



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110875573 B

(45) 授权公告日 2024.06.14

(21) 申请号 201910807121.X

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2019.08.29

H01S 5/183 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H01S 5/343 (2006.01)

申请公布号 CN 110875573 A

H01S 5/187 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.03.10

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

JP 2006120760 A, 2006.05.11

2018-163390 2018.08.31 JP

US 5493577 A, 1996.02.20

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

审查员 涂小龙

地址 日本大阪府

(72) 发明人 藤井慧 住友隆道 有方卓

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

专利代理人 顾红霞 张芸

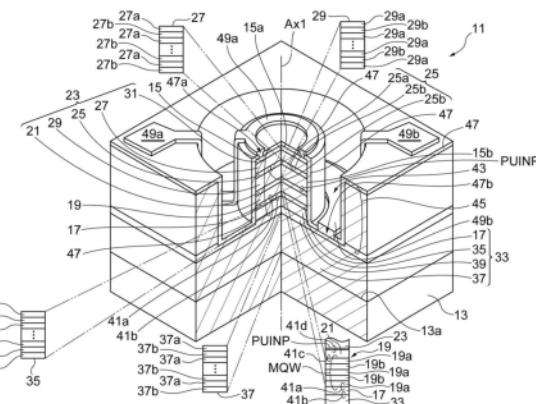
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

## (54) 发明名称

垂直腔面发射激光器及制造垂直腔面发射激光器的方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种垂直腔面发射激光器，包括：有源层，其包括量子阱结构，量子阱结构包括一个或多个阱层，阱层包括含有铟来作为III族构成元素的III-V化合物半导体；上层叠区域，其含有碳掺杂剂；以及基板，其用于安装包括有源层和上层叠区域的柱体，其中，有源层设置在上层叠区域与基板之间，量子阱结构的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下，并且上层叠区域包括在远离有源层的位置处的铟堆积层。



1.一种垂直腔面发射激光器,包括:

有源层,其包括量子阱结构,所述量子阱结构包括一个或多个阱层,所述阱层包括含有铟来作为III族构成元素的III-V化合物半导体;

上层叠区域,其含有碳掺杂剂;以及

基板,其用于安装包括所述有源层和所述上层叠区域的柱体,其中,

所述有源层设置在所述上层叠区域与所述基板之间,

所述量子阱结构的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下,

所述上层叠区域包括在远离所述有源层的位置处的铟堆积层,

所述上层叠区域包括用于分布式布拉格反射器的上层叠体以及设置在所述上层叠体与所述有源层之间的上间隔物层,并且

所述铟堆积层设置在包括所述上层叠体与所述上间隔物层之间的界面的区域中。

2.根据权利要求1所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述上层叠区域中的碳掺杂剂浓度为从 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

3.根据权利要求1所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述铟堆积层的峰值铟组分为0.01%以上。

4.根据权利要求3所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述铟堆积层的峰值铟组分为0.09%至0.10%。

5.根据权利要求1所述的垂直腔面发射激光器,进一步包括设置在所述基板上的下层叠区域,其中,

所述下层叠区域包括用于分布式布拉格反射器的下层叠体以及设置在所述下层叠体与所述有源层之间的下间隔物层,

所述下层叠区域包括含有铝和镓中的至少一种但不含铟来作为III族元素的III-V化合物半导体。

6.根据权利要求5所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述上间隔物层的厚度为5nm至25nm,所述上间隔物层生长为未经掺杂的Al(z)Ga(1-z)As层,这里 $0.1 < z < 0.4$ 。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述量子阱结构包括AlGaInAs阱层和AlGaAs阻挡层。

8.根据权利要求7所述的垂直腔面发射激光器,其中,所述AlGaInAs阱层具有0.08至0.18的In组分,所述AlGaInAs阱层的厚度为2nm至7nm。

9.一种用于制造垂直腔面发射激光器的方法,包括:

将基板布置在生长炉中,所述基板包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体;

通过向所述生长炉供应III族原料和V族原料来生长第一半导体;

在生长所述第一半导体之后,在不向所述生长炉供应所述III族原料的情况下中断半导体的生长;以及

在中断所述半导体的生长之后,通过向所述生长炉供应碳掺杂剂、III族原料和V族原料来生长第二半导体,

其中,

生长所述第一半导体的步骤包括:在所述基板上生长有源层,所述有源层具有包含来

自所述III族原料的铟来作为III族元素的第一化合物半导体层，并且

生长所述第二半导体的步骤包括：在所述基板上形成上半导体层叠体，所述上半导体层叠体具有包含所述碳掺杂剂的第二化合物半导体层，

所述有源层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下，

所述第二半导体包括在远离所述有源层的位置处的铟堆积层，

在所述上半导体层叠体与所述有源层之间设置有上间隔物层，并且

所述铟堆积层设置在包括所述上半导体层叠体与所述上间隔物层之间的界面的区域中。

10. 根据权利要求9所述的用于制造垂直腔面发射激光器的方法，其中，所述第一半导体包括下间隔物层、所述有源层和所述上间隔物层，所述下间隔物层和所述上间隔物层中的每一者不包含铟。

11. 根据权利要求9所述的用于制造垂直腔面发射激光器的方法，其中，

所述第一半导体是在第一基板温度生长的，

所述第二半导体是在第二基板温度生长的，

所述第二基板温度高于所述第一基板温度，并且

中断所述半导体的生长的步骤包括：将温度从所述第一基板温度变成所述第二基板温度。

12. 根据权利要求11所述的用于制造垂直腔面发射激光器的方法，其中，所述第一基板温度为590°C以下，在改变温度时的温度变化率为从10度/min至30度/min，生长中断的时间为从3min到20min。

13. 根据权利要求11所述的用于制造垂直腔面发射激光器的方法，还包括：

在生长所述第一半导体之前，通过向所述生长炉供应III族原料和V族原料来在所述第二基板温度生长下层叠体，

在生长所述第一半导体之前在生长所述下层叠体之后，在不向所述生长炉供应所述III族原料的情况下，中断所述下层叠体的生长，以及

中断所述下层叠体的生长的步骤包括：将温度从所述第二基板温度变成所述第一基板温度。

## 垂直腔面发射激光器及制造垂直腔面发射激光器的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于并要求2018年8月31日提交的日本专利申请No. 2018-163390的优先权，该申请通过引用全部并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开涉及垂直腔面发射激光器和用于制造垂直腔面发射激光器的方法。

### 背景技术

[0004] 日本未审查专利申请公开No. 2008-108964公开了一种发光二极管。

### 发明内容

[0005] 本公开提供一种垂直腔面发射激光器，包括：有源层，其包括量子阱结构，所述量子阱结构包括一个或多个阱层，所述阱层包括含有铟来作为III族构成元素的III-V化合物半导体；上层叠区域，其含有碳掺杂剂；以及基板，其用于安装包括所述有源层和所述上层叠区域的柱体，其中，所述有源层设置在所述上层叠区域与所述基板之间，所述量子阱结构的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下，并且所述上层叠区域包括在远离所述有源层的位置处的铟堆积层。

[0006] 本公开提供一种用于制造垂直腔面发射激光器的方法，包括：(a) 将基板布置在生长炉中，所述基板包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体；(b) 通过向所述生长炉供应III族原料和V族原料来生长第一半导体；(c) 在生长所述第一半导体之后，在不向所述生长炉供应所述III族原料的情况下中断半导体的生长；以及 (d) 在中断所述半导体的生长之后，通过向所述生长炉供应碳掺杂剂、III族原料和V族原料来生长第二半导体，其中，生长所述第一半导体的步骤包括：在所述基板上生长有源层，所述有源层具有包含来自所述III族原料的铟来作为III族元素的第一化合物半导体层，并且生长所述第二半导体的步骤包括：在所述基板上形成上半导体层叠体，所述上半导体层叠体具有包含所述碳掺杂剂的第二化合物半导体层。

### 附图说明

[0007] 通过下面参考附图对本发明优选实施例的详细描述，将更好地理解前述及其它目的、方面和优点。

[0008] 图1是示出根据本实施例的垂直腔面发射激光器的局部剖视图。

[0009] 图2是示出外延生长中的温度分布和气体切换顺序的图。

[0010] 图3A是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0011] 图3B是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0012] 图4A是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0013] 图4B是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0014] 图5A是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0015] 图5B是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0016] 图6A是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0017] 图6B是示意性地示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的视图。

[0018] 图7A是示出根据实例的垂直腔面发射激光器的外延结构中的铟的SIMS分布的图。

[0019] 图7B是示出根据实例的垂直腔面发射激光器的外延结构中的铟的SIMS分布的图。

## 具体实施方式

[0020] [本公开要解决的问题]

[0021] 专利文献1的发光二极管包括： $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 的下包层；具有包括 $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.5}In_{0.5}P$ 的阱层和 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 的阻挡层在内的多量子阱结构的有源层，或者 $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.5}In_{0.5}P$ 的块体有源层； $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 的上包层；和GaP电流扩散层。

[0022] [本公开的有利效果]

[0023] 根据本公开，可以提供一种具有碳浓度低的有源层的垂直腔面发射激光器。根据本公开，可以提供一种能够向有源层提供低碳浓度的用于制造垂直腔面发射激光器的方法。

[0024] [本公开的实施例的描述]

[0025] 将描述几个具体实例。

[0026] 根据具体实例的一种垂直腔面发射激光器包括：(a)有源层，其包括量子阱结构，量子阱结构包括一个或多个阱层，阱层包括含有铟来作为III族构成元素的III-V化合物半导体；(b)上层叠区域，其含有碳掺杂剂；以及(c)基板，其用于安装包括有源层和上层叠区域的柱体，其中，有源层设置在上层叠区域与基板之间，量子阱结构的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下，并且上层叠区域包括在远离有源层的位置处的铟堆积层。

[0027] 根据该垂直腔面发射激光器，铟堆积层在远离有源层的位置处设置在上层叠区域中。堆积层可以为垂直腔面发射激光器提供如下一种结构，该结构减少了在制造期间从含有碳掺杂剂的上层叠区域扩散到有源层中的碳掺杂剂。

[0028] 根据具体实例的垂直腔面发射激光器进一步包括设置在基板上的下层叠区域。下层叠区域包括用于分布式布拉格反射器(distributed Bragg reflector)的下层叠体以及设置在下层叠体与有源层之间的下间隔物层。下层叠区域包括含有铝和镓中的至少一种但不含铟来作为III族元素的III-V化合物半导体。上层叠区域包括用于分布式布拉格反射器的上层叠体以及布置在上层叠体与有源层之间的上间隔物层。

