



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105223647 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 06

(21) 申请号 201510742396. 1

(22) 申请日 2015. 11. 04

(71) 申请人 江苏尚飞光电科技有限公司

地址 226009 江苏省南通市苏通科技产业园
纬 14 路 30 号

申请人 中科院南通光电工程中心
中国科学院上海微系统与信息技术
研究所

(72) 发明人 陈鑫 盛振 仇超 甘甫烷
武爱民 王曦 邹世昌

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所 31219
代理人 余明伟

(51) Int. Cl.

G02B 6/126(2006. 01)

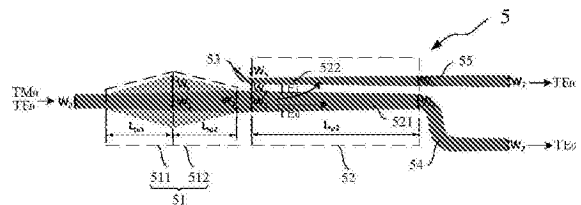
权利要求书2页 说明书13页 附图11页

(54) 发明名称

一种偏振分束旋转器及其设计方法

(57) 摘要

本发明提供一种偏振分束旋转器及其设计方法,包括:串联的双层梯形模式转换器以及反向锥形耦合器;双层梯形模式转换器将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式,反向锥形耦合器将横电波一阶模式转化为横电波零阶模式。选定第一梯形波导和第二梯形波导的宽度,根据波导长度与模式转换效率的关系,确定第一梯形波导和第二梯形波导的长度;选定第三梯形波导和第四梯形波导的宽度,根据波导长度与模式转化损耗的关系,确定反向锥形耦合器的长度。本发明通过参数优化实现大工作带宽,高转换效率、高制作容差等特性,可以用于提高单纤三向复用器的实用性,此外,制作方法简单,与标准硅光子加工工艺过程兼容,具有较大的实用价值和应用前景。



1. 一种偏振分束旋转器,其特征在于,所述偏振分束旋转器至少包括:串联的双层梯形模式转换器以及反向锥形耦合器;其中,

所述双层梯形模式转换器包括串联的第一梯形波导及第二梯形波导,所述第一梯形波导将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式、将横电波零阶模式直接输出,所述第二梯形波导连接于所述第一梯形波导及所述反向锥形耦合器之间,防止横电波一阶模式转化回横磁波零阶模式;

所述反向锥形耦合器包括于串联于所述第二梯形波导的第三梯形波导以及平行设置于所述第三梯形波导同一平面的第四梯形波导,所述第三梯形波导将所述双层梯形模式转换器输出的横电波零阶模式直接输出,所述第三梯形波导及所述第四梯形波导将横电波一阶模式耦合转化为横电波零阶模式后由所述第四梯形波导输出。

2. 根据权利要求1所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述第一梯形波导及所述第二梯形波导为脊形波导;所述第一梯形波导包括中间凸起的第一脊形区和两侧下凹的第一平板区,所述第一脊形区和所述第一平板区的输入端宽度相等,且所述第一脊形区和所述第一平板区的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大;所述第二梯形波导包括中间凸起的第二脊形区和两侧下凹的第二平板区,所述第二脊形区的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大,所述第二平板区的宽度沿入射光的传输方向逐渐减小,且所述第二脊形区和所述第二平板区的输出端宽度相等。

3. 根据权利要求1所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述第三梯形波导与所述第四梯形波导为矩形波导;所述第三梯形波导的宽度沿入射光的传输方向逐渐减小;所述第四梯形波导的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大,且所述第三梯形波导的宽度大于所述第四梯形波导的宽度。

4. 根据权利要求1所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输出端分别连接一输出波导,两段输出波导之间的距离沿入射光的传输方向逐渐增大,以避免串扰。

5. 根据权利要求1所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述第四梯形波导的输入端还连接一圆弧波导,用于消除由于波导不连续引起的模式耦合损耗和辐射损耗。

6. 根据权利要求1~5所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述偏振分束旋转器制备于绝缘体上硅平台,且所述偏振分束旋转器上覆盖有包层。

7. 根据权利要求1~5所述的偏振分束旋转器,其特征在于:所述偏振分束旋转器适用于1310nm波段~1550nm波段。

8. 一种如权利要求1~5任意一项所述的偏振分束旋转器的设计方法,其特征在于,所述偏振分束旋转器的设计方法至少包括:

选定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的输入端和输出端的宽度,在宽度确定的情况下,根据波导长度与模式转换效率的关系,确定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度;

选定所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端的宽度,在宽度确定的情况下,根据波导长度与模式耦合转化损耗的关系,确定所述反向锥形耦合器的长度。

9. 根据权利要求8所述的偏振分束旋转器的设计方法,其特征在于:选定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的输入端和输出端的宽度的具体步骤包括:

分析并计算脊形波导在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图；

从波导宽度与有效折射率的关系图上找到横磁波零阶模式与横电波一阶模式的模式混合区域，并将覆盖所述模式混合区域的波导宽度设定为所述第一梯形波导的输入端和输出端的宽度；

从波导宽度与有效折射率的关系图上根据横磁波零阶模式与横电波一阶模式的有效折射率差，找到避免横电波一阶模式转化回横磁波零阶模式所对应的所述第二梯形波导的输出端的宽度范围，同时考虑所述第二梯形波导的输出端的宽度与波导长度的关系，确定所述第二梯形波导的输出端的宽度。

10. 根据权利要求 8 所述的偏振分束旋转器的设计方法，其特征在于：确定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度的具体步骤包括：

在所述第一梯形波导及所述第二梯形波导的宽度确定的情况下，计算 1310nm 波长和 1550nm 波长下模式转换效率随所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度变化的曲线，选定 1310nm 波长和 1550nm 波长的模式转换效率均大于 98% 所对应的波导长度为所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度。

11. 根据权利要求 8 所述的偏振分束旋转器的设计方法，其特征在于：确定所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端宽度的具体步骤包括：

分析并计算所述第三梯形波导和所述第四梯形波导在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图；

设定所述第三梯形波导及所述第四梯形波导的宽度差，以确保横电波一阶模式转化为横电波零阶模式后不会再转化回横电波一阶模式，将所述第三梯形波导的宽度与有效折射率的关系曲线和所述第四梯形波导的宽度与有效折射率的关系曲线合并，使得所述第三梯形波导中横电波一阶模式和所述第四梯形波导中横电波零阶模式的有效折射率产生交叉点，满足相匹配条件，并将覆盖所述交叉点的波导宽度设定为所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端的宽度。

12. 根据权利要求 11 所述的偏振分束旋转器的设计方法，其特征在于：所述相匹配条件为：

$$N_{\text{eff}_{\text{TE0}}} = N_{\text{eff}_{\text{TE1}}},$$

其中， $N_{\text{eff}_{\text{TE0}}}$ 为所述第四梯形波导中横电波零阶模式的有效折射率， $N_{\text{eff}_{\text{TE1}}}$ 为所述第三梯形波导中横电波一阶模式的有效折射率。

13. 根据权利要求 8 所述的偏振分束旋转器的设计方法，其特征在于：确定所述反向锥形耦合器的长度的具体步骤包括：

在所述第一梯形波导及所述第二梯形波导的宽度确定的情况下，计算 1310nm 波长和 1550nm 波长下横电波一阶模式到横电波零阶模式的模式转换损耗随所述反向锥形耦合器长度变化的曲线；在模式转换损耗小于 0.1dB 的条件下，设定所述反向锥形耦合器的长度。

一种偏振分束旋转器及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光通讯技术领域,特别是涉及一种偏振分束旋转器及其设计方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着宽带接入网的迅速发展,宽带化成为接入网发展的最显著特征。视频点播、网络电视(IPTV)和网络游戏等高带宽业务逐渐被电信运营商和广电运营商视为新的业务增长点,用户对接入带宽的要求不断增张,因此,以现有的非对称数字用户环路(ADSL)为主的宽带接入方式已经很难满足用户对高带宽、双向传输能力以及安全性等方面的要求。面对这一困境,各国电信运营商把关注的目光投向了光纤到户(FTTH, Fiber To The Home)技术。光纤到户技术能够满足数据、语音、视频等综合业务对高带宽的需求,增强了网络对数据格式、速率、波长和协议的透明性支持,同时放宽了系统对环境条件和供电等要求,从而降低了安装和使用维护的成本,是一种理想的接入模式。

[0003] 单纤三向复用器是光纤到户(FTTH)系统中最为关键的器件之一,如图1所示,单纤三向复用器将光系统中三个波段的光信号复用/解复用到一路信号中去,其中1310nm波段的光信号用于将用户信息上载到数据中心,1490nm波段的光信号用于将普通信息下载到用户终端,1550nm波段的光信号用于将视频信息下载到用户终端。

[0004] 目前,各种类型的单纤三向复用器已经在SOI平台中被设计出来,但这些单纤三向复用器大多是具有偏振相关性的,只能工作在一种模式下(一般为横电波零阶模式 TE_0)。单纤三向复用器的复用端与单模光纤进行光耦合,而单模光纤中的光信号具有随机的偏振态,因此光耦合的过程中就有两个困难需要解决,分别是偏振敏感性和大带宽耦合。为了解决这两个困难,研究人员设计出双波段偏振分束二维光栅耦合器和双波段偏振分束旋转器,但这两个器件都只能工作在1310nm波段、1490nm波段以及1550nm波段中的两个波段,且均是波长和工艺偏差敏感的,这些因素导致它们不能真正的应用于实际的光纤到户系统中去,即使应用到光纤到户系统中,其产生的效果也无法满足实际使用要求。

[0005] 因此,如何解决单纤三向复用器的偏振敏感性和大带宽耦合问题、提高单纤三向复用器的实用性,已成为本领域技术人员亟待解决的问题之一。

发明内容

[0006] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种偏振分束旋转器及其设计方法,用于解决现有技术中光纤到户系统中单纤三向复用器的偏振敏感性和大带宽耦合的问题。

[0007] 为实现上述目的及其他相关目的,本发明提供一种偏振分束旋转器,所述偏振分束旋转器至少包括:串联的双层梯形模式转换器以及反向锥形耦合器;其中,

[0008] 所述双层梯形模式转换器包括串联的第一梯形波导及第二梯形波导,所述第一梯形波导将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式、将横电波零阶模式直接输出,所述第二梯形波导连接于所述第一梯形波导及所述反向锥形耦合器之间,防止横电波一阶模式转化

回横磁波零阶模式；

[0009] 所述反向锥形耦合器包括于串联于所述第二梯形波导的第三梯形波导以及平行设置于所述第三梯形波导同一平面的第四梯形波导，所述第三梯形波导将所述双层梯形模式转换器输出的横电波零阶模式直接输出，所述第三梯形波导及所述第四梯形波导将横电波一阶模式耦合转化为横电波零阶模式后由所述第四梯形波导输出。

[0010] 优选地，所述第一梯形波导包括中间凸起的第一脊形区和两侧下凹的第一平板区，所述第一脊形区和所述第一平板区的输入端宽度相等，且所述第一脊形区和所述第一平板区的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大；所述第二梯形波导包括中间凸起的第二脊形区和两侧下凹的第二平板区，所述第二脊形区的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大，所述第二平板区的宽度沿入射光的传输方向逐渐减小，且所述第二脊形区和所述第二平板区的输出端宽度相等。

[0011] 优选地，所述第三梯形波导与所述第四梯形波导为矩形波导；所述第三梯形波导的宽度沿入射光的传输方向逐渐减小；所述第四梯形波导的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大，且所述第三梯形波导的宽度大于所述第四梯形波导的宽度。

[0012] 优选地，所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输出端分别连接一输出波导，两段输出波导之间的距离沿入射光的传输方向逐渐增大，以避免串扰。

