



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104204880 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201280071944. 7

(22) 申请日 2012. 03. 30

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2014. 09. 28

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2012/058635 2012. 03. 30

(87) PCT国际申请的公布数据
W02013/145271 JA 2013. 10. 03

(71) 申请人 富士通株式会社
地址 日本国神奈川县川崎市

(72) 发明人 田中信介

(74) 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司 72003

代理人 魏彦 金相允

(51) Int. Cl.
G02B 6/122(2006. 01)
H01S 5/14(2006. 01)

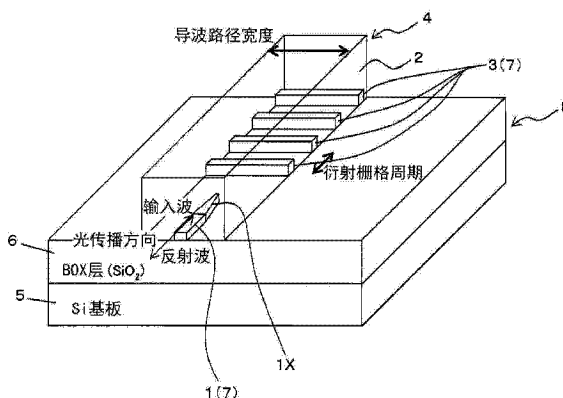
权利要求书2页 说明书21页 附图18页

(54) 发明名称

光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置

(57) 摘要

光元件 (4) 具有:硅导波路径芯 (1), 其具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部 (1X); 电介质导波路径芯 (2), 其至少覆盖锥部并且与硅导波路径芯相连接, 折射率比硅导波路径芯小, 构成单一模式导波路径; 衍射栅格 (3), 其设在单一模式导波路径上, 构成分布布拉格反射镜。



1. 一种光元件,其特征在于,具有:
硅导波路径芯,其具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部,
电介质导波路径芯,其至少覆盖所述锥部而与所述硅导波路径芯连接,具有比所述硅导波路径芯的折射率小的折射率,构成单一模式导波路径,
衍射栅格,其设在所述单一模式导波路径上,构成分布布拉格反射镜。
2. 如权利要求 1 所述的光元件,其特征在于,还具有:
迁移区域,其具有所述锥部,
分布布拉格反射镜区域,其具有所述衍射栅格,
连接区域,其连接所述迁移区域和所述分布布拉格反射镜区域。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格的折射率与所述电介质导波路径芯的折射率不同,并且,所述衍射栅格由周期性设置的膜构成。
4. 如权利要求 3 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格,向所述电介质导波路径芯的外侧突出。
5. 如权利要求 3 或 4 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格由硅膜构成,并且与所述硅导波路径芯设在同一面上。
6. 如权利要求 3 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格设在所述电介质导波路径芯的上表面。
7. 如权利要求 1 或 2 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格,是通过使所述电介质导波路径芯的截面尺寸发生周期性变化而构成的。
8. 如权利要求 7 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格,由从所述电介质导波路径芯的侧面突出的部分构成。
9. 如权利要求 7 所述的光元件,其特征在于,
所述衍射栅格,由在所述电介质导波路径芯的上表面埋入的部分构成。
10. 如权利要求 1 ~ 9 中任意一项所述的光元件,其特征在于,
还具有金属包层,该金属包层覆盖所述电介质导波路径芯,具有比所述电介质导波路径芯的折射率小的折射率。
11. 如权利要求 1 ~ 10 中任意一项所述的光元件,其特征在于,
还具有其它硅导波路径芯,该其它硅导波路径芯具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部,
以使所述其它硅导波路径芯的所述终端部成为所述衍射栅格的一侧的方式,隔着所述衍射栅格而将所述其它硅导波路径芯设在与所述硅导波路径芯相反的一侧,
所述电介质导波路径芯至少覆盖所述其它硅导波路径芯的所述锥部。
12. 如权利要求 1 ~ 10 中任意一项所述的光元件,其特征在于,
隔着所述衍射栅格而在与所述硅导波路径芯相反的一侧,所述电介质导波路径芯具有越往终端部则截面尺寸越大的锥部。
13. 如权利要求 1 ~ 10 中任意一项所述的光元件,其特征在于,
所述电介质导波路径芯,其隔着所述衍射栅格而与所述硅导波路径芯相反的一侧的端

面,相对于光传播方向而成为倾斜端面。

14. 如权利要求 1 ~ 13 中任意一项所述的光元件,其特征在于,

还具有环共振器过滤器,该环共振器过滤器连接在由所述硅导波路径芯构成的硅导波路径上。

15. 一种混合波导激光器,其特征在于,具有:

权利要求 14 所述的光元件,

增益介质,其与所述光元件光耦合,

反射镜,其隔着所述硅导波路径、所述环共振器过滤器以及所述增益介质而设在与所述分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

16. 一种混合波导激光器,其特征在于,具有:

权利要求 1 ~ 10 中任意一项所述的光元件,

增益介质,其与所述光元件光耦合,

反射镜,其隔着所述增益介质而设在与所述分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

17. 一种光发送元件,其特征在于,具有:

多个如权利要求 1 ~ 10、12、13 中任意一项所述的光元件,

分别与所述多个光元件一对一连接的多个环光调制器,

分别与所述多个环光调制器连接的光合波器,

与所述光合波器连接的输出导波路径。

18. 如权利要求 17 所述的光发送元件,其特征在于,具有:

多个环共振器过滤器,分别与所述多个光元件各自具备的由所述硅导波路径芯构成的硅导波路径一对一连接,

多个光耦合器,分别与所述多个环共振器过滤器一对一连接;

所述多个环光调制器,分别与所述多个光耦合器一对一连接。

19. 一种光接收元件,其特征在于,

具有马赫曾德尔干涉仪,该马赫曾德尔干涉仪具有两个光耦合器,并且在所述两个光耦合器之间具有两个臂,

所述两个臂分别具有权利要求 11 所述的光元件,

所述光接收元件还具有:

第一光检测器,其与所述两个光耦合器中的一个光耦合器相连接,

光分波器,其与所述两个光耦合器中的另一个光耦合器相连接,

第二光检测器,其与所述光分波器相连接。

20. 一种光发送装置,其特征在于,具有:

权利要求 17 或 18 所述的光发送元件,

增益介质阵列,其与所述光发送元件光耦合,并且具有多个增益介质,

反射镜,其隔着所述增益介质阵列而设在与所述光发送元件所具备的所述多个分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置

技术领域

[0001] 本发明涉及光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置。

背景技术

[0002] 近年来,使用廉价且能够大规模集成的硅电子电路制造技术来在硅基板上形成的硅光元件受到关注。

[0003] 例如,期待通过高性能服务器、超级计算机、个人计算机等的信息处理设备的高性能化,以解决今后设想的芯片间以及主板间的通信容量不足,实现以低损耗且小型的硅细线导波路径为基础的大规模硅光通信元件。

[0004] 特别,为了增大传送容量,期待应用在光纤通信中使用的波长分割多重(WDM:Wavelength Division Multiplexing)传送方式,来实现WDM硅光通信元件,该WDM硅光通信元件,能够在元件内使独立调制过的波长不同的多个信号光多重化,从而进行发送接收。在该WDM硅光通信元件中,能够在单一的传送路径内使波长不同的多个信号光多重化来进行传送,因此,能够飞跃性提高传送路径上的传送容量(通信容量),并且能够期待小型且大容量的光通信元件。

[0005] 此外,现有如下技术:由半导体光放大器(SOA:Semiconductor Optical Amplifier)等的发光元件和硅光元件进行组合而成的混合波导激光器所相关的技术,在硅光元件中变换光点大小(spot size)的技术。

[0006] 现有技术文献:

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:JP特开2006—245344号公报

[0009] 专利文献2:JP特开2010—44290号公报

[0010] 非专利文献

[0011] 非专利文献1:Tai Tsuchizawa et al., “Microphonics Devices Based on Silicon Microfabrication Technology”, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 11, No. 1, January/February 2005

发明内容

[0012] 发明要解决的问题

[0013] 然而,例如,在实现混合波导激光器、WDM硅光通信元件等的硅光通信元件等的情况下,需要实现具有构成分布布拉格反射镜的衍射栅格的硅光元件。

[0014] 此时,要考虑使硅导波路径芯的宽度周期性变化,由从硅导波路径芯的侧面突出的部分来形成衍射栅格。

[0015] 但是,硅导波路径芯与金属包层之间的折射率差非常大,并且、截面尺寸非常小,因此,如果其尺寸产生轻微偏差,则会使导波路径的等价折射率大幅度变化。其结果,由形

成在硅导波路径芯的侧面部分上的衍射栅格构成的分布布拉格反射镜的布拉格波长也会大幅度变化。

[0016] 因此,在当前的工艺精度中,难以稳定地形成衍射栅格以用于构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜,成品率低。

[0017] 因此,希望能够在具有硅导波路径芯的光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置中,以高(良好)成品率实现用于构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜的衍射栅格。

[0018] 用于解决问题的手段

[0019] 本光元件具有:硅导波路径芯,其具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部;电介质导波路径芯,其至少覆盖所述锥部而与所述硅导波路径芯连接,具有比所述硅导波路径芯的折射率小的折射率,构成单一模式导波路径;衍射栅格,其设在所述单一模式导波路径上,构成分布布拉格反射镜。

[0020] 本混合波导激光器具有:在所述光元件上还设置与由硅导波路径芯构成的硅导波路径连接的环共振器过滤器的光元件;增益介质,其与所述光元件光耦合;反射镜,其隔着所述硅导波路径、所述环共振器过滤器以及所述增益介质而设在与所述分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

[0021] 本混合波导激光器具有:所述光元件;增益介质,其与所述光元件光耦合;反射镜,其隔着所述增益介质而设在与所述分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

[0022] 本光发送元件具有:多个所述光元件;分别与所述多个光元件一对一连接的多个环光调制器;分别与所述多个环光调制器连接的光合波器;与所述光合波器连接的输出导波路径。

[0023] 本光接收元件具有马赫曾德尔(mach-zehnder)干涉仪,该马赫曾德尔干涉仪具有两个光耦合器,并且在所述两个光耦合器之间具有两个臂;所述两个臂分别具有权利要求11所述的光元件。所述光接收元件还具有:第一光检测器,其与所述两个光耦合器中的一个光耦合器相连接;光分波器,其与所述两个光耦合器中的另一个光耦合器相连接;第二光检测器,其与所述光分波器相连接。

[0024] 本光发送装置具有:所述光发送元件;增益介质阵列,其与所述光发送元件光耦合,并且具有多个增益介质;反射镜,其隔着所述增益介质阵列而设在与所述光发送元件所具备的所述多个分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。

[0025] 发明的效果

[0026] 因此,通过本光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置,有如下优点:能够实现以高(优)成品率制造这样的衍射栅格,该衍射栅格能够在具有硅导波路径芯的装置中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。

附图说明

[0027] 图1是表示第一实施方式的光元件的结构示意立体图。

[0028] 图2是表示第一实施方式的光元件的结构示意图,是沿着光导波路径的延伸方向的截面图。

[0029] 图3的(A)部分是为了说明第一实施方式的光元件的迁移区域中的光模式分布的

形状变化而从仅迁移区域附近切取的示意立体图,图3的(B)部分是表示输入侧(硅导波路径)中的光模式分布的图,图3的(C)部分是表示输出侧(电介质导波路径)中的光模式分布的图。

[0030] 图4的(A)部分是表示在构成第一实施方式的光元件的分布布拉格反射镜区域中,不存在电介质导波路径的衍射栅格的区域中的光电场分布的图,该电介质导波路径具有SiON导波路径芯(折射率 $n = 1.50$)来作为电介质导波路径芯,图4的(B)部分是表示存在该电介质导波路径的衍射栅格的区域中的光电场分布的图。

[0031] 图5是表示构成第一实施方式的光元件的电介质导波路径芯的终端面的变形例的结构示意俯视图。

[0032] 图6的(A)部分是表示构成第一实施方式的光元件的分布布拉格反射镜区域中的导波路径的等价折射率的导波路径宽度依赖性的图,图6的(B)部分是表示该分布布拉格反射镜区域中的布拉格波长的导波路径宽度依赖性的图。

[0033] 图7是表示构成第一实施方式的光元件的分布布拉格反射镜区域中的反射光谱特性的图。

[0034] 图8的(A)部分~图8的(C)部分用于说明第一实施方式的光元件的制造方法的示意立体图。

[0035] 图9是表示第一实施方式的一个变形例的光元件的结构示意立体图。

[0036] 图10是表示第一实施方式的其它变形例的光元件的结构示意立体图。

[0037] 图11是表示第一实施方式的其它变形例的光元件的结构示意立体图。

[0038] 图12是表示第一实施方式的其它变形例的光元件的结构示意立体图。

[0039] 图13是表示第一实施方式的其它变形例的光元件的结构示意立体图。

[0040] 图14是表示第二实施方式的光元件以及混合波导激光器的结构示意俯视图。

[0041] 图15是用于说明通过第二实施方式的混合波导激光器所具备的波长选择机构中的波长选择以单一波长进行激光振荡的图。

[0042] 图16是表示比较例的混合波导激光器的结构示意俯视图。

[0043] 图17的(A)部分是表示构成比较例的混合波导激光器所具备的分布布拉格反射镜的具有侧壁衍射栅格的硅导波路径芯的示意立体图,图17的(B)部分是表示比较例的分布布拉格反射镜区域中的导波路径的等价折射率的导波路径宽度依赖性的图,图17的(C)部分是表示该分布布拉格反射镜区域中的布拉格波长的导波路径宽度依赖性的图。

[0044] 图18是表示第二实施方式的变形例的光元件以及混合波导激光器的结构示意俯视图。

[0045] 图19是表示第三实施方式的光发送元件以及光发送装置的结构示意俯视图。

[0046] 图20是表示第三实施方式的变形例的光发送元件以及光发送装置的结构、第三实施方式的混合波导激光器的结构、第三实施方式的光接收元件的结构示意俯视图。

具体实施方式

[0047] 下面,根据附图来说明本发明的实施方式的光元件、光发送元件、光接收元件、混合波导激光器、光发送装置。

[0048] [第一实施方式]

[0049] 首先,参照图 1 ~图 8 的 (C) 部分来说明第一实施方式的光元件。

[0050] 本实施方式的光元件是形成在硅 (Si) 基板上的硅光元件。此外,也将该光元件称为光功能元件。

[0051] 本光元件,如图 1 所示,具有硅导波路径芯 1、电介质导波路径芯 2、用于构成分布布拉格反射镜 (DBR :Distributed Bragg Reflector) 的衍射栅格 3。也将这样的光元件 4 称为反射型滤光元件。即,在具有硅导波路径芯 1 的光元件 4 上,设置材料与硅导波路径芯 1 不同的电介质导波路径芯 2,由这些不同材料构成的两个导波路径芯 1、2 来构成光导波路径。此外,也将硅导波路径芯 1 称为硅细线导波路径芯或输入导波路径芯。

[0052] 具体而言,本光元件 4 是使用 SOI 基板 8 制作而成的,就该 SOI 基板 8 而言,在 Si 基板 5 上具有 BOX 层 6,其例如为厚度约 $3\mu\text{m}$ 的 SiO_2 层 ;SOI 层 7,其例如为厚度约 250nm 的硅 (Si) 层。在此,对 SOI 层 7 进行蚀刻,通过因蚀刻而残留的 SOI 层 7,在 BOX 层 6 上形成具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 3。并且,以覆盖由因蚀刻而残留的 SOI 层 7 形成的硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 3 的方式,在 BOX 层 6 上例如形成由 SiON 构成的电介质导波路径芯 2。此外,由硅层构成的硅导波路径芯 1 的材料不仅可以是单晶硅,也可以是多晶硅、非晶硅。另外,也将锥部 1X 称为锥结构、锥导波路径或输入锥导波路径。另外,也将硅导波路径芯 1 称为 SOI 层导波路径芯。另外,也将衍射栅格 3 称为 SOI 表面衍射栅格或 SOI 层衍射栅格。另外,也将 Si 基板称为 Si 基板层。

[0053] 在此,硅导波路径芯 1 具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部 1X,构成单一模式导波路径。该硅导波路径芯 1 以锥部 1X 的尖端为终端。即,电介质导波路径芯 2 所内置的硅导波路径芯 1 的终端在电介质导波路径芯 2 的中途。

[0054] 在此,由硅导波路径芯 1 和覆盖硅导波路径芯 1 的电介质导波路径芯 2 来构成导波路径。将其称为硅导波路径、硅细线导波路径或输入导波路径。此外,在硅导波路径芯 1 的锥部 1X 以外的部分没有被电介质导波路径芯 2 覆盖的情况下,由硅导波路径芯 1 及其周围的空气或金属包层构成导波路径。

[0055] 具体而言,硅导波路径芯 1 的锥部 1X 以外的部分,即,输入端面侧的部分的宽度例如约为 450nm,成为该硅导波路径芯 1 的两侧的 SOI 层 7 被完全除去的通道导波路径结构。特别,硅导波路径芯 1 被设置为构成单一模式导波路径,其在光的各偏振方向仅存在单一的导波模式。即,硅导波路径芯 1 是单一模式导波路径,其被设定了针对垂直以及水平方向分别受折射率极限限制的光封闭机构。

