

片上集成波分复用器及芯片

技术领域

[0001] 本申请涉及光通信技术领域，具体涉及一种片上集成波分复用器及芯片。

背景技术

[0002] 随着当今信息社会的不断发展，人们对光传输的容量和带宽的需求呈指数型增长，对大容量光互连的需求迅速增长。众所周知，波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术是用于提高光通信容量的有效手段，同时结合光子集成芯片技术，可有效减小器件的尺寸，提高系统的集成度。对于具有较窄通道间隔(例如0.8nm)的密集波分复用(DWDM)系统，其主要难点是对激光源或DWDM滤光器的微小波长偏移非常敏感。例如，由于环境温度的变化而引起的波长偏移通常对硅基上的DWDM非常不利，所以基于硅基的DWDM器件通常需要增加复杂且昂贵的波长调谐和微调结构。

[0003] 另一方面，粗波分复用(CWDM)技术由于具有较大的通道间隔(例如20nm)而成为更多人的选择，通道间隔加大，对波长偏移不敏感，可以大大放宽对激光器和WDM滤光器的波长控制的要求。因此，它在例如数据中心等短距离光学互连中变得更受欢迎。CWDM器件的常用结构类型有阵列波导光栅(Array Waveguide Gratings, AWG)、刻蚀衍射光栅和布拉格光栅等。其中，基于AWG/刻蚀衍射光栅的CWDM滤波器可以提供较低的串扰，但具有顶部不平坦和较大的附加损耗等缺点。基于布拉格光栅的CWDM具有较低的附加损耗(<1dB)和较大的1dB带宽，但是具有较高的串扰。

[0004] 在高速和大容量的光通信中，波分复用(WDM)是一项用于提高光通信容量的有效手段，同时结合光子集成芯片，可有效减小器件的尺寸，提高系统的集成度，其关键器件是波分复用器件(MUX)和波分解复用器件(DEMUX)。平面波导型MUX的主要结构有阵列波导光栅、刻蚀衍射光栅和级联马赫曾德尔干涉仪(MZI)等。常用技术中涉及的一种平面波导型的MUX，一般结构如下：

[0005] 如图1a所示，以四通道的波分复用为例，常用的硅光芯片中的基于级联马赫-

曾德尔干涉仪（MZI）结构的波分复用器由3个通过并联及级联方式连接的马赫-曾德尔干涉仪10'构成，其中，每个马赫-曾德尔干涉仪10'包括两个 2×2 的3dB耦合器11'和两个连接臂12'、一个监视探测器13'，其中一个连接臂为可调相移臂(图中以虚线表示)。上述常用的波分复用器在使用时需要结合监视探测器13'对级联的各个马赫-曾德尔干涉仪10'的可调相移臂进行闭环调节，由此导致调节过程不方便，功耗较大。并且需要在相移臂附近设置加热件，所述加热件用于通过其温度值的改变以改变所述相移臂的光学参数值，以相应地调整经由相移臂的光信号的相位，但设置加热件需要消耗额外的功耗，且不同加热件之间可能存在热串扰。此外，3dB耦合器11'的光学带宽有限，因此，多个级联的马赫-曾德尔干涉仪10'的波分复用器的光路中具有多个3dB耦合器11'，显著降低了波分复用器的性能。再者，上述常用的波分复用器不利于晶圆级芯片测量判定光子集成芯片的性能。

[0006] 如图1b所示，常用的硅光芯片中的基于阵列波导光栅结构的波分复用器件，该阵列波导光栅结构130'中包括多个阵列波导131'（也称之为波导通道），阵列波导131'采用直线型的波导结构。以四通道的波分复用为例，工作时，四路入射光信号 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 在经过阵列波导光栅结构130'中的多个阵列波导131'的相位调制后合成一束第一级合波光信号（ $\lambda_1/\lambda_2/\lambda_3/\lambda_4$ ）。由于该常用的基于阵列波导光栅结构的波分复用器的单模平顶结构的需求导致器件具有较大的损耗，而且较难保证波分复用器件中心波长的稳定。

[0007] 如图1c所示，常用的硅光芯片中的基于刻蚀衍射光栅结构的波分复用器件，该刻蚀衍射光栅结构140'包括输入波导（141'、142'、143'、144'）、输出波导145'、罗兰圆150'以及凹面光栅151'，罗兰圆150'内部为自由传播区域，凹面光栅151'的反射面由多个子曲面（图未示出）组成，多个子曲面能够实现光信号的复用。其中，输入波导（141'、142'、143'、144'）和输出波导145'均设置在罗兰圆150'上。以四通道的波分复用为例，工作时，四路入射光信号 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 在经过罗兰圆150'的内部后，生成四个输入模斑，随后四个输入模斑进入罗兰圆150'的自由传播区域传播，入射到凹面光栅151'的反射面，经凹面光栅151'反射、聚焦后，从输出波导145'输出一束第

一级合波光信号 (λ_1/λ_3)。由于该常用的基于刻蚀衍射光栅结构的波分复用器的单模平顶结构的需求导致器件的损耗较大, 而且难以保证波分复用器件中心波长的稳定。

[0008] 理想的波分复用器件应该是纯被动而不需要进行调节的, 然而, 由于硅基波分复用器中的光波导器件会受到加工工艺引起的宽度、倾角变化、硅片波导厚度的变化以及温度的变化等影响, 造成硅基波分复用器件的中心波长的偏移, 由此, 常用的硅基波分复用器件的中心波长的偏移会引起相邻通道的光信号之间发生串扰。

发明概述

技术问题

[0009] 本申请的目的在于提供一种片上集成波分复用器及芯片, 具有低损耗、相对宽且平顶通带、纯被动等特点, 且能够解决波分复用器件中心波长偏移的问题。

问题的解决方案

技术解决方案

[0010] 根据本申请的一个方面, 提供了一种片上集成波分复用器, 所述波分复用器包括总线波导、设于所述总线波导上的至少两个级联的波分复用单元; 每个所述波分复用单元包括两个输入端口和一个输出端口, 其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波, 并将合波光信号从所述输出端口输出, 其中, 第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号, 或者, 第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收具有偏振态的一束入射光信号, 另一个不用于接收光信号;

[0011] 每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号, 另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号, 且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中, 所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同; 其中, 各个所述入射光信号具有不同的波长。

[0012] 根据本申请的一个实施例, 每个波分复用单元由下列结构的任一种构成: 模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构、反向布拉格光栅定向耦合器结构。

[0013] 根据本申请的一个实施例, 所述波分复用器还包括至少一个偏振旋转器件, 用

于接收原始入射光信号并改变所述原始入射光信号的偏振态，所有原始入射光信号具有相同的偏振态，其中，针对所述第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，所述第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个将对应的偏振旋转器件对所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号；相邻的两个非第一级波分复用单元中的一个将对应的偏振旋转器件对所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号。

