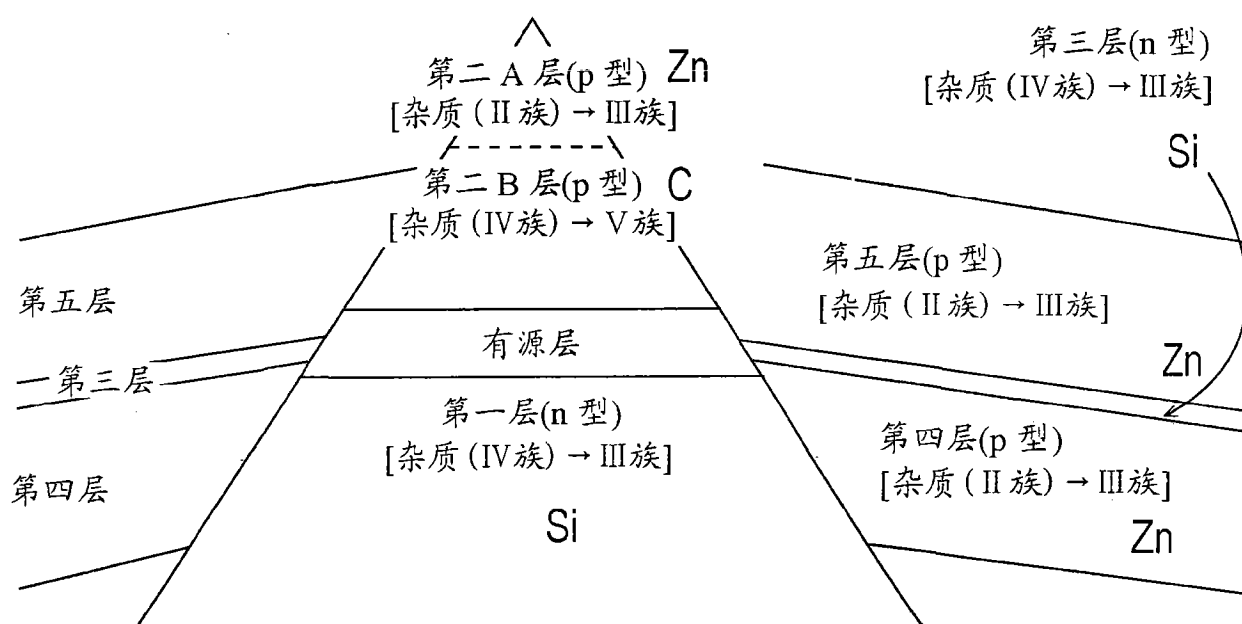


图 20A

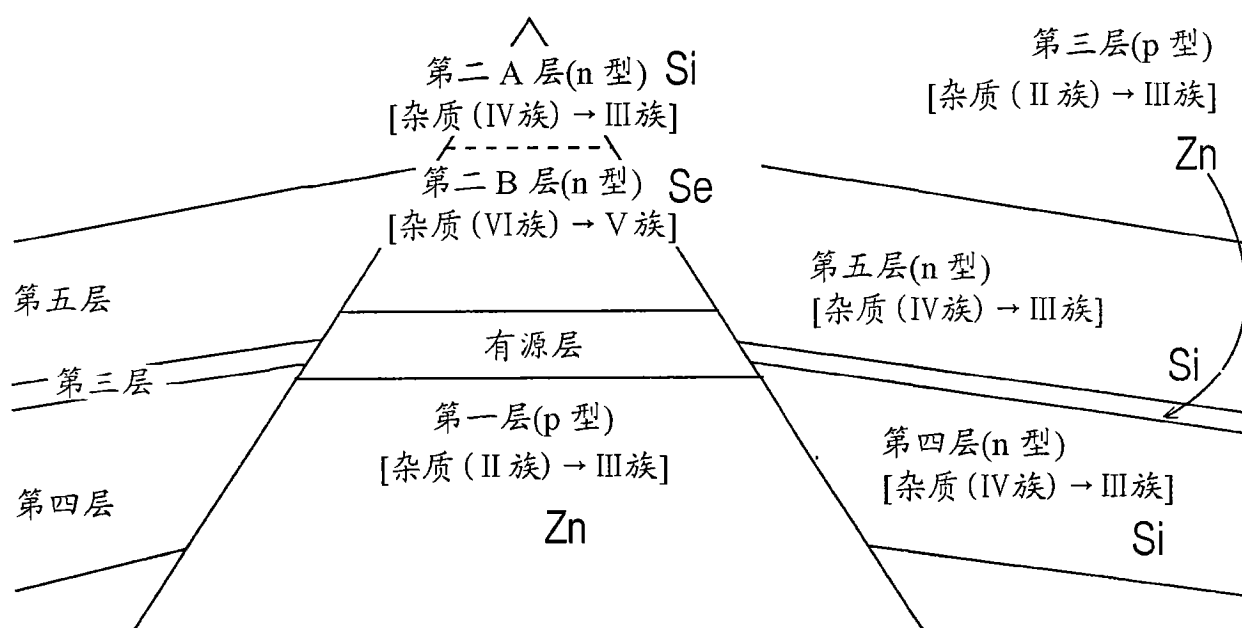


图 20B

