(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120129999 A
(43)申请公布日 2025.06.10

(21)申请号 202380075105.0
(22)申请日 2023.12.11
(30)优先权数据
2022-208079 2022.12.26 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2025.04.24
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/044165 2023.12.11
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/142875 JA 2024.07.04
(71)申请人 日亚化学工业株式会社
地址 日本德岛县
(72)发明人 中津嘉隆 津嘉山和隆
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
专利代理师 曲天佐
(51)Int.Cl.
H01S 5/12(2021.01)
H01S 5/223(2006.01)
H01S 5/343(2006.01)

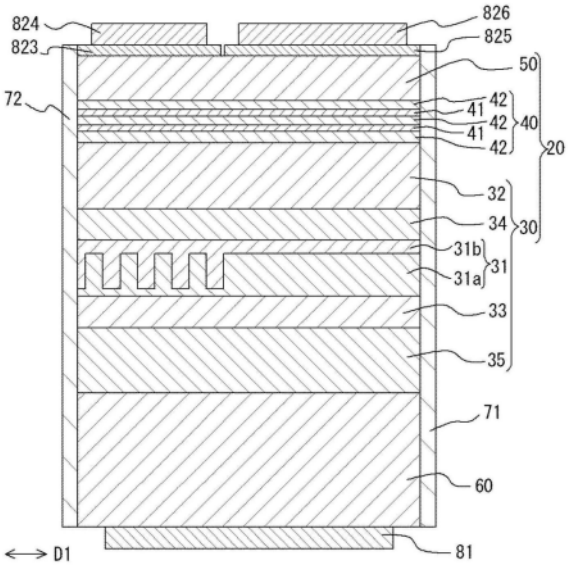
权利要求书2页 说明书18页 附图5页

(54)发明名称

半导体激光元件

(57)摘要

本发明提供一种能够使振荡波长的纵模单一化或接近单一的半导体激光元件。半导体激光元件具备氮化物半导体层叠体，该氮化物半导体层叠体具有第一端面、第二端面和光导波路，氮化物半导体层叠体具有第一n侧氮化物半导体层、第二n侧氮化物半导体层、有源层和p侧氮化物半导体层，第一n侧氮化物半导体层具有：衍射光栅部，其设有折射率沿着光导波路的谐振方向周期性地变化的周期结构；以及非衍射光栅部，其位于衍射光栅部与第一端面之间，且未设置周期结构，有源层具有n侧阱层和n侧势垒层，第二n侧氮化物半导体层是具有In和Ga的氮化物半导体层，第二n侧氮化物半导体层的厚度比n侧势垒层的厚度大。



CN 120129999 A

1.一种半导体激光元件,具备氮化物半导体层叠体,所述氮化物半导体层叠体具有第一端面、第二端面、以及将所述第一端面与所述第二端面连接的光导波路,

所述氮化物半导体层叠体具有:

第一n侧氮化物半导体层;

第二n侧氮化物半导体层,其配置于所述第一n侧氮化物半导体层的上方;

有源层,其具有在所述第二n侧氮化物半导体层的上方配置的一个以上的阱层及一个以上的势垒层;以及

p侧氮化物半导体层,其配置于所述有源层的上方,

所述第一n侧氮化物半导体层具有:衍射光栅部,其设有折射率沿着所述光导波路的谐振方向周期性地变化的周期结构;以及非衍射光栅部,其位于所述衍射光栅部与所述第一端面之间,且未设置所述周期结构,

所述有源层具有:n侧阱层,其位于所述一个以上的阱层中的最靠近所述第二n侧氮化物半导体层的位置;以及n侧势垒层,其位于所述一个以上的势垒层中的所述n侧阱层与所述第二n侧氮化物半导体层之间,

所述第二n侧氮化物半导体层是具有In和Ga的氮化物半导体层,

所述第二n侧氮化物半导体层的厚度比所述n侧势垒层的厚度大。

2.根据权利要求1所述的半导体激光元件,其中,

所述衍射光栅部的沿着谐振方向的长度比所述非衍射光栅部的沿着谐振方向的长度小。

3.根据权利要求1或2所述的半导体激光元件,其中,具备:

第一p电极,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面且所述衍射光栅部的上方;以及

第二p电极,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面且在所述非衍射光栅部的上方远离所述第一p电极的位置。

4.根据权利要求3所述的半导体激光元件,其中,

所述第一p电极具有:第一导电性氧化物膜,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面;以及第一金属膜,其配置于所述第一导电性氧化物膜的上方,

所述第二p电极具有:第二导电性氧化物膜,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面;以及第二金属膜,其配置于所述第二导电性氧化物膜的上方,

在俯视时,所述第一导电性氧化物膜的第一端面侧的端部及所述第二导电性氧化物膜的第二端面侧的端部中的一方或双方位于所述第一金属膜的第一端面侧的端部与所述第二金属膜的第二端面侧的端部之间。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的半导体激光元件,其中,

所述第二n侧氮化物半导体层的折射率比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率高,

所述第二n侧氮化物半导体层的厚度比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的厚度大。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的半导体激光元件,其中,

从所述第一n侧氮化物半导体层到所述阱层的距离大于300nm。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的半导体激光元件,其中,

所述第一n侧氮化物半导体层具有由包含Ga的氮化物半导体构成的多个第一部分、以及由包含In和Ga的氮化物半导体构成的多个第二部分，

所述衍射光栅部的所述周期结构通过所述多个第一部分和所述多个第二部分沿着所述谐振方向交替地配置而构成。

8.根据权利要求1至7中任一项所述的半导体激光元件，其中，

所述氮化物半导体层叠体具有：

n侧包覆层，其配置在所述第一n侧氮化物半导体层的与所述有源层相反的一侧；以及

第三n侧氮化物半导体层，其配置在所述n侧包覆层与所述第一n侧氮化物半导体层之间，具有所述n侧包覆层的折射率与所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率之间的折射率。

9.根据权利要求8所述的半导体激光元件，其中，

所述氮化物半导体层叠体具有在所述第二n侧氮化物半导体层与所述第一n侧氮化物半导体层之间配置的第四n侧氮化物半导体层，

所述第四n侧氮化物半导体层的折射率比所述第二n侧氮化物半导体层的折射率低，并且，比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率高。

半导体激光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体激光元件。

背景技术

[0002] 已知有部分地设有衍射光栅的半导体激光元件。例如,在专利文献1中,记载了EA(Electro-Absorption:电吸收)调制器集成型DFB激光器元件,其具有设有衍射光栅层的振荡器部和未设置衍射光栅层的调制器部。专利文献1中记载的半导体激光元件具有InGaAsP有源层。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:(日本)特开2011—151088号公报

发明内容

[0006] 发明所要解决的技术问题

[0007] 本公开的目的在于提供一种具有氮化物半导体层的半导体激光元件,该半导体激光元件能够使振荡波长的纵模单一化或接近单一。

[0008] 用于解决技术问题的技术方案

[0009] 本发明包括以下方式。

[0010] 一种半导体激光元件,具备氮化物半导体层叠体,该氮化物半导体层叠体具有第一端面、第二端面、以及将所述第一端面与所述第二端面连接的光导波路,所述氮化物半导体层叠体具有:第一n侧氮化物半导体层;第二n侧氮化物半导体层,其配置于所述第一n侧氮化物半导体层的上方;有源层,其具有配置于所述第二n侧氮化物半导体层的上方的一个以上的阱层及一个以上的势垒层;以及p侧氮化物半导体层,其配置于所述有源层的上方,所述第一n侧氮化物半导体层具有:衍射光栅部,其设有折射率沿着所述光导波路的谐振方向周期性地变化的周期结构;以及非衍射光栅部,其位于所述衍射光栅部与所述第一端面之间且未设置所述周期结构,所述有源层具有:n侧阱层,其位于所述一个以上的阱层中的最靠近所述第二n侧氮化物半导体层的位置;以及n侧势垒层,其位于所述一个以上的势垒层中的所述n侧阱层与所述第二n侧氮化物半导体层之间,所述第二n侧氮化物半导体层是具有In和Ga的氮化物半导体层,所述第二n侧氮化物半导体层的厚度比所述n侧势垒层的厚度大。

[0011] 发明效果

[0012] 根据上述的半导体激光元件,能够使振荡波长的纵模单一化或接近单一。

附图说明

[0013] 图1是表示本发明一实施方式的半导体激光元件的示意性俯视图。

[0014] 图2是图1的II—II线的剖视图。

[0015] 图3是图1的III－III线的剖视图。

[0016] 图4是用于说明第一n侧氮化物半导体层的示意图。

[0017] 图5是用于说明第一接触层和第二接触层的示意图。

[0018] 图6是表示实施例1的半导体激光元件的频谱的图表。

[0019] 图7是实施例1的半导体激光元件的一部分的Z对比度像。

[0020] 图8是表示实施例2的半导体激光元件的频谱的图表。

具体实施方式

[0021] 以下,参照附图对本发明一实施方式进行说明。需要说明的是,在各附图中,对相同的要素标注相同的附图标记。

[0022] 图1是表示本实施方式的半导体激光元件的示意性俯视图。图2是图1的II－II线的剖视图。图3是图1的III－III线的剖视图。图4是用于说明第一n侧氮化物半导体层的示意图。如图1～图4所示,本实施方式的半导体激光元件100具备氮化物半导体层叠体20。氮化物半导体层叠体20具有第一端面20a、第二端面20b、以及将第一端面20a与第二端面20b连接的光导波路10。氮化物半导体层叠体20具有第一n侧氮化物半导体层31、配置于第一n侧氮化物半导体层31的上方的第二n侧氮化物半导体层32、具有在第二n侧氮化物半导体层32的上方配置的一个以上的阱层41及一个以上的势垒层42的有源层40、以及配置于有源层40的上方的p侧氮化物半导体层50。在本实施方式中,将从n侧氮化物半导体层30朝向p侧氮化物半导体层50的方向作为上方进行说明。该上方也可以不一定与固定半导体激光元件100的发光装置等的上方一致。

[0023] (基板60)

