



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108496286 B

(45)授权公告日 2020.02.28

(21)申请号 201680079514.8

(22)申请日 2016.12.20

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108496286 A

(43)申请公布日 2018.09.04

(30)优先权数据  
15/004,569 2016.01.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2018.07.20

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2016/067790 2016.12.20

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02017/127203 EN 2017.07.27

(73)专利权人 甲骨文国际公司  
地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 J-H·李 郑学哲  
A·V·克里什纳莫西

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
利商标事务所 11038

代理人 周衡威

(51)Int.Cl.

H01S 5/026(2006.01)

G02B 6/12(2006.01)

H01S 5/0625(2006.01)

H01S 5/10(2006.01)

H01S 5/14(2006.01)

H01S 5/06(2006.01)

(56)对比文件

JP 2010177539 A,2010.08.12,

US 2015104176 A1,2015.04.16,

US 2006198415 A1,2006.09.07,

Shinji Matsuo等.Microring-Resonator-  
Based Widely Tunable Lasers.《IEEE Journal  
of Selected Topics in Quantum  
Electronics》.2009,第15卷(第3(2009)期),第  
545-554页.

Tao Chu等.Compact, low power  
consumption wavelength tunable laser with  
silicon photonic-wire waveguide micro-  
ring resonators.《ECOC》.2009,第1-2.

审查员 蒋呈阅

权利要求书2页 说明书12页 附图7页

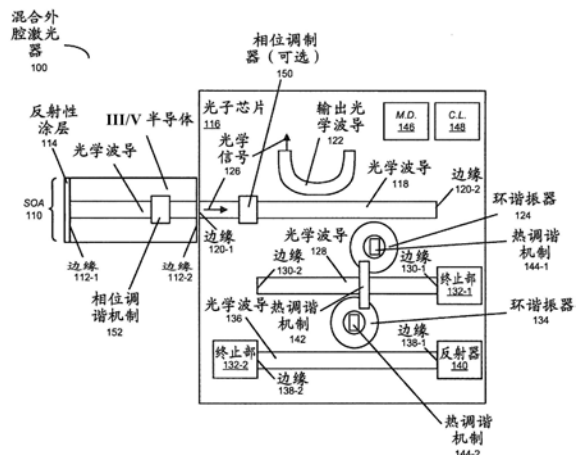
(54)发明名称

双环激光器的波长控制

(57)摘要

光学源包括提供光学信号的半导体光学放大器,以及具有作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器的光子芯片。当光学源在激光发射阈值以下操作时,可以基于光学地耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的共享光学波导上测量的光学功率,来调整可以热耦合到第一环谐振器和/或第二环谐振器的一个或多个热调谐机制,以对齐第一环谐振器和第二环谐振器的谐振。然后,当光学源在激光发射阈值以上操作时,可以基于在光学地耦合到第一环谐振器的光学波导上测量的光学功率,来调整公共热调谐机制,以将经对齐的谐振与光学源的光学腔模式锁

定。



CN 108496286 B

1. 一种光学源,包括:

半导体光学放大器,被限定在除了硅之外的半导体中,其中所述半导体光学放大器具有第一边缘和第二边缘,在第一边缘上包括反射性涂层,并且在操作期间在第二边缘处提供光学信号;以及

光子芯片,光学地耦合到所述半导体光学放大器,其中所述光子芯片包括:

第一光学波导,具有第三边缘和第四边缘,第三边缘光学地耦合到所述半导体光学放大器的第二边缘;

第一环谐振器,光学地耦合到第一光学波导;

第二光学波导,光学地耦合到第一环谐振器,具有第五边缘和光学地耦合到第一终止部的第六边缘;

第二环谐振器,光学地耦合到第二光学波导;

公共热调谐机制,热耦合到第一环谐振器和第二环谐振器;

第一热调谐机制,热耦合到第一环谐振器;

第二热调谐机制,热耦合到第二环谐振器;

监控设备,光学地耦合到第四边缘和第五边缘;以及

控制逻辑,电气地耦合到所述监控设备、所述公共热调谐机制、第一热调谐机制和第二热调谐机制,所述控制逻辑在操作期间调谐第一环谐振器和第二环谐振器。

2. 根据权利要求1所述的光学源,其中所述控制逻辑通过以下操作来调谐第一环谐振器和第二环谐振器:

当所述光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第五边缘处测量的光学功率来调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及

当所述光学源在所述激光发射阈值以上操作时,基于在第四边缘处测量的光学功率来调整所述公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的所述光学源的激光腔模式锁定。

3. 根据权利要求2所述的光学源,其中在操作期间,所述控制逻辑通过以下操作来维持第一谐振和第二谐振与所述激光腔模式的对齐:

调整所述公共热调谐机制以使得在第四边缘处测量的输出功率最小化;以及

调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以使得在第五边缘处测量的输出功率最小化。

4. 根据权利要求2所述的光学源,其中通过使得在第五边缘处测量的光学功率最小化来对齐第一谐振和第二谐振。

5. 根据权利要求2所述的光学源,其中通过使得在第四边缘处测量的光学功率最小化来对齐第一谐振和第二谐振。

6. 根据任一前述权利要求所述的光学源,其中所述半导体光学放大器是以下各项之一:边缘耦合到所述光子芯片;以及表面法向耦合到所述光子芯片。

7. 根据权利要求1-5中任一项所述的光学源,其中给定热调谐机制包括以下各项之一:掺杂半导体加热器;以及金属加热器。

8. 根据权利要求1-5中任一项所述的光学源,其中所述光学源还包括光学地耦合到第

一光学波导的相位调制器。

9. 根据权利要求1-5中任一项所述的光学源,其中所述光子芯片包括:

基板;

布置在所述基板上的掩埋氧化物层;以及

布置在所述掩埋氧化物层上的半导体层,其中光学部件被限定在所述半导体层中。

10. 根据权利要求9所述的光学源,其中所述基板、所述掩埋氧化物层和所述半导体层构成绝缘体上硅技术。

11. 一种光学系统,包括:

处理器;

耦合到所述处理器的存储器;以及

根据任一前述权利要求所述的光学源。

12. 一种用于调谐光学源的方法,所述光学源包括作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器,所述方法包括:

在第一光学波导中传送来自半导体光学放大器的光学信号;

将所述光学信号从第一光学波导经由第一环谐振器光学地耦合到第二光学波导;

在第二光学波导中传送所述光学信号;

将所述光学信号从第二光学波导经由第二环谐振器光学地耦合到第三光学波导;

当所述光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第二光学波导的边缘处测量的光学功率,调整热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制和热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制中的一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及

当所述光学源在所述激光发射阈值以上操作时,基于在第一光学波导的边缘处测量的光学功率调整公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的所述光学源的光学腔模式锁定。

13. 根据权利要求12所述的方法,还包括通过以下操作来调谐第一环谐振器和第二环谐振器:

当所述光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第五边缘处测量的光学功率调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及

当所述光学源在所述激光发射阈值以上操作时,基于在第四边缘处测量的光学功率调整所述公共热调谐机制,以将对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的所述光学源的光学腔模式锁定。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括:在操作期间通过以下操作来维持第一谐振和第二谐振与所述光学腔模式的对齐:

调整所述公共热调谐机制以使得在第四边缘处测量的输出功率最小化;以及

调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以使得在第五边缘处测量的输出功率最小化。

15. 根据权利要求14所述的方法,还包括通过使得在选自包括第四边缘以及第五边缘的分组中的一者处测量的光学功率最小化,来对齐第一环谐振器和第二环谐振。

## 双环激光器的波长控制

[0001] 背景

### 技术领域

[0002] 本公开涉及用于操作光学源的技术。更具体地,本公开涉及用于调谐外腔激光器的技术。

### 背景技术

[0003] 混合III-V半导体硅激光器正在被研究作为硅光子光源。通过独立地充分利用III-V半导体和硅光子的成熟技术,可以使用硅光子平台实现最高效并且可制造的光源。具体而言,绝缘体上硅(SOI)平台可以提供波长选择性并且III-V半导体芯片可以提供光学增益。

[0004] 此外,激光器波长可调谐性正在变成光学通信中光源的重要能力。在光学信号包括多个波长的波分复用(WDM)应用的情况下尤其如此。因此,在这些应用中,可调谐的激光源可以提供灵活性并且可以消除对于多个单波长激光器的需求。激光器可调谐性对于允许激光器波长匹配其他部件(诸如基于谐振器的调制器)也是重要的。

