说明书

发明名称: 片上集成波分复用器及光子集成电路芯片

[0001] 申请要求于2024年3月7日提交中国专利局、申请号为202420440975.5、发明名称为“片上集成波分复用器及光子集成电路芯片”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0002] 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光子集成电路芯片。

背景技术

[0003] 波分复用通过不同的波长携带多路信号，在单根光纤/波导中传输、交换，是光通信实现信息扩容的关键技术，其中用于实现波分复用和解复用的器件称为波分复用器件（MUX）和波分解复用器件（DEMUX），是波分复用系统的核心器件。然而，在波分复用器件的实际应用场景中，由于激光器等受到环境温度、制作误差等各种不稳定因素的影响，往往会造成输出波长偏移目标波长，从而引起通道间的显著损耗和串扰问题。在这种应用场景下，需要大宽带、平坦型的波分复用器件，以容纳激光器的波长偏移，保证波分复用系统正常工作。

[0004] 如图1所示的片上集成波分复用器的结构，其包括第一级复用模块100’和第二级复用模块200’，可以显著改善波分复用器件的通道带宽，它利用两个平坦型波分复用器件（平顶波分复用器件110’）进行第一级复用，再通过偏振复用模块230’进行第二级复用，从而实现更大波长范围内的平坦输出，且该结构仅包含被动器件，无需外加调节，贴合实际应用场景。然而，这种波分复用器件结构采用至少两个平坦型的波分复用器件进行带宽的展宽，会导致整个波分复用系统的尺寸翻倍，并不利于高密度、高速率光子芯片的实现。

实用新型内容

[0005] 本申请的目的在于提供一种片上集成波分复用器及光子集成电路芯片，用以实现具有更大带宽的平坦波分复用功能，同时简化波分复用器件结构的复杂度和尺寸。

[0006] 根据本申请的一个方面，提供了一种片上集成波分复用器，所述波分复用器集成于一光子集成电路芯片上，包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，所述平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，所述第一输入波导组包括多个第一输入波导，所述第二输入波导组包括多个第二输入波导，所述第二输入波导组位于所述第一输入波导组的一侧；

[0007] 所述多个第一输入波导被配置为分别对应接收预定的第一波长分组且具有第一偏振态的多路入射光，所述多个第二输入波导被配置为分别对应接收预定的第二波长分组且具有第二偏振态的多路入射光，所述输出波导为偏振兼容的波导，所述输出波导被配置为输出多波长-偏振复用光，其中，所述第一偏振态和所述第二偏振态相互垂直；

[0008] 所述第一波长分组为具有预定波长间隔的λ1、λ2、λ3……λn波长中的奇数分组和偶数分组的其中一组，所述第二波长分组为其中另一组，其中n≥4，且n为正整数，λ1、λ2、λ3……λn按所述预定波长间隔从小到大或从大到小顺序排列；

[0009] 所述平顶波分复用结构被配置为具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，使所述多个第一输入波导接收到的具有第一偏振态的多路入射光和所述多个第二输入波导接收到的具有第二偏振态的多路入射光在所述平顶波分复用结构内合为一路多波长-偏振复用光并从所述输出波导输出。

[0010] 根据本申请的一些实施例，所述平顶波分复用结构中每个所述第一输入波导或所述第二输入波导对应的通道的带宽覆盖由其所对应的所述第一输入波导或所述第二输入波导配置的入射光的中心波长加上预设的偏移量阈值对应的频带范围。

[0011] 根据本申请的一些实施例，所述预设的偏移量阈值为ITU标准规定的偏移量，所述预定波长间隔为通信系统要求的波长间隔，所述带宽为相应通道的1dB带

宽，所述1dB带宽大于或等于两倍的所述偏移量阈值，且小于两倍的所述预定波长间隔。

[0012] 根据本申请的一些实施例，还包括多个偏振旋转器，所述偏振旋转器的数量与所述第一输入波导的数量或者所述第二输入波导的数量一致；

[0013] 所述第一输入波导组和所述第二输入波导组的其中一组的每个输入波导均级联一个所述偏振旋转器，用于改变输入到相应组的每个波长信号的偏振态，使入射到所述第一输入波导组的入射光的偏振态与入射到所述第二输入波导组的入射光的偏振态相垂直。

[0014] 根据本申请的一些实施例，所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器，以及偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构、阵列波导光栅结构、角度型多模干涉仪结构中的任意一种，每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均通过一个所述多模干涉器连接所述刻蚀衍射光栅结构、所述阵列波导光栅结构或者所述角度型多模干涉仪结构。

[0015] 根据本申请的一些实施例，所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构，所述刻蚀衍射光栅结构包括多个第一输入通道、多个第二输入通道、自由传输区、刻蚀衍射光栅齿面以及一个输出通道，其中，所述多个第一输入通道、所述多个第二输入通道和所述输出通道分别位于所述自由传输区的罗兰圆圆周上的不同位置，每一所述第一输入通道均通过一个所述多模干涉器连接每一所述第一输入波导，每一所述第二输入通道均通过一个所述多模干涉器连接每一所述第二输入波导；

[0016] 所述自由传输区包括平板波导，所述平板波导被配置为使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内传输模式的有效折射率具有所述预定差值；所述刻蚀衍射光栅齿面被配置为对经过所述自由传输区的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光分别进行衍射，以使得所述具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光均聚焦到所述输出通道处，并合为一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[0017] 根据本申请的一些实施例，所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个阵列波导光栅结构，所述阵列波导光栅结构包括一个输入平板波导、一个输出

