

波分复用/解复用器、光子集成芯片和光模块

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/解复用器、光子集成芯片和光模块。

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（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0.8 nm）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20 nm）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（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（<1 dB）和较大的1dB带宽，但是具有较高的串扰。

[0004] 中国专利申请《一种基于轴向切趾光栅的滤波器》（申请号：CN201710257373.0）公开了一种滤波器，采用级联的非对称渐变定向耦合器和反对称多模波导光栅，其中反对称多模波导光栅通过两侧光栅齿的轴向位的渐变分布实现切趾，具有容差大、边模抑制比大等优点。但是用作多波长的波分复用器，为了在波分复用器的应用范围内，如CWDM4（1261-1341nm）的范围内减少相邻通道的串扰，则要求在反对称多模波导光栅内传输的TE0模式和TE1模式的有效折射率

差足够大，如大于0.35，这基本只有在绝缘体上硅（SOI）结构上的条波导才能满足，条件要求苛刻。

发明概述

技术问题

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基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器，改善了通道串扰的情况，适用于多种半导体材料的波导，同时具有损耗小、高消光比、高效率和大带宽等优点。

[0006] 为了实现上述目的之一，本申请提供了一种基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器，包括基板，还包括设于所述基板上的总线波导，以及设于所述总线波导上的至少两个波分复用/解复用单元；

[0007] 所述波分复用/解复用单元包括模式复用器和非对称布拉格光栅，所述模式复用器用于使输入光以TE₁模式或更高阶模式的光入射到所述非对称布拉格光栅内；所述模式复用器包括第一端口、第二端口和第三端口，所述第一端口和第二端口分别用于输入或输出光信号，所述第三端口连接所述非对称布拉格光栅；所述至少两个波分复用/解复用单元中不同单元的所述非对称布拉格光栅具有不同的光栅周期；

[0008] 所述基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器作为解复用器工作时，由所述模式复用器的所述第一端口和第二端口的其中一个端口输入包含多个波长的光，经所述模式复用器后由所述第三端口输出TE_(n+1)模式的光入射到所述非对称布拉格光栅上，所述非对称布拉格光栅反射具有与其光栅周期满足谐振条件的谐振波长 λ_i 的光并将反射的所述谐振波长 λ_i 的光转换为TE₀模式返回所述模式复用器，由所述第一端口和第二端口的另一个端口输出；所述非对称布拉格光栅透射除所述谐振波长 λ_i 之外的其它波长的光，所述n为大于或等于零的整数。

[0009] 本申请也提供了一种光子集成芯片，该光子集成芯片内设有上述任一实施例所述的基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器。

[0010] 本申请还提供了一种光模块，该光模块包括上述任一实施例所述的基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器。

发明的有益效果

有益效果

[0011] 本申请的有益效果：改进了模式复用器与非对称布拉格光栅的组合方式，使得非对称布拉格光栅内没有大于谐振波长的TE₀模式反射，不会出现长波长处的TE₀模式的反射峰，有效地避免了其它模式的波长串扰，对TE₀和TE₁的有效折射率差没有要求，使得各种半导体材料的波导结构上的波分复用/解复用器均可满足CWDM的要求，具有更广泛的应用范围。

对附图的简要说明

附图说明

- [0012] 图1为本申请的基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器示意图；
- [0013] 图2为本申请的单个波分复用/解复用单元的结构示意图；
- [0014] 图3为图2中A-A截面示意图；
- [0015] 图4为本申请的一个实施例中四通道的波分复用/解复用器的结构示意图；
- [0016] 图5为硅材料的条波导中TE₀、TE₁、(TE₀+TE₁)/2的有效折射率，以及 $\lambda/2\Lambda$ 的值随波长 λ 的变化关系示意图；
- [0017] 图6为本申请的另一实施例中四通道的波分复用/解复用器的结构示意图；
- [0018] 图7为图6所示实施例的波分复用/解复用器的一种变形结构示意图；
- [0019] 图8为图6所示实施例的波分复用/解复用器的另一变形结构示意图；
- [0020] 图9为本申请的又一实施例中四通道的波分复用/解复用器的结构示意图；
- [0021] 图10为图9所示实施例的波分复用/解复用器的一种变形结构示意图；
- [0022] 图11为本申请的再一实施例中四通道的波分复用/解复用器的结构示意图；
- [0023] 图12为图11所示实施例的波分复用/解复用器的一种变形结构示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 如图1所示，本申请提供一种基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器，包括基板、设于基板上的总线波导10，以及设于总线波导10上的至少两个波分复用/解复用单元20。如图2所示，为单个波分复用/解复用单元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3为图2中A-A截面示意图，该波分复用/解复用器设于绝缘体上硅（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。在其它实施例中，总线波导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。或者，该波分复用/解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。

