



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104081599 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 01

(21) 申请号 201280068530. 9

代理人 吴俊

(22) 申请日 2012. 11. 29

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

2011-264908 2011. 12. 02 JP

2012-234113 2012. 10. 23 JP

H01S 5/183 (2006. 01)

H03L 7/26 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 07. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2012/081582 2012. 11. 29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/081176 EN 2013. 06. 06

(71) 申请人 株式会社理光

地址 日本东京都

(72) 发明人 铃木亮一郎 佐藤俊一

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

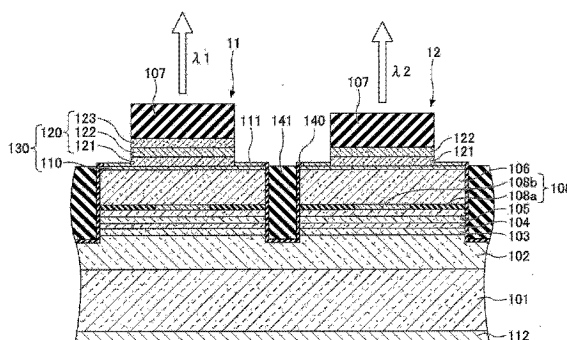
权利要求书2页 说明书21页 附图19页

(54) 发明名称

面发射激光器元件、面发射激光器元件制造方法和原子振荡器

(57) 摘要

本发明公开一种面发射激光器元件,包括半导体基底和构造为以彼此不同的波长发光的多个面发射激光器,每个面发射激光器包括布置在半导体基底上的下布拉格反射镜,布置在下布拉格反射镜上的谐振器、布置在谐振器上的上布拉格反射镜、以及布置在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中的波长调节层,包含在面发射激光器中的波长调节层具有彼此不同的厚度,所述波长调节层中的至少一个波长调节层包括由两种材料构成的调节层,波长调节层所包括的调节层的数目彼此不同。



1. 一种面发射激光器元件,包括半导体基底和构造为以彼此不同的波长发光的多个面发射激光器,每个面发射激光器包括布置在所述半导体基底上的下布拉格反射镜,布置在所述下布拉格反射镜上的谐振器、布置在所述谐振器上的上布拉格反射镜、以及布置在所述上布拉格反射镜或所述下布拉格反射镜中的波长调节层,包含在所述面发射激光器中的所述波长调节层具有彼此不同的厚度,所述波长调节层中的至少一个波长调节层包括由两种材料构成的调节层,所述波长调节层所包括的所述调节层的数目彼此不同。

2. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,所述波长调节层中的至少一个波长调节层构造为满足 $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$ 的条件,其中, P 是所述至少一个波长调节层的光学厚度, λ 是从每个面发射激光器发射的光的波长, N 是正整数。

3. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中, M 是包含在所述至少一个波长调节层中的调节层的数目,在 M 为奇数的情况下,从布置有谐振器的一侧算起,所述至少一个波长调节层的光学厚度为 $\lambda/4$ 的位置是从调节层的顶端算起的第 $(M+1)/2$ 个调节层,或者,在 M 是偶数的情况下,该位置是从调节层的顶端算起的第 $M/2$ 或 $(M/2)+1$ 个调节层。

4. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,所述波长调节层中的至少一个波长调节层包括波长调节区和相位调节区,所述波长调节区包括由两种材料构成的调节层。

5. 如权利要求 4 所述的面发射激光器元件,其中,所述波长调节层中的至少一个波长调节层包括布置在比波长调节区更靠近谐振器的一侧的接触层,并且该接触层与一个电极连接。

6. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,所述波长调节层中的至少一个波长调节层布置在上布拉格反射镜中。

7. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,所述至少一个波长调节层中的一个调节层由磷化镓铟 (GaInP) 构成,另一个调节层由磷砷化镓 (GaAsP) 或砷化镓 (GaAs) 构成。

8. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,所述上布拉格反射镜包括从谐振器一侧开始按顺序布置的第一上布拉格反射镜、所述波长调节层和第二上布拉格反射镜,所述第二上布拉格反射镜由交替层压的具有不同折射率的介质层组成。

9. 如权利要求 1 所述的面发射激光器元件,其中,彼此不同的波长中至少一个波长在 893.6 纳米至 895.6 纳米、851.3 纳米至 853.3 纳米、794.0 纳米至 796.0 纳米、或 779.2 纳米至 781.2 纳米范围之内。

10. 一种制造面发射激光器元件的方法,所述面发射激光器元件包括构造为以彼此不同的波长发光的多个面发射激光器,所述方法包括以下步骤:在半导体基底上形成下布拉格反射镜;在下布拉格反射镜上形成谐振器;在谐振器上形成上布拉格反射镜;在下布拉格反射镜或上布拉格反射镜上层压由两种材料构成的调节层,以形成波长调节层;使用第一蚀刻液去除波长调节层中的一个调节层;以及使用不同于第一蚀刻液的第二蚀刻液去除波长调节层中的另一个调节层,从而使包含在面发射激光器中的波长调节层具有彼此不同的厚度,并且所述波长调节层所包含的所述调节层的数目彼此不同。

11. 如权利要求 10 所述的制造面发射激光器元件的方法,其中,波长调节层中的一个调节层由磷化镓铟 (GaInP) 构成,另一个调节层由磷砷化镓 (GaAsP) 或砷化镓 (GaAs) 构成。

12. 如权利要求 10 所述的制造面发射激光器元件的方法,其中,上布拉格反射层形成包括第一上布拉格反射镜和第二布拉格反射镜,其中,第一上布拉格反射镜、波长调节层和第二布拉格反射镜从谐振器一侧开始按顺序形成,第二上布拉格反射镜通过交替地层压具有不同折射率的介质层而形成。

13. 一种原子振荡器,包括:权利要求 1 所述的面发射激光器元件;包含由面发射激光器元件发射的光照射的碱金属的碱金属腔体;配置为检测透过碱金属腔体的光的光检测器;以及,配置为根据光检测器检测的光控制面发射激光器元件的振荡频率的控制器。

14. 如权利要求 13 所述的原子振荡器,其中,所述碱金属包括铷或铯。

面发射激光器元件、面发射激光器元件制造方法和原子振荡器

技术领域

[0001] 本发明的至少一个方面涉及至少一种面发射激光器元件、一种制造面发射激光器元件的方法、以及一种原子振荡器。

背景技术

[0002] 面发射激光器 (VCSEL : 垂直腔面发射激光器) 是沿相对于基底表面的垂直方向发射光线的半导体激光器, 与边发射型半导体激光器相比, 它具有价格低、耗电量小、结构紧凑、性能高等特点, 并且可随时进行二维集成。

[0003] 面发射激光器具有谐振腔区, 该谐振腔区包括活性层以及由分别位于谐振腔区上方和下方的上反射镜和下反射镜构成的谐振器结构 (参见例如日本专利申请公开文件 2008-53353)。因此, 谐振腔器形成有预定的光学厚度, 使得波长为 λ 的光在谐振腔区中振荡, 以获得振荡波长为 λ 的光。上反射镜和下反射镜通过交替地层压并形成具有不同折射率的材料 (即, 低折射率材料和高折射率材料) 而形成, 并且其形成方式使得低折射率材料和高折射率材料的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$, 以获得波长 λ 条件下的高反射能力。

[0004] 而且, 还揭示了芯片中针对不同波长的构成元件 (参见例如日本专利 2751814、日本专利申请公开文件 2000-058958、日本专利申请公开文件 11-330631 和日本专利申请公开文件 2008-283129)。通过在面发射激光器元件的谐振腔区上交替层压用于不同蚀刻液的两种材料以形成波长调节层、并利用湿蚀刻法针对每个面发射激光器逐一消除这种波长调节层以改变波长调节层的厚度, 能够形成多波长面发射激光器元件。

[0005] 同时, 还有作为定时极其精确的时钟的原子钟 (原子振荡器), 并研究了对这种原子钟进行小型化的技术。原子钟是以构成碱金属原子的电子的跃迁能量为基础的振荡器, 特别是, 在没有干扰的条件下, 碱金属原子中的电子的跃迁能量值非常精确, 因而能够获得比石英晶体振荡器高几个数量级的频率稳定性。

[0006] 有多种此类原子钟, 在这些原子钟中, 相干布居捕获 (CPT) 型原子钟的频率稳定性比常规石英振荡器的高约三个数量级, 并且还可以具有非常紧凑的结构和极低的电力消耗 (参见例如 Applied Physics Letters (应用物理学快报) 第 85 期第 1460-1462 页 (2004)、Comprehensive Microsystems (微系统大全) 第 3 期第 571-612 页、以及日本专利申请公开文件 2009-188598)。

[0007] CPT 型原子钟具有激光器元件、封装有碱金属的腔体, 以及用于接收透过该腔体的激光的光接收元件, 其中, 对激光进行调制, 并通过在特定波长的载波两侧同时出现的边带波长对其进行激励从而同时获得碱金属原子的两次电子跃迁。这种跃迁的跃迁能量是恒定的, 当激光的边带波长与对应于跃迁能量的波长重合时, 会发生透明度提高现象, 在该现象中, 碱金属的光吸收率降低。因此, 这种原子钟的特征在于, 通过调节载波的波长来降低碱金属的光吸收率, 并且由光接收元件检测的信号被反馈给调制器, 从而调制器对激光器元件发射的激光的调制频率进行调节。另外, 在这种原子钟中, 激光器元件发射的激光通过准

直透镜和 $\lambda/4$ 波片照射封装有碱金属的腔体。

[0008] 对于这种很紧凑的原子钟的光源,具有极低功耗和很高波长质量的紧凑型面发射激光器比较适合,并且相对于特定波长,载波的波长精度应为 ± 1 纳米(参见例如 Proc. of SPIE(国际光学工程学会论文集)第 6132 卷 613208-1(2006))。

[0009] 同时,当把面发射激光器元件用于原子钟时,可能需要为每个面发射激光器提供较窄的波长间隔(5 纳米)。因此,在面发射激光器的谐振腔区上形成有波长调节层,相应地,当形成这种具有很窄的波长间隔的面发射激光器时,可能需要通过适当的方式形成膜层,使波长调节层中的每层膜的厚度非常薄。但是,由于在形成半导体层时生长速率差异以及膜厚分布不规则等问题,在形成波长调节层时,难以保证每层膜的厚度极薄并且一致。

[0010] 具体而言,如日本专利 2751814 所示,当在谐振器区上形成波长调节层并且振荡波长的预定间隔为 5 纳米以下时,波长调节层的膜厚可能需要为 1.2 纳米以下,但是采用当前的化合物半导体晶体生长技术,很难控制这么薄的膜厚。因而,即使膜厚发生轻微变化,振荡波长也可能受到影响。

发明内容

[0011] 根据本发明的一个方面,本发明提供一种面发射激光器元件,包括半导体基底和构造为以彼此不同的波长发光的多个面发射激光器,每个面发射激光器包括布置在半导体基底上的下布拉格反射镜,布置在下布拉格反射镜上的谐振器、布置在谐振器上的上布拉格反射镜、以及布置在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中的波长调节层,包含在面发射激光器中的波长调节层具有彼此不同的厚度,所述波长调节层中的至少一个波长调节层包括由两种材料构成的调节层,波长调节层所包括的调节层的数目彼此不同。

[0012] 根据本发明的另一个方面,本发明提供一种制造面发射激光器元件的方法,所述面发射激光器元件包括构造为以彼此不同的波长发光的多个面发射激光器,所述方法包括以下步骤:在半导体基底上形成下布拉格反射镜,在下布拉格反射镜上形成谐振器,在谐振器上形成上布拉格反射镜,在下布拉格反射镜或上布拉格反射镜上层压由两种材料构成的调节层,以形成波长调节层,使用第一蚀刻液去除波长调节层中的一个调节层,使用不同于第一蚀刻液的第二蚀刻液去除波长调节层中的另一个调节层,从而使包含在面发射激光器中的波长调节层具有彼此不同的厚度,并且波长调节层所包含的调节层的数目彼此不同。

[0013] 根据本发明的另一个方面,本发明提供一种原子振荡器,该原子振荡器包括上述的面发射激光器元件、包含由面发射激光器元件发射的光照射的碱金属的碱金属腔体、配置为检测透过碱金属腔体的光的光检测器、以及配置为根据光检测器检测的光控制面发射激光器元件的振荡频率的控制器。

附图说明

[0014] 图 1 是第一实施例中的面发射激光器元件的俯视图。

[0015] 图 2 是第一实施例中的面发射激光器元件的示意图。

[0016] 图 3 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的结构图。

[0017] 图 4A 和图 4B 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图(1)。

[0018] 图 5A 和图 5B 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图(2)。

- [0019] 图 6A 和图 6B 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (3)。
- [0020] 图 7A 和图 7B 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (4)。
- [0021] 图 8 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (5)。
- [0022] 图 9 是第一实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (6)。
- [0023] 图 10 是第二实施例中的面发射激光器元件的俯视图。
- [0024] 图 11 是第二实施例中的面发射激光器元件的示意图。
- [0025] 图 12A 和图 12B 是第二实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (1)。
- [0026] 图 13A 和图 13B 是第二实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图 (2)。
- [0027] 图 14 是第三实施例中的面发射激光器元件的俯视图。
- [0028] 图 15A 和图 15B 是第三实施例中的面发射激光器元件的波长调节层的示意图。
- [0029] 图 16 是第一波长调节层和第二波长调节层与振荡波长之间的关系图。
- [0030] 图 17A 和图 17B 是第三实施例中的面发射激光器元件的第一波长调节层的示意图 (1)。
- [0031] 图 18A 和图 18B 是第三实施例中的面发射激光器元件的第一波长调节层的示意图 (2)。
- [0032] 图 19A 和图 19B 是第三实施例中的面发射激光器元件的第一波长调节层的示意图 (3)。
- [0033] 图 20 是第四实施例中的面发射激光器元件的俯视图。
- [0034] 图 21 是第五实施例中的原子振荡器的结构图。
- [0035] 图 22 是 CPT 型原子钟的原子能级的示意图。
- [0036] 图 23 是面发射激光器调制时的输出波长的示意图。
- [0037] 图 24 是调制频率与透射光量之间的关系图。

具体实施方式

[0038] 下面将说明本发明的实施例。另外,相同的构件以相同的标号示出,并省略其说明。

[0039] [第一实施例]

[0040] (面发射激光器元件的结构)

[0041] 下面说明第一实施例中的面发射激光器元件。如图 1 和图 2A 所示,此实施例的面发射激光器元件 10 具有多个面发射激光器,具体而言,具有第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13、以及第四面发射激光器 14。另外,为了更好地说明此实施例,图 1 进行了适当简化,其中,略去了接触层等部分的描述。另外,图 2 是沿图 1 中的虚线 1A-1B 剖切而获得的截面图。

[0042] 此实施例的面发射激光器元件 10 形成在 300 微米方形半导体芯片上,其中,形成在该半导体芯片上的第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的每一个都与相应的电极极板连接。具体而言,电极极板 21 与第一面发射激光器 11 连接,电极极板 22 与第二面发射激光器 12 连接,电极极板 23 与第三面发射激光器 13 连接,电极极板 24 与第四面发射激光器 14 连接。

[0043] 而且,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四

面发射激光器 14 发出具有彼此不同的波长的光。即,第一面发射激光器 11 的发射波长为 λ_1 ,第二面发射激光器 12 的发射波长为 λ_2 ,第三面发射激光器 13 的发射波长为 λ_3 ,第四面发射激光器 14 的发射波长为 λ_4 ,这些波长彼此不同。

[0044] 另外,本实施例中的面发射激光器元件用于实现具有 894.6 纳米振荡波长的面发射激光器,其中,四个面发射激光器形成在 300 微米方形半导体芯片(基底)上。由于能在面发射激光器元件的很窄区域中形成多个面发射激光器,因此即使在切换发光的面发射激光器时,发光点的位置变化也极小。因此,基底的尺寸是 500 微米 $\times$ 500 微米以下,因而不需要对光轴等进行调节,或者调节时极其方便。

