



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105409070 B

(45)授权公告日 2019.08.16

(21)申请号 201480011073.9

(22)申请日 2014.01.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105409070 A

(43)申请公布日 2016.03.16

(30)优先权数据
61/748,415 2013.01.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.08.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/010108 2014.01.02

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/107537 EN 2014.07.10

(73)专利权人 OE解决方案美国股份有限公司
地址 美国新泽西

(72)发明人 D·J·布鲁门萨尔

(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 马景辉

(51)Int.Cl.
H01S 3/02(2006.01)
H04B 10/50(2006.01)

(56)对比文件
US 2009279576 A1,2009.11.12,
US 2010303469 A1,2010.12.02,
JP 2012156336 A,2012.08.16,
JP 2012156335 A,2012.08.16,

审查员 林玉华

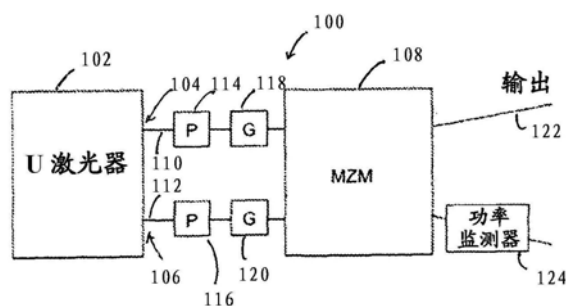
权利要求书3页 说明书19页 附图10页

(54)发明名称

具有集成的马赫-曾德尔调制器的可调节U
激光器发射器

(57)摘要

根据本发明,提供一种单片集成激光器(102),此处也被称为U激光器(102)或者集成的双光学发射激光器(102),具有第一光学发射(104)和第二光学发射(106),其中单片集成激光器(102)的第一光学发射(104)和第二光学发射(106)二者与调制器(108)或者其它光学设备进行光学通信。集成的双发射激光器(102)可以形成具有多种配置的光弯曲部分(134),包括以U形的形式的波导,或者全内反射(TIR)镜、弯曲的波导和自由空间蚀刻的间隙镜。集成的双发射激光器(102)也可以具有两个激光器增益段(130)(148),在激光器(102)的每个臂上以控制增益。



1. 一种单片集成的激光器,包括:

集成的双光学发射端口激光器,具有第一光学发射端口和第二光学发射端口,所述第一光学发射端口与所述第二光学发射端口被布置在相同的光学方向上并且在相同的光学方向上发射光,以及

内部的光弯曲段,所述内部的光弯曲段被配置为将来自所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口当中的一个光学发射端口的光弯曲到另一个光学发射端口中,所述第一光学发射端口相对于所述第二光学发射端口具有平衡的激光器输出,

其中所述集成的双光学发射端口激光器的所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口与包括两个臂路径的调制器进行光学通信,

其中所述集成的双光学发射端口激光器的所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口分别直接耦合到所述调制器的所述两个臂路径而不需要使用输入分割器,所述调制器的所述两个臂路径各自被配置为具有相位段和增益段,

其中,所述集成的双光学发射端口激光器具有平衡的功率输出,并且

其中,所述第一光学发射端口的输出的反射镜相对于所述第二光学发射端口的输出的反射镜被偏移 π 相移。

2. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述内部的光弯曲段是以U形或相似的形状的形式的弯曲的波导,以导致180度的弯曲。

3. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述内部的光弯曲段包括一组全内反射TIR镜,该组全内反射TIR镜与水平定向的波导和垂直定向的波导结合以产生180度的弯曲的结果。

4. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口的反射镜被控制以使得反射带宽的宽度对于所述反射镜是相等的。

5. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述 π 相移包括在没有相位调节元件或没有使用s弯的情况下所述第一光学发射端口相对于所述第二光学发射端口的半波长放置移位。

6. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述集成的双光学发射端口激光器的所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口在与具有平衡的光学功率输出的设备进行通信时,比单输出激光器更充分地利用产生的光学发射。

7. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述调制器包括半马赫-曾德尔干涉仪MZI调制器。

8. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中,到具有所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口的所述集成的双光学发射端口激光器的波长距离差导致在所述两个臂路径之间引入差分相移的优点。

9. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述集成的双光学发射端口激光器用可调节反射镜来调节,而两个反射镜的反射特性在调制器输出的输出部处是可测量的。

10. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述内部的光弯曲段被用于使光学发射面处的反射最小化,并且减小对所述第一光学发射端口或第二光学发射端口处的防反射涂层的需要。

11. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器,其中所述集成的双光学发射端口激光器

是可调节谐振环形激光器。

12. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器, 其中所述集成的双光学发射端口激光器是Y激光器。

13. 根据权利要求1所述的单片集成的激光器, 其中所述集成的双光学发射端口激光器是两个振幅和相位锁定的可调节激光器。

14. 一种相干发射器, 包括:

具有第一光学发射端口和第二光学发射端口的集成的双光学发射端口激光器;

内部的弯曲段, 所述内部的弯曲段被配置为将来自所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口当中的一个光学发射端口的光弯曲到另一个光学发射端口中, 所述第一光学发射端口相对于所述第二光学发射端口具有平衡的功率输出; 以及

位于第一臂路径上的第一调制器和位于第二臂路径上的第二调制器, 所述第一臂路径和所述第二臂路径各自被配置为具有相位段和增益段,

其中, 所述第一调制器和所述第二调制器分别直接耦合到所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口而不使用输入分割器, 并且所述集成的双光学发射端口激光器具有平衡的功率输出, 并且

其中, 所述第一光学发射端口的输出的反射镜相对于所述第二光学发射端口的输出的反射镜被偏移 π 相移。

15. 一种单片的集成的光学发射器, 包括:

调制器, 包括与具有第一光学发射端口和第二光学发射端口的集成的双光学发射端口激光器进行通信的多端口调制器, 其中, 所述第一光学发射端口直接耦合到所述调制器的第一臂路径并且所述第二光学发射端口直接耦合到所述调制器的第二臂路径而不使用输入分割器, 所述第一光学发射端口相对于所述第二光学发射端口具有平衡的激光器输出, 所述调制器的两个臂路径各自被配置为具有相位段和增益段, 并且所述集成的双光学发射端口激光器具有平衡的功率输出,

其中, 所述第一光学发射端口的输出的反射镜相对于所述第二光学发射端口的输出的反射镜被偏移 π 相移。

16. 根据权利要求15所述的单片的集成的光学发射器, 其中所述多端口调制器包括相干的嵌入调制器。

17. 根据权利要求15所述的单片的集成的光学发射器, 所述单片的集成的光学发射器被配置为产生正交相移键控QPSK调制的光学调制信号。

18. 根据权利要求15所述的单片的集成的光学发射器, 所述单片的集成的光学发射器被配置为产生双偏振正交相移键控QPSK光学调制信号。

19. 根据权利要求15所述的单片的集成的光学发射器, 所述单片的集成的光学发射器被配置为产生更高阶的相干双偏振或单偏振光学调制信号。

20. 一种单片的集成的光学发射器, 包括:

位于单晶衬底上的单片集成的激光器、调制器和支持监测和控制的元件,

其中所述单晶衬底包括选自由下列材料构成的组的材料: InP、InGaAsP、InGaP、GaAs、InGaAs和Si;

其中所述单片集成的激光器包括: 第一光学发射端口和第二光学发射端口, 并且所述

调制器包括第一调制器和第二调制器,其中所述单片集成的激光器还包括光弯曲段,所述光弯曲段被耦合以将来自所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口当中的一个光学发射端口的光弯曲到另一个光学发射端口中,所述第一光学发射端口相对于所述第二光学发射端口具有平衡的激光器输出;

其中所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口分别经由用于所述调制器的第一调制器的第一臂路径直接耦合到所述第一调制器和经由用于所述调制器的第二调制器的第二臂路径直接耦合到所述第二调制器而不使用输入分割器,所述调制器的两个臂路径各自被配置为具有相位段和增益段;

其中所述单片集成的激光器具有平衡的功率输出,

其中所述第一光学发射端口的输出的反射镜相对于所述第二光学发射端口的输出的反射镜被偏移 π 相移。

21. 一种光学发射器,包括:

在集成的平台中的激光调制器和支持监测和控制的元件的混合集成,所述集成的平台包括选自由下列材料构成的组的材料:InP、InGaAsP、InGaP、GaAs、InGaAs、Si、SiN₄和SiO₂,

其中所述激光调制器包括第一臂路径上的第一调制器和第二臂路径上的第二调制器,所述第一臂路径和所述第二臂路径直接耦合到具有第一光学发射端口和第二光学发射端口的集成的双光学发射端口激光器,所述激光调制器的两个臂路径各自被配置为具有相位段和增益段,

其中所述激光调制器还包括光弯曲段,所述光弯曲段被配置为将来自所述第一光学发射端口和所述第二光学发射端口当中的一个光学发射端口的光弯曲到另一个光学发射端口中,并且

其中所述集成的双光学发射端口激光器具有平衡的功率输出,并且

其中所述第一光学发射端口的输出的反射镜相对于所述第二光学发射端口的输出的反射镜被偏移 π 相移。

具有集成的马赫-曾德尔调制器的可调节U激光器发射器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求提交于2013年1月2日的美国临时专利申请号61/748,415的权益,其内容通过引用完全并入此处。

背景技术

[0003] 目前以光纤为基础的网络使用收发器作为电子器件和在光纤上以及网络中的其它点处传播的光学信号之间的接口,在所述收发器处信息在电子形式和光学形式之间转换。收发器的两个关键子系统是光学发射器和光学接收器。由光学发射器发射的以及在一些情况下用在光学接收器中的光的波长是用于设计、构造和操作光纤链路、传输系统和网络的重要参数。目前的光纤发射器和一些相干光学接收器主要使用发射波长固定的光的激光器。采用能在电子控制信号或一组信号的控制下调节发射光波长的激光器解决很多目前很多使用固定波长的发射器和接收器的链路和网络的问题。另外,可宽泛调节波长的半导体激光器(可以在大的波长范围上调节)是目前及未来的光学通信系统和网络的关键,以减少设计、建造、操作和维护这样的链路和网络的成本并增加这样的链路和网络的灵活性。使用可宽泛调节的激光器而不是固定波长激光器具有很多优势,即,一个激光器可以被用作构造使用多个波长的网络的建造材料的单个部件号,或者用于替换本领域的许多不同波长激光器的一个,而不是需要为每个波长库存备用的激光器。可宽泛调节通常指的是相对于操作的波长 λ 的大的调节范围 $\Delta\lambda$,使得 $\Delta\lambda/\lambda$ 可以尽量地大。例如,在 $\lambda=1550\text{nm}$ 的通信系统中,大约20nm到超过100nm的 $\Delta\lambda$ 调节会被认为是对目前应用而言的可宽泛调节。可调节激光器也允许设计传输或光学网络系统的更大灵活性,潜在地降低计划和扩建网络部署的阶段的成本。为了使可调节激光器和可调节光学发射器的成本、功率和尺寸或密度有效率,使用类似半导体的单片衬底将可调节激光器与相关联的发射器元件或接收器元件的子集或全部进行单片集成是被需要的并且也导致改进的性能和可靠性,全部是目前的光纤通信系统和网络中的关键因素。

[0004] 集成的可宽泛调节激光器通常由多个段组成,一般包括增益段、可调节相位段和可调节反射镜段,而在一些设计中可调节滤波器段也被并入。调节这些段的物理参数使用电控制信号、热调节或一些改变折射率或激光元件的其它性质的其它机制来达成,并且导致对输出激光波长的调节。将激光器与额外的元件集成以执行与波长调节相关的关键功能是希望的,例如功率监控器和光学放大器以增大信号功率并且用光功率增益控制回路维持恒定的功率,同时波长与元件一样被调节以控制元件将可调节的波长(或频率)锁定在希望的稳定性和准确度或者预设标准的频率网格。一类可调节激光器利用具有周期性反射峰(波长或光学频率是周期性的)的反射镜,其中两个反射镜反射周期不由相同的周期隔开,并且当每个反射镜的峰之一重叠(已知为游标效应)时达成调节,而激光光学发射主要发生在反射镜反射峰重叠的波长处。激光器腔内的光学增益与反射镜反射率峰和重叠的调节波长的位置恰当地对齐也是必要的,目的在于确保在希望的波长处的发射。测量、表征、监测和控制增益和反射镜的技术对实现实际的可调节激光器和发射器(可以低成本地制造)是

