(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119301490 A
(43)申请公布日 2025.01.10

(21)申请号 202280089980.X
(22)申请日 2022.06.16
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.07.24
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/024158 2022.06.16
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/243045 JA 2023.12.21
(71)申请人 三菱电机株式会社
地址 日本
(72)发明人 望月敬太 岸本一诚
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 张青
(51)Int.Cl.
G02B 6/125(2006.01)

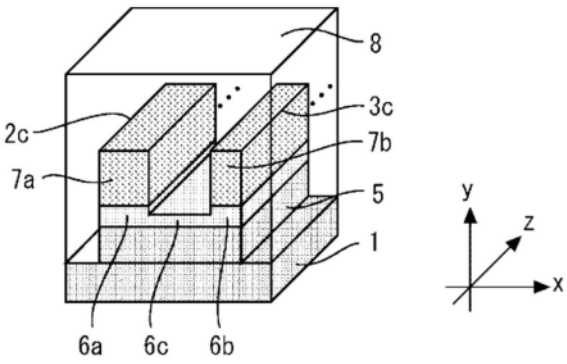
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54)发明名称

定向耦合器及其制造方法

(57)摘要

在光功率转换部中,第一及第二光波导(2c、3c)的间隔为光的波长以下。第一及第二光波导(2c、3c)分别是具有在半导体基板(1)之上依次形成的下部包层(5)、芯层(6a、6b)以及上部包层(7a、7b)的高台面构造。第一光波导(2c)和第二光波导(3c)具有不同的宽度。在光功率转换部的第一及第二光波导(2c、3c)的芯层(6a、6b)之间,在下部包层(5)之上形成有间隙芯层(6c)。考虑了光向高度方向漏出时的间隙芯层(6c)的等效折射率比第一及第二光波导(2c、3c)的芯层(6a、6b)的等效折射率低。



CN 119301490 A

1.一种定向耦合器,其特征在于,具备:

半导体基板;

高台面构造的第一光波导及第二光波导,它们并排形成于所述半导体基板之上;以及

周围包层,其形成于所述第一光波导及所述第二光波导的周围,

所述第一光波导及所述第二光波导具有:

光功率转换部,其将在所述第一光波导及所述第二光波导的一方传播的光按所希望的功率比率分配给所述第一光波导及所述第二光波导;

第一曲线波导,其与所述光功率转换部的输入侧连接,越朝向所述光功率转换部、越使所述第一光波导及所述第二光波导的间隔缩小;以及

第二曲线波导,其与所述光功率转换部的输出侧连接,越远离所述光功率转换部、越使所述第一光波导及所述第二光波导的间隔扩大,

在所述光功率转换部中,所述第一光波导及所述第二光波导的间隔为所述光的波长以下,

所述第一光波导及所述第二光波导分别是具有在所述半导体基板之上依次形成的下部包层、芯层以及上部包层的高台面构造,

所述第一光波导和所述第二光波导具有不同的宽度,

在所述光功率转换部的所述第一光波导及所述第二光波导的所述芯层之间且在所述下部包层之上形成有间隙芯层,

考虑了所述光向高度方向漏出时的所述间隙芯层的等效折射率比所述第一光波导及所述第二光波导的所述芯层的等效折射率低。

2.根据权利要求1所述的定向耦合器,其特征在于,

n_{core}为所述芯层与所述间隙芯层的折射率、n_{clad}为所述周围包层的折射率、k_0为在真空中传播的光的波数、w_{gap}为所述光功率转换部的所述第一光波导及所述第二光波导的接近距离,考虑了所述光向高度方向漏出时的所述间隙芯层的等效折射率n_{eff}以10%以下的误差满足下式:

$n_{eff}=(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times \ln(k_0 w_{gap}/4.2)+1.0+n_{clad}$。

3.根据权利要求2所述的定向耦合器,其特征在于,

所述间隙芯层由与所述芯层相同的材料构成,且被挖入从而其高度比所述芯层低。

4.根据权利要求3所述的定向耦合器,其特征在于,

所述间隙芯层是高度不同的第一区域及第二区域以所述光的波长的长度以下的间距周期地重复的构造,

f是表示所述第一区域相对于所述间隙芯层的整体所占的光传播方向的长度的比例的填充因子,考虑了所述光向高度方向漏出时的所述第一区域的等效折射率n_{gap1}和所述第二区域的等效折射率n_{gap2}以10%以下的误差满足下式:

$$(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times ln(k_0 w_{gap}/4.2)+1.0+n_{clad}=\frac{1}{f/n_{gap1}+(1-f)/n_{gap2}}$$。

5.根据权利要求4所述的定向耦合器,其特征在于,

在所述第一光波导及所述第二光波导的所述上部包层的相互相向的侧面,以与所述第一区域及所述第二区域相同的周期且相同的填充因子,形成有宽度为所述第一光波导及所

述第二光波导的宽度以下并且深度未到达所述芯层的挖入部，

所述第二区域的高度比所述第一区域低，

在光传播方向上，所述侧面的挖入部的位置与所述第二区域的位置一致，

在光传播方向上，所述侧面的非挖入部的位置与所述第一区域的位置一致。

6.根据权利要求2所述的定向耦合器，其特征在于，

所述间隙芯层被挖入从而其高度比所述芯层低，且是高度相互相同且折射率相互不同的第一区域及第二区域以所述光的波长的长度以下的间距周期地重复的构造，

f是表示所述第一区域相对于所述间隙芯层的整体所占的光传播方向的长度的比例的填充因子，考虑了所述光向高度方向漏出时的所述第一区域的等效折射率n_{gap1}和所述第二区域的等效折射率n_{gap2}以10％以下的误差满足下式：

$$(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times ln(k_0 w_{gap}/4.2)+1.0+n_{clad}=\frac{1}{f/n_{gap1}+(1-f)/n_{gap2}}$$ 。

7.根据权利要求2所述的定向耦合器，其特征在于，

所述间隙芯层由高度与所述芯层相同且折射率比所述芯层低的材料构成。

8.根据权利要求7所述的定向耦合器，其特征在于，

所述间隙芯层是折射率相互不同的第一区域及第二区域以所述光的波长的长度以下的间距周期地重复的构造，

f是表示所述第一区域相对于所述间隙芯层的整体所占的光传播方向的长度的比例的填充因子，考虑了所述光向高度方向漏出时的所述第一区域的等效折射率n_{gap1}和所述第二区域的等效折射率n_{gap2}以10％以下的误差满足下式：

$$(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times ln(k_0 w_{gap}/4.2)+1.0+n_{clad}=\frac{1}{f/n_{gap1}+(1-f)/n_{gap2}}$$ 。

9.一种定向耦合器的制造方法，是形成权利要求5所述的定向耦合器的方法，其特征在于，

利用蚀刻深度取决于掩模的开口率的微负载效应，通过一次深蚀刻来形成所述第一光波导及所述第二光波导。

定向耦合器及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及由以InP为基体的高台面光波导构成的定向耦合器及其制造方法。

背景技术

[0002] 作为光半导体器件的材料,使用有硅(Si)、磷化铟(InP)、砷化镓(GaAs)、氮化镓(GaN)、铌酸锂($LiNbO_3$)或者以它们为基础的化合物半导体等各种材料。在这样的光半导体器件中,光波导作为基本构成要素被广泛使用。光波导通过使折射率比周围高而将光封入某局部区域,并通过将该区域形成为线状,从而使光沿所希望的方向传播。

[0003] 另外,定向耦合器也作为用于实现各种功能的光半导体器件的基本的构成要素之一被广泛使用。定向耦合器通过使两个独立的光波导接近至传播光的波长以下的距离,从而将两个波导的光传播模式进行光学耦合。由此,能够使传播光的任意功率转换。

[0004] 但是在一般的定向耦合器中,为了将在一方的光波导传播的光功率充分地向另一方的光波导转换,需要所传播的光的波长的数十倍左右长的距离,因而存在器件尺寸变大的课题。