平板波导、以及连接于所述输入平板波导和所述输出平板波导之间的多个阵列波导，每个所述第一输入波导和每个所述第二输入波导均通过一个所述多模干涉器连接所述输入平板波导，所述输出波导连接所述输出平板波导；每个所述阵列波导包括锥波导、直波导和弯曲波导，相邻两个阵列波导之间具有一恒定的长度差，在所述输入平板波导和所述输出平板波导内，所述第一偏振态与所述第二偏振态的有效折射率具有所述预定差值，使具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在经过所述阵列波导光栅结构中的所述多个阵列波导的相位配置后合为一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[0018] 根据本申请的一些实施例，所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个角度型的多模干涉仪结构，所述角度型的多模干涉仪结构包括多个所述第一输入波导、多个所述第二输入波导、多模干涉区和一个所述输出波导，其中，每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均通过一个多模干涉器连接于所述多模干涉区的同一侧，各所述第一输入波导和所述输出波导与所述多模干涉区的连接处之间的水平轴向距离与各所述第二输入波导和所述输出波导与所述多模干涉区的连接处之间的水平轴向距离被配置为具有预设差值；

[0019] 所述多模干涉区被配置为使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内传输模式的有效折射率具有所述预定差值，以使输入的所述具有第一偏振态的多路入射光和所述具有第二偏振态的多路入射光聚焦到所述输出波导处，并合成一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[0020] 根据本申请的一些实施例，所述片上集成波分复用器包括衬底和位于衬底上面的芯层，所述平顶波分复用结构位于所述芯层，所述芯层为氮化硅层、硅层或者铌酸锂层中的任一种。

[0021] 根据本申请的一些实施例，所述波分复用器还包括耦合结构，所述耦合结构与所述平顶波分复用结构的输出波导相连，用于将所述平顶波分复用结构的输出波导输出的多波长-偏振复用光信号耦合至外部光纤。

[0022] 根据本申请的又一方面，提供了一种光子集成电路芯片，所述光子集成电路芯片包括前述任一所述的片上集成波分复用器。

[0023] 在本申请实施例提供的片上集成波分复用器及光子集成电路芯片中，波分复用器包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，该平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，由于该平顶波分复用结构对第一输入波导组、第二输入波导组被配置的中心波长进行了奇偶分组，且使不同分组的光信号分别以不同的偏振态输入波分复用器，并基于单个偏振兼容的平顶波分复用结构，通过配置该平顶波分复用结构的相应的参数，比如配置为不同偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，将两组不同偏振态的多路不同波长的光信号复用为一路多波长-偏振复用光，降低了相邻通道间的信号串扰，且简化了波分复用器的结构复杂度和尺寸，利于提高光子集成电路芯片的集成度。

附图说明

[0024] 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。

[0025] 图1为现有技术中的片上集成波分复用器的结构示意图；

[0026] 图2为本申请一实施例提供的片上集成波分复用器的结构示意图；

[0027] 图3为本申请又一实施例提供的片上集成波分复用器的结构示意图；

[0028] 图4为本申请另一实施例提供的片上集成波分复用器的结构示意图；

[0029] 图5为图4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;

[0030] 图6为本申请一实施例中采用偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构作为平顶波分复用结构的示意图；

[0031] 图7为本申请一实施例中采用图6中的刻蚀衍射光栅结构进行波分复用的仿真示意图。

[0032] 图8为本申请一实施例中采用偏振兼容的阵列波导光栅结构作为平顶波分复用结构的示意图；

[0033] 图9为本申请一实施例中采用偏振兼容的角度型的多模干涉仪作为平顶波分复用结构的示意图。

[0034] 主要附图标记：

[0035] 1000、片上集成波分复用器；110、平顶波分复用结构；501、第一输入波导；502、第二输入波导；503、输出波导；220、偏振旋转器；

[0036] 221、脊波导；222、平面波导；221a、第一楔形结构；221b、线性结构；221c、第二楔形结构；222a、第三楔形结构；222b、第四楔形结构；

[0037] 140、刻蚀衍射光栅结构；141、第一输入通道；142、第二输入通道；143、输出通道；144、自由传输区；145、刻蚀衍射光栅齿面；

[0038] 150、阵列波导光栅结构；151、输入平板波导；152、阵列波导；153、输出平板波导；

[0039] 160、角度型的多模干涉仪；161、第一输入波导；162、第二输入波导；163、多模干涉区；164、输出波导。

具体实施方式

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 本申请一实施例提供了一种片上集成波分复用器，所述波分复用器集成于一光子集成电路芯片上，其包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，所述平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，所述第一输入波导组包括多个第一输入波导，所述第二输入波导组包括多个第二输入波导，所述第二输入波导组位于所述第一输入波导组的一侧。

[0045] 所述多个第一输入波导被配置为分别对应接收预定的第一波长分组且具有第一偏振态的多路入射光，所述多个第二输入波导被配置为分别对应接收预定的第二波长分组且具有第二偏振态的多路入射光，所述输出波导为偏振兼容的波导，所述输出波导被配置为输出多波长-偏振复用光，其中，所述第一偏振态和所述第二偏振态相互垂直。

[0046] 其中，第一波长分组为具有预定波长间隔的λ1、λ2、λ3……λn波长中的奇数分组和偶数分组的其中一组，第二波长分组为其中另一组，其中n≥4，且n为正整数，λ1、λ2、λ3……λn按所述预定波长间隔从小到大或从大到小顺序排列。

[0047] 所述平顶波分复用结构被配置为具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，使所述多个第一输入波导接收到的具有第一偏振态的多路入射光和所述多个第二输入波导接收到的具有第二偏振态的多路入射光在所述平顶波分复用结构内合为一路多波长-偏振复用光并从所述输出波导输出。

[0048] 在本申请实施例提供的片上集成波分复用器中，波分复用器包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，该平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，由于该平顶波分复用结构对第一输入波导组、第二输入波导组被配置的中心波长进行了奇偶分组，且使不同分组的光信号分别以不同的偏振态输入波分复用器，并基于单个偏振兼容的平顶波分复用结构，通过配置该平顶波分复用结构的相应的参数，比如配置为不同偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，将两组不同偏振态的多路不同波