[0028] 该波分复用/解复用单元20包括模式复用器21和非对称布拉格光栅22，模式复用器用于使输入光以TE₁模式或更高阶模式的光入射到非对称布拉格光栅内。其

中，模式复用器21包括第一端口211、第二端口212和第三端口213；第一端口211和第二端口212分别用于输入或输出光信号，第三端口213连接非对称布拉格光栅22。上述至少两个波分复用/解复用单元中，不同单元的波分复用/解复用单元20的非对称布拉格光栅22具有不同的光栅周期，与其光栅周期满足谐振条件的光具有谐振波长 λ_i 。这里，谐振条件为

$$\frac{2\pi}{\Lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{TE0} + \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{TE1}$$

，其中， Λ 为相应的非对称布拉格光栅的周期， λ_i 为传输光波长， n_{TE0} 和 n_{TE1} 分别为TE0模式和TE1模式的光在相应的非对称布拉格光栅内传输时的有效折射率。

[0029] 该实施例中，如图2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的两端分别为第一端口211和第三端口213，交叉波导215临近第一端口211的一端为第二端口212。交叉波导215和直通波导214进行模式耦合。在其它实施例中，模式复用器也可以采用其它模式复用结构。非对称布拉格光栅22具有渐变非对称的光栅结构，光栅刻蚀深度 h 从光栅两端往中间逐渐变深，光栅中间的波导宽度 d 从两端往中间逐渐变窄，形成一定锥度。

[0030] 上述波分复用/解复用器作为解复用器工作时，由模式复用器21的第一端口211和第二端口212的其中一个端口输入包含有多个波长的光，经模式复用器21后由第三端口213输出TE(n+1)模式的光入射到非对称布拉格光栅22上。非对称布拉格光栅22反射具有与其光栅周期满足上述谐振条件的谐振波长 λ_i 的光并将反射的谐振波长 λ_i 的光转换为TE0模式返回模式复用器21，由第一端口211和第二端口212中的另一个端口输出。非对称布拉格光栅22透射除上述谐振波长 λ_i 之外的其它通信通道对应的波长光。这里，第一端口211和第二端口212中的另一个端口，是与前面第一端口211和第二端口212的其中一个端口用于输入光信号相对应。上述TE0和TE(n+1)模式中， n 为大于或等于零的整数，为便于描述，下面均以 $n=0$ 为例进行解释说明，即以TE1模式在非对称布拉格光栅内传输为例进行说明，在其它实施例中，也可以以比TE1模式更高阶的模式（如，TE2等）在

非对称布拉格光栅内传输。

[0031] 以光通信中常用的CWD4要求的1261-1341 nm范围内包含的四波长的波分复用/解复用为例，假设四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 ，则至少需要三个波分复用/解复用单元级联。如图4所示，为本申请基于非对称布拉格光栅的波分复用/解复用器的一个实施例，包括级联的第一波分复用/解复用单元20a、第二波分复用/解复用单元20b、第三波分复用/解复用单元20c和第四波分复用/解复用单元20d，四个波分复用/解复用单元对应的非对称布拉格光栅分别为：第一非对称布拉格光栅22a、第二非对称布拉格光栅22b、第三非对称布拉格光栅22c和第四非对称布拉格光栅22d。以解复用器为例，以模式复用器21的第一端口211为输入端口Input，第二端口212为输出端口Drop1，第三端口213连接非对称布拉格光栅22a的入射端，非对称布拉格光栅22a的透射端连接下一级的模式复用器21的第一端口211。这里，模式复用器21设计为第一端口211输入的TE0模式的光将直接通过直通波导从第三端口213输出，第三端口213输入的TE1模式的光将与交叉波导进行模式耦合，并从第二端口212输出TE0模式的光。

[0032] 如图4所示的波分复用/解复用器，其解复用过程为，包含 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的四波长的TE0模式的复合光由第一波分复用/解复用单元20a的模式复用器21的第一端口211输入，经模式复用器21直通波导传输后由第三端口213输出并入射到第一波分复用/解复用单元20a的第一非对称布拉格光栅22a上。该第一非对称布拉格光栅22a设计为对 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_1 波长的光反射并发生模式转换。 λ_1 波长的光被第一非对称布拉格光栅22a反射并转换成TE1模式后返回模式复用器21的第三端口213，经模式复用器21的直通波导和交叉波导模式耦合后，转换成TE0模式从第二端口212输出。 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射过第一非对称布拉格光栅22a后继续以TE0模式沿总线波导10传输到下一级的波分复用/解复用单元，即第二波分复用/解复用单元20b，从第二波分复用/解复用单元20b的模式复用器21的第一端口211输入。该第二波分复用/解复用单元20b的第二非对称布拉格光栅22b设计为对 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_2 波长的光反射并发生模式转换。该第二波分复用/解复用单元20b的解复用过程同上一级，最终由第二波分复用/解复用单元20b的模式复用器21的第二端口212输出TE0模式的 λ_2 波长