[0045] 对于本实施例中的面发射激光器元件,在由半导体等材料构成的基底 101 上交替地层压并形成具有不同折射率的半导体材料,以形成下布拉格反射镜 102,并在下布拉格反射镜 102 上形成下分隔层 103、活性层 104、以及上分隔层 105。在上分隔层 105 上形成第一上布拉格反射镜 106、接触层 110、波长调节区 120 和第二上布拉格反射镜 107。而且,在接触层 110 上形成上电极 111 并与接触层 110 连接,在基底 101 的背面形成下电极 112。虽然在此实施例中波长调节层 130 由接触层 110 和波长调节区 120 组成,但在接触层 110 形成时不与波长调节区邻接的情况中,波长调节层 130 可仅由波长调节区 120 组成。另外,在基底 101 上形成的半导体层(即,下布拉格反射镜 102、下分隔层 103、活性层 104、上分隔层 105、第一上布拉格反射镜 106、接触层 110 和波长调节区)是通过外延生长半导体材料而形成的。具体而言,这些半导体层是通过金属有机化学气相沉积(MOCVD)或分子束外延(MBE)法外延生长而形成的。另外,在本说明书中所述的布拉格反射镜可称为分布布拉格反射镜(DBR)。

[0046] 而且,第二上布拉格反射镜 107 形成在每个面发射激光器的波长调节层 130 上。第二上布拉格反射镜 107 是由氧化物、氮化物、氟化物等构成的介质膜,并且是通过交替地层压并形成高折射率材料薄膜和低折射率材料薄膜而形成的。另外,在此实施例中,上布拉格反射镜由第一上布拉格反射镜 106、波长调节层 130 和第二上布拉格反射镜 107 组成。而且,波长调节层 130 可在下布拉格反射镜 102 内形成。

[0047] 在此实施例的面发射激光器元件中,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的波长调节层 130 中的波长调节区 120 的厚度彼此不同。具体而言,如图 3 所示,波长调节区 120 形成在接触层 110 上,其中,波长调节区 120 由第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 组成。在此实施例中,第一调节层 121 和第三调节层 123 由磷化镓铟(GaInP)构成,而第二调节层 122 由磷砷化镓(GaAsP)构成。另外,用于制造第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 的材料可以彼此相反。

[0048] 因此,在此实施例的面发射激光器元件中,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四表面发射激光器 14 中的波长调节区 120 的厚度彼此不同。

[0049] 具体而言,在第一面发射激光器 11 中,第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 形成在波长调节区 120 上,其中,发射的光的波长为 λ_1 ,该波长与波长调节层 130 的厚度对应,波长调节层 130 的厚度是波长调节区 120 与接触层 110 的厚度的和。

[0050] 而且,在第二面发射激光器 12 中,第一调节层 121 和第二调节层 122 形成在波长

调节区 120 中,其中,发射的光的波长为 λ_2 ,该波长与波长调节层 130 的厚度对应,波长调节层 130 的厚度是波长调节区 120 与接触层 110 的厚度的和。

[0051] 而且,在第三面发射激光器 13 中,第一调节层 121 形成在波长调节区 120 中,其中,发射的光的波长为 λ_3 ,该波长与波长调节层 130 的厚度对应,波长调节层 130 的厚度是这样的波长调节区 120 与接触层 110 的厚度的和。

[0052] 而且,在第四面发射激光器 14 中未形成波长调节区 120,发射的光的波长为 λ_4 ,该波长与波长调节层 130 的厚度对应,波长调节层 130 的厚度等于接触层 110 的厚度。

[0053] 因此,可以逐渐改变第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的波长调节层 130 的厚度,并以与至少一个或每个波长调节层 130 的厚度对应的波长发光。

[0054] (制造面发射激光器元件的方法)

[0055] 在此实施例中,使用 n 型砷化镓 (n-GaAs) 基底作为基底 101。而且,下布拉格反射镜 102 是通过层压 35.5 对 n-铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n-铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成,并且每层的光学薄膜的厚度为 $\lambda/4$ 。

[0056] 由砷化镓铟 (GaInAs) 量子阱层/磷砷化镓铟 (GaInPAs) 阻挡层组成的活性层 104 通过由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的下分隔层 103 形成在下布拉格反射镜 102 上。由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的上分隔层 105 和第一上布拉格反射镜 106 形成在活性层 104 上。另外,具有一个波长光学厚度的谐振器区由下分隔层 103、活性层 104 和上分隔层 105 组成。

[0057] 第一上布拉格反射镜 106 通过层压 6 对 n-铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n-铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层形成,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。第一上布拉格反射镜 106 的低折射率层之一由铝砷限流层 108 组成,其中,限流层 108 的周围部分被选择性地氧化,以形成选择性氧化区 108a,并在限流层的中央部分形成未氧化的限流区 108b。

[0058] 由 p 型砷化镓 (p-GaAs) 构成的接触层 110 和由第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 组成的波长调节区 120 形成在第一上布拉格反射镜 106 上。另外,如上所述,波长调节区 120 中的层的一部分被去除,从而与每个面发射激光器发出的光的波长对应。

[0059] 此实施例的面发射激光器元件中的每个面发射激光器具有台面结构,其中,这种台面结构是通过蚀刻法去除待形成的面发射激光器之间的半导体层而形成的。在形成台面结构后,在水蒸汽中进行热处理,以氧化台面结构周围的限流层 108,从而在周围部分形成选择性氧化区 108a(氧化区),在中央部分形成未氧化的限流区 108b。即,限流层 108 由氧化的选择性氧化区 108a 和未氧化的限流区 108b 组成,以形成限流结构。另外,从台面结构顶端看的形状可为圆形、椭圆形、方形或长方形。

[0060] 而且,第二上布拉格反射镜 107 形成在波长调节层 130 上,在波长调节层 130 中,与每个面发射激光器对应通过蚀刻进行去除操作。第二上布拉格反射镜 107 通过层压 8.5 对二氧化钛高折射率层和二氧化硅低折射率层而形成,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。另外,第二上布拉格反射镜 107 也可以仅由介质材料构成,并且通过层压高折射率材料和低折射率材料而形成,其中,具体而言,可以采用氧化物、氮化物或氟化物等材料。对于高折射率材料,可以采用五氧化二钽、氧化铪等、以及二氧化钛。而且,对于低折射率材料,可以采用氟化镁等,以及二氧化硅。对于在第二上布拉格反射镜 107 中形成二氧化钛高折射

率层和二氧化硅低折射率层的方法,可通过溅射或真空沉积等方法来形成。而且,还形成整体的氮化硅保护膜 140,并在各个面发射激光器的台面之间形成由树脂材料(例如聚酰亚胺)构成的树脂膜 141。

[0061] 随后,形成上电极 111,该上电极为 p 侧电极。每个上电极 111 与相应的面发射激光器对应形成,其中,每个上电极 111 与电极极板 21-24 中的每一个连接。而且,在基底 101 的背面上形成下电极 112,该下电极是 n 侧电极。

[0062] 下面将详细说明此实施例的面发射激光器元件中的波长调节层 130 的形成方法。

[0063] 首先,在基底 101 上以 MOCVD 或 MBE 法通过外延生长形成由半导体材料构成的下布拉格反射镜 102、下分隔层 103、活性层 104、上分隔层 105、第一上布拉格反射镜 106、接触层 110 和波长调节区 120。另外,波长调节层 130 由接触层 110 和波长调节区 120 组成,其中,波长调节区 120 是通过层压第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 而形成的。在此,如上所述,第一调节层 121 和第三调节层 123 由磷化镓铟 (GaInP) 构成,而第二调节层 122 由磷砷化镓 (GaAsP) 构成。

[0064] 然后,在形成有第一面发射激光器 11 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 120 上的第三调节层 123 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0065] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第三调节层 123。具体而言,湿蚀刻是采用盐酸和水的混合液进行的,因为第三调节层 123 由磷化镓铟 (GaInP) 构成。因而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第三调节层 123,以露出第二调节层 122 的表面。另外,这种混合液可用于对构成第三调节层 123 的磷化镓铟 (GaInP) 进行蚀刻,但是很难用于对构成第二调节层 122 的磷砷化镓 (GaAsP) 进行蚀刻。这种混合液还可称为第一蚀刻液。随后,通过有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0066] 然后,在形成有第一面发射激光器 11 和第二面发射激光器 12 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 120 上的第三调节层 123 和第二调节层 122 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0067] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第二调节层 122。具体而言,湿蚀刻是采用硫酸、过氧化氢和水的混合液进行的,因为第二调节层 122 由磷砷化镓 (GaAsP) 构成。因而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第二调节层 122,以露出第一调节层 121 的表面。另外,这种混合液可用于对构成第二调节层 122 的磷砷化镓 (GaAsP) 进行蚀刻,但是很难用于对构成第一调节层 121 的磷化镓铟 (GaInP) 进行蚀刻。这种混合液还可称为第二蚀刻液。随后,通过有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0068] 然后,在形成有第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12 和第三面发射激光器 13 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 120 上的第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0069] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 121。具体而言,使用第一蚀刻液去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 121。从而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 121,以露出接触层 110 的表面。随后,使用有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0070] 然后,形成第二上布拉格反射镜 107。具体而言,通过交替地层压由高折射率材料构成的介质膜和由低折射率材料构成的介质膜来形成,这些介质膜由氧化物、氮化物、氟化物等材料制成,每层介质膜具有通过溅射等方式形成的预定膜厚。另外,还可通过层压并形成具有不同折射率的半导体材料来形成第二上布拉格反射镜 107。

[0071] 从而,在此实施例的面发射激光器元件中形成波长调节层 130 和第二上布拉格反射镜 107。

[0072] 在此实施例中,在构成波长调节层 130 中的波长调节区 120 的第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 的任何一层中不含铝,因此,在蚀刻后几乎不会发生氧化,从而能够在蚀刻后保持洁净的表面状况。即,由于铝极易发生腐蚀,因此,若第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 中的任何一层由含铝的材料形成,则在湿蚀刻等处理后,表面状况可能很差,即使在其上形成第二上布拉格反射镜 107,也可能发生剥落,或者其厚度可能不均一。但是,此实施例的面发射激光器元件中的波长调节区 120 由不含铝的材料形成,因此不会导致铝等材料的腐蚀,并且不会发生这种问题。

[0073] 而且,此实施例的波长调节层 130 中的波长调节区 120 由磷砷化镓 (GaAsP) 和磷化镓铟 (GaInP) 交叠而成,在进行湿蚀刻时,使用两种蚀刻液进行蚀刻,其中,每种蚀刻液可用于进行上述两种材料之一的蚀刻,但不能用于另一种材料的蚀刻。蚀刻使用这两种蚀刻液进行,因而在蚀刻后表面很平坦,可以进行预定厚度膜层的成形,而不会发生过度蚀刻。因而,能够获得具有稳定特性的面发射激光器元件。

[0074] 另外,虽然在此实施例的说明中说明的是磷砷化镓和磷化镓铟组合的情况,但是也可以与不含铝的其它材料组合,该材料还可用于另一种不同的蚀刻液,并且是带隙能量大于振荡波长的半导体材料。对于此实施例中的振荡波长 (894.6 纳米),磷砷化镓铟 (GaInAsP)/ 磷化镓铟 (GaInP)、砷化镓 (GaAs)/ 磷化镓铟 (GaInP)、砷化镓 (GaAs)/ 磷砷化镓铟 (GaInAsP)、磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷砷化镓铟 (GaInAsP) 等可作为这种半导体材料的组合。而且,在其中可以添加氮或锑,例如镓砷氮 (GaAsN)/ 磷化镓铟 (GaInP)、镓铟氮砷 (GaInNAs)/ 磷化镓铟 (GaInP)、镓砷锑 (GaAsSb)/ 磷化镓铟 (GaInP) 等。

[0075] 如上所述,在此实施例的面发射激光器元件的一个基底 101 上可以形成发射不同波长的光的多个面发射激光器。从而,即使在面发射激光器元件的制造过程中半导体层的膜厚发生变化,也可以在第一面发射激光器 11 至第四面发射激光器 14 中选择发光波长最接近所需波长的面发射激光器,从而能够轻松获得具有所需波长的半导体激光器。因而,能够以很低的成本制造具有发射预定波长的光的面发射激光器的面发射激光器元件。

[0076] 另外,当在波长调节区 120 上形成接触层 110 时,根据波长调节区 120 的厚度,每个面发射激光器的载流能力会发生变化,并且每个面发射激光器的电气特性和发光特性也有很大不同。而且,当电流在波长调节区 120 中流动时,由于每层界面处的能带不连续性,电阻可能会增加。但是,在本实施例中,接触层 110 形成在面发射激光器元件中的波长调节区 120 之下,因而注入表面发射激光器的电流不会通过波长调节区 120,并且电阻等不会随波长调节区 120 的厚度而发生变化。

[0077] 下面将说明在波长调节层 130 和谐振器区之间形成的第一上布拉格反射镜 106 的优点。例如,当在光学长度为一个波长的谐振器区中形成波长调节层、并且设置四个波长、中心波长为 895 纳米、波长间隔为 1 纳米时,构成波长调节层的每层为 1.3 纳米,使用当前

的晶体生长技术很难在晶片表面上一致地形成。因此,在此实施例,作为上布拉格反射镜的一部分的第一上布拉格反射镜 106 在谐振器区和波长调节层 130 之间形成。具体而言,通过层压 6 对 n- 铝_{0.1} 镓_{0.9} 砷高折射率层和 n- 铝_{0.9} 镓_{0.1} 砷低折射率层并使每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 而形成第一上布拉格反射镜 106。而且,接触层 110 形成在第一上布拉格反射镜 106 上,波长调节区 120 形成在接触层 110 上。构成波长调节区 120 的第一调节层 121、第二调节层 122 和第三调节层 123 的形成方式使得磷化镓 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷化镓 (GaInP) 的膜厚分别为 16 纳米/16 纳米/16 纳米,因而利用当前的晶体生长技术能够进行足够一致的制造。因此,能够减小面发射激光器之间的波长间隔偏差。

[0078] 而且,通过形成这种结构,还能减小电阻。即,第二上布拉格反射镜 107 是形成在波长调节层 130 之上的介质层,上电极 111 形成在其周围,其中,当在谐振器区中布置波长调节层时,由于是层状结构,并且电流通道很窄,会增加电阻,因此可能需要在靠近接触层的位置布置待选择性氧化的 AlAs 层。在此实施例中,第一上布拉格反射镜 106 形成在波长调节层 130 (其中,在波长调节区 120 下形成接触层 110) 和谐振器区之间,因而可以拓宽电流通道,并能减小电阻。

[0079] 另外,利用由七对或更多对构成的第二上布拉格反射镜 107,能够进一步增加波长调节层 130 中的波长调节区 120 内的每层的膜厚,从而有利于一致的制造,并且还能减小电阻。但是,若第二上布拉格反射镜 107 中的层对数增加,则波长调节层 130 的光学厚度可能大于 $\lambda/4$, 上反射镜的总反射率可能会降低。第二上布拉格反射镜 107 的层对数有最优数值,使得波长调节层 130 的光学厚度接近 $\lambda/4$ 。

[0080] 下面将说明波长调节层 130 的厚度。如图 4A 所示,当波长调节层 130 的光学厚度 P 为 $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$ 时,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的上布拉格反射镜的反射率大致为常数,如图 4B 所示。另外,L1 是第一面发射激光器 11 中的波长调节层 130 的表面,L2 是第二面发射激光器 12 中的波长调节层 130 的表面,L3 是第三面发射激光器 13 中的波长调节层 130 的表面,L4 代表第四面发射激光器 14 中的波长调节层 130 的表面。

[0081] 另一方面,如图 5A 所示,当波长调节层 130 的光学厚度 P 为 $\lambda/2 < P$ 时,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的上布拉格反射镜的反射率可能大不相同,如图 5B 所示。

[0082] 而且,如图 6A 所示,当波长调节层 130 的光学厚度 P 为 $P < \lambda/4$ 时,第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的上布拉格反射镜的反射率可能大不相同,如图 6B 所示。

[0083] 如上所述,波长调节层 130 的光学厚度 P 优选为 $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$, 概而言之,优选为 $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$, 其中, N 是正整数,若考虑光吸收的影响所导致的不良作用 (例如阈值电流增加), 则优选 N 为较小的值。

[0084] 而且,当波长调节区 120 的厚度较小,并且波长调节区 120 和接触层 110 的光学厚度的和小于 $\lambda/4$ 时,可以在波长调节层 130 中布置相位调节区 131, 如图 7A 所示。因而,如图 7B 所示,可以使波长调节层 130 的光学厚度为 $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$ (概括为 $(2N-1)\lambda/4 \leq P < 2N\lambda/4$), 并且第一面发射激光器 11、第二面发射激光器 12、第三面发射激光器 13 和第四面发射激光器 14 中的上布拉格反射镜的反射率大致为常数。另外,在这种情况下,