关键的。游标效应已提供输出光波长的质量方面的卓越的性能特性并且可以用各种反射镜结构(包括取样的光栅反射器、耦合的环形谐振器等等)来达成。性能特性(对波长划分多路复用应用和高性能链路是关键的)包括单频率(波长)模式操作,其中单频率的质量由类似边模抑制比(SMSR)的参数定义,而在采用相干传输的情况下,由激光器输出的线宽定义。在可宽泛调节的激光器中,激光器必须在数十个纳米的范围之上被调节(例如30纳米到40纳米)以覆盖用在工程和操作波长多路复用光纤链路中的传输带(例如C带),而在其它情况,40nm到100nm上以及超过100nm的调节是希望的。在现有技术中,可调节激光器一般被设计使得可以从多个激光器反射镜之一(主要输出镜,其连接到额外的元件和光纤)抽取最大功率。例如在发射器中,这些额外的元件包括光学放大器、光学调制器、光学波导和监测光电二极管、波长锁定光学器件和光纤。在接收器中,耦合到可调节激光器的主要输出的这些元件可以包括光学放大器、光学混合器、光电二极管和光纤。在现有技术中,从反射镜中的一个抽取最大光功率(以使进入调制器、光纤或其它元件中的功率最大化)的要求导致反射镜设计和整体激光调节设计和激光特性的折衷。例如,来自主要反射镜的最大功率输出需要主要输出反射镜的峰反射镜反射率的减小。这导致激光器性能的折衷,包括边模抑制比(SMSR)的减小以及波长调节选择性、波长稳定性和可能的激光器线宽的减小。周期性波长反射峰的平坦度(或慢滚降)是达成宽范围的可维持性的另一个重要参数。优化这些参数以及其它参数对达到光链路和网络的性能要求是关键的,同时提供低成本、低功率、小尺寸和高可靠性的可调节激光器和发射器。

[0005] 对通信应用而言,希望通过将可调节激光器与光学数据调制器集成来做成更高级别的构建块(被称为可调节光学发射器)。不同的光学数据调制器可以取决于性能和应用来使用,并且一般落入非相干的和相干的分类。这两个组件(潜在地与其他组件)的集成导致成本、尺寸、每个晶片的产量、发射器功率耗散的降低和增加的传输的输出功率以及其他希望的光传输性质。可宽泛调节的激光器与光学数据调制器的单片集成可以在同一个共同半导体衬底(如磷化铟或硅)上来实现。其它类型的激光器调制器的集成利用混合集成技术,其中激光器、光学放大器和数据调制器被放置在共同的波导通信衬底或者由适合的材料(如玻璃、硅或氮化硅)组成的内插器。

[0006] 当构造相干的光学通信系统时,希望还将可调节激光器集成到光学接收器中并且如果可能的话将相干的光学发射器和光学接收器集成到一起。

[0007] 可调节激光器设计和光学数据调制器设计的选择对可调节发射器和接收器的生产和表征过程是重要的,确定了作为结果的波长可调节发射器将如何在光纤链路中或网络中表现,以及激光器和调制器可以多好地集成以降低成本、功率耗散、尺寸而不牺牲可靠性,并且还维持需要的系统性能。另外,可调节激光器设计的选择对相干的光学接收器的集成和可调节光学接收器和发射器集成在一起是重要的。

[0008] 单片集成的可宽泛调节的激光器更加成功地利用前反射镜和后反射镜、增益段、相位调节段和功率测量电极的线性布置。其它设计将反射镜布置成Y分支,具有共同的输出波长、相似的反射镜、增益段和相位段调节元件。所述Y分支配置已利用了取样的光栅反射镜(如线性设计或环形谐振器)作为激光器的Y段中的反射镜,以及位于Y的单臂部分上的主要光学发射输出处的宽频带非可调节的反射器。两个设计都可以包含额外的光学滤波器元件(其也可以是可调节的)。

[0009] 对于数据调制器,半导体马赫-曾德尔调制器(MZM)是优选的调制器设计,原因在于将其与可调节激光器、光学数据调制特性、低电驱动电压要求、紧凑的尺寸和可编程的传输特性集成的能力。在现有技术中,集成的发射器通过耦合来自主要激光器输出反射镜(经由单波导到调制器输入的较高的输出功率反射镜)的光来制造。在MZM的情况下,调制器输入分成两个光学波导路径(被称为臂),并且然后组合到共同的数据调制的输出波导和次要波导(其可以被用于光学监测)。通过用电子数据信号经由电极或互联驱动MZM路径(臂)之一或二者来把数据调制到可调节激光器输出上,该电子数据信号影响MZM波导的物理性质。该现有技术的方式(其中到MSM的输入需要功率被分割)导致性能折衷、设计折衷和对制造和环境变化的增加的敏感性。发射器特性(其是需要的并且导致折衷)的例子包括宽的激光波长调节范围上的操作和需要的温度和环境条件的范围、激光器啁啾、调制器驱动电压和光学数据消光比、输出功率和信噪比。

[0010] 现有的利用单个主要反射镜输出和集成的激光器MZM发射器的可调节激光器存在多个问题。对于激光器,这些问题包括例如光学频率输出质量、在生产环境中测量反射镜和激光器输出特性的难度、昂贵的和复杂的激光器输出表征以及编程方法以及增加的成本和可靠性及测试的复杂性。当激光器和调制器被集成时,与现有的利用直接或者通过其他光学元件连接到MZM的单个主要输出反射镜的可调节激光器相关的问题包括非平衡的功率分割,其由于制造公差、温度或其它环境或制造的变化而发生在如功率分割器之类的元件中。

[0011] 因此,存在对可调节激光器的需要,其以可制造的方式简化表征、测试和校准并且与集成的光学数据调制器结合在一起工作,所述光学数据调制器能够用最小的设计、操作和可靠性折衷来达成优化的操作和传输性能。

发明内容

[0012] 根据本发明,提供一种单片集成的激光器包括集成的双发射激光器,其具有第一光学发射和第二光学发射。集成的双发射激光器的第一光学发射和第二光学发射二者与调制器或其它光学设备进行光学通信。集成的双发射激光器与光弯曲段(诸如U形状的形式波导)、一组全内反射(TIR)镜、或者具有两个或更多激光增益段的集成的双发射激光器一起形成。

[0013] 优选地,集成的双发射激光器的第一光学发射和第二光学发射更有效地使用产生的光发射(单输出激光器),并且调制器或其它光学设备不使用多模式干涉功率分割器/耦合器或其它分割器/合成器。

[0014] 在其它优选的实施例中,调制器具有两个臂路径,并且与集成的双发射激光器的波长距离差导致引入两个臂路径之间的差分相移的优势。

[0015] 在其它优选的实施例中,集成的双发射激光器与光弯曲段形成,所述光弯曲段包括一组全内反射(TIR)镜,而两种反射镜的反射特性都是在调制器输出的输出处可测量的。

[0016] 在其它优选的实施例中,集成的双发射激光器具有有角度的波导,其用于使光发射面处的反射最小化,并且减小对光发射输出处的防反射涂层的需要。而且,优选地,集成的双发射激光器是可调节的谐振环形激光器、Y激光器或者两个振幅和相位锁定的可调节激光器之一。

[0017] 根据另一个实施例,提供一种单片集成的激光器,其嵌入两个调制器之间。根据此

实施例,提供具有第一光学发射和第二光学发射的集成的双发射激光器,其中集成的双发射激光器的第一光学发射与第一调制器进行光学通信,而第一调制器与第一输出进行通信。集成的双发射激光器的第二光学发射与第二调制器进行光学通信,而第二调制器与第二输出进行通信。在优选的实施例中,第一调制器或第二调制器的一个是相干的嵌入调制器。

附图说明

[0018] 本发明的这些及其它特征、方面和优势将通过下列说明、权利要求和附图变得更好理解,其中:

[0019] 图1是示例性的现有技术设备的概要例示,所述现有技术设备具有多段单片集成的可调节激光器,其中光从主要反射镜输出导出;

[0020] 图2是示例性的现有技术设备的概要例示,所述现有技术设备具有可调节激光器与MZM光学调制器的集成;

[0021] 图3是根据本发明的一个实施例的可调节U激光器和调制器的概要例示;

[0022] 图4是来自根据本发明的U激光器的两个激光器面的平衡的光发射的周期性反射镜反射设计的图形表示;

[0023] 图5是根据本发明的另一个实施例,图3中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了U激光器中的弯曲的波导U弯;

[0024] 图6是根据本发明的另一个实施例,图3和图5中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了U激光器的上段和下段二者中的激光器增益段;

[0025] 图7是根据本发明的另一个实施例,图3中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了U激光器中的TIR反射镜U弯;

[0026] 图8A是根据本发明的另一个实施例,图3中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了作为U激光器的可调节谐振环形激光器;

[0027] 图8B是根据本发明的另一个实施例,图3中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了作为U激光器的Y激光器;

[0028] 图8C是根据本发明的另一个实施例,图3中示出的可调节U激光器和调制器的概要例示,示出了作为U激光器的两个单独的振幅和相位锁定可调节激光器;

[0029] 图9是根据本发明的另一个实施例,用于制作可调节U激光器的掩模布局的概要例示;

[0030] 图10A是用作图7中示出的U激光器中的U转弯的一组TIR反射镜的放大的图像;

[0031] 图10B是如图7中示出的实施例所例示的制造的低损耗TIR反射镜的扫描电子显微图像;

[0032] 图10C是如图7中示出的实施例所例示的制造的U激光器的图像;

[0033] 图11A是如图5和图6中示出的实施例所例示的,制造的低损耗180度弯深度蚀刻的过渡为脊形波导的波导U弯;

[0034] 图11B是制造的U激光器的图像,示出了弯曲的波导U弯和波导的过渡区;

[0035] 图12A是来自U激光器输出的测量的输出光发射光谱的曲线,示出了作为波长的函数的功率,示出了来自根据本发明的U激光器的主峰和高的作为结果的边模抑制;

[0036] 图12B是U激光器反射镜的示例波长调节的曲线,示出了对于不同反射镜调节电流在各种波长处的激光器输出;

[0037] 图13是示出了测量的反射光谱的曲线,所述测量的反射光谱作为使用连接到反射镜的输出增大器放大器测量的U激光器的多个反射镜之一的温度的函数,其中另一个反射镜臂被关闭且光谱分析器连接到调制器输出;

[0038] 图14A和图14B是根据本发明的另一个实施例,基于连接到嵌入的光学数据调制器的U激光器的相干的可调节发射器的不同实施例的概要例示;

[0039] 图15是根据本发明的另一个实施例,双输出平衡的可宽泛调节的相干的光学数据发射器的概要例示,包括可调节U激光器和相干的嵌入调制器;

[0040] 图16是根据本发明的另一个实施例,可宽泛调节的相干的光学数据发射器的概要例示,包括可调节U激光器和相干的嵌入调制器;

具体实施方式

[0041] 将参照附图对实施本发明的各种特征的实施例的方法和设备进行说明。提供所述附图和相关的说明以例示本发明的实施例而不是限制本发明的范围。说明书中对“一个实施例”或“实施例”的参考旨在表示与实施例相连地描述的特定的特征、结构或特性包括在本发明的至少一个实施例中。词组“一个实施例”或“实施例”在说明书中各处的出现不是必须全部指的是相同的实施例。

[0042] 能使可宽泛调节的光学发射器能够产生具有简单的强度调制或高级的调制格式的光学信号的系统和方法将对光学通信系统和网络是有益的。此处描述的示例实施例具有几个特征,其中没有一个是对其希望的属性不可缺少的或者唯一有责任的。在不限权利要求的范围的情况下,现在将总结一些有优势的特征。

[0043] 此处描述的U激光器、光学数据调制器及二者和另外的其它控制和监测元件的结合以形成集成的光学发射器的各种实施例包括用于集成的共同衬底,例如但不限于III-V复合材料半导体、利用硅或硅和III-V材料的结合的硅光子学平台或者利用玻璃和氮化硅的其它共同的衬底平台。包括III-V材料(诸如磷化铟)以及一个或多个外延层(例如InP、InGaAs、InGaAsP、InAlGaAs等等)的各种实施例包括形成在外延结构中的共同衬底上的U激光器以及包括多个臂或分支和形成在共同衬底上的至少两个电极的一个或多个调制器结构。一个或多个调制器结构可以被配置为调制从U激光器的输出发射的光辐射的强度、振幅、相位或振幅和相位二者。在各种实施例中,例如马赫-曾德尔调制器(MZM),调制器结构可以根据光学干涉的原理调制光。在一些实施例中,调制器结构可以位于激光腔的外部并且光学地连接到激光器光学发射输出。在各种实施例中,光学发射器的各种组件(诸如波导、光子组件、分割器等等)可以形成在相同的外延结构中,作为形成有激光器和调制器的外延结构中。在一些实施例中,光学发射器的组件(诸如波导、块光子组件、光学隔离器、检测器、分割器、波长锁定器、功率监测器等等)可以形成在不同于形成有激光器的外延结构一个或多个外延结构中,或者使用连接到单片集成在共同衬底上的激光器和调制器的多个块光学元件。

