

硅基可调滤波器、激光器及光模块

技术领域

[0001] 本申请涉及光通信技术领域，尤其涉及一种硅基可调滤波器、激光器及光模块。

背景技术

[0002] 可调激光器是光通信系统中关键器件，在波分复用、波长路由和相干光通信等应用中都有重要作用。外腔可调激光器因具有窄线宽、较好的边模抑制比、宽波长调谐范围等优点而广泛应用在相干光通信系统中。

[0003] 随着高速互联网和数据中心的发展，对设备集成度提出了更高的要求，对光模块的集成度、尺寸和功耗也提出了新的要求。硅光集成芯片由于与CMOS工艺兼容、可集成光有源/无源器件、功耗低而成为光模块的首选。

[0004] 如图1所示，为常用硅基外腔可调激光器，包括反射型半导体光放大器（Reflective Semiconductor Optical Amplifier, RSOA）100' 和硅基外腔芯片200'，RSOA 100' 一般采用三五族材料制作，通过模斑变换器与硅基外腔芯片实现高效的耦合。RSOA 100' 提供激光增益，硅基外腔芯片200' 提供激光器需要的谐振腔和选模功能。其中，硅基外腔芯片200' 包括模斑变换器10'、2x2耦合器20'、相移器30' 和双微环谐振器（MRR, Microring Resonators）40' 组成的可调滤波器。这里，两个微环谐振器40' 设于一1×2的3dB耦合器50' 的两个分支上，形成反射型可调滤波器，与RSOA 100' 的反射端面一起构成激光谐振腔，通过2x2耦合器20' 的一个分支输出激光。该结构利用具有不同自由光谱范围（FSR）的两个微环谐振器（MRR）组成的具有游标效应的滤波器对波长进行选择，实现可调的窄带宽输出。该结构中，为了保证足够大的调谐范围，且在RSOA的自发辐射谱内只有一个最大值，两个微环谐振器的半径需要尽可能地接近。但是微环谐振器的光谱容易受到制作工艺和周围环境的影响，而且半径的微小变化就能引起双微环光谱发生很大的变化，容易影响激光器的调节和稳定性。

发明概述

技术问题

- [0005] 硅基外腔可调激光器的可调滤波器的光谱容易受到制作工艺和周围环境的影响，从而影响激光器的调节和稳定性。

问题的解决方案

技术解决方案

- [0006] 本申请的目的在于提供一种硅基可调滤波器、激光器及光模块，在保证集成度高、功耗低和尺寸小的同时，具有调节方便、稳定性好等优点。
- [0007] 为了实现上述目的之一，本申请提供了一种硅基可调滤波器，包括形成于硅基上的平顶带通滤波结构、马赫曾德尔干涉结构和一个微环谐振结构；
- [0008] 所述马赫曾德尔干涉结构具有非对称可调相移臂；所述微环谐振结构包括一个可调环形波导和两根直波导，所述两根直波导分别与所述可调环形波导耦合，作为所述微环谐振结构的Input端和Drop端；所述微环谐振结构通过所述Input端和/或Drop端与所述平顶带通滤波结构和所述马赫曾德尔干涉结构级联；
- [0009] 光信号在所述马赫曾德尔干涉结构的干涉作用叠加所述微环谐振结构的谐振作用下，在所述平顶带通滤波结构的滤波作用下输出可调谐的窄带的滤波光信号。
- [0010] 本申请还提供了一种可调激光器，包括半导体光放大器和硅光集成芯片，所述硅光集成芯片上设有第一耦合器、相位调节器和可调滤波器，所述可调滤波器包括级联的平顶带通滤波结构、马赫曾德尔干涉结构和一个微环谐振结构；
- [0011] 所述马赫曾德尔干涉结构具有非对称可调相移臂；所述微环谐振结构包括一个可调环形波导和两根直波导，所述两根直波导分别与所述可调环形波导耦合，作为所述微环谐振结构的Input端和Drop端；所述微环谐振结构通过所述Input端和/或Drop端与所述平顶带通滤波结构和所述马赫曾德尔干涉结构级联；
- [0012] 所述半导体光放大器发射的增益光经所述第一耦合器耦合到所述硅光集成芯片上，在所述马赫曾德尔干涉结构的干涉作用叠加所述微环谐振结构的谐振作用下，在所述平顶带通滤波结构的滤波作用下输出可调谐的目标波长光；
- [0013] 所述相位调节器用于调谐所述增益光的相位。