- [0014] 根据本申请的一个实施例，每个所述偏振旋转器件将接收到的所述原始入射光信号的原始偏振态改变成与该原始偏振态垂直的偏振态。
- [0015] 根据本申请的一个实施例，在波长上相邻的两个具有同一偏振态的入射光信号的中心波长之间的差值大于预设的波长差阈值。
- [0016] 根据本申请的一个实施例，各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，并且从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口按照各个所述入射光信号的波长大小的顺序依次或者逆序依次接收对应的入射光信号。
- [0017] 根据本申请的一个实施例，所述片上集成波分复用器是硅基波分复用器。
- [0018] 根据本申请的一个实施例，各级所述波分复用单元是由模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构；其中，针对每个波分复用单元：该波分复用单元中的模式复用器包括第一端口、第二端口以及第三端口，所述第一端口和第二端口分别用于输出合波光信号以及接收对应的所述入射光信号，所述第三端口连接该波分复用单元中的多模布拉格光栅的输出端口；若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，另一端与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口连接；若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收对应的入射光信号，另一端与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口连接。
- [0019] 根据本申请的一个实施例，每个所述模式复用器包括直通波导和交叉波导，所

述直通波导的两端分别作为所述第一端口和所述第三端口，所述交叉波导临近所述第一端口的一端作为所述第二端口；其中，所述直通波导和所述交叉波导用于进行模式耦合。

[0020] 根据本申请的一个实施例，针对每个波分复用单元，所述多模布拉格光栅的光栅周期与该波分复用单元的原始入射光信号的波长相匹配。

[0021] 根据本申请的一个实施例，各级所述波分复用单元是由反向布拉格光栅定向耦合器结构构成；所述波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器包括第四端口、第五端口以及第六端口，所述第四端口和第五端口分别用于接收对应的所述入射光信号以及输出合波光信号，若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号；若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收对应的入射光信号。

[0022] 根据本申请的一个实施例，每个所述波分复用单元的入射光信号的频谱包括至少一个1dB平顶，其中，每个所述1dB平顶是光衰减1dB范围内所对应的波长范围，并且每个1dB平顶所对应的波长范围大于12纳米。

[0023] 根据本申请的一个实施例，每个所述波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围与另一个相邻的波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围部分重叠。

[0024] 根据本申请的一个实施例，所述波分复用器包括n个级联的波分复用单元；所述波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构或反向布拉格光栅定向耦合器结构；所述波分复用单元具有1dB平顶范围；当波长为 λ_1 、 λ_2 、……、 λ_{n+1} 的n+1束入射光信号输入至所述片上集成波分复用器时，所述片上集成波分复用器将n+1束入射光信号合成一束光输出；所述n+1束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反；n+1束入射光信号的波长值在对应的所述波分复用单元的1dB平顶范围的中心波长附近；其中，n为大于1的自然数。根据本申请的一个实施例，中心波长相邻的两个波分复用单元的1dB平顶范围部分重叠。

- [0025] 根据本申请的一个实施例，所述波分复用单元的1db平顶范围的宽度为20-50nm。
- [0026] 根据本申请的一个实施例，中心波长相邻的两个波分复用单元的中心波长相距15-25nm。
- [0027] 根据本申请的一个实施例，所述片上集成波分复用器还包括偏振旋转器，所述偏振旋转器与所述波分复用单元相连，所述偏振旋转器对输入至所述波分复用单元的光进行偏振态旋转，使输入至波分单元的n+1束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反。
- [0028] 根据本申请的一个实施例，所述片上集成波分复用器中的一部分波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构，另一部分波分复用单元为反向布拉格光栅定向耦合器结构。
- [0029] 根据本申请的一个实施例，每个所述波分复用单元的结构适于处理相应偏振态和相应波长的入射光信号。
- [0030] 根据本申请的又一方面，提供了一种芯片，所述芯片包括前述任一实施例所述的片上集成波分复用器。

发明的有益效果

有益效果

- [0031] 在本申请实施例提供的片上集成波分复用器及芯片中，所述波分复用器包括总线波导、设于所述总线波导上的至少两个级联的波分复用单元；每个所述波分复用单元包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出，以实现对不同波长的入射光信号的复用。由于采用至少两个波分复用单元级联的结构能够为片上集成波分复用器提供相对宽且平顶的通带，并且具有低损耗、纯被动等特点，且能够解决波分复用器件中心波长偏移可能带来的相邻通道串扰问题。

对附图的简要说明

附图说明

- [0032] 下面结合附图，通过对本申请的具体实施方式详细描述，将使本申请的技术方

案及其它有益效果显而易见。

- [0033] 图1a为常用的硅光芯片中的MZI型片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0034] 图1b为常用的硅光芯片中的采用阵列波导光栅结构的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0035] 图1c为常用的硅光芯片中的采用刻蚀衍射光栅结构的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0036] 图2a-图2b为本申请一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0037] 图2c为本申请又一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0038] 图3为图2a-图2b示出的片上集成波分复用器中的单个波分复用单元的结构示意图；
- [0039] 图4为图3中A-A截面结构示意图；
- [0040] 图5为图2a-图2b示出的片上集成波分复用器中的偏振旋转器（PR）的结构示意图；
- [0041] 图6为本申请又一实施例提供的三通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0042] 图7为本申请又一实施例提供的八通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0043] 图8为本申请实施例中单个波分复用单元的原始入射光信号中心波长为1311nm附近的光束的滤波光谱图；
- [0044] 图9为本申请一实施例中四通道的片上集成波分复用器的总的仿真光谱图；
- [0045] 图10为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0046] 图11为图10示出的片上集成波分复用器中的反向布拉格光栅定向耦合器的结构示意图；
- [0047] 图12为本申请另一实施例提供的八通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0048] 图13为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图；
- [0049] 图14为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

- [0050] 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、

完整地描述。显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

[0051] 文中的术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个所述特征。在本申请的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

[0052] 在本申请的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接或可以相互通讯；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0053] 下文的公开提供了许多不同的实施方式或例子用来实现本申请的不同结构。为了简化本申请的公开，下文中对特定例子的部件和设置进行描述。当然，它们仅仅为示例，并且目的不在于限制本申请。此外，本申请可以在不同例子中重复参考数字和/或参考字母，这种重复是为了简化和清楚的目的，其本身不指示所讨论各种实施方式和/或设置之间的关系。

[0054] 实施例一

[0055] 图2a-图2b为本申请一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图；图3为图2a-图2b示出的片上集成波分复用器中的单个波分复用单元的结构示意图；图4为图3中A-A截面结构示意图。