[0024] 基板60例如是半导体基板。基板60例如是GaN基板等氮化物半导体基板。例如,能够使用氮化物半导体基板作为基板60,将其上表面作为+c面(即,(0001)面)。在本实施方式中,c面不限于严格地与(0001)面一致的面,也包括具有±0.03～1度的范围内的偏离角的面。半导体激光元件100也可以不具有基板60。作为基板的上表面,也可以使用非极性面(M面、A面)、具有从非极性面±0.03～25度的范围内的偏离角的半极性面。

[0025] (氮化物半导体层叠体20)

[0026] 氮化物半导体层叠体20具有多个氮化物半导体层。构成氮化物半导体层叠体20的氮化物半导体例如为III族氮化物半导体。作为III族氮化物半导体,例如可举出GaN、InGaN、AlGaN、InN、AlN和InAlGaN。氮化物半导体层叠体20具有n侧氮化物半导体层30、有源层40和p侧氮化物半导体层50。有源层40配置在n侧氮化物半导体层30与p侧氮化物半导体层50之间。n侧氮化物半导体层30、有源层40、p侧氮化物半导体层50可以分别直接接触,也可以在它们之间配置其他半导体层。氮化物半导体层叠体20依次具有第一n侧氮化物半导体层31、第二n侧氮化物半导体层32、有源层40和p侧氮化物半导体层50。氮化物半导体层叠体20例如在基板60上外延生长。氮化物半导体层叠体20的主面例如为+c面(即,(0001)面)。

[0027] 在图1～图3中,将谐振方向设为谐振方向D1,将与谐振方向垂直的方向设为垂直方向D2。在将光导波路10的垂直方向D2上的长度设为光导波路10的宽度时,光导波路10的宽度例如为1μm以上。光导波路10的宽度优选为10μm以上。由此,能够提高半导体激光元件100的光输出。光导波路10的宽度更优选为50μm以上,也可以为80μm以上。光导波路10的宽

度例如能够设为400μm以下。如图1～图3所示,在氮化物半导体层叠体20具有脊20c的情况下,可以将脊20c的宽度视为光导波路10的宽度。或者,在具有脊20c以外的电流狭窄结构的情况下,可以将该电流狭窄结构在垂直方向D2上的宽度视为光导波路10的宽度。

[0028] 氮化物半导体层叠体20具有第一端面20a和第二端面20b。第一端面20a及第二端面20b是相对于有源层40的主面不平行的面。第一端面20a及第二端面20b例如是相对于有源层40的主面垂直的面。第一端面20a及第二端面20b是相对于光导波路10的谐振方向D1交叉的面,例如是相对于谐振方向D1垂直的面。第一端面20a是光出射端面或者光反射端面中的一方,第二端面20b是光出射端面或者光反射端面中的另一方。

[0029] (n侧氮化物半导体层30)

[0030] n侧氮化物半导体层30具有一个以上的含有n型杂质的氮化物半导体层。作为n型杂质,例如可举出Si及Ge。n侧氮化物半导体层30也可以具有未有意地掺杂杂质的非掺杂的层。n侧氮化物半导体层30包括第一n侧氮化物半导体层31和第二n侧氮化物半导体层32。n侧氮化物半导体层30也可以具有除此以外的层。图1～图3所示的半导体激光元件100具有第三n侧氮化物半导体层33、第四n侧氮化物半导体层34和第五n侧氮化物半导体层35。n侧氮化物半导体层30也可以不具有这些所有层。n侧氮化物半导体层30也可以具有这些以外的层。

[0031] (第一n侧氮化物半导体层31)

[0032] 第一n侧氮化物半导体层31具有:衍射光栅部311,其设有折射率沿着谐振方向D1周期性地变化的周期结构;以及非衍射光栅部312,其位于衍射光栅部311与第一端面20a之间且未设置周期结构。

[0033] 半导体激光元件100通过具备具有衍射光栅部311的第一n侧氮化物半导体层31,能够使该振荡波长的纵模单一化或接近单一。如果考虑轻微的自然放射光,在严格意义上不存在单一纵模的状态。因此,将某一模式的输出比其他模式的输出充分强的情况设为单一纵模或接近单一的纵模。半导体激光元件100不仅具有衍射光栅部311,还具有非衍射光栅部312。在通过蚀刻形成衍射光栅时产生的损伤、缺陷或杂质等会产生吸收损失的增大。通过半导体激光元件100具有非衍射光栅部312,在非衍射光栅部312中不会产生由衍射光栅引起的吸收损失的增大和/或向有源层40的光封闭的降低。因此,与从第一端面20a到第二端面20b设有周期结构的半导体激光元件相比,能够提高半导体激光元件100的发光效率。

[0034] 衍射光栅部311和非衍射光栅部312以沿着谐振方向D1排列的方式配置。在衍射光栅部311中,在光导波路10的正下方设有周期结构。周期结构的折射率沿着将第一端面20a和第二端面20b以最短的方式连结的方向周期性地变化。在非衍射光栅部312中,至少在光导波路10的正下方不设置周期结构。非衍射光栅部312可以是在其任何位置均未设置周期结构的区域。非衍射光栅部312能够作为不具有衍射光栅的增益区域发挥功能。因此,衍射光栅部311的沿着谐振方向D1的长度优选小于非衍射光栅部312的沿着谐振方向D1的长度。换言之,非衍射光栅部312的沿着谐振方向D1的长度优选大于衍射光栅部311的沿着谐振方向D1的长度。由此,能够提高半导体激光元件100的光输出。

[0035] 非衍射光栅部312的谐振方向D1上的长度例如可以设为100μm以上。从设于衍射光栅部311的周期结构到有源层40的距离越大,则来自有源层40的光与周期结构的结合效率

越降低,与周期结构对应的波长下的反射率越降低。通过将衍射光栅部311的谐振方向D1上的长度设为100μm以上,能够将与周期结构对应的反射率设为比半导体激光元件100能够振荡的程度高的值。如果使衍射光栅部311过长,则由再生长损伤引起的吸收损失的增加、基于谐振器结构的反射率过度增大,难以得到光输出,但通过增大非衍射光栅部312的长度,半导体激光元件100的实际增益增加,因此能够抑制光输出的降低。因此,非衍射光栅部312的谐振方向D1上的长度优选为500μm以上。非衍射光栅部312的谐振方向D1上的长度能够设为1500μm以上。非衍射光栅部312的谐振方向D1上的长度能够设为4000μm以下。

[0036] 在氮化物半导体中,存在n型杂质(例如Si)的活化率高于p型杂质(例如Mg)的活化率的倾向。因此,能够使n侧氮化物半导体层30所具有的n型杂质浓度低于p侧氮化物半导体层50所具有的p型杂质浓度。周期结构例如通过在一个半导体层形成凹凸结构后,利用其他半导体层填埋该凹凸结构而形成,但杂质浓度越低越容易致密地填埋。因此,设有周期结构的衍射光栅部311适合作为n侧氮化物半导体层30的一部分而配置。第一n侧氮化物半导体层31所具有的衍射光栅部311的周期结构例如与第五n侧氮化物半导体层35的折射率相比平均折射率高。或者,第一n侧氮化物半导体层31也可以兼作n侧包覆层。

[0037] 当将周期结构接近地配置于有源层40时,可能发生由于p侧氮化物半导体层50的电场强度相对变高而导致的吸收损失的增大,和/或,向有源层40的光封闭的降低。由此,半导体激光元件100进行激光振荡的阈值电流能够上升。因此,将第一n侧氮化物半导体层31设于远离有源层40的位置。例如,如图2所示,在第一n侧氮化物半导体层31与有源层40之间配置第二n侧氮化物半导体层32。由此,p侧氮化物半导体层50的电场强度相对变低,从而能够减少吸收损失,和/或,提高向有源层40的光封闭。由此,能够降低半导体激光元件100的阈值电流。通过降低阈值电流,能够降低激光振荡时的电流密度,能够降低在纵模中出现高模的概率。另外,通过使p侧氮化物半导体层50的电场强度相对变低,能够抑制由p型杂质引起的吸收损失,能够提高半导体激光元件100的斜率效率。

[0038] 在本实施方式中,设于衍射光栅部311的周期结构是衍射光栅。周期结构的尺寸能够根据想要得到的激光的波长、所使用的半导体的组成等适当调整。构成周期结构的凹凸的、沿着光导波路10的谐振方向D1的截面形状例如能够设为锯齿状、正弦波状、矩形状、梯形状、倒梯形等。构成周期结构的凹凸中的凸部的截面形状在图2中是矩形状,但不限于此,也可以是梯形那样的具有随着靠近有源层40而宽度变窄的倾斜边的形状。通过为具有倾斜边的形状,容易使填埋凹凸的半导体层生长,能够减小该半导体层的厚度。凹凸的各个凸部能够具有上表面。该上表面例如是与有源层40的主面平行的面。图2所示的凹凸的各个凹部具有底面。该底面例如是与有源层40的主面平行的面。凹凸的各个凹部也可以是不具有例如U字形状或V字形状那样的底面的形状。

[0039] 构成周期结构的凹凸的周期(间距)能够根据想要振荡的波长和有效折射率来决定。凹凸的间距(凹凸的一个周期)例如能够设为40nm以上且140nm以下。光导波路10的沿着谐振方向D1的方向上的凸部的宽度和凹部的宽度可以分别相同,也可以不同。另外,在设置高模的衍射结构的情况下,在三次衍射中能够设为120nm以上且420nm以下、在十次衍射以上时能够设为400nm以上且2000nm以下。优选凸部的宽度和凹部的宽度中的任一方的宽度为另一方的宽度的1/2～2倍的范围。

[0040] 构成周期结构的凹凸的高度H能够设为300nm以下,也能够设为200nm以下。通过提

高凹凸的高度，$\Gamma_{grating}$上升，因此能够使结合系数k上升。因此，凹凸的高度H优选为50nm以上。构成周期结构的凹凸的高度例如是在与有源层40的主面垂直且与光导波路10的谐振方向D1平行的截面中，平行于有源层40的主面的线且通过凹凸中的最靠近有源层40的部分的线与平行于有源层40的主面的线且通过凹凸中的离有源层40最远的部分的线之间的最短距离。这样的截面例如可以通过透射电子显微镜(Transmission Electron Microscope:TEM)观察。截面也可以通过扫描透射电子显微镜(Scanning Transmission Electron Microscope:STEM)进行观察。

