



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111487713 A

(43)申请公布日 2020.08.04

(21)申请号 202010327303.X

G02B 6/14(2006.01)

(22)申请日 2017.02.17

G02B 6/293(2006.01)

(30)优先权数据

2016-029361 2016.02.18 JP

2016-029366 2016.02.18 JP

(62)分案原申请数据

201780011275.7 2017.02.17

(71)申请人 日本电信电话株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 阪本隼志 渡边启 桥本俊和

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

代理人 吕琳 朴秀玉

(51)Int.Cl.

G02B 6/12(2006.01)

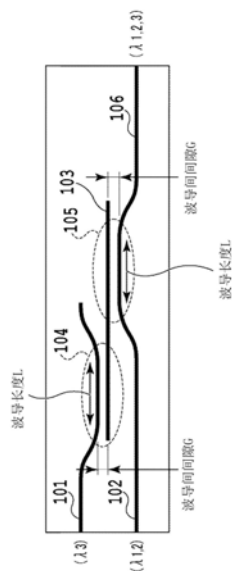
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

光合波回路

(57)摘要

本发明的目的在于以低损失对多个波长的多个光进行合波并且实现小型的光合波回路。本发明的光合波回路具备：第一光波导，射入第一光；第二光波导，射入第二和第三光；MM转换波导；第一耦合部，将第一光转换为高次模并耦合至MM转换波导；以及第二耦合部，将在MM转换波导传播的第一光转换为零次模并耦合至第二光波导，透射第二和第三光，各波导的波导宽度设定为：相对于第一光波导而言的第一光的零次模下的有效折射率与相对于MM转换波导而言的第一光的高次模下的有效折射率相等，并且，相对于MM转换波导而言的第二和第三光的高次模下的有效折射率与相对于第二光波导而言的第二和第三光的零次模下的有效折射率不相等。



1. 一种光合波回路,其特征在于,具备:

第一光波导,射入具有零次模的第一波长的第一光;

第二光波导,射入具有与所述第一波长不同并且各不相同的第二和第三波长的零次模的第二和第三光;

多模转换波导,设于所述第一光波导与所述第二光波导之间;

第一耦合部,将在所述第一光波导传播的所述第一光的导波模式转换为高次模,并将该转换为高次模的第一光耦合至所述多模转换波导;以及

第二耦合部,将在所述多模转换波导传播的所述第一光的导波模式转换为零次模,并将该转换为零次模的第一光耦合至所述第二光波导,透射所述第二和第三光,

所述第二光波导对由所述第二耦合部转换为零次模并耦合的所述第一光、以及从所述第二耦合部透射的所述第二和第三光进行合波并作为合波光输出,

所述第一光波导、所述第二光波导、以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:相对于所述第一光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率与相对于所述多模转换波导而言的所述第一光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述多模转换波导而言的所述第二和第三光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第二和第三光的零次模下的有效折射率不相等。

2. 根据权利要求1所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一光波导、所述第二光波导、以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:所述第一光波导和所述第二光波导的零次模的光的传播常数与所述多模转换波导的高次模的光的传播常数相等。

3. 根据权利要求1或2所述的光合波回路,其特征在于,具备:

一个以上的第三光波导,分别射入分别具有与所述第一至第三波长不同并且各不相同的一个以上的波长的零次模的一个以上的其他光中的一个;

一个以上的其他多模转换波导,设于所述第二光波导与所述一个以上的各第三光波导之间;

一个以上的第三耦合部,将在所述一个以上的第三光波导传播的所述一个以上的其他光的导波模式转换为高次模,并将该转换为高次模的一个以上的其他光分别耦合至所述一个以上的其他多模转换波导;以及

一个以上的第四耦合部,将在所述一个以上的其他多模转换波导传播的所述一个以上的其他光的导波模式转换为零次模,并将该转换为零次模的一个以上的其他光耦合至所述第二光波导,

所述第二光波导对所述合波光、以及由所述一个以上的第四耦合部转换为零次模并耦合的所述一个以上的其他光进一步进行合波来输出,

所述一个以上的第三光波导的波导宽度设定为:相对于所述一个以上的各第三光波导而言的所述一个以上的其他光的零次模下的有效折射率与相对于所述一个以上的其他多模转换波导而言的所述一个以上的其他光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述一个以上的其他多模转换波导而言的所述合波光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述合波光的零次模下的有效折射率不相等。

4. 根据权利要求1所述的光合波回路,其特征在于,

所述合波光至少分别具有400~495nm、495~570nm、620~750nm的波长区域的波长中的一个。

5. 根据权利要求1所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一和第二光波导与所述多模转换波导的波导宽度不同,

所述第一耦合部是通过使所述第一光波导和所述多模转换波导接近而构成的定向耦合器,

所述第二耦合部是通过使所述第二光波导和所述多模转换波导接近而构成的定向耦合器。

6. 一种光合波回路,其特征在于,具备:

第一光波导,射入具有零次模的第一波长的第一光;

一个以上的第二光波导,射入具有与所述第一波长不同并且各不相同的波长的零次模的第二光;

多模转换波导,设于所述第一光波导与所述第二光波导之间;

第一耦合部,以将在各所述第二光波导传播的各所述第二光的导波模式转换为高次模,并将该转换为高次模的各第二光耦合至所述多模转换波导的方式该第二光波导和所述多模转换波导以第一波导间间隙配置;以及

第二耦合部,以将在所述多模转换波导传播的各所述第二光转换为零次模,并将该转换为零次模的各第二光耦合至所述第一光波导,透射所述第一光的方式所述多模转换波导和所述第一光波导以第二波导间间隙配置,

所述第一光波导、所述第二光波导、以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:相对于所述第二光波导而言的所述第二光的零次模下的有效折射率与相对于所述多模转换波导而言的所述第二光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述多模转换波导而言的所述第一光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率不相等。

7. 根据权利要求6所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一光波导是多模波导,所述第二光波导是单模波导。

8. 根据权利要求6所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一光波导包含接近所述第二光波导的合波部,该合波部与该合波部以外的部分的波导宽度不同,

所述第一光波导的所述合波部和所述第二光波导的波导宽度设定为:相对于所述第二光波导而言的所述第二光的零次模下的有效折射率与相对于所述第一光波导的所述第一部分而言的所述第二光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述第一光波导的所述第一部分而言的所述第一光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率不相等。

9. 根据权利要求6~8中任一项所述的光合波回路,其特征在于,

所述合波光至少分别具有400~495nm、495~570nm、620~750nm的波长区域的波长中的一个。

10. 一种光合波回路,对各不相同的波长的第一、第二以及第三波长进行合波来输出,其特征在于,具备:

第一光波导,射入具有零次模的第一波长的第一光;

多模转换波导,与所述第一光波导经由第一耦合部耦合,(b1)所述第一光波导以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:相对于所述第一光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率与相对于所述多模转换波导而言的所述第一光的高次模下的有效折射率相等,(b2)在所述第一光波导传播的所述第一光通过所述第一耦合部将导波模式转换为高次模并耦合至所述多模转换波导;以及

第二光波导,射入零次模的第二和第三光,与所述多模转换波导经由第二耦合部耦合,所述第二光波导以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:(c1)相对于所述多模转换波导而言的所述第一光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率相等,并且,(c2)相对于所述多模转换波导而言的所述第二和第三光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第二和第三光的零次模下的有效折射率不相等,(c3)在所述多模转换波导传播的所述转换为高次模的第一光通过所述第二耦合部将导波模式转换为零次模并耦合至所述第二光波导,

所述转换为零次模的第一光以及从所述第二耦合部透射的所述第二和第三光作为合波光而从所述第二光波导输出。

11.根据权利要求10所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一光具有620~750nm的波长区域的波长,所述第二光和所述第三光分别具有400~495nm、495~570nm的波长区域的波长中的一个。

12.根据权利要求10所述的光合波回路,其特征在于,

所述第一耦合部是通过使所述第一光波导和所述多模转换波导接近而构成的定向耦合器,

所述第二耦合部是通过使所述第二光波导和所述多模转换波导接近而构成的定向耦合器。

## 光合波回路

- [0001] 本申请是下述申请的分案申请：  
[0002] 发明名称：光合波回路  
[0003] 国际申请日：2017年2月17日  
[0004] 国际申请号：PCT/JP2017/005975  
[0005] 国家申请号：201780011275.7

### 技术领域

[0006] 本发明涉及一种光合波回路，更详细而言，涉及一种例如对具有可见光的RGB(R：红色光、G：绿色光、B：蓝色光)三原色的光进行合波的三原色光合波回路。

### 背景技术

[0007] 近年来，作为眼镜型终端、投影仪(projector)用的对可见光的三原色光进行合波的回路元件，使用了石英系平面光波回路(Planar lightwave circuit:PLC)的RGB耦合模块(coupler module)受到关注(例如参照非专利文献1)。PLC在平面状的基板上利用基于光刻(photolithograph)等的图案化(patterning)和刻蚀加工来制作光波导，并通过组合多个基本的光回路(例：定向耦合器、马赫-曾德尔干涉仪(Mach-Zehnder interferometer)等)来实现各种功能。

[0008] 作为三原色光的合波回路，例如存在利用定向耦合器和/或马赫-曾德尔干涉仪(参照非专利文献1)的合波回路。在本说明书中，以图1为例，对使用了最单纯的定向耦合器的情况进行说明。

