



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101040409 B

(45) 授权公告日 2010. 05. 26

(21) 申请号 200580034733. 6

(22) 申请日 2005. 12. 06

(30) 优先权数据

355728/2004 2004. 12. 08 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007. 04. 11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2005/022350 2005. 12. 06

(87) PCT申请的公布数据

W02006/062084 JA 2006. 06. 15

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 吉本晋 松原秀树 齐藤裕久

三崎贵史 中西文毅 森大树

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

代理人 林宇清 谢丽娜

(51) Int. Cl.

H01S 5/18(2006. 01)

H01S 5/12(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 10-284806 A, 1998. 10. 23, 说明书第 9, 36 段、附图 1.

CN 1498427 A, 2004. 05. 19, 说明书第 0002 段.

CN 1529915 A, 2004. 09. 15, 说明书第 12 页第 2 段到第 5 段、附图 1-2.

JP 2003234502 A, 2003. 08. 22, 全文.

JP 2004111766 A, 2004. 04. 08, 说明书第 0086 到 0088 段、附图 11.

JP 2003273456 A, 2003. 09. 26, 说明书第 0024 段、附图 1.

JP 11-186657 A, 1999. 07. 09, 说明书第 11, 24, 36 段、附图 1.

JP 2000236137 A, 2000. 08. 29, 全文.

审查员 白建辉

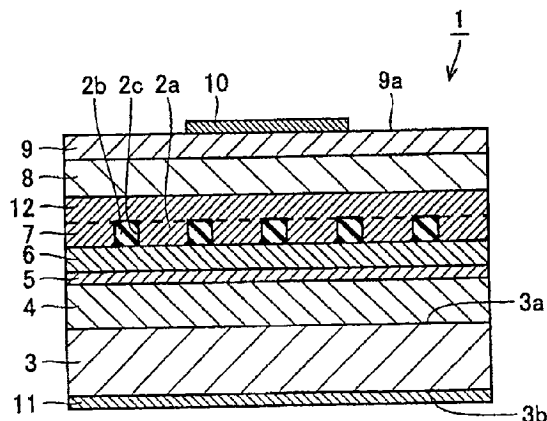
权利要求书 2 页 说明书 22 页 附图 16 页

(54) 发明名称

半导体激光器件及其制造方法

(57) 摘要

一种半导体激光器件 (1), 包括: 具有主面 (3a) 的衬底 (3); 在其中主面 (3a) 延伸的方向上具有在衬底 (3) 上形成的氮化镓外延层 (2a) 和低折射率材料 (2b) 的光子晶体层 (7), 该低折射率材料 (2b) 具有低于外延层 (2a) 的折射率; 衬底 (3) 上形成的 n- 型敷层 (4); 衬底 (3) 上形成的 p- 型敷层 (6); 插入 n- 型敷层 (4) 和 p- 型敷层 (6) 之间且当往其中注入载流子时发光的有源层 (5); 以及覆盖直接位于光子晶体层 (7) 上的区域的 GaN 层 (12)。因此, 可以在没有熔化工序的条件下, 制造该半导体激光器件。



1. 一种半导体激光器件 (1, 1a, 1b) 的制造方法, 所述半导体激光器件 (1, 1a, 1b) 包括具有外延层 (2a) 和低折射率材料 (2b) 的二维衍射光栅 (7), 所述制造方法包括:

在衬底 (3) 上依次形成第一导电型敷层 (4)、有源层 (5) 以及第二导电型敷层 (6) 的步骤;

以预定图形在所述衬底 (3) 上淀积所述低折射率材料 (2b) 的步骤, 该低折射率材料 (2b) 具有低于氮化镓的折射率, 并且其中所述低折射率材料 (2b) 由选自 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 和 LiF 构成的组中的至少一种材料制成;

外延层形成步骤, 其中, 在淀积该低折射率材料的所述步骤之后, 在所述衬底上形成所述氮化镓的外延层 (2a); 以及

在所述外延层形成步骤之后, 沿所述衬底的主面, 在直接位于所述低折射率材料上的区域中生长含氮化镓的层 (12) 的步骤。

2. 根据权利要求 1 的半导体激光器件 (1) 的制造方法, 其中所述第一导电型敷层 (4)、所述有源层 (5) 和所述第二导电型敷层 (6) 全都被外延生长。

3. 根据权利要求 1 的半导体激光器件 (1) 的制造方法, 其中低折射率材料 (2b) 的所述图形是多个柱的图形。

4. 根据权利要求 1 的半导体激光器件 (1a) 的制造方法, 其中, 所述预定图形为以多个柱的形状的多个孔的图形。

5. 根据权利要求 1 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中在生长含氮化镓的层 (12) 的所述步骤中, 使用金属有机化学气相淀积来形成所述含氮化镓的层。

6. 根据权利要求 1 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中在生长含氮化镓的层 (12) 的所述步骤中, 在环境压力等于或低于 90kPa 的状态下形成所述含氮化镓的层。

7. 一种半导体激光器件 (1) 的制造方法, 包括:

在衬底 (3) 上依次外延形成第一导电型敷层 (4)、有源层 (5) 以及第二导电型敷层 (6) 的步骤;

在所述衬底上形成氮化镓的外延层 (2a) 的步骤;

将所述外延层构形为二维衍射光栅 (7) 的步骤, 其中通过在氮化镓的外延层之内制造多个柱或者孔、并且然后在相应空间中淀积低折射率材料来形成所述二维衍射光栅, 所述低折射率材料由选自 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 和 LiF 构成的组中的至少一种材料制成; 以及

沿所述衬底的主面, 在直接位于所述二维衍射光栅上的区域中生长含氮化镓的层 (12) 的步骤。

8. 根据权利要求 7 的半导体激光器件 (1) 的制造方法, 其中所述衬底 (3) 由导电的氮化镓或导电的碳化硅构成。

9. 一种半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 所述半导体激光器件包括具有外延层 (2a) 和低折射率材料 (2b) 的二维衍射光栅 (7), 所述制造方法包括:

在衬底 (3) 上依次外延形成第一导电型敷层 (4)、有源层 (5) 以及第二导电型敷层 (6) 的步骤;

在所述衬底上形成氮化镓的外延层 (2a) 的步骤;

在所述外延层中形成多个孔 (2e) 的步骤;

淀积低折射率材料 (2b) 的步骤, 其中, 在所述外延层中形成的多个孔中淀积所述低折

射率材料 (2b), 所述低折射率材料 (2b) 由选自由 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 和 LiF 构成的组中的至少一种材料制成; 以及

使用金属有机化学气相淀积, 沿所述衬底的主面, 在直接位于所述低折射率材料上的区域中生长包含氮化镓的层 (8) 的步骤。

10. 根据权利要求 9 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中在生长含氮化镓的层 (8) 的所述步骤中, 在环境压力等于或低于 90kPa 的状态下, 形成所述包含氮化镓的层。

11. 根据权利要求 9 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中在生长含氮化镓的层 (8) 的所述步骤中, 在环境压力等于或高于 10kPa 的状态下形成所述包含氮化镓的层。

12. 根据权利要求 9 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中形成多个孔 (2e) 的所述步骤包括, 在排除其中将形成所述多个孔的区域的所述外延层 (2a) 上, 形成抗蚀剂 (20) 的步骤, 以及使用所述抗蚀剂作为掩模, 刻蚀所述外延层的步骤, 以及

淀积低折射率材料的所述步骤包括, 通过汽相淀积, 在所述多个孔中和在所述抗蚀剂上淀积所述低折射率材料的步骤, 以及连同所述抗蚀剂一起除去所述抗蚀剂上的所述低折射率材料的步骤。

13. 根据权利要求 9 的半导体激光器件 (1b) 的制造方法, 其中在淀积低折射率材料 (2b) 的所述步骤中, 通过化学气相淀积来淀积所述低折射率材料。

半导体激光器件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种半导体激光器件及其制造方法。具体,涉及一种包括二维衍射光栅的半导体激光器件及其制造方法,该二维衍射光栅具有氮化镓(GaN)外延层。

背景技术

[0002] 分布反馈(DFB)激光器是通过在其中设置的一维衍射光栅,感应前行波和回行波的组合并使用源于该组合的驻波的激光器。该现象可能仅仅由具有特定波长的光引起,该特定波长满足该一维衍射光栅的布拉格条件。因此,DFB激光器可以稳定地振荡其纵向模式(光轴方向上的振荡光的共振模式)是单模式的光。

[0003] 另一方面,在DFB激光器中,除振荡光的光轴方向以外的任意方向上的光(换句话说,垂直于衍射光栅的方向)未建立驻波,即使该光被衍射光栅衍射,因此不被反馈。亦即,DFB激光器具有其中除振荡光的光轴方向以外的任意方向上的光不参与振荡并损失的缺点,由此发射效率被减小。

[0004] 因此,近年来,继续研制一种具有二维折射率分布的二维光子晶体激光器。该二维光子晶体激光器具有提高的发射效率,因为除振荡光的光轴方向以外的方向上传播的光被光子晶面在各个方向上衍射,以建立驻波。此外,该二维光子晶体激光器的特征在于它在垂直于光子晶体的主面的方向上提供表面发射,因此,可以增加激光输出。例如,常规二维光子晶体激光器具有下面所述的结构。

[0005] 二维光子晶体激光器包括n-型敷层、有源层、p-型敷层、InP衬底以及配置为形成双-异质结的两个电极。在InP衬底的主面中,以预定的晶格排列(例如,三角形晶格、正方形晶格等等)形成多个孔。因此,不包含孔的衬底部分具有InP($n = 3.21$)的折射率,包含孔的部分具有空气($n = 1$)的折射率,以致构成光子晶体(二维衍射光栅)的InP衬底的主面具有周期性的折射率分布。在InP衬底的主面上,依次形成n-型敷层、有源层以及p-型敷层。在p-型敷层的主面上形成两个电极之一,以及在其上不形成光子晶体的InP衬底的另一主面上,形成该两个电极的另一个。

[0006] 在这种二维光子晶体激光器中,通过在两个电极之间施加适当的电压,空穴和电子被注入到有源层。然后,当空穴和电子重新结合时,在有源层中产生具有预定波长的光。然后,有源层的这些光泄漏,以变为渐渐消失的光,传播到光子晶体层并在光子晶体层中的晶格点处(亦即,孔)被重复地布拉格-反射(Bragg-reflect)。结果,在晶格点之间建立具有相同波长和相同相位的驻波,以提供光。然后,这些光在垂直于光子晶体主面的方向上振荡。

[0007] 常规二维光子晶体激光器是通过制造第一元件、第二元件,在第一InP衬底上熔融涂敷光子晶体和直接位于该光子晶体(n-型敷层或p-型敷层)上的第二InP上的层,除去第二InP衬底并形成两个电极来制造的,该第一元件具有第一InP衬底和在其上形成的光子晶体,该第二元件具有第二InP衬底和在其上形成的n-型敷层、有源层和p-型敷层。

[0008] 例如,在专利文献1和非专利文献1和2中公开了常规二维光子晶体激光器。在

专利文献 1 中,公开了一种二维光子晶体激光器,具有由 n- 型 InP 制成的衬底和在该衬底上形成的 InGaAs 等等的光子晶体结构。此外,在非专利文献 1 中,公开了一种二维光子晶体激光器,具有由 InP 制成的衬底和在该衬底上形成的 InP 光子晶体。此外,在非专利文献 2 中,公开了一种二维光子晶体激光器,具有由 n- 型 InP 制成的衬底和具有孔的光子晶体。所有这些二维光子晶体激光器是振荡红外光的激光器。此外,在非专利文献 3 中,公开了 GaN 外延层的熔化工艺的技术。

[0009] 专利文献 1:日本专利特开号 2000-332351

[0010] 非专利文献 1:Mitsuru Yokoyama et al., " Surface-Emitting Two-Dimensional photonic Crystal Lasers ", J. Jpn. Soc. Infrared Science & Technology, vol. 12, No. 2, p17-23, 2003

[0011] 非专利文献 2:M. Imada, et al., " Coherent Two-Dimensional Lasing Action in Surface-Emitting Laser with Triangular-Lattice Photonic Crystal ", Applied Physics Letters, 75(3) pp. 316-318, 19 July 1999

[0012] 非专利文献 3:T. Tokuda, et al., " Wafer Fusion Technique Applied to GaN/GaN System ", Jpn. J. Appl. Phys., 39(2000) Pt. 2, No. 6 Bpp. L572-L574

发明内容

[0013] 本发明解决的问题

[0014] 近年来,振荡短波长光如蓝光和紫外光的二维光子晶体激光器的需求增加。为了振荡诸如蓝光和紫外光的短波长光,必须使用在紫外光区中具有带隙的材料如 GaN 作为光子晶体。但是,如果使用 GaN 作为光子晶体,当制造二维光子晶体激光器时,例如,产生如下所述的问题。

[0015] 如上所述,当制造二维光子晶体激光器时,光子晶体和将直接形成在该光子晶体上的层(n- 型敷层或 p- 型敷层)必须被分开地制造,然后互相熔化-涂敷。但是, GaN 晶体表面典型地具有 2nm 或更多的均方根(RMS)粗糙度,以及 GaN 晶体表面的平坦度是低的。因此, GaN 的光子晶体具有难以熔化其它层的问题。具体,在 p- 型 GaN 的光子晶体和 p- 型 GaN 的敷层互相熔化-涂敷的情况下,在光子晶体和敷层之间不会建立欧姆接触。

[0016] 此外,典型地在高温高压下,在还原气氛中发生 GaN 的光子晶体和直接形成在光子晶体上的层的熔化工序。因此,在熔化工序过程中有该器件可能被损坏如扭曲的问题。

[0017] 因此,本发明的目的是提供一种可以在没有熔化工序的条件下制造的半导体激光器件及其制造方法。

[0018] 解决该方法

[0019] 根据本发明的半导体激光器件,具有:具有主面的衬底;在其中主面延伸的方向上具有在衬底上形成的 GaN 外延层和具有低折射率材料的二维衍射光栅,该低折射率材料低于外延层的折射率;在衬底上形成的第一导电型敷层;在衬底上形成的第二导电型敷层;在第一导电型敷层和第二导电型敷层之间插入、且当往其中注入载流子时发光的有源层;以及覆盖直接位于二维衍射光栅上的区域的含 GaN 层。

[0020] 在根据本发明的半导体激光器件中,在外延层上直接外延生长该覆盖直接位于二维衍射光栅上的区域的含 GaN 层。亦即,可以在没有二维衍射光栅的熔化工序的条件下,在

二维衍射光栅上形成敷层等等,以及该层直接形成在二维衍射光栅上。因此,可以在没有熔化工序的条件下制造半导体激光器件。

[0021] 优选,在根据本发明的半导体激光器件中,外延层具有多个孔,以及该多个孔用低折射率材料填充,以形成衍射光栅点。

[0022] 在此情况下,半导体激光器件通过建立 TE 模式的光的驻波从而振荡光。

[0023] 优选,在根据本发明的半导体激光器件中,该低折射率材料具有多个孔,以及用形成外延层的 GaN 填充该多个孔,以形成衍射光栅点。

[0024] 在此情况下,半导体激光器件通过建立 TM 模式的光的驻波从而振荡光。

[0025] 优选,在根据本发明的半导体激光器件中,该覆盖直接位于二维衍射光栅上的区域的含 GaN 层和 GaN 的外延层构成一个层或者是连续外延生长的多个层。

[0026] 因此,该二维衍射光栅具有其中低折射率材料的顶表面和侧表面用外延层覆盖的结构。

[0027] 根据本发明的一个方面的半导体激光器件的制造方法包括以下步骤。在衬底上依次形成第一导电型敷层、有源层和第二导电型敷层。在该衬底上以预定图形淀积低折射率材料,该低折射率材料具有低于 GaN 的折射率。在淀积低折射率材料之后,在该衬底上形成 GaN 的外延层(外延层形成步骤)。在该外延层形成步骤之后,沿该衬底的主面,在直接位于低折射率材料上的区域中生长含 GaN 层。

[0028] 根据本发明的该方面的半导体激光器件的制造方法,在形成 GaN 的外延层之后,沿衬底的主面,在直接位于低折射率材料上的区域中的外延层上外延生长含该 GaN 层。因此,形成由外延层和折射率材料构成的二维衍射光栅和覆盖该二维衍射光栅的含 GaN 层。亦即,可以在没有熔化工序的条件下,在二维衍射光栅上形成直接形成在二维衍射光栅上的层。因此,可以在没有熔化工序的条件下,制造该半导体激光器件。

[0029] 优选,在上述制造方法中,第一导电型敷层、有源层和第二导电型敷层全都被外延生长。

[0030] 因此,第一导电型敷层、有源层和第二导电型敷层具有良好的结晶质量,以便在高于有源层的水平面形成外延层的情况下,可以提高外延层的结晶质量。

[0031] 优选,在根据本发明的半导体激光器件及制造方法中,低折射率材料由选自 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 和 LiF 构成的组的至少一种构成。

[0032] 所有这些材料具有充分低于外延层的折射率的折射率。通过增加外延层和低折射率材料之间的折射率差异,可以使该外延层有效地用作二维衍射光栅。此外,与在 GaN-基材料上相比较,在这些材料上难以生长该含 GaN 层,该含 GaN 层仅仅可以被有选择地生长在作为基体的 GaN-基材料上。

[0033] 优选,在上述制造方法中,低折射率材料的图形是多个柱状(column)的图形。在此情况下,二维衍射光栅具有通过低折射率材料形成的衍射光栅点,以及半导体激光器件通过建立 TE 模式的光的驻波,从而振荡光。

