



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112913093 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 13

(21) 申请号 201980068567.3

(22) 申请日 2019.10.07

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112913093 A

(43) 申请公布日 2021.06.04

(30) 优先权数据
2018-196394 2018.10.18 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.04.16

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/039456 2019.10.07

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/080161 JA 2020.04.23

(73) 专利权人 斯坦雷电气株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 仓本大 小林静一郎

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

专利代理师 赵彤 刘久亮

(51) Int.Cl.
H01S 5/183 (2006.01)

(56) 对比文件
WO 2018083877 A1, 2018.05.11
JP 2011205006 A, 2011.10.13

审查员 邓瑞婕

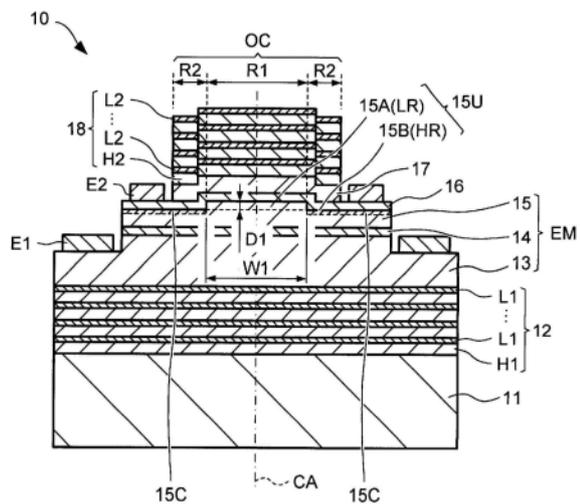
权利要求书2页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

垂直谐振器式发光元件

(57) 摘要

本发明包括：基板；第一多层膜反射镜，其形成在基板上；第一半导体层，其形成在第一多层膜反射镜上并且具有第一导电类型；发光层，其形成在第一半导体上；第二半导体层，其形成在发光层上，具有与第一半导体层的第一导电类型相反的第二导电类型，并且在第二半导体层的上表面上具有低电阻区域和高电阻区域，所述高电阻区域从低电阻区域朝向在低电阻区域外部的发光层凹陷，并且由于具有第二导电类型的杂质失活而具有高于低电阻区域的电阻；透光电极层，其形成在第二半导体层的上表面上，与低电阻区域和高电阻区域接触；以及第二多层膜反射镜，其形成在透光电极层上，并在第二多层膜反射镜和第一多层膜反射镜之间构成谐振器。



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;
第一半导体层,所述第一半导体层形成在所述第一多层膜反射镜上并且具有第一导电类型;
发光层,所述发光层形成在所述第一半导体层上;
第二半导体层,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所述第一导电类型相反的第二导电类型,所述第二半导体层在上表面上包括低电阻区域和与所述低电阻区域直接相邻的第一高电阻区域,所述第一高电阻区域从所述低电阻区域朝向所述低电阻区域外部的所述发光层凹陷,并且所述第二导电类型的杂质在所述第一高电阻区域中失活,使得所述第一高电阻区域的电阻高于所述低电阻区域的电阻;
透光电极层,所述透光电极层与所述低电阻区域和所述第一高电阻区域的与所述低电阻区域邻近的至少邻近部分直接接触,并且所述透光电极层在所述低电阻区域中以及在从所述低电阻区域凹陷的所述第一高电阻区域的至少所述邻近部分中直接形成在所述第二半导体层上的所述上表面上;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透光电极层上,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,位于所述低电阻区域中的所述第二半导体层的层厚度大于位于与所述低电阻区域直接相邻的所述第一高电阻区域中的所述第二半导体层的层厚度,
其中,所述谐振器包括中心区域和外部区域,所述中心区域与所述低电阻区域对应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,并且所述外部区域被设置为与所述中心区域外部的所述第一高电阻区域对应,并且
其中,所述外部区域的等效折射率低于所述中心区域的等效折射率。
2. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置,其中,
所述第二半导体层包括第二高电阻区域,并且所述第二高电阻区域在所述上表面上从所述低电阻区域朝向在所述低电阻区域内部的所述发光层凹陷,并且所述第二导电类型的杂质在所述第二高电阻区域中失活,使得所述第二高电阻区域的电阻高于所述低电阻区域的电阻。
3. 根据权利要求2所述的垂直腔表面发射装置,其中,
所述谐振器还包括内部区域,所述内部区域被设置为与所述中心区域内部的所述第二高电阻区域对应,并且
所述内部区域和所述外部区域的等效折射率低于所述中心区域的等效折射率。
4. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置,其中,
所述第一高电阻区域从所述低电阻区域朝向所述发光层凹陷1.5nm至12nm范围内的深度。
5. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置,其中,
所述基板(11)具有GaN的成分。
6. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置,其中,
所述第一多层膜反射镜是具有作为高折射率半导体层的GaN的成分和具有作为低折射

率半导体层的AlInN的成分的分布式布拉格反射镜。

7. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

所述第一半导体层、所述发光层和所述第二半导体层是由氮化物基半导体制成的多个半导体层。

8. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置, 所述垂直腔表面发射装置具有第一绝缘层, 所述第一绝缘层在所述透光电极层和所述第二多层膜反射镜之间。

9. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

所述第一多层膜反射镜的反射率低于所述第二多层膜反射镜的反射率, 并且

在所述谐振器中谐振的光通过所述第一多层膜反射镜和所述基板透射, 并且发射到外部。

10. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置, 所述垂直腔表面发射装置具有第二绝缘层, 所述第二绝缘层在所述第二半导体层的所述第一高电阻区域的外周部和所述透光电极层之间。

11. 根据权利要求2所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

通过干法蚀刻工艺使所述第一高电阻区域和所述第二高电阻区域中的所述第二导电类型的杂质失活。

12. 根据权利要求2所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

通过离子注入工艺使所述第一高电阻区域和所述第二高电阻区域中的所述第二导电类型的杂质失活。

13. 根据权利要求2所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

通过灰化工艺使所述第一高电阻区域和所述第二高电阻区域中的所述第二导电类型的杂质失活。

14. 根据权利要求1所述的垂直腔表面发射装置, 其中,

由以下公式表示的折射率差 Δn 在 1×10^{-3} 至 4×10^{-3} 的范围内:

$$\Delta n = (n1 - n2) / n1$$

其中, $n1$ 表示所述中心区域的等效折射率, 并且 $n2$ 表示所述外部区域的等效折射率。

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(在下文中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] 专利文献1:日本专利第5707742号

发明内容

[0004] 本发明要解决的问题

[0005] 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,例如,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,以单横向模式产生激光束允许获得具有高输出功率的单峰激光束的远场图案。

