



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112913094 B

(45) 授权公告日 2024.06.11

(21) 申请号 201980068659.1

(72) 发明人 仓本大

(22) 申请日 2019.10.07

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112913094 A

专利代理人 赵彤 刘久亮

(43) 申请公布日 2021.06.04

(51) Int.CI.

H01S 5/183 (2006.01)

(30) 优先权数据

2018-196393 2018.10.18 JP

(56) 对比文件

CN 101136538 A, 2008.03.05

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

US 2007071054 A1, 2007.03.29

2021.04.16

US 2009268774 A1, 2009.10.29

(86) PCT国际申请的申请数据

US 6403983 B1, 2002.06.11

PCT/JP2019/039455 2019.10.07

JP 2011205006 A, 2011.10.13

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 1627576 A, 2005.06.15

W02020/080160 JA 2020.04.23

CN 101510665 A, 2009.08.19

(73) 专利权人 斯坦雷电气株式会社

JP 2017098328 A, 2017.06.01

地址 日本东京都

审查员 邓瑞婕

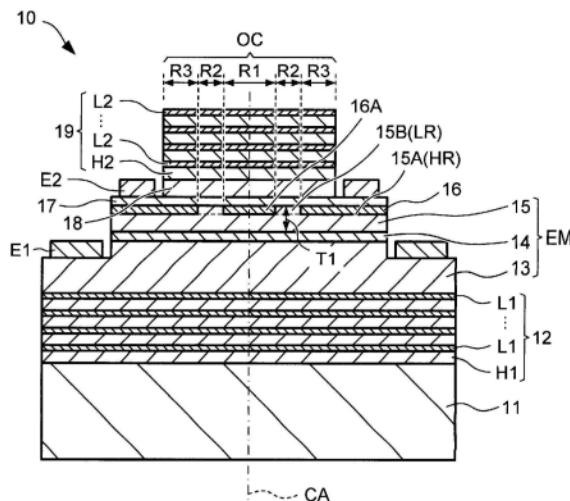
权利要求书2页 说明书10页 附图11页

## (54) 发明名称

垂直谐振器式发光元件

## (57) 摘要

本发明具有：基板；第一多层膜反射镜，其形成在基板上；发光结构层，其形成在第一多层膜反射镜上并且包括发光层；以及第二多层膜反射镜，其形成在发光结构层上，并且与第一多层膜反射镜结合构成谐振器。发光结构层具有：低电阻区域，其以环形设置在第一多层膜反射镜和第二多层膜反射镜之间；以及高电阻区域，其形成在低电阻区域的内部，并且具有比低电阻区域的电阻高的电阻。



1. 一种垂直腔表面发射装置，该垂直腔表面发射装置包括：  
基板；  
第一多层膜反射镜，所述第一多层膜反射镜形成在所述基板上；  
发光结构层，所述发光结构层形成在所述第一多层膜反射镜上并且包括发光层；以及  
第二多层膜反射镜，所述第二多层膜反射镜形成在所述发光结构层上，在所述第二多层膜反射镜和所述第一多层膜反射镜之间构成谐振器，其中，  
所述发光结构层包括低电阻区域和高电阻区域，所述低电阻区域以环形设置在所述第一多层膜反射镜和所述第二多层膜反射镜之间，并且所述高电阻区域形成在所述低电阻区域内部并且具有比所述低电阻区域的电阻更高的电阻，  
其中，  
所述谐振器包括环形区域、中心区域和外部区域，所述环形区域对应于所述发光结构层的所述低电阻区域并且在所述第一多层膜反射镜和所述第二多层膜反射镜之间延伸，所述中心区域与所述环形区域内部的所述高电阻区域对应设置，并且所述外部区域设置在所述环形区域的外部，并且  
所述中心区域和所述外部区域的等效折射率低于所述环形区域的等效折射率。
2. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，  
当将从所述发光层发射的光的波长定义为波长 $\lambda$ 、将所述环形区域相对于所述波长 $\lambda$ 的等效折射率定义为折射率 $n\lambda$ 、并且将所述环形区域相对于445nm的波长的等效折射率定义为折射率 $n_{445}$ 时，所述低电阻区域的宽度 $W1$ 满足关系 $W1 \geq 2.85 \times (\lambda / 0.445) \times (n\lambda / n_{445}) [\mu m]$ 。
3. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，  
所述低电阻区域内部的所述高电阻区域的宽度是载流子在所述发光层中的扩散长度的两倍以上。
4. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，  
所述发光结构层包括第一半导体层、所述发光层以及第二半导体层，所述第一半导体层形成在所述第一多层膜反射镜上，所述发光层形成在所述第一半导体层上，并且所述第二半导体层形成在所述发光层上并且具有与所述第一半导体层的导电类型相反的导电类型，  
所述第二半导体层包括上表面和突起，所述突起从所述上表面以环形突出，  
所述第二半导体层的所述上表面通过被绝缘层覆盖而用作所述高电阻区域，并且  
所述第二半导体层的所述突起与电极接触以用作所述低电阻区域。
5. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，  
所述发光结构层包括第一半导体层、所述发光层以及第二半导体层，所述第一半导体层形成在所述第一多层膜反射镜上，所述发光层形成在所述第一半导体层上，并且所述第二半导体层形成在所述发光层上并且具有与所述第一半导体层的导电类型相反的导电类型，  
所述第二半导体层包括在留有环形区域的情况下注入离子的离子注入区域，并且，  
所述第二半导体层包括不注入所述离子的区域，所述不注入所述离子的区域用作所述低电阻区域。

6. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，

所述发光结构层包括第一半导体层、所述发光层以及第二半导体层，所述第一半导体层形成在所述第一多层膜反射镜上，所述发光层形成在所述第一半导体层上，并且所述第二半导体层形成在所述发光层上并且具有与所述第一半导体层的导电类型相反的导电类型，

所述第二半导体层包括在该第二半导体层中留有环形区域的情况下使杂质失活的失活区域，并且

所述第二半导体层包括用作所述低电阻区域的不使所述杂质失活的区域。

7. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置，其中，

所述发光结构层包括第一半导体层、所述发光层、第二半导体层和隧道结层，所述第一半导体层形成在所述第一多层膜反射镜上，所述发光层形成在所述第一半导体层上，所述第二半导体层形成在所述发光层上并且具有与所述第一半导体层的导电类型相反的导电类型，并且所述隧道结层以环形形成在所述第二半导体层上并用作所述低电阻区域。

8. 根据权利要求4所述的垂直腔表面发射装置，其中，

所述第二半导体层的层厚度为载流子在所述发光层中的扩散长度的两倍以下。

## 垂直谐振器式发光元件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种诸如垂直腔表面发射激光器的垂直腔表面发射装置。

### 背景技术

[0002] 垂直腔表面发射激光器(下文简称为表面发射激光器)是半导体激光器,其包括由堆叠在基板上的多层膜形成的反射镜,并在垂直于基板表面的方向上发射光。例如,专利文献1公开了使用氮化物半导体的表面发射激光器。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本专利第5707742号

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的问题

[0007] 例如,在诸如表面发射激光器之类的垂直腔表面发射装置中,优选地,发光图案是稳定的,诸如,远场图案是稳定的。因此,例如,优选地在垂直腔表面发射装置中配置被配置为以期望的横向模式产生光的谐振器。例如,以基本本征模式产生激光束允许获得具有低发射角和高输出功率的单峰激光束的远场图案。

[0008] 考虑到上述各点而做出本发明,并且本发明的目的是提供一种允许以稳定的横向模式发光的垂直腔表面发射装置。

[0009] 问题的解决方案

[0010] 根据本发明的垂直腔表面发射装置包括:基板、第一多层膜反射镜、发光结构层以及第二多层膜反射镜。第一多层膜反射镜形成在基板上。发光结构层形成在第一多层膜反射镜上并且包括发光层。第二多层膜反射镜形成在发光结构层上。第二多层膜反射镜和第一多层膜反射镜之间构成谐振器。发光结构层包括低电阻区域和高电阻区域。低电阻区域在第一多层膜反射镜和第二多层膜反射镜之间以环形设置。高电阻区域形成在低电阻区域的内部,并且具有比低电阻区域的电阻高的电阻。

### 附图说明

[0011] 图1是根据实施方式1的表面发射激光器的截面图。

[0012] 图2是根据实施方式1的表面发射激光器的示意性俯视图。

[0013] 图3是示意性地例示根据实施方式1的表面发射激光器中的谐振器的配置的图。

[0014] 图4是示意性地例示根据实施方式1的表面发射激光器中的电流路径的图。

[0015] 图5是示意性地例示从根据实施方式1的表面发射激光器发射的光的图。

[0016] 图6A是例示根据实施方式1的表面发射激光器中的电流注入区域的宽度与本征模式之间的关系的图。

[0017] 图6B是例示根据实施方式1的从表面发射激光器发射的光的远场图案的示例的

图。

- [0018] 图6C是例示根据实施方式1的从表面发射激光器发射的光的远场图案的另一示例的图。
- [0019] 图7A是根据实施方式1的变型例1的表面发射激光器的示意性俯视图。
- [0020] 图7B是根据实施方式1的变型例2的表面发射激光器的示意性俯视图。
- [0021] 图7C是根据实施方式1的变型例3的表面发射激光器的示意性俯视图。
- [0022] 图8是根据实施方式2的表面发射激光器的截面图。
- [0023] 图9是根据实施方式3的表面发射激光器的截面图。
- [0024] 图10是根据实施方式4的表面发射激光器的截面图。
- [0025] 图11是根据实施方式5的表面发射激光器的截面图。