[0044] 如在本公开中使用的,除了上下文另有所需之处,术语“包括”和所述术语的变化,诸如“具有”、“包括”和“包含”不旨在排除其它添加物、组件、整数或步骤。

[0045] 在下列描述中,给出具体细节以提供对实施例的彻底理解。然而,本领域一般技术人员应理解,可以在没有这些具体细节的情况下实践实施例。已知的电路、结构和技术可以不必详细地示出,目的在于不使实施例模糊不清。例如,电路可以按照框图的方式示出,目的在于不以不必要的细节使实施例模糊不清。

[0046] 在下列实施例中,根据本发明给出具体细节,其为U激光器和调制器。每个发明可以与其它发明一起使用,而其它调制器和/或激光器也可以用与相应的发明一起使用。此处描述的各种实施例包括紧凑的光学发射器,比起现有技术而言具有减小的管芯尺寸和高宽比,和可能比起现有技术而言的改进的激光器性能、改进的测量、表征和监测激光器的属性的方法、改进的限定制造的激光器的参数的方法、改进的校准可宽泛调节的激光器和调制器和发射器的方法、改进的进行与调制器一起集成到发射器中的可调节激光器的热剔除和可靠性测试、以及改进在制造环境中减少成本和增加产量的方法。

[0047] U激光器

[0048] 激光器在本领域是已知的,描述于美国专利号No.6,628,690和7,633,988中,通过引用完全并入此处。图1示出了所述现有技术的多段单片集成的可调节激光器的示例,其中光从主要反射镜输出导出。各个段按照线性方式布置,其中激光器由可调节后反射镜、增益段、可调节相位段和可调节前反射镜构成,每段通过光学波导连接并且金属电极连接到每段顶部以调节该段。可调节后反射镜被设计为具有高反射率,并且通常通过波导连接到功率监测器,其也吸收来自后反射镜的光以使回到激光器的反射最小化。前反射镜被设计为比后反射镜的反射率低,目的在于从激光器输出抽取最大功率,并且可以通过波导连接到光学放大器并且随后连接到将光传输到调制器或者离开芯片的波导。在将光传输离开芯片的情况下,如图1所示,使用弯曲的波导以使芯片面处的反射最小化并且减少对芯片的光学输出处的防反射涂层的需要。现有技术的其他已知的缺点是,由于只有一个激光器输出光学上可提供到测试仪器,在制造环境中对与前反射镜和后反射镜都相关的光学参数的表征和测量是困难的并且禁止的。例如,测量前反射镜和后反射镜反射光谱相对于期望的涉及要求、对两个反射镜光谱的调节和前反射镜和后反射镜光谱随温度、老化、热剔除(burn-in)和其它因素(如增益和相位段)的变化的改变的测量对现有技术设备是困难的。

[0049] 现在参照图2,示出了现有技术的具有MZM光学调制器的集成的可调节激光器的示例。如图1,可调节激光器的后反射镜被设计为高反射率,并且经由线性波导连接到功率监测器。可调节激光器的前部(主要激光器输出)被设计为较低的反射率,目的在于从激光器传输最大的光到调制器。主要激光器输出经由线性波导连接到光学放大器,而线性波导连接到MZM光学数据调制器的输入。在MZM输入处,使用光学功率分割器来均等地把光分割到MZM的两个臂中。在此第一元件处的均等的光学功率分割对包括高消光比(ER)的优化的调制器操作是关键的。电数据用于将数据加在可调节激光器发射上并且控制调制器的其它方面,经常使用非倒转数据的上臂RF连接和倒转数据(数据_条)的下臂RF连接和单独的DC偏置以将相位和功率调整为相等并且与两个调制器臂对齐。调制器数据和数据_条被用于差分地用电数据驱动调制器,导致整体驱动电压比只驱动调制器的单臂要低。另外,调制器上臂和下臂可以具有独立的电压偏置以优化速度和其它希望的调制器属性。单独的DC偏置控制被用于平衡两个调制器臂中的功率,并且一些设计采用第二相位控制以使功率和相位被单独调整。在电数据调制连接之后,两个调制器臂使用功率合成器(经常是 2×2 的)结合起

来,以产生调制的MZM信号,使用弯曲的波导(未示出)将其引导至芯片输出。次要调制器输出经常被用于监测调制的激光输出功率并且减少返回激光器中的反射。此设计的一个主要劣势是集成的设备长度长,原因在于输入功率分割器、与输入功率分割相关联的s弯、调制器臂和功率合成器的长度。调制器产生高消光比(光开启到光关闭)的能力由制造功率分割器输出中的变化来限制,而所述变化是激光输出波长的函数。MZM输入处的增加的长度和不相等的功率分割比的影响导致集成的发射器(其消耗大的晶片面积,导致在晶片上的设备的数量的减少)、高消光比的发射器(其导致增加的破损和减少的产量)和减少的调制器性能。也存在光纤链路,需要调制器用负频率啁啾来操作,通过将调制器设计为不对称的在半导体调制器中来达成,其中一个臂比另一个比长,目的在于在所述臂之间引入半波长相移。这不对称性通过使一个臂比另一个长或者改变一个臂中的(相对于另一臂的)波导宽度。在两个情况下,这种不对称性在调制器中引入不均匀的功率平衡,导致减小的消光比和其它性能参数的劣化。如图1中的可调节激光器的情况,这些在现有技术中描述的单片集成的激光器和调制器使表征激光器的重要参数(如前反射镜和后反射镜的反射率光谱)难以可制造的方式进行,因为仅一个输出可用而激光器被设计为从前反射镜发射其最大功率。

[0050] 现在参照图像3,光学设备100包括单片集成的激光器102(此处也参照为可宽泛调节的U激光器),具有第一光发射104和第二光发射106,其中单片集成的激光器102的第一光发射104和第二光发射106二者都与调制器108进行光通信,或者提供其它设备。发射光辐射的激光器输出在宽的波长范围(从大约20nm到大约100nm)上是可宽泛调节的。宽的波长范围由 $\Delta\lambda/\lambda$ 代表,并且被配置为大于比率 $\Delta n/n$,其中 λ 代表光学辐射的波长(在此处描述的实施例中 λ 是1550nm但本发明不局限于此波长带), $\Delta\lambda$ 代表激光器输出光辐射的波长的改变, n 代表反射镜和相位调节段的折射率, Δn 而代表本实施例中的反射镜调节段中调制的光栅折射率的改变。在下面描述的其它实施例中, n 和 Δn 可以代表其它结构(如谐振环等等)的指数中的改变。这样可宽泛调节的发射器用于目前的电信和数据通信应用中。在单个光子集成电路(PIC)上集成激光器和调制器对各种光纤应用的低建造成本、低功率消耗、高密度光学接口是重要的。

[0051] 如图3中所示,具有两个输出光发射104和106的集成的激光器102经由与波导连接的第一波导和第二波导使每个输出发射端口110、112与第一相位调节段114和第二相位调节段116、第一光学增益段和第二光学增益段120(其提供对来自两个激光器面104和106的输出光的控制以输入到光学数据调制器,来自两个激光器面104和106的输出光此处被称为光发射或光学输出)和光学数据调制器108(其适用于连接到激光器面104和106二者)进行通信。调制器108与光学输出和功率监测器124进行通信。如此处使用的,术语U激光器指的是具有两个光学发射或光学输出的单片集成的激光器102(即集成的双发射激光器102),然而,如本领域技术人员将理解的以及此处进一步描述的,“U激光器”具有各种实施例,包括可调节环形激光器、Y激光器和两个振幅和相位锁定的可调节激光器,其被配置为具有根据本发明的第一光学发射和第二光学发射。

[0052] 根据本发明的单片集成的双发射激光器102(例如,U激光器)克服了现有技术的缺陷。激光器102可以被耦合到两个端口的设备(如干涉仪的光学数据调制器),同时也允许其他独立的光学元件被放置在每个激光器输出之后。激光器102具有两个平衡的光学输出,使得相对相等的功率从每个反射镜传输出来,克服了现有技术的缺点。两个光学发射104、106

直接连接到MZM光学数据调制器103的两个臂,减小调制器的长度并且移除输入功率分割器,克服了现有技术的可调节MZM发射器的缺点。可以被放置在U激光器和MZM中间的光学元件的示例包括但不限于相位调节段(P) 1114、116和光学放大器增益段(G) 118、120。

[0053] 本发明使功率能从两个激光器面被抽取并且用在调制中,因此来自每个激光器面的功率输出被设计为大概相等,目的在于产生具有其他性能、成本和尺寸优势的高质量调制信号。比起现有技术的一个优势是本发明的大概相等的反射镜反射率导致激光反射峰,其宽度在两个反射镜之间是平衡的,具有较高的精细度,从而导致改进的SMSR。

[0054] 现在参照图4,用在集成的双发射激光器102中的平衡的反射镜的相对的发射反射率光谱的示例在图4中被示出。如图4所示,双激光器具有平衡的功率。本发明的平衡的反射镜输出对现有技术是具有优势的,现有技术中反射镜是不平衡的并且一个反射镜高度反射而主要输出低反射以最大化进入所述调制器的激光输出功率。可调节激光器的不平衡的设计导致主要输出反射镜的反射率峰比其它反射镜的宽,导致减小的SMSR和其他光学劣化以及不能在制造环境中完全测量和表征激光器的光学性质。

[0055] 本发明使功率能从两个激光器面被抽取,因此来自每个激光器面的功率输出被设计为大概相等。对现有技术而言的优势是,大概相等的反射镜反射率导致峰的宽度在两个反射镜之间是平衡的,具有较高的精细度,导致改进的SMSR,原因在于两个反射镜的较窄的峰。这是比起一个反射镜是高反射的而另一个是低反射的以最大化输出功率的设计的优势,所述设计使得主要输出反射镜的反射率峰比其它反射镜的宽,导致减小的SMSR。其它本领域技术人员已知的优势包括带宽平衡的反射镜设计,使得两个反射镜的峰转降发生得更缓慢,增强激光器的调节范围。

[0056] 现在参照图5,示出了图3所示的集成的双发射激光器102的一个实施例。波导110、112连接到第一反射镜M1 (126) 和第二反射镜M2 (128),其在激光器102的顶臂上并且连接到激光器增益段G (130),并且然后,在通过过渡区132的连接之后,波导110形成光弯曲部分134 (诸如U形,如图5所示,或者其它形状),使得激光器发射104、106二者都与多个设备、多端口连接的设备,波导110、112或者连接到相同的光学芯片输出面。光弯曲部分134优选地构造为在频率调节范围上向光学信号104、106提供最小损失,使得光学激光器增益可以超过损失,允许产生激光 (优选地尽可能最低的阈值电流处),具有尽可能最高的斜率效率和在宽调节范围上的最高的输出功率。对于图5的U激光器,在直段的低损失脊形波导和U弯的深度蚀刻的波导之间采用过渡区,136是与光弯曲部分134相连的,经由波导112,第一过渡段连接到上增益段且第二过渡段连接到图5中的激光器的下部的相位调节段138。在可调节的发射器的情况中,两个激光器面经由相同的方向对马赫-曾德尔调制器 (MZM) 108的两个输入端口呈现激光器输出,如图3和图5中所示。注意到,本发明比起传统的集成有MZM的激光器的显著优势在于不需要输入MZM功率分割器,因为可调节激光器的两个面都连接到马赫-曾德尔调制器的各个臂。调制器可以进一步具有组件,包括DC偏置器140、功率合成器142和一个或多个数据调制器144、146。MZM可以设计为简单的强度调制格式或者更复杂的利用嵌入MZM设计的相干调制,如此处进一步描述的。注意到不需要传统的MZM输入功率分割器,因为可调节激光器的两个面都连接到马赫-曾德尔调制器108的各个臂。其它元件也可以被放置在MZM输入之前的每个反射镜输出处,包括但不限于功率监测电极、相位调制器电极、光学放大器和光学隔离器。