[0006] 表面发射激光器等优选是高质量的。例如,优选早期劣化很少,并且在各种环境下(例如,在高温下操作期间)使用表面发射激光器的情况下表面发射激光器优选可以执行稳定的输出。通常,发光装置优选具有简单的配置并且可以容易地以低成本制造。

[0007] 考虑到上述问题而做出本发明,并且本发明的目的是提供一种垂直腔表面发射装置,该垂直腔表面发射装置配置成以稳定的横向模式发射光并且具有简单的配置和高质量。

[0008] 问题的解决方案

[0009] 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,其形成在基板上;第一半导体层,其形成在第一多层膜反射镜上并且具有第一导电类型;发光层,其形成在第一半导体层上;以及第二导电层,其形成在发光层上并且具有与第一半导体层的第一导电类型相反的第二导电类型。第二半导体层在上表面上包括低电阻区域和高电阻区域。高电阻区域从低电阻区域朝向低电阻区域外部的发光层凹陷,并且第二导电类型的杂质在高电阻区域中失活,使得高电阻区域具有比低电阻区域的电阻更高的电阻。垂直腔表面发射装置包括与低电阻区域和高电阻区域接触的透光电极层,该透光电极层形成在第二半导体层的上表面上,并且第二多层膜反射镜形成在透光电极层上。在第二多层膜反射镜和第一多层膜反射镜之间构成谐振器。

附图说明

[0010] 图1是根据实施方式1的表面发射激光器的截面图。

[0011] 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。

[0012] 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。

- [0013] 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。
- [0014] 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。
- [0015] 图6是根据比较例的表面发射激光器的截面图。
- [0016] 图7是例示根据实施方式1和比较例的表面发射激光器中的p型半导体层的蚀刻深度与形成的折射率差之间的关系的图。
- [0017] 图8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实际测量示例的图。
- [0018] 图9是例示根据实施方式1和比较例的表面发射激光器中的驱动周期和光输出之间的关系的图。
- [0019] 图10是根据实施方式1的变型例的表面发射激光器的截面图。
- [0020] 图11是根据实施方式2的表面发射激光器的截面图。
- [0021] 图12是根据实施方式2的表面发射激光器的示意性俯视图。

具体实施方式

[0022] 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,而是可应用于诸如垂直腔表面发射二极管的各种垂直腔表面发射装置。

[0023] 实施方式1

[0024] 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。

[0025] 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上并且具有以下结构: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。

[0026] 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。

[0027] 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层H1具有GaN的成分,而低折射率半导体层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的成分的缓冲层(未示出)。

[0028] 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、形成在发光层14上的p型半导体层(第二半导体层)15。

[0029] 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的成分的势垒层。p型半导体层15具有GaN基成分并且包含Mg作为p型杂质。

[0030] 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。

[0031] 例如,p型半导体层15可以包括例如AlGa_N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Ga_N层作为覆盖层。

[0032] 在该实施方式中,p型半导体层15在上表面15U中包括第一区域15A和第二区域15B。第二区域15B设置在第一区域15A的外部并且从第一区域15A朝向发光层14凹陷。第二区域15B包括其中p型杂质失活的失活区域15C。如图2所示,在该实施方式中,第一区域15A从第二区域15B呈圆柱形形状突出。

[0033] 例如,可以通过在留有圆形区域的情况下在p型半导体层15的上表面15U上执行干法蚀刻来形成第一区域15A。通过干法蚀刻使包含杂质的半导体表面(例如,p型半导体层15)粗糙化。这使蚀刻部中的p型杂质失活,从而形成失活区域15C。

[0034] 因此,第二区域15B用作具有比第一区域15A的电阻高的电阻的高电阻区域HR。同时,未执行蚀刻的区域(即,作为未设置失活区域15C的区域的区域的第一区域15A),用作低电阻区域LR。在第二区域15B中,通过干法蚀刻部分地去除了p型半导体层15。因此,第二区域15B从第一区域15A朝向发光层14侧凹陷。

[0035] 也就是说,p型半导体层15在上表面15U中包括低电阻区域LR和高电阻区域HR。高电阻区域HR从低电阻区域LR朝向低电阻区域LR外部的发光层14凹陷。p型杂质在高电阻区域HR中失活,使得高电阻区域HR具有比低电阻区域LR的电阻更高的电阻。

[0036] p型半导体层15用作电流限制层,其限制电流从其被注入到发光结构层EM的电流路径。p型半导体层15的第一区域15A用作电流注入区域,从电流注入区域将电流注入发光层14。另一方面,p型半导体层15的第二区域15B用作非电流注入区域,可以抑制从该非电流注入区域向发光层14的电流的注入。

[0037] 表面发射激光器10包括透光电极层16,该透光电极层16与p型半导体层15的第一区域15A和第二区域15B接触并形成在p型半导体层15的上表面15U上。透光电极层16是对从发光层14发射的光具有透光性的导电膜。例如,透光电极层16由诸如ITO或IZO之类的金属氧化物膜制成。

[0038] 表面发射激光器10包括形成在透光电极层16上的绝缘层17。例如,绝缘层17由诸如Ta₂O₅、Nb₂O₅、ZrO₂、TiO₂和HfO₂之类的金属氧化物制成。绝缘层17对从发光层14发射的光具有透光性。

[0039] 表面发射激光器10包括形成在绝缘层17上的第二多层膜反射镜(在下文中简称为第二反射镜)18。第二反射镜18经由发光结构层EM设置在面向第一反射膜12的位置。在第二反射镜18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。

[0040] 在该实施方式中,如图2所示,第二反射镜18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。

[0041] 在该实施方式中,第二反射镜18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和折射率低于高折射率介电膜H2的折射率的第二介电膜(在下文中称为低折射率介电膜)L2交替地堆叠。

[0042] 也就是说,在该实施方式中,第二反射镜18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。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 Al_2O_3 层形成。

[0043] 发光结构层EM中的p型半导体层15的低电阻区域LR和高电阻区域HR设置在第一反射镜12与第二反射镜18之间的区域中。也就是说,在该实施方式中,谐振器0C包括:中心区域R1,其对应于p型半导体层15的低电阻区域LR并且在第一反射镜12和第二反射镜18之间延伸;以及外部区域R2,其与中心区域R1外部的高电阻区域HR相对应地设置。

[0044] 在该实施方式中,第一区域15A(低电阻区域LR)中的p型半导体层15的层厚度比第二区域15B(高电阻区域HR)中的p型半导体层15的层厚度更厚(更大)。因此,谐振器0C中的外部区域R2的等效折射率低于中心区域R1的等效折射率。也就是说,中心区域R1用作高折射率区域,而外部区域R2用作折射率低于中心区域R1的折射率的低折射率区域。在该实施方式中,中心区域R1具有圆柱形形状,而外部区域R2具有圆筒形形状。

