

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101606284 B

(45) 授权公告日 2011.06.08

(21) 申请号 200780042251.4

(22) 申请日 2007.11.15

(30) 优先权数据

60/859,319 2006.11.16 US

11/985,442 2007.11.14 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009.05.13

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/023976 2007.11.15

(87) PCT申请的公布数据

W02008/063531 EN 2008.07.24

(73) 专利权人 OFS 飞泰尔公司

地址 美国佐治亚州

(72) 发明人 杰弗里·W·尼科尔森

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

公司 11243

代理人 曾贤伟

(51) Int. Cl.

H01S 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2006/0245456 A1, 2006.11.02, 全文.

US 5050183 A, 1991.09.17, 全文.

US 6163630 A, 2000.12.19, 全文.

US 5450427 A, 1995.09.12, 全文.

CN 1392640 A, 2003.01.22, 全文.

张伟等. 非线性放大环形镜“8”字腔光纤激光器实验研究.《光子学报》.2006,第35卷(第12期),1808-1811.

审查员 刘娟

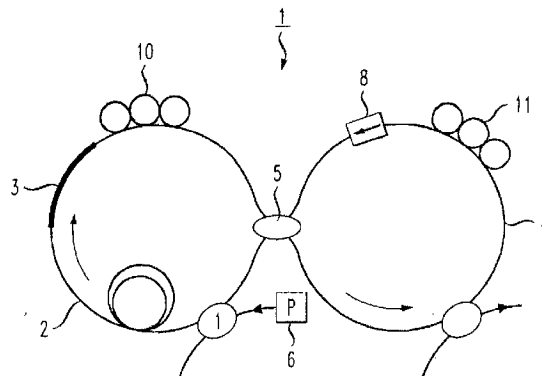
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 5 页

(54) 发明名称

被动锁模 8 字形光纤激光器

(57) 摘要

一种由全正色散光纤形成的被动锁模 8 字形激光器,能够消除对于使用反常色散光纤的需要。选择保偏的光纤,同时,激光器的剩余构件(耦合器、隔离器、增益光纤)也被形成为保偏元件。在一个实施例中,使用一段 Yb 掺杂光纤作为增益元件。优选使用外部调制构件(振幅或相位)来启动被动锁模。



1. 一种被动锁模 8 字形光纤激光器,包括:

由保偏正常色散单模光纤构成的第一环路,所述第一环路包括一段保偏掺杂光纤,所述一段保偏掺杂光纤响应于输入的光泵浦信号来产生放大形式的所述光泵浦信号,所述第一环路定义为非线性放大环路镜;

由保偏正常色散单模光纤构成的第二环路;

保偏定向耦合器,所述保偏定向耦合器被设置在由保偏正常色散光纤构成的所述第一环路和第二环路之间,并被耦合到所述第一环路和第二环路上,传播的光信号的保偏状态提供所述传播的光信号的锁模;及

外部微扰源,所述外部微扰源被耦合到所述第一环路和第二环路中的一个环路以将微扰引入传播的信号中并启动被动锁模。

2. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述激光器还包括保偏光隔离器,所述保偏光隔离器设置在所述第一环路和第二环路中的一个环路上以提供传播的锁模信号的方向控制。

3. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述激光器还包括保偏输入耦合器,所述保偏输入耦合器设置在所述第一环路内以将输入的光泵浦信号引向所述一段保偏掺杂光纤。

4. 根据权利要求 3 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述保偏输入耦合器包括保偏波分复用器。

5. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述激光器还包括保偏输出耦合器,所述保偏输出耦合器设置在所述第二环路内以耦合输出在第二环路中产生的锁模光脉冲的一部分。

6. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述外部微扰源包括用于将调制微扰引入到所述传播的信号中的偏振调制元件,并且所述激光器还包括外部驱动器,所述外部驱动器被耦合到用于提供输入调制信号的所述偏振调制元件。

7. 根据权利要求 6 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述外部驱动器包括可开关的驱动器,当被动锁模建立时能够关闭该可开关驱动器。

8. 根据权利要求 6 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述保偏调制元件包括相位调制元件。

9. 根据权利要求 6 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述保偏调制元件包括振幅调制元件。

10. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述外部微扰源包括机械微扰元件,所述机械微扰元件用于修改所述第一环路和第二环路中的一个环路的机械特性。

11. 根据权利要求 10 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述机械微扰元件用于拉伸,所述机械微扰元件包括光纤。

12. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述外部微扰源包括声学微扰元件。

13. 根据权利要求 12 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述声学微扰元件包括工作在千赫兹范围内的声信号。

14. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述保偏定向耦合器包括 50 : 50 耦合器。

15. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,掺杂光纤段包括一段 Yb 掺杂的光纤。

16. 根据权利要求 1 所述的被动锁模 8 字形光纤激光器,其中,所述激光器还包括反常色散元件,所述反常色散元件被耦合到所述激光器的输出以执行对从所述激光器输出的输出脉冲的压缩。

被动锁模 8 字形光纤激光器

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请主张 2006 年 11 月 16 日递交的美国临时申请 No. 60/859, 319 的权益。

技术领域

[0003] 本发明涉及被动锁模的光纤激光器,更具体地,涉及正常色散的保偏光纤的 8 字形锁模光纤激光器。

背景技术

[0004] 超短的光脉冲可以被用于包括光信息处理及数据通信、具有高的暂时分辨率的光探测、激光手术以及材料处理的多种应用中。特别地,具有高达 2.5Gbit/s 或更高的光数据通信的近年来的发展要求具有低维修率、高可靠性并且低成本的紧凑、超快的光源。

[0005] 已经开发了光纤激光器作为新一代的紧凑、便宜并耐用的光源。本质上,光纤激光器是具有一段作为增益介质的掺杂光纤的光泵浦谐振器。当增益超过谐振器中总的光损耗时,可以产生激光振荡。可以使用许多不同的掺杂剂来获得不同波长的激光振荡。可以使用稀土离子中的原子跃迁来产生从可见波长到远红外波长的激光(例如,0.45 μm –3.5 μm)。由于在大约 1.55 μm ,通常使用的石英光纤中的光损耗最小,因此,用于产生 1.55 μm 的光脉冲的掺铒光纤激光器特别适用于光纤通信。

[0006] 锁模光纤激光器可以使用例如线形、环形及 8 字形等各种腔配置。例如,见 1991 年 4 月 16 日授予 Kafka 等人的美国专利 5,008,887 以