长的光信号复用为一路多波长-偏振复用光，一方面，中心波长奇偶分组配置，使得同一组中相邻通道的中心波长间隔翻倍，降低了相邻通道间的信号串扰，另一方面，并利用单个偏振兼容的平顶波分复用结构实现多波长-偏振复用，简化了波分复用器的结构复杂度和尺寸，利于提高光子集成电路芯片的集成度。

[0049] 进一步地，所述平顶波分复用结构中每个所述第一输入波导或所述第二输入波导对应的通道的带宽覆盖由其所对应的所述第一输入波导或所述第二输入波导配置的入射光的中心波长加上预设的偏移量阈值对应的频带范围。即该平顶波分复用结构中各通道具有较宽的平顶波段带宽，允许实际工作波长在较大的范围内偏移，有利于降低片上集成波分复用器对波导宽度、波导高度、波导倾角以及周围环境温度变化的敏感性。并且，该平顶波分复用结构在工作过程中，无需任何反馈调节，提高了工作效率，降低了器件能耗。

[0050] 图2为本申请一实施例提供的片上集成波分复用器的结构示意图。

[0051] 以下将结合图2，进一步详细描述片上集成波分复用器1000的结构及工作机制。

[0052] 参阅图2所示，示例性地，在本实施例中，以四波长的片上集成波分复用器为例，用于将具有预定波长间隔且波长分别为λ1、λ2、λ3、λ4的四路光信号复用为一路多波长-偏振复用光，其中λ1、λ2、λ3、λ4按波长大小顺序排列，例如从小到大排列。所述片上集成波分复用器1000包括偏振兼容的平顶波分复用结构110，该平顶波分复用结构110具有第一输入波导组、第二输入波导组、和一个输出波导503，所述第一输入波导组包括两个第一输入波导501，所述第二输入波导组包括两个第二输入波导502，所述第二输入波导组位于所述第一输入波导组的一侧，也就是说，所有第二输入波导均位于最边上一个第一输入波导的外侧。

[0053] 该实施例中，将λ1、λ2、λ3、λ4四波长中的奇数分组λ1、λ3设为预定的第一波长分组，将偶数分组λ2、λ4设为预定的第二波长分组。所述两个第一输入波导501分别被配置为接收上述预定的第一波长分组λ1，λ3，所述两个第二输入波导502分别被配置为接收预定的第二波长分组λ2、λ4，其中，所述第一波长分组的两路入射光具有第一偏振态，例如TE偏振模式，所述第

二波长分组的两路入射光具有第二偏振态，例如TM偏振模式，所述第一偏振态和所述第二偏振态相互垂直。所述输出波导503被配置为输出合为一路的λ1、λ2、λ3、λ4的多波长-偏振复用光。

[0054] 具体地，具有第一偏振态（例如TE模式）的两路入射光信号（λ1和λ3）由该平顶波分复用结构110的两个第一输入波导501输入，具有第二偏振态（例如TM模式）的两路入射光信号（λ2和λ4）由该平顶波分复用结构110的两个第二输入波导502输入，所述平顶波分复用结构110被配置为具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，使所述两个第一输入波导501接收到的具有第一偏振态的两路入射光和所述两个第二输入波导502接收到的具有第二偏振态的两路入射光合为一路的λ1、λ2、λ3、λ4的多波长-偏振复用光并从所述输出波导503输出。该实施例利用单个偏振兼容的平顶波分复用结构将两组不同偏振态的多路不同波长的光信号复用为一路多波长-偏振复用光，简化了波分复用结构的复杂度和尺寸，利于提高光子集成电路芯片的集成度。

[0055] 另外，该平顶波分复用结构110中每个通道的1dB平顶波段带宽均能够覆盖由其所对应的两个第一输入波导501或两个第二输入波导502配置的入射光的中心波长加上预设的偏移量阈值对应的频带范围。即，平顶波分复用结构110的各个通道的带宽大于中心波长两侧的偏移量波长范围对应的频带带宽，即（λn+Δλ）到（λn-Δλ）之间的频带范围，其中，n=1,2,3,4……（其中Δλ是系统对片上集成波分复用器件需求的通带宽度的一半，即上述预设的偏移量阈值）。ITU标准规定一般20nm波长间隔的平顶波分复用结构110中每个通道的工作带宽是中心波长±6.5nm，即，标准规定的偏移量阈值Δλ为6.5nm。该实施例对平顶波分复用结构进行光谱平坦化设计，使其具有平顶滤波光谱，以使得各通道的带宽大于其对应的中心波长前后偏移6.5nm对应的频带范围，即大于13nm，从而保证实际入射的中心波长在该偏移量阈值范围内波动时，依然可以低损耗通过，避免了实际入射的光信号波动偏离中心波长时所导致的损耗过大的问题。

[0056] 需要说明的是，上述各通道带宽指的是各通道滤波光谱的1dB带宽，即在该带宽范围内的光损耗相比中心波长的损耗小于1dB。以下各实施例所称的带宽均同样表示1dB带宽。

[0057] 该实施例采用上述奇偶错位的通道分组方式，能够使得该平顶波分复用结构中同一分组的相邻通道的中心波长间隔较大，例如中心波长间隔翻倍，由此避免实际入射的光信号波动偏离中心波长时所引起的通道间串扰的问题。

[0058] 具体地，以4个（λ1、λ2、λ3、λ4）波长分割光信号为例，λ1、λ2、λ3、λ4相邻通道之间的中心波长间隔，即相邻两个中心波长的差值，设定为20nm。那么，由于对各通道进行了奇偶分组，则同一分组的相邻两个第一输入波导501或相邻两个第二输入波导502对应通道的中心波长间隔为40nm，为未分组之前的两倍。相邻通道之间的中心波长间隔增大，从而可以将每个通道的带宽设计得较宽，通道间的串扰也不会增大。例如每个通道的带宽可以做到大于或等于2Δλ，并且小于40nm，即每个通道的1dB带宽大于或等于两倍的偏移量阈值，且小于两倍的预定波长间隔。示例性地，上述Δλ为系统要求的中心波长偏移量阈值，例如ITU标准规定该偏移量阈值Δλ为6.5nm，则该波分复用结构滤波光谱每个通道的1dB带宽在13nm到40nm的范围内。