[0034] 优选,在上述制造方法中,低折射率材料的图形是多个孔的图形。在此情况下,二维衍射光栅具有由多个 GaN 外延层柱构成的衍射光栅点,以及半导体激光器件通过建立 TM 模式的光的驻波,从而振荡光。

[0035] 优选,在上述制造方法中,在生长该含 GaN 层的步骤中,使用金属有机化学气相淀

积形成该含 GaN 层。因此,促进沿衬底的主面生长该含 GaN 层。

[0036] 优选,在上述制造方法中,在生长该含 GaN 层的步骤中,在环境压力等于或低于 90kPa 的状态下,形成含 GaN 层。因此,促进沿衬底的主面生长该含 GaN 层。

[0037] 根据本发明另一方面的半导体激光器件的制造方法包括以下步骤。在衬底上依次外延生长第一导电型敷层、有源层和第二导电型敷层。在该衬底上形成 GaN 的外延层。外延层被构形为二维衍射光栅。沿衬底的主面,在直接位于二维衍射光栅上的区域中,生长含 GaN 层。

[0038] 根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法,沿衬底的主面,在直接位于二维衍射光栅上的区域中外延生长该含 GaN 层。以此方式,形成二维衍射光栅和覆盖该二维衍射光栅的含 GaN 层。亦即,可以在没有熔化工序的条件下,在二维衍射光栅上形成直接形成在二维衍射光栅上的层。因此,可以在没有熔化工序的条件下制造该半导体激光器件。

[0039] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中。在构形为二维衍射光栅的步骤中,在外延层中形成多个气孔。

[0040] 在此情况下,二维衍射光栅具有由多个气孔构成的衍射光栅点,以及半导体激光器件通过建立 TE 模式的光的驻波,从而振荡光。

[0041] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中,在构形为二维衍射光栅的步骤中,外延层被构形为多个柱。

[0042] 在此情况下,二维衍射光栅具有由彼此被空气隔开的多个外延层柱构成的衍射光栅点,以及该半导体激光器件通过建立 TM 模式的光的驻波,从而振荡光。

[0043] 优选,在根据本发明的半导体激光器件的制造方法中,该衬底由导电的 GaN 或导电的 SiC(碳化硅)构成。

[0044] 如果在导电的 GaN 或导电的 SiC 上外延生长 GaN,那么产生具有低位错密度和高平坦度的 GaN 晶体。因此,外延层的位错密度可以被降低,以及其平坦度可以被提高。此外,如果所使用的衬底是导电的,那么电极可以被连接到衬底,以及可以通过该衬底注入电流,以便高电流密度的电流可以被注入到有源层中。

[0045] 根据本发明的另一方面的半导体激光器件的制造方法包括以下步骤。在衬底上依次外延生长第一导电型敷层、有源层和第二导电型敷层。在该衬底上形成 GaN 的外延层。在该外延层中形成多个孔。使用金属有机化学气相淀积,沿衬底的主面,在直接位于多个孔上的区域中生长含 GaN 层。

[0046] 根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法,沿衬底的主面,在直接位于该多个孔之上的区域中外延生长该含 GaN 层。以此方式,形成二维衍射光栅和覆盖该二维衍射光栅的含 GaN 层。亦即,可以在没有熔化工序的条件下,在二维衍射光栅上形成直接形成在二维衍射光栅上的层。因此,可以在没有熔化工序的条件下制造该半导体激光器件。

[0047] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中,在生长含 GaN 层的步骤中,在环境压力等于或低于 90kPa 的状态下形成含 GaN 层。因此,促进沿衬底的主面生长该含 GaN 层,以及可以用该含 GaN 层容易地覆盖直接位于该多个气孔上面的区域。

[0048] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中,在生长含 GaN 层的步骤中,在环境压力等于或高于 10kPa 的状态下形成该含 GaN 层。在减小的环境压力

下,促进该含 GaN 层的水平生长(在平行于衬底主面的方向上)。但是,通过保持环境压力等于或高于 10kPa,可以防止过度地促进水平生长,以及可以防止该含 GaN 层生长在孔的侧表面上。

[0049] 优选,根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法,还包括在形成多个孔的步骤之后,在该多个孔中淀积低折射率材料的步骤,该低折射率材料具有低于 GaN 的折射率。因此,可以防止该含 GaN 层生长在该孔中。此外,可以通过该低折射率材料形成衍射光栅点。

[0050] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中,形成多个孔的步骤包括,在排除其中将形成多个孔的区域的外延层上,形成抗蚀剂的步骤,和使用该抗蚀剂作为掩模刻蚀该外延层的步骤。淀积低折射率材料的步骤包括,通过汽相淀积,在该多个孔中和在抗蚀剂上淀积低折射率材料的步骤,以及连同抗蚀剂一起除去抗蚀剂上的低折射率材料的步骤。

[0051] 因此,抗蚀剂上的任意过多的低折射率材料可以连同抗蚀剂一起被除去。

[0052] 优选,在根据本发明的这些方面的半导体激光器件的制造方法中,在淀积低折射率材料的步骤中,通过化学气相淀积来淀积该低折射率材料。

[0053] 如果使用化学气相淀积,那么沿孔的内壁(侧表面和底表面)淀积低折射率材料。因此,可以用低折射率材料覆盖该孔的整个内壁,以及可以防止在该孔中生长含 GaN 层。

[0054] 发明效果

[0055] 根据本发明的半导体激光器件及其制造方法,可以在没有熔化(fusion)工序的条件下制造半导体激光器件。

附图说明

[0056] 图 1 示出了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件的结构透视图;

[0057] 图 2 是沿图 1 中的 II-II 线的剖面图;

[0058] 图 3 是示出了根据本发明实施例 1 的光子晶体层的结构透视图;

[0059] 图 4 是示出了具有“a”的晶格常数的三角形晶格的视图,该三角形晶格用作二维衍射光栅;

[0060] 图 5 是示出了图 4 所示的三角形晶格的倒晶格空间的视图;

[0061] 图 6(a) 是光子能带图,示出了用于根据平面波扩展方法执行的光子晶体层的带计算结果,该光子晶体层由具有图 4 所示的三角形晶格结构的 InP 制成,以及特别示出了涉及 TE 模式的计算结果,以及图 6(b) 是图 6(a) 所示的 S 点附近的区域的放大图;

[0062] 图 7 是图示了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第一步骤的视图;

[0063] 图 8 是图示了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第二步骤的视图;

[0064] 图 9 是图示了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第三步骤的视图;

[0065] 图 10 是图示了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第四步骤的视图;

[0066] 图 11 是图示了在根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第五步骤中生长外延层的示意图,其中图 11(a) 示出了第一状态,图 11(b) 示出了第二状态,其中图 11(c) 示出了第三状态,其中图 11(d) 示出了第四状态,其中图 11(e) 示出了第五状态,以及其中图 11(f) 示出了第六状态;

[0067] 图 12 是图示了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件制造方法的第六步骤的视图;

[0068] 图 13 是示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件的结构剖面图;

[0069] 图 14 是示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件制造方法的第一步骤的视图;

[0070] 图 15 是示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件制造方法的第二步骤的视图;

[0071] 图 16 是示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件制造方法的第三步骤的视图;

[0072] 图 17 是图示了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件制造方法的第四步骤中生长外延层的示意图,其中,图 17(a) 示出第一状态,图 17(b) 示出第二状态,图 17(c) 示出了第三状态,图 17(d) 示出了第四状态,图 17(e) 示出了第五状态,以及图 17(f) 示出了第六状态;

[0073] 图 18 是示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件制造方法的第五步骤的视图;

[0074] 图 19 是示出了根据本发明实施例 3 的半导体激光器件的结构剖面图;

[0075] 图 20 是示出了根据本发明实施例 3 的半导体激光器件制造方法的第一步骤的视图;

[0076] 图 21A 是示出了根据本发明实施例 3 的半导体激光器件制造方法的第二步骤的视图;

[0077] 图 21B 是示出了根据本发明实施例 3 的半导体激光器件制造方法的选择性第二步骤的视图;

[0078] 图 22 是图示了在根据本发明实施例 3 的半导体激光器件制造方法的第三步骤中生长外延层的示意图,其中图 22(a) 示出了第一状态,图 22(b) 示出了第二状态,图 22(c) 示出了第三状态,以及图 22(d) 示出了第四状态;

[0079] 图 23 是示出了根据本发明实施例 4 的光子晶体层的结构透视图;

[0080] 图 24 是示出了具有“d”的晶格常数的正方形晶格的视图,该正方形晶格用作二维衍射光栅;

[0081] 图 25 是示出了根据本发明实施例 5 的半导体激光器件的结构透视图;

[0082] 图 26 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件制造方法的第一步骤的视图;

[0083] 图 27A 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件制造方法的第二步骤的视图;

[0084] 图 27B 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件制造方法的第二步骤的改进的视图;

[0085] 图 28 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件制造方法的第三步骤的视图；

[0086] 图 29 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件制造方法的第四步骤的视图；

[0087] 图 30 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件的另一制造方法的第一步骤的视图；

[0088] 图 31 是示出了根据本发明实施例 6 的半导体激光器件的另一制造方法的第二步骤的视图；

[0089] 图 32 是示出了在本发明的例 4 中环境压力保持在大气压的情况下，光子晶体层的状态的显微镜图片；

[0090] 图 33 是示出了在本发明的例 4 中环境压力保持在 20kPa 的情况下，光子晶体层状态的显微镜图片；

[0091] 图 34 是示出了在本发明的例 6 中环境压力保持在 20kPa 的情况下，光子晶体层状态的显微镜图片；

[0092] 图 35 是示出了在本发明的例 6 中环境压力保持在 60kPa 的情况下，光子晶体层状态的显微镜图片；

[0093] 图 36 是示出了在本发明的例 6 中，在孔中淀积 SiO_2 的情况下，光子晶体层的状态的显微镜图片，该 SiO_2 是低折射率材料；以及

[0094] 图 37 是示出了在本发明的例 6 中，在孔中不淀积 SiO_2 的情况下，光子晶体层的状态的显微镜图片，该 SiO_2 是低折射率材料。

[0095] 参考符号的描述

[0096] 1, 1a-1c 半导体激光器件，

[0097] 2a 外延层，

[0098] 2b 衍射光栅点（低折射率材料，孔），

[0099] 2c, 2e, 20a 孔，

[0100] 2d 沟槽，

[0101] 3 衬底，

[0102] 3a, 3b 衬底主面，

[0103] 4, 8 n- 型敷层，

[0104] 5 有源层，

[0105] 6, 8 p- 型敷层，

[0106] 7, 7a 光子晶体层（二维衍射光栅），

[0107] 9 接触层，

[0108] 9a 发光表面，

[0109] 10, 11 电极，

[0110] 12 GaN 层，

[0111] 17 光子晶体层表面，

[0112] 18 直接处于低折射率材料上的区域，

[0113] 20 抗蚀剂 (resist)，

[0114] 20b 柱,

[0115] 24 由低折射率材料制成的薄膜。

具体实施方式

[0116] 下面,将参考附图描述本发明的实施例。

[0117] (实施例 1)

[0118] 图 1 示出了根据本发明实施例 1 的半导体激光器件的结构透视图。图 2 是沿图 1 中的线 II-II 的剖面图。如图 1 和 2 所示,半导体激光器件 1 包括衬底 3、n- 型敷层 4、有源层 5、p- 型敷层 6、用作二维衍射光栅的光子晶体层 7、GaN 层 12、p- 型敷层 8、接触层 9 以及电极 10 和 11。

[0119] 衬底 3 例如由导电的 GaN 或导电的 SiC 构成,并具有主面 3a 和 3b。在衬底 3 上形成 n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6,以及在 n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 之间插入有源层 5。光子晶体层 7 形成在衬底 3 上并在其中主面 3a 延伸的方向上延伸。此外,光子晶体层 7 包括外延层 2a 和多个衍射光栅点(低折射率材料)2b,该低折射率材料 2b 具有低于外延层 2a 的折射率。外延层 2a 由 GaN 构成。此外,外延层 2a 具有在其中形成的多个孔 2c,以及该多个孔 2c 用低折射率材料填充。低折射率材料形成衍射光栅点 2b。

[0120] 光子晶体层 7 和覆盖光子晶体层 7 的 GaN 层 12 都由 GaN 构成,且因此构成一个层(在其间没有边界)。在本发明中,GaN 层 12 不是必需的层,以及例如,在光子晶体层 7 上可以直接形成由 AlGaIn 构成的 p- 型敷层 8。

[0121] 在衬底 3 上,依次层叠 n- 型敷层 4、有源层 5、p- 型敷层 6、光子晶体层 7、GaN 层 12、p- 型敷层 8 以及接触层 9。在接触层 9 上设置圆形电极 10,以及形成电极 11,覆盖与主面 3a 相对的衬底 3 的整个主面 3b。电极 10 和 11 由 Au(金)构成。

[0122] 有源层 5 包含 GaN 并由多量子阱构成,该多量子阱例如由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ ($0 \leq x, y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$) 构成。有源层 5 可以以沿光子晶体层 7 形成的多个量子线的形式设置并在预定方向上延伸。另外,有源层 5 可以以沿光子晶体层 7 形成的多个量子盒 (quantum box) 的形式设置。每个量子线具有在垂直于其纵向的两个方向上提供离散电子能级的尺寸(例如,约为几十 nm)。每个量子盒具有在彼此垂直的三个方向上提供离散电子能级的尺寸(例如,约为几十 nm)。这种量子结构导致高密度状态,以便发光效率被提高,以及发射光谱被尖锐化。

[0123] 图 3 示出了根据本发明实施例 1 的光子晶体层的结构透视图。如图 3 所示,在光子晶体层 7 中,在外延层 2a 的表面 17 上形成多个衍射光栅点 2b,以形成三角形晶格。每个衍射光栅点 2b 的中心与最靠近的相邻六个衍射光栅点 2b 隔开相等距离。孔中心之间的距离是,例如, $0.19 \mu\text{m}$, 以及每个孔 2b 的直径是,例如, $0.09 \mu\text{m}$ 。

[0124] 外延层 2a 具有第一折射率(在 GaN 的情况,是 2.54),以及低折射率材料的周期性形成的衍射光栅点 2b 具有第二折射率。通过增加第一和第二折射率之间的差异,可以获得光子晶体的希望性能。低折射率材料 2b 可以是具有低于至少外延层 2a 的折射率的任意材料,如 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 和 LiF 。

[0125] 光子晶体层 7 是衍射光栅,在第一方向和第二方向上具有相等周期,相对于第一方向成预定角度(“周期”意味着等于晶格常数的值)。光子晶体层 7 的各个方向中的两个

方向和周期可以以多种方式选择。此外,直接位于电极 10 下面的光子晶体层 7 的区域 A(图 1) 是从电极 10 注入高电流密度的电流的区域,且因此用作发光的区域。半导体激光器件 1 的发光方法之后将被描述。

[0126] 参考图 1 和 2, n- 型敷层 4 由例如, n- 型 AlGaIn 构成,以及 p- 型敷层 6 由例如, p- 型 AlGaIn 构成。n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 用作导电层,传导将提供给有源层 5 的载流子。因此,n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 布置有在其间插入的有源层 5。此外,n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 都用作限制层,限制载流子(电子和空穴)以及有源层 5 中的光。亦即, n- 型敷层 4、有源层 5 以及 p- 型敷层 6 形成双异质结。因此,在有源层 5 中可以集中有助于发光的载流子。

[0127] 此外, p- 型敷层 6 用作阻挡层,防止电子进入光子晶体层 7。因此,可以抑制光子晶体层 7 中的电子和空穴的非辐射再结合。

[0128] p- 型敷层 8 由例如 p- 型 AlGaIn 构成。p- 型敷层 8 用作导电层,传导将被提供给有源层 5 的载流子。此外, p- 型敷层 8 用作限制层,限制在光子晶体层 7 下面布置的层中的载流子(电子)和光。此外,形成接触层 9,以与电极 10 提供欧姆接触。

[0129] 为了说明,下面将列出根据该实施例的半导体激光器件 1 的元件尺寸。例如,衬底 3 具有 $100\ \mu\text{m}$ 的厚度,光子晶体层 7 具有 $0.1\ \mu\text{m}$ 的厚度, n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 8 每个具有 $0.5\ \mu\text{m}$ 的厚度,以及有源层 5 和 p- 型敷层 6 具有 $0.1\ \mu\text{m}$ 的厚度。

[0130] 现在,将参考图 1 至 3 描述半导体激光器件 1 的发光方法。

[0131] 当正电压被施加到电极 10 时,空穴从 p- 型敷层 6 和 8 注入到有源层 5 中,以及电子从 n- 型敷层 4 注入到有源层 5 中。一旦空穴和电子(载流子)被注入到有源层 5 中,载流子被重新结合,从而发光。发射光的波长取决于有源层 5 的半导体层的带隙。

[0132] 在有源层 5 中,通过 n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 限制有源层 5 中发射的光。但是,达到光子晶体层 7 的部分光作为逐渐消失的光。如果达到光子晶体层 7 的逐渐消失光的波长相应于光子晶体层 7 的预定周期,那么感应具有对应于该周期的波长的驻波。

[0133] 在区域 A 和位于电极 10 中心的周围区中可以发生这种现象,因为形成二维延伸的有源层 5 和光子晶体层 7。由于驻波的反馈效应允许激光振荡。

[0134] 现在,将参考特定的例子描述二维衍射光栅(光子晶体层)7。二维衍射光栅具有可以在相同周期下在至少两个方向上转换的性能结构,以与转换之前的结构相配。这种二维衍射光栅由没有任何间隙布置的正三角形、正方形或正六边形构成,具有在其顶点设置的晶格点。在本说明书中,由正三角形构成的光栅称为三角形晶格,由正方形构成的光栅被称为正方形晶格,以及由正六边形构成的光栅被称为六边形晶格。

