

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 5/183 (2006.01)

H01S 5/323 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780029934.6

[43] 公开日 2009年8月5日

[11] 公开号 CN 101501946A

[22] 申请日 2007.5.21

[21] 申请号 200780029934.6

[30] 优先权

[32] 2006.8.11 [33] JP [31] 220203/2006

[86] 国际申请 PCT/JP2007/060366 2007.5.21

[87] 国际公布 WO2008/018220 日 2008.2.14

[85] 进入国家阶段日期 2009.2.11

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 松原秀树 齐藤裕久 中西文毅

松川真治

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 孙志湧 穆德骏

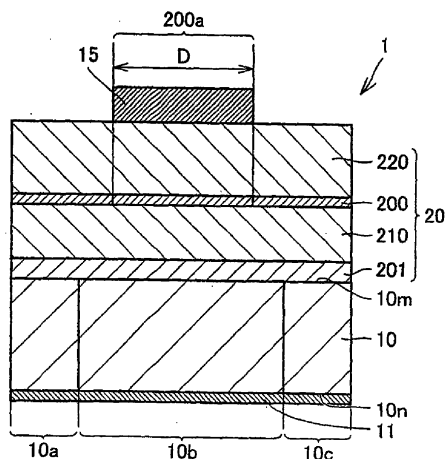
权利要求书6页 说明书41页 附图14页

[54] 发明名称

表面发射激光元件及其制造方法和表面发射
激光阵列及其制造方法

[57] 摘要

一种表面发射激光元件(1)的制造方法,包括:制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底(10)的步骤,所述衬底包括高位错密度高电导区(10a)、低位错密度高电导区(10b)和低位错密度低电导区(10c);在衬底上形成多个包括发射层(200)的 III-V 族化合物半导体层堆叠体(20)的半导体层堆叠体形成步骤;以及形成半导体侧电极(15)和衬底侧电极(11)的电极形成步骤。半导体层和电极被形成为使得发射层(200)中载流子流入的发射区(200a)位于低位错密度高电导区(10b)的跨度内的上方。因此,能以良好的成品率得到在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。



1. 一种表面发射激光元件（1）的制造方法，包括：

制备导电性 GaN 多区域衬底的步骤，所述导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底（10）包括高位错密度高电导区（10a）、低位错密度高电导区（10b）以及低位错密度低电导区（10c），所述高位错密度高电导区（10a）具有高的位错密度和载流子浓度，所述低位错密度高电导区（10b）具有比所述高位错密度高电导区（10a）的位错密度低的位错密度，所述低位错密度低电导区（10c）具有比所述高位错密度高电导区（10a）的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度，

半导体层堆叠体形成步骤，在所述导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面（10m）上形成包括发射层（200）的 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20），以及，

电极形成步骤，在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）的最上层上形成半导体层侧电极（15），以及在所述导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面（10n）上形成衬底侧电极（11），

其中，所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）、所述半导体侧电极（15）和所述衬底侧电极（11）被形成为使得在所述发射层（200）中的流入载流子的发射区（200a）被限制位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

2. 根据权利要求 1 所述的表面发射激光元件的制造方法，其中，在所述电极形成步骤中，在所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方的位置处形成所述半导体侧电极（15），使得所述发射区（200a）被限制位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

3. 根据权利要求 1 所述的表面发射激光元件的制造方法，其中，在所述半导体层堆叠体形成步骤中，在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）中形成载流子狭窄区（250），使得所述发射区（200a）被限制位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

4. 根据权利要求 1 所述的表面发射激光元件的制造方法, 其中, 将所述高位错密度高电导区 (10a) 形成为点状, 所述高位错密度高电导区 (10a) 的每个点被布置在所述导电性 GaN 多区域衬底的主表面 (10m) 上的具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点或正方形晶格点上, 并且

所述低位错密度高电导区 (10b) 是从围绕所述每个点的中心的、半径为 $P_D/2$ 的圆形区中除所述每个点之外的区域。

5. 根据权利要求 1 所述的表面发射激光元件的制造方法, 其中, 将所述高位错密度高电导区 (10a) 形成为条带状, 所述高位错密度高电导区 (10a) 的每一条带以周期性间隔 P_S 布置在所述导电性 GaN 多区域衬底的主表面 (10m) 上, 并且

所述低位错密度高电导区 (10b) 是从所述导电性 GaN 多区域衬底的整个区域中除所述每一条带和所述低位错密度低电导区 (10c) 之外的区域, 其中所述低位错密度低电导区 (10c) 被形成为具有位于距所述每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。

6. 根据权利要求 1 所述的表面发射激光元件的制造方法, 其中, 所述高位错密度高电导区 (10a) 是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域,

所述低位错密度高电导区 (10b) 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 以及,

所述低位错密度低电导区 (10c) 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。

7. 一种表面发射激光元件, 包括:

导电性 GaN 衬底 (10); III-V 族化合物半导体层堆叠体 (20), 所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 (20) 包括形成在所述导电性 GaN 衬底 (10) 的一个主表面 (10m) 上的发射层 (200); 半导体层侧电

极（15），所述半导体层侧电极（15）形成在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）的最上层上；以及，衬底侧电极（11），所述衬底侧电极（11）形成在所述导电性 GaN 衬底（10）的另一主表面（10n）上，其中，

所述导电性 GaN 衬底（10）包括具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度高电导区（10b）；

在所述发射层（200）中的流入载流子的发射区（200a）位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

8. 根据权利要求 7 所述的表面发射激光元件，其中，

所述半导体侧电极（15）形成在所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方的位置处，使得所述发射区（200a）位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

9. 根据权利要求 7 所述的表面发射激光元件，其中，

在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）中形成有载流子狭窄区（250），使得所述发射区（200a）位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

10. 根据权利要求 7 所述的表面发射激光元件，其中，

所述导电性 GaN 衬底（10）还包括具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的高位错密度高电导区（10a）以及具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度低电导区（10c）中的至少一个。

11. 一种表面发射激光阵列（2）的制造方法，所述表面发射激光阵列（2）包括多个表面发射激光元件（1），所述制造方法包括：

制备导电性 GaN 多区域衬底的步骤，所述导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底（10）包括高位错密度高电导区（10a）、低位错密度高电导区（10b）以及低位错密度低电导区（10c），所述高位错密

度高电导区（10a）具有高的位错密度和载流子浓度，所述低位错密度高电导区（10b）具有比所述高位错密度高电导区（10a）的位错密度低的位错密度，所述低位错密度低电导区（10c）具有比所述高位错密度高电导区（10a）的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度，

半导体层堆叠体形成步骤，在所述导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面（10m）上形成包括发射层（200）的 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20），以及，

电极形成步骤，在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）的最上层上形成半导体层侧电极（15），以及在所述导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面（10n）上形成衬底侧电极（11），

其中，所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）、所述半导体层侧电极（15）和所述衬底侧电极（11）被形成为使得：在所述表面发射激光阵列（2）中所包括的每个所述表面发射激光元件（1）的所述发射层（200）中的流入载流子的发射区（200a）被限制位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

12. 根据权利要求 11 所述的表面发射激光阵列的制造方法，其中，在所述电极形成步骤中，在所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极（15），使得所述发射区（200a）被限制在位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

13. 根据权利要求 11 所述的表面发射激光阵列的制造方法，其中，在所述半导体层堆叠体形成步骤中，在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）中形成载流子狭窄区（250），使得所述发射区（200a）被限制位于所述低位错密度高电导区（10b）的跨度内的上方。

14. 根据权利要求 11 所述的表面发射激光阵列的制造方法，其中，所述高位错密度高电导区（10a）形成为点状，所述高位错密度高电导区（10a）的每个点被布置在所述导电性 GaN 多区域衬底的主表面（10m）上的具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点或正方形晶格点

上，并且

所述低位错密度高电导区（10b）是从围绕所述每个点的中心的、半径为 $P_D/2$ 的圆形区中除所述每个点之外的区域。

15. 根据权利要求 11 所述的表面发射激光阵列的制造方法，其中，将所述高位错密度高电导区（10a）形成为条带状，所述高位错密度高电导区（10a）的每一条带以周期性间隔 P_S 布置在所述导电性 GaN 多区域衬底的主表面（10m）上，并且

所述低位错密度高电导区（10b）是从所述导电性 GaN 多区域衬底的整个区域除所述每一条带和所述低位错密度低电导区（10c）之外的区域，其中所述低位错密度低电导区（10c）被形成为具有位于距所述每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。

16. 根据权利要求 11 所述的表面发射激光阵列的制造方法，其中，所述高位错密度高电导区（10a）是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域，

所述低位错密度高电导区（10b）是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域，以及，

所述低位错密度低电导区（10c）是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。

17. 一种表面发射激光阵列（2），其包括多个表面发射激光元件（1），

所述表面发射激光元件（1）包括：导电性 GaN 衬底（10）；III-V 族化合物半导体层堆叠体（20），所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）包括形成在所述导电性 GaN 衬底（10）的一个主表面（10m）上的发射层（200）；半导体层侧电极（15），所述半导体层侧电极（15）形成在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体（20）的最上层上；以及，衬底侧电极（11），所述衬底侧电极（11）形成在所述导电性 GaN 衬底（10）的另一主表面（10n）上，

所述表面发射激光阵列(2)包括导电性 GaN 多区域衬底,该导电性 GaN 多区域衬底包括高位错密度高电导区(10a)、低位错密度高电导区(10b)以及低位错密度低电导区(10c),所述高位错密度高电导区(10a)具有高的位错密度和载流子浓度,所述低位错密度高电导区(10b)具有比所述高位错密度高电导区(10a)的位错密度低的位错密度,所述低位错密度低电导区(10c)具有比所述高位错密度高电导区(10a)的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度,

其中,在所述表面发射激光阵列(2)中所包括的每个所述表面发射激光元件(1)的所述发射层(200)中的流入载流子的发射区(200a)位于所述低位错密度高电导区(10b)的跨度内的上方。

18. 根据权利要求 17 所述的表面发射激光阵列,其中,

所述半导体侧电极(15)形成在所述低位错密度高电导区(10b)的跨度内的上方的位置处,使得所述发射区(200a)位于所述低位错密度高电导区(10b)的跨度内的上方。

19. 根据权利要求 17 所述的表面发射激光阵列,其中,

在所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体(20)中形成有载流子狭窄区(250),使得所述发射区(200)位于所述低位错密度高电导区(10b)的跨度内的上方。

20. 根据权利要求 17 所述的表面发射激光阵列,其中,

所述高位错密度高电导区(10a)是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域,

所述低位错密度高电导区(10b)是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域,以及,

所述低位错密度低电导区(10c)是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。

表面发射激光元件及其制造方法
和表面发射激光阵列及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种表面发射激光元件及其制造方法和一种表面发射激光阵列及其制造方法。更具体地说，本发明涉及一种在发射区中具有均匀发光的表面发射激光元件和一种表面发射激光阵列，以及其具有良好成品率的制造方法。

背景技术

为了得到具有高的发光强度和可靠性的半导体发光元件，对于与半导体发光元件相关的衬底，需要 GaN 衬底，该 GaN 衬底是导电的并具有低位错密度。为此，用于半导体发光元件的导电性 GaN 衬底具有在衬底的晶体中有意地集中的位错，从而形成高位错密度的区域（下面，称为高位错密度区），并且在除高位错密度区以外的区域形成低位错密度的低位错密度区。通过在导电性 GaN 衬底中形成的这种低位错密度区上形成包括发射层的多个半导体层来提供 LED（发光二极管）结构或条带状激光器结构，获得制造高发光强度和可靠性的半导体发光元件的途径（例如，日本专利特开 2003-124115 号和 2003-124572 号）。

专利文献 1：日本专利特开 2003-124115 号公报

专利文献 2：日本专利特开 2003-124572 号公报

发明内容

本发明要解决的问题

然而，上述日本专利特开 2003-124115 号公报和日本专利特开 2003-124572 号公报中所公开的半导体发光元件具有下列问题。具体地说，在使用导电性 GaN 衬底形成具有条带状激光器结构的半导体发光

元件的情况下，例如，由于 GaN 衬底的解理是不充分的，所以在形成 Fabry-Pérot 共振器时成品率降低。

此外，在使用导电性 GaN 衬底形成具有 LED 结构的半导体发光元件的情况下，即使 LED 结构的发射区形成为位于低位错密度区的跨度内的上方，也可能发生该发射区中发光不均匀。由此，半导体发光元件的成品率将降低。在研究该原因时，据发现，在导电性 GaN 衬底的低位错密度区中，存在高导电的子区（下面，称为“低位错密度高电导区”）和低导电的子区（下面，称为“低位错密度低电导区”）。导电性 GaN 衬底的高位错密度区是高电导区，具有高载流子浓度和高位错密度。该高位错密度区将被称为“高位错密度高电导区”。

本发明的目的是提供在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件和表面发射激光阵列及其具有良好成品率的制造方法。

解决问题的方法

本发明涉及一种表面发射激光元件的制造方法，该方法包括：制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底的步骤，该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区、具有比该高位错高电导区的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区以及具有比该高位错高电导区的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区；形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体的半导体层堆叠体形成步骤，该层堆叠体包括导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面上的发射层；以及在该 III-V 族化合物半导体层堆叠体的最上层上形成半导体层侧电极并且在导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面上形成衬底侧电极的电极形成步骤。在表面发射激光器的制造方法中，III-V 族化合物半导体层堆叠体、半导体侧电极和衬底侧电极被形成为使得该发射层中载流子流入的发射区被限制在位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。根据这种制造方法，可以容易地以良好的成品率得到通过使载流子均匀地流入发射区中而在发射区中具有均匀的发光

的表面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光元件的制造方法中的电极形成步骤中，可以将半导体侧电极形成在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置处，使得发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。此外，在半导体层堆叠体形成步骤中，可以在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中形成载流子狭窄区，使得发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。通过这种制造方法，发射区可以被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。可以容易地以良好的成品率得到通过使载流子均匀地流入发射区中而在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光元件的制造方法中，高位错密度高电导区为点状。高位错密度高电导区的每个点位于该导电性 GaN 多区域衬底的主表面上的具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点上或正方形晶格点上。低位错密度高电导区可以从具有以每个点的中心为中心的半径 $P_D/2$ 的圆形区域排除了每个点的区域。此外，高位错密度高电导区可以为条带状。高位错密度高电导区的每一条带以周期性间隔 P_S 布置在导电性 GaN 多区域衬底的主表面上。该低位错密度高电导区可以从该 GaN 多区域衬底的整个区域排除了每一条带和低位错密度低电导区的区域，其中低位错密度低电导区 $10c$ 被形成为具有位于距每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。根据这种制造方法，通过使流入发射区的载流子的面内分布均匀，可以容易地以良好的成品率得到在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光元件的制造方法中，高位错密度高电导区是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。低位错密度高电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。低位错密度低电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。通过这