[0005] 在混合激光器配置中,激光器波长控制电路典型地在SOI芯片上实现。此外,由于它们的谐振性质(洛伦兹型线形)和高效的波长调谐机制(诸如热光效应和/或自由载流子色散),微环谐振器可以提供出色的波长选择性。例如,微环谐振器连同 $1 \times 2$ 分路器(或者Y结)可以形成将微环谐振器的谐振波长反馈到光学腔的回路型反射器。注意,反馈信号的光学带宽由微环谐振器的质量因子(Q因子)确定并且可以通过调整微环谐振器的耦合系数而控制。

[0006] 虽然单环谐振器反射器典型地提供出色的单波长反馈,但是调谐范围通常局限于一个自由光谱范围或者FSR(例如,具有 $5\mu\text{m}$ 半径的环谐振器提供近似 $20\text{nm}$ 的FSR)。因此,为了具有宽的调谐范围,环谐振器典型地需要具有非常小的半径。例如,为了具有 $40\text{nm}$ 的调谐范围,单环谐振器典型地具有小于 $3\mu\text{m}$ 的半径。然而,环谐振器的弯曲损耗在这种小的弯曲半径状况中显著地增加,并且典型的加热器(诸如金属加热器或者硅加热器)由于短的长度而变得低效。此外,因为环谐振器的Q因子减小(并且因此,反馈滤波器拓宽),多个光学腔模式(optical cavity mode)可以在环谐振器内发射激光,这可能不利地影响激光器稳定性并且可以导致模式跳跃。

[0007] 原理上,使用游标(vernier)双环谐振器反射器可以解决这些问题。具体而言,具有略微不同的半径的两个微环谐振器可以通过游标效应提供扩展的波长调谐范围。例如,使用半径为 $7.5\mu\text{m}$ 和 $10\mu\text{m}$ 的环谐振器可以获得 $45\text{nm}$ 的调谐范围(亦即,FSR)。这种宽的FSR可以促进稳定并且单模的激光器操作。

[0008] 然而,在实践中,游标双环谐振器反射器经常带来附加的挑战。例如,关于游标双环谐振器反射器的挑战之一是波长控制,因为它要求两个独立环谐振器的精确控制,使得它们保持彼此对齐,并且使得仅一个反射波长可以在整个激光腔中穿过。具体而言,该要求

典型地要求每个环谐振器的谐振频带被提前检查、彼此对齐并且在谱域中被确认。该方法通常昂贵并且缓慢,这会使得游标双环谐振器反射器不那么有吸引力。

[0009] 因此,需要的是不具有上述问题的光学源。

## 发明内容

[0010] 本公开的一个实施例提供光学源,光学源包括被限定在除了硅之外的半导体中并且具有第一边缘和第二边缘的半导体光学放大器。该半导体光学放大器在第一边缘上包括反射性涂层,并且该半导体光学放大器可以在第二边缘处提供光学信号。此外,光学源包括光学地耦合到半导体光学放大器的光子芯片。该光子芯片包括:具有第三边缘和第四边缘的第一光学波导,第三边缘光学地耦合到半导体光学放大器的第二边缘;输出光学波导,在第三边缘与第四边缘之间光学地耦合到第一光学波导,输出光学波导输出具有载波波长的光学信号;以及光学地耦合到第一光学波导的第一环谐振器。

[0011] 此外,光子芯片包括:第二光学波导,光学地耦合到第一环谐振器,具有第五边缘和光学地耦合到第一终止部的第六边缘;光学地耦合到第二光学波导的第二环谐振器;以及第三光学波导,光学地耦合到第二环谐振器,具有光学地耦合到反射器的第七边缘和光学地耦合到第二终止部的第八边缘。此外,光子芯片包括:热耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的公共热调谐机制;热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制;以及热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制;光学地耦合到第四边缘和第五边缘的监控设备;以及控制逻辑,电气耦合到监控设备、公共热调谐机制、第一热调谐机制和第二热调谐机制。

[0012] 控制逻辑通过以下操作来调谐第一环谐振器和第二环谐振器:当光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第五边缘处测量的光学功率调整第一和/或第二热调谐机制,以将第一环谐振器的第一谐振与第二环谐振器的第二谐振在激光发射波长频带内对齐;以及当光学源在激光发射阈值以上操作时,基于在第四边缘处测量的光学功率来调整公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与光学源的光学腔模式锁定。

[0013] 注意,可以通过使在第五边缘处测量的光学功率最小化来对齐第一谐振和第二谐振。

[0014] 此外,可以通过使在第四边缘处测量的光学功率最小化来对齐第一谐振和第二谐振。

[0015] 此外,半导体光学放大器可以:边缘耦合到光子芯片;和/或表面法向耦合到光子芯片。

[0016] 另外,给定热调谐机制可以包括:掺杂半导体加热器;和/或金属加热器。

[0017] 在一些实施例中,光学源包括光学地耦合到第一光学波导的相位调制器。

[0018] 此外,光子芯片可以包括:基板;布置在基板上的掩埋氧化物层;以及布置在掩埋氧化物层上的半导体层,其中光学部件被限定在半导体层中。例如,基板、掩埋氧化物层和半导体层可以构成绝缘体上硅技术。

[0019] 此外,控制逻辑可以通过以下操作来维持第一谐振和第二谐振与光学腔模式的对齐:调整公共热调谐机制以使得在第四边缘处测量的输出功率最小化;以及调整第一和/或第二热调谐机制以使得在第五边缘处测量的输出功率最小化。

[0020] 另一个实施例提供系统,该系统包括:处理器、存储器和所述光学源。

[0021] 另一个实施例提供用于调谐光学源的方法,该光学源包括作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器。

[0022] 该概述仅为了例示一些示例实施例的目的而提供,以便提供本文中描述的主题的一些方面的基本理解。因此,应当领会到,上述特征仅是示例并且不应当解释为以任何方式使得本文中描述的主题的范围或者精神变窄。本文中描述的主题的其他特征、方面和优点将从以下的详细描述、附图和权利要求书中变得清楚。

### 附图说明

[0023] 图1是根据本公开的实施例的混合外腔激光器的框图。

[0024] 图2是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中的双环谐振器对齐的图。

[0025] 图3是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中的双环谐振器对齐的图。

[0026] 图4是例示根据本公开的实施例的激光腔模式对齐到图1的混合外腔激光器中的双环谐振器频带的图。

[0027] 图5是例示根据本公开的实施例的激光腔模式对齐到图1的混合外腔激光器中的双环谐振器频带的图。

[0028] 图6是例示根据本公开的实施例的激光腔模式对齐到图1的混合外腔激光器中的双环谐振器频带的图。

[0029] 图7是例示根据本公开的实施例的激光腔模式对齐到图1的混合外腔激光器中的双环谐振器频带的图。

[0030] 图8是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中发射激光期间双环谐振器对齐的图。

[0031] 图9是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中发射激光期间双环谐振器对齐的图。

[0032] 图10是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中双环谐振器调谐的图。

[0033] 图11是例示根据本公开的实施例的图1的混合外腔激光器中双环谐振器调谐的图。

[0034] 图12是例示根据本公开的实施例的包括光学源的系统的框图。

[0035] 图13是例示根据本公开的实施例的用于调谐包括作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器的光学源的方法的流程图。

[0036] 注意,整个附图中类似的标号指相应的部件。此外,相同部件的多个实例由用破折号与实例编号分离的公共前缀指明。

### 具体实施方式

[0037] 描述了光学源(诸如混合外腔激光器),包括该光学源的系统以及用于调谐该光学源的技术的实施例。光学源包括提供光学信号的半导体光学放大器,以及具有作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器的光子芯片。当光学源在激光发射阈值以下操作时,

可以基于在光学地耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的共享光学波导上测量的光学功率,来调整热耦合到第一和/或第二环谐振器的热调谐机制,以使得第一环谐振器的第一谐振与第二环谐振器的第二谐振对齐。然后,当光学源在激光发射阈值以上操作时,可以基于在光学地耦合到第一环谐振器的光学波导上测量的光学功率,来调整公共热调谐机制,以将第一环谐振器和第二环谐振器的经对齐的第一谐振和第二谐振与光学源的光学腔模式锁定。

[0038] 通过便于光学源的载波波长的调谐和随后的控制,这个反馈控制技术可以允许对第一环谐振器和第二环谐振器的实时光学功率监控和反馈回路控制,以同时将它们与光学腔模式对齐。该反馈控制技术可以在激光器操作期间提供激光器模式稳定。具体而言,通过便于游标环的使用来减少有效滤波器宽度,反馈控制技术可以促进用于发射激光的单个光学腔模式的选择,由此提高激光器稳定性。另外,反馈控制技术可以提供简单并且快速的波长调谐。因此,反馈控制技术可以减少光学源的复杂度和成本,同时提高它的性能。