- [0014] 本申请的另一种可调激光器，包括半导体光放大器和硅光集成芯片，所述半导体光放大器用于提供激光增益，所述半导体光放大器具有相对的第一端面和第二端面，所述第二端面用于与所述硅光集成芯片耦合，所述第一端面作为激光谐振腔的一个腔面；所述硅光集成芯片包括：
- [0015] 第一耦合器，用于耦合所述半导体光放大器和所述硅光集成芯片；
- [0016] 相位调节器，用于调节所述激光的相位；
- [0017] 可调滤波器，用于对所述激光谐振腔内的谐振光进行滤波，以获得单峰窄带激光输出；所述激光谐振腔的另一个腔面设于所述可调滤波器上，所述第一耦合器和相位调节器位于所述激光谐振腔内；
- [0018] 所述可调滤波器包括级联的平顶带通滤波结构、马赫曾德尔干涉结构和一个微环谐振结构；所述马赫曾德尔干涉结构具有非对称可调相移臂；所述微环谐振结构包括一个可调环形波导和两根直波导，所述两根直波导分别与所述可调环形波导耦合，作为所述微环谐振结构的Input端和Drop端；所述微环谐振结构通过所述Input端和/或Drop端与所述平顶带通滤波结构和所述马赫曾德尔干涉结构级联。
- [0019] 本申请还提供了一种光模块，包括上述任一实施例所述的可调激光器。

发明的有益效果

有益效果

- [0020] 本申请的有益效果：采用基于硅光集成的单微环谐振结构结合马赫曾德尔干涉结构和带通滤波结构实现单峰窄带滤光，在保证集成度高、功耗低和尺寸小的同时，避免了双微环调谐容易受到制作工艺和周围环境的影响的问题，具有调节方便、稳定性好等优点。

对附图的简要说明

附图说明

- [0021] 图1是常用技术的可调激光器结构示意图；
- [0022] 图2是本申请的可调激光器结构示意图；
- [0023] 图3是热调相移器截面示意图；
- [0024] 图4是本申请微环和MZI各自滤波光谱示意图；

- [0025] 图5是图4中微环和MZI叠加滤波光谱示意图；
- [0026] 图6是本申请另一微环和MZI各自滤波光谱示意图；
- [0027] 图7是图6中微环和MZI叠加滤波光谱示意图；
- [0028] 图8是本申请实施例1的可调激光器结构示意图；
- [0029] 图9是本申请平顶带通滤波结构示意图；
- [0030] 图10是本申请实施例1可调激光器中可调滤波器的变形结构示意图；
- [0031] 图11是本申请实施例1可调激光器中可调滤波器的另一变形结构示意图；
- [0032] 图12是本申请实施例2的可调激光器结构示意图；
- [0033] 图13是本申请实施例2的可调激光器中可调滤波器的变形结构示意图；
- [0034] 图14是本申请实施例3的可调激光器结构示意图；
- [0035] 图15是本申请实施例3中光子键合引线连接示意图；
- [0036] 图16是本申请实施例4的可调激光器结构示意图；
- [0037] 图17是本申请实施例5的光模块结构示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

- [0038] 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。
- [0039] 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。
- [0040] 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。