种制造方法，该发射区可以被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方，低位错密度高电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度。因此，致使流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。能以良好的成品率得到在发射区中具有均匀的发光和高发光效率的表面发射激光元件。

本发明涉及一种表面发射激光元件，包括：导电性 GaN 衬底；III-V 族化合物半导体层，具有形成在导电性 GaN 衬底的一个主表面上的发射层；半导体层侧电极，形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体的最上层上；和衬底侧电极，形成在导电性 GaN 衬底的另一主表面上。导电性 GaN 衬底包括具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度高电导区。发射层中载流子流入的发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。由于这种表面发射激光元件具有位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所述低位错密度高电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度，所以使得流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。因此，致使发射区中的发光是均匀的，并且发光效率得以提高。

在本发明的表面发射激光元件中，半导体侧电极可以形成在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置处，使得发射区被限制位于该低位错密度高电导区的跨度内的上方。此外，可以在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中形成载流子狭窄区，使得发射区被设置在该低位错密度高电导区的跨度内的上方。由于这种表面发射激光元件具有位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所以使得流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。因此，发射区中的发光是均匀的。

在本发明的表面发射激光元件中，该导电性 GaN 衬底还可以包括具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的高位错密度高电导区和具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度低电导区的至少一个。由于这种表面发射激

光元件具有位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所述低位错密度高电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域，所以即使该导电性 GaN 衬底中存在高位错密度高电导区和低位错密度低电导区中的至少一个，流入发射区的载流子的面内分布也是均匀的。因此，致使该发射区中的发光是均匀的，并且发光效率得以提高。

此外，本发明涉及一种表面发射激光阵列的制造方法，该表面发射激光阵列包括多个表面发射激光元件，所述方法包括：

制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底的步骤，该导电性 GaN 多区域衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区、具有比高位错高电导区的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区以及具有比高位错高电导区的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区；形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体的半导体层堆叠体形成步骤，该层堆叠体包括形成在导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面上的发射层；以及在 III-V 族化合物半导体层堆叠体上形成半导体层侧电极并且在导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面上形成衬底侧电极的电极形成步骤。表面发射激光阵列的制造方法使所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体、所述半导体层侧电极和所述衬底侧电极被形成为使得表面发射激光阵列中所包括的每个表面发射激光元件的发射层中载流子流入的发射区都被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。根据这种制造方法，通过使流入发射区的载流子的面内分布均匀，可以容易地以良好的成品率得到表面发射激光阵列，所述表面发射激光阵列包括多个在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光阵列的制造方法中的电极形成步骤中，半导体侧电极可以形成在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置处，使得发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。此外，在半导体层堆叠体形成步骤中，可以在 III-V 族化合物半导体层堆

叠体中形成载流子狭窄区，使得发射区被限制在低位错密度高电导区的跨度内的上方。通过这种制造方法，发射区可以被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。通过使载流子均匀地流入发射区中，可以容易地以良好的成品率得到表面发射激光阵列，所述表面发射激光阵列包括多个在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光阵列的制造方法中，高位错密度高电导区为点状。高位错密度高电导区的每个点位于导电性 GaN 多区域衬底的主表面上的具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点上或正方形晶格点上。低位错密度高电导区可以从具有以每个点的中心为中心的半径 $P_D/2$ 的圆形区域排除了每个点的区域。此外，高位错密度高电导区可以为条带状。高位错密度高电导区的每一条带以周期性的间隔 P_S 布置在导电性 GaN 多区域衬底的主表面上。低位错密度高电导区可以从 GaN 多区域衬底的整个区域排除了每一条带和低位错密度低电导区的区域，其中所述低位错密度低电导区 $10c$ 被形成为具有位于距每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。根据这种制造方法，通过使流入发射区的载流子的面内分布均匀，可以容易地以良好的成品率得到表面发射激光阵列，所述表面发射激光阵列包括多个在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件。

在本发明的表面发射激光阵列的制造方法中，高位错密度高电导区是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。低位错密度高电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。低位错密度低电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。通过这种制造方法，每个表面发射激光元件的发射区可以被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方，该低位错密度高电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度。因此，致使流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。能以良好的成品率得到表面发射激光阵列，所述表面发射激光阵列包括多个在发射区中具有均匀

的发光和高发光效率的表面发射激光元件。

本发明涉及一种包括多个表面发射激光元件的表面发射激光阵列。所述表面发射激光元件包括：导电性 GaN 衬底；III-V 族化合物半导体层，具有形成在该导电性 GaN 衬底的一个主表面上的发射层；半导体层侧电极，形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体的最上层上；和衬底侧电极，形成在导电性 GaN 衬底的另一主表面上。所述表面发射激光阵列包括导电性 GaN 多区域衬底，该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区、具有比该位错高电导区的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区以及具有比高位错密度高电导区的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区。在表面发射激光阵列中，表面发射激光阵列中所包括的每个表面发射激光元件的发射层中载流子流入的发射区位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。由于表面发射激光阵列具有在每个表面发射激光元件中位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所以使得流入发射区的载流子的面内分布是均匀的，因此允许发射区中的均匀发光。

在本发明的表面发射激光阵列中，半导体侧电极可以形成在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置处，使得发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。此外，可以在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中形成载流子狭窄区，使得发射区被限制位于低位错密度高电导区的跨度内的上方。由于这种表面发射激光阵列具有在每个表面发射激光元件中位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所以使得流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。因此，该发射区中的发光是均匀的。

在本发明的表面发射激光阵列中，高位错密度高电导区具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。低位错密度高电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流

子浓度。低位错密度低电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度。由于表面发射激光阵列具有在每个表面发射激光元件中位于低位错密度高电导区的跨度内的上方的发射区，所述低位错密度高电导区具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度，所以使得流入发射区的载流子的面内分布是均匀的。因此，致使发射区中的发光是均匀的，并且发光效率得以提高。

发明的效果

根据本发明，可以提供在发射区中具有均匀的发光的面发射激光元件和表面发射激光阵列及其具有良好成品率的制造方法。

附图说明

图 1A 是根据本发明的表面发射激光元件的实施例的示意性平面图。

图 1B 是沿图 1A 的线 IB-IB 截取的示意性剖面图。

图 2A 是根据本发明的表面发射激光元件的另一实施例的示意性平面图。

图 2B 是沿图 2A 的线 IIB-IIB 截取的示意性剖面图。

图 3A 是本发明中采用的导电性 GaN 衬底的具体实施例的示意性平面图。

图 3B 是沿图 3A 的线 IIIB-IIIB 截取的示意性剖面图。

图 4A 是本发明中采用的导电性 GaN 衬底的另一具体实施例的示意性平面图。

图 4B 是沿图 4A 的线 IVB-IVB 截取的示意性剖面图。

图 5A 是本发明中采用的导电性 GaN 衬底的再一具体实施例的示意性平面图。

图 5B 是沿图 5A 的线 VB-VB 截取的示意性剖面图。

图 6A 是根据本发明的表面发射激光元件的另一具体实施例的示意性平面图。

图 6B 是沿图 6A 的线 VIB-VIB 截取的示意性剖面图。

图 7A 是根据本发明的表面发射激光元件的另一具体实施例的示意性平面图。

图 7B 是沿图 7A 的线 VIIB-VIIB 截取的示意性剖面图。

图 8A 是根据本发明的表面发射激光元件的再一具体实施例的示意性平面图。

图 8B 是沿图 8A 的线 VIIIB-VIIIB 截取的示意性剖面图。

图 9 是本发明中采用的光子晶体层的示意性透视图。

图 10 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第一步骤。

图 11 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第二步骤。

图 12 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第三步骤。

图 13 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第四步骤。

图 14 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第五步骤。

图 15 是图 8A 和 8B 中所示的表面发射元件的示意性剖面图，对应于其制造方法中的第六步骤。

图 16 是根据本发明的表面发射激光元件的再一实施例的示意性平面图。

图 17A 是根据本发明的表面发射激光阵列的实施例的示意性平面图。

图 17B 是沿图 17A 的线 XVIIIB-XVIIIB 截取的示意性剖面图。

图 18A 是根据本发明的表面发射激光阵列的另一实施例的示意性平面图。

图 18B 是沿图 18A 的线 XVIIIIB-XVIIIIB 截取的示意性剖面图。

图 19 是表示导电性 GaN 衬底的低位错密度高电导区和低位错密度低电导区的扩散电阻的视图。

附图标记说明

1 表面发射激光元件；2 表面发射激光阵列；10 导电性 GaN 衬底；10a 高位错密度高电导区；10b 低位错密度低电导区；10c 低位错密度低电导区；10m, 10n, 233m 主表面；11 衬底侧电极；15 半导体侧电极；17 衬垫电极；20 III-V 族化合物半导体层堆叠体；21 第一堆叠体；22 第二堆叠体；30 抗蚀剂；40 下层衬底；41 剥离层；70 键合引线；103 介电镜；200 发射层；200a 发射区；201 缓冲层；210, 220 III-V 族化合物半导体层；213, 223 DBR；215, 225, 226 熔覆层；227, 229 接触层；233 光子晶体层；233a 晶体层；233b 衍射光栅孔；250 载流子狭窄区；250a 载流子狭窄层；250b 绝缘区

具体实施方式

下面将参考附图描述本发明的具体实施方式。要注意，图 1B、2B、6B、7B、8B、10-15、17B 和 18B 代表表面发射激光元件或表面发射激光阵列示意性剖面图，不反映导电性 GaN 衬底和 III-V 族化合物半导体层堆叠体中的每个层的实际厚度。为了使 III-V 族化合物半导体层堆叠体的层结构清晰，可以用夸张手法图示每个层的厚度。

（第一实施方式）

参考图 1A、1B、2A 和 2B，根据本发明的表面发射激光元件的制造方法包括：制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底 10 的步骤，该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错高电导区 10a 的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比高位错高电导区 10a 的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c；形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的半导体层堆叠体形成步骤，该 III-V 族化合物半导体层堆叠体包括导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面 10m 上的发射层 200；以及在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 上形成半导体层侧电极 15 并且在该导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面 10n

上形成衬底侧电极 11 的电极形成步骤。III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11 被形成为使得发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

在根据本实施方式的表面发射激光元件的制造方法中，III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11 被形成为使得发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。由此，载流子在发射区 200a 中均匀地流动。因此，可以得到发射区 200a 中具有均匀发光的表面发射激光元件 1。

将 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧电极 15 以及衬底侧电极 11 形成为使得发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的方法不被特别限制。例如，这种方法包括如图 1A 和 1B 所示形成位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的半导体侧电极 15 的方法、如图 2A 和 2B 所示在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 的方法等等。之后将详细描述。对于共振器结构，为了使得来自发射区 200a 的发光从元件的主表面振荡，可以采用之后将描述的各种结构。在图 1A、1B、2A 和 2B 中未示出这种共振器结构。

参考图 3A、3B、4A、4B、5A 和 5B，根据第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法包括制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底 10 的步骤，该衬底包括具有高的位错密度和载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比该高位错高电导区的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比该高位错高电导区的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。在此使用的每个区域的位错密度，可以基于 CL（阴极发光）方案，通过直接计算每单位面积的荧光图像中的暗点数目来得到，或者

基于蚀刻间距测量，通过直接计算每单位面积的蚀刻间距数目来得到。此外，可以通过 C-V（电容-电压测量）或霍尔测量方法来测量每个区域中的载流子浓度。载流子是有助于导电的空穴或电子的总称，载流子浓度指有助于导电的空穴或电子的浓度。通过将位错集中在导电性 GaN 多区域衬底中的高位错密度高电导区 10a，除高位错密度高电导区 10a 以外的区域（亦即，低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c）中的位错密度减小。因此，可以在低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 上形成具有低位错密度的 III-V 族化合物半导体层堆叠体。因此，可以得到高发光强度和高可靠性的表面发射激光元件。

例如，下述 FP（Fabry-Pérot）型（典型的边缘发射型）激光元件的寿命大约为 100 小时至 1000 小时，该 FP 激光元件具有上述在发射层 200 中位于导电性 GaN 多区域衬底的高位错密度高电导区 10a 的跨度内的上方的发射区 200a，而下述 FP 型激光元件的寿命是 50,000 小时或更长，该 FP 型激光元件具有发射层 200 中位于除高位错密度高电导区 10a 以外的区域的跨度内的上方的发射区 200a，其寿命是极其长的。

本实施方式中采用的导电性 GaN 多区域衬底的制造方法不被特别限制。例如，在下层衬底上晶体生长 GaN 的过程中形成高位错密度高电导区的地方可以预先制备籽晶。下面将描述这种导电性 GaN 多区域衬底的具体制造方法。

首先，制备下层衬底。该下层衬底不被特别限制，只要能晶体生长 GaN。蓝宝石衬底、GaAs 衬底等可以被列举。考虑到在后续步骤去除下层衬底，优选可以被容易地去除的 GaAs 衬底。

然后，例如，在下层衬底上形成诸如 SiO₂ 膜的籽晶。该籽晶例如可以用点状或条带状的形式提供。可以规则地形成多个这种籽晶。具

体地说，该籽晶被布置成对应于图 3A、4A 或 5A 中的高位错密度高电导区 10a 的布置的点状或条带状。

在具有上述形成的籽晶的下层衬底上，例如，通过 HVPE（氢化物气相外延）生长 GaN 晶体。在晶体生长过程中或在晶体生长之后，在 GaN 晶体生长面上形成对应于籽晶的图形形状的晶面。在将籽晶设置成点状图案的情况下，规则地形成由晶面形成的凹坑。在将籽晶设置成条带状图案的情况下，形成对应于棱柱的晶面。通过在晶体生长步骤中将掺杂剂添加到 GaN 原材料，给予 GaN 晶体导电性。

以预定结构切出所生长的 GaN 晶体。通过抛光其表面，得到包括高位错密度高电导区 10a、低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）。