## 具体实施方式

[0026] 以下将详细描述本发明的实施方式。在以下实施方式中，将描述将本发明被实施为表面发射激光器(半导体激光器)的情况。然而，本发明不限于表面发射激光器，而是可应用于各种垂直腔表面发射装置(诸如，垂直腔表面发射二极管)。

[0027] [实施方式1]

[0028] 图1是根据实施方式1的垂直腔表面发射激光器(在下文中称为表面发射激光器：VCSEL)的截面图。图2是表面发射激光器10的示意性俯视图。图1是沿着图2中的线V-V截取的截面图。将参照图1和图2来描述表面发射激光器10的配置。

[0029] 表面发射激光器10包括基板11和形成在基板11上的第一多层膜反射镜(在下文中简称为第一反射镜)12。在该实施方式中，第一反射镜12形成在基板11上并具以下结构：其中第一半导体膜(在下文中称为高折射率半导体膜)H1和折射率低于高折射率半导体膜H1的折射率的第二半导体膜(在下文中称为低折射率半导体膜)L1交替堆叠。

[0030] 也就是说，在该实施方式中，第一反射镜12是构成由半导体材料制成的分布式布拉格反射镜(DBR)的半导体多层膜反射镜。

[0031] 在该实施方式中，基板11具有GaN的成分。基板11是用于第一反射镜12的晶体生长的用于生长的基板。第一反射镜12中的高折射率半导体膜H1具有GaN的成，而低折射率半导体膜L1具有AlInN的成分。在该实施方式中，在基板11和第一反射镜12之间，设置具有GaN成分的缓冲层(未示出)。

[0032] 表面发射激光器10包括形成在第一反射镜12上并包括发光层14的发光结构层EM。在该实施方式中，发光结构层EM包括由氮化物基半导体制成的多个半导体层。发光结构层EM包括形成在第一反射镜12上的n型半导体层(第一半导体层)13、形成在n型半导体层13上的发光层(有源层)14、以及形成在发光层14上的p型半导体层(第二半导体层)15。

[0033] 在该实施方式中，n型半导体层13具有GaN的成分并且包含Si作为n型杂质。发光层14具有量子阱结构，该量子阱结构包括具有InGaN成分的阱层和具有GaN成分的势垒层(barrier layer)。p型半导体层15具有GaN基成分并且包含Mg作为p型杂质。

[0034] 发光结构层EM的配置不限于此。例如，n型半导体层13可以包括具有互不相同的成分的多个n型半导体层。p型半导体层15可以包括具有互不相同的成分的多个p型半导体层。

[0035] 例如，p型半导体层15可以包括例如AlGaN层作为电子阻挡层(未示出)，其减少了

注入到发光层14中的电子在与发光层14的交界处向p型半导体层15的溢出。p型半导体层15可以包括接触层(未示出),以与电极形成欧姆接触。在这种情况下,例如,p型半导体层15仅需要在电子阻挡层和接触层之间包括GaN层作为覆盖层。

[0036] 在该实施方式中,p型半导体层15包括上表面15A和从上表面15A突出的突起15B。当在垂直于上表面15A的方向上观察时,突起15B具有环形。在该实施方式中,如图2所示,突起15B是p型半导体层15的以圆环形从上表面15A突出的表面区域。

[0037] 表面发射激光器10包括绝缘层(第一绝缘层)16,该绝缘层16形成在除了p型半导体层15的突起15B之外的上表面15A上。在该实施方式中,绝缘层16与p型半导体层15的上表面15A以及p型半导体层15的突起15B的侧表面接触。绝缘层16对从发光层14发射的光具有透光性(translucency),并且由折射率低于p型半导体层15(突起15B)的折射率的材料(例如诸如SiO<sub>2</sub>之类的氧化物)制成。

[0038] 另外,绝缘层16包括内部绝缘部分16A,该内部绝缘部分16A形成在由p型半导体层15的上表面15A内的突起15B围绕的区域上。在该实施方式中,在突起15B的上端面中,位于与p型半导体层15的发光层14相对的一侧的表面从绝缘层16暴露。

[0039] 表面发射激光器10包括形成在绝缘层16上并且在p型半导体层15的突起15B中连接至p型半导体层15的透光电极层17。透光电极层17是对从发光层14发射的光具有透光性的导电膜。透光电极层17与绝缘层16的上表面和p型半导体的突起15B的上端面接触。例如,透光电极层17由诸如ITO或IZO之类的金属氧化物膜制成。

[0040] 绝缘层16用作电流限制层,该电流限制层限制经由透光电极层17注入到发光结构层EM中的电流。首先,p型半导体层15的突起15B从绝缘层16中暴露并且与透光电极层17(电极)接触,以在发光结构层EM中用作低电阻区域LR。设置p型半导体层15的突起15B的区域用作电流注入区域,从该电流注入区域将电流注入发光层14中。

[0041] p型半导体层15中的突起15B的内部和外部的区域(上表面15A的区域)通过被绝缘层16覆盖而用作高电阻区域HR,该高电阻区域HR的电阻高于低电阻区域LR的电阻。也就是说,p型半导体层15的设置有上表面15A的区域用作非电流注入区域,在非电流注入区域中抑制了向发光层14的电流注入。

[0042] 也就是说,发光结构层EM包括:低电阻区域LR,其在第一反射镜12与第二反射镜19之间以环形设置;以及高电阻区域HR,其在低电阻的内部和外部形成并且具有比低电阻区域LR的电阻更高的电阻。

[0043] 表面发射激光器10包括形成在透光电极层17上的绝缘层(第二绝缘层)18。例如,绝缘层18由诸如Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>和HfO<sub>2</sub>之类的金属氧化物制成。绝缘层18对从发光层14发射的光具有透光性。

[0044] 表面发射激光器10包括形成在绝缘层18上的第二多层膜反射镜(在下文中简称为第二反射镜)19。第二反射镜19经由发光结构层EM设置在面对第一反射镜12的位置。在第二反射镜19与第一反射镜12之间构成以与发光结构层EM垂直的方向(与基板11垂直的方向)作为谐振器长度方向的谐振器OC。

[0045] 在该实施方式中,如图2所示,第二反射镜19具有圆柱形形状。因此,在该实施方式中,表面发射激光器10包括圆柱形形状的谐振器OC。

[0046] 在该实施方式中,第二反射镜19具有以下结构:其中,第一介电膜(在下文中称为

高折射率介电膜)H2和折射率比高折射率介电膜H2的折射率低的第二介电膜(在下文中称为低折射率介电膜)L2交替地堆叠。

[0047] 也就是说,在该实施方式中,第二反射镜19是构成由介电材料制成的分布式布拉格反射镜(DBR)的介电多层膜反射镜。也就是说,在该实施方式中,高折射率介电膜H2由 $Ta_2O_5$ 层形成,而低折射率介电膜L2由 $A1_2O_3$ 层形成。

[0048] 发光结构层EM中的p型半导体层15的突起15B(即,低电阻区域LR)设置在第一反射镜12和第二反射镜19之间的区域中。也就是说,在该实施方式中,谐振器OC包括:环形区域R2,其对应于发光结构层EM中的低电阻区域LR在第一反射镜12和第二反射镜19之间延伸;中心区域R1,其与在环形区域R2的内部处的高电阻区域HR对应地设置;以及外部区域R3,其设置在环形区域R2的外部。

[0049] 在该实施方式中,绝缘层16的折射率低于p型半导体层15的折射率。因此,谐振器OC中的中心区域R1和外部区域R3的等效折射率低于环形区域R2的等效折射率。也就是说,中心区域R1和外部区域R3用作低折射率区域,而环形区域R2用作高折射率区域。在该实施方式中,中心区域R1具有圆柱形形状,并且环形区域R2和外部区域R3均具有圆筒形形状。

[0050] 表面发射激光器10包括向发光结构层EM施加电流的第一电极E1和第二电极E2。第一电极E1形成在n型半导体层13上。第二电极E2形成在透光电极层17上。

[0051] 在第一电极E1和第二电极E2之间施加的电压使从发光结构层EM中的发光层14发射光。从发光层14发射的光在第一反射镜12和第二反射镜19之间重复反射,从而进入谐振状态(执行激光振荡)。

[0052] 在该实施方式中,第一反射镜12的反射率略低于第二反射镜19的反射率。因此,在第一反射镜12和第二反射镜19之间谐振的光的一部分通过第一反射镜12和基板11透射,并且被引到外部。因此,表面发射激光器10在垂直于基板11和发光结构层EM的方向上发射光。

[0053] 发光结构层EM中的p型半导体层15的突起15B在发光层14中限定发光中心,并且限定谐振器OC的中心轴CA。谐振器OC的中心轴CA穿过p型半导体层15的突起15B的中心,并在垂直于p型半导体层15(发光结构层EM)的方向上延伸。在该实施方式中,p型半导体层15的突起15B的中心设置在与绝缘层16中的内部绝缘部16A的中心对应的位置处。