[0057] 图5中的U激光器由上臂和下臂组成,上臂中具有激光器增益段和反射镜1。反射镜1提供到调制器的光学发射的一个端口并且是可调节的。增益段经由光学波导连接到反射镜1的一侧并且经由光学波导在其另一侧连接到180度弯曲的光学波导。波导的选择取决于集成平台。图5例示了增益段波导,过渡到优化为低损失180度的光方向的转弯的不同波导。U激光器的下臂包含可调节相位段,其在一侧连接到180度转弯并且经由光学波导连接到可调节反射镜2。将增益块连接到可调节相位段的直的和弯曲的波导以及其它连接反射镜的波导的损失,以及反射镜本身的损失必须保持尽可能的低,使得可用的增益可以超过损失以产生激光并且提供如应用所需的来自每个激光器输出的足够高的光发射功率。来自可调节的反射镜1和反射镜2的两个发射输出在图5中是经由光学波导连接到相位调节段和增益段的,目的在于提供控制以随着波长被调节、随着老化发生、伴随环境条件和其它因素的变化而平衡到调制器的输入。对于某些应用,发射器的复杂度可以通过不使用中间的相位块或者增益块来减小。调制器,以及图5中的MZM干涉仪调制器,不具有输入光学分割器(如现有技术中使用的),其在调制器长度和功率平衡以及激光器SMSR的质量和由调制器调制的参数方面是显著优势。调制器用标准的组件和控制构造,以允许数据(数字RF)调制和每个调制器臂的偏置以及一个臂相对于另一个的DC偏置。尽管示出了一个DC偏置电极,设计不仅仅局限于此配置。连接U激光器和MZM的相位块和增益块可以被用于平衡作为波长和操作条件的函数的输入以及针对偏置和调制驱动信号或者上调制器臂和下调制器臂的各种设置优化调制的信号消光比、啁啾和信噪比。调制器的输出(此示例中为MZM)结果来自功率合成器,其提供干涉仪功能以及提供用于连接芯片上的其它光学元件或者位于芯片外的块光学器件(例如准直透镜、光学隔离器、波长锁定光学器件和电路和光纤聚焦元件)的输出端口。功率监视器可以被放置在未使用的输出臂来为激光器的控制提供反馈信号,如功率平衡和恒定增益以及由于检测器的吸收而减少回到激光器的反射。

[0058] 现在参照图6,图5中所示的集成的双发射激光器102被示出为在激光器102的底臂上也具有额外的激光器增益段148。利用本发明的这方面,目的在于减小激光器102的整体长度、减小发射器面积并且确保单模式操作的重要条件,其中对每个对齐的可调节反射镜共振仅发生一个法布里-伯罗峰。激光器腔越长,法布里-伯罗共振越近,并且如果激光器太长,两个或更多激光共振将拟合在一个对齐反射镜峰下。因此,激光器长度的最大长度被限制为使得法布里-伯罗峰间隔 $c/2nL$,其中 n 是波导模式组指数而激光长度 L (基于可调节反射镜内的反射位置)大于可调节反射镜反射率峰之间的间隔。图6中的实施例(其中增益被分为两段,一个在上臂中,一个在下臂中)允许激光器被安排为与图5中的相比较短的腔。因此图6中的实施例是优选的并且此设计是本发明的一方面,将增益段分割为两部分,U激光器的每个分支中一个部分。将在下面描述本发明包含的将增益段分开为两分支的其它益处,克服其它现有技术的限制。U激光器的每个臂可以让其增益使用分开的电流调节电路或热调节电路或者一起使用一个电流或热控制电路来进行独立调节。折衷在于控制电路的复杂性与激光器的操作、调节和测试的灵活性之间。电流或温度的使用是当激光器基于InP集成平台时调节激光器的一个方法。其它可以被用于构造本发明的平台可以使用电压、电流或热或结合来调节。如之后描述的,将增益段分开为上臂和下臂的另一个关键优势是反射镜特性甚至以及可调节波长控制信号编程映射可以通过遮盖一个臂同时测量另一个来获得。这对于现有技术而言是显著的优势,因为可调节激光器的完整特性可以通过仅观察调

制器输出端口处的信号并且控制上臂和下臂中的各种增益段和放大器段的组合以及反射镜调节电流、温度和其它参数来测量。为了具有低阈值电流、高激光器斜率效率和高光学输出功率,制造的U弯段在3dB损失以下并且接近理论值和实际值是希望的,整体损失由直波导、过渡区和U弯波导给出。

[0059] 集成的双发射激光器102具有光转弯或光弯曲元件134,其集成在光子芯片上以形成双输出发射激光器。这允许激光器的各种元件之间的通信,包括但不局限于增益段、相位调节段、可调节反射镜段。光转弯或光弯曲元件134使U激光器能与连接到激光器的相同侧、连接到两个激光器反射镜的设备通信。

[0060] 各种光学集成元件可以被用于光弯曲段134。波导可以形成为U型(如图5和图6中所示)或者其它配置可能包括但不局限于全内反射(TIR)镜、弯曲的波导和自由空间蚀刻的间隙反射镜。这些反射技术普遍被本领域技术人员所知。设计并且制造TIR反射镜并且在磷化铟PIC中深度蚀刻和部分蚀刻的弯曲可以在Summers等人的“Concave Low-loss Total Internal Reflection Mirror in Indium Phosphide for High Fabrication Tolerance”研讨会论文(研讨会关于激光器和电光学,举办于2007年5月6日,地点为马里兰州的巴尔的摩,集成光学(CtuH);和Nicholes等人的“An 8×8InP Monolithic Tunable Optical Router(MOTOR) Packet Forwarding Chip”, Journal of Lightwave Technology, Vol.28, Issue 4, pp.641-650 (2010)。

[0061] 现在参照图7,示出了在图6中示出的集成的双发射激光器102,具有一对用于光弯曲段134的全内反射(TIR)镜150和152。在本发明中,来自两个激光器反射镜的输出功率可以被引导至来自激光器的可用的输出连接或者被引导至集成在与上述相同的芯片上的其它设备。使用类似U形的设备,其中利用来自两个反射镜的功率,两个激光器反射镜可以被设计为具有大略相等的反射率,所述反射率被选择以在保持激光器阈值电流低以及维持宽的可调节范围并具有高的边模抑制比和跨调节范围的功率的同时使输出功率最大化。这种设计对称反射镜激光器的能力比起之前仅采用用于输出和调制的一个激光器反射镜的设计而言提供多个关键性能和表征和测量优势。为了具有低的阈值电流、高的激光器斜率效率和高光学输出功率,制造1dB损失以下的TIR反射镜并且接近每反射镜0.25dB以下的理论值和实际值是希望的,其中整体损失由水平波导和垂直波导以及构造U弯段的反射镜给出。

[0062] 现在参照图8A、8B和8C,示出了集成的双发射激光器102的各种实施例。如图8A所示,激光器102是可调节谐振环形激光器,具有不同直径的谐振环,各自用作反射镜,以使用用于波长调节的相位调节元件制造游标效应,其用电压、电流或温度来调节。一个或多个增益元件位于U弯波导的直部分,其作为耦合到谐振环的母线并且其两个输出形成两个发射输出,其传递到干涉仪的、MZM的或者其它双端口调制器的输入。图8A中示出的激光器102具有与激光器增益段130连接的波导110,其形成U。两个相位调节环154、156,与波导110连接以提供双输出104、106。

[0063] 现在参照图8B,激光器102是可调节的Y激光器,具有第一反射镜126和第二反射镜124,其连接到波导110、112并且功率合成器/分割器160,其与激光器增益段130、相位调节段138和第三反射镜158连接。Y带中的反射镜可以使用多个已知的技术之一来构造,包括上述的取样的光栅反射器、上述的环形耦合的谐振器或者其它游标类型反射器,其可以用外

部控制信号(诸如电压、电流或者温度)调节。

[0064] 现在参照图8C,激光器102是两个振幅和相位锁定的可调节激光器,每个可调节激光器具有第一反射镜和第二反射镜126a、126b、124a、124b,其连接到波导110、112,其与相位调节段138a、138b连接,激光器增益段130a、130b和相位锁定器162a、162b。调节段可以使用施加的电压、电流或温度来调节,取决于材料系统的设计。

[0065] 本发明,参照图3-8如此处所描述的,涉及一种装置,用于将来自其它光子电路元件和功能的可用的输出波导连接到激光器的两个激光器反射镜(或者来自多于一个激光器的多个面)使得相比于仅连接一个主要激光输出可实现多个益处。这些益处包括但不限于:

[0066] 从激光器抽取最大的光学功率;

[0067] 减少通常导致不对称的激光器反射镜设计的折衷;

[0068] 减少元件数量和元件的折衷,要求将激光器连接到多端口设备,例如用于干涉仪的光学数据调制器的输入功率分割器,以及其它示例。

[0069] 实现 π 相移(或其它量)的益处,能将光学相位预偏置为与两个反射镜分开的随后连接的元件的两条路径中,如光学数据调制器,不具备工程设计不对称设备(如包括增加的损失的不对称的MZM)的一般折衷;以及

[0070] 使后激光器功率平衡或者功率监测或者其它元件能放置在连接的元件之前,如光学数据调制器,不需要额外的功率分割器。

[0071] 使所有激光器组件(使用单调制器输出,包括每个反射镜子的反射率光谱)的测量能独立地作为反射镜调节、与反射镜相邻的组件的调节、芯片温度和反射镜加热、串扰、反射镜老化和可靠性、SOA增大器增益光谱、激光器的每个臂的增益光谱的函数。本发明也使用反射镜反射率的测量,其使用调制器输出以校准并编程所述可调节激光器,以及随着调节激光器的调节进行激光器调节性质的热剔除和老化和可靠性测试以及调制器的校准。这在没有来自其它反射镜或增益段的干扰的情况下使用单个MZM输出测量每个反射镜的反射率的能力比起现有技术而言是显著的改进,并且导致在装配、测试、特征时间和成本或制造方面的大幅减少。

[0072] 本发明额外的优势包括半导体激光器的集成,包括可调节的半导体激光器,具有光学数据调制器和其它集成的光学元件。该集成导致低成本、低功率耗散和低功率消耗、更小的激光器和发射器尺寸和面积、来自晶片更多的发射器设备、可调节光学发射器的更高的产量和更高的性能。本发明也可以容易地与马赫-曾德尔调制器(MZM)集成。与可调节激光器结合的MZM的有用之处和功能在本领域是熟知的。U激光器沿着芯片的长度占据更小的空间,因此每个晶片可以存在更多的设备并且每个发射器的高宽比低于现有技术。设备更加“方形”,意指其具有较低的长宽比。具有高的高宽比的设备在操纵时可能更容易损坏,特别是InP设备,所以具有低的高宽比或者更加方形是益处。方形的设备在掩模和制造期间也更容易布局并且在晶片上的每个有用的区域可以设置更多个。电子设备/芯片大多是方形的。本发明允许发射器芯片占用的空间比现有技术更加方形,现有技术为高的高宽比(长且细)。对磷化铟和使用的其它易碎的材料而言,具有更多的方形意味着比起现有技术的高的高宽比(长且细)的设备而言在操纵期间的更少的破损几率和更高的产量。具有更方形的设备(如本发明)比起高的高宽比的现有技术而言也允许更多设备在掩模和芯片上布局,并且

更方形的形成因素与半导体电子产业更兼容,所述半导体电子产业中大多数芯片是方形的。所以更高的产量、更少的损坏、晶片上更多的设备和与电子工艺的兼容性是本发明的优势。这些是U激光器和与MZM调制器集成的U激光器的其它优势。

[0073] 形成本发明的基础的半导体可以由磷化铟、硅和/或玻璃构成,但不局限于以上材料。本发明描述了集成电子电路之上的激光器设计,而目前主要的材料系统之一为了实现这样的设备为激光器和马赫-曾德尔调制器使用磷化铟半导体为基础的波导。用磷化铟制造马赫-曾德尔调制器是希望的,原因在于短的长度和紧凑的尺寸和完全的与可调节激光器和光学放大器的兼容性。其它途径(如硅光子器件)也可以被用于实现本发明,其允许采用更高容量的商业制造厂,然而目前的硅光子器件需要在可调节激光器和放大器的各种区域中采用磷化铟以实现需要的光学增益。当设计波导光学数据调制器时,一个重要的考虑在于这些波导的电子调节,目的在于调制光,其通过将调制器半导体波导的带隙设计为接近可调节激光器操作波长和掺杂的调制器半导体波长来最有效率地实现,目的在于利用电载体为基础的和电场调制效应来偏置和驱动调制器。尽管这个途径导致有效的紧凑的光学调制器,存在与取决于波导点偏执的光学信号的吸收损失和电驱动信号的波长依赖性的折衷。整体损失可以通过将激光器与光学调制器和增大信号的光学放大器集成来减少。将可调节激光器与光学马赫-曾德尔调制器集成的其它重要方面包括电调制驱动信号的波长依赖性,其可以通过使用查找表或者相似的途径来操纵,以存储MZM电驱动值作为激光器输出波长的函数。电信号的波长调整也可以被调节以调整偏置、调制的消光比、啁啾和光学信号的其它参数。