[0056] 另外,硅导波路径芯 1 的锥部 1X 是宽度锥型的硅导波路径芯,例如,沿着光传播方向,硅导波路径芯 1 的宽度从约 450nm 缓缓变为约 50nm,其锥长 (后述的迁移区域 9 的长度) 约为 $300\mu\text{m}$ 。

[0057] 此外,在此,虽然将锥部 1X 置为宽度锥型的硅导波路径芯,但并不仅限于此,也可以将其置为使硅导波路径芯 1 的厚度缓缓变薄的厚度锥型的硅导波路径芯。

[0058] 另外,电介质导波路径芯 2 具有比硅导波路径芯 1 小的折射率,并且,具有比硅导波路径芯 1 大的截面尺寸,从而构成单一模式导波路。在此,由电介质导波路径芯 2 和覆盖电介质导波路径芯 2 的金属包层或空气来构成导波路径。将其称为电介质导波路径。

[0059] 并且,电介质导波路径芯 2 被设置成覆盖整个硅导波路径芯 1 而与硅导波路径芯 1 连在一起。即,电介质导波路径芯 2,从硅导波路径芯 1 的设有锥部 1X 的一侧的相反侧的端

部（输入侧的端部）开始，一直延伸到没有设置硅导波路径芯 1 的区域，即，延伸到设有衍射栅格 3 的区域。并且，其终端为，设有衍射栅格 3 的区域的与设有硅导波路径芯 1 的一侧的相反的一侧。该电介质导波路径芯 2 的延伸方向，即，电介质导波路径芯 2 的长轴方向，与硅导波路径芯 1 的延伸方向一致，即，与硅导波路径芯 1 的长轴方向一致。即，电介质导波路径的光传播方向与硅导波路径的光传播方向一致。在此，电介质导波路径芯 2 内置在硅导波路径芯 1 中。

[0060] 具体而言，电介质导波路径芯 2 被设置为，在从光元件 4 的一侧的端面到另一侧的端面为止的全长范围延伸，其在水平方向成为被加工为数 μm 程度的宽度的通道导波路径结构。特别，电介质导波路径芯 2 被设计成单一模式导波路径，其在光的各偏振方向仅存在单一的导波模式。即，电介质导波路径芯 2 是单一模式导波路径，其被设定了针对垂直以及水平方向分别受折射率极限限制的光封闭机构。

[0061] 在此，就电介质导波路径芯 2 的尺寸而言，例如高度约为 $3\mu\text{m}$ 、宽度约为 $3\mu\text{m}$ ，比硅导波路径芯 1 的尺寸大。另外，电介质导波路径芯 2 例如由 SiON 构成，其折射率例如约为 1.50，比硅导波路径芯 1 的折射率（约为 3.44）小。此外，电介质导波路径芯 2 的折射率并不仅限于此，可以通过调整材料组成来取各种值，但优选例如约为 1.44 以上 2.30 以下的范围。

[0062] 此外，在此，将电介质导波路径芯 2 设为覆盖整个具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1，但并不仅限于此，只要至少覆盖锥部 1X 即可。

[0063] 另外，衍射栅格 3 设置在由电介质导波路径芯 2 构成的单一模式导波路径上。该衍射栅格 3 设置在内置有硅导波路径芯 1 的电介质导波路径芯 2 中的不存在硅导波路径芯 1 的区域。即，在设有衍射栅格 3 的光导波路径区域内，不存在硅导波路径芯 1，仅存在电介质导波路径芯 2。

[0064] 在此，衍射栅格 3 的折射率与电介质导波路径芯 2 不同，并且，衍射栅格 3 由周期性设置的细线状的硅膜构成。另外，在此，衍射栅格 3 与硅导波路径芯 1 设置在同一面上，内置在电介质导波路径芯 2 中。另外，在此，衍射栅格 3 的宽度，即，与光传播方向垂直的方向的长度，与电介质导波路径芯 2 的宽度相同。此外，也将硅膜称为硅层。

[0065] 具体而言，这样构成衍射栅格 3：沿着光传播方向，以规定的周期（例如，约为 520nm），重复除去了 SOI 层（Si 层）7 的部分和残留了 SOI 层（Si 层）7 的部分。在此，衍射栅格 3 的高度与 SOI 层 7 的厚度相同，因此约为 250nm。另外，衍射栅格 3 的宽度与电介质导波路径芯 2 的宽度相同，因此约为 $3\mu\text{m}$ 。另外，除去了 SOI 层 7 的部分和残留了 SOI 层 7 的部分的长度分别约为 260nm，衍射栅格 3 的占空比约为 50%。另外，设有衍射栅格 3 的区域的长度（后述的分布布拉格反射镜区域 11 的长度）约为 $500\mu\text{m}$ 。此外，由硅膜构成的衍射栅格 3 的材料不仅是单晶硅，也可以是多晶硅、非晶硅。但是，通过由 SOI 层形成的 SOI 导波路径的高度的加工技术能够形成精密的衍射栅格，从这点看来，优选衍射栅格 3 与硅导波路径芯 1 同样地由 SOI 层形成。

[0066] 此外，可以以覆盖电介质导波路径芯 2 的上表面以及侧面的方式，设置由具有比电介质导波路径芯 2 小的折射率的材料（例如 SiO_2 ；屈折率约为 1.44）构成的金属包层（clad）的层。即，可以在由硅导波路径芯 1 以及电介质导波路径芯 2 构成的光导波路径的外侧，设置由折射率比这些芯的折射率小的材料构成的金属包层。但是，也可以不设置金属

包层,这些芯的周围是空气也可。

[0067] 这样构成的本光元件 4,如图 2 所示,具有:迁移区域 9,其具有硅导波路径芯 1 的锥部 1X;分布布拉格反射镜区域 11,其具有衍射栅格 3;连接区域 10,其连接迁移区域 9 和分布布拉格反射镜区域 11。在此,连接区域 10 是使模式稳定的区域。此外,迁移区域 9 是具有硅导波路径芯 1 的锥部 1X 的区域。即,在迁移区域 9 中,硅导波路径芯 1 成为锥形状。该迁移区域 9 延伸至硅导波路径芯 1 的终端部,即,是延伸到锥部 1X 的尖端部的区域。

[0068] 在这样的本光元件 4 中,在由硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径中输入光。此外,也将该光称为信号光、输入光或输入波。

[0069] 并且,能够在硅导波路径内传播的光,在硅导波路径芯为锥形状的迁移区域 9 中,从硅导波路径高效地向由电介质导波路径芯 2 构成的电介质导波路径迁移,在迁移区域 9 的终端,几乎全部的光能量转变成电介质导波路径的导波模式(基本模式)。该现象,例如基于与上述的非专利文献 1 所公开的光点尺寸变换器相同的原理。

[0070] 在此,图 3 的(A)部分~图 3 的(C)部分是用于说明具有上述具体结构的本光元件 4 的迁移区域 9 中的光导波模式分布的变化的图,图 3 的(A)部分、图 3 的(B)部分分别示出计算输入侧、输出侧的光导波模式分布的结果。

[0071] 此外,在此,在硅导波路径输入基本导波模式的信号光,利用光束传播法计算出经过了迁移区域 9 后的光导波模式分布。另外,也将光导波模式分布称为光模式分布。另外,在此,如图 3 的(A)部分所示,以覆盖迁移区域 9 的硅导波路径芯 1 的锥部 1X 以及电介质导波路径芯 2 的方式设置金属包层 12 并据此进行了计算,但对于没有设置金属包层 12 的情况也能够得到同样的结果。另外,在此,迁移区域 9 所具备的硅导波路径芯 1 的锥部 1X 没有全部被电介质导波路径芯 2 覆盖,但对于锥部 1X 全部被电介质导波路径芯 2 的情况也能够得到同样的结果。此外,既可以这样用电介质导波路径芯 2 覆盖迁移区域 9 的硅导波路径芯 1 的锥部 1X 的一部分,也可以覆盖其全部。

[0072] 如图 3 的(B)部分所示,在输入侧,信号光被强行封闭在硅导波路径芯 1 的极小的截面内。与此相对,如图 3 的(C)部分所示,经过了迁移区域 9 的输出光,其光电场分布扩大至数 μm 程度的大小,这与由电介质导波路径芯(SiON 导波路径芯)2 构成的电介质导波路径(SiON 导波路径)的基本导波模式一致。

[0073] 如上述,在迁移区域 9,在至电介质导波路径中迁移并且转变为电介质导波路径的导波模式光,如图 2 所示那样在电介质导波路径内传播。在此,首先,在连接区域 10 被稳定了模式形状后,因设在电介质导波路径上的构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 而产生光衍射,从而选择性的仅与分布布拉格反射镜的反射带域波长相当的规定的波长的光被反射,即,仅反射与布拉格波长对应的波长的光成分。

[0074] 在此,图 4 的(A)部分、图 4 的(B)部分示出计算出具有上述具体结构的本光元件 4 的分布布拉格反射镜区域 11 中的光导波模式分布的结果。此外,也将光导波模式分布称为光电场分布。

[0075] 此外,图 4 的(A)部分示出没有衍射栅格 3 的区域的光导波模式分布,图 4 的(B)部分示出有衍射栅格 3 的区域的光导波模式分布。在此,在作为电介质导波路径芯 2 的 SiON 导波路径芯(高度约为 $3\mu\text{m}$ 、宽度约为 $3\mu\text{m}$)以及衍射栅格 3(Si 层;高度约为 250nm 、宽度约为 $3\mu\text{m}$)的周围,设有足够厚的金属包层 12(SiO₂ 层)。

[0076] 图 4 的 (A) 部分、图 4 的 (B) 部分所示,可知由于衍射栅格 3 的存在,光导波模式发生变形,导波路径的等价折射率被调制。即,在没有衍射栅格 3 的区域中,如图 4 的 (A) 部分所示,等价折射率 n_{eq} 为 1.4802,与此相对,在有衍射栅格 3 的区域中,如图 4 的 (B) 部分所示,等价折射率 n_{eq} 为 1.4763,可知因衍射栅格 3 的有无而使光导波模式变形,导波路径的等价折射率被调制。通过该效果,在分布布拉格反射镜区域 11 中,信号光如同被衍射栅格周期性调制折射率,从而在与布拉格波长对应的特定波长上产生反射衍射。

[0077] 并且,如上述那样被分布布拉格反射镜反射的光,如图 2 所示那样在电介质导波路径内向反方向传播,再次在迁移区域 9 迁移至硅导波路径,从而在硅导波路径内向反方向传播,作为反射光而被从硅导波路径的端面取出。此外,也将反射光称为反射波。

[0078] 另一方面,没有被分布布拉格反射镜反射的波长成分的光,直行接进入电介质导波路径内,在电介质导波路径的终端(元件端部)向外部放射,因此不会再次混入硅导波路径。

[0079] 此外,在电介质导波路径芯 2 的终端,为了避免不需要的端面反射,可以将其设为导波路径的截面积的尺寸缓缓变化的锥结构(例如,参照图 14)。即,可以使电介质导波路径芯 2 隔着衍射栅格 3 而在与硅导波路径芯 1 相反的一侧具有锥部 2X,该锥部 2X 越往终端部则截面尺寸越大。另外,如图 5 所示,在电介质导波路径芯 2 的终端,也可以采用使终端面的法线相对于光传播方向倾斜的端面结构。即,可以使电介质导波路径芯 2 的隔着衍射栅格 3 而在与硅导波路径芯 1 相反的一侧的端面成为相对于光传播方向倾斜端面 2Y。

[0080] 这样,在本实施方式中,取代现有技术,而在尺寸依赖性小电介质导波路径中设置衍射栅格 3,该现有技术是指,在具有很大尺寸依赖性的硅导波路径芯 1 中设置衍射栅格的技术,在该现有技术中,如果尺寸稍有偏差,则等价折射率乃至布拉格波长会大幅度变化。即,在具有硅导波路径的光元件 4 中,除了设置硅导波路径之外,另外设置电介质导波路径,在该电介质导波路径上设置衍射栅格 3,使硅导波路径和电介质导波路径高效地结合。此时,与硅导波路径芯 1 相比,电介质导波路径芯 2 的与金属包层之间的折射率差小,并且截面尺寸大,因此,即使制造时尺寸稍有偏差,导波路径的等价折射率乃至布拉格波长的变化也很小。由此,能够以高成品率制造这样的衍射栅格 3,该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的光元件 4 中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。

[0081] 在此,图 6 的 (A) 部分示出了具有上述具体结构的本光元件 4 的分布布拉格反射镜区域 11 中的等价折射率的导波路径宽度依赖性。此外,在此,导波路径宽度是指,作为电介质导波路径芯 2 的 SiON 导波路径芯的宽度。

[0082] 如图 6 的 (A) 部分所示,与硅导波路径芯 1 相比,电介质导波路径芯 2 的与金属包层之间的折射率差(折射率反差)小,并且、截面尺寸大,因此,相对于标准的形成导波路径的加工精度即 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的导波路径宽度变化,等价折射率的变动为 0.1% 左右,非常小。

[0083] 另外,图 6 的 (B) 部分示出了根据该等价折射率的计算结果评估出的分布布拉格反射镜的布拉格波长的导波路径宽度依赖性。

[0084] 如图 6 的 (B) 部分所示,相对于加工精度的范围内即 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的导波路径宽度变化,布拉格波长的变动量约为 2nm 程度,足够小。这样一来,如后所述,在将本光元件 4 用作混合波导激光器等的波长选择反射镜的情况下,与环共振器的峰值周期即 FSR ($> 10\text{nm}$) 相比,(本光元件 4 的布拉格波长的变动量)足够小。

[0085] 这样,本光元件 4 的因制造时的尺寸偏差所引起的布拉格波长的变动量,与在硅导波路径芯形成衍射栅格的情况相比极小,以当前的工艺精度,能够稳定地制造衍射栅格 3 来用于构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。特别,如后述,在将本光元件 4 用作混合波导激光器等的波长选择反射镜的情况下,不会受到元件制造时的尺寸偏差参差不齐的影响,能够获得稳定的振荡波长和特性。

[0086] 在此,图 7 示出了具有上述具体结构的本光元件 4 的分布布拉格反射镜的反射光谱特性。

[0087] 在上述的具体结构中,采用长度约为 $500\ \mu\text{m}$ 的分布布拉格反射镜,其具有周期约为 520nm 、结合(耦合)系数约为 78cm^{-1} 的衍射栅格 3。此时,如图 7 所示,可知能够获得约为 3.5nm 的反射波长带域宽度、约为 90% 以上的高反射率。如后所述,这在将本光元件 4 用作混合波导激光器等的波长选择反射镜的情况下也是充分的特性。

[0088] 下面,参照图 8 的(A)部分~图 8 的(C)部分来说明本光元件的制造方法。

[0089] 首先,在 SOI 基板 8 上,形成未图示的 SiO_2 硬掩模层,在该硬掩模层上,例如通过光刻或电子光束曝光,来形成具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 3 的图案。

[0090] 接下来,使用具有这样的图案的硬掩模层,如图 8 的(A)部分所示那样对 SOI 层 7 进行蚀刻,由残留的 SOI 层 7 来形成具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 3。

[0091] 接下来,如图 8 的(B)部分所示,对整个面例如通过等离子 CVD 法等,形成例如由 SiON 构成的厚度约为 $3\ \mu\text{m}$ 的电介质层 2A。

[0092] 接下来,例如,用抗蚀剂掩模进行图案化处理,进行干蚀刻,如图 8 的(C)部分所示,除去电介质层 2A 的不需要的部分,形成电介质导波路芯 2。即,以对具有由残留的 SOI 层 7 形成的锥部 1X 的硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 3 进行覆盖的方式,在 BOX 层 6 上形成电介质导波路径芯 2。

[0093] 然后,根据需要,例如在元件的整个面上成膜出厚度约为 $5\ \mu\text{m}$ 程度的 SiO_2 金属包层,从而完成本光元件 4。

[0094] 因此,本实施方式的光元件有如下优点:能够实现以高(优)成品率制造这样的衍射栅格 3,该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的装置中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。

[0095] 此外,本发明并不仅限于上述的实施方式所记载的结构,在不脱离本发明的思想的范围内能够进行各种变形。

[0096] 例如,在上述的实施方式中,将衍射栅格 3 与硅导波路径芯 1 设在相同的一面上,周期性的设置具有与电介质导波路径芯 2 的宽度相同宽度的硅膜来构成,但并不仅限于此。

[0097] 例如,作为构成衍射栅格 3 的材料,只要使用折射率与电介质导波路径芯 2 不同的材料即可,除了可以使用硅以外,还能够使用多晶硅、电介质、金属、聚合物等的各种材料。即,衍射栅格 3 除了可以由硅膜构成以外,还可以由多晶硅膜、电介质膜、金属膜、聚合物膜等构成。这样,在构成衍射栅格 3 的材料中,既可以使用与构成硅导波路径芯 1 的材料相同的材料,即,使用具有与构成硅导波路径芯 1 相同折射率的材料,也可以使用不同的材料,即,使用具有与构成硅导波路径芯 1 不同的折射率的材料。