[0059] 由于该平顶波分复用结构110对第一输入波导组、第二输入波导组被配置的中心波长进行了奇偶分组，使得该平顶波分复用结构中同一偏振态的相邻通道的中心波长间隔较大，从而减小了通道间串扰；同时该平顶波分复用结构具有平顶滤波光谱，使其各通道具有较宽的带宽，故其能够容忍由于波导宽度、波导倾角、波导高度以及温度变化影响所引起的中心波长偏移带来的相邻通道之间的串扰问题。

[0060] 应理解，如图3所示，当把预定波长间隔且按照波长从小到大排列的λ1、λ2、λ3、λ4……λ7、λ8波长分割光信号输入所述平顶波分复用结构110的所述多个输入波导时，同样地，采用错位分组的合波方式，从该平顶波分复用结构110的每个第一输入波导501的对应通道输入奇数分组的入射光信号，从该平顶波分复用结构110的每个第二输入波导502的对应通道输入偶数分组的入射光信号。例如，将奇数分组的且具有第一偏振态的λ1、λ3、λ5、λ7输入该平顶波分复

用结构110的每个第一输入波导501的对应通道进行合波，从而得到λ1/λ3/λ5/λ7的合波。将偶数分组的且具有第二偏振态的λ2、λ4、λ6、λ8输入该平顶波分复用结构110的每个第二输入波导502的对应通道进行合波，从而得到λ2/λ4/λ6/λ8的合波。可以理解的是，通过配置所述平顶波分复用结构110的相应的参数，比如配置为不同偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，使得具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光均聚焦到一个输出波导输出，实现多波长-偏振波分复用。另外，当把更多具有预定波长间隔的λ1、λ2、λ3、λ4……λn波长分割光信号输入该平顶波分复用结构110的所述多个第一输入波导501、所述多个第二输入波导502时，其中，n>8，可采用上述同样的方式来实现，在此不再赘述。

[0061] 上述片上集成波分复用器包括衬底和位于衬底上面的芯层，其中平顶波分复用结构位于芯层，该芯层为氮化硅层、硅层或者铌酸锂层中的任一种。具体的，上述实施例中的片上集成波分复用器是硅基波分复用器，芯层为氮化硅层，其包括硅基衬底、埋氧层和氮化硅层，在氮化硅层上设置有平顶波分复用结构。当然也可以是基于其它半导体材料的片上集成波分复用器结构，例如，基于硅材料的波分复用器或者铌酸锂材料的波分复用器，如在绝缘体上硅结构的硅层设置平顶波分复用结构，或在铌酸锂层（如薄膜铌酸锂）设置平顶波分复用结构，本实用新型在此不做限制。

[0062] 所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器，以及偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构、阵列波导光栅结构、角度型多模干涉仪结构中的任意一种，每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均级联一个所述多模干涉器，以实现输出滤波光谱的平坦化，从而提高每个通道的1dB带宽。

[0063] 图4为本申请另一实施例提供的片上集成波分复用器的结构示意图，图5为图4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。

[0064] 通常，在光通信系统中，需要波分复用的多路光信号一般具有相同的偏振态，如图4和图5所示，在本实施例中，所述片上集成波分复用器1000还包括偏振旋转器（polarization rotator，PR）220，用于改变其中一组入射光的偏振态。例如，当把预定波长间隔且按照波长从小到大排列的λ1、λ2、λ3、λ4……λn波长

分割光信号输入所述平顶波分复用结构的所述多个第一输入波导501和所述多个第二输入波导502时，仅其中一组输入波导分别与每个所述偏振旋转器220级联，以用于改变接收到的光束的偏振态，使入射到所述第一输入波导组的入射光的偏振态与入射到所述第二输入波导组的入射光的偏振态相垂直。而另一组输入波导中的入射光的偏振态保持不变。

[0065] 可选地，上述偏振旋转器220也可以是基于硅基的偏振旋转器(PR)，在一些实施方例中，该硅基的偏振旋转器(PR)可与所述平顶波分复用结构集成在同一光子集成电路芯片内。在其它一些实施方例中，该偏振旋转器(PR)也可以是分立的光学器件，例如，半波片或者法拉第旋转器等。

[0066] 如图5所示，在本实施例中，所述偏振旋转器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，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。

[0067] 图6为本申请一实施例中采用偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构作为平顶波分复用结构的示意图。

[0068] 如图6所示，在本实施例中，采用偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构作为平顶波分复用结构，示例性地，平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个刻蚀衍射光栅结构。该刻蚀衍射光栅结构140包括多个第一输入通道141、多个第二输入通

道142、自由传输区144、刻蚀衍射光栅齿面145以及一个输出通道143，其中，所述多个第一输入通道141、所述多个第二输入通道142和所述输出通道143分别位于所述自由传输区144的罗兰圆圆周上的不同位置，每一所述第一输入通道141均通过一个多模干涉器连接每一所述第一输入波导，每一所述第二输入通道142均通过一个多模干涉器连接每一所述第二输入波导，所述输出通道连接所述输出波导，所述输出波导为一偏振兼容的波导。其中，所述自由传输区144包括平板波导，所述自由传输区144基于芯层材料下平板波导中基模有效折射率及芯层材料下平板波导厚度的关系，被配置为使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在所述刻蚀衍射光栅结构中传输模式的有效折射率具有预定差值；所述刻蚀衍射光栅齿面145被配置为根据波长、芯层材料下平板波导基模有效折射率与衍射角的对应关系，对经过所述自由传输区的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光分别进行衍射，以使得经过所述自由传输区的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光合为一路多波长-偏振复用光，所述输出通道143被配置为输出所述多波长-偏振复用光。