[0029] 根据该垂直腔面发射激光器,上层叠区域可以在包括上层叠体与上间隔物层之间的界面的区域中具有铟堆积层。

[0030] 在根据具体实例的垂直腔面发射激光器中,量子阱结构包括AlGaInAs阱层和AlGaAs阻挡层。

[0031] 根据该垂直腔面发射激光器,在包括AlGaInAs阱层和AlGaAs阻挡层的有源层中可以获得优异的发光特性。

[0032] 根据具体实例的一种用于制造垂直腔面发射激光器的方法包括: (a) 将基板布置在生长炉中,基板包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体; (b) 通过向生长炉供应III族原料和V族原料来生长第一半导体; (c) 在生长第一半导体之后,在不向生长炉供应III族原料的情况下中断半导体的生长;以及(d) 在中断半导体的生长之后,通过向生长炉供应碳掺杂剂、III族原料和V族原料来生长第二半导体,其中,生长第一半导体的步骤包括:在基板上生长有源层,有源层具有包含来自III族原料的铟来作为III族元素的第一化合物半导体层,并且生长第二半导体的步骤包括:在基板上形成上半导体层叠体,上半导体层叠体具有包含碳掺杂剂的第二化合物半导体层。

[0033] 根据该用于制造垂直腔面发射激光器的方法,该方法:在基板上生长包含来自供应到生长炉的源气体(III族原料和V族原料)的III族原料的铟来作为III族元素的第一化合物半导体层,向生长炉供应V族原料,并在不向生长炉供应III族原料的情况下中断半导体的生长。由于生长中断,所述半导体表面被改性。在生长炉中在得到改性的表面上形成上半导体层叠体。在改性中,铟原子作为III族构成元素被掺入半导体表面中。

[0034] 在根据具体实例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中,第一半导体是在第一基板温度生长的,第二半导体是在第二基板温度生长的,第二基板温度高于第一基板温度,并且中断半导体的生长的步骤包括:将温度从第一基板温度变成第二基板温度。

[0035] 根据该用于制造垂直腔面发射激光器的方法,可以在生长中断时改变基板温度。

[0036] 在根据具体实例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中,有源层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0037] 根据该制造垂直腔面发射激光器的方法,该方法可以在生长中断期间在改性时在半导体表面上形成铟堆积层。堆积层可以减少随后生长中供应的碳向有源层的扩散。

[0038] [本公开的实施例的细节]

[0039] 通过参考以说明的方式给出的附图考虑下面的详细描述,可以容易地理解本发明的发现。接下来,参考附图,将描述涉及垂直腔面发射激光器和用于制造垂直腔面发射激光器的方法的本发明的实施例。如果可能的话,相同的部件用相同的附图标记来表示。

[0040] 图1是示出根据本实施例的垂直腔面发射激光器的局部剖视图。垂直腔面发射激光器11包括基板13、有源层19和上层叠区域23。柱体15安装在基板13上。柱体15包括有源层19和上层叠区域23。有源层19设置在上层叠区域23与基板13之间。上层叠区域23包含碳掺杂剂。有源层19具有量子阱结构MQW,并且量子阱结构MQW具有一个或多个阱层19a。阱层19a包括含有铟来作为III族构成元素的III-V化合物半导体。量子阱结构MQW的碳浓度小于或等于 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。上层叠区域23包括在远离有源层19的位置处的铟沉积物,具体地是堆积层。

[0041] 根据垂直腔面发射激光器11,铟堆积层PUINP在远离有源层19的位置处设置在上

层叠区域23中。堆积层PUINP可以为垂直腔面发射激光器11提供如下一种结构,该结构减少在制造期间从含有碳掺杂剂的上层叠区域23扩散到有源层19中的碳掺杂剂。

[0042] 除了包括上层叠区域23之外,垂直腔面发射激光器11进一步包括下层叠区域33。有源层19设置在上层叠区域23与下层叠区域33之间。上层叠区域23包括上间隔物层21和用于分布式布拉格反射器的上层叠体(25,27,29)。上间隔物层21设置在上层叠体(25,27,29)和有源层19之间。根据垂直腔面发射激光器11,上层叠区域23可以在包括上层叠体(25,27,29)与上间隔物层21之间的界面的区域中具有铟堆积层PUINP。

[0043] 基板13具有主表面13a。主表面13a包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体。垂直腔面发射激光器11包括设置在基板13的主表面13a上的柱体15。基板13和柱体15沿第一轴线Ax1的方向排列。柱体15包括上表面15a和侧表面15b。参见图1,柱体15被描绘为具有圆柱形状,但柱体15的形状不限于此。

[0044] 在垂直腔面发射激光器11中,柱体15可以进一步包括有源层19和上间隔物层21。上间隔物层21包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体。上间隔物层21可以包括含有Ga和Al来作为III族元素并含有As来作为V族元素的III-V化合物半导体,例如AlGaAs。

[0045] 柱体15包括下间隔物层17。下间隔物层17包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体。下间隔物层17可以包括含有Ga和Al来作为III族元素并含有As来作为V族元素的III-V化合物半导体,例如AlGaAs。

[0046] 除了包括阱层19a之外,有源层19的量子阱结构MQW还包括一个或多个阻挡层19b。在量子阱结构MQW中,阱层19a和阻挡层19b沿第一轴线Ax1的方向交替地排列。阱层19a包括含有铟(In)来作为III族元素的III-V化合物半导体。III-V化合物半导体可以包括含有铝(Al)和镓(Ga)来作为III族元素的III-V化合物半导体。阻挡层19b包括含有铝(Al)和镓(Ga)来作为III族元素的III-V化合物半导体。阱层19a和阻挡层19b的每个III-V化合物半导体不包含氮(N)作为V族元素,并且可以包含砷(As)作为V族元素。有源层19的半导体具有闪锌矿(zinc blende)晶体结构。

[0047] 量子阱结构MQW可以包括例如AlGaInAs阱层和AlGaAs阻挡层。根据垂直腔面发射激光器11,可以在量子阱结构MQW中提供低碳浓度,从而提供良好的发光特性。

[0048] 有源层19设置在下间隔物层17上。上间隔物层21设置在有源层19上。下间隔物层17和上间隔物层21中的每一个的带隙大于阱层19a的带隙。

[0049] 有源层19设置在上层叠区域23与下层叠区域33之间,并且位于下间隔物层17与上间隔物层21之间。在本实例中,基板13、下层叠区域33、有源层19和上层叠区域23沿第一轴线Ax1的方向排列。

[0050] 在本实例中,下间隔物层17与有源层19中的最下侧阱层19a接触,以形成第一界面41a。下层叠区域33与下间隔物层17接触以形成第二界面41b。

[0051] 在本实例中,上间隔物层21与有源层19中的最上侧阱层19a接触,以形成第三界面41c。上间隔物层21与第二上层叠体29接触以形成第四界面41d。

[0052] 下层叠区域33设置在基板13上。下层叠区域33包括下间隔物层17和用于分布式布拉格反射器的下层叠体(35,37,39)。下间隔物层17设置在下层叠体(35,37,39)与有源层19之间。下层叠区域33包括含有铝和镓中的至少一种但不含铟来作为III族元素的III-V化合

物半导体。

[0053] 有源层19的碳浓度可以为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下。有源层19的碳浓度可以通过例如第二离子质谱(SIMS)方法测量，并且可以是跨越有源层19上的平均值。

[0054] 上层叠区域23可以包括电流限制结构25。电流限制结构25包括含有Al的III-V族半导体的导电区域25a以及含有III-V族半导体的构成元素的氧化物的绝缘区域25b。具体地，上层叠区域23可以包括上间隔物层21、用于上分布式布拉格反射器的第一上层叠体27和第二上层叠体29、以及电流限制结构25，并且可以根据需要包括上接触层31，上接触层31提供上层叠区域23的上表面。

[0055] 在本实例中，柱体15包括布置在下间隔物层17与基板13之间的下层叠区域33的一部分，具体地是形成下分布式布拉格反射器的一部分的第一下层叠体35。除了包括第一下层叠体35之外，下层叠区域33可以进一步包括第二下层叠体37，并且可以根据需要包括下接触层39。下接触层39定位在第一下层叠体35与第二下层叠体37之间。

[0056] 在本实例中，垂直腔面发射激光器11包括凹槽43和凸台(terrace)45。凹槽43将柱体15与凸台45分隔开以限定柱体15。凸台45具有与柱体15基本上相同的半导体层叠结构。柱体15包括下接触层39的上部分，并且下部分在柱体15外部设置在基板13的主表面上。下接触层39的下部分限定了凹槽43的底表面。

[0057] 垂直腔面发射激光器11进一步包括保护膜47，保护膜47覆盖柱体15、凹槽43和凸台45的表面。保护膜47包括例如硅基无机绝缘膜，如SiON或SiN。垂直腔面发射激光器11包括上电极49a和下电极49b。保护膜47包括第一开口47a和第二开口47b。在本实例中，第一开口47a例如位于柱体15的上表面上。第二开口47b例如定位在凹槽43的底表面上。上电极49a和下电极49b分别经由第一开口47a和第二开口47b而与上接触层31和下接触层39接触。

[0058] 在本实例中，上层叠区域23包括用于上分布式布拉格反射器的第一上层叠体27和第二上层叠体29。具体地，第一上层叠体27包括第一上层27a和第二上层27b，它们交替地排列以允许分布式布拉格反射。第一上层27a和第二上层27b的折射率彼此不同。折射率差异是例如由于第一上层27a和第二上层27b之间的铝组分的差异引起的。

[0059] 第一上层叠体27的每个第一上层27a包括含有Al和Ga来作为III族元素的第一半导体区域以及围绕第一半导体区域的第一绝缘体区域。第一绝缘体区域由第一半导体区域的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸，以到达第一半导体区域。第一上层叠体27的第二上层27b包括含有Al和Ga来作为III族元素的第二半导体区域以及围绕第二半导体区域的第二绝缘体区域。第二绝缘体区域由第二半导体区域的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸，以到达第二半导体区域。到达第一半导体区域的氧化物的深度和到达第二半导体区域的氧化物的深度与第一半导体区域和第二半导体区域的Al组分有关。在本实例中，第一半导体区域的Al组分多于第二半导体区域的Al组分。