[0098] 另外,例如,作为衍射栅格 3 的形状,其宽度也可以不与电介质导波路径芯 2 的宽

度相同,如图9所示,衍射栅格3,即构成衍射栅格3的膜可以向电介质导波路径芯2的外侧突出。

[0099] 另外,也可以将衍射栅格3即构成衍射栅格3膜设在电介质导波路径芯2的上表面。

[0100] 例如,如图10所示,可以将电介质导波路径芯2做成由 SiO_x (折射率约为1.55、厚度约为 $2\mu\text{m}$ 、宽度约为 $2\mu\text{m}$)构成的通道导波路径结构,在其上表面设置由多晶硅层(厚度约为300nm)构成的衍射栅格3。能够按如下方法制造这样的结构:在SOI基板8上形成具有锥部1X的硅导波路径芯1的图案之后,按顺序在整个面上形成 SiO_x 层、多晶硅层,将多晶硅层蚀刻为衍射栅格图案后,对 SiO_x 层进行蚀刻,从而形成电介质导波路径芯2。在该结构中,通过对 SiO_x 层的尺寸、多晶硅层的厚度进行适当调整,与上述实施方式的结构相比,能够使得构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3的结合系数获得更大的设计自由度,能够以更短的作用长度获得更高的反射率。此外,在该变形例中,将电介质导波路径芯2的材料置为 SiO_x ,将衍射栅格3的材料置为多晶硅,但材料并不仅限于此,也能够采用上述实施方式或变形例的材料。

[0101] 另外,也可以通过使电介质导波路径芯2的截面尺寸发生周期性变化,来构成衍射栅格3。

[0102] 例如,如图11所示,也可以由从电介质导波路径芯2的侧面突出的部分来构成衍射栅格3。即,可以将衍射栅格3设置为,对电介质导波路径芯2的导波路径宽度进行了周期性调制的所谓侧壁衍射栅格(电介质侧壁衍射栅格)。此时,为了形成构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3,不需要形成由其它材料构成的膜,只要变更用于形成电介质导波路径芯2的掩模图案,就能够简单地形成衍射栅格3。

[0103] 另外,例如,如图12所示,也可以通过在电介质导波路径芯2的上表面埋入的部分来构成衍射栅格3。

[0104] 另外,衍射栅格3可以是使其周期、结构成为编码脉冲(chirp)的结构,由此,能够使分布布拉格反射镜的反射光谱特性发生变化。这样,就分布布拉格反射镜而言,其周期或结合系数可以沿着光传播方向变化,从而成为被进行了编码脉冲处理的分布布拉格反射镜。此外,因此,衍射栅格3的“周期性”不仅指一定的周期,还包括业周期发生变化的方式。

[0105] 另外,在上述的实施方式中,沿着光传播方向,仅在构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3的单侧设置了具有锥部1X的硅导波路径芯1,但并不仅限于此。例如,如图13所示,可以沿着光传播方向,在构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3的两侧,以夹着构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3的对称结构,来设置具有锥部1X的硅导波路径芯1以及具有锥部1XA的其它硅导波路径芯1A。此时,在上述的实施方式中,还可以进一步,隔着衍射栅格3而在硅导波路径芯1的相反侧,设置具有越向终端部则截面尺寸越小的锥部1XA的其它硅导波路径芯1A,使其它硅导波路径芯1A的终端部成为衍射栅格3一侧,电介质导波路径芯2只要至少覆盖其它硅导波路径芯1A的锥部1XA即可。另外,在该情况下,在其它硅导波路径芯1A的设有锥部1XA的迁移区域9A和设有衍射栅格3的分布布拉格反射镜区域11之间,只要设置连接区域10A即可。在该结构中,一侧的硅导波路径芯1的端面构成入射/反射端口,另一侧的硅导波路径芯1A的端面构成透射端口。并且,在该结构中,通过适当地设计构成分布布拉格反射镜的衍射栅格3的作用长度、结合系数,能够将分布布拉格反射镜

中的峰值反射率抑制成比全反射低的反射率,针对所输入的信号光中的与布拉格波长对应的波长成分,能够实现使其一部分反射,一部分透射,从而实现半透半反镜的功能。

[0106] [第二实施方式]

[0107] 接下来,参照图 14~图 17 来说明第二实施方式的光元件以及混合波导激光器。

[0108] 本实施方式的光元件,如图 14 所示,在上述第一实施方式以及变形例(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)的光元件 4 所具备的结构的基础上,还具有环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 22、光耦合器 23。即,本光元件 40 是集成元件,在硅基板 5 上集成了上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 即反射型滤光元件、环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 22 以及光耦合器 23。

[0109] 在该光元件 40 中,上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 即反射型滤光元件,用于在后述的构成混合波导激光器 30 的环共振器过滤器 20 的周期性的透射峰值波长中选择(波长)。因此,也将上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 称为波长选择反射镜。另外,该波长选择反射镜 4 和环共振器过滤器 20d 组合,被称为波长选择机构或波长过滤器。另外,也将本光元件 40 称为光功能元件、光通信元件、光发送元件、硅元件或硅过滤器元件。

[0110] 在此,环共振器过滤器 20 具有环导波路径 20A 和夹着该环导波路径 20A 而设在两侧的两个总线导波路径 20B、20C。并且,一侧的总线导波路径 20B,连接至由上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 的硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径,另一侧的总线导波路径 20C 连接至光耦合器 23。即,在环共振器过滤器 20 的一侧,连接有上述第一实施方式以及变形例的波长选择反射镜 4,在另一侧,连接有光耦合器 23。此外,也将环共振器过滤器 20 仅成为环共振器。

[0111] 另外,光耦合器 23,在一侧的一个端口连接输入导波路径 21,在另一侧的两个端口的中的一个端口连接环共振器过滤器 20 的另一侧的总线导波路径 20C,在另一侧的两个端口中的另一个端口连接输出导波路径 22。即,输入导波路径 21 经由光耦合器 23 以及环共振器过滤器 20 而连接至上述第一实施方式以及变形例的光元件 4。另外,输入导波路径 21 经由光耦合器 23 而连接至输出导波路径 22。在此,光耦合器 23 例如是方向性结合器或多模式干涉耦合器。此外,也将光耦合器 23 称为输出光耦合器。

[0112] 此外,这些环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 22、光耦合器 23,与上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 同样地,通过对 SOI 基板 8 所具备的 SOI 层 7 进行蚀刻而形成在 BOX 层 6 上即可。即,上述第一实施方式以及变形例的光元件 4、环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 22、光耦合器 23,形成在同一硅基板 5 上。因此,也将环共振器过滤器 20 称为硅环共振器过滤器。另外,也将输入导波路径 21 称为硅输入导波路径。另外,也将输出导波路径 22 称为硅输出导波路径。另外,也将光耦合器 23 称为硅光耦合器。

[0113] 因此,通过本实施方式的光元件 40,由于具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12),因此与上述第一实施方式的情况下同样地,有如下优点:能够实现以高(优)成品率制造这样的衍射栅格 3,该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的装置中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。

[0114] 另外,本实施方式的混合波导激光器 30,如图 14 所示,具有上述的光元件 40、增益

介质 31、反射镜 32。此外,也将混合波导激光器 30 称为硅混合波导激光器或激光光源。

[0115] 在此,增益介质 31 用于发光和对光进行放大(增幅),例如,可以是半导体光放大器(SOA)。该 SOA31 以光学方式连接至上述的光元件 40 的输入导波路径 21。即,SOA31 是、例如,通过面对面光耦合或光纤光耦合,与上述的光元件 40 进行光耦合。此外,增益介质 31 也称为发光元件。另外,SOA31 也称为使用了化合物半导体的发光元件。

[0116] 另外,反射镜 32 是由在 SOA31 的一侧的端面上形成的高反射膜构成的。即,在 SOA31 的一侧的端面上,设有作为反射镜发挥功能的高反射膜 32,在另一侧的端面上设有无反射膜 33。

[0117] 该反射镜 32,隔着上述的光元件 40 的硅导波路径芯 1、环共振器过滤器 20、光耦合器 23 以及 SOA31,而设在由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜相反的一侧,从而构成激光共振器。即,通过由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜和反射镜 32 来构成激光共振器,在激光共振器中,设有硅导波路径芯 1、环共振器过滤器 20、光耦合器 23 以及 SOA31。

[0118] 在这样构成的本混合波导激光器 30 中,在由 SOA31 产生的广阔波长区域的光中,仅由上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 所具备的波长选择机构所选择的波长成分在激光共振器内被反复放大,从而产生单一波长的激光振荡。并且,激光器振荡出的光的一部分,经由光耦合器 23 而在输出导波路径 22 中导波(传播),进而向外部输出。

[0119] 特别,在本混合波导激光器 30 中,由于具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 即反射型滤光元件,因此,从 SOA31 输出并且在环共振器过滤器 20 中透射的透射峰值波长的光,被输入至具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 的硅导波路径芯 1 的硅导波路径。并且,在硅导波路径内传播过来的光,在硅导波路径芯 1 呈锥形状的迁移区域 9 中,从硅导波路径高效地迁移至具有电介质导波路径芯 2 的电介质导波路径,在迁移区域 9 的终端,几乎全部的光能量都转变为电介质导波路径的基本模式。接下来,在连接区域 10 使模式形状稳定后,通过设在电介质导波路径上的构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3,仅反射与分布布拉格反射镜的布拉格波长对应的波长的光成分。即,分布布拉格反射镜在环共振器的透射峰值波长中选择出一个波长进行反射。并且,被反射的光在电介质导波路径内向反方向传播,再次在迁移区域 9 内向硅导波路径迁移,从而在硅导波路径内向反方向传播,返回至环共振器过滤器 20。另一方面,没有被分布布拉格反射镜反射的剩余的光成分在电介质导波路径内直行前进,在此,在锥部 2X 向横向放宽扩散,在电介质导波路径的终端(元件端部)向外部放射。在此,不需要的光成分在放宽扩散后受到端面反射,因此不会返回至硅导波路径。此外,在此,虽然电介质导波路径芯 2 具有锥部 2X,但并不仅限于此,也可以如上述第一实施方式以及变形例那样,既可以构成为不具有锥部的结构,也可以构成为具有倾斜端面 2Y 的结构。

[0120] 然而,在这样构成的混合波导激光器 30 中,为了得到按照设计的振荡波长,如图 15 所示,需要高精度地使环共振器过滤器 20 的透射特性中的透射峰值波长的中一个波长与波长选择反射镜 4 的反射特性中的反射波长带一致。

[0121] 例如,作为波长选择反射镜,考虑使用如下构成的分布布拉格反射镜,即,如图 16 所示,使硅导波路径芯 1 的宽度周期性变化,由从硅导波路径芯 1 的侧面突出的部分形成衍射栅格 300,由此构成分布布拉格反射镜。此外,图 16 所示的装置也称为比较例的混合波导激光器。

[0122] 具体而言,如图 17 的 (A) 部分所示,考虑对 SOI 基板 8 所具备的 BOX 层 6 (SiO₂ 层) 上的例如厚度约为 250nm 的 SOI 层 (Si 层) 7 进行蚀刻,周期性的调制硅导波路径芯 1 的宽度,从而形成具有侧壁衍射栅格 300 的硅导波路径芯 1。在此,硅导波路径芯 1 以及衍射栅格 300 的高度约为 250nm,衍射栅格的周期约为 300nm。

[0123] 在此,分布布拉格反射镜中的反射中心波长 (布拉格波长 λ_B),用导波路径的等价折射率 n_{eq} 以及衍射栅格的周期 Λ 而表示为 $\lambda_B = 2n_{eq}\Lambda$ 。

[0124] 并且,衍射栅格的周期 Λ 能够由用于蚀刻的掩模的精度来决定,因此,在晶片上非常均匀且再现性良好,但导波路径的等价折射率 n_{eq} 会因硅导波路径芯 1 的宽度或厚度而大幅度变化。

[0125] 在此,图 17 的 (B) 部分示出了比较例的分布布拉格反射镜区域 11 中的导波路径的等价折射率的导波路径宽度依赖性。另外,图 17 的 (C) 部分示出了该分布布拉格反射镜区域 11 中的布拉格波长的导波路径宽度依赖性。此外,在图 17 的 (B) 部分、图 17 的 (C) 部分中,示出了针对导波路径的 TE 模式的依赖性。另外,在此,导波路径宽度是指硅导波路径芯 1 的宽度。

[0126] 如图 17 的 (B) 部分所示,导波路径的等价折射率对于构成导波路径的硅导波路径芯 1 的宽度 (导波路径宽度) 具有强依赖性,针对仅仅 10nm 程度的导波路宽度的变化,等价折射率也会有 0.5% 程度的变化。即,具有硅导波路径芯 1 的导波路径的等价折射率有很大的导波路径宽度依赖性,导波路径宽度稍有偏差,则等价折射率就会大幅度变化。

[0127] 这是由于,具有硅导波路径芯 1 的导波路径,例如,与二氧化硅系玻璃导波路径、半导体填充结构通道导波路径等的其它导波路径相比,芯-金属包层间的折射率差非常大,并且,导波路径芯的截面尺寸非常小。即,具有硅导波路径芯 1 的导波路径,其芯-金属包层间的折射率差非常大,并且,导波路径芯的截面尺寸非常小,因此,导波路径宽度的稍有变化,光导波模式的形状或光封闭系数就会大幅度变化。

[0128] 由于这样的导波路径的等价折射率的很大的导波路径宽度依赖性,与导波路径的等价折射率成比例关系的分布布拉格反射镜的布拉格波长也具有很大的导波路径宽度依赖性。

[0129] 如图 17 的 (C) 部分所示,仅仅 15nm 程度的导波路径宽度偏差,就会产生与环共振器的峰值周期 (FSR) 相同程度的布拉格波长漂移。即,分布布拉格反射镜的布拉格波长具有很大的导波路径宽度依赖性,导波路径宽度稍有偏差,分布布拉格反射镜的布拉格波长就会大幅度变化。

[0130] 因此,为了使环共振器的规定的透射峰值波长和分布布拉格反射镜的布拉格波长相适应匹配,需要比当前工艺精度高出数 nm 程度的非常高的导波路径芯尺寸控制,很难稳定获得波长匹配。并且,在环共振器的规定的透射峰值波长和分布布拉格反射镜的布拉格波长和的波长不匹配的情况下,会导致以本来不想要的波长进行振荡,或者以多个峰值波长同时进行激光振荡,因此难以构成混合波导激光器。

[0131] 此外,在此,举例说明了导波路径针对 TE 模式的依赖性,但导波路径针对 TM 模式也同样有依赖性的倾向。另外,在此,举例说明了布拉格波长的导波路径宽度依赖性,但针对导波路径的厚度、条状导波路径结构中的 SOI 层残存厚度,布拉格波长同样具有很大的结构依赖性。

[0132] 这样,作为波长选择反射镜,在使用由设在硅导波路径芯 1 上的侧壁衍射栅格 300 构成的分布布拉格反射镜的情况下,其反射中心波长具有非常强的导波路径形状依赖性。因此,在当前的工艺精度中,很难稳定获得按照设计的布拉格波长,在应用于混合波导激光器时,会导致激光器特性的大幅度劣化。

[0133] 因此,在本混合波导激光器 30 中,如上述,具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4 即反射型滤光元件,通过该反射型滤光元件 4,能够可靠地在环共振器过滤器 20 的周期性的透射峰值波长中选择一个波长。

[0134] 因此,通过本实施方式的混合波导激光器,由于具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 9~图 12),因此与上述第一实施方式的情况下同样地,有如下优点:能够实现以高(优)成品率制造这样的衍射栅格 3,该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的装置中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。因此,能够在当前的工艺精度中稳定地形成用于构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜的衍射栅格 3,从而能够提高混合波导激光器 30 的激光器特性。

[0135] 此外,在上述的实施方式中,在上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 13)中,举例说明了仅在沿着光传播方向构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 的单侧设置具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1 而形成的光元件 4(例如,图 1、图 9~图 12)被应用于混合波导激光器的情况,但并不仅限于此。

[0136] 例如,在上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 13)中,在沿着光传播方向构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 的两侧设置具有锥部 1X、1XA 的硅导波路径芯 1、1A 而形成的光元件 4(例如,图 13),也能够应用于混合波导激光器。

[0137] 此时,如图 18 所示,光元件 41,只要是在上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)的基础上还具有环共振器过滤器 20、输入导波路 21、输出导波路径 22 而成的光集成元件即可。并且,只要将上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)所具备的分布布拉格反射镜的峰值反射率设为例如约 10~约 50%的程度即可。另外,只要将环共振器过滤器 20 的一侧的总线导波路径 20B,连接至由上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)的一侧的硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径,将另一侧的总线导波路径 20C 连接至输入导波路 21 即可。即,只要在环共振器过滤器 20 的一侧连接上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13),在另一侧连接输入导波路径 21 即可。另外,只要在由上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)的另一侧的硅导波路径芯 1A 构成的硅导波路径,连接输出导波路径 22 即可。此外,在该结构中,由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜发挥上述的实施方式的光耦合器 23 的功能,因此,也可以在环共振器过滤器 20 和 SOA31 之间不设置光耦合器 23。

[0138] 具有这样的光元件 41 的混合波导激光器 42,如图 18 所示,具有上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)、增益介质(SOA)31、反射镜 32,在由衍射栅格 3 形成的分布布拉格反射镜和反射镜 32 所构成的激光共振器中,设有硅导波路径芯 1、环共振器过滤器 20 以及 SOA31。