[0056] 参阅图2a-图4所示，本申请一实施例提供了一种片上集成波分复用器，包括基板，设于基板上的总线波导10、以及设于总线波导10上的至少两个级联的波分复用单元20。每个所述波分复用单元20包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出，其中，第一级波分复用单元20的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，或者，第一级波分复用单元的两个输入端口

中的一个用于接收具有偏振态的一束入射光信号，另一个不用于接收入射光信号；每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且相邻的两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同；其中，各个所述入射光信号具有不同的波长。

[0057] 在本发明实施例提供的片上集成波分复用器中，由于第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，故能够实现对两路中心波长的相差较近的入射光信号进行合波。并且由于每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中，所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，以实现对不同波长的入射光信号的复用。采用本发明实施例提供的片上集成波分复用器能够为片上集成波分复用器提供相对宽且平顶的通带，并且具有低损耗、纯被动等特点，且能够解决波分复用器件中心波长偏移可能带来的相邻通道串扰问题。

[0058] 如图3所示，为单个波分复用单元20的结构示意图，图中省略了基板及覆盖层等结构，只显示总线波导及各元件结构。图4为图3中A-A截面结构示意图，该波分复用单元20形成于绝缘体上硅（SOI）结构的平面波导上，包括基板101、埋氧层102、总线波导10和覆盖层103。这里，基板101为硅基板，埋氧层102为二氧化硅，总线波导10为硅材料的条波导，覆盖层103为二氧化硅。在其他实施例中，总线波导10也可以是脊波导或其它材料的波导，如氮化硅（SiN）、氮氧化硅（SiON）、氧化硅（SiO₂）、磷化铟（InP）、氮化镓（GaN）或铌酸锂（LiNbO₃）等。上述片上集成波分复用器是硅基波分复用器，其包括硅基衬底，在硅基衬底上设置级联的至少两个波分复用单元20；或者，该波分复用器也可以设于其它结构的平面波导上，基板也可以采用其它材料的基板，如铌酸锂基板、磷化铟基板或氮化镓基板等。本发明在此不做限制。

[0059] 示例性地，该波分复用单元20包括模式复用器21和多模布拉格光栅22。若输入光的偏振模式是TE模式的话，则该模式复用器21用于使输入光以TE₁（Transver

se Electric

mode, 横电模) 模式或者更高阶模式的光入射到多模布拉格光栅22内, 若输入光的偏振模式是TM模式的话, 则该模式复用器21用于使输入光以TM1 (Transverse Electric

mode, 横磁模) 模式或者更高阶模式的光入射到多模布拉格光栅22内。其中, 模式复用器21包括第一端口211、第二端口212以及第三端口213。第一端口211和第二端口212分别用于输出合波光信号以及接收对应的入射光信号, 所述第三端口213连接该波分复用单元20中的多模布拉格光栅22的输出端口。上述至少两个级联的波分复用单元20中, 因不同单元的波分复用单元20的多模布拉格光栅22具有不同的光栅周期, 故在附图2b中为了加以区别分别使用标记22a、22b、22c……来进行标记。同样地, 因不同单元的波分复用单元20的模式复用器21也是不同的, 故在附图2b中为了加以区别分别使用标记21a、21b、21c……来进行标记。其中, 针对每个波分复用单元20, 所述多模布拉格光栅22的光栅周期与该波分复用单元20的原始入射光信号的波长相匹配。具体地, 所述多模布拉格光栅22反射与其光栅周期(图3中的 Λ 表示为相应的多模布拉格光栅的周期)满足谐振条件的特定波长 $\lambda_i \pm \Delta \lambda$ 的光, 并透射其它剩余波长的光, 并将反射的所述特定波长 λ_i 的光转换为低阶模式返回所述模式复用器。也就是说, 针对每个波分复用单元20中的所述多模布拉格光栅22, 其仅对特定的波长和特定的偏振光起到反射作用, 而对于特定的波长以外的其它剩余波长的光全部以透射的形式穿过。

[0060] 在本发明实施例中, 如图3所示, 模式复用器21包括直通波导214和交叉波导215, 直通波导214的两端分别作为所述第一端口211和所述第三端口213, 交叉波导215临近所述第一端口211的一端作为第二端口212。交叉波导215和直通波导214用于进行模式耦合。在其他实施例中, 模式复用器21可以采用其它模式复用结构。示例性地, 所述模式复用器21被设计为由所述第二端口212输入TE0模式的光, 经所述模式复用器21转变为TE1模式或者更高阶模式的光通过直通波导214从所述第三端口213输出, 所述第三端口213输出的TE1模式或者更高阶模式的光经过与之相匹配的多模布拉格光栅反射转变为TE0模式的光直接从直通波导

214经由所述第一端口211输出TE0模式的光。

[0061] 在该实施例中，模式复用器21是采用绝热耦合器型模式复用器，在其他实施例中，模式复用器21也可以是定向耦合器型模式复用器或非对称分支型模式复用器等。

[0062] 上述多模布拉格光栅中的光栅图案可以通过例如深蚀刻进入光波导的边缘以沿着光波导的长度产生周期性光栅图案来形成。在一些实施例中，光栅图案由氮化硅或氮氧化硅材料形成。例如，氮化硅或氮氧化硅材料可以沉积在氧化硅层上，并且使用干法刻蚀工艺形成光波导。由于氮化硅或氮氧化硅的热-光系数都小于单体硅的热-光系数，使得所述多模布拉格光栅（以及相关的波分复用器件）在操作期间对温度变化不太敏感。在一些情况下，较低的温度灵敏度意味着在操作期间不需要对波分复用器件（或者光学设备）的热调谐。光栅图案可以具有任何可选实施方式，例如，使用掩埋光栅层来形成一个或者多个光栅图案。此外，假如所述多模布拉格光栅的长度足够长（例如，在光纤内实现）的情况下，每个光栅可以彼此间隔开。

[0063] 进一步地，继续参考图2b所示，所述波分复用器还包括至少一个偏振旋转器件（Polarization Rotator, PR）220，所述偏振旋转器件220用于接收原始入射光信号并改变所述原始入射光信号的偏振态，所述偏振旋转器件220的输入端口与所述模式复用器21的一个输入端口（例如，第一端口）光耦合，以将偏振态改变后的入射光信号输入至模式复用器21的第一端口。在这里，所有原始入射光信号具有相同的偏振态。其中，所述第一级波分复用单元20a的两个输入端口中的一个将对应的偏振旋转器件220对所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号；相邻的两个非第一级波分复用单元中的一个将对应的偏振旋转器件对所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号。