[0060] 第二上层叠体29包括第一上层29a和第二上层29b，它们交替地排列以允许分布式布拉格反射。第一上层29a和第二上层29b的折射率彼此不同。折射率差异是由于例如第一上层29a和第二上层29b之间的铝组分的差异引起的。

[0061] 第二上层叠体29的每个第一上层29a包括含有Al和Ga来作为III族元素的第一半导体区域以及围绕第一半导体区域的第一绝缘体区域。第一绝缘体区域由第一半导体区域

的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸,以到达第一半导体区域。第二上层叠体29的第二上层29b包括含有Al和Ga来作为III族元素的第二半导体区域以及围绕第二半导体区域的第二绝缘体区域。第二绝缘体区域由第二半导体区域的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸,以到达第二半导体区域。到达第一半导体区域的氧化物的深度和到达第二半导体区域的氧化物的深度是与第一半导体区域和第二半导体区域的Al组分有关的。在本实例中,第一半导体区域的Al组分多于第二半导体区域的Al组分。

[0062] 电流限制结构25的导电区域25a的Al组分多于第一上层27a的第一半导体区域的Al组分和第一上层29a的第一半导体区域的Al组分。

[0063] 在本实例中,下层叠区域33包括用于下分布式布拉格反射器的第一下层叠体35和第二下层叠体37。具体地,第一下层叠体35包括第一下层35a和第二下层35b,它们交替地排列以允许分布式布拉格反射。第一下层35a和第二下层35b的折射率彼此不同。折射率差异是由于例如第一下层35a和第二下层35b之间的铝组分的差异引起的。

[0064] 第一下层叠体35的每个第一下层35a包括含有Al和Ga来作为III族元素的第一半导体区域,并且如果可能的话进一步包括围绕第一半导体区域的第一绝缘体区域。第一绝缘体区域由第一半导体区域的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸,以到达第一半导体区域。第一下层叠体35的第二下层35b包括含有Al和Ga来作为III族元素的第二半导体区域,并且如果可能的话进一步包括围绕第二半导体区域的第二绝缘体区域。第二绝缘体区域由第二半导体区域的构成元素的氧化物构成。该氧化物从柱体15的侧表面15b朝向柱体15的内部延伸,以到达第二半导体区域。到达第一半导体区域的氧化物的深度和到达第二半导体区域的氧化物的深度是与第一半导体区域和第二半导体区域的Al组分有关的。在本实例中,第一半导体区域的Al组分多于第二半导体区域的Al组分。

[0065] 第二下层叠体37包括第一下层37a和第二下层37b,它们交替地排列以允许分布式布拉格反射。第一下层37a和第二下层37b的折射率彼此不同。折射率差异是由于第一下层37a与第二下层37b之间的铝组分的差异引起的。第二下层叠体37的每个第一下层37a包括含有Al和Ga来作为III族元素的第一半导体区域。第二下层叠体37的第二下层37b包括含有Al和Ga来作为III族元素的第二半导体区域。在本实例中,第一半导体区域的Al组分多于第二半导体区域的Al组分。

[0066] 垂直腔面发射激光器11的具体实例

[0067] 基板13:具有微小倾斜度的偏离GaAs的基板

[0068] 基板13的主表面13a相对于GaAs的(001)面朝<110>方向倾斜。

[0069] 下层叠区域33的第一下层叠体35和第二下层叠体37。

[0070] 第一下层37a/第二下层37b:未经掺杂的Al(x)Ga(1-x)As/Al(y)Ga(1-y)As的交替层叠(组成:0.8<x≤1 0.1≤y<0.3)。

[0071] 下接触层39:Si掺杂的n型AlGaAs。

[0072] 第一下层35a/第二下层35b:Si掺杂的Al(x)Ga(1-x)As/Al(y)Ga(1-y)As的交替层叠(组成:0.8<x≤1 0.1≤y<0.3)。

[0073] 第一下层叠体35和第二下层叠体37的层叠数:总共25个循环。

- [0074] 下间隔物层17:生长为未经掺杂的Al<sub>(z)</sub>Ga<sub>(1-z)</sub>As层( $0.1 < z < 0.4$ ) ,厚度为5nm至25nm。
- [0075] 有源层19的量子阱结构MQW。
- [0076] 阵层19a/阻挡层19b:未经掺杂的AlGaInAs阱层/AlGaAs阻挡层。
- [0077] 阵层19a:Al组分0.01至0.08,In组分0.08至0.18,并且膜厚度2nm至7nm。
- [0078] 阻挡层19b:Al组分0.1至0.4,并且膜厚度5nm至9nm。
- [0079] 有源层19中的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下可以提供良好的质量。有源层19的碳浓度通过二次离子质谱(SIMS)方法在深度方向上的分析来测量。碳浓度是对在有源层19上的SIMS的碳浓度分布求平均。
- [0080] 上间隔物层21:生长为未经掺杂的Al<sub>(z)</sub>Ga<sub>(1-z)</sub>As层(组成: $0.1 < z < 0.4$ ) ,厚度为5nm至25nm。
- [0081] 电流限制结构25。
- [0082] 导电区域25a:AlAs或AlGaAs(Al组分为0.98)。
- [0083] 绝缘区域25b:氧化铝,氧化镓。
- [0084] 上层叠区域23的第一上层叠体27和第二上层叠体29。
- [0085] 碳掺杂剂浓度: $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。
- [0086] 第一上层27a/第二上层27b:C掺杂的Al<sub>(u)</sub>Ga<sub>(1-u)</sub>As/C掺杂的Al<sub>(v)</sub>Ga<sub>(1-v)</sub>As的交替层叠(组成: $0.8 < u \leq 1$   $0.1 \leq v < 0.3$ )。
- [0087] 第一上层29a/第二上层29b:C掺杂的Al<sub>(u)</sub>Ga<sub>(1-u)</sub>As/C掺杂的Al<sub>(v)</sub>Ga<sub>(1-v)</sub>As的交替层叠(组成: $0.8 < u \leq 1$   $0.1 \leq v < 0.3$ )。
- [0088] 第一上层叠体27和第二上层叠体29的层叠数:总共23个循环。
- [0089] 上接触层31:C掺杂的p型AlGaAs。
- [0090] P-电极(49a):Ti/Pt。
- [0091] N-电极(49b):例如Au/Ge/Ni。
- [0092] 参见图2、图3A、图3B、图4A、图4B、图5A、图5B、图6A和图6B,将描述用于制造垂直腔面发射激光器的方法。图2是示出外延生长中的温度分布和气体切换顺序的图。图3A、图3B、图4A、图4B、图5A、图5B、图6A和图6B各为示出根据本实施例的用于制造垂直腔面发射激光器的方法中的主要步骤的示意图。
- [0093] 参见图2,外延生长包括如下时间段:升温P1RD,下层叠体的生长P2RD,生长中断P3RD,中间层叠体(间隔物区域和有源层)的生长P4RD,生长中断P5RD,上层叠体的生长P6RD,以及降温P7RD。对于晶体生长,例如,可以使用以下材料。Al原料包括三甲基铝(TMA1)。Ga原料包括三甲基镓(TMGa)。In原料包括三甲基铟(TMIn)。砷原料含有胂(AsH<sub>3</sub>)。赋予n导电性的掺杂剂气体包括硅烷(SiH<sub>4</sub>)。赋予p导电性的掺杂剂气体包括四溴化碳(CBr<sub>4</sub>)。
- [0094] 制备用于生长的基板51,具体地是包括含有Ga和As来作为构成元素的III-V化合物半导体的基板51。如图3A所示,将基板51放置在生长炉10a中。在本实例中,例如,制备GaAs晶片作为用于生长的基板51。在生长炉10a中,可以进行金属有机气相外延(metalorganic vapor phase epitaxy)。
- [0095] 如图3A所示,在升温P1RD的时间段中,使生长炉10a的平台温度(以下称为“基板温

度”)增加,以达到用于下层叠体53的生长的基板温度(T2)。在本实例中,下层叠体53包括用于下层叠区域33的半导体层,具体地是用于第一下层叠体35、下接触层39和第二下层叠体37的半导体层(53a,53b,53c)。在基板温度达到目标温度之后,在下层叠体的生长P2RD的时间段中,切换气体以在时刻t1开始向生长炉10a供应包含含有金属有机材料的原料的沉积气体,并且在可以完成下层叠体53的时刻t2停止在生长炉10a中的沉积。

[0096] 下层叠体53包括例如GaAs层和/或AlGaAs半导体层。

[0097] 生长条件的实例。

[0098] 用于半导体晶体生长的基板温度:670°C至750°C。

[0099] V族原料与III族原料之间的供应比率:V/III比率=100至160。

[0100] 不供应铟原料。

[0101] 生长率:0.4nm/sec至0.7nm/sec。

[0102] 在根据这种情况的基板温度下,在基板51的主表面51a上生长包括用于下分布式布拉格反射器的半导体层的下层叠体53。

[0103] 如图3B所示,在生长中断P3RD的时间段(时刻t2到时刻t3)中,进行用于在下层叠体53上生长中间层叠体57的准备。在本实例中,基板温度从670°C以上的生长温度(T2)降低,并且向生长炉10a提供620°C以下的基板温度(T4)。在生长中断中,在不向生长炉10a供应III族金属有机原料的情况下将砷原料(V族原料)供应至生长炉10a,以形成砷气氛。

[0104] 气氛气体:V族原料的肿。

[0105] 温度变化率:10度/min至30度/min。

[0106] 生长中断的时间:3min到20min。

[0107] 在生长中断P3RD的时间段期间,下层叠体53(例如,Al(y)Ga(1-y)As(组成:0.1≤y<0.3))的表面在低于生长温度的温度下暴露于砷气氛。

[0108] 在中间层叠体(间隔物区域和有源层)的生长P4RD的时间段(时刻t4到时刻t3),在通过基板温度的下降达到的目标温度下,在时刻t3,开始向生长炉10a供应含有金属有机原料的沉积气体,以生长中间层叠体57,并且在时刻t4停止向生长炉10a供应沉积气体,以完成中间层叠体57的生长。中间层叠体57包括用于上间隔物层21、有源层19(阱层19a和阻挡层19b)以及下间隔物层17的半导体层(57a,57b,57c)。生长中断P3RD时间段期间的降温允许在低基板温度下的晶体生长。