[0009] 图1示出了使用PLC的RGB耦合模块的基本结构。如图1所示，使用了PLC的RGB耦合模块的基本结构由第一~第三光波导1~3这三条光波导形成。在第一光波导1耦合有第一定向耦合器4。在第二光波导2耦合有输出波导5。在第三光波导3耦合有第二定向耦合器6。第一定向耦合器4的波导长度、波导宽度、以及波导间的间隙被设计成：将波长 $\lambda_1$ 的光从第一光波导1耦合至第二光波导2、将波长 $\lambda_2$ 的光从第二光波导2耦合至第一光波导1并从第一光波导1耦合至第二光波导2。第二定向耦合器6的波导长度、波导宽度、以及波导间的间隙被设计成：将波长 $\lambda_3$ 的光从第三光波导3耦合至第二光波导2、透射波长 $\lambda_1$ 以及波长 $\lambda_2$ 的光。

[0010] 设为 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ ，例如，在第一光波导1射入蓝色光(波长 $\lambda_1$ )，在第二光波导2射入绿色光(波长 $\lambda_2$ )，在第三光波导3射入红色光(波长 $\lambda_3$ )。三色的光经由第一定向耦合器4以及第二定向耦合器6合波后从输出波导5输出。在三原色光的合波回路中，与带宽比小的通信用光合波回路不同，由于蓝色光的波长(波段400nm)和红色光的波长(波段700nm)存在较大差异，因此耦合长度的波长依赖性表现得显著。因此，能实现这样的构成。

[0011] 此外，也可以像非专利文献2所示的那样使用多模干涉型光波导(Multi-mode interference waveguide:MMI)来对不同的波长的光进行合波。但是，从输入/输出波导数分别为两个的关系的方面考虑，难以通过MMI来对三个波长以上的光进行合波。

[0012] 为了理解后述的本发明的实施方式，以下对定向耦合器进行简单说明。图2示出了

定向耦合器的基本原理。在图2中示出了两条波导11以及12。如图2所示,定向耦合器是在使两条波导11以及12邻接时,将从一方的波导11通过的光转移至另一方的波导12的耦合器。

[0013] 当沿光的行进方向上取z轴时,在从波导11射入光强度为1的光的情况下,将在位置z处的波导11以及波导12传播的光的强度分别设为 $P_1(z)$ 、 $P_2(z)$ 。 $\kappa$ 为模式耦合常数, $\beta_1$ 以及 $\beta_2$ 分别为波导11以及波导12的传播常数, $q = \kappa^2 + \delta^2$ ,  $F = 1 / (1 + (\delta/\kappa)^2)$ ,  $\delta = (\beta_2 - \beta_1) / 2$ 。 $P_1(z)$ 以及 $P_2(z)$ 分别由以下的(算式1)以及(算式2)来表示。

[0014]  $P_1(z) = 1 - F \sin^2(qz)$  (算式1)

[0015]  $P_2(z) = F \sin^2(qz)$  (算式2)

[0016] 在此,当 $m=0,1,2,\dots$ 时,光从波导11向波导12转移的比例达到最大的是 $z = \pi / 2q \cdot (2m+1)$ 时。 $m=0$ 的情况下的距离称为耦合长度。此外, $\delta=0$ 时,光的转移率为100%。

[0017] 现有技术文献

[0018] 非专利文献

[0019] 非专利文献1:A.Nakao,R.Morimoto,Y.Kato,Y.Kakinoki,K.Ogawa and T.Katsuyama,“Integrated waveguide-type red-green-blue beam combiners for compact projection-type displays”,Optics Communications 330(2014)45-48

[0020] 非专利文献2:Apollo Inc.,“APSS Apollo Application Note on Multi-Mode Interference (MMI) Devices”, [online], [平成28年2月3日检索],因特网<URL:http://www.apollophoton.com/apollo/APNT/APN-APSS-MMI.pdf>

## 发明内容

[0021] 发明所要解决的问题

[0022] 在如图1所示的以往的光合波回路中,需要以满足以下条件的方式设计波导:在第一定向耦合器4中将在第一光波导1传播的波长 $\lambda_1$ 的蓝色光耦合至第二光波导2,并与在第二光波导2传播的波长 $\lambda_2$ 的绿色光进行耦合。此外,需要以满足以下条件的方式设计波导:在第二定向耦合器6中使在第二光波导2耦合的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光透射,并使在第三光波导3传播的波长 $\lambda_3$ 的红色光耦合至第二光波导2。该情况下,需要满足在第二光波导2传播的波长 $\lambda_2$ 的光与分别在第一和第三光波导1、3传播的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_3$ 的光的整合条件的波导设计。

[0023] 例如,当只通过第二定向耦合器6将波长 $\lambda_3$ 的红色光转移至第二光波导2时,如果将波导间间隙在某种程度上变窄则,能以短的波导长度进行转移。但是,当缩小波导间间隙时,由于波长 $\lambda_1$ 的蓝色光以及波长 $\lambda_2$ 的绿色光会不从第二定向耦合器6透射地转移至第三光波导3,因此光损失会增加。

[0024] 为了避免波长 $\lambda_1$ 的蓝色光以及波长 $\lambda_2$ 的绿色光向第三光波导3的耦合来防止光损失的增加,需要增大波导间间隙并且使耦合器长度变长。但是,若如此,则存在不能缩短波导长度、不能使光合波回路小型化的问题。

[0025] 图3示出了通过基于光束传播法(Beam propagation method:BPM)的模拟来对图1所示的第二定向耦合器6的具体的数值进行计算而得到的透射光谱。在图3中,将波导长度设为 $3700\mu\text{m}$ ,波导宽度设为 $1.5\mu\text{m}$ ,波导膜厚设为 $3.6\mu\text{m}$ ,波导间间隙设为 $4.8\mu\text{m}$ ,芯层和包层的相对折射率差 $\Delta$ 设为0.45%,且设定为 $\lambda_1=450\text{nm}$ (蓝)、 $\lambda_2=520\text{nm}$ (绿)、 $\lambda_3=650\text{nm}$ (红)。

如图3所示,第二定向耦合器6透射99.6%的波长 $\lambda_1$ 的光,透射93.0%的波长 $\lambda_2$ 的光,并将95.5%的波长 $\lambda_3$ 的光耦合至第二光波导2。当使波导间间隙变窄时,由于将波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光耦合至第三光波导3而透射率降低,因此,难以不降低特性地缩短以上的该定向耦合器长度。

[0026] 此外,在如图1所示的以往的光合波回路中,当想要为了增强出射光强度而追加输入波导以及定向耦合器来新追加光时,由于原来在追加前的光合波回路进行合波的光会从所追加的输入波导和/或定向耦合器射出,因此,不能增强出射光强度。因此,存在不能射出光强度大到激光所具有的特性以上的光这一问题。

[0027] 本发明是鉴于上述问题而完成的,其目的在于,以低损失对多个波长的多个光进行合波,并且实现小型的光合波回路,此外,在使用平面光波回路来对具有多个波长的多个光进行合波时,实现能输出更高强度且光斑直径小的合波光的光合波回路。

[0028] 用于解决问题的方案

[0029] 为了解决上述问题,本发明的某个实施方式的光合波回路的特征在于,具备:第一光波导,射入具有零次模的第一波长的第一光;第二光波导,射入具有与所述第一波长不同并且各不相同的第二和第三波长的零次模的第二和第三光;多模转换波导,设于所述第一光波导与所述第二光波导之间;第一耦合部,将在所述第一光波导传播的所述第一光的导波模式转换为高次模,并将该转换为高次模的第一光耦合至所述多模转换波导;以及第二耦合部,将在所述多模转换波导传播的所述第一光的导波模式转换为零次模,并将该转换为零次模的第一光耦合至所述第二光波导,透射所述第二和第三光,所述第二光波导对由所述第二耦合部转换为零次模并耦合的所述第一光、以及从所述第二耦合部透射的所述第二和第三光进行合波并作为合波光输出,所述第一光波导、所述第二光波导、以及所述多模转换波导的波导宽度设定为:相对于所述第一光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率与相对于所述多模转换波导而言的所述第一光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述多模转换波导而言的所述第二和第三光的高次模下的有效折射率与相对于所述第二光波导而言的所述第二和第三光的零次模下的有效折射率不相等。

[0030] 此外,本发明的另一实施方式的光合波回路是一种输出合波光的、使用了平面光波回路的光合波回路,其特征在于,具备:第一光波导,射入具有零次模的第一波长的第一光;合波光波导,射入具有与所述第一波长不同并且各不相同的一个以上的波长的零次模的一个以上的其他光;以及第一合波部,将在所述第一光波导传播的所述第一光的导波模式转换为高次模,并将该转换后的第一光耦合至所述合波光波导,使该耦合后的第一光与在所述合波光波导传播的所述一个以上的其他光进行合波,所述合波光波导具有接近所述第一合波部的第一部分,所述第一光波导以及所述第一部分的波导宽度设定为:相对于所述第一光波导而言的所述第一光的零次模下的有效折射率与相对于所述合波光波导的所述第一部分而言的所述第一光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于所述合波光波导的所述第一部分而言的所述一个以上的其他光的高次模下的有效折射率与相对于所述第一光波导而言的所述一个以上的其他光的零次模下的有效折射率不相等。