[0005] 另外,在定向耦合器中常常使用的将光功率的50%分配给另一方的3dB耦合器以及3dB分离器中,还存在得到所希望的转换率的器件长的允许误差范围约为1微米左右非常小的课题。相对于整体的器件长,允许误差范围的器件长小表示定向耦合器是不耐制造误差的器件。

[0006] 作为用于解决上述课题的技术,公开有在由以Si为基体的细线波导构成的定向耦合器中,导入所谓的亚波长光栅(Sub-wavelength Grating:SWG)构造,从而缩短光功率从一方光波导向另一方光波导的转换距离的技术(例如参照非专利文献1)。SWG构造是使接近波长程度的距离的两个光波导的波导宽度成为不同的值,并且沿相对于两个光波导垂直的方向设置的传播光以下的周期的周期构造。在该方法中,通过非对称波导宽度的导入来缩短光功率的转换距离,通过SWG构造来补偿此时成为问题的光功率的转换率的降低。由此,成功实现是定向耦合器并且器件长较短的3dB耦合器。

[0007] 非专利文献1:C.Ye et al.,“Ultra-Compact Broadband 2x 23dB Power Splitter Using a Subwavelength-Grating-Assisted Asymmetric Directional Coupler,”Journal of Lightwave Technology,vol.38,no.8(2020)

[0008] 在Si细线波导中,光波导宽度为0.5微米以下,容易形成使两个光波导接近0.2微米以下的构造。现有技术除这样的Si细线波导以外的应用是困难的。特别是光波导向高度方向的封入较弱,因此需要较深的挖入部。另一方面,在以InP为基体的高台面光波导中,光波导宽度为0.5微米以上,且需要两个光波导间距离。因此,现有技术向以InP为基体的高台面光波导的应用是困难的。

发明内容

[0009] 本公开是为了解决上述那样的课题所做出的,其目的在于得到也能够应用于以

InP为基体的高台面光波导、器件尺寸小且耐制造误差的定向耦合器及其制造方法。

[0010] 本公开的定向耦合器的特征在于,具备:半导体基板;高台面构造的第一光波导及第二光波导,它们并排形成于所述半导体基板之上;以及周围包层,其形成于所述第一光波导及所述第二光波导的周围,所述第一光波导及所述第二光波导具有:光功率转换部,其将在所述第一光波导及所述第二光波导的一方传播的光按所希望的功率比率分配给所述第一光波导及所述第二光波导;第一曲线波导,其与所述光功率转换部的输入侧连接,越朝向所述光功率转换部、越使所述第一光波导及所述第二光波导的间隔缩小;以及第二曲线波导,其与所述光功率转换部的输出侧连接,越远离所述光功率转换部、越使所述第一光波导及所述第二光波导的间隔扩大,在所述光功率转换部中,所述第一光波导及所述第二光波导的间隔为所述光的波长以下,所述第一光波导及所述第二光波导分别是具有在所述半导体基板之上依次形成的下部包层、芯层以及上部包层的高台面构造,所述第一光波导和所述第二光波导具有不同的宽度,在所述光功率转换部的所述第一光波导及所述第二光波导的所述芯层之间且在所述下部包层之上形成有间隙芯层,考虑了所述光向高度方向漏出时的所述间隙芯层的等效折射率比所述第一光波导及所述第二光波导的所述芯层的等效折射率低。

[0011] 在本公开中,以考虑了光向高度方向漏出时的间隙芯层的等效折射率比光波导的芯层的等效折射率低的方式设计间隙芯层。由此,能够得到也能够应用于以InP为基体的高台面光波导、器件尺寸较小且耐制造误差的定向耦合器。

附图说明

[0012] 图1是表示实施方式1的定向耦合器的俯视图。

[0013] 图2是表示实施方式1的定向耦合器的光功率转换部的立体图。

[0014] 图3是表示对实施方式1的构造、现有的高台面波导构造、现有的埋入波导构造计算定向耦合器的分配率的结果的图。

[0015] 图4是表示用于图3的计算的实施方式1的构造的剖视图。

[0016] 图5是表示用于图3的计算的现有的高台面波导构造的剖视图。

[0017] 图6是表示用于图3的计算的现有的埋入波导构造的剖视图。

[0018] 图7是表示对图3的各z位置的光强分布通过重叠积分来计算两个光波导中分别包含的光功率的比率的结果的图。

[0019] 图8是表示计算相对于定向耦合器的长度方向的位置的光功率的分配率的结果的图。

[0020] 图9是表示计算相对于定向耦合器的长度方向的位置的光功率的分配率的结果的图。

[0021] 图10是表示计算相对于定向耦合器的长度方向的位置的光功率的分配率的结果的图。

[0022] 图11是表示计算相对于定向耦合器的长度方向的位置的光功率的分配率的结果的图。

[0023] 图12是表示实施方式2的定向耦合器的立体图。

[0024] 图13是表示计算实施方式2的构造中的定向耦合器的分配率的结果的图。

[0025] 图14是表示对图13的各z位置的光强分布通过重叠积分来计算输入侧的第一光波导和第二光波导分别包含的光功率的比率的结果的图。

[0026] 图15是表示实施方式3的定向耦合器的立体图。

[0027] 图16是表示形成波导时使用的掩模的俯视图。

[0028] 图17是表示实施方式4的定向耦合器的立体图。

[0029] 图18是表示实施方式5的定向耦合器的立体图。

[0030] 图19是表示实施方式6的定向耦合器的立体图。

具体实施方式

[0031] 参照附图对实施方式的定向耦合器及其制造方法进行说明。存在对相同或对应的构成要素标注相同的附图标记并省略重复说明的情况。

[0032] 实施方式1

[0033] 图1是表示实施方式1的定向耦合器的俯视图。在半导体基板1之上并排形成有两个光波导2、3。光波导2、3是折射率比周围高的区域。光被局部地封入于该区域。仅在光波导2、3的某个特定方向上允许光的传播。光波导2具有光波导2a～2e。光波导3具有光波导3a～3e。另外，在图1中用箭头示意地示出向定向耦合器输入的光4a、和通过定向耦合器分配的输出光4b、4c。

[0034] 定向耦合器的输入侧的光波导2a、3a并排配置。光波导2a、3a的间隔是传播光的波长的数倍以上的充分的距离。光波导2b、3b的一端分别与光波导2a、3a连接。光波导2b、3b的形状为圆弧的组合、正弦波与余弦波的组合、摆线曲线或者回旋曲线等。与光功率转换部的输入侧连接的光波导2b、3b是越朝向光功率转换部、越使光波导2、3的间隔缩小的曲线波导，使光波导2、3的间隔从传播光的波长尺寸的数倍以上无光损失地接近到波长尺寸程度为止。光波导2b、3b的长度是传播光的波长的10倍左右或其以上。

[0035] 光功率转换部的光波导2c、3c的一端分别与光波导2b、3b的另一端连接。光波导2c、3c相互平行且接近而配置。光波导2c、3c的间隔是传播光的波长程度或其以下。光功率转换部将在光波导2c、3c的一方传播的光以所希望的功率比率分配给光波导2c、3c。

[0036] 光波导2d、3d的一端分别与光波导2c、3c的另一端连接。光波导2d、3d的形状是圆弧的组合、正弦波与余弦波的组合或者摆线曲线等。与光功率转换部的输出侧连接的光波导2d、3d是越远离光功率转换部、越使光波导2、3的间隔扩大的曲线波导，使光波导2、3的间隔从传播光的波长程度无光损失地扩大到波长的数倍以上。光波导2d、3d的长度是传播光的波长的10倍左右或其以上。定向耦合器的输出侧的光波导2e、3e分别与光波导2d、3d的另一端连接。