[0109] 具体地,如图4A所示,在由于生长中断而给定的基板温度下,向生长炉10a供应含有金属有机原料的源气体以生长用于下间隔物层17的半导体层(57c),并且在下层叠体的表面上生长未经掺杂的AlGaAs层。与下层叠体53的生长相比,低的基板温度限制了原子的迁移。半导体层(57c)是未经掺杂的Al(z)Ga(1-z)As层(组成:0.1<z<0.4)的层,其厚度例如为5nm至25nm。

[0110] 半导体层(57c)的生长条件的实例。

[0111] 用于生长的原料:不供应TMA1、TMGa、AsH<sub>3</sub>和掺杂剂。

[0112] 用于生长的基板温度:570°C至620°C。

[0113] V族原料与III族原料之间的供应比率:V/III比率=100至160。

[0114] 生长率:0.4nm/sec至0.7nm/sec。

[0115] 半导体层(57c)与下面的下层叠体53形成界面(41b)。下层叠体53在生长中断期间

在低于生长温度的温度下暴露于砷气氛。在本实例中,半导体层(57c)跨越整个区域的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0116] 在本实例中,在不改变基板温度的情况下,重复进行在半导体层(57c)上生长半导体阱层、在半导体阱层上生长用于阻挡层的半导体以及在用于阻挡层的半导体层上生长半导体阱层的步骤,从而生长用于有源层19的量子阱结构MQW的半导体层叠体(57b)。

[0117] 半导体层叠体(57b)的生长条件的实例。

[0118] 用于生长的原料:不供应TMA1、TMGa、TMIn、AsH<sub>3</sub>和掺杂剂。

[0119] 用于生长的基板温度:570°C至620°C。

[0120] V族原料与III族原料之间的供应比率:V/III比率=100至160。

[0121] 生长率:0.4nm/sec至0.7nm/sec。

[0122] 用于阱层19a的半导体层:A1组分0.01至0.08,In组分0.08至0.18,并且膜厚度2nm至7nm。

[0123] 用于阻挡层19b的半导体层:A1组分0.1至0.4,膜厚度5nm至9nm。

[0124] 半导体层叠体(57b)与下面的半导体层(57c)形成界面。为了获得良好的发光强度,在本实例中,半导体层叠体(57)可以跨越阱层和阻挡层整体包括 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下的碳浓度。

[0125] 在阱层的生长期间,向生长炉10a供应铟原料。在生长炉10a的室壁上沉积铟原料和来自铟原料的铟(称为“铟沉积PIN”)。

[0126] 在不改变基板温度的情况下,向生长炉10a供应包含金属有机原料的源气体以生长用于上间隔物层21的半导体层(57a),并且在半导体层叠体(57b)上生长未经掺杂的AlGaAs层。低的基板温度限制了原子的迁移以及半导体层(57c)的生长。半导体层(57a)是未经掺杂的Al(z)Ga(1-z)As(0.1<z<0.4)层,其厚度例如为5nm至25nm。

[0127] 半导体层(57a)的生长条件的实例。

[0128] 用于生长的原料:不供应TMA1、TMGa、AsH<sub>3</sub>和掺杂剂。

[0129] 用于生长的基板温度:570°C至620°C。

[0130] V族原料与III族原料之间的供应比率:V/III比率=100至160。

[0131] 生长率:0.4nm/sec至0.7nm/sec。

[0132] 从以上描述可以理解到,向生长炉10a供应III族原料和V族原料,以在基板51上的下层叠体53上生长第一半导体。在生长第一半导体时,在基板51上生长包含来自III族原料的铟来作为III族元素的第一化合物半导体层。

[0133] 具体地,通过如下步骤来提供中间层叠体(间隔物区域和有源层)的生长:在620°C以下的基板温度下,向生长炉10a供应含有金属有机原料的沉积气体,以生长不含In来作为III族元素但含有Al来作为III族元素的第一化合物半导体层;以及,在620°C以下的基板温度下,向生长炉10a供应含有金属有机原料的沉积气体,以生长含有In来作为III族元素的第二化合物半导体层。

[0134] 在生长了第一化合物半导体层之后,中断半导体的生长而不向生长炉10a供应III族原料。

[0135] 具体地,在时刻t4完成了中间层叠体57的生长之后,如图4B所示,在生长中断P5RD的时间段期间进行用于在中间层叠体57上生长上层叠体59的准备。在本实例中,使基板温

度从590°C以下的生长温度升高,并且在生长炉10a中提供670°C以上的基板温度(T6)。在生长中断中,在不向生长炉10a供应III族金属有机原料的情况下,将砷原料供应至生长炉10a,以形成砷气氛。

- [0136] 气氛气体:V族原料的肿。
- [0137] 温度变化率:10度/min至30度/min。
- [0138] 生长中断的时间:3min到20min。

[0139] 在生长中断期间,沉积在生长炉10a的室壁上的铟沉积PIN被沉积在中间层叠体57的表面上,使得铟掺入III-V化合物半导体的表面(具体地是未经掺杂的AlGaAs的表面)中。取决于In的掺入量,在随后的生长中供应的碳掺杂剂将防止中间层叠体57扩散并到达有源层。从实例1至3的结果可以理解,约0.01%的In组分也会对发射强度的提高产生影响。

[0140] 在半导体的生长中断之后,向生长炉10a供应碳掺杂剂、III族原料和V族原料,以生长第二半导体。生长第二半导体的步骤包括在基板51上形成上半导体层叠体。

[0141] 具体地,在由于基板温度的升高而达到目标温度之后,如图5A所示,在含有铟沉积材料(PUINP)的基底上(例如,在含有少量铟的AlGaInAs上)的上层叠体(第一上层叠体27、电流限制结构25、第二上层叠体29和上接触层31)的生长P6RD的时间段期间,切换气体以在时刻t5开始向生长炉10a供应含有金属有机原料的沉积气体,以生长上层叠体59,并在可以完成上层叠体59的时刻t6停止在生长炉10a中的沉积。上层叠体59包括用于上接触层31、第一上层叠体27、电流限制结构25和第二上层叠体29的半导体层(59a, 59b, 59c, 59d)。在本实例中,上层叠体59例如包括GaAs层和/或AlGaAs半导体层。半导体层59b由含有高铝组分的III-V化合物半导体制成。

- [0142] 生长条件的实例。
- [0143] 用于半导体晶体生长的基板温度:670°C至750°C。
- [0144] 用于生长的原料:碳掺杂剂气体的TMA1、TMGa、AsH<sub>3</sub>和CBr<sub>4</sub>。
- [0145] V族原料与III族原料之间的供应比率:V/III比率=100至160。
- [0146] 生长率:0.4nm/sec至0.7nm/sec。
- [0147] 根据这些,在中间层叠体57上生长包括用于上分布式布拉格反射器的半导体层的上层叠体59。

[0148] 通过这些步骤,完成了外延基板EP。

[0149] 从制造方法的描述中可以理解,第一半导体和第二半导体是分别在第一基板温度和第二基板温度下生长的。第二基板温度高于第一基板温度。在从第一基板温度和第二基板温度之一改变到另一个的变化期间执行半导体的生长中断。

[0150] 根据用于制造垂直腔面发射激光器的方法,该方法在基板上生长第一化合物半导体层,第一化合物半导体层含有来自供应至生长炉10a的源气体(III族原料和V族原料)的III族原料的铟来作为III族元素。通过向生长炉供应V族原料而不向生长炉供应III族原料来中断半导体的生长。由于生长中断,半导体表面被改性。在生长炉中在改性的表面上形成上半导体层叠体。在改性期间,沉积铟原子以在下面的半导体表面的一部分或全部上形成铟层。

[0151] 根据用于制造垂直腔面发射激光器的方法,该方法可以在生长中断期间在改性时在半导体表面上形成铟堆积层(PUINP)。堆积层(PUINP)可以减少随后生长中供应的碳的扩

散。包括用于有源层的半导体层的中间层叠体57的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0152] 如图5B所示,在外延基板EP的主表面上形成限定柱体形状的掩模M1。使用掩模M1蚀刻外延基板EP。蚀刻例如包括干蚀刻。第一基板产品SP1包括半导体柱体61、半导体凸台63以及将半导体柱体61与半导体凸台63分开的凹槽65。半导体柱体61具有位于用于下半接触层39的半导体层(53b)中的底部。在蚀刻之后,去除掩模M1以获得第一基板产品SP1。

[0153] 如图6A所示,将第一基板产品SP1布置在氧化炉10b中。将第一基板产品SP1暴露于氧化气氛(例如,350°C水蒸气),以在第一基板产品SP1中,从含有高铝组分的III-V化合物半导体的半导体层59c形成电流限制结构25。通过在氧化炉10b中的处理,从第一基板产品SP1获得第二基板产品SP2。

[0154] 如图6B所示,在第二基板产品SP2上形成具有第一开口67a和第二开口67b的保护膜67,并且在保护膜上形成第一电极69a和第二电极69b。

[0155] 通过这些步骤,提供垂直腔面发射激光器11。

[0156] 现在将描述三个实例。

[0157] 实例1

[0158] 图7A和图7B示出了根据实例1的垂直腔面发射激光器的外延结构中的铟的SIMS分布PF。为了便于理解,图7A和图7B以图1所示的附图标记给出,并且外延结构与垂直腔面发射激光器11相关联。

[0159] 参见图7A,示出了从下层叠体的下间隔物层到有源层的第一阱层的外延范围内的铟组分。虚线ITR1PT表示外延结构中外延生长的生长中断。在本实例中,在生长中断时基板温度降低。

[0160] 参见图7B,示出了从有源层的最终阱层到上层叠体的上间隔物层的外延范围内的铟组分。虚线ITR2PT表示外延结构中外延生长的生长中断。在本实例中,在生长中断时基板温度升高。下层叠体和上层叠体是在720°C下生长的。下间隔物层17、上间隔物层21和有源层19是在620°C下生长的。由虚线ITR1PT和虚线ITR2PT表示的生长中断的时间段是15min。

[0161] 当比较两个SIMS曲线PF时,在有源层19生长之后的生长中断中形成铟堆积层(PUINP)。根据该实例的实验和其它实验,铟堆积层(PUINP)的峰值铟组分为0.01%以上。