[0139] 在这样构成的本变形例的混合波导激光器 42 中,在由 SOA31 产生的广阔波长区域的光中,仅由上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如图 13)和环共振器过滤器 20 构成的波长选择机构所选择出的波长成分,在激光共振器内被反复放大,从而以单一波长使

激光器进行振荡。并且,激光器振荡出的光的一部分,经由上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)的另一侧的硅导波路径 1A,而在输出导波路径 22 中导波(传播),进而向外部输出。即,如上述,上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)所具备的分布布拉格反射镜的峰值反射率例如被设定为约 10~约 50%程度,因此,与分布布拉格反射镜的布拉格波长对应的波长的光的一部分返回至 SOA31 侧而有助于激光器振荡,剩余的部分被取出至输出导波路径 22 侧,输出激光。这样,在本变形例的混合波导激光器 42 中,使分布布拉格反射镜具有这样的半透半反镜功能:在与布拉格波长对应的波长成分中,使一部分反射,使一部分透射。

[0140] 特别,在本变形例的混合波导激光器 42 中,由于具有上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13),因此从 SOA31 输出并且在环共振器过滤器 20 中透射的透射峰值波长的光,被输入至上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)的具有硅导波路径芯 1 的硅导波路径。并且,在硅导波路径内传播过来的光,在硅导波路径芯 1 呈锥形状的迁移区域 9 中,从硅导波路径高效地迁移至具有电介质导波路径芯的电介质导波路径,在迁移区域 9 的终端,几乎全部的光能量都转变为电介质导波路径的基本模式。接下来,在连接区域 10 使模式形状稳定后,通过设在电介质导波路径上的构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3,仅反射与分布布拉格反射镜的布拉格波长对应的波长的光成分。并且,被反射的光在电介质导波路径内向反方向传播,再次在迁移区域 9 内向硅导波路径迁移,从而在硅导波路径内向反方向传播,返回至环共振器过滤器 20。另一方面,与分布布拉格反射镜反射布拉格波长对应的光成分之外的剩余部分,不被构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 反射,而是在电介质导波路径内直行前进,在硅导波路径芯 1X 呈锥形状的迁移区域 9A 中,从电介质导波路径高效地迁移至硅导波路径,在迁移区域 9A 的终端,几乎全部的光能量转变为硅导波路径的基本模式。并且,在硅导波路径内传播,经由输出导波路 22 而向外部输出。

[0141] 此外,本发明并不仅限于上述的实施方式所记载的结构,在不脱离本发明的思想的范围内能够进行各种变形。例如,混合波导激光器或用于混合波导激光器的光元件的结构并不仅限于上述实施方式以及变形例,只要能够应用上述第一实施方式以及变形例的光元件即可。

[0142] [第三实施方式]

[0143] 接下来,参照图 19 来说明第三实施方式的光发送元件、光接收元件以及光发送装置。

[0144] 本实施方式的光发送元件,如图 19 所示,具有多个上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)来作为波长选择反射镜,还具有多个环共振器过滤器 20、多个输入导波路径 21、多个光耦合器 23、多个环光调制器 51、光合波器 52、输出导波路径 53。即,本光发送元件 50 是在硅基板 5 上集成了上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)、环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、光耦合器 23、环光调制器 51、光合波器 52、输出导波路径 53 而成的光集成元件。在此,光发送元件 50 分别具有四个上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)、环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、光耦合器 23、环光调制器 51,对波长分别为 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 的四束信号光进行合波(耦合),将其作为 WDM 信号光输出。此外,光发送元件 50 也称为光功能元件、光通信元件、光集成元件、WDM 光发送元件、WDM 光通信元件或 WDM 光集成元件。

[0145] 此外,也可以视为本光发送元件 50 具有多个上述第二实施方式以及变形例的光元件 40(例如,图 14),还具有多个环光调制器 51、光合波器 52、输出导波路径 53,从而构成光集成元件。

[0146] 在此,上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12),用于在环共振器过滤器 20 的周期性的透射峰值波长中选择出一个波长。因此,上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)也被称为波长选择反射镜。另外,该波长选择反射镜 4 和环共振器过滤器 20 的组合,也被称为波长选择机构或波长过滤器。在本实施方式中,各光元件 4 所具备的衍射栅格 3,其周期(间隔) $\Lambda 1 \sim \Lambda 4$ 互不相同,分布布拉格反射镜的布拉格波长也互不相同。

[0147] 多个环共振器过滤器 20,分别一对一地连接至多个光元件 4 分别具备的由硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径。各环共振器过滤器 20,具有环导波路径 20A 和夹着该环导波路径 20A 而在两侧设置的两个总线导波路径 20B、20C。并且,一侧的总线导波路径 20B 连接至上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)的由硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径,另一侧的总线导波路径 20C 连接至光耦合器 23。在此,各环共振器过滤器 20 的设计是共通的。

[0148] 多个输入导波路径 21 分别一对一地连接至多个光耦合器 23。

[0149] 多个光耦合器 23 分别一对一地连接至多个环共振器过滤器 20。各光耦合器 23,一侧的一个端口连接有输入导波路径 21,另一侧的两个端口中的一个端口连接有环共振器过滤器 20 的另一侧的总线导波路径 20C,另一侧的两个端口的另一个端口连接有环光调制器 51。即,输入导波路径 21 经由光耦合器 23 以及环共振器过滤器 20 而连接至上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)。另外,输入导波路径 21 经由光耦合器 23 而连接至环光调制器 51。在此,光耦合器 23 例如是方向性结合器或多模式干涉耦合器。此外,光耦合器 23 也称为输出光耦合器。

[0150] 多个环光调制器 51 分别一对一地连接有多个光耦合器 23。即,多个环光调制器 51 分别一对一地连接有多个光元件 4。各环光调制器 51 是具有环导波路径 51A 和总线导波路径 51B 的环共振器型光调制器。

[0151] 光合波器 52,分别与多个环光调制器 51 相连接,对各信号光进行合波(耦合)。例如,光合波器 52 是阵列导波路径衍射栅格(AWG)型合波器、非对称马赫曾德尔(mach-zehnder)干涉仪型合波器、环型合波器、埃舍尔(Ecser)衍射栅格型合波器等。

[0152] 输出导波路径 53 连接至光合波器 52,经由该输出导波路径 53 向外部输出 WDM 信号光。

[0153] 此外,这些环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 53、光耦合器 23、环光调制器 51、光合波器 52,与上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)同样地,通过对 SOI 基板 8 所具备的 SOI 层 7 进行蚀刻来在 BOX 层 6 上形成即可。即,上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)、环共振器过滤器 20、输入导波路径 21、输出导波路径 53、光耦合器 23、环光调制器 51、光合波器 52,形成在同一硅基板 5 上。因此,光发送元件 50 也称为硅元件、硅光发送元件、硅光通信元件、硅光集成元件、WDM 硅光发送元件、WDM 硅光通信元件或 WDM 硅光集成元件。另外,环共振器过滤器 20 也称为硅环共振器过滤器。另外,输入导波路径 21 也称为硅输入导波路径。

另外,输出导波路径 53 也称为硅输出导波路径。另外,光耦合器 23 也称为硅光耦合器。另外,环光调制器 51 也称为硅环光调制器。另外,光合波器 52 也称为硅光合波器。

[0154] 因此,通过本实施方式的光发送元件 50,由于具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12),因此与上述第一实施方式的情况下同样地,有如下优点:能够实现以高(优)成品率制造这样的衍射栅格 3,该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的装置中,构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。

[0155] 另外,本实施方式的光发送装置 54,如图 19 所示,具有上述的光发送元件 50、增益介质阵列 55、反射镜 56。此外,光发送装置 54 也称为光发送器、光通信装置、WDM 光发送装置或 WDM 光通信装置。

[0156] 在此,增益介质阵列 55 与上述的光发送元件 50 光耦合,具有多个增益介质 31。在此,各增益介质 58 用于进行发光和对光进放大,例如是半导体光放大器(SOA)。因此,增益介质阵列 55 也称为 SOA 阵列。在此,SOA 阵列 55 是集成了四个 SOA58 的四通道(4ch)SOA 阵列。即,SOA 阵列 55 是四通道(4ch)SOA 阵列,具有四个导波路径,各导波路径的分别具有 SOA58。各 SOA58,与上述的光发送元件 50 的各输入导波路径 21 以光学方式连接。即,SOA 阵列 55 例如通过面对面光耦合或光纤光耦合,来与上述的光发送元件 50 进行光耦合。此外,增益介质 58 也称为发光元件。另外,SOA58 也称为使用了化合物半导体的发光元件。另外,SOA 阵列 55 也称为发光元件阵列。

[0157] 反射镜 56,在 SOA 阵列 55 的一侧的端面上由高反射膜构成。即,在 SOA 阵列 55 的一侧的端面上,设有发挥反射镜的功能的高反射膜 56,在另一侧的端面上设有无反射膜 57。

[0158] 该反射镜 56,隔着 SOA 阵列 55 而设在与上述的光发送元件 50 所具备的多个分布布拉格反射镜相反的一侧,构成激光共振器。即,反射镜 56 隔着上述的光发送元件 50 的硅导波路径芯 1、环共振器过滤器 20、光耦合器 23 以及 SOA58,而设在与由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜相反的一侧,从而构成激光共振器。这样,通过由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜和反射镜 56 来构成激光共振器,在激光共振器中,设有硅导波路径芯 1、环共振器过滤器 20、光耦合器 23 以及 SOA58。

[0159] 此外,本光发送装置 54 具有多个(在此为四个)上述第二实施方式以及变形例的混合波导激光器 30(例如,图 14),并且具有分别与这些混合波导激光器 30 连接的多个(在此为四个)的环光调制器 51、光合波器 52、输出导波路径 53。此时,各混合波导激光器 30 相互之间的振荡波长不同。

[0160] 在这样构成的本光发送装置 54 中,在各激光共振器中,即,在各混合波导激光器中,在由 SOA58 产生的广阔波长区域的光中,仅由上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)和环共振器过滤器 20 构成的波长选择机构所选择出的波长成分在激光共振器内被反复放大,从而产生单一波长的激光振荡。即,如上述,本光发送装置 54 所具备的各光元件 4 的衍射栅格 3 之间的周期 $\Lambda 1 \sim \Lambda 4$ 各不相同,分布布拉格反射镜的布拉格波长也不同。因此,作为波长选择反射镜的各分布布拉格反射镜,在环共振器过滤器 20 的周期性的透射峰值波长中,分别选择不同的峰值波长,在各激光共振器中以一定(规定)间隔的不同波长 $\lambda 1 \sim \lambda 4$ 来进行激光振荡。并且,由各激光共振器进行激光振荡出的光的一部分分别经由光耦合器 23 而向各环光调制器 51 输出。并且,由各激光共

振器生成的一定（规定）强度（CW）的信号光，在各环光调制器 51 中被进行数据调制，进而被光合波器 52 合波，从而作为 WDM 信号光而从一条输出导波路径 53 向外部输出。此外，就各激光共振器中的光的传播而言，与上述第二实施方式以及变形例的情况相同。

[0161] 因此，通过本实施方式的光发送元件以及光发送装置，由于具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12），因此，与上述第一实施方式的情况下同样地，有如下优点：能够实现以高（优）成品率制造这样的衍射栅格 3，该衍射栅格 3 能够在具有硅导波路径芯 1 的装置中，构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜。因此，上述第二实施方式以及变形例的情况下同样地，当前的工艺精度中，能够稳定地形成用于构成具有按照设计的布拉格波长的分布布拉格反射镜的衍射栅格 3，从而能够提高光发送装置 54 的激光器特性。

[0162] 此外，具有上述第一实施方式以及变形例的光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）的光发送元件以及光发送装置的结构，并不仅限于上述的实施方式。

[0163] 例如，如图 20 所示，也可以这样构成光发送元件 60：具有多个上述第一实施方式以及变形例的光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）来作为波长选择反射镜，还具有分别与多个光元件 4 一对一连接的多个环光调制器 51、分别与多个环光调制器 51 连接的光合波器 52、与光合波器 52 连接的输出导波路径 53。即，在不设置上述的实施方式的用于构成光发送元件 50 的多个输入导波路径 21、多个光耦合器 23 以及多个环共振器过滤器 20 的状态下，构成光发送元件。

[0164] 此时，只要在光发送元件 60 的输入侧的端面，露出上述第一实施方式以及变形例的各光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）的电介质导波路径芯 2 的端面，从各电介质导波路径芯 2 的端面分别输入来自构成 SOA 阵列 55 的各 SOA58 的光即可。即，使构成 SOA 阵列 55 的各 SOA58 分别与本变形例的光发送元件 60 所具备的各光元件 4 的电介质导波路径芯 2 的端面进行光学连接，以此方式来使 SOA 阵列 55 与光发送元件 60 进行光耦合即可。在此，使各电介质导波路径芯 2 的端面以及 SOA58 中的光导波模式的尺寸均为约 3～约 4 μm 程度而相匹配，因此，能够通过面对面方式实现高效的光耦合。此外，此时，上述第一实施方式以及变形例的各光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）所具备的分布布拉格反射镜，用作仅反射特定的波长（通道）的波长过滤器（反射选择反射镜）。并且，只要将由上述第一实施方式以及变形例的各光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）的硅导波路径芯 1 构成的硅导波路径分别连接至环光调制器 51 即可。在这样的结构中，在由反射镜和分布布拉格反射镜构成的各激光共振器中，分别设有 SOA58，该反射镜是由在 SOA 阵列 55 的一侧端面形成的高反射膜 56 所构成的，该分布布拉格反射镜是由上述第一实施方式以及变形例的各光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）所具备的由衍射栅格 3 构成的。此时，本变形例的光发送装置具有多个混合波导激光器，各混合波导激光器具有：上述第一实施方式以及变形例的光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）；与该光元件 4 光耦合的增益介质（SOA）58；反射镜 56，其隔着增益介质 58 而设在与构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 相反的一侧，构成激光共振器。

[0165] 在这样构成的本变形例的光发送装置 61 中，在各激光共振器即各混合波导激光器中，在由 SOA58 产生的广阔波长区域的光中，仅与上述第一实施方式以及变形例的光元件 4（例如，图 1、图 5、图 9～图 12）所具备的分布布拉格反射镜的布拉格波长（反射峰值

波长)相当的波长成分被反射,进而在激光共振器内被反复放大,从而产生单一波长的激光振荡。即,本变形例的光发送装置 61 所具备的各光元件的衍射栅格 3,周期 $\Lambda 1 \sim \Lambda 4$ 各不相同,分布布拉格反射镜的布拉格波长也不同。因此,在各激光共振器中,以不同的波长 $\lambda 1 \sim \lambda 4$ 进行激光振荡。特别,上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)所具备的分布布拉格反射镜的峰值反射率例如被设定为约 50%,因此,与分布布拉格反射镜的布拉格波长对应的波长的光的一部分被构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 反射,返回至 SOA58 侧而有助于进行激光振荡,剩下的部分不被构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 反射,而在电介质导波路径内直行前进,在硅导波路径芯 1 呈锥形状的迁移区域 9 中,从电介质导波路径高效迁移至硅导波路径,在迁移区域 8 的终端几乎全部的光能量转变为硅导波路径的基本模式。然后,在硅导波路径内传播,被取出至环光调制器 51 侧,进行激光输出。这样,在本变形例的光发送装置 61 中,使由衍射栅格 3 构成的分布布拉格反射镜具有半透半反镜功能,其使得在与布拉格波长对应的波长成分中,一部被反射而一部分透射。并且,由各激光共振器生成的一定(规定)强度(CW)信号光,在各环光调制器 51 中被进行数据调制,进而被光合波器 52 合波,从而作为 WDM 信号光而从共通的输出导波路径 53 向例如光纤等的光传送路径 62 输出。

[0166] 另外,在上述的实施方式以及变形例中,在上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 13)中,举例说明了将如下的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 12)应用于光发送元件以及光发送装置的情况,该光元件 4 是在沿着光传播方向构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 的单侧设置具有锥部 1X 的硅导波路径芯 1 而构成的,但并不仅限于此。

[0167] 例如,在上述第一实施方式以及变形例的光元件 4(例如,图 1、图 5、图 9~图 13)中,也可以如图 20 那样将如下的光元件 4 应用在光接收元件 70 中,即,在该光元件 4 中,在沿着光传播方向构成分布布拉格反射镜的衍射栅格 3 的两侧设置具有锥部 1X、1XA 的硅导波路径芯 1、1A(例如,图 13)。此外,光接收元件也称为光功能元件、光通信元件、光集成元件、WDM 光接收元件、WDM 光通信元件、WDM 光集成元件或光接收装置。并且,也能够通过对上述的实施方式的变形例的光发送装置(例如,图 20)进行组合,来构成光通信系统 80。此外,也能够对该光受信元件 70 和上述的实施方式的光发送装置(例如,图 19)进行组合来构成光通信系统。