[0054] 这里,将描述表面发射激光器10中的每层的示例性配置。在该实施方式中,第一反射镜12由44对GaN层和AlInN层形成。n型半导体层13具有650nm的层厚度。发光层14由具有其中4nm的InGaN层和5nm的GaN层被堆叠三次的多量子阱结构的有源层形成。第二反射镜19由10对 $Ta_2O_5$ 层和 $A1_2O_3$ 层形成。

[0055] p型半导体层15在突起15B的区域中具有50nm的层厚度T1。p型半导体层15在上表面15A的区域中具有30nm的层厚度。突起15B的内径D1为3.3μm。突起15B的外径为10μm。突起15B的宽度W1为3.35μm。

[0056] 绝缘层16具有20nm的层厚度。绝缘层16的上表面形成为与p型半导体层15的突起15B的上端面齐平。注意,这些仅仅是一个示例。

[0057] 图3是示意性地例示表面发射激光器10中的谐振器OC的光学特性的图。虽然图3是类似于图1的截面图,但是图3省略了阴影线。在该实施方式中,绝缘层16的折射率比p型半导体层15的折射率低,并且绝缘层16被形成在与p型半导体层15的突起15B的上端面相同的高度处。第一反射镜12和第二反射镜19之间的其它层的厚度均恒定。

[0058] 因此,谐振器OC中的等效折射率(第一反射镜12与第二反射镜19之间的光学距离,谐振器长度)在中心区域R1、环形区域R2以及外部区域R3之间由于p型半导体层15和绝缘层16之间的折射率差异而不同。

[0059] 具体地,如图3所示,当将环形区域R2中的第一反射镜12与第二反射镜19之间的光学距离定义为光学距离OL1,并且将中心区域R1和外部区域R3中的第一反射镜12与第二反射镜19之间的光学距离定义为光学距离OL2时,光学距离OL2小于光学距离OL1。也就是说,中心区域R1和外部区域R3中的等效谐振器长度小于环形区域R2中的等效谐振器长度。

[0060] 图4是示意性例示表面发射激光器10的谐振器OC(在发光结构层EM中)的电特性的图。图4是示意性地例示流过发光结构层EM的内部的电流CR的图。虽然图4是类似于图1的截面图,但是图4省略了阴影线。在该实施方式中,作为突起15B的区域的环形区域R2用作低电阻区域LR,并且作为其它区域的中心区域R1和外部区域R3用作高电阻区域HR。

[0061] 因此,如图4所示,仅在环形区域R2中将电流CR注入发光层14中,并且在中心区域R1中几乎不将电流注入发光层14中。也就是说,在环形区域R2中产生光(产生增益),而在中心区域R1中不产生光。

[0062] 图5是示意性地例示从表面发射激光器10发射的光的图。在该实施方式中,表面发射激光器10中的驻波从第一反射镜12被引到外部。这里,如图5所示,在表面发射激光器10中谐振的光在聚集在中心区域R1时被引到外部。图5通过虚线示意性地例示了从表面发射激光器10发射的激光束LB的束外边缘。

[0063] 具体地,首先,在该实施方式中,绝缘层16的折射率小于p型半导体层15的折射率(突起15B)。因此,在谐振器OC中的区域R1至R3之间提供等效折射率差。在该实施方式中,外部区域R3中的谐振器OC(激光介质)的等效折射率小于环形区域R2中的谐振器OC的等效折射率。

[0064] 这抑制了由于谐振器OC中的驻波从环形区域R2到外部的发散(发射)而导致的光损耗。也就是说,大量的光保留在环形区域R2的内部,并且激光束LB在该状态下被引到外部。因此,大量的光聚集在谐振器OC中的环形区域R2上,从而确保产生和发射具有高输出功率的激光束LB。

[0065] 在该实施方式中,通过提供等效折射率的差,在谐振器OC中形成光学限制结构。因此,几乎所有的光都用作激光束LB而不会引起强度的劣化。这允许以高输出功率高效地产生和发射激光束LB。

[0066] 接下来,在该实施方式中,低电阻区域LR(即,到发光层14的电流注入区域)被限制为仅环形区域R2。也就是说,没有将电流注入到中心区域R1中,而是将电流注入区域设置为围绕非电流注入区域。这允许稳定激光束LB的本征模式(eigenmode)。

[0067] 具体地,考虑到从发光层14发射的光的波长,主要地调节低电阻区域LR的宽度W1(参见图2)(即电流注入宽度),允许在稳定的本征模式中发射激光束LB。因此,可以获得稳定的、高强度的远场图案。

[0068] 图6A是例示电流注入宽度W1与激光束LB的本征模式(也称为超模式)之间的关系的图。图6A在水平轴上绘制低电阻区域LR的宽度W1(即,突起15B),在垂直轴上绘制激光束LB的本征模式。注意,图6A例示了激光束LB的本征模式相对于宽度W1的改变。

[0069] 如图6A所示,在电流注入宽度W1为2.3μm以下的情况下,出现第八本征模式。也就

是说,在环形区域R2中存在八个光束斑点,并且出现了在相邻斑点之间反相的模式(获得了异相模式)。因此,在远场图案中,观察到多峰激光束LB。图6B是例示电流注入宽度W1小于2.3μm的激光束LB的远场图案的图。

[0070] 此外,当电流注入宽度W1为2.85μm以上时,模式进入基本本征模式。具体地,在环形区域R2中存在八个光束斑点,并且出现了所有斑点变为相同相位的模式(获得了同相模式)。因此,发射单峰激光束LB。图6C是例示电流注入宽度W1大于2.85μm的激光束LB的远场图案的图。

[0071] 本申请的发明人已经证实,本征模式根据在2.3μm至2.85μm的电流注入宽度W1的范围内所施加的电流值而在同相模式和异相模式之间变化。

[0072] 因此,以环形设置低电阻区域LR并调节宽度W1确保以稳定的本征模式产生激光束LB,从而形成稳定的远场图案。然而,考虑到以稳定的横向模式产生激光束LB,仅需要将环形的低电阻区域LR和高电阻区域HR设置在谐振器OC中的低电阻区域LR内部。

[0073] 可以主要根据激光束LB(即,从发光层14发出的光)的波长和谐振器OC的等效折射率来调节电流注入宽度W1。例如,为了仅考虑发光波长来调整宽度W1,在当从发光层14发射的光的波长被定义为波长λ时,考虑到获得单峰激光束LB,仅需将电流注入宽度W1设置为满足如下关系: $W1 \geq 2.85 \times (\lambda / 0.445) [\mu\text{m}]$ 。

[0074] 另外,考虑到发光波长和等效折射率二者来调节宽度W1允许进一步稳定激光束LB的本征模式。例如,在将从发光层14发射的光的波长定义为波长λ,将环形区域R2相对于波长λ的等效折射率定义为折射率nλ,并且将环形区域R2相对于445nm的波长的等效折射率定义为折射率n<sub>445</sub>的情况下,考虑到获得单峰激光束LB,仅需将电流注入区域CJ的宽度W1设置为满足如下关系: $W1 \geq 2.85 \times (\lambda / 0.445) \times (n\lambda / n_{445}) [\mu\text{m}]$ 。

[0075] 本申请的发明人已经证实,为了获得稳定的单本征模式的激光束LB,优选5.5μm以下的电流注入宽度W1。这是因为,在宽度W1大于5.5μm的情况下,当超过激光振荡的阈值时,在某些情况下以多模式发射激光束LB。也就是说,考虑获得波长λ为445nm的单峰激光束LB,宽度W1仅需要满足如下关系: $2.85 \leq W1 \leq 5.5 [\mu\text{m}]$ 。仅需要根据发光波长λ和环形区域R2的等效折射率来调整该范围。

[0076] 考虑到载流子(电子或电子空穴)在发光层14中的扩散长度,可以将低电阻区域LR的内径D1(参见图2)设置在优选范围内。例如,发光层14中的载流子的扩散长度对应于载流子在发光层14中的与发光层14平行的方向(横向)上移动的距离。

[0077] 例如,在该实施方式中,优选在环形区域R2的内部形成发光层14的不注入电流的区域。因此,当在垂直于发光层14的方向上观察时,当低电阻区域LR的内径D1是发光层中的载流子(在该实施方式中为电子)的扩散长度的两倍以上时,在发光层14的位于环形区域R2内部的区域的至少一部分中形成有不注入电流的区域。因此,当在垂直于发光层14的方向上观察时,低电阻区域LR的内径D1优选为载流子在发光层14中的扩散长度的两倍以上。也就是说,低电阻区域LR内的高电阻区域HR的宽度优选为载流子在发光层14中的扩散长度的两倍以上。

[0078] 类似地,考虑到载流子在发光层14中的扩散长度也可以将p型半导体层15的层厚度T1(在该实施方式中为从突起15B的上端面到与发光层14的交界的距离,参见图1)设置为优选范围。p型半导体层15的层厚度T1优选为载流子在发光层14中的扩散长度的两倍以下。

这允许在环形区域R2的内部处形成发光层14的载流子(电子)不到达的区域。

[0079] 在该实施方式中,环形区域R2是低电阻区域LR和高折射率区域。因此,不仅可以使用最大注入电流来产生激光束LB,而且还可以基本上抑制由于折射率差而导致的在中心区域R1或外部区域R3中的激光束LB的损失。因此,可以以低阈值和高效率产生具有高输出功率的稳定横向模式的激光束LB。另外,由于电流不流过中心区域R1,因此可以抑制在中心区域R1中的发热,并且可以在高温下操作。