[0039] 因此,反馈控制技术可以允许光学源用作芯片间和芯片内连接(诸如波分复用(WDM)硅光子链路)中的低成本、紧凑、节能的光学源。此外,光学源可以帮助促进高速芯片间和芯片内硅光子互连,以及可以包括这种部件的相关联的系统(诸如高性能计算系统)。

[0040] 我们现在描述诸如混合外腔激光器的光学源的实施例(作为例示)。图1呈现混合外腔激光器100的框图。该混合外腔激光器包括:半导体光学放大器(SOA)110,其被限定在除硅之外的具有边缘112的半导体(诸如III-V化合物半导体或者具有直接带隙的半导体,例如,砷化镓、磷化铟、铊或者锗)中。该半导体光学放大器在边缘112-1上包括反射性涂层(或者层)114(诸如镜)(因此,半导体光学放大器110可以是反射性半导体光学放大器),并且半导体光学放大器110可以在边缘112-2处提供光学信号126。

[0041] 此外,混合外腔激光器100包括光学地耦合到半导体光学放大器110的光子芯片116。例如,半导体光学放大器110可以:边缘耦合到光子芯片116(诸如面到面光学地耦合);和/或表面法向耦合到光子芯片116。具体而言,边缘到边缘耦合可以通过在半导体光学放大器110中使用宽的光学波导(诸如宽度为2-3 $\mu\text{m}$ 的光学波导)而促进,并且光子芯片116中的光学波导118可以具有几百纳米的宽度。作为替代,半导体光学放大器110可以倒装(flip-chip)接合到光子芯片116上,并且表面法向耦合可以涉及蚀刻或者成角度的镜、光栅耦合器(诸如衍射光栅)和/或光学邻近通信(诸如使用反射镜和/或倏逝波耦合)。

[0042] 光子芯片116包括:传送光学信号126的光学波导118,其具有边缘120;输出光学波导122,在边缘120之间(例如,通过定向耦合器)光学地耦合到光学波导118,输出光学波导122输出具有载波波长的光学信号126(然而,光学信号126可以按照各种方法从混合外腔激光器100中提取,诸如从部分反射镜直接输出);以及环谐振器124(并且,更一般地,波长选择性滤波器或者反射器),其光学地耦合到光学波导118并且具有谐振波长,环谐振器124反射光学信号126中的至少谐振波长。

[0043] 此外,光子芯片116可以包括:具有边缘130的光学波导128,其光学地耦合到环谐振器124,其中边缘130-1光学地耦合到终止部(TERM.)132-1;环谐振器134,其光学地耦合到光学波导128;以及具有边缘138的光学波导136,其光学地耦合到环谐振器134,其中边缘138-1光学地耦合到反射器(REFL.)140(诸如回路镜)并且边缘138-2光学地耦合到终止部132-2。注意,反射性涂层114以及环谐振器124和134可以限定光学腔。

[0044] 另外,光子芯片116可以包括:公共热调谐机制142,其热耦合到环谐振器124和134;热调谐机制144-1,其热耦合到环谐振器124;热调谐机制144-2,其热耦合到环谐振器134;一个或多个监控设备(M.D.)146(诸如光子检测器和/或光学干涉仪),其光学地耦合到边缘120-2和130-2;以及控制逻辑(C.L.)148(其可以实现电气电路),其电气地耦合到监控设备146、公共热调谐机制142、热调谐机制144-1和热调谐机制144-2。注意,给定热调谐机制可以包括:掺杂半导体加热器;和/或金属加热器。

[0045] 如以下参考图2-图9进一步描述的,控制逻辑148可以通过以下操作来调谐环谐振器124和134:当混合外腔激光器100在激光发射阈值以下操作时,基于在边缘130-2测量的光学功率调整热调谐机制144-1,以通过调整环谐振器124和/或134的温度,来对齐环谐振器124和134的谐振;以及,当混合外腔激光器100在激光发射阈值以上操作时,基于在边缘120-2处测量的光学功率调整公共热调谐机制142,以通过调整环谐振器124和/或134的温度,将经对齐的环谐振器124和134的谐振与具有载波波长的混合外腔激光器100的光学腔模式锁定。

[0046] 注意,可以通过使得在边缘130-2处测量的光学功率最小化来对齐环谐振器124和134的谐振。

[0047] 此外,控制逻辑148可以通过以下操作来维持经对齐的谐振与光学腔模式的对齐:调整公共热调谐机制142以使得在边缘120-2处测量的输出功率最小化;以及调整热调谐机制144-1和/或144-2以使得在边缘130-2处测量的输出功率最小化。

[0048] 在一些实施例中,混合外腔激光器100包括光学地耦合到光学波导118的可选相位调制器150(诸如加热器或者通过使用电力载流子注入)。虽然在一些实施例中,相位调谐在半导体光学放大器110中(例如,通过相位调谐机制152)执行,但是在光子芯片116中执行相位调谐可能是有利的,因为可以用热方法进行相位调谐(例如,通过使用加热器或者电阻器加热光学波导118),而不会引起另外的自由载流子吸收损耗(当使用电力载流子注入来调谐相位时经常发生自由载流子吸收损耗)。

[0049] 此外,光子芯片116可以包括:基板;布置在基板上的掩埋氧化物层;以及布置在掩埋氧化物层上的半导体层,其中光学部件被限定在半导体层中。例如,基板、掩埋氧化物层和半导体层可以构成绝缘体上硅技术。

[0050] 在一个示例实施例中,光学信号126的基波波长或者载波波长在1.1-1.7 $\mu\text{m}$ 之间。例如,光学信号126可以具有1.3或者1.55 $\mu\text{m}$ 的基波波长或者载波波长。此外,半导体层可以具有小于1 $\mu\text{m}$ 的厚度(诸如0.2-0.5 $\mu\text{m}$ )。例如,半导体层可以具有0.3 $\mu\text{m}$ 的厚度。此外,掩埋氧化物层可以具有0.3与3 $\mu\text{m}$ 之间的厚度(诸如0.8 $\mu\text{m}$ )。此外,环谐振器124和134中的给定环谐振器的半径可以在5-30 $\mu\text{m}$ 之间。

[0051] 注意,控制逻辑148可以单片地在光子芯片116上或者使用倒装异构地接合到VLSI电路,从而与混合外腔激光器100集成在一起。通过使用反馈控制技术,激光器操作可以被主动地稳定化,使得激光发射腔模式锁定到环谐振器124和134的谐振波长,这允许激光发射腔模式与谐振波长被持续地同步并且一起漂移,而不管外部影响如何。因为反馈系统实时地(或者以足够的采样率)监控光学功率强度,所以可以简化控制系统设计和监控配置。

[0052] 在一些实施例中,给定环谐振器是具有谐振的非常窄带环谐振器滤波器,其具有小于与(混合)光学腔相关联的光学模式间距的半极大处全宽度(full width at half

maximum,FMHW)。这可以确保在环谐振器滤波器的通带内仅可以存在几个腔模式(或者优选地,仅一个腔模式)。例如,环谐振器124或者134可以具有 $5\mu\text{m}$ 的半径,和大约 $20\text{nm}$ 的FSR。结果,具有高质量因子的环谐振器滤波器可以用作调谐镜。作为替代或者另外地,可以使用其他可调谐镜结构。

[0053] 在一个示例实施例中,因为游标反射器中的双环谐振器配置,所以激光器波长控制可能比单环谐振器情况更加复杂。来自两个环谐振器的谐振波长可以彼此对齐以便实现最佳激光器操作;否则,激光器性能可以被显著的光学腔往返损耗不利地影响。为了对齐两个环谐振器,可能需要单独地测量并且然后对齐两个环谐振器的环谐振响应。然而,现有的对齐方法经常非常慢并且通常需要昂贵的光学部件来分析光学光谱。

[0054] 在所公开的混合外腔激光器100中,反馈控制技术可以用来控制激光器反射器中的游标双环谐振器,使得可以以低成本和简单的方式控制激光器波长。具体而言,在图1中,游标双环谐振器结构作为波长选择性部件被合并到混合外腔激光器100中。此外,通过使用公共热调谐机制142、热调谐机制144-1和/或热调谐机制144-2(它们可以彼此独立地操作),可以通过基于在混合外腔激光器100中的贯通端口处测量的光学功率将反馈应用于热耦合到环谐振器124和/或134的加热器,来调谐从混合外腔激光器100输出的载波波长。