[0135] 图 4 示出了具有“a”的晶格常数的三角形晶格的视图,该三角形晶格用作二维衍射光栅。该三角形晶格用正三角形填充,其侧面具有“a”的长度。在图 4 中,晶格点 A 被任意选择,以及从晶格点 A 朝向晶格点 B 的方向被称为 X- Γ 方向,以及从晶格点 A 朝向晶格点 C 的方向被称为 X-J 方向。关于本实施例,将描述有源层 5 中发射的光波长对应于 X- Γ 方向上的晶格周期的情况。

[0136] 二维衍射光栅 7 可以被认为是包括如下所述的三个一维衍射光栅组 L、M 和 N。一维衍射光栅组 L 由在 Y 轴方向上布置的一维光栅 L_1 、 L_2 、 L_3 等等构成。一维衍射光栅组 M 由相对于 X 轴方向成 120° 角的方向上布置的一维光栅 M_1 、 M_2 、 M_3 等等构成。一维衍射光栅组

N 由相对于 X 轴方向成 60 度角的方向上布置的一维光栅 N_1 、 N_2 、 N_3 等等构成。如果围绕任意晶格点旋转 120 度,那么这三个一维衍射光栅组 L、N 和 M 彼此相配。在一维衍射光栅组 L、N 和 M 的每一个中,相邻的两个一维光栅之间的距离是“d”,以及每个一维光栅中的相邻两个晶格点之间的距离是“a”。

[0137] 首先,将考虑光栅组 L。在从晶格点 A 至晶格点 B 的方向上传播的光在晶格点 B 衍射。衍射的方向由布拉格条件 (Bragg condition) $2d \sin \theta = m \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) 限定。这里, λ 表示外延层 2a 中的光波长。在衍射光栅被配置为提供第二级布拉格反射 ($m = \pm 2$) 的情况下,在 $\theta = \pm 60$ 度和 ± 120 度的位置存在其他晶格点 D, E, F 和 G。此外,在 $\theta = 0$ 度和 180 度的位置,对应于 $m = 0$ 的情况,存在晶格点 A 和 K。

[0138] 例如,根据光栅组 M 中的规则,在晶格点 B 处衍射的光朝向晶格点 D 被衍射。该衍射可以用和根据光栅组 L 中的规则的衍射相同的方法来考虑。然后,根据光栅组 N 中的规则,在晶格点 D 处衍射的光朝向晶格点 H 被衍射。以此方式,在晶格点 H、晶格点 I 和晶格点 J,光被连续地衍射。根据光栅组 N 中的规则,在晶格点 J 处衍射的光朝向晶格点 A 被衍射。

[0139] 如上所述,在多次衍射之后,从晶格点 A 传播到晶格点 B 的光达到最初晶格点 A。因此,在半导体激光器件 1 中,由于在多次衍射之后,在某些方向上传播的光回到最初晶格点的位置,在该晶格点之间建立驻波。因此,二维衍射光栅 7 用作光谱振器,亦即,波长选择器和反射器。

[0140] 此外,在布拉格条件 $2d \sin \theta = m \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) 中,如果“m”是奇数,那么在 $\theta = \pm 90$ 度的方向上发生布拉格反射。这意味着在垂直于二维衍射光栅 7 的主面的方向(垂直于图 4 纸张平面的方向)上也发生强衍射。因此,在垂直于二维衍射光栅 7 的主面的方向上可以发射光,亦即可以从发光表面 9a 发射(图 1)(可以获得表面发射)。

[0141] 此外,在二维衍射光栅 7 中,考虑发生如上所述现象的地点处的晶格点 A 被任意地选择的事实,在二维布置的所有晶格点处可以发生上述光衍射。因此,通过布拉格衍射,可以认为各个光栅组的 X- Γ 方向上传播的光的射线彼此被二维结合。可以认为,在二维衍射光栅 7 中,通过这种二维组合,结合三个 X- Γ 方向,以提供相干状态。

[0142] 图 5 示出了图 4 所示的三角形晶格的倒晶格空间的视图。示出 Γ 点、X 点、J 点, Γ 点是倒晶格空间中的明亮区的中心点,X 点位于连接明亮区的 Γ 点和相邻明亮区的 Γ 点的线与明亮区之间的边界交叉处,以及 J 点位于三个相邻明亮区彼此毗连的地点处。由图 5 中的 Γ 点、X 点和 J 点限定的方向对应于参考图 4 描述的 Γ -X 轴方向和 Γ -J 方向。

[0143] 图 6(a) 是光子能带图,示出了用于根据平面波扩展方法执行的光子晶体层的能带计算结果,光子晶体层由具有图 4 所示的三角形晶格结构的 InP 制成。具体,图 6(a) 示出了涉及 TE 模式的计算结果。图 6(b) 是图 6(a) 所示的 S 点附近的区域的放大图。图 1 中所示的光子晶体层 7 具有图 6(a) 所示的分散关系,亦即,具有光子能带结构。在该说明书中,“光子能带结构”意味着基于介质中形成的至少二维周期性折射率分布的光子能量限定的分散关系。

[0144] 参考图 6(a) 和 6(b),在 Γ 点及其附近的波数范围中,在由参考字符“S”和“P”表示的区域存在光子带隙。这里,由参考字符“S”表示的区域称为第一光子带隙,以及由参考字符“P”表示的区域称为第二光子带隙。第一光子带隙的归一化频率 ω_1 约为 0.35,以及第二光子带隙的归一化频率 ω_2 约为 0.61。这里,由于 Γ 点是波数矢量 $k = 0$ 处的点,如

果光的归一化频率 ω 是归一化频率 ω_1 和 ω_2 , 那么不考虑晶体取向建立驻波。如果根据本申请, 在由 GaN 构成的光子晶体 (三角形晶格) 上执行类似计算, 那么第一光子带隙的归一化频率 ω_1 约为 0.47, 以及第二光子带隙的归一化频率 ω_2 约为 0.82。

[0145] 现在, 将参考图 7 至 12 描述根据该实施例的半导体激光器件 1 的制造方法。

[0146] 首先, 参考图 7, 制备由导电的 GaN 或导电的 SiC 构成的衬底 3。然后, 使用金属有机化学气相淀积 (MOCVD) 方法, 例如, 在衬底 3 上依次外延生长 n- 型敷层 4、有源层 5 和 p- 型敷层 6。尽管未示出, 但是在衬底 3 上可以直接形成缓冲层, 以及在该缓冲层上可以形成 n- 型敷层 4。

[0147] 然后, 参考图 8, 通过电子束光刻技术, 在 p- 型敷层 6 上形成具有预定图形的抗蚀剂 20 (构图层)。在图 8 中, 抗蚀剂 20 具有以三角形晶格结构布置的多个孔 20a 的图形。

[0148] 然后, 参考图 9, 通过汽相淀积, 在抗蚀剂 20 上形成低折射率材料的薄膜 24, 以用该低折射率材料填充多个孔 20a。然后, 参考图 10, 连同抗蚀剂 20 一起除去 (剥离) 抗蚀剂 20 上形成的薄膜 24。因此, 在 p- 型敷层 6 上留下以三角形晶格布置的多个低折射率材料柱 2b。

[0149] 然后, 清洗 p- 型敷层 6 的表面, 然后, 通过 MOCVD, 在 p- 型敷层 6 上形成由 GaN 构成的外延层 2a 和 GaN 层 12。图 11(a) 至 11(f) 连续地图示了根据本发明实施例 1 的外延层的生长示意图。这里, 图 11(a) 是图 10 所示的 B 部分的放大视图。

[0150] 参考图 11(a) 至 11(f), 在 V 族材料气体与 III 族材料气体的比率高于典型的 GaN 外延生长条件的条件下, 亦即, 在其中包含大量氨气的条件下, 外延生长 GaN。然后, 不在低折射率材料柱 2b 的顶和侧表面上外延生长 GaN, 而是仅仅在 p- 型敷层 6 ((a) $\rightarrow$ (b)) 的露出表面上有选择地外延生长 GaN (外延层 2a)。在该附图中, 向上生长 GaN, 以达到低折射率材料柱 2b ((b) $\rightarrow$ (c)) 的上端部。以此方式, 提供光子晶体层 7 (图 1), 具有用低折射率材料 2b 填充外延层中的多个孔 2c 的结构。

[0151] 一旦达到低折射率材料柱 2b 的上端部, 在该图中的水平方向上, 在直接位于低折射率材料柱 2b 上的区域 18 中生长 GaN (GaN 层 12) ((c) $\rightarrow$ (d))。GaN 的生长方向沿衬底 3 的主面 3a (图 1)。然后, 一旦用 GaN 完全覆盖直接位于该低折射率材料上的区域 18, 在该图中再次向上生长 GaN 层 12 ((d) $\rightarrow$ (e) $\rightarrow$ (f))。以此方式, 形成 GaN 层 12。图 12 示出了在 p- 型敷层 6 上形成光子晶体层 7 和 GaN 层 12 之后的状态。

[0152] 如上所述, 通过调整 GaN 的外延生长的条件, 可以在没有熔化的条件下, 在光子晶体层 7 上形成 GaN 层 12。

[0153] 这里, 为了在图 11(c) 至 11(e) 所示的图中水平生长覆盖光子晶体层 7 的层 (该图中的 GaN 层 12), 该覆盖光子晶体层 7 的层优选包含 Ga、In 和 Al 和 N 的任意一种。此外, 为了在图中水平生长覆盖光子晶体层 7 的层, 在等于或低于 90kPa 的环境压力下, 或优选, 等于或低于 70kPa 的环境压力下, 形成覆盖光子晶体层 7 的层。

[0154] 关于该实施例, 尽管已经图示了其中外延层 2a 覆盖直接位于低折射率材料柱 2b 上的区域的结构, 但是本发明不局限于这种结构。例如, 当外延层 2a 达到低折射率材料柱 2b 的上端部时 (在图 11(c) 的时候), 外延生长条件可以被改变, 以连续地生长包含 GaN 的 p- 型敷层 8 (例如, 由 AlGaIn 构成的 p- 型敷层 8)。在此情况下, 用 p- 型敷层 8 覆盖直接位于低折射率材料柱 2b 上的区域 18。上述情况也适用于之后描述的实施例 2。

[0155] 然后,参考图 2,通过 MOCVD,在 GaN 层 12 上依次外延生长 p- 型敷层 8 和接触层 9。然后,在接触层 9 的发光表面 9a 上形成电极 10,以及在衬底 3 的主面 3b 上形成电极 11,由此完成半导体激光器件 1。

[0156] 根据该实施例的半导体激光器件 1 具有衬底 3,该衬底 3 具有主面 3a;由沿其中主面 3 延伸的方向在衬底 3 上形成的 GaN 所构成的外延层 2a;包含低折射率材料 2b 的光子晶体层 7,该低折射率材料 2b 具有低于外延层 2a 的折射率;在衬底 3 上形成的 n- 型敷层 4;在衬底 3 上形成的 p- 型敷层 6;插入 n- 型敷层 4 和 p- 型敷层 6 之间、且当往其中注入载流子时发光的有源层 5 以及覆盖光子晶体层 7 的 GaN 层 12。

[0157] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 中,在外延层 2a 上直接外延生长覆盖光子晶体层 7 的 GaN 层 12。亦即,在光子晶体层 7 上可以在没有熔化的条件下,直接形成覆盖光子晶体层 7 的层。因此,可以在没有熔化工序的条件下,制造该半导体激光器件。

[0158] 此外,在根据该实施例的半导体激光器件 1 中,由于衍射光栅点由低折射率材料 2b 构成,与衍射光栅点由空气构成的情况相比较,在外延层 2a 和衍射光栅点之间的界面处难以发生载流子的非辐射再结合。因此,半导体激光器件的性能可以被提高。

[0159] 此外,在根据该实施例的半导体激光器件 1 中,由于衍射光栅点由低折射率材料 2b 构成,与衍射光栅点由空气构成的情况不同,可以防止空气中的湿气或其他杂质进入器件的内部或留在器件中。因此,可以提高半导体激光器件的可靠性。

[0160] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 中,外延层 2a 具有多个孔 2c,以及多个孔 2c 用低折射率材料 2b 填充,以形成衍射光栅点。

[0161] 因此,提供通过建立 TE 模式的光的驻波振荡光的半导体激光器件。

[0162] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 中,GaN 层 12 和外延层 2a 构成一个层或连续地外延生长成层状。

[0163] 因此,提供光子晶体层 7,具有其中用外延层覆盖低折射率材料柱 2b 的顶和侧表面的结构。

[0164] 根据该实施例的半导体激光器件 1 的制造方法包括以下步骤。在衬底 3 上依次形成 n- 型敷层 4、有源层 5 以及 p- 型敷层 6。在衬底 3 上形成低折射率材料 2b 的薄膜 24,低折射率材料 2b 具有低于具有预定图形的 GaN 的折射率。在形成薄膜 24 之后,在衬底 3 上形成 GaN 的外延层 2a(外延层形成步骤)。在外延层形成步骤之后,在直接位于低折射率材料 2b 上的区域中,沿衬底 3 的主面 3a 生长 GaN 层 12。

[0165] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 的制造方法中,在形成 GaN 的外延层 2a 之后,在外延层 2a 上外延生长 GaN 层 12,然后沿衬底 3 的主面 3a 生长,在直接位于低折射率材料 2b 上的区域 18 中生长。以此方式,形成光子晶体层 7 和覆盖光子晶体层 7 的 GaN 层 12。亦即,在没有熔化的条件下,在光子晶体层 7 上可以直接形成覆盖光子晶体层 7 的层。因此,可以在没有熔化工序的条件下,制造该半导体激光器件。

[0166] 在如上所述的制造方法中,n- 型敷层 4、有源层 5 和 p- 型敷层 6 全都被外延生长。

[0167] 因此,n- 型敷层 4、有源层 5 和 p- 型敷层 6 具有改进的结晶质量,以便在高于有源层的水平面形成外延层的情况下,可以改进外延层 2a 的结晶质量。

[0168] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 及其制造方法中,低折射率材料 2b 是 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 或 LiF 。

[0169] 所有这些材料具有充分低于外延层 2a 的折射率。通过增加外延层 2a 和低折射率材料 2b 之间的折射率差异,可以形成具有良好性能的光子晶体层。此外,与在外延层 2a 相比较,在这些材料上难以生长 GaN 层 12,因此,可以仅仅在外延层 2a 上有选择地生长 GaN 层 12。

[0170] 在上述制造方法中,抗蚀剂 20 优选具有多个孔 20a 的图形。因此,可以提供具有由低折射率材料 2b 构成的衍射光栅点的光子晶体层 7,以及可以提供通过建立 TE 模式的光的驻波振荡光的半导体激光器件。

[0171] 在根据该实施例的半导体激光器件 1 及其制造方法中,衬底 3 由导电的 GaN 或导电的 SiC 构成。

[0172] 如果在导电的 GaN 或导电的 SiC 上外延生长 GaN,那么可以制造具有低位错密度和高平坦度的 GaN 晶体。因此,外延层 2a 的位错密度可以被降低,以及其平坦度可以被提高。此外,如果使用的衬底是导电的,那么电极 11 可以被连接到衬底 3,以及可以通过该衬底 3 注入电流,以便高电流密度的电流可以被注入到有源层中。

[0173] (实施例 2)

[0174] 图 13 示出了根据本发明实施例 2 的半导体激光器件的结构剖面图。如图 13 所示,根据该实施例的半导体激光器件 1a 的光子晶体层 7 的结构不同于根据实施例 1 的半导体激光器件 1。具体地,低折射率材料 2b 具有多个孔 2c,以及多个孔 2c 的每一个用 GaN 的外延层 2a 填充,GaN 的外延层 2a 构成衍射光栅点。换句话说,尽管在根据实施例 1 的半导体激光器件 1 中,衍射光栅点由低折射率材料 2b 构成,但是根据该实施例的半导体激光器件 1a 中的衍射光栅点由外延层 2a 构成。

[0175] 半导体激光器件 1a 的其余结构与根据实施例的半导体激光器件 1 的相同。因此,相同元件由相同的参考符号表示,以及其描述将被省略。

[0176] 在下面,将参考图 14 至 18 描述根据该实施例的半导体激光器件 1a 的制造方法。

[0177] 根据该实施例,首先,接着进行与图 7 所示的实施例 1 相同的制造工序。然后,参考图 14,通过电子束光刻技术,在 p- 型敷层 6 上形成具有预定图形的抗蚀剂 20(构图层)。在图 14 中,抗蚀剂 20 具有以三角形晶格结构布置的多个柱 20b 的图形。

[0178] 然后,参考图 15,通过汽相淀积在抗蚀剂 20 上形成低折射率材料的薄膜 24,以用该低折射率材料填充多个柱 20b 之间的空间。然后,参考图 16,连同抗蚀剂 20 一起除去(剥离)抗蚀剂 20 上形成的薄膜 24。因此,在 p- 型敷层 6 上形成以具有三角形晶格布置的多个孔 2c 的低折射率材料 2b。

[0179] 然后,p- 型敷层 6 的表面被清洗,然后,通过 MOCVD,在 p- 型敷层 6 上形成由 GaN 构成的外延层 2a 和 GaN 层 12。图 17(a) 至 17(f) 连续地图示了根据本发明实施例 2 的外延层的生长示意图。这里,图 17(a) 是图 16 所示的 C 部分的放大视图。