[0013] 优选地，所述第四梯形波导的输入端还连接一圆弧波导，用于消除由于波导不连续引起的模式耦合损耗和辐射损耗。

[0014] 更优选地，所述偏振分束旋转器制备于绝缘体上硅平台，且所述偏振分束旋转器上覆盖有包层。

[0015] 更优选地，所述偏振分束旋转器适用于 1310nm 波段～1550nm 波段。

[0016] 为实现上述目的及其他相关目的，本发明还提供一种上述偏振分束旋转器的设计方法，所述偏振分束旋转器的设计方法至少包括：

[0017] 选定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的输入端和输出端的宽度，在宽度确定的情况下，根据波导长度与模式转换效率的关系，确定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度；

[0018] 选定所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端的宽度，在宽度确定的情况下，根据波导长度与模式耦合转化损耗的关系，确定所述反向锥形耦合器的长度。

[0019] 优选地，选定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的输入端和输出端的宽度的具体步骤包括：

[0020] 分析并计算脊形波导在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图；

[0021] 从波导宽度与有效折射率的关系图上找到横磁波零阶模式与横电波一阶模式的模式混合区域，并将覆盖所述模式混合区域的波导宽度设定为所述第一梯形波导的输入端和输出端的宽度；

[0022] 从波导宽度与有效折射率的关系图上根据横磁波零阶模式与横电波一阶模式的有效折射率差，找到避免横电波一阶模式转化回横磁波零阶模式所对应的所述第二梯形波导的输出端的宽度范围，同时考虑所述第二梯形波导的输出端的宽度与波导长度的关系，确定所述第二梯形波导的输出端的宽度。

[0023] 优选地,确定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度的具体步骤包括:

[0024] 在所述第一梯形波导及所述第二梯形波导的宽度确定的情况下,计算 1310nm 波长和 1550nm 波长下模式转换效率随所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度变化的曲线,选定 1310nm 波长和 1550nm 波长的模式转换效率均大于 98% 所对应的波导长度为所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度。

[0025] 优选地,确定所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端宽度的具体步骤包括:

[0026] 分析并计算所述第三梯形波导和所述第四梯形波导在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图;

[0027] 设定所述第三梯形波导及所述第四梯形波导的宽度差,以确保横电波一阶模式转化为横电波零阶模式后不会再转化回横电波一阶模式,将所述第三梯形波导的宽度与有效折射率的关系曲线和所述第四梯形波导的宽度与有效折射率的关系曲线合并,使得所述第三梯形波导中横电波一阶模式和所述第四梯形波导中横电波零阶模式的有效折射率产生交叉点,满足相匹配条件,并将覆盖所述交叉点的波导宽度设定为所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端的宽度。

[0028] 更优选地,所述相匹配条件为:

[0029] $N_{\text{eff}_{\text{TE0}}} = N_{\text{eff}_{\text{TE1}}}$,

[0030] 其中, $N_{\text{eff}_{\text{TE0}}}$ 为所述第四梯形波导中横电波零阶模式的有效折射率, $N_{\text{eff}_{\text{TE1}}}$ 为所述第三梯形波导中横电波一阶模式的有效折射率。

[0031] 优选地,确定所述反向锥形耦合器的长度的具体步骤包括:

[0032] 在所述第一梯形波导及所述第二梯形波导的宽度确定的情况下,计算 1310nm 波长和 1550nm 波长下横电波一阶模式到横电波零阶模式的模式转换损耗随所述反向锥形耦合器长度变化的曲线;在模式转换损耗小于 0.1dB 的条件下,设定所述反向锥形耦合器的长度。

[0033] 如上所述,本发明的偏振分束旋转器及其设计方法,具有以下有益效果:

[0034] 本发明的偏振分束旋转器及其设计方法通过串联的双层梯形模式转换器和反向锥形耦合器,将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式,再将横电波一阶模式耦合转化为横电波零阶模式,同时通过参数优化实现大工作带宽,高转换效率、高制作容差等特性;在连接到耦合器和单纤三向复用器之间后,可实现 1310nm 波段~1550nm 波段的光信号传输,提高单纤三向复用器的实用性。

[0035] 本发明的偏振分束旋转器及其设计方法简单,与标准硅光子加工工艺过程兼容,只需两步光刻和刻蚀就可实现,因此制作简单,具有较大的实用价值和应用前景。

附图说明

[0036] 图 1 显示为现有技术中的光纤到户系统原理示意图。

[0037] 图 2 显示为本发明的光波导结构示意图。

[0038] 图 3 显示为本发明的偏振分束旋转器的俯视结构示意图。

[0039] 图 4 显示为脊形波导的横截面示意图。

[0040] 图 5 显示为矩形波导的横截面示意图。

- [0041] 图 6 显示为本发明的偏振分束旋转器的设计方法流程示意图。
- [0042] 图 7 显示为横磁波零阶模式 TM_0 、横电波零阶模式 TE_0 、横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率随脊形波导宽度变化的曲线。
- [0043] 图 8 显示为横电波零阶模式 TE_0 在 1310nm 波长入射脊形波导时的模式传输场图。
- [0044] 图 9 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射脊形波导时的模式传输场图。
- [0045] 图 10 显示为模式转换效率随所述第一梯形波导的长度和所述第二梯形波导的长度变化的曲线。
- [0046] 图 11 显示为模式转换效率随波长变化的曲线。
- [0047] 图 12 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射双层梯形模式转换器时的模式传输场图。
- [0048] 图 13 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射双层梯形模式转换器时的模式传输场图。
- [0049] 图 14 显示为有效折射率和矩形波导宽度变化的曲线。
- [0050] 图 15 显示为模式转换效率随所述反向锥形耦合器的长度变化的曲线。
- [0051] 图 16 显示为模式转换损耗随波长变化的曲线。
- [0052] 图 17 显示为横电波一阶模式 TE_1 在 1310nm 波长入射反向锥形耦合器时的模式传输场图。
- [0053] 图 18 显示为横电波一阶模式 TE_1 在 1550nm 波长入射反向锥形耦合器时的模式传输场图。
- [0054] 图 19 显示为横电波零阶模式 TE_0 在 1310nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0055] 图 20 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0056] 图 21 显示为横电波零阶模式 TE_0 在 1490nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0057] 图 22 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1490nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0058] 图 23 显示为横电波零阶模式 TE_0 在 1550nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0059] 图 24 显示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1550nm 波长入射偏振分束旋转器的模式传输场图。
- [0060] 图 25 显示为偏振分束旋转器的插入损耗与串扰随波长变化的曲线。
- [0061] 图 26 显示为横磁波零阶模式 TM_0 入射时所述偏振分束旋转器不同宽度变化 ΔW 对应的插入损耗和串扰随波导变化的曲线。
- [0062] 图 27 显示为横磁波零阶模式 TM_0 入射时所述偏振分束旋转器不同宽高变化 ΔH 对应的插入损耗和串扰随波导变化的曲线。
- [0063] 元件标号说明
- [0064] 1 衬底
- [0065] 2 埋氧层

[0066]	3	波导层
[0067]	4	上包层
[0068]	5	偏振分束旋转器
[0069]	51	双层梯形模式转换器
[0070]	511	第一梯形波导
[0071]	511a	第一脊形区
[0072]	511b	第一平板区
[0073]	512	第二梯形波导
[0074]	512a	第二脊形区
[0075]	512b	第二平板区
[0076]	52	反向锥形耦合器
[0077]	521	第三梯形波导
[0078]	522	第四梯形波导
[0079]	53	圆弧波导
[0080]	54	S型弯曲波导
[0081]	55	直波导
[0082]	W_0	整个偏振分束旋转器入射端宽度
[0083]	W_1	第一脊形区的输出端和第二脊形区的输入端宽度
[0084]	W_2	双层梯形模式转换器的输出端宽度
[0085]	W_3	第三梯形波导的输入端宽度
[0086]	W_4	第三梯形波导的输出端宽度
[0087]	W_5	第四梯形波导的输入端宽度
[0088]	W_6	第四梯形波导的输出端宽度
[0089]	W_7	输出波导的输出端宽度
[0090]	W_s	第一平板区输出端的两侧超出第一脊形区的宽度
[0091]	W_g	第三梯形波导和第四梯形波导的间距
[0092]	L_{tp1}	第一梯形波导的长度
[0093]	L_{tp2}	第二梯形波导的长度
[0094]	L_{tp3}	反向锥形耦合器的长度
[0095]	S1 ~ S2	步骤

具体实施方式

[0096] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

[0097] 请参阅图 2 ~ 图 27。需要说明的是,本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,遂图式中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其

组件布局型态也可能更为复杂。

[0098] 如图 2 所示,光波导结构包括衬底 1,位于所述衬底 1 上的埋氧层 2,位于所述埋氧层 2 上的波导层 3,以及位于所述波导层 3 上的上包层 4,所述衬底 1,所述埋氧层 2 和波导层(顶层硅层)3 构成绝缘体上硅(SOI, silicon-on-insulator)平台。在本实施例中,所述衬底 1 的材料为硅,所述埋氧层 2 的材料为二氧化硅,所述波导层 3 的材料为硅,所述上包层 4 的材料为二氧化硅。在本实施例中,所述埋氧层 2 的厚度为 $2\mu\text{m}$,所述波导层 3 的厚度为 220nm 。

[0099] 如图 3 所示,本发明提供一种偏振分束旋转器 5,所述偏振分束旋转器 5 制备于所述波导层 3 中,所述偏振分束旋转器 5 至少包括:串联的双层梯形模式转换器 51 以及反向锥形耦合器 52;其中,所述双层梯形模式转换器 51 包括串联的第一梯形波导 511 及第二梯形波导 512,所述第一梯形波导 511 将横磁波零阶模式 TM_0 转化为横电波一阶模式 TE_1 、横电波零阶模式 TE_0 直接输出,所述第二梯形波导 512 连接于所述第一梯形波导 511 及所述反向锥形耦合器 52 之间,避免横电波一阶模式 TE_1 转化回横磁波零阶模式 TM_0 ;

[0100] 所述反向锥形耦合器 52 包括于串联于所述第二梯形波导 512 的第三梯形波导 521 以及平行设置于所述第三梯形波导 521 同一平面的第四梯形波导 522,所述第三梯形波导 521 将所述双层梯形模式转换器 51 输出的横电波零阶模式 TE_0 直接输出,所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 将横电波一阶模式 TE_1 耦合转化为横电波零阶模式 TE_0 后由所述第四梯形波导 522 输出。

[0101] 具体地,如图 3~图 4 所示,所述第一梯形波导 511 连接于一输入波导,所述第一梯形波导 511 为脊形波导,其横截面为脊形,包括中间凸起的第一脊形区 511a 和两侧下凹的第一平板区 511b,所述第一脊形区 511a 的输入端宽度与所述第一平板区 511b 的输入端宽度相同,其横截面为矩形,即为整个偏振分束旋转器 5 入射端宽度 W_0 ;所述第一脊形区 511a 和所述第一平板区 511b 的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大,且所述第一脊形区的宽度小于所述第一平板区 511b 的宽度。在本实施例中,所述第一脊形区 511a 和所述第一平板区 511b 的输入端宽度 W_0 不大于 $0.47\mu\text{m}$;所述第一脊形区 511a 的输出端宽度 W_1 不小于 $0.49\mu\text{m}$;所述第一平板区 511b 的输出端比所述第一脊形区 511a 的输出端两侧均加宽 W_s ,加宽的部分 W_s 设定为 $0.4\mu\text{m}\sim 0.8\mu\text{m}$ 。在本实施例中,所述第一平板区 511b 的厚度设定为 90nm ,通过将厚 220nm 的所述波导层 3 浅刻蚀 130nm 以获得厚 90nm 的平板波导,以此与标准硅光子加工工艺过程兼容,只需两步光刻和刻蚀就可实现,因此制作简单,具有较大的实用价值和前景。所述第一梯形波导 511 采用横截面为脊形的梯形波导打破横截面的上下对称性,产生一个横磁波零阶模式 TM_0 和横电波一阶模式 TE_1 的模式混合区来实现横磁波零阶模式 TM_0 和横电波一阶模式 TE_1 的转换。