[0031] 发明效果

[0032] 根据本发明,即使在使用PLC来对多个波长的多个光进行合波的情况下,如果仅满足使所希望的波长的光耦合的条件,则也能抑制除此之外的波长的光的耦合,而仅耦合所

希望的波长的光来进行合波。因此,由于定向耦合器的间隙能在可制造的范围内变窄,所以能缩短耦合长度,能高效地实现小型的光合波回路。

[0033] 此外,根据本发明,能通过使用平面光波回路的RGB合波回路中使用空间复用技术来提高出射光的强度。

### 附图说明

[0034] 图1示出了使用了PLC的RGB耦合模块的基本结构。

[0035] 图2示出了定向耦合器的构成。

[0036] 图3示出了在图1所示的第二定向耦合器6中通过基于BPM的模拟计算出的透射光谱。

[0037] 图4举例示出了本发明的实施例一的光合波回路。

[0038] 图5示出了关于本发明的光合波回路中的各波长的零次、一次、二次模的有效折射率与波导宽度的关系。

[0039] 图6示出了本发明的光合波回路中的透射光谱。

[0040] 图7示出了本实施例一的光合波回路的另一例子。

[0041] 图8举例示出了本发明的实施例二的光合波回路。

[0042] 图9示出了本发明的实施例二的光合波回路中的、关于各波长的零次、一次、二次模的光的有效折射率与波导宽度的关系。

[0043] 图10分别示出了零次模光、二次模光以及零次模光与二次模光的合波光的光束形状。

[0044] 图11举例示出了本发明的实施例三的光合波回路。

### 具体实施方式

[0045] (实施例一)

[0046] 参照图4~图6,对本发明的实施例一的光合波回路进行具体说明。在本实施例中,将波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 以及 $\lambda_3$ 的光分别设为具有蓝(400~495nm)、绿(495~570nm)、红(620~750nm)的波长区域的波长的光。

[0047] 图4举例示出了本发明的实施例一的光合波回路。在图4中示出了一种光合波回路,其具备:第一光波导101,供波长 $\lambda_3$ 的光输入;第二光波导102,供波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光输入;多模(MM)转换波导103;第一耦合部104;第二耦合部105;以及输出波导106,耦合于第二光波导102。在此,在本实施例一中,对将波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的两个光输入第二光波导102的例子进行了说明,但并不限于此,也可以采用仅将任一方的光输入第二光波导102的构成。

[0048] 第一和第二光波导101、102和MM转换波导103由设于基板上的下部包层、比下部包层的折射率高的芯层、设于芯层上的上部包层构成。上部包层设为包围芯层。第一和第二光波导101、102能采用单模波导。如图4所示,第一光波导101、第二光波导102、以及MM转换波导103相对于光的行进方向并列配置。

[0049] 在本实施例一中,第一和第二光波导101、102与MM转换波导103的波导宽度不同。第一耦合部104采用通过使第一光波导101和MM转换波导103接近而构成的定向耦合器。第二耦合部105采用通过使第二光波导102和MM转换波导103接近而构成的定向耦合器。



[0050] 在本实施例一的光合波回路中,MM转换波导103设于第一和第二光波导101、102之间。由此,从第一光波导101射入的波长 $\lambda_3$ 的光在第一耦合部104其导波模式被转换为高次模(例如一次模)并转移至MM转换波导103。转移至MM转换波导103的波长 $\lambda_3$ 的光在第二耦合部105其导波模式进一步被转换为基模(零次模)并转移至第二光波导102。

[0051] 另一方面,对于从第二光波导102射入的零次模的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的两个光,如后所述,由于以任一者都不满足与MM转换波导103进行耦合的条件的方式设计了第二耦合部105,因此,在第二耦合部105,不向MM转换波导103转移而是从第二耦合部105透射。其结果是,从第二耦合部105透射的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光与从第一光波导101经由MM转换波导103转移的波长 $\lambda_3$ 的光进行合波。该合波光从输出波导106输出。

[0052] 图5示出了在本实施例一的光合波回路中,设为 $\lambda_1=450\text{nm}$ 、 $\lambda_2=520\text{nm}$ 、 $\lambda_3=650\text{nm}$ 的情况下的、关于各波长的光的零次、一次、二次模的有效折射率与波导宽度的关系。在图5中,将波导膜厚设为 $3.6\mu\text{m}$ ,将相对折射率差 $\Delta$ 设为 $0.45\%$ ,设为与图3中所使用的条件相同。

[0053] 将第一和第二光波导101、102的波导宽度设为 $1.5\mu\text{m}$ ,将MM转换波导103的波导宽度设为 $4.8\mu\text{m}$ 。该情况下,如图5所示,波长 $\lambda_3$ 的光在零次模和一次模下的有效折射率大致一致。因此,基于上述(算式2)可知,光在第一光波导101与MM转换波导103之间转移。因此,在第一光波导101传播的波长 $\lambda_3$ 的光在第一耦合部104被转换为一次模的光并耦合至MM转换波导103,在第二耦合部105被转换为零次模的光并耦合至第二光波导102。

[0054] 另一方面,如图5所示,由于从第二光波导102通过的各波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光在上述波导宽度下任何导波模式的光的有效折射率均不一致,因此,波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的光几乎不会耦合至MM转换波导103。因此,能通过仅考虑波长 $\lambda_3$ 的光的耦合条件来设计第二耦合部105。即,第一和第二光波导101、102的波导宽度和MM转换波导103的波导宽度按以下方式进行设计即可:相对于第一光波导101而言的波长 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于MM转换波导103而言的波长 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于第二光波导102而言的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的各光的零次模下的有效折射率与相对于MM转换波导103而言的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的各光的高次模下的有效折射率不相等。

[0055] 图6示出了例如将波导膜厚设为 $3.6\mu\text{m}$ 、将相对折射率差 $\Delta$ 设为 $0.45\%$ 、将图4所示的波导间间隙G设为 $2.5\mu\text{m}$ 、将波导长度L设为 $702\mu\text{m}$ 的情况下的透射光谱。如图6所示,在第二耦合部105,能透射 $99.5\%$ 的波长 $\lambda_1$ 的光、透射 $97.2\%$ 的波长 $\lambda_2$ 的光、耦合 $95.0\%$ 的波长 $\lambda_3$ 的光。因此,在本实施例一的光合波回路中,与以往构成相比能将波导长度缩短至约 $1/5$ ,而不会降低特性。

[0056] 在本实施例中,对将三个光合波的例子进行了说明,但本实施例一的光合波回路也能应用于对具有四个以上波长的四个以上的光进行合波的情况。图7示出了对具有各不相同的波长的四个以上的光进行合波的情况下的、本实施例一的光合波回路的另一例。图7所示的光合波回路具备:第一光波导101、第二光波导102、MM转换波导103、第一耦合部104、以及第二耦合部105,还具备:包含第三光波导107、第二MM转换波导108、以及第三和第四耦合部109、110的一个或多个光回路120。一个或多个光回路120相对于光的行进方向配置成多级。一个或多个光回路120的各第三光波导107输入与波长 $\lambda_1\sim\lambda_3$ 不同并且各不相同的波长的光。

[0057] 在本例中,在一个或多个光回路120的每一个中,各第三光波导107以及各第二MM转换波导108的波导宽度被设定为:相对于第三光波导107而言的输入光的零次模下的有效折射率与相对于第二MM转换波导108而言的该输入光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于第二MM转换波导108而言的射入第四耦合部110的合波光的高次模下的有效折射率与相对于第二光波导102而言的射入第四耦合部110的合波光的零次模下的有效折射率不相等。

[0058] 由此,在本例中,在各级光回路120中射入第三光波导107的、具有各不相同的波长的零次模的光能在第三耦合部109被转换为多模的光并转移至第二MM转换波导108,能在第四耦合部110进一步被转换为基模并转移至第二光波导102。然后,在第四耦合部110被转移的各光在第二光波导102中分别被合波,由此,能从输出波导106输出四个以上的光。

[0059] 需要说明的是,由于第一和第二光波导101、102与MM转换波导103的波导宽度以及折射率是相对的,因此,可以在第一和第二光波导101、102的波导宽度下的零次模的光的传播常数与在MM转换波导103的波导宽度下的高次模的光的传播常数相等的方式调整第一和第二光波导101、102的波导宽度。

[0060] (实施例二)

[0061] 参照图8~图10,对本发明的实施例二的光合波回路进行具体说明。图8是举例示出本发明的实施例的光合波回路的图。在图8中示出了具备第一至第三波导201~203、合波光波导204、第一至第三合波部205~207、耦合至合波光波导204的输出波导208的光合波回路。

[0062] 第一至第三光波导201~203和合波光波导204由设于基板上的下部包层、比下部包层折射率高的芯层、设于芯层上的上部包层构成。上部包层设为包围芯层。第一至第三光波导201~203能采用单模波导。合波光波导204能采用多模波导。在本实施例二中,第一至第三合波部205~207采用通过分别使第一至第三光波导201~203和合波光波导204接近而构成的定向耦合器。

[0063] 此外,如图8所示,合波光波导204包含波导宽度各不相同的第一至第三部分204<sub>1</sub>~204<sub>3</sub>。第一至第三部分204<sub>1</sub>~204<sub>3</sub>以及输出波导208的每一个之间经由锥形的波导进行耦合。