波长调节层 130 由接触层 110、波长调节区 120 和相位调节区 131 组成。而且,相位调整区 131 由铝砷化镓 (AlGaAs) 构成,其中,相位调节区 131 可在接触层 110 下形成,如图 7A 所示,相位调节区 131 也可在接触层 110 和波长调节区 120 之间形成,如图 8 所示。而且,相位调节区 131a 可由磷砷化镓 (GaAsP) 和磷化镓铟 (GaInP) 交替层压形成的层压薄膜组成,如图 9 所示。

[0085] 而且,在此实施例中,面发射激光器元件具有在波长调节区 120 中形成有多层薄膜的结构,其中,优选波长调节层 130 的形成方式确保:当形成的薄膜(调节层)的层数为 M 时(其中, M 为正整数),在 M 为奇数的情况下,从顶端算起,光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 的位置为第 $(M+1)/2$ 层膜(调节层),在 M 为偶数的情况下,从顶端算起,该位置为第 $M/2$ 或 $(M/2)+1$ 层膜(调节层)。

[0086] [第二实施例]

[0087] 下面说明第二实施例中的面发射激光器元件。另外,此实施例的面发射激光器元件是 894.6 纳米波长的面发射激光器,布置有波长调节区的结构在下布拉格反射镜上。如图 10 和图 11 所示,此实施例的面发射激光器元件 150 具有多个面发射激光器,具体而言,具有第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153、以及第四面发射激光器 154。另外,为了更好地说明此实施例,图 10 进行了适当简化,其中,略去了接触层等部分的描述。另外,图 11 是沿图 10 中的虚线 10A-10B 剖切而获得的截面图。

[0088] 此实施例的面发射激光器元件 150 形成在 300 微米方形半导体芯片上,其中,形成在该半导体芯片上的第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 中的每一个都与相应的电极极板连接。具体而言,电极极板 161 与第一面发射激光器 151 连接,电极极板 162 与第二面发射激光器 152 连接,电极极板 163 与第三面发射激光器 153 连接,电极极板 164 与第四面发射激光器 154 连接。

[0089] 而且,第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 发出具有彼此不同的波长的光。即,第一面发射激光器 151 的发射波长为 λ_1 ,第二面发射激光器 152 的发射波长为 λ_2 ,第三面发射激光器 153 的发射波长为 λ_3 ,第四面发射激光器 154 的发射波长为 λ_4 ,这些波长彼此不同。

[0090] 另外,本实施例中的面发射激光器元件用于实现具有 894.6 纳米振荡波长的面发射激光器,其中,四个面发射激光器形成在 300 微米方形半导体芯片(基底)上。由于能在面发射激光器元件的很窄区域中形成多个面发射激光器,因此即使在切换发光的面发射激光器时,发光点的位置变化也极小。

[0091] 对于本实施例中的面发射激光器元件,在由半导体等材料构成的基底 101 上交替地层压并形成具有不同折射率的半导体材料,以形成第一下布拉格反射镜 172,并在第一下布拉格反射镜 172 上形成相位调节层 173、波长调节区 180、第二下布拉格反射镜 174、下分隔层 103、活性层 104、以及上分隔层 105。在上分隔层 105 上形成上布拉格反射镜 176 和接触层 177。而且,在接触层 177 上形成上电极 178 并与接触层 177 连接,在基底 101 的背面形成下电极 112。另外,在此实施例中,波长调节层 190 由波长调节区 180 和相位调节层 173 组成,而下布拉格反射镜 170 由第一下布拉格反射镜 172、相位调节区 173、波长调节区 180 和第二下布拉格反射镜 174 组成。

[0092] 而且,在基底 101 上形成的半导体层(即,第一下布拉格反射镜 172、相位调节区

173、波长调节区 180、第二下布拉格反射镜 174、下分隔层 103、活性层 104、上分隔层 105、上布拉格反射镜 176 和接触层 177) 是通过外延生长半导体材料而形成的。具体而言,这些半导体层是通过 MOCVD 或 MBE 法外延生长而形成的。

[0093] 在此实施例的面发射激光器元件中,第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 中的各个波长调节层 180 的厚度彼此不同。具体而言,波长调节区 180 由第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 组成。在此实施例中,第一调节层 181 和第三调节层 183 由磷化镓铟 (GaInP) 构成,而第二调节层 182 由磷砷化镓 (GaAsP) 构成。另外,用于制造第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 的材料可以彼此相反。

[0094] 因此,在此实施例的面发射激光器元件中,第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四表面发射激光器 154 中的波长调节区 180 的厚度(即,波长调节层 190 的厚度)彼此不同。

[0095] 具体而言,第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 形成在第一面发射激光器 151 中的波长调节区 180 上,其中,发射的光的波长为 λ_1 ,该波长与包含该波长调节区 180 的波长调节层 190 的厚度对应。

[0096] 而且,第一调节层 181 和第二调节层 182 形成在第二面发射激光器 152 中的波长调节区 180 中,其中,发射的光的波长为 λ_2 ,该波长与包含该波长调节区 180 的波长调节层 190 的厚度对应。

[0097] 而且,第一调节层 181 形成在第三面发射激光器 153 中的波长调节区 180 中,其中,发射的光的波长为 λ_3 ,该波长与包含该波长调节区 180 的波长调节层 190 的厚度对应。

[0098] 而且,在第四面发射激光器 154 中未形成波长调节区 180,因此,在未形成波长调节区 180 的情况下,发射的光的波长为 λ_4 ,该波长与波长调节层 190 的厚度对应。

[0099] 因此,可以逐渐改变第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 中的波长调节区 180 的厚度,并以与至少一个或每个波长调节区 180 的厚度对应的波长发光。

[0100] 在此实施例中,使用 n 型砷化镓 (n-GaAs) 基底作为基底 101。而且,下布拉格反射镜 170 是通过层压 35.5 对 n- 铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n- 铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成,并且每层的光学薄膜的厚度为 $\lambda/4$ 。

[0101] 如上所述,下布拉格反射镜 170 由基底 101 上的第一下布拉格反射镜 172、相位调节区 173、波长调节区 180 和第二下布拉格反射镜 174 组成。因此,相位调节区 173 和波长调节区 180 在下布拉格反射镜 170 内形成。另外,在此实施例中,形成方式使得相位调节区 173 的光学薄膜厚度与波长调节区 180 的光学薄膜厚度的一半(即,从相位调节区 173 底部至波长调节区 180 的中部的的光学薄膜厚度)的和为 $\lambda/4$,如图 12 所示。

[0102] 由砷化镓铟 (GaInAs) 量子阱层 / 磷砷化镓铟 (GaInPAs) 阻挡层组成的活性层 104 通过由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的下分隔层 103 形成在下布拉格反射镜 170 上。由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的上分隔层 105 形成在活性层 104 上。另外,具有一个波长光学厚度的谐振器区由下分隔层 103、活性层 104 和上分隔层 105 组成。

[0103] 上布拉格反射镜 176 通过层压 24 对 n- 铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n- 铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层形成,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。上布拉格反射镜 176 的低折射率层

之一由铝砷限流层 108 组成,其中,限流层 108 的周围部分被选择性地氧化,以形成选择性氧化区 108a,并在限流层的中央部分形成未氧化的限流区 108b。而且,由 p-GaAs 构成的接触层 177 形成在上布拉格反射镜 176 上。

[0104] 如图 12A 所示,当相位调节区 173 的光学薄膜厚度与波长调节区 180 的光学薄膜厚度的一半的和大约为 $\lambda/4$ 时,第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 中的下布拉格反射镜的反射率大致为常数,如图 12B 所示。另外,L1 是第一面发射激光器 151 中的波长调节层 190 的表面,L2 是第二面发射激光器 152 中的波长调节层 190 的表面,L3 是第三面发射激光器 153 中的波长调节层 190 的表面,L4 代表第四面发射激光器 154 中的波长调节层 190 的表面。

[0105] 此实施例的面发射激光器元件中的每个面发射激光器具有台面结构,其中,这种台面结构是通过干蚀刻法等方法去除待形成的面发射激光器之间的半导体层而形成的。在形成台面结构之后,在水蒸汽中进行热处理,以氧化台面结构周围的限流层 108,从而在周围部分形成选择性氧化区 108a(氧化区),在中央部分形成未氧化的限流区 108b。即,限流层 108 由氧化的选择性氧化区 108a 和未氧化的限流区 108b 组成,以形成限流结构。具体而言,在水蒸汽中对构成限流层 108 的 AlAs 材料进行热处理,使其氧化并形成 Al_xO_y ,并利用如此形成的 Al_xO_y 制造选择性氧化区 108a。在此,限流区 108b 由限流层 108 中的未氧化的 AlAs 材料构成。另外,从台面结构的顶端看,形成的形状可为圆形、椭圆形、方形或长方形。

[0106] 而且,形成由氮化硅构成的整体保护膜 140,并通过嵌入树脂材料(例如聚酰亚胺)在各个面发射激光器的台面之间形成树脂膜 141。最后,形成上电极 178,该上电极为 p 侧电极。每个上电极 178 与相应的面发射激光器对应形成,其中,每个上电极 178 与相应的电极极板 161-164 连接。

[0107] 具体而言,形成由氮化硅构成的保护膜 140,并通过在各个面发射激光器的台面之间嵌入并摊平树脂材料(例如聚酰亚胺)而形成树脂层 141。随后,去除接触层 177 上的保护膜 140 和树脂层 141,以露出接触层 177,并在接触层 177 上形成上电极 178。另外,在基底 101 的背面形成下电极 112,该下电极为 n- 侧电极。

[0108] 此实施例的面发射激光器元件在基底 101 侧的对侧发射激光。另外,由于在此实施例中有介质材料,因此可以使用由氮化硅构成的保护膜 140 保护因台面刻蚀而露出并易发生腐蚀的含铝层的侧面和底面,由此可提高可靠性。

[0109] 下面将说明在波长调节区 180 和谐振器之间形成的第二下布拉格反射镜 174 的优点。当在光学长度为一个波长的谐振器中形成波长调节区、并且设置四个波长、中心波长为 895 纳米、波长间隔为 1 纳米时,构成波长调节层的调节层中的一层约为 1 纳米,使用当前的晶体生长技术很难在晶片表面上一致地形成。

[0110] 因此,在此实施例中,作为下布拉格反射镜 170 的一部分的第二下布拉格反射镜 174 在谐振器和波长调节区 180 之间形成。具体而言,通过层压 10 对 n- 铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n- 铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层并使每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 而形成第二下布拉格反射镜 174。因而,构成波长调节区 180 的第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 中的砷化镓铟(GaInP)/磷砷化镓(GaAsP)/磷化镓铟(GaInP)的膜厚可分别为 16 纳米/16 纳米/16 纳米,因而基于当前的晶体生长技术能够进行足够一致的制造,从而像第一实施例一样能够减小波长间隔偏差。

[0111] 另外,当第二下布拉格反射镜 174 由十一对或更多对组成时,波长调节区 180 的每层的膜厚可以更大,由此能进一步提高一致性。但是,如图 13A 和图 13B 所示,若第二下布拉格反射镜 174 中的层对数增加,则波长调节区 180 的光学薄膜厚度可能远大于 $\lambda/4$ (布拉格反射镜的光学薄膜厚度),因此,下布拉格反射镜 170 的总反射率可能会降低,而这是不更可取的。因此,第二下布拉格反射镜的层对数有最优数值,使得波长调节区 180 的光学厚度接近 $\lambda/4$ 。

[0112] 另一方面,如图 13A 所示,当相位调节区 173 的光学薄膜厚度与波长调节区 180 的光学薄膜厚度的一半的和为 $\lambda/4$ 或更大时,第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152、第三面发射激光器 153 和第四面发射激光器 154 中的下布拉格反射镜的反射率可以很大,如图 13B 所示。但是,在此实施例,可以提高每个下布拉格反射镜的反射率的一致性,如图 12B 所示。

[0113] 下面将详细说明此实施例的面发射激光器元件中的波长调节区 180 的形成方法。

[0114] 首先,利用 MOCVD 或 MBE 法通过外延生长在基底 101 上形成由半导体材料构成的第一下布拉格反射镜 172、相位调节区和波长调节区 180。如上所述,波长调节层 190 由相位调节区 173 和波长调节区 180 组成,其中,波长调节区 180 是通过层压第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 而形成的。另外,第一调节层 181 和第三调节层 183 由磷化镓铟 (GaInP) 构成,而第二调节层 182 由磷砷化镓 (GaAsP) 构成。

[0115] 然后,在形成有第一面发射激光器 151 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 180 上的第三调节层 183 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0116] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第三调节层 183。具体而言,湿蚀刻是采用盐酸和水的混合液进行的,因为第三调节层 183 由磷化镓铟 (GaInP) 构成。因而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第三调节层 183,以露出第二调节层 182 的表面。另外,这种混合液可用于对构成第三调节层 183 的磷化镓铟 (GaInP) 进行蚀刻,但是很难用于对构成第二调节层 182 的磷砷化镓 (GaAsP) 进行蚀刻。这种混合液还可称为第一蚀刻液。随后,通过有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0117] 然后,在形成有第一面发射激光器 151 和第二面发射激光器 152 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 180 上的第三调节层 183 和第二调节层 182 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0118] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第二调节层 182。具体而言,湿蚀刻是采用硫酸、过氧化氢和水的混合液进行的,因为第二调节层 182 由磷砷化镓 (GaAsP) 构成。因而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第二调节层 182,以露出第一调节层 181 的表面。另外,这种混合液可用于对构成第二调节层 182 的磷砷化镓 (GaAsP) 进行蚀刻,但是很难用于对构成第一调节层 181 的磷化镓铟 (GaInP) 进行蚀刻。这种混合液还可称为第二蚀刻液。随后,通过有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0119] 然后,在形成有第一面发射激光器 151、第二面发射激光器 152 和第三面发射激光器 153 的区域中形成抗蚀图案。具体而言,通过在波长调节区 180 上的第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 上涂光致抗蚀剂并使用曝光装置进行曝光和显影来形成抗蚀图案。

[0120] 然后,通过湿蚀刻法去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 181。具体而言,使用第一蚀刻液去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 181。从而,仅去除未形成抗蚀图案的区域中的第一调节层 181,以露出相位调节层 173 的表面。随后,使用有机溶剂等去除抗蚀图案。

[0121] 然后,形成第二下布拉格反射镜 174。从而,在此实施例的面发射激光器元件中可形成包含波长调节区 180 的下布拉格反射镜 170。

[0122] 在此实施例中,在构成波长调节层 190 中的波长调节区 180 的第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 的任何一层中不含铝,因此,在蚀刻后几乎不会发生氧化,从而能够在蚀刻后保持洁净的表面状况。即,由于铝极易发生腐蚀,因此,若第一调节层 181、第二调节层 182 和第三调节层 183 中的任何一层由含铝的材料形成,则在湿蚀刻等处理后,表面状况可能很差,即使在其上形成第二下布拉格反射镜 174,也可能发生剥落,或者其厚度可能不均一。但是,此实施例的面发射激光器元件中的波长调节区 180 由不含铝的材料形成,因此不会导致铝等材料的腐蚀,并且不会发生这种问题。

[0123] 而且,此实施例的波长调节层 190 中的波长调节区 180 由磷砷化镓 (GaAsP) 和磷化镓铟 (GaInP) 交叠而成,在进行湿蚀刻时,使用两种蚀刻液进行蚀刻,其中,每种蚀刻液可用于进行上述两种材料之一的蚀刻,但不能用于另一种材料的蚀刻。由于蚀刻使用这两种蚀刻液进行,因而在蚀刻后表面很平坦,可以进行预定厚度膜层的成形,而不会发生过度蚀刻。因而,能够获得具有稳定特性的面发射激光器元件。

[0124] 另外,虽然在此实施例的说明中说明的是磷砷化镓 (GaAsP) 和磷化镓铟 (GaInP) 组合的情况,但是也可以与不含铝的其它材料组合,该材料还可用于另一种不同的蚀刻液,并且是带隙能量大于振荡波长的半导体材料。对于此实施例中的振荡波长 (894.6 纳米),磷砷化镓铟 (GaInAsP)/磷化镓铟 (GaInP)、砷化镓 (GaAs)/磷化镓铟 (GaInP)、砷化镓 (GaAs)/磷砷化镓铟 (GaInAsP)、磷砷化镓 (GaAsP)/磷砷化镓铟 (GaInAsP) 等可作为这种半导体材料的组合。而且,在其中可以添加氮或锑,例如镓砷氮 (GaAsN)/磷化镓铟 (GaInP)、镓铟氮砷 (GaInNAs)/磷化镓铟 (GaInP)、镓砷锑 (GaAsSb)/磷化镓铟 (GaInP) 等。