[0037] 图2是表示实施方式1的定向耦合器的光功率转换部的立体图。另外，在图中记载有x轴和y轴以便清楚图1与图2的方向的对应。光波导2c是具有在半导体基板1之上依次层叠的下部包层5、芯层6a、上部包层7a的高台面构造。光波导3c是具有在半导体基板1之上依次层叠的下部包层5、芯层6b、上部包层7b的高台面构造。

[0038] 芯层6a、6b由具有比下部包层5及上部包层7a、7b高的折射率的材料构成，是封入光的区域。在光功率转换部的光波导2c、3c的芯层6a、6b之间，在下部包层5之上形成有间隙芯层6c。间隙芯层6c由与芯层6a、6b相同的材料构成，且被挖入从而上表面的高度比芯层

6a、6b低。

[0039] 周围包层8形成于光波导2c、3c的周围。周围包层8由具有比下部包层5、芯层6a、6b、上部包层7a、7b、间隙芯层6c的折射率低的折射率的例如SiO_2或SiN等材料构成。

[0040] 光波导2c的宽度为光波导3c的宽度的约1.5倍。同样,光波导2a～2e的宽度为光波导3a～3e的宽度的约1.5倍。因此本实施方式的定向耦合器是光波导2和光波导3具有不同的宽度的非对称定向耦合器。另外,光波导2、3的宽度为传播光的净波长以下,整体的高度为净波长以上。芯层6a、6b、间隙芯层6c形成于共通的下部包层5之上,因此间隙芯层6c的下表面的高度与芯层6a、6b的下表面的高度相同。另外,间隙芯层6c和芯层6a、6b相互接触。

[0041] 间隙芯层6c的等效折射率,考虑光从间隙芯层6c向周围包层8及下部包层5的漏出进行计算。芯层6a、6b的等效折射率,考虑光从芯层6a、6b向上部包层7a、7b以及下部包层5的漏出进行计算。一般情况下,芯层的厚度越薄,光越向上下的包层漏出而等效折射率降低。因此,在本实施方式中,以考虑了光向高度方向漏出时的间隙芯层6c的等效折射率比光波导2c、3c的芯层6a、6b的等效折射率低的方式,将间隙芯层6c挖入得比光波导2c,3c的芯层6a、6b低。

[0042] 具体而言,以考虑了光向高度方向漏出时的间隙芯层6c的等效折射率n_{eff}以10％以下的误差满足以下公式(1)的方式,调整间隙芯层6c的挖入量。

[0043] $$n_{eff}=(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times \ln(k_0 w_{gap}/4.2)+1.0+n_{clad} \quad (1)$$

[0044] 在此,n_{core}是芯层6a、6b和间隙芯层6c的折射率。n_{clad}是周围包层8的折射率。k_0是在真空中传播的光的波数。w_{gap}是光功率转换部的光波导2c、3c的接近距离、即间隙芯层6c的宽度。

[0045] 高台面波导与埋入波导或细线波导等其他光波导相比较,光向光波导内的封入较强。另外,光功率转换部的两个光波导间的间隙部的生成需要深挖蚀刻,因此间隙部的宽度w_{gap}需要为一定值以上。在这样的构造中,两个光波导中的光传播模式彼此不会充分地光学耦合,难以充分产生光功率的转换。因此在本实施方式中,通过使间隙芯层6c的一部分残存于间隙部,从而有意地将各个光传播模式向间隙部方向扩张,增强光学耦合。另外,通过采用光功率转换部的光波导2c、3c的宽度不同的非对称波导宽度,从而各个光传播模式的传播常量差变大,因此能够缩短光功率从一方的光波导向另一方的光波导的转换距离。其结果,能够实现兼顾较短的光功率的转换距离和最大50％左右的光功率的转换率的定向耦合器。

[0046] 图3是表示对实施方式1的构造、现有的高台面波导构造、现有的埋入波导构造,计算出定向耦合器的分配率的结果的图。图4是表示用于图3的计算的实施方式1的构造的剖视图。图5是表示用于图3的计算的现有的高台面波导构造的剖视图。在现有的高台面波导构造中完全挖入间隙部。图6是表示用于图3的计算的现有的埋入波导构造的剖视图。在现有的埋入波导构造中,完全挖入间隙部后,将周围用折射率3.17的InP层9完全填埋。

[0047] 任意一个的构造均为光输入侧的光波导2c和光输出侧的光波导3c隔着宽度0.6微米的间隙部接近的非对称定向耦合器。光波导2c、3c的周围用由折射率1.45的SiO_2构成的周围包层8包围。光波导2c的宽度为0.6微米。光波导3c的宽度为0.4微米。光波导2c具有:由折射率3.17的InP构成的厚度1.2微米的上部包层7a、由平均折射率3.32的AlGaInAs多量子阱构成的厚度0.5微米的芯层6a、以及由折射率3.17的InP构成的厚度1.2微米的下部包层

5。光波导3c具有:由折射率3.17的InP构成的厚度1.2微米的上部包层7b、由平均折射率3.32的AlGaAsAs多量子阱构成的厚度0.5微米的芯层6b、以及由折射率3.17的InP构成的厚度1.2微米的下部包层5。在实施方式1的构造中,间隙芯层6c的等效折射率为3.129。

[0048] 图3的横轴表示定向耦合器的宽度方向的位置,对应于图1、图2中的x轴。图3的纵轴表示定向耦合器的长度方向的位置,对应于图1、图2中的z轴。图3的多个曲线重叠显示z方向每0.5微米的光的能量分布,以视觉上容易知晓光所处的x位置的方式进行图示。图3的x=-0.6微米附近是设置有光波导2c的位置。图3的x=0.4微米附近是设置有光波导3c的位置。

[0049] 图7是表示对图3的各z位置的光强分布通过重叠积分计算两个光波导中分别包含的光功率的比率的结果的图。根据上述计算结果,可知在现有的埋入波导构造中,光分配率到达50%需要25微米的长度。可知在现有的高台面波导构造中,两个光波导间的光学耦合过弱,定向耦合器无论多长,都几乎不产生光功率的转换。另一方,可知在实施方式1的构造中,在定向耦合器的长度为约8微米附近,光功率的分配率为50%,与现有构造相比较,能够实现约1/3的定向耦合器的缩短化和50%的功率转换率的兼顾。

[0050] 接下来,对公式(1)的效果进行说明。图8至图11是表示计算相对于定向耦合器的长度方向的位置的光功率的分配率的结果的图。光功率的分配率是两个光波导的每一个中包含的光功率的比率。在图4的构造中变更间隙芯层的高度,使间隙部的等效折射率从周围包层的SiO_2的折射率1.45变化到芯层的多量子阱的折射率3.21。图8至图11是将两个光波导间的间隙宽度w_{gap}分别设为0.2微米、0.4微米、0.6微米、0.8微米的情况。

[0051] 各图中用粗线表示的等效折射率条件分别是最接近公式(1)的条件。根据各图,可知在满足公式(1)的条件的情况下曲线图的峰值位置的光功率分配率为约50%。在曲线图的斜率变小的曲线图的峰值位置、即光功率分配比的变化最变小的区域,光功率分配率为50%。因此,光功率分配率大约为50%的z位置的范围变广,针对制造误差能够实现可靠的定向耦合器。此时,例如若将光功率分配率的误差定为±10%,则公式(1)的条件允许距最佳条件约10%的误差。

[0052] 根据以上,在本实施方式中,以考虑到光向高度方向漏出时的间隙芯层6c的等效折射率比光波导2c、3c的芯层6a、6b的等效折射率低的方式设置间隙芯层6c。具体而言,以考虑到光向高度方向漏出时的间隙芯层6c的等效折射率n_{eff}以10%以下的误差满足公式(1)的方式调整间隙芯层6c的挖入量。由此,能够得到还能够应用于以InP为基体的高台面光波导、器件尺寸较小、且耐制造误差的定向耦合器。