[0180] 参考图 17(a) 至 17(f),在 V 族材料气体与 III 族材料气体的比率高于典型的 GaN 外延生长条件的条件下,或换句话说,在其中包含较小量氯气和较大量氨气的条件下,外延生长 GaN。然后,不在低折射率材料 2b 的顶和侧表面上外延生长 GaN,而是仅仅在孔 2c((a) → (b)) 的底部露出的 p- 型敷层 6 的表面上有选择地外延生长 GaN(外延层 2a)。在该图中,向上生长 GaN,以到达低折射率材料 2b((b) → (c)) 的上端。以此方式,提供光子晶体层 7,具有用该外延层填充低折射率材料中的多个孔 2c 的结构。

[0181] 一旦到达低折射率材料柱 2b 的上端,在该图中的水平方向上,在直接位于低折射率材料柱 2b 上的区域 18 中生长 GaN(GaN 层 12)((c) → (d) → (e))。GaN 层 12 的生长方向沿衬底 3 的主面 3a(图 13)。然后,一旦用 GaN 完全覆盖直接位于低折射率材料上的区域 18,在该图中,再次向上生长 GaN 层 12((e) → (f))。以此方式,形成 GaN 层 12。图 18 示出了在 p- 型敷层 6 上形成光子晶体层 7 和 GaN 层 18 之后的状态。

[0182] 然后,参考图 13,通过 MOCVD,在 GaN 层 12 上依次外延生长 p- 型敷层 8 和接触层 9。然后,在接触层 9 的发光表面 9a 上形成电极 10,以及在衬底 3 的主面 3b 上形成电极 11,由此完成半导体激光器件 1a。

[0183] 根据该实施例的半导体激光器件 1a 可以提供与实施例 1 的半导体激光器件 1 相同的效果。

[0184] 在根据该实施例的半导体激光器件 1a 中,由于衍射光栅点由外延层 2b 构成,与衍射光栅点由空气构成的情况相比较,在低折射率材料 2b 和衍射光栅点之间的界面难以发生载流子的非辐射再结合。因此,该半导体激光器件的性能可以被提高。

[0185] 此外,在根据该实施例的半导体激光器件 1a 中,由于衍射光栅点由外延层 2a 构成,与衍射光栅点由空气构成的情况不同,可以防止湿气或空气中的其他杂质进入器件的内部或留在器件中。因此,可以提高半导体激光器件的可靠性。

[0186] 在根据该实施例的半导体激光器件 1a 中,低折射率材料 2a 具有多个孔 2c,以及多个孔 2c 用外延层 2a 填充,以形成衍射光栅点。

[0187] 在根据该实施例的半导体激光器件 1a 的制造方法中,抗蚀剂 20 具有多个柱 20b 的图形。

[0188] 因此,可以提供光子晶体层 7,其具有由外延层 2a 的柱构成的衍射光栅点,以及可以提供通过建立 TM 模式的光的驻波振荡光的半导体激光器件。

[0189] (实施例 3)

[0190] 图 19 示出了根据本发明实施例 3 的半导体激光器件的结构剖面图。如图 19 所示,根据该实施例的半导体激光器件 1b 的光子晶体层 7(二维衍射光栅)的结构不同于根据实施例 1 的半导体激光器件 1。具体地,外延层 2a 具有以三角形晶格结构布置的多个孔 2b,以及多个孔 2b 的每一个什么都不填充。换句话说,在根据该实施例的半导体激光器件 1b 中,衍射光栅点由空气构成。此外,不形成 GaN 层 12,以及在光子晶体层 7 上直接形成 p- 型敷层 8。

[0191] 半导体激光器件 1b 的其余结构与根据实施例 1 的半导体激光器件 1 的相同。因此,相同元件由相同的参考符号表示,以及其描述将被省略。

[0192] 在下面,将参考图 20 至 22 描述根据该实施例的半导体激光器件 1b 的制造方法。

[0193] 根据该实施例,首先,接着进行与图 7 所示的实施例 1 相同的制造工序。然后,参考图 20,在 p- 型敷层 6 上形成 GaN 的外延层 2a。然后,使用旋转涂敷器,将抗蚀剂材料涂敷到外延层 2a,以及使用电子束(EB)曝光设备构图该抗蚀剂材料。因此,通过电子束光刻技术,在外延层 2a 上形成具有预定形状的抗蚀剂 20。

[0194] 然后,参考图 21A,使用抗蚀剂 20(图 20)作为掩模,通过 ICP 反应离子刻蚀(RTF),刻蚀外延层 2a,由此在外延层 2a 上的预定位置处形成构成衍射光栅点的多个孔 2b。以此方式,在光子晶体层 7 上形成外延层 2a。

[0195] 代替形成上述光子晶体层 7, 如图 21B 所示, 通过将外延层 2a 构形为多个柱, 外延层 2a 可以被构形为光子晶体层 7。在此情况下, 通过刻蚀, 在多个柱之间形成沟槽 2d。

[0196] 然后, 抗蚀剂 20 被除去, 以及光子晶体层 7 的表面被清洗。此后, 通过 MOCVD, 在光子晶体层 7 上形成由 GaN 构成的 p- 型敷层 8。图 22(a) 至 22(d) 连续地图示了根据本发明实施例 3 的 p- 型敷层的生长示意图。这里, 图 22(a) 是图 21A 所示的 D 部分的放大视图。

[0197] 参考图 22(a) 至 (d), 在其中生长温度高于典型的 GaN 外延生长条件的条件下, 亦即, 在其中引入少量氯-基气体的条件下, 外延生长 AlGaIn。然后, 尽管在图中(例如, 在 (0001) 方向 (C- 面生长)), 已经向上生长了外延层 2a, 但是在图中(例如, 在 (112-2) 方向 (R- 面方向)), 在水平方向上生长外延层 2a 上形成的 AlGaIn(p- 型敷层 8) ((a) → (b) → (c))。在直接在多个孔 2b 的每一个上面的区域中, 沿衬底 3 的主面 3(图 19), 生长 GaN。在孔 2b 中略微生长 AlGaIn。但是, 孔 2b 不完全用 AlGaIn 填充。

[0198] 然后, 一旦用 AlGaIn 完全覆盖直接在孔 2b 上面的区域, 在图中再次向上生长 AlGaIn((c) → (d))。以此方式, 形成 AlGaIn 的 p- 型敷层 8。

[0199] 这里, 为了在如图 22(a) 至 22(c) 所示的图中水平生长覆盖光子晶体层 7 的层(该图中的 p- 型敷层 8), 该覆盖光子晶体层 7 的层优选包含 Ga、In 和 Al 和 N 的任意一种。此外, 为了在图中水平生长该覆盖光子晶体层 7 的层, 在等于或低于 70kPa, 或优选, 等于或低于 60kPa 的环境压力下, 形成覆盖光子晶体层 7 的层。此外, 为了防止在孔 2b 的侧面上生长具有与覆盖光子晶体层 7 的层相同成分的层, 在等于或高于 10kPa, 或优选等于或高于 30kPa 的环境压力下, 形成该覆盖光子晶体层 7 的层。

[0200] 然后, 参考图 19, 例如通过 MOCVD, 在 p- 型敷层 8 上外延生长接触层 9。然后, 在接触层 9 的发光表面 9a 上形成电极 10, 以及在衬底 3 的主面 3b 上形成电极 11, 由此完成半导体激光器件 1b。

[0201] 根据该实施例的半导体激光器件 1b 的制造方法包括以下步骤。在衬底 3 上依次外延生长 n- 型敷层 4、有源层 5 以及 p- 型敷层 6。在衬底 3 上形成 GaN 的外延层 2a。外延层 2a 被构形为光子晶体层 7。在直接位于光子晶体层 7 上的区域中, 沿衬底 3 的主面生长包含 GaN 的 P- 型敷层 8。

[0202] 根据该实施例的半导体激光器件 1b 的制造方法, 在直接位于光子晶体层 7 上的区域中, 沿衬底 3 的主面 3a 生长含 GaN 的 p- 型敷层 8。以此方式, 形成光子晶体层 7 和覆盖光子晶体层 7 的 p- 型敷层 8。亦即, 可以在没有熔化的条件下, 在光子晶体层 7 上直接形成该层。因此, 可以在没有熔化工序的条件下, 制造该半导体激光器件。

[0203] 此外, 与熔化的情况相比较, 光子晶体层 7 和光子晶体层 7 上的 p- 型敷层 8 之间的粘附力被提高, 以便可以防止湿气或空气中的其他杂质进入器件的内部。因此, 可以提高半导体激光器件的可靠性。

[0204] 在上述制造方法中, 当形成光子晶体层 7 时, 优选在外延层 2a 中形成多个孔 2b。

[0205] 因此, 可以提供光子晶体层 7, 具有由多个孔 2b 构成的衍射光栅点, 以及可以提供通过建立 TE 模式的光的驻波而振荡光的半导体激光器件。

[0206] 在上述制造方法中, 当形成光子晶体层 7 时, 优选外延层 2a 被构形为多个柱。

[0207] 因此, 可以提供光子晶体层 7, 其具有由外延层 2a 的多个柱构成的衍射光栅点, 以及可以提供通过建立 TM 模式的光的驻波而振荡光的半导体激光器件。

[0208] 在上述制造方法中,优选通过 MOCVD 形成 p- 型敷层 8。此外,在等于或高于 10kPa 和等于或低于 70kPa,或优选等于或高于 30kPa 和等于或低于 60kPa 的环境压力下,形成 p- 型敷层 8。这些促进沿衬底的主面生长 p- 型敷层 8。

[0209] (实施例 4)

[0210] 关于实施例 1 至 3,已经描述了以三角形晶格结构布置光子晶体层 7 的衍射光栅点 2b 的情况。但是,例如,可以如下所述布置光子晶体层 7 的衍射光栅点。

[0211] 图 23 示出了根据本发明实施例 4 的光子晶体层的结构透视图。如图 23 所示,在根据该实施例的光子晶体层 7a 中,在外延层 2a 的一个表面上形成多个衍射光栅点 2b,以形成正方形晶格。

[0212] 图 24 示出了具有“d”的晶格常数的正方形晶格的视图,该正方形晶格用作二维衍射光栅。该正方形晶格用正方形填充,其侧边具有“d”的长度。在图 24 中,晶格点 W 被任意选择,以及从晶格点 W 朝向晶格点 P 的方向被称为 X- Γ 方向,以及从晶格点 W 朝向晶格点 Q 的方向被称为 X-J 方向。关于本实施例,将描述有源层 5 中发射的光波长对应于 X- Γ 方向上的晶格周期的情况。

[0213] 二维衍射光栅(光子晶体层)7a 可以被认为是包括如下所述的两个一维衍射光栅组 U 和 V。一维衍射光栅组 U 由在 Y 轴方向上布置的一维光栅 U_1 、 U_2 、 U_3 等等构成。一维衍射光栅组 V 由在 X 轴方向上布置的一维光栅 V_1 、 V_2 、 V_3 等等构成。如果围绕任意晶格点旋转 90 度,那么这两个一维衍射光栅组 U 和 V 彼此相配。在一维衍射光栅组 U 和 V 的每一个中,相邻的两个一维光栅之间的距离是“d”,以及每个一维光栅中的相邻两个晶格点之间的距离也是“d”。

[0214] 首先,将考虑光栅组 U。在从晶格点 W 至晶格点 P 的方向上传播的光在晶格点 P 处衍射。与三角形晶格的情况一样,衍射的方向被布拉格条件 $2d \sin \theta = m \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) 限定。在衍射光栅被配置来提供第二-级布拉格反射 ($m = \pm 2$) 的情况下,在 $\theta = \pm 90$ 度的位置存在其他晶格点 Q 和 R,以及在对应于 $m = 0$ 的情况的 $\theta = 0$ 度和 180 度的位置,存在晶格点 W 和 S。

[0215] 根据光栅组 V 中的规则,在晶格点 P 衍射的光朝向晶格点 Q 被衍射。该衍射可以用和根据光栅组 U 中规则的衍射相同的方法来考虑。然后,根据光栅组 U 中的规则,在晶格点 Q 衍射的光朝向晶格点 T 被衍射。以此方式,光被连续地衍射。根据光栅组 V 中的规则,在晶格点 T 衍射的光朝向晶格点 W 被衍射。

[0216] 如上所述,在多次衍射之后,从晶格点 W 传播到晶格点 P 的光达到最初晶格点 W。因此,在根据该实施例的半导体激光器件中,由于在多次衍射之后,在某些方向传播的光回到最初晶格点的位置,在该晶格点之间建立驻波。因此,二维衍射光栅 7a 用作光谐振器,亦即,波长选择器和反射器。

[0217] 此外,在布拉格条件 $2d \sin \theta = m \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) 中,如果“m”是奇数,那么在 $\theta = \pm 90$ 度的方向上发生布拉格反射。这意味着在垂直于二维衍射光栅 7a 的主面的方向(垂直于图 15 的纸张平面的方向)上也发生强衍射。因此,在垂直于二维衍射光栅 7a 的主面的方向上可以发射光,亦即可以从发光表面 9a 发射(图 1)(可以获得表面发射)。

[0218] 此外,在二维衍射光栅 7a 中,考虑发生上述现象的地点处晶格点 W 被任意选择的事实,在二维布置的所有晶格点处可以发生上述光衍射。因此,可以认为通过布拉格衍射,

在各个光栅组的 X- Γ 方向上传播的光的射线彼此被二维结合。可以认为,在二维衍射光栅 7a 中,通过这种二维结合,结合三个 X- Γ 方向,以提供相干状态。

[0219] 半导体激光器件的其余结构及其制造方法基本上与根据实施例 1、2 和 3 的半导体激光器件 1、1a 和 1b 的结构及其制造方法相同。因此,相同部分由相同的参考符号表示,以及其描述将被省略。

[0220] 根据该实施例的半导体激光器件可以提供与根据实施例 1、2 和 3 的半导体激光器件 1、1a 和 1b 相同的效果。

[0221] (实施例 5)

[0222] 关于实施例 1 至 3,已经描述了形成与有源层 5 上形成的 p-型敷层 6 接触的光子晶体层 7 的情况,如图 1 所示。但是,作为这种结构的一个选择性方案,例如,根据本发明的半导体激光器件可以具有图 25 所示的结构。

[0223] 图 25 示出了根据本发明实施例 5 的半导体激光器件的结构透视图。如图 25 所示,在根据该实施例的半导体激光器件 1c 中,形成与有源层 5 下面形成的 n-型敷层 4 接触的光子晶体层 7。换句话说,在根据该实施例的半导体激光器件 1c 中,在衬底 3 上依次形成 n-型敷层 8a、光子晶体层 7、n-型敷层 4、有源层 5、p-型敷层 6 以及接触层 9。当使半导体激光器件 1d 振荡光时,正电压被施加到电极 10,以注入载流子到有源层 5 中。

[0224] 半导体激光器件 1c 的其余结构及其制造方法基本上与根据实施例 1、2 和 3 的半导体激光器件 1、1a 和 1b 的结构及其制造方法相同。因此,相同部分由相同的参考符号表示,以及其描述将被省略。

[0225] 根据该实施例的半导体激光器件可以提供与根据实施例 1、2 和 3 的半导体激光器件 1、1a 和 1b 相同的效果。

[0226] (实施例 6)

[0227] 该实施例是根据实施例 3 的半导体激光器件的制造方法的改进,下面将参考图 26 至 29 描述。

[0228] 根据该实施例,首先,接着进行与实施例 3 相同的制造工序,以提供图 20 所示的结构。在图 20 中,在以下步骤中将形成多个孔 2e 的区域中排除的外延层 2a 上形成抗蚀剂 20。然后,参考图 26,使用抗蚀剂 20 作为掩模,通过 ICP-RIE 刻蚀外延层 2a,由此在外延层 2a 中的预定位置处形成构成衍射光栅点的多个孔 2b。以此方式,外延层 2a 被构形为光子晶体层 7。

[0229] 然后,参考图 27A,通过汽相淀积,在多个孔 2e 的底部和在抗蚀剂 20 上,形成由低折射率材料构成的薄膜(介质膜)24。然后,参考图 28,连同抗蚀剂 20 一起除去(剥离)抗蚀剂 20 上形成的薄膜 24。以此方式,仅仅在多个孔 2e 的底部上淀积低折射率材料 2b。在仅仅在多个孔 2e 的底部上淀积低折射率材料 2b 的情况下,如在图 27A 所示的结构中,低折射率材料 2b 和空气填充孔 2e 中的空间,其中不淀积低折射率材料用作衍射光栅点。

[0230] 这里,代替在如图 27 所示的多个孔 20a 的底部上淀积低折射率材料 24,可以淀积低折射率材料 24,以完全填充多个孔 20a 的内部,如图 27B 所示。在此情况下,低折射率材料 2b 用作衍射光栅点。

[0231] 然后,参考图 29,光子晶体层 7 的表面被清洗,然后,通过 MOCVD,在光子晶体层 7 上形成由例如,GaN 构成的 p-型敷层 8。P-型敷层 8 沿衬底 3 的主面 3a 生长,直接在多个

孔 2e 上面,根据参考图 22(a) 至 22(d) 描述的不同原理。

[0232] 这里,为了在图 22(a) 至 22(c) 所示的图中水平地生长覆盖光子晶体层 7 的层(该图中的 p- 型敷层 8),该覆盖光子晶体层 7 的层优选包含 Ga、In 和 Al 和 N 的任意一种。此外,为了在图中水平生长该覆盖光子晶体层 7 的层,在等于或低于 90kPa 的环境压力下,形成该覆盖光子晶体层的 7 层,或优选,在等于或低于 70kPa 的环境压力下。如果在孔 2b 中淀积低折射率材料 2b,那么与实施例 3 中在孔中不淀积低折射率材料的情况相比较,可以在接近大气压的环境压力下,在图中水平生长该覆盖光子晶体层 7 的层。此外,为了抑制在孔 2b 的侧面上生长由与覆盖光子晶体层 7 的层相同材料构成的层,在等于或高于 10kPa,或优选等于或高于 30kPa 的环境压力下,形成该覆盖光子晶体层 7 的层。