[0064] 在本实施例二中,使用图9,对在二次模下将波长 $\lambda_1'$ 、 $\lambda_2'$ 、 $\lambda_3'$ 的光合波至零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光所传播的合波光波导204的方法进行具体说明。在本实施例二中,假设 $\lambda_1=450\text{nm}$ (蓝)、 $\lambda_2=520\text{nm}$ (绿)、 $\lambda_3=650\text{nm}$ (红)、 $\lambda_1'=(450+\alpha)\text{nm}$ (蓝)、 $\lambda_2'=(520+\beta)\text{nm}$ (绿)、 $\lambda_3'=(650+\gamma)\text{nm}$ (红), $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 为大于0且小于线宽的微小的值,线宽基于所射入的光的光源但大体上为1nm以下。

[0065] 在本实施例二的光合波回路中,第一光波导201以及第一部分204<sub>1</sub>的波导宽度设定为:相对于第一光波导201而言的波长 $\lambda_1'$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于合波光波导204的第一部分204<sub>1</sub>而言的波长 $\lambda_1'$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于合波光波导204的第一部分204<sub>1</sub>而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率与相对于第一光波导201而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率不相等。

[0066] 此外,第二光波导202以及第二部分204<sub>2</sub>的波导宽度设定为:相对于第二光波导202而言的波长 $\lambda_2'$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于合波光波导204的第二部分204<sub>2</sub>

而言的波长 $\lambda_2'$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于合波光波导204的第二部分204<sub>2</sub>而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率与相对于第二光波导202而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率不相等。

[0067] 而且,第三光波导203以及第三部分204<sub>3</sub>的波导宽度设定为:相对于第三光波导203而言的波长 $\lambda_3'$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于合波光波导204的第三部分204<sub>2</sub>而言的波长 $\lambda_3'$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于合波光波导204的第三部分204<sub>3</sub>而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率与相对于第三光波导203而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率不相等。

[0068] 图9示出了本实施例二的光合波回路中的、关于各波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的零次、一次、二次模的光的有效折射率与波导宽度的关系。波导膜厚设为 $3.6\mu\text{m}$ ,相对折射率差 $\Delta$ 设为 $0.45\%$ 。

[0069] 例如,在将第一至第三光波导201~203的波导宽度设为 $1.5\mu\text{m}$ (图9的左端)的情况下,如图9所示,二次模的波长 $\lambda_1'$ 的光和零次模的波长 $\lambda_1'$ 的光的有效折射率相等的波导宽度为 $6.75\mu\text{m}$ 。因此,以在第一光波导201传播的零次模的波长 $\lambda_1'$ 的光转移至合波光波导204的第一部分204<sub>1</sub>的方式,将接近第一合波部205的合波光波导204的第一部分204<sub>1</sub>的波导宽度设定为 $6.75\mu\text{m}$ 。

[0070] 在如此设定的情况下,在第一光波导201传播的零次模的波长 $\lambda_1'$ 的光在第一合波部205其导波模式转换为二次模并耦合至合波光波导204。耦合后的二次模的波长 $\lambda_1'$ 的光与在合波光波导204传播的零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光合波。当假设波导间间隙为 $2.2\mu\text{m}$ 时,耦合长为 $3280\mu\text{m}$ 。此外,如图9所示,由于在合波光波导204传播的零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的有效折射率存在较大差异,因此,几乎不会与第一光波导201耦合。

[0071] 接着,在第二光波导202传播的零次模的波长 $\lambda_2'$ 的光在第二合波部206其导波模式转换为二次模并耦合至合波光波导204。此时,如图9所示,可知,以二次模的波长 $\lambda_2'$ 的光和零次模的波长 $\lambda_2'$ 的光的有效折射率相等的方式,将接近第二合波部206的合波光波导204的第二部分204<sub>2</sub>的波导宽度设为 $7.15\mu\text{m}$ 即可。当假设波导间间隙为 $2.5\mu\text{m}$ 时,耦合长度为 $2380\mu\text{m}$ 。此外,如图9所示,由于在合波光波导204传播的零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光和二次模的波长 $\lambda_1'$ 的光的有效折射率存在较大差异,因此,几乎不会与第二光波导202耦合。

[0072] 最后,在第三光波导203传播的零次模的波长 $\lambda_3'$ 的光在第三合波部207其导波模式转换为二次模合并耦合至合波光波导204。此时,如图9所示,可知,以二次模的波长 $\lambda_3'$ 的光和零次模的波长 $\lambda_3'$ 的光的有效折射率相等的方式,将接近第三合波部207的合波光波导204的第三部分204<sub>3</sub>的波导宽度设为 $8.00\mu\text{m}$ 即可。当假设波导间间隙为 $2.5\mu\text{m}$ 时,耦合长度为 $900\mu\text{m}$ 。此外,如图9所示,由于在合波光波导204传播的零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光和二次模的波长 $\lambda_1'$ 、 $\lambda_2'$ 的光的有效折射率存在较大差异,因此几乎不会与第三光波导203耦合。

[0073] 综上所述,能将波长 $\lambda_1'$ 、 $\lambda_2'$ 、 $\lambda_3'$ 的光转换为二次模的光并与合波光波导204耦合,使它们与在合波光波导204传播的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光合波,并从输出波导208输出该合波光。然后,能通过将合波光波导204的第三部分204<sub>3</sub>的波导宽度变更为所希望的波导宽度来使该合波光输出具有所希望的光斑直径的合波光。特别是,能通过使波导宽度变小来输出光斑直径的小的合波光。此时,波导宽度不会涉及高次模光的截止(cut off)。在本实施

例二的情况下,需要将输出波导208的波导宽度设为二次模的波长 $\lambda_3'$ 的光所能传播的最小的波导宽度即 $5.8\mu\text{m}$ 以上。

[0074] 在图10中分别示出了零次模光、二次模光、以及零次模光与二次模光的合波光的光束形状。当将 $w_0$ 设为光斑尺寸,将 $p$ 设为模式的次数时,各模式光的振幅 $E(p)(x)$ 能通过以下函数来近似表示。

[0075] [数式1]

$$E(p)(x) = \frac{1}{\left(2pp!w_0\sqrt{\frac{\pi}{2}}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot Hp\left(\frac{x\sqrt{2}}{w_0}\right)e^{-\left(\frac{x}{w_0}\right)^2} \quad (\text{算式3})$$

[0077]  $H_0(x) = 1, H_1(x) = 2x, H_2(x) = 4x^2 - 2, H_3(x) = 8x^3 - 12x$  (算式4)

[0078] 也能通过调整各模式光的强度,来使合波后的光束形状变为接近于高斯光束(gaussian)的形状。如图10所示,可以理解的是,与零次模光以及二次模光相比,零次模光和二次模光的合波光具有更高强度并且更小的光斑直径。如此,根据本实施例二的光合波回路,能通过将导波模式不同的RGB的各波长的光合波到在零次模下对RGB的各波长的光进行了合波的波导并射出,来输出更高强度并且光斑直径更小的合波光。

[0079] 在本实施例二中,对将零次模光和二次模光合波的例子进行了说明,但是,根据本实施例二,调整有效折射率就能与导波模式无关地进行合波。通过对波长组 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的光分配不同的导波模式,能按照所使用的导波模式的数量对这些波长群的光进行合波。例如,能通过使用零次至三次的导波模式的光来对四个红、绿、蓝的光进行合波并射出。

[0080] 在本实施例二中,虽然设为 $\lambda_1 = 450\text{nm}$ (蓝)、 $\lambda_2 = 520\text{nm}$ (绿)、 $\lambda_3 = 650\text{nm}$ (红),但并不限于此,波长 $\lambda_1, \lambda_2$ 、以及 $\lambda_3$ 的光能分别设为具有蓝(400~495nm)、绿(495~570nm)、红(620~750nm)的波长区域的波长的光。

[0081] (实施例三)

[0082] 参照图11,对本发明的实施例三的光合波回路进行具体说明。在本实施例三中,示出了一种光合波回路,其具备以下功能:实施例一那样的仅对所希望的波长的光进行耦合并合波的功能;以及实施例二那样的通过对导波模式不同的各波长的光进行合波来输出更高强度的合波光的功能。

[0083] 在图11中示出了一种光合波回路,其具备:供波长 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_2',$ 以及 $\lambda_3'$ 的光分别输入的第一至第五光波导301~305;第一和第二MM转换波导306、307;第一至第四耦合部308~311;第一和第二合波部312、313;以及耦合于第一光波导301的输出波导314。

[0084] 第一至第五光波导301~305和第一和第二MM转换波导306、307由设于基板上的下部包层、比下部包层折射率高的芯层、以及设于芯层上的上部包层构成。上部包层设为包围芯层。第一光波导301能采用多模波导。第二至第五光波导302~305能采用单模波导。如图11所示,第一至第五光波导301~305和第一和第二MM转换波导306、307相对于光的行进方向并列配置。第一光波导301包含波导宽度各不相同的第一和第二部分301<sub>1</sub>、301<sub>2</sub>。第一和第二部分301<sub>1</sub>、301<sub>2</sub>与输出波导315的每一个之间经由锥形的波导进行耦合。

[0085] 在本实施例三中,第一至第五光波导301~305与第一和第二MM转换波导306、307的波导宽度不同。第一至第四耦合部308~311分别采用通过使第二光波导302以及第一MM转换波导306、第一光波导301以及第一MM转换波导306、第三光波导303以及第二MM转换波导307、第一光波导301与第二MM转换波导307接近而构成的定向耦合器。第一和第二合波部312、313分别采用通过使第四光波导304以及第一光波导301、第五光波导305以及第一光波导301接近而构成的定向耦合器。