的光, $\lambda_3 \setminus \lambda_4$ 波长的光则继续以TE0模式沿总线波导10传输到下一级的波分复用/解复用单元, 即第三波分复用/解复用单元20c。该级的第三非对称布拉格光栅22c设计为对 λ_4 波长的光透射, 对 λ_3 波长的光反射并发生模式变换, 最终经第三波分复用/解复用单元20c的模式复用器21的第二端口212输出TE0模式的 λ_3 , 经第三非对称布拉格光栅22c透射并输出TE0模式的 λ_4 波长的光。透射过第三非对称布拉格光栅22c的TE0模式的 λ_4 波长的光继续沿总线波导10传输到第四波分复用/解复用单元20d。该第四波分复用/解复用单元20d的第四非对称布拉格光栅22d设计为对 λ_4 波长的光反射并发生模式变换, 最终经第四波分复用/解复用单元20d的模式复用器21的第二端口212输出TE0模式的 λ_4 , 完成 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 的解复用。作为复用器使用时, 其波分复用过程与上述解复用过程相反, 这里不再赘述。该第四波分复用/解复用单元20d可对前面各级可能透射并传输到第四级的 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3$ 等波长的光进行过滤, 起到滤波作用, 以提高消光比, 避免 λ_4 波长的光通道引入其他波长的串扰。

[0033] 如图2所示, 本申请采用的非对称布拉格光栅22为渐变非对称的布拉格光栅, 该光栅相对于完全非对称布拉格光栅可以有效抑制旁瓣的出现, 具有高消光比。该非对称布拉格光栅22设计为可同时实现滤波和模式转换的作用, 当光栅的周期满足布拉格条件

$$\frac{2\pi}{\Lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} n_{TE0} + \frac{2\pi}{\lambda} n_{TE1}$$

时, 波长 λ 的光与其周期具有谐振关系, 当波长 λ 的光以TE0模式入射到非对称布拉格光栅内时, 该非对称布拉格光栅22可将其转换为TE1模式并反射回去。上述公式中, Λ 为非对称布拉格光栅的周期, λ 为传输光波长, n_{TE0} 和 n_{TE1} 分别为TE0模式和TE1模式的光在非对称布拉格光栅22内传输的有效折射率。上述公式可简化为

$$\frac{\lambda}{2\Lambda} = \frac{n_{TE0} + n_{TE1}}{2}$$

，即对于特定波长 λ ，当合理地选择光栅周期 Λ ，使

$$\frac{\lambda}{2\Lambda}$$

的值等于TE0模式和TE1模式的有效折射率的均值时，可以实现两个模式之间的转化。如图5所示，为典型的绝缘体上硅（SOI）结构中，宽550nm、高220nm的硅材料的条波导中TE0模式和TE1模式的有效折射率、TE0模式和TE1模式的有效折射率的均值，以及特定的光栅周期下

$$\frac{\lambda}{2\Lambda}$$

的值随波长 λ 的变化关系。在CWD4（1261–1341 nm）的范围内，

$$\frac{\lambda}{2\Lambda}$$

的曲线与TE0模式和TE1模式的有效折射率的均值曲线具有交叉点A，即在A点满足上述等式，该设定周期的非对称布拉格光栅将对A点对应的波长的光进行TE0模式和TE1模式的转化并反射。另外，在1340nm附近

$$\frac{\lambda}{2\Lambda}$$

的曲线与TE0模式的折射率曲线也具有交叉点B，即在B点处满足等式

$$\frac{\lambda}{2\Lambda} = n_{TE0}$$

，当波导内传输的光为TE0模式时，在B点对应的波长处也会发生反射。为了避免非对称布拉格光栅对B点对应的TE0模式的波长光的反射引起串扰，需要波导具有较大的TE0模式和TE1模式的有效折射率差，以使得A点和B点对应的波长间

距足够大，以满足CWDM4使用的波长范围（>80nm）的需求。

[0034] 图5所示为典型的绝缘体上硅（SOI）结构中硅材料的条波导经过合理的设计，仿真所得的曲线图，B点在CWDM4使用的波长范围1261–1341 nm之外，不会引入B点对应的波长的串扰。但是在绝缘体上硅的硅材料的脊波导结构，或其他TE0模式和TE1模式的有效折射率差较小的材料（如SiN、SiON、SiO2或铌酸锂等）的波导结构中，A点和B点的间隔很小，小于CWDM4使用的波长间隔（<80nm），将进入严重的波长串扰，无法满足波分复用器的要求。所以图4所示的波分复用/解复用器只适合在绝缘体上硅的硅材料的条波导中适用，在硅材料的条波导中，具有较大的TE0模式和TE1模式的有效折射率差，可使得图5中所示A点和B点对应的波长间距足够大，以满足CWDM4使用的波长范围（>80nm）的需求。