[0055] 用于游标环反射器和混合外腔激光器的操作的反馈控制技术可以包括两个主要操作,包括双环谐振器对齐和激光腔模式对齐。

[0056] 在双环谐振器对齐期间,固定的阈值以下偏置电流被施加在光学增益芯片上以确保它提供光学信号到光学腔中但是不诱发激光发射。开始,两个环谐振频带可以不一定彼此一致。这在图2中示出,图2呈现例示混合外腔激光器100(图1)中双环谐振器对齐的附图。在这种情况下,较多的光可以穿过到达边缘130-2,并且较少的光可以光学地耦合到环谐振器134中。

[0057] 然后,环谐振器134的谐振波长由控制逻辑148(图1)使用热调谐机制144-1和/或144-2(图1)移动,以便使得边缘130-2处的光学功率最小化。这可以对齐环谐振器124和134的谐振波长。一旦控制逻辑148(图1)进入恒定状况,环谐振器124和134的透射峰就可以被对齐并且同步。这在图3中示出,图3呈现例示混合外腔激光器100(图1)中双环谐振器对齐的附图。

[0058] 接下来,环谐振器的谐振波长与激光腔模式对齐。具体而言,一旦双环谐振器被对齐,目标操作偏置电流就被施加到光学增益芯片使得开始发射激光。为了最佳激光器操作,激光器仍然需要将双环谐振器谐振波长对齐到激光腔模式。这在图4中示出,图4呈现例示混合外腔激光器100(图1)中激光腔模式对齐到双环谐振频带的附图。为了实现这一点,控制逻辑148(图1)可以使用公共热调谐机制142(图1)同时移动双环谐振器谐振波长,同时监控边缘120-2处的光学功率。如图5中所示,图5呈现例示混合外腔激光器100(图1)中激光腔模式对齐到双环谐振频带的附图,控制逻辑148(图1)可以调整到公共热调谐机制142(图1)的调谐功率,以便使得边缘120-2处的光学功率最小化。然后,控制逻辑148(图1)可以通过反馈回路锁定在调谐状况中。在调谐状况稳定之后,激光器可以在最佳状况(亦即,最低的光学腔损耗)下操作。

[0059] 可以使用这种反馈控制技术的变型来稳定游标双环激光器操作,使得存在较少的模式跳跃。在谐振位置的突然的、大的并且非连续的改变(例如,在启动或者功率循环时)的

情况下,那么可以重复前述过程,以重新建立优选模式下的激光发射。然而,有可能使用在 Ashok V.Krishnamoorthy, Jin-Hyoung Lee 和 Xuezhe Zheng 的,具有美国专利申请序列号 14/714,078 并且于 2015 年 5 月 15 日提交的“External Cavity Laser with Reduced Optical Mode Hopping”中描述的监控和反馈技术,使用控制逻辑 148 (图 1) 在环境和温度漂移存在的情况下控制激光器,通过引用将上述申请的全部内容合并至此。

[0060] 具体而言,如果环谐振器反射器的谐振波长被控制以便使得监控端口处的功率最小化,那么激光发射可以在预先选择的腔模式中发生。在接下来的讨论中,与游标双环谐振器反射器一起使用该监控和反馈技术的变型。在游标双环谐振器情况下,激光器的稳定性受激光腔模式从公共双环谐振波长的走离 (walk-off) 以及两个环谐振器之间的偏移二者所影响。因此,可能需要并发地监控两个环谐振器的谐振波长偏移和腔模式漂移二者。

[0061] 在图 6 中示出在激光器的操作期间环谐振波长与激光腔模式的对齐的控制,图 6 呈现例示在混合外腔激光器 100 (图 1) 中激光腔模式对齐到双环谐振频带的附图。具体而言,用于两个环谐振器的环谐振透射频带 1 和 2 可以被对齐,但是激光腔模式可以由于外部环境改变而离开环谐振峰。激光发射仍然可以在最接近 (如由圆形例示的) 环反射峰的光学腔模式下发生,但是显著量的光学功率会通过监控端口而损耗;因此,较少的光学功率可以保持在光学腔内。因此,双环谐振器谐振需要被移动至光学腔模式位置。这可以由控制逻辑 148 (图 1) 实现的反馈控制回路完成,以使用公共热调谐机制 142 (图 1) 使得双环谐振器谐振波长移位以便使得边缘 120-2 处的光学功率最小化。这在图 7 中示出,图 7 呈现例示混合外腔激光器 100 (图 1) 中激光腔模式对齐到双环谐振频带的附图。一旦锁定到调谐状况中,激光器应当处于稳定状况。

[0062] 此外,如图 8 中所示,图 8 呈现例示混合外腔激光器 100 (图 1) 中激光发射期间双环谐振器对齐的附图,环谐振器中的任一或者两者可以由于外部微扰而走离主峰位置。在这种情况下,可以由于谐振波长未对齐而增加边缘 130-2 处的光学功率。再次,控制逻辑 148 (图 1) 可以移动环谐振器 134 的谐振波长以使得边缘 130-2 处的光学功率最小化。此外,一旦边缘 130-2 已经进入最低功率范围,两个环谐振器就可以返回与激光腔模式一致,并且激光器可以返回到稳定状况。这在图 9 中示出,图 9 呈现例示混合外腔激光器 100 (图 1) 中激光发射期间双环谐振器对齐的附图。

[0063] 游标双环谐振器可以提供宽的波长调谐范围。然而,仍然需要预先配置每个环谐振器的调谐特性并且可能需要精确地控制两个环谐振器以便将经对齐的环谐振波长移动到具体的载波波长。因此,可以使用查找表将调谐功率匹配到针对期望的激光器波长的 (一个或多个) 热调谐机制。该处理是低效的并且由于可能的环境温度改变以及有效折射率的相关联的变化而有时不可靠。为了解决这个问题,可以使用已经描述的波长控制技术,在不具有每个环谐振器的光谱信息的情况下在整个波长调谐范围上调谐。

[0064] 具体而言,首先识别起始激光器波长。这在图 10 中示出,图 10 呈现例示混合外腔激光器 100 (图 1) 中双环谐振器调谐的附图。具体而言,图 10 中的顶部视图示出在调谐控制之前两个环谐振器谐振的重叠视图。此时不存在完美对齐的谐振,但是最接近的相邻频带位于  $\lambda_1$  附近。通过调整热调谐机制 144-2,  $\lambda_1$  附近环谐振器 134 的谐振可以与位于  $\lambda_1$  的环谐振器 124 的谐振对齐。该波长被设置为起始波长并且可以由先前描述的激光器启动过程识别。

[0065] 接下来,使用公共热调谐机制来调谐激光器波长。具体而言,一旦激光器稳定在该

波长( $\lambda_1$ ),公共热调谐机制就可以同时移动环谐振波长,这允许激光器波长调谐。如图10中底部视图中所示,从 $\lambda_1$ 到 $\lambda_2$ 的波长调谐范围可以通过环谐振频带1的一个自由光谱范围移位而实现。如果可以进一步增加公共调谐功率,那么可以跨越整个扩展的游标环自由光谱范围来调谐激光器波长。然而,这将增加总体功率消耗。

[0066] 此外,识别下一个起始激光器波长。在先前描述的游标环对齐技术中,可以识别导致稳定激光器操作的多个调谐功率状况。在先前关于图10描述的调谐操作中,使用反馈控制回路识别了 $\lambda_1$ 为第一起始波长。在找到这个第一环对齐状况之后,施加到热耦合到环谐振器之一(诸如图1中的环谐振器134)的热调谐机制的调谐功率可以进一步增加以搜索下一个环对齐状况。如图11中顶部视图中所示,图11呈现例示混合外腔激光器100(图1)中双环谐振器调谐的附图,这可以在 $\lambda_2$ 处对齐两个环谐振器的谐振波长。这将是第二起始激光器波长。

[0067] 现在,可以使用公共加热器来调谐激光器波长。具体而言,一旦激光器稳定在这个新的起始波长( $\lambda_2$ ),公共热调谐机制就可以同时移动两个环谐振器的谐振波长,这允许激光器波长调谐(如图11中底部视图中所示)。再次,从 $\lambda_2$ 到 $\lambda_3$ 的波长调谐范围可以通过环谐振器124(图1)的一个自由光谱范围移位实现。可以重复图11中所示的操作,以便跨越具有多个起始点的整个游标环自由光谱范围调谐激光器波长。