[0102] 具体地,如图 3~图 4 所示,所述第二梯形波导 512 为脊形波导,包括中间凸起第二脊形区 512a 和两侧下凹的第二平板区 512b。所述第二脊形区 512a 的输入端的宽度与所述第一脊形区 511a 的输出端的宽度相同,所述第二脊形区 512a 的宽度沿入射光的传输方向逐渐增大;所述第二平板区 512b 的输入端的宽度与所述第一平板区 511b 的输出端的宽度相同,所述第二平板区 512b 的宽度沿入射光的传输方向逐渐减小;且在所述双层梯形模式转换器 51 的输出端,所述第二脊形区 512a 的宽度与所述第二平板区 512b 的宽度相同,其横截面为矩形,即为所述双层梯形模式转换器 51 的输出端宽度 W_2 。在本实施例中,所

述双层梯形模式转换器 51 的输出端宽度 W_2 设定为不小于 $0.55 \mu\text{m}$ 。在本实施例中, 所述第二平板区 512b 的厚度设定为 90nm , 通过将厚 220nm 的所述波导层浅刻蚀 130nm 以获得厚 90nm 的平板波导, 以此与标准硅光子加工工艺过程兼容。所述第二梯形波导 512 连接于所述第一梯形波导 511 和所述反向锥形耦合器 52 之间, 作为过渡区, 同时避免横电波一阶模式 TE_1 转化回横磁波零阶模式 TM_0 。

[0103] 具体地, 如图 3 及图 5 所示, 所述第三梯形波导 521 的串联于所述第二梯形波导 512 的输出端, 在本实施例中, 所述第三梯形波导 521 的输入端的宽度 W_3 设定为 $0.72 \mu\text{m}$, 与所述双层梯形模式转换器 51 的输出端宽度 W_2 不相等, 因此, 所述第三梯形波导 521 与所述双层梯形模式转换器 51 之间还连接有用于过渡的梯形波导, 其横截面为矩形。若所述第三梯形波导 521 的输入端宽度 W_3 与所述双层梯形模式转换器 51 的输出端宽度 W_2 相等, 则所述第三梯形波导 521 与所述双层梯形模式转换器 51 直接连接。所述第三梯形波导 521 为矩形波导, 横截面为矩形, 其厚度为 220nm , 其宽度沿入射光的传输方向逐渐减小。所述第三梯形波导 521 将所述双层梯形模式转换器 51 输出的横电波零阶模式 TE_0 直接输出。在本实施例中, 所述第三梯形波导 521 的输入端宽度 W_3 不小于 $0.65 \mu\text{m}$ 、输出端宽度 W_4 不大于 $0.55 \mu\text{m}$ 。

[0104] 具体地, 如图 3 及图 5 所示, 所述第四梯形波导 522 平行设置于所述第三梯形波导 521 的同一平面, 且与所述第三梯形波导 521 的长度相同, 所述第四梯形波导 522 与所述第三梯形波导 521 之间的间距 W_g 不大于 $0.3 \mu\text{m}$, 受限于工艺水平及器件长度综合考虑, 在本实施例中, 所述间距 W_g 设定为 $0.16 \mu\text{m}$ 。所述第四梯形波导 522 为矩形波导, 横截面为矩形, 其厚度为 220nm , 其宽度沿入射光的传输方向逐渐增大, 且所述第四梯形波导 522 的宽度小于所述第三梯形波导 521 的宽度。在本实施例中, 所述第四梯形波导 522 的输入端宽度 W_5 不大于 $0.25 \mu\text{m}$ 、输出端宽度 W_6 不小于 $0.35 \mu\text{m}$ 。所述第四梯形波导 522 的输入端还连一圆弧波导 53, 用于消除由于波导不连续引起的模式耦合损耗和辐射损耗。

[0105] 所述第三梯形波导 521 和所述第四梯形波导 522 的输出端分别连接一输出波导, 两段输出波导之间的距离沿入射光的传输方向逐渐增大, 以避免串扰。在本实施例中, 为了减小器件长度, 所述第三梯形波导 521 和输出波导之间连接一 S 型弯曲波导 54。所述 S 型弯曲波导 54 的宽度不变, 与所述第三梯形波导 521 的输出端宽度相等; 所述第四梯形波导 522 和另一输出波导之间连接一直波导 55, 所述直波导 55 的宽度不变, 与所述第四梯形波导 522 的输出端宽度相等; 以此实现去耦合。在本实施例中, 两段输出波导的输出端宽度 W_7 设定为 $0.45 \mu\text{m}$, 以使所述偏振分束旋转器 5 与后续器件的输入端匹配。因此, 所述 S 型弯曲波导 54 与输出波导之间通过一梯形波导过渡, 所述直波导 55 与另一输出波导通过一梯形波导过渡。

[0106] 所述偏振分束旋转器 5 适用于 1310nm 波段~ 1550nm 波段, 可用于解决单纤三向复用器和单模光纤的耦合问题, 使 SOI 基光集成系统真正应用到光纤到户系统中。

[0107] 如图 6 所示, 本发明还提供一种上述偏振分束旋转器 5 的设计方法, 至少包括以下步骤:

[0108] 步骤 S1: 选定所述第一梯形波导 511 和所述第二梯形波导 512 的输入端和输出端的宽度, 在宽度确定的情况下, 根据波导长度与模式转换效率的关系, 确定所述第一梯形波导 511 和所述第二梯形波导 512 长度。

[0109] 步骤 S1 具体包括以下步骤：

[0110] 步骤 S11：分析并计算脊形波导在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图。

[0111] 具体地，采用数值计算方法分析计算脊形波导的宽度与有效折射率的关系图，由于在实际应用过程中，数值计算方法过于复杂，计算精度可能无法得到满足，计算结果的误差也较大。因此，可以使用专业的基于数值计算方法的光学仿真软件（例如 Mode Solutions, COMSOL, Rsoft, PhotonDesign 等）来做计算，以满足计算精度，减小仿真结果与实际误差。由于对 1310nm ~ 1550nm 波段的光信号的特性是规律渐变的，在 1310nm 波长和 1550nm 波长同时能实现的性能，就可在 1310nm ~ 1550nm 波段下的任意波长执行，因此，为了简化设计步骤，仅针对 1310nm 波长和 1550nm 波长进行研究分析，在实际操作时，可针对 1310nm ~ 1550nm 波段之间的多个波长进行分析，不以本实施例为限。在本实施例中，采用 FIMMWAVE 在工作波长 1310nm 和 1550nm 分别仿真脊形波导横截面中前三阶模式（横磁波零阶模式 TM_0 、横电波零阶模式 TE_0 、横电波一阶模式 TE_1 ）的有效折射率随波导宽度变化的曲线，如图 7 所示，其中，各虚线从上到下依次为 1310nm 波长下的横电波零阶模式 TE_0 、横磁波零阶模式 TM_0 及横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率的变化曲线；各实线从上到下依次为 1550nm 波长下的横电波零阶模式 TE_0 、横磁波零阶模式 TM_0 及横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率的变化曲线。

[0112] 步骤 S12：从波导宽度与有效折射率的关系图上找到横磁波零阶模式 TM_0 与横电波一阶模式 TE_1 的模式混合区域，并将覆盖所述模式混合区域的波导宽度设定为所述第一梯形波导 511 的输入端和输出端的宽度。

[0113] 具体地，由于脊形波导的存在打破了横截面上的对称性，横磁波零阶模式 TM_0 和横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率交点被模式混合区代替，如图 7 所示，上方的椭圆框所示区域为 1310nm 波长的模式混合区，下方的椭圆框所示区域为 1550nm 波长的模式混合区。上述两个模式混合区对应的脊形波导宽度为 $0.47\ \mu\text{m} \sim 0.49\ \mu\text{m}$ ，说明当脊形波导的宽度在 $0.47\ \mu\text{m} \sim 0.49\ \mu\text{m}$ 时，横磁波零阶模式 TM_0 和横电波一阶模式 TE_1 产生模式转换，因此在设定所述第一脊形区 511a 的输入端和输出端的宽度时，需要将波导宽度设定在覆盖 $0.47\ \mu\text{m} \sim 0.49\ \mu\text{m}$ ，且比 $0.47\ \mu\text{m} \sim 0.49\ \mu\text{m}$ 大的范围，即所述第一脊形区 511a 的输入端的宽度 W_0 不大于 $0.47\ \mu\text{m}$ 、输出端的宽度 W_1 不小于 $0.49\ \mu\text{m}$ ，均可实现横磁波零阶模式 TM_0 和横电波一阶模式 TE_1 的转换。在本实施例中，由于与所述偏振分束旋转器 5 相连的器件的宽度为 $0.45\ \mu\text{m}$ ，因此将所述第一脊形区 511a 的输入端的宽度 W_0 优选为 $0.45\ \mu\text{m}$ ；所述第一脊形区 511a 的输出端的宽度 W_1 需要大于模式转换区对应的宽度，但是宽度越大，器件长度相应也会变大，在折衷考虑之下，将所述第一脊形区 511a 的输出端的宽度 W_1 优选为 $0.55\ \mu\text{m}$ ；相应的所述第一平板区 511b 的宽度设定为 $0.45\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ 。如图 8 所示为横电波零阶模式 TE_0 在 1310nm 波长入射脊形波导时的模式传输场图，横电波零阶模式 TE_0 没有模式混合区，因此当输入横电波零阶模式 TE_0 时将不会发生任何的模式转换而绝热输出。如图 9 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射脊形波导时的模式传输场图，横磁波零阶模式 TM_0 通过模式混合区后转化为横电波一阶模式 TE_1 并输出。

[0114] 步骤 S13：从波导宽度与有效折射率的关系图上根据有效折射率差，找到避免横电波一阶模式 TE_1 转化回横磁波零阶模式 TM_0 的所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度范

围,同时考虑所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度与波导长度的关系,确定所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度 W_2 。

[0115] 具体地,通过所述第二梯形波导 512 将所述第一梯形波导 511 的脊形横截面转化为所述第三梯形波导 521 的矩形横截面,同时必须保持横电波一阶模式 TE_1 不变,防止随着横电波一阶模式 TE_1 和横磁波零阶模式 TM_0 的有效折射率差的减小,再次进入模式混合区,部分横电波一阶模式 TE_1 转换回横磁波零阶模式 TM_0 ,增加器件的串扰。所以,根据图 7 中的横电波一阶模式 TE_1 和横磁波零阶模式 TM_0 的有效折射率差与脊形波导宽度的关系图,找到能防止横电波一阶模式 TE_1 转化回横磁波零阶模式 TM_0 的足够大的有效折射率差所对应的脊形波导宽度的区间。如图 7 所示,在本实施例中,有效折射率差大于 0.3,则认为横电波一阶模式 TE_1 不会转化回横磁波零阶模式 TM_0 ,因此大于 $0.55 \mu\text{m}$ 的数值均可设定为所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度 W_2 ;同时还要考虑到随着所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度不断增加,相应地,所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 也会增加,而我们的要求是器件长度尽可能的小;为了满足以上两个条件,在本实施例中,所述第二梯形波导 512 的输出端的宽度 W_2 设定为 $0.75 \mu\text{m}$ (图中未显示),大于 $0.75 \mu\text{m}$ 的其他数据 (如 $0.85 \mu\text{m}$ 、 $0.95 \mu\text{m}$) 均可适用,对器件性能不产生影响,仅增加器件的长度,不利于集成。