[0168] 此时,如图 20 所示,光接收元件 70 具有马赫曾德尔干涉仪 75,该马赫曾德尔干涉仪 75 在两个光耦合器 71、72 之间具有两个臂(光导波路径)73、74,两个臂 73、74 上分别具有上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13),只要具有与两个光耦合器 71、72 中的一个相连接的第一光检测器 76、与两个光耦合器 71、72 中的另一个相连接的光分波器 77、与光分波器 77 相连接的第二光检测器 78 即可。

[0169] 在此,在马赫曾德尔干涉仪 75 的输入侧的光耦合器 71 的一侧的端口连接有输入导波路径 79,在另一侧的端口连接一个第一光检测器 76。另外,在马赫曾德尔干涉仪 75 的输出侧的光耦合器 72 的一个端口连接有光分波器 77。另外,在光分波器 77 上连接有多个(在此,是三个)第二光检测器 78。并且,在马赫曾德尔干涉仪 75 的两臂 73、74 上,分别设有上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13),这两个光元件 4 的衍射栅格周期相同,峰值反射率约为 100%。这样在马赫曾德尔干涉仪 75 的两臂 73、74 上分别设置上述

第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)而成的装置,发挥波长分离器 81 功能,即将对多个(在此为四个)不同的波长 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 进行合波而成的 WDM 信号光,分离成一个波长 λ_1 的信号光和多个(在此,是三个)波长 $\lambda_2 \sim \lambda_4$ 的信号光。此外,两个光耦合器 71、72 是 2 输入 2 输出的光耦合器(2×2 光耦合器),例如是方向性结合器或多模式干涉耦合器。另外,光分波器 77 例如是阵列导波路径衍射栅格(AWG)型分波器、非对称马赫曾德尔干涉仪型合波器、环型合波器、埃舍尔衍射栅格型合波器等。

[0170] 此外,这些马赫曾德尔干涉仪 75、光分波器 77,与上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)同样地,只要对 SOI 基板 8 所具备的 SOI 层 7 进行蚀刻而在 BOX 层 6 上形成即可。另外,就第一光检测器 76 以及第二光检测器 78 而言,例如只要在时刻 SOI 层 7 之前,在 SOI 层 7 上使 Ge 层结晶成长即可。即,在 SOI 层 7 上形成 Ge 层之后,通过蚀刻来将其加工成导波路径形状,从而能够形成第一光检测器 76 以及第二光检测器 78。此时,Ge 层发挥将光变换为载波的光吸收层的功能。这样,在同一硅基板 5 上设置上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)、马赫曾德尔干涉仪 75、光分波器 77、第一光检测器 76、第二光检测器 78。因此,光接收元件 70 也称为硅元件、硅光接收元件、硅光通信元件、硅光集成元件、WDM 硅光接收元件、WDM 硅光通信元件或 WDM 硅光集成元件。另外,马赫曾德尔干涉仪 75 也称为硅马赫曾德尔干涉仪。另外,光分波器 77 也称为硅光分波器。

[0171] 在这样构成的光接收元件 70 中,例如,经由光纤等的光传送路径 62 而发送过来的对多个(在此为四个)不同波长 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 进行合波而成的 WDM 信号光,经由输入导波路径 79 而被输入至波长分离器 81。然后,在波长分离器 81 中,仅与衍射栅格 3 的周期对应的波长(通道;在此为 λ_1)的信号光,被设在臂 73、74 内的光元件 4 所含的分布布拉格反射镜所反射,进而从输入侧的光耦合器 71 的另一侧的端口输出,从而被第一光检测器 76 检测出。另一方面,其它波长(通道;在此为 $\lambda_2 \sim \lambda_4$)的信号光,原样不变地在马赫曾德尔干涉仪 75 的两臂 73、74 中透射,从输出侧的光耦合器 72 的一个端口被取出。并且,被取出的其它波长的信号光被光分波器 77 分波,按照各波长而分别被第二光检测器 78 检测出。

[0172] 这样,也能够将上述第一实施方式的变形例的光元件 4(例如,图 13)用作波长分离器 81。

[0173] 此外,本发明并不仅限于上述的实施方式所记载的结构,在不脱离本发明的思想的范围内能够进行各种变形。例如,光发送元件、光接收元件、光发送装置的结构并不仅限于上述实施方式以及变形例,只要能够应用上述第一实施方式以及变形例的光元件即可。

[0174] 附图标记的说明

[0175] 1 硅导波路径芯

[0176] 1A 其它硅导波路径芯

[0177] 1X、1XA 锥部

[0178] 2 电介质导波路径芯

[0179] 2A 电介质层

[0180] 2X 锥部

[0181] 2Y 倾斜端面

[0182] 3 衍射栅格(分布布拉格反射镜)

[0183] 4 光元件

- [0184] 5 Si 基板
- [0185] 6 BOX 层 (SiO₂ 层)
- [0186] 7 SOI 层 (Si 层)
- [0187] 8 SOI 基板
- [0188] 9、9A 迁移区域
- [0189] 10、10A 连接区域
- [0190] 11 分布布拉格反射镜区域
- [0191] 12 金属包层
- [0192] 20 环共振器过滤器
- [0193] 20A 环导波路径
- [0194] 20B、20C 总线导波路径
- [0195] 21 输入导波路径
- [0196] 22 输出导波路径
- [0197] 23 光耦合器
- [0198] 30 混合波导激光器
- [0199] 31 增益介质 (SOA)
- [0200] 32 反射镜 (高反射膜)
- [0201] 33 无反射膜
- [0202] 40、41 光元件
- [0203] 42 混合波导激光器
- [0204] 50 光发送元件
- [0205] 51 环光调制器
- [0206] 52 光合波器
- [0207] 53 输出导波路径
- [0208] 54 光发送装置
- [0209] 55 增益介质阵列 (SOA 阵列)
- [0210] 56 反射镜 (高反射膜)
- [0211] 57 无反射膜
- [0212] 58 增益介质 (SOA)
- [0213] 60 光发送元件
- [0214] 61 光发送装置
- [0215] 62 光传送路径 (光纤)
- [0216] 70 光接收元件
- [0217] 71、72 光耦合器
- [0218] 73、74 臂
- [0219] 75 马赫曾德尔干涉仪
- [0220] 76 第一光检测器
- [0221] 77 光分波器
- [0222] 78 第二光检测器