[0068] 因此,可以使用反馈控制技术控制硅/III-V半导体混合外腔中的游标环激光器波长。以前,游标环谐振控制已经成为挑战,因为它经常需要关于每个环谐振器的光谱信息以及精确的谐振移位。在所公开的反馈控制技术中,可以使用光学功率测量和反馈控制技术实现游标环波长控制,而不需要光学光谱分析。因此,反馈控制技术可以实现在没有光学光谱分析工具的情况下控制激光器波长的简单、快速和经济的方法。该反馈控制技术也可以同时提供激光模式稳定性和波长调谐,并且可以在混合外腔激光器中实现以提供完全封装的片上激光器。

[0069] 光学源的一个或多个先前实施例可以被包括在系统和/或电子设备中。这在图12中示出,图12呈现例示系统1200的框图,系统1200包括光学源1210,诸如光学源的先前实施例中的一个。在一些实施例中,系统1200包括(具有一个或多个处理器的)处理子系统1212和(具有存储器的)存储器子系统1214。

[0070] 通常,光学源1210和系统1200的功能可以在硬件和/或在软件中实现。因此,系统1200可以包括存储在存储器子系统1214(诸如DRAM或者另一种类型的易失性或者非易失性计算机可读存储器)中的一个或多个程序模块或者指令集,在操作期间这些程序模块或者指令集可以由处理子系统1212执行。注意,一个或多个计算机程序可以构成计算机程序机制。此外,存储器子系统1214中各种模块的指令可以以以下各项实现:高级过程语言、面向对象编程语言和/或汇编语言或者机器语言。注意,编程语言可以被编译或者解释,例如,可配置或者配置为由处理子系统执行。

[0071] 系统1200中的部件可以通过信号线、链路或者总线耦合。这些连接可以包括信号和/或数据的电气、光学或者电光通信。此外,在先前的实施例中,一些部件被示为直接连接到彼此,而其他被示为经由中间部件连接。在每个实例中,互连或者‘耦合’的方法在两个或者更多个电路节点或者终端之间建立某种期望的通信。这种耦合经常可以使用许多电路配置完成,如将由本领域那些技术人员理解的那样;例如,可以使用AC耦合和/或DC耦合。

[0072] 在一些实施例中,这些电路、部件和设备中的功能性可以在以下的一个或多个中实现:专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)和/或一个或多个数字信号处理器(DSP)。此外,如本领域中已知的,先前实施例中的功能性可以较多在硬件中并且较少在软件中实现,或者较少在硬件中并且较多在软件中实现。通常,系统1200可以在一个位置或者可以分布在多个地理上分散的位置。

[0073] 系统1200可以包括:VLSI电路、交换机、集线器、桥、路由器、通信系统(诸如波分复用通信系统)、存储区域网、数据中心、网络(诸如局域网)和/或计算机系统(诸如多核处理器计算机系统)。此外,计算机系统可以包括,但不局限于:服务器(诸如多套接字、多机架服务器)、膝上型计算机、通信设备或者系统、个人计算机、工作站、大型计算机、刀片机、企业计算机、数据中心、平板计算机、超级计算机、网络附加存储(NAS)系统、存储区域网(SAN)系统、媒体播放器(诸如MP3播放器)、家用电器、小型笔记本/上网本、平板计算机、智能电话、蜂窝式电话、网络家用电器、机顶盒、个人数字助理(PDA)、玩具、控制器、数字信号处理器、游戏控制台、设备控制器、家用电器内的计算引擎、消费性电子设备、便携式计算设备或者便携式电子设备、个人备忘记事本和/或另一种电子设备。

[0074] 此外,光学源1210可以在各种应用中使用,诸如:通信(例如,在收发器、光学互连或者光学链路中,诸如用于芯片内或者芯片间的通信)、无线电频率滤波器、生物传感器、数据存储装置(诸如光学存储设备或者系统)、医学(诸如诊断技术或者外科)、条形码扫描器、计量学(诸如距离的精确测量)、制造(切割或者焊接)、光刻处理、数据存储(诸如光学存储设备或者系统)和/或娱乐(激光灯光表演)。

[0075] 此外,光学源1210和/或系统1200的实施例可以包括更少的部件或者附加的部件。例如,半导体基板可以是多芯片模块(诸如在其中包括路由层和桥层的交替面向芯片使用光学邻近通信而耦合的多芯片模块)中的多个基板之一。此外,如本领域技术人员已知的,可以使用各种制造技术来制造光学源的先前实施例中的光学源。例如,代替倒装或者晶圆接合,半导体光学放大器110(图1)可以通过外延生长或者使用另一种制造技术单片地集成到绝缘体上硅基板上。另外,可以在光学源中或者连同光学源使用各种光学部件。

[0076] 在一些实施例中,代替与第一环谐振器相关联的热调谐机制和与第一环谐振器和第二环谐振器相关联的公共热调谐机制,光学源可以包括:与第二环谐振器相关联的热调谐机制,以及与第一环谐振器和第二环谐振器相关联的公共热调谐机制;与第一环谐振器相关联的热调谐机制和与第二环谐振器相关联的热调谐机制;或者与第一环谐振器相关联的热调谐机制、与第二环谐振器相关联的热调谐机制,以及与第一环谐振器和第二环谐振器相关联的公共热调谐机制。

[0077] 虽然这些实施例例示为具有许多离散项,但是这些光学部件、集成电路和系统旨在作为可能存在的各种特征的功能描述,而不是本文中描述的实施例的结构示意。因此,在这些实施例中,两个或者多个部件可以组合成单个部件,和/或可以改变一个或多个部件的位置。另外,如本领域中已知的,光学源的先前实施例中的功能性、光学源1210和/或系统1200可以较多在硬件中并且较少在软件中实现,或者较少在硬件中并且较多在软件中实现。

[0078] 虽然已经使用特定的元素和化合物例示先前的实施例,但是如本领域技术人员已知的,可以使用各种各样的材料和成分(包括化学计量和非化学计量组合物)。如此,虽然在

先前实施例中例示硅光学波导,但是如本领域技术人员已知的,可以与其他材料(诸如锗和/或硅锗)一起使用通信技术。此外,半导体层可以包括多晶硅或者单晶硅。此外,光学源1210中的材料和化合物可以使用各种处理技术来制造,包括:蒸发、溅射、化学气相沉积、分子束外延、湿法或者干法蚀刻(诸如光刻法或者直写光刻)、抛光等。另外,可以在光学设备和/或光学源1210中或者连同光学设备和/或光学源1210使用各种光学部件。

[0079] 我们现在描述用于调谐光学源的方法的实施例。图13呈现例示用于调谐包括作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器的光学源的方法1300的流程图,方法1300可以由光学源的实施例执行。在操作期间,第一光学波导传送来自半导体光学放大器的光学信号(操作1310)。然后,该光学信号从第一光学波导经由第一环谐振器光学地耦合(操作1312)到第二光学波导。此外,第二光学波导传送光学信号(操作1314)。接下来,光学信号从第二光学波导经由第二环谐振器光学地耦合(操作1316)到第三光学波导。

[0080] 当光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第二光学波导的边缘处测量的光学功率,调整(操作1318)热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制和/或热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振。此外,当光学源在激光发射阈值以上操作时,公共热调谐机制基于在第一光学波导的边缘处测量的光学功率,将第一环谐振器和第二环谐振器的经对齐的第一谐振和第二谐振与光学源的光学腔模式锁定(操作1320)。

[0081] 在方法1300的一些实施例中,可以存在附加的或者更少的操作。此外,可以改变操作的次序,和/或两个或者多个操作可以组合成单个操作。

[0082] 因此,从一个角度,描述了光学源,其包括提供光学信号的半导体光学放大器,以及具有作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器的光子芯片。当光学源在激光发射阈值以下操作时,可以基于光学地耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的共享光学波导上测量的光学功率,调整可以热耦合到第一环谐振器和/或第二环谐振器的一个或多个热调谐机制,以对齐第一环谐振器和第二环谐振器的谐振。然后,当光学源在激光发射阈值以上操作时,可以基于在光学地耦合到第一环谐振器的光学波导上测量的光学功率,调整公共热调谐机制,以将经对齐的谐振与光学源的光学腔模式锁定。

[0083] 符合本公开的另外的示例在以下编号的子句中陈述:

[0084] 子句1一种光学源,包括:限定在除了硅之外的半导体中的半导体光学放大器,其中该半导体光学放大器具有第一边缘和第二边缘,在第一边缘上包括反射性涂层,并且在操作期间在第二边缘处提供光学信号;以及,光学地耦合到半导体光学放大器的光子芯片,其中光子芯片包括:具有第三边缘和第四边缘的第一光学波导,第三边缘光学地耦合到半导体光学放大器的第二边缘;光学地耦合到第一光学波导的第一环谐振器;第二光学波导,光学地耦合到第一环谐振器,具有第五边缘和光学地耦合到第一终止部的第六边缘;光学地耦合到第二光学波导的第二环谐振器;热耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的公共热调谐机制;热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制;热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制;光学地耦合到第四边缘和第五边缘的监控设备;以及控制逻辑,电气地耦合到监控设备、公共热调谐机制、第一热调谐机制和第二热调谐机制,控制逻辑在操作期间调谐第一环谐振器和第二环谐振器。

[0085] 子句2如子句1所述的光学源,其中控制逻辑通过以下操作来调谐第一环谐振器和

第二环谐振器:当光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第五边缘处测量的光学功率调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及,当光学源在激光发射阈值以上操作时,基于在第四边缘处测量的光学功率调整公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的光学源的光学腔模式锁定。

[0086] 子句3如子句2所述的光学源,其中在操作期间,控制逻辑通过以下操作来维持第一谐振和第二谐振与光学腔模式的对齐:调整公共热调谐机制以使得在第四边缘处测量的输出功率最小化;以及调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以使得在第五边缘处测量的输出功率最小化。

[0087] 子句4如子句2或者3所述的光学源,其中通过使得在第五边缘处测量的光学功率最小化,来对齐第一谐振和第二谐振。

[0088] 子句5如子句2或者3所述的光学源,其中通过使得在第四边缘处测量的光学功率最小化,来对齐第一谐振和第二谐振。

[0089] 子句6如任何先前子句所述的光学源,其中半导体光学放大器是以下各项之一:边缘耦合到光子芯片;以及表面法向耦合到光子芯片。

[0090] 子句7如任何先前子句所述的光学源,其中给定的热调谐机制包括以下各项之一:掺杂半导体加热器;以及金属加热器。

[0091] 子句8如任何先前子句所述的光学源,其中光学源还包括光学地耦合到第一光学波导的相位调制器。

[0092] 子句9如任何先前子句所述的光学源,其中光子芯片包括:基板;布置在基板上的掩埋氧化物层;以及布置在掩埋氧化物层上的半导体层,其中光学部件被限定在半导体层中。

[0093] 子句10如子句9所述的光学源,其中基板、掩埋氧化物层和半导体层构成绝缘体上硅技术。

[0094] 子句11一种系统,包括:处理器;耦合到处理器的存储器;以及光学源,其中光学源包括:限定在除了硅之外的半导体中的半导体光学放大器,其中该半导体光学放大器具有第一边缘和第二边缘,在第一边缘上包括反射性涂层,并且在操作期间在第二边缘处提供光学信号;以及光学地耦合到半导体光学放大器的光子芯片,其中光子芯片包括:具有第三边缘和第四边缘的第一光学波导,第三边缘光学地耦合到半导体光学放大器的第二边缘;光学地耦合到第一光学波导的第一环谐振器;第二光学波导,光学地耦合到第一环谐振器,具有第五边缘和光学地耦合到第一终止部的第六边缘;光学地耦合到第二光学波导的第二环谐振器;热耦合到第一环谐振器和第二环谐振器的公共热调谐机制;热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制;热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制;光学地耦合到第四边缘和第五边缘的监控设备;以及控制逻辑,电气地耦合到监控设备、公共热调谐机制、第一热调谐机制和第二热调谐机制,控制逻辑在操作期间调谐第一环谐振器和第二环谐振器。

[0095] 子句12如子句11所述的系统,其中控制逻辑通过以下操作来调谐第一环谐振器和第二环谐振器:当光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第五边缘处测量的光学功率来调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及当光学源在激光发射阈值以上操作时,基于在第四边缘

处测量的光学功率来调整公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的光学源的光学腔模式锁定。

[0096] 子句13如子句12所述的系统,其中在操作期间,控制逻辑通过以下操作来维持第一谐振和第二谐振与光学腔模式的对齐:调整公共热调谐机制,以使得在第四边缘处测量的输出功率最小化;以及调整第一热调谐机制和第二热调谐机制中的至少一个,以使得在第五边缘处测量的输出功率最小化。

[0097] 子句14如子句13所述的系统,其中通过使得在第五边缘处测量的光学功率最小化,来对齐第一谐振和第二谐振。

[0098] 子句15如子句13所述的系统,其中通过使得在第四边缘处测量的光学功率最小化,来对齐第一谐振和第二谐振。

[0099] 子句16如子句11至15中的任何一项所述的系统,其中光学源还包括光学地耦合到第一光学波导的相位调制器。

[0100] 子句17如子句11至16中的任何一项所述的系统,其中给定热调谐机制包括以下各项之一:掺杂半导体加热器;以及金属加热器。

[0101] 子句18如子句11至17中的任何一项所述的系统,其中光子芯片包括:基板;布置在基板上的掩埋氧化物层;以及布置在掩埋氧化物层上的半导体层,其中光学部件被限定在半导体层中。

[0102] 子句19如子句18所述的系统,其中基板、掩埋氧化物层和半导体层构成绝缘体上硅技术。

[0103] 子句20一种用于调谐光学源的方法,该光学源包括作为游标环操作的第一环谐振器和第二环谐振器,该方法包括:在第一光学波导中传送来自半导体光学放大器的光学信号;将光学信号从第一光学波导经由第一环谐振器光学地耦合到第二光学波导;在第二光学波导中传送光学信号;将光学信号从第二光学波导经由第二环谐振器光学地耦合到第三光学波导;当光学源在激光发射阈值以下操作时,基于在第二光学波导的边缘处测量的光学功率来调整热耦合到第一环谐振器的第一热调谐机制和热耦合到第二环谐振器的第二热调谐机制中的一个,以对齐第一环谐振器的第一谐振和第二环谐振器的第二谐振;以及当光学源在激光发射阈值以上操作时,基于在第一光学波导的边缘处测量的光学功率来调整公共热调谐机制,以将经对齐的第一谐振和第二谐振与具有载波波长的光学源的光学腔模式锁定。

[0104] 在前面的描述中,我们引用‘一些实施例’。注意‘一些实施例’描述所有可能实施例的子集,但是不总是指定实施例的相同子集。

[0105] 前面的描述旨在使得本领域任何技术人员能够进行和使用本公开,并且在特定应用及其需求的背景下提供。此外,本公开的实施例的前面的描述已经仅为了例示和描述的目的而呈现。它们不旨在是穷举性的或者将本公开局限于所公开的形式。因此,许多修改和变型将对本领域中技术熟练的从业人员是清楚的,并且在不背离本公开的精神和范围的情况下,本文中定义的一般原理可以应用于其他实施例和应用。另外,先前实施例的讨论不旨在局限本公开。因此,本公开不旨在局限于所示的实施例,而是符合与本文中公开的原理和特征一致的最广泛范围。

