

一种波分复用器和硅光集成芯片

技术领域

[0001] 本申请涉及光通信技术领域，尤其涉及一种波分复用器和硅光集成芯片。

背景技术

[0002] 波分复用技术是增加光通信容量的有效手段，关键器件是波分复用器件(MUX)和波分解复用器件(DEMUX)。平面波导型波分复用器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。

[0003] 硅光芯片是实现光互连的关键器件，能够有效降低光通信中模块的成本。如图1所示，目前，硅光中的级联马赫-曾德尔干涉仪结构的波分复用器，以四通道的波分复用为例，包括3个马赫-曾德尔干涉仪10' 并联和级联组成，单个马赫-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）。

发明概述

技术问题

[0004] 现有级联马赫-曾德尔干涉仪结构波分复用器。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' 的可调相移臂进行调节，调节过程不方便，功耗较大。3dB耦合器11' 的光学带宽有限，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'，明显降低了波分复用器的性能。

问题的解决方案

技术解决方案

[0005] 本申请的目的在于提供一种波分复用器及硅光集成芯片，减少了相移臂的数量，具有功耗较低、光学带宽较大、易于调节和稳定性好等优点。

[0006] 为了实现上述目的之一，本申请提供了一种波分复用器，包括设于硅基上的至少两个偏振控制结构和至少一个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪；

[0007] 单个所述偏振控制结构包括两个输入端口和一个输出端口；单个所述马赫-曾

德尔干涉仪包括两个输入端口和一个光信号输出端口，所述光信号输出端口用于输出合波光信号；所述偏振控制结构的输出端口连接所述马赫-曾德尔干涉仪的输入端口；

[0008] 单个所述偏振控制结构接收入射线偏振光中的两路线偏振光，合成一路具有相互垂直的两个线偏振态的次合波光信号输出，并由所述马赫-曾德尔干涉仪的一个输入端口输入；所述至少一个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪接收所述至少两个偏振控制结构输出的次合波光信号，合为一路具有相互垂直的两个线偏振态的合波光信号输出。

[0009] 作为实施方式的进一步改进，所述波分复用器包括 n 个偏振控制结构和 $n-1$ 个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪，其中 n 为大于或等于2的整数。

[0010] 作为实施方式的进一步改进，所述偏振控制结构为一集成的偏振旋转-合束器。

[0011] 作为实施方式的进一步改进，所述集成的偏振旋转-合束器包括直通波导和交叉波导、分别连接所述直通波导和交叉波导的直通端口和交叉端口，以及连接所述直通波导的模式变换结构；所述直通波导与所述交叉波导组成模式复用结构；所述直通端口和交叉端口均包括条波导转脊波导的楔形结构；所述模式变换结构为双层楔形的模式变换结构。

[0012] 作为实施方式的进一步改进，所述偏振控制结构包括一偏振旋转器和一偏振合束器。

[0013] 作为实施方式的进一步改进，所述偏振合束器包括三个相同的模式转换耦合器组成，单个模式转换耦合器包括一个单模接入波导和一个多模总线波导；

[0014] 所述三个模式转换耦合器中的第一模式转换耦合器和第二模式转换耦合器并列设置，第三模式转换耦合器的多模总线波导连接第一模式转换耦合器的多模总线波导，单模接入波导连接第二模式转换耦合器的单模接入波导的输出端。

[0015] 作为实施方式的进一步改进，单个所述马赫-曾德尔干涉仪包括依次连接的 2×2 的输入3dB耦合器、两个相移臂和 2×2 的输出3dB耦合器；所述两个相移臂的其中至少一个为可调相移臂；

[0016] 所述输入3dB耦合器和输出3dB耦合器均为偏振无关的耦合器，所述相移臂上均

设有偏振旋转器。

[0017] 作为实施方式的进一步改进，所述马赫-曾德尔干涉仪还包括监视探测器，所述监视探测器光连接所述输出3dB耦合器的一个输出端口。

[0018] 本申请还提供了一种硅光集成芯片，包括上述任一实施例所述的波分复用器。

[0019] 作为实施方式的进一步改进，所述硅光集成芯片还包括光调制器；多路入射光信号经所述光调制器调制之后，输出多路调制光信号；所述多路调制光信号分别经所述波分复用器的偏振控制结构的输入端口输入，经所述偏振控制结构和马赫-曾德尔干涉仪之后输出一路合波光信号。