[0053] 此外,定向耦合器的形状、原料、位置关系并不局限于本实施方式。例如,输入侧的光波导和输出侧的光波导的位置也可以更换。半导体基板1的材料也可以是Si、GaAs、SiO_2、SiN或$LiNbO_3$等其他材料。芯层并非必须为多量子阱,只要是折射率比包层高的材料即可,例如也可以是对SiO_2包层掺杂了Ge等的SiO_2等。该情况下,由于器件的折射率整体上变小,因此不利于器件尺寸的大型化,但传播光的光损失变小,因此能够实现低损失的器件。

[0054] 实施方式2

[0055] 图12是表示实施方式2的定向耦合器的立体图。间隙芯层6c由与芯层6a、6b相同的材料构成,一部分被挖入从而其高度比芯层6a、6b低,且是高度不同的第一区域10a及第二区域10b以在光波导2c、3c内传播的光的净波长的长度以下的间距周期地重复的SWG(Sub-

wavelength Grating)构造。

[0056] 考虑到前光向高度方向漏出时的第一区域10a的等效折射率n_{gap1}和第二区域10b的等效折射率n_{gap2}以10％以下的误差满足以下公式(2)。

[0057] $$(n_{core}-n_{clad})\times 0.09\times ln\left(k_0 w_{gap}/4.2\right)+1.0+n_{clad}=\frac{1}{f/n_{gap1}+(1-f)/n_{gap2}} \quad (2)$$

[0058] 在此,n_{gap1}和n_{gap2}分别是第一及第二区域10a、10b的等效折射率,f是表示第一区域10a相对于间隙芯层6c整体所占的光传播方向的长度的比例的填充因子。若将第一区域10a的长度设为a[um],将第二区域10b的长度w设为b[um],则f＝a/(a+b)。其他结构与实施方式1相同。

[0059] 在实施方式1中,不得不根据间隙宽度和光波导的材料的折射率,使间隙芯层6c的等效折射率、即高度唯一确定。但是,在本实施方式中,感到在光波导内传播的光的间隙芯层6c的等效折射率是根据填充因子决定的不同高度的第一及第二区域10a、10b的平均折射率。因此,通过SWG构造的导入,通过第一及第二区域10a、10b的两个高度与填充因子的组合,能够与间隙宽度和光波导的材料的折射率无关地,实现具有最佳的光功率的分配比率的定向耦合器。

[0060] 图13是表示计算实施方式2的构造中的定向耦合器的分配率的结果的图。第一区域10a的高度方向的等效折射率n_{gap1}为3.055,第二区域10b的等效折射率n_{gap2}为3.205,SWG构造的周期为0.22微米,填充因子为0.5。其他条件和图3的情况相同。图中的x＝-0.6微米附近是设置有光波导2c的位置,x＝0.4微米附近是设置有光波导3c的位置。

[0061] 图14是表示对图13的各z位置的光强分布通过重叠积分计算输入侧的第一光波导和第二光波导的每一个中包含的光功率的比率的结果的图。由于计算程序的制约,是比目标值小10％左右的等效折射率的构造。因此,与实施方式1的计算结果相比较,光功率的转换率变小,但可以得到大致按照目标的光功率转换率50％附近的特性。根据该结果,可知为了光功率的分配比率抑制为50％±10％,距公式(2)的最佳条件的允许误差为与实施方式1同样的约10％。

[0062] 实施方式3

[0063] 图15是表示实施方式3的定向耦合器的立体图。与实施方式2同样,间隙芯层6c是第一及第二区域10a、10b以在光波导2c、3c内传播的光的净波长的长度以下的间距周期地重复的SWG构造。第二区域10b的高度比第一区域10a低。

[0064] 在本实施方式中,在光波导2c、3c的上部包层7a、7b的相互相向的侧面,以与第一及第二区域10a、10b相同的周期且相同的填充因子形成有宽度为光波导2c、3c的宽度以下且深度未到达芯层6a、6b的挖入部11a、11b。在光传播方向(z方向)上,挖入部11a、11b的位置和第二区域10b的位置一致。在光传播方向上,侧面的非挖入部12a、12b的位置和第一区域10a的位置一致。

[0065] 图16是表示形成波导时使用的掩模的俯视图。掩模13的开口部13a为三方向壁且开口率较小。通过该开口部13a处的蚀刻来形成挖入部11a、11b。开口部13b为2方向壁且开口率较小。通过该开口部13b处的蚀刻来形成较浅的第一区域10a。开口部13c无壁且开口率较大。通过该开口部13c处的蚀刻来形成较深的第二区域10b。这样,能够利用蚀刻深度取决于掩模的开口率的微负载效应,通过一次深蚀刻形成光波导2c、3c。此外,实际的掩模的开

口形状很大程度取决于蚀刻装置或条件,因此图16的掩模形状仅是一个例子。

[0066] 当如实施方式2那样在光波导2c、3c的上部包层7a、7b的侧面未形成挖入部11a、11b的情况下,蚀刻形成第一及第二区域10a、10b的区域的掩模开口面积比根据填充因子而成为恒定值。与此相对地,在本实施方式中,允许在光波导2c、3c的上部包层7a、7b的相互相向的侧面形成挖入部11a、11b。由此,能够在宽度方向(x方向)扩大与较深蚀刻的第二区域10b对应的掩模开口,因此能够自由设计蚀刻时的开口率。通过自由设计开口率和间隙芯层6c的高度,能够实现能够通过微负载效应一并形成挖入部11a、11b的构造。另外,通过使形成于光波导的对置侧面的开口率调整用的挖入部11a、11b的深度不到达到芯层6a、6b,能够将对在光波导内传播的光模式的影响抑制得轻微。因此,能够保持原样地利用实施方式2的公式(2)的条件。

[0067] 实施方式4

[0068] 图17是表示实施方式4的定向耦合器的立体图。间隙芯层6c被挖入从而其高度比芯层6a、6b低,且是高度相互相同且折射率相互不同的第一区域10a及第二区域10b以在光波导2c、3c内传播的光的净波长的长度以下的间距周期地重复的构造。以考虑到前光向高度方向漏出时的第一区域10a的等效折射率n_{gap1}和第二区域10b的等效折射率n_{gap2}以10%以下的误差满足公式(2)的方式,设定间隙芯层6c的高度、第一及第二区域10a、10b的折射率、填充因子等。能够通过杂质的掺杂等形成第一及第二区域10a、10b。例如针对如$LiNbO_3$等那样难以进行微细的蚀刻加工的材料,能够利用代替手段来应用本实施方式的构造。其他结构及效果和实施方式1相同。

[0069] 实施方式5

[0070] 图18是表示实施方式5的定向耦合器的立体图。间隙芯层6c的高度和芯层6a、6b相同,由折射率比芯层6a、6b低的材料构成。以考虑到光向高度方向漏出时的间隙芯层6c的等效折射率n_{eff}以10%以下的误差满足公式(1)的方式设定间隙芯层6c的折射率。能够通过杂质的掺杂等形成低折射率的间隙芯层6c。例如针对如$LiNbO_3$等那样难以进行微细蚀刻加工的材料,能够利用代替手段来应用本实施方式的构造。另外,本实施方式的构造也能够通过其他材料的埋入而形成,扩大制造方法的选项。其他结构及效果和实施方式1相同。

[0071] 实施方式6

[0072] 图19是表示实施方式6的定向耦合器的立体图。间隙芯层6c是折射率相互不同的第一及第二区域10a、10b以在光波导2c、3c内传播的光的净波长的长度以下的间距周期地重复的SWG构造。第一及第二区域10a、10b的高度和芯层6a、6b相同,由折射率比芯层6a、6b低的材料构成。以考虑到前光向高度方向漏出时的第一区域10a的等效折射率n_{gap1}和第二区域10b的等效折射率n_{gap2}以10%以下的误差满足公式(2)的方式,设定第一及第二区域10a、10b的折射率、填充因子等。能够通过杂质的掺杂等形成间隙芯层6c的第一及第二区域10a、10b。例如针对如$LiNbO_3$等那样难以进行微细蚀刻加工的材料,能够利用代替手段来应用本实施方式的构造。另外,本实施方式的构造也能够通过其他材料的埋入而形成,扩大制造方法的选项。其他结构及效果和实施方式1相同。