[0080] 在该实施方式中,已经描述了环形区域R2是高折射率区域并且中心区域R1和外部区域R3是低折射率区域的情况。也就是说,已经描述了低电阻区域LR和高电阻区域HR之间的边界设置在与高折射率区域和低折射率区域之间的边界匹配的位置的情况。然而,中心区域R1、环形区域R2和外部区域R3的配置不限于这些。

[0081] 考虑到以稳定的横向模式获得激光束LB,仅需要在第一反射镜12和第二反射镜19之间设置环形低电阻区域LR和低电阻区域LR内部的高电阻区域HR设置。例如,高折射率区域和低折射率区域之间的边界可以设置在与中心区域R1和环形区域R2之间的边界不同的位置。

[0082] 在该实施方式中,已经描述了p型半导体层15包括突起15B并且突起15B接触透光电极层17以用作低电阻区域LR的情况。但是,发光结构层EM仅需要包括环形的低电阻区域LR即可。例如,n型半导体层13可以包括类似于突起15B的突起。也就是说,低电阻区域LR和高电阻区域HR可以设置在n型半导体层13中。

[0083] 另外,在该实施方式中,已经描述了低电阻区域LR(即,p型半导体层15的突起15B)形成为圆环形的情况。然而,低电阻区域LR的配置不限于此。

[0084] 图7A是根据该实施方式的变型例1的表面发光激光器10A的示意性俯视图。除了发光结构层EMA的配置之外,表面发射激光器10A具有与表面发射激光器10类似的配置。除了p型半导体层15M1的配置之外,发光结构层EMA具有与发光结构层EM类似的配置。

[0085] 在发光结构层EMA中,p型半导体层15M1包括具有椭圆形环形(轨道形状)的突起15B1。也就是说,在该变型例中,形成具有椭圆形环形的环形区域R2(低电阻区域LR和高折射率区域)。在也这样形成环形区域R2的情况下,例如通过调整突起15B1的宽度,可使激光束LB的本征模式稳定。因此,例如,可以获得单峰激光束LB的远场图案。可以获得具有低发光角度和高强度的激光束LB。

[0086] 图7B是根据该实施方式的变型例2的表面发射激光器10B的示意性俯视图。除了发光结构层EMB的配置之外,表面发射激光器10B具有与表面发射激光器10类似的配置。除了p型半导体层15M2的配置之外,发光结构层EMB具有与发光结构层EM类似的配置。

[0087] 在发光结构层EMB中,p型半导体层15M2包括具有矩形环形的突起15B2。也就是说,在该变型例中,形成具有矩形环形的环形区域R2(低电阻区域LR和高折射率区域)。在也这样形成环形区域R2的情况下,例如通过调整突起15B2的宽度,稳定激光LB的本征模式。因此,例如,可以获得具有低发光角度和高强度的单峰激光束LB的远场图案。

[0088] 图7C是根据该实施方式的变型例3的表面发射激光器10C的示意性俯视图。除了发光结构层EMC的配置之外,表面发射激光器10C具有与表面发射激光器10类似的配置。除了p型半导体层15M3的配置之外,发光结构层EMC具有与发光结构层EM类似的配置。

[0089] 在发光结构层EMC中,p型半导体层15M3包括围绕十字的环形突起15B3。也就是说,

在该变型例中,形成围绕十字的环形区域R2(低电阻区域LR和高折射率区域)。在也这样形成环形区域R2的情况下,例如,通过调整突起15B3的宽度,稳定激光LB的本征模式。因此,例如,可以获得具有低发光角度和高强度的单峰激光束LB的远场图案。

[0090] 因此,在该实施方式中,在谐振器OC中设置环形低电阻区域LR,从而使在环形区域R2中出现的光的本征模式稳定。因此,例如,获得了单本征模式下的激光束LB(例如,参见图6C),并且获得了作为多个本征模式下的光的集合的激光束LB(例如,参见图6B)。因此,例如,如图7A至图7C所示,低电阻区域LR可以具有各种配置。

[0091] 在该实施方式中,已经描述了在具有p型半导体层15和绝缘层16的发光结构层EM中形成低电阻区域LR的情况。然而,低电阻区域LR的配置不限于此。例如,可以在p型半导体层15的上表面上将除了环形区域以外的区域设置为高电阻以形成低电阻区域LR。

[0092] 如上所述,在该实施方式中,表面发射激光器10包括基板11、形成在基板11上的第一反射镜12、形成在第一反射镜12上并且包括发光层的发光结构层EM以及形成在发光结构层EM上的第二反射镜19。在第二反射镜19与第一反射镜12之间构成谐振器OC。另外,发光结构层EM包括:低电阻区域LR,其在第一反射镜12与第二反射镜19之间形成为环形;以及高电阻区域HR,其设置在低电阻区域LR的内部并且其电阻高于低电阻区域LR的电阻。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器10。

[0093] [实施方式2]

[0094] 图8是根据实施方式2的表面发射激光器20的截面图。除了发光结构层EM1和低电阻区域LR的配置之外,表面发射激光器20具有与表面发射激光器10类似的配置。

[0095] 发光结构层EM1包括p型半导体层(第二半导体层)21,其包括在留有环形区域的情况下注入了离子的离子注入区域21A。例如,离子注入区域21A是p型半导体层21的上表面中已经注入了B离子、Al离子或氧离子的区域。

[0096] 在离子注入区域21A中,p型杂质失活。也就是说,离子注入区域21A用作高电阻区域HR。在离子注入区域21A中,离子的注入改变折射率。

[0097] 在该实施方式中,p型半导体层21的除离子注入区域21A以外的区域21B是形成为不执行离子注入的环形的非离子注入区域。因此,在该实施方式中,非离子注入区域21B用作低电阻区LR并形成环形区域R2。

[0098] 如在该实施方式中,可以通过是否执行离子注入来提供电阻和折射率的差异。因此,可以在发光结构层EM中设置低电阻区域LR。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器20。

[0099] [实施方式3]

[0100] 图9是根据实施方式3的表面发射激光器30的截面图。除了表面发射激光器30包括形成在发光结构层EM1和第二反射镜19之间的绝缘层(第二绝缘层)31、并且在各个区域之间具有不同的折射率之外,表面发射激光器30具有与表面发射激光器20相似的配置。

[0101] 在表面发射激光器30中,绝缘层31包括高折射率绝缘层32和低折射率绝缘层33,该高折射率绝缘层32形成在透光电极层17上并且包括在非离子注入区域21B上的突起32A,并且低折射率绝缘层33形成在高折射率绝缘层32上同时暴露突起32A,并且其折射率低于高折射率绝缘层32的折射率。例如,高折射率绝缘层32由Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>制成。例如,低折射率绝缘层33由SiO<sub>2</sub>制成。

[0102] 在该实施方式中,除了在发光结构层EM1的内部之外,形成在发光结构层EM1的外部的绝缘层31还提供中心区域R1、环形区域R2和外部区域R3之间的折射率差。因此,例如,可以通过发光结构层EM1优先并可靠地限定低电阻区域LR和高电阻区域HR,并且可以通过绝缘层31来限定和增强低折射率区域和高折射率区域。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器30。

[0103] [实施方式4]

[0104] 图10是根据实施方式4的表面发射激光器40的截面图。除了发光结构层EM2和低电阻区域LR的配置之外,表面发射激光器40具有与表面发射激光10类似的配置。

[0105] 在表面发射激光器40中,发光结构层EM2包括p型半导体层41,该p型半导体层41包括在留有环形区域的情况下执行了干法蚀刻的蚀刻部41A。在p型半导体层41中未执行蚀刻的环形上表面区域成为突起41B。

[0106] 通过干法蚀刻使包含杂质的半导体表面(诸如p型半导体层41)变粗糙。这使蚀刻部41A中的p型杂质失活。也就是说,p型半导体层41包括在蚀刻部41A的区域中使p型杂质失活的失活区域41C。因此,失活区域41C用作高电阻区域HR。

[0107] 在该实施方式中,在蚀刻部41A中,p型半导体层41被部分地去除。因此,蚀刻部41A以外的区域成为从蚀刻部41A突出的突起41B。在蚀刻部41A中,去除通常设置在与半导体层中的金属的交界处的接触层。因此,例如,即使不像实施方式1那样配置绝缘层16,也可以将蚀刻部41A充分地设置为高电阻。

[0108] 因此,首先,仅从突起41B将电流注入发光结构层EM2。p型半导体层41的层厚度在蚀刻部41A和突起41B之间不同。这允许提供谐振器OC的等效折射率(也就是说,谐振器OC中的光学距离)的差异。

[0109] 注意,考虑到设置低电阻区域LR,p型半导体层41仅需要选择性地包括失活区域41C。因此,p型半导体层41不限于包括在其上执行干法蚀刻的蚀刻部41A的情况。例如,可以通过离子注入形成失活区域41C,或者可以通过灰化工艺形成失活区域41C。

[0110] 在该实施方式中,发光结构层EM2中的p型半导体层(第二半导体层)41包括失活区域41C,在该失活区域中,在留有环形区域的情况下使p型杂质失活。然后,没有使杂质失活的p型半导体层41的突起41B用作低电阻区域LR。