发明的有益效果

有益效果

[0020] 采用可设计带宽的偏振控制结构，提高波分复用器的光学带宽、降低光学损耗；减少需要调节反馈的相移臂数量，降低了器件的整体功耗；而且偏振控制结构的制作容差大、稳定性好，可有效提高波分复用器的可靠性和良率。

对附图的简要说明

附图说明

[0021] 图1为目前硅光中的MZI型波分复用器结构示意图；

[0022] 图2为本申请实施例1的波分复用器结构示意图；

[0023] 图3为实施例1中集成的硅基偏振旋转-合束器（PSR）结构示意图；

[0024] 图4为偏振无关的 2×2 的输入3dB耦合器结构示意图；

[0025] 图5为偏振无关的 2×2 的输出3dB耦合器结构示意图；

[0026] 图6为偏振旋转器（PR）结构示意图；

[0027] 图7为本申请实施例2的波分复用器结构示意图；

[0028] 图8为偏振合束器（PBC）结构示意图；

[0029] 图9为本申请波分复用器的一种扩展结构示意图；

[0030] 图10为本申请波分复用器的另一种扩展结构示意图；

[0031] 图11为本申请实施例3的硅光集成芯片示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0032] 以下将结合附图所示的具体实施方式对本申请进行详细描述。但这些实施方式并不限制本申请，本领域的普通技术人员根据这些实施方式所做出的结构、方法、或功能上的变换均包含在本申请的保护范围内。

[0033] 在本申请的各个图示中，为了便于图示，结构或部分的某些尺寸会相对于其它结构或部分夸大，因此，仅用于图示本申请的主题的基本结构。

[0034] 另外，本文使用的例如“上”、“上方”、“下”、“下方”等表示空间相对位置的术语是出于便于说明的目的来描述如附图中所示的一个单元或特征相对于另一个单元或特征的关系。空间相对位置的术语可以旨在包括设备在使用或工作中除了图中所示方位以外的不同方位。例如，如果将图中的设备翻转，则被描述为位于其他单元或特征“下方”或“之下”的单元将位于其他单元或特征“上方”。因此，示例性术语“下方”可以囊括上方和下方这两种方位。设备可以以其他方式被定向（旋转90度或其他朝向），并相应地解释本文使用的与空间相关的描述语。当元件或层被称为在另一部件或层“上”、与另一部件或层“连接”时，其可以直接在该另一部件或层上、连接到该另一部件或层，或者可以存在中间元件或层。

[0035] 实施例1

[0036] 本申请的波分复用器包括硅基衬底、埋氧层、波导层和上包层，如图2所示，在硅基衬底上设有至少两个偏振控制结构200和至少一个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪100。其中，单个偏振控制结构200包括两个输入端口和一个输出端口，单个马赫-曾德尔干涉仪100包括两个输入端口和一个光信号输出端口，该光信号输出端口用于输出合波光信号；偏振控制结构200的输出端口连接马赫-曾德尔干涉仪100的输入端口。单个偏振控制结构200接收入射线偏振光中的两路线偏振光，合成一路具有相互垂直的两个线偏振态的次合波光信号输出，并由马赫-曾德尔干涉仪100的一个输入端口输入。上述至少一个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪100接收上述至少两个偏振控制结构200输出的次合波光信号，合为一路具有相互垂直的两个线偏振态的合波光信号输出。该波分复用器采用可设计带宽的偏振控制结构，提高了波分复用器的光学带宽、降低光学损耗；减少需要