[0035] 如图6所示，为本申请的另一个实施例，该实施例的波分复用/解复用器中，光以TE1模式入射到非对称布拉格光栅内，在非对称布拉格光栅和总线波导内传输的光主要为TE1模式，不会出现如图5中B点处的TE0模式的反射峰。另外，虽然在

$$\frac{\lambda}{2\Lambda}$$

的曲线与TE1模式的折射率曲线的交叉点对应的波长处会出现TE1模式的反射峰。但是该TE1模式的反射峰对应的波长在CWDM4的波长范围之外，在更短的波长处，不会影响CWDM4要求的波长范围内的波分复用/解复用。而且TE1模式可能转换的TE2\TE3等模式也出现在更短的波长处，同样不会影响该波分复用/解复用器的使用。

[0036] 具体的，如图6所示，同样以光通信中常用的CWDM4要求的1261–1341 nm范围内包含的四波长的波分复用解复用为例，假设四个波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 ，该波分复用/解复用器包括三个依次级联的波分复用/解复用单元30a、30b、30c，其中，单个波分复用/解复用单元30a、30b、30c包括模式复用器31和非对称布拉格光栅32a、32b、32c。级联的三个波分复用/解复用单元分别为：第一波分复用/解复用单元30a、第二波分复用/解复用单元30b和第三波分复用/解复

用单元30c。三个波分复用/解复用单元分别对应第一非对称布拉格光栅32a、第二非对称布拉格光栅32b和第三非对称布拉格光栅32c。三个波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅具有不同的光栅周期，分别用于反射 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 波长的光，透射 λ_4 波长的光。上述模式复用器31包括第一端口311、第二端口312和第三端口313；第一端口311和第二端口312分别用于输入或输出光信号，第三端口313连接非对称布拉格光栅32a、32b、32c。以解复用器为例，以模式复用器31的第一端口311为输入端口，第二端口312为输出端口，第三端口313连接非对称布拉格光栅32a、32b、32c的入射端，非对称布拉格光栅32a、32b、32c的透射端连接下一级的模式复用器31的第一端口311。这里，模式复用器31设计为第一端口311输入的TE1模式的光将直接通过直通波导从第三端口313输出，第三端口313输入的TE0模式的光将与交叉波导进行模式耦合，并从第二端口312输出TE1模式的光。

[0037] 上述图6所示的波分复用/解复用器的解复用过程为，包含 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的四波长的TE1模式的复合光由第一波分复用/解复用单元30a的模式复用器31的第一端口311输入，经模式复用器31直通波导传输后由第三端口313输出，并以TE1模式入射到第一波分复用/解复用单元30a的第一非对称布拉格光栅32a上。该第一非对称布拉格光栅32a设计为对 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_1 波长的光反射并发生模式转换。 λ_1 波长的光被第一非对称布拉格光栅32a反射并转换成TE0模式后返回模式复用器31的第三端口313，经模式复用器31的直通波导和交叉波导模式耦合后，转换成TE1模式从第二端口312输出。 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射过第一非对称布拉格光栅32a后继续以TE1模式沿总线波导10传输到下一级的第二波分复用/解复用单元30b，从第二波分复用/解复用单元30b的模式复用器31的第一端口311输入。该第二波分复用/解复用单元30b的第二非对称布拉格光栅32b设计为对 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_2 波长的光反射并发生模式转换。第二波分复用/解复用单元30b的解复用过程同上一级，最终由第二波分复用/解复用单元30b的模式复用器31的第二端口312输出TE1模式的 λ_2 波长的光， λ_3 、 λ_4 波长的光则继续以TE1模式沿总线波导10传输到下一级的第三波分复用/解复用单元30c。该级的第三非对称布拉格光栅32c设计为对 λ_4 波长的光透射，对 λ_3 波

长的光反射并发生模式变换，最终经第三波分复用/解复用单元30c的模式复用器31的第二端口312输出TE1模式的 λ_3 ，经第三非对称布拉格光栅32c透射并输出TE1模式的 λ_4 波长的光，完成 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 四波长的解复用。作为复用器使用时，其波分复用过程与上述解复用过程相反，这里不再赘述。

[0038] 该实施例以TE1模式的光入射到非对称布拉格光栅，使非对称布拉格光栅内传输的光为TE1模式，避免了非对称布拉格光栅对TE0模式的反射引起串扰。同时，可通过先对短波长的光进行反射滤波，依次增加滤波的波长的级联方式，有效地规避掉短波长处可能存在的TE1模式或更高阶模式的反射峰引起串扰。如在上述解复用的过程中，波长 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$ ，即可避免在短波长处出现TE1模式或更高阶模式的反射峰引起串扰。而且，各级波分复用/解复用单元之间的总线波导上不需要额外设置滤波装置，简化了加工工艺。