[0041] 本申请提供了一种基于硅光集成的外腔可调激光器，常用技术的基于硅光集成的激光外腔中采用双微环谐振结构（MRR, Microring Resonators）组成的可调滤波器进行选模，容易受到制作工艺和周围环境的影响，进而影响激光器的调节和稳定性。为解决上述问题，本申请的可调激光器采用的硅基可调滤波器只采用一个微环谐振结构（MRR），结合马赫曾德尔干涉结构（MZI, Mach Zehnder Interferometer）和平顶带通滤波结构形成，在保证集成度高、功耗低和尺寸小的同时，具有调节方便、稳定性好等优点。具体的，将在下面的实施例中详细阐述。

[0042] 实施例1

[0043] 如图2所示，本申请的可调激光器包括半导体光放大器（Semiconductor Optical Amplifier, SOA）100和硅光集成芯片200，这里，半导体光放大器100采用的是反射型半导体光放大器（Reflective Semiconductor Optical Amplifier, RSOA），通常为三五族材料制成的增益芯片，RSOA通过耦合器与设于硅光集成芯片200上的外腔实现高效的耦合，形成外腔可调激光器。上述硅光集成芯片200上设有第一耦合器10、相位调节器20和可调滤波器，半导体光放大器100具有相对的第一端面和第二端面，半导体光放大器100的第二端面通过第一耦合器10与硅光集成芯片200耦合，相位调节器20用于调节输出激光的相位。激光谐振腔的一个端面位于半导体光放大器100的第一端面上，激光谐振腔的另一个端面位于可调滤波器上。上述第一耦合器10和相位调节器20位于激光谐振腔内。该实施例中，第一耦合器10采用的是模斑变换器，反射型半导体光放大器直接与该模斑变换器对接，通过该模斑变换器与硅光集成芯片200实现高效的耦合。相位调节器20采用的是热调相移器，通过该热调相移器可调节外腔内增益光的相位。在其它实施例中，相位调节器也可以采用电流调谐或压光调谐等其它调谐方式的相移器。

[0044] 上述可调滤波器为设于硅光集成芯片200上的硅基可调滤波器，包括级联的平顶带通滤波结构30、马赫曾德尔干涉结构（MZI）40和一个微环谐振结构（MRR

50。该实施例中，马赫曾德尔干涉结构40包括第一3dB耦合器41、两个非对称可调相移臂43和第二3dB耦合器42，两个非对称可调相移臂43的其中一个相移臂上设有第一可调相移器44，通过调节该第一可调相移器44可调节马赫曾德尔干涉结构40的输出光谱的相位，使其对准特定的波长。微环谐振结构50包括一个可调环形波导51和两根直波导，两根直波导分别与可调环形波导51耦合，形成微环谐振结构的Input端(输入端)53和Drop端(下载端)54。可调环形波导51上设有第二可调相移器52，通过该第二可调相移器52可调节微环谐振结构50的输出光谱的相位，使其与马赫曾德尔干涉结构40叠加后的光谱峰值对准特定的波长。这里，第一可调相移器44和第二可调相移器52均采用热调相移器，在其它实施例中也可以采用电流调谐或压光调谐等其它调谐方式的相移器。如图3所示为热调相移器的截面示意图，由下至上为硅基衬底201、埋氧层202、光波导203和上包层204。在光波导203附近设有加热电极205，加热电极205通过导电过孔206与上包层204上方的金属电极207电性连接，外部电源通过金属电极207给加热电极205供电。调节加热电极205的电压或电流，改变该段光波导203的光学参数，如折射率等，从而改变该路光信号的相位。

[0045] 如图2所示，上述微环谐振结构50通过其Input端53和/或Drop端54与平顶带通滤波结构30和马赫曾德尔干涉结构40级联形成可调滤波器，入射光在马赫曾德尔干涉结构40的干涉作用叠加微环谐振结构50的谐振作用下，在平顶带通滤波结构30的滤波作用下输出可调谐的窄带的滤波光信号。上述半导体光放大器100发射的增益光经第一耦合器10耦合到硅光集成芯片200上，在马赫曾德尔干涉结构40的干涉作用叠加微环谐振结构50的谐振作用下，在平顶带通滤波结构30的滤波作用下输出可调谐的目标波长光；上述相位调节器20用于调谐增益光的相位，使其叠加上述可调滤波器的滤波光谱，输出可调谐的单峰窄带激光。