调节反馈的相移臂数量，降低了器件的整体功耗；而且偏振控制结构的制作容差大、稳定性好，可有效提高波分复用器的可靠性和良率。

[0037] 如图2-6所示，以四波长的波分复用器为例，包括两个并列的偏振控制结构200和一个马赫-曾德尔干涉仪100。该实施例中，单个偏振控制结构200采用的是集成的偏振旋转-合束器（PSR，polarization splitter-rotator），如图3所示，该集成的偏振旋转-合束器210包括直通波导211和交叉波导212、分别连接直通波导211和交叉波导212的直通端口213和交叉端口214，以及连接直通波导211的模式变换结构215。这里，直通波导211与交叉波导212组成模式复用结构，直通端口213和交叉端口214均包括条波导转脊波导的楔形结构，为偏振控制结构的输入端口。模式变换结构215为双层楔形的模式变换结构，作为偏振控制结构的输出端口，输出合波光信号。

[0038] 该实施例中，偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪100包括依次连接的 2×2 的输入3dB耦合器110、两个相移臂130和 2×2 的输出3dB耦合器120，两个相移臂130的其中至少一个为可调相移臂，如图2中虚线表示为可调相移臂。这里，输入3dB耦合器110和输出3dB耦合器120均为偏振无关（polarization independent, PI）的3dB耦合器，即“PI 0.5”，在相移臂130上也设有偏振旋转器140。输入3dB耦合器110输入端的两个端口作为马赫-曾德尔干涉仪100的输入端口，输出3dB耦合器120输出端的两个端口中一个作为马赫-曾德尔干涉仪100的光信号输出端口输出合波光束，另一个端口光连接一监视探测器（MPD）150，用于反馈可调相移臂的调谐情况。

[0039] 如图6所示，偏振旋转器（PR）140包括一脊波导141和位于脊波导141一侧的部分平面波导142。其中，脊波导141包括依次连接的第一楔形结构141a、线性结构141b和第二楔形结构141c，第一楔形结构141a作为偏振旋转器140的输入端，其宽度沿光路方向逐渐变窄直至与线性结构141b连接，第二楔形结构141c的宽度沿光路方向逐渐变宽，直至与相移臂的光波导连接。部分平面波导142的高度低于脊波导141的高度，包括位于脊波导141同一侧且相互连接的第三楔形结构142a和第四楔形结构142b。第三楔形结构142a紧邻第一楔形结构141a的侧面，第四楔形结构142b紧邻线性结构141b的侧面，第三楔形结构142a的尖端紧贴第一

楔形结构141a较宽一端的侧面，第四楔形结构142b的尖端临近第二楔形结构141c较窄一端。线偏振光从脊波导141的第一楔形结构141a较宽的一端入射，在第一楔形结构141a和线性结构141b段，光模式分布到脊波导141和平面波导142内，使其偏振态发生旋转，在入射到第二楔形结构141c时偏振方向已经旋转90度，通过第二楔形结构141c耦合到相移臂的光波导内。在其它实施例中，也可以采用图3所示的偏振旋转-合束器（PSR）作为偏振旋转器，线偏振光从交叉端口入射，经交叉波导耦合到直通波导，最后经模式变换结构输出旋转了90度的线偏振光。