[0039] 如图7所示的波分复用/解复用器，在图6所示的实施例的基础上，在第三波分复用/解复用单元30c的后面再级联第四波分复用/解复用单元30d，该第四波分复用/解复用单元30d的第四非对称布拉格光栅32d设计为对 λ_4 波长的光反射并发生模式变换，最终经第四波分复用/解复用单元30d的模式复用器31的第二端口输出TE1模式的 λ_4 。该第四波分复用/解复用单元30d用于对前面各级可能透射并传输到第四级的 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3$ 等波长的光进行过滤，起到滤波作用，以提高消光比，避免 λ_4 波长的光通道引入其他波长的串扰。

[0040] 如图8所示波分复用/解复用器，在图6或7所示的实施例的基础上，在波分复用/解复用单元的输出端口增加一个第一模式转换器33。即上述波分复用/解复用单元30a、30b、30c、30d还包括第一模式转换器33，该第一模式转换器33连接模式复用器31的第二端口312。在波分解复用的过程中，各级波分复用/解复用单元30a、30b、30c、30d的第一模式转换器33分别用于将相应的模式复用器31的第二端口312输出的TE1模式的光转换成TE0模式输出。这里，第一模式转换器33的结构与模式复用器31结构相同，包括直通波导和交叉波导，直通波导的两端分别为第一端口和第三端口，交叉波导临近第一端口的一端为第二端口。只是该第一模式转换器33只利用了其中的第二端口和第三端口进行模式转换。在其它实施例中，第一模式转换器33也可以采用其它模式转换结构。

[0041] 如图9所示，同图6所示的实施例一样，都是用于四波长的波分复用/解复用器，该波分复用/解复用器包括三个依次级联的波分复用/解复用单元，其中，单个波分复用/解复用单元40a、40b、40c包括模式复用器41和非对称布拉格光栅42a、42b、42c。级联的三个波分复用/解复用单元分别为：第一波分复用/解复用单元40a、第二波分复用/解复用单元40b和第三波分复用/解复用单元40c；三个波分复用/解复用单元分别对应第一非对称布拉格光栅42a、第二非对称布拉格光栅42b和第三非对称布拉格光栅42c。三个波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅具有不同的光栅周期，分别用于反射 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 波长的光，透射 λ_4 波长的光。与图6所示的实施例不同的是，该实施例中，模式复用器41设计为第二端口412输入的TE0模式的光通过交叉波导与直通波导模式耦合后转成TE1模式的光从第三端口413输出，第三端口413输入的TE0模式的光将直接通过直通波导从第一端口411输出，而第三端口413输入的TE1模式的光将通过直通波导与交叉波导模式耦合后转成TE0模式的光从第二端口412输出。而且，相邻的波分复用/解复用单元40a、40b、40c之间还设有第二模式转换器50。该第二模式转换器50包括两个端口，这两个端口分别连接该第二模式转换器50一侧的上级的非对称布拉格光栅42a或42b和另一侧的下级的模式复用器41的第二端口412。当波分复用/解复用器用作解复用器工作时，第一波分复用/解复用单元40a的模式复用器41的第二端口412作为输入端口，用于接收TE0模式的复合光，第三端口413连接第一非对称布拉格光栅42a的入射端，第一非对称布拉格光栅42a的透射端连接第二模式转换器50的一个端口，第二模式转换器50的另一个端口连接下级的第二波分复用/解复用单元40b的模式复用器41的第二端口，以此类推。第二模式转换器50用于将透射过非对称布拉格光栅的光从TE1模式转换为TE0模式后传输到下级的波分复用/解复用器的模式复用器41的第二端口412。各模式复用器41的第一端口411和第三波分复用/解复用单元40c的第三非对称布拉格光栅42c用于输出解复用之后的各通道的光。这里，第二模式转换器50的结构与模式复用器41的结构相同，包括直通波导和交叉波导，直通波导的两端分别为第一端口和第三端口，交叉波导临近第一端口的一端为第二端口。只是该第二模式转换器50只利用了其中的第二端口和第三端口进行模式转换。在其它实