[0074] 本发明的第一方面是使用一个激光器或多个锁定的可调节激光器的两个或更多输出激光器面,而不是仅仅一个激光器输出面,充分利用产生的光。

[0075] 本发明的第二方面是U激光器,其被设计使得两个激光器面都被相同的集成电路上的随后的设备使用,其中来自两个激光器面的光按照相同的方向被引导并且被直接耦合到随后的两个端口的设备(如马赫-曾德尔调制器)。

[0076] 本发明的第三方面是具有放在每个激光器反射镜之后的独立的功率监测、衰减、增益或其它调整元件的能力。

[0077] 本发明的第四方面是允许每个输出反射镜被设计为使传输功率最大化,同时最大化SMSR和其它通常与反射镜反射率中的改变折衷的因素,包括但不限于SMSR、啁啾控制、自由光谱范围、调节范围和激光器线宽。

[0078] 本发明的第五方面是两个激光器面直接连接到调制器臂光学数据调制器,消除了对第一功率分割器的需要,并且通过减小波导长度和通常在分割器之后要有的s弯或转弯损失增加了到光学数据调制器的功率输入,以及移除当制作并使用功率分割器作为干涉仪的调制器输入分割器时存在的制造公差。U激光器的实际反射镜可以是光栅为基础的反射镜或者可以是基于其他谐振器元件的反射,诸如但不限于级联的环形谐振器,如图3所示。

[0079] 本发明的第六方面是相对于另一个臂偏置马赫-曾德尔调制器臂的一个的能力,例如,偏置半个波长相移,通过将一个反射镜设置相对于另一个反射镜沿着输出波导使能函数向后设置,如零偏置马赫-曾德尔调制器,其允许负的啁啾,低损失地驱动,不具备与制造不同长度的MZM臂相关联的劣势。

[0080] 本发明的第七方面是允许两个反射镜的反射特性使用相同的系统或耦合的光纤在调制器输出处是可测量的。本发明提供到每个反射镜的接入,使得它们可以在相同的调制器输出处被独立地测量,通过开启与反射镜相关联的增大器放大器同时关闭在另一个臂上的增益段(使其吸收),使得增大器放大器发射光谱反射离开反射镜以被测量而没有来自另一个反射镜的干涉。因为增大器放大器单片地在与激光器增益段相同的芯片上被制造,这测量具有可以相对于反射镜反射峰地测量并表征增益峰和形状的优势,而二者中的改变可以作为温度、反射镜调节、放大器增益、老化等等的函数被测量,而通过转换到另一个臂并且执行上述步骤来测量每个反射镜。

[0081] 本发明的第八方面是利用激光器腔内的多个增益段,如图6到图7中所示的。形成多个增益段是有优势的,因为其使U形激光器腔能被设计为尽可能地短,其中较短的腔增加法布里-伯罗模式间隔并因此减小与调节的滤波器波长一致的法布里-伯罗模式的数量,改进调节分辨率、准确度和稳定性。

[0082] 本发明的第九方面是使电控制的激光器的元件、调制器和其它能控制监测器元件,完全由外部的可编程电子控制系统控制,例如FPGA和模拟/数字和RF接口,以完全表征、编程、映射、调节和操作激光器和调制器,并在制造、测试、鉴定、热剔除、可靠性和客户环境中通过来自输出光纤和电连接的信息完成发射器。按这种方式证明设备的所有方面的能力比起现有技术是显著的改进。

[0083] 本发明的另一个实施例在图9中示出。现在参照图9,示出了图7中例示的实施例的U激光器掩模布局,目的在于例示一些共同的设计点和考虑。右侧的水平光学波导或反射镜提供可调节的两个发射输出。增益段的左侧的水平光学波导使用一对TIR反射镜和垂直波导转弯180度。水平光学波导运行U激光器的上半部和下半部的长度。长度为200微米和350微米的两个增益段当被偏置以克服激光器中的所有损失(包括波导损失、TIR反射镜和可调节反射镜损失以及其它损失机制)时提供整体增益。增益段中的波导之上的梯形的形状是III-V InP半导体中的有源的增益段,其中对此实施例而言,偏移量子阱被用于提供增益。反射镜段之下的波导区是不具有量子阱的无源波导,其具有部分蚀刻到波导中的光栅脉冲(burst),参见跨过波导的垂直线,以形成反射镜1和反射镜2。在相位段之下和未覆盖的区域中的波导的剩余部分是无源的。所有段的顶部和底部的大方形结构是金属接触垫,以将电流连接到每个段,以提供增益电流注入或者反射镜调节或相位调节以调节波长。

[0084] 尽管此处描述的实施例是III-V InP为基础的U激光器和MZM的集成,其它材料和集成系统可以被用于实现本发明。图9中存在的掩模例示了使用TIR调节反射镜和两个具有反射镜(其调节波长)的输出面、与调节相位段协调并基于游标效应来制造U激光器的基本组件。对于下图所示的具有此掩模的III-V InP材料系统和制造实验结果,基体外延晶片生长了n掺杂半导InP衬底,接着是1.4Q InGaAsP波导层,接着是设计为提供C带中的光学增益的7层偏移量子阱结构,接着在顶部是P掺杂InP覆层,然后是P掺杂InGaAsP金属接触层。反射镜光栅使用电子光束光刻法被定义在反射镜位置处中的无源的脊形波导中。脊形波导和深度蚀刻U弯和TIR反射镜是干法蚀刻的,在保护深度蚀刻的情况下用湿法蚀刻在脊形波导上清理。波导和场区用氮化硅覆盖,并且其中金属接触需要在增益段、相位段和反射镜段上制作出来,通孔在脊形波导的顶部上蚀刻出来,而移除帽InP层来为了金属垫沉积而曝露InGaAs接触层。最终晶片被减薄至大约100微米,并且沉积背侧金属层,允许每段作为正向

偏置的PN结来操作。监测器光电二极管用金属接触制造并且按照反向偏置来运行。MZM调制器通过增加金属接触之下的BCB的层以减小电容来制作,而非常窄的(大约2.5微米宽的)脊被用作调制器臂,其具有为RF调制而沉积的金属电极。调制器掩模未在此图中示出,激光器和调制器之间的外部相位段和增益段的掩模的部分也未示出。

[0085] 现在参照图10A、10B和10C,示出了制造的具有TIR反射镜为基础的U弯的U激光器的图像。图10A示出了在图7中例示的增益段的左侧的TIR反射镜U弯的放大的光学显微镜图像。图10B是使用深度蚀刻处理形成的TIR镜的反射面的扫描电子显微图。图10C示出了基于本发明的一个实施例的完成的光子集成电路(PIC)发射器,具有在PIC左手侧的TIR反射镜为基础的U激光器。

[0086] 现在参照图11A和11B,示出了如图5和图6中示出的实施例中所例示的激光器的图像。图11A示出了制造的U激光器,用作180度光弯曲段134。图11B是示出了波导的过渡区和制造的光弯曲段134的图像。根据图11A和11B中示出的实施例,波导可以被深度蚀刻或者其它蚀刻以制造激光器,其要求U转弯应具有低损失(在3dB之下和优选在2dB之下),使得增益段可以用低电流运行,而激光器展现了低的阈值电流(优选在30mA或者20mA之下)和来自发射端口或发射面二者的高的光学输出功率,在所有调节长上整体大于5dBm到10dBm。如图11A所示,激光器110是脊形蚀刻的,以形成波导110、112,U用深度蚀刻的波导制作。然而,如本领域技术人员将理解的,激光器102可以全部或部分用波导的深度蚀刻或者其它制造方法来制造。图11B示出了完成的制造的发射器,基于深度蚀刻的弯曲的波导U转弯,具有在PIC左手侧的U激光器。

[0087] U激光器可以与下面公开的调制器一起使用,或者用其它任何本领域已知的调制器。

[0088] 调制器

[0089] 调制器是本领域已知的,如美国专利号6628690和7633988,通过引用完全并入此处。

[0090] 本发明提供一种设备、装置和方法,以提供集成的方案,在光纤上使用可宽泛调节的半导体激光器传输数据,其中发射波长通过编程激光器和集成的数据调制器来决定,数据调制器的功能是使用干涉的马赫-曾德尔调制器对激光器的输出波长上的数据的调制,马赫-曾德尔调制器其本身可以使用测试和校准数据来编程,与控制电路和查找逻辑(如FPGA)协调以支持可调节波长传输以及希望的传输调制特性,其随着波长以及环境的和操作的条件和老化而改变。

[0091] 图5到图8以及图14到图16示出了根据本发明的各种版本的调制器。新的调制器设计是部分基于现有技术MZM设计,消除了现有设计的第一部分,主要是输入分割器和通常与MZM或其它干涉仪结构相关联的s弯波导。现在参照图5到图8,调制器包括两个直接连接到U激光器的两个光学发射面的两个输入,使用直的波导,或者其它具有两个面的激光器结构,在相同的方向上要么可由激光器设计要么可使用上文解释的波导转弯技术利用(例如TIR反射镜或波导弯曲)。两个调制器臂用作直接的输入,并且可以包含一个或多个下列元件:光学放大器、光学隔离器、光学功率监测器、光学DC相位控制段、光学RF调制段(成块的或分布的或行波)。两个到MZM的输入的波导用具有带隙(其理想情况下大于要调制的光)的材料制造。在半导体发射器的情况下,这通过使用外延地生长的材料结构(包含以恰当的带隙设

计的波导层)来达成,或者使用技术(如量子阱混杂,以移位带边缘)被制作作为透明的层。输入波导理想地应具有强电光效应,换言之,折射率应随着施加的电场或电流而剧烈变化,目的在于保持调制器臂和调制电极尽可能地短。这是关键的设计考虑,用于为高速调制而保持低电容和低电阻,用于以高强度相位调制将吸收保持为尽可能地低,并且确保希望的物理效应为零啁啾或者负的啁啾传输(部署最多的光纤的优选的啁啾参数)而采用。

[0092] 根据本发明的调制器优选地消除用在现有技术中的调制器的功率分割部分。根据本发明的调制器具有多个优势,因为通过消除功率分割器减少了折衷。功率不平衡、制造公差和其它由于功率分割器不完美和操作条件(如环境和温度改变)导致性能劣化的因素在本发明的设备中大量减少,使本发明的设备更加强健。消除第一功率分割器也允许干涉仪中的每个臂通过物理地将激光器反射镜子放置在关于MZM元件的优化的位置处来调整。应注意,MZM调制器的长度比使用输入分割器的现有技术短得多,而消除通常与使用输入分割器相关联的弯曲损失以及由现有技术中使用的分割器后弯曲和波导长度招致的额外损失,全部导致显著减少的整体调制器损失和更高的发射器输出功率。优选的现有技术配置(其使用不对称的MZM设计)导致损失的增加,原因在于s弯或其它用于使一个调制器臂长于另一个调制器臂的元件。其它使调制器不平衡的技术产生某些优选的性能特性(如负的啁啾),并且导致其它特性的劣化。本发明大大减少了这些折衷。

[0093] 对于某些应用而言,特别新的高速应用(如100Gbps、200Gbps、400Gbps和800Gbps以及)更快的相干通信是增加每个发射器的能力并且改进光谱效率和收发器和发射器。相干的通信需要信号的传输,其中相位、振幅或者二者都在发射器处被调制。因为这些高速相干发射器的成本相对高,使用可调节激光器通过提供较少的部件和更简单的备用和置换以及通过波长控制的实时网络配置对保持整体部署和操作和维护成本下降是关键。

[0094] 现在参照图14和图14B,光学设备包括单片可宽泛调节集成激光器,具有第一光学发射端口和第二光学发射端口,其已被设计为发射大约相等的功率,其中第一光学发射端口与第一相干调制器进行通信,而第二光学发射端口与第二相干调制器进行通信。第一调制器和第二调制器分别与发射器第一输出和第二输出(输出1和输出2)通信。调制器经由采用转弯元件(如TIR反射镜)以平衡路径长度和激光器输出发射端口和每个调制器之间的损失的波导连接。另外,增益元件可以放置在激光器发射端口和调制器之间以平衡功率。为了增加发射器输出的能力,一个途径是结合到从相同的可调节激光器进入光纤的独立调制的偏振。这可以在集成的芯片上使用偏振分割器、合成器和旋转器完成,并且与本发明兼容。或者如图14A和图14B所示,另一个实施例是使用外部的块光学组件,以校准相同的偏振中的两个单独的调制数据输出,然后使用透镜校准光与一个端口上的外部的偏振旋转以创建一个输出(为TE)和第二输出(为TM)偏振光,接着是偏振束合成器和将合成光聚焦到光纤中的透镜。图14A和图14B中所示的实施例示出嵌入的马赫-曾德尔调制器,其允许在振幅和相位二者方面调制光学信号以及在每个臂内设置两个MZM调制器以允许每个比特周期的两个系列相位/振幅点之间的调制。使用 2×2 多模式干涉耦合器作为功率合成器和分割器具有增加的优势,提供在相干的嵌入MZM调制器中要求的必要的 π 相移。按照这样的方式,例如,每个调制器可以以25Gbps运行,导致每个嵌入的调制器50Gbps,而使用两个偏振状态产生100Gbps。如图14A和图14B中所示,输出波导分隔得足够开以容纳与一个或两个输出的外部光学元件(诸如校准透镜、光学隔离器、偏振旋转器、分割器和合成器、波长锁定器和光纤聚