[0041] 衍射光栅部311具有多个第一部分和具有比第一部分的折射率高的折射率的多个第二部分。周期结构通过多个第一部分和多个第二部分沿着谐振方向D1交替地配置而构成。

[0042] 在图4所示的衍射光栅部311中，多个第一部分与一个共同部分相连，由多个第一部分和一个共同部分构成一个第一半导体部31a。同样地，多个第二部分与一个共同部分相连，由多个第二部分和一个共同部分构成一个第二半导体部31b。换言之，第一半导体部31a具有从一个共同部分朝向上方突出的多个第一部分，第二半导体部31b具有从一个共同部分朝向下方突出的多个第二部分，第一部分和第二部分沿着谐振方向D1交替地配置。第一半导体部31a和第二半导体部31b的一部分构成衍射光栅部311，另一部分构成非衍射光栅部312。第一n侧氮化物半导体层31可以仅由第一半导体部31a及第二半导体部31b构成。

[0043] 第一半导体部31a的共同部分的组成与第一部分的组成相同。第二半导体部31b的共同部分的组成与第二部分的组成相同。组成相同是指不有意形成为不同组成地得到，可以包含制造上产生的误差。在此，说明了第一半导体部31a包含多个第一部分、第二半导体部31b包含多个第二部分的情况，但也可以是第一半导体部31a包含多个第二部分、第二半导体部31b包含多个第一部分。

[0044] 第一半导体部31a例如能够通过在形成成为第一半导体部31a的第一半导体层后，通过干式蚀刻等除去第一半导体层的一部分而得到。如果在其一部分去除时去除至第一半导体层的下表面，则能够形成没有共同部分而仅由多个第一部分构成的第一半导体部。如果考虑去除深度的精度而以不到达第一半导体层的下表面的深度去除，则能够形成由一个共同部分和多个第一部分构成的第一半导体部31a。

[0045] 第二半导体部31b例如能够通过在第一半导体部31a之上形成第二半导体部31b而得到。第二半导体部31b填充在第一半导体部31a所具有的多个第一部分彼此之间。第二半导体部31b例如能够在与第一半导体层相比横向生长被促进的生长条件下形成。在这样形成第二半导体部31b的情况下，第二半导体部31b的杂质浓度越低，则越能够降低在第二半导体部31b与第一半导体部31a之间产生间隙的可能性。因此，第二半导体部31b的n型杂质浓度优选为$1\times10^{20}/cm^3$以下。第一半导体部31a的n型杂质浓度可以设为$1\times10^{17}/cm^3$以上且$1\times10^{20}/cm^3$以下，或者也可以设为检测极限以下。第一半导体部31a的n型杂质浓度可以比第二半导体部31b的n型杂质浓度大。第二半导体部31b的n型杂质以外的杂质的浓度可以设为检测极限以下。另外，第二半导体部31b优选由GaN构成，由此能够降低在第二半导体部31b与第一半导体部31a之间产生间隙的可能性。在图2中，第二半导体部31b的上表面从衍射光栅部311到非衍射光栅部312为相同高度，但不限于此。例如，在第一半导体部31a设有凹部的衍射光栅部311的第二半导体部31b的上表面也可以比非衍射光栅部312的第二半导

体部31b的上表面低。

[0046] 对于多个第一部分或多个第二部分中的任一方而言,垂直方向D2上的两端中的至少一方也可以位于氮化物半导体层叠体20的内部。多个第一部分或多个第二部分中的任一方的两端也可以换言之为周期结构的两端。在周期结构的形成中使用电子束描绘那样的形成面积与作业时间成比例的方法的情况下,通过像这样使周期结构的宽度比半导体激光元件100的宽度小,能够缩短周期结构的形成时间。

[0047] 在图2中,第一半导体部31a具有向远离有源层40的方向凹陷的多个凹形状。第一半导体部31a中的沿着谐振方向D1夹着多个凹形状的部分是第一部分或第二部分中的一方。多个凹形状被第二半导体部31b填埋,填埋该多个凹形状的部分是第一部分或第二部分中的另一方。第一半导体部31a也可以具有朝向有源层40突出的多个凸形状。在该情况下,第一半导体部31a的多个凸形状的部分是第一部分或者第二部分中的一方,第二半导体部31b中的沿着谐振方向D1夹着多个凸形状的部分是第一部分或第二部分中的另一方。认为通过第一半导体部31a的凹形状或凸形状的部分的垂直方向D2上的两端中的至少一方位于氮化物半导体层叠体20的内部,容易稳定地形成凹形状或凸形状。这是因为凹形状或凸形状的垂直方向D2上的宽度越窄,能够期待第一半导体部31a的强度越提高。优选将凹形状或凸形状设为凹形状或凸形状的垂直方向D2上的两端双方位于氮化物半导体层叠体20的内部的形状。凹形状或凸形状的垂直方向D2上的宽度为光导波路10的宽度以上,也可以比光导波路10的宽度大。凹形状或凸形状的垂直方向D2上的宽度也可以是在光导波路10的宽度上加上单侧5μm以上合计10μm以上的值。凹形状或凸形状的垂直方向D2上的宽度也可以比p电极82的垂直方向D2上的最大宽度小。在使用电子束描绘那样的形成面积与作业时间成比例的方法形成周期结构的情况下,与形成具有多个凸形状的第一半导体部31a相比,形成具有多个凹形状的第一半导体部31a能够缩短周期结构的形成时间。另外,与形成具有多个凸形状的第一半导体部31a相比,形成具有多个凹形状的第一半导体部31a能够期待第一半导体部31a的强度提高。

[0048] 例如,第一部分由包含Ga的氮化物半导体构成,第二部分由包含In和Ga的氮化物半导体构成。例如,第一部分由GaN构成,第二部分由$In_XGa_{1-X}N$(0＜X＜1)构成。第二部分的In组成比能够设为0.001≤X≤0.1。在该情况下,作为与第一n侧氮化物半导体层31不同的层而设置n侧包覆层,能够在n侧包覆层与有源层40之间配置第一n侧氮化物半导体层31。由此,能够降低阈值电流,并且,能够提高光封闭。在第一部分由GaN构成的情况下,优选第一半导体部31a包含多个第二部分、第二半导体部31b包含多个第一部分。由此,能够通过第二半导体部31b填埋第一半导体部31a的凹凸,因此能够降低在第一部分与第二部分之间产生间隙的概率。这样的第一半导体部31a和第二半导体部31b例如在通过STEM得到的Z对比度像(ZC像)中,与第一半导体部31a的凹部的侧面相比,底部的对比度的变化可以平缓。Z对比度像是基于原子量的对比度像。

[0049] 作为第一部分和第二部分的材料的另一例,也可以是,第一部分由包含Al和Ga的氮化物半导体构成,第二部分由包含Ga的氮化物半导体构成。例如,第一部分由$Al_YGa_{1-Y}N$(0＜Y＜1)构成,第二部分由GaN构成。第一部分的Al组成比能够设为0.001≤Y≤0.2。在第一n侧氮化物半导体层31至少在其一部分中包含含有Al和Ga的氮化物半导体的情况下,第一n侧氮化物半导体层31也可以是作为n侧包覆层发挥功能的层。

[0050] 设于衍射光栅部311的周期结构的平均折射率能够是构成周期结构的周期性重复的最小单位的谐振方向D1上的折射率的平均值。例如,在构成周期结构的周期性重复的最小单位是一个第一部分和一个第二部分的情况下,设于衍射光栅部311的周期结构的平均折射率n_{ave}由下式(1)表示。

[0051] $$n_{ave}=\{(n_1\times t_1)+(n_2\times t_2)\}/(t_1+t_2) \quad (1)$$

[0052] 这里,n_1是第一部分的折射率,n_2是第二部分的折射率,t_1是谐振方向D1上的一个第一部分的长度,t_2是谐振方向D1上的一个第二部分的长度。在谐振方向D1上的第一部分及第二部分的长度根据高度而不同的情况下,将周期结构的厚度的一半的位置处的第一部分及第二部分的长度分别设为t_1及t_2,求出周期结构的平均的折射率即可。需要说明的是,折射率设为半导体激光元件100振荡的激光的峰值波长下的折射率。各材料的折射率的值可以使用各材料的公知的折射率的值。半导体的折射率可以根据半导体的组成比通过计算求出。

[0053] 从第一n侧氮化物半导体层31到阱层41的距离优选大于300nm。由此,能够降低半导体激光元件100的阈值电流。另外,能够提高半导体激光元件100的斜率效率。从第一n侧氮化物半导体层31到阱层41的距离例如能够设为800nm以下,优选为500nm以下。由此,容易得到期望的结合效率。也可以将从第一n侧氮化物半导体层31到有源层40的距离设为它们的数值范围。另外,也可以将从设于第一n侧氮化物半导体层31的衍射光栅部311的周期结构到阱层41的距离设为它们的数值范围,也可以将从周期结构到有源层40的距离设为它们的数值范围。从设于衍射光栅部311的周期结构到阱层41(n侧阱层)的距离可以设为320nm以上且800nm以下,也可以设为400nm以上且800nm以下。

[0054] 第一n侧氮化物半导体层31的厚度优选为50nm以上,更优选为100nm以上。由此,容易在第一n侧氮化物半导体层31形成周期结构。第一n侧氮化物半导体层31的厚度能够设为1000nm以下,也可以设为500nm以下。

[0055] 周期结构的厚度、即相对于周期结构的有源层40的主面垂直的方向上的长度与第一n侧氮化物半导体层31的厚度相同或比其小。第一n侧氮化物半导体层31的厚度与周期结构的厚度之差能够设为0nm以上且1000nm以下。

[0056] 在半导体激光元件100具有脊20c的情况下,设于衍射光栅部311的周期结构的折射率沿着脊20c的延伸方向周期性地变化。周期结构至少配置在脊20c的正下方。

[0057] (第二n侧氮化物半导体层32)