[0040] 工作时，模式均为TE0线偏振的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 四个波长的光信号中， λ_1 和 λ_3 分别从其中一个集成的偏振旋转-合束器（PSR）210的直通端口213和交叉端口214输入，分别进入直通波导211和交叉波导212。直通波导211内的 λ_1 光信号模式不变，经模式变换结构215依然输出TE0模式的 λ_1 光信号；交叉波导212内的 λ_3 光信号耦合到直通波导211内，与直通波导211内的光信号进行模式复用， λ_3 光信号模式转成TE1，经模式变换结构215变换为TM0模式，与原直通波导211内的TE0模式的 λ_1 光信号合成一束包括TE0+TM0模式的 λ_1 和 λ_3 次合波光信号。同样， λ_2 和 λ_4 分别从另一个集成的偏振旋转-合束器（PSR）210的直通端口213和交叉端口214输入，分别进入到直通波导211和交叉波导212，最后由模式变换结构215输出一路包含TE0模式的 λ_2 和TM0模式的 λ_4 的次合波光信号。两路次合波光信号 $\lambda_1(\text{TE0}) + \lambda_3(\text{TM0})$ 和 $\lambda_2(\text{TE0}) + \lambda_4(\text{TM0})$ 分别从马赫-曾德尔干涉仪100的偏振无关的 2×2 的输入3dB耦合器110的两个输入端口输入，两个相移臂130中分别传输 $1/2$ 光功率的 $\lambda_1(\text{TE0}) / \lambda_2(\text{TE0}) / \lambda_3(\text{TM0}) / \lambda_4(\text{TM0})$ ，经过相移臂130中的偏振旋转器140将各波长光的偏振方向旋转 90° 之后，各波长光的偏振态变成 $\lambda_1(\text{TM0}) / \lambda_2(\text{TM0}) / \lambda_3(\text{TE0}) / \lambda_4(\text{TE0})$ 。通过调节可调相移臂，结合两个相移臂130上的偏振旋转器140，控制两个相移臂130中TE模式和TM模式的相位差，使得两个相移臂130中的光信号都从偏振无关的输出3dB耦合器120的同一个端口输出，另一个端口的监视探测器150探测到趋近于零的光功率，即由马赫-曾德尔干涉仪100的 2×2 的输出3dB耦合器120的一个端口输出合波光信号 $\lambda_1(\text{TM0}) / \lambda_2(\text{TM0}) / \lambda_3(\text{TE0}) / \lambda_4(\text{TE0})$ 。调节可调相移臂时，可通过监视探测

器150监测输出3dB耦合器120另一输出端口的光功率，直到该输出端口的光功率为零或趋近于零，或最小值。输出光的相位如果受环境或其他因素影响而改变，导致输出光不能与另一路光完全合成输出时，监视探测器将检测到光功率增大，并反馈给控制器，通过控制器调节该可调相移臂的相位，直到监视探测器检测到的光功率重新趋近于零或最小值。

[0041] 该四波长的波分复用器采用两个无源的可设计带宽的偏振控制结构，减少了3dB耦合器的带宽限制，提高了波分复用器的光学带宽、降低了光学损耗。工作过程中，只需要调节一个相移臂即可实现四波长的波分复用，需要调节反馈的相移臂少，降低了器件的整体功耗；而且偏振控制结构的制作容差大、稳定性好，可有效提高波分复用器的可靠性和良率。

[0042] 实施例2

[0043] 如图7和8所示的实施例，与实施例1不同的是，该实施例中的单个偏振控制结构200包括一个偏振旋转器（polarization rotator, PR）220和一个偏振合束器（Polarization Beam Combiner, PBC）230。该实施例中，偏振旋转器220采用如图6所示的结构，跟实施例1中的偏振旋转器结构类似，包括一脊波导和位于脊波导一侧的部分平面波导，这里不再赘述。在其它实施例中，也可以采用图3所示的偏振旋转-合束器（PSR）作为偏振旋转器，线偏振光从交叉端口入射，经交叉波导耦合到直通波导，最后经模式变换结构输出旋转了90度的线偏振光。

[0044] 如图8所示，上述偏振合束器230包括三个相同的模式转换耦合器231、232、233组成，单个模式转换耦合器包括一个单模接入波导和一个多模总线波导。其中第一模式转换耦合器231和第二模式转换耦合器232并列，位于偏振合束器的输入端，两个模式转换耦合器232、232的单模接入波导231a、232a分别连接偏振旋转器的输出端口和波分复用器的输入端口。第三模式转换耦合器233级联上述两个模式转换耦合器231、232，第三模式转换耦合器233的多模总线波导233b连接第一模式转换耦合器231的多模总线波导231b的输出端，单模接入波导233a连接第二模式转换耦合器232的单模接入波导232a的输出端。

[0045] 以四波长的波分复用器为例，工作时，模式均为TE线偏振的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和