[0073] 附图标记说明

[0074] 1…半导体基板;2…光波导(第一光波导);3…光波导(第二光波导);2b、3b…光波导(第一曲线波导);2c、3c…光波导(光功率转换部);2d、3d…光波导(第二曲线波导);5…

下部包层;6a、6b…芯层;6c…间隙芯层;7a、7b…上部包层;8…周围包层;10a…第一区域;10b…第二区域;11a、11b…挖入部;12a、12b…非挖入部;13…掩模。

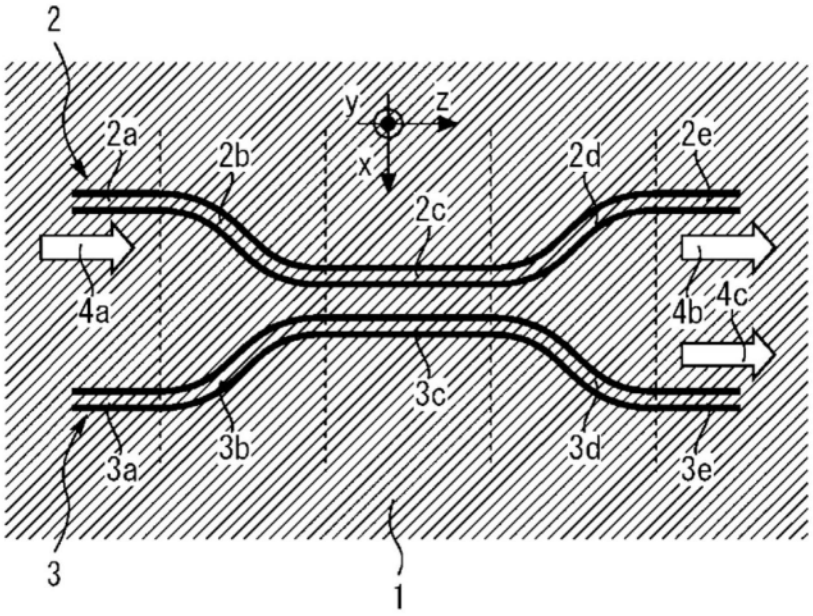

2
2a
2b
2c
2d
2e
y
z
x
4a
4b
4c
3a
3b
3c
3d
3e
3
1

图1

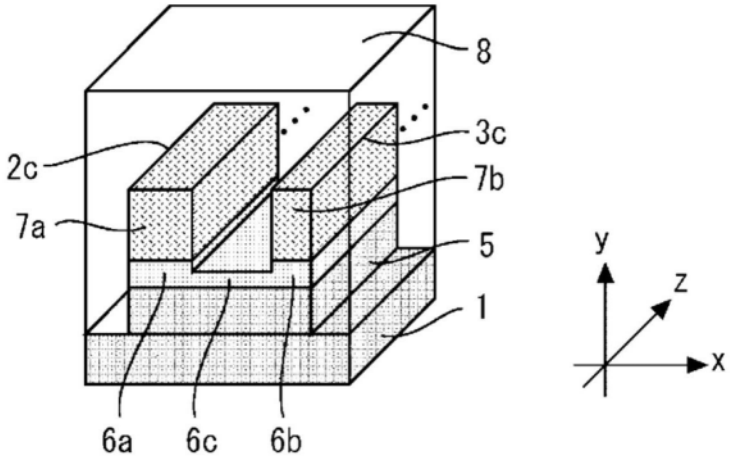

8
2c
3c
7b
7a
5
1
6a
6c
6b
y
z
x

图2

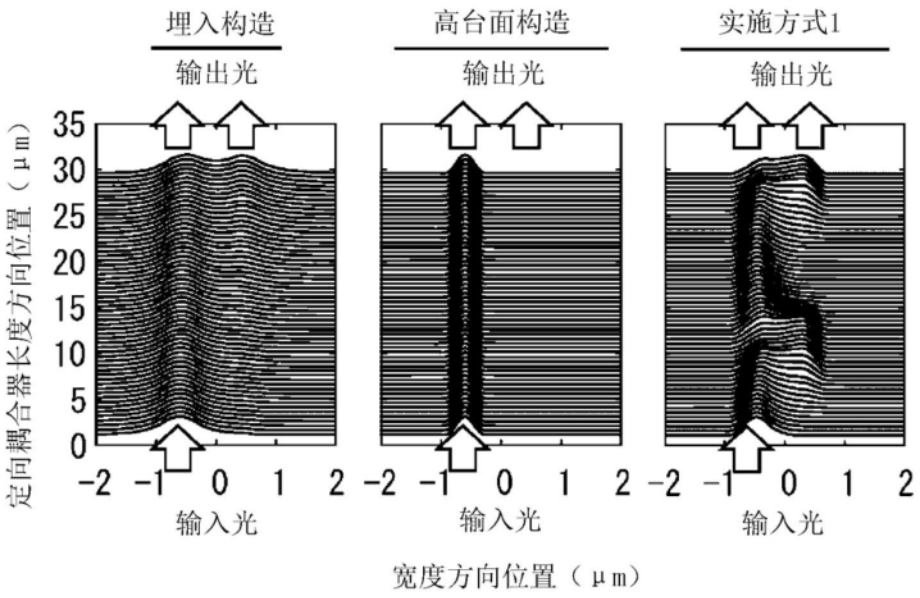

埋入构造
高台面构造
实施方式1
输出光
输出光
输出光
定向耦合器长度方向位置（μm）
35
30
25
20
15
10
5
0
-2 -1 0 1 2
-2 -1 0 1 2
-2 -1 0 1 2
输入光
输入光
输入光
宽度方向位置（μm）