[0086] 与实施例一同样,第一和第二光波导301、302的波导宽度和第一MM转换波导306的波导宽度设定为:相对于第二光波导302而言的波长 $\lambda_2$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第一MM转换波导306而言的波长 $\lambda_2$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于第一光波导301而言的波长 $\lambda_1$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第一MM转换波导306而言的波长 $\lambda_1$ 的各光的高次模下的有效折射率不相等。此外,第一和第三光波导301、303的波导宽度和第二MM转换波导307的波导宽度设定为:相对于第三光波导303而言的波长 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第二MM转换波导307而言的波长 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且相对于第一光波导301而言的波长 $\lambda_1$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第二MM转换波导307而言的波长 $\lambda_1$ 以及 $\lambda_2$ 的各光的高次模下的有效折射率不相等。

[0087] 而且,与本实施例二同样,第一部分301<sub>1</sub>的波导宽度设定为:相对于第四光波导304而言的波长 $\lambda_2'$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第一光波导301的第一部分301<sub>1</sub>而言的波长 $\lambda_2'$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于第一光波导301的第一部分301<sub>1</sub>而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率与相对于第四光波导304而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率不相等。此外,第二部分301<sub>2</sub>的波导宽度设定为:相对于第五光波导305而言的波长 $\lambda_3'$ 的光的零次模下的有效折射率与相对于第一光波导301的第二部分301<sub>2</sub>而言的波长 $\lambda_3'$ 的光的高次模下的有效折射率相等,并且,相对于第一光波导301的第二部分301<sub>2</sub>而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的高次模下的有效折射率与相对于第五光波导305而言的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光的零次模下的有效折射率不相等。

[0088] 在本实施例三中,波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 以及 $\lambda_3$ 的光分别设为具有蓝(400~495nm)、绿(495~570nm)、红(620~750nm)的波长区域的波长的光, $\lambda_2' = (\lambda_2 + \beta)$  nm(绿)、 $\lambda_3' = (\lambda_3 + \gamma)$  nm(红), $\beta$ 、 $\gamma$ 为大于0且小于线宽的微小的值,线宽基于所射入的光的光源但大体上为1nm以下。

[0089] 以下,对本发明的实施例三的光合波回路的动作进行说明。从第二光波导302射入的波长 $\lambda_2$ 的光在第一耦合部308其导波模式被转换为一次模并转移至第一MM转换波导306,在第二耦合部309其导波模式进一步被转换为零次模并转移至第一光波导301。同样,从第三光波导303射入的波长 $\lambda_3$ 的光在第三耦合部310其导波模式被转换为一次模并转移至第二MM转换波导307,在第四耦合部311其导波模式进一步被转换为零次模并转移至第一光波导301。

[0090] 此外,与上述实施例一同样,以不满足与第一和第二MM转换波导306、307耦合的条件的方式设计了第二和第四耦合部309、311。因此,从第一光波导301射入的零次模的波长 $\lambda_1$ 的光在第二和第四耦合部309、311不向第一和第二MM转换波导306、307转移而是从第二和第四耦合部309、311透射。其结果是,从第二和第四耦合部309、311透射的波长 $\lambda_1$ 的光和分别从第二和第三光波导302、303经由第一和第二MM转换波导306、307转移的波长 $\lambda_2$ 以及 $\lambda_3$

的光合波并输入至第一光波导301的第一部分301<sub>1</sub>。通过以上方式,实施例三的光合波回路能实现实施例一那样的仅对所希望的波长的光进行耦合并合波的功能。

[0091] 另一方面,在第四光波导304传播的零次模的波长 $\lambda_2'$ 的光在第一合波部312其导波模式被转换为二次模并耦合至第一光波导301的第一部分301<sub>1</sub>。耦合后的二次模的波长 $\lambda_2'$ 的光与在第一光波导301的第一部分301<sub>1</sub>传播的零次模的波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 的光进行合波,并输入至第一光波导301的第二部分301<sub>2</sub>。而且,在第五光波导305传播的零次模的波长 $\lambda_3'$ 的光在第二合波部313其导波模式被转换为二次模并耦合至第一光波导301的第二部分301<sub>2</sub>。耦合后的二次模的波长 $\lambda_3'$ 的光与在第一光波导301的第二部分301<sub>2</sub>传播的合波光进行合波,并从输出波导314输出。通过以上方式,实施例三的光合波回路能实现实施例二那样的通过对导波模式不同的各波长的光进行合波来输出更高强度的合波光的功能。

[0092] 在实施例三的光合波回路中,与实施例一以及二同样,例如,假定 $\lambda_1=450\text{nm}$ , $\lambda_2=520\text{nm}$ , $\lambda_3=650\text{nm}$ ,波导膜厚为 $3.6\mu\text{m}$ ,相对折射率差 $\Delta$ 为 $0.45\%$ ,第一至第四耦合部308~311、第四光波导304与第一部分301<sub>1</sub>以及第五光波导305与第二部分301<sub>2</sub>的波导间间隙分别为 $2.5\mu\text{m}$ ,第一至第四耦合部308~311的耦合长度为 $702\mu\text{m}$ ,第一合波部312的耦合长度为 $2380\mu\text{m}$ ,第二合波部313的耦合长度为 $900\mu\text{m}$ ,第一至第五光波导301~305的波导宽度为 $1.5\mu\text{m}$ 。该情况下,基于图5以及图9,能通过设为:第一MM转换波导306的波导宽度为 $4.3\mu\text{m}$ ,第二MM转换波导307的波导宽度为 $4.8\mu\text{m}$ ,第一部分301<sub>1</sub>的波导宽度为 $7.15\mu\text{m}$ ,第二部分301<sub>2</sub>的波导宽度为 $8.00\mu\text{m}$ ,来实现实施例三的光合波回路。

[0093] 在此,在上述实施例中对使用了定向耦合器来作为耦合部的情况进行了说明,但是,例如也可以使用 $2\times 1$ 的MMI、其他的合波器,这一点自不必说。此外,在上述实施例中,以RGB耦合模块为例进行了说明,但如果是将多个波长的多个光合波至一条波导的情况,则能不受材料、相对折射率差 $\Delta$ 限制地应用本发明,这一点自不必说。而且,由于本发明的波导形状不依赖于平面波导的材料、相对折射率差 $\Delta$ ,因此对所有波导都能适用。而且,在上述实施例中,举例示出了作为可见光的三原色RGB光合波回路,但本发明能作为对波长不同的多个光进行合波以及分波的光合分波回路来应用,这一点是明确的。