- [0223] 79 输入导波路径
- [0224] 80 光通信系统
- [0225] 81 波长分离器
- [0226] 300 硅侧壁衍射栅格

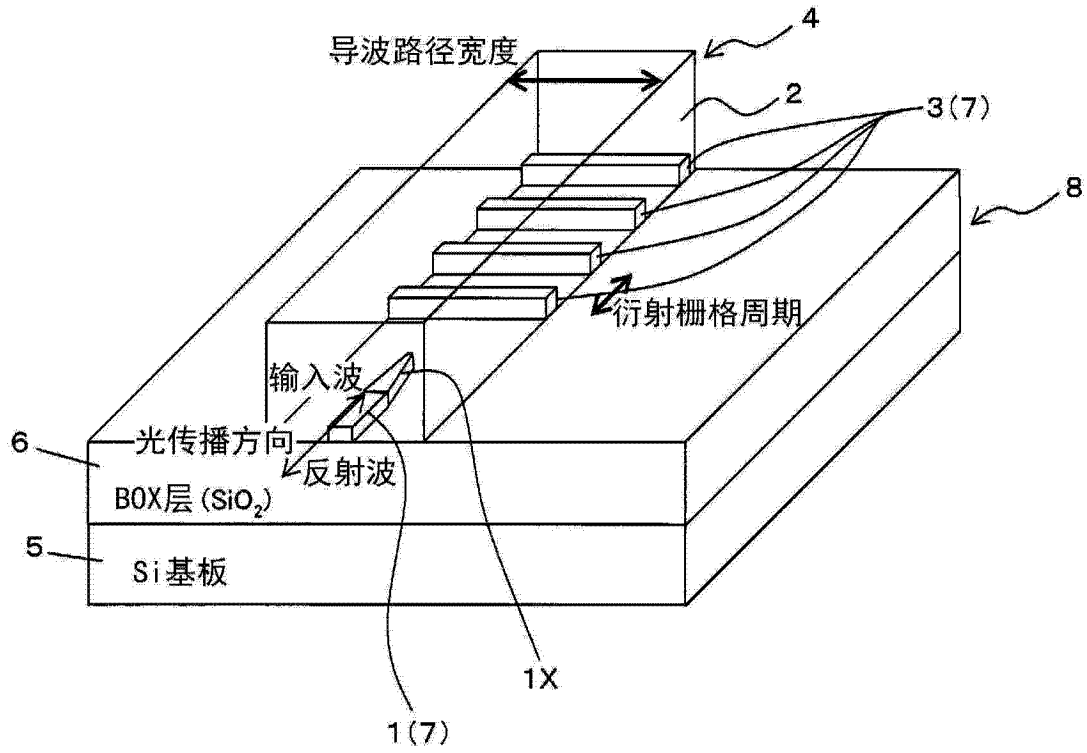


图 1

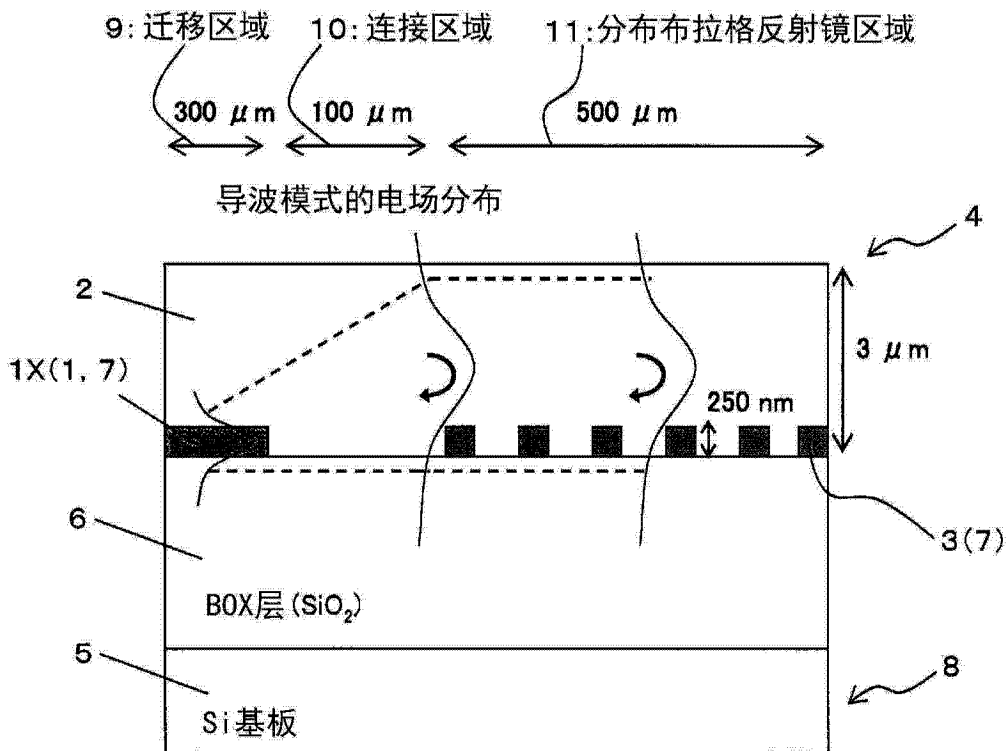


图 2

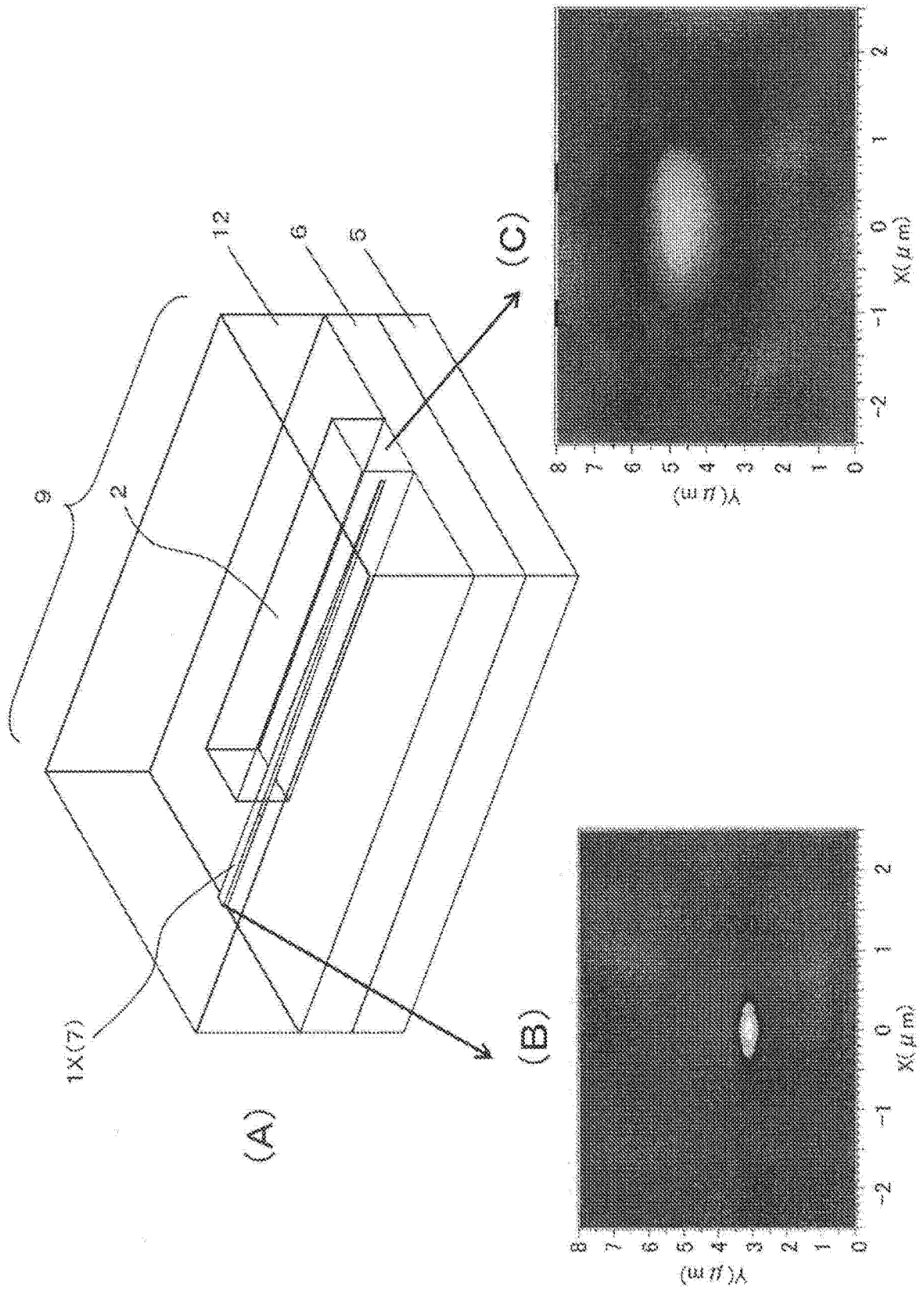


图 3

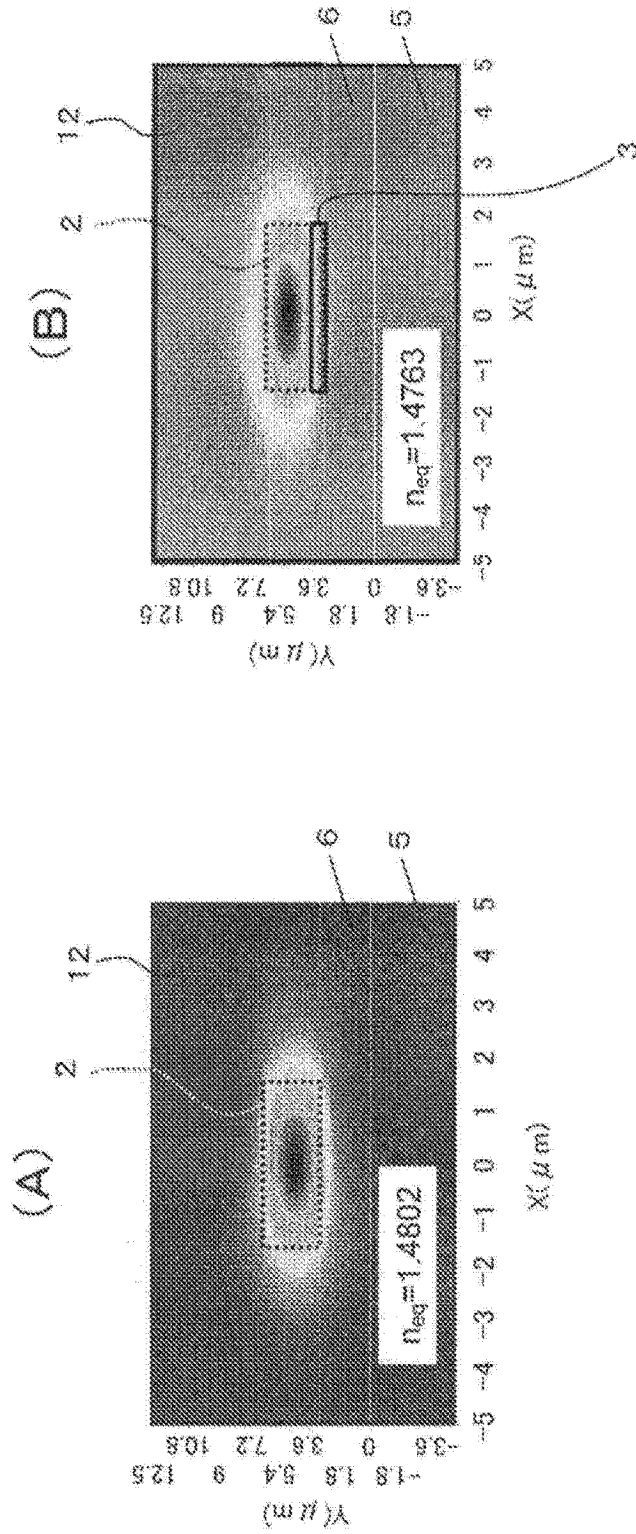


图 4

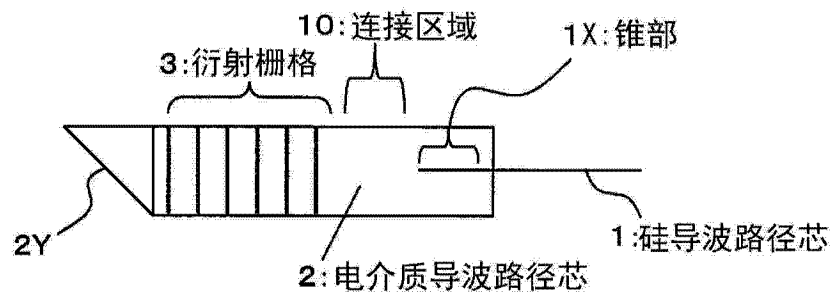


图 5

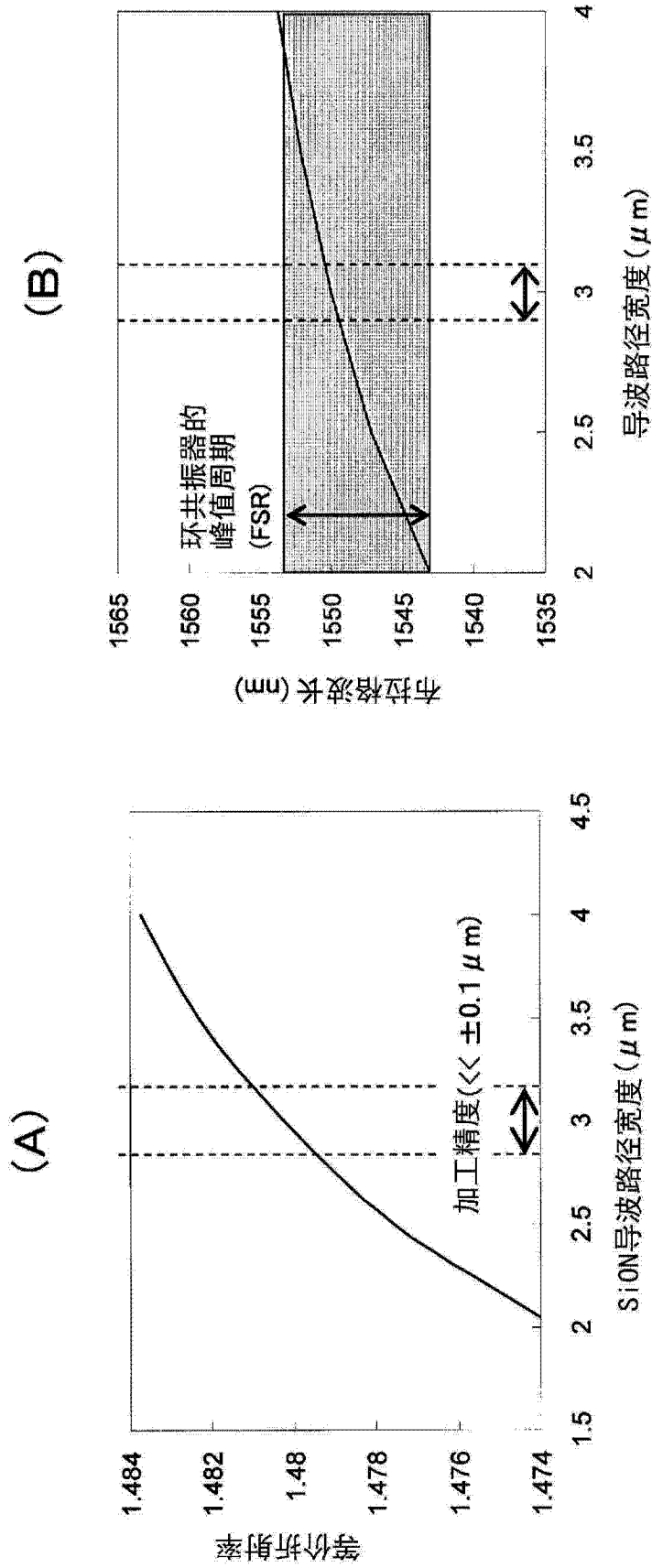