焦光学器件等等)的通信。这些块的外部组件占据空间,通常在1mm和2mm之间的宽度,所以输出处的波导需要分割以容纳这些元件。本发明使这种容纳能不把晶片上的大的芯片区域归入,并且允许具有紧紧折叠的结构的设计。图14A中所示的设备的另一个优势是,其长而且窄,并且使可以位于晶片上的设备的数量最大化。图14B示出了替代实施例,其中U激光器的两个输出发射端口直接连接到两个嵌入的MZM相干数据调制器的输入端口,有效地产生与图14中的实施例描述的操作相同的操作。

[0095] 现在参照图15,示出了光学设备,具有相干的嵌入调制器的进一步细节并且,所述调制器连接到双输出平衡激光器并且分别连接到输出1和输出2,如图14A中更高级别处所示。

[0096] 现在参照图16,示出了光学设备的另一个实施例,具有相干的嵌入调制器的进一步细节并且,所述调制器连接到双输出平衡激光器并且分别连接到输出1和输出2,如图14B中更高级别处所示。

[0097] 结合调制器的U激光器

[0098] 可调节激光器与MZM光学数据调制器和半导体光学放大器在共同的衬底上的集成在本领域是熟知的。已经存在具有马赫-曾德尔调制器和半导体光学放大器的波长可调节激光器的多个实施例。除了可调节激光器与光学数据调制器的单片集成,存在需要被控制的传输的光学数据比特的特性,通常在调制器处,目的在于使用标准的单模式光纤(目前在地下的主要类型的光纤)在大于几百米的传输距离之上以10千兆比特每秒或者更高的速率传输。应是可控制的关键的传输特性包括调制信号光学啁啾、消光比、光学信噪比以及光纤耦合的光学功率。这些参数的控制对成本效率是必要的,确保发射到发射器处的光纤中的光学数据对于所有可调节波长都带有尽可能少的形状畸变、尽可能多的信号和尽可能少的噪声地到达接收端。另外,这些特性的温度依赖性必须被最小化,并且被控制以使操作能在真实环境中进行。

[0099] 图10C是完成制造的发射器的图像,所述发射器由TIR镜为基础的U激光器、具有DC偏置和调制数据和数据_条电极的MZM、连接到两个激光器发射输出和两个MZM输入的相位偏置和增益段以及两个波导(一个用于连接到包括光纤的外部光学组件,而另一个具有图7中所例示的功率监测器电极)构成。应注意,MZM调制器的长度比现有技术短得多,其使用输入分割器并且与输入分割器相关联的弯曲损失以及额外的波导长度显著地减少了整体调制器损失。

[0100] 为了方便对啁啾和消光比的控制,马赫-曾德尔磷化铟调制器具有多个参数,设计为包括相对于另一个调制器臂的一个调制器臂中的相位补偿,以高的消光比增强负的啁啾特性。干涉仪偏置的优化和其它设备条件是已知的。可宽泛调节的波长“取样光栅分布布喇格氏反射器”激光器的集成也已经被汇报并且具有外部的马赫-曾德尔调制器。

[0101] 现在参照图12A,示出了来自完成的具有U激光器的发射器的数据和现实来自激光器输出的主峰。如图12A中所示,来自激光器的多余的峰优于主峰之下的55dB。参照图12B,示出了多种波长处的激光器输出的调制。这图例示了用于超越现有技术(其使用不对称的反射镜反射率)的平衡的可调节反射镜设计对输出激光器质量的改进。

[0102] 现在参照图13,示出了作为波长和温度的函数的激光器输出的发射光谱。本发明的一个优势是激光器的任何一个臂可以通过关闭任何一个臂上的增益块来调节,并且可以

观察和/或监测来自输出端口的反射。因此,激光器可以按照对单个输出激光器而言非常困难的方式观察和/或监测。本发明的这个优势大大改进了通过监测调制器输出(包括每个反射镜独立的反射镜反射率光谱、对温度和其它芯片上的组件的依赖性、调节特性、与预期设计的偏差和反射镜的老化和可靠性问题)完全表征激光器的光学质量的能力。此技术也允许在单个MZM输出处测量增益。激光器用与调制器输出交界的光学诊断工具对来自可编程的电子系统的调制器的控制提供比起现有技术更有力的和可制造的方式来编程、表征、测试集成的可调节发射器,在现有技术中在生产线上这个功能是更难实现或者由于发射器和激光器设计而不能实现。

[0103] 根据本发明的另一个实施例,U激光器配置具有双输入MZM调制器。其它U激光器版本可以静态改变反射镜反射率振幅和/或相位,或者作为长度、反射镜周期、脉冲数和其它反射镜参数、增益段的数量和增益段长度和TIR反射镜设计的函数,这些方面已在公众文献中发表。在可调节反射镜之后的无源段和SOA可以被用于在MZM之前的两臂中平衡功率并且移位相位,并且采用适当的光学隔离器技术使返回激光器的反射最小化。集成平台应使返回激光器的反射最小化,其可以通过每个激光器中的模式的有效指数和随后的波导段配对来实现。

[0104] 本发明通过利用用于数据调制的两个激光器输出克服了此限制,通过将两个反射镜都连接到调制器,并且因此所述反射镜可以被设计为更相等,每个反射镜被设计为希望的平衡的输出功率以及SMS和激光器线宽。因此,本发明的另一方面是激光器与光学调制器的集成。

[0105] 本发明描述了新的激光器和可调节激光器设计途径,其中可宽泛调节半导体激光器构造为新颖的U形,并且随后作为本发明的另一方面,通过与马赫-曾德尔调制器(连接到多于激光器输出面的一个并且由到多于激光器输出面的一个驱动)在共同的磷化铟衬底上的单片集成进一步实施本发明。设计U形可宽泛调节的激光器和在数据调制中利用两个激光器面(通过将每个面连接到调制器输入的一个)的优势允许可调节激光器反射镜被设计为每个反射光学功率的大约50%,允许出自每个面的SMSR被最大化,并且将来自每个面的输出功率耦合进调制器中而不需要反射镜的一个的反射率低以最大化激光器输出功率。通过将两个激光器输出端口连接到一半将为马赫-曾德尔调制器的中阶段部分将激光器与调制器的进一步集成是不明显的并且比起现有技术具有如下文所具体描述的多个优势。由于激光器的两个面都被用于通过光学调制器的传输,两个反射镜都可以被设计为最大功率传输并且具有高输出功率地允许达到高的边模抑制比。

[0106] 如上文所讨论的,现有设计的很多缺陷是使用两个分割器或者多模式干涉(MMI)耦合器以取用来自一个面的激光器输出并且经由与激光器一致的波导分开为两个光学波导的臂,其包含调制器元件并且然后使用MMI将信号结合到输出。MMI的制造和其它的分割器结构是分厂容易受制造公差影响的,而Y分支分割器的输出难以精确控制到50/50。这些不平衡可以取决于MMI或者Y分支宽度或耦合区(在侧壁的蚀刻之上)的长度和其它处理的变化,并且随着温度改变。另外,增加的长度和与S带相关联的损失和增加的波导长度或其它弯曲的结构,使本发明成为较低损失的光学数据调制器,原因在于其经过直的波导直接连接到可调节U激光器的两个输出发射端口。

[0107] 本发明的第一部分是使用马赫-曾德尔调制器调制可调节激光器的装置、方法和

器械,所述马赫-曾德尔调制器中调制器的两个主要的臂连接到两个或更多激光器面而不是现有技术的将马赫-曾德尔调制器连接到一个激光器面。马赫-曾德尔调制器到两个或更多的可调节激光器面的连接为多种可调节激光器结构而说明。本发明的第二部分提供用于可调节激光器结构的装置、方法和器械,可调节激光器结构被配置为U配置,其提供两个激光器面到马赫-曾德尔调制器的直接连接,其中U激光器可以被实现为在一个衬底上的单独的半导体激光器组件,或者优选地,U激光器作为马赫-曾德尔调制器被集成在相同的衬底上,实现完全集成结构的益处。另外,公开了将半导体光学放大器集成在相同的衬底上作为可调节激光器和马赫-曾德尔调制器的装置。

[0108] 光学MZM的偏置和驱动电极配置对较低功率的设计是非常重要的,较低功率的设计使用低电压驱动信号,对CMOS直接驱动电路和一般的较低的功率耗散电子器件特别重要。最普遍的配置使用4RF电极,每个MZM臂两个,用作两组系列推拉电极。所述4电极推拉配置允许在给定的带宽、以与使用非推拉或者单臂驱动配置比较的驱动电压的一半驱动调制器。

[0109] 应注意,U激光器和马赫-曾德尔调制器的实施不局限于仅仅磷化铟材料系统。其它实施例可以包括硅光子器件、与磷化铟结合的硅光子器件以及这些半导体系统与玻璃为基础的和氮化硅为基础的波导系统的结合。

[0110] 每个发明可以与其它发明一起使用,并且其它调制器和/或激光器也可以与相应的发明一起使用。例如,Y分支可调节激光器的两个一般不使用的输出可以与现有的调制器设计一起使用。可调节环形谐振器为基础的激光器的两个输出母线可以与现有的调制器设计连接起来。替代地,来自U激光器的两个输出可以直接连接到环形谐振器为基础的调制器的两个母线,两个独立的电吸收调制器(EAM)。

[0111] 本发明用可调节激光器和马赫-曾德尔干涉仪调制器和/或半导体光学放大器克服了现有技术和相关技术的波长可调节发射器的局限,出于以下原因:

[0112] 本发明的第一方面是使用一个或更多可调节激光器的两个或多个面而不是只有一个激光器输出面,更有效率地利用产生的光;

[0113] 本发明的第二方面是使多模式干涉功率分割器/耦合器或其它分割器/耦合器设计的使用最小化,其经常是在分开比率中的未知的处理错误的源并且减少发射器性能(如消光比和光学信号噪声比)的方面;

[0114] 本发明的第三方面是不具有传统的第一分割器/合成器的马赫-曾德尔调制器与多种可调节激光器设计的集成,特别是固有地具有相同方向上的两个或更多容易接入的输出端口的设计;

[0115] 本发明的第四方面是提供新颖的可调节激光器设计,U激光器,其与本发明的调制器部分的要求很好地匹配;

[0116] 本发明的第五方面是通过采用熟知的反射技术(如全内反射或空气间隙镜,其中这些镜也可以被采用以用作其它有益的功能,如功率监测器塞)适应马赫-曾德尔调制器以连接到相反方向上的面的能力;

[0117] 本发明的第六方面是允许通过设计与两个或更多的激光器面输出波长距离差调整马赫-曾德尔调制器中的两个臂路径的一个,导致熟知的引入所述臂之间的差分的相移以产生调制器(为调制采用的量子限定的斯塔克谱线磁裂效应)中的负频率啁啾的优势。两

个马赫-曾德尔调制器臂与两个或更多激光器面的初始分割启动控制的啁啾,而相干调制技术需要的相位控制容易地在这些结构中被采用。

[0118] 本发明的第七方面是比起现有技术的MZM(使用输入分割器)而言大大减小的MZM调制器的长度并且消除与使用输入分割器相关联的弯曲损失。本发明通过几乎消除由材料、波导和过分割器弯曲导致的传统MZM中的波长长度的第三个来进一步减少调制器光学损失。因而本发明导致显著减少的整体调制器损失、更好的消光比和信号噪声比以及高的发射器输出功率。

[0119] 调制器可以与U激光器一起使用,如下文公开的,或者具有任何其它本领域已知的激光器,其可以存在到现有的调制器发明输入的两个光学发射输出或面。

[0120] 尽管全文所写的本发明的说明使本领域一般技术人员能制作并使用现在被认为是其最好的模式,本领域技术人员将理解并认为此处的具体实施例、方法和示例的变化、结合和等同物的存在。本发明因此不应该被上文描述的实施例、方法和示例所局限,但应该被本发明的范围和精神内的所有的实施例和方法所局限。