[0125] 如上所述,在此实施例的面发射激光器元件的一个基底 101 上可以形成发射不同波长的光的多个面发射激光器。从而,即使在面发射激光器元件的制造过程中半导体层的膜厚发生变化,也可以在第一面发射激光器 151 至第四面发射激光器 154 中选择发光波长最接近所需波长的面发射激光器,从而能够轻松获得具有所需波长的半导体激光器。因而,能够以很低的成本制造具有发射预定波长的光的面发射激光器元件。

[0126] 另外,除上述内容之外的其它方面与第一实施例类似。

[0127] [第三实施例]

[0128] 下面将说明第三实施例。此实施例的面发射激光器是 780 纳米波长的 12 通道面发射激光器,下面将参照图 14 和图 15 来说明。另外,图 14 是此实施例中的面发射激光器的俯视图,而图 15A 是通过沿图 14 中的虚线 14A-14B 剖切而获得的截面图,图 15B 是通过沿图 14 中的虚线 14C-14D 剖切而获得的截面图。

[0129] 此实施例的面发射激光器元件 200 形成在 300 微米方形半导体芯片上,其中,形成在该半导体芯片上的第一面发射激光器 201、第二面发射激光器 202、第三面发射激光器 203、第四面发射激光器 204、第五面发射激光器 205、第六面发射激光器 206、第七面发射激

光器 207、第八面发射激光器 208、第九面发射激光器 209、第十面发射激光器 210、第十一面发射激光器 211 和第十二面发射激光器 212 中的每一个都与相应的电极极板连接。

[0130] 具体而言,电极极板 221 与第一面发射激光器 201 连接,电极极板 222 与第二面发射激光器 202 连接,电极极板 223 与第三面发射激光器 203 连接,电极极板 224 与第四面发射激光器 204 连接,电极极板 225 与第五面发射激光器 205 连接,电极极板 226 与第六面发射激光器 206 连接,电极极板 227 与第七面发射激光器 207 连接,电极极板 228 与第八面发射激光器 208 连接,电极极板 229 与第九面发射激光器 209 连接,电极极板 230 与第十面发射激光器 210 连接,电极极板 231 与第十一面发射激光器 211 连接,电极极板 232 与第十二面发射激光器 212 连接。

[0131] 而且,第一面发射激光器 201、第二面发射激光器 202、第三面发射激光器 203、第四面发射激光器 204、第五面发射激光器 205、第六面发射激光器 206、第七面发射激光器 207、第八面发射激光器 208、第九面发射激光器 209、第十面发射激光器 210、第十一面发射激光器 211、以及第十二面发射激光器 212 发射不同波长的光。即,第一面发射激光器 201 的发射波长为 λ_1 ,第二面发射激光器 202 的发射波长为 λ_2 ,第三面发射激光器 203 的发射波长为 λ_3 ,第四面发射激光器 204 的发射波长为 λ_4 ,第五面发射激光器 205 的发射波长为 λ_5 ,第六面发射激光器 206 的发射波长为 λ_6 ,第七面发射激光器 207 的发射波长为 λ_7 ,第八面发射激光器 208 的发射波长为 λ_8 ,第九面发射激光器 209 的发射波长为 λ_9 ,第十面发射激光器 210 的发射波长为 λ_{10} ,第十一面发射激光器 211 的发射波长为 λ_{11} ,第十二面发射激光器 212 的发射波长为 λ_{12} ,这些波长彼此不同。

[0132] 对于本实施例中的面发射激光器元件,在由半导体等材料构成的基底 101 上形成下布拉格反射镜 102、下分隔层 103、活性层 104、上分隔层 105 和第一上布拉格反射镜 106,在第一上布拉格反射镜 106 上形成第一波长调节层 250、第二上布拉格反射镜 271、第二波长调节层 260、第三上布拉格反射镜 272、接触层 240 和上电极 111。而且,在基底 101 的背面上形成与上电极 111 和下电极 112 连接的接触层 240。另外,在此实施例中,形成在基底 101 上的半导体层(即,下布拉格反射镜 102、下分隔层 103、活性层 104、上分隔层 105、第一上布拉格反射镜 106、第一波长调节层 250、第二上布拉格反射镜 271、第二波长调节层 260、第三上布拉格反射镜 272 和接触层 240)是通过外延生长半导体材料而形成的。具体而言,这些半导体层是通过 MOCVD 或 MBE 法外延生长而形成的。另外,在此实施例中,上布拉格反射镜由第一上布拉格反射镜 106、第一波长调节层 250、第二上布拉格反射镜 271、第二波长调节层 260 和第三上布拉格反射镜 272 组成。而且,第一波长调节层 250 和第二波长调节层 260 可形成在下布拉格反射镜 102 之内。

[0133] 在此实施例中,使用 n 型砷化镓 (n-GaAs) 基底作为基底 101。而且,下布拉格反射镜 102 是通过层压 35.5 对 n- 铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n- 铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成的,并且每层的光学薄膜的厚度为 $\lambda/4$ 。

[0134] 由砷化镓铟 (GaInAs) 量子阱层/磷砷化镓铟 (GaInPAs) 阻挡层组成的活性层 104 通过由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的下分隔层 103 形成在下布拉格反射镜 102 上。由铝_{0.2}镓_{0.8}砷构成的上分隔层 105 和第一上布拉格反射镜 106 形成在活性层 104 上。另外,具有一个波长光学厚度的谐振器区由下分隔层 103、活性层 104 和上分隔层 105 组成。

[0135] 第一上布拉格反射镜 106 通过层压 3.5 对 n- 铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n- 铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成的,并且每层的光学薄膜的厚度为 $\lambda/4$ 。

镓 0.1 砷低折射率层形成,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。另外,第一上布拉格反射镜 106 的低折射率层之一由铝砷限流层 108 组成(在图 15A 和图 15B 中未示出)。

[0136] 第一波长调节层 250 形成在第一上布拉格反射镜 106 上。第一波长调节层 250 是通过层压由 p-铝_{0.1}镓_{0.9}砷构成的相位调节区 254、由磷化镓(GaInP)构成的第一调节层 251、由磷砷化镓(GaAsP)构成的第二调节层 252、以及由磷化镓(GaInP)构成的第三调节层 253 而形成的。

[0137] 第二上布拉格反射镜 271 形成在第一波长调节层 250 上。第二上布拉格反射镜 271 是通过层压 4.5 对 n-铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n-铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成的,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。

[0138] 第二波长调节层 260 形成在第二上布拉格反射镜 271 上。第二波长调节层 260 是通过层压由 p-铝_{0.1}镓_{0.9}砷构成的相位调节区 263、由磷化镓(GaInP)构成的第四调节层 261、以及由磷砷化镓(GaAsP)构成的第五调节层 262 而形成的。

[0139] 第三上布拉格反射镜 272 形成在第二波长调节层 260 上。第三上布拉格反射镜 272 是通过层压 17 对 n-铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n-铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成的,并且每层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 。

[0140] 由 p-GaAs 构成的接触层 240 形成在第三上布拉格反射镜 272 上,而上电极 111 形成在接触层 240 上,下电极 112 形成在基底 101 的背面上。

[0141] 在此实施例中,每个面发射激光器的形成方式使得第一波长调节层 250 和第二波长调节层 260 对于每个相应的通道具有不同的厚度。另外,通过与第一实施例相似的方法,可以形成具有不同厚度的第一波长调节层 250 和第二调节层 260。具体而言,可以通过适当的方式通过光刻法和选择性蚀刻法来形成,使得波长调节层中的层数不同。例如,在蚀刻磷砷化镓(GaAsP)时(与砷化镓(GaAs)的情况类似),可以使用硫酸、过氧化氢和水的混合液,在蚀刻磷化镓(GaInP)时,可以使用盐酸和水的混合液。在对第一波长调节层 250 进行选择性的蚀刻后,通过晶体生长形成第二上布拉格反射镜 271 和第二波长调节层 260,然后对第二波长调节层 260 进行选择性的蚀刻,并通过晶体生长形成第三上布拉格反射镜 272 和接触层 240。另外,形成每个面发射激光器所需的台面蚀刻可通过干蚀刻进行。另外,在接触层 240 上形成作为每个面发射激光器的 p 侧电极的上电极 111,在基底 101 的背面上形成作为 n 侧共用电极的下电极 112,如图 15A 和图 15B 所示。此实施例中的面发射激光器元件在基底 101 侧的对侧发射激光。

[0142] 在日本专利 2751814 中,在光学厚度为一个波长的谐振器区中形成波长调节层。例如,在此情况中,若中心波长为 780 纳米且波长间隔为 3 纳米,则构成波长调节层的一层为 0.9 纳米。该厚度相当于大约三个原子层的厚度,使用当前的晶体生长技术难以在晶片表面上进行一致地成形。而且,若提供光学长度为 X 个波长($X = 2, 3, \dots$)的谐振器区,则构成波长调节层的一层的膜厚可增加至 $0.9 \times X$ 纳米,但是在此情况中,张弛振荡波长可能减小 $X^{-1/2}$ 倍,因而可能发生使高速调制操作变得很困难的不良作用。

[0143] 另一方面,在此实施例的面发射激光器元件中,第一上布拉格反射镜 106 在谐振器区和波长调节层 250 之间形成,如图 15A 和图 15B 所示。具体而言,第一上布拉格反射镜 106 通过在第一波长调节层 250 和谐振器区之间层压 4.5 对 p-铝_{0.1}镓_{0.9}砷高折射率层和 n-铝_{0.9}镓_{0.1}砷低折射率层而形成。在此情况中,即使当不同发光元件之间的振荡波长间

隔为 3 纳米时,构成第一波长调节层 250 的磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷化镓铟 (GaInP) 的膜厚也分别为 11.6 纳米 /11.6 纳米 /11.6 纳米,因而利用当前的晶体生长技术能够进行足够一致的制造。因此,能够减小面发射激光器之间的波长间隔偏差。

[0144] 而且,在第一波长调节层 250 上形成有第二上布拉格反射镜 271 和第二波长调节层 260。因而,当振荡波长的间隔变窄时,能够更一致地形成第一波长调节层 250。图 16 示出了第一波长调节层 250 和第二波长调节层 260 的膜厚与图 14、图 15A 和图 15B 中所示的此实施例的面发射激光器元件的振荡波长之间的关系。另外,通过对构成第一波长调节层 250 的磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷化镓铟 (GaInP) 材料进行选择性的蚀刻,可以改变第一波长调节层 250 的膜厚。类似地,通过对构成第二波长调节层 260 的磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP) 材料进行选择性的蚀刻,可以改变第二波长调节层 260 的膜厚。

[0145] 如图 16 所示,当第二波长调节层 260 的膜厚为常数时,可以改变第一波长调节层 250 的膜厚,即,可以逐个对构成第一波长调节层 250 的磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷化镓铟 (GaInP) (分别为 11.6 纳米 /11.6 纳米 /11.6 纳米) 进行蚀刻,从而能获得约 3 纳米的振荡波长变化。而且,当第一波长调节层 250 的膜厚为常数时,可以改变第二波长调节层 260 的膜厚,即,可以逐个对构成第二波长调节层 260 的磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP) (分别为 14 纳米 /11 纳米) 进行蚀刻,从而能获得约 1 纳米的振荡波长变化。因此,如图 15A 和图 15B 所示,可以分别把第一波长调节层 250 和第二波长调节层 260 的膜厚改变 4 级和 3 级,从而能够形成具有不同振动波长 ($4 \times 3 = 12$ 级) 的面发射激光器。而且,如图 16 所示,可以调节第一波长调节层 250 和第二波长调节层 260 的膜厚,从而能使所有十二个面发射激光器以间隔为 1 纳米的不同波长振荡。

[0146] 下面将说明在第一波长调节层 250 上形成的相位调节区 254。图 17B 示出了形成有第一调节层 251、第二调节层 252 和第三调节层 253、但未形成图 17A 所示的相位调节区 254 的情况中的反射率,其中,磷化镓铟 (GaInP)/ 磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷化镓铟 (GaInP) 中的每一层都通过湿蚀刻法去除。如图 17B 所示,若不形成相位调节区 254,则第一波长调节层 250 的厚度变化可能显著改变反射率。这意味着激光器的特性偏差 (例如每个波长的阈值电流) 可能增大。

[0147] 另一方面,如图 18A 所示,在第一波长调节层 250 上形成有相位调节区 254,因而第一波长调节层 250 的光学厚度为 $\lambda/4$ 的位置可以是形成由 GaAsP 构成的第一调节层 252 的位置。从而能够减小反射率的变化,如图 18B 所示。

[0148] 即,第一波长调节层 250 的光学厚度 $P1$ 优选为 $\lambda/4 \leq P1 < \lambda/2$, 概括而言,优选为 $(2N-1)\lambda/4 \leq P1 < 2N\lambda/4$ 。另外, N 是正整数。

[0149] 而且,形成方式优选确保:当形成的薄膜 (调节层) 的层数为 M 时 (其中, M 为正整数),在 M 为奇数的情况下,从顶端算起,第一波长调节层 250 的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 的位置为第 $(M+1)/2$ 层膜 (调节层),在 M 为偶数的情况下,从顶端算起,该位置为第 $M/2$ 或 $(M/2)+1$ 层膜 (调节层)。

[0150] 如图 19A 所示,相位调节区 254 可由 p- 铝_{0.1} 镓_{0.9} 砷构成,如图 19B 所示,相位调节区 254a 通过交替地层压磷化镓铟 (GaInP) 和磷砷化镓 (GaAsP) 而形成。另外,虽然上述的是第一波长调节层 250,但是该说明也适用于第二波长调节层 260。

[0151] 同时,对于波长调节层,日本专利申请公开文件 11-330631 揭示了铝砷化镓

(AlGaAs) 和磷化铟镓 (InGaP) 的组合, 日本专利 2751814 揭示了砷化镓 (GaAs) 和铝砷化镓 (AlGaAs) 的组合。它们都采用含铝的铝砷化镓 (AlGaAs), 但是由于含铝因而易于发生腐蚀 (例如氧化), 所以可能存在可靠性问题。尤其是, 当在对如本实施例所述的波长调节层进行蚀刻后进行半导体层的晶体生长时, 在制造过程中波长调节层的表面会与大气接触, 因此, 铝的表面可能被氧化, 因而难以在其上进行上布拉格反射镜的晶体生长。另一方面, 与日本专利 2751814 或日本专利申请公开文件 11-330631 不同的是, 在此实施例的面发射激光器元件中, 波长调节层由不含铝的磷化铟镓 (GaInP) 和磷砷化镓 (GaAsP) 构成, 因而能够在制造过程中显著延缓腐蚀的发展, 并获得高可靠性。

[0152] 另外, 虽然在此实施例的说明中说明的是磷砷化镓和磷化铟镓组合的情况, 但是也可以与不含铝的其它材料组合, 该材料还可用于另一种不同的蚀刻液, 并且是带隙能量大于振荡波长的半导体材料。例如, 在此实施例中的 780 纳米振荡波长的情况下, 磷砷化铟镓 (GaInAsP)/ 磷化铟镓 (GaInP)、磷砷化镓 (GaAsP)/ 磷砷化铟镓 (GaInAsP) 等可作为半导体材料的组合。而且, 在 1 微米以上的长波长的情况中, 可以使用砷化镓 (GaAs) 代替磷砷化镓 (GaAsP)。在此情况中, 对于砷化镓 (GaAs) 基底, 可以不使用磷砷化镓 (GaAsP) 等易变形的材料, 因此很好处理。

[0153] 另外, 除上述内容之外的其它方面与第一实施例类似。

[0154] [第四实施例]

[0155] 下面将说明第四实施例。在此将参照图 20 说明此实施例的面发射激光器元件。此实施例的面发射激光器元件 300 在基底 301 上有八个面发射激光器, 其中, 以第一至第三实施例为基础形成以不同波长发光的面发射激光器, 而且, 以相同波长发光的面发射激光器以成对的方式形成。

[0156] 具体而言, 此实施例的面发射激光器元件具有形成在基底 301 上的第一面发射激光器 311、第二面发射激光器 312、第三面发射激光器 313、第四面发射激光器 314、第五面发射激光器 315、第六面发射激光器 316、第七面发射激光器 317 和第八面发射激光器 318。第一面发射激光器 311 至第八面发射激光器 318 中的每一个都与相应的电极极板连接。具体而言, 电极极板 321 与第一面发射激光器 311 连接, 电极极板 322 与第二面发射激光器 312 连接, 电极极板 323 与第三面发射激光器 313 连接, 电极极板 324 与第四面发射激光器 314 连接, 电极极板 325 与第五面发射激光器 315 连接, 电极极板 326 与第六面发射激光器 316 连接, 电极极板 327 与第七面发射激光器 317 连接, 电极极板 328 与第八面发射激光器 318 连接。