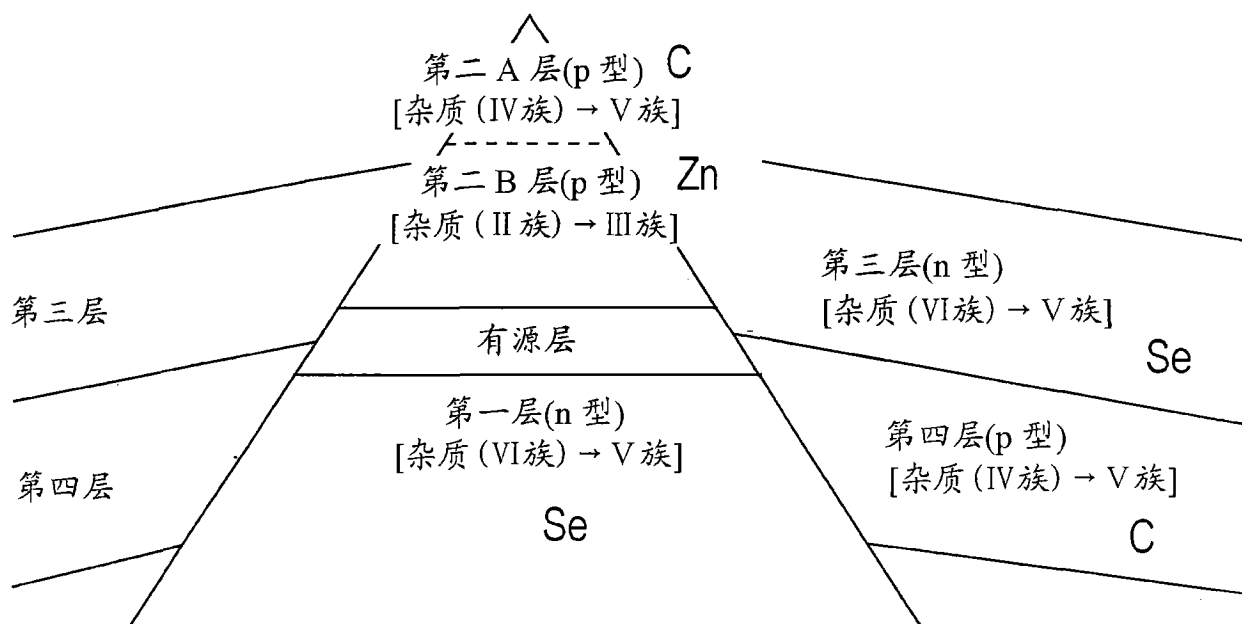


图 21A

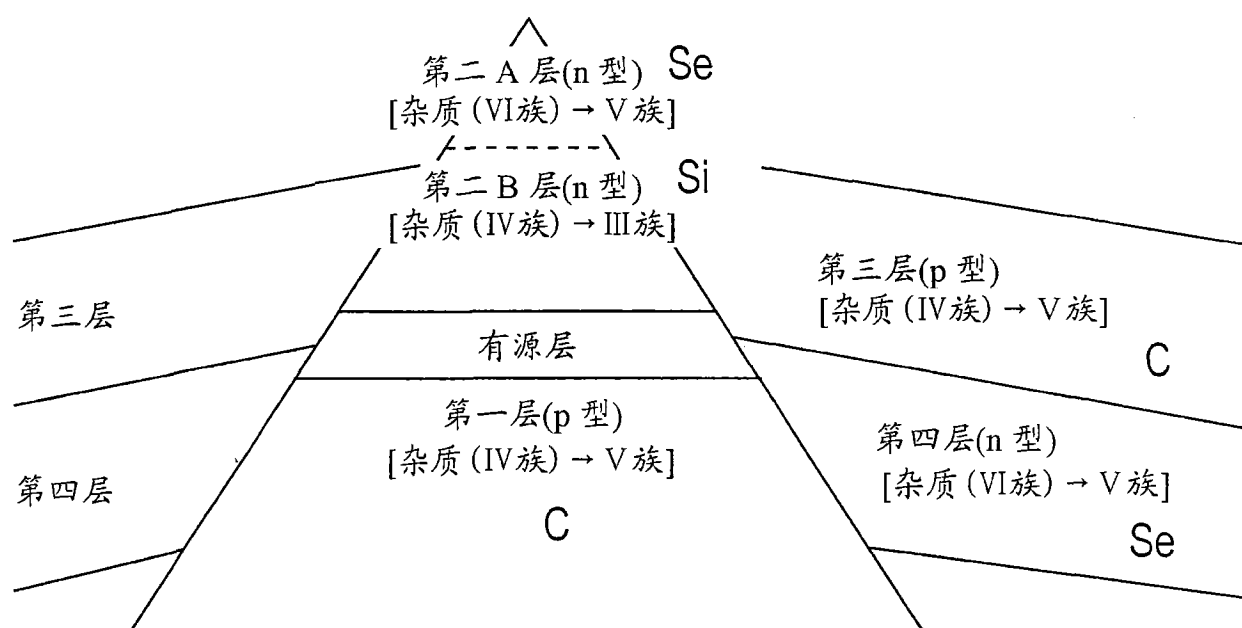


图 21B