[0116] 步骤 S14:在所述第一梯形波导 511 及所述第二梯形波导 512 的宽度确定的情况下,对所述双层梯形模式转换器 51 中的光传输进行仿真,计算 1310nm 波长和 1550nm 波长下模式转换效率随所述第一梯形波导 511 和所述第二梯形波导 512 的长度的变化曲线,选定 1310nm 波长及 1550nm 波长的模式转换效率均大于 98% 所对应的长度值为所述第一梯形波导 511 和所述第二梯形波导 512 的长度。

[0117] 具体地,为了得到高效的模式转换效率,使用 FIMMPROP 软件对所述双层梯形模式转换器 51 中的光传输进行仿真。分别在 1310nm 和 1550nm 波长下仿真计算模式转换效率随不同的所述第一梯形波导 511 的长度 L_{tp1} 和所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 的变化曲线,在本实施例中,所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 取三个值,分别为 $15 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ 和 $25 \mu\text{m}$,如图 10 所示。在所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 取值不同时,模式转换效率随着所述第一梯形波导 511 的长度 L_{tp1} 的增大逐渐向上振荡,最终接近于 1,所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 取值越大,对应曲线的振荡幅度越小。为了在 1310nm 和 1550nm 波长取得较高的模式转换效率,在本实施例中,所述第一梯形波导 511 的长度 L_{tp1} 设定为 $28.5 \mu\text{m}$,所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 设定为 $25 \mu\text{m}$ 。

[0118] 在所述双层梯形模式转换器 51 的各尺寸确定后,其中,所述第一脊形区 511a 和所述第一平板区 511b 的输入端宽度 W_0 设定为 $0.45 \mu\text{m}$ 、所述第一脊形区 511a 的输出端宽度和所述第二脊形区 512a 的输入端宽度 W_1 设定为 $0.55 \mu\text{m}$ 、所述第一平板区 511b 的输出端宽度和所述第二平板区 512b 的输入端宽度 W_1+2W_s 设定为 $1.55 \mu\text{m}$ 、所述第二脊形区 512a 和所述第二平板区 512b 的输出端宽度 W_2 设定为 $0.75 \mu\text{m}$ 、所述第一梯形波导 511 的长度设定 L_{tp1} 为 $28.5 \mu\text{m}$ 、所述第二梯形波导 512 的长度 L_{tp2} 设定为 $25 \mu\text{m}$,如图 11 所示,此时模式转换效率在工作波长 $1.27 \mu\text{m}$ 到 $1.59 \mu\text{m}$ 范围内均大于 99%。如图 12 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射所述双层梯形模式转换器 51 时的模式传输场图,如图 13 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1550nm 波长入射所述双层梯形模式转换器 51 时的模式传输场图,可以看到在这两个波长下该器件均具有高效的模式转换效率。

[0119] 步骤 S2 :选定所述第三梯形波导 521 和所述第四梯形波导 522 的输入端和输出端的宽度,在宽度确定的情况下,根据反向锥形耦合器 52 的波导宽度,根据波导长度与模式耦合转化损耗的关系,确定所述反向锥形耦合器 52 的长度。

[0120] 步骤 S2 具体包括以下步骤:

[0121] 步骤 S21 :分析并计算所述第三梯形波导 521 和所述第四梯形波导 522 在 1310nm 波长和 1550nm 波长下的波导宽度与有效折射率的关系图。

[0122] 具体地,在本实施例中,采用 FIMMWAVE 在工作波长 1310nm 和 1550nm 分别仿真所述第三梯形波导 521 和所述第四梯形波导 522 横截面中横电波一阶模式 TE_1 和横电波零阶模式 TE_0 的有效折射率随波导宽度变化的曲线。横截面为矩形的波导中有效折射率随波导宽度增大而增大,则通过波导宽度变化相反的两个梯形波导就可实现有效折射率的交叉,即满足相匹配条件。

[0123] 步骤 S22 :设定所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 的宽度差,以确保横电波一阶模式 TE_1 转化为横电波零阶模式 TE_0 后不会转化回横电波一阶模式 TE_1 ,将所述第三梯形波导 521 的宽度与有效折射率的关系曲线和所述第四梯形波导 522 的宽度与有效折射率的关系曲线合并,使得所述第三梯形波导 521 中横电波一阶模式 TE_1 和所述第四梯形波导 522 中横电波零阶模式 TE_0 的有效折射率产生交叉点,满足相匹配条件,并将覆盖所述交叉点的波导宽度设定为所述第三梯形波导 521 和所述第四梯形波导 522 的输入端和输出端的宽度。

[0124] 具体地,首先设定所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 的宽度差,在本实施例中,为了确保横电波一阶模式 TE_1 转化为横电波零阶模式 TE_0 后不会转化回横电波一阶模式 TE_1 ,所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 的宽度差均设定为 $0.22 \mu\text{m}$,其他可避免横电波一阶模式 TE_1 转化为横电波零阶模式 TM_0 后不会转化回横电波一阶模式 TE_1 的宽度差均适用,不以本实施例为限。通过合理设计,所述反向锥形耦合器 52 中可以实现两个不同模式有效折射率曲线的交叉点,此时满足两个模式的相匹配条件。为了分开横电波零阶模式 TE_0 与横电波一阶模式 TE_1 ,同时将横电波一阶模式 TE_1 模转换为横电波零阶模式 TE_0 模式,我们选择波导横截面参数满足横电波一阶模式 TE_1 与横电波零阶模式 TE_0 满足相匹配条件,即 $N_{\text{eff}TE_0} = N_{\text{eff}TE_1}$,其中 $N_{\text{eff}TE_0}$ 是所述第四梯形波导 522 中横电波零阶模式 TE_0 的有效折射率, $N_{\text{eff}TE_1}$ 是所述第三梯形波导 521 中横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率。将所述第三梯形波导 521 的宽度与有效折射率的关系曲线和所述第四梯形波导 522 的宽度与有效折射率的关系曲线合并,如图 14 所示,在 1310nm 波长(虚线),所述第三梯形波导 521 中的横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率随波导宽度的减小而减小,所述第四梯形波导 522 中的横电波零阶模式 TE_0 的有效折射率随波导宽度的增大而增大,存在一交叉点,如图 14 中上方的椭圆框所标示;在 1550nm 波长(实线),所述第三梯形波导 521 中的横电波一阶模式 TE_1 的有效折射率随波导宽度的减小而减小,所述第四梯形波导 522 中的横电波零阶模式 TE_0 的有效折射率随波导宽度的增大而增大,存在一交叉点,如图 14 中下方的椭圆框所标示。通过波导宽度的选择最终得到图 14,此时交叉点位于 $0.60 \mu\text{m} \sim 0.625 \mu\text{m}$ 的波导宽度范围内(交叉点应尽量位于波导宽度取值范围的中间),将图中对应的波导宽度设定为所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 的输入端和输出端的宽度。在本实施例中,所述第三梯形波导 521 的输入端宽度 W_3 设定为 $0.72 \mu\text{m}$ 、输出端宽度 W_4 设定

为 $0.5 \mu\text{m}$, 所述第四梯形波导 522 的输入端宽度 W_5 设定为 $0.18 \mu\text{m}$, 输出端宽度 W_6 设定为 $0.4 \mu\text{m}$ 。如图 14 所示, 在波长为 1310nm 与 1550nm 时, 所述第三梯形波导 521 的横电波一阶模式 TE_1 与所述第四梯形波导 522 的横电波零阶模式 TE_0 有效折射率曲线有一个交点, 此时满足相匹配条件, 意味着在耦合器长度足够长的情况下所述第三梯形波导 521 中的横电波一阶模式 TE_1 可以绝热的耦合进所述第四梯形波导 522, 同时被转换为横电波零阶模式 TE_0 。同时也可以看到所述第三梯形波导 521 中横电波零阶模式 TE_0 有效折射率曲线没有任何交叉点, 因此将保持不变的在所述反向锥形耦合器 52 中传输。

[0125] 步骤 S23: 在所述第一梯形波导 511 及所述第二梯形波导 512 的宽度确定的情况下, 对所述反向锥形耦合器 52 中的光传输进行仿真, 在 1310nm 波长和 1550nm 波长下计算横电波一阶模式 TE_1 到横电波零阶模式 TE_0 的模式转换损耗随所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 的变化曲线, 其中, 所述第三梯形波导 521 与所述第四梯形波导 522 的长度与反向锥形耦合器 52 的长度相等; 在模式转换损耗小于 0.1dB , 且波导长度尽量小的条件下, 设定所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 。

[0126] 具体地, 为了获得一个低损耗的反向锥形耦合器 52, 使用商业仿真软件 FIMMPROP 仿真计算了所述反向锥形耦合器 52 中的光传输特性。分别在 1310nm 和 1550nm 波长下仿真计算横电波一阶模式 TE_1 到横电波零阶模式 TE_0 的模式转换损耗随所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 的变化曲线。如图 15 所示, 模式转换损耗随着所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 的增加而减小, 当所述反向锥形耦合器 52 的长度 $L_{tp3} > 190 \mu\text{m}$ 时, 1310nm 和 1550nm 波长下的模式转换损耗均小于 0.1dB , 因此所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 可设定为不小于 $190 \mu\text{m}$ 的数值, 但是同样地, 所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 越长, 器件尺寸越大。基于这两点综合考量, 在本实施例中, 所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 优选为 $200 \mu\text{m}$ 。

[0127] 在所述反向锥形耦合器 52 的各尺寸确定后, 其中, 所述第三梯形波导 521 的输入端宽度 W_3 设定为 $0.72 \mu\text{m}$, 输出端宽度 W_4 设定为 $0.5 \mu\text{m}$; 所述第四梯形波导 522 的输入端宽度 W_5 设定为 $0.18 \mu\text{m}$, 输出端的宽度 W_6 设定为 $0.4 \mu\text{m}$; 所述第三梯形波导 521 及所述第四梯形波导 522 的长度即为所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} , 设定为 $200 \mu\text{m}$; 如图 16 所示, 此时模式转换损耗在工作波长 $1.29 \mu\text{m}$ 到 $1.63 \mu\text{m}$ 范围内均小于 0.1dB , 能高性能工作。如图 17 所示为横电波一阶模式 TE_1 在 1310nm 波长入射所述反向锥形耦合器 52 时的模式传输场图, 如图 18 所示为横电波一阶模式 TE_1 在 1550nm 波长入射所述反向锥形耦合器 52 时的模式传输场图, 可以看到在这两个波长下该器件均具有高效的完成横电波一阶模式 TE_1 到横电波零阶模式 TE_0 的模式耦合和转换。

[0128] 本实施例所列举的具体数值均为优选方案, 不以本实施例所列数值为限。

[0129] 至此, 所述偏振分束旋转器 5 的各参数均已确定, 以下是对所述偏振分束旋转器 5 做出的性能分析。如图 19 所示为横电波零阶模式 TE_0 在 1310nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图, 如图 20 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1310nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图, 如图 21 所示为横电波零阶模式 TE_0 在 1490nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图, 如图 22 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1490nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图, 如图 23 所示为横电波零阶模式 TE_0 在 1550nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图, 如图 24 所示为横磁波零阶模式 TM_0 在 1550nm 波长入射所述偏振分束旋转器 5 的模式传输场图。当横电波零阶模式 TE_0 入射时, 光场将