[0058] 第二n侧氮化物半导体层32配置在第一n侧氮化物半导体层31与有源层40之间。

[0059] 周期结构与有源层40的距离越小,p侧氮化物半导体层50的电场强度越上升而吸收损失增大,和/或,存在向有源层40的光封闭越降低的倾向。通过设置第二n侧氮化物半导体层32,与未设置的情况相比,能够增大部分地设有周期结构的第一n侧氮化物半导体层31与有源层40的距离。由此,能够降低p侧氮化物半导体层50的电场强度而减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。因此,能够降低半导体激光元件100的阈值电流。

[0060] 第二n侧氮化物半导体层32优选为具有In和Ga的氮化物半导体层。第二n侧氮化物半导体层32的厚度优选大于后述的n侧势垒层的厚度。通过具备这些构成,能够减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。

[0061] 第二n侧氮化物半导体层32的折射率优选高于衍射光栅部311的周期结构的平均

折射率。第二n侧氮化物半导体层32的厚度优选大于衍射光栅部311的周期结构的厚度。通过具备这些构成,能够减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。也可以通过构成第二n侧氮化物半导体层32的材料的折射率高于构成衍射光栅部311的周期结构的材料的折射率,第二n侧氮化物半导体层32的折射率高于设于衍射光栅部311中的周期结构的平均折射率。第二n侧氮化物半导体层32的厚度更优选大于第一n侧氮化物半导体层31的厚度。

[0062] 第二n侧氮化物半导体层32的折射率优选高于n侧势垒层的折射率。n侧势垒层为了作为势垒层发挥功能而具有比阱层的带隙能量大的带隙能量,但这样的n侧势垒层具有折射率比较低的倾向。因此,通过设置具有比n侧势垒层的折射率高的折射率的第二n侧氮化物半导体层32,能够减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。在n侧势垒层由多个层构成的情况下,第二n侧氮化物半导体层32的折射率优选比n侧势垒层的平均折射率高,也可以比构成n侧势垒层的多个层中的任一层的折射率高。

[0063] 第二n侧氮化物半导体层32例如由$In_ZGa_{1-Z}N$(0＜Z＜1)构成。第二n侧氮化物半导体层32的In组成比能够设为0.001≤Z≤0.2。第二n侧氮化物半导体层32也可以是组成倾斜层。第二n侧氮化物半导体层32例如能够设为整体为InGaN、并且随着靠近有源层40而In组成比增加的组成倾斜层。这样的组成倾斜层也可以是具有In和Ga的氮化物半导体层。作为组成倾斜层,在形成将离有源层40最远的部分设为GaN、将最靠近有源层40的部分设为InGaN、随着靠近有源层40而In组成比增加的组成倾斜层的情况下,可以将该组成倾斜层中的除了离有源层40最远的部分以外的剩余的部分设为第二n侧氮化物半导体层32。

[0064] 第二n侧氮化物半导体层32的厚度能够设为150nm以上,优选为200nm以上。由此,能够减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。第二n侧氮化物半导体层32的厚度可以大于第四n侧氮化物半导体层34的厚度。第二n侧氮化物半导体层32的厚度能够设为500nm以下。根据衍射光栅中的光强度、阱层41的光封闭、向p侧氮化物半导体层50的漏光的关系,第二n侧氮化物半导体层32的厚度可以为170nm以上且500nm以下,可以为230nm以上且500nm以下,也可以为300nm以上且500nm以下。

[0065] (第三n侧氮化物半导体层33)

[0066] 第三n侧氮化物半导体层33配置在第一n侧氮化物半导体层31的与有源层40相反的一侧。第一n侧氮化物半导体层31位于第三n侧氮化物半导体层33与有源层40之间。

[0067] 第三n侧氮化物半导体层33也可以配置在n侧包覆层与第一n侧氮化物半导体层31之间。为了使从第一n侧氮化物半导体层31的周期结构到有源层40的距离不会过大,能够设为这样的配置。n侧包覆层配置于第一n侧氮化物半导体层31的与有源层40相反的一侧。第三n侧氮化物半导体层33具有n侧包覆层的折射率与第一n侧氮化物半导体层31的衍射光栅部311的周期结构的平均折射率之间的折射率。例如,第三n侧氮化物半导体层33的折射率比n侧包覆层的折射率高,并且,比衍射光栅部311的周期结构的平均折射率低。通过构成第三n侧氮化物半导体层33的材料的折射率低于构成衍射光栅部311的周期结构的材料的折射率中的任一者,第三n侧氮化物半导体层33的折射率可以低于设于衍射光栅部311的周期结构的平均折射率。

[0068] 在图2中,第三n侧氮化物半导体层33配置在第一n侧氮化物半导体层31与后述的第五n侧氮化物半导体层35之间。第三n侧氮化物半导体层33可以具有第五n侧氮化物半导

体层35的折射率与第一n侧氮化物半导体层31的衍射光栅部311的周期结构的平均折射率之间的折射率。例如,第五n侧氮化物半导体层35是n侧包覆层。

[0069] 通过设置第三n侧氮化物半导体层33,能够减少向位于比其更下方的基板60等泄漏的光。例如,在第一n侧氮化物半导体层31具有周期性地配置有GaN和InGaN的周期结构的情况下,与第一n侧氮化物半导体层31不具有周期结构而仅由GaN构成的情况相比,第一n侧氮化物半导体层31的折射率上升。这样,在第一n侧氮化物半导体层31的折射率比较高的情况下,特别优选通过设置第三n侧氮化物半导体层33来减少光的泄漏。

[0070] 第三n侧氮化物半导体层33例如为AlGaN层。第三n侧氮化物半导体层33也可以含有n型杂质。第三n侧氮化物半导体层33的厚度可以为100nm以上且1000nm以下。

[0071] (第四n侧氮化物半导体层34)

[0072] 第四n侧氮化物半导体层34配置在第二n侧氮化物半导体层32与第一n侧氮化物半导体层31之间。第四n侧氮化物半导体层34的折射率可以低于第二n侧氮化物半导体层32的折射率,并且,高于第一n侧氮化物半导体层31的衍射光栅部311的周期结构的平均折射率。通过构成第四n侧氮化物半导体层34的材料的折射率低于构成衍射光栅部311的周期结构的材料的折射率中的任一者,第四n侧氮化物半导体层34的折射率可以低于设于衍射光栅部311的周期结构的平均折射率。

[0073] 通过设置第四n侧氮化物半导体层34,能够提高向有源层40的光封闭。例如,在第一n侧氮化物半导体层31具有周期性地配置有AlGaN和GaN的周期结构的情况下,与第一n侧氮化物半导体层31不具有周期结构而仅由GaN构成的情况相比,第一n侧氮化物半导体层31的折射率降低。这样,在第一n侧氮化物半导体层31的折射率比较低的情况下,特别优选通过设置第四n侧氮化物半导体层34来提高向有源层40的光封闭。或者,也可以不设置第四n侧氮化物半导体层34,取而代之,使第二半导体部31b的共同部分的厚度为50nm以上。由此,能够提高向有源层40的光封闭。第二半导体部31b的共同部分的厚度能够设为300nm以下。

[0074] 第四n侧氮化物半导体层34例如为InGaN层。第四n侧氮化物半导体层34也可以含有n型杂质。第四n侧氮化物半导体层34的厚度可以为1nm以上且500nm以下。

[0075] (第五n侧氮化物半导体层35)

[0076] 第五n侧氮化物半导体层35配置在第一n侧氮化物半导体层31的与有源层40相反的一侧。第五n侧氮化物半导体层35配置在第一n侧氮化物半导体层31与基板60之间。第五n侧氮化物半导体层35例如是n侧包覆层。第五n侧氮化物半导体层35例如是在n侧氮化物半导体层30中带隙能量最大的层。第五n侧氮化物半导体层35例如是含有n型杂质的AlGaN层。

[0077] (有源层40)

[0078] 有源层40配置在n侧氮化物半导体层30与p侧氮化物半导体层50之间。有源层40能够设为多量子阱结构或单量子阱结构。有源层40具有一个以上的阱层41及一个以上的势垒层42。

[0079] 有源层40具有位于一个以上的阱层41中的最靠近第二n侧氮化物半导体层32的位置的n侧阱层、和位于一个以上的势垒层42中的n侧阱层与第二n侧氮化物半导体层32之间的n侧势垒层。

[0080] 有源层40优选从衍射光栅部311的上方设置到非衍射光栅部312的上方。此外,优选的是,比包含有源层40的第一n侧氮化物半导体层31靠上的各层从衍射光栅部311的上方

设置到非衍射光栅部312的上方。作为形成衍射光栅部和非衍射光栅部的方法,例如有如下方法:形成包含非衍射光栅部和有源层的第一外延结构,除去其一部分而使有源层的端面露出后,再生长包含衍射光栅部和有源层的第二外延结构。在这样的方法中,在再生长时,在露出的端面与再生长的第二外延结构的界面引入杂质,担心由杂质引起的光吸收损失的增大、载流子陷阱的增大。在图2所示的半导体激光元件100中,在第一n侧氮化物半导体层31中形成衍射光栅部311和非衍射光栅部312。由此,能够使半导体激光元件100成为再生长界面仅位于第一n侧氮化物半导体层31中的结构。半导体激光元件100的驱动时的第一n侧氮化物半导体层31的电场强度比有源层40的电场强度小,因此能够减小因这样的配置而在再生长时引入的杂质引起的影响。

[0081] 通过设置衍射光栅部311的周期结构,第一n侧氮化物半导体层31的上表面存在衍射光栅部311比非衍射光栅部312低的情况。这样,在第一n侧氮化物半导体层31的上表面存在高低差的情况下,如果设于其上的层的厚度小于高低差,则有时被高低差截断,但这样的状态可以称为从衍射光栅部311的上方朝向非衍射光栅部312的上方而设置的状态。

[0082] 在n侧阱层与第二n侧氮化物半导体层32之间存在多个半导体层的情况下,优选第二n侧氮化物半导体层32的厚度大于其中的厚度最大的层的厚度。由此,能够减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。此外,优选第二n侧氮化物半导体层32的厚度大于位于n侧阱层与第二n侧氮化物半导体层32之间的多个半导体层的总厚度。由此,能够进一步减少吸收损失,和/或,能够提高向有源层40的光封闭。