[0064] 图5为图2a-图2b示出的片上集成波分复用器中的偏振旋转器（PR）的结构示意图。

[0065] 如图5所示，在本实施例中，所述偏振旋转器件220用于将接收到的光束的原始

偏振态改变成与所述原始偏振态垂直的偏振态。该偏振旋转器件（PR）220包括一脊波导221和位于脊波导221一侧的部分平面波导222。其中，脊波导221包括依次连接的第一楔形结构221a、线性结构221b和第二楔形结构221c。第一楔形结构221a作为偏振旋转器件220的输入端，其宽度沿光路方向逐渐变窄直至与线性结构221b平齐并连接，第二楔形结构221c的宽度沿光路方向逐渐变宽，直至与外部光波导连接。部分平面波导222的高度低于脊波导221的高度。部分平面波导222包括位于脊波导221同一侧且相互连接的第三楔形结构222a和第四楔形结构222b。第三楔形结构222a紧邻第一楔形结构221a的侧面，第四楔形结构222b紧邻线性结构221b的侧面，第三楔形结构222a的尖端紧贴第一楔形结构221a较宽一端的侧面，第四楔形结构222b的尖端临近第二楔形结构221c较窄一端。线偏振光从脊波导221的第一楔形结构221a较宽的一端入射，在第一楔形结构221a和线性结构221b段，光模式分布到脊波导221和平面波导222内，使其偏振态发生旋转，在入射到第二楔形结构221c时偏振态已经旋转90度，再通过第二楔形结构221c耦合到外部光波导内。

[0066] 示例性地，以光通信模块中常用的CWDM4要求的1261nm至1341nm范围内包含的四波长的波分复用为例，假设四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 （波长从小到大排列），则至少需要三个波分复用单元级联。如图2b、图3所示，本实施例中的片上集成波分复用器包括：总线波导10、设于所述总线波导10上的级联的第一级波分复用单元20a、第二级波分复用单元20b、第三级波分复用单元20c，以及两个偏振旋转器件220。每个波分复用单元20包括两个输入端口和一个输出端口，波分复用单元20用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出，以实现不同波长的入射光信号的复用。其中，单个波分复用单元20a、20b、20c包括模式复用器21和多模布拉格光栅22a、22b、22c，三个波分复用单元分别对应第一多模布拉格光栅22a、第二多模布拉格光栅22b和第三多模布拉格光栅22c，三个波分复用单元20a、20b、20c的各个多模布拉格光栅均具有不同的光栅周期，分别用于反射 λ_3 、 λ_2 和 λ_1 波长的光，并透射其它剩余波长。例如，第一多模布拉格光栅22a透射 λ_4 的光，第二多模布拉格光栅22b透射 λ_3/λ_4 的合波光信号，第三多模布拉格光栅22c透射 λ_2/λ_3 的合波光信号，第四多模布拉格光栅22d透射 λ_1/λ_2 的合波光信号。

2c透射 $\lambda_2/\lambda_3/\lambda_4$ 等波长的合波光信号。

[0067] 上述三个波分复用单元中的每个模式复用器21包括第一端口211、第二端口212和第三端口213；所述第一端口211和所述第二端口212分别用于输出合波光信号以及接收对应的入射光信号，所述第三端口213连接该波分复用单元中的对应的多模布拉格光栅的输出端口。若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，另一端与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口连接；若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收对应的入射光信号，另一端与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口213连接。

[0068] 在图2b中，各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，从级联的波分复用单元的第一级开始，四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 （波长从小到大排列）中的 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 分别逆序依次输入至三个波分复用单元20a、20b、20c的三个模式复用器21的第二端口212。具体地，第一多模布拉格光栅22a经由第一模式复用器21a的所述第三端口213接收波长为 λ_3 的入射光信号，第一多模布拉格光栅22a用于反射波长为 λ_3 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_3 的入射光信号反射回模式复用器21；第二多模布拉格光栅22b经由第二模式复用器21b的所述第三端口213接收波长为 λ_2 的入射光信号，第二多模布拉格光栅22b用于反射波长为 λ_2 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_2 的入射光信号反射回模式复用器21；第三多模布拉格光栅22c经由第三模式复用器21c的所述第三端口213接收波长为 λ_1 的入射光信号，第三多模布拉格光栅22c用于反射波长为 λ_1 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_1 的入射光信号反射回模式复用器21。这里，所述模式复用器21例如被设计为由所述第二端口212接收到的TE0模式的光，经所述模式复用器21转变为TE1模式或者更高阶模式的光通过直通波导从所述第三端口213输出，所述第三端口213输出的TE1模式或者更高阶模式的光经过与之相匹配的多模布拉格光栅反射转变为TE0模式的光直接从直通波导214经由所述第一端口211输出TE0模式的光。

- [0069] 工作时, 波长 λ_1 (TE0) 光输入至第三级波分复用单元20c的模式复用器21的第一端口211后, 然后经TE模式的模式复用器21转变为 λ_1 的TE1模式或者更高阶模式, 该 λ_1 的TE1模式或者更高阶模式经过第三多模布拉格光栅22c后反射转变为 λ_1 的TE0模式, 并将反射回的波长 λ_1 的TE0模式光从TE模式的模式复用器21的第三端口213输出。
- [0070] 波长 λ_2 (TE0) 光输入至偏振旋转器件 (PR), 转变为 λ_2 (TM0 (Transverse Magnetic mode, 横磁模)), 然后输入至第二级波分复用单元20b的模式复用器21的第二端口212后, 经过TM模式的第二模式复用器21b转变为 λ_2 的TM1模式或者更高阶模式, 该 λ_2 的TM1模式或者更高阶模式经过第二多模布拉格光栅22b后反射转变为 λ_2 的TM0模式, 并将反射回的波长 λ_2 的TM0模式光从TM模式的模式复用器21的第三端口213输出, 随后从第二级波分单元20b的输出端口输出, 然后经过第三级波分单元20c保持不变, 并从所述第三级波分单元20c的输出端口输出。
- [0071] 波长 λ_3 (TE0) 光输入至第一级波分复用单元20a的模式复用器21的第二端口212后, 然后经TE模式的第一模式复用器21a转变为 λ_3 的TE1模式或者更高阶模式, 该 λ_3 的TE1模式或者更高阶模式经过第一多模布拉格光栅22a后反射转变为 λ_3 的TE0模式, 并将反射回的波长 λ_3 的TE0模式光从TE模式的模式复用器21的第三端口213输出, 随后从第一级波分单元20a的输出端口输出, 然后经过第二级波分单元20b、第三级波分单元20c后保持不变, 并从所述第三级波分单元20c的输出端口输出。
- [0072] 波长 λ_4 (TE0) 的光输入至偏振旋转器件 (PR), 转变为 λ_4 (TM0), 经过第一多模布拉格光栅22a后保持不变, 经过第一级波分复用单元20a的模式复用器21的第三端口输出后保持不变, 然后经过第二级波分复用单元20b和第三级波分复用单元20c仍然保持不变, 最终从第三级波分复用单元20c的一个输出端口输出。
- [0073] 需要说明的是, 在该实施例中, 针对每个波分复用单元, 设计时会使其中心波长 λ_0 (中心波长设计时期望通过的光的波长) 处的损耗尽量小, 且使中心波长 $\lambda_0 \pm \Delta \lambda$ (其中 $\Delta \lambda$ 是系统对片上集成波分复用器件需求的通带宽度) 范围的