[0046] 这里，马赫曾德尔干涉结构的干涉光谱的自由光谱范围(FSR1)与微环谐振结构的滤波光谱的自由光谱范围不同(FSR2)，该实施例中，FSR1与FSR2的关系为 $2*FSR2 \leq FSR1 \leq 4*FSR2$ ，即马赫曾德尔干涉结构的自由光谱范围大于或等于两倍的微环谐振结构的自由光谱范围，同时小于或等于四倍的微环谐振结构的自由光谱范围。平顶带通滤波器的3dB带宽要大于或等于激光器的调谐范围，同

时小于FRS1的两倍与激光器调谐范围的差值。如图4和5所示，分别为MZI和MRR各自的滤波光谱，以及MZI和MRR叠加的滤波光谱。以中心波长1290nm，激光器的调谐范围在 $1290 \pm 8\text{nm}$ 为例，MRR的FSR设计为12nm，MZI的FSR为24nm，是MRR的FSR的2倍。分别调节MZI和MRR，使二者叠加的滤波光谱在激光器的调谐范围内的峰值中心波长对齐目标波长，如对齐1290nm，二者叠加的滤波光谱的FSR为MZI的FSR，即24nm。再利用平顶带通滤波器滤掉激光器调谐范围 $1290 \pm 8\text{nm}$ 之外的其它峰值，即可获得单峰窄带的滤波光信号。这里，平顶带通滤波器的中心波长位于1290nm，3dB带宽为24nm。如图6和7所示，同样为MZI和MRR各自的滤波光谱，以及叠加的滤波光谱。以中心波长1290nm，激光器的调谐范围在 $1290 \pm 8\text{nm}$ 为例，MRR的FSR设计为12nm，MZI的FSR为48nm，是MRR的FSR的4倍。二者叠加之后的光谱的FSR为MZI的FSR，即48nm，在波长1290nm左右有一个最大峰值，该最大峰值两侧具有两个次峰值，附近的次峰值与最大峰值的功率差大于3dB，可忽略。再利用平顶带通滤波器滤掉激光器调谐范围 $1290 \pm 8\text{nm}$ 之外的其它峰值，即可获得单峰窄带的滤波光信号。这里，平顶带通滤波器的中心波长位于1290nm，3dB带宽为55nm。如果MZI的FSR更大，如大于MRR的FSR的4倍以上，则MZI和MRR叠加的滤波光谱的最大峰值附近的次峰值的功率可能更高，不可忽略，导致不能实现单峰窄带滤波光。

[0047] 该结构中，马赫曾德尔干涉结构具有非对称可调相移臂，很容易将其光谱对准到特定的波长附近，通过调节单微环谐振结构的光谱，使其与马赫曾德尔干涉结构的光谱对准在特定波长附近，即可完成初始调节，调节简单快捷。而且马赫曾德尔干涉结构与单微环谐振结构的组合，可以增大整体可调滤波器的自由光谱范围（FSR），对单微环谐振结构的微环半径要求也比较低，可适当增大微环半径以提高微环性能，从而可提高可调滤波器及可调激光器的稳定性。

[0048] 如图8和9所示，上述平顶带通滤波结构30包括一个模式复用器31和多模布拉格光栅32。这里，模式复用器31包括直通波导311和交叉波导312，直通波导311具有直通端口313，交叉波导312具有交叉端口314，直通波导311与多模布拉格光栅32连接。从直通端口313输入的TE₀模式的入射光经直通波导311入射到多模布拉格光栅32上，经多模布拉格光栅32滤波反射回TE₁模式的反射光经直通波导31