[0045] 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16上。

[0046] 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18之间重复反射,从而进入谐振状态(执行激光振荡)。

[0047] 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18的反射率。因此,在第一反射镜12和第二反射镜18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。

[0048] p型半导体层15的第一区域15A在发光层14中限定发光中心,并且限定谐振器0C的中心轴CA。谐振器0C的中心轴CA穿过第一区域15A的中心并且在垂直于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的第一区域15A的中心被设置在与第二区域15B的中心对应的位置。

[0049] 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Ga_{0.4}N层和Al_{0.1}In_{0.9}N层形成。n型半导体层13具有650nm的层厚度。发光层14由具有多量子阱结构的有源层形成,其中4nm的InGa_{0.4}N层和5nm的Ga_{0.4}N层被堆叠三次。第二反射镜18由10对 Ta_2O_5 层和 Al_2O_3 层形成。

[0050] p型半导体层15在第一区域15A中具有50nm的层厚度。p型半导体层15在第二区域15B中具有40nm的层厚度。第一区域15A具有6 μ m的宽度(外径)。

[0051] 图3是示意性地例示表面发射激光器10中的谐振器0C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,如上所述,第一区域15A(低电阻区域LR)中的p型半导体层15的层厚度大于第二区域15B(高电阻区域HR)中的p型半导体层15的层厚度。第一反射镜12和第二反射镜18之间的其它层的层厚均恒定。

[0052] 因此,谐振器0C中的中心区域R1的等效折射率 n_1 高于外部区域R2的等效折射率 n_2 。另外,中心区域R1中的第一反射镜12和第二反射镜18之间的光学距离 OL_1 大于外部区域R2中的光学距离 OL_2 。也就是说,中心区域R1中的等效谐振器长度比外部区域R2中的等效谐振器长度更长。

[0053] 图4是示意性例示表面发射激光器10的谐振器0C(在发光结构层EM中)的电特性的

图。图4是示意性例示流过发光结构层EM的内部的电流CR的路径的图。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,与第一区域15A对应的中心区域R1用作低电阻区域LR,而与第二区域15B对应的外部区域R2用作高电阻区域HR。

[0054] 因此,如图4所示,仅在中心区域R1中将电流CR注入发光层14中,而在外部区域R2中几乎不将电流注入发光层14中。也就是说,在中心区域R1中产生光(产生增益),而在外部区域R2中不产生光。

[0055] 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处时被引到外部。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。

[0056] 具体地,首先,在该实施方式中,外部区域R2中的谐振器OC(激光介质)的等效折射率 n_2 小于中心区域R1中的谐振器OC的等效折射率 n_1 。

[0057] 这抑制了由于谐振器OC中的驻波从中心区域R1到外部的发散(发射)引起的光损耗。也就是说,大量的光保留在中心区域R1中,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的中心轴CA的附近,从而确保产生和发射具有高输出功率的激光束LB。

[0058] 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。

[0059] 接下来,在该实施方式中,低电阻区域LR(即,电流注入到发光层14的区域)仅限于中心区域R1。也就是说,没有将电流注入到外部区域R2中,而是将电流注入区域设置为包围非电流注入区域。这允许稳定激光束LB的横向模式。例如,这允许发射单峰激光束LB。

[0060] 图6是根据比较例1的表面发射激光器100的截面图。除了表面发射激光器100包括第二区域15B上的绝缘层101之外,表面发射激光器100具有与表面发射激光器10类似的配置。在表面发射激光器100中,p型半导体层15在第二区域15B中接触绝缘层101。p型半导体层15在第一区域15A中与透光电极层16接触。绝缘层101由 SiO_2 制成。

[0061] 图7是例示表面发射激光器10和表面发射激光器100中的p型半导体层15的上表面15U处的蚀刻深度(即,在垂直于p型半导体层15的方向上第一区域15A和第二区域15B之间的距离(分别对应于表面发射激光器10中的深度D1和表面发射激光器100中的深度D2,参见图1和图6))与折射率差 Δn 之间的关系的图,其中,折射率差 Δn 是通过将两者的中心区域R1和外部区域R2之间的等效折射率的差除以中心区域R1的等效折射率而得到的值(该值分别对应于表面发射激光器10中的 $(n_1 - n_2) / n_1$ 和表面发射激光器100中的 $(n_{11} - n_{21}) / n_{11}$,参见图1和图6)。

[0062] 图7例示了在表面发射激光器10和表面发射激光器100两者中的谐振器长度(分别对应于光学距离OL1和OL11,参见图1和图6)被设置为从发光层14发射的光(即,激光束LB)的波长的五倍或十倍的情况下的仿真结果。

[0063] 如图7所示。例如,当尝试获得 3×10^{-3} 的折射率差 Δn 时,在表面发射激光器100中,需要蚀刻p型半导体层15,使得第二区域15B变得比第一区域15A低深度D2(其大约为22nm)。另一方面,可以看出,在表面发射激光器10中,仅通过蚀刻大约5nm的深度D1就可以获得 $3 \times$

10^{-3} 的折射率差 Δn 。可以看出,还可以通过在表面发射激光器10的所有其它范围内减小蚀刻深度D1来形成足够的折射率差。

[0064] 也就是说,在表面发射激光器10中,通过仅去除微小的p型半导体层15,与例如部分地去除p型半导体层15、然后形成绝缘层101以在谐振器0C中形成折射率差作为表面发射激光器100的情况相比,可以在谐振器0C中形成足够的折射率差。

[0065] 首先,这消除了形成绝缘层101的过程的需求,因此简化了表面发射激光器10的制造过程。接下来,基本上减少了去除的p型半导体层15的量(例如,蚀刻量和蚀刻周期)。这缩短了表面发射激光器10的制造周期。

[0066] 注意,由于透光电极层16形成在例如第一区域15A和第二区域15B上,因此在中心区域R1和外部区域R2之间的边界处从透光电极层16到第二反射镜18的每层都出现阶梯差。但是,如上所述,阶梯差很小(例如,10nm以下)。因此,几乎可以忽略由于各层的阶梯差而可能发生的激光束LB的散射损耗。

[0067] 具体地,例如,当激光束LB的波长为445nm并且谐振器0C在中心区域R1中的等效折射率 n_1 为2.43时,第一区域15A和第二区域15B之间的阶梯高度(蚀刻深度)D1优选为例如9.2nm以下,进一步优选为4.7nm以下。这是因为高度范围内的阶梯差对激光束LB不敏感。该实施方式消除了对绝缘层101的需求,从而在实现蚀刻深度D1的范围的同时允许形成期望的折射率差。