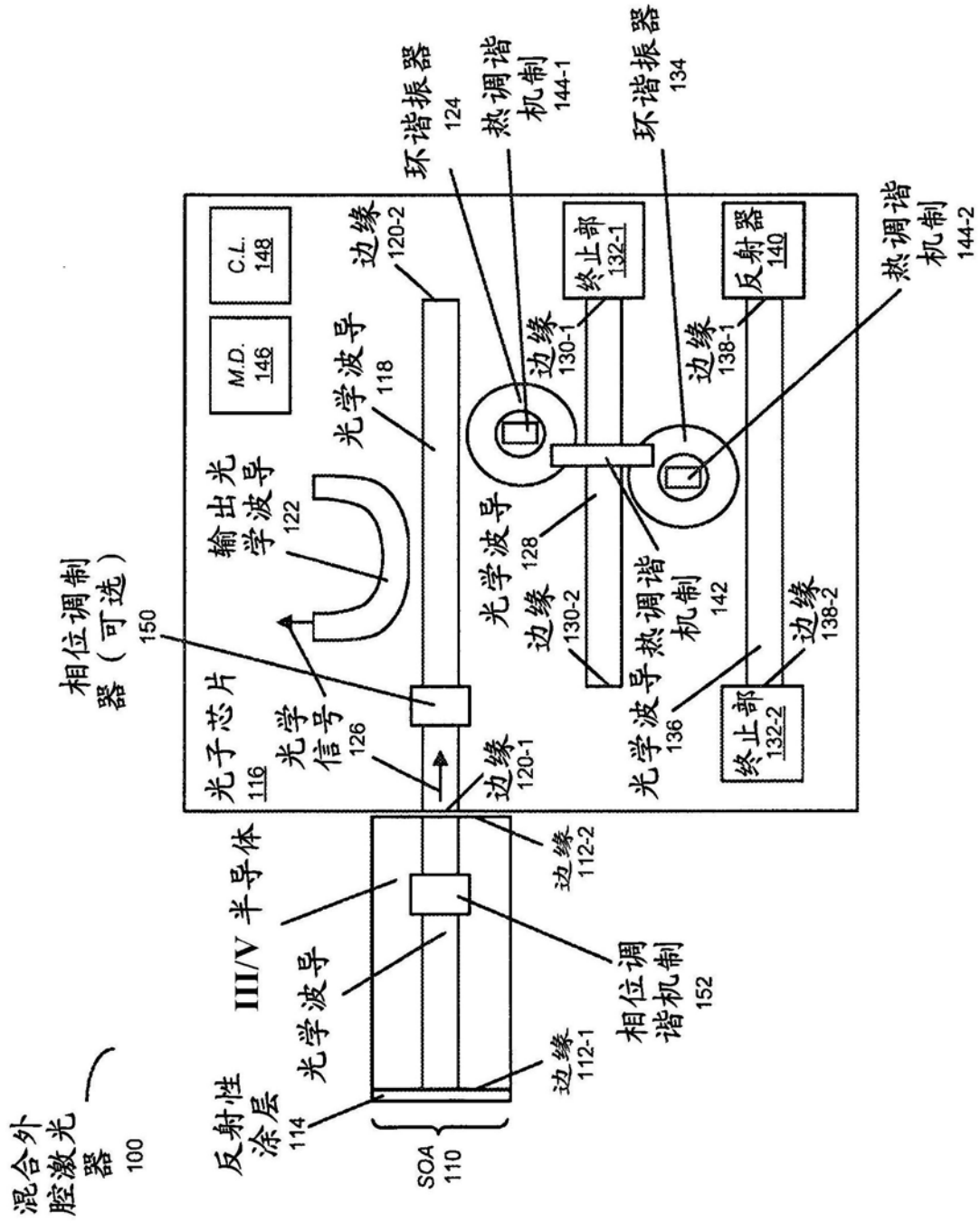


图1

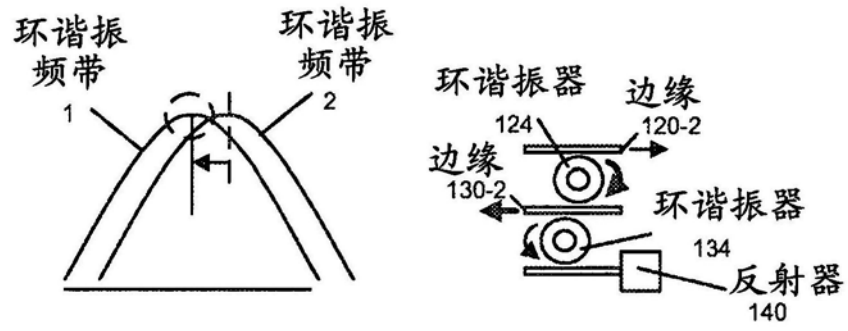


图2

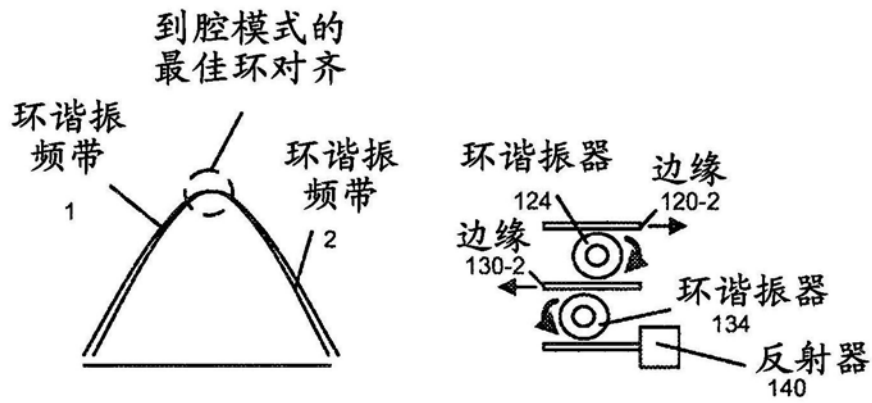


图3

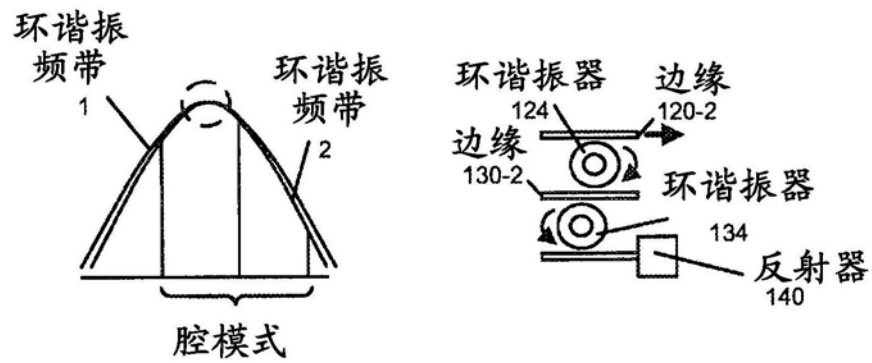


图4

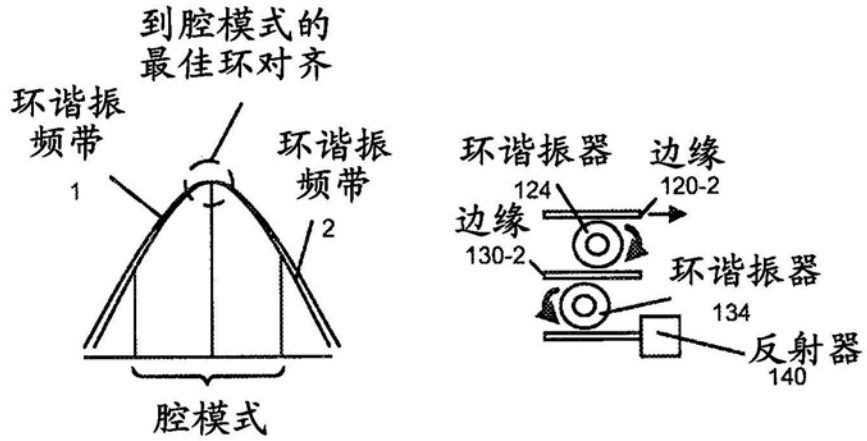


图5

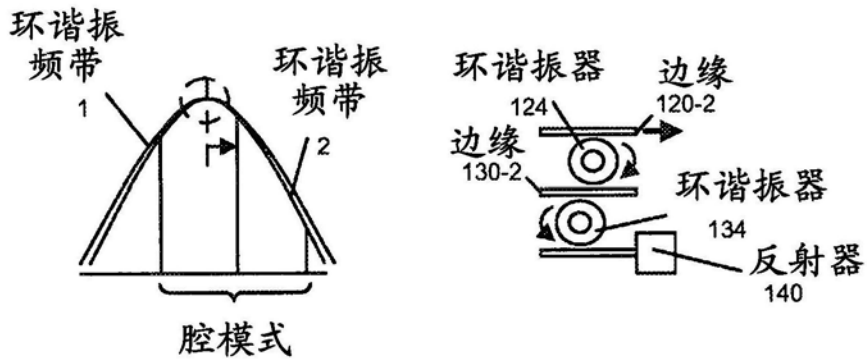


图6