图 6

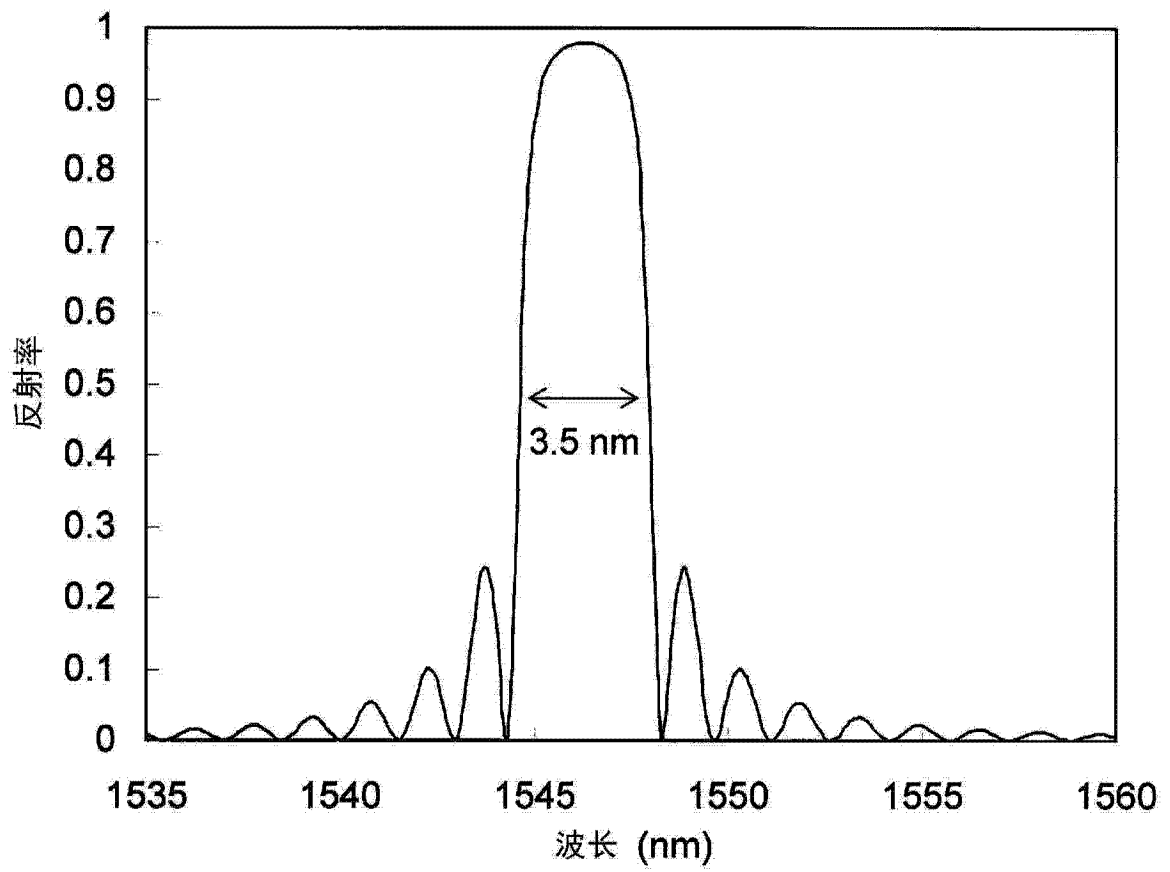


图 7

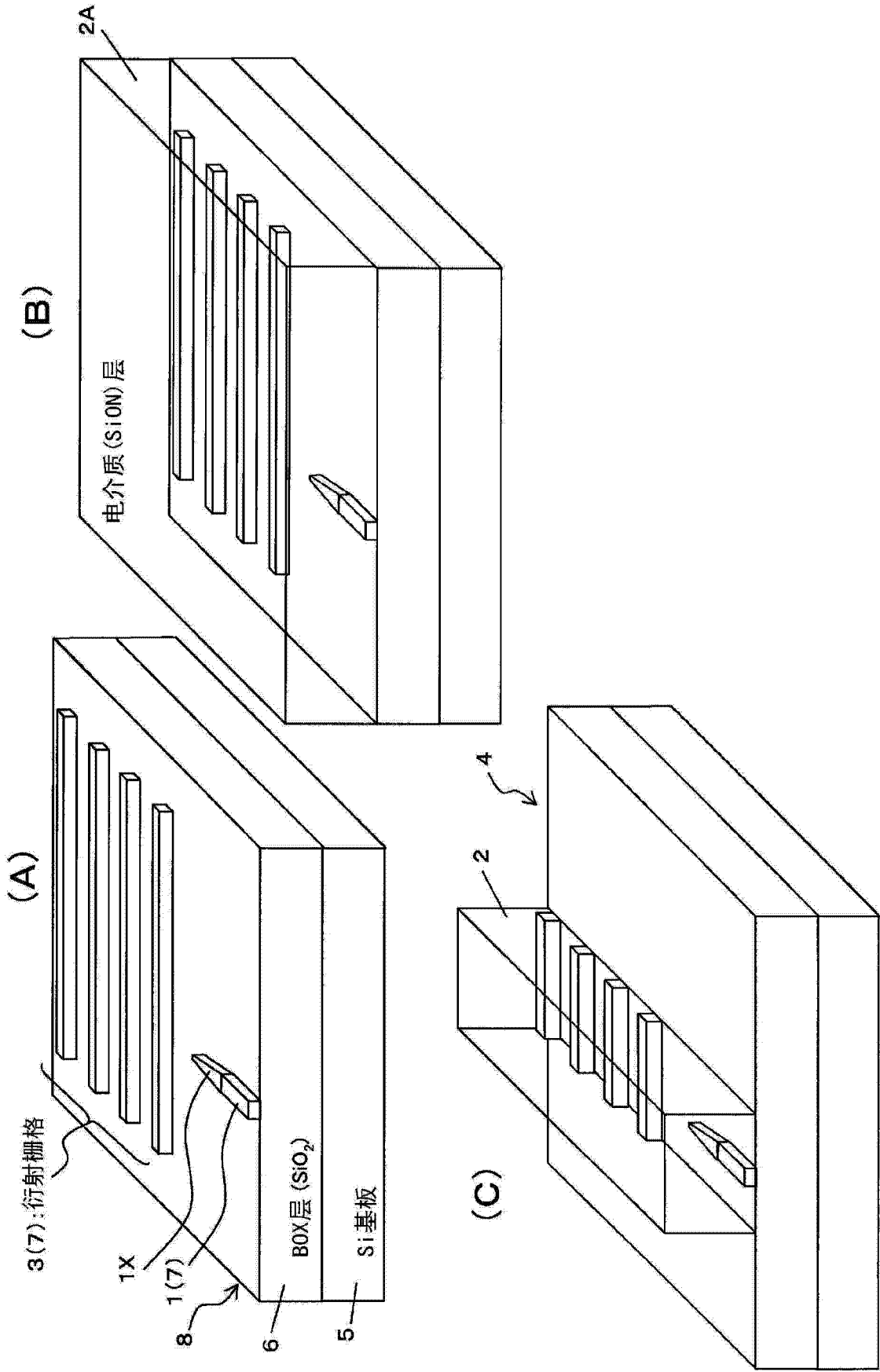


图 8

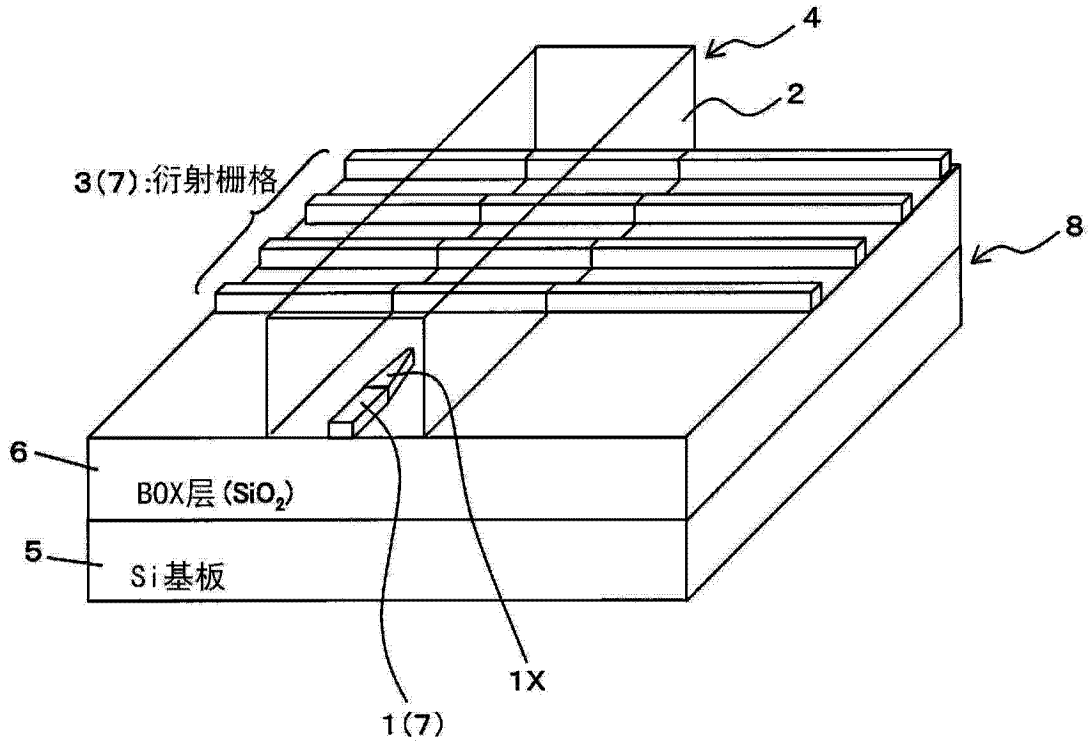


图 9

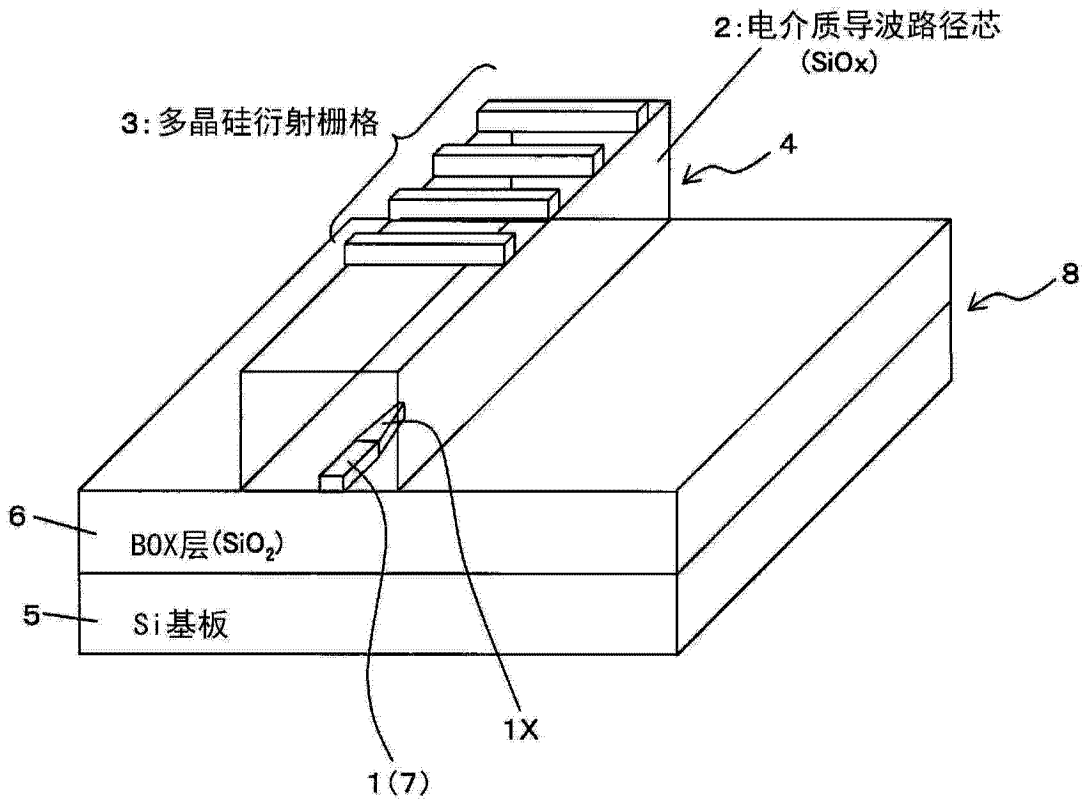


图 10

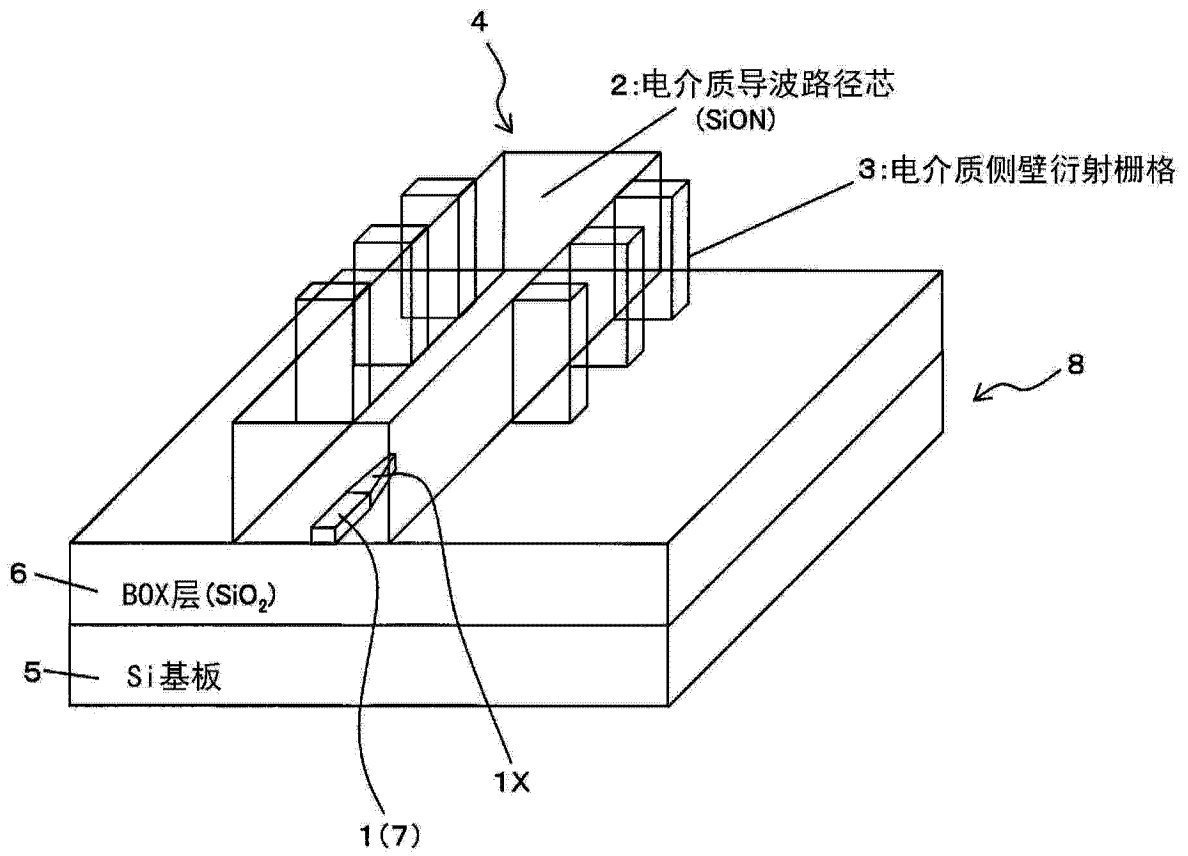


图 11

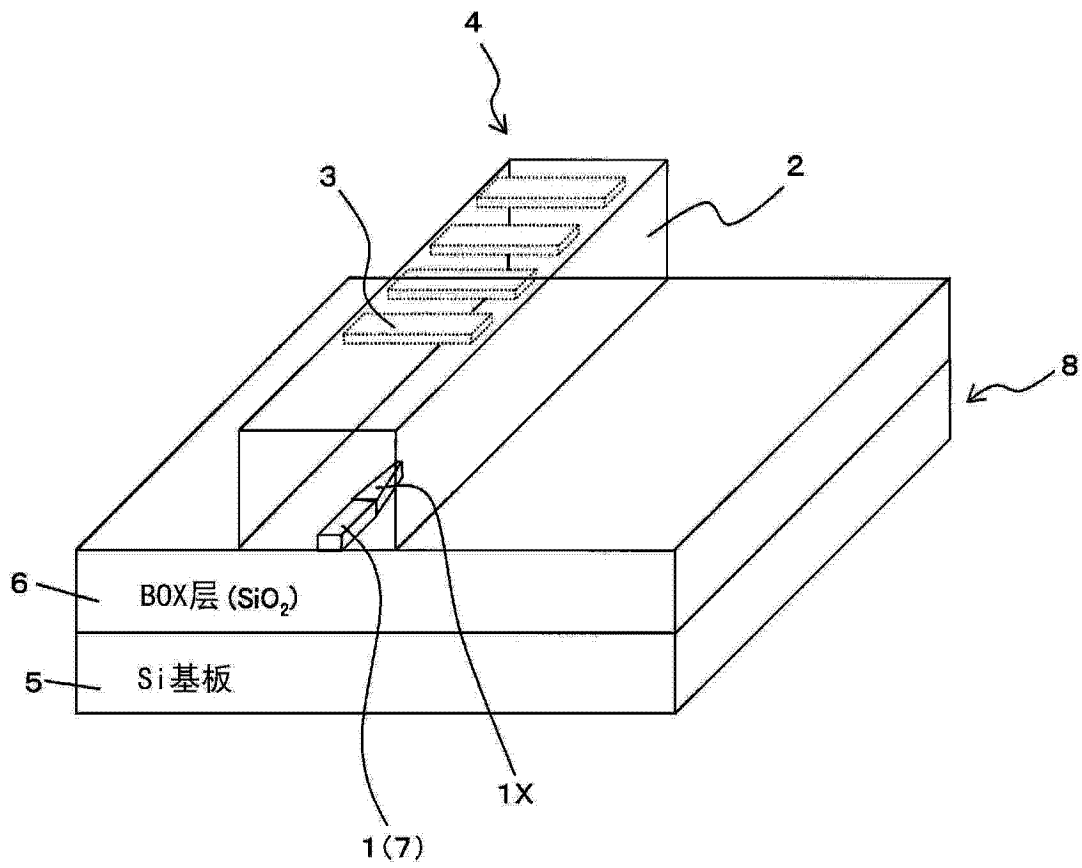


图 12

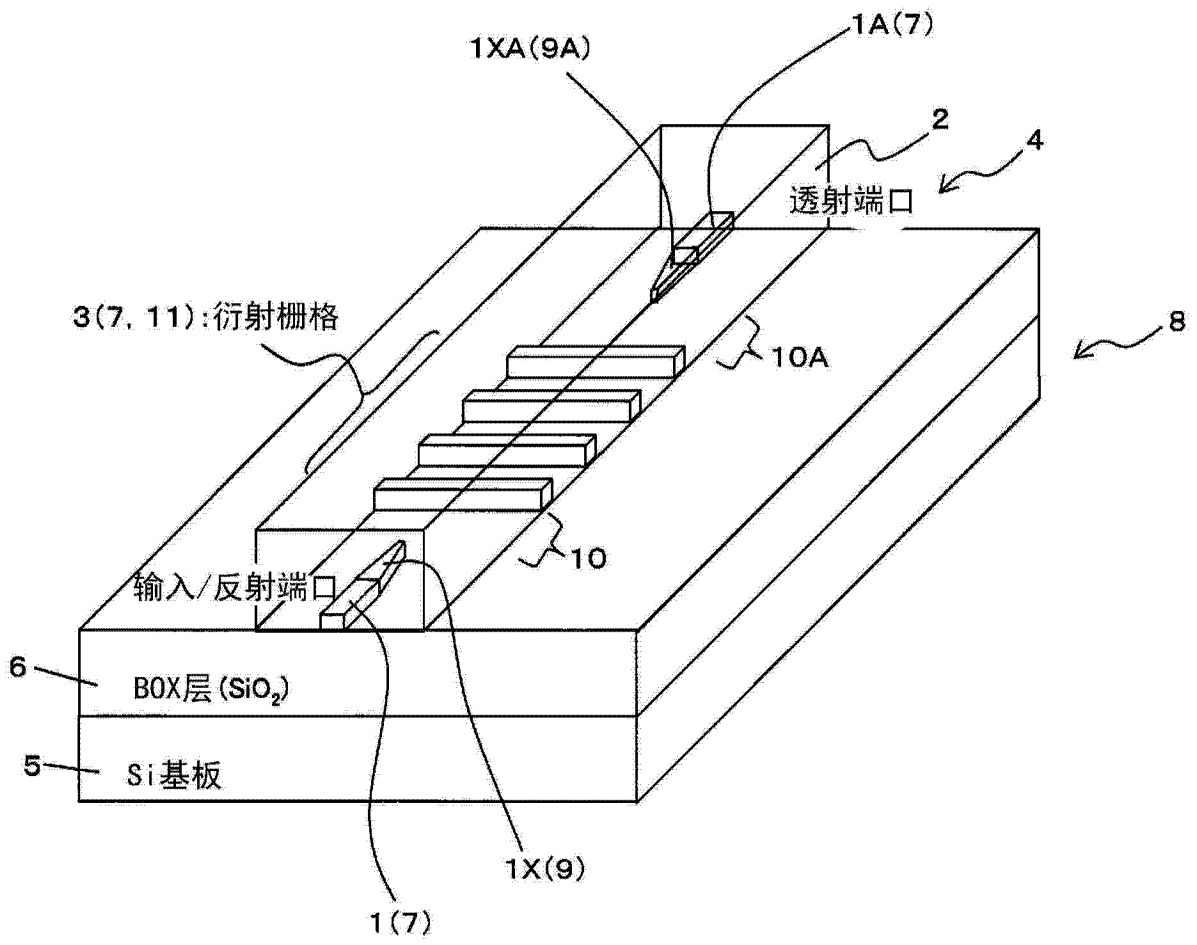