损耗相比于中心波长的损耗小于1dB以内。其中， $\lambda_0 \pm \Delta \lambda$ 称为该波分复用单元的1dB平顶范围。其中，每个所述1dB平顶范围是光衰减1dB范围内所对应的波长范围，并且每个1dB平顶所对应的波长范围大于12纳米。进一步地，不同波分复用单元中输入的两束入射光信号中的两个1dB平顶所对应的波长范围间隔一定距离。为了使中心波长相邻的两束入射光信号能够很好的分离出来，可以使中心波长相邻的两束入射光信号具有不同的偏振态，实现了中心波长相邻的两束入射光信号合波复用。并且，每个所述波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围与另一个相邻的波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围部分重叠。对于本发明实施例中的波分复用器的输出端而言，在波长上相邻的两个具有同一偏振态的入射光信号的中心波长之间的差值大于预设的波长差阈值，此波长差阈值大于1dB平顶所对应的波长范围。例如，在波长上相邻的两个具有同一偏振态的入射光信号的中心波长之间的差值大于20nm，以避免中心波长相邻的两束入射光信号的串扰问题。优选地，所述波分复用单元的1dB平顶范围的宽度为20-50nm。优选地，中心波长相邻的两个波分复用单元的中心波长相距15-25nm。

[0074] 图8为本申请实施例中单个波分复用单元的原始入射光信号中心波长为1311nm附近的光束的滤波光谱图。图9为本申请一实施例中四通道的片上集成波分复用器的总的仿真光谱图。

[0075] 示例性地，如图8和图9所示，图8可以代表其中一个波分复用单元内的一个平顶结构的光谱图。从图中可以看出该波分复用单元内具有至少一个1dB平顶（图中横轴平坦部分）。示例性地，图8中示意的1个1dB平顶所对应的波长的中心波长在1311nm。1dB平顶所对应的波长范围约为40nm（图中平坦部分的宽度）。故其能够容忍波导宽度、高度、倾角以及温度变化等因素对中心波长偏移的影响，降低了该波分复用单元对波导宽度、高度或倾角的敏感性。

[0076] 如图9所示，中心波长1271nm和中心波长1291nm所对应的1dB平顶范围部分重合，中心波长1291nm和中心波长1311nm所对应的1dB平顶范围部分重合，中心波长1311nm和中心波长1331nm所对应的1dB平顶范围部分重合。但由于这些中心波长交叉分布于不同的波分复用单元中，并且相邻的两个非第一级波分复用单元的

输入端口输入的入射光的偏振态不同，从而使这些中心波长的1dB平顶范围所对应的波长范围能够错开，以使能够实现合波的功能。另外，针对第一级波分复用单元的两个输入端口，分别被输入不同偏振态的入射光信号，并且两个入射光信号的波长可以间隔预定距离，以提高合波效果和吸收公差。例如，该间隔的预定距离可以小于5纳米。需要说明的是，本实施例中，不同的波分复用单元的相邻的两个1dB平顶的间隔是指两个1dB平顶边缘之间的距离，而非指两个1dB平顶的中心之间的距离。

[0077] 实施例二

[0078] 图2c为本申请又一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0079] 如图2c所示，与图2b不同的是，从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 （波长从小到大排列）中的 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 分别顺序依次输入至三个波分复用单元20a、20b、20c的三个模式复用器21的第二端口212。

[0080] 具体地，第一多模布拉格光栅22a经由第一模式复用器21a的所述第三端口213接收波长为 λ_2 的入射光信号，第一多模布拉格光栅22a用于反射波长为 λ_2 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_2 的入射光信号反射回第一模式复用器21a；第二多模布拉格光栅22b经由第二模式复用器21b的所述第三端口213接收波长为 λ_3 的入射光信号，第二多模布拉格光栅22b用于反射波长为 λ_3 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_3 的入射光信号反射回第二模式复用器21b；第三多模布拉格光栅22c经由第三模式复用器21c的所述第三端口213接收波长为 λ_4 的入射光信号，第三多模布拉格光栅22c用于反射波长为 λ_3 的入射光信号，并透射其它剩余波长的光信号，并将波长为 λ_4 的入射光信号反射回第三模式复用器21c。这里，所述模式复用器21a、21c例如被设计为由所述第二端口212输入TE₀模式的光，经所述模式复用器21a、21c转变为TE₁模式或者更高阶模式的光通过直通波导从所述第三端口输出，所述第三端口213输出的TE₁模式或者更高阶模式的光经过与之相匹配的多模布拉格光栅反射转变为TE₀模式的光直接从直通波导214经由所述第一端口211输出TE₀模式的光。

[0081] 应理解，基于各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，并且第一级波分复用单元中的两个入射端口被输入的入射光信号的偏振态不同，并且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中，所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，故只需要满足这三个条件，并不严格要求从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口按照各个所述入射光信号的波长大小的顺序或者逆序依次接收对应的入射光信号。也可以是从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口打乱顺次的接收入射光信号。

[0082] 实施例三

[0083] 图6为本申请又一实施例提供的三通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0084] 如图6所示，图6与图2b的差异仅在于，图6为实现三个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 （波长从小到大排列）的复用，则图6中需要两个波分复用单元级联。具体地，作为该三通道的片上集成波分复用器的一个实施例，包括级联的第一级波分复用单元20a和第二级波分复用单元20b，以及一个偏振旋转器件220。其余实现方式同图2b的实现方式类似，在此不再赘述。

[0085] 实施例四

[0086] 图7为本申请又一实施例提供的八通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0087] 如图7所示，图7与图2b的差异仅在于，图7为实现八个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 、 λ_8 （波长从小到大排列）的复用，则图7中需要七个波分复用单元级联。具体地，作为该八通道的片上集成波分复用器的一个实施例，包括级联的第一级波分复用单元20a、第二级波分复用单元20b、第三级波分复用单元20c、第四级波分复用单元20d、第五级波分复用单元20e、第六级波分复用单元20f、第七级波分复用单元20g，以及四个偏振旋转器件220。应理解，若要实现更多个波长的复用，则在图7的基础上相应的增加所级联的波分复用单元的个数即可。在此不再赘述。