施例中，第二模式转换器50也可以采用其它模式转换结构。

[0042] 上述解复用过程为，包含 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的四波长的TE0模式的复合光由第一波分复用/解复用单元40a的模式复用器41的第二端口412输入，经模式复用器41的交叉波长与直通波导的模式耦合后由第三端口413输出TE1模式的光，TE1模式的光入射到第一波分复用/解复用单元40a的第一非对称布拉格光栅42a上。该第一非对称布拉格光栅42a设计为对 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_1 波长的光反射并发生模式转换。 λ_1 波长的光被第一非对称布拉格光栅42a反射并转换成TE0模式后返回模式复用器41的第三端口413，经模式复用器41的直通波导传输后从第一端口411输出。 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 波长的光透射过第一非对称布拉格光栅42a后仍然以TE1模式入射到第二模式转换器50内，经第二模式转换器50模式转换为TE0模式的光在总线波导10内传输，经总线波导10传输到下一级的第二波分复用/解复用单元40b，从第二波分复用/解复用单元40b的模式复用器41的第二端口412输入。该第二波分复用/解复用单元40b的第二非对称布拉格光栅42b设计为对 λ_3 、 λ_4 波长的光透射，对 λ_2 波长的光反射并发生模式转换。该第二波分复用/解复用单元40b的解复用过程同上一级，最终由第二波分复用/解复用单元40b的模式复用器41的第一端口411输出TE0模式的 λ_2 波长的光， λ_3 、 λ_4 波长的光则继续以TE1模式入射到第二模式转换器50内，经第二模式转换器50模式转换为TE0模式的光在总线波导10内传输，经总线波导10传输到下一级的第三波分复用/解复用单元40c，从第三波分复用/解复用单元40c的模式复用器41的第二端口412输入。该级的第三非对称布拉格光栅42c设计为对 λ_4 波长的光透射，对 λ_3 波长的光反射并发生模式变换，最终经第三波分复用/解复用单元40c的模式复用器41的第一端口411输出TE0模式的 λ_3 ，经第三非对称布拉格光栅42c透射并输出TE1模式的 λ_4 波长的光，完成 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 四波长的解复用。作为复用器使用时，其波分复用过程与上述解复用过程相反，这里不再赘述。该实施例的结构中，在总线波导10内传输的依然是TE0模式的光，传输损耗小，而且对波导的尺寸要求也小。

[0043] 如图10所示的波分复用/解复用器，在图9所示的实施例的基础上，在第三级的第三波分复用/解复用单元40c的后面再级联一个第二模式转换器50和第四波分

复用/解复用单元40d。第三波分复用/解复用单元40c的第三非对称布拉格光栅2c透射输出的TE1模式的 λ_4 的光经第二模式转换器50转换为TE0模式的光后沿总线波导10传输，经总线波导10传输入射到第四波分复用/解复用单元40d内。该第四波分复用/解复用单元40d的第四非对称布拉格光栅42d设计为对 λ_4 波长的光反射并发生模式变换，最终经第四波分复用/解复用单元40d的模式复用器41的第一端口411输出TE0模式的 λ_4 。该第四波分复用/解复用单元40d用于对前面各级可能透射并传输到第四级的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 等波长的光进行过滤，起到滤波作用，以提高消光比，避免 λ_4 波长的光通道引入其他波长的串扰。

[0044] 如图11所示，同图6所示的实施例一样，都是用于四波长的波分复用/解复用器，该波分复用/解复用器包括三个依次级联的波分复用/解复用单元，其中，单个波分复用/解复用单元60a、60b、60c包括模式复用器61和非对称布拉格光栅62a、62b、62c。级联的三个波分复用/解复用单元分别为：第一波分复用/解复用单元60a、第二波分复用/解复用单元60b和第三波分复用/解复用单元60c；三个波分复用/解复用单元分别对应第一非对称布拉格光栅62a、第二非对称布拉格光栅62b和第三非对称布拉格光栅62c。三个波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅具有不同的光栅周期，分别用于反射 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 波长的光，透射 λ_4 波长的光。与图6所示的实施例不同的是，该实施例中，波分复用/解复用单元的模式复用器61设计为其第一端口611用于传输TE1模式的光，第二端口612用于传输TE0模式的光。即该实施例中的模式复用器61从第一端口611到第三端口613传输的TE1模式的光，输入和输出的光模式不变，从第三端口613到第二端口612传输的TE0模式的光，输入和输出的光模式也不变，例如从第三端口613输入的TE1模式的光，将以TE1模式从第一端口611输出，从第三端口613输入的TE0模式的光，将以TE0模式从第二端口612输出。各级波分复用/解复用单元60a、60b对应的非对称布拉格光栅62a、62b分别连接下一级的波分复用/解复用单元60b、60c的模式复用器61的第一端口611。波分复用/解复用器用作解复用器工作时，第一波分复用/解复用单元60a的模式复用器61的第一端口611作为输入端口，用于接收TE1模式的复合光；各级的模式复用器61的第二端口612和第三波分复用/解复用单元60c的第三非对称布拉格光栅62c用于输出解复用之后的TE0模式的各