[0068] 例如,考虑到激光束LB的波长,可以确定中心区域R1的谐振器长度、以及在谐振器0C中形成的中心区域R1和外部区域R2之间的折射率差的优选范围,并且可以调节第二区域15B的深度D1以满足范围。例如,考虑到获得波长为445nm的激光束LB的稳定的单峰远场图案,优选在中心区域R1和外部区域R2之间在 1×10^{-3} 至 4×10^{-3} 的范围内提供折射率差。在这种情况下,例如,第一区域15A的深度D1优选在1.5nm至12nm的范围内。也就是说,高电阻区域HR优选以在1.5nm至12nm范围内的深度从低电阻区域LR朝向发光层14凹陷。

[0069] 图8是例示当调节各个驱动条件时从表面发射激光器10发射的激光束LB的远场图案及其特性的图。图8示出了当第二区域15B的宽度W1(在该实施方式中为低电阻区域LR的宽度并且对应于内径,参见图1)被设置为 $6\mu\text{m}$ 、谐振器长度OL1被设置为激光束LB的峰值波长 λ (在该实施方式中为445nm)的10倍、并且中心区域R1和外部区域R2之间的折射率差 Δn 被设置为 1.5×10^{-3} 时的测量结果。

[0070] 如图8所示,即使当执行驱动以获得超过5mW的光输出时,也能够获得单峰远场图案,并且其半值角为 6° 以下。也就是说,可以看出,在各种驱动条件下的操作中,都可以发射稳定的单峰激光束LB。因此,可以看出表面发射激光器10可以以稳定的横向模式发射激光束LB。

[0071] 图9是例示表面发射激光器10和表面发射激光器100中的驱动周期与光输出之间的关系关系的图。图9是例示光输出在驱动开始时被设定为1的情况下,表面发射激光器10和表面发射激光器100的驱动周期与光输出之间的关系关系的图。

[0072] 如图9所示,可以看出,与表面发射激光器100相比,在表面发射激光器10中光输出的降低得到了抑制。也就是说,可以看出,与表面发射激光器100相比,表面发射激光器10具有稳定的输出特性和高质量。

[0073] 认为这是由于不包括设置在表面发射激光器100中的绝缘层101的表面发射激光

器10引起的。具体地,为了形成绝缘层101,对p型半导体层15(半导体晶片)照射等离子体,并对p型半导体层15施加应力。此外,当不形成绝缘层101时,消除了对p型半导体层15的损坏。因此,认为可以得到将p型半导体层15保持为高质量状态的表面发射激光器10,并且输出特性稳定。

[0074] 因此,在该实施方式中,失活区域15C设置在表面发射激光器10中的p型半导体层15的上表面15U上,因此提供了用作高电阻区域HR的第二区域15B。因此,可以发射具有高输出功率的高质量、稳定的横向模式的激光束LB。

[0075] 在该实施方式中,已经描述了在p型半导体层15中设置高电阻区域HR和低电阻区域LR的情况。然而,高电阻区HR和低电阻区LR也可以设置在n型半导体层13中。

[0076] 在该实施方式中,已经描述了通过干法蚀刻形成高电阻区域HR的情况。然而,用于形成高电阻区域HR的方法不限于干法蚀刻。例如,可以通过稍微去除p型半导体层15的表面来形成p型半导体层15中的第二区域15B,并且执行离子注入以形成失活区域15C。另选地,可以通过灰化工艺来形成失活区域15C。

[0077] 图10是根据该实施方式的变型例的表面发射激光器10A的截面图。除了表面发射激光器10A在p型半导体层15与透光电极层16之间的p型半导体层15的第一区域15A的外周部上具有绝缘层19以外,表面发射激光器10A具有与表面发射激光器10类似的配置。

[0078] 在本变型例中,例如,在具有紧邻在第二电极E2下方的区域的p型半导体层15的第二区域15B的外周部上形成绝缘层19,并且透光电极层16被形成以嵌入绝缘层19。

[0079] 在本变型例中,部分地形成绝缘层19允许第二区域15B和透光电极层16之间可靠地绝缘,同时最小程度地抑制对p型半导体层15的损坏。这允许将第二区域15B可靠地设置为高电阻。因此,可以抑制例如由于第二区域15B中的电流泄漏引起的增益降低。因此,获得了以高输出功率发射的稳定的、高质量横向模式的激光束LB的表面发射激光器10A。

[0080] 因此,在该实施方式中,表面发射激光器10包括基板11、第一反射镜12、n型半导体层(具有第一导电类型的第一半导体层)13、发光层14、p型半导体层(第二半导体层)15、透光电极层16和第二反射镜18。第一反射镜12形成在基板11上。n型半导体层13形成在第一反射镜12上。发光层14形成在n型半导体层13上。p型半导体层15形成在发光层14上并且具有与n型半导体层13的第一导电类型相反的p型导电类型(第二导电类型)。p型半导体层15在上表面15U上包括低电阻区域LR和高电阻区域HR。高电阻区域HR从低电阻区域LR向低电阻区域LR外部的发光层14凹陷,并且在高电阻区域HR中使p型杂质失活,使得高电阻区域HR的电阻高于低电阻区域LR的电阻。与低电阻区域LR和高电阻区域HR接触的透光电极层16形成在p型半导体层15的上表面15U上。第二反射镜18形成在透光电极层16上。谐振器0C在第二反射镜18和第一反射镜12之间构成。这允许以稳定的横向模式发射光,因此允许提供具有简单的配置的高质量表面发射激光器10(垂直腔表面发射装置)。

[0081] 实施方式2

[0082] 图11是根据实施方式2的表面发射激光器20的截面图。图12是表面发射激光器20的示意性俯视图。除了发光结构层EM1的配置之外,表面发射激光器20具有与表面发射激光器10的配置相似的配置。

[0083] 在该实施方式中,发光结构层EM1包括p型半导体层21,该p型半导体层21在上表面21U上的低电阻区域LR内部包括高电阻区域HR。具体地,在p型半导体层21中,低电阻区域LR

以环形设置,并且高电阻区域HR被设置在低电阻区域LR的内部和外部两者中。

[0084] 在该实施方式中,p型半导体层21包括:第一区域21A,其在上表面21U上以环形设置并用作低电阻区域LR;第二区域21B1,其从第一区域21A朝向在第一区域21A的内部的发光层14凹陷并且用作高电阻区域HR;以及第三区域21B2,其从第一区域21A朝向第一区域21A的外部的发光层14凹陷并且用作高电阻区域HR。