一直保持不变从直通端口输出；当横磁波零阶模式 TM_0 入射时，首先被所述双层梯形模式转换器 51 转换为横电波一阶模式 TE_1 ，再通过所述反向锥形模式耦合器耦合进入所述第四梯形波导 522 并转换为横电波零阶模式 TE_0 从交叉端口输出；通过所述偏振分束旋转器 5，光信号中的横电波零阶模式 TE_0 和横磁波零阶模式 TM_0 被有效的分开，且横磁波零阶模式 TM_0 同时被旋转成为横电波零阶模式 TE_0 。如图 25 所示为所述偏振分束旋转器 5 的插入损耗与串扰随波长变化的曲线，所述偏振分束旋转器 5 在 1290nm ~ 1610nm 波长范围内具有一个高效的性能，横电波零阶模式 TE_0 与横磁波零阶模式 TM_0 入射时串扰均小于 -15dB（图 25 中的串扰均约定俗成以正值表示），插入损耗均小于 0.2dB；所述偏振分束旋转器 5 的插入损耗和串扰在工作波长小于 1310nm 时会急剧恶化，这是由于所述反向锥形耦合器 52 的长度 L_{tp3} 不足所导致，可以通过增加器件长度来改善这个性能；所述偏振分束旋转器 5 的串扰在两个模式下均随着波长的增加而轻微增加，这是由于输出端 S 型弯曲波导 54 和直波导 55 耦合所导致，这可以通过进一步的优化器件结构来改善。所述偏振分束旋转器 5 的模式转换效率高、串扰小、损耗低、工作带宽大，工作波段包含 1310nm, 1490nm 和 1550nm 三个波段，因此，具有应用于光纤入户系统中的波分复用无源光网络和 100Gb/s 长距离相干光通信系统中的潜力。

[0130] 进一步对所述偏振分束旋转器 5 的特性做容差分析，由于 TE_0 模式在器件中没有发生模式的转换与耦合，对器件工作波长与参数变化不敏感，因此只对横磁波零阶模式 TM_0 入射时的容差进行分析。如图 26 所示为横磁波零阶模式 TM_0 入射时所述偏振分束旋转器 5 不同宽度变化 ΔW 对应的插入损耗和串扰随波导变化曲线，如图 27 所示为横磁波零阶模式 TM_0 入射时所述偏振分束旋转器 5 不同高度变化 ΔH 对应的插入损耗和串扰随波导变化的曲线，由图 26 及图 27 可知，在宽度变化 $\pm 40\text{nm}$ 和高度变化 $\pm 10\text{nm}$ 范围内，器件在整个工作波长范围内均保持稳定的性能。相比于其他同性能的偏振分束旋转器和双波段耦合光栅，该器件均有超大的工作带宽和制作容差，这可以大大提高它的制作成功率。

[0131] 本发明的偏振分束旋转器及其设计方法通过串联的双层梯形模式转换器和反向锥形耦合器，将光信号中的横电波零阶模式 TE_0 和横磁波零阶模式 TM_0 有效的分开，且横磁波零阶模式 TM_0 同时被旋转成为横电波零阶模式 TE_0 。同时通过参数优化实现大工作带宽，高转换效率、高制作容差等特性；在连接到大带宽和偏振不敏感边缘耦合器和单纤三向复用器之间后，可实现 1310nm ~ 1550nm 波段的光信号传输，提高单纤三向复用器的实用性。

[0132] 本发明的偏振分束旋转器及其设计方法简单，与标准硅光子加工工艺过程兼容，只需两步光刻和刻蚀就可实现，因此制作简单，具有较大的实用价值和应用前景。

[0133] 综上所述，本发明提供一种偏振分束旋转器，包括：串联的双层梯形模式转换器以及反向锥形耦合器；其中，所述双层梯形模式转换器包括串联的第一梯形波导及第二梯形波导，所述第一梯形波导将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式、将横电波零阶模式直接输出，所述第二梯形波导连接于所述第一梯形波导及所述反向锥形耦合器之间，避免横电波一阶模式转化回横磁波零阶模式；所述反向锥形耦合器包括于串联于所述第二梯形波导的第三梯形波导以及平行设置于所述第三梯形波导同一平面的第四梯形波导，所述第三梯形波导将所述双层梯形模式转换器输出的横电波零阶模式直接输出，所述第三梯形波导及所述第四梯形波导将横电波一阶模式耦合转化为横电波零阶模式后输出。还提供一种偏振分束旋转器的设计方法，包括：选定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的输入端和

输出端的宽度,在宽度确定的情况下,根据波导长度与模式转换效率的关系,确定所述第一梯形波导和所述第二梯形波导的长度;选定所述第三梯形波导和所述第四梯形波导的输入端和输出端的宽度,在宽度确定的情况下,根据波导长度与模式转化损耗的关系,确定所述反向锥形耦合器的长度。本发明通过串联的双层梯形模式转换器和反向锥形耦合器,将横磁波零阶模式转化为横电波一阶模式,再将横电波一阶模式耦合转化为横电波零阶模式,同时通过参数优化实现大工作带宽,高转换效率、高制作容差等特性;在连接到耦合器和单纤三向复用器之间后,可实现 1310nm ~ 1550nm 波段的光信号传输,提高单纤三向复用器的实用性。本发明的设计方法简单,与标准硅光子加工工艺过程兼容,只需两步光刻和刻蚀就可实现,因此制作简单,具有较大的实用价值和前景。所以,本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