通道的光。

[0045] 解复用过程为, 包含 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 的四波长的TE1模式的复合光由第一波分解复用/解复用单元60a的模式复用器61的第一端口611输入, 经模式复用器61后由第三端口613输出TE1模式的光, TE1模式的光入射到第一波分复用/解复用单元60a的第一非对称布拉格光栅62a上。该第一非对称布拉格光栅62a设计为对 $\lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 波长的光透射, 对 λ_1 波长的光反射并发生模式转换。 λ_1 波长的光被第一非对称布拉格光栅62a反射并转换成TE0模式后返回模式复用器61的第三端口613, 经模式复用器61后, 从第二端口612输出TE0模式的 λ_1 波长的光。 $\lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 波长的光透射过第一非对称布拉格光栅62a后仍然以TE1模式在总线波导10内传输, 经总线波导10传输到下一级的第二波分复用/解复用单元60b, 从第二波分复用/解复用单元60b的模式复用器61的第一端口611输入。该第二波分复用/解复用单元60b的第二非对称布拉格光栅62b设计为对 $\lambda_3 \setminus \lambda_4$ 波长的光透射, 对 λ_2 波长的光反射并发生模式转换。该第二波分复用/解复用单元60b的解复用过程同上一级, 最终由第二波分复用/解复用单元60b的模式复用器61的第二端口612输出TE0模式的 λ_2 波长的光, $\lambda_3 \setminus \lambda_4$ 波长的光则继续以TE1模式在总线波导10内传输, 经总线波导10传输到下一级的第三波分复用/解复用单元60c, 从第三波分复用/解复用单元60c的模式复用器61的第一端口611输入。该级的第三非对称布拉格光栅62c设计为对 λ_4 波长的光透射, 对 λ_3 波长的光反射并发生模式变换, 最终经第三波分复用/解复用单元60c的模式复用器61的第二端口612输出TE0模式的 λ_3 , 经第三非对称布拉格光栅62c透射并输出TE1模式的 λ_4 波长的光, 完成 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3 \setminus \lambda_4$ 四波长的解复用。作为复用器使用时, 其波分解复用过程与上述解复用过程相反, 这里不再赘述。

[0046] 如图12所示的波分复用/解复用器, 在图11所示的实施例的基础上, 在第三波分复用/解复用单元60c的后面再级联第四波分复用/解复用单元60d, 该第四波分复用/解复用单元60d的第四非对称布拉格光栅62d设计为对 λ_4 波长的光反射并发生模式变换, 最终经第四波分复用/解复用单元60d的模式复用器61的第二端口612输出TE0模式的 λ_4 。该第四波分复用/解复用单元60d用于对前面各级可能透射并传输到第四级的 $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \setminus \lambda_3$ 等波长的光进行过滤, 起到滤波作用,

以提高消光比，避免 λ_4 波长的光通道引入其他波长的串扰。

- [0047] 上述各实施例以四波长的波分复用/解复用器为例进行说明，当然，采用不同数量的波分复用/解复用单元进行级联，即可实现不同通道数的波分复用或解复用，以及各种级联的变形均在本申请的保护范围内。例如，八通道的波分复用/解复用器可以包括至少7个上述波分复用/解复用单元进行级联，或级联和并联的组合，用于对8个不同波长的光进行波分复用或解复用。当然，八通道的波分复用/解复用器可以包括8个上述波分复用/解复用单元进行级联，或级联和并联的组合。
- [0048] 本申请还提供了一种光模块，包括光子集成芯片，该光子集成芯片内设有上述任一实施例的波分复用/解复用器。该波分复用/解复用器在光发射端作为波分复用器使用，在光接收端作为波分解复用器使用。当然，在光子集成芯片内还可设有信号调制器和/或光探测器等光有源器件，或耦合器等光无源器件。
- [0049] 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。

权利要求书

[权利要求 1] 一种波分复用/解复用器，包括基板，其特征在于：还包括设于所述基板上的总线波导，以及设于所述总线波导上的至少两个波分复用/解复用单元；

所述波分复用/解复用单元包括模式复用器和非对称布拉格光栅，所述模式复用器用于使输入光以TE1模式或更高阶模式的光入射到所述非对称布拉格光栅内；所述模式复用器包括第一端口、第二端口和第三端口，所述第一端口和第二端口分别用于输入或输出光信号，所述第三端口连接所述非对称布拉格光栅；所述至少两个波分复用/解复用单元中不同单元的所述非对称布拉格光栅具有不同的光栅周期；

所述波分复用/解复用器作为解复用器工作时，由所述模式复用器的所述第一端口和第二端口的其中一个端口输入包含多个波长的光，经所述模式复用器后由所述第三端口输出TE(n+1)模式的光入射到所述非对称布拉格光栅上，所述非对称布拉格光栅反射具有与其光栅周期满足谐振条件的谐振波长 λ_i 的光并将反射的所述谐振波长 λ_i 的光转换为TE0模式返回所述模式复用器，由所述第一端口和第二端口的另一个端口输出；所述非对称布拉格光栅透射除所述谐振波长 λ_i 之外的其它波长的光，所述n为大于或等于零的整数。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的波分复用/解复用器，其特征在于：所述谐振条件为

$$\frac{2\pi}{\Lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{TE0} + \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{TE1}$$