[0111] 因此,例如,选择性地执行蚀刻以部分地使p型半导体层41失活还允许提供电阻和折射率的差异。这允许在发光结构层EM中提供低电阻区域LR。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器40。

[0112] [实施方式5]

[0113] 图11是根据实施方式5的表面发射激光器50的截面图。除了发光结构层EM3和低电阻区域LR的配置之外,表面发射激光器50具有与表面发射激光10类似的配置。

[0114] 在表面发射激光器50中,发光结构层EM3包括:隧道结层51,其以环形设置在p型半导体层15的突起15B上;以及n型半导体层(第二n型半导体层或第三半导体层)52,其设置在隧道结层51上。发光结构层EM3包括围绕隧道结层51和n型半导体层52的侧表面并且折射率比隧道结层51和n型半导体层52的折射率低的n型半导体层(第三n型半导体层或第四半导体层)53。

[0115] 隧道结层51包括形成在p型半导体层15上并且具有比p型半导体层(第二半导体

层)15的杂质浓度高的杂质浓度的高掺杂p型半导体层(未示出)、以及形成在高掺杂p型半导体层上并且具有比n型半导体层(第一n型半导体层或第一半导体层)13的杂质浓度高的杂质浓度的高掺杂n型半导体层(未示出)。

[0116] 在该实施方式中,n型半导体层53包含Ge作为n型杂质。因此,n型半导体层53具有比n型半导体层52、隧道结层51以及p型半导体层15的突起15B的平均折射率低的折射率。

[0117] 因此,在该实施方式中,隧道结层51用作低电阻区域LR。在该实施方式中,也就是说,发光结构层EM3包括在p型半导体层15(第二半导体层)上形成为环形并且用作低电阻区域LR的隧道结层51。n型半导体层53限定中心区域R1和外部区域R3。

[0118] 如该实施方式中那样,通过隧道结来执行电流限制,或者将该区域设置为环形以确保在发光结构层EM3中形成低电阻区域LR。通过降低低电阻区域LR以外的区域的折射率,允许限定中心区域R1、环形区域R2以及外部区域R3。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器50。

[0119] 上述实施方式仅是一个示例。例如,可以组合上述各种实施方式。例如,表面发射激光器10可以包括与表面发射激光器30类似的绝缘层31。例如,表面发射激光器40可以在失活区域41C上包括绝缘层16。

[0120] 如上所述,例如,在表面发射激光器10中,发光结构层EM包括在第一反射镜12和第二反射镜19之间以环形设置的低电阻区域(电流注入区域CJ)。这允许提供被配置为以稳定的横向模式发射光的表面发射激光器10(垂直腔表面发射装置)。

[0121] 附图标记说明

[0122] 10、10A、10B、10C、20、30、40、50表面发射激光器(垂直腔表面发射装置)