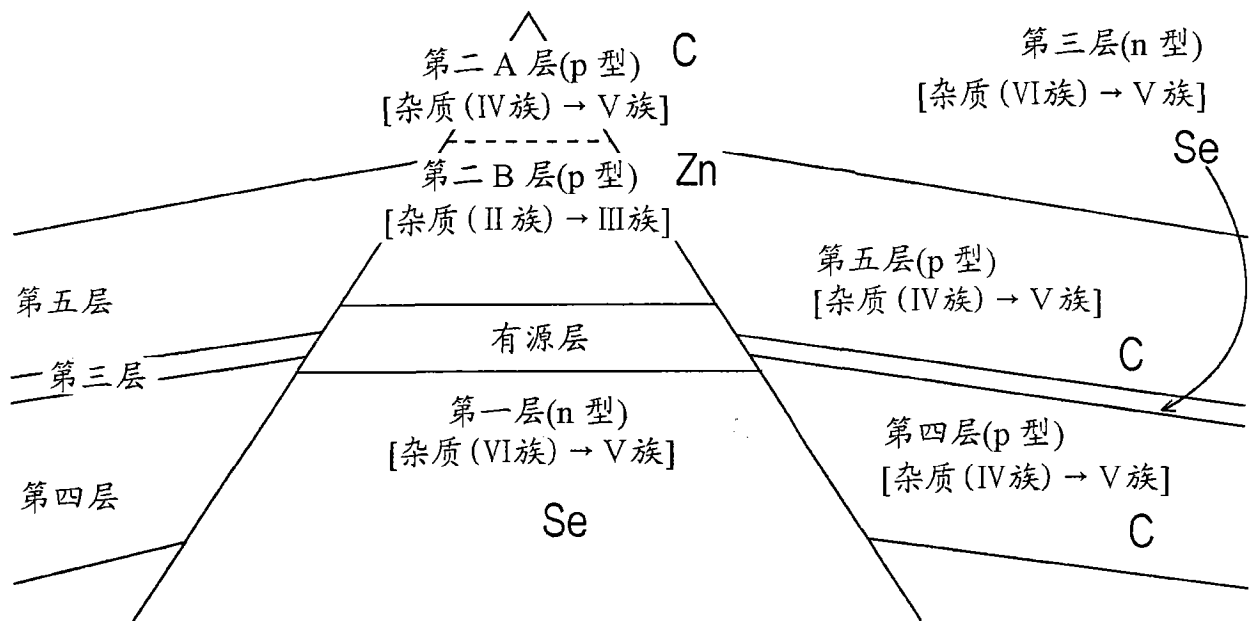


图 22A

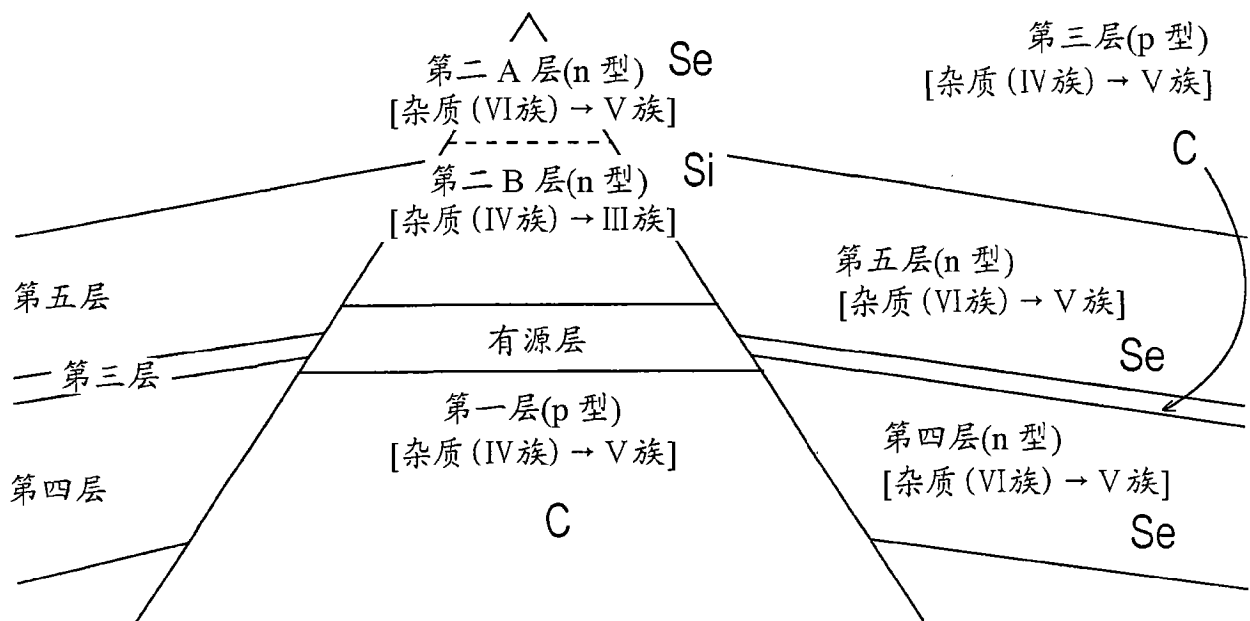


图 22B

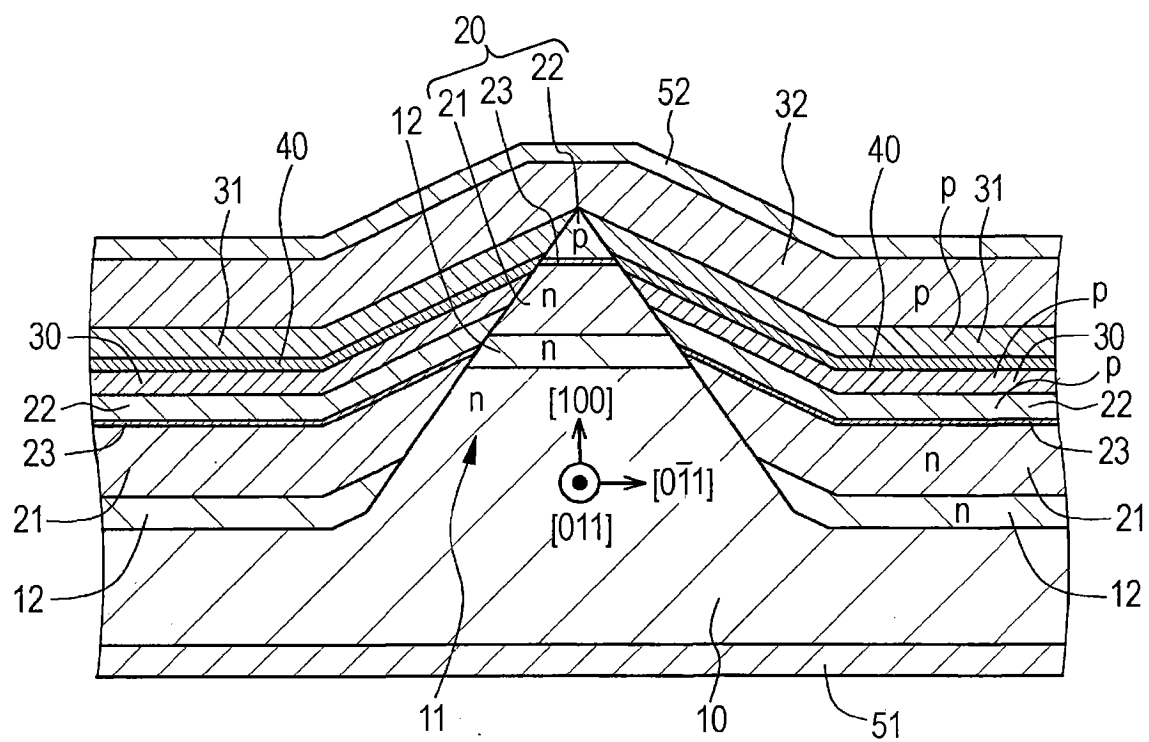