图3

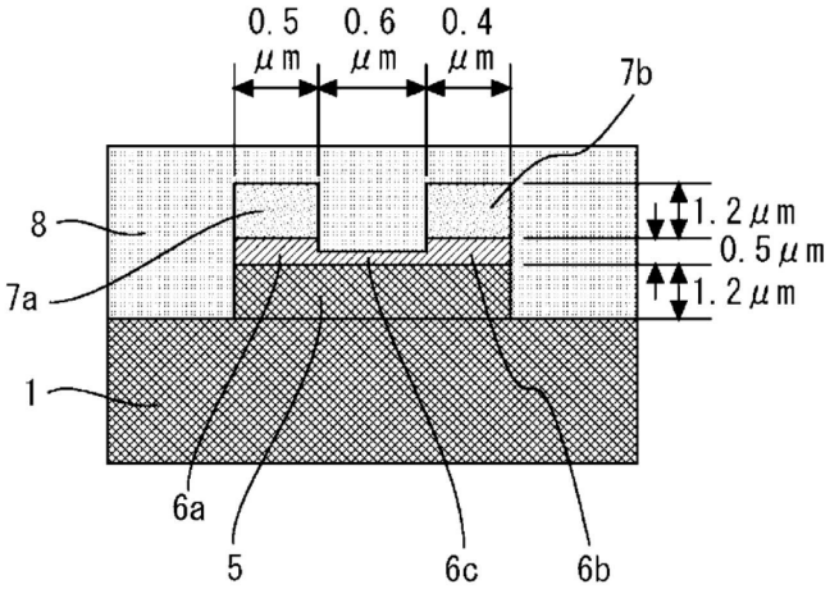

0.5 μm
0.6 μm
0.4 μm
7b
8
7a
1
1.2μm
0.5μm
1.2μm
6a
5
6c
6b

图4

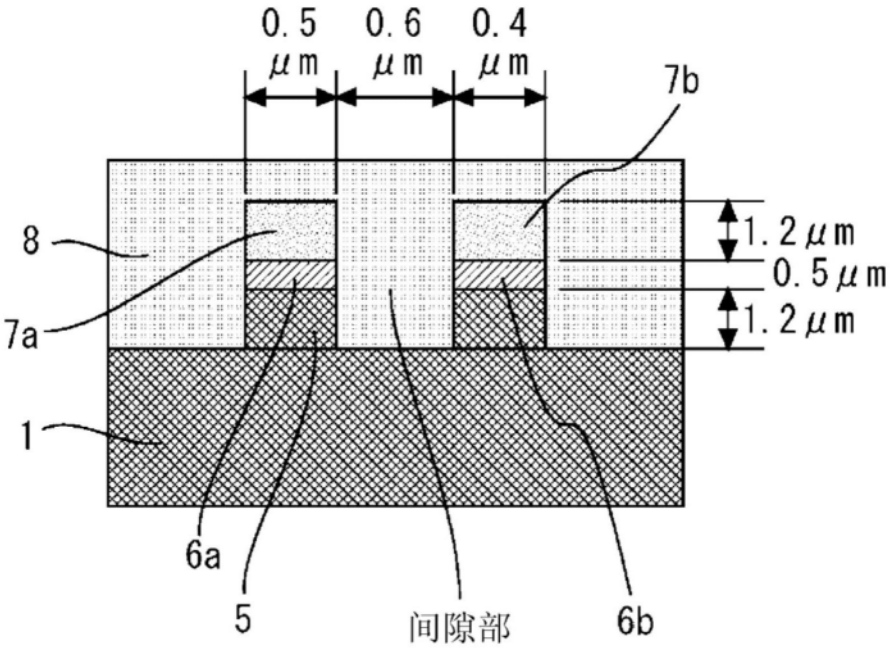

0.5 μm
0.6 μm
0.4 μm
7b
8
7a
1
1.2 μm
0.5 μm
1.2 μm
6a
5
间隙部
6b

图5

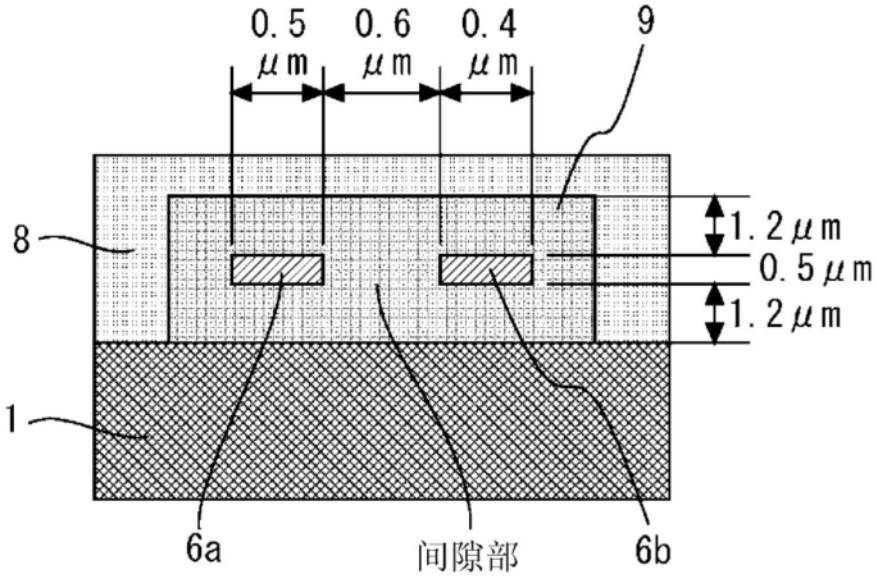

0.5 μm
0.6 μm
0.4 μm
9
8
1
1.2 μm
0.5 μm
1.2 μm
6a
间隙部
6b

图6

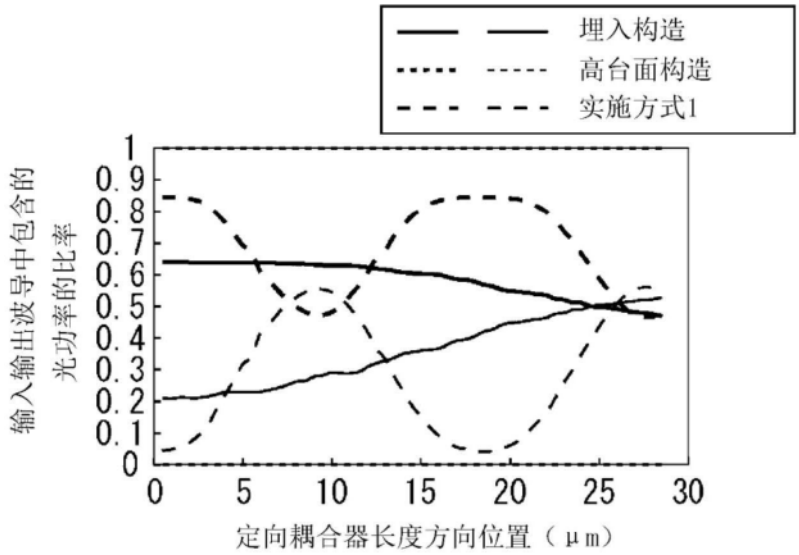

埋入构造
高台面构造
实施方式1
输入输出波导中包含的
光功率的比率
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
定向耦合器长度方向位置（μm）

图7

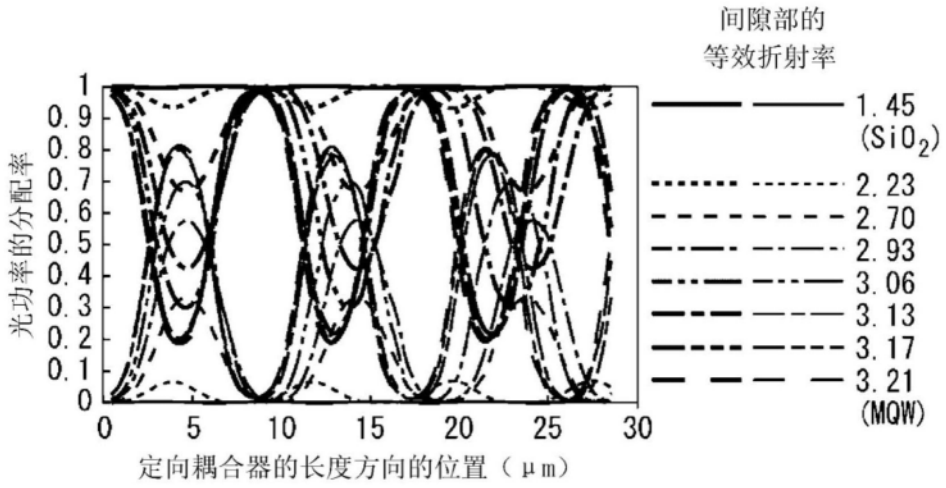

间隙部的
等效折射率
1.45
(SiO2)
2.23
2.70
2.93
3.06
3.13
3.17
3.21
(MQW)
光功率的分配率
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
定向耦合器的长度方向的位置（μm）