[0157] 而且, 第一面发射激光器 311 至第八面发射激光器 318 的形成方式是: 具有相同波长的面发射激光器以成对的方式布置。具体而言, 第一面发射激光器 311 和第二面发射激光器 312 发射的光具有相同的波长 λ_1 , 第三面发射激光器 313 和第四面发射激光器 314 发射的光具有相同的波长 λ_2 , 第五面发射激光器 315 和第六面发射激光器 316 发射的光具有相同的波长 λ_3 , 第七面发射激光器 317 和第八面发射激光器 318 发射的光具有相同的波长 λ_4 , 其中, 波长 λ_1 至 λ_4 互不相同。因此, 为了使每个面发射激光器以不同的波长发光, 按与第一实施例相似的方式布置波长调节层, 并且波长调节层的形成方式使得每个面发射激光器的波长调节层各不相同。另外, 电极极板 321 至 328 中的每一个都为 50 微米左右的方形, 基底 301 是 300 微米方形半导体芯片。

[0158] 在此实施例的面发射激光器元件中,以相同波长发光的面发射激光器以成对的方式布置,从而即使以相同波长发光的面发射激光器中的某一个由于故障而不能发光,也可以使用另一个。因此,能够延长面发射激光器元件的使用寿命,并能进一步提高其产出率。而且,在此实施例的面发射激光器元件中,不仅可以使使用发射波长最接近必要波长的元件,还可以使用发射波长第二最接近必要波长的元件,这种元件可用作预备面发射激光器,从而能够实现较长的寿命。

[0159] 另外,除上述内容之外的其它方面与第一至第三实施例类似。

[0160] [第五实施例]

[0161] 下面将说明第五实施例。此实施例是采用第一至第四实施例中的面发射激光器元件的原子振荡器。在此将参照图 21 说明此实施例的原子振荡器。此实施例中的原子振荡器是 CPT 型紧凑式原子振荡器,具有光源、准直透镜 420、 $\lambda/4$ 波片 430、碱金属腔体 440、光检测器 450 和调制器 460。

[0162] 对于光源 410,采用第一至第四实施例中的面发射激光器元件。对于碱金属腔体 440,封装有铯 (Cs) 原子气体作为其中的碱金属,其中,采用 D1 线跃迁。对于光检测器 450,采用光电二极管。

[0163] 在此实施例的原子振荡器中,封装有铯原子气体的碱金属腔体 440 发射由光源 410 发出的光,从而激励铯原子的电子。透过碱金属腔体 440 的光被光检测器 450 检测,其中,光检测器 450 检测到的信号被反馈给调制器 460,光源 410 中的面发射激光器元件由调制器 460 调制。

[0164] 图 22 示出了与 CPT 相关的原子能级的构造。所利用的一个规律是,当电子被同时从两个基态能级激励到激发能级时,光的吸收率降低。对于面发射激光器,采用载波波长为 894.6 纳米附近的元件。可通过改变面发射激光器的温度或输出来微调载波波长。当温度或输出提高时,可能导致向较长波长的漂移,其中,改变碱金属腔体的光密度不可取,因此优选利用温度变化。具体而言,可以按约 0.05 纳米/°C 来调节波长的温度相关性。如图 23 所示,进行调制,以便在载波的两侧产生边带,其中,以 4.6GHz 进行调制,调制时的频差为 9.2GHz,该值是铯原子的本征频率。如图 24 所示,当边带频差与铯原子的本征频差重合时,穿过受激铯气体的激光为最大值,因此,通过在调制器 460 中进行反馈来调节光源 410 中的面发射激光器元件的调制频率,使得光检测器 450 的输出保持最大值。由于原子的本征频率可能极其稳定,因此调制频率是稳定值,从而可把此信息作为输出。另外,当波长为 894.6 纳米时,可能需要波长范围为 ± 1 纳米的光源。即,可能需要使用波长范围为 893.6 纳米 - 895.6 纳米的光源。

[0165] 在此实施例的原子振荡器中,使用第一至第四实施例中的面发射激光器元件,因此,能够以很低的成本制造和提供原子振荡器。而且,使用第三实施例和 / 或第四实施例中的面发射激光器元件,因此还能够提供具有更长寿命的原子振荡器。

[0166] 而且,虽然在此实施例中使用铯作为碱金属,并使用波长为 894.6 纳米的面发射激光器来使用其 D1 线跃迁,但是在利用铯的 D2 线的情况中,也可以使用 852.3 纳米波长。而且,可以使用铷 (Rb) 作为碱金属,其中,在利用 D1 线的情况中,可以使用 795.0 纳米波长,在利用 D2 线的情况中,可以使用 780.2 纳米波长。可以根据波长来设计活性层的材料成分。而且,在使用铷 (Rb) 的情况中,对于 ^{87}Rb ,调制在 3.4GHz 调制频率进行,对于 ^{85}Rb ,

调制在 1.5GHz 调制频率进行。另外,即使对于这种波长,也可能需要波长范围为 ± 1 纳米的光源。即,当利用铯的 D2 线时,可能需要波长范围为 851.3 纳米-853.3 纳米的光源。而且,当利用铷的 D1 线时,可能需要波长范围为 794.0 纳米-796.0 纳米的光源。而且,当利用铷的 D2 线时,可能需要波长范围为 779.2 纳米-781.2 纳米的光源。

[0167] 虽然在上文中说明了本发明的一些实施例,但是本发明的内容不局限于上述内容。而且,虽然在本发明的一些实施例中说明的是把面发射激光器元件用于原子振荡器的情况,但是也可以把第一至第四实施例中的面发射激光器元件用于需要具有预定波长的其它装置(例如气体传感器等),在这种情况下,发射具有与其应用对应的预定波长的光的面发射激光器也可用于这种装置,并能获得类似效果。

[0168] [附录]

[0169] <面发射激光器元件、制造面发射激光器元件的方法和原子振荡器的解释性实施例>

[0170] 本发明的至少一个解释性实施例涉及一种面发射激光器元件、一种制造面发射激光器元件的方法、以及一种原子振荡器。

[0171] 本发明的至少一个解释性实施例的一个目的是提供一种面发射激光器元件,该面发射激光器元件具有能够以所需的波长间隔更精确地振荡的多个面发射激光器。

[0172] 本发明的至少一个解释性实施例的特征在于具有多个面发射激光器,所述面发射激光器具有形成在半导体基底上的下布拉格反射镜、包括形成在下布拉格反射镜上的活性层的谐振器、以及形成在谐振器上的上布拉格反射镜,其中,在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中形成有波长调节层,通过改变波长调节层的厚度使得从其中射出的光分别以不同的波长发出,波长调节层通过层压由两种不同材料构成的各个调节层而形成,通过改变波长调节层中的调节层数目来改变波长调节层的厚度。

[0173] 而且,本发明的至少一个解释性实施例的特征在于一种制造面发射激光器元件的方法,该面发射激光器元件具有多个面发射激光器,所述面发射激光器具有形成在半导体基底上的下布拉格反射镜、包括形成在下布拉格反射镜上的活性层的谐振器、以及形成在谐振器上的上布拉格反射镜,其中,在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中形成有波长调节层,通过改变波长调节层的厚度使得从其中射出的光分别以不同的波长发出,波长调节层通过层压由两种不同材料构成的各个调节层而形成,通过去除波长调节层中的调节层从而改变层数来改变波长调节层的厚度,该方法包括使用第一蚀刻液去除波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的一个调节层的步骤,以及使用第二蚀刻液去除波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的另一个调节层的步骤,其中,第一蚀刻液和第二蚀刻液彼此不同。

[0174] 解释性实施例(1)是一种面发射激光器元件,其特征在于,具有多个面发射激光器,所述面发射激光器具有形成在半导体基底上的下布拉格反射镜、包括形成在下布拉格反射镜上的活性层的谐振器、以及形成在谐振器上的上布拉格反射镜,其中,在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中形成有波长调节层,通过改变波长调节层的厚度使得从其中射出的光分别以不同的波长发出,波长调节层通过层压由两种不同材料构成的各个调节层而形成,通过改变波长调节层中的调节层数目来改变波长调节层的厚度。

[0175] 解释性实施例(2)是解释性实施例(1)中所述的面发射激光器元件,其特征在于,

波长调节层的光学厚度 P 为 $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$, 其中, λ 是面发射激光器的波长, N 是正整数。

[0176] 解释性实施例 (3) 是解释性实施例 (1) 或 (2) 中所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 在波长调节层中形成 M 层 (M 是正整数) 调节层, 在 M 是奇数的情况下, 从布置活性层的一侧算起, 波长调节层的光学薄膜厚度为 $\lambda/4$ 的位置是从波长调节层的顶端算起的第 $(M+1)/2$ 个调节层, 或者, 在 M 是偶数的情况下, 该位置是从波长调节层的顶端算起的第 $M/2$ 或 $(M/2)+1$ 个调节层。

[0177] 解释性实施例 (4) 是解释性实施例 (1) 至 (3) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 波长调节层由波长调节区和相位调节区组成, 所述波长调节区由通过两种不同材料构成的各个调节层组成。

[0178] 解释性实施例 (5) 是解释性实施例 (4) 中所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 波长调节层包括形成在比波长调节区更靠近谐振器的一侧的接触层, 其中, 所述接触层与一个电极连接。

[0179] 解释性实施例 (6) 是解释性实施例 (1) 至 (5) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 形成有一组波长调节层。

[0180] 解释性实施例 (7) 是解释性实施例 (1) 至 (6) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 在上布拉格反射镜中形成有一组波长调节层。

[0181] 解释性实施例 (8) 是解释性实施例 (1) 至 (7) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 通过去除波长调节层中的调节层来改变波长调节层的膜厚, 其中, 使用第一蚀刻液去除波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的一个调节层, 使用第二蚀刻液去除另一个调节层, 所述第一蚀刻液和第二蚀刻液彼此不同。

[0182] 解释性实施例 (9) 是解释性实施例 (1) 至 (8) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的一个调节层由磷化镓铟 (GaInP) 构成, 另一个调节层由磷砷化镓 (GaAsP) 或砷化镓 (GaAs) 构成。

[0183] 解释性实施例 (10) 是解释性实施例 (1) 至 (9) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 上布拉格反射镜包括从形成有活性层的一侧开始按顺序形成的第一上布拉格反射镜、波长调节层和第二上布拉格反射镜, 其中, 第二上布拉格反射镜通过交替地层压并形成具有不同折射率的介质层而形成。

[0184] 解释性实施例 (11) 是解释性实施例 (1) 至 (10) 中任何一个实施例所述的面发射激光器元件, 其特征在于, 多个波长中的至少一个在 893.6 纳米 -895.6 纳米、851.3 纳米 -853.3 纳米、794.0 纳米 -796.0 纳米或 779.2 纳米 -781.2 纳米范围之内。

[0185] 解释性实施例 (12) 是一种制造面发射激光器元件的方法, 该面发射激光器元件具有多个面发射激光器, 所述面发射激光器具有形成在半导体基底上的下布拉格反射镜、包括形成在下布拉格反射镜上的活性层的谐振器、以及形成在谐振器上的上布拉格反射镜, 其中, 在上布拉格反射镜或下布拉格反射镜中形成有波长调节层, 通过改变波长调节层的厚度使得从其中射出的光分别以不同的波长发出, 波长调节层通过层压由两种不同材料构成的各个调节层而形成, 通过去除波长调节层中的调节层从而改变层数来改变波长调节层的厚度, 该方法包括使用第一蚀刻液去除波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的一个调节层的步骤, 以及使用第二蚀刻液去除波长调节层中由两种不同材料构成的

各个调节层中的另一个调节层的步骤,其中,第一蚀刻液和第二蚀刻液彼此不同。

[0186] 解释性实施例(13)是解释性实施例(12)中所述的制造面发射激光器元件的方法,其特征在于,波长调节层中由两种不同材料构成的各个调节层中的一个调节层由磷化镓(GaInP)构成,另一个调节层由磷砷化镓(GaAsP)或砷化镓(GaAs)构成。

[0187] 解释性实施例(14)是解释性实施例(12)或(13)中所述的制造面发射激光器元件的方法,其特征在于,上布拉格反射层包括从形成有活性层的一侧开始按顺序形成的第一上布拉格反射镜、波长调节层和第二上布拉格反射镜,其中,第二上布拉格反射镜通过交替地层压并形成具有不同折射率的介质层而形成。

[0188] 解释性实施例(15)是一种原子振荡器,其特征在于,具有解释性实施例(1)至(11)中任何一个实施例所述的面发射激光器元件、封装有碱金属的碱金属腔体、以及用于检测从面发射激光器元件中的表面发射激光器发出的照射碱金属腔体的光中透过碱金属腔体的光的光检测器,其中,在从表面发射激光器射出的光中,具有两种不同波长并包括边带的光射到碱金属腔体上,从而基于由两种谐振光的量子干涉效应导致的光吸收特性来控制振荡频率。

[0189] 解释性实施例(16)是解释性实施例(15)中所述的原子振荡器,其特征在于,所述碱金属是铷或铯。

[0190] 根据本发明的至少一个解释性实施例,能够提供具有多个面发射激光器的面发射激光器元件,由于能够增加形成波长调节层的薄膜的膜厚,因而该面发射激光器能够以所需的波长间隔更精确地振荡。

[0191] 虽然在上文中参照附图说明了本发明的解释性实施例和/或具体例子,但本发明不局限于任何解释性实施例和/或具体例子,在不脱离本发明的范围的前提下,能够对这些解释性实施例和/或具体例子进行变化、修饰或组合。

[0192] 本专利申请要求于2011年12月2日提交的日本专利申请2011-264908和于2012年10月23日提交的日本专利申请2012-234113的优先权益,其完整内容通过引用结合在此。