图 23 A

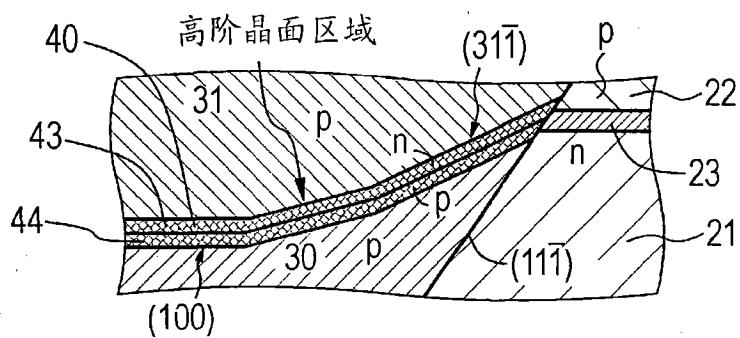


图 23 B

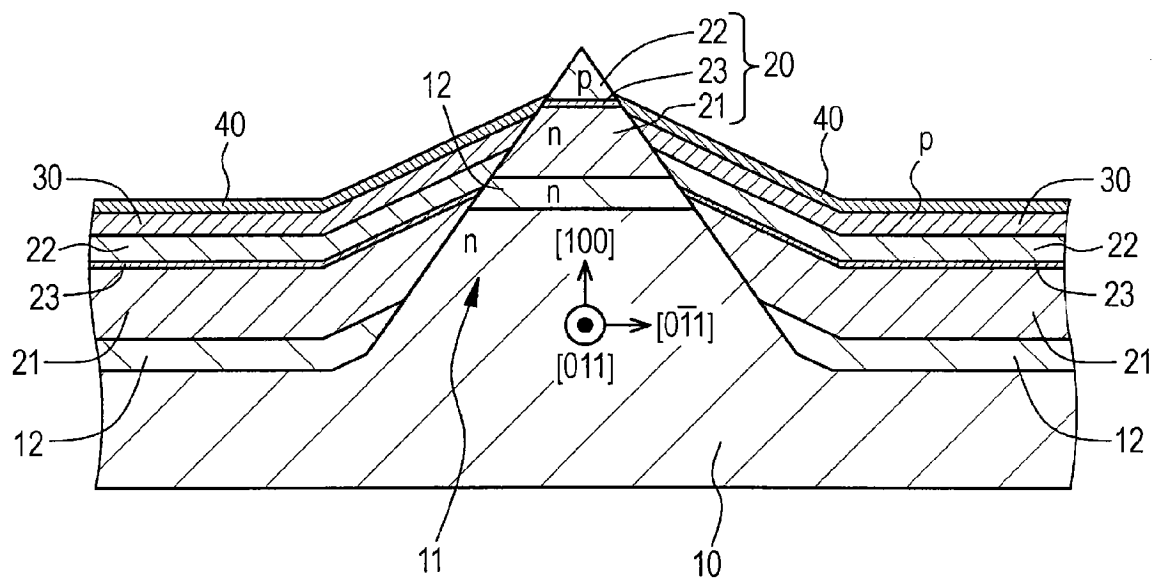