[0083] 有源层40例如能够以能够发出400nm以上且600nm以下的波长的光的组成形成。一个以上的阱层41例如由InGaN构成。构成一个以上的阱层41的InGaN的In组成比例如可以设为0.05以上且0.50以下。构成一个以上的阱层41的InGaN的In组成比可以为0.15以上。

[0084] (p侧氮化物半导体层50)

[0085] p侧氮化物半导体层50具有一个以上的含有p型杂质的氮化物半导体层。作为p型杂质,例如可举出Mg。p侧氮化物半导体层50也可以具有未有意地掺杂杂质的非掺杂的层。p侧氮化物半导体层50可以具有接触层。p侧氮化物半导体层50可以具有p侧光导层、电子阻挡层、p侧包覆层中的一个以上。p侧氮化物半导体层50可以具有这些所有层,也可以具有这些以外的层。

[0086] 在氮化物半导体中,p型杂质的活化率低于n型杂质的活化率。因此,p侧氮化物半导体层50所具有的p型杂质浓度存在比n侧氮化物半导体层30所具有的n型杂质浓度高的倾向。例如,p侧氮化物半导体层50中的p型杂质浓度的最高值比n侧氮化物半导体层30中的n型杂质浓度的最高值大。

[0087] (n电极81)

[0088] 半导体激光元件100具有n电极81。n电极81设于基板60的下表面。作为n电极81的材料,例如可举出包含选自Ni、Rh、Cr、Au、W、Pt、Ti、Al等金属或合金、Zn、In、Sn中的至少一种在内的导电性氧化物等单层膜或多层膜。作为导电性氧化物,可举出ITO(Indium Tin Oxide:氧化铟锡)、IZO(Indium Zinc Oxide:氧化铟锌)、GZO(Gallium-doped Zinc Oxide:掺镓氧化锌)等。

[0089] (p电极82)

[0090] 半导体激光元件100具有p电极82。p电极82与p侧氮化物半导体层50的一部分接触

地设置。p电极82例如与脊20c的上表面接触地设置。半导体激光元件100的p电极82能够具有焊盘电极。作为p电极82的材料,例如可举出包含选自Ni、Rh、Cr、Au、W、Pt、Ti、Al等金属或合金、Zn、In、Sn中的至少一种在内的导电性氧化物等单层膜或多层膜。作为导电性氧化物,可举出ITO、IZO、GZO等。

[0091] 如图1所示,半导体激光元件100能够具有第一p电极821和第二p电极822作为p电极82。第一p电极821设于p侧氮化物半导体层50的上表面且衍射光栅部311的上方。第二p电极822在p侧氮化物半导体层50的上表面且非衍射光栅部312的上方与第一p电极821分离地设置。通过具有这样的第一p电极821和第二p电极822,能够对衍射光栅部311和非衍射光栅部312分别进行独立的电流控制,能够流过各自适合的大小的电流。例如,在非衍射光栅部312中流动的电流为与想要得到的光输出相应的大小,在衍射光栅部311中流动的电流为衍射光栅部311中的光吸收减少的程度的大小。在衍射光栅部311中不流过电流的情况下,阱层41成为高吸收的层,产生立起弯折,但通过使电流流过衍射光栅部311,能够抑制此情况。流过衍射光栅部311的电流可以小于流过非衍射光栅部312的电流。另外,也可以通过使流过衍射光栅部311的电流的大小变化来进行波长的调谐。第一p电极821与第二p电极822分离地配置。

[0092] 图5是用于说明第一接触层511及第二接触层512的示意图。在设置第一p电极821和第二p电极822的情况下,如图5所示,p侧氮化物半导体层50可以具有与第一p电极821的下表面接触的第一接触层511和与第二p电极822的下表面接触的第二接触层512作为接触层。由此,能够更可靠地独立地控制衍射光栅部311和非衍射光栅部312。第一接触层511与第二接触层512分离地配置。

[0093] 第一p电极821能够具有设于p侧氮化物半导体层50的上表面的第一导电性氧化物膜823和配置于第一导电性氧化物膜823的上方的第一金属膜824。第二p电极822能够具有设于p侧氮化物半导体层50的上表面的第二导电性氧化物膜825和配置于第二导电性氧化物膜825的上方的第二金属膜826。在俯视时,第一导电性氧化物膜823的光出射侧的端部及第二导电性氧化物膜825的光反射侧的端部中的一方或双方优选位于第一金属膜824的光出射侧的端部与第二金属膜826的光反射侧的端部之间。在俯视时,第一导电性氧化物膜823的第一端面20a侧的端部及第二导电性氧化物膜825的第二端面20b侧的端部中的一方或双方优选位于第一金属膜824的第一端面20a侧的端部与第二金属膜826的第二端面20b侧的端部之间。由此,与仅由金属形成第一p电极821及第二p电极822的情况相比,能够减小从第一p电极821到第二p电极822的距离。在构成第一p电极821及第二p电极822的各膜中,光导波路的谐振方向上的两端中的靠近第一端面20a的一端为第一端面20a侧的端部,靠近第二端面20b的端部为第二端面20b侧的端部。第一端面20a侧的端部是光出射侧的端部,第二端面20b侧的端部是光反射侧的端部。或者,也可以是,第一端面20a侧的端部是光反射侧的端部,第二端面20b侧的端部是光出射侧的端部。更优选第一导电性氧化物膜823的第一端面20a侧的端部及第二导电性氧化物膜825的第二端面20b侧的端部双方位于第一金属膜824的第一端面20a侧的端部与第二金属膜826的第二端面20b侧的端部之间。更优选的是,第一导电性氧化物膜823的光出射侧的端部及第二导电性氧化物膜825的光反射侧的端部双方位于第一金属膜824的光出射侧的端部与第二金属膜826的光反射侧的端部之间。第一p电极821与第二p电极822之间不注入电流,其距离越大,光吸收越增大。通过使用第一导电

性氧化物膜823及第二导电性氧化物膜825,能够减小不注入电流的区域,因此能够减少光吸收。从第一导电性氧化物膜823到第二导电性氧化物膜825的距离例如能够设为1μm以上且30μm以下。

[0094] 在俯视时,第一导电性氧化物膜823的第一端面20a侧的端部从第一金属膜824的第一端面20a侧的端部朝向第二p电极822突出。在俯视时,第一导电性氧化物膜823的光出射侧的端部从第一金属膜824的光出射侧的端部朝向第二p电极822突出。在俯视时,从第一端面20a到第一导电性氧化物膜823的距离比从第一端面20a到第一金属膜824的距离小。在俯视时,第二导电性氧化物膜825的第二端面20b侧的端部从第二金属膜826的第二端面20b侧的端部朝向第一p电极821突出。在俯视时,第二导电性氧化物膜825的光反射侧的端部从第二金属膜826的光反射侧的端部朝向第一p电极821突出。在俯视时,从第二端面20b到第二导电性氧化物膜825的距离比从第二端面20b到第二金属膜826的距离小。第一导电性氧化物膜823及第二导电性氧化物膜825在俯视时至少具有与光导波路重叠的部分。在图1中,第一导电性氧化物膜823及第二导电性氧化物膜825至少具有与脊20c重叠的部分。第一导电性氧化物膜823及第二导电性氧化物膜825的从第一金属膜824及第二金属膜826突出的部分在俯视时至少其一部分与光导波路重叠。在图1中,第一p电极821和第二p电极822双方都具有导电性氧化物膜,但也可以是仅其中一个具有导电性氧化物膜的结构。

[0095] (第一保护膜71、第二保护膜72)

[0096] 半导体激光元件100也可以具有第一保护膜71和第二保护膜72。第一保护膜71设于氮化物半导体层叠体20的第一端面20a。第二保护膜72设于氮化物半导体层叠体20的第二端面20b。也可以不设置第一保护膜71和第二保护膜72中的一方或双方。第一保护膜71及第二保护膜72分别能够具有一个以上的电介质膜。

[0097] 在将非衍射光栅部312所在侧的端面即第一端面20a设为光出射端面的情况下,第一保护膜71的反射率例如能够设为0.1%以上,优选为5%以上。由此,与第一保护膜71为AR(非反射)涂层的情况相比,能够降低阈值电流。通过将第一端面20a设为光出射端面,能够将衍射光栅部311设为光反射侧的反射膜的一部分,能够增大光反射侧的反射率,因此能够使光输出增大。

[0098] 在想要进一步抑制阈值电流的上升的情况下,可以使第一保护膜71的反射率为18%以上,更优选为30%以上。在半导体激光元件100是射出500nm以上的峰值波长的激光的元件的情况下,与射出小于500nm的峰值波长的激光的元件的情况相比,存在谐振器内部的增益低的倾向。因此,如果是射出500nm以上的峰值波长的激光的半导体激光元件100,则第一保护膜71的反射率优选为30%以上且小于第二保护膜72的反射率。由此,能够降低阈值电流。在氮化物半导体层叠体20中设置周期结构,通过该周期结构使振荡波长的纵模单一化或接近单一的情况下,与并非如此的情况相比,激光振荡的封闭系数降低。第一保护膜71的反射率越高,越能够使封闭系数上升。第一保护膜71的反射率可以为60%以上,也可以为80%以上。第一保护膜71的反射率的上限能够设为小于第二保护膜72的反射率。

[0099] 第二保护膜72的反射率比第一保护膜71的反射率高。第二保护膜72的反射率例如能够设为95%以上,也可以为98%以上。第二保护膜72的反射率例如能够设为100%以下。第二保护膜72的反射率可以为100%。需要说明的是,第一保护膜71的反射率和第二保护膜72的反射率是指半导体激光元件100振荡的激光的峰值波长下的反射率。

[0100] 也可以将衍射光栅部311所在侧的端面即第二端面20b作为光出射端面。在该情况下,使第二保护膜72的反射率比第一保护膜71的反射率低。第一保护膜71的反射率例如能够设为85%以上,也可以为90%以上。第一保护膜71的反射率例如能够设为100%以下。第二保护膜72也可以是AR涂层。第二保护膜72的反射率可以为0.1%以上,也可以为5%以上。也可以不设置第二保护膜72。通过将第二端面20b设为光出射端面,能够不需要第二保护膜72。通过将第二端面20b设为光出射端面,能够使光输出稳定。这是因为在衍射光栅部311的凹部和凸部中产生有效折射率差,能够得到激光二极管的有效反射率。通过形成谐振方向D1的长度为100μm以上的衍射光栅部311,即使没有第二保护膜72,也能够充分地得到激光振荡所需的反射率。