[0085] 例如,可以通过在留有环形区域的情况下对p型半导体层21的表面执行干法蚀刻来形成p型半导体层21。例如,作为第一区域21A的环形区域具有10.3 μm 的外径和3.5 μm 的内径。

[0086] 在该实施方式中,谐振器0C1包括对应于第一区域21A的环形区域R11、对应于设置在环形区域R11内部的第二区域21B1的内部区域R21、以及对应于设置在环形区域R11外部的第三区域21B2的外部区域R22。内部区域R21和外部区域R22的等效折射率低于环形区域R11的等效折射率。如图12所示,内部区域R21形成为圆柱形形状,而环状区域R11和外部区域R22形成为圆筒形形状。

[0087] 在该实施方式中,电流仅流过环形区域R11。通过如此设置内部区域R21而对谐振器0C1执行电流限制以确保稳定激光束LB的本征模式(也称为超模式)。具体地,例如,环形区域R11的宽度(与电流注入区域的宽度对应的第一区域21A的宽度)的调节允许以各种本征模式稳定地产生激光束LB。

[0088] 因此,在该实施方式中,p型半导体层21包括其中在低电阻区域LR内部形成有失活区域21C的高电阻区域HR。这允许以稳定的横向模式发射光,因此允许提供具有简单配置的高质量表面发射激光器20(垂直腔表面发射装置)。

[0089] 附图标记说明

[0090] 10、10A、20 表面发射激光器(垂直腔表面发射装置)