，其中， Λ 为所述非对称布拉格光栅的周期， λ_i 为传输光波长， n_{TE0} 和 n_{TE1} 分别为TE0模式和TE1模式的光在所述非对称布拉格光栅内传输时的有效折射率。

[权利要求 3] 根据权利要求1所述的波分复用/解复用器，其特征在于：所述波分复用/解复用器为四通道波分复用/解复用器，所述四通道波分复用/解

复用器包括依次级联的第一波分复用/解复用单元、第二波分复用/解复用单元和第三波分复用/解复用单元；

所述四通道的光波长分别为互不相等的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 ，所述第一波分复用/解复用单元的所述非对称布拉格光栅反射 λ_1 波长的光，透射 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 波长的光；所述第二波分复用/解复用单元的所述非对称布拉格光栅反射 λ_2 波长的光，透射 λ_3 和 λ_4 波长的光；所述第三波分复用/解复用单元的所述非对称布拉格光栅分别反射 λ_3 波长的光，透射 λ_4 波长的光。

[权利要求 4] 根据权利要求3所述的波分复用/解复用器，其特征在于：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为所述第一端口和第三端口，所述交叉波导临近所述第一端口的一端为所述第二端口；所述交叉波导与所述直通波导模式耦合。

[权利要求 5] 根据权利要求4所述的波分复用/解复用器，其特征在于：
级联的各级所述波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅分别连接下一级的所述波分复用/解复用单元的模式复用器的第一端口；
所述波分复用/解复用器用作解复用器工作时，所述第一波分复用/解复用单元的模式复用器的第一端口用于接收TE(n+1)模式的复合光，各所述模式复用器的第二端口和所述第三波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅用于输出解复用之后的各通道的光。

[权利要求 6] 根据权利要求5所述的波分复用/解复用器，其特征在于：所述波分复用/解复用单元还包括第一模式转换器，所述第一模式转换器连接所述模式复用器的第二端口；所述波分复用/解复用器用作解复用器工作时，所述第一模式转换器用于将所述模式复用器的第二端口输出的光从TE(n+1)模式转换为TE0模式。

[权利要求 7] 根据权利要求4所述的波分复用/解复用器，其特征在于：
相邻的所述波分复用/解复用单元之间还设有第二模式转换器，所述第二模式转换器包括两个端口，所述两个端口分别连接所述第二模式转换器一侧的所述非对称布拉格光栅和另一侧的所述模式复用器的第

二端口；

所述波分复用/解复用器用作解复用器工作时，所述第一波分复用/解复用单元的模式复用器的第二端口用于接收TE₀模式的复合光，所述第二模式转换器用于将透射过所述非对称布拉格光栅的光从TE_(n+1)模式转换为TE₀模式后传输到下一级的所述波分复用/解复用器的模式复用器的第二端口，各所述模式复用器的第一端口和所述第三波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅用于输出解复用之后的各通道的光。

- [权利要求 8] 根据权利要求3所述的波分复用/解复用器，其特征在于：
所述模式复用器的第一端口用于传输TE_(n+1)模式的光，第二端口用于传输TE₀模式的光；
各级所述波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅分别连接下一级的所述波分复用/解复用单元的模式复用器的第一端口；
所述波分复用/解复用器用作解复用器工作时，所述第一波分复用/解复用单元的模式复用器的第一端口用于接收TE_(n+1)模式的复合光，各所述模式复用器的第二端口和所述第三波分复用/解复用单元的非对称布拉格光栅用于输出解复用之后的各通道的光。
- [权利要求 9] 根据权利要求3-8任一项所述的波分复用/解复用器，其特征在于：所述四通道波分复用/解复用器还包括与所述第三波分复用/解复用单元级联的第四波分复用/解复用单元；
所述第四波分复用/解复用单元包括所述模式复用器和非对称布拉格光栅，所述非对称布拉格光栅用于反射 λ_4 波长的光。
- [权利要求 10] 根据权利要求1-8任一项所述的波分复用/解复用器，其特征在于：所述总线波导为条波导或脊波导；
所述基板为硅基板、磷化铟基板、氮化镓基板或铌酸锂基板；所述总线波导为硅波导、氮化硅波导、氮氧化硅波导、氧化硅波导、磷化铟波导、氮化镓波导或铌酸锂波导。

- [权利要求 11] 一种光子集成芯片，其特征在于：所述光子集成芯片内设有如权利要

求1-10任一项所述的波分复用/解复用器。

[权利要求 12] 一种光模块，其特征在于：所述光模块包括如权利要求1-10任一项所述的波分复用/解复用器。