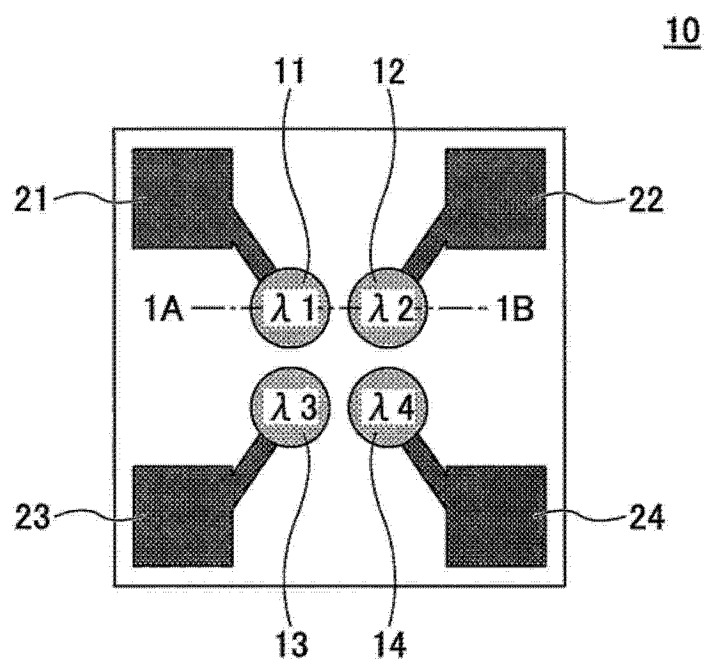


图 1

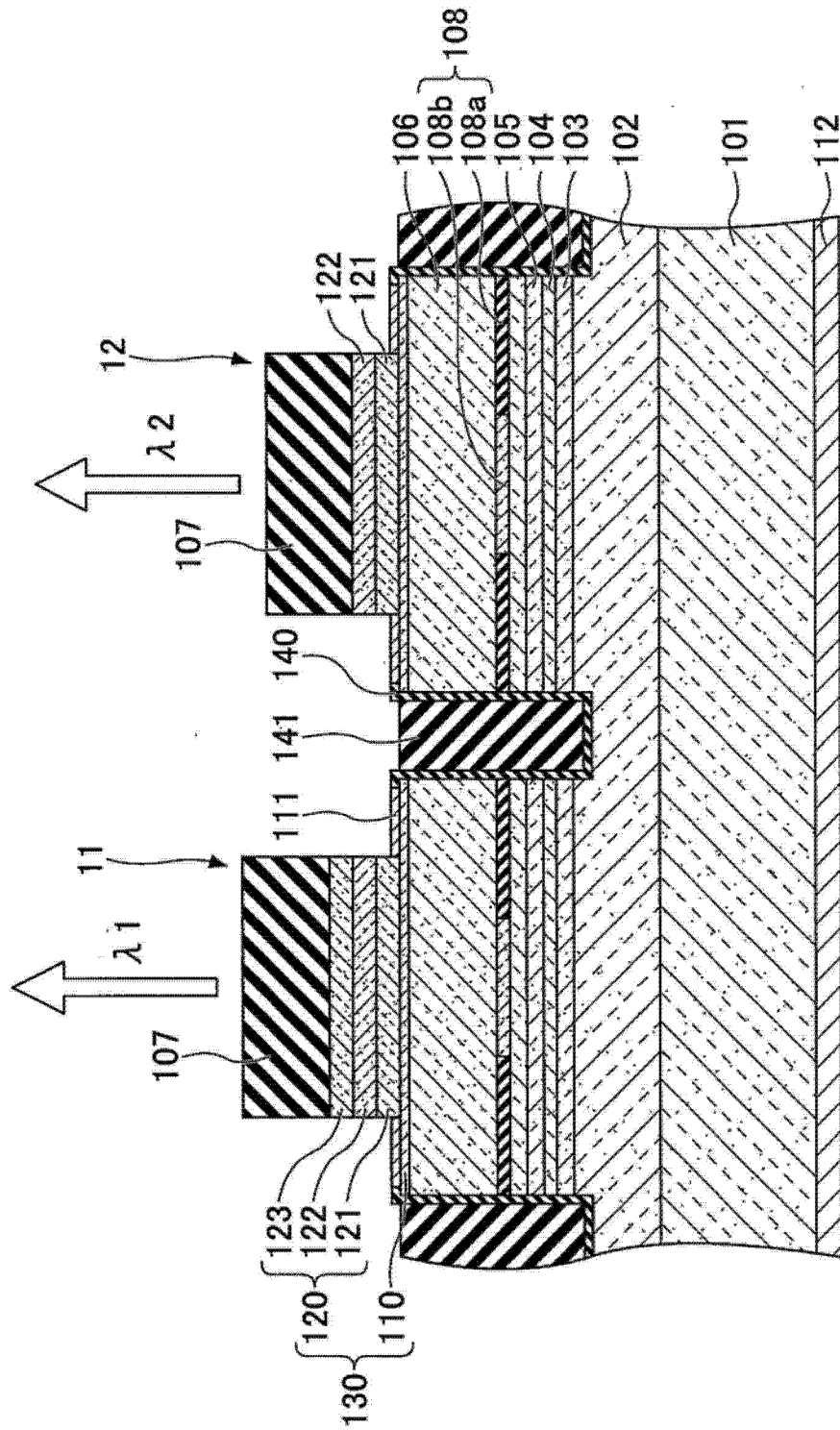


图 2

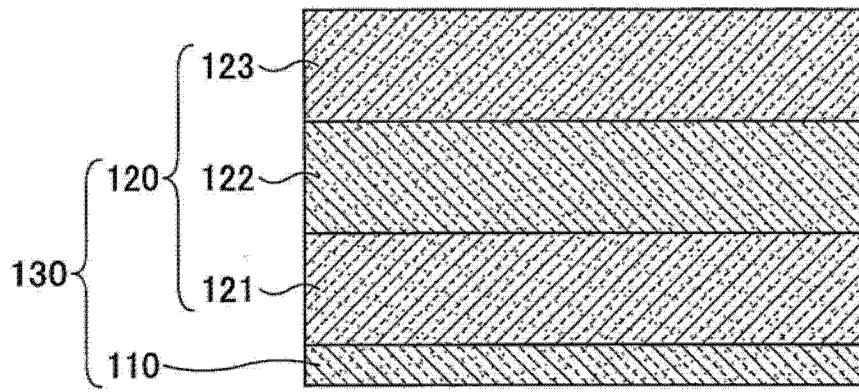


图 3

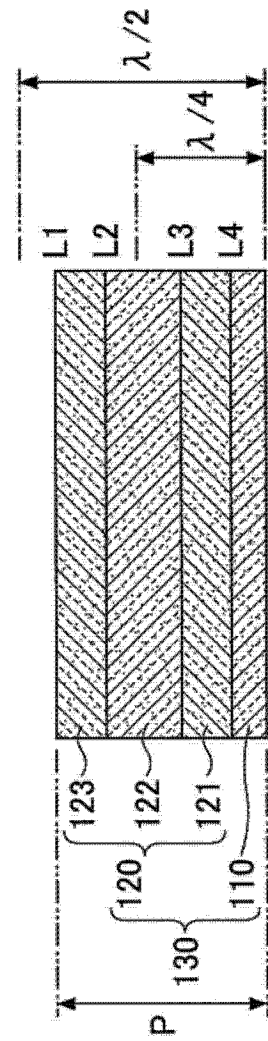


图 4A

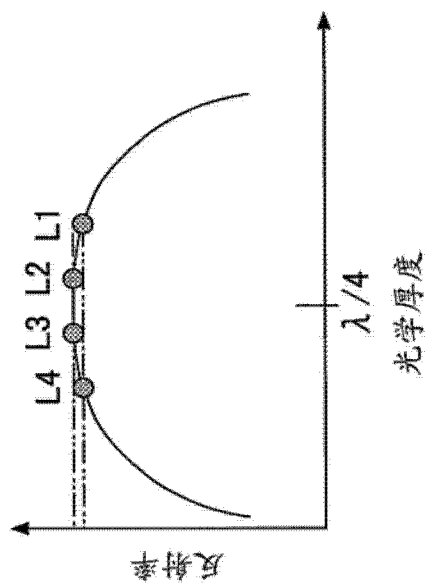


图 4B

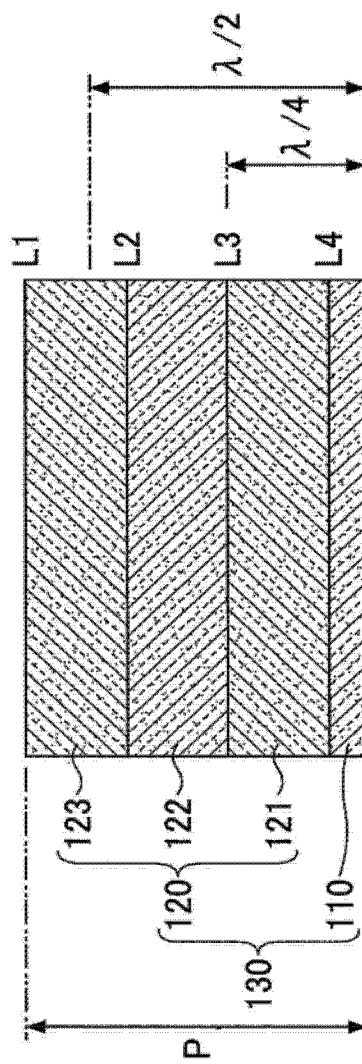


图 5A

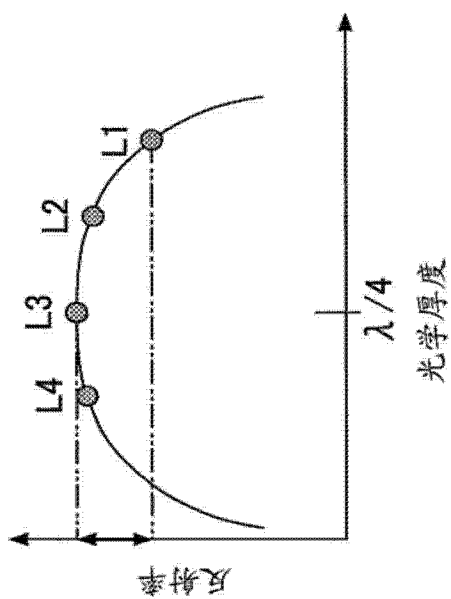


图 5B

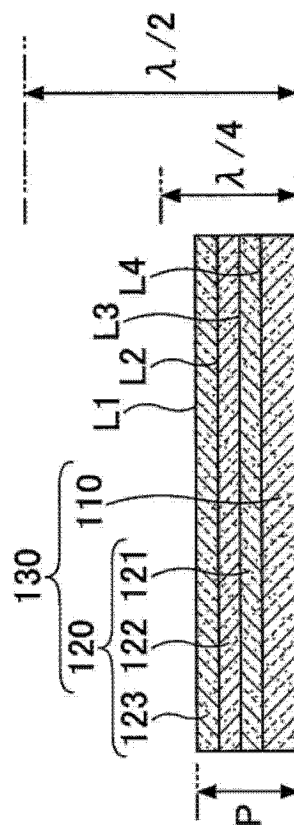


图 6A

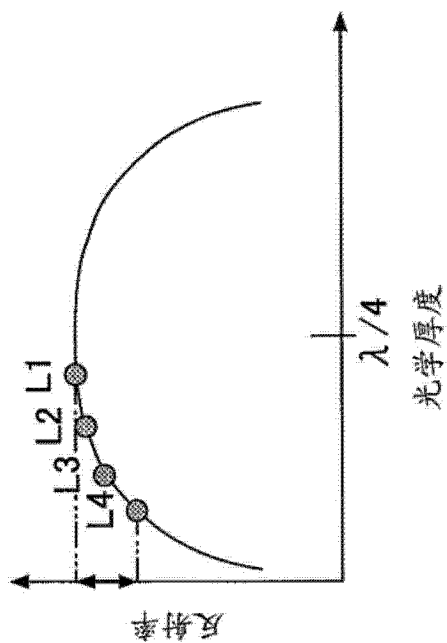


图 6B

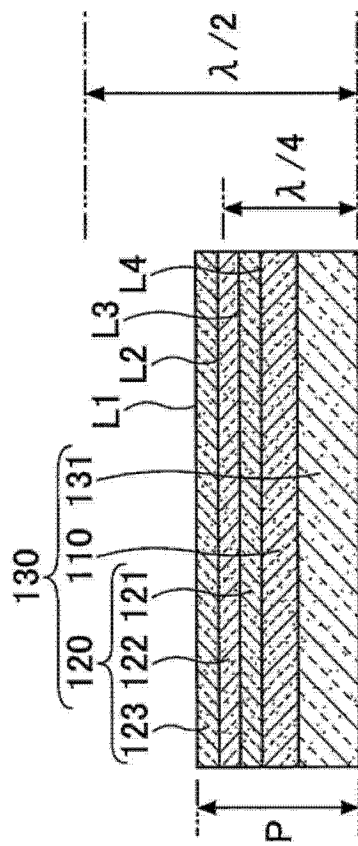


图 7A

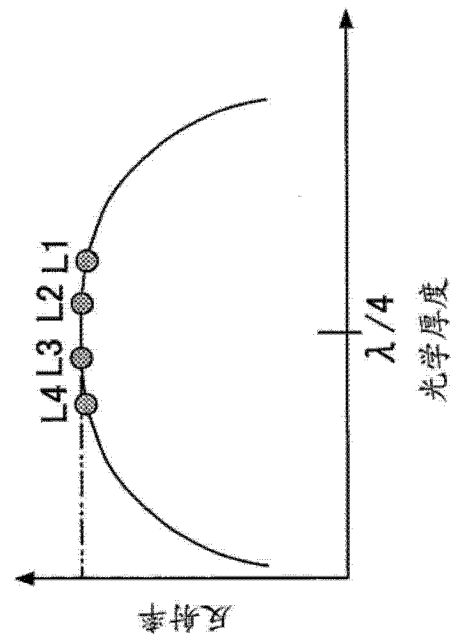


图 7B