[0162] 垂直腔表面发射半导体激光器包括GaAs基板、设置在GaAs基板上的下分布式布拉格反射部分以及设置在下分布式布拉格反射部分上的上分布式布拉格反射部分。有源层设置在下分布式布拉格反射部分与上分布式布拉格反射部分之间。下分布式布拉格反射部分包括第一下分布式布拉格反射部和第二下分布式布拉格反射部,并且由AlGaAs制成的下接触层设置在第一下分布式布拉格反射部与第二下分布式布拉格反射部之间。由AlGaAs制成的上接触层设置在上分布式布拉格反射部分上。

[0163] 由AlGaAs制成的第一间隔物层设置在有源层与下分布式布拉格反射部分之间,并且由AlGaAs制成的第二间隔物层设置在有源层与上分布式布拉格反射部分之间。

[0164] 用于限制电流的电流限制层设置在上分布式布拉格反射部分。电流限制层包括用于允许电流通过的半导体部分和围绕半导体部分的环形绝缘体部分。半导体部分由例如p型AlGaAs制成,并且半导体部分由例如p型AlGaAs的氧化物制成。

[0165] 在下分布式布拉格反射部分中,交替地层叠25层Si掺杂的第一n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(0.8<X≤1)层和第二n型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As(0.1≤Y<0.3)层。对于第一和第二AlGaAs的生长,使用TMA1、

TMGa和AsH<sub>3</sub>,并且优选地在670°C至720°C的生长温度下生长。当在下分布式布拉格反射部分中掺杂Si作为n型掺杂剂时,优选地使用硅烷(SiH<sub>4</sub>)作为源气体。

[0166] 第一间隔物层和第二间隔物层的厚度可以是5nm至25nm。间隔物层的Al组分为10%至40%。使用TMA1、TMGa和AsH<sub>3</sub>在570°C至620°C的生长温度下进行第一和第二间隔物层的生长。

[0167] 有源层具有多量子阱结构。有源层可以具有由AlGaInAs量子阱层和AlGaAs阻挡层组成的量子阱结构MQW。AlGaInAs量子阱层的Al组分可以是1%至8%。In组分可以是8%至18%。膜厚度可以是2nm至7nm。AlGaAs阻挡层的Al组分为10%至40%。其厚度为5nm至9nm。对于有源层的生长,使用TMA1、TMGa、TMIn和AsH<sub>3</sub>,并且优选地在570°C至620°C的生长温度下生长。

[0168] 上分布式布拉格反射部分包括25层C掺杂的第一p型AlGaAs层和C掺杂的第二p型AlGaAs层。第一p型AlGaAs层和第二p型AlGaAs层交替地层叠。对于第一和第二AlGaAs的生长,使用TMA1、TMGa和AsH<sub>3</sub>,并且优选地在670°C至720°C的生长温度下生长。四溴化碳(CBr<sub>4</sub>)用于上分布式布拉格反射部分的p型掺杂剂的碳(C)的添加。

[0169] 在下分布式布拉格反射部分与第一间隔物层之间以及在第二间隔物层与上分布式布拉格反射部分之间进行生长中断。升高和降低基板温度。在生长中断期间,停止III族原料的供应,并且在不供应III族原料的情况下供应V族原料的AsH<sub>3</sub>。

[0170] 在实例1中,分布式布拉格反射部分是在720°C的生长温度下生长的。有源层是在620°C的生长温度下生长的。在这些生长期间,进行15min的生长中断。在生长中断中,倾斜地改变基板温度。有源层附近的SIMS分析结果被称为在第二间隔物层与上分布式布拉格反射部分之间的上部分的中断界面处具有0.09%的峰值浓度的In沉积材料,这里例如是根据轮廓形状的“堆积层(PUINP)”。然而,In曲线显示了下分布式布拉格反射部分与第一间隔物层之间的下中断界面的单调变化。上侧的上In堆积层(PUINP)如下地形成。在有源层生长期间供应的In原子或铟原料沉积在例如生长炉的室壁上,并且在供应停止之后的生长中断期间从室壁到达半导体表面,从而变为堆积层(PUINP)。

[0171] 实例2

[0172] 关于第一生长温度的外延生长条件、上层叠体的第二生长温度以及有源层和上间隔物层的晶体生长中的生长中断的时间,制造了四种器件结构D1至D4,每种器件结构具有不同的生长中断时间。例如,“3E+16”的显示表示 $3 \times 10^{+16}$ 。

[0173] 结构:第一生长温度,第二生长温度,生长中断,峰值In组分,以及碳浓度。

[0174] D1:620°C,720°C,0min,小于0.01%,3E+16。

[0175] D2:620°C,720°C,3min,约0.01%,2E+16。

[0176] D3:620°C,720°C,9min,0.03%,1E+16。

[0177] D4:620°C,720°C,15min,0.09%,1E+16。

[0178] 在实例2中,在通过改变四种中断时间而制备的器件结构中,测量上间隔物层与上层叠体之间的界面处的In浓度以及有源层的碳浓度。通过3分钟以上的中断时间降低有源层中的碳浓度,并形成0.01%以上的In的沉积层。此外,通过9分钟以上的中断时间形成0.03%以上的In的沉积层。此外,通过15分钟以上的中断时间形成0.09%以上的In的沉积层。有源层的碳浓度为 $1E+16\text{cm}^{-3}$ 以下。通过SIMS方法,碳浓度低于碳检测的下限。

[0179] 实例3

[0180] 关于第一生长温度的外延生长条件、上层叠体的第二生长温度以及有源层和上间隔物层的晶体生长中的生长中断的时间,制造了三种器件结构D5至D7,每种器件结构具有不同的第二生长温度。

[0181] 结构:第一生长温度,第二生长温度,生长中断,峰值In组分,以及碳浓度。

[0182] D5:620°C,670°C,15min,0.10%,小于1E+16。

[0183] D6:620°C,720°C,15min,0.09%,小于1E+16。

[0184] D7:620°C,770°C,15min,小于0.01%,5E+16。

[0185] 在实例3中,在通过改变三种第二生长温度制备的器件结构中,测量在上间隔物层与上层叠体之间的界面处的In浓度以及有源层的碳浓度。通过670°C以上且小于770°C的第二生长温度降低有源层中的碳浓度,并形成0.09%以上的In的沉积层。此外,通过670°C以上且720°C以下的第二生长温度形成0.09%至0.10%的In的沉积层。有源层的碳浓度为1E+16cm<sup>-3</sup>以下。通过SIMS方法,碳浓度低于碳检测的下限。

[0186] 在这些实例中,根据器件结构中的发光强度的测量,有源层的低碳浓度可以在器件结构D2至D6中提供期望的发光特性。与器件结构D1和D7相比,这些器件结构表现出优异的发光特性。器件结构D3至D6的发光特性显示出优于器件结构D2的发光特性。

[0187] 在实例3中,在上层叠体(分布式布拉格反射)的生长温度得到改变的器件结构中,测量上间隔物层与上层叠体之间的界面处的In浓度以及有源层的碳浓度。当分布式布拉格反射的生长温度为720°C以下时,形成出现在SIMS轮廓中的In堆积层。有源层的碳浓度为1E+16cm<sup>-3</sup>以下。通过SIMS方法,碳浓度低于碳检测的下限。

[0188] 根据这些实例中的实验和其它实验,在有源层和上间隔物层的生长温度在570°C至620°C的范围内、掺杂碳的上层叠体的生长温度在670°C至720°C的范围内并且生长中断时间在3min至15min的范围内时,垂直腔面发射激光器展现出改善的发光强度。

[0189] 虽然已在优选实施例中说明和描述了本发明的原理,但是本领域技术人员将理解,在不脱离这些原理的情况下,本发明可以在位置和细节上变化。本发明不限于本实施例中公开的特定构造。因此,旨在覆盖落入所附权利要求及其精神的精神和范围内的所有修改和变化。