参考图 3A、3B、4A、4B、5A 和 5B，在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）处形成对应于下层衬底的籽晶布置的高位错密度高电导区 10a。在距高位错密度高电导区 10a 的预定范围内形成低位错密度高电导区 10b。参考图 3A 或 4A，在将高位错密度高电导区 10a 形成为点状的情况下，形成圆环形低位错密度高电导区 10b。参考图 5A，在将高位错密度高电导区 10a 形成为条带状的情况下，低位错密度高电导区 10b 被形成为条带状。此外，在低位错密度高电导区 10b 和相邻低位错密度高电导区 10b 之间形成低位错密度低电导区 10c。高位错密度高电导区 10a、低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 可以借助于荧光显微镜来观察。

因此，得到包括高位错密度高电导区 10a、低位错密度高电导区 10b 以及低位错密度低电导区 10c 的导电性 GaN 多区域衬底，所述高位错密度高电导区 10a 具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度，所述低位错密度高电导区 10b 具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度，以及所述低位

错密度低电导区 10c 具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度。

关于上述导电性 GaN 多区域衬底中的每个区域的电阻率，高位错密度高电导区 10a 和低位错密度高电导区 10b 的电阻率是 $0.002 \Omega \cdot \text{cm}$ 至 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ ，以及低位错密度低电导区 10c 的电阻率是 $0.5 \Omega \cdot \text{cm}$ 至 $100000 \Omega \cdot \text{cm}$ 。在低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 之间的边界处观察到电阻率的不连续变化。参考图 19，通过 SSRM（扫描扩散电阻显微镜）测量上述导电性 GaN 多区域衬底的低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 的扩散电阻值。据证实，它们相差至少一个数量级。

参考图 1A、1B、2A 和 2B，第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法包括：在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的一个主表面 10m 上形成包括发射层 200 的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的步骤。在此使用的 III-V 族化合物半导体层是指由 IIIb 族元素与长元素周期表中的 Vb 族元素氮的化合物形成的半导体层。III-V 族化合物半导体层堆叠体是指 III-V 族化合物半导体层的堆叠体。

第一实施方式中的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的层叠结构不被特别限制，只要该结构适合本发明的目的。下面将参考图 1A、1B、2A 和 2B 描述其形成实施例。在导电性 GaN 衬底 10 上，形成至少一层第一导电型 III-V 族化合物半导体层 210、发射层 200 以及至少一层第二导电型 III-V 族化合物半导体层 220。在导电性 GaN 衬底 10 和第一导电型 III-V 族化合物半导体层 210 之间可以形成缓冲层 201。在此使用的 III-V 族化合物半导体层是指由 IIIb 族元素和长元素周期表中的 Vb 族元素氮的化合物形成的半导体层。第一导电类型和第二导电类型指互相不同的导电类型，如 n 型和 p 型，或 p 型和 n 型。III-V 族化合物半导体层 20 的层叠结构包括一共振器结构，以使来自发射区 200a 的发光从元件的主表面振荡，如之后将描述的（在图 1 和 2 中未示出）。

参考图 1A、1B、2A 和 2B，第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法包括在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上形成半导体侧电极以及在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11 的电极形成步骤。通过形成这种电极，得到表面发射激光元件。参考图 1A 和 2A，形成与半导体侧电极 15 电连接的衬垫电极 17。该衬垫电极 17 用来电连接键合引线。

在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中，III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11 被形成为使得发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。尽管不特别限制，但是形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11 的方法优选采用下述方法。

（第一实施方式-A1）

参考图 1A 和 1B，在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中的电极形成步骤中，半导体侧电极 15 可以被形成在低位错密度高区域 10b 的跨度内的上方的位置，从而发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。根据该第一实施方式-A1，即使除在低位错密度高电导区 10b 下方之外直至高位错密度高电导区 10a 或低位错密度低电导区 10c 下方都扩展形成衬底侧电极 11，在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 也允许发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制到在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置。因此，载流子均匀地流入发射区 200a 中。因此，可以得到在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件。

参考图 1A 和 1B，在第一实施方式-A1 的表面发射激光元件中半导体侧电极不透明的情况下，仅仅从接近半导体侧电极 15 的外圆周的区域（指距外圆周直到大约 $5\mu\text{m}$ 的外侧区域；以下相同）的主表面将

发射区 200a (直径 D) 中的发光提供到外部。通过在半导体侧电极 15 中提供至少一个开口 (未示出), 可以通过该开口输出发射区 200a 中的发光。此外, 通过对半导体侧电极 15 采用透明电极, 可以从半导体侧电极 15 的整个区域将发射区 200a 的发光提供到外部。尽管由图 1B 明显看出发射层 200 的发射区 200a 基本上与半导体侧电极 15 的形成区一致, 但是在图 1A 中边界线被移位以有助于观看。

(第一实施方式-A2)

参考图 2A 和 2B, 在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中的半导体形成步骤中, 可以在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250, 从而发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。根据第一实施方式-A2, 即使除在低位错密度高电导区 10b 上方或下方之外直至高位错密度高电导区 10a 或低位错密度低电导区 10c 上方或下方都扩展形成半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11, 在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 也允许发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制到在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置。因此, 载流子均匀地流入发射区 200a 中。因此, 可以得到在发射区 200a 中具有均匀的发光的表面发射激光元件。

形成载流子狭窄区 250 的方法不被特别限制, 只要该方法适合本发明的目的。例如, 在通过台面蚀刻而将该区域分割成台面形状的情况下, 例如, 台面侧平面处的蚀刻损伤使流入的载流子中的一些复合。根据防止这种载流子复合的观点, 可以引用如图 6B 所示由绝缘体形成载流子狭窄层 250a 的方法、如图 7B 所示通过离子注入而形成使其绝缘化的绝缘区 250b 的方法等等。

参考图 2A 和 2B, 将在中心区具有开口的环形电极形成作为半导体侧电极 15。由于载流子狭窄区 250 的存在使发射区 200a 被限制位于环形半导体侧电极 15 的开口的跨度内, 因此从发射区 200a 发射的光从

环形半导体侧电极 15 的开口区输出到外部。

关于将发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 限制在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的方法,在第一实施方式-A1 中已描述了在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 的方法,并且在第一实施方式-A2 中已描述了在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 的方法。优选地,采用在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 并且在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 的方法。

尽管在通过第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法得到的表面发射元件中不特别限制允许表面发射的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的层叠结构,但是优选引用图 6B 所示的 n 型层侧 DBR (多层分布布喇格反射器; 以下相同) 213 和介电镜 103 的组合结构、图 7B 所示的 n 型层侧 DBR 213 和 p 型层侧 DBR 223 的组合结构、图 8 所示的包括光子晶体层 233 的结构。

在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中,根据在导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成发射区 200a 的观点,导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)的主表面 10m 和 10n 上的低位错密度高电导区 10b 的布置是关键。这个问题下面将具体地描述。

(第一实施方式-B1)

参考图 3A 和 3B 以及图 4A 和 4B,在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)中,高位错密度高电导区 10a 被形成为点状。每个点的高位错密度高电导区 10a 被布置在导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)的主表面 10m 和 10n 上具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点(在图

3A 的情况下) 或正方形晶格点上(在图 4A 的情况下)。低位错密度高电导区 10b 对应于从具有以每个点的中心为中心的半径 $P_D/2$ 的圆形区排除了各个点的环形区域。高位错密度高电导区 10a 和低位错密度高电导区 10b 的外周实际上成为近似圆形的多边形形状, 并近似于图 3A 或 4A 所示的圆形。通过形成位于上述低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a, 使流入发射区 200a 的载流子的面内分布均匀。可以容易地以良好的成品率得到在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件。

(第一实施方式-B2)

参考图 5A 和 5B, 在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)中, 高位错密度高电导区 10a 被形成为条带状。高位错密度高电导区 10a 的每一条带以周期性间隔 P_S 布置在该导电性 GaN 多区域衬底的主表面 10m 和 10n 上。低位错密度高电导区 10b 等于从导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)的整个区域排除了每一条带和低位错密度低电导区 10c 的区域, 其中低位错密度低电导区 10c 被形成为具有位于距每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。通过将发射区 200a 形成为位于上述低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方, 使流入发射区 200a 的载流子的面内分布均匀。可以容易地以良好的成品率实现在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件。

(第一实施方式-C)

在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)中, 优选: 高位错密度高电导区 10a 是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域; 低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域; 以及低位错密度低电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。通过使用导电性 GaN 多区域衬底, 在具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度

和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成发射区 200a, 使均匀地流入发射区的载流子的面内分布均匀。因此, 可以以良好的成品率得到在发射区中具有均匀的发光和高发光效率的表面发射激光元件。

(第二实施方式)

参考图 1A、1B、2A 和 2B, 本发明的表面发射激光元件是指包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11 的表面发射激光元件 1, 其中, 所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200, 所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上, 所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。导电性 GaN 衬底包括低位错密度高电导区 10b, 该低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被设置在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。由于表面发射激光元件 1 具有位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a, 所述低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 所以流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。因此, 发射区 200a 中的发光是均匀的, 以及发光效率得以提高。

(第二实施方式-A1)

参考图 1A 和 1B, 根据第二实施方式的表面发射激光元件的实施例是指包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11 的表面发射激光元件 1, 其中, 所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200, 所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上, 所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。导电性 GaN 衬底包括

低位错密度高电导区 10b, 该低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。半导体侧电极 15 形成在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处, 从而发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。由于表面发射激光元件 1 具有位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a, 所述低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 所以使得流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。因此, 发射区 200a 中的发光是均匀的, 并且发光效率得以提高。

(第二实施方式-A2)

参考图 2A 和 2B, 根据第二实施方式的表面发射激光元件的另一实施例是指包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11 的表面发射激光元件 1, 其中, 所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200, 所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上, 所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。导电性 GaN 衬底 10 包括低位错密度高电导区, 该低位错密度高电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中 20 形成载流子狭窄区 250, 从而发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。由于表面发射激光元件 1 具有位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200, 所述低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 所以使得流入发射区 200 的载流子的面内分布是均匀的。发射区 200a 中的发光是均匀的, 并且发光效率得以提高。

在第二实施方式的表面发射激光元件中, 导电性 GaN 衬底 10 还包括高位错密度高电导区 10a 和低位错密度低电导区 10c 中的至少一

个, 所述高位错密度高电导区 10a 是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 所述低位错密度低电导区 10c 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。由于表面发射激光元件 1 具有位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a, 所述低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域, 因此即使在导电性 GaN 衬底 10 中包括高位错密度高电导区 10a 和低位错密度低电导区 10c 中的至少一个, 也使流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。发射区 200a 中发射的光是均匀的, 并且发光效率得以增加。

(第三实施方式)

下面将描述根据本发明的表面发射激光元件的具体实施例。参考图 6, 根据第三实施方式的表面发射激光元件 1 包括导电性 GaN 衬底 10 和 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20, 所述层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200。参考图 6A 和 6B, 该元件还包括: 在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层(接触层 229) 上的衬垫电极 17, 用于与键合引线电连接; 形成为电连接到衬垫电极 17 的环形 P 型半导体侧电极 15; 和布置在环形半导体侧电极 15 的内圆周侧的介电镜 103。

参考图 6B, 图 6B 代表对应于表面发射激光元件 1 的剖面的具体结构, 在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m (形成有 III-V 族化合物半导体层堆叠体的主表面; 以下相同) 上形成有缓冲层 201。对于缓冲层 201 的材料, 可以采用 n 型 GaN (n 导电型的 GaN)。

在缓冲层 201 上形成有 n 型层侧 DBR 213。该 DBR 213 是具有多个堆叠体的 n 型 AlGaIn 和 n 型 GaN 层的多层膜。在 DBR 213 上形成有 n 型熔覆层 215。对于熔覆层 215 的材料, 例如, 可以采用 n 型 AlGaIn。在熔覆层 215 上形成有发射层 200。对于该发射层 200, 例如, 可以采

用具有层叠的 GaInN 层和 GaN 层的多层膜结构的多量子阱发射层。在发射层 200 上形成 p 型熔覆层 225。对于该熔覆层 225 的材料，例如，可以采用 p 型 AlGaIn。在熔覆层 225 上形成 p 型接触层 227。对于该接触层 227 的材料，例如，可以采用 GaN。

在接触层 227 上设置有由绝缘体形成的载流子狭窄层 250a。对于载流子狭窄层 250a 的材料，例如，可以采用由 SiO₂ 形成的绝缘膜。在该载流子狭窄层 250a 中，在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方和之后将描述的介电镜 103 下方的位置处，形成有具有圆形平面形状的开口。该开口适于用作发射区 200a。换句话说，发射区 200a 被形成为位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方和其中形成有介电镜 103 的区域的跨度内的上方。该开口的直径等于宽度 D (参考图 6)。在载流子狭窄层 250a 上形成 p 型接触层 229。对于接触层 229 的材料，例如，可以采用 GaN。在接触层 229 上形成有上述环形半导体侧电极 15 和介电镜 103。介电镜 103 可以是，例如，由 ZnS 和 MgF₂ 形成的多层膜。DBR 213 的厚度 T (参考图 6B) 优选至少 3 μ m 且不超过 6 μ m。

如果在蓝宝石衬底上形成具有 3 μ m 以上厚度的 DBR 213，那么由于蓝宝石衬底和 DBR 213 之间的晶格常数的差异，将发生显著的应变。结果，可能产生断裂而使性能劣化。在导电性 GaN 衬底 10 上形成有 DBR 213 的情况下，由于导电性 GaN 衬底 10 和 DBR213 之间的晶格匹配显著地增加，应变将减小。结果，可以抑制断裂产生。通过采用导电性 GaN 衬底 10，可以形成具有上述范围内的厚度的厚 DBR 213。利用这种厚 DBR 213 的优点，对于将被输出为激光束的光波长，可以实现高反射率。结果，可以从介电镜 103 侧输出激光束。

此外，在 n 型导电性 GaN 衬底 (n 导电型的导电性 GaN 衬底) 10 的另一主表面 10n (未形成有 III-V 族化合物半导体层堆叠体的主表面；以下相同) 上形成有衬底侧电极 11 (n 侧电极)。

由于本实施方式的表面发射激光元件具有在发射层 200 中位于导电性 GaN 衬底 10 中的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a, 因此, 即使在导电性 GaN 衬底 10 中包括高位错密度高电导区 10a 和低位错密度低电导区 10c 中的至少一个, 也使流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。发射区 200a 中的发光表现为均匀的。此外, 当低位错密度高电导区 10b 具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度时, 发光效率得以进一步提高。

(第四实施方式)