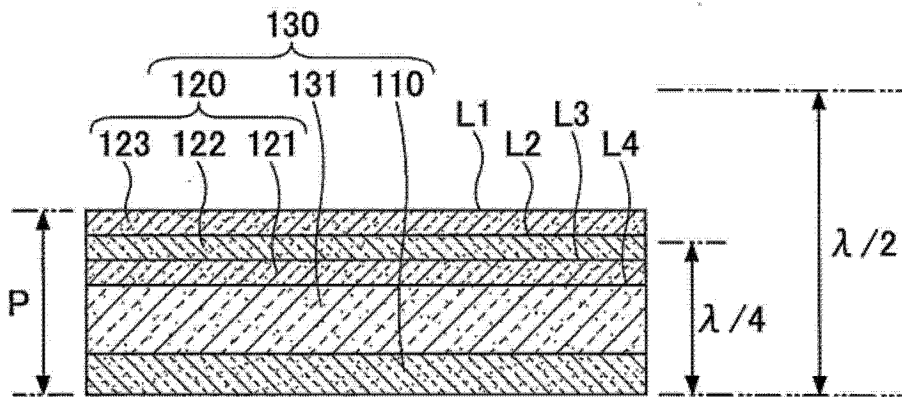


图 8

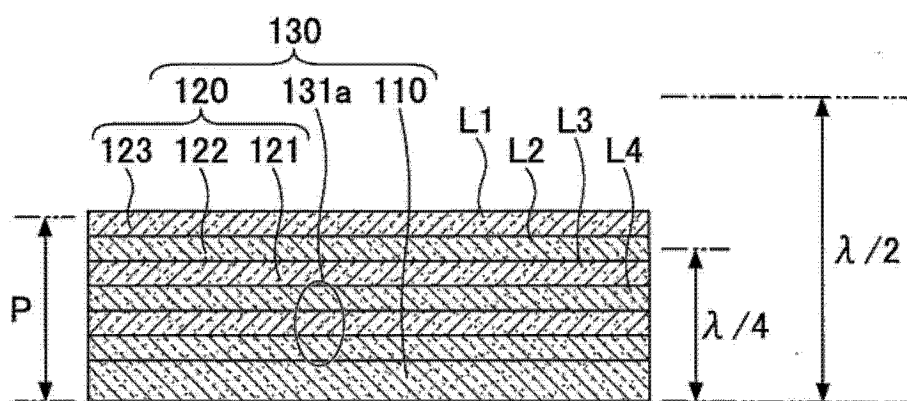


图 9

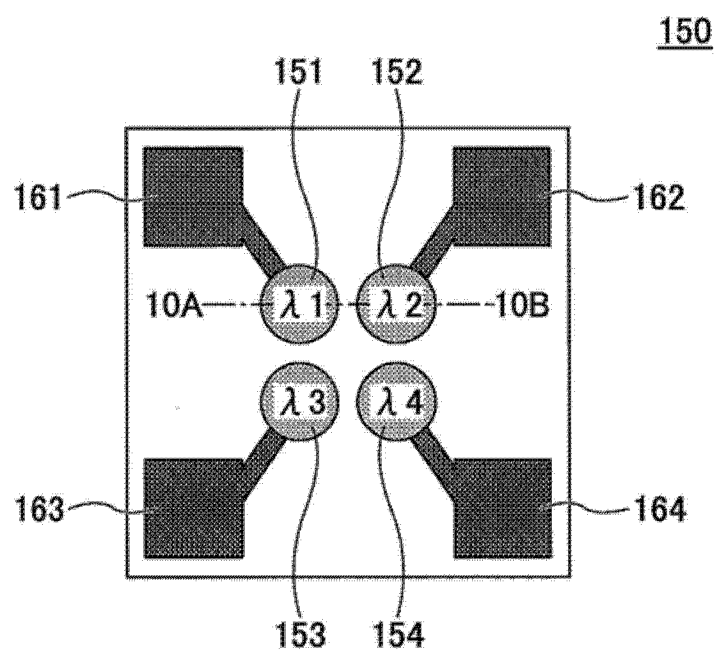


图 10

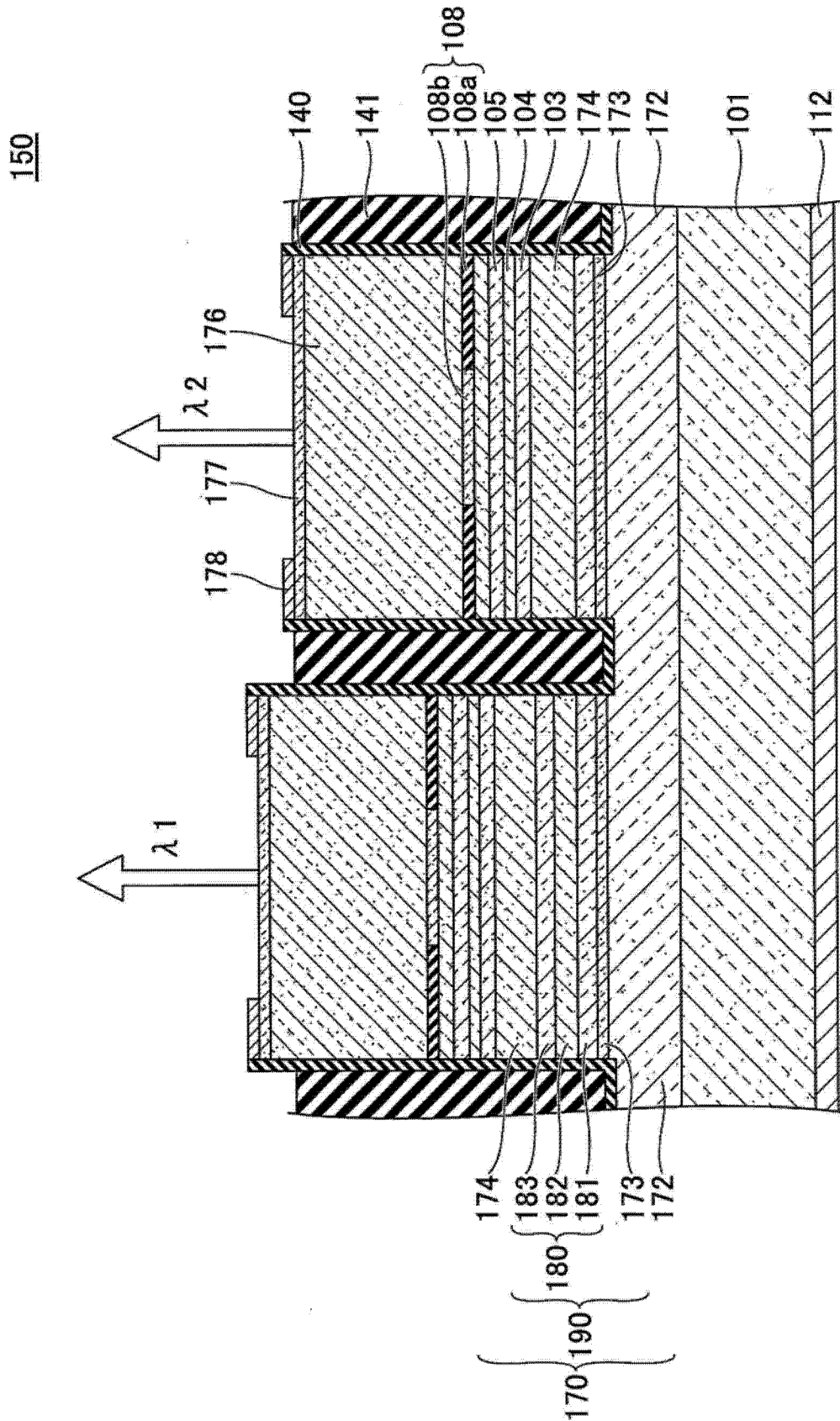


图 11

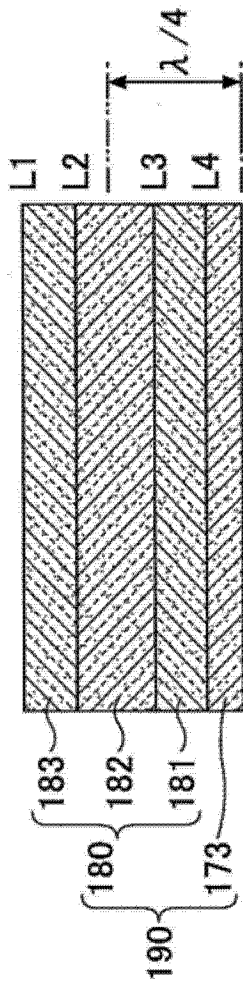


图 12A

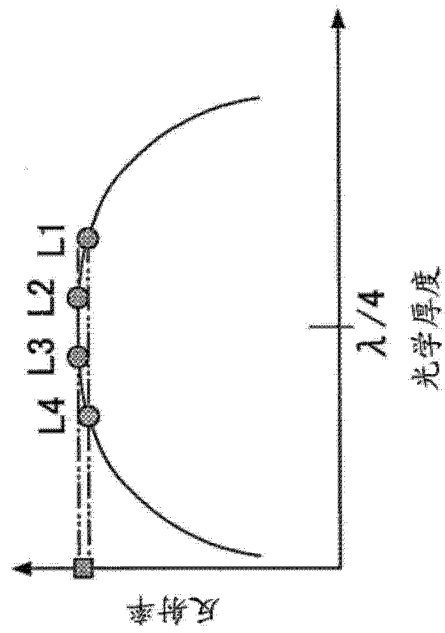


图 12B

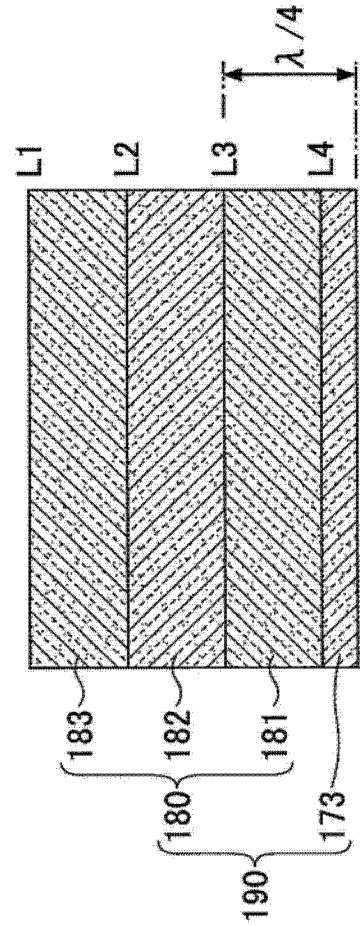


图 13A

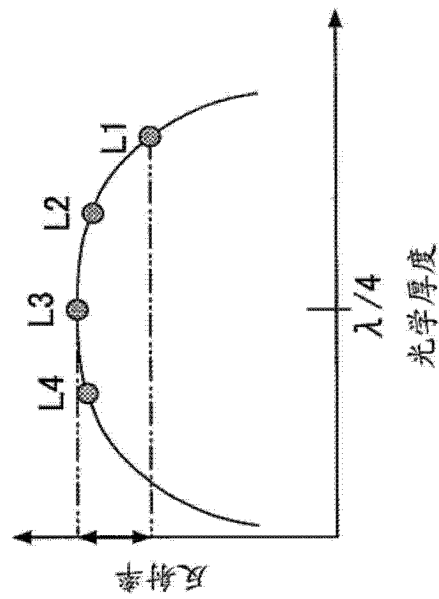


图 13B

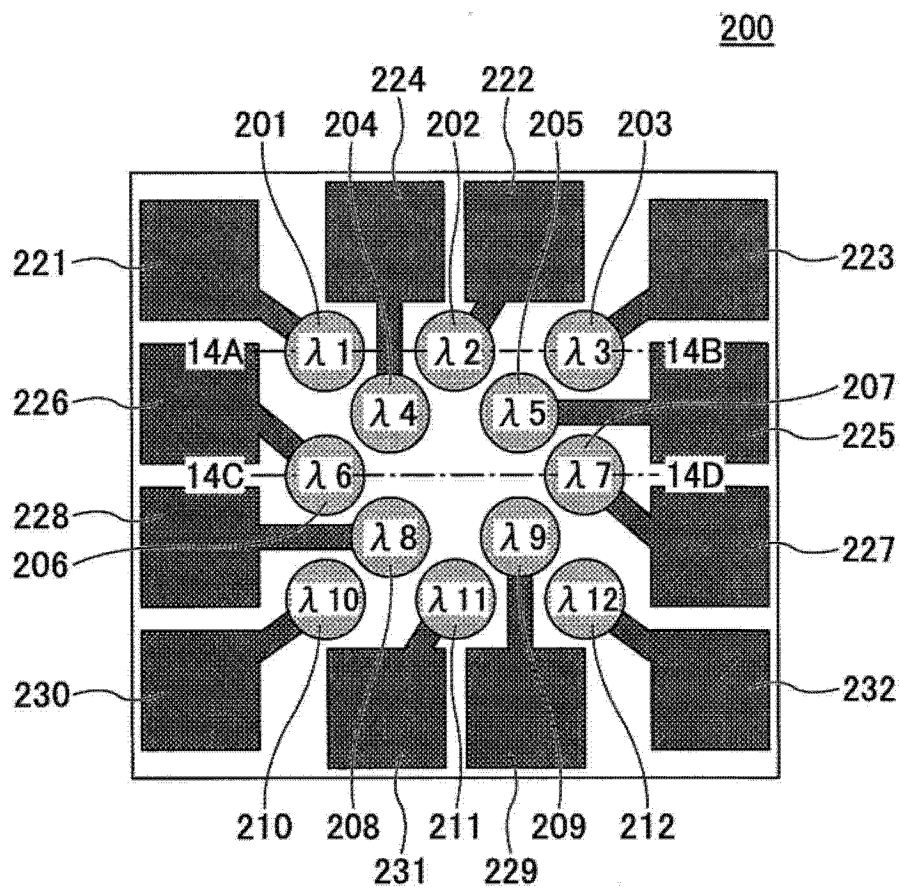


图 14

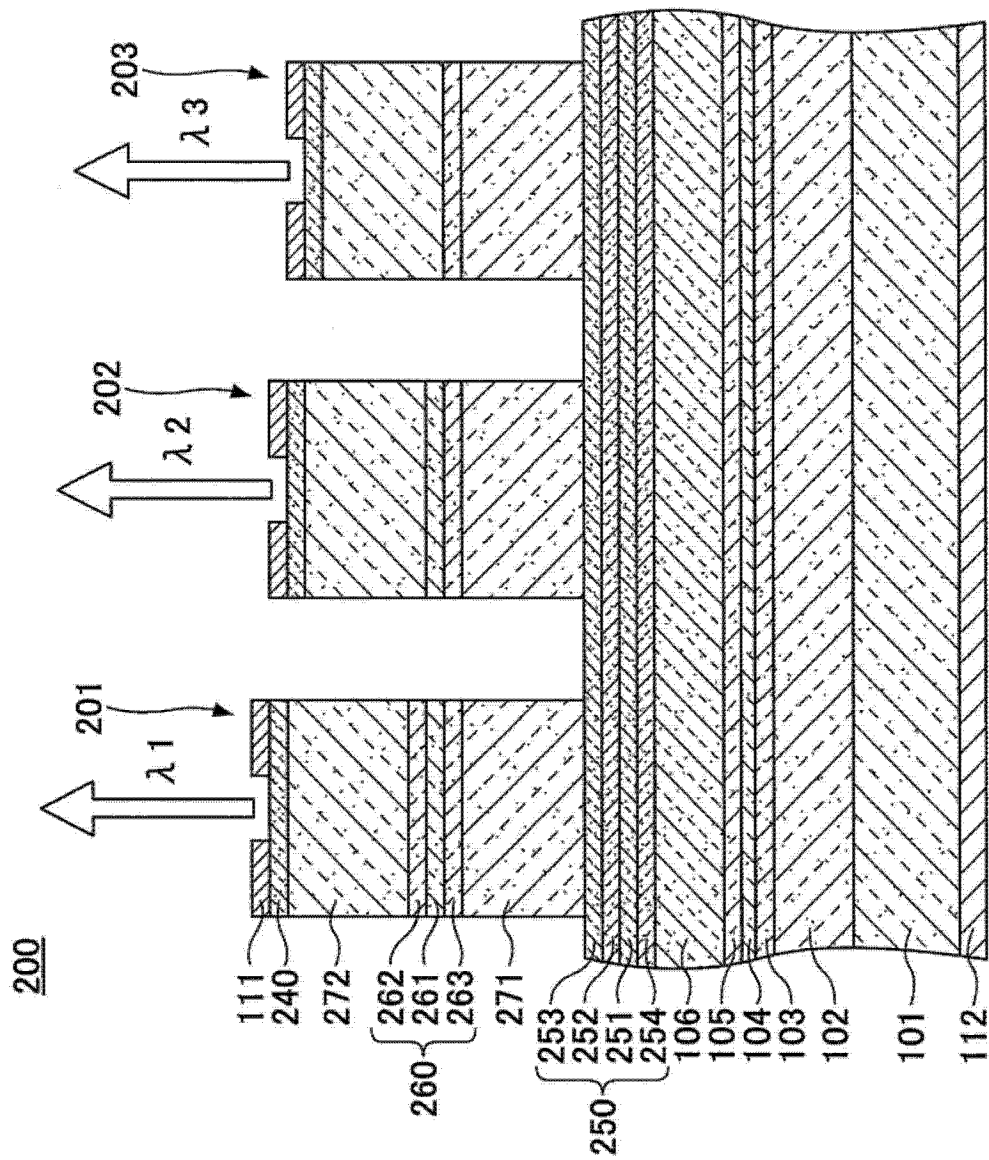


图 15A

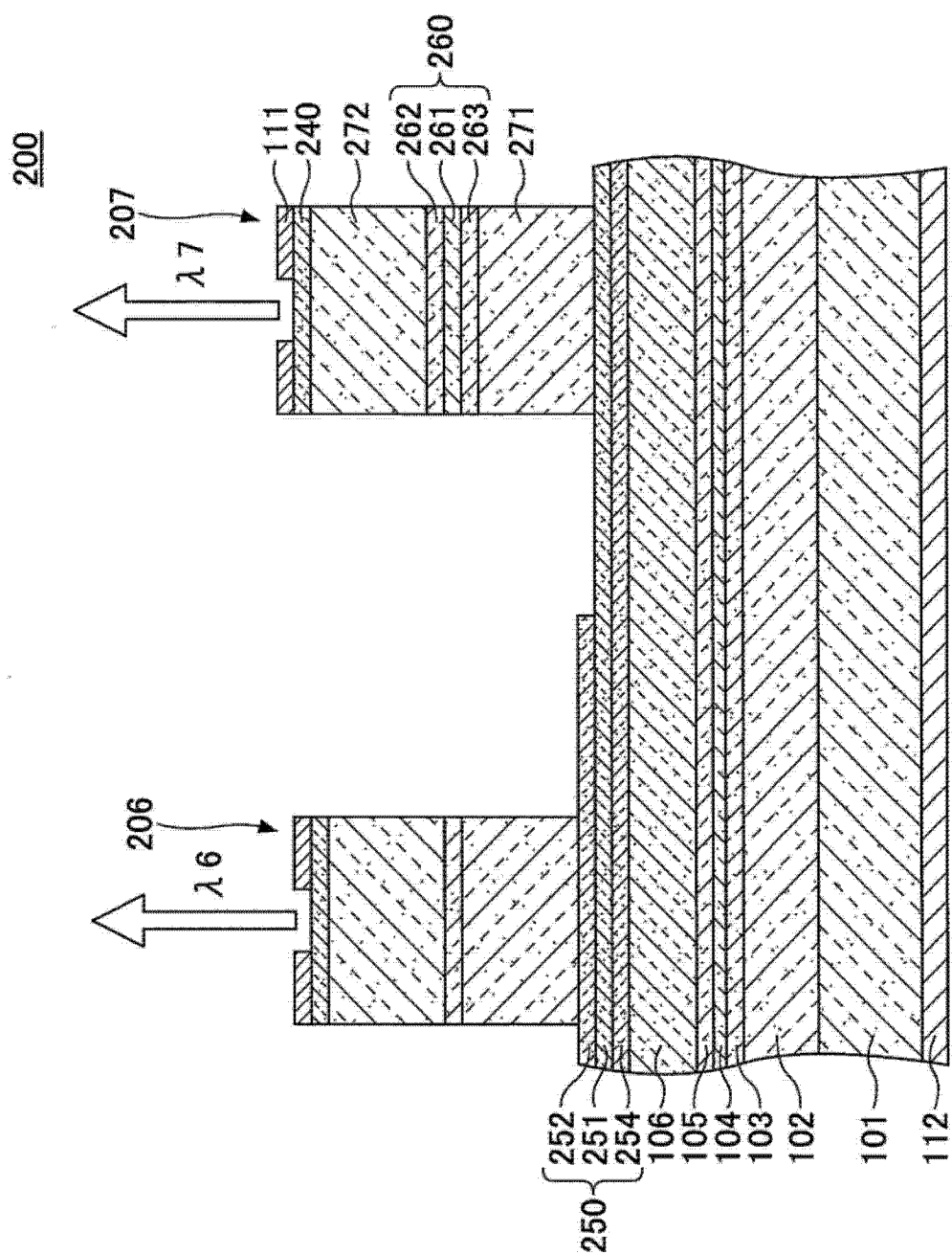


图 15B

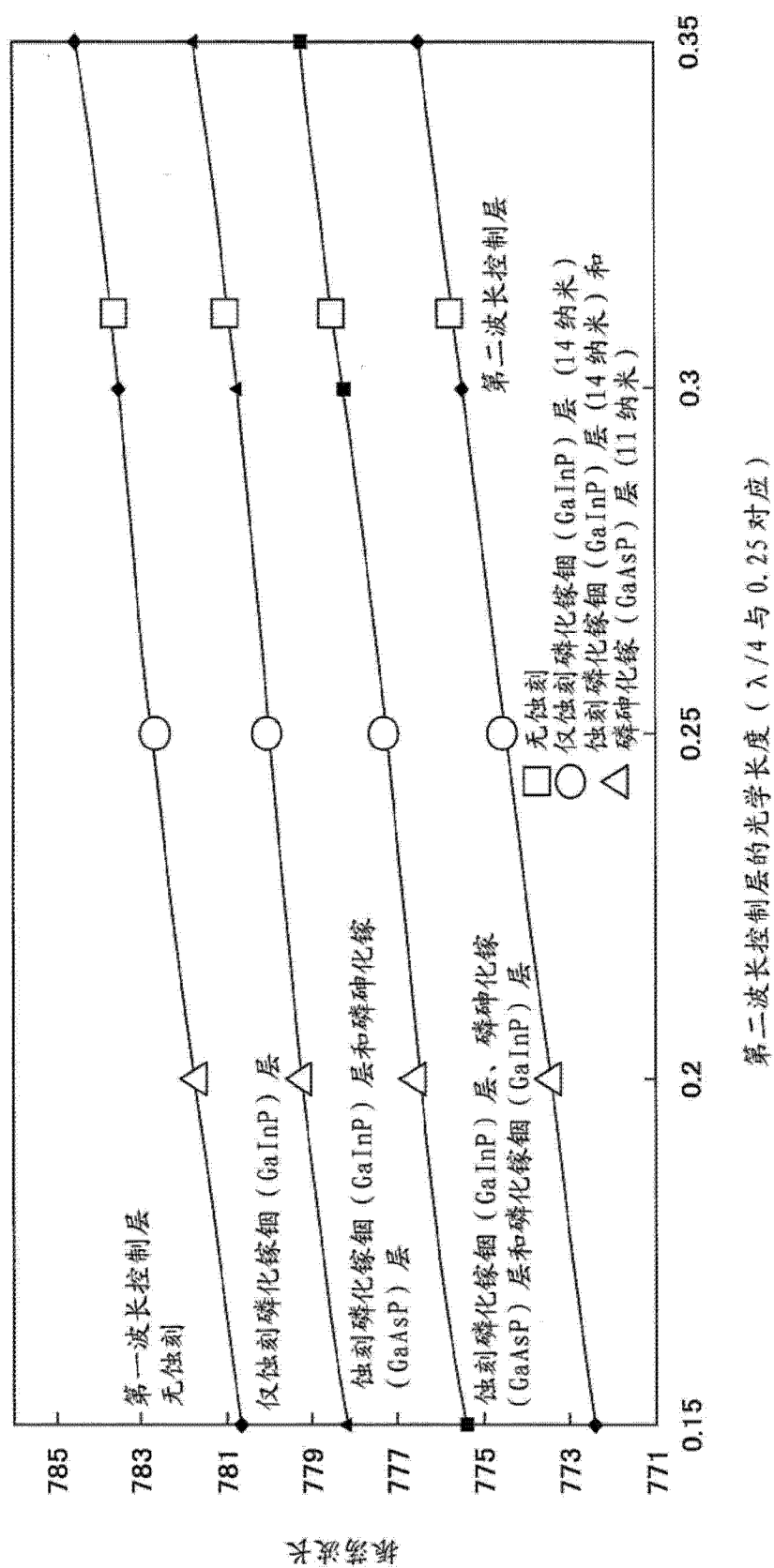