[0069] 示例性地，在本实施例中，该刻蚀衍射光栅结构共包含2个第一输入通道、2个第二输入通道和1个输出通道。第一输入波导组接收到的奇数分组的且具有第一偏振态（例如TE模式）的入射光信号（λ1、λ3）分别通过多模干涉器从多个第一输入通道（例如TE输入通道）输入自由传输区；第二输入波导组接收到的偶数分组的且具有第二偏振态（例如TM模式）的入射光信号（λ2、λ4）分别通过多模干涉器从多个第二输入通道（例如TM输入通道）输入。其中，奇数分组和偶数分组的多路入射光的初始偏振态相同时，例如都是TE模式时，可在每一所述第二输入波导级联一个偏振旋转器件，以将原本具有第一偏振态（如TE模式）的入射光信号旋转为具有第二偏振态（如TM模式）的入射光信号，随后将具有第二偏振态的入射光信号经第二输入波导输入到刻蚀衍射光栅结构中。该刻蚀衍射光栅结构通过满足光程差关系的刻蚀衍射光栅齿排布实现不同波长的光束在罗兰圆上的聚焦，通过分别将具有第一偏振态的多路入射光信号、具有第二偏振态的多路入射光信号在不同的输入位置以不同的输入角度输入，并

且计算出相应罗兰圆上输出通道的位置，可以使输入的奇数分组的具有第一偏振态的多路入射光和偶数分组的具有第二偏振态的多路入射光都聚焦到位于罗兰圆上的输出通道处，经输出波导输出多波长-偏振复用光信号。工作时，奇数分组的且具有第一偏振态的两路入射光信号λ1和λ3从预设位置输入并在经过罗兰圆的内部后，生成两个输入模斑，随后两个输入模斑进入罗兰圆的自由传输区144传播，入射到刻蚀衍射光栅齿面145的相应反射面，经刻蚀衍射光栅齿面145反射后聚焦到位于罗兰圆上的输出通道处。同样地，偶数分组的且具有第二偏振态的两路入射光信号λ2和λ4从预设位置输入并在经过罗兰圆的内部后，生成两个输入模斑，随后两个输入模斑进入罗兰圆的自由传输区144传播，入射到刻蚀衍射光栅齿面145的相应反射面，经刻蚀衍射光栅齿面145反射后同样聚焦到位于罗兰圆上的输出通道处，从而从输出通道143输出一路多波长-偏振复用光信号（λ2/λ4）。

[0070] 应理解，由于该偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构的第一输入波导组、第二输入波导组被配置的入射光波长进行了奇偶分组，使得该平顶波分复用结构中相邻通道的中心波长间隔较大，可实现相邻通道的预定波长间隔翻倍。同时该平顶波分复用结构的通过在第一输入波导和第一输入通道之间连接MMI，在第二输入波导和第二输入通道之间连接MMI，以实现输出频谱平坦化，从而使其各通道具有较宽的平顶波段带宽，使得实际入射的中心波长波动时，依然可以低损耗通过，避免了实际入射的光信号波动偏离中心波长时所导致的损耗过大的问题。

[0071] 在本实施例中，根据刻蚀衍射光栅EDG的光栅方程推导出罗兰圆半径表达公式，其中，通过下式表示罗兰圆半径表达公式：

[0072]

$$L_f = \frac{D\lambda}{d\lambda}\frac{n_{eff}}{n_g}\frac{1}{\sin(\theta_{in})+\sin(\theta_{out})} \quad ;$$

[0073] 其中，Lf为罗兰圆直径，D为波导间距，λ为中心波长，dλ为输入通道的波长间隔，neff为平板波导自由传输区的基模的有效折射率，ng为群折射率，θin为入射角，θout为第一偏振态或者第二偏振态模式下的输出角度。

[0074] 在平板波导里面由于它是一个薄膜平板的结构，而TE偏振模式的光和TM偏振模式的光由于边界条件的不同，所以，对应TE偏振模式的光在其内的传输模式的neff与对应TM偏振模式的光在其内的传输模式的neff之间具有差异，从而可以利用这个差异设计二者之间的预定差值，使得从罗兰圆上不同位置以不同的输入角度输入的不同偏振态的入射光都聚焦到罗兰圆上同一个输出通道处，从而从同一输出波导输出。例如可以通过改变平板波导的材料类型或者它的厚度来配置对应TE偏振模式的光在其内的传输模式的neff与对应TM偏振模式的光在其内的传输模式的neff之间的差异。TE偏振模式的有效折射率与TM偏振模式的有效折射率差值，大于同一偏振模式中不同波长的有效折射率差的最大值，比如大于同一模式中第一个波长与最后一个波长之间的有效折射率差值。该实施例中，根据上述公式，TM偏振模式与TE偏振模式的有效折射率的差异需要满足，在中心波长处，TE偏振模式的有效折射率与群折射率的比值与TM偏振模式的有效折射率与群折射率的比值，分别与波长乘积的差值，大于同一偏振模式中不同波长之间的有效折射率与群折射率比值与波长乘积的差值的最大值，比如大于同一模式中第一个波长与最后一个波长之间的有效折射率与群折射率比值与对应波长乘积的差值。

[0075] 该实施例需要使得各路入射光都聚焦到同一个输出通道，因此在上述罗兰圆上各个波长均具有相同的输出角度θout，将TE偏振模式的等效折射率neff−TE及对应分组的各波长及群折射率和输出角度等参数代入上述罗兰圆公式，可以反推出各个波长入射光所需要满足的输入角度θin。同样，将TM偏振模式的等效折射率neff−TM及对应分组的各波长及群折射率和输出角度等参数代入上述罗兰圆公式，反推出对应各个波长入射光所需要满足的输入角度θin。两个偏振模式的等效折射率需要满足TE偏振模式的各个波长入射光的输入角度与TM偏振模式的各个波长入射光的输入角度完全不重叠，即TE偏振模式对应的各波长通道的输入通道在罗兰圆上的位置，与TM偏振模式对应的各波长通道的输入通道在罗