下面将描述根据本发明的表面发射激光元件的另一具体实施例。参考图 7, 本实施方式的表面发射激光元件 1 具有类似于图 6 所示的第三实施方式的表面发射激光元件的平面结构, 而不同之处在于, 如图 6 所示的介电镜 103 没有被布置在环形半导体侧电极 15 的内圆周侧。参考图 7(b) 的剖面结构, 在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上布置有缓冲层 201、DBR 213、熔覆层 215 和发射层 200, 且在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上形成有衬底侧电极 11(n 侧电极)。图 7B 的表面发射激光元件的发射层 200 下面的层结构类似于图 6B 所示的第三实施方式的表面发射激光元件的。图 7B 的表面发射激光元件的发射层 200 上面的层结构不同于图 6B 所示的第三实施方式的表面发射激光元件的。

具体地, 如图 7B 所示, 本实施方式的表面发射激光元件具有形成在发射层 200 上的 p 型熔覆层 225。在该熔覆层 215 上形成有 p 型层侧 DBR 223。DBR 223 采取具有交替地堆叠体的多种类型的氮化物外延层的多层膜结构。例如, DBR 223 可以采取具有交替地堆叠体的 AlGaIn 和 GaN 的多层膜结构, 或具有交替地堆叠体的 MGaN 和 GaInN 的多层膜结构。然后, 在 DBR 223 上形成有 p 型接触层 229。在接触层 229 上形成有环形半导体侧电极 15。在 DBR 223 和熔覆层 225 中形成有通过注入离子而使其绝缘的绝缘区 250b。在熔覆层 225 中, 在位于环形

半导体侧电极 15 的内圆周侧的正下方的区域以及在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方，形成具有圆形平面形状的区域，该区域没有形成绝缘区 250b。该区域适于用作发射区 200a。例如，该区域的宽度 D（直径）可以被设为 $5\mu\text{m}$ 。例如，DBR 213 和 223 的厚度 T 可以被设为至少 $3\mu\text{m}$ 且不超过 $6\mu\text{m}$ 。

由于根据这种结构，在导电性 GaN 衬底 10 上，由氮化物半导体层形成的 DBR 213 和 223 可以被设置成较厚（ $3\mu\text{m}$ 至 $6\mu\text{m}$ 的膜厚），在两个 DBR 213 和 223 之间可以充分地反射在发射层 200 处发射的光。结果，能使足够光通量的激光束振荡。

由于本实施方式的表面发射激光元件具有在发射层 200 中位于导电性 GaN 衬底 10 中的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a，因此，即使在导电性 GaN 衬底 10 中包括高位错密度高电导区 10a 和低位错密度低电导区 10c 中的至少一个，也可以使流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。发射区 200a 中的发光是均匀的。当低位错密度高电导区 10b 具有小于 $1\times 10^6\text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度时，发光效率得以进一步提高。

（第五实施方式）

下面将描述根据本发明的表面发射激光元件的再一具体实施例。关于平面结构，如图 8A 所示，本实施方式的表面发射激光元件 1 具有半导体侧电极 15 和衬垫电极 17，所述衬垫电极 17 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体的最上层（接触层 229）上，与半导体侧电极 15 电连接。关于剖面结构，在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上形成有构成 III-VV 族化合物半导体层堆叠体 20 的 n 型熔覆层 215、发射层 200、p 型熔覆层 225、光子晶体层 233、p 型熔覆层 226 和接触层 229。虽然在图 8B 中未示出，但是在导电性 GaN 衬底 10 和 n 型熔覆层 215 之间可以形成缓冲层。在接触层 229 上形成有半导体侧电极 15。在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上形成有衬底侧电极

11 (n 侧电极)。

图 8B 所示的本实施方式的表面发射激光元件没有图 6B 中所示的第三实施方式的表面发射激光元件中找到的 DBR 213 和介电镜 103 的复杂共振器结构, 或图 7B 所示的第四实施方式的表面发射激光元件中找到的一对 DBR213 和 223 的复杂共振器结构。通过将光子晶体层 233 用作形成在两个 p 型熔覆层 225 和 226 之间的二维衍射光栅, 允许表面发射。

在图 8B 所示的本实施方式的表面发射激光元件中, 在接触层 229 上形成半导体侧电极 15, 接触层 229 是 III-V 族化合物层 20 的最上层, 并且也在导电性 GaN 衬底 10 的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。通过在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 和导电性 GaN 衬底 10 上分别形成的半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11, 发射区 200a 位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。例如, 发射区 200a 可以具有约 $50\mu\text{m}$ 至 $200\mu\text{m}$ 的宽度 D (直径)。

参考图 8A 和 8B, 本实施方式的表面发射激光元件具有在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上依次层叠的 n 型熔覆层 215、发射层 200、p 型熔覆层 225、光子晶体层 233、p 型熔覆层 226 以及接触层 229。半导体侧电极 15 被设置在接触层 229 上。衬底侧电极 11 (n 侧电极) 被设置在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。例如, 半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11 由 Au (金) 形成。

例如, 发射层 200 由 $(0 \leq x, y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1)$ 的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 的多量子阱形成。发射层 200 可以由一种半导体材料形成。发射层 200 可以形成为沿光子晶体层 233 设置的在预定方向上延伸的多个量子线或形成为沿光子晶体层 233 设置的多个量子箱。每个量子线具有允许电子的能级将在两个方向即纵向和与其垂直的方向上离散的尺寸 (例如,

大约几十 nm)。每个量子箱具有允许电子的能级将在三个互相垂直的方向上离散的尺寸(例如,大约几十 nm)。由于通过具有这种量子结构而增大了状态密度,所以发光效率得以提高并且使发射光谱是尖锐的。

下面将参考图 9 描述光子晶体层 233。光子晶体层 233 包括晶体层 233a 和具有比晶体层 233a 的折射率低的折射率的多个衍射光栅孔 233b。晶体层 233a 由 GaN 形成,以及晶体层 233a 中形成的孔是衍射光栅孔 233b。换句话说,空气构成衍射光栅孔 233a。

在光子晶体层 233 中,设置多个衍射光栅孔 233b,以在晶体层 233a 的一个主表面上形成三角形晶格或正方形晶格。每个衍射光栅孔 223b 被设置为柱状(例如,圆柱形)空间。对于各个衍射光栅孔,一个衍射光栅孔 233b 的中心和相邻衍射光栅孔 233b 的中心之间的距离 P_P 是相等的,例如是 $0.16\mu\text{m}$ 。此外,例如,衍射光栅孔 233b 的直径 D_P 是 $0.06\mu\text{m}$ 。

在光子晶体层 233 中,晶体层 233a 具有第一折射率(对于 GaN 为 2.54),且周期性地形成的衍射光栅孔 233b 具有第二折射率(对于空气为 1)。衍射光栅孔 233b 可以填有与晶体层 233a 的材料不同的材料。但是,衍射光栅孔 233b 优选未填有任何东西(即,对应于存在诸如空气的气体的状态),以便得到第一折射率和第二折射率之间的大差异。这种折射率的大差异允许光封闭在第一折射率的介质中。填充衍射光栅孔 233b 的材料,即,低折射率的介电材料,包括氮化硅膜(SiN_x)等等。

对应于衍射光栅的光子晶体层 233 在第一方向和与第一方向成预定角度的第二方向上具有相等的周期(对应于晶格常数的值)。对于光子晶体层 233,上述的两个方向和这些方向上的周期允许各种选择。通过至少将发射区 200a 的跨度内的导电性 GaN 衬底 10 和晶体层 233a

的区域的位错密度设为不超过 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ ，在发射区 200a 的跨度内的晶体层 233a 中形成衍射光栅孔 233b 的蚀刻步骤过程中，将不再产生由于位错而导致的缺陷的聚合物（aggregate）。

下面将描述的本实施方式的表面发射激光元件的表面发射。参考图 8B，施加正电压到半导体侧电极 15，导致将空穴从 p 型熔覆层 225 和 226 引入发射层 200 中，并将电子从 n 型熔覆层 215 引入发射层 200 中。空穴和电子（空穴和电子总称为载流子）引入发射层 200 中引起载流子的复合，从而产生光。产生的光波长由发射层 200 中的半导体层的带隙来限定。

尽管在发射层 200 处产生的光被 n 型熔覆层 215 和 p 型熔覆层 225 封闭在发射层 200 中，但是一些光到达光子晶体层 233，作为瞬逝光（evanescent light）。当到达光子晶体层 233 的瞬逝光的波长匹配光子晶体层 233 的预定周期时，该光将以对应于这些周期的波长来重复衍射，从而产生驻波，并且相位条件被限定。具有被光子晶体层 233 限定的相位的光被反馈到发射层 200 中的光，仍然产生驻波。该驻波满足在光子晶体层 233 限定的光波长和相位条件。

由于发射层 200 和光子晶体层 233 形成有二维扩散，所以在发射区 233a 可能出现这种现象。在此状态之下积累足够数量光的情况下，在垂直于光子晶体层 233 的主表面 233m 的方向上（图 8B 中，向上），在从 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最外层的主表面受激发射中，输出匹配波长和相位条件的光。

例如，下面将列举本实施方式的半导体激光元件 1 的每个部分的尺寸。导电性 GaN 衬底 10 的厚度例如是 $100 \mu\text{m}$ 。光子晶体层 233 的厚度例如是 $0.1 \mu\text{m}$ 。每个 n 型熔覆层 215 和 p 型熔覆层 226 的厚度例如是 $0.5 \mu\text{m}$ 。每个发射层 200 和 p 型熔覆层 225 的厚度例如是 $0.1 \mu\text{m}$ 。

对于一个表面发射激光元件 1，上述第三至第五实施方式都对应于具有一个发射区 200a 的元件，如图 6A、7A 和 8A 所示。但是在一个表面发射激光元件中，发射区的数目不限于一个。例如，根据增加每一个元件的发光强度的观点，优选一个表面发射激光元件具有多个表面发射区的元件，如图 16 所示。

（第六实施方式）

参考图 17A、17B、18A 和 18B，根据本发明的表面发射激光阵列的制造方法是指包括多个表面发射激光元件 1 的表面发射激光阵列 2 的制造方法。该制造方法包括：制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底 10 的步骤，该衬底具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错高电导区 10a 的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比高位错高电导区 10a 的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c；在导电性 GaN 多区域衬底的一个主表面 10m 上形成包括发射层 200 的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的半导体层堆叠体形成步骤；以及在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 上形成半导体层侧电极 15 并且在导电性 GaN 多区域衬底的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11 的电极形成步骤。III-V 族化合物半导体层堆叠体、半导体侧电极和衬底侧电极 15 被形成为使得表面发射激光阵列 2 中的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

在本实施方式的表面发射激光阵列元件的制造方法中，通过将 III-V 族化合物半导体层堆叠体、半导体侧电极和衬底侧电极 15 形成为使得表面发射激光阵列 2 中的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 200a 的跨度内的上方，载流子均匀地流入发射区 200a。因此，可以得到在发射区 200a 中均匀的发光的面发射激光阵列 2。

在第六实施方式的表面发射激光阵列元件的制造方法中，III-V 族化合物半导体层堆叠体、半导体侧电极和衬底侧电极 15 被形成使得表面发射激光阵列 2 中的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。尽管未特别限制，但是对于 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体侧衬底 15 和衬底侧电极 11 的形成方法，优选采用下述方法。

（第六实施方式-A1）

在参考图 17A 和 17B 的第六实施方式的表面发射激光阵列的制造方法的电极形成步骤中，半导体侧电极 15 可以形成在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处，从而发射区 200a 被限制位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。根据第一实施方式-A1，即使除在低位错密度高电导区 10b 下方之外直至高位错密度高电导区 10a 或低位错密度低电导区 10c 下方都扩展形成衬底侧电极 11，在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 也允许发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置。因此，载流子均匀地流入发射区 200a 中。因此，可以得到在发射区 200a 中均匀的发光的面发射激光阵列。

参考图 17A 和 17B，当在第六实施方式-A1 的表面发射激光元件中半导体侧衬底 15 不透明时，仅仅从接近半导体侧电极 15 的外圆周的区域（指距外圆周约 $5\mu\text{m}$ 的外侧区域；以下相同）的主表面将发射区 200a（直径 D）中的发光提供到外部。通过在半导体侧电极 15 中设置至少一个开口（未示出），可以通过该开口输出发射区 200a 中的发光。此外，通过对半导体侧电极 15 采用透明电极，可以从半导体侧电极 15 的整个区域将发射区 200a 的发光提供到外部。尽管由图 17B 明显看出，发射层 200 的发射区 200a 基本上与半导体侧电极 15 的形成区一致，但是在图 17A 中边界线被移位以有助于观看。

（第六实施方式-A2）

参考图 18A 和 18B, 在第一实施方式的表面发射激光元件的制造方法的半导体形成步骤中, 可以在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中形成载流子狭窄区 250, 从而发射区 200a 被限制在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置。根据第六实施方式-A2, 即使除在低位错密度高电导区 10b 上方或下方之外直至高位错密度高电导区 10a 或低位错密度低电导区 10c 上方或下方都扩展形成半导体侧电极 15 和衬底侧电极 11, 在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 也允许每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 被限制在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置。因此, 载流子均匀地流入发射区 200a 中。因此, 可以得到在发射区 200a 中均匀的发光的面发射激光阵列。

形成载流子狭窄区 250 的方法不被特别限制, 只要该方法适合本发明的目的。例如, 在通过台面蚀刻而将该区域分割成台面形状的情况下, 例如, 通过该台面侧平面处的蚀刻损伤, 将使流入的载流子中的一些复合。根据防止这种载流子复合的观点, 可以引用如图 6B 所示由绝缘体形成载流子狭窄层 250a 的方法、如图 7B 所示形成通过离子注入而使其绝缘化的绝缘区 250b 的方法等等。

参考图 18A 和 18B, 形成具有位于导电性 GaN 衬底 10 的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的开口的环形半导体侧电极 15, 作为每个表面发射激光元件 1 的半导体侧电极 15。由于通过上述载流子狭窄区 250, 发射区 200a 被限制位于环形半导体侧电极 15 的开口区的跨度内, 因此从环形半导体侧电极 15 的开口区将每个表面发射激光元件 1 的发射区 200a 的发光输出到外部。

关于将每个表面发射激光元件的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 设置在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的方法, 在第一实施方式-A1 中已描述了在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 的方法, 并且在第六实施方式中描述了

在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 的方法。优选地，采用在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 中形成载流子狭窄区 250 并且在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极 15 的方法。