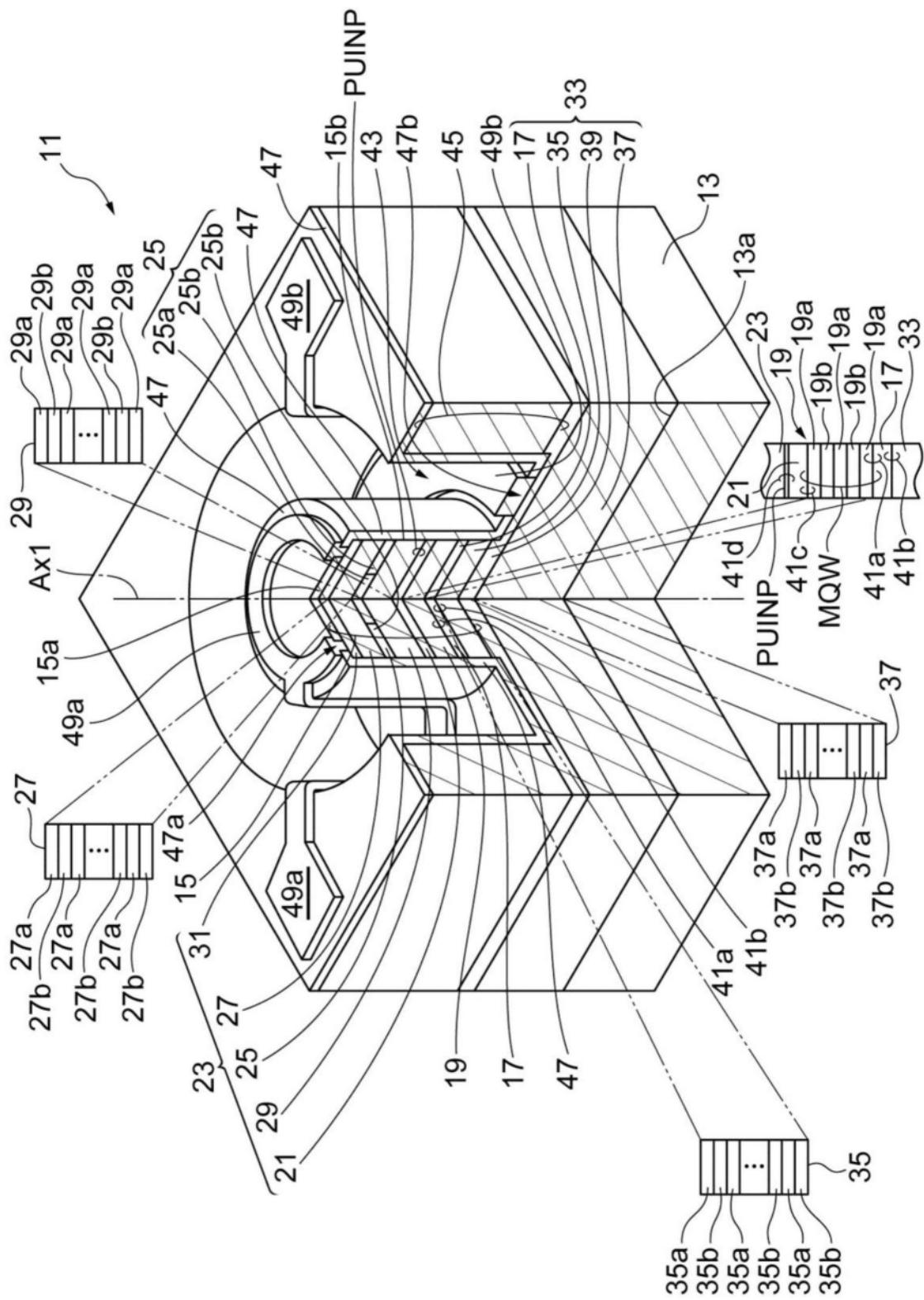


图1

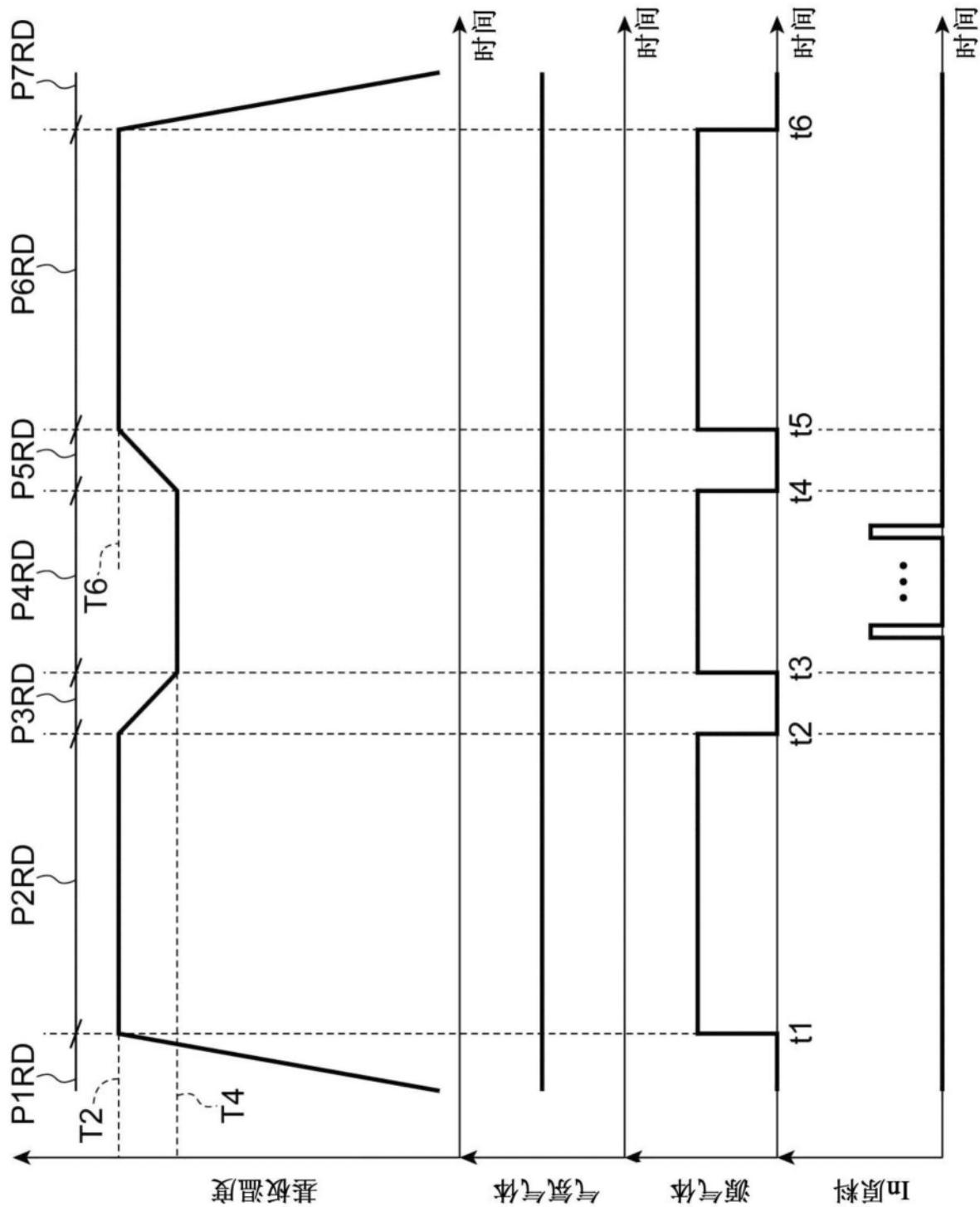


图2

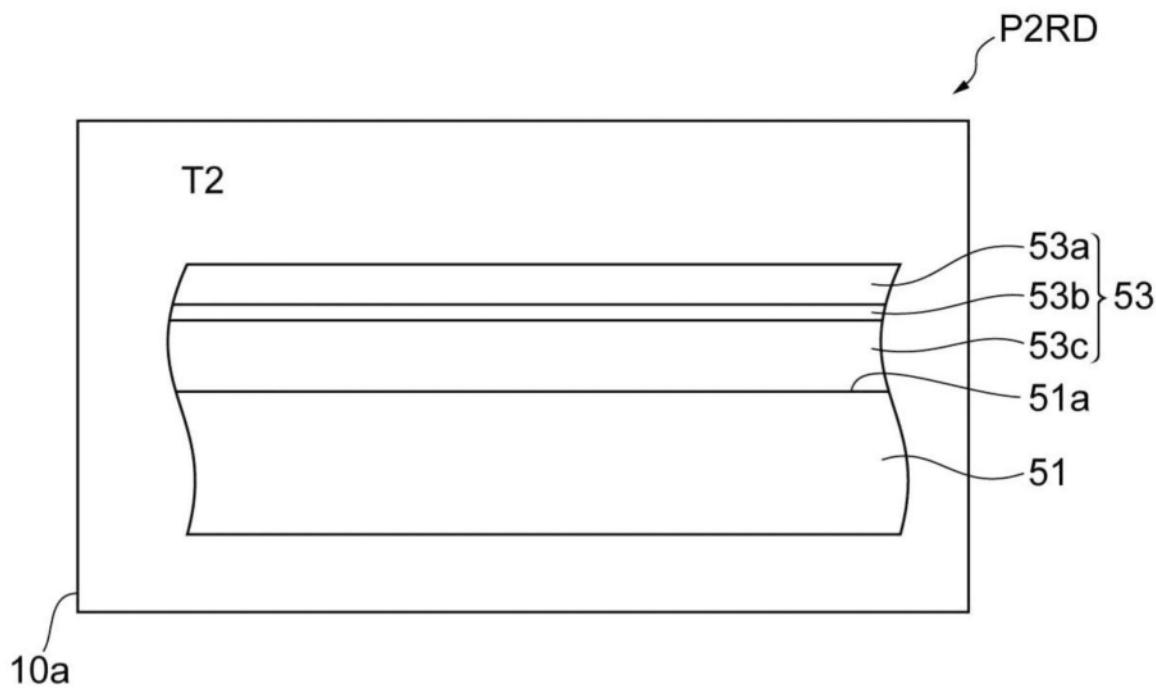


图3A

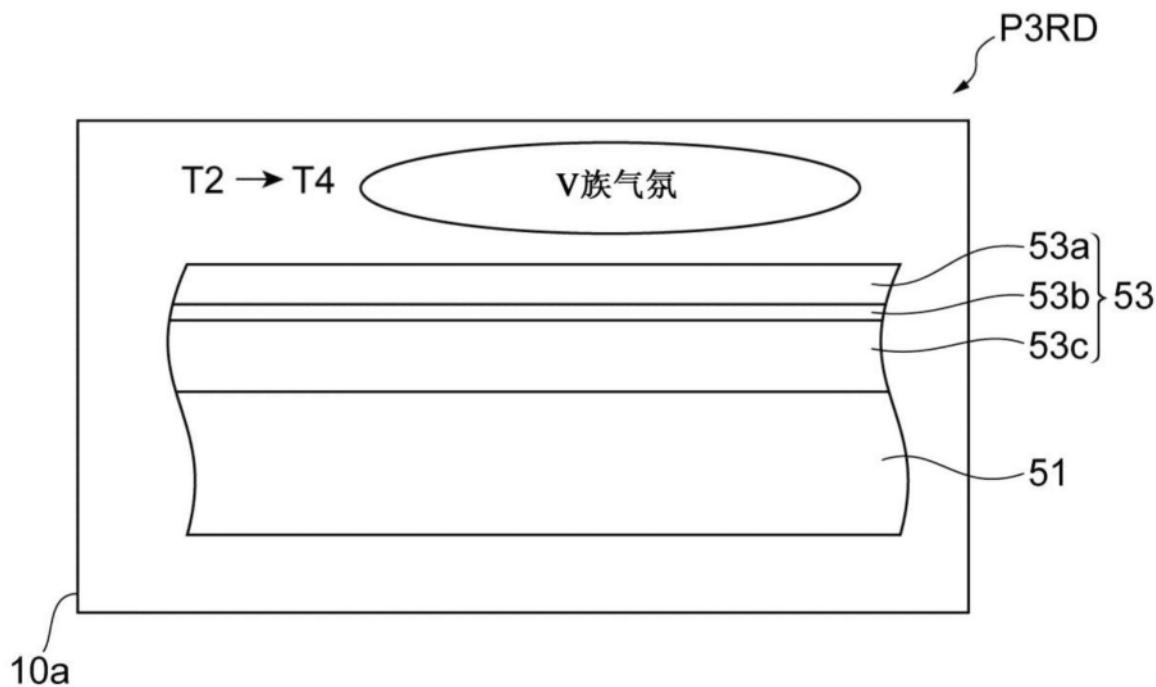


图3B