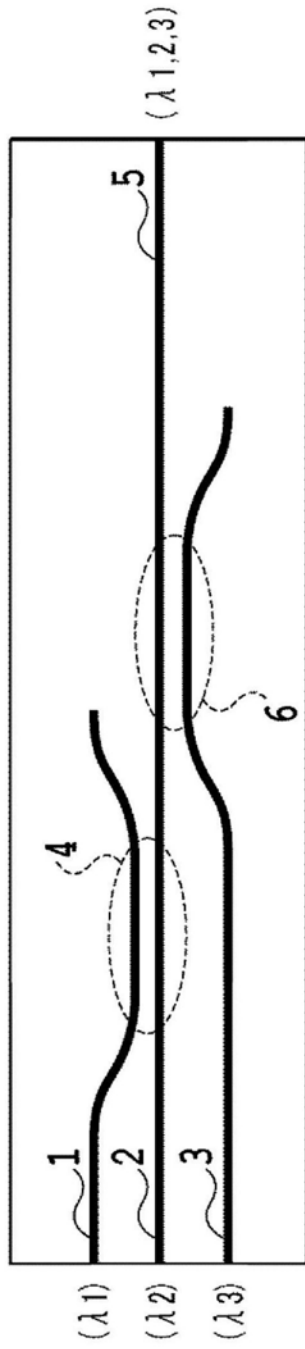


图1

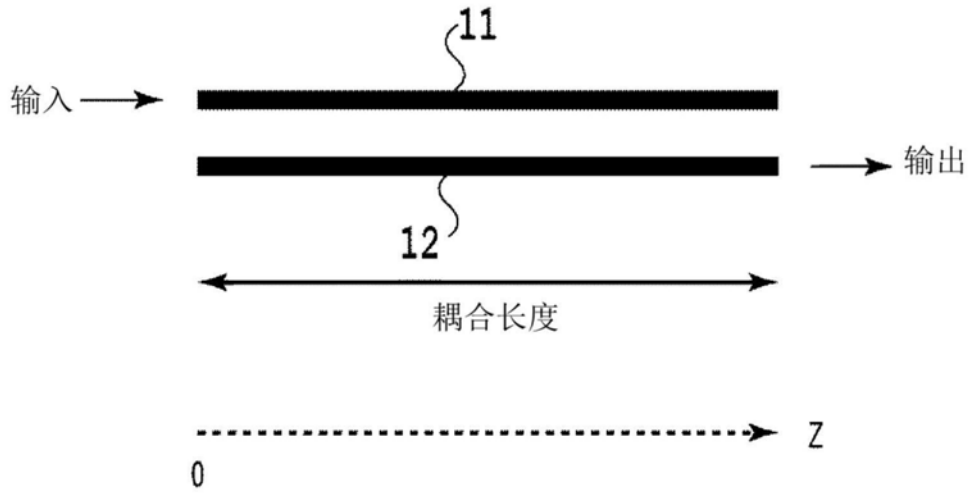


图2

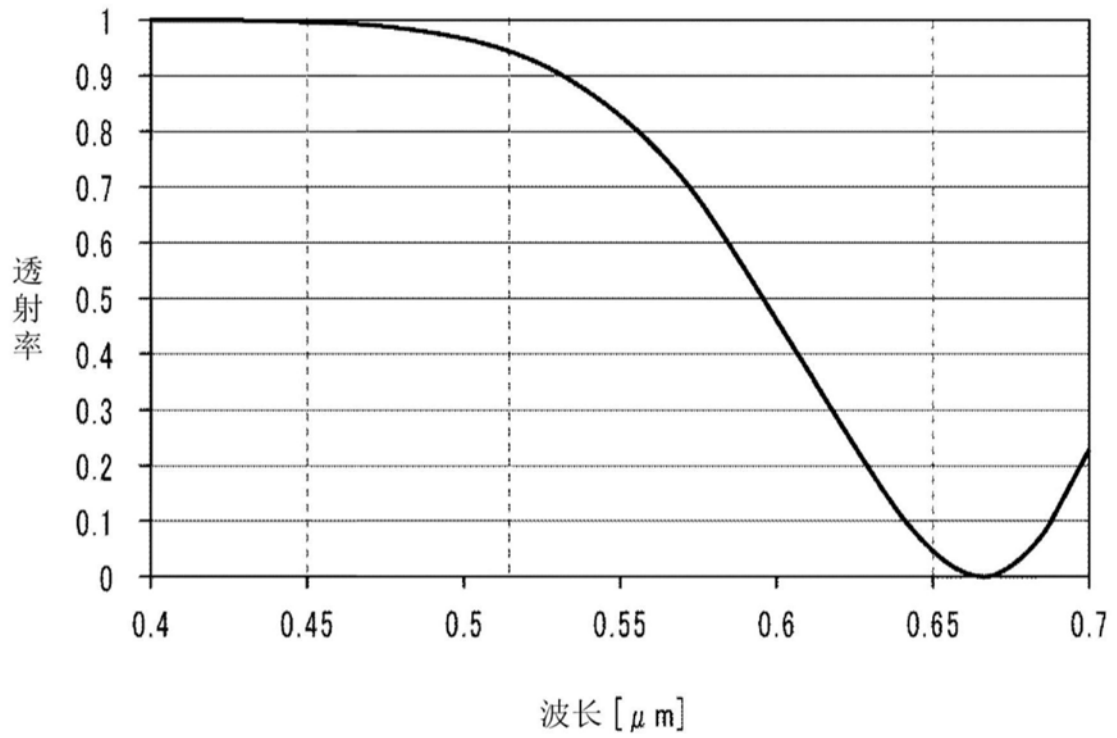


图3



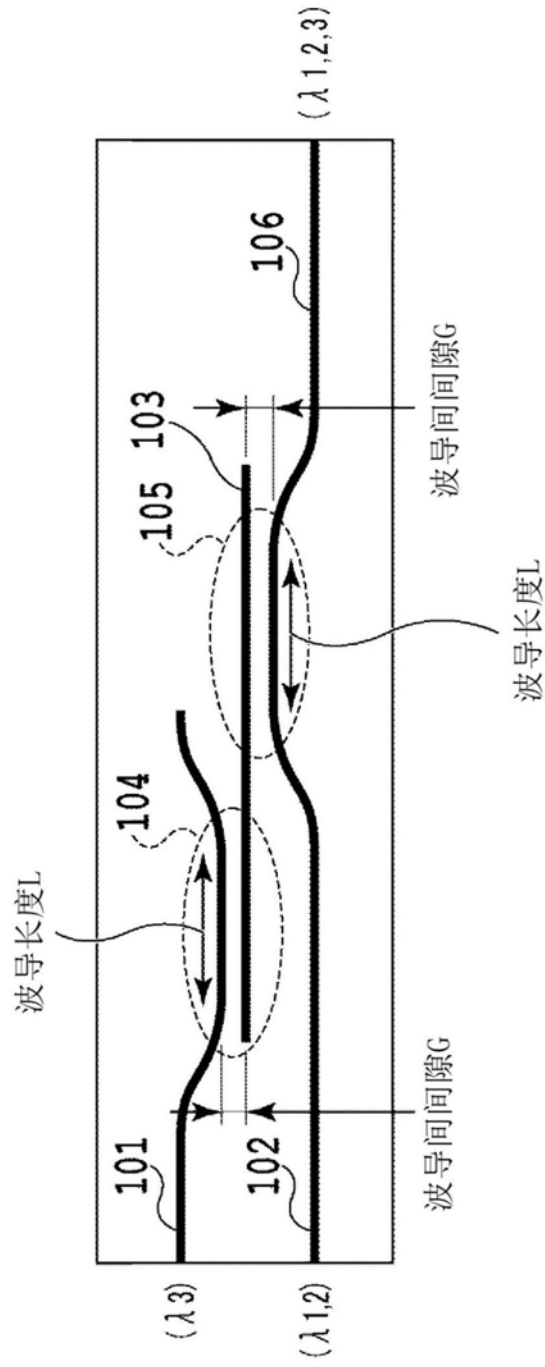