[0101] (绝缘膜73)

[0102] 半导体激光元件100能够具有设于p侧氮化物半导体层50的表面的一部分的绝缘膜73。绝缘膜73例如是Si、Al、Zr、Ti、Nb、Ta等氧化物或氮化物等单层膜或多层膜。

[0103] (实施例1)

[0104] 作为实施例1,制作了以下所示的半导体激光元件100。在成为半导体激光元件100的外延晶片的制作中使用MOCVD装置。另外,原料中适当使用三甲基镓(TMG)、三乙基镓(TEG)、三甲基铝(TMA)、三甲基铟(TMI)、氨气(NH_3)、硅烷气体、双(环戊二烯基)镁(Cp_2Mg)。

[0105] 在c面GaN基板(基板60)上,使含有Si的$Al_{0.016}Ga_{0.984}N$层以1.8μm的厚度生长。

[0106] 接着,使含有Si的$Al_{0.08}Ga_{0.92}N$层以200nm的厚度生长。

[0107] 接着,使含有Si的$In_{0.04}Ga_{0.96}N$层以150nm的厚度生长。

[0108] 接着,使含有Si的$Al_{0.08}Ga_{0.92}N$层(n侧包覆层)以650nm的厚度生长。

[0109] 接着,使含有Si的GaN层以100nm的厚度生长。

[0110] 接着,使含有Si的$In_{0.03}Ga_{0.97}N$层(成为第一半导体部31a的第一半导体层)以150nm的厚度生长。

[0111] 通过MOCVD装置取出形成有以上的层的外延晶片,使用电子束描绘装置、反应性离子蚀刻(RIE)及溅射进行周期性的凹凸形状(周期结构)的制作。凹部的深度为83nm,凹部的宽度为39nm,衍射光栅周期Λ(凹凸的一个周期)为112nm。周期结构仅形成于衍射光栅部311。衍射光栅部311的沿着谐振方向D1的长度为300μm,非衍射光栅部312的沿着谐振方向D1的长度为500μm。

[0112] 在制作凹凸形状后,利用MOCVD装置使含有Si的GaN层(第二半导体部31b)以150nm的厚度生长。150nm是从凹凸形状的凸部的最上部到含有Si的GaN层(第二半导体部31b)的上表面的厚度。

[0113] 接着,使未掺杂的$In_{0.03}Ga_{0.97}N$层(第二n侧氮化物半导体层32)以240nm的厚度生长。从含有Si的$Al_{0.016}Ga_{0.984}N$层到该层为n侧氮化物半导体层30。

[0114] 接着,生长有源层40,该有源层40依次包含:由厚度1nm的掺杂Si的GaN层、厚度8nm的掺杂Si的$In_{0.05}Ga_{0.95}N$层、厚度1nm的掺杂Si的GaN层这三层构成的n侧势垒层(势垒层42),厚度2.1nm的未掺杂的$In_{0.25}Ga_{0.75}N$层(阱层41),厚度3.3nm的未掺杂的GaN层(势垒层42),厚度2.1nm的未掺杂的$In_{0.25}Ga_{0.75}N$层(阱层41),厚度2.3nm的未掺杂的GaN层(势垒层42)。

[0115] 接着,使未掺杂的组成倾斜层以150nm的厚度生长。对于组成倾斜层而言,使生长的始端为$In_{0.05}Ga_{0.95}N$,使生长的终端为GaN,以组成倾斜大致为直线状的方式使In组成实质

上单调减少地生长。

[0116] 接着,使含有Mg的$Al_{0.10}Ga_{0.90}N$层和$Al_{0.16}Ga_{0.84}N$层分别以3nm、7nm的厚度生长。

[0117] 接着,使未掺杂的$Al_{0.015}Ga_{0.985}N$层以125nm的厚度生长。

[0118] 接着,使含有Mg的$Al_{0.015}Ga_{0.985}N$层以325nm的厚度生长。

[0119] 接着,使含有Mg的GaN层以15nm的厚度生长。从未掺杂的组成倾斜层到该层为p侧氮化物半导体层50。

[0120] 然后,通过MOCVD装置取出形成有以上的层的外延晶片,使用光刻法、RIE和溅射,形成脊20c、p电极82和n电极81等。如图1及图2所示,形成第一导电性氧化物膜823、第一金属膜824、第二导电性氧化物膜825和第二金属膜826作为p电极82。如图4所示,p侧氮化物半导体层50为使用光刻法和RIE而具有第一接触层511和第二接触层512的结构。

[0121] 然后,进行单片化,在第一端面20a形成第一保护膜71,在第二端面20b形成第二保护膜72,得到半导体激光元件100。第一保护膜71的反射率为90%,第二保护膜72的反射率为97%。即,在实施例1的半导体激光元件100中,第一端面20a是光出射端面。半导体激光元件100的脊宽度为2μm,谐振器长度为800μm,元件宽度为200μm。

[0122] 在实施例1的半导体激光元件100中,在n电极81与非衍射光栅部312之上设置的第二金属膜826之间施加电压,注入500mA的电流,结果实施例1的半导体激光元件100振荡出约528nm的峰值波长的激光。在n电极81与设于衍射光栅部311上的第一金属膜824之间未施加电压。将实施例1的半导体激光元件100的频谱示于图6。图6的横轴是波长。图6的纵轴以强度比(单位dB)表示光强度,将最大的峰值设为0dB来估计侧模抑制比(SMSR)。实施例1的半导体激光元件100的侧模抑制比大于20dB。实施例1的半导体激光元件100的频谱宽度约为3pm。使用的频谱分析仪的分辨率为3pm左右,因此可以说得到了极窄的频谱宽度。根据有效折射率和谐振器长度计算出的相邻的纵模间的间隔为0.06nm至0.07nm左右,但未观察到被认为是相邻的纵模引起的较大的峰值,侧模抑制比至少大于20dB,因此可以说实施例1的半导体激光元件100以单一纵模振荡。

[0123] 图7表示通过STEM得到的实施例1的半导体激光元件的一部分的Z对比度像。图7是衍射光栅部311中的包含第一半导体部31a及第二半导体部31b在内的部分的截面的Z对比度像。图7是沿着谐振方向D1的方向的截面。在Z对比度像中,能够观察组成的差作为图像中的显示浓度的差。在图7中,具有向下方凹陷的凹部的部分为第一半导体部31a,填埋该凹部而设于其上的部分为第二半导体部31b。在图7中,第一半导体部31a和第二半导体部31b以不同的显示浓度表示,可知它们是不同的组成。

[0124] (实施例2)

[0125] 作为实施例2,不设置第二保护膜72,制作除将第一保护膜71的反射率设为90%以外与实施例1同样的半导体激光元件。即,在实施例2的半导体激光元件中,第二端面20b是光出射端面。

[0126] 在实施例2的半导体激光元件中,在n电极81与设于非衍射光栅部312之上的第二金属膜826之间施加电压而注入500mA的电流,在n电极81与设于衍射光栅部311之上的第一金属膜824之间也施加电压而注入100mA～300mA的电流。将实施例2的半导体激光元件的频谱示于图8。图8的横轴是波长。图8的纵轴以强度比(单位dB)表示光强度,将最大的峰值设为0dB来估计侧模抑制比(SMSR)。图8中的五个峰是从左侧起依次将在n电极81与第一金属

膜824之间流动的电流设为100mA、150mA、200mA、250mA、300mA时的频谱。实施例2的半导体激光元件的侧模抑制比大于20dB。实施例2的半导体激光元件100通过在n电极81与第一金属膜824之间注入100mA的电流，振荡出约528.5nm的峰值波长的激光。实施例2的半导体激光元件100通过在n电极81与第一金属膜824之间注入300mA的电流，实施例2的半导体激光元件振荡出约530nm的峰值波长的激光。可以说实施例2的半导体激光元件以单一纵模振荡，进而通过使注入电流变化而能够进行波长控制。

[0127] 在本说明书中，通过至此说明的内容，公开了以下的技术事项。

[0128] (项1)

[0129] 一种半导体激光元件，

[0130] 具备氮化物半导体层叠体，其具有第一端面、第二端面、以及将所述第一端面与所述第二端面连接的光导波路，

[0131] 所述氮化物半导体层叠体具有：

[0132] 第一n侧氮化物半导体层；

[0133] 第二n侧氮化物半导体层，其配置于所述第一n侧氮化物半导体层的上方；

[0134] 有源层，其具有配置于所述第二n侧氮化物半导体层的上方的一个以上的阱层及一个以上的势垒层；以及

[0135] p侧氮化物半导体层，其配置于所述有源层的上方，

[0136] 所述第一n侧氮化物半导体层具有：衍射光栅部，其设有折射率沿着所述光导波路的谐振方向周期性地变化的周期结构；以及非衍射光栅部，其位于所述衍射光栅部与所述第一端面之间，且未设置所述周期结构，

[0137] 所述有源层具有：n侧阱层，其位于所述一个以上的阱层中的最靠近所述第二n侧氮化物半导体层的位置；以及n侧势垒层，其位于所述一个以上的势垒层中的所述n侧阱层与所述第二n侧氮化物半导体层之间，

[0138] 所述第二n侧氮化物半导体层是具有In和Ga的氮化物半导体层，

[0139] 所述第二n侧氮化物半导体层的厚度比所述n侧势垒层的厚度大。

[0140] (项2)

[0141] 根据项1所述的半导体激光元件，其中，

[0142] 所述衍射光栅部的沿着谐振方向的长度比所述非衍射光栅部的沿着谐振方向的长度小。

[0143] (项3)

[0144] 根据项1或2所述的半导体激光元件，其中，具备：

[0145] 第一p电极，其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面且所述衍射光栅部的上方；以及

[0146] 第二p电极，其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面且在所述非衍射光栅部的上方远离所述第一p电极的位置。

[0147] (项4)

[0148] 根据项3所述的半导体激光元件，其中，

[0149] 所述第一p电极具有：第一导电性氧化物膜，其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面；以及第一金属膜，其配置于所述第一导电性氧化物膜的上方，