尽管在通过第六实施方式的表面发射激光阵列的制造方法得到的每个表面发射元件中不特别限制允许表面发射的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的层叠结构，但是优选引用图 6B 中所示的 n 型层侧 DBR（多层分布布拉格反射器；以下相同）213 和介电镜 103 的组合结构、图 7B 所示的 n 型层侧 DBR 213 和 p 型层侧 DBR 223 的组合结构、图 8B 所示的包括光子晶体层 233 的结构等等。

在第六实施方式的表面发射激光元件的制造方法中，根据在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 的发射区 200a 的观点，导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的主表面 10m 和 10n 上的低位错密度高电导区 10b 的布置是关键。下面将具体描述这个问题。

（第六实施方式-B1）

参考图 3A、3B、4A 和 4B，在第六实施方式的表面发射激光阵列的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）中，高位错密度高电导区 10a 被形成为点状。高位错密度高电导区 10a 的每个点被布置在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的主表面 10m 和 10n 上的具有晶格常数 P_D 的周期性三角形晶格点（在图 3A 的情况下）或正方形晶格点（在图 4A 的情况下）上。低位错密度高电导区 10b 对应于从具有以每个点的中心为中心的半径 $P_D/2$ 的圆形区域排除各个点外的环形区域。高位错密度高电导区 10a 和低位错密度高电导区 10b 的外周实际上成为近似圆形的多边形形状，并近似于图 3A 或 4A 所示的圆形。通过形成位于上述确定的低位错密度高电导区

的跨度内的上方的每个表面发射激光元件的发射区，使流入发射区 200a 的载流子的面内分布均匀。可以容易地以良好的成品率得到表面发射激光阵列 2，所述表面发射激光阵列 2 包括多个在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件 1。

（第六实施方式-B2）

参考图 5A 和 5B，在第六实施方式的表面发射激光阵列的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）中，高位错密度高电导区 10a 被形成为条带状。高位错密度高电导区 10a 的每一条带以周期性间隔 P_S 布置在导电性 GaN 多区域衬底的主表面 10m 和 10n 上。低位错密度高电导区 10b 是从导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的整个区域排除了每一条带和低位错密度低电导区 10c 的区域，其中所述低位错密度低电导区 10c 被形成为具有位于距每一条带的中心 $P_S/2$ 处的中心。通过形成位于上述确定的低位错密度高电导区的跨度内的上方的每个表面发射激光元件的发射区，使流入发射区 200a 的载流子的面内分布均匀。可以容易地以良好的成品率得到表面发射激光阵列 2，所述表面发射激光阵列 2 包括多个在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件 1。

（第六实施方式-C）

在第六实施方式的表面发射激光阵列的制造方法中采用的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）中，优选：高位错密度高电导区是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域；低位错密度高电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域；以及低位错密度低电导区是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。通过基于导电性 GaN 多区域衬底，在具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的位置处形成每个表面发射激光元件 1 的发射区 200a，使电流均匀地流入发射区的载流子的面内分布均匀。因此，可以容易地以良好的成品

率得到表面发射激光阵列 2，所述表面发射激光阵列 2 包括多个在发射区 200a 中具有均匀的发光的面发射激光元件 1。

（第七实施方式）

参考图 17A、17B、18A 和 18B，根据本发明的表面发射激光阵列是指包括多个表面发射激光元件 1 的表面发射激光阵列 2，其中所述表面发射激光元件 1 包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11，其中，所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200，所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上，所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。表面发射激光阵列 2 包括导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10），所述导电性 GaN 多区域衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错高电导区 10a 的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 和具有比高位错高电导区 10a 的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。表面发射激光阵列 2 中所包括的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

由于第七实施方式的表面发射激光阵列 2 具有在每个表面发射激光元件 1 中位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a，所以使得流入发射区 200a 的载流子的面内分布均匀。因此，使得发射区 200a 中的发光是均匀的。第七实施方式的表面发射激光阵列 2 优选具有下面将描述的第七实施方式-A1 或第七实施方式-A2 的结构，从而每个表面发射激光元件 1 的发射区 200a 位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

（第七实施方式-A1）

参考图 17A 和 17B，第七实施方式的表面发射激光阵列的实施例

是指包括多个表面发射激光元件 1 的表面发射激光阵列 2。表面发射激光元件 1 包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11，其中，所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200，所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上，所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。表面发射激光阵列 2 包括导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10），该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错高电导区 10a 的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比高位错高电导区 10a 的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。半导体侧电极形成在低位错密度高电导区的跨度内的上方的位置处，从而表面发射激光阵列 2 中所包括的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区 200a 位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

由于第七实施方式-A1 的表面发射激光阵列 2 具有在每个表面发射激光元件 1 中位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a，所以使得流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。因此，发射区 200a 中的发光是均匀的。

（第七实施方式-A2）

参考图 18A 和 18B，根据第七实施方式的表面发射激光阵列的另一实施例是指包括多个表面发射激光元件 1 的表面发射激光阵列 2。表面发射激光元件 1 包括导电性 GaN 衬底 10、III-V 族化合物半导体层堆叠体 20、半导体层侧电极 15 和衬底侧电极 11，其中，所述 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 包括形成在导电性 GaN 衬底 10 的一个主表面 10m 上的发射层 200，所述半导体层侧电极 15 形成在 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上，所述衬底侧电极 11 形成在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上。表面发射激光阵列 2 包括导电性 GaN 多

区域衬底（导电性 GaN 衬底 10），该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错高电导区 10a 的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比高位错高电导区 10a 的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。在 III-V 族化合物半导体层堆叠体中 20 形成载流子狭窄区 250，从而表面发射激光阵列 2 中所包括的每个表面发射激光元件 1 的发射层 200 中载流子流入的发射区被限制在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

由于第七实施方式-A2 的表面发射激光阵列 2 具有在每个表面发射激光元件 1 中位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a，所以使得流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。发射区 200a 中的发光是均匀的。

在第七实施方式的表面发射激光阵列的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）中，优选：高位错密度高电导区 10a 是具有至少 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域；低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域；以及低位错密度低电导区 10c 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域。由于表面发射激光阵列 2 具有在每个表面发射激光元件 1 中位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方的发射区 200a，所述低位错密度高电导区 10b 是具有小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的区域，所以使得流入发射区 200a 的载流子的面内分布是均匀的。因此，发射区 200a 中的发光是均匀的，并且发光效率得以提高。

参考图 17A、18A 和 18B，第七实施方式的表面发射激光阵列 2 配置成具有多个排列在单个导电性 GaN 衬底 10 和 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的一个堆叠体上的表面发射激光元件 1 的单位元件（使用一个堆叠体形成多个单位元件）。图 17A 和 17B 对应于图 1A 和 1B

中所示的表面发射激光元件的布置，亦即排列在两行中的单位元件。此外，图 18A 和 18B 对应于图 2A 和 2B 所示的表面发射激光元件的布置，亦即排列在两行中的单位元件。单位元件中的衬垫电极 17 被固定地连接到由金制成的键合引线 70。通过这种表面发射激光阵列，可以得到足够的激光束功率。

实施例

(实施例 1)

下面将描述第三实施方式的表面发射激光元件的具体实施例。在具有以 $400\ \mu\text{m}$ 的间隔而形成条带状的 SiO_2 膜的籽晶的 GaAs 衬底（下层衬底）上，通过 HVPE，使用 Si 作为掺杂剂，晶面生长形成 n 型导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底 10，该衬底包括具有至少 $1 \times 10^6\text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有小于 $1 \times 10^6\text{cm}^{-2}$ 的位错密度和至少 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度高电导区 10b 以及具有小于 $1 \times 10^6\text{cm}^{-2}$ 的位错密度和小于 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。通过 CL 方案测量每个区域的位错密度，以及通过 C-V 方案和霍尔测量方案测量每个区域中的载流子浓度。

参考图 6B，在 n 型导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的一个主表面 10m 上形成有包括发射层 200 的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。在该 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上形成有环形半导体层侧电极 15。在该 n 型导电性 GaN 多区域衬底 10（导电性 GaN 衬底 10）的另一主表面 10n 上形成有衬底侧电极 11。发射层 200 的发射区 200a 被设置在低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

通过 MOCVD（金属有机化学气相淀积）形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。具体地说，如下所述形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。

首先，在 n 型导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）上形成 n 型 GaN 缓冲层作为缓冲层 201。在缓冲层 201 上形成 BDR 213。对于该 BDR 213，采用 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 多层结构（具有交替地层叠的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 层和 GaN 层的层状结构）。每一组（一对） $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 层和 GaN 层的总厚度大约是 86nm，并且制造 60 对多层结构。在该 DBR 213 上形成 n 型熔覆层 215。对于发射层 200，在熔覆层 215 上形成 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱结构。具体地说，形成具有交替地层叠的 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}$ 和 GaN 层的多层结构。在该发射层 200 上，形成具有类似于上述熔覆层 215 的结构的 p 型熔覆层 225。N 型熔覆层 215 是 n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层，p 型熔覆层 225 是 p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层。

然后，在 p 型熔覆层 225 上形成 p 型接触层 227。该 p 型接触层 227 是 p^+ 型 GaN 接触层。在该 p 型接触层 227 上设置由 SiO_2 绝缘体形成的电流狭窄层 250a。电流狭窄层 250a 被形成为使得由电流狭窄层 250a 规定的发射区 200a（由通过电流狭窄层 250a 形成的具有圆形平面形状的开口所限定的区域）位于导电性 GaN 衬底 10 中的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。发射区 200a 的直径 D 是 $5\mu\text{m}$ 。在电流狭窄层 250a 上形成具有与上述 p 型接触层 227 的组成相同的组成的 p 型接触层 229。

然后，在 p 型接触层 229 上形成环形半导体侧电极 15（p 侧电极）和介电镜 103。在 n 型导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11（n 侧电极）。因此，得到本实施例的表面发射激光元件。对于介电镜 103，采用对于 420nm 左右的光波长具有 99% 的反射率的 ZnS/MgF_2 多层膜（12 对）。介电镜 103 被形成为使得介电镜 103 的形成区 103 包括发射区 200a 的整体。布置成围绕介电镜 103 的环形半导体侧电极 15 被用来将电流引入上述发射区。

在施加电流到该得到的表面发射激光元件时，观察到至少 $8\text{kA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下的激光振荡，并且它的发光是均匀的。

（比较例 1）

除了将电流狭窄层 250 形成为使得发射区 200a 位于导电性 GaN 衬底 10 的低位错密度高电导区 10b 和低位错密度低电导区 10c 的跨度内的上方之外，用类似于实施例 1 的方式得到表面发射激光元件。位于发射区 200a 的跨度内的下方的低位错密度高电导区 10b 与低位错密度低电导区 10c 的面积比是 3:1。在施加电流到该得到的表面发射激光元件时，观察到至少 $7.5\text{kA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下的激光振荡，并且它的发光是均匀的。

（实施例 2）

下面将描述第四实施方式的表面发射激光元件的具体实施例。首先，制备具有类似于实施例 1 的性能的导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）。然后，参考图 7B，在 n 型导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）的一个主表面 10m 上形成包括发射区 200 的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。在该 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上形成环形半导体层侧电极 15。在该 n 型导电性 GaN 多区域衬底 10（导电性 GaN 衬底 10）的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11。发射层 200 的发射区 200a 被设定成位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

通过 MOCVD（金属有机化学气相淀积）形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。具体地说，如下所述形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。

用类似于实施例 1 的方式，在 n 型导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）上顺次形成缓冲层 201（n 型 GaN 缓冲层）、BDR 213（60 对 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 的多层结构；每对 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 层和 GaN 层的总厚度大约是 80nm）、n 型熔覆层 215（n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层）、发射层 200（ $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱结构）以及 p 型熔覆层 225（p 型

$\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层)。

然后, 在 p 型熔覆层 225 上形成 DBR 223。DBR 213 采用 60 对 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 的多层结构(具有交替地层叠的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 层和 GaN 层的多层结构), 即与 DBR 213 相同的结构。每对 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 层和 GaN 层的总厚度大约是 80nm。在 DBR 223 上形成 P^+ 型 GaN 接触层作为 p 型接触层 229。然后, 通过台面蚀刻和离子注入, 选择部分绝缘, 在部分 p 型熔覆层 225 和 DBR 223 处形成绝缘区 250b。绝缘区 250b 被形成为使得由绝缘区 250b 规定的发射区 200a(由通过电流狭窄层 250a 形成的具有圆形平面形状的开口所限定的区域) 位于导电性 GaN 衬底 10 中所包括的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。发射区 200a 的直径 D 是 $5\mu\text{m}$ 。然后, 在 p 型接触层 229 上形成环形半导体侧电极 15(p 侧电极)。在导电性 GaN 衬底 10 的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11(n 侧电极)。因此, 得到本实施例的表面发射激光元件。

在施加电流到该得到的表面发射激光元件时, 观察到至少 $6\text{kA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下的激光振荡, 并且它的发光是均匀的。

(实施例 3)

下面将描述第五实施方式的表面发射激光元件的具体实施例。首先, 制备具有类似于实施例 1 的性能的导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10)。然后, 参考图 8B, 在 n 型导电性 GaN 多区域衬底(导电性 GaN 衬底 10) 的一个主表面 10m 上形成包括发射区 200 的 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。在该 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层上形成环形半导体侧电极 15。在该 n 型导电性 GaN 多区域衬底 10(导电性 GaN 衬底 10) 的另一主表面 10n 上形成衬底侧电极 11。发射层 200 的发射区 200a 被设定成位于低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。

通过 MOCVD(金属有机化学气相淀积), 形成 III-V 族化合物半

导体层堆叠体 20。具体地说，如下所述形成 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20。

参考图 10，在导电性 GaN 多区域衬底（导电性 GaN 衬底 10）上顺次形成缓冲层（未示出）（n 型 GaN 缓冲层）、n 型熔覆层 215（n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层）、发射层 200（ $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱结构）、p 型熔覆层 225（p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层）以及用以形成光子晶体的晶体层 233a（GaN 层）。

参考图 11，通过电子束曝光，在晶体层 233a 上形成预定图案的抗蚀剂 30。具体地说，涂敷用于电子束曝光的光致抗蚀剂（ZEP520：Zeon 公司的产品），并使用电子束曝光机绘制微孔的抗蚀剂图案。抗蚀剂 30 的图案为正方形晶格，对应于间隔 $0.16\mu\text{m}$ 直径为 $0.06\mu\text{m}$ 的微孔。