图1

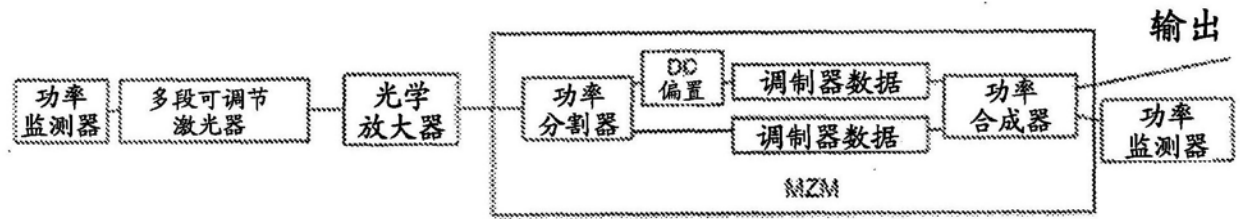


图2

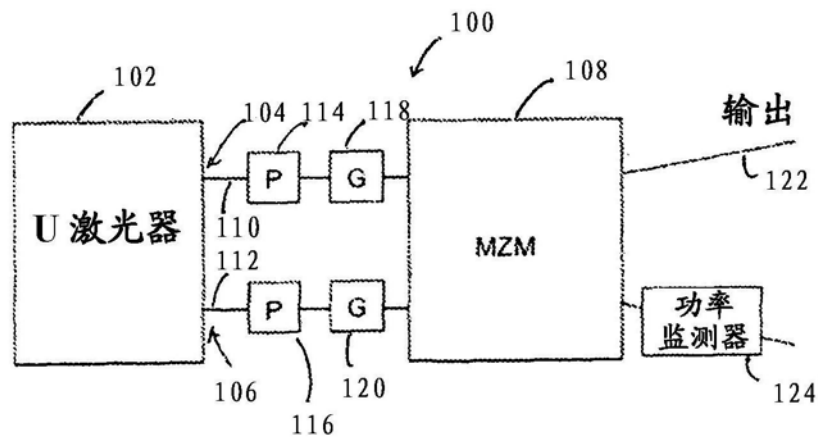


图3

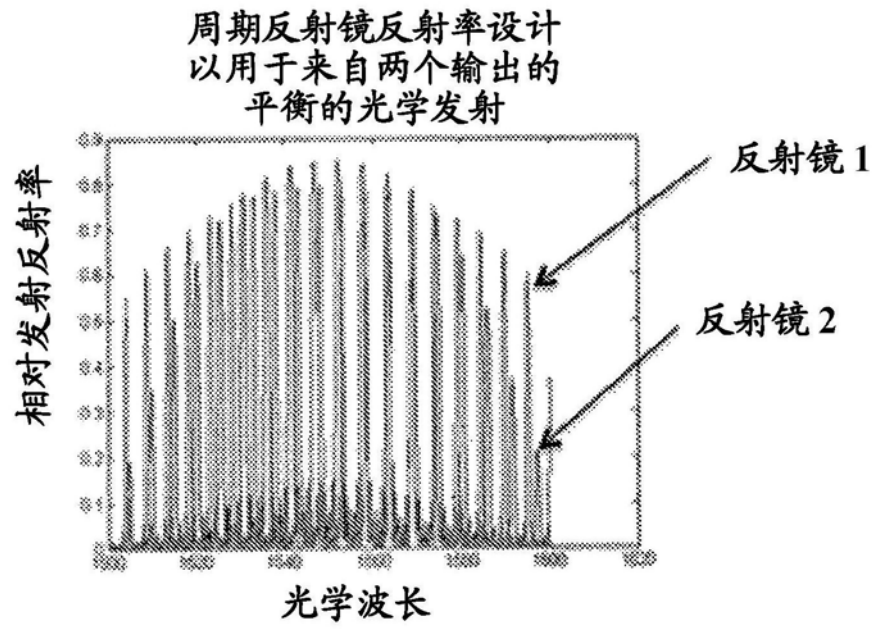


图4

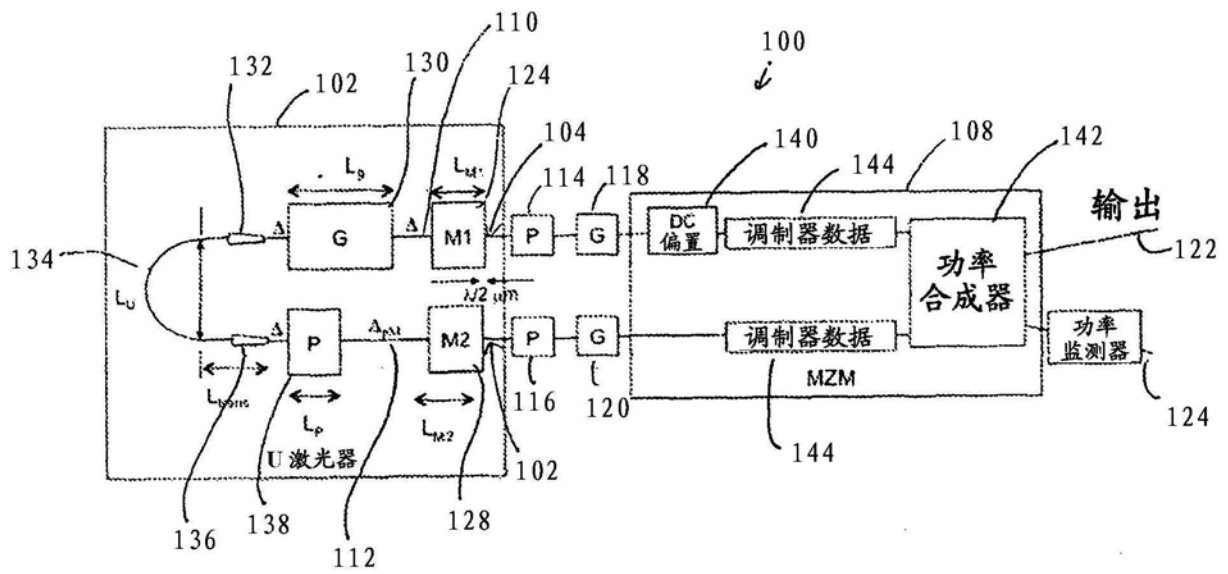


图5

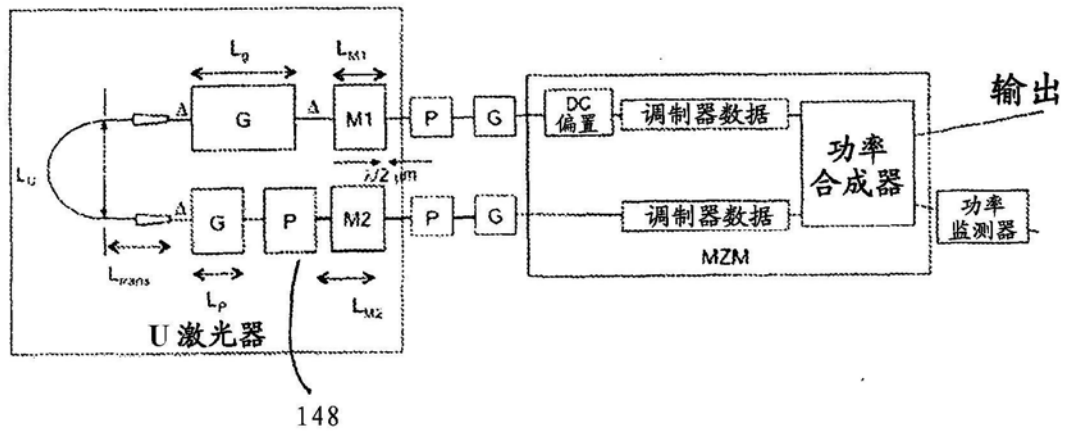


图6

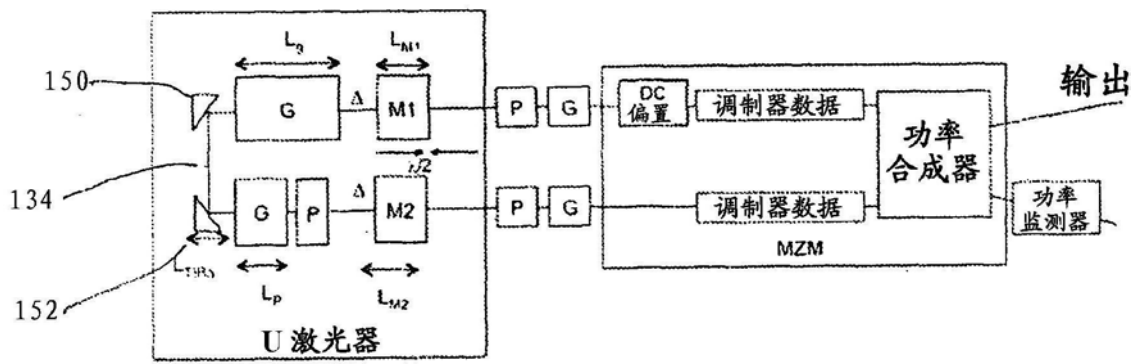


图7

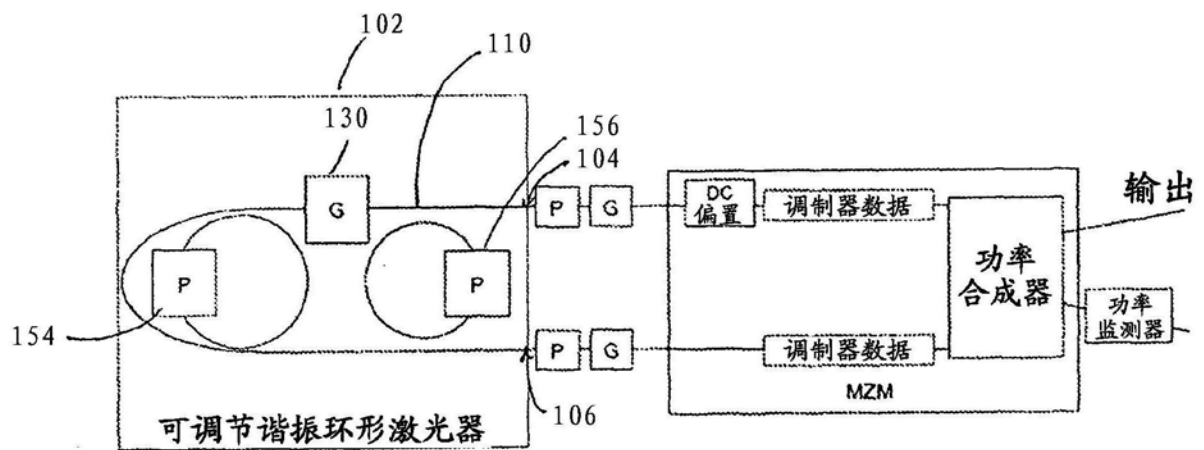
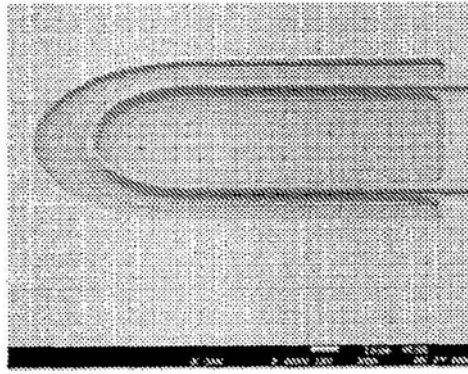
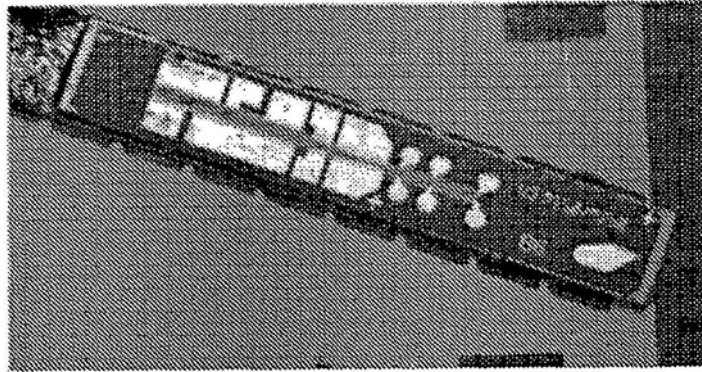


图8A



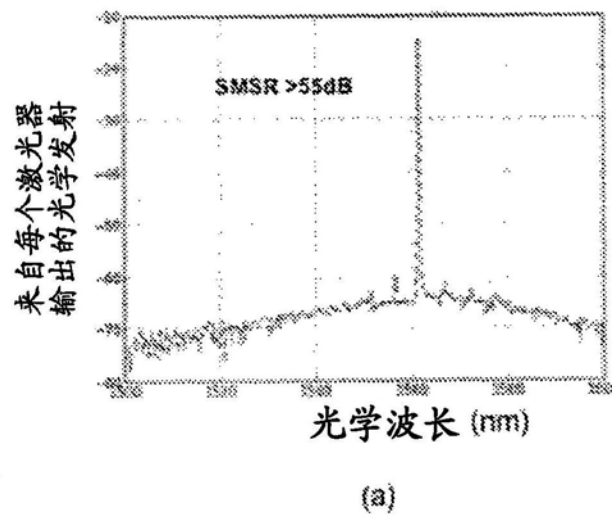
(a)