图8

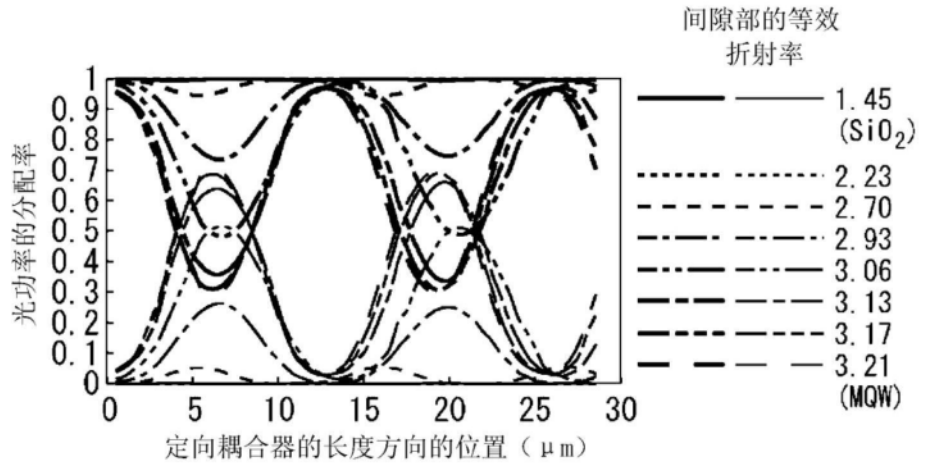

间隙部的等效
折射率
1.45
(SiO2)
2.23
2.70
2.93
3.06
3.13
3.17
3.21
(MQW)
光功率的分配率
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
定向耦合器的长度方向的位置（μm）

图9

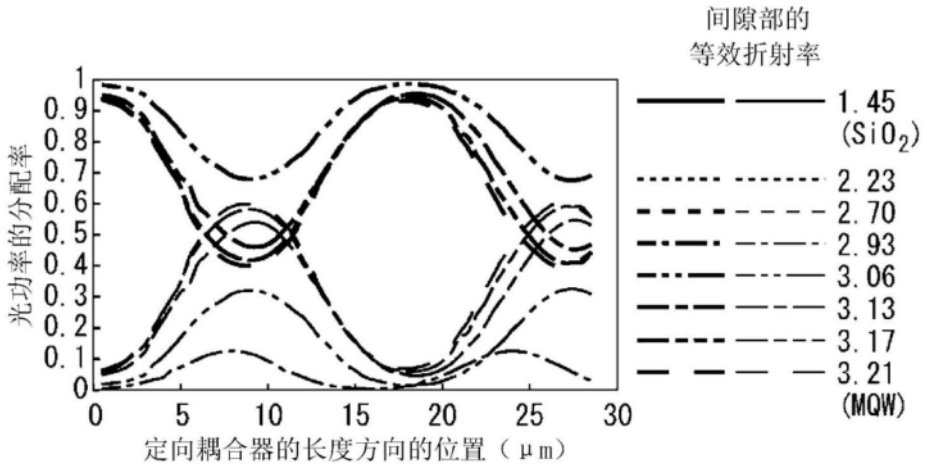

间隙部的
等效折射率
1.45
(SiO2)
2.23
2.70
2.93
3.06
3.13
3.17
3.21
(MQW)
光功率的分配率
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
定向耦合器的长度方向的位置（μm）

图10

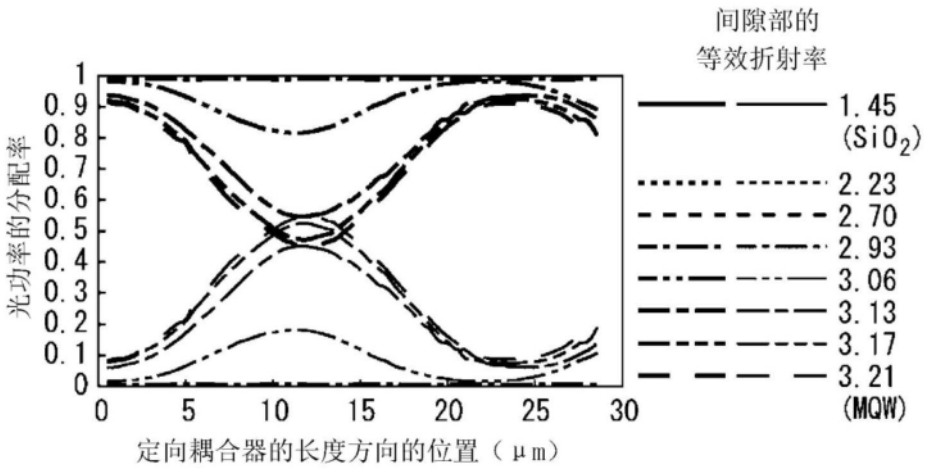

间隙部的
等效折射率
1.45
(SiO2)
2.23
2.70
2.93
3.06
3.13
3.17
3.21
(MQW)
光功率的分配率
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
定向耦合器的长度方向的位置（μm）

图11

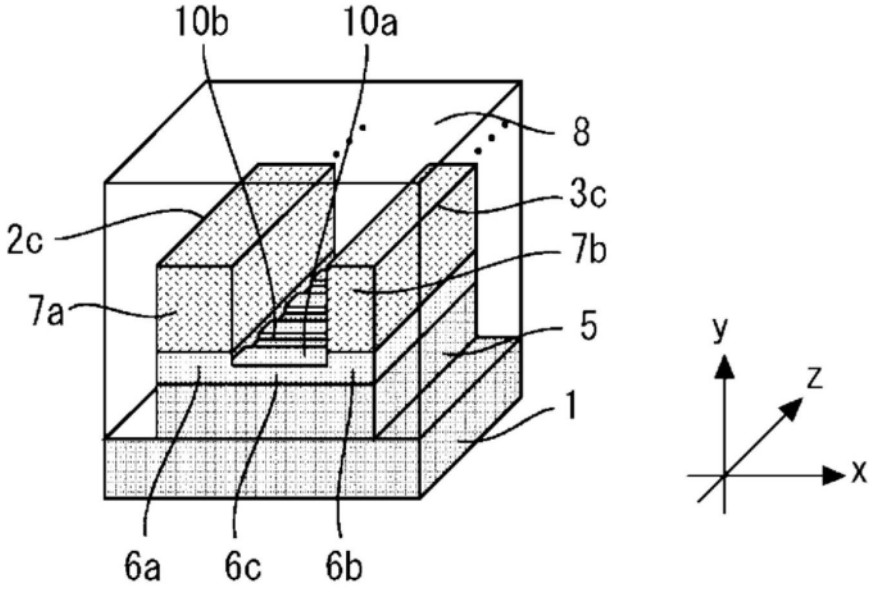

10b
10a
8
3c
2c
7b
7a
5
1
6a
6c
6b
y
z
x

图12

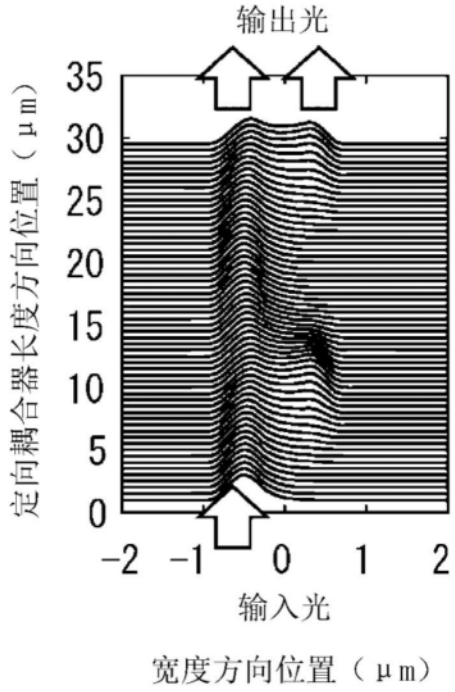

输出光
35
30
25
20
15
10
5
0
定向耦合器长度方向位置（μm）
-2
-1
0
1
2
输入光
宽度方向位置（μm）

图13

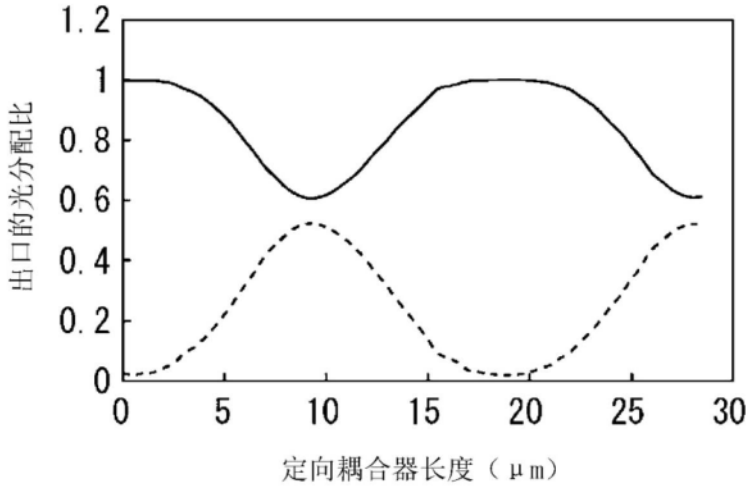

1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
5
10
15
20
25
30
出口的光分配比
定向耦合器长度（μm）