1到交叉波导312的模式转换后从交叉端口314输出TE0模式的反射光。同样，从交叉端口314入射的TE0模式的入射光经交叉波导312到直通波导311的模式转换后以TE1模式入射到多模布拉格光栅32上，经多模布拉格光栅32滤波反射回TE0模式的反射光经直通波导311的直通端口313输出。该平顶带通滤波结构30通过模式复用器31的直通端口313和交叉端口314级联到可调滤波器的光路中。

[0049] 该实施例中，可调滤波器还包括一个 1×2 耦合器60，该 1×2 耦合器60包括一个主波导61和两个分光波导62，两个分光波导62分别连接微环谐振结构50的Input端53和Drop端54，该微环谐振结构50形成激光外腔的反射端。上述马赫曾德尔干涉结构40的第一3dB耦合器41连接平顶带通滤波结构30的模式复用器31的交叉端口314，第二3dB耦合器42连接该 1×2 耦合器60的主波导61，模式复用器31的直通端口313通过波导连接到相位调节器20。当然，在其它实施例中，也可以互换马赫曾德尔干涉结构和平顶带通滤波结构的位置，即平顶带通滤波结构的模式复用器的直通端口连接马赫曾德尔干涉结构的第二3dB耦合器，交叉端口连接 1×2 耦合器的主波导，马赫曾德尔干涉结构的第一3dB耦合器通过波导连接到相位调节器。

[0050] 硅光集成芯片200还设有第一分光耦合器70，设于第一耦合器10与可调滤波器之间的波导上，用于从激光外腔中分出部分激光输出。该第一分光耦合器70包括一公共端口71和两个分光端口72。该第一分光耦合器70通过公共端口71和两个分光端口72中的一个分光端口连接到第一耦合器10与可调滤波器之间的波导上，两个分光端口72中的另一个分光端口为激光输出端口。作为激光输出端口的分光端口的分光比在10%~90%范围，综合考虑阈值电流和输出光功率的情况，该实施例中作为激光输出端口的分光端口的分光比在70%~80%。该实施例中，第一分光耦合器70的公共端口71连接第一耦合器10，一个分光端口72连接相位调节器20，另一个分光端口72作为激光输出端口用于输出激光。当然，在其它实施例中，该第一分光耦合器也可以连接在相位调节器与可调滤波器之间。或者，该第一分光耦合器也可以反向连接到第一耦合器与可调滤波器之间的波导上，如第一分光耦合器的公共端口连接相位调节器，一个分光端口连接第一耦合器，另一个分光端口作为激光输出端口用于输出激光。

- [0051] 该实施例中，硅光集成芯片200上还设有两个监控结构：第一监控结构80a和第二监控结构80b，分别用于监控可调滤波器的滤波光谱和激光输出端口的输出光功率。这里，第一监控结构80a包括第一监测探测器81和第二分光耦合器82，第二监控结构80b包括第二监测探测器83和第三分光耦合器84，第二分光耦合器82和第三分光耦合器84均包括一公共端口和两个分光端口，其中一分光端口具有较小的分光比，一般在1%~10%，该实施例中较小分光比在5%。上述第二分光耦合器82的公共端口连接可调滤波器，具有较大分光比的分光端口连接相位调节器20，具有较小分光比的分光端口连接第一监测探测器81，用于监控可调滤波器的滤波光谱。第三分光耦合器84的公共端则连接到激光输出端口，即上述第一分光耦合器70的一个分光端口，第三分光耦合器84的具有较小分光比的分光端口连接到第二监测探测器83，用于监控激光输出端口的输出光功率，具有较大分光比的分光端口用于输出激光。当然，在其它实施例中，也可以只设置第一监控结构或者第二监控结构，监控结构的位置和数量可根据需要设置。这里，第一分光耦合器70、第二分光耦合器82和第三分光耦合器84均采用 2×2 的耦合器，设计成不同的分光比，具有更好的稳定性。
- [0052] 在其它实施例中，上述可调滤波器中平顶带通滤波结构、马赫曾德尔干涉结构和微环谐振结构还可以采用如下级联方式：如图10所示，平顶带通滤波结构30和马赫曾德尔干涉结构40分别设于 1×2 耦合器60的两个分光波导62与微环谐振结构50的Input端53和Drop端54之间。或者，如图11所示，平顶带通滤波结构30设于 1×2 耦合器60的一个分光波导62与微环谐振结构50的Input端53或Drop端54之间，马赫曾德尔干涉结构40连接到 1×2 耦合器60的主波导61上，当然，平顶带通滤波结构30和马赫曾德尔干涉结构40的位置也可以互换。
- [0053] 实施例2
- [0054] 如图12所示，与实施例1不同的是，该实施例中采用一环镜90作为激光外腔的部分反射端，省略了实施例1中的 1×2 耦合器和第一分光耦合器。这里，环镜90包括设于硅光集成芯片200上的一 2×2 耦合器91以及连接该 2×2 耦合器91一侧的两个端口的环形波导92，该 2×2 耦合器91另一侧的两个端口分别为输入端口911和输出端口912，该输出端口912作为激光输出端口，用于输出激光。即反射型