参考图 12，使用抗蚀剂 30 作为掩模，通过 ICP（（感应耦合等离子体）-RIE（反应离子蚀刻）蚀刻晶体层 233a。在晶体层 233a 中的预定位置处形成 $0.1\mu\text{m}$ 深度的衍射光栅孔 233b，从而形成光子晶体层 233。因此，得到第一堆叠体 21。使用氯气和少量稀有气体的混合气体作为蚀刻气体，在约 0.4Pa 的高真空中进行蚀刻。由此，可以执行高平坦性和垂直性的蚀刻。

参考图 13，除图 12 的第一堆叠体 21 之外，通过 MOCVD，在下层衬底 40（蓝宝石衬底）上形成剥离层 41（ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 层）、p 型接触层 229（ p^+ 型 GaN 接触层）以及 p 型熔覆层 226（p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 熔覆层），从而得到第二堆叠体 22。

参考图 14，第一堆叠体 21 与第二堆叠体 22 熔接成使得第一堆叠体 21 的光子晶体层 233 面对第二堆叠体 22 的 p 型熔覆层 226。该熔接在 700°C 的温度下在氮气环境中进行。

参考图 15, 对于横向蚀刻, 施加激光束到剥离层 41, 由此有选择地去除剥离层 22。因此, 使 p 型接触层 229 与下层衬底 40 分离, 所述 p 型接触层 229 是 III-V 族化合物半导体层堆叠体 20 的最上层。结果, 接触层 229 的顶表面被露出作为发光面。

参考图 8B, 在 p 型接触层 229 上, 在低位错密度高电导区 10 的跨度内的上方的位置处形成半导体侧电极, 使得发射层 200 的发射区 200a 位于导电性 GaN 衬底 10 中的低位错密度高电导区 10b 的跨度内的上方。然后, 在导电性 GaN 衬底 10n 的另一主表面 10 上形成衬底侧电极 11 (n 侧电极), 从而得到本实施例的表面发射激光元件。

在施加电流到该得到的表面发射激光元件时, 观察到至少 $5\text{kA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下的激光振荡, 并且它的发光是均匀的。

如上所述, 在表面发射激光元件 1 的制造中, 制备导电性 GaN 多区域衬底作为导电性 GaN 衬底 10, 该衬底包括具有高位错密度和高载流子浓度的高位错密度高电导区 10a、具有比高位错密度高电导区的位错密度低的位错密度的低位错密度高电导区 10b 以及具有比高位错高电导区的位错密度和载流子浓度低的位错密度和载流子浓度的低位错密度低电导区 10c。在该导电性 GaN 多区域衬底 (导电性 GaN 衬底 10) 上形成 III-V 族化合物半导体层叠 20, 使得发射层中所包括的发射区位于该低位错密度高电导区的跨度内的上方。因而, 流入发射区的电流是均匀的。因此, 可以以良好的成品率得到在发射区中具有均匀的发光的表面发射激光元件 1。