[0088] 上述使用波分复用单元是由模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构，采用至少两个波分复用单元级联的结构能够为片上集成波分复用器提供相对宽且平顶的通带，采用氮化硅或氧化硅基的多模布拉格光栅可以用于消除对温度控

制的需要从而降低波分复用器的功耗。此外，多模布拉格光栅能够实现非常低的插入损耗，使得波分复用器也具有较低的插入损耗，例如小于1~2分贝（dB）。此外，多模布拉格光栅可以具有较宽的通带和更大的制造公差。

[0089] 实施例五

[0090] 图10为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图，图11为图10示出的片上集成波分复用器中的反向布拉格光栅定向耦合器的结构示意图。

[0091] 示例性地，以光通信模块中常用的CWDM4要求的1261nm至1341nm范围内包含的四波长的波分复用为例，假设四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 （波长从小到大排列），则至少需要三个波分复用单元级联。如图10、图11所示，本实施例中的片上集成波分复用器包括：总线波导10、设于所述总线波导10上的级联的第一级波分复用单元40a、第二级波分复用单元40b、第三级波分复用单元40c，以及两个偏振旋转器件220。每个波分复用单元40a、40b、40c均包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从输出端口输出，以实现对不同波长的入射光信号的复用。其中，单个波分复用单元40a、40b、40c包括一个反向布拉格光栅定向耦合器结构46a、46b、46c。该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器46a、46b、46c中的每个均包括第四端口、第五端口以及第六端口，所述第四端口和第五端口分别用于接收对应的所述入射光信号以及输出合波光信号，若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号；若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收对应的入射光信号。

[0092] 具体地，该反向布拉格光栅定向耦合器结构46a、46b、46c中的每个均包括第一反向布拉格光栅定向耦合结构461和第二反向布拉格光栅定向耦合结构462。其中，第一级波分复用单元40a的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，每个非第一级波分复用单元40b、40c的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，

且相邻的两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同；其中，各个所述入射光信号具有不同的波长（ λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 具有预定的波长间隔）。

[0093] 如图11所示，示例性地，工作时，入射光信号 λ_3 （例如为TE模式）和 λ_4 （例如原始入射光信号为TE模式，在经过偏振旋转器件220后转变为TM模式）分别输入至第一级波分复用单元40a的两个输入端口。其中， λ_4 （TM模式）波长光信号由该第一级波分复用单元40a中的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461反向端口输入， λ_3 （TE模式）波长光信号由该第一级波分复用单元40a中的第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入。由于 λ_4 （TM模式）波长光信号是由所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的反向端口输入，故所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461对 λ_4 波长光信号（TM模式）不起作用， λ_4 波长光信号直接从所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口出射；而由于 λ_3 （TE模式）波长光信号是由所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入，故所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462对 λ_3 （TE模式）波长光信号起作用，该 λ_3 波长光信号从所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入后会经过所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的中心位置附近运行到所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461中，并从所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输出，使得两路入射光信号 λ_3 （TE模式）和 λ_4 （TM模式）具有一定的光程差，最终在所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输出的 λ_4 （TM模式）波长光信号和 λ_3 （TE模式）波长光信号发生汇聚耦合后生成合波光信号 λ_3 （TE）/ λ_4 （TM）。

[0094] 由于第二级波分复用单元40b的两个输入端口中的一个输入端口接收入射光信号，另一个输入端口输入上一级波分复用单元（第一级波分复用单元40a）的合波光信号，故，基于上述同样的方式，工作时，入射光信号 λ_2 （TE模式）输入至偏振旋转器件220后转变为TM模式，然后入射光信号 λ_2 （TM模式）在该第二级波分复用单元40b中的第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入，该 λ_2 （TM模式）波长光信号从所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入后会经过所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的中心位置附

近运行到所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461中，并从所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输出；由第一级波分复用单元40a输出的合波光信号 λ_3 (TE) / λ_4 (TM) 在该第二级波分复用单元40b中的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输入，最终在该第二级波分复用单元40b的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口发生汇聚耦合后生成合波光信号 λ_2 (TM) / λ_3 (TE) / λ_4 (TM)，以向下一级波分复用单元输出合波光信号 λ_2 (TM) / λ_3 (TE) / λ_4 (TM)。

[0095] 由于第三级波分复用单元40c的两个输入端口中的一个输入端口接收入射光信号，另一个输入端口输入上一级波分复用单元（第二级波分复用单元40b）的合波光信号，故，基于上述同样的方式，工作时，入射光信号 λ_1 (TE模式) 在该第三级波分复用单元40c中的第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入，该 λ_1 (TE模式) 波长光信号从所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入后会经过所述第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的中心位置附近运行到所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461中，并从所述第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输出；由第二级波分复用单元40b输出的合波光信号 λ_2 (TM) / λ_3 (TE) / λ_4 (TM) 在该第三级波分复用单元40c中的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输入，最终在该第三级波分复用单元40c中的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口发生汇聚耦合后生成合波光信号 λ_1 (TE) / λ_2 (TM) / λ_3 (TE) / λ_4 (TM)。

[0096] 上述至少两个级联的波分复用单元是由反向布拉格光栅定向耦合结构构成的，采用至少两个波分复用单元级联的结构能够为片上集成波分复用器提供相对宽且平顶的通带，此外，采用氮化硅或氧化硅基的反向布拉格光栅可以用于消除对激光源的温度控制和/或降低波分复用器的功耗。

[0097] 图10中，各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，并且从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口按照各个所述入射光信号的波长大小的逆序依次接收对应的入射光信号。在其他实施例中，从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口也可以按照各个所述入射光信号的波长大小的顺序依次接收对应的入射光信

号，本发明在此不再赘述。并且应理解，基于各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，并且第一级波分复用单元中的两个入射端口被所输入的入射光信号的偏振态不同，并且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中，所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，故只需要满足这三个条件，并不严格要求从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口按照各个所述入射光信号的波长大小的顺序或者逆序依次接收对应的入射光信号。也可以是从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口打乱顺次的接收入射光信号。上述的多种实施情形均在本发明的实施精神范围内。

[0098] 上述采用反向布拉格光栅定向耦合器结构的波分复用单元也能够实现对两路中心波长相差较近的入射光信号进行合波，并且由于每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且相邻的两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，使得所述波分复用器最终输出的所有合波光信号。故，即使相邻两个非第一级波分复用单元的入射光信号的中心波长的相差较近，也不会产生串扰问题，其具有低损耗、相对宽且平顶的通带、纯被动等特点，且能够解决器件中心波长偏移可能带来的相邻通道串扰问题。