半导体光放大器100的一个端面构成激光谐振腔的反射端面， 2×2 耦合器91和环形波导92形成的环镜90构成激光谐振腔的部分反射端面。这里，环形波导92是指连接 2×2 耦合器91一侧的两个端口的波导，能够使该两个端口中的其中一个端口输出的光返回另一个端口即可，波导的延伸路径可根据实际需要设计，不一定是严格的环形，波导上也可设计其它器件。从输入端口911入射到 2×2 耦合器91的光分成两部分分别从环形波导92的两端输入到环形波导中92，两路光在环形波导92中沿相反方向传输，之后分别从环形波导92的两端再输入到 2×2 耦合器91，每一路光再分成两部分，一部分从输出端口912输出，另一部分从输入端口911返回激光谐振腔内。

[0055] 具体的，如图12所示，该实施例中，可调滤波器的平顶带通滤波结构30连接马赫曾德尔干涉结构40的第一3dB耦合器41，马赫曾德尔干涉结构40的第二3dB耦合器42连接微环谐振结构50的Input端53，微环谐振结构50的Drop端54连接环镜90的输入端口911。反射型半导体光放大器100发射的增益光经第一耦合器10耦合到硅光集成芯片200上，依次经相位调节器20、平顶带通滤波结构30、马赫曾德尔干涉结构40和微环谐振结构50之后入射到环镜90上，部分增益光从环镜90的输出端口912输出，另一部分增益光从环镜90的输入端口911返回外腔谐振腔内谐振。这里， 2×2 耦合器91的交叉端口的分光比可在2%~20%范围，相应的输出端口912的输出光占比在36%~96%之间。上述可调滤波器的平顶带通滤波结构30、马赫曾德尔干涉结构40和微环谐振结构50的级联顺序不受限制，可根据实际设计情况合理布局。

[0056] 同实施例1一样，该实施例中还可设置监控结构，例如在相位调节器与可调滤波器之间设置第一监控结构，用于监控可调滤波器的滤波光谱。该第一监控结构的设置方式与实施例1相同，这里不再赘述。也可在激光输出端口处设置第二监控结构，以监控激光输出端口的输出光功率。

[0057] 该结构采用环镜作为外腔谐振腔的部分反射端，省略了实施例1中的 1×2 耦合器和第一分光耦合器，减少了部分耦合器，结构更简洁，损耗更低，具有更高的稳定性。