[0123] EM、EMA、EMB、EMC、EM1、EM2、EM3发光结构层

[0124] 14发光层

[0125] LR低电阻区域

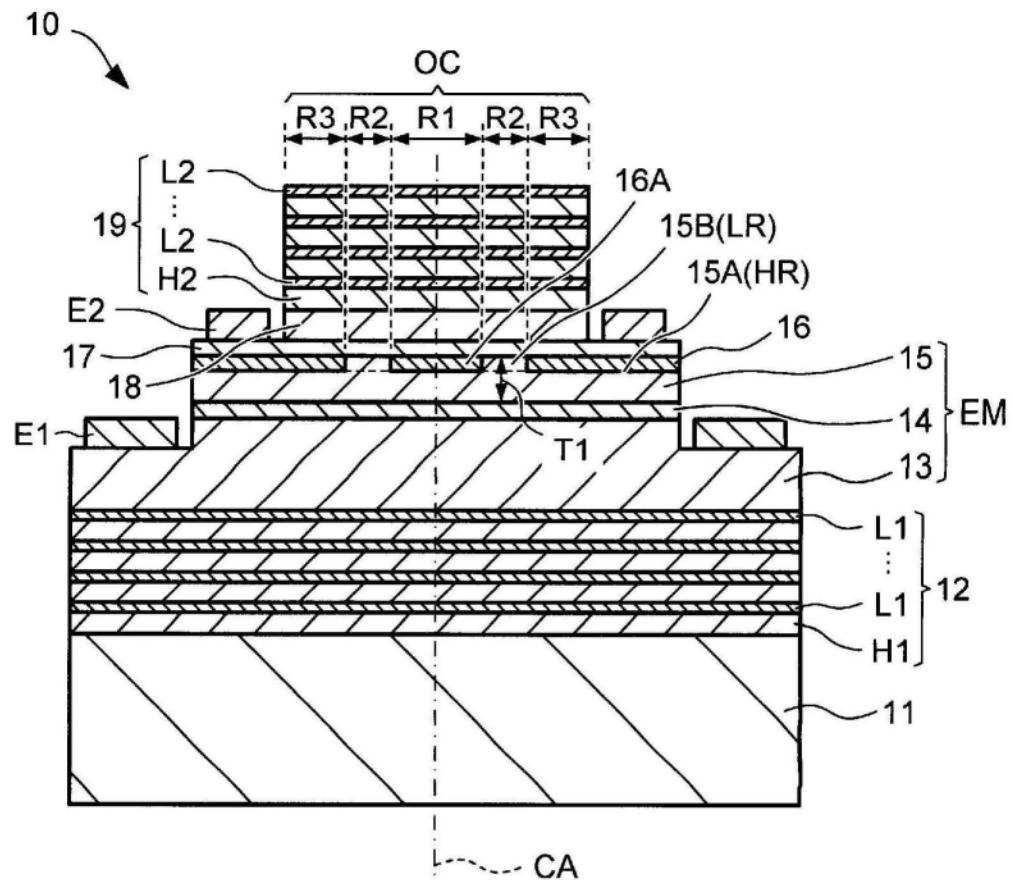


图1

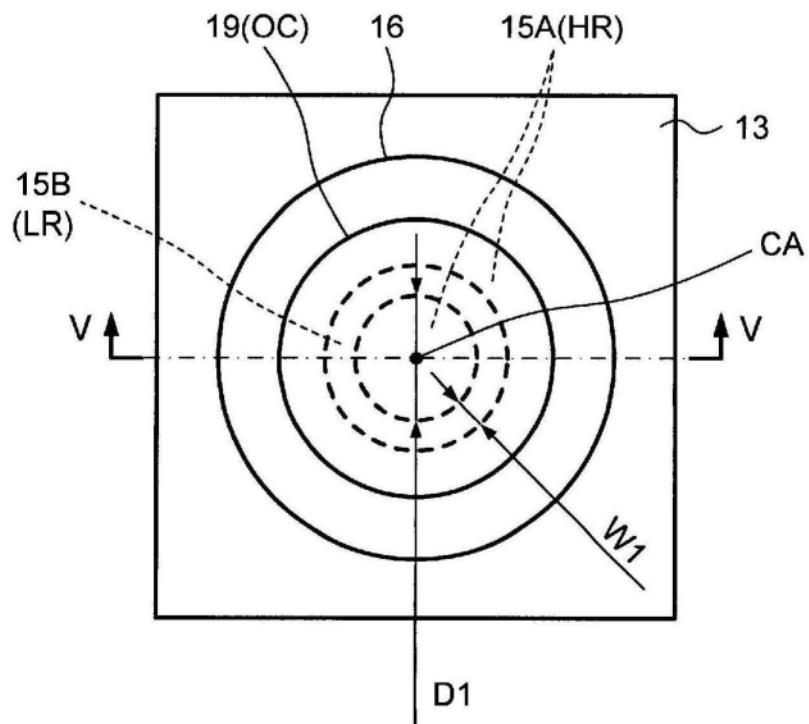


图2

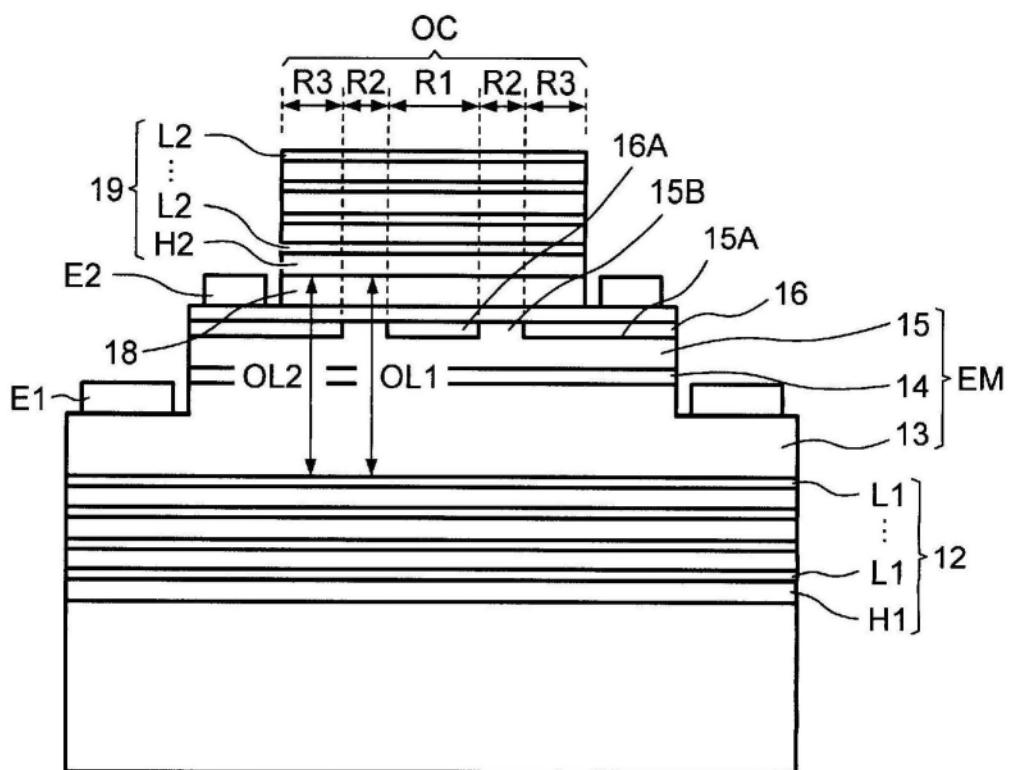


图3

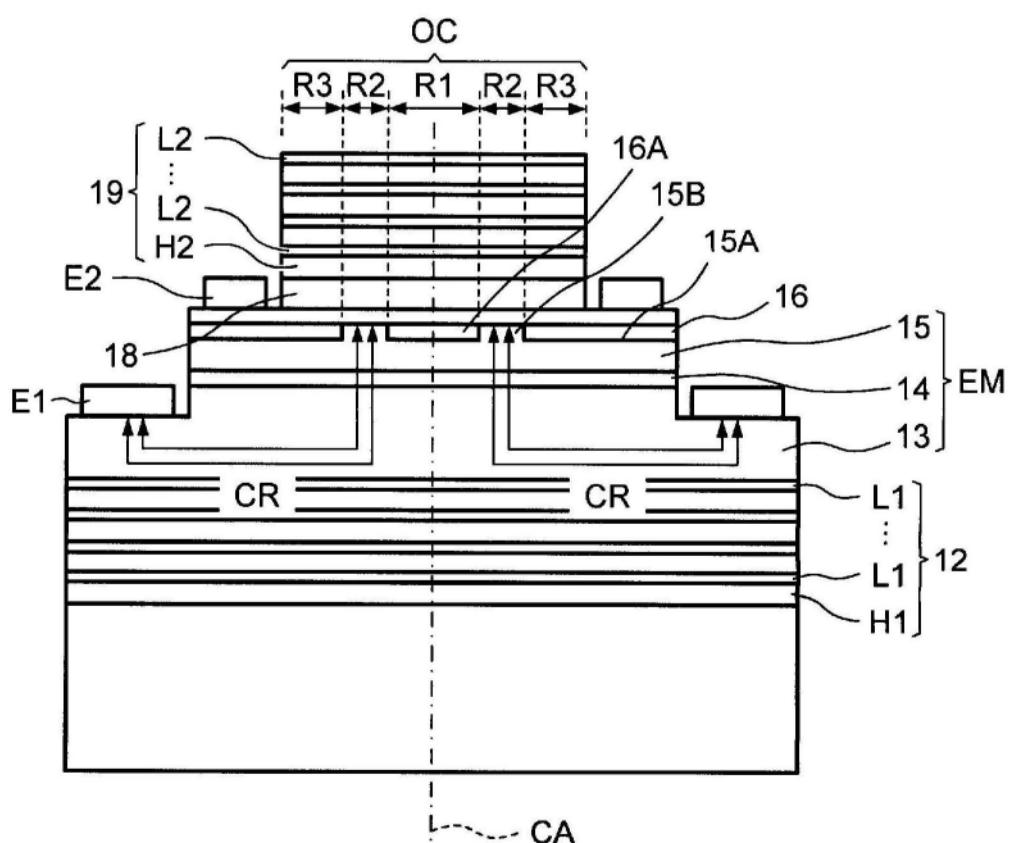


图4