[0233] 关于该实施例,尽管已经图示了在光子晶体层 7 上直接形成 p- 型敷层 8 的情况,但是可以在光子晶体层 7 上直接形成 GaN 层 12(图 1),以及可以在 GaN 层 12 上形成 p- 型敷层 8。

[0234] 然后,参考图 19,例如通过 MOCVD,在 p- 型敷层 8 上外延生长接触层 9。然后,在接触层 9 的发光表面 9a 上形成电极 10,以及在衬底 3 的主面 3b 上形成电极 11,由此完成半导体激光器件,该半导体激光器件具有与半导体激光器件 1b 相同的结构。根据该实施例的半导体激光器件与图 19 所示的半导体激光器件 1b 的不同之处在于在孔 2e 中淀积低折射率材料 2b,以填充其部分内部或整个内部。

[0235] 根据该实施例的半导体激光器件的制造方法包括以下步骤。在衬底 3 上依次外延生长 n- 型敷层 4、有源层 5 以及 p- 型敷层 6。在衬底 3 上形成由 GaN 构成的外延层 2a。在该外延层 2a 中形成多个孔 2e。在直接位于该多个孔 2e 上面的区域中,通过 MOCVD,沿衬底 3 的主面生长包含 GaN 的 P- 型敷层 8。

[0236] 在根据该实施例的半导体激光器件的制造方法中,在直接位于该多个孔 2e 上面的区域中,沿衬底 3 的主面生长 p- 型敷层 8。以此方式,形成光子晶体层 7 和覆盖光子晶体层 7 的 p- 型敷层 8。亦即,可以在没有熔化的条件下,在光子晶体层 7 上直接形成该层。因此,可以在没有熔化工序的条件下,制造该半导体激光器件。

[0237] 此外,由于在等于或低于 90kPa,或优选等于或低于 70kPa 的环境压力下形成 p- 型敷层 8,促进沿衬底 3 的主面生长 p- 型敷层 8,以及可以容易地用 p- 型敷层 8 覆盖直接位于多个孔上面的区域。

[0238] 此外,由于在等于或高于 10kPa,或优选等于或低于 30kPa 的环境压力下形成 p- 型敷层 8,可以防止在孔 2e 的侧面生长具有与 p- 型敷层 8 相同材料的层。

[0239] 此外,由于在多个孔 2e 中淀积了低折射率材料 2b,因此可以防止在孔 2e 的侧面上生长具有与 p- 型敷层 8 相同材料的层。此外,可以通过低折射率材料 2b 形成衍射光栅点。

[0240] 此外,由于抗蚀剂 20 上的低折射率材料 24 连同抗蚀剂一起被除去,因此可以除去抗蚀剂 24 上的过多低折射率材料 24,而没有任何附加步骤。

[0241] 关于该实施例,尽管已经描述了通过汽相淀积淀积低折射率材料 2b 的情况,但是可以通过化学气相淀积(CVD)代替汽相淀积来淀积低折射率材料 2b。下面将描述该方法。

[0242] 如果,在提供图 26 所示的结构之后,通过 CVD 方法淀积低折射率材料的薄膜 24,那么在抗蚀剂 20 的顶和侧表面以及孔 2e 的侧和底表面上淀积薄膜 24,如图 30 所示。

[0243] 然后,参考图 31,通过抛光,抗蚀剂 20 的顶和侧表面上的薄膜 24 连同抗蚀剂 20 一

起被除去。结果,在孔 2e 的侧和底表面上留下低折射率材料 2b。

[0244] 如上所述,如果使用 CVD 方法,那么在孔 2e 的内壁上淀积低折射率材料 2b。因此,可以用低折射率材料 2b 覆盖孔 2e 的整个内壁,以便可以防止在孔 2e 中生长 p- 型敷层 8。

[0245] 在下面,将描述本发明的例子。

[0246] (例 1)

[0247] 在该例子中,使用根据实施例 1 的制造方法制造半导体激光器件。作为衬底 3,制备导电的 GaN(0001) 衬底。然后,使用 MOCVD 设备,在衬底 3 上依次外延生长 n- 型缓冲层、由 AlGaIn 制成的 n- 型敷层 4、由 GaInN 的量子阱构成的有源层以及由 AlGaIn 制成的 p- 型敷层 6。这些层在其中该层表面的平坦度(粗糙度)是 2nm 或更高的生长条件下形成,根据均方根(RMS) 值。由有源层发射的光波长是 410nm(蓝色)。

[0248] 然后,从 MOCVD 设备移走衬底 3,用于电子束-曝光(ZEP520)的光刻胶被涂敷到 p- 型敷层 6 的表面作为抗蚀剂 20,以及使用电子束曝光设备绘制多个孔 20a 的抗蚀剂图形。该抗蚀剂图形是正方形晶格,其中在抗蚀剂 20 上绘制具有 $0.09\mu\text{m}$ 直径的孔 20a 的图形,布置有 $0.17\mu\text{m}$ 的间距。然后,在抗蚀剂 20 上形成低折射率材料 2b 的薄膜 24,低折射率材料 2b 是 SiO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 BaF_2 以及 LiF 之一。通过真空淀积形成 $0.1\mu\text{m}$ 厚度的薄膜。然后,该结构被浸于溶剂中,以除去抗蚀剂 20 和任意过剩的薄膜 24,由此形成多个低折射率材料柱 2b。

[0249] 然后,使用 MOCVD 设备,在其中 V 族材料气体与 III 族材料气体的比率高于先前执行的典型生长条件的条件下,形成由 p- 型 GaN 制成的外延层和包含 GaN 的层 12。然后,对于所有低折射率材料 2b,观察到图 11(a) 至 11(f) 所示的选择性层生长。此后,形成 p- 型敷层 8 和接触层 9。然后,从 MOCVD 设备移走衬底 3,在接触层 9 的发光表面 9a 上形成圆形 p- 型欧姆电极 10,以及在衬底 3 的整个主面 3b 之上形成 n- 型欧姆电极 11。以此方式,制造半导体激光器件 1。

[0250] 连续电流被注入如上所述制造的半导体激光器件 1,并检查是否发生激光振荡。结果,可以证实在约 4 至 $7\text{kA}/\text{cm}^2$ 的阈值电流密度范围内,所有半导体激光器件 1 中发生激光振荡。在垂直于衬底 3 的主面 3a 的方向上,激光从圆形电极 10 的周边发射。激光的偏振性能是 TE 偏振。

[0251] (例 2)

[0252] 在该例子中,使用根据实施例 2 的制造方法制造半导体激光器件。用和例 1 相同的方法,在衬底 3 上依次形成 n- 型缓冲层、由 AlGaIn 制成的 n- 型敷层 4、由 GaInN 的量子阱构成的有源层 5 以及由 AlGaIn 制成的 p- 型敷层 6。然后,在 p- 型敷层 6 的表面上形成抗蚀剂 20,并使用电子束曝光设备,绘制抗蚀剂图形。抗蚀剂图形是正方形晶格,其中在抗蚀剂 20 上绘制具有 $0.09\mu\text{m}$ 直径的多个柱 20b 的图形。

[0253] 然后,在抗蚀剂 20 上形成低折射率材料 2b 的薄膜 24,该低折射率材料 2b 是 MgF_2 ,以填充多个柱 20b 之间的空间。通过真空淀积形成 $0.1\mu\text{m}$ 厚度的薄膜。然后,该结构被浸于溶剂中,以除去抗蚀剂 20 和任意过剩的薄膜 24,由此提供具有多个孔 2c 的低折射率材料 2b。

[0254] 然后,用和例 1 相同的方法,形成由 p- 型 GaN 制成的外延层 2a 和包含 GaN 的层 12。然后,观察到图 17(a) 至 17(f) 所示的选择性层生长。此后,用和例 1 相同的方法,形

成 p- 型敷层 8、接触层 9、p- 型欧姆电极 10 以及 n- 型欧姆电极 11。以此方式,制造半导体激光器件 1a。

[0255] 电流以连续激励方式被注入如上所述制造的半导体激光器件 1a,并检查是否发生激光振荡。结果,可以证实在约 $3.5\text{kA}/\text{cm}^2$ 的阈值电流密度下发生激光振荡。在垂直于衬底 3 的主面 3a 的方向上,激光从圆形电极 10 的周边发射。激光的偏振性能是 TM 偏振。

[0256] (例 3)

[0257] 在该例子中,使用根据实施例 3 的制造方法制造半导体激光器件。用和例 1 相同的方法,在衬底 3 上依次形成由 n- 型缓冲层、AlGaIn 制成的 n- 型敷层 4、由 GaInN 的量子阱构成的有源层 5 以及由 AlGaIn 制成的 p- 型敷层 6。然后,在 p- 型敷层 6 上形成由 p- 型 GaN 制成的外延层 2a。

[0258] 然后,在外延层 2a 的表面上形成抗蚀剂 20,并使用电子束曝光设备绘制两种抗蚀剂图形。一种抗蚀剂图形是三角形晶格,其中在抗蚀剂 20 上绘制具有 $0.09\mu\text{m}$ 直径的多个孔的图形。另一抗蚀剂图形是三角形晶格,其中在抗蚀剂 20 上绘制具有 $0.11\mu\text{m}$ 直径的多个柱状的图形。该间距是 $0.19\mu\text{m}$ 。

[0259] 然后,使用抗蚀剂图形作为掩模,通过 ICP 方法,刻蚀外延层 2a 至 $0.1\mu\text{m}$ 的深度。然后,使用有机溶剂除去该抗蚀剂图形。然后,提供具有其中在外延层 2a 中形成多个孔 2b 的结构的光子晶体层 7 和具有其中形成多个外延层 2a 的柱状结构的光子晶体层。

[0260] 然后,在光子晶体层 7 上形成由 GaN 构成的 p- 型敷层 8。然后,观察到图 22(a) 至 22(d) 所示的选择性层生长。此后,用和例 1 相同的方法,形成接触层 9、p- 型欧姆电极 10 以及 n- 型欧姆电极 11。以此方式,制造半导体激光器件 1b。

[0261] 电流以连续激励方式被注入如上所述制造的半导体激光器件 1b,并检查是否发生激光振荡。结果,证实在约 $3\text{kA}/\text{cm}^2$ 的阈值电流密度下在两个半导体激光器件 1b 中都发生激光振荡。在垂直于衬底 3 的主面 3a 的方向上,激光从圆形电极 10 的周边发射。通过半导体激光器件 1b 发射的激光的偏振性能是 TE 偏振,半导体激光器件 1b 具有光子晶体层 7,光子晶体层 7 具有其中在外延层 2a 中形成孔 2b 的结构。通过半导体激光器件 1b 发射的激光的偏振性能是 TM 偏振,该半导体激光器件 1b 具有光子晶体层 7,光子晶体层 7 具有其中形成外延层 2a 的多个圆柱的结构。

[0262] (例 4)

[0263] 关于该例子,当在直接位于低折射率材料上的区域中生长包含 GaN 的层时,通过改变环境压力,制造图 2 所示的结构(柱状结构)的半导体激光器件,以及检查含 GaN 层上的环境压力的效果。具体地,用和例 1 相同的方法在 p- 型敷层 6 上形成多个低折射率材料柱 2b。然后,使用 MOCVD 设备,在其中 V 族材料气体与 III 族材料气体的比率高于先前执行的典型生长条件的条件下,形成由 p- 型 GaN 制成的外延层 2a 和 GaN 层 12。当形成半导体激光器件的 GaN 层 12 时,环境压力分别保持大气压、90kPa、70kPa 以及 20kPa。然后,使用电子显微镜观察所得的 GaN 层 12 的状态。在表 1 中示出了该结果。

[0264] [表 1]

[0265]

环境压力 (kPa)	20	70	90	101.3(大气压)
含 GaN 层的状态	A	A	B	C

[0266] 在表 1 中,参考字符 A 表示获得希望的光子晶体层的情况,参考字符 B 表示在某些区域中获得希望的光子晶体层的情况,以及参考字符 C 表示仅仅在小区域中获得希望的光子晶体层的情况。参考表 1,在大气压下,GaN 层难以水平地生长,以及垂直生长占主导。因此,直接位于低折射率材料上的区域难以用 GaN 层 12 覆盖。相反,在等于或低于 90kPa 的压力下,GaN 层容易水平生长,以及在等于或低于 70kPa 的压力下,直接位于低折射率材料上的区域被 GaN 层完全覆盖。

[0267] 图 32 示出了环境压力保持大气压的情况下光子晶体层的状态显微镜图片,以及图 33 示出了环境压力保持 20kPa 的情况下光子晶体层的状态显微镜图片。在图 32 中,可以看到 p- 型敷层的截面和 GaN 层的顶表面。在该图中,被斜线区分的部分是以矩阵形式布置的低折射率材料 2b。由该显微镜图片,能够看出,在大气压下,部分 p- 型敷层没有被 GaN 层覆盖,以及低折射率材料被露出。

[0268] 另一方面,在图 33 中,看到 p- 型敷层和低折射率材料的截面部分和 GaN 层的顶表面。由该显微镜图片,能够看出,在 20kPa 下,p- 型敷层被 GaN 层完全覆盖。

[0269] (例 5)

[0270] 关于该例子,当在直接位于低折射率材料上的区域中生长含 GaN 层时,通过改变环境压力,制造图 19 所示的结构(气桥结构)半导体激光器件,以及检查含 GaN 层上的环境压力的效果。具体地,用和例 3 相同的方法,在 p- 型敷层 6 上形成光子晶体层 7。然后,使用 MOCVD 设备,在光子晶体层 7 上形成由 GaN 构成的 p- 型敷层 8。当形成半导体激光器件的 GaNp- 型敷层 8 时,环境压力分别保持 70kPa、60kPa、30kPa、20kPa 以及 10kPa。然后,使用电子显微镜观察所得的光子晶体层和 p- 型敷层的状态。在表 2 中示出了该结果。

[0271] [表 2]

[0272]

环境压力 (kPa)	10	20	30	60	70
含 GaN 层的状态	B	B	A	A	B

[0273] 在表 2 中,参考字符 A 表示获得希望的光子晶体层的情况,以及参考字符 B 表示在某些区域中获得希望的光子晶体层的情况。参考表 2,在 70kPa 下,该含 GaN 层难以水平生长,以及垂直生长占主导。因此,直接位于低折射率材料上的区域难以被 GaN 层 12 覆盖。此外,在等于或低于 20kPa 的压力下,GaN 层的水平生长被过分地促进,以致在孔的内壁上也生长 GaN 层,以及 GaN 层部分地填充该孔。相反,在等于或高于 30kPa 的压力和等于或低于 60kPa 的压力下,GaN 层的水平生长被充分地促进,以及获得希望的光子晶体层和希望的 p- 型敷层。

[0274] (例 6)

[0275] 关于该例子,根据关于实施例 6(其中在孔 2e 的底部上淀积低折射率材料的方法)描述的方法,当在直接位于低折射率材料上的区域中生长含 GaN 层时,通过改变环境压力,

制造半导体激光器件,以及检查含 GaN 层上的环境压力的效果。具体地,在 p- 型敷层 6 上形成光子晶体层 7。然后,如图 27A 所示,在多个孔 20a 的底部形成低折射率材料。然后,通过使用 MOCVD 设备,在光子晶体层 7 上形成由 GaN 构成的 p- 型敷层 8。当形成半导体激光器件的 GaNp- 型敷层 8 时,环境压力分别保持 90kPa、70kPa、30kPa、20kPa 以及 10kPa。然后,使用电子显微镜观察所得的含 GaN 层 12 的状态。在表 3 中示出了该结果。

[0276] [表 3]

[0277]

环境压力 (kPa)	10	20	30	70	90
含 GaN 层的状态	B	B	A	A	B

[0278] 在表 3 中,参考字符 A 表示获得希望的光子晶体层的情况,以及参考字符 B 表示在某些区域中获得希望的光子晶体层的情况。参考表 3,在 90kPa 下,该含 GaN 层难以水平生长,以及垂直生长占主导。因此,直接位于低折射率材料上的区域难以被 p- 型敷层覆盖。此外,在等于或低于 20kPa 的压力下, GaN 层的水平生长被过分地促进,以致在孔的内壁上也生长 GaN 层,以及 GaN 层部分地填充该孔。相反,在等于或高于 30kPa 的压力和等于或低于 70kPa 的压力下, GaN 层的水平生长被充分地促进,以及获得希望的光子晶体层和希望的 p- 型敷层。

[0279] 图 34 示出了环境压力保持 20kPa 时的情况下光子晶体层的状态显微镜图片,以及图 35 示出了环境压力保持 60kPa 时的情况下光子晶体层的状态显微镜图片。在图 34 中,用该含 GaN 层填充光子晶体层中的孔。由该显微镜图片,能够看出,在 20kPa 下,孔被 GaN 层部分地填充。

[0280] 另一方面,在图 35 中,光子晶体层中的孔没有被该含 GaN 层填充,以及在孔上面水平生长 p- 型敷层。由该显微镜图片,能够看出,在 60kPa 下,孔没有被 GaN 层填充。

[0281] 此外,在该例子中,在 20kPa 的环境压力下形成其孔用低折射率材料 SiO_2 填充的光子晶体层和其孔没有用低折射率材料 SiO_2 的光子晶体层,以及其外观被互相比较。具体地,用显微镜观察例 5 中在 20kPa 的环境压力下形成的光子晶体层和在该例子中在 20kPa 的环境压力下形成的光子晶体层。