[0058] 在其它实施例中，可调滤波器的平顶带通滤波结构、马赫曾德尔干涉结构和微

环谐振结构还可部分或全部设于环境的环形波导上。如图13所示，平顶带通滤波结构30、马赫曾德尔干涉结构40和微环谐振结构50的级联结构设于环境90的环形波导92上，环境90的输入端口911连接相位调节器20或第一监控结构的第二分光耦合器82的公共端口。反射型半导体光放大器100发射的增益光经第一耦合器10耦合到硅光集成芯片200上，经相位调节器20后由环境90的输入端口911入射后，分成两路分别从环形波导92的两端入射到环形波导92上，环形波导92内两路传输方向相反的增益光均经过设于环形波导92上的马赫曾德尔干涉结构40、微环谐振结构50和平顶带通滤波结构30的滤波之后在 2×2 耦合器91处合束并分成两部分光，一部分由环境90的输入端口911返回继续在外腔内谐振，另一部分光则由环境的输出端口912输出。这里，微环谐振结构50依然通过其Input端53和Drop端54与平顶带通滤波结构30和马赫曾德尔干涉结构40级联，同样，三者的级联顺序不受限制，可根据实际设计情况合理布局。当然，也可以将马赫曾德尔干涉结构、微环谐振结构和平顶带通滤波结构的其中一个或两个设在相位调节器与环境输入端口之间的波导上，另外的两个或一个设于环境的环形波导上。

[0059] 实施例3

[0060] 如图14所示，与实施例1或2不同的是，该实施例中，反射型半导体光放大器100通过光子引线键合（Photonic Wire Bonding, PWB）300实现与硅光集成芯片200上的第一耦合器10的光连接。如图15所示，组装时，半导体光放大器100和硅光集成芯片200安装于一基板400上，由于芯片厚度、波导位置等差异，半导体光放大器100和硅光集成芯片200对准比较难，采用光子引线键合300进行光连接，对反射型半导体光放大器100和硅光集成芯片200的组装位置、对位精度等要求比较低，降低了反射型半导体光放大器100和硅光集成芯片200的组装难度，可有效提高可调激光器的组装效率。

[0061] 该实施例中，第一耦合器10采用的是光栅耦合器，在其它实施例中，第一耦合器也可以采用模斑变换器。

[0062] 实施例4

[0063] 如图16所示，与实施例1-3不同的是，该实施例的半导体光放大器100采用半反

射型，即半导体光放大器100远离硅光集成芯片200的第一端面101镀部分反射膜，作为激光谐振腔的部分反射腔面，用于输出激光。半导体光放大器100上与第一端面101相对的第二端面102镀抗反射膜，用于与硅光集成芯片100耦合。该实施例的硅光集成芯片200包括第一耦合器10、相位调节器20和可调滤波器，其中，可调滤波器包括级联的带宽滤波结构30、马赫曾德尔干涉结构40和微环谐振结构50。该微环谐振结构50的Input端53和Drop端54连接到 1×2 耦合器60上，形成外腔的反射端，与半导体光放大器100的镀部分反射膜的第一端面101一起形成外腔谐振腔。硅光集成芯片上不设激光输出端口，省略了用于输出激光的分光耦合器，进一步简化了激光器的结构，降低了损耗，同时利于硅光集成芯片的设计和布局。

[0064] 该实施例中，可调滤波器与实施例1中的可调滤波器相同，在可调滤波器与相位调节器之间同样设置了监控结构，第一耦合器采用的是模斑变换器，半导体光放大器与模斑变换器对接耦合。在其它实施例，可调滤波器也可以采用与实施例2中的可调滤波器相同的结构，第一耦合器也可以采用光栅耦合器，半导体光放大器与第一耦合器也可以通过光子键合引线实现光连接。

[0065] 实施例5

[0066] 如图17所示，该实施例提供了一种光模块，包括上述实施例1-4任一项所述的可调激光器。该实施例中硅光集成芯片200上还设有光调制器500，可调激光器输出的激光传输到光调制器500上，经光调制器500调制后输出调制光信号。

[0067] 具体的，如采用实施例1-3任一项所述的可调激光器，激光输出端口也设在硅光集成芯片200上，可直接通过硅光集成芯片200上的波导连接光调制器500。如采用实施例4的可调激光器，激光输出端设在半导体光放大器的端面上，可通过光子引线键合或光纤等将可调激光器的输出的激光传输到光调制器上。

[0068] 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。