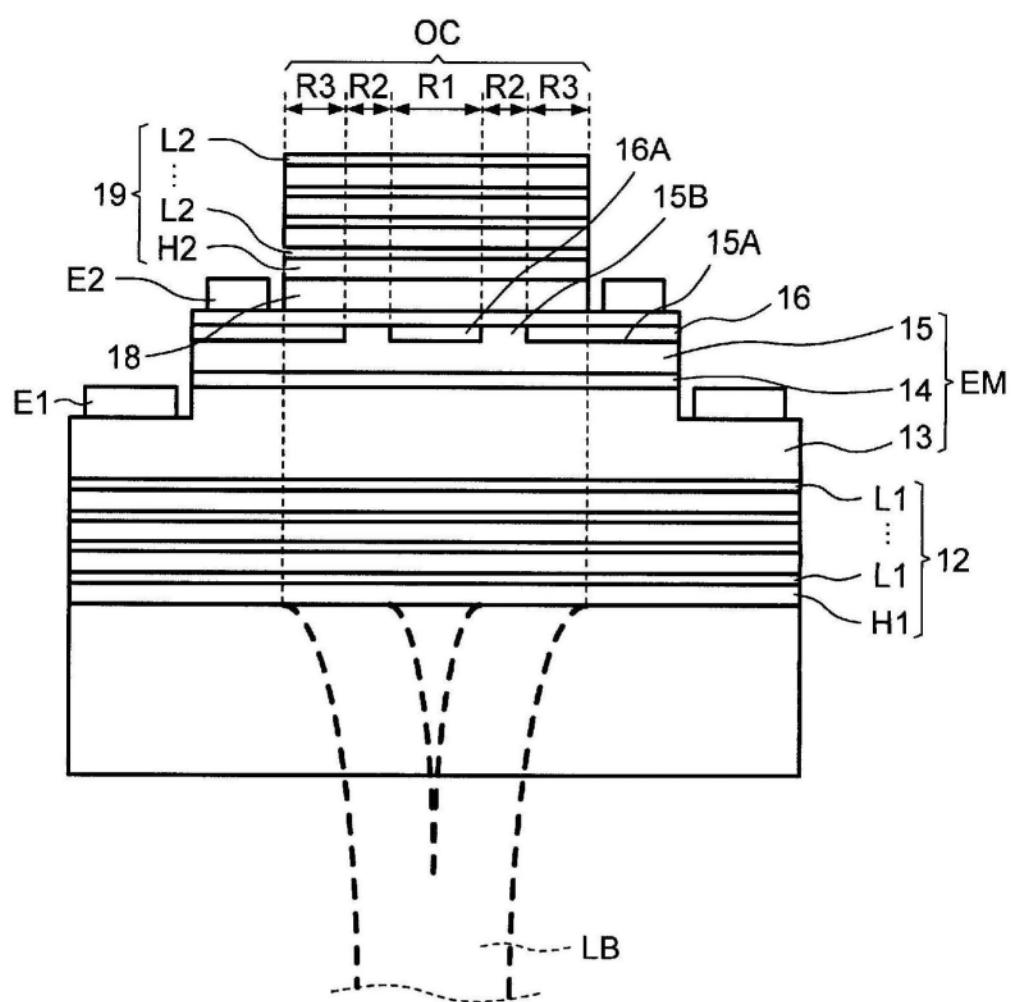


图5

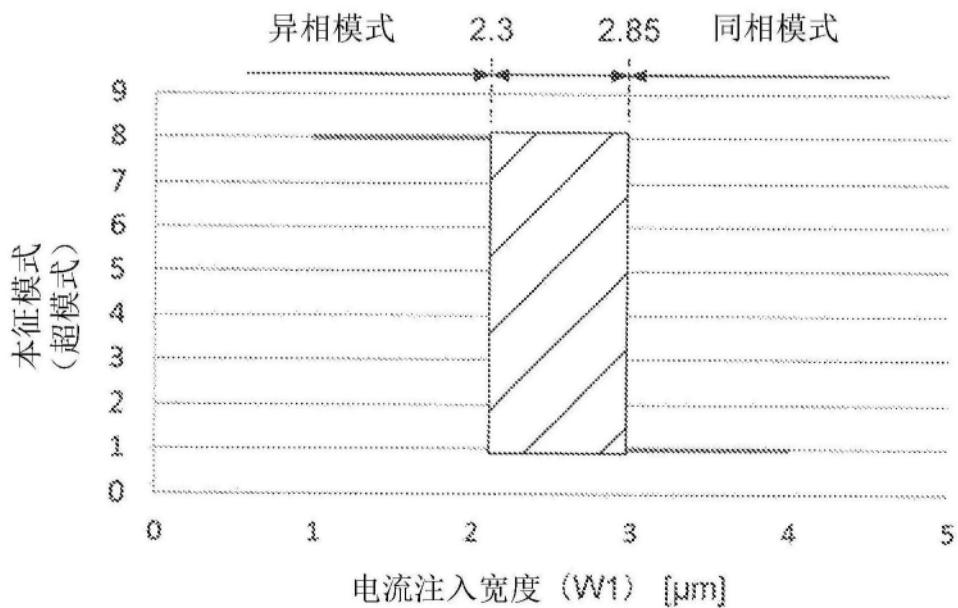


图6A

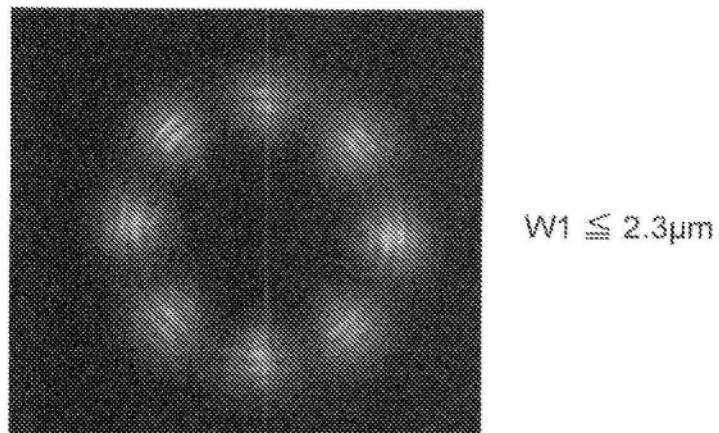


图6B

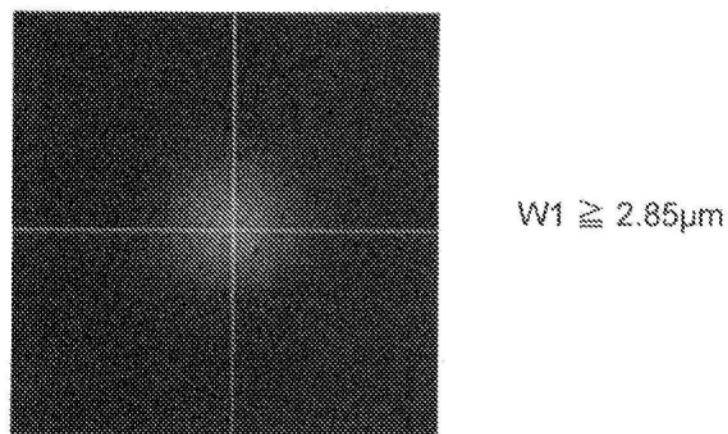


图6C

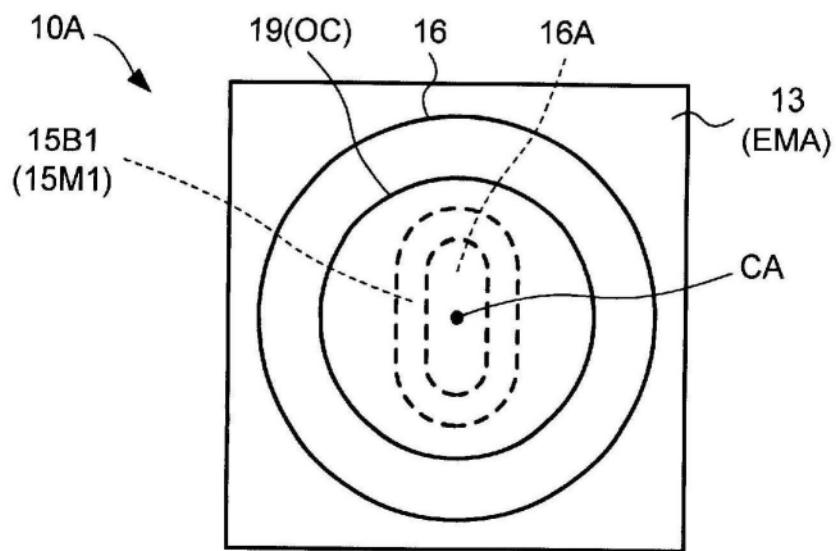


图7A

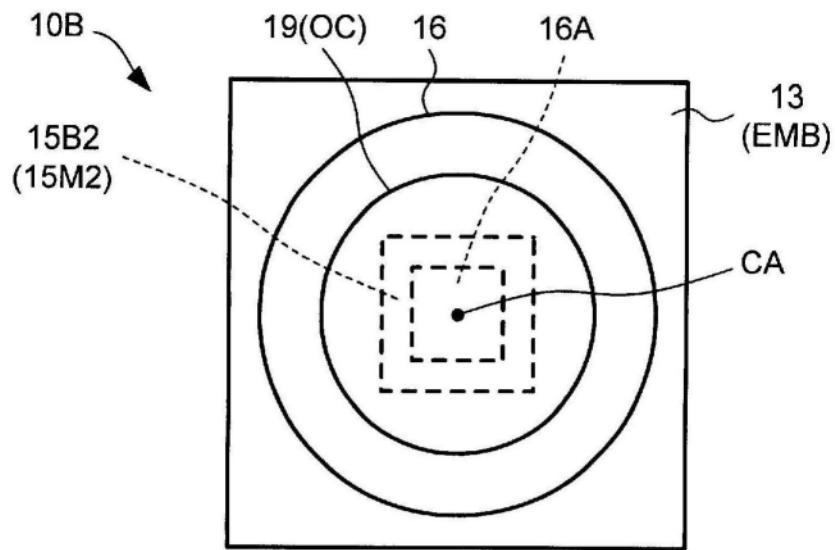