图 25

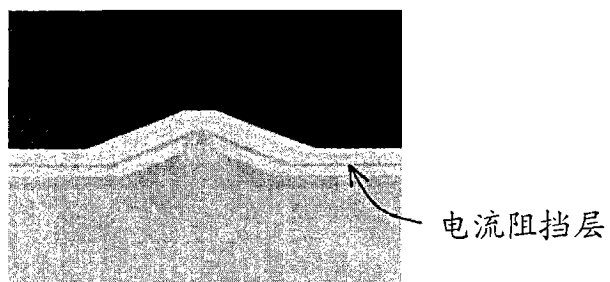


图 26A

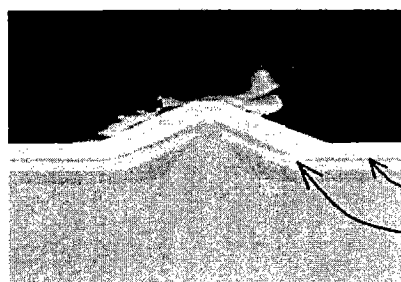


图 26B



图 27A

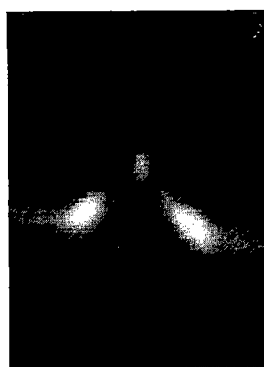


图 27B

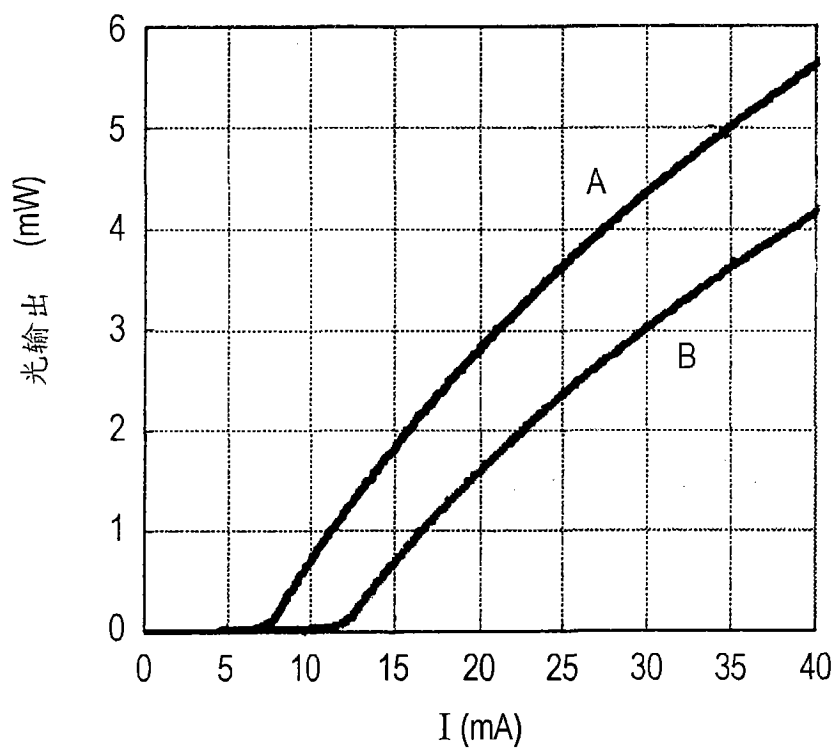