图4

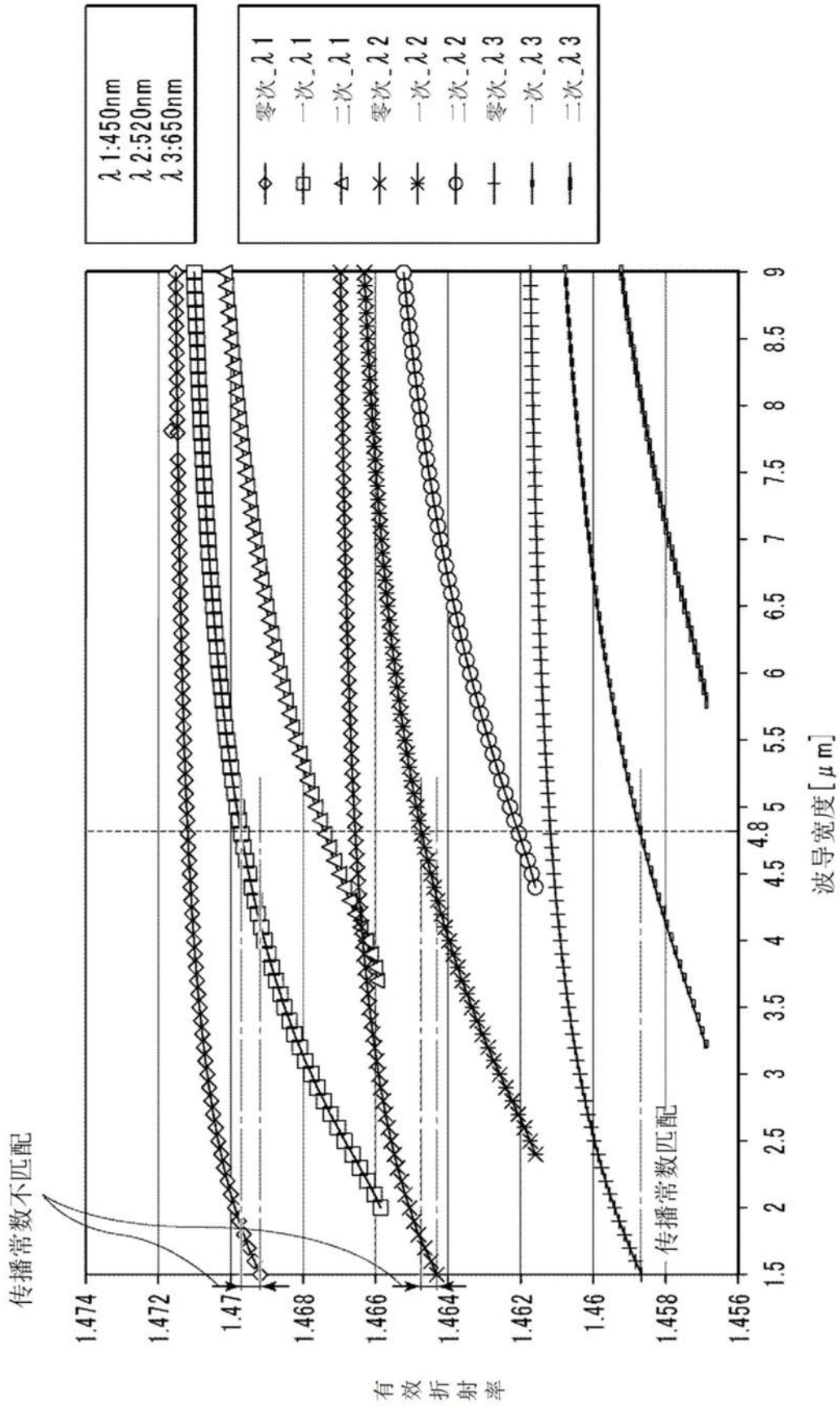


图5

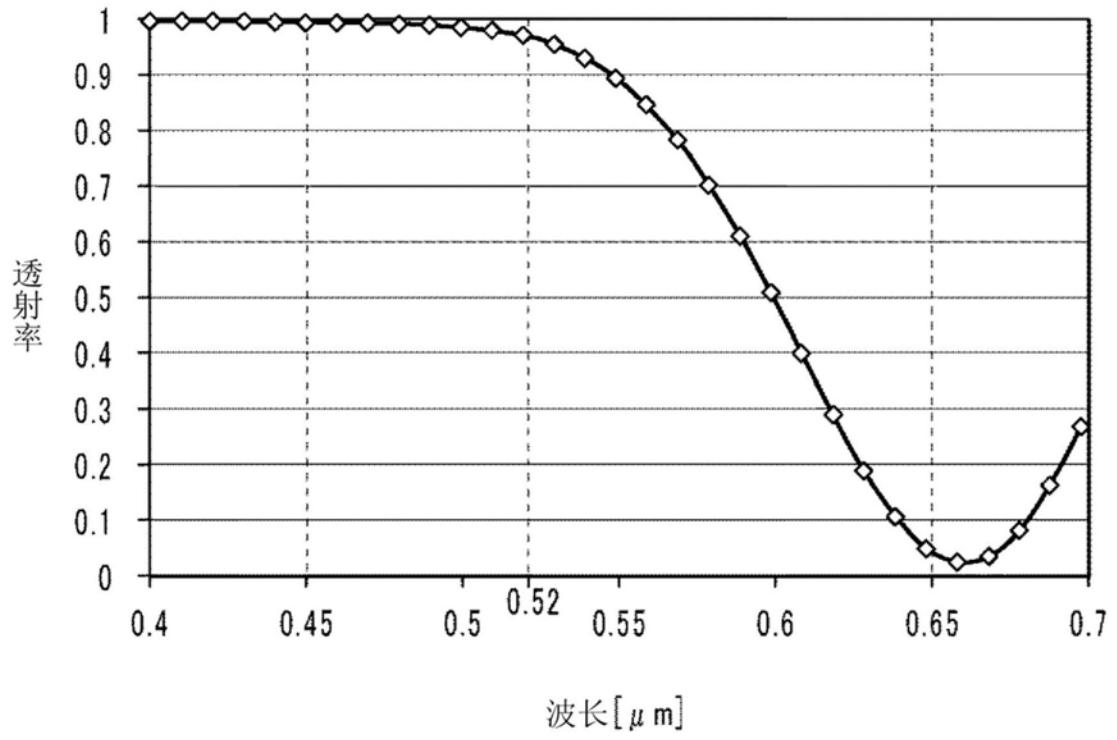


图6

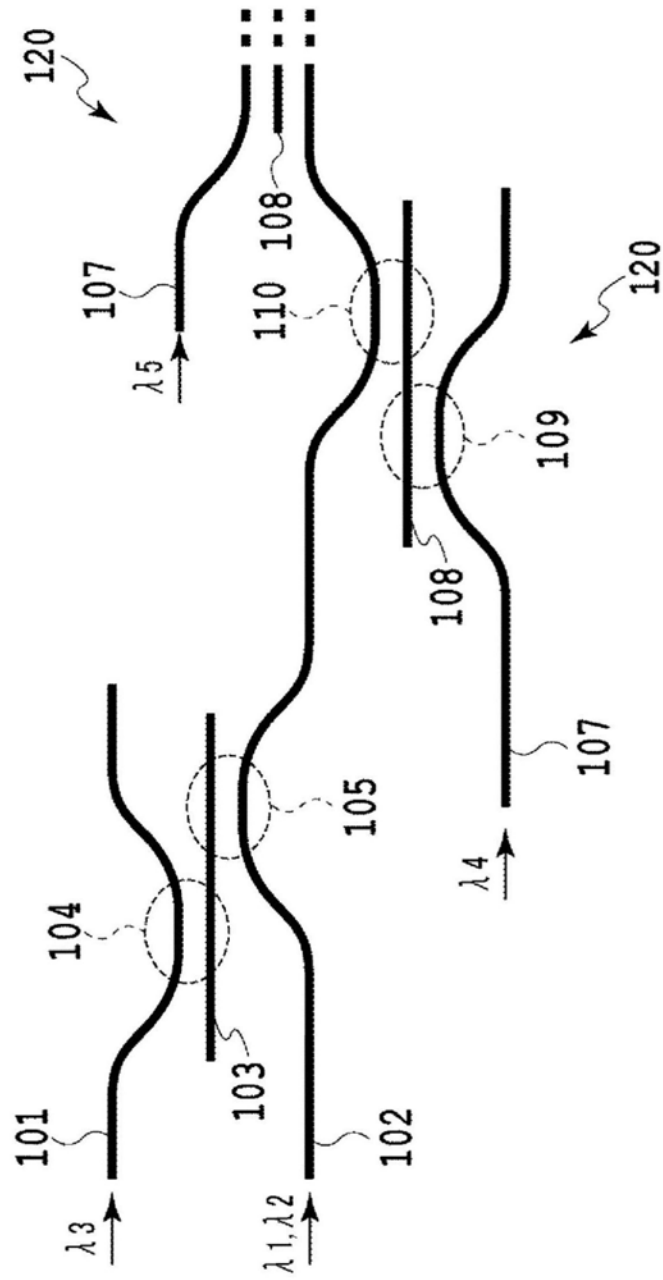


图7