[0134] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

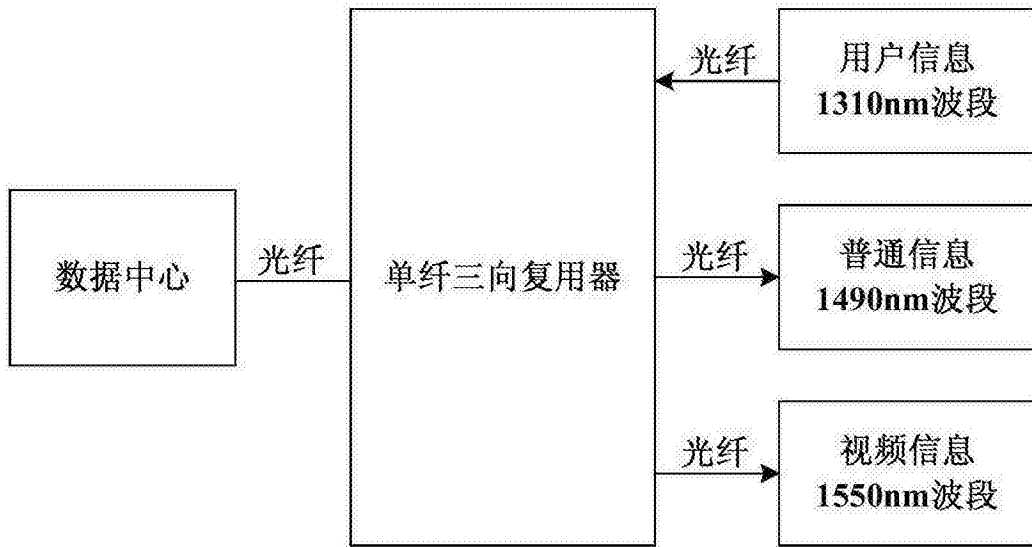


图 1

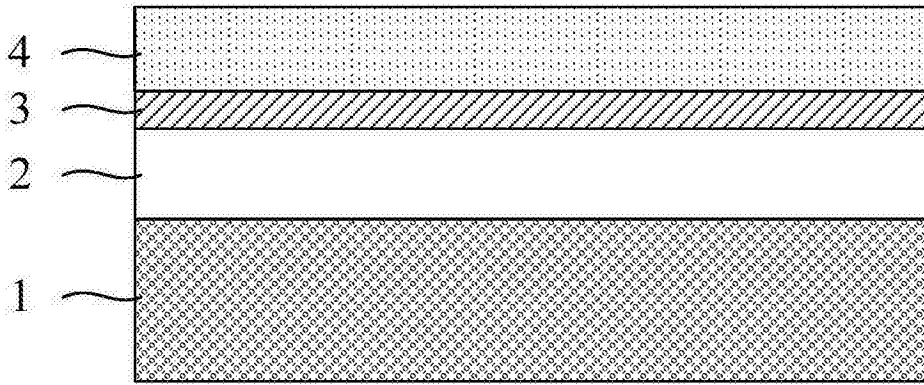


图 2

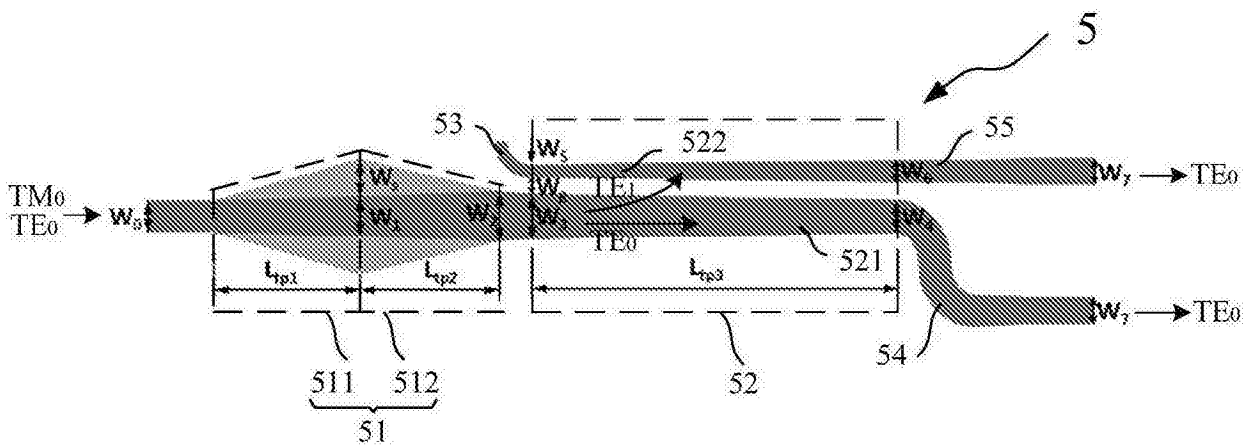


图 3

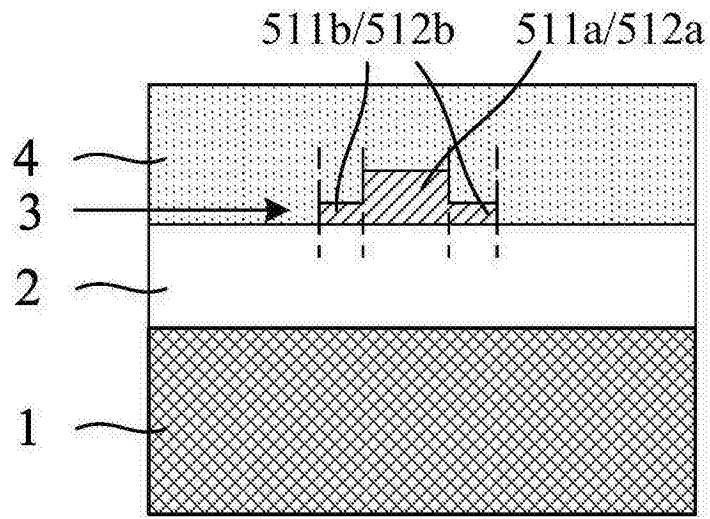


图 4

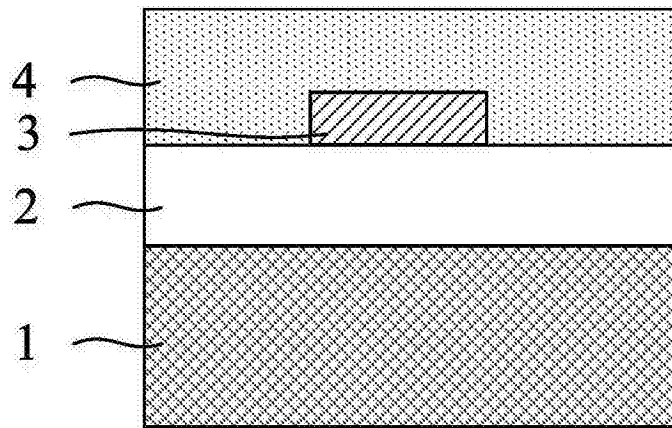


图 5

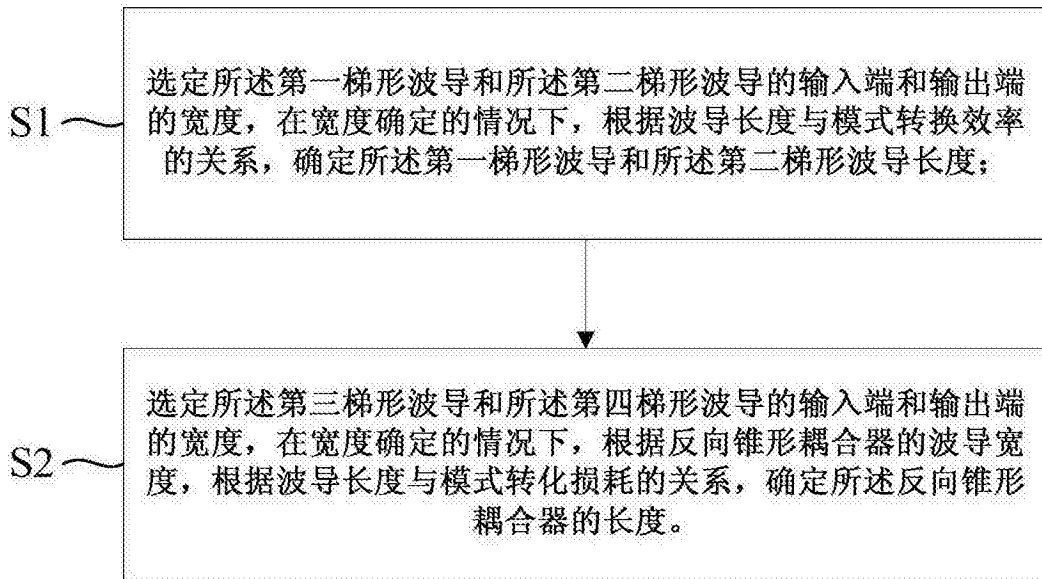


图 6

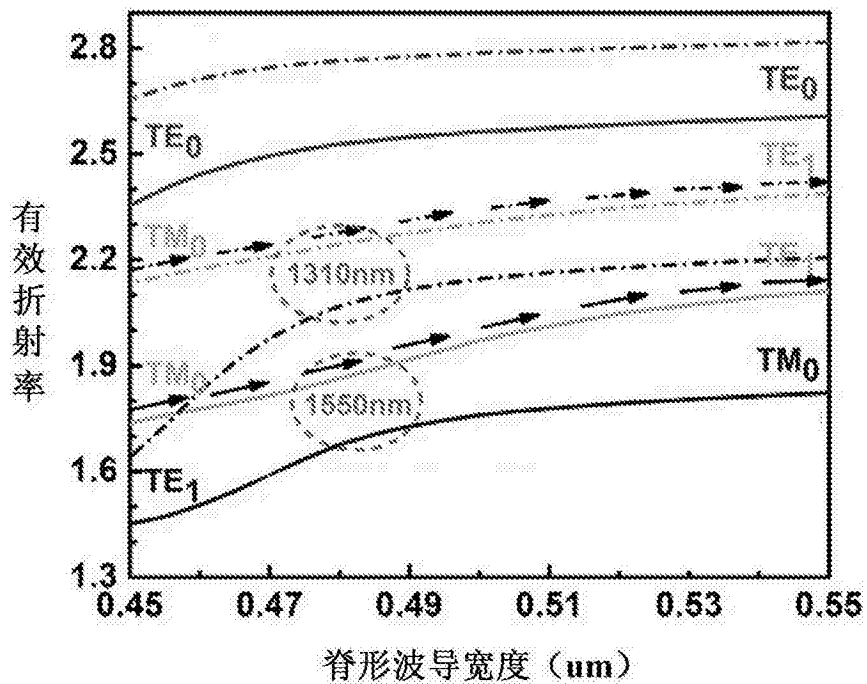


图 7

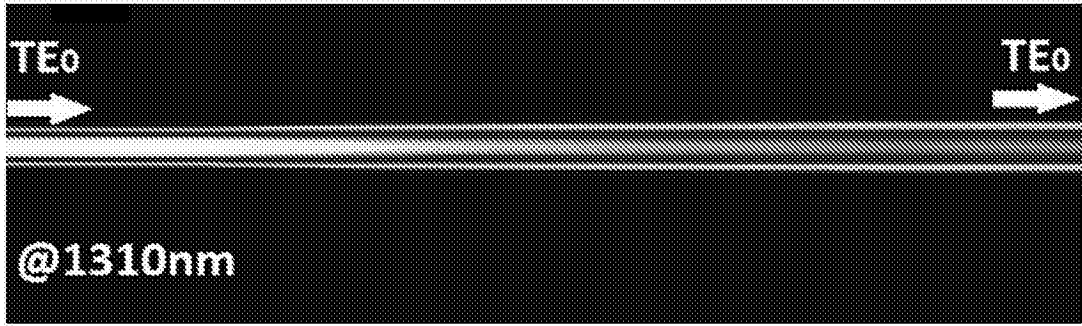


图 8