图7B

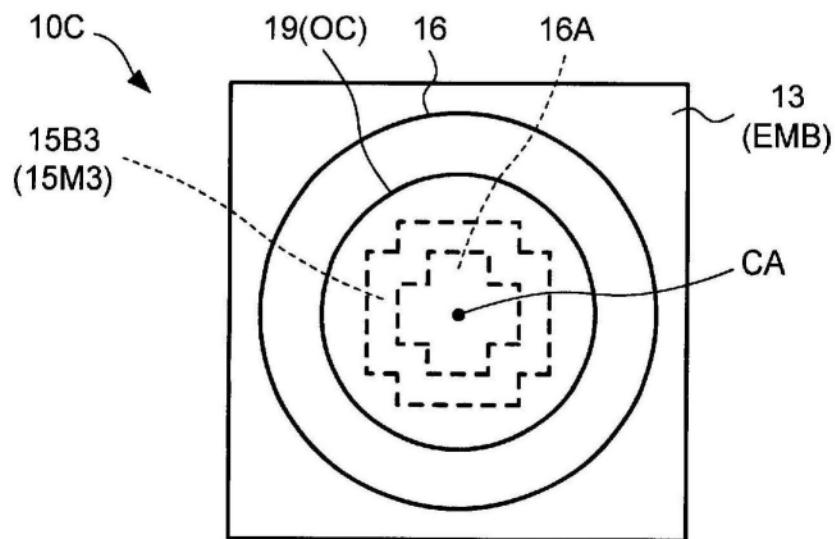


图7C

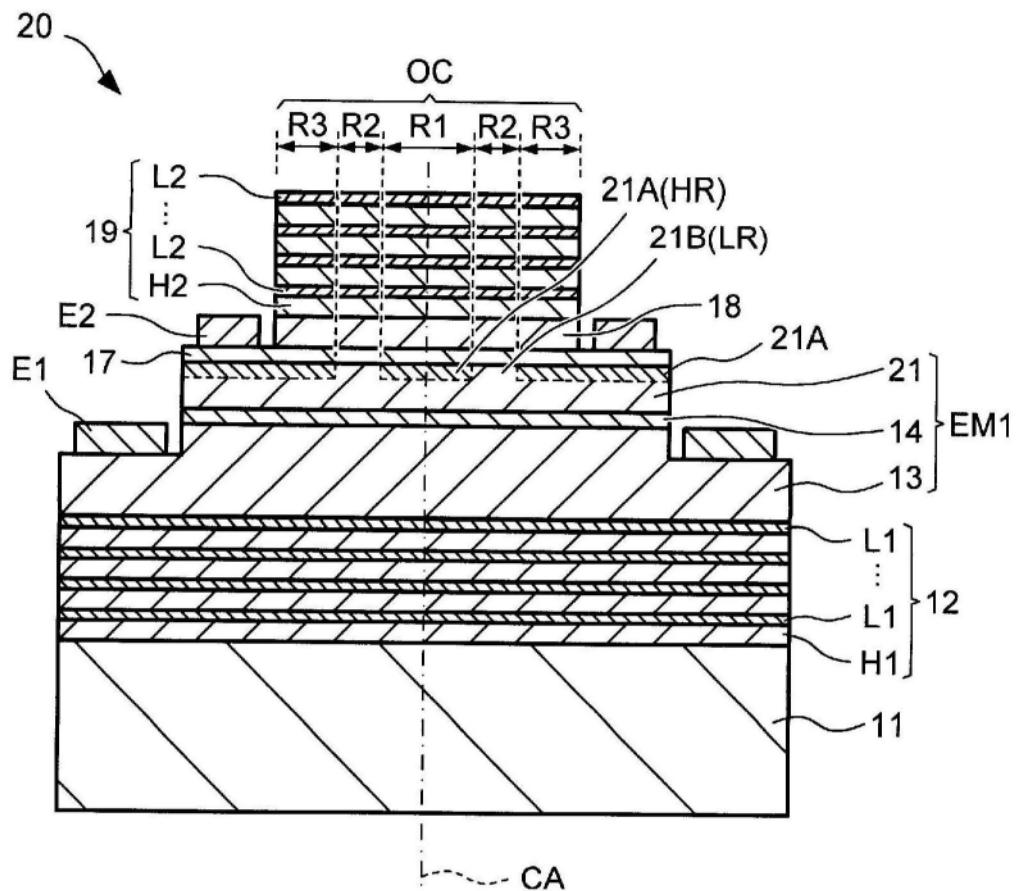


图8

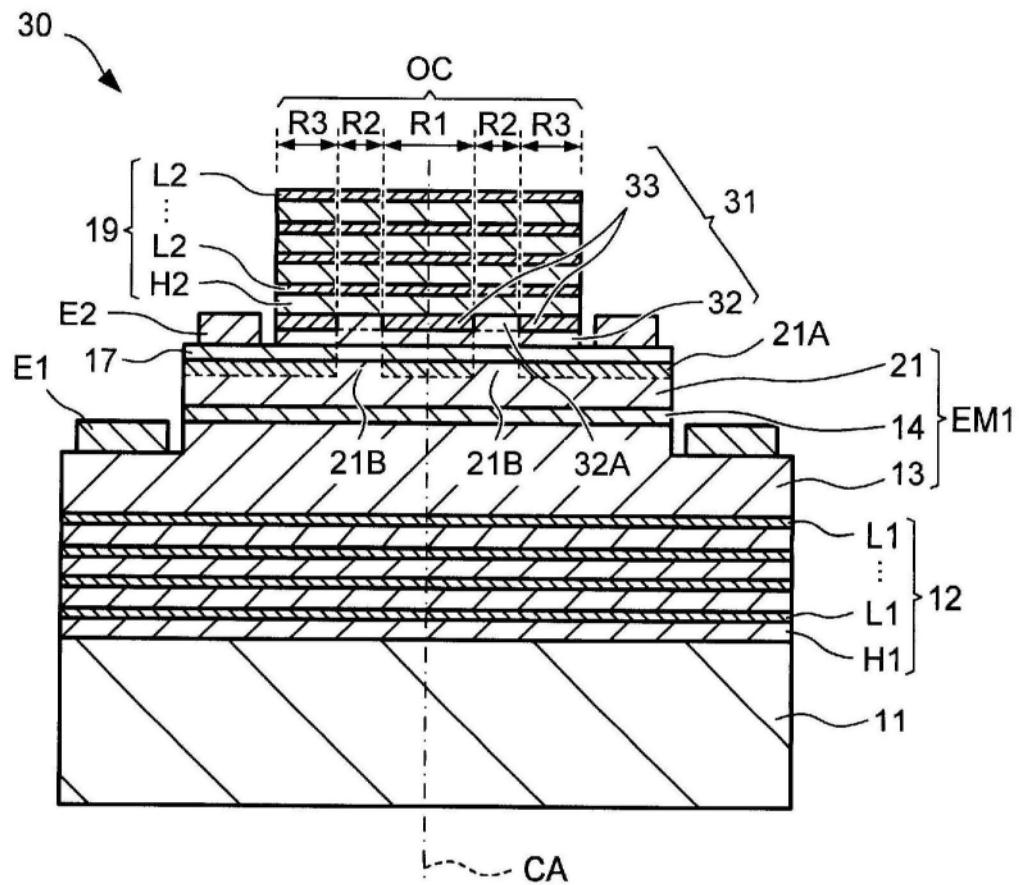


图9

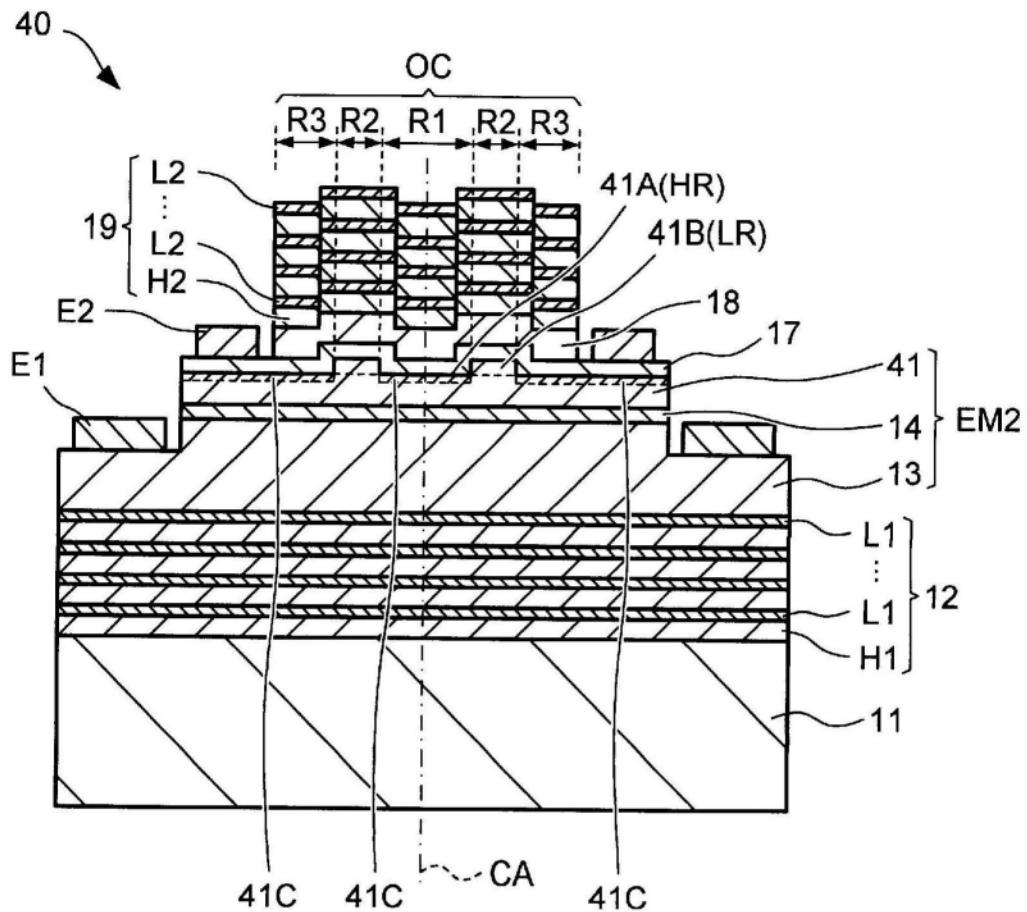


图10

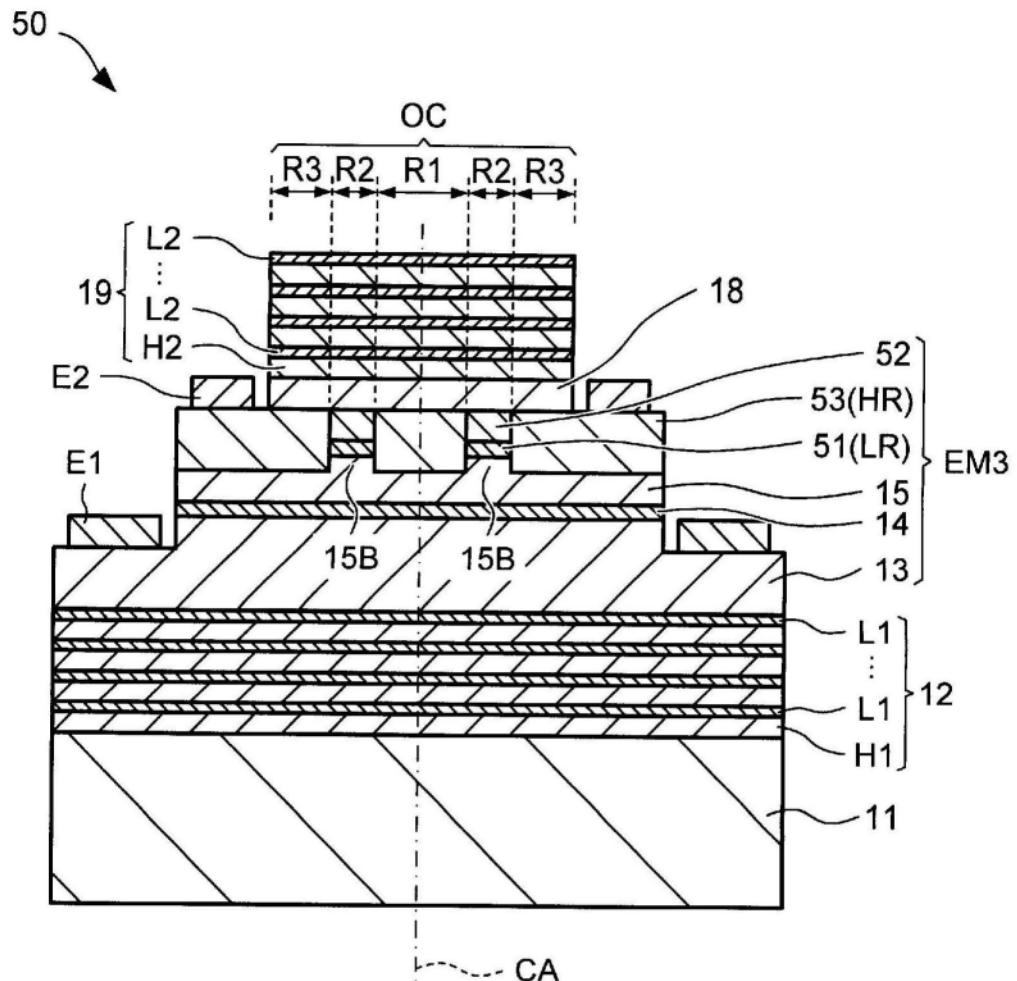


图11