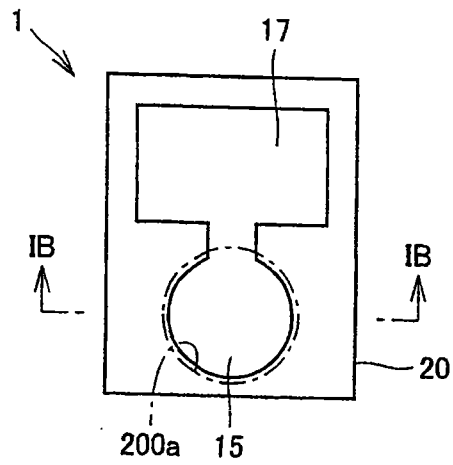


图1A

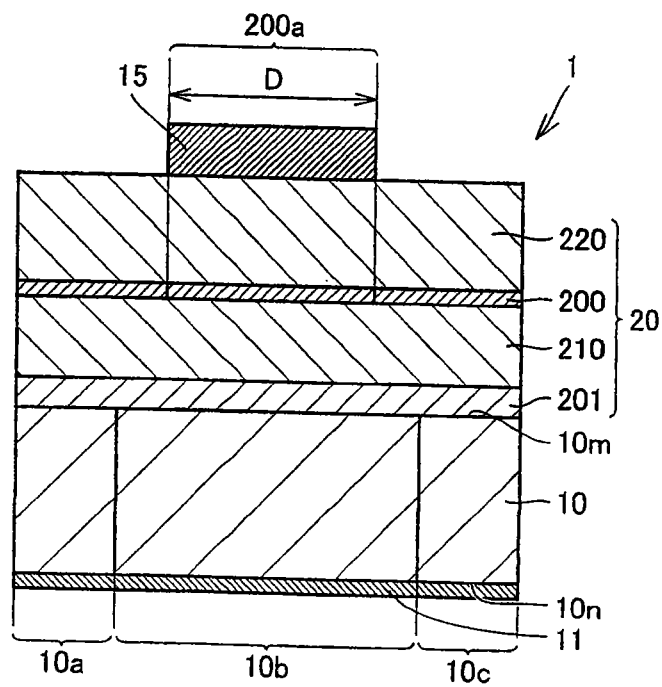


图1B

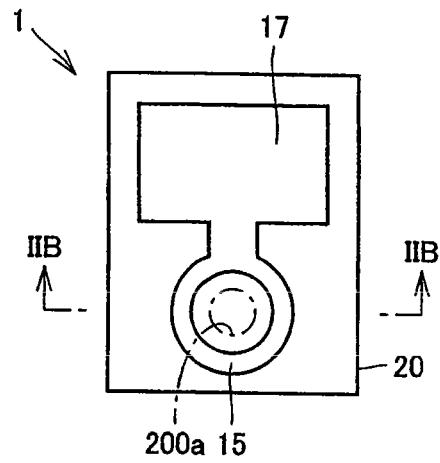


图2A

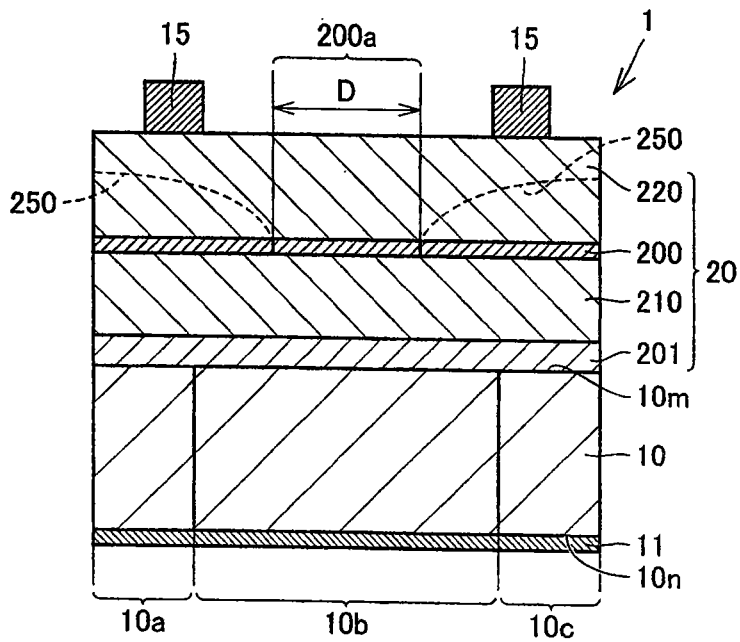


图2B

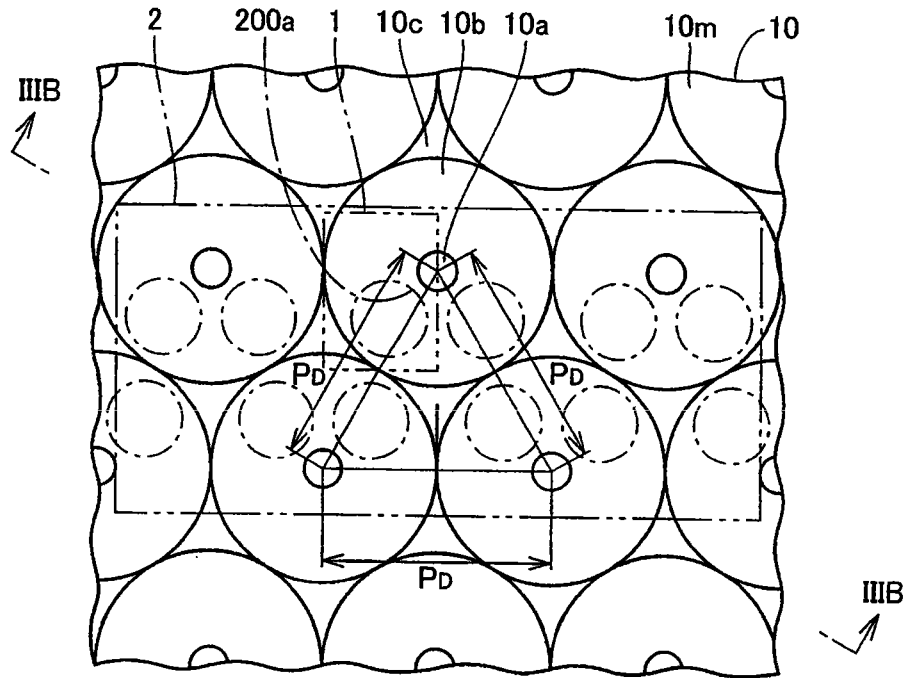


图3A

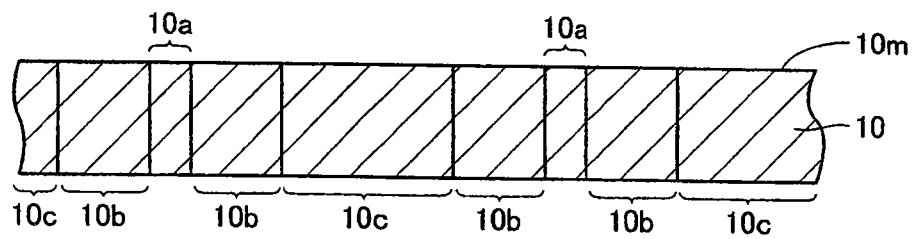


图3B

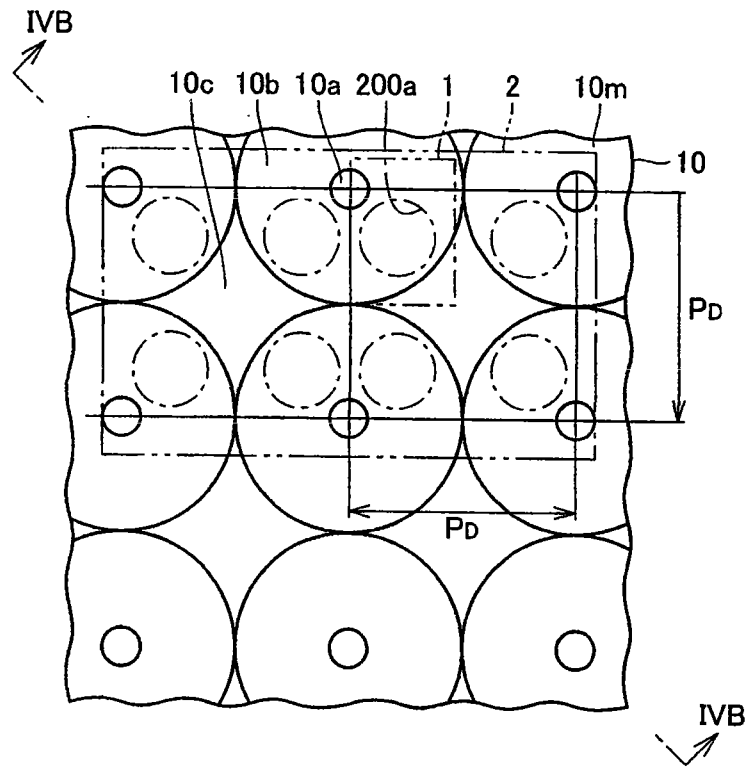


图4A

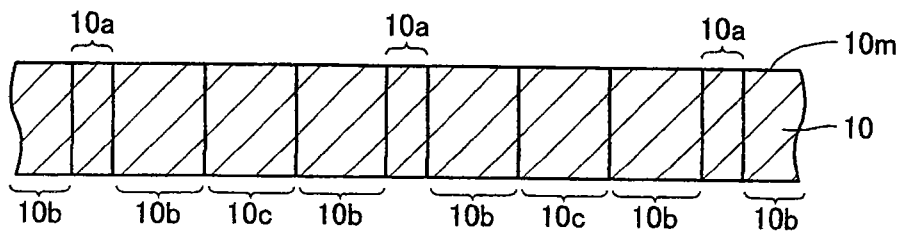


图4B

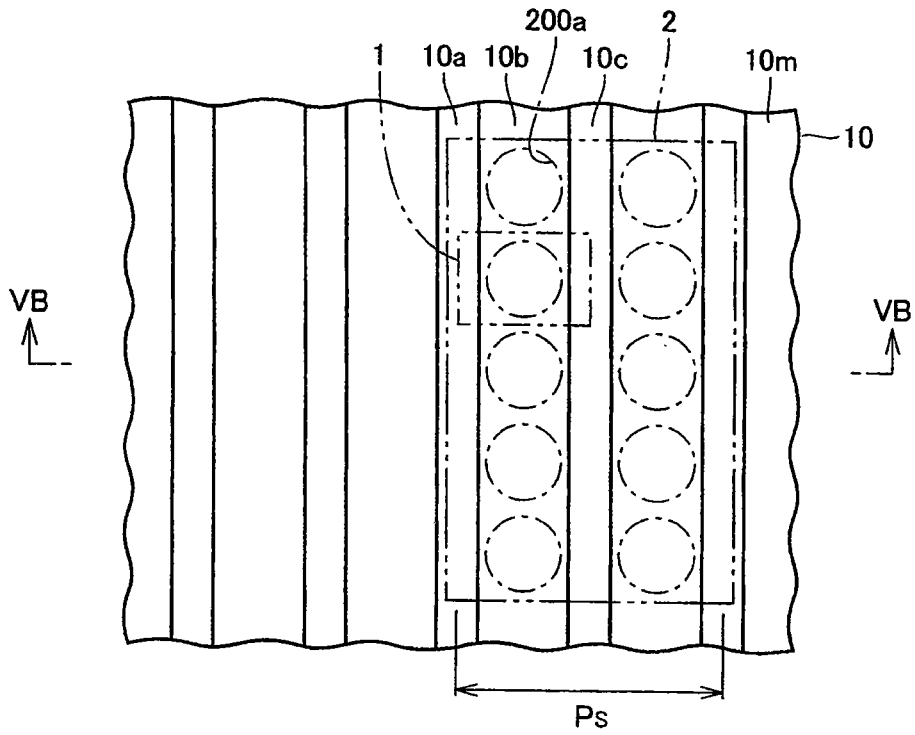


图5A

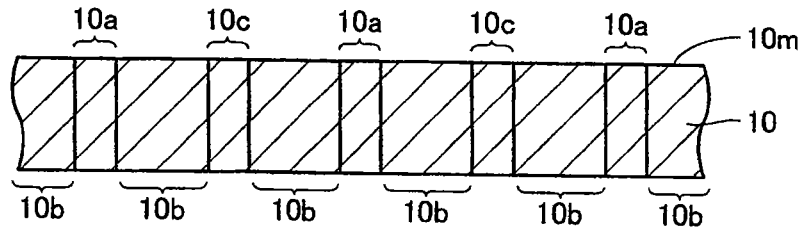


图5B

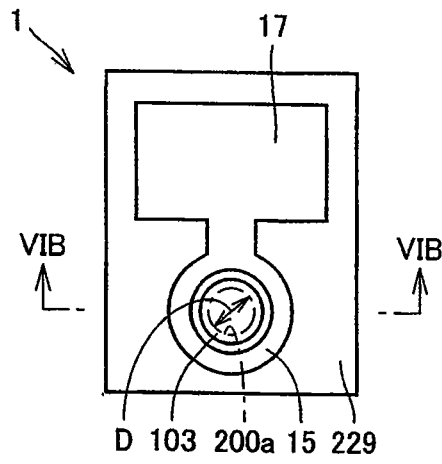


图6A

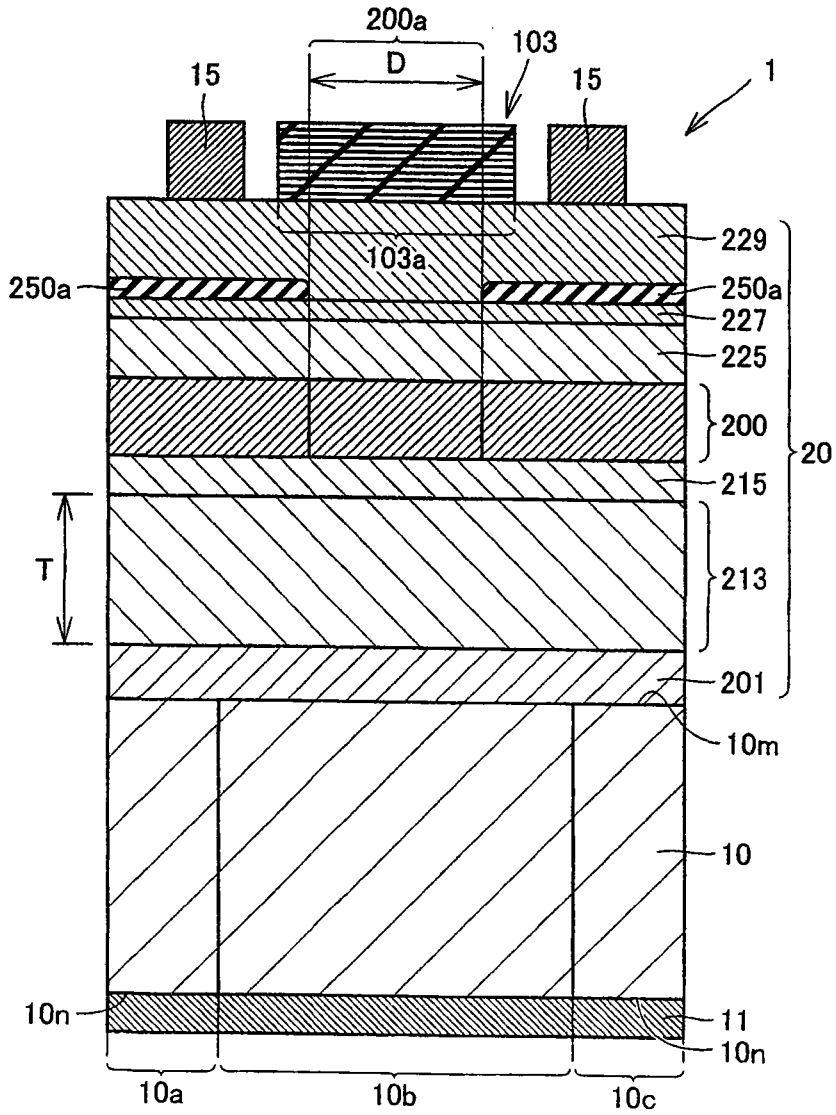


图6B

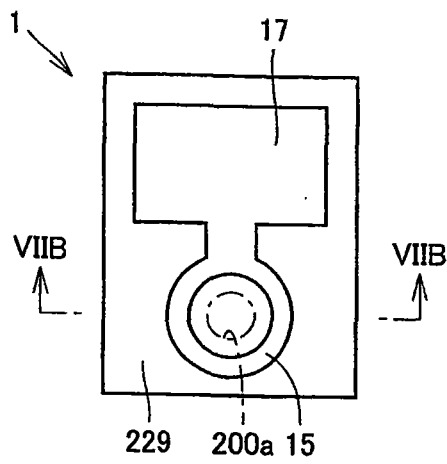


图7A

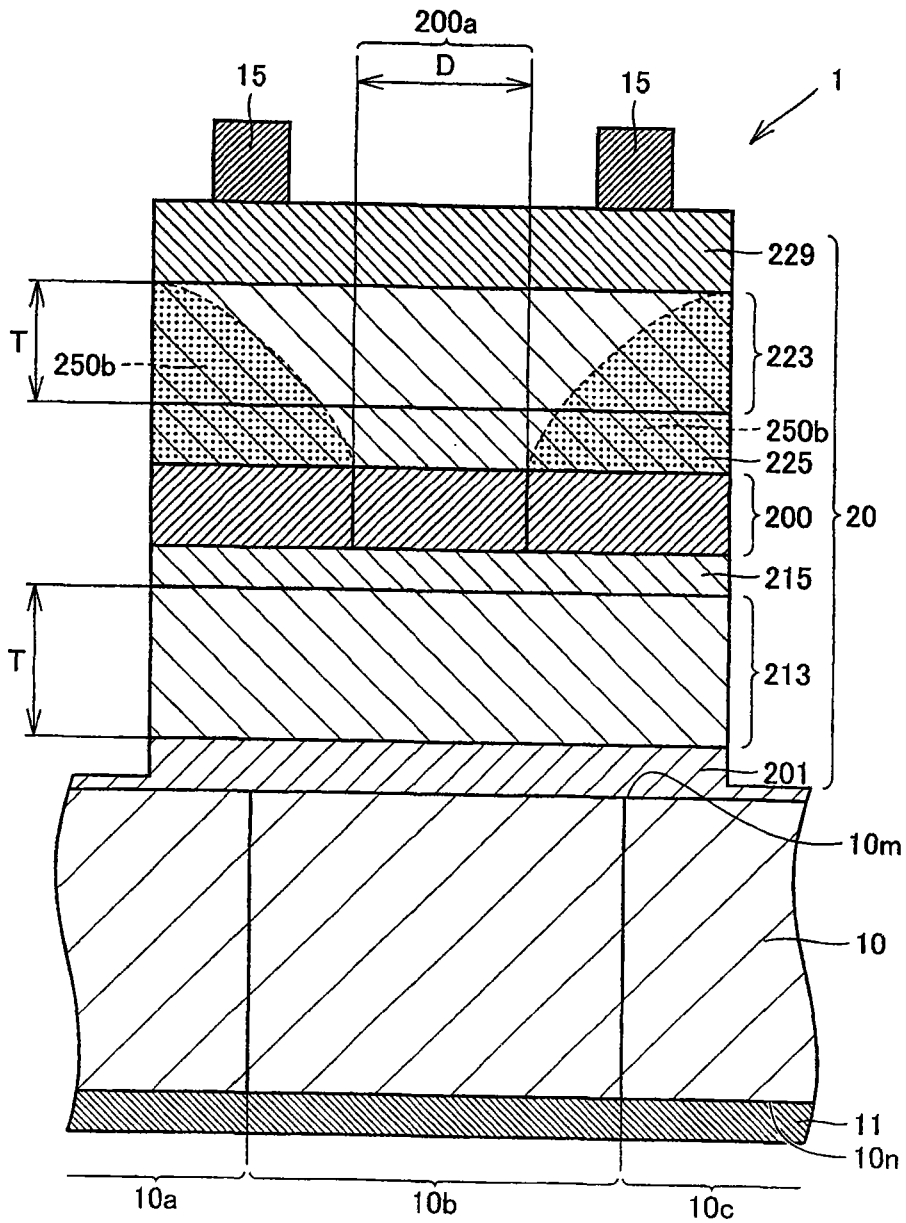


图7B

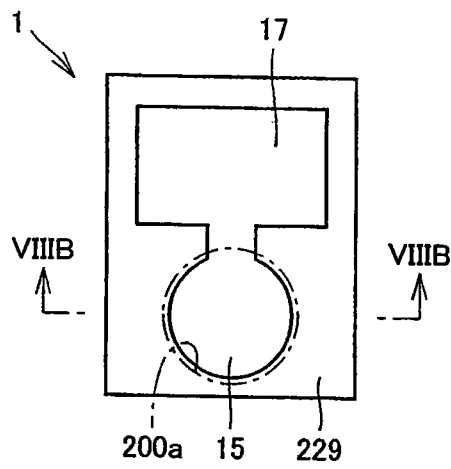