图 28A

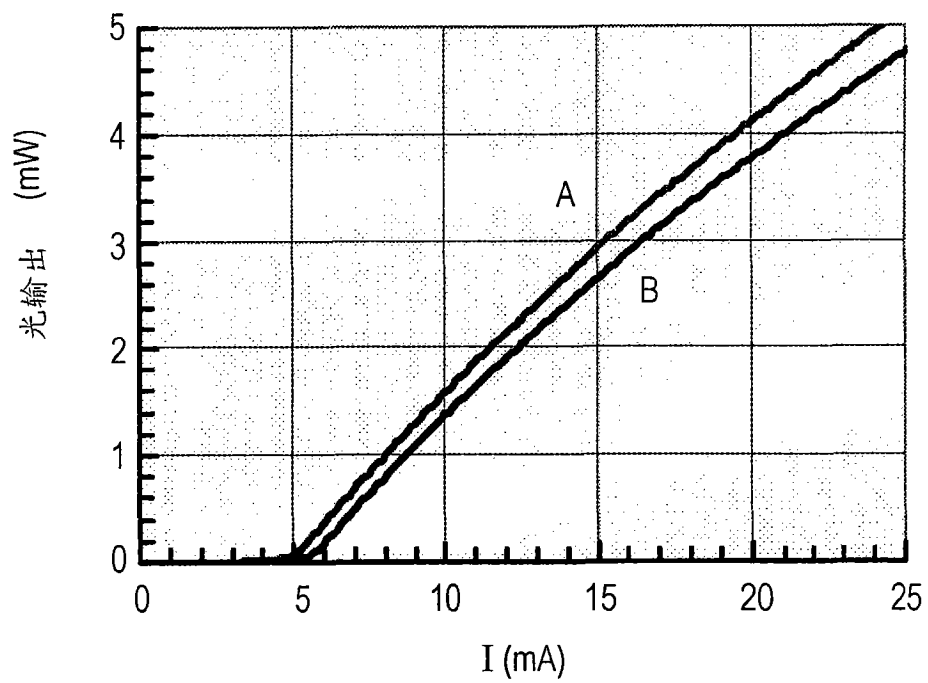


图 28B

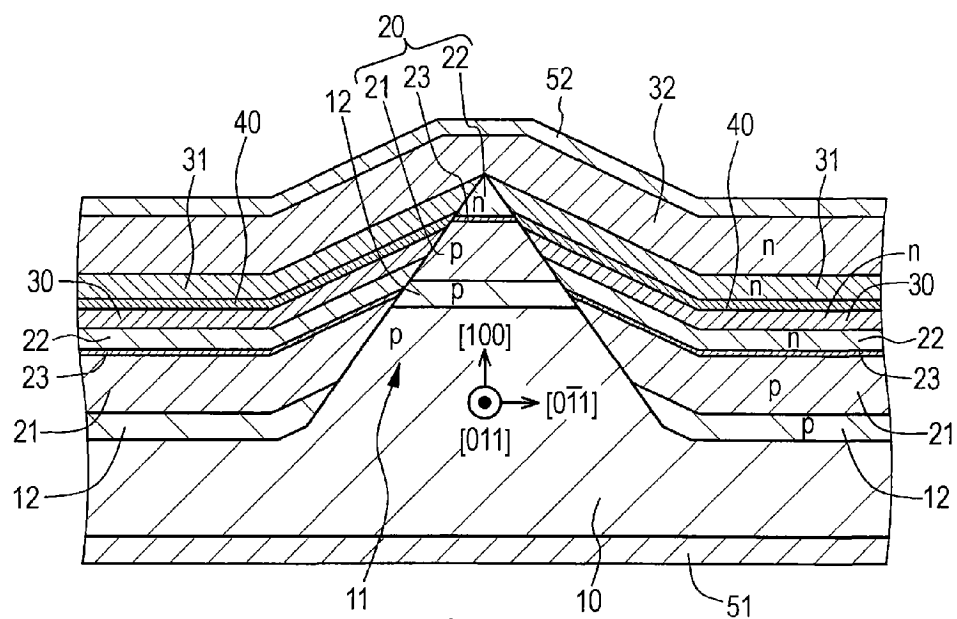