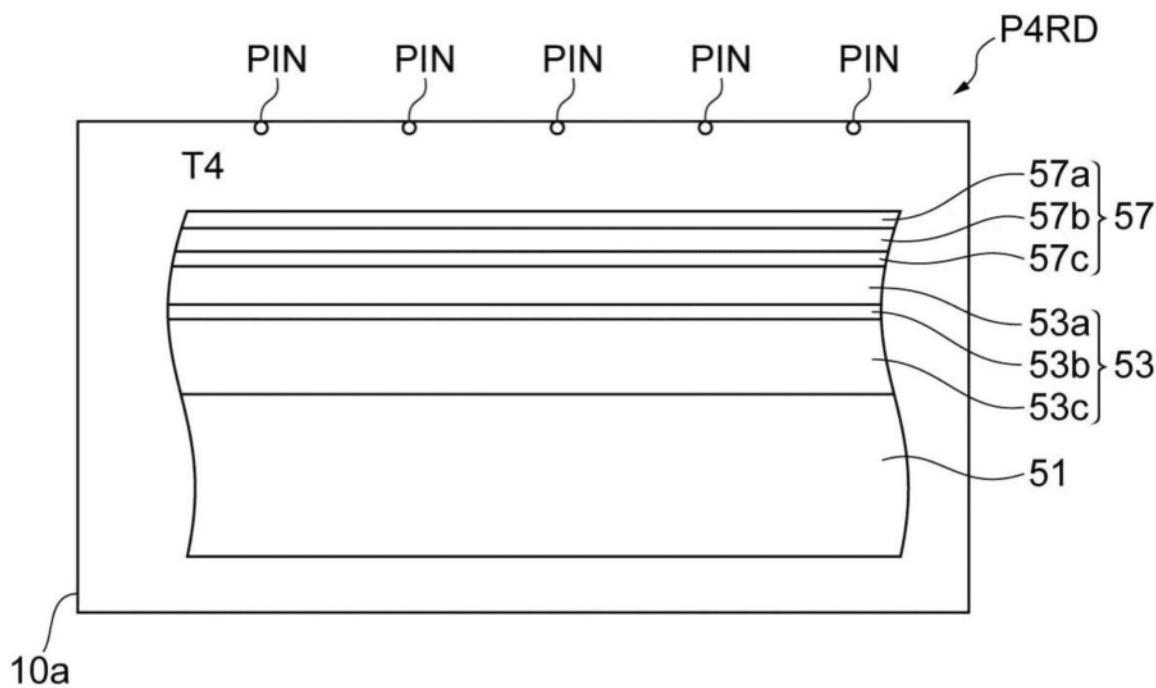


图4A

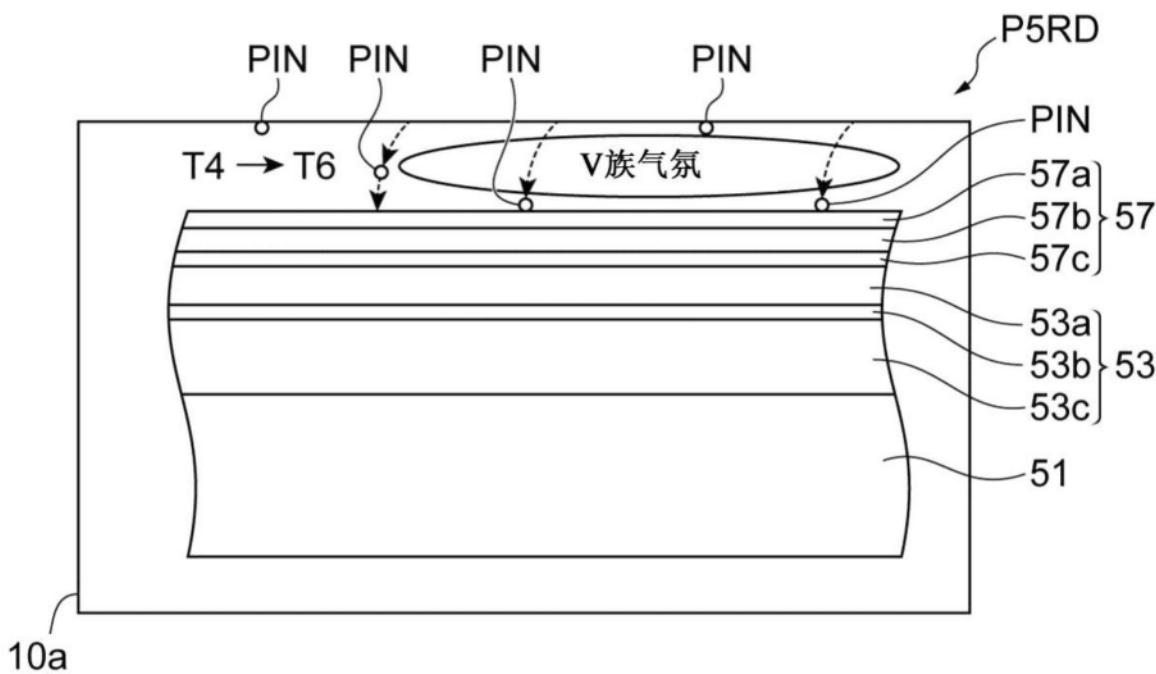


图4B

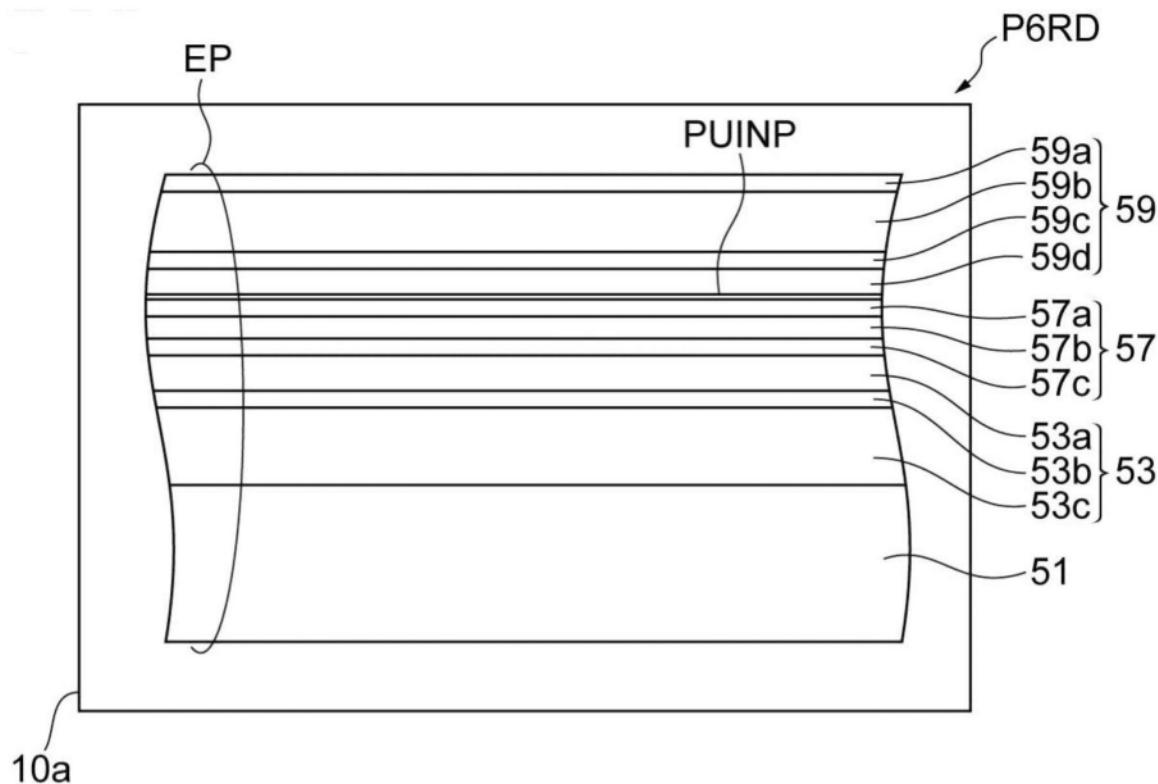


图5A

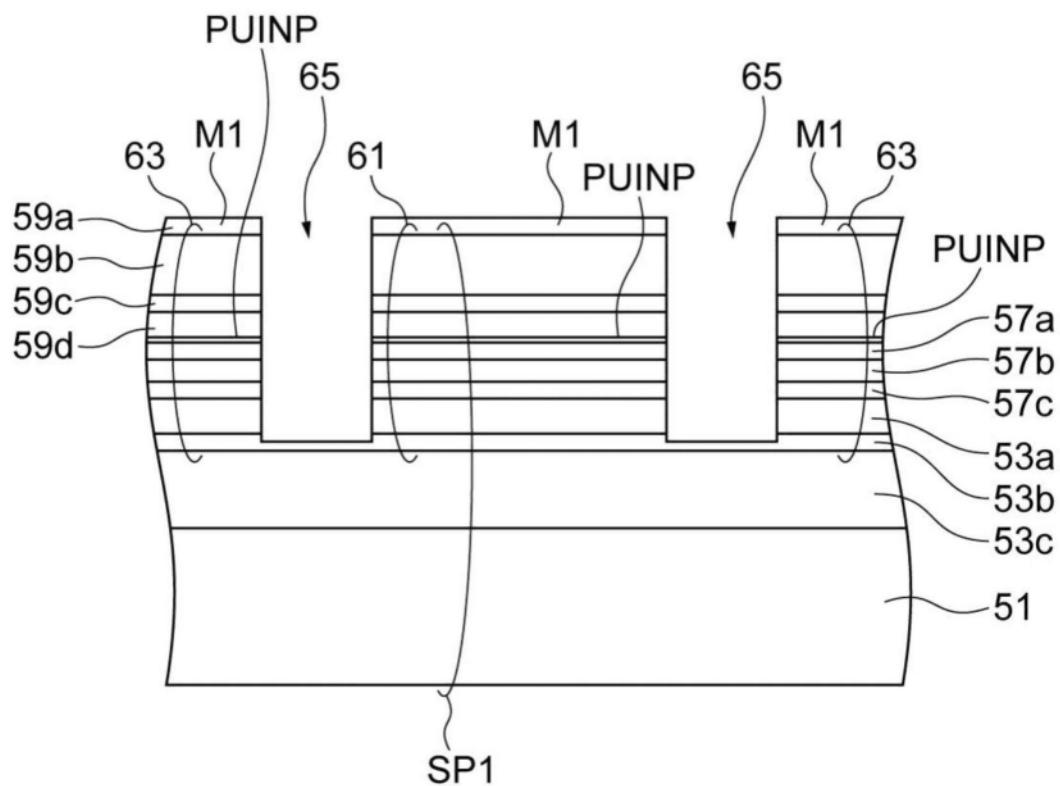


图5B