[0282] 图 36 示出了在该孔中淀积低折射率材料 SiO_2 的情况下的光子晶体层状态的显微镜图片,以及图 37 示出了在该孔中没有淀积低折射率材料 SiO_2 的情况下的光子晶体层状态的显微镜图片。比较图 36 和 37,在图 36 示出了难以用 GaN 层填充其中淀积低折射率材料 SiO_2 的孔。由该事实,能够看出在该孔中淀积低折射率材料 SiO_2 可以促进高质量的光子晶体层的形成。

[0283] 上面公开的实施例和例子应该理解为是说明性的实施例和例子,在各个方面不限制该实施例和例子。本发明的范围由以下权利要求限定,不由如上所述的实施例和例子限定,以及本发明打算包括不脱离权利要求的精神和范围的所有改进和改变。

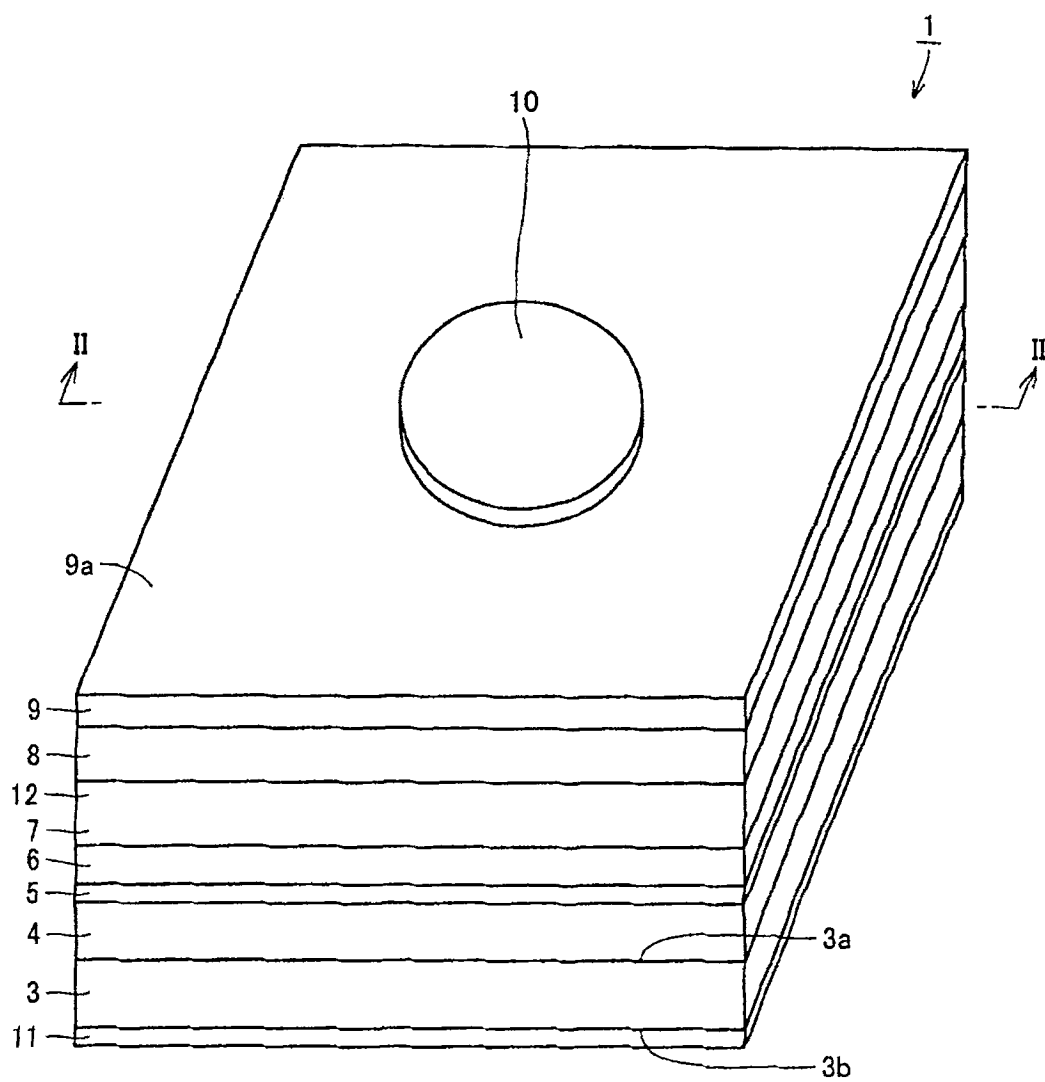


图 1

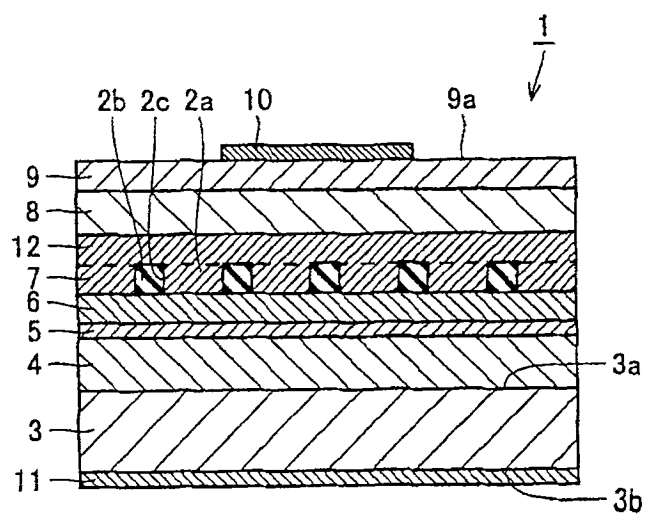


图 2

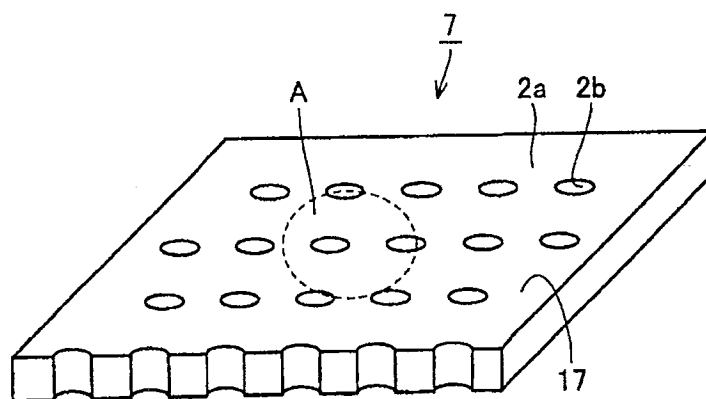


图 3

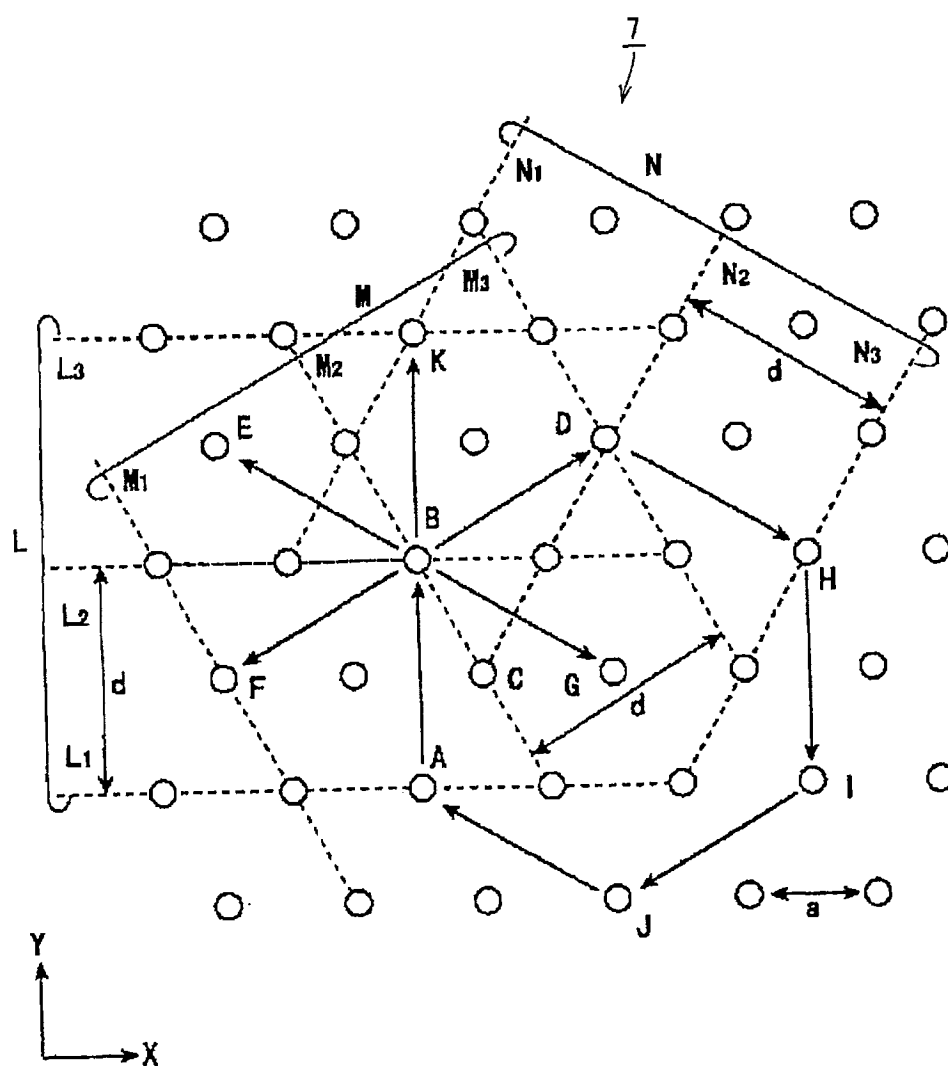


图 4

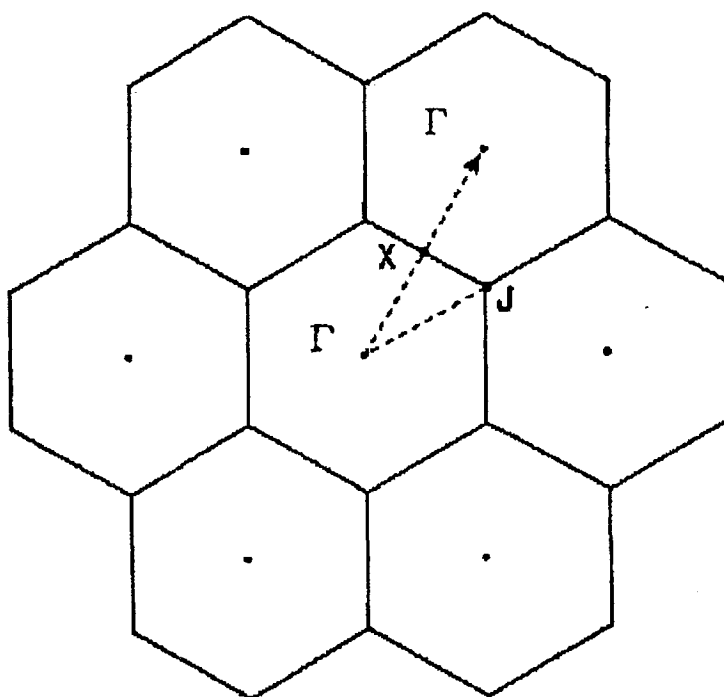


图 5

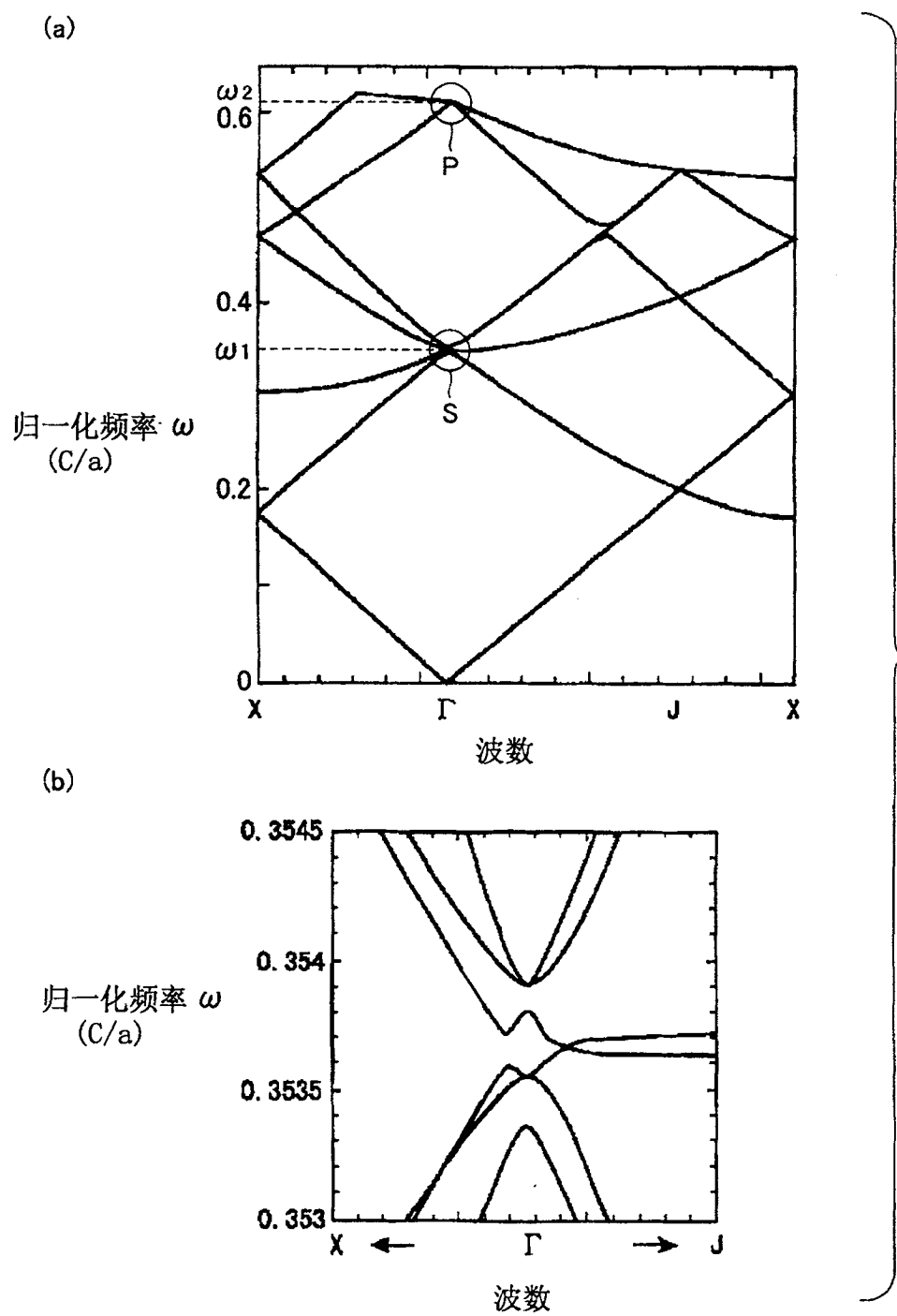


图 6

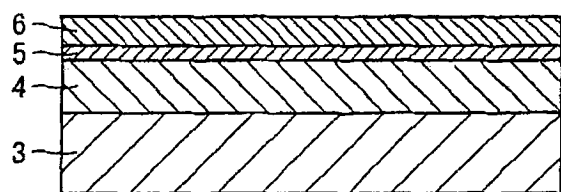


图 7

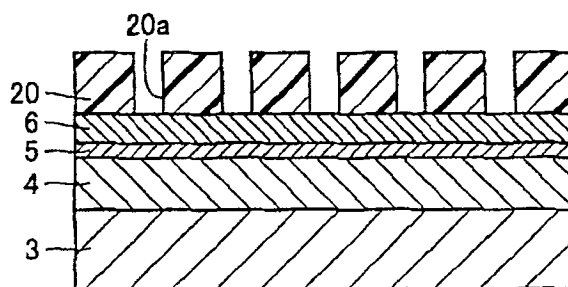


图 8

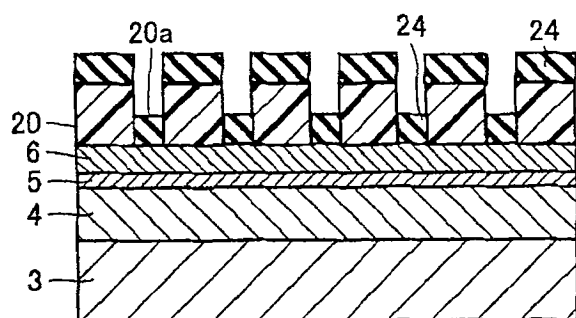