λ_4 四个波长的光信号中， λ_1 和 λ_3 分别从其中一个偏振控制结构200的两个输入端口输入。其中， λ_1 直接入射到偏振合束器230上， λ_3 则经过偏振旋转器220旋转90度，变成TM模式的线偏振光再入射到偏振合束器230上，TE模式的 λ_1 和TM模式的 λ_3 经偏振合束器230合为次合波光信号 $\lambda_1(\text{TE})/\lambda_3(\text{TM})$ 输出。同样， λ_2 和 λ_4 分别从另一个偏振控制结构200的两个输入端口输入， λ_2 直接入射到偏振合束器230上， λ_4 则经过偏振旋转器220旋转90度，变成TM模式的线偏振光再入射到偏振合束器230上，TE模式的 λ_2 和TM模式的 λ_4 经偏振合束器230合为次合波光信号 $\lambda_2(\text{TE})/\lambda_4(\text{TM})$ 输出。两路次合波光信号 $\lambda_1(\text{TE})+\lambda_3(\text{TM})$ 和 $\lambda_2(\text{TE})+\lambda_4(\text{TM})$ 分别从马赫-曾德尔干涉仪100的偏振无关的 2×2 的输入3dB耦合器110的两个输入端口输入，两个相移臂130中分别传输 $1/2$ 光功率的 $\lambda_1(\text{TE})/\lambda_2(\text{TE})/\lambda_3(\text{TM})/\lambda_4(\text{TM})$ ，经过相移臂130中的偏振旋转器140将各波长光的偏振方向旋转 90° 之后，各波长光的偏振态变成 $\lambda_1(\text{TM})/\lambda_2(\text{TM})/\lambda_3(\text{TE})/\lambda_4(\text{TE})$ 。通过调节可调相移臂，结合两个相移臂130上的偏振旋转器140，控制两个相移臂130中TE模式和TM模式的相位差，使得两个相移臂中的光信号都从偏振无关的输出3dB耦合器120的同一个端口输出，另一个端口的监视探测器150探测到趋近于零或最小值的光功率，即由马赫-曾德尔干涉仪110的 2×2 的输出3dB耦合器120的一个端口输出合波光信号 $\lambda_1(\text{TM})/\lambda_2(\text{TM})/\lambda_3(\text{TE})/\lambda_4(\text{TE})$ 。

[0046] 该实施例采用三个模式转换耦合器组成的偏振合束器结合偏振旋转器对两路具有相同线偏振态的入射光信号进行偏振合束，减小了串扰。而且由于模式转换耦合器具有低损耗大带宽的特性，进一步降低了光学损耗，提高了器件的光学带宽。

[0047] 上述实施例1和2均以四波长的波分复用为例进行解释说明，在其它实施例中，该波分复用器也可以用于其它多波长的波分复用，根据复用的波长通道数量设置相应数量的偏振控制结构和马赫-曾德尔干涉仪的并联和级联即可。即该波分复用器包括 n 个偏振控制结构和 $n-1$ 个偏振无关的马赫-曾德尔干涉仪，其中 n 为大于或等于2的整数，当 $n=2$ 时即为上述4波长的波分复用器。如图9和10所示，分别为 $n=3$ 和 $n=4$ 时，扩展成6波长通道和8波长通道的波分复用器，当然还可

以做更多的扩展。

[0048] 实施例3

[0049] 如图11所示，该实施例提供了一种硅光集成芯片，包括光调制器300和上述任一实施例的波分复用器。多路入射光信号经光调制器300调制之后，输出多路调制光信号。多路调制光信号分别经波分复用器的各个输入端口输入，经偏振控制结构200和马赫-曾德尔干涉仪100的合波之后输出一路合波光信号。该硅光集成芯片集成了上述任一实施例的波分复用器进行波分复用，可有效降低器件功耗，提升光学带宽，提高产品的可靠性和良率。

[0050] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本申请的可行性实施方式的具体说明，它们并非用以限制本申请的保护范围，凡未脱离本申请技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本申请的保护范围之内。