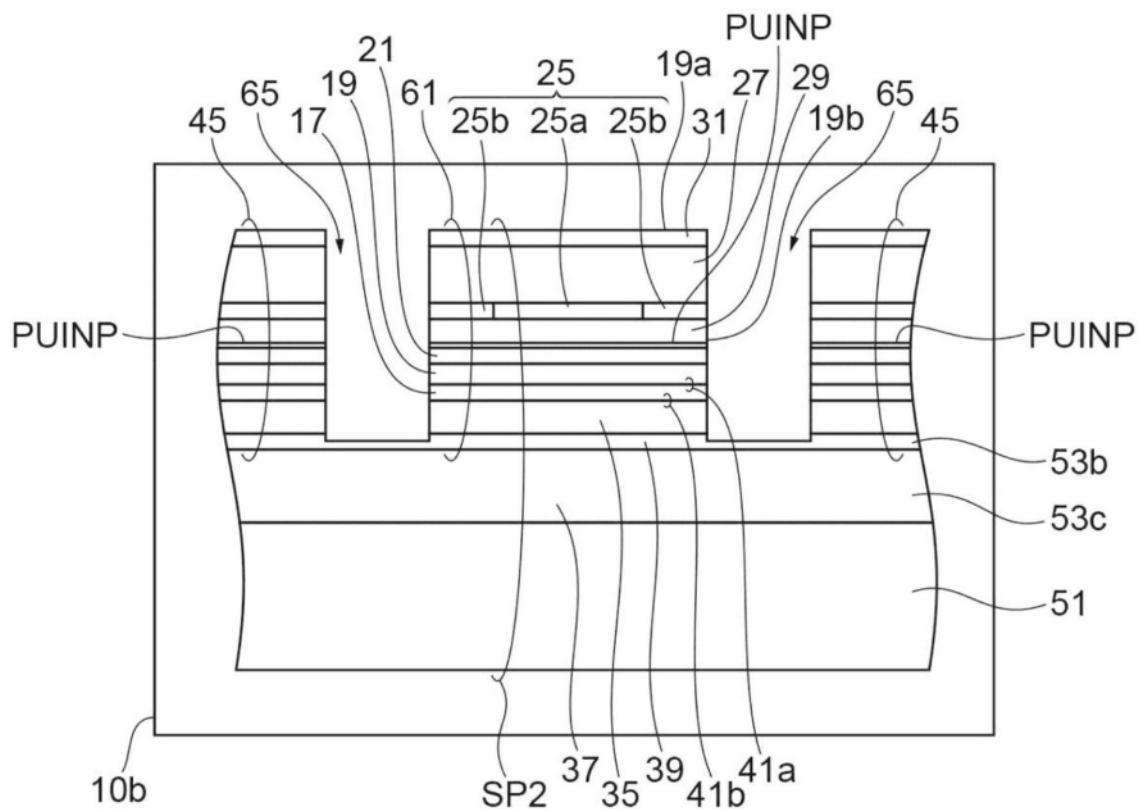


图6A

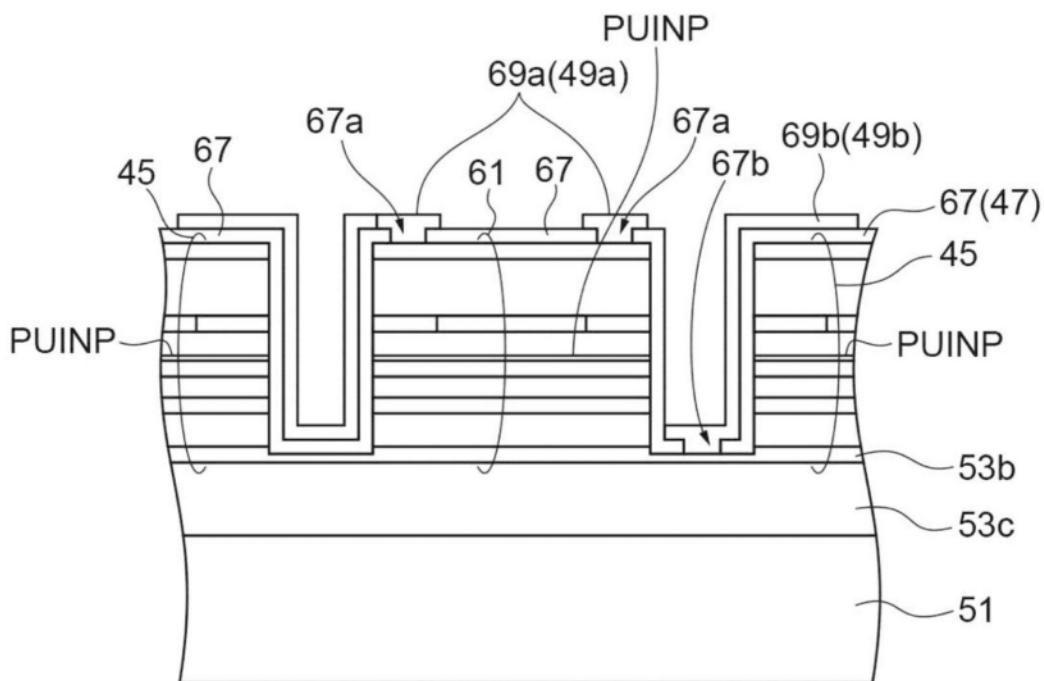


图6B

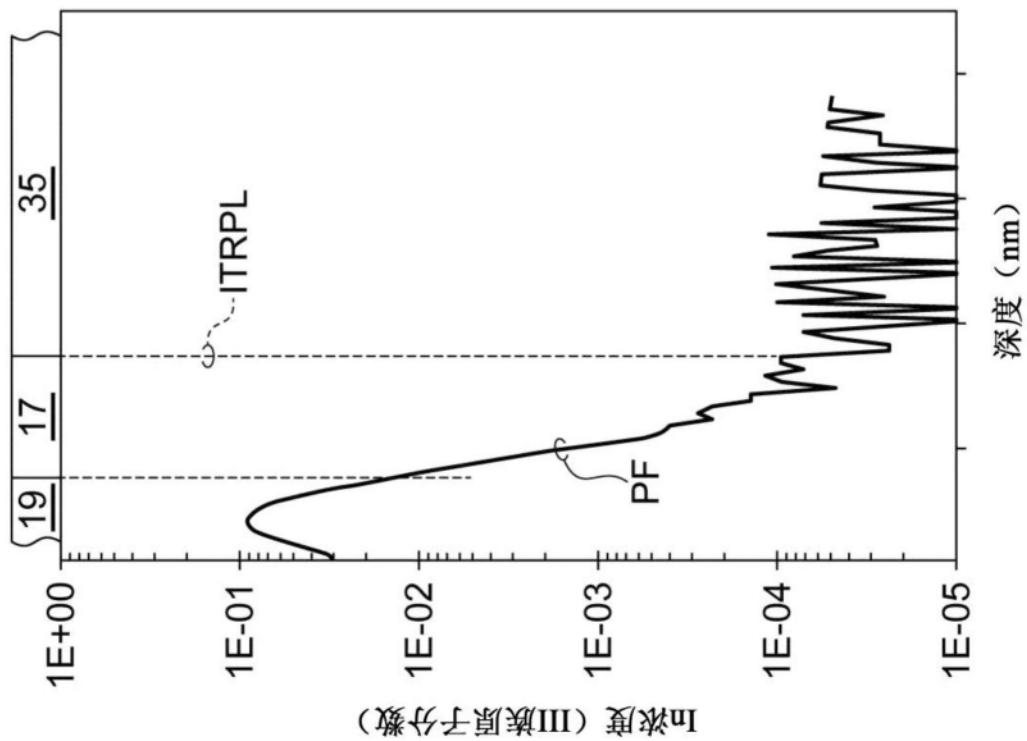


图7A

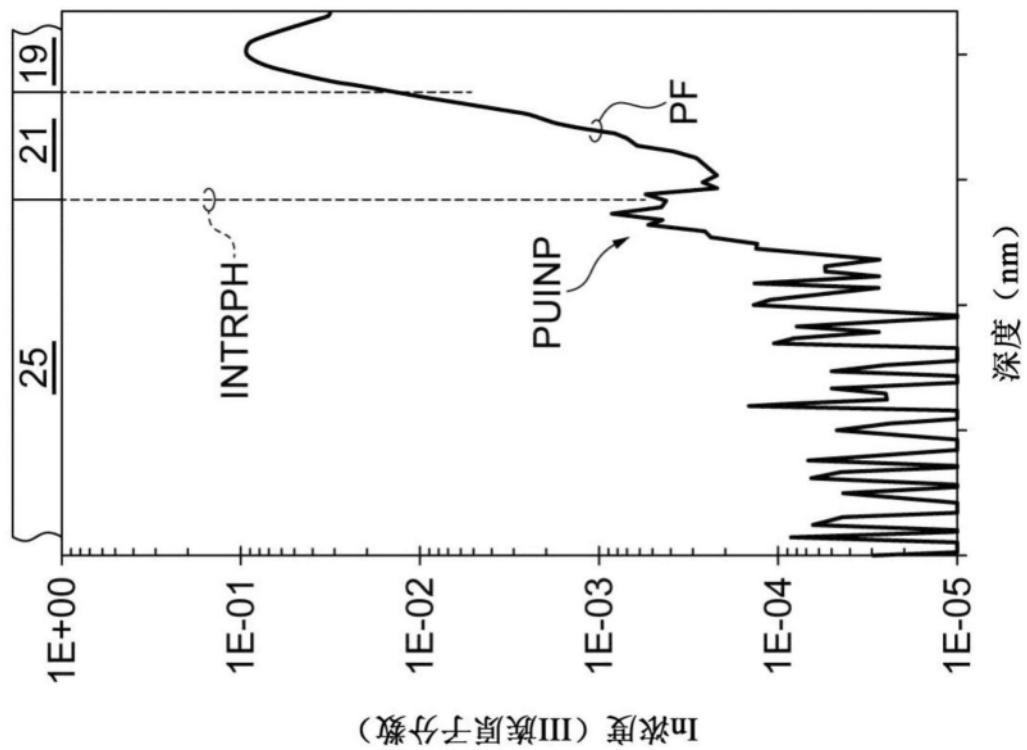


图7B