[0091] 15、21 p型半导体层

[0092] 15C、21C 失活区域

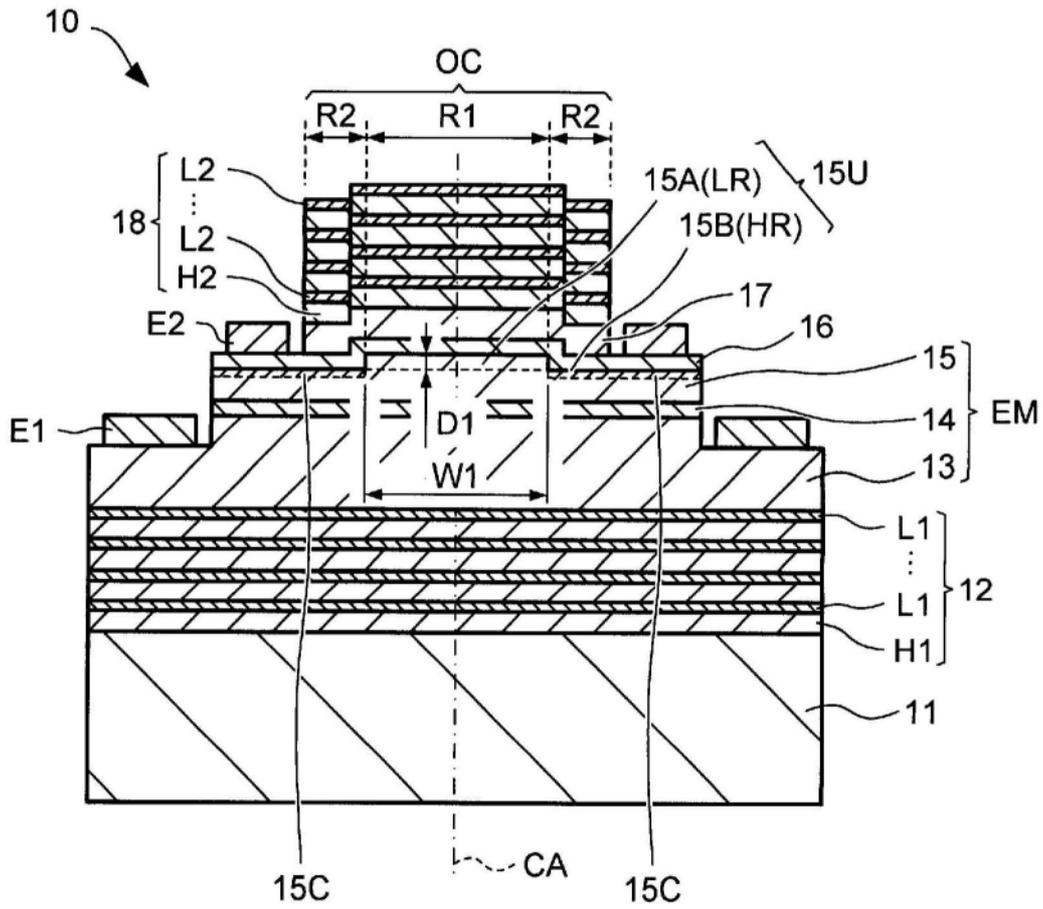


图1

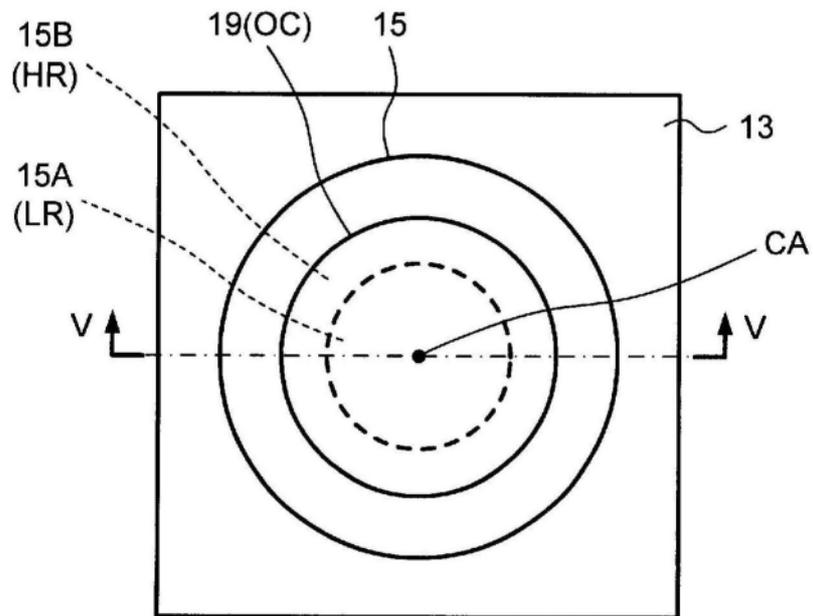


图2

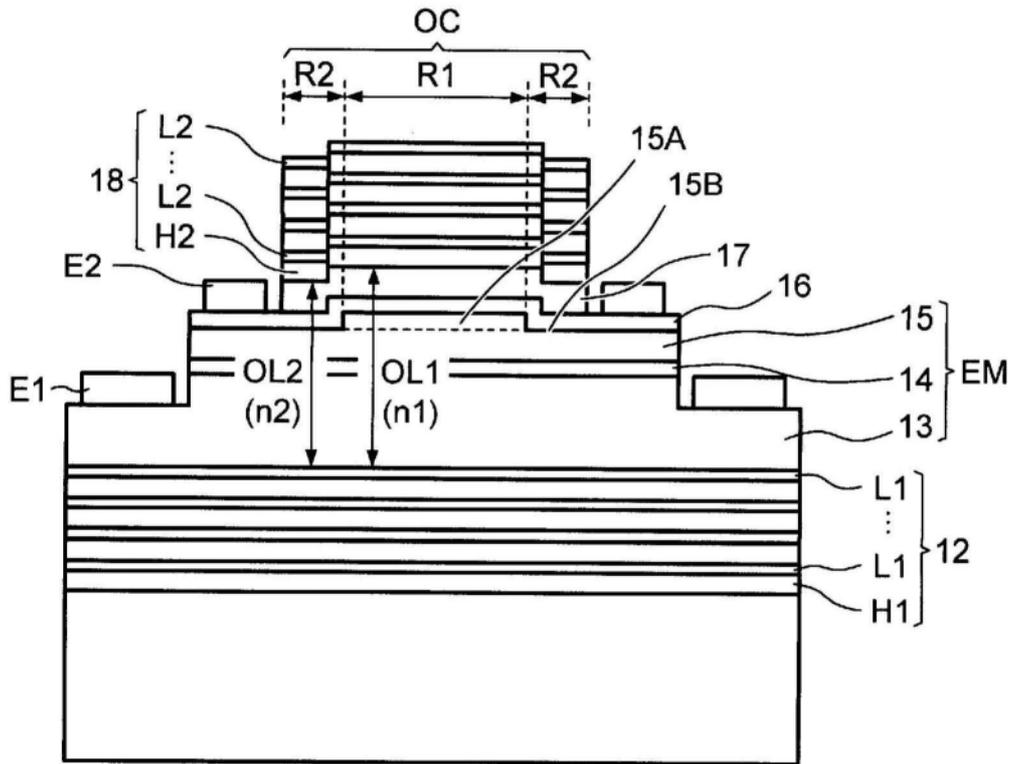


图3

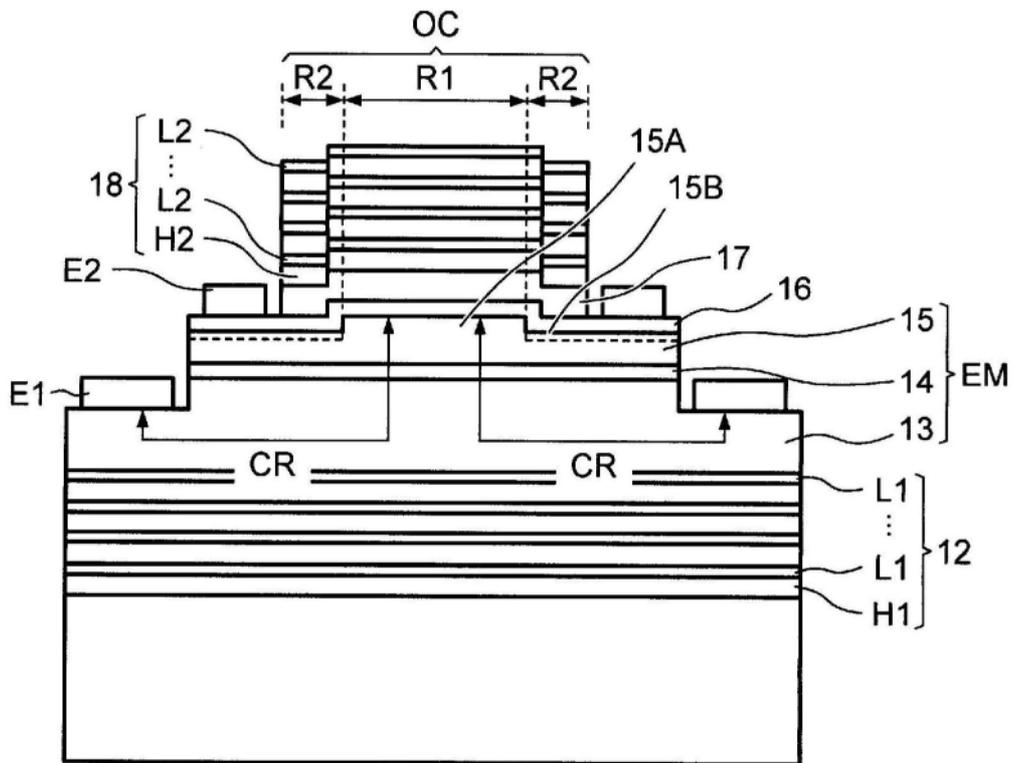


图4

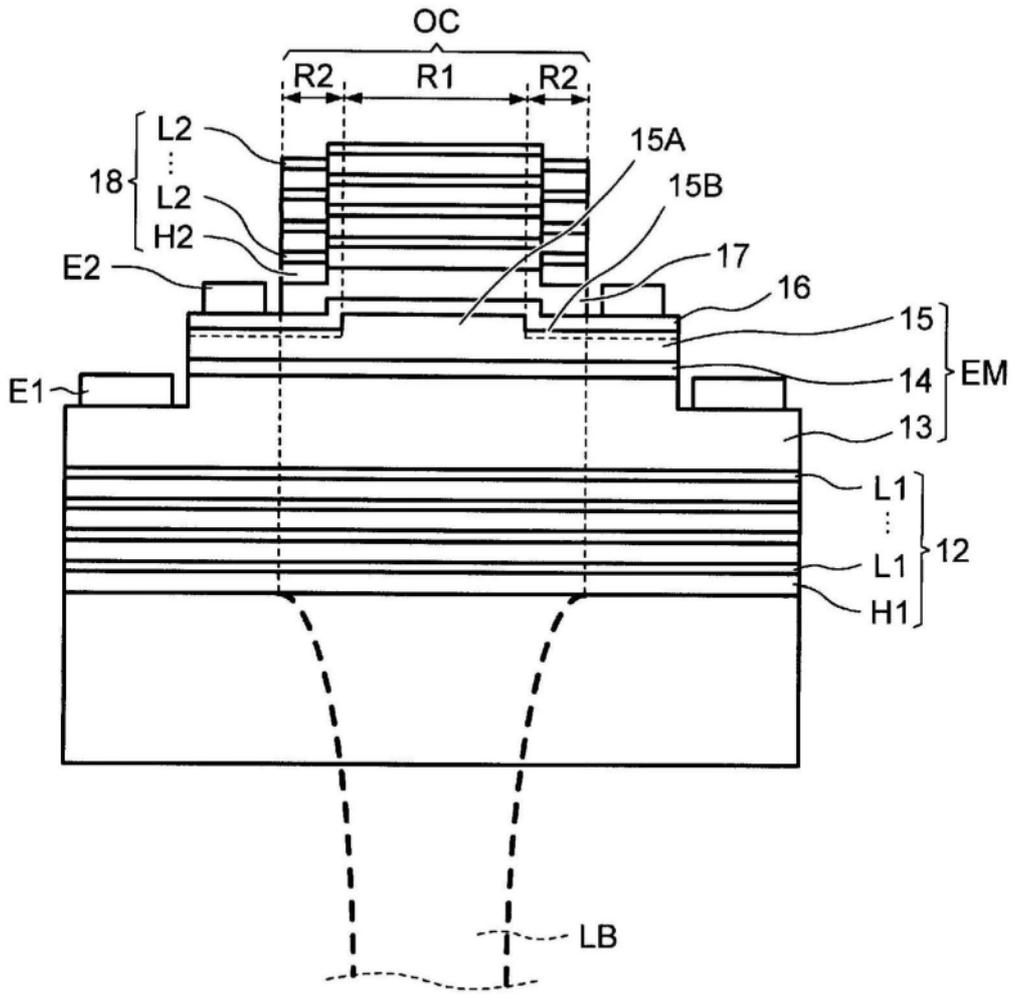


图5

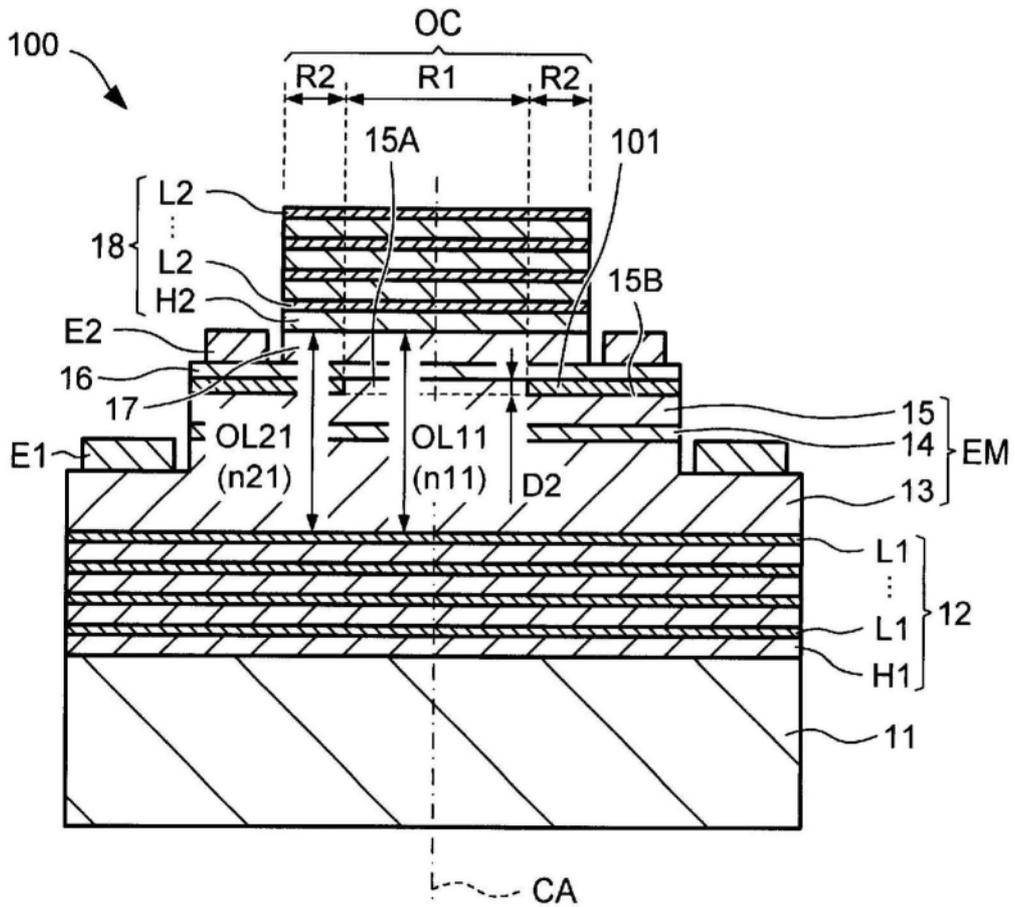


图6

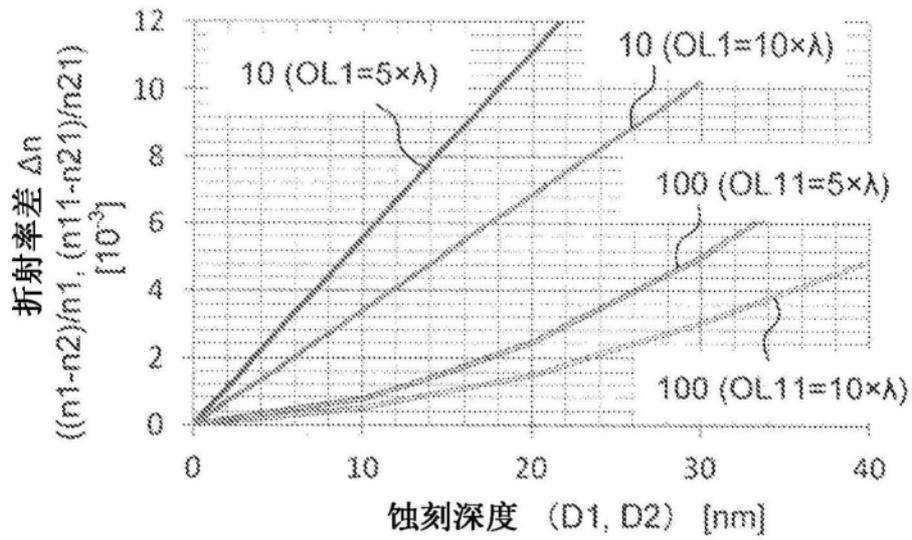