兰圆上的位置完全分开，分布在相互完全错开的两个区域。通过上述方法确定各个第一输入通道与各个第二输入通道在罗兰圆上的位置，可使得从各第一输入通道输入的第一偏振态的各路入射光和各第二输入通道输入的第二偏振态的各路入射光都聚焦到同一个输出通道，以输出一路多波长-偏振复用光，实现单个波分复用器的多波长-偏振复用。

[0076] 图7为本申请一实施例中采用图6中的刻蚀衍射光栅结构进行波分复用的仿真示意图。该仿真是基于硅基氮化硅平台上的刻蚀衍射光栅结构进行的，包括衬底硅、埋氧层二氧化硅和氮化硅层，这里氮化硅层即上述平板波导，也即前述芯层材料为氮化硅。该实施例中，氮化硅层的厚度为350nm，氮化硅折射率为2.15，TE偏振模式和TM偏振模式在其内传输模式（基模）的等效折射率差在0.115左右，或者大于0.115，都可以使各第一输入通道与各第二输入通道完全分开。

[0077] 仿真结果如图7所示，λ1、λ2、λ3、λ4分别为ITU-TG.694.2协议中规定的1271nm、1291nm、1311nm、1331nm，各中心波长间隔20nm。其中，在左图中，实线为奇数波长通道（以TE偏振信号输入EDG）的滤波光谱，中心波长为1271nm和1311nm的两个通道的1dB平顶波段的带宽均达到20nm左右，大于13nm，能够保证在标准要求的中心波长1271nm±6.5nm和1311nm±6.5nm的范围内均为平坦区，光损耗低于1dB。在右图中，虚线为偶数波长通道（以TM偏振信号输入EDG）的滤波光谱，中心波长为1291nm和1331nm的两个通道的1dB平顶波段的带宽也均达到20nm左右，大于13nm，能够保证在中心波长1291nm±6.5nm和1331nm±6.5nm的范围内均为平坦区，光损耗低于1dB。且上述两个分组中，相邻通道的中心波长间隔40nm，该间隔足够大，避免了通道间的信号串扰。因此，该平顶波分复用结构即使受到波导宽度、高度、倾角以及温度变化影响等因素引起该中心波长的波段向长波段偏移（red shift）或者向短波段偏移（blue shift），也能够保证在标准要求的中心波长±6.5nm的偏移量范围内均为平坦区。通过该设计得到的宽带波分复用器件的1dB带宽达到20nm，比不采用此设计结构的波分复用器件带宽明显增大，成功实现了波分复用器件的偏振兼容的宽带输出响应，验证了该方案的可行性。

[0078] 图8为本申请一实施例中采用阵列波导光栅结构作为偏振兼容的平顶波分复用结构的示意图。

[0079] 如图8所示，在本实施例中，采用偏振兼容的阵列波导光栅结构（Array Waveguide Gratings，AWG）作为平顶波分复用结构，示例性地，平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个偏振兼容的阵列波导光栅结构。该阵列波导光栅结构150包括一个输入平板波导151、一个输出平板波导153、以及连接于所述输入平板波导和所述输出平板波导之间的多个阵列波导152（也称之为波导通道），每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均通过一个多模干涉器连接所述输入平板波导151。每个所述阵列波导包括锥波导、直波导和弯曲波导，相邻两个阵列波导之间具有一恒定的长度差，基于不同偏振的入射光在输入平板波导、波导阵列及输出平板波导中的传输模式的有效折射率存在的差异及各阵列波导长度差，构造偏振-波长相关的相位差关系，使具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在经过所述输入平板波导151、所述多个阵列波导152和输出平板波导153的相位配置后合为一路多波长-偏振复用光，以通过单个阵列波导光栅AWG实现多波长-偏振的混合复用。具体的，在该偏振兼容的阵列波导光栅结构中，TE偏振模式的有效折射率与TM偏振模式的有效折射率的预定差值，大于同一偏振模式中不同波长的有效折射率差的最大值，比如大于同一模式中第一个波长与最后一个波长之间的有效折射率差值。

[0080] 示例性地，该多个阵列波导152的通道数量为15个，当然也可以是其它数量，本申请在此不做限制。具体地，该阵列波导光栅结构150采用刻蚀工艺，在绝缘体硅（Silicon On Insulator，SOI）材料上制作，该SOI材料包括顶层硅、埋氧层二氧化硅以及衬底硅，顶层硅厚度为220nm，即可在顶层硅上刻蚀形成阵列波导等结构，刻蚀深度例如为220nm，即芯层为硅层。工作时，两路入射光信号λ1和λ3在经过阵列波导光栅结构中的输入平板波导、多个阵列波导以及输出平板波导的相位配置后聚焦到输出平板波导上连接的输出波导的位置，并合成一束合波光信号（λ1/λ3）由输出波导输出。同样地，两路入射光信号λ2和λ4在经过阵列波导光栅结构中的输入平板波导、多个阵列波导以及输出平板波导的相位配置后聚焦到输出平板波导上连接的输出波导的位置，并合成一束合波

光信号（λ2/λ4）由输出波导输出，最终经同一个输出波导输出一路包含λ1/λ2/λ3/λ4的多波长-偏振复用光信号。采用上述偏振兼容的阵列波导光栅结构形成平顶波分复用结构也能够使得平顶波分复用结构的平顶波段带宽变宽，基于该阵列波导光栅结构将两组不同偏振态的多路不同波长的光信号复用为一路多波长-偏振复用光，从而简化了波分复用器的结构复杂度和尺寸，利于提高光子集成电路芯片的集成度。并且相对于由多个级联的马赫-曾德尔干涉仪结构构成的平顶波分复用结构而言，上述阵列光栅结构具有结构紧凑、尺寸小、插入损耗低、波分复用间隔窄且工艺难度较低等优点。