[0099] 实施例六

[0100] 图12为本申请另一实施例提供的八通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0101] 图12与图10的差异仅在于，图12为实现八个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 、 λ_8 （波长从小到大排列）的复用，则图12中至少需要七个波分复用单元级联。具体地，该八通道的片上集成波分复用器包括：级联的第一级波分复用单元40a、第二级波分复用单元40b、第三级波分复用单元40c、第四级波分复用单元40d、第五级波分复用单元40e、第六级波分复用单元40f、第七级波分复用单元40g，以及四个偏振旋转器件220。应理解，若要实现更多个波长的复用，则在图12的基础上相应的增加所级联的波分复用单元的个数即可。在此不再赘述。

[0102] 可选地，在本申请的其他实施例中，片上集成波分复用器中的波分复用单元可

由下列结构的任一种构成：模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构、反向布拉格光栅定向耦合器结构。也就是说同一个集成波分复用器中的波分复用单元可以采用不同种类的结构，有的波分复用单元采用模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构，有的采用反向布拉格光栅定向耦合器结构。

[0103] 实施例七

[0104] 图13为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0105] 如图13所示，本实施例中的片上集成波分复用器包括：总线波导10、设于所述总线波导10上的级联的第一级波分复用单元20a、第二级波分复用单元40b、第三级波分复用单元20c，以及两个偏振旋转器件220。每个所述波分复用单元包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出，以实现对不同波长的入射光信号的复用。从级联的波分复用单元的第一级开始，四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 （波长从小到大排列）分别逆序依次输入至三个波分复用单元20a、40b、40c的输入端口。其中，第一级波分复用单元20a和第三级波分复用单元20c均包括模式复用器21c和多模布拉格光栅22c，第二级波分复用单元40b包括一个反向布拉格光栅定向耦合器结构46b；第一级波分复用单元20a和第三级波分复用单元20c分别对应第一多模布拉格光栅22a和第三多模布拉格光栅22c，第一多模布拉格光栅22a和第三多模布拉格光栅22c均具有不同的光栅周期，分别用于反射 λ_1 和 λ_3 波长的光，并透射其它剩余波长。第二级波分复用单元40b中的反向布拉格光栅定向耦合器结构46b包括第一反向布拉格光栅定向耦合结构461和第二反向布拉格光栅定向耦合结构462。由于第二级波分复用单元40b的两个输入端口中的一个输入端口接收入射光信号，另一个输入端口输入上一级波分复用单元（第一级波分复用单元20a）的合波光信号，故，工作时，入射光信号 λ_2 （TE模式）输入至偏振旋转器件220后转变为TM模式，然后入射光信号 λ_2 （TM模式）在该第二级波分复用单元40b中的第二反向布拉格光栅定向耦合结构462的正向端口输入，由第一级波分复用单元40a输出的合波光信号 λ_3 （TE）/ λ_4 （TM）在该第二级波分复用单元40b中的第一反向布拉格光栅定向耦合结构461的正向端口输入，最终在该第二级波分复用单元40b的第一反向布拉

格光栅定向耦合结构461的正向端口发生汇聚耦合后生成合波光信号 $\lambda_2(\text{TM}) / \lambda_3(\text{TE}) / \lambda_4(\text{TM})$ ，以向下一级波分复用单元输出合波光信号 $\lambda_2(\text{TM}) / \lambda_3(\text{TE}) / \lambda_4(\text{TM})$ 。

[0106] 可替换地，在其他实施例中也可将图13中的任一由模式复用器和多模布拉格光栅组合构成的波分复用单元替换为反向布拉格光栅定向耦合器结构。在此不再赘述。

[0107] 上述至少两个级联的波分复用单元由反向布拉格光栅定向耦合器结构以及模式复用器和多模布拉格光栅的组合结构的混合结构构成，也能够实现对多路入射光信号进行合波，并且由于每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且相邻的两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，使得所述波分复用器最终输出所有合波光信号。故，即使相邻两个非第一级波分复用单元的入射光信号的中心波长的相差较近，也不会产生串扰问题，其具有低损耗、相对宽且平顶的通带、纯被动等特点，且能够解决器件中心波长偏移带来的相邻通道串扰问题。

[0108] 实施例八

[0109] 图14为本申请另一实施例提供的四通道的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0110] 如图14所示，在本实施例中，相比于前述实施例，第一级波分复用单元20a的两个输入端口中的一个用于接收具有偏振态的一束入射光信号，另一个不用于接收光信号，其余实现方式同图2b的实现方式类似，本发明在此不再赘述。

[0111] 应理解，基于上述实施例的描述，根据本申请的又一实施例，所述波分复用器包括n个级联的波分复用单元；所述波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构或反向布拉格光栅定向耦合器结构；所述波分复用单元具有1db平顶范围；当波长为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n+1}$ 的n+1束入射光信号输入至所述片上集成波分复用器时，所述片上集成波分复用器将n+1束入射光信号合成一束光输出；所述n+1束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反；n+1束入射光信号的波长值在对应的所述波分复用单元的1db平顶范围的中心波长附近；其中，n为大于1的自然数。

- [0112] 进一步地，中心波长相邻的两个波分复用单元的1db平顶范围部分重叠。
- [0113] 进一步地，所述波分复用单元的1db平顶范围的宽度为20–50nm。
- [0114] 进一步地，中心波长相邻的两个波分复用单元的中心波长相距15–25nm。
- [0115] 进一步地，所述片上集成波分复用器还包括偏振旋转器，所述偏振旋转器与所述波分复用单元相连，所述偏振旋转器对输入至所述波分复用单元的光进行偏振态旋转，使输入至波分单元的 $n+1$ 束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反。
- [0116] 进一步地，所述片上集成波分复用器中的一部分波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构，另一部分波分复用单元为反向布拉格光栅定向耦合器结构。
- [0117] 进一步地，每个所述波分复用单元的结构适于处理相应偏振态和相应波长的入射光信号。
- [0118] 本申请还提出了一种芯片，所述芯片包括前述任一实施例所述的片上集成波分复用器。
- [0119] 在本申请实施例所提供的片上集成波分复用器及芯片中，其中，所述波分复用器包括总线波导、设于所述总线波导上的至少两个级联的波分复用单元，每个所述波分复用单元包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出。由于第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，故能够实现对两路中心波长的相差较近的入射光信号进行合波，并且由于每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中，所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同，以实现对不同波长的入射光信号的复用。本发明实施例提供的片上集成波分复用器具有低损耗、相对宽且平顶通带、纯被动等特点，且能够解决波分复用器件中心波长偏移可能带来的相邻通道串扰问题。
- [0120] 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详述的