图7

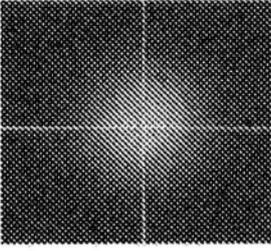
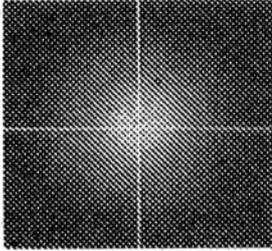
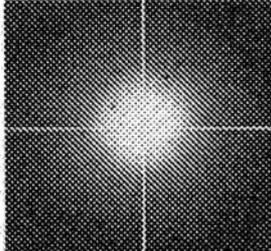
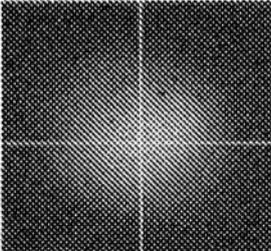
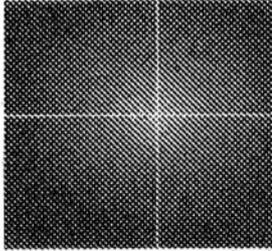
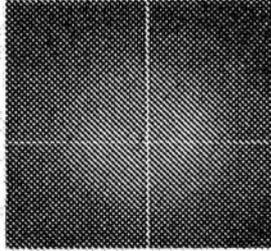
测量条件	谐振器长度: $OL1 = 10 \times \lambda$ 凸部宽度: $W1 = \Phi 6 [\mu m]$ 折射率差: $\Delta n((n1 - n2) / n1) = 1.5 \times 10^{-3}$		