图 9

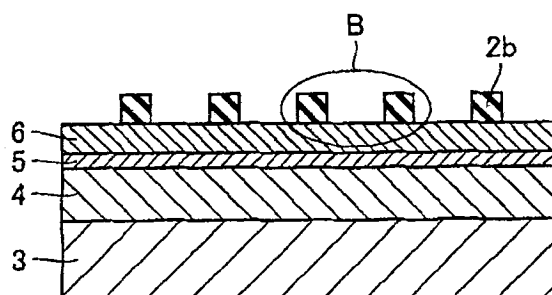


图 10

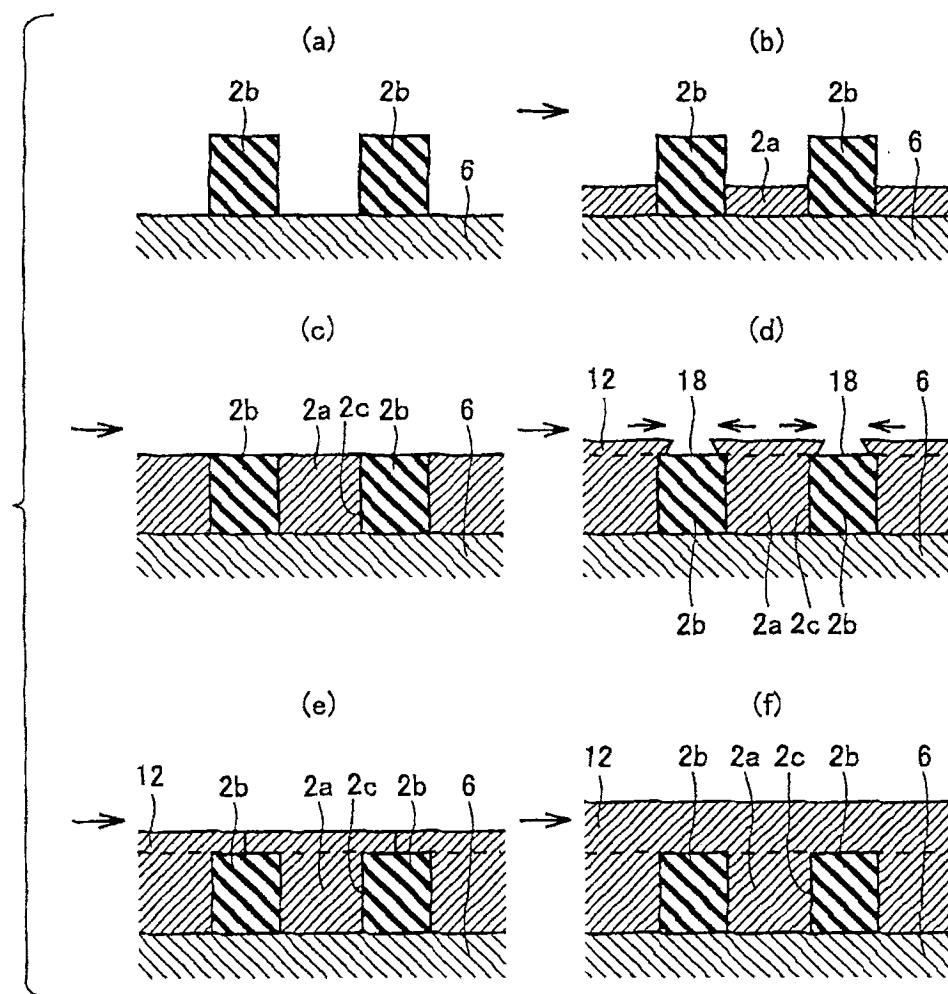


图 11

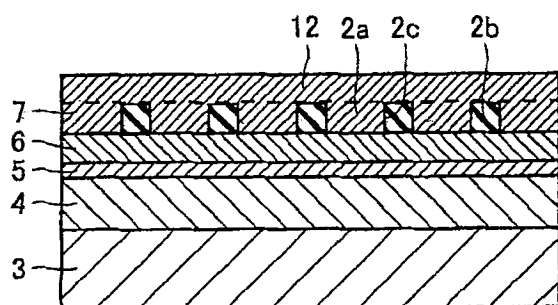


图 12

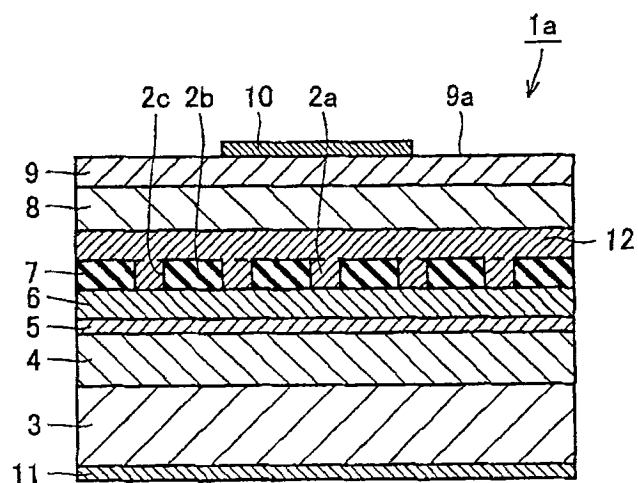


图 13

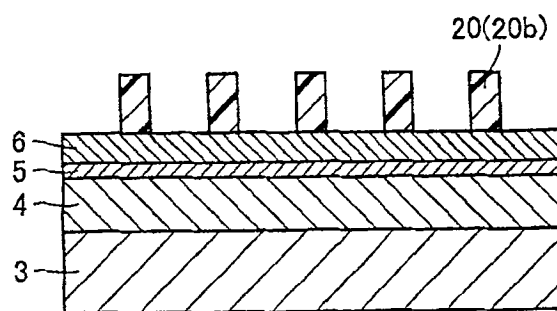


图 14

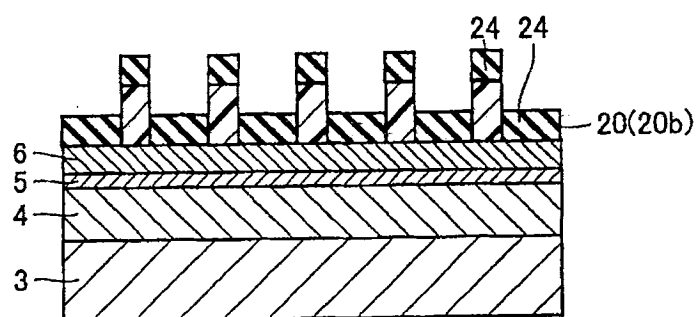


图 15

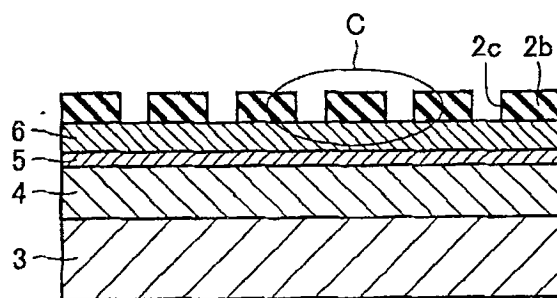


图 16

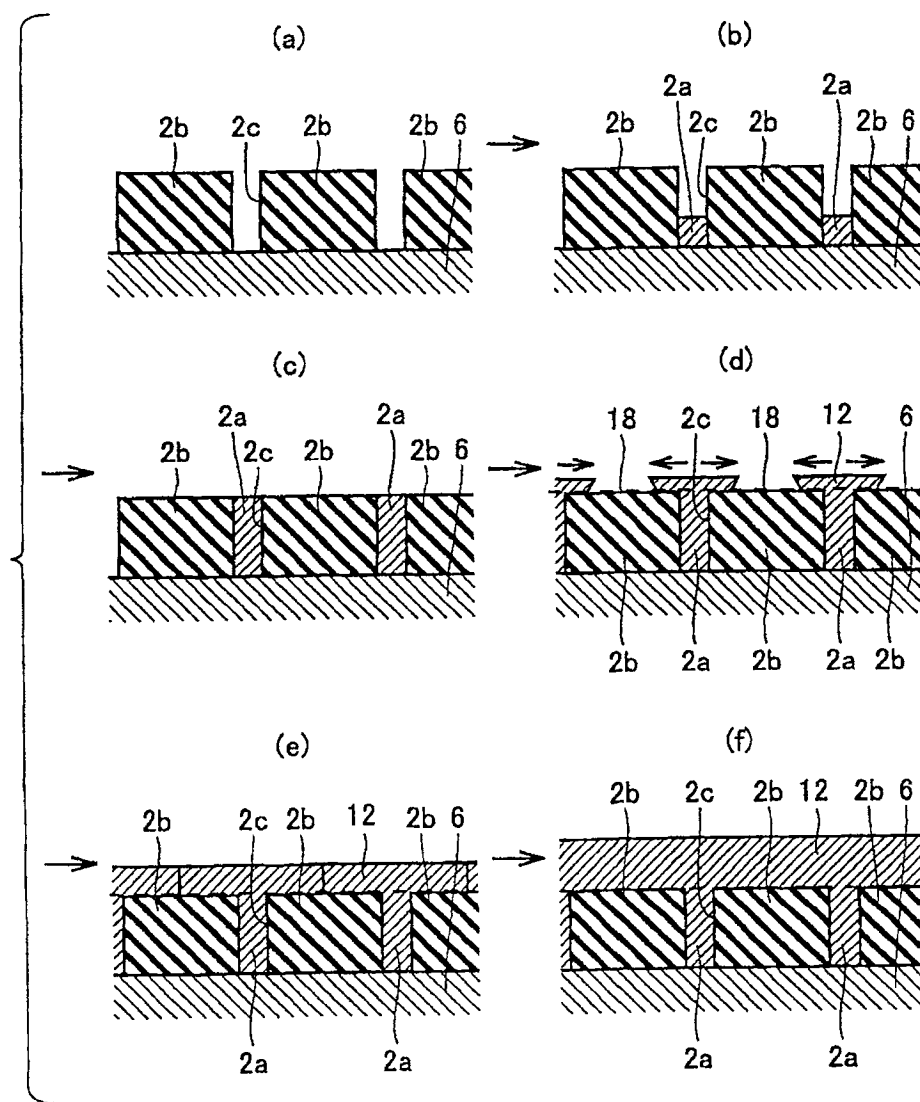


图 17

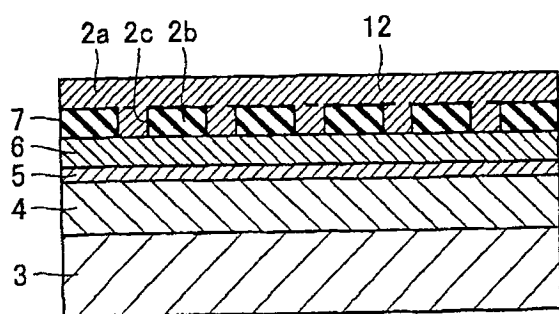


图 18

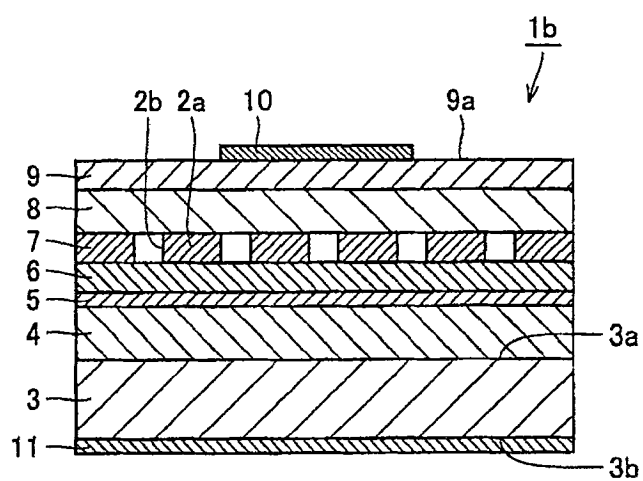


图 19

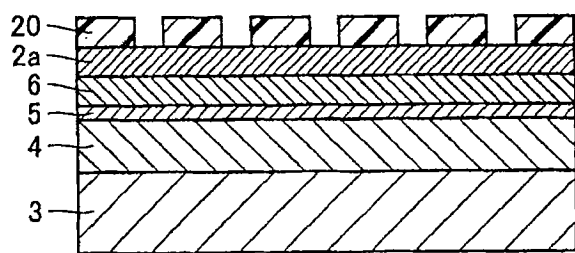


图 20

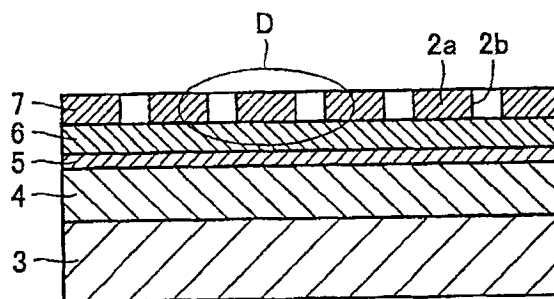


图 21A

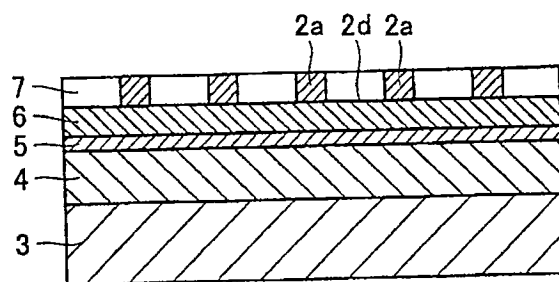


图 21B

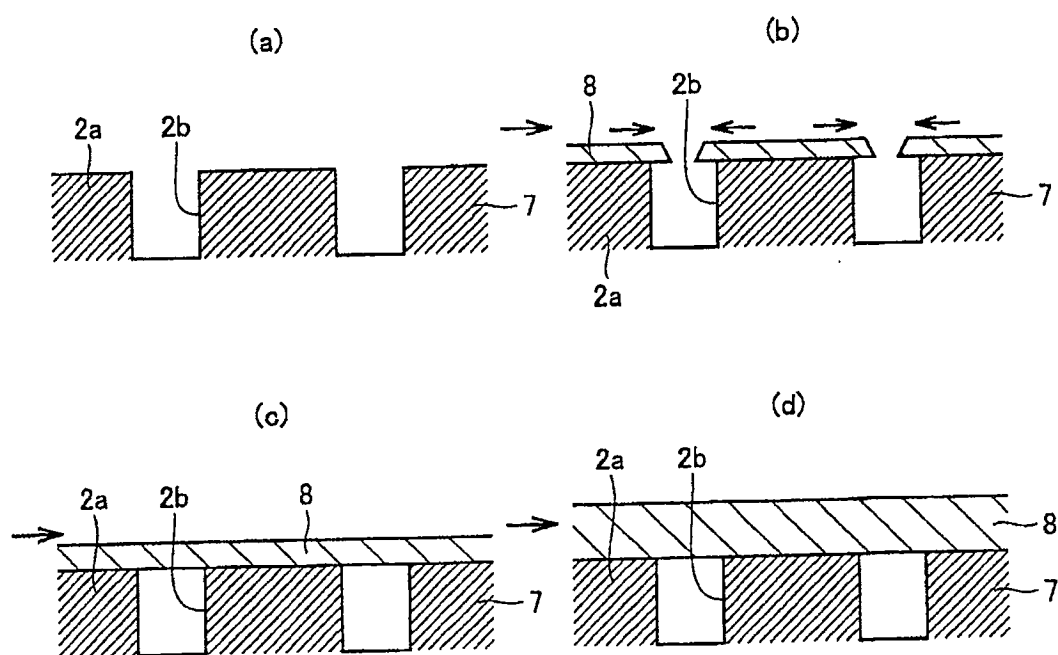


图 22