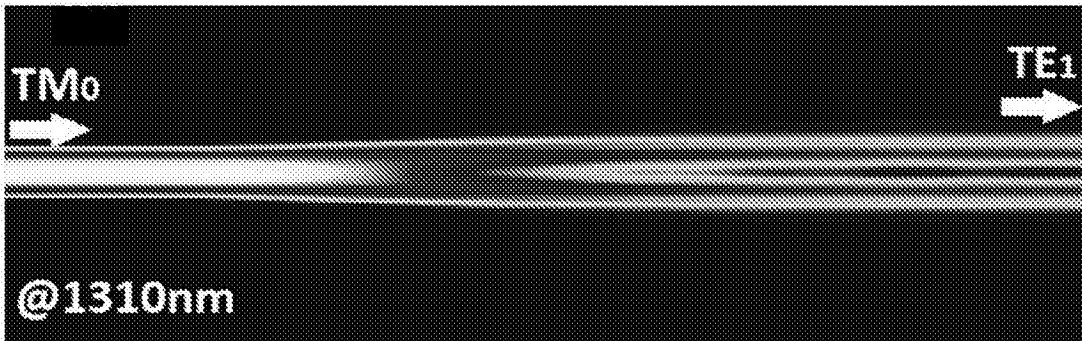


图 9

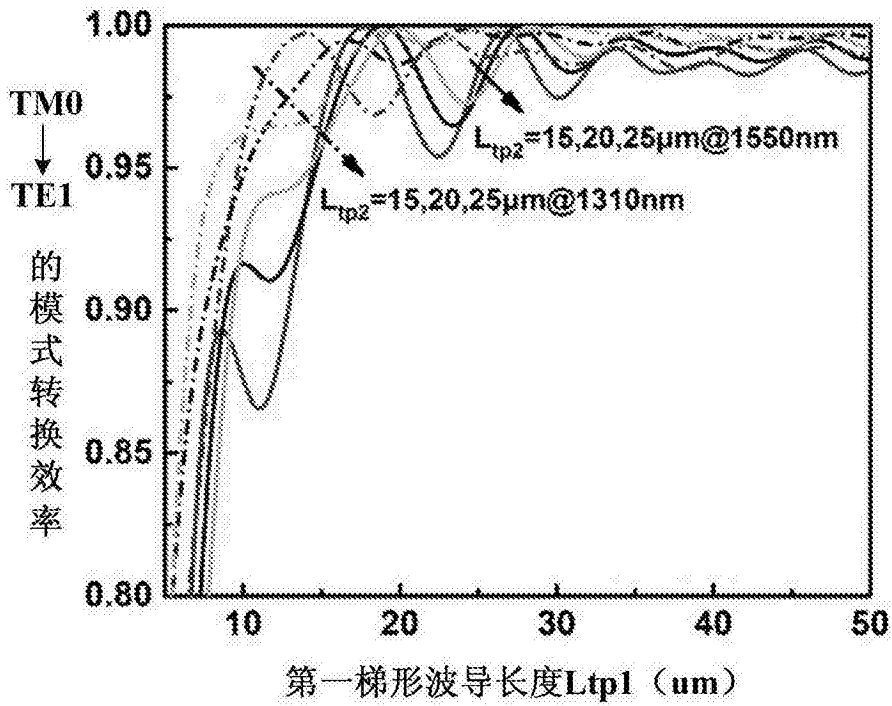


图 10

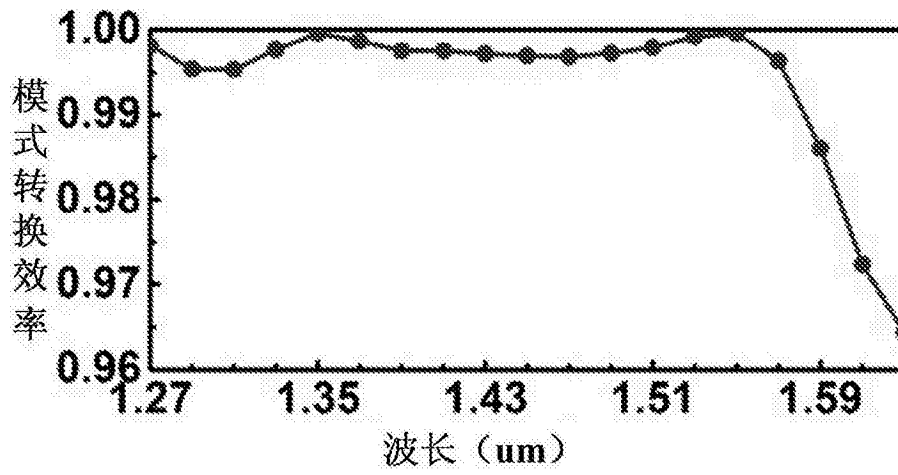


图 11

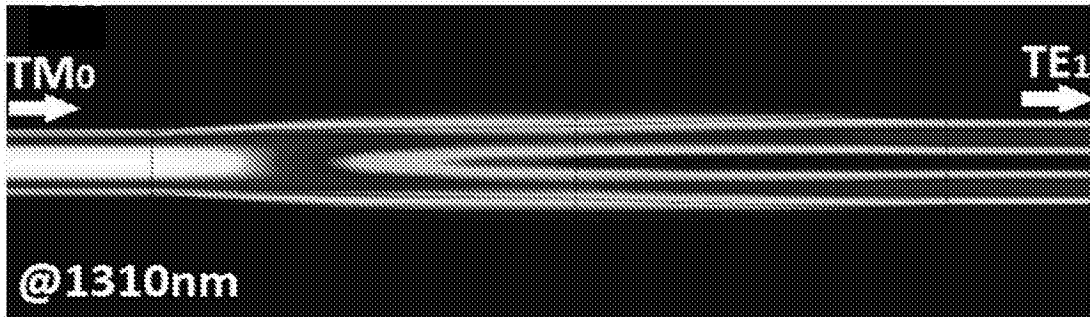


图 12

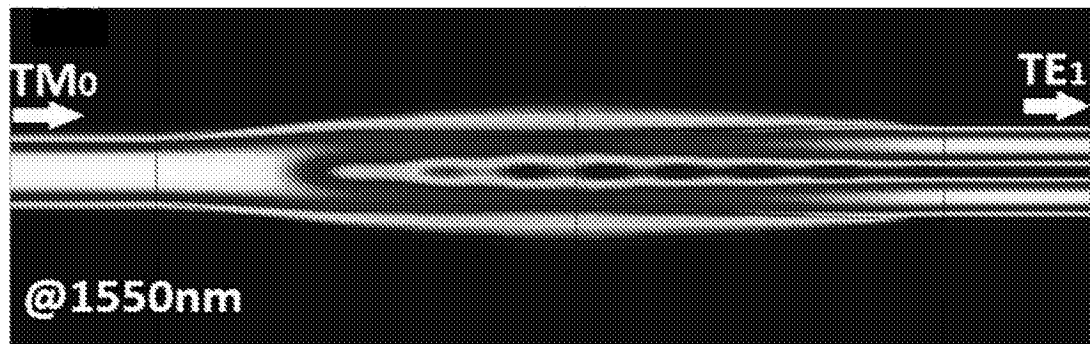


图 13

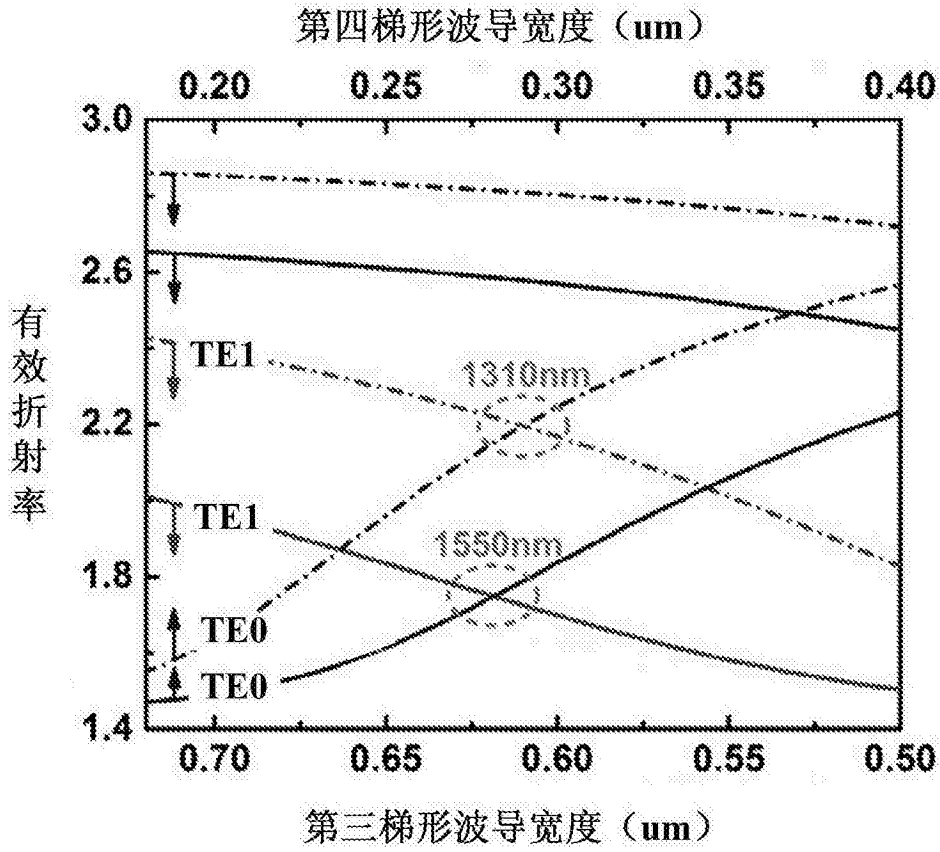


图 14

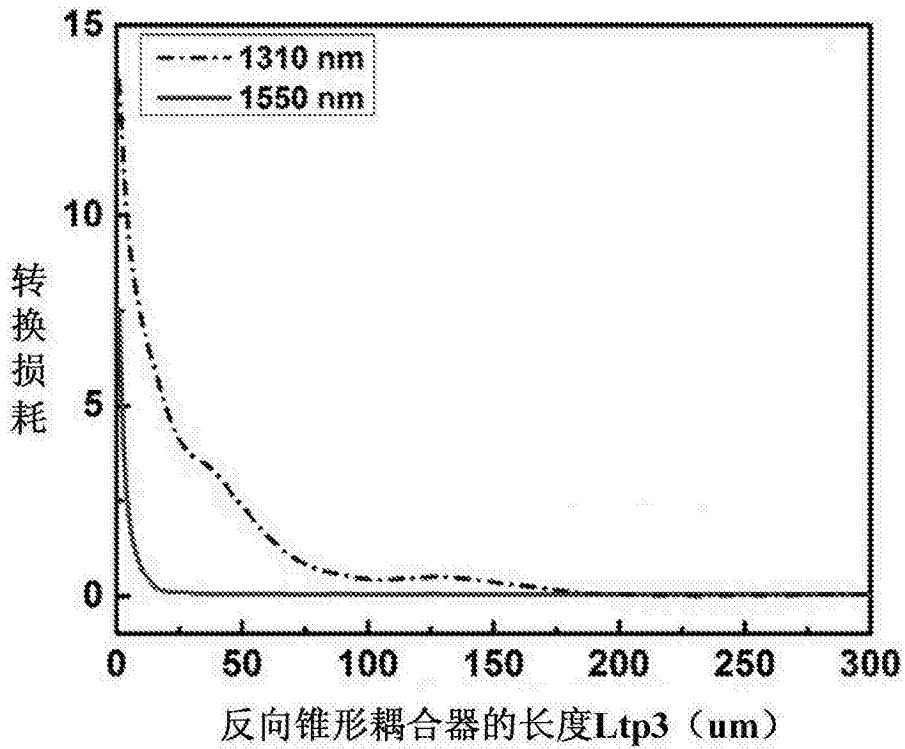


图 15

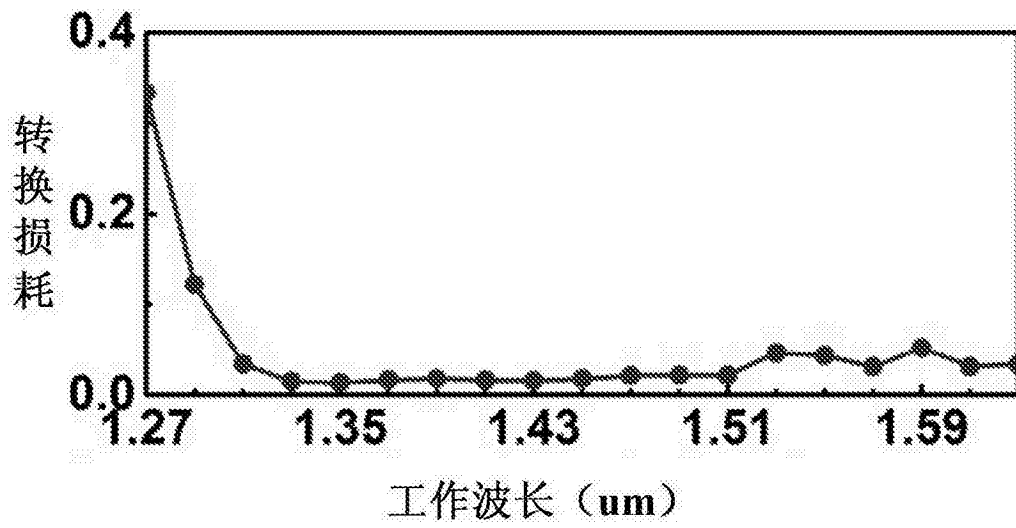


图 16

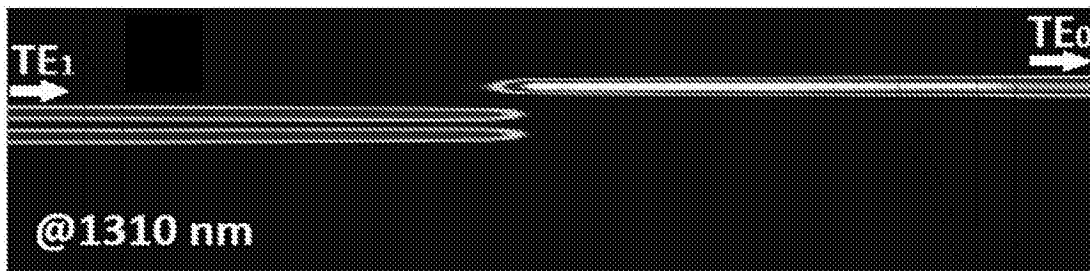


图 17

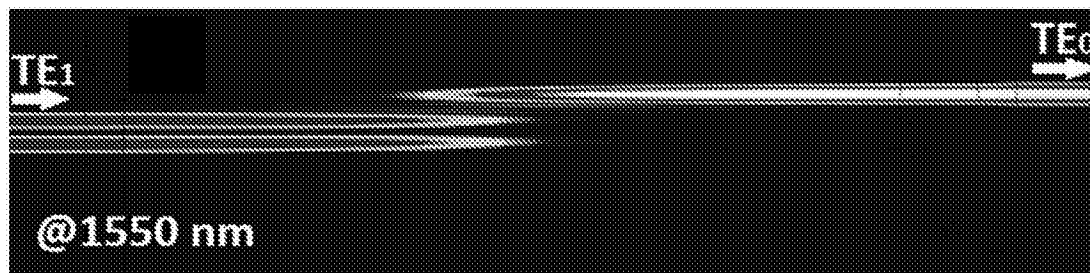