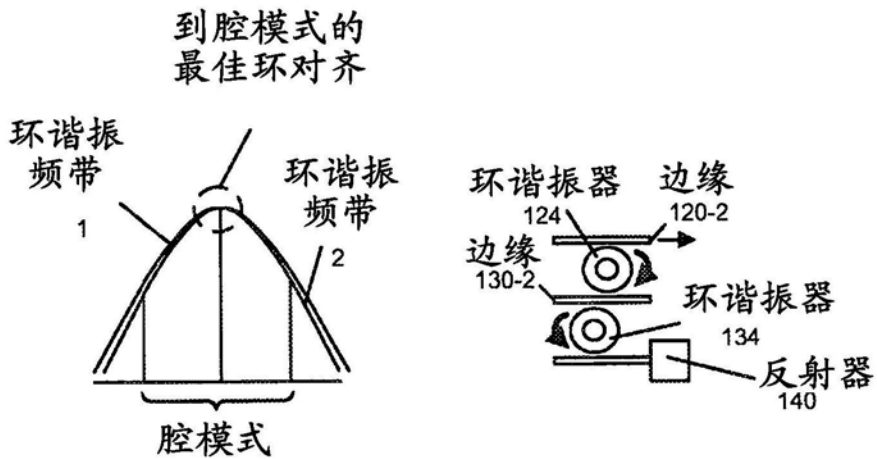


图7

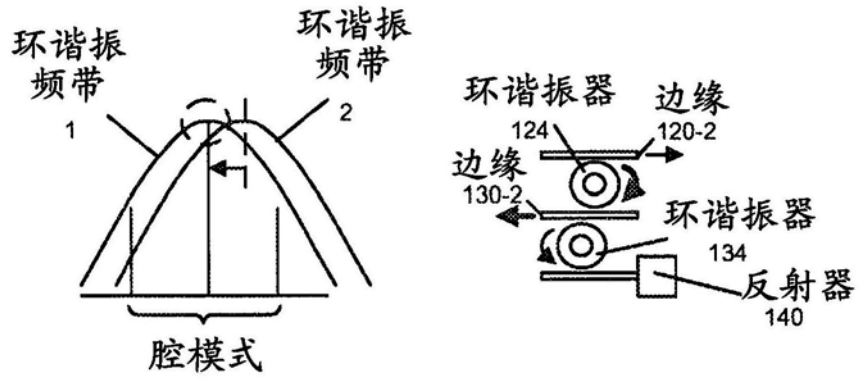


图8

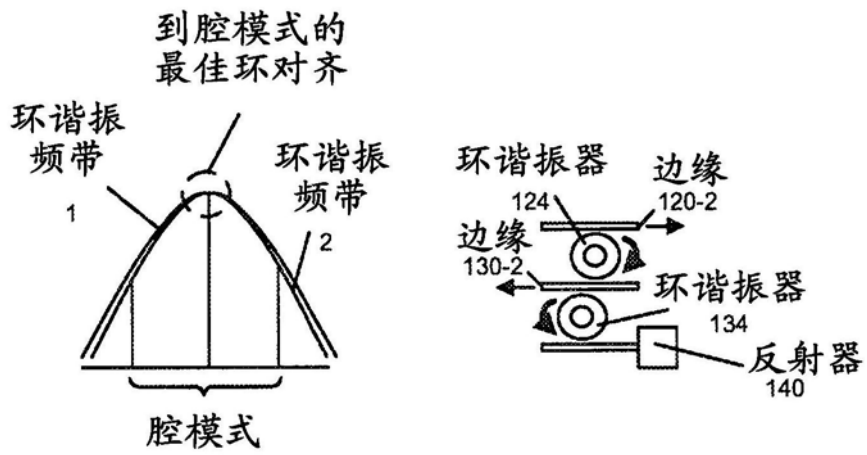


图9

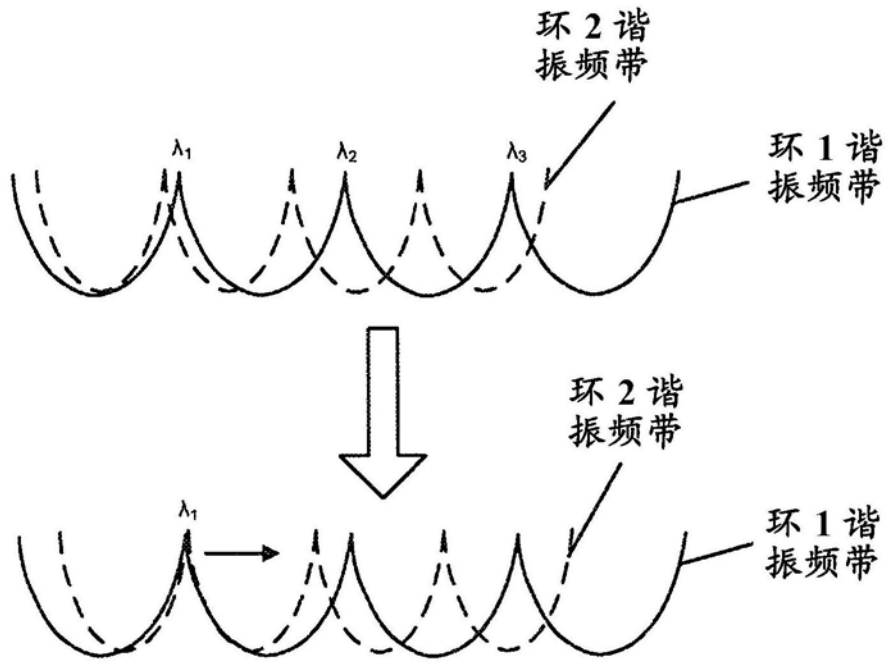


图10

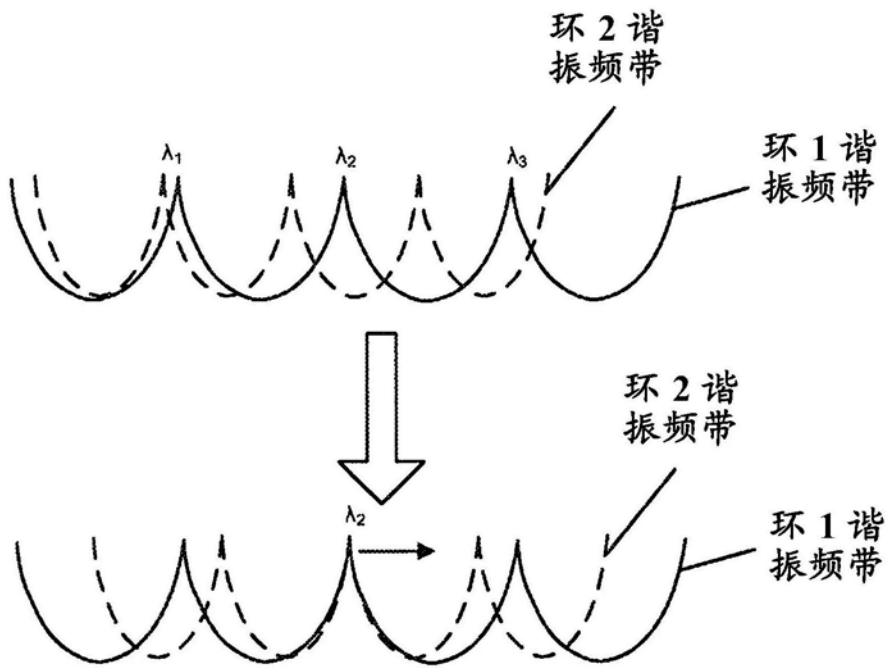


图11

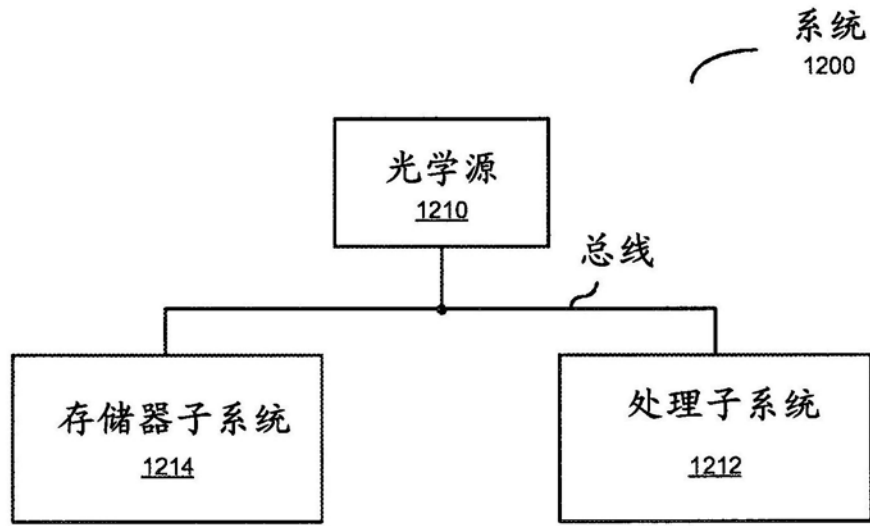


图12



图13