图 13

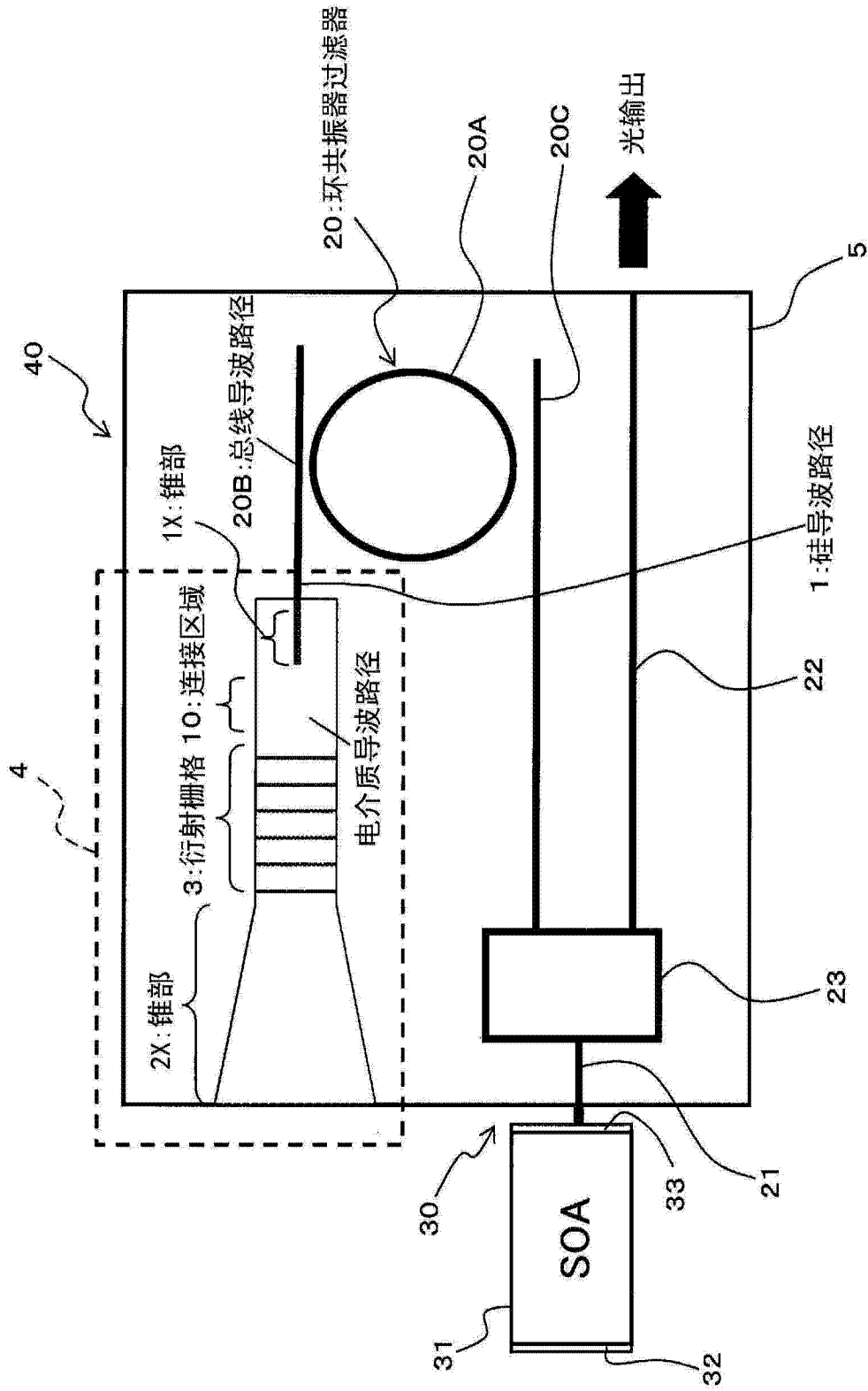


图 14

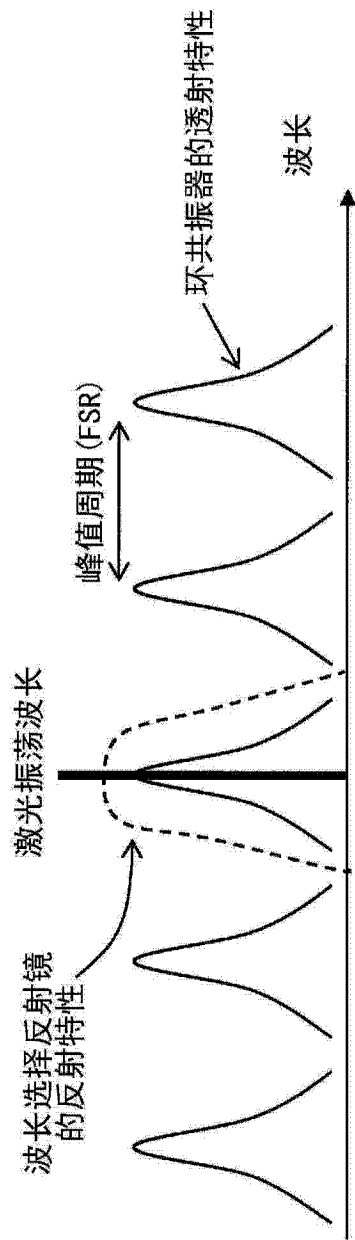


图 15

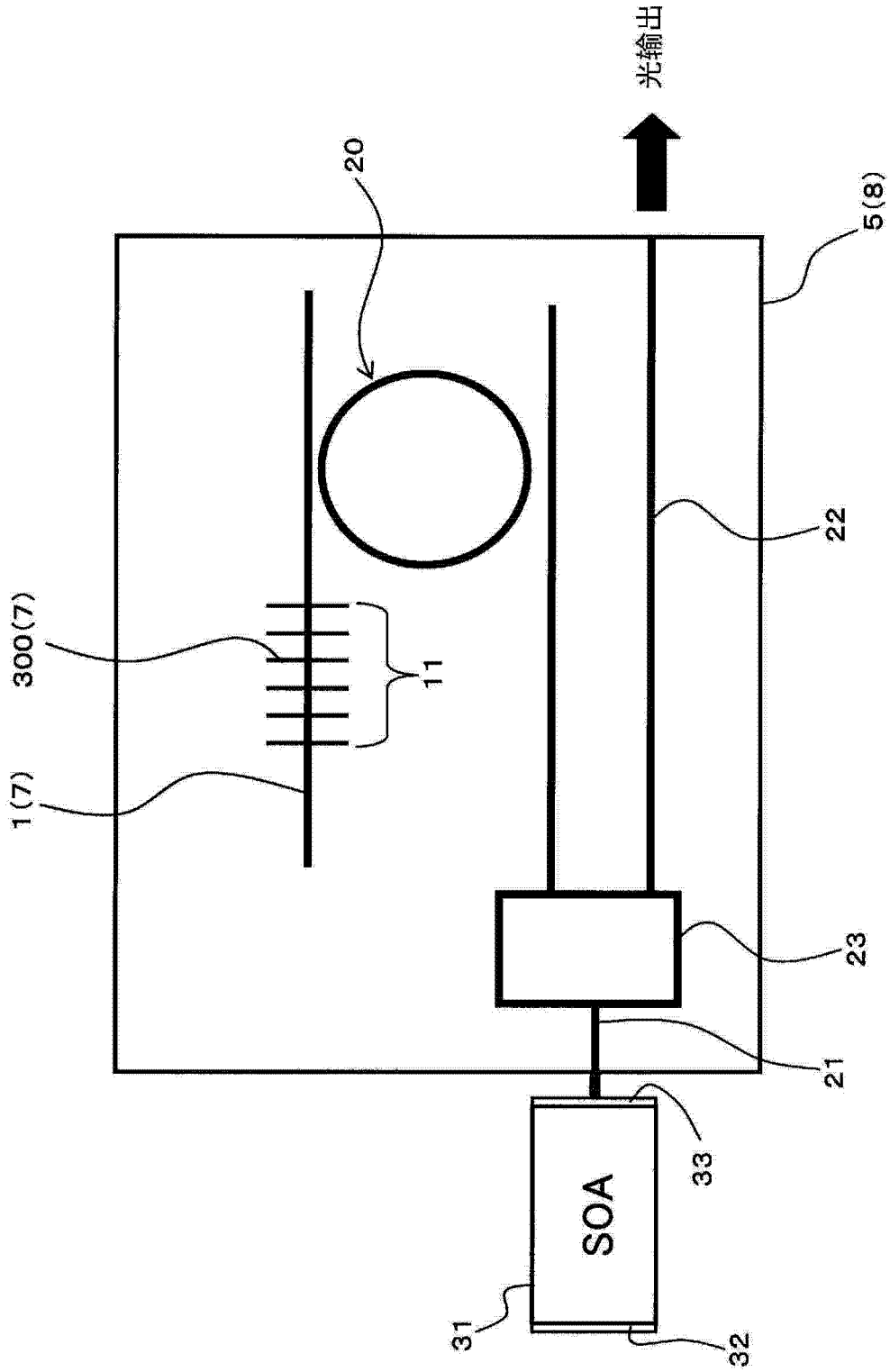


图 16

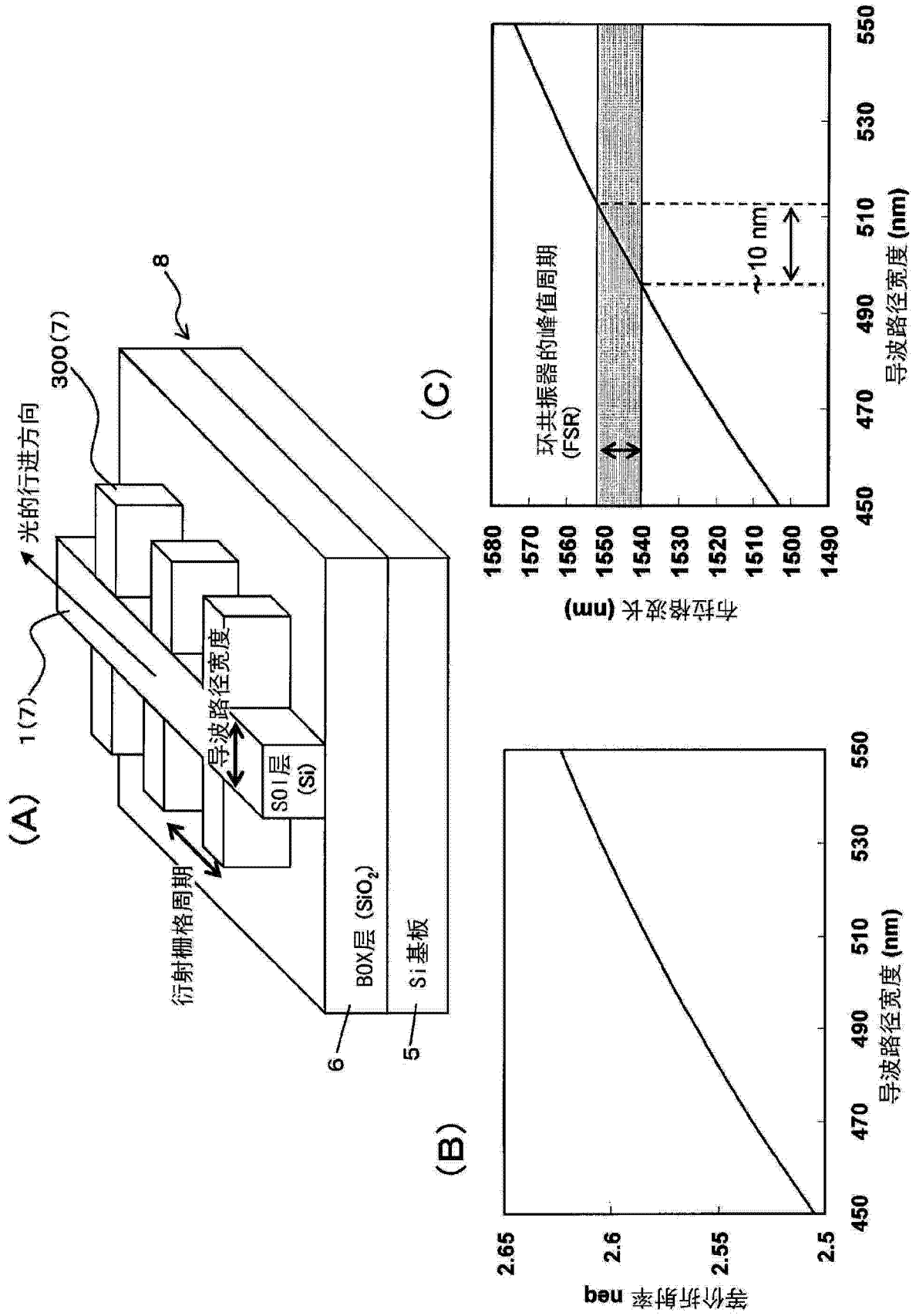


图 17

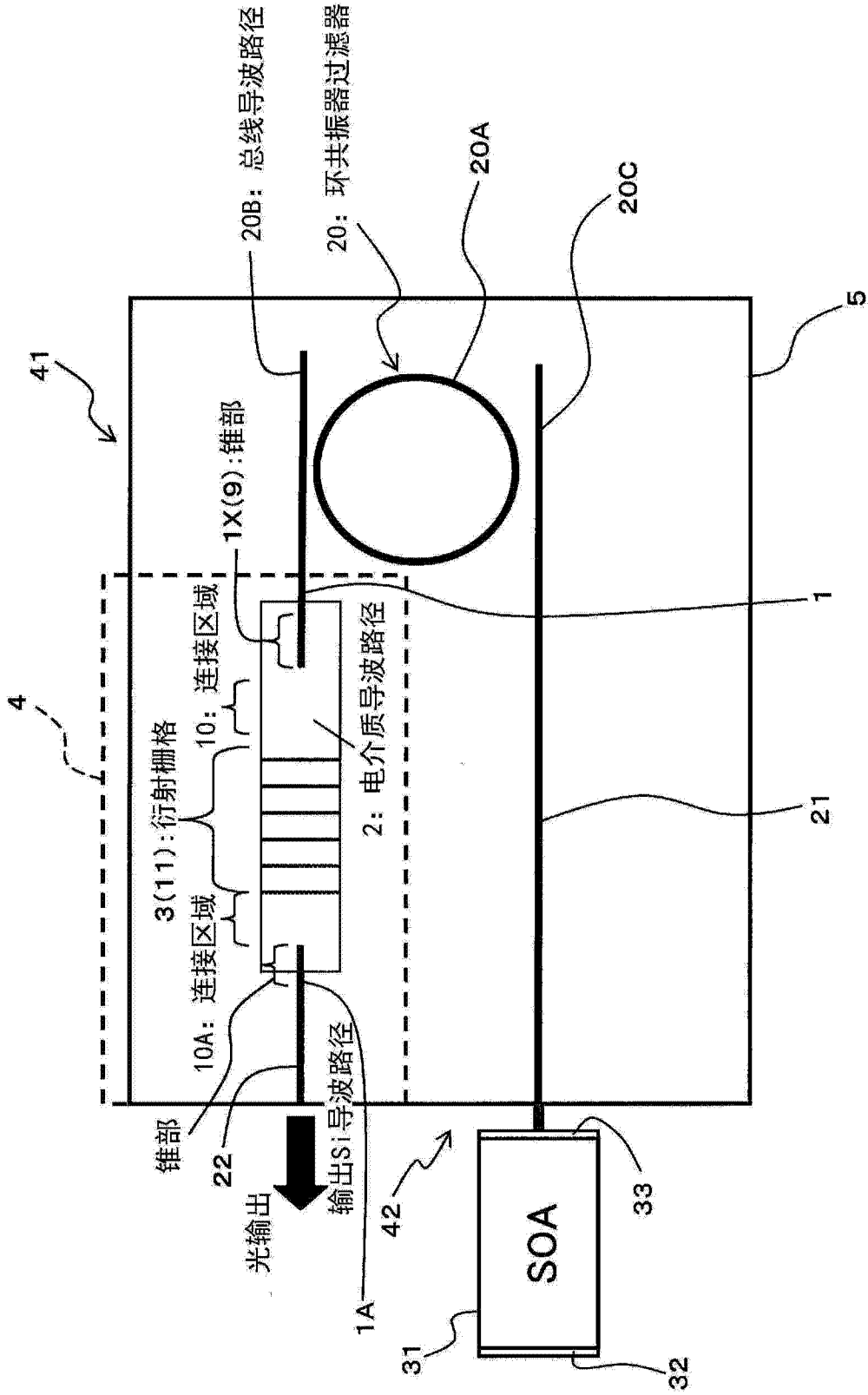


图 18

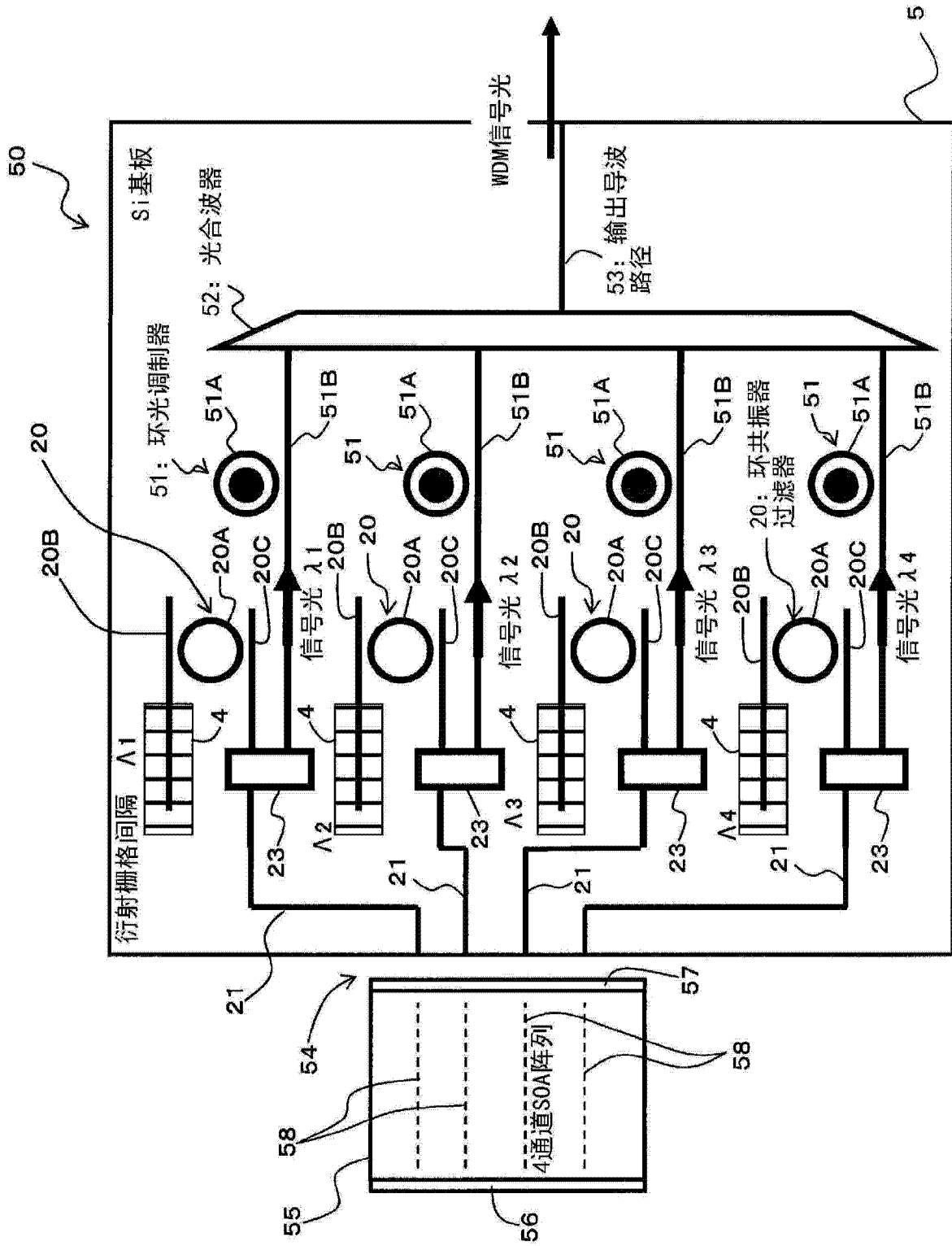


图 19

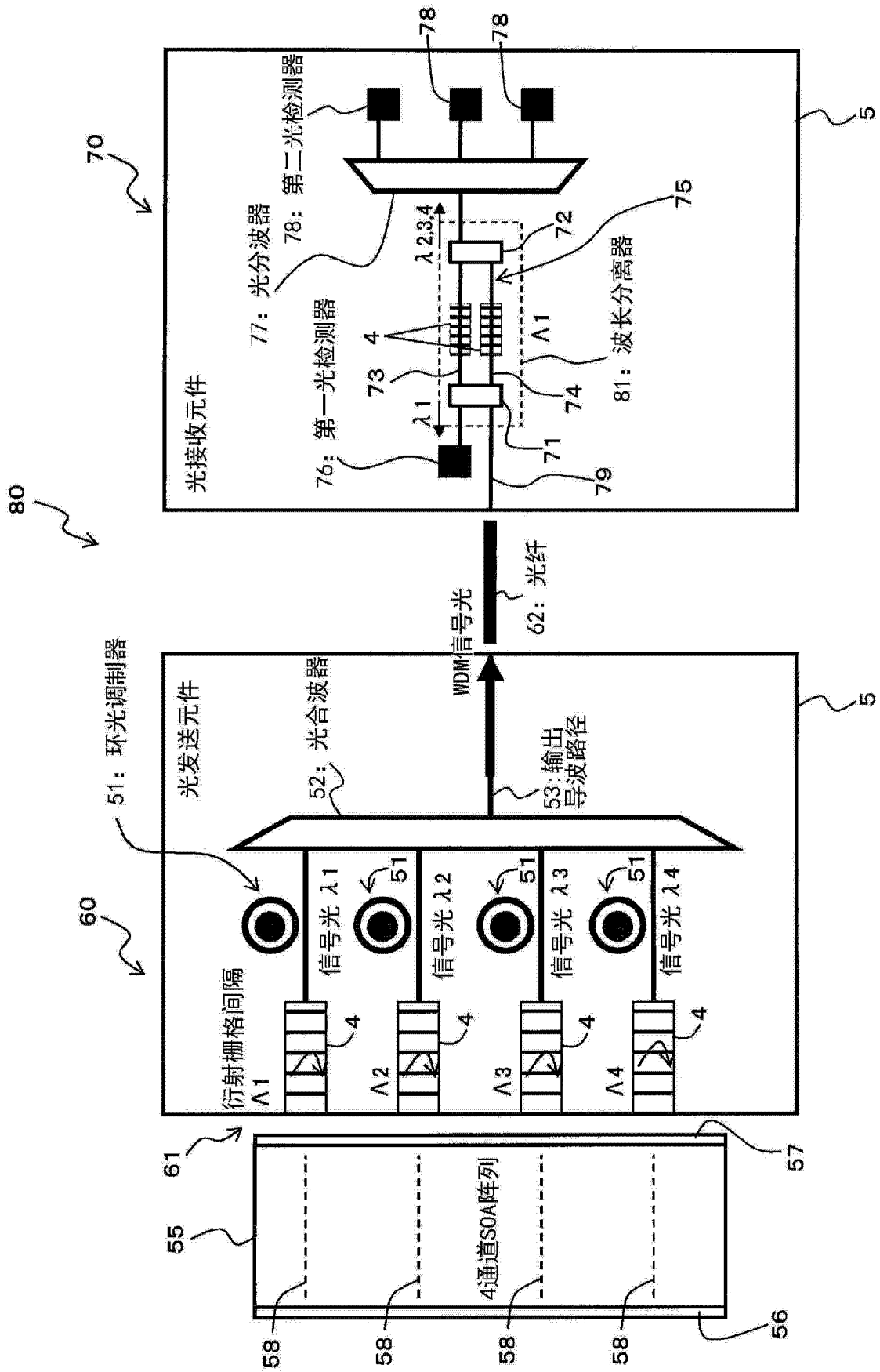


图 20