图 16

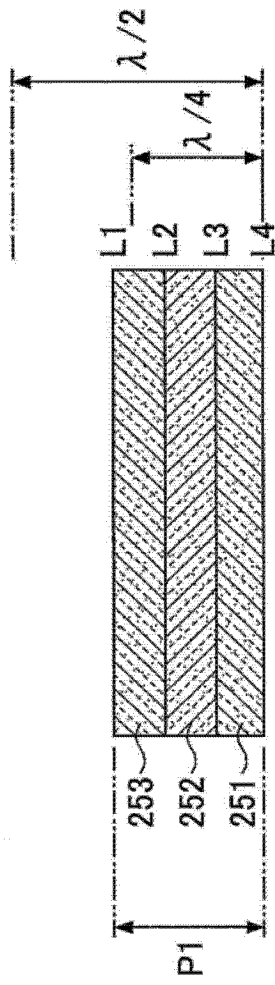


图 17A

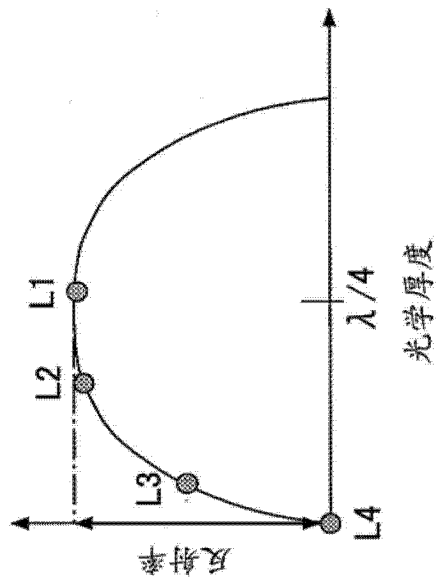


图 17B

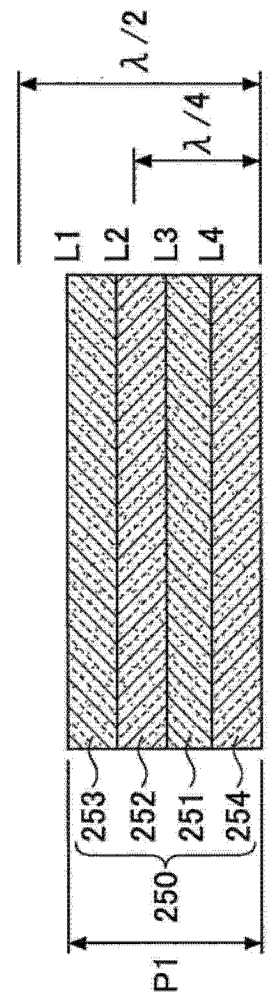


图 18A

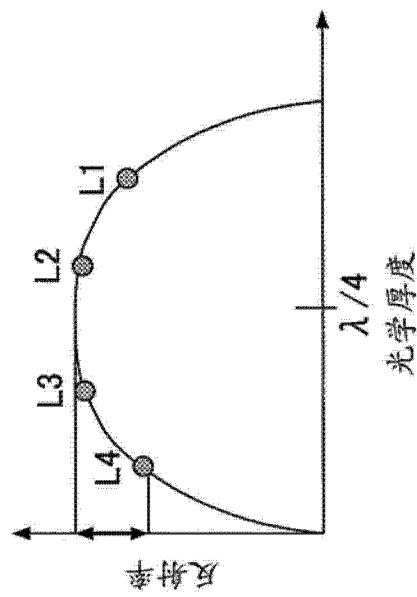


图 18B

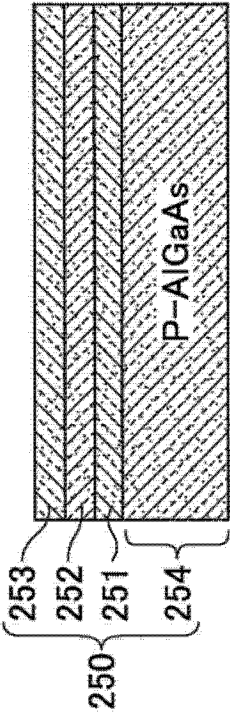


图 19A

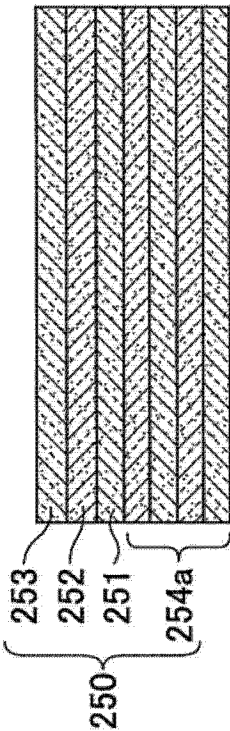


图 19B

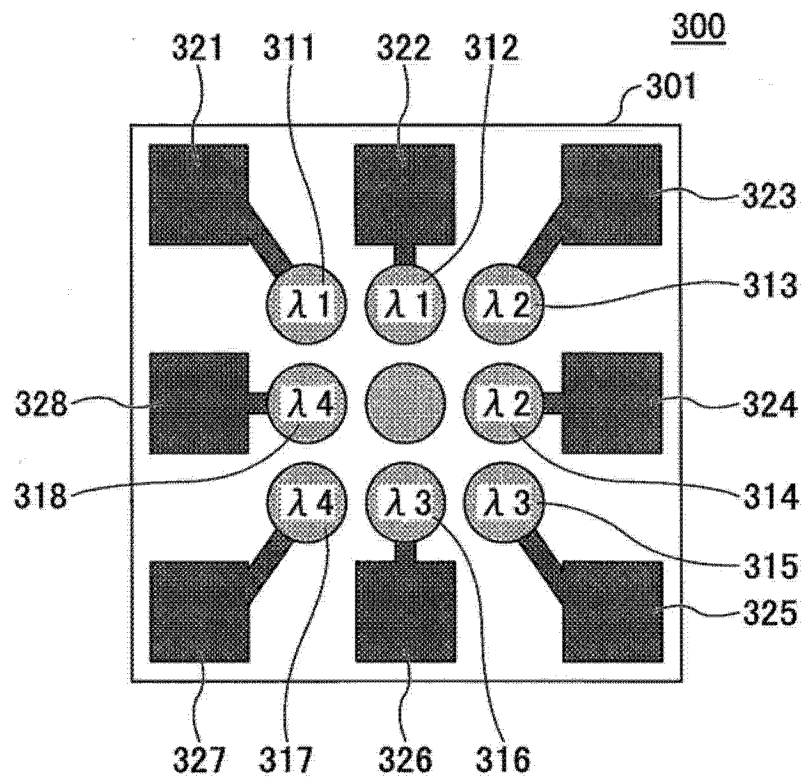


图 20

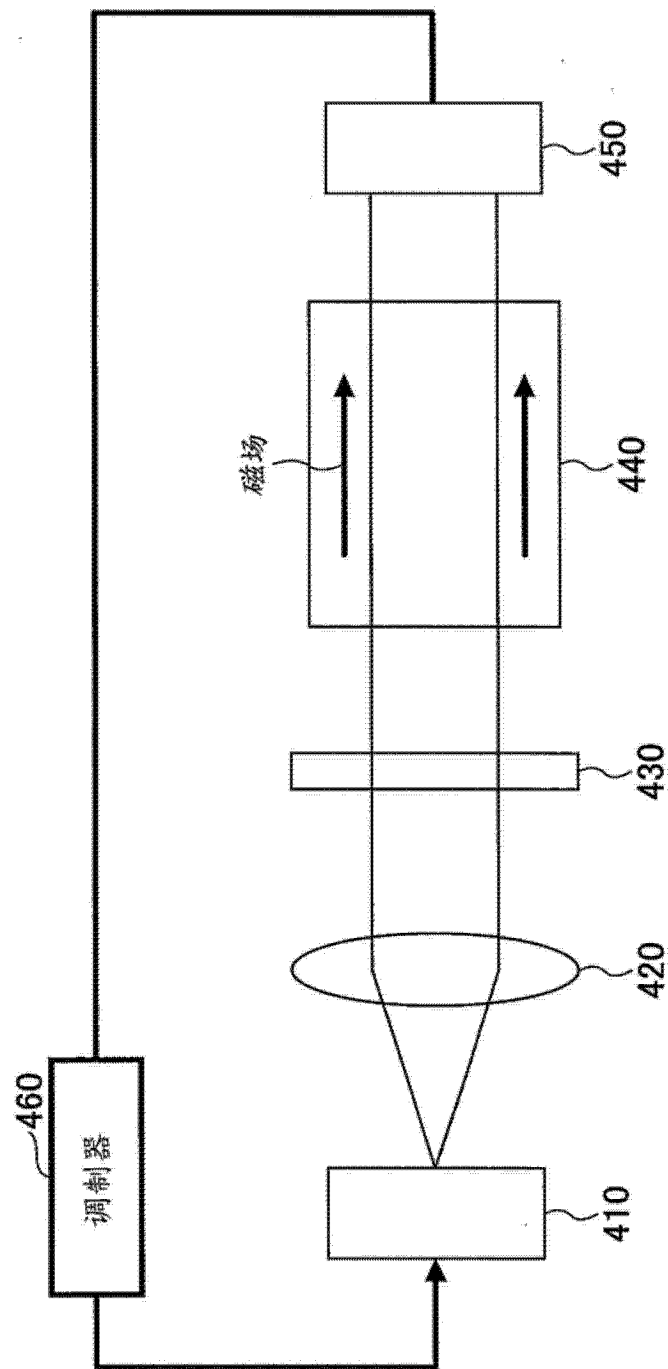


图 21

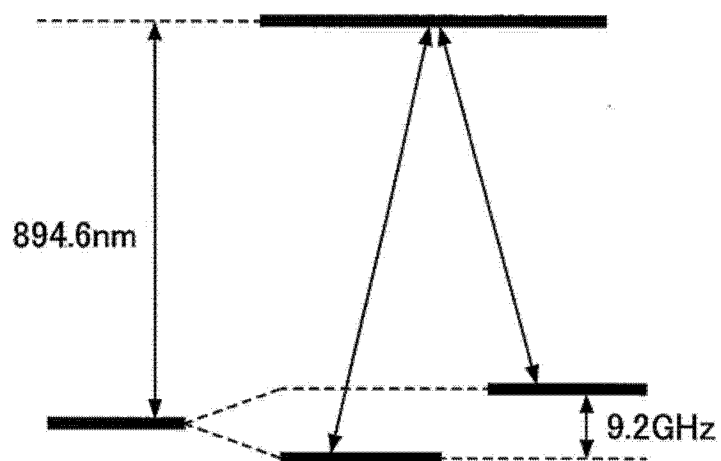


图 22

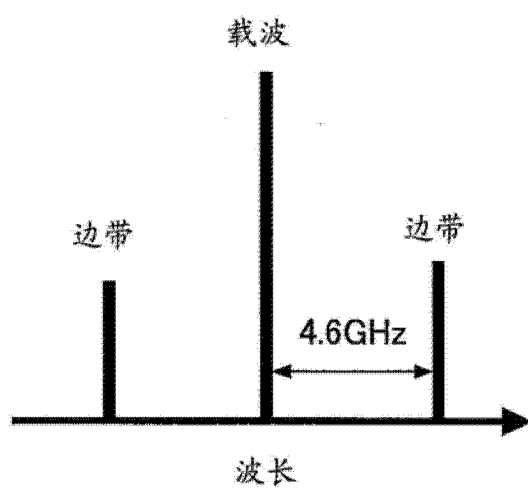


图 23

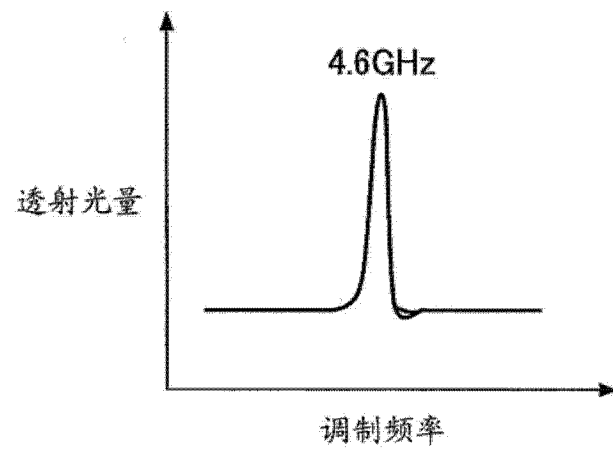


图 24