[0081] 图9为本申请一实施例中采用偏振兼容的角度型的多模干涉仪作为平顶波分复用结构的示意图。

[0082] 如图9所示，在本实施例中，采用偏振兼容的角度型的多模干涉仪作为平顶波分复用结构，示例性地，平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个偏振兼容的角度型多模干涉仪，该角度型的多模干涉仪（MMI）160包括多个所述第一输入波导161、多个所述第二输入波导162、多模干涉区163和一个所述输出波导164，其中，每一所述第一输入波导均通过一个多模干涉器连接所述多模干涉区，每一所述第二输入波导均通过一个多模干涉器连接所述多模干涉区，各所述第一输入波导和所述输出波导之间的水平轴向距离与各所述第二输入波导和所述输出波导之间的水平轴向距离均不相等，且各第一输入波导在多模干涉区的连接位置与各第二输入波导在多模干涉区的连接位置完全分开。图9中，L1表示第一个第一输入波导（λ1）和输出波导之间的水平轴向距离，L3表示第二个第一输入波导（λ3）和输出波导之间的水平轴向距离，L2表示第一个第二输入波导（λ2）和输出波导之间的水平轴向距离，L4表示第二个第二输入波导（λ4）和输出波导之间的水平轴向距离。

[0083] 在本实施例中，上述多模干涉区内输入波导和输出波导之间的水平轴向距离可通过下述表达公式表示：

[0084] $$L = \frac{4mn_{eff}w^2_{mmi}}{\lambda_n}$$ ；

[0085] 其中，m为成像级次，本实施例中m=1，neff为多模干涉区中的基模有效折射率，Wmmi为多模干涉区的宽度，λn为第n个通道对应的基模波长，L表示各输入波导中心和输出波导中心之间沿多模干涉区长度方向的距离。

[0086] 所述多模干涉区163被配置为基于不同偏振态及不同波长的入射光从输入到输出之间的水平轴向距离与不同偏振态在多模干涉区内传输基模的有效折射率的关系，使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光都聚焦到输出波导处，并合为一路多波长-偏振复用光由输出波导输出。

[0087] 示例性地，以四通道的波分复用为例，该角度型的多模干涉仪160包括2个第一输入波导、2个第二输入波导、以及1个输出波导，其中，上述的第一输入波导、第二输入波导以及输出波导与多模干涉区连接的末端可均采用锥波导进行模场展宽。

[0088] 传统角度型多模干涉仪（MMI）基于不同波长在多模干涉区163的周期长度的不同，实现波长的复用和解复用。在本申请实施例中，利用不同偏振模式在多模干涉区内传输的等效折射率不同，通过设计使得具有第一偏振态的入射光信号与具有第二偏振态的入射光信号在多模干涉区内传输基模的等效折射率具有预定差值，进而使得具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光分别从位于多模干涉区长度方向不同位置的第一输入波导和第二输入波导入射到多模干涉区之后，都能聚焦到同一个输出波导并合为一路多波长-偏振复用光输出。具体的，在该角度型的多模干涉仪中，TE偏振模式的有效折射率与TM偏振模式的有效折射率的预定差值，大于同一偏振模式中不同波长的有效折射率差的最大值，比如大于同一模式中第一个波长与最后一个波长之间的有效折射率差值。

[0089] 示例性地，输入的波长信号λ1、λ2、λ3、λ4首先通过偏振旋转器件按奇偶错开分为两种偏振态，即λ1（TE）、λ2（TM）、λ3（TE）、λ4（TM），其中λ1（TE）、λ3（TE）分别由2个第一输入波导输入，λ2（TM）、λ4（TM）分别由2第二输入波导输入。随后，四个波长信号进入多模干涉区163，形成四个输入模斑。由于四个波长信号传输模式有效折射率的不同，该实施例中为基模传输，且TE、TM偏振态传输模式的有效折射率具

有预定差值，该预定差值对干涉周期的影响明显大于不同波长的有效折射率差异对干涉周期的影响，对于一个固定的输入位置，TE和TM偏振态输入模斑的输出位置不同，同时，不同波长的输出位置也不同，反过来，从多个不同输入位置分别输入TE偏振态和TM偏振态的入射光，可以实现从同一个输出位置输出。即，前述四个波长信号在多模干涉区内形成的四个输入模斑经多模干涉区聚焦到同一个输出位置，并合为一路多波长-偏振复用光从同一个输出波导输出，从而实现如图9所示的功能。并利用奇偶分组使得同一分组中相邻波长间隔翻倍，利于实现带宽的增加，同时减小通道间串扰，满足实际应用中的波长偏移范围的要求。

[0090] 进一步地，如图2所示，所述片上集成波分复用器1000还包括一个耦合结构310，所述耦合结构310与所述平顶波分复用结构110的输出波导相连，用于将所述平顶波分复用结构110的输出波导输出的合波光信号耦合至外部光纤，以输出合波完成的光信号，其具有较高的耦合效率，能够降低耦合光路损失。具体地，该耦合结构310可以为低偏振相关损耗的边缘耦合器（low PDL edge coupler）。

[0091] 本申请还提出了一种光子集成电路芯片，所述光子集成电路芯片包括前述任一实施例所述的片上集成波分复用器。

[0092] 在本申请实施例所提供的片上集成波分复用器及光子集成电路芯片中，波分复用器包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，该平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，由于该平顶波分复用结构对第一输入波导组、第二输入波导组被配置的中心波长进行了奇偶分组，且使不同分组的光信号分别以不同的偏振态输入波分复用器，并基于单个偏振兼容的平顶波分复用结构，通过配置该平顶波分复用结构的相应的参数，比如配置为不同偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，将两组不同偏振态的多路不同波长的光信号复用为一路多波长-偏振复用光，简化了波分复用器的结构复杂度和尺寸，利于提高光子集成电路芯片的集成度。