图 29 A

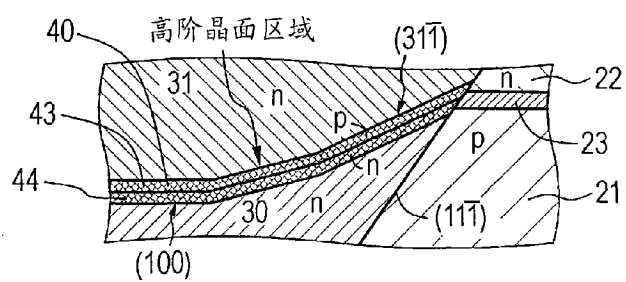


图 29 B

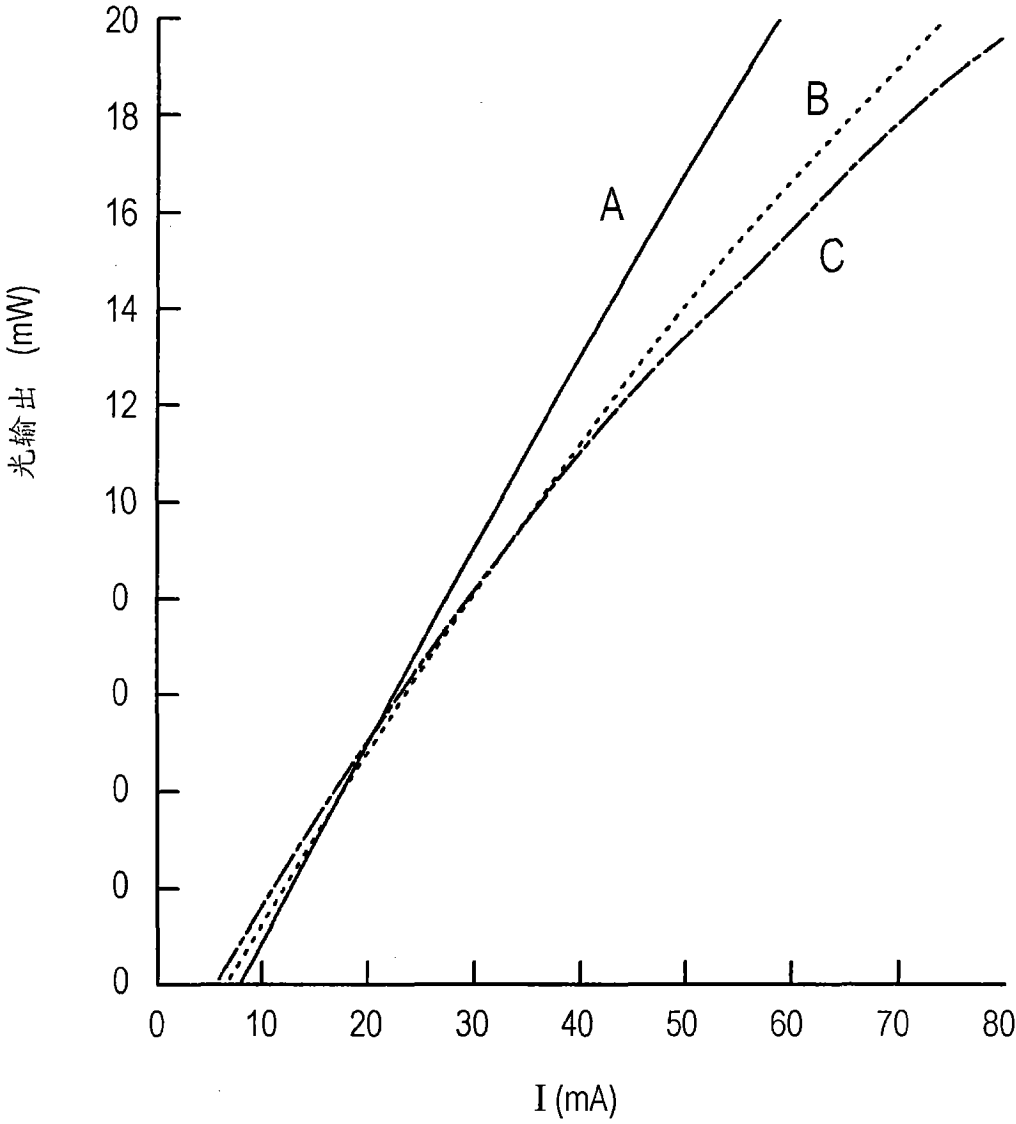


图 30