[0150] 所述第二p电极具有:第二导电性氧化物膜,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面;以及第二金属膜,其配置于所述第二导电性氧化物膜的上方,

[0151] 在俯视时,所述第一导电性氧化物膜的第一端面侧的端部及所述第二导电性氧化物膜的第二端面侧的端部中的一方或双方位于所述第一金属膜的第一端面侧的端部与所述第二金属膜的第二端面侧的端部之间。

[0152] (项5)

[0153] 根据项1～4中任一项所述的半导体激光元件,其中,

[0154] 所述第二n侧氮化物半导体层的折射率比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率高,

[0155] 所述第二n侧氮化物半导体层的厚度比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的厚度大。

[0156] (项6)

[0157] 根据项1～5中任一项所述的半导体激光元件,其中,

[0158] 从所述第一n侧氮化物半导体层到所述阱层的距离大于300nm。

[0159] (项7)

[0160] 根据项1～6中任一项所述的半导体激光元件,其中,

[0161] 所述第一n侧氮化物半导体层具有:由包含Ga的氮化物半导体构成的多个第一部分;以及由包含In和Ga的氮化物半导体构成的多个第二部分,

[0162] 所述衍射光栅部的所述周期结构通过所述多个第一部分和所述多个第二部分沿着所述谐振方向交替地配置而构成。

[0163] (项8)

[0164] 根据项1～7中任一项所述的半导体激光元件,其中,所述氮化物半导体层叠体具有:

[0165] n侧包覆层,其配置在所述第一n侧氮化物半导体层的与所述有源层相反的一侧;以及

[0166] 第三n侧氮化物半导体层,其配置在所述n侧包覆层与所述第一n侧氮化物半导体层之间,具有所述n侧包覆层的折射率与所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率之间的折射率。

[0167] (项9)

[0168] 根据项8所述的半导体激光元件,其中,

[0169] 所述氮化物半导体层叠体具有配置在所述第二n侧氮化物半导体层与所述第一n侧氮化物半导体层之间的第四n侧氮化物半导体层,

[0170] 所述第四n侧氮化物半导体层的折射率比所述第二n侧氮化物半导体层的折射率低,并且,比所述第一n侧氮化物半导体层的所述衍射光栅部的所述周期结构的平均折射率高。

[0171] (项10)

[0172] 一种半导体激光元件,具备:

[0173] 氮化物半导体层叠体,其具有第一端面、第二端面、以及将所述第一端面与所述第二端面连接的光导波路;

[0174] 第一p电极;以及

[0175] 第二p电极,

[0176] 所述氮化物半导体层叠体具有:

[0177] 第一n侧氮化物半导体层;

[0178] 第二n侧氮化物半导体层,其配置于所述第一n侧氮化物半导体层的上方;

[0179] 有源层,其具有配置于所述第二n侧氮化物半导体层的上方的一个以上的阱层及一个以上的势垒层;以及

[0180] p侧氮化物半导体层,其配置于所述有源层的上方,

[0181] 所述第一n侧氮化物半导体层具有:衍射光栅部,其设有折射率沿着所述光导波路的谐振方向周期性地变化的周期结构;以及非衍射光栅部,其位于所述衍射光栅部与所述第一端面之间,且未设置所述周期结构,

[0182] 所述第一p电极具有:第一导电性氧化物膜,其设于所述p侧氮化物半导体层的上表面且所述衍射光栅部的上方;以及第一金属膜,其配置于所述第一导电性氧化物膜的上方,

[0183] 所述第二p电极具有:第二导电性氧化物膜,其在所述p侧氮化物半导体层的上表面且所述非衍射光栅部的上方与所述第一导电性氧化物膜分离地设置;以及第二金属膜,其配置于所述第二导电性氧化物膜的上方,

[0184] 在俯视时,所述第一导电性氧化物膜的所述第一端面侧的端部及所述第二导电性氧化物膜的所述第二端面侧的端部中的一方或双方位于所述第一金属膜与所述第二金属膜之间。