图 18

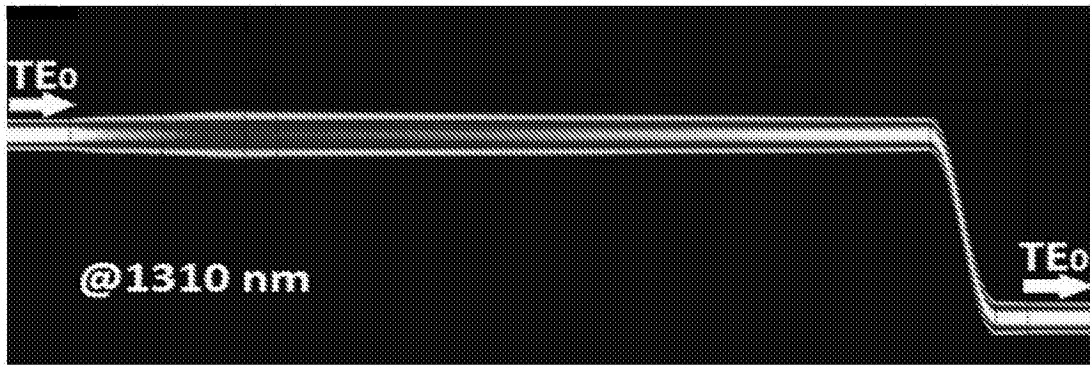


图 19

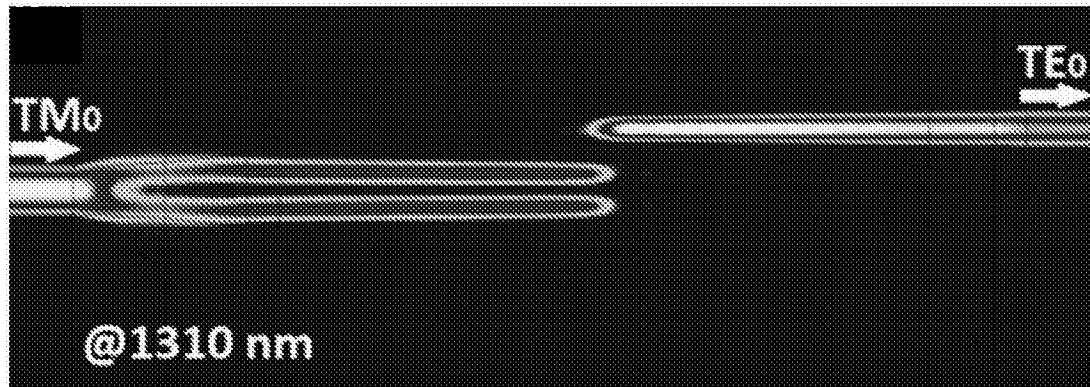


图 20

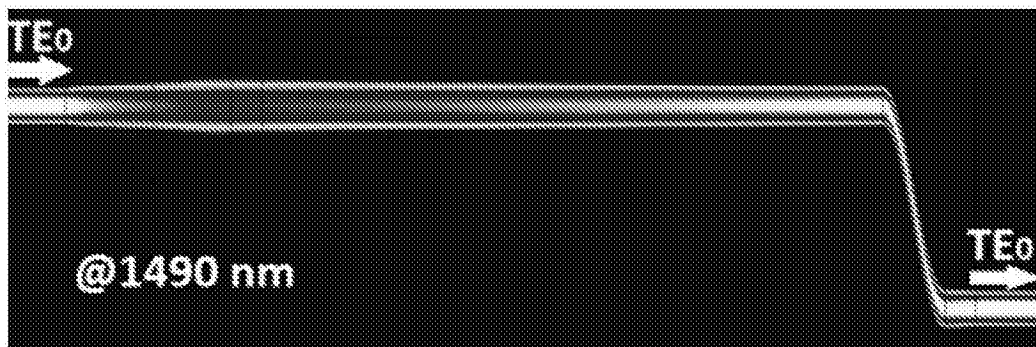


图 21

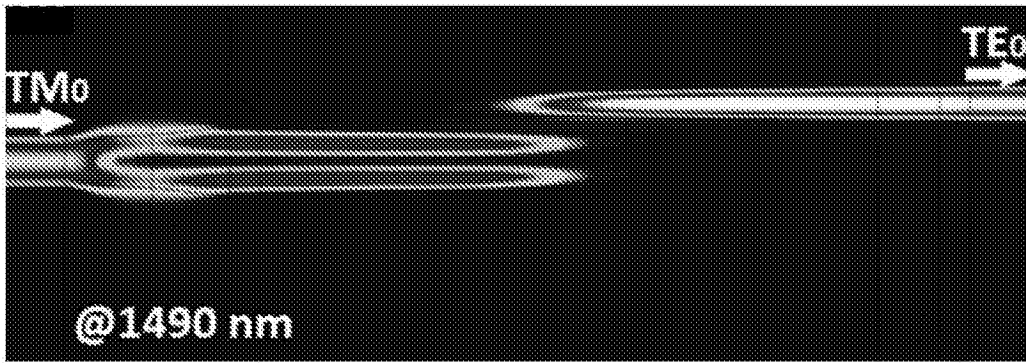


图 22

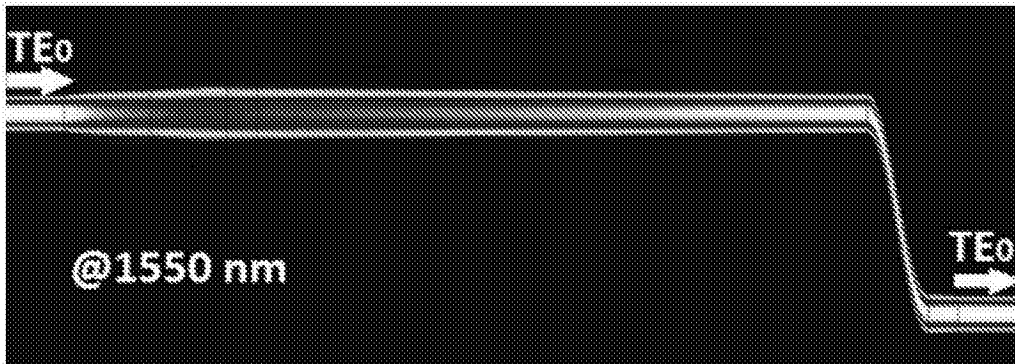


图 23

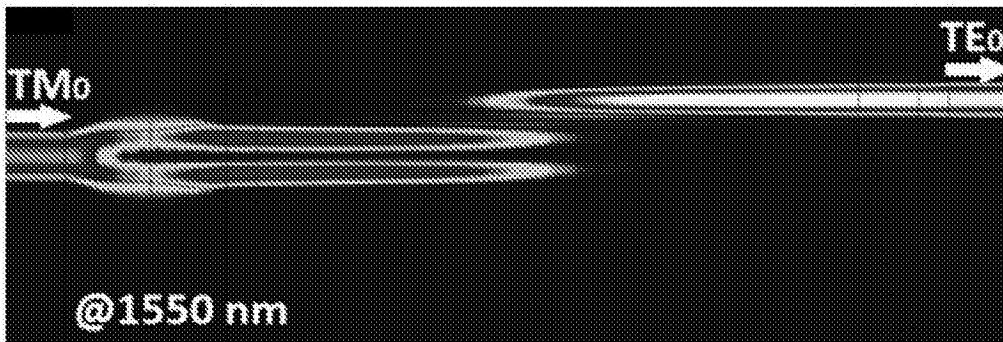


图 24

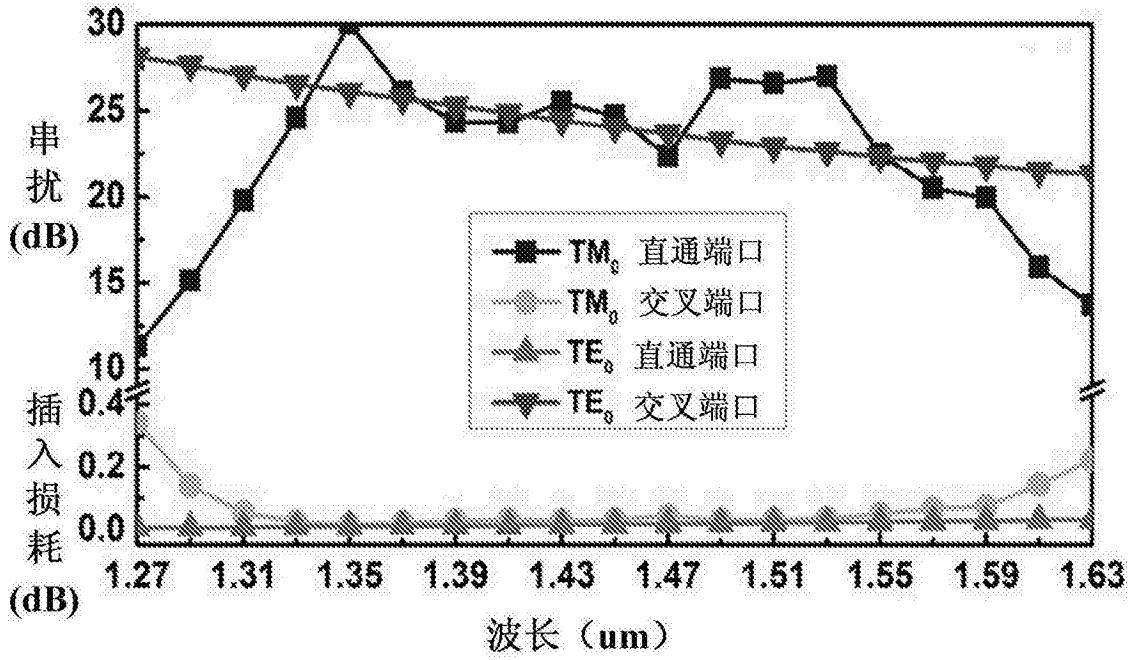


图 25

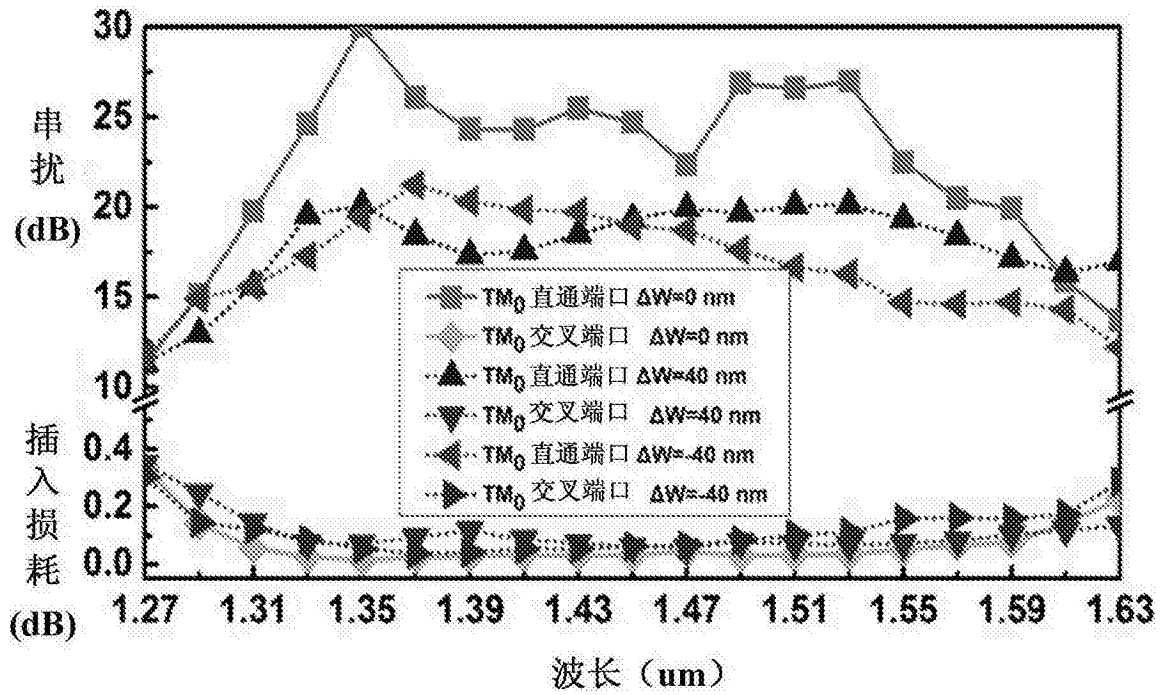


图 26

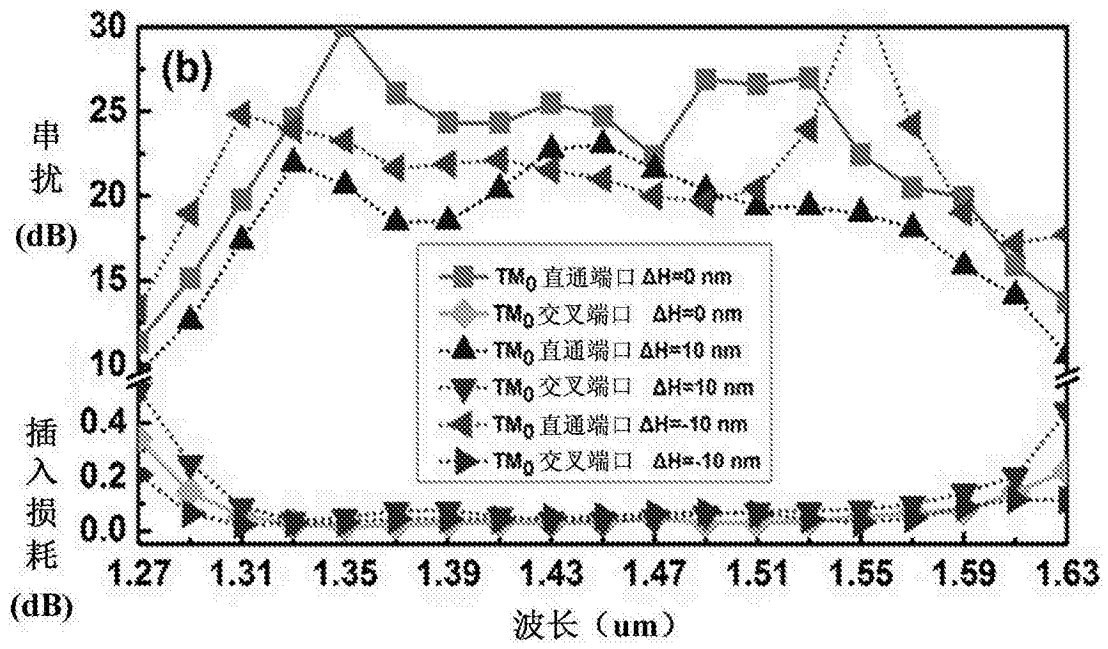


图 27