图14

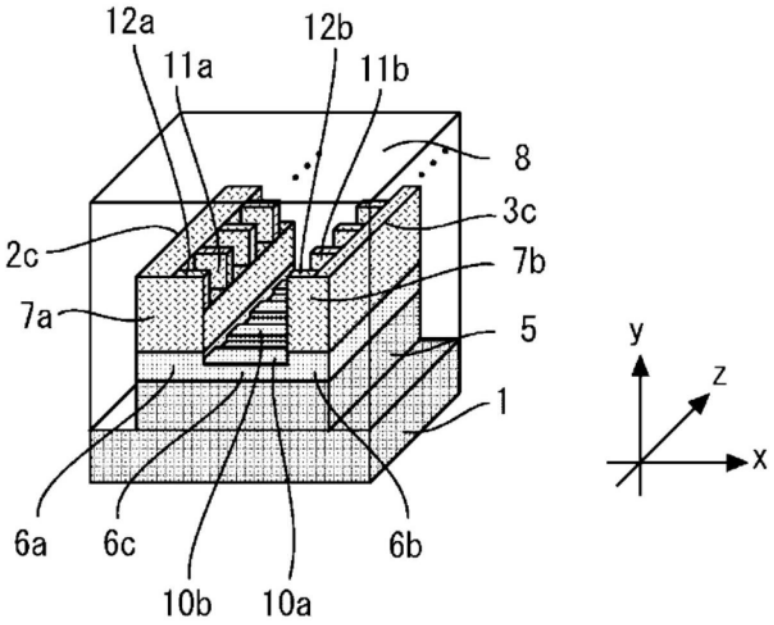

12a
11a
12b
11b
8
3c
2c
7b
7a
5
1
y
z
x
6a
6c
6b
10b
10a

图15

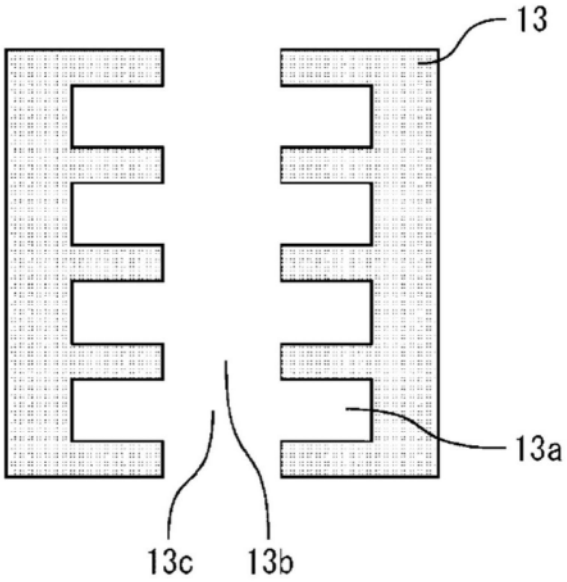


图16

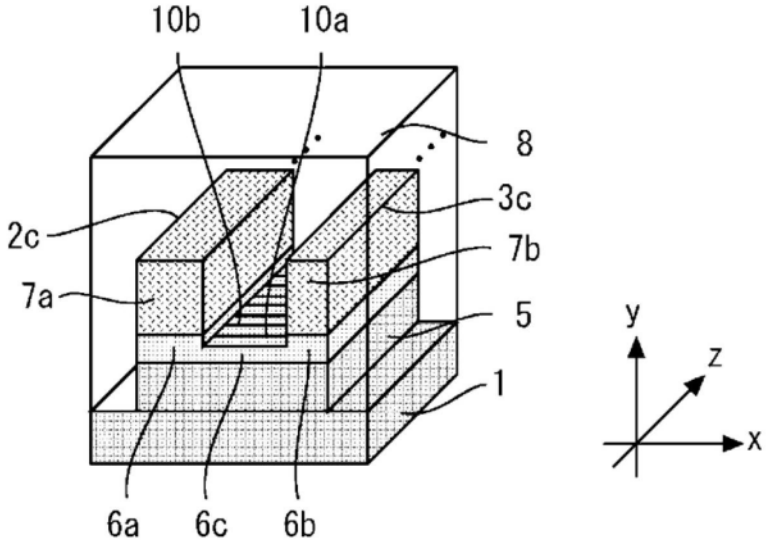


图17

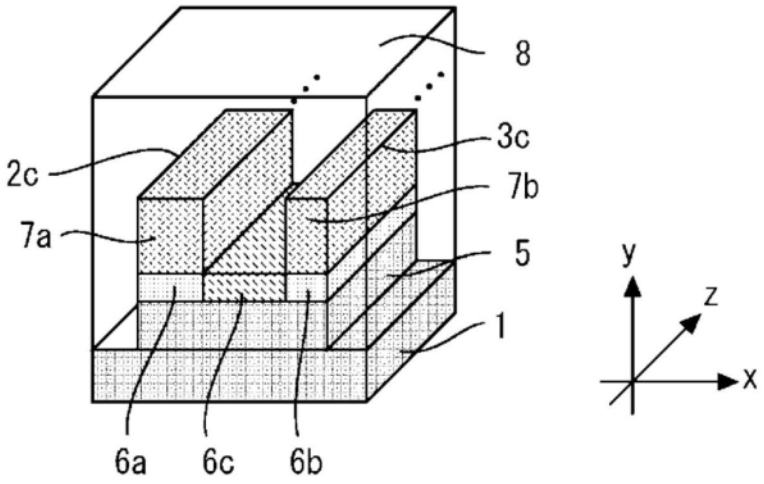


图18

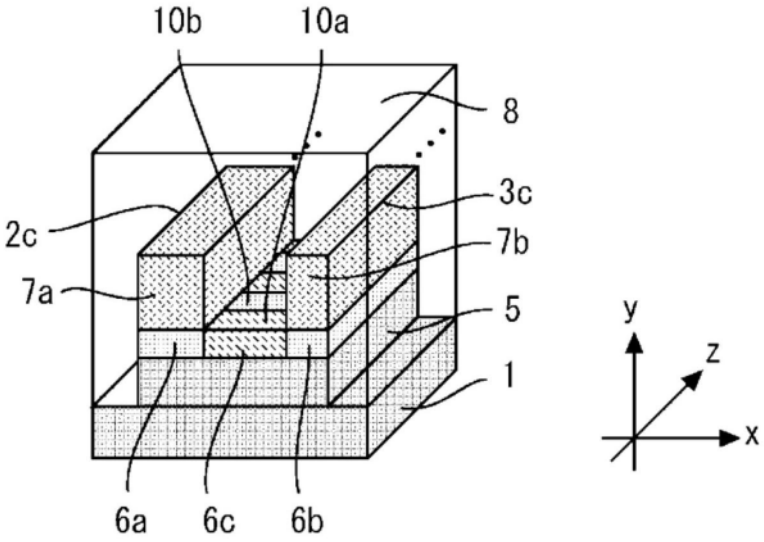


图19