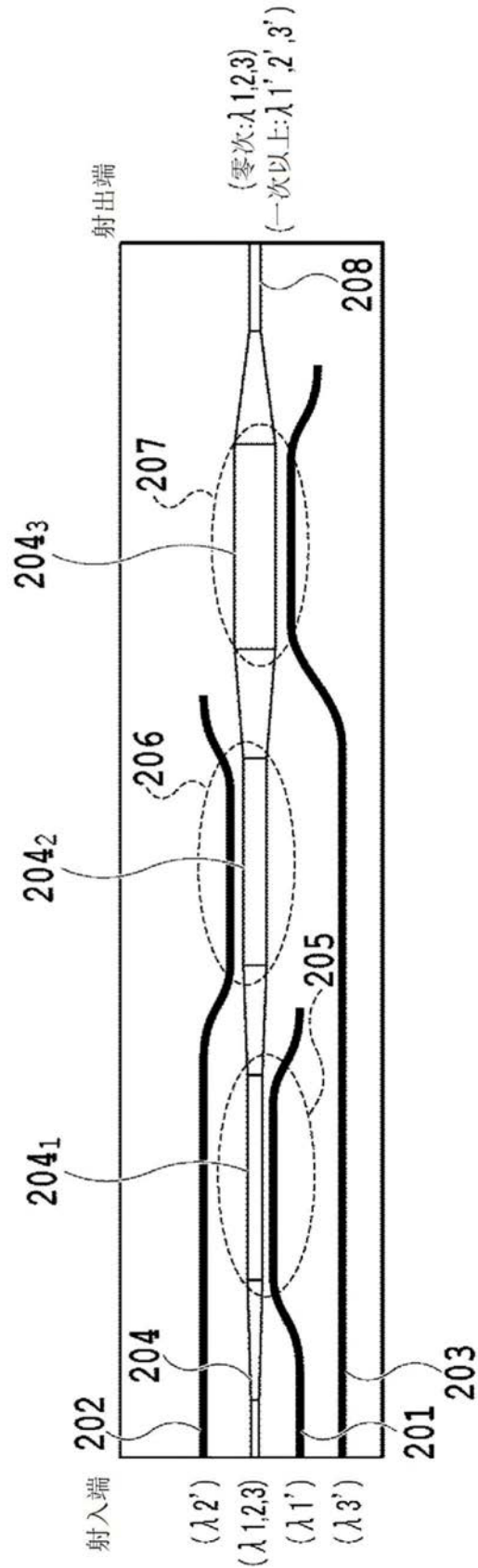


图8

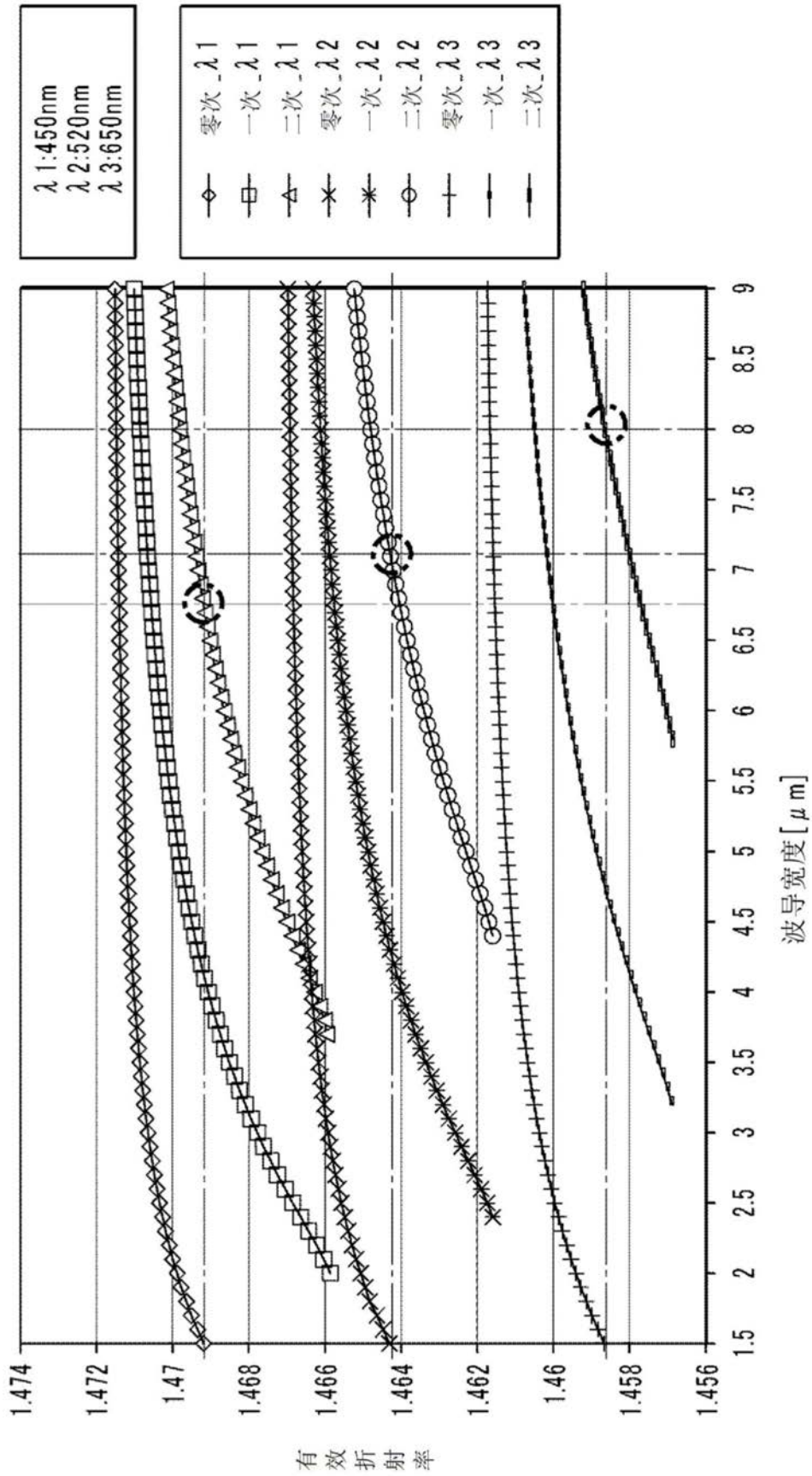


图9

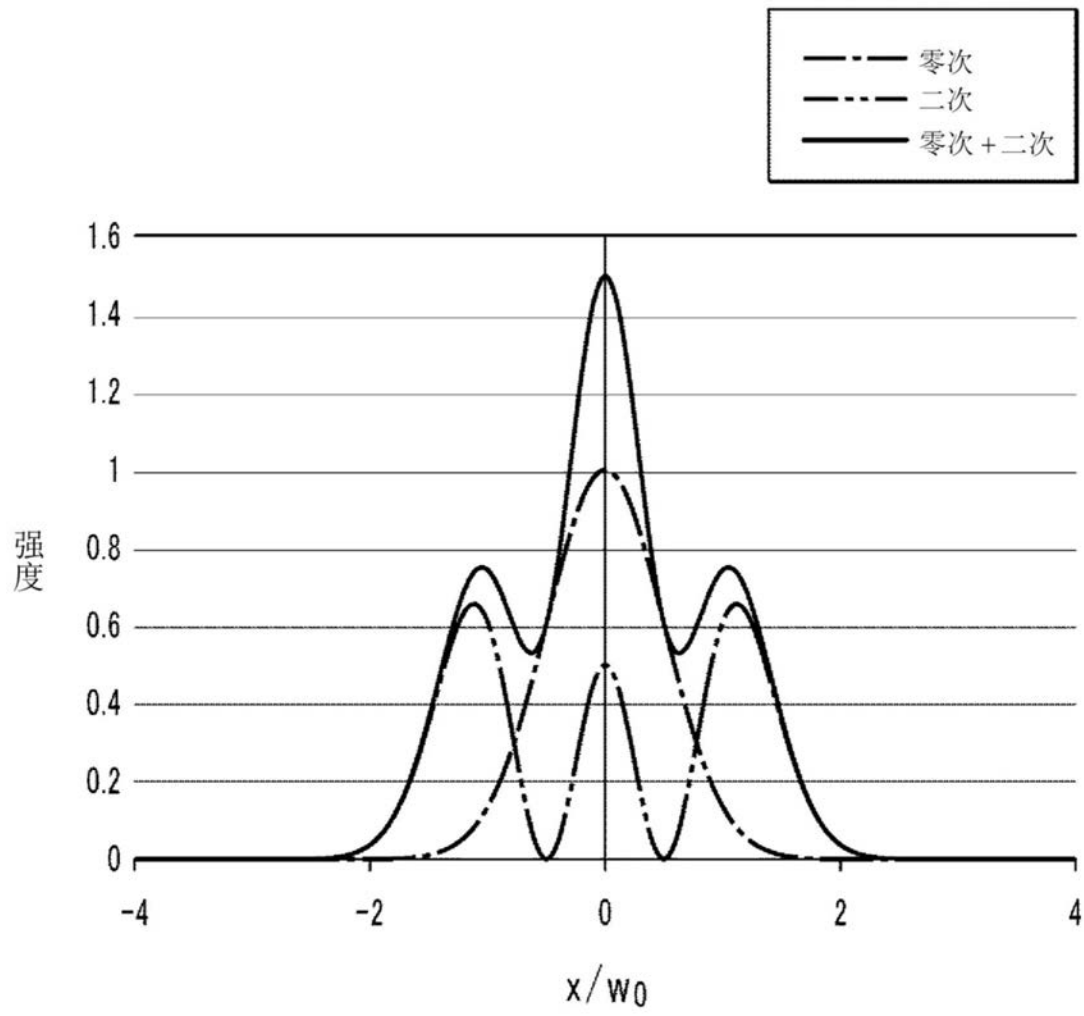


图10

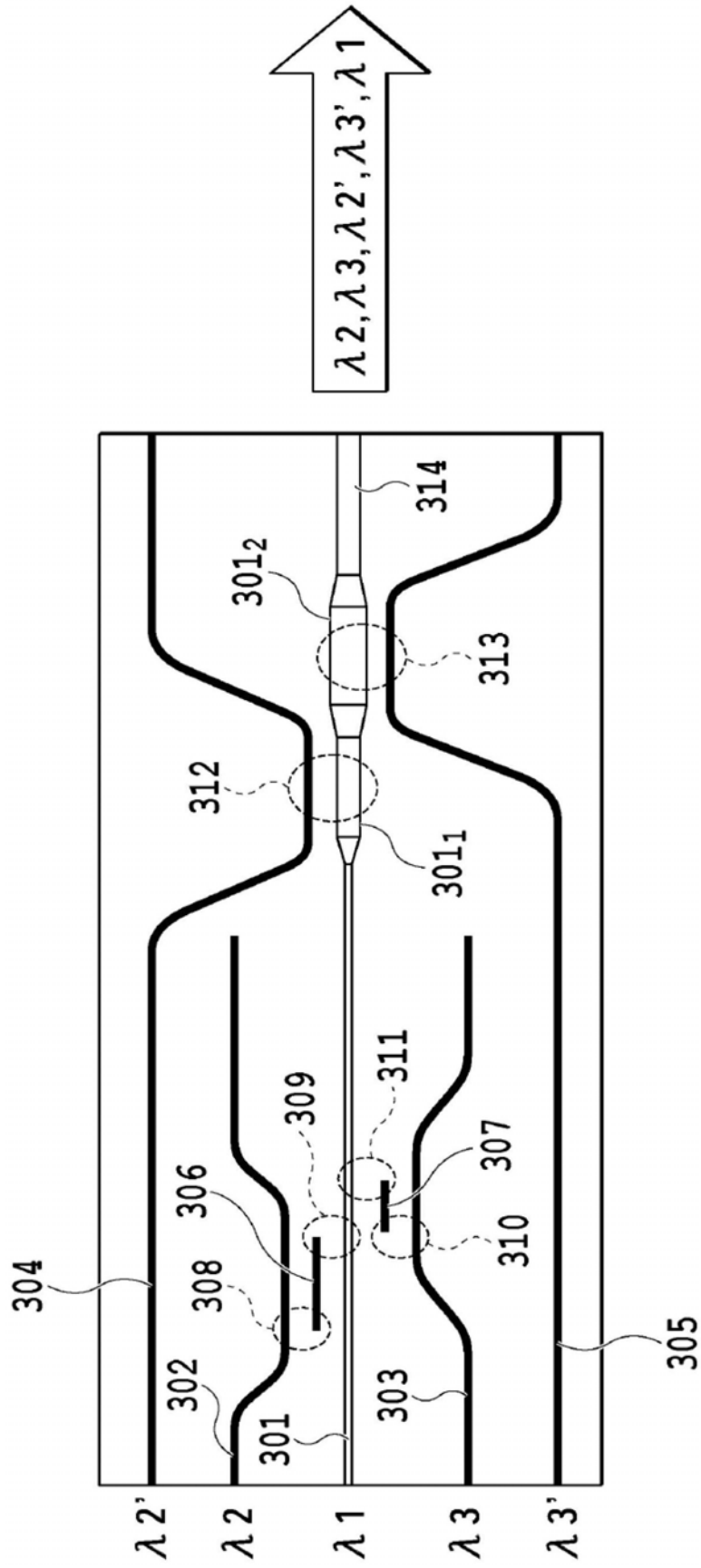


图11