[0185] 附图标记说明

[0186] 10 光导波路

[0187] 20 氮化物半导体层叠体

[0188] 20a 第一端面

[0189] 20b 第二端面

[0190] 20c 脊

[0191] 30n 侧氮化物半导体层

[0192] 31 第一n侧氮化物半导体层

[0193] 31a 第一半导体部

[0194] 31b 第二半导体部

[0195] 311 衍射光栅部

[0196] 312 非衍射光栅部

[0197] 32 第二n侧氮化物半导体层

[0198] 33 第三n侧氮化物半导体层

[0199] 34 第四n侧氮化物半导体层

[0200] 35 第五n侧氮化物半导体层

[0201] 40 有源层

[0202] 41 阱层

[0203] 42 势垒层

[0204] 50p 侧氮化物半导体层

[0205] 511 第一接触层

[0206] 512 第二接触层

[0207] 60 基板

[0208] 71 第一保护膜

[0209] 72 第二保护膜

[0210] 73 绝缘膜

[0211] 81n 电极

[0212] 82p 电极

[0213] 821 第一p电极

[0214] 822 第二p电极

[0215] 823 第一导电性氧化物膜

[0216] 824 第一金属膜

[0217] 825 第二导电性氧化物膜

[0218] 826 第二金属膜

[0219] 100 半导体激光元件。

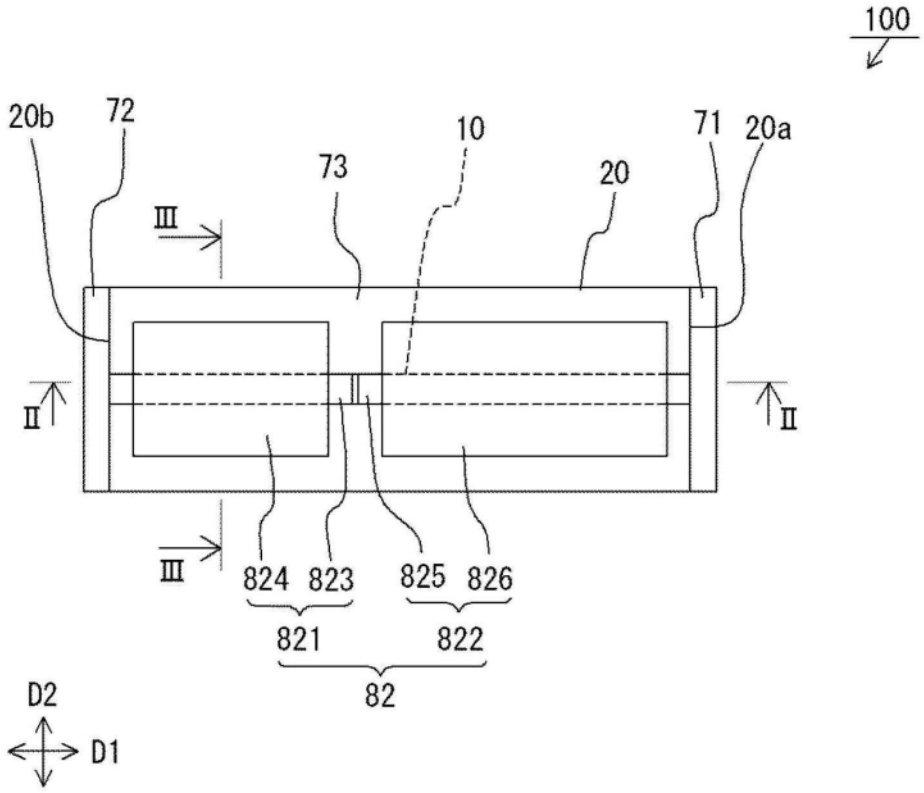


图1

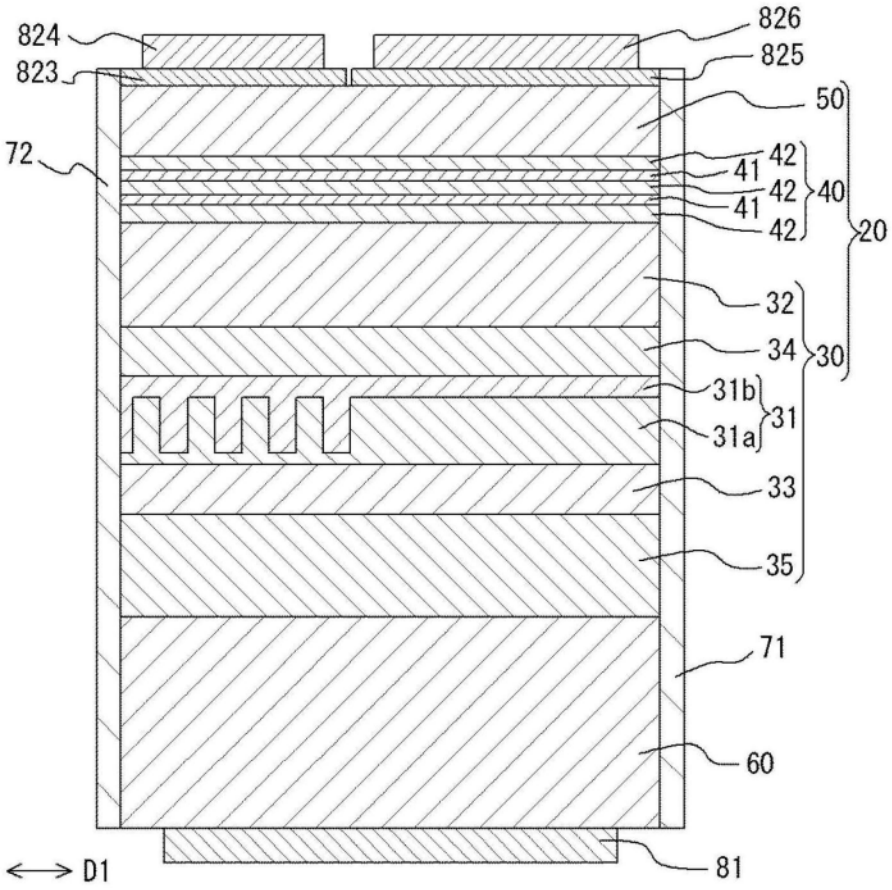

824
823
826
825
50
72
42
41
42
41
42
40
20
32
34
30
31b
31a
31
33
35
71
60
81
D1

图2

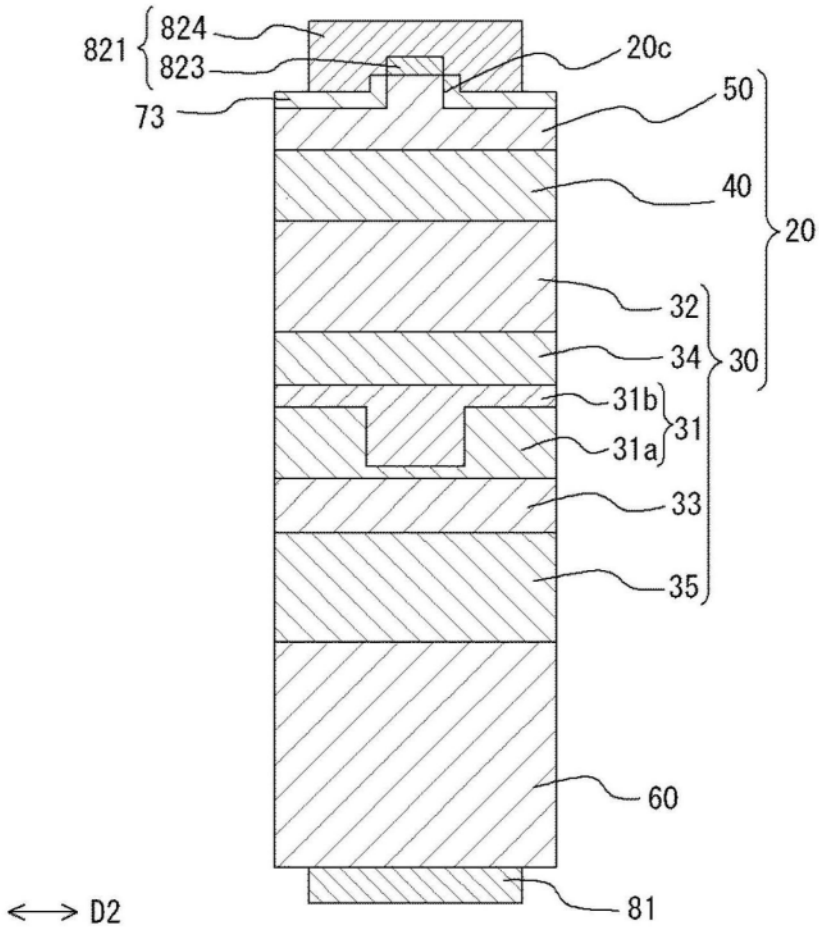

821
824
823
73
20c
50
40
20
32
34
30
31b
31
31a
33
35
60
81
D2

图3

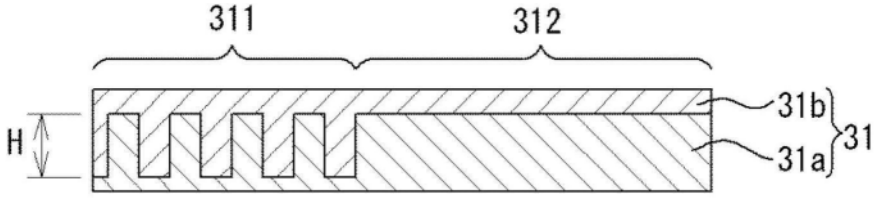

311
312
H
31b
31a
31

图4

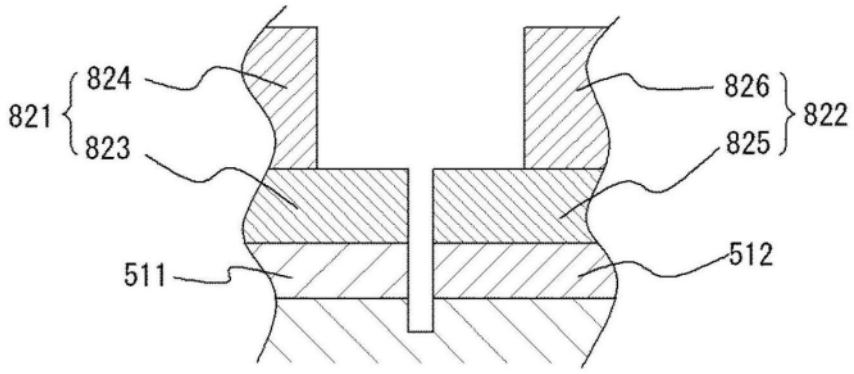

824
821
823
826
825
822
511
512

图5

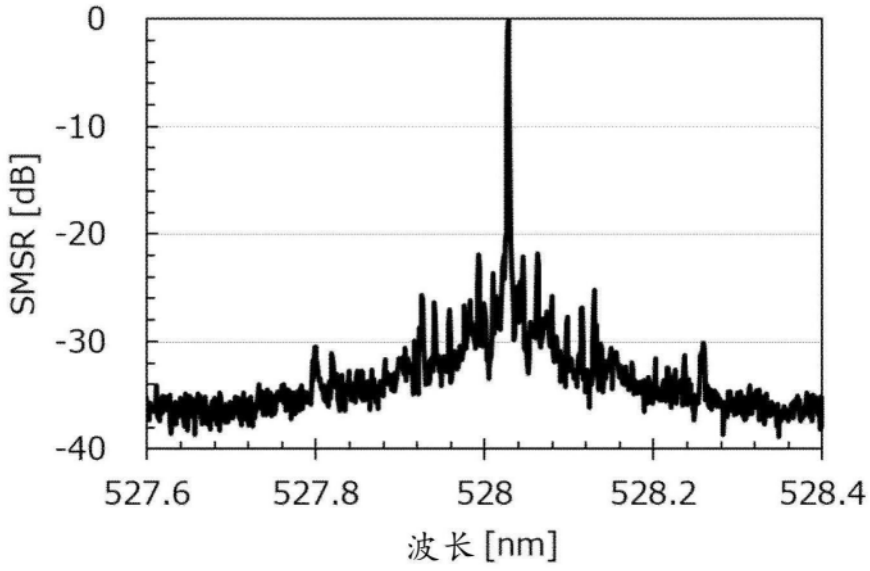

0
-10
-20
-30
-40
SMSR [dB]
527.6
527.8
528
528.2
528.4
波长 [nm]

图6

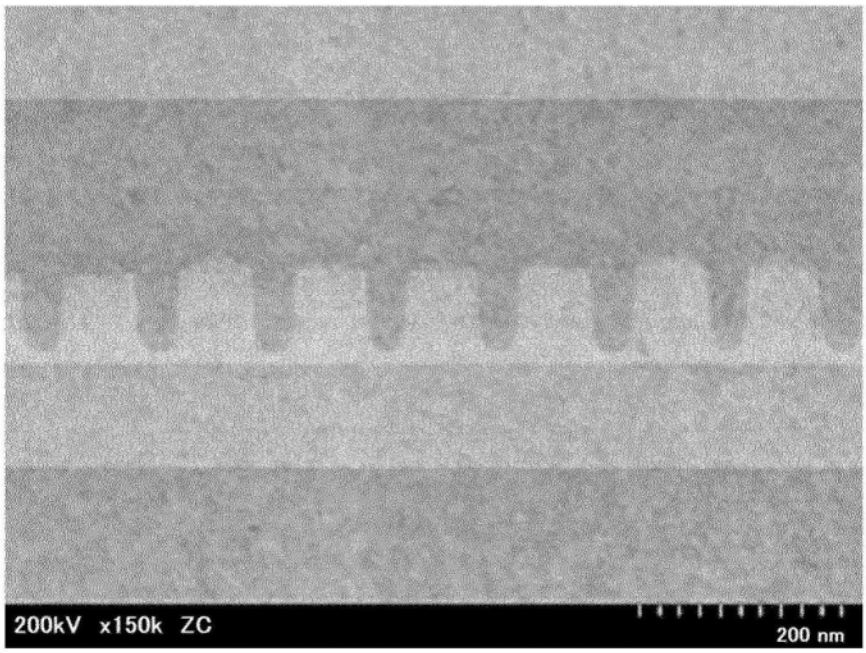

200kV x150k ZC
200 nm

图7

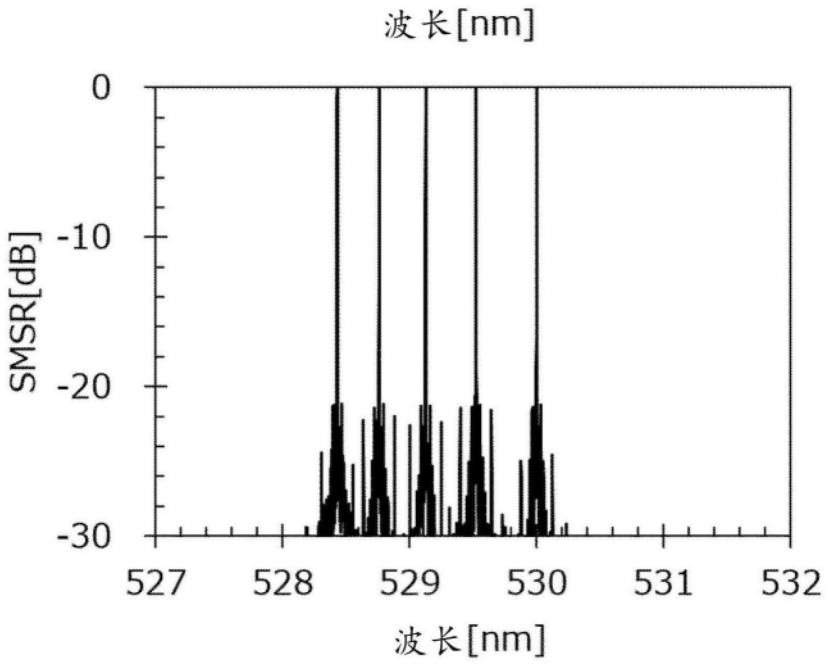

波长[nm]
0
-10
-20
-30
SMSR[dB]
527
528
529
530
531
532
波长[nm]

图8