图11A



(b)

图11B



(a)

图12A

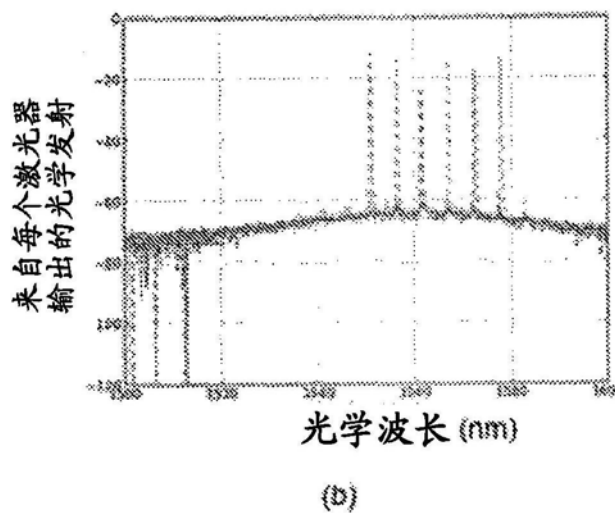


图12B

在改变反射镜温度的同时使用单个调制器输出来测量反射镜反射光学发射光谱。通过关闭一个臂中的增益且开启另一个臂中的外部放大器而获得。通过关闭另一个臂中的增益并且开启另一输出中的外部放大器来获得另一个反射镜的反射光谱。

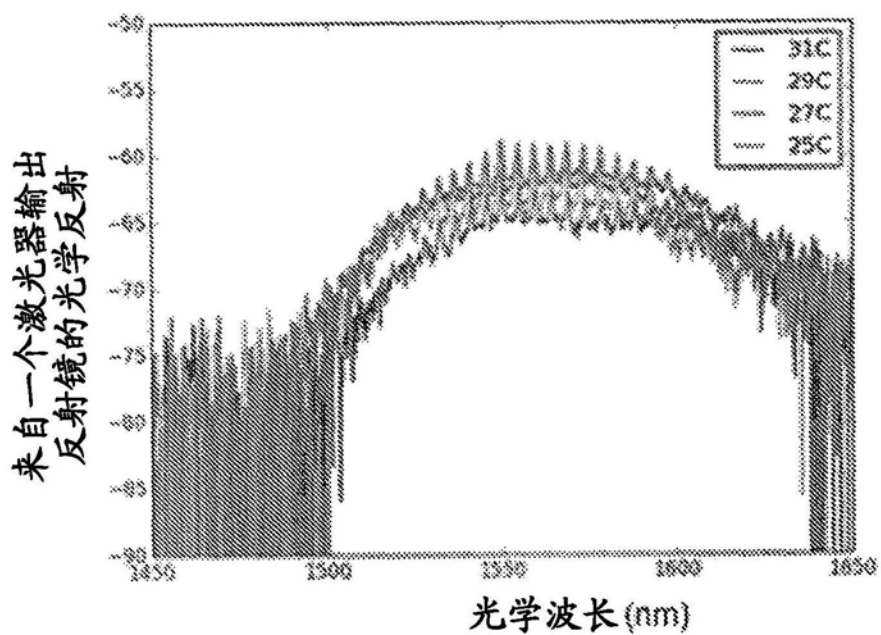


图13

输出波导被充分地分开,以便容纳与外部光学元件对于一个或两个输出的通信:

例子: 准直透镜、光学分离器、偏振旋转器、分割器和合成器、波长锁定器、光纤聚焦光学器件、等等。

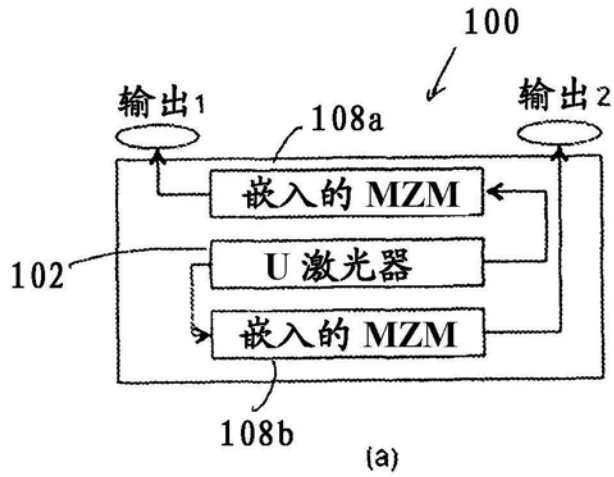


图14A

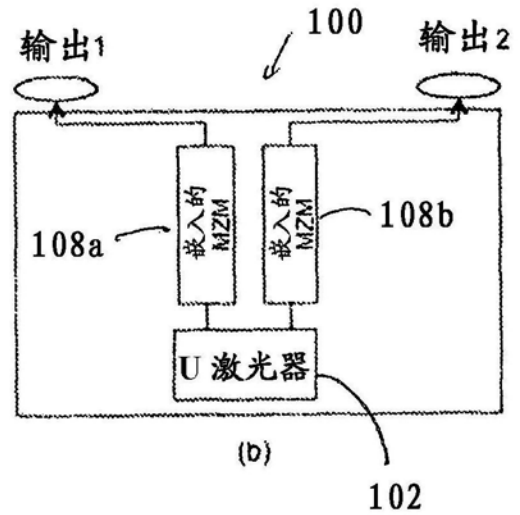


图14B

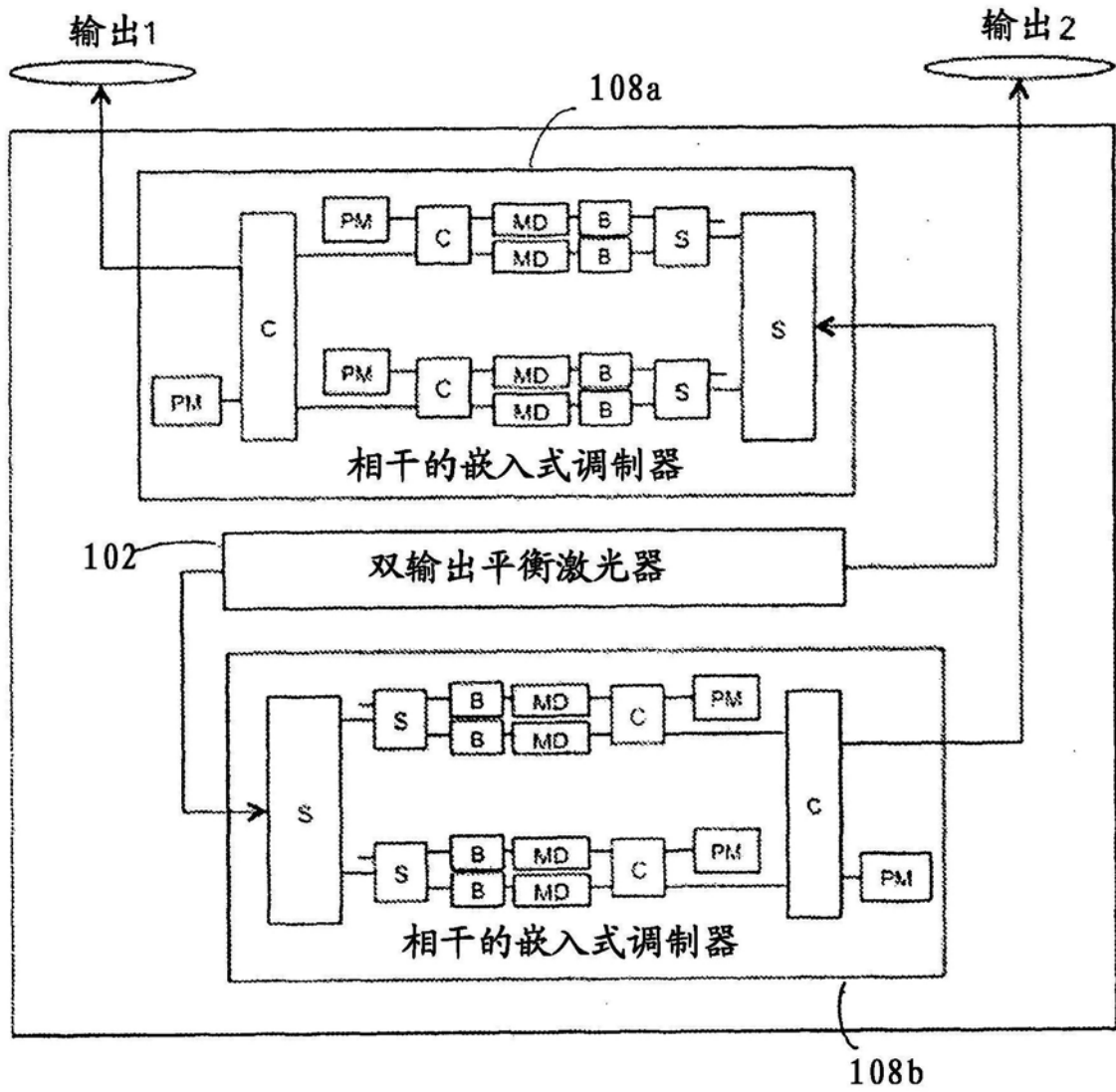


图15

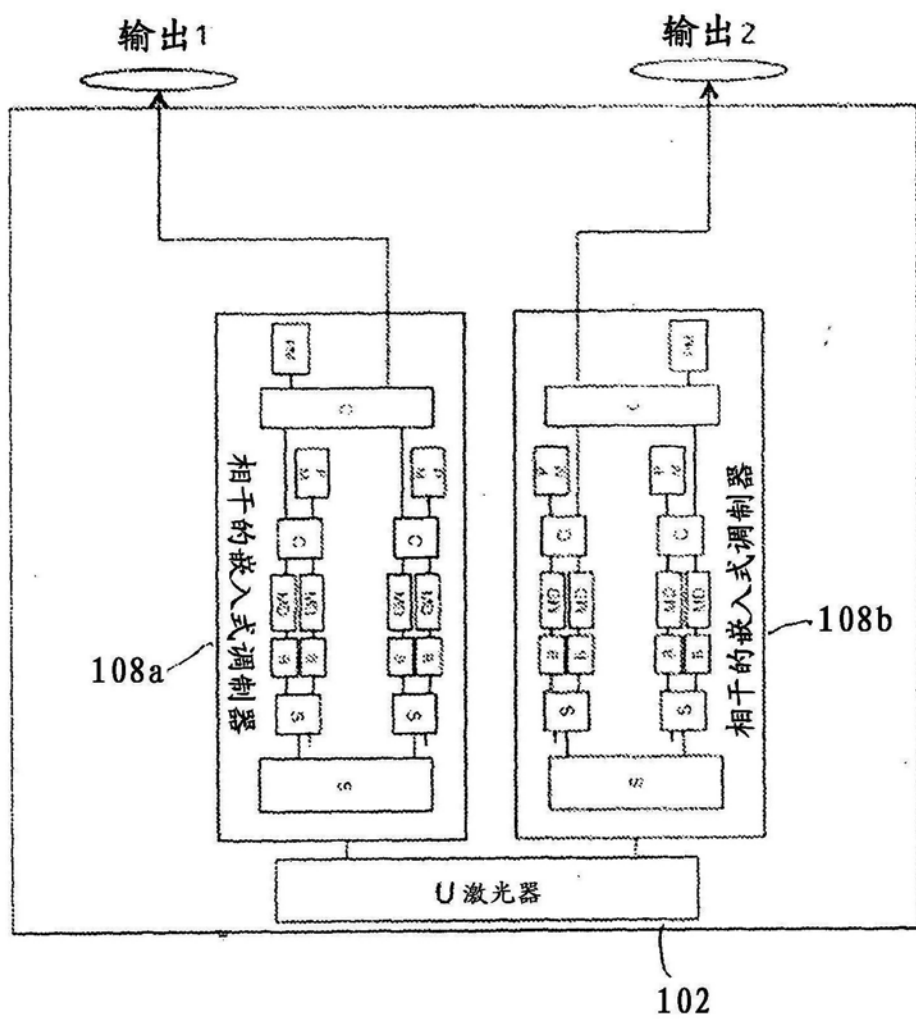


图16