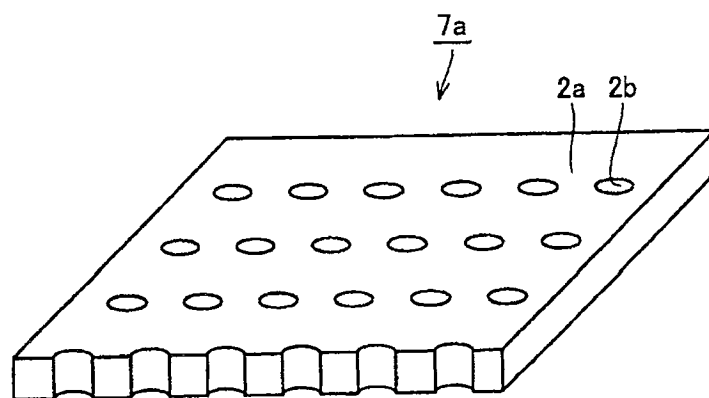


图 23

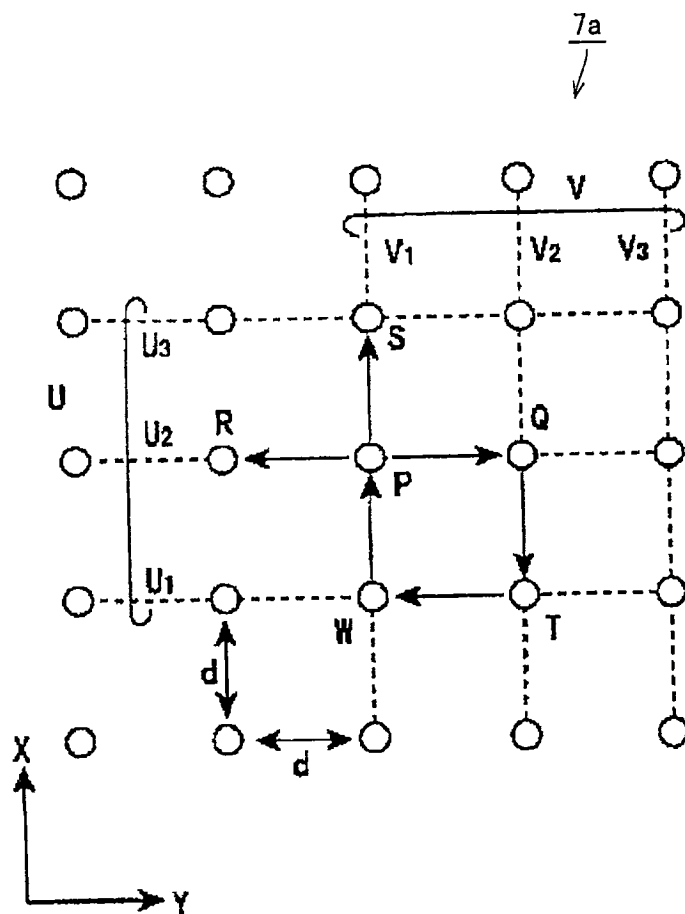


图 24

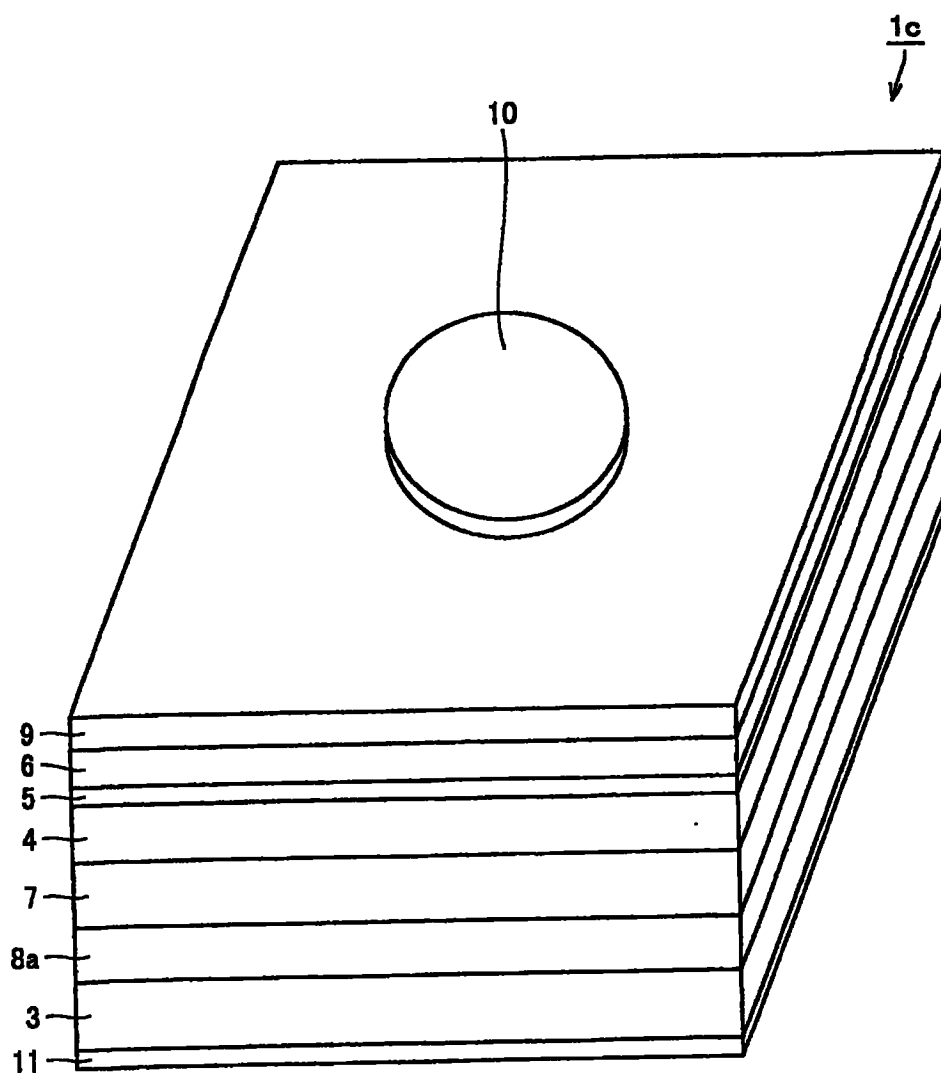


图 25

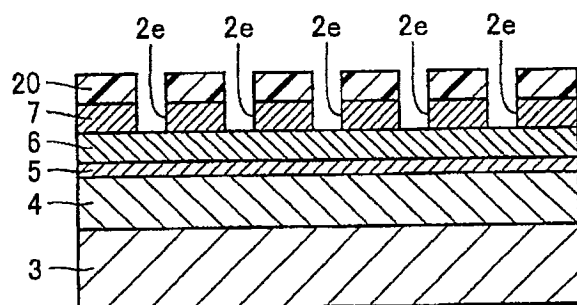


图 26

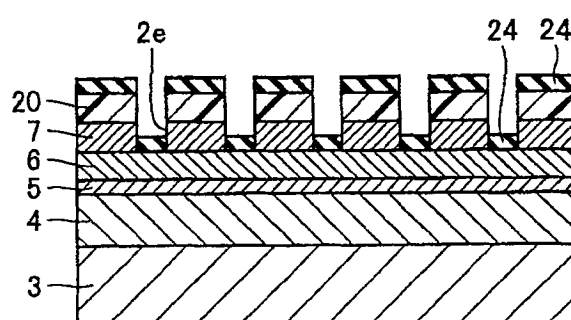


图 27A

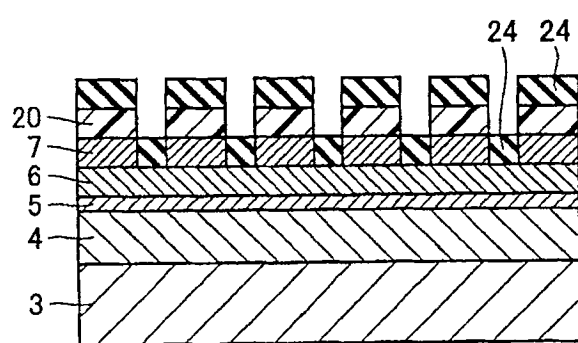


图 27B

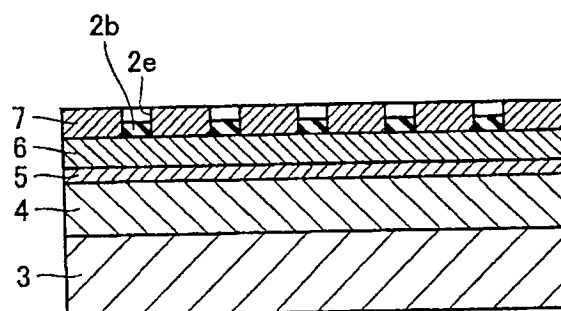


图 28

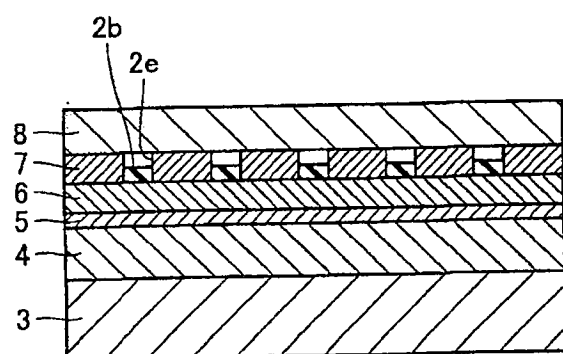


图 29

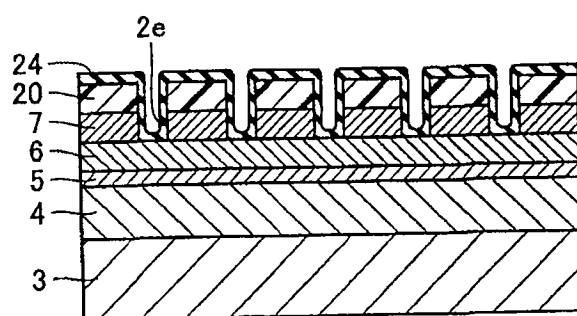


图 30

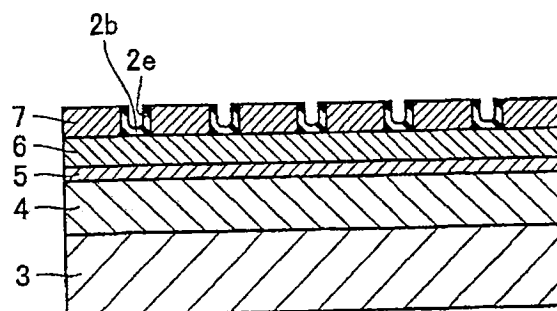


图 31

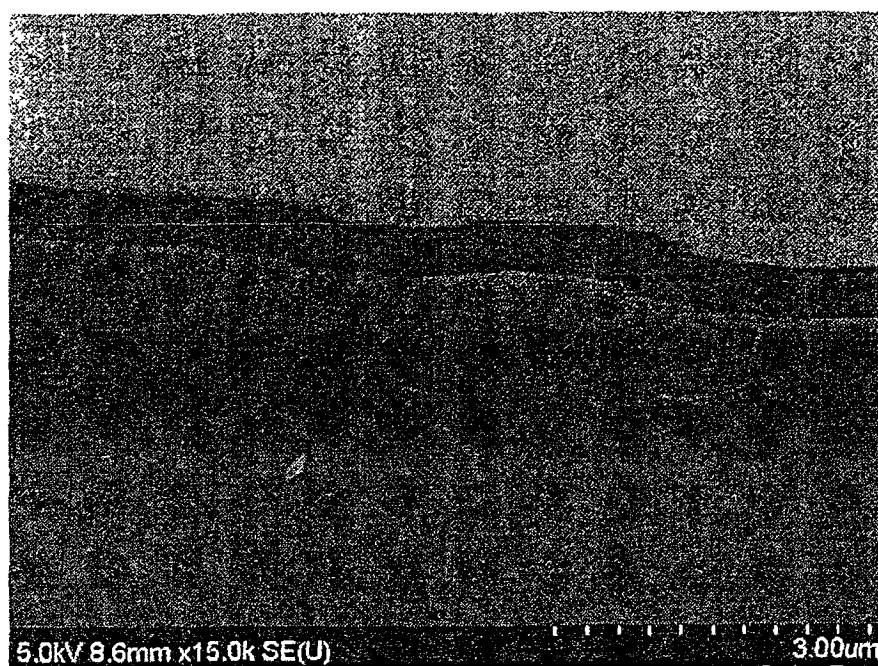


图 32

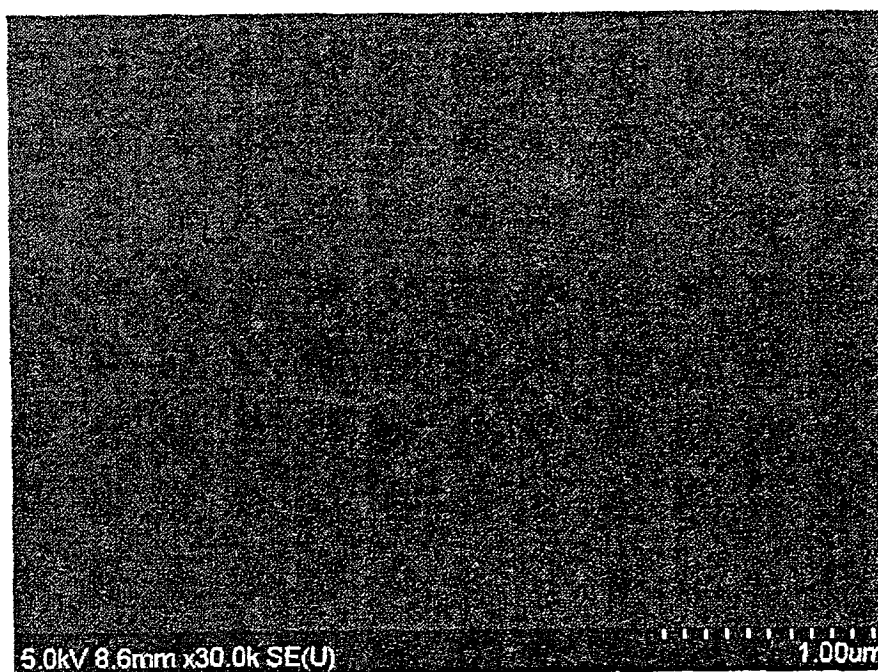


图 33

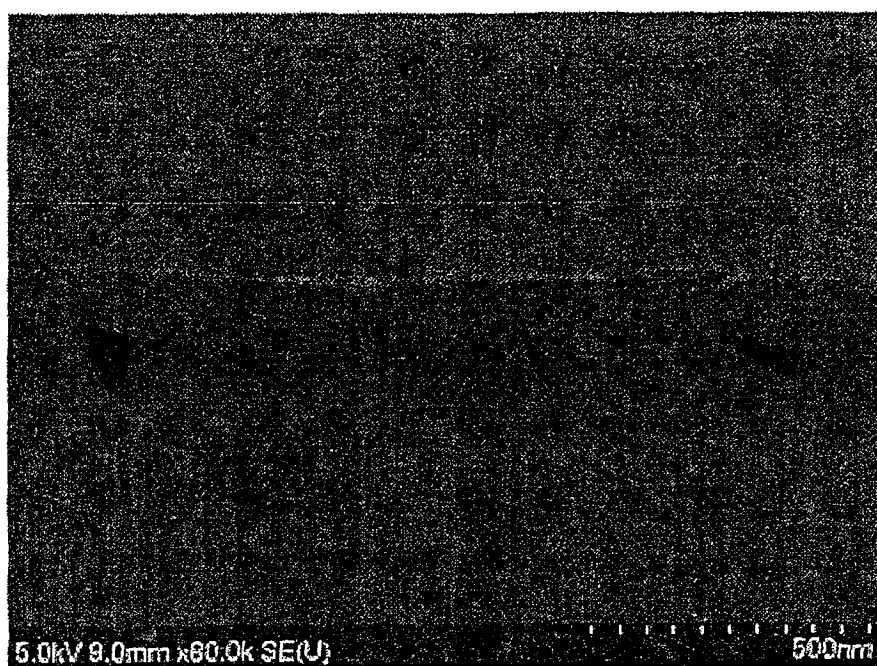


图 34



图 35

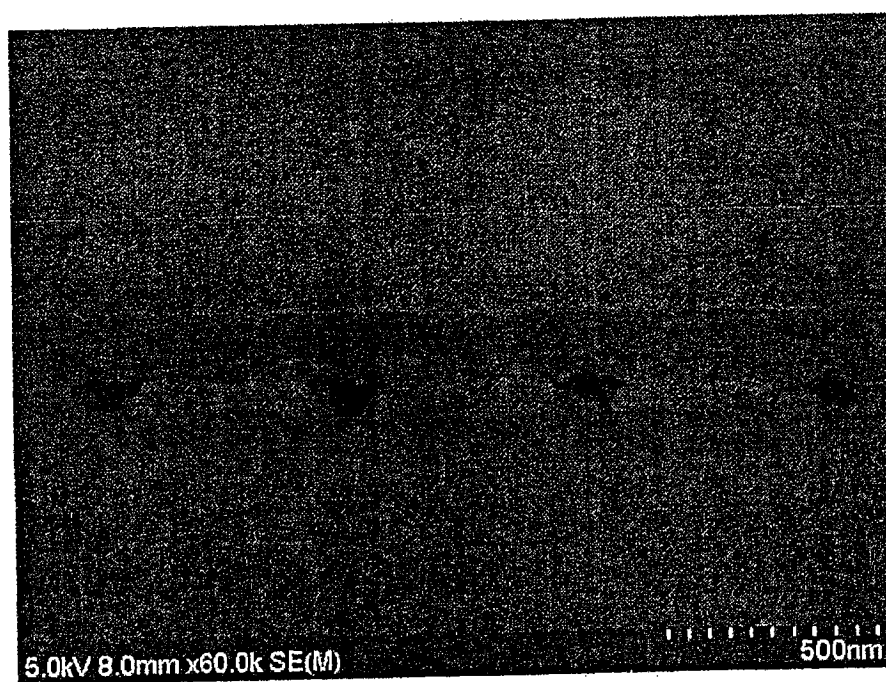


图 36

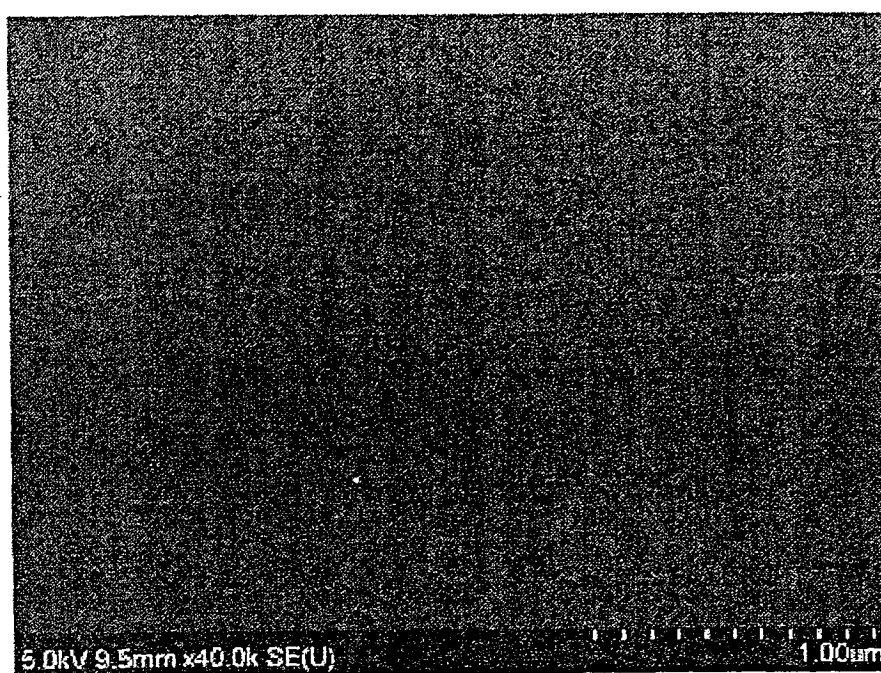


图 37