图8A

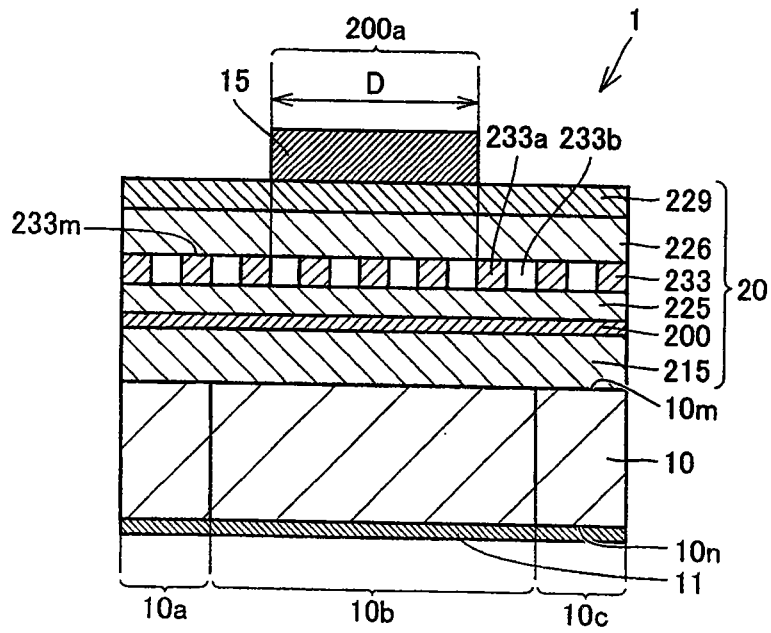


图8B

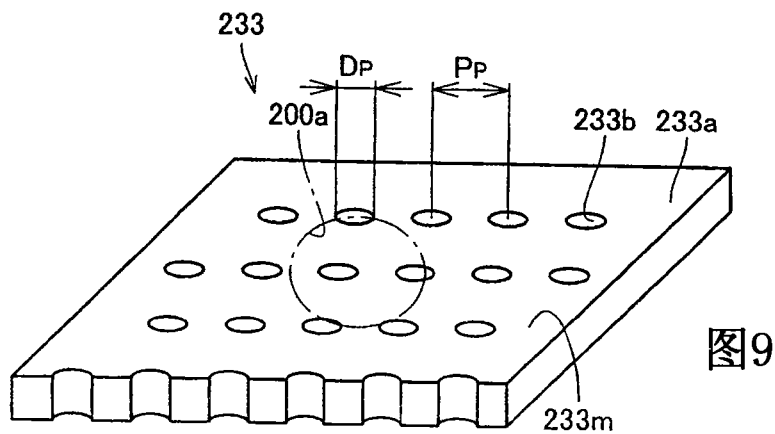


图9

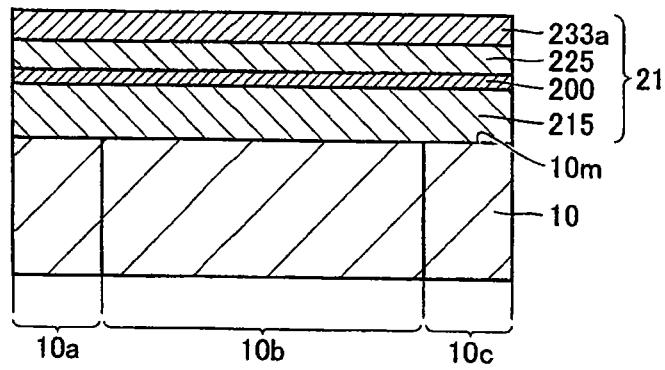


图10

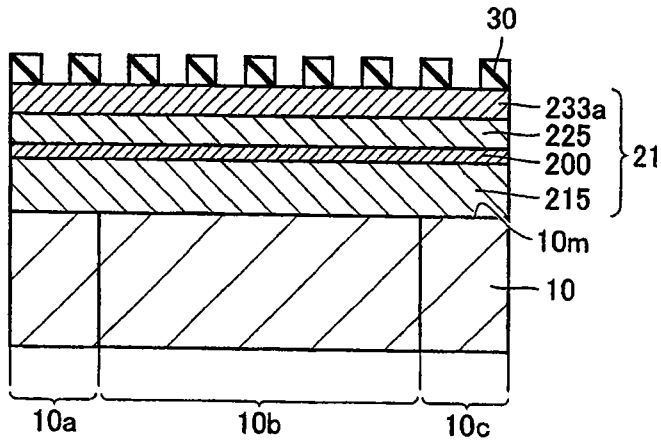


图11

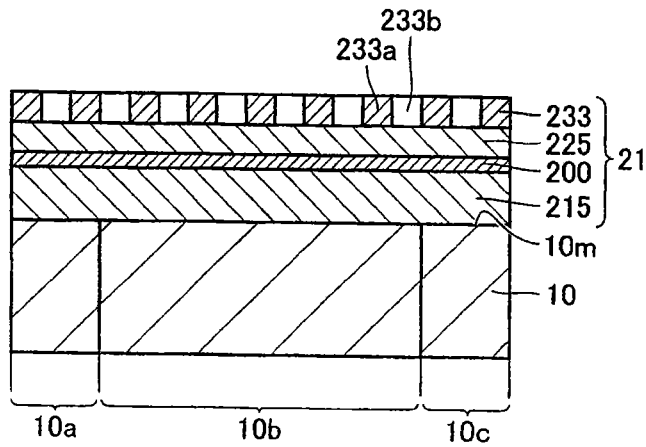


图12

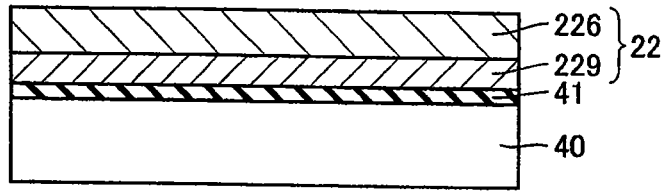


图13

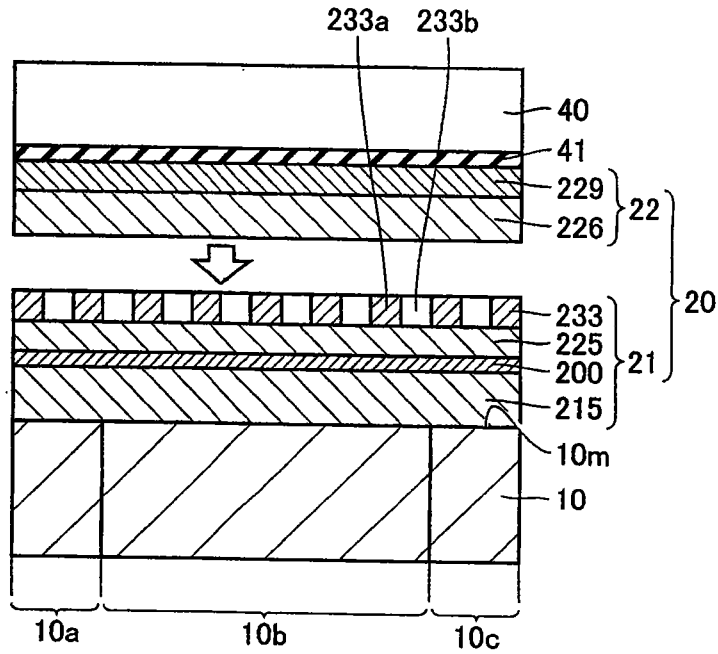


图14

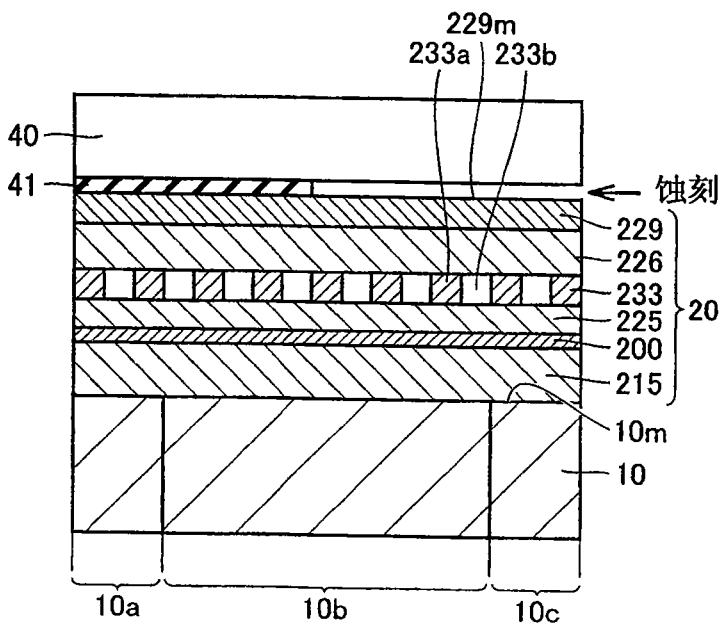


图15

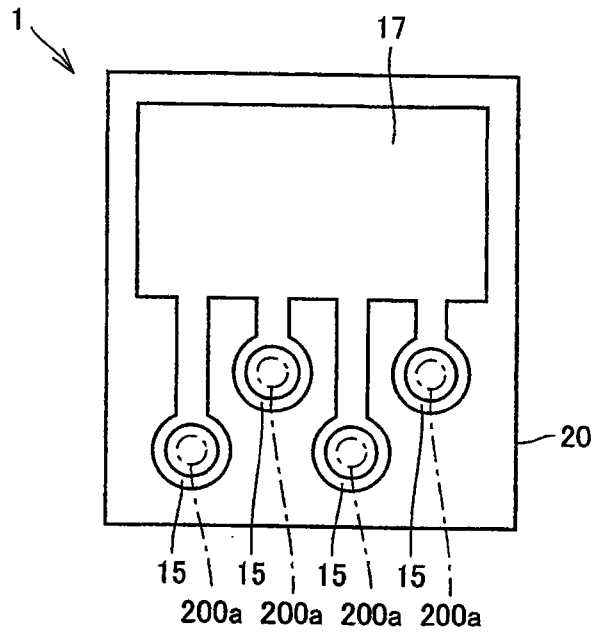


图16

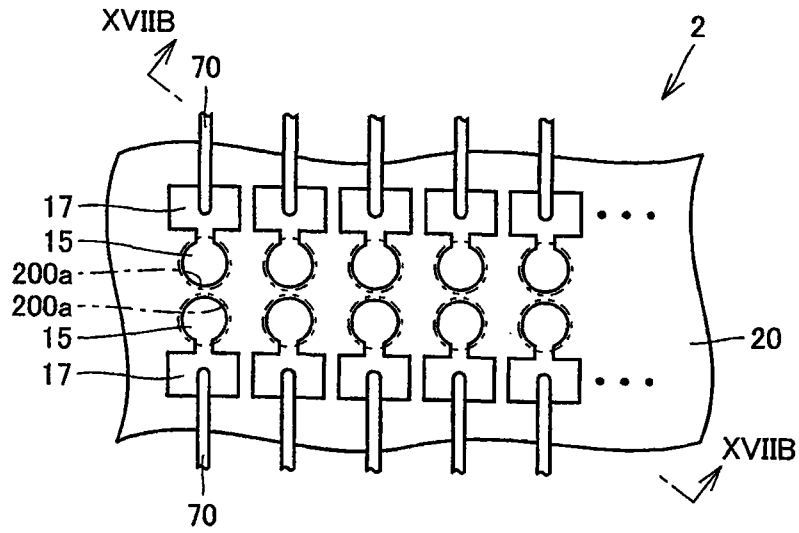


图17A

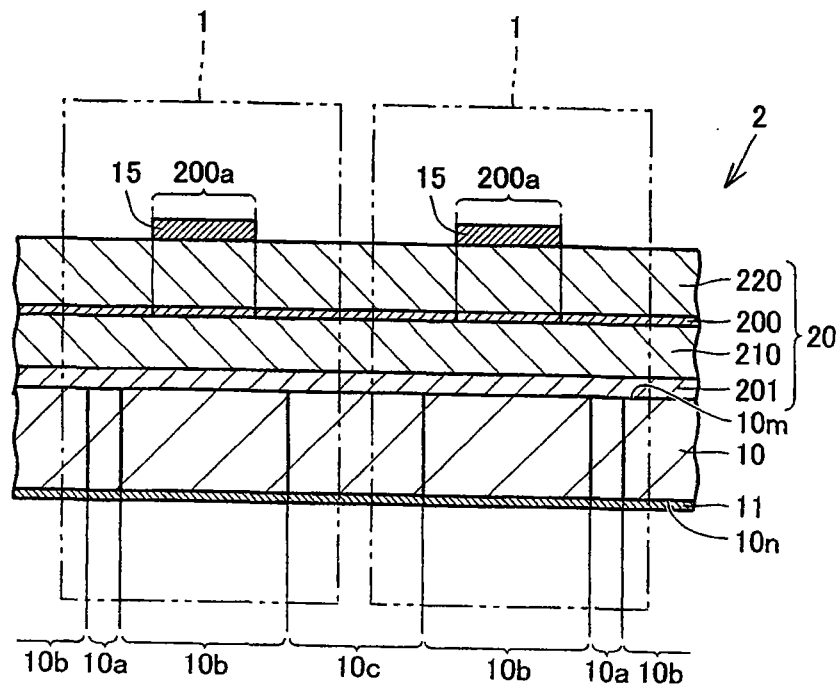


图17B

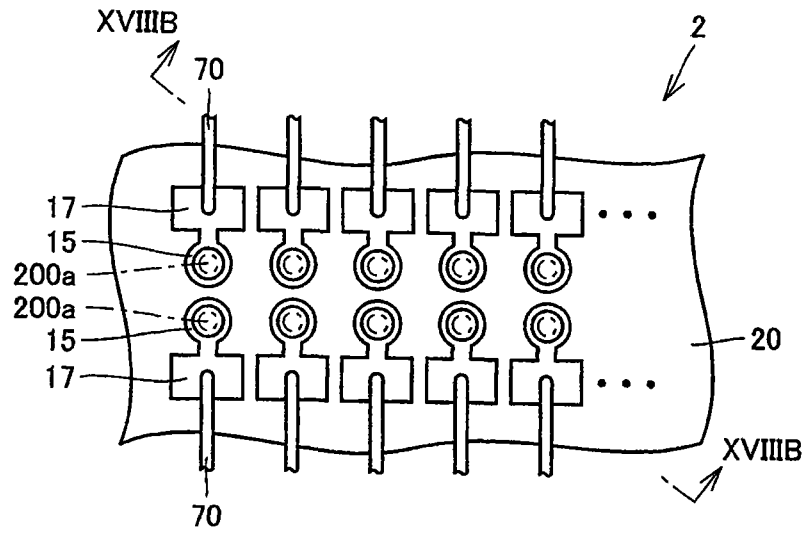


图18A

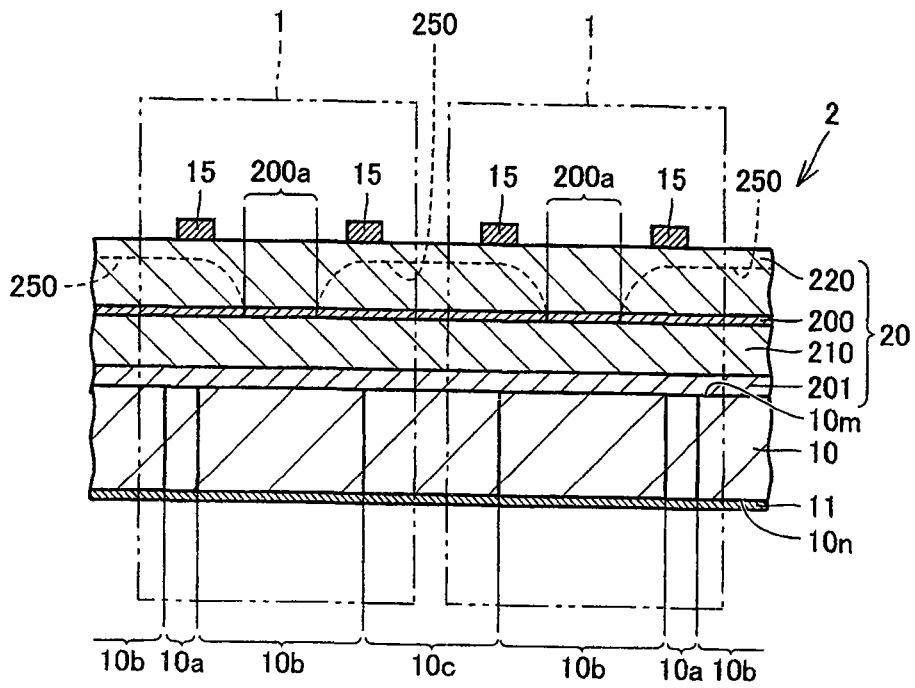


图18B

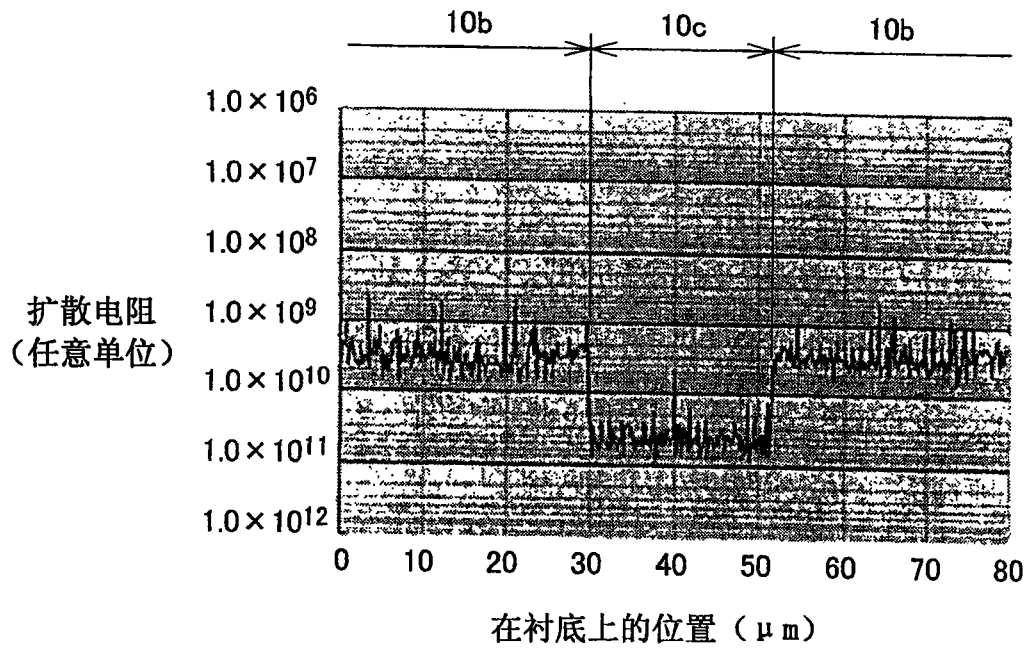


图19