[0093] 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述的部分，可以参见其他实施例的相关描述。

[0094] 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光子集成电路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，所述波分复用器集成于一光子集成电路芯片上，包括一个偏振兼容的平顶波分复用结构，所述平顶波分复用结构具有第一输入波导组、第二输入波导组和一个输出波导，所述第一输入波导组包括多个第一输入波导，所述第二输入波导组包括多个第二输入波导，所述第二输入波导组位于所述第一输入波导组的一侧；

所述多个第一输入波导被配置为分别对应接收预定的第一波长分组且具有第一偏振态的多路入射光，所述多个第二输入波导被配置为分别对应接收预定的第二波长分组且具有第二偏振态的多路入射光，所述输出波导为偏振兼容的波导，所述输出波导被配置为输出多波长-偏振复用光，其中，所述第一偏振态和所述第二偏振态相互垂直；

所述第一波长分组为具有预定波长间隔的λ1、λ2、λ3……λn波长中的奇数分组和偶数分组的其中一组，所述第二波长分组为其中另一组，其中n≥4，且n为正整数，λ1、λ2、λ3……λn按所述预定波长间隔从小到大或从大到小顺序排列；

所述平顶波分复用结构被配置为具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内的传输模式的有效折射率具有预定差值，使所述多个第一输入波导接收到的具有第一偏振态的多路入射光和所述多个第二输入波导接收到的具有第二偏振态的多路入射光在所述平顶波分复用结构内合为一路多波长-偏振复用光并从所述输出波导输出。

[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，所述平顶波分复用结构中每个所述第一输入波导或所述第二输入波导对应的通道的带宽覆盖由其所对应的所述第一输入波导或所述第二输入波导配置的入射光的中心波长加上预设的偏移量阈值对应的频带范围。

[权利要求 3] 根据权利要求2所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
所述预设的偏移量阈值为ITU标准规定的偏移量，所述预定波长间隔为通信系统要求的波长间隔，所述带宽为相应通道的1dB带宽，所述1dB带宽大于或等于两倍的所述偏移量阈值，且小于两倍的所述预定波长间隔。

[权利要求 4] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，还包括多个偏振旋转器，所述偏振旋转器的数量与所述第一输入波导的数量或者所述第二输入波导的数量一致；
所述第一输入波导组和所述第二输入波导组的其中一组的每个输入波导均级联一个所述偏振旋转器，用于改变输入到相应组的每个波长信号的偏振态，使入射到所述第一输入波导组的入射光的偏振态与入射到所述第二输入波导组的入射光的偏振态相垂直。

[权利要求 5] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器，以及偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构、阵列波导光栅结构、角度型多模干涉仪结构中的任意一种，每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均通过一个所述多模干涉器连接所述刻蚀衍射光栅结构、所述阵列波导光栅结构或者所述角度型多模干涉仪结构。

[权利要求 6] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，
所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个偏振兼容的刻蚀衍射光栅结构，所述刻蚀衍射光栅结构包括多个第一输入通道、多个第二输入通道、自由传输区、刻蚀衍射光栅齿面以及一个输出通道，其中，所述多个第一输入通道、所述多个第二输入通道和所述输出通道分别位于所述自由传输区的罗兰圆圆周上的不同位置，每一所述第一输入通道均通过一个所述多模干涉器连接每一所述第一输入波导，每一所述第二输入通道均通过一个所述多模干涉器连接每一所述第二输入波导；

所述自由传输区包括平板波导，所述平板波导被配置为使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内传输模式的有效折射率具有所述预定差值；所述刻蚀衍射光栅齿面被配置为对经过所述自由传输区的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光分别进行衍射，以使得所述具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光均聚焦到所述输出通道处，并合为一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[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，

所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个阵列波导光栅结构，所述阵列波导光栅结构包括一个输入平板波导、一个输出平板波导、以及连接于所述输入平板波导和所述输出平板波导之间的多个阵列波导，每个所述第一输入波导和每个所述第二输入波导均通过一个所述多模干涉器连接所述输入平板波导，所述输出波导连接所述输出平板波导；每个所述阵列波导包括锥波导、直波导和弯曲波导，相邻两个阵列波导之间具有一恒定的长度差，在所述输入平板波导和所述输出平板波导内，所述第一偏振态与所述第二偏振态的有效折射率具有所述预定差值，使具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在经过所述阵列波导光栅结构中的所述多个阵列波导的相位配置后合为一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[权利要求 8] 根据权利要求1所述的片上集成波分复用器，其特征在于，

所述平顶波分复用结构包括多个多模干涉器和一个角度型的多模干涉仪结构，所述角度型的多模干涉仪结构包括多个所述第一输入波导、多个所述第二输入波导、多模干涉区和一个所述输出波导，其中，每一所述第一输入波导和每一所述第二输入波导均通过一个多模干涉器连接于所述多模干涉区的同一侧，各所述第一输入波导和所述输出波导与所述多模干涉区的连接处之间的水平轴向距离与各

所述第二输入波导和所述输出波导与所述多模干涉区的连接处之间的水平轴向距离被配置为具有预设差值；

所述多模干涉区被配置为使输入的具有第一偏振态的多路入射光和具有第二偏振态的多路入射光在其内传输模式的有效折射率具有所述预定差值，以使输入的所述具有第一偏振态的多路入射光和所述具有第二偏振态的多路入射光聚焦到所述输出波导处，并合成一路多波长-偏振复用光由所述输出波导输出。

[权利要求 9] 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包括衬底和位于衬底上面的芯层，所述平顶波分复用结构位于所述芯层，所述芯层为氮化硅层、硅层或者铌酸锂层中的任一种。

[权利要求 10] 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耦合结构，所述耦合结构与所述平顶波分复用结构的输出波导相连，用于将所述平顶波分复用结构的输出波导输出的多波长-偏振复用光信号耦合至外部光纤。

[权利要求 11] 一种光子集成电路芯片，其特征在于，包括如权利要求1-10中任一项所述的片上集成波分复用器。