驱动电流值	4.4mA	6mA	7.6mA
光输出值	1.06mW	2.04mW	3.06mW
半值角 (垂直)	4.3°	4.8°	4.0°
半值角 (水平)	4.2°	4.3°	3.8°
远场图案			
驱动电流值	8.9mA	10.3mA	11.5mA
光输出值	4.06mW	5.17mW	6.19mW
半值角 (垂直)	5.0°	5.1°	6.0°
半值角 (水平)	5.3°	5.8°	6.9°
远场图案			

图8

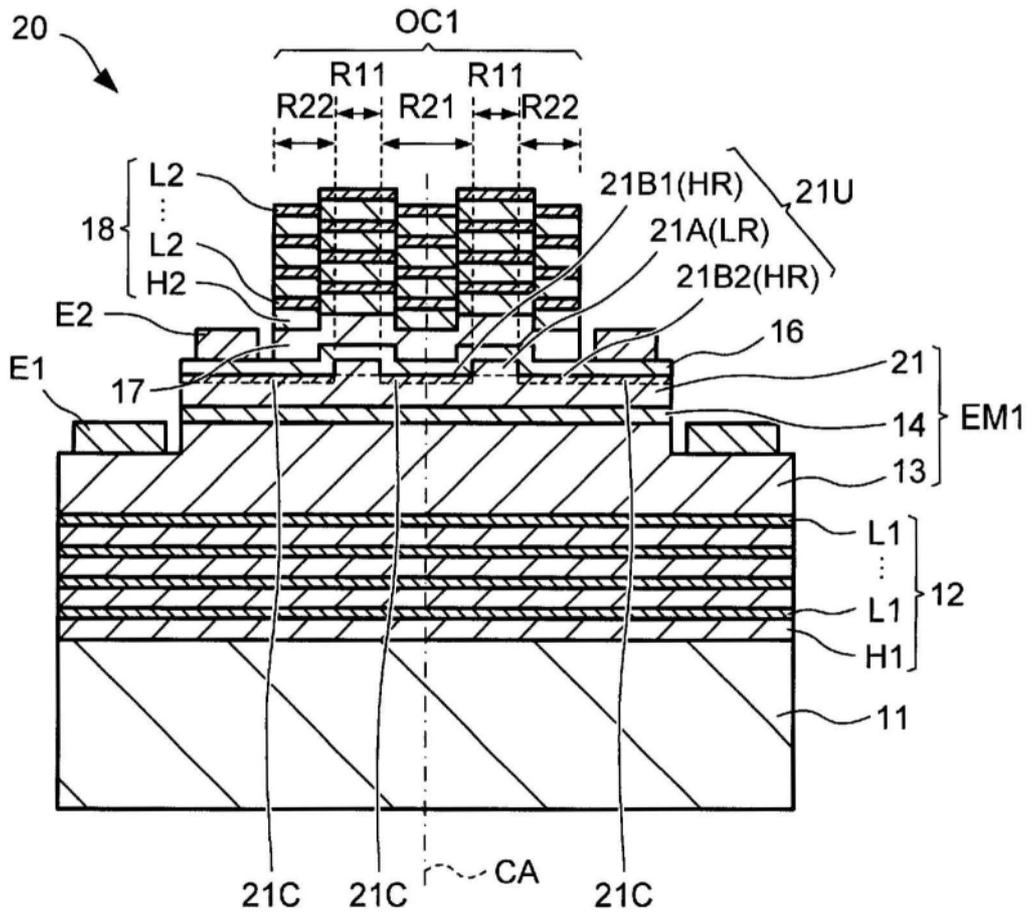


图11

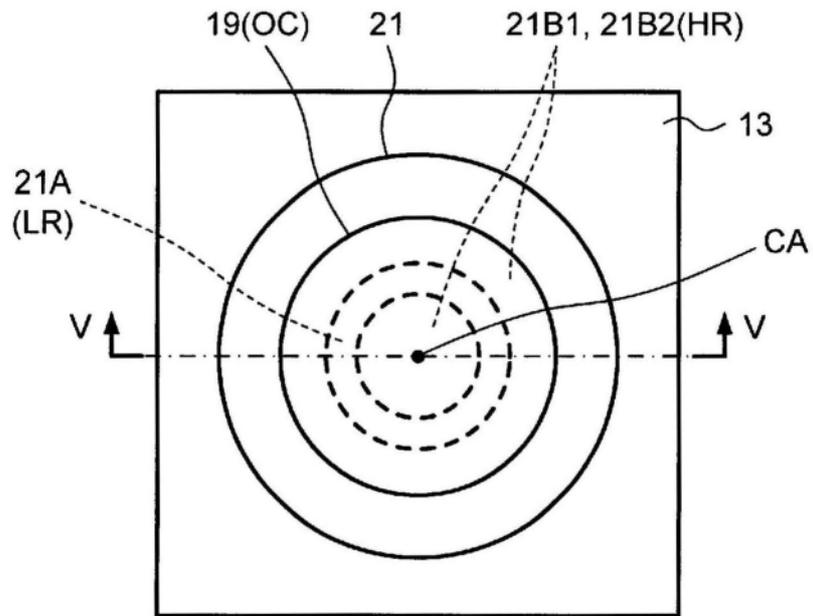


图12