部分，可以参见其他实施例的相关描述。

[0121] 以上结合实施例对本申请所提供的片上集成波分复用器及芯片进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的技术方案及其核心思想；本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例的技术方案的范围。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种片上集成波分复用器，其特征在于，所述波分复用器包括总线波导、设于所述总线波导上的至少两个级联的波分复用单元；
- 每个所述波分复用单元包括两个输入端口和一个输出端口，其用于将由所述两个输入端口接收到的两路光信号进行合波，并将合波光信号从所述输出端口输出；
- 其中，第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，或者，第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收具有偏振态的一束入射光信号，另一个不用于接收光信号；
- 每个非第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个用于接收入射光信号，另一个用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，且对应输入中心波长相邻的两个非第一级波分复用单元中，所述两个非第一级波分复用单元所接收的入射光信号的偏振态不同；
- 其中，各个所述入射光信号具有不同的波长。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
- 每个波分复用单元由下列结构的任一种构成：模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构、反向布拉格光栅定向耦合器结构。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
- 所述波分复用器还包括至少一个偏振旋转器件，用于接收原始入射光信号并改变所述原始入射光信号的偏振态，所有原始入射光信号具有相同的偏振态，
- 其中，针对所述第一级波分复用单元的两个输入端口分别用于接收具有不同偏振态的入射光信号，
- 所述第一级波分复用单元的两个输入端口中的一个将对应的偏振旋转器件对所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号；
- 相邻的两个非第一级波分复用单元中的一个将对应的偏振旋转器件对

所述原始入射光信号改变偏振态后的光信号作为所述入射光信号，另一个直接将所述原始入射光信号作为其入射光信号。

[权利要求 4] 根据权利要求3所述的片上集成波分复用器，其特征在于，每个所述偏振旋转器件将接收到的所述原始入射光信号的原始偏振态改变成与该原始偏振态垂直的偏振态。

[权利要求 5] 根据权利要求4所述的片上集成波分复用器，其特征在于，在波长上相邻的两个具有同一偏振态的入射光信号的中心波长之间的差值大于预设的波长差阈值。

[权利要求 6] 根据权利要求5所述的片上集成波分复用器，其特征在于，各个所述入射光信号之间具有预定的波长间隔，并且从所述级联的波分复用单元中的第一级开始，各级波分复用单元对应的输入端口按照各个所述入射光信号的波长大小的顺序依次或者逆序依次接收对应的入射光信号。

[权利要求 7] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，所述片上集成波分复用器的光波导材料是硅、氮化硅、氮氧化硅、掺杂二氧化硅、铌酸锂、以及三五族半导体材料中的任意一种。

[权利要求 8] 据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，各级所述波分复用单元是由模式复用器和多模布拉格光栅构成的组合结构；其中，针对每个波分复用单元：
该波分复用单元中的模式复用器包括第一端口、第二端口以及第三端口，所述第一端口和第二端口分别用于输出合波光信号以及接收对应的所述入射光信号，所述第三端口连接该波分复用单元中的多模布拉格光栅的输出端口；
若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号，另一端与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口连接；
若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端用于接收对应的入射光信号，另一端与该波分复

用单元中的模式复用器的所述第三端口连接；或者，
若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的多模布拉格光栅的一端仅与该波分复用单元中的模式复用器的所述第三端口连接。

[权利要求 9] 根据权利要求8所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
每个所述模式复用器包括直通波导和交叉波导，所述直通波导的两端分别作为所述第一端口和所述第三端口，所述交叉波导临近所述第一端口的一端作为所述第二端口；

其中，所述直通波导和所述交叉波导用于进行模式耦合。

[权利要求 10] 根据权利要求9所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
针对每个波分复用单元，所述多模布拉格光栅的光栅周期与该波分复用单元的原始入射光信号的波长相匹配。

[权利要求 11] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，各级所述波分复用单元是由反向布拉格光栅定向耦合器结构构成；
所述波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器包括第四端口、第五端口以及第六端口，所述第四端口和第五端口分别用于接收对应的所述入射光信号以及输出合波光信号，
若该波分复用单元是非第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收上一级波分复用单元输出的合波光信号；
若该波分复用单元是第一级波分复用单元，则该波分复用单元中的反向布拉格光栅定向耦合器的所述第六端口用于接收对应的入射光信号。

[权利要求 12] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
每个所述波分复用单元的入射光信号的频谱包括至少一个1dB平顶，
其中，每个所述1dB平顶是光衰减1dB范围内所对应的波长范围，并且每个1dB平顶所对应的波长范围大于12纳米。

[权利要求 13] 根据权利要求12所述的片上集成波分复用器，其特征在于，每个所述

波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围与另一个相邻的波分复用单元的入射光信号的频谱中的1dB平顶所对应的波长范围部分重叠。

- [权利要求 14] 一种片上集成波分复用器，其特征在于，所述波分复用器包括n个级联的波分复用单元；
所述波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构或反向布拉格光栅定向耦合器结构；
所述波分复用单元具有1db平顶范围；
当波长为 λ_1 、 λ_2 …… λ_{n+1} 的n+1束入射光信号输入至所述片上集成波分复用器时，所述片上集成波分复用器将n+1束入射光信号合成一束光输出；
所述n+1束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反；
n+1束入射光信号的波长值在对应的所述波分复用单元的1db平顶范围的中心波长附近；
其中，n为大于1的自然数。
- [权利要求 15] 根据权利要求14所述的片上集成波分复用器，其特征在于，中心波长相邻的两个波分复用单元的1db平顶范围部分重叠。
- [权利要求 16] 根据权利要求15所述的片上集成波分复用器，其特征在于，所述波分复用单元的1db平顶范围的宽度为20–50nm。
- [权利要求 17] 根据权利要求15所述的片上集成波分复用器，其特征在于，中心波长相邻的两个波分复用单元的中心波长相距15–25nm。
- [权利要求 18] 根据权利要求15所述的片上集成波分复用器，其特征在于，所述片上集成波分复用器还包括偏振旋转器，所述偏振旋转器与所述波分复用单元相连，所述偏振旋转器对输入至所述波分复用单元的光进行偏振态旋转，使输入至波分单元的n+1束入射光信号中波长相邻的两束入射光信号之间的偏振态相反。
- [权利要求 19] 根据权利要求15所述的片上集成波分复用器，其特征在于，所述片上

集成波分复用器中的一部分波分复用单元为模式复用器和多模布拉格光栅连接的组合结构，另一部分波分复用单元为反向布拉格光栅定向耦合器结构。

[权利要求 20] 根据权利要求15所述的片上集成波分复用器，其特征在于，每个所述波分复用单元的结构适于处理相应偏振态和相应波长的入射光信号。

[权利要求 21] 一种芯片，其特征在于，包括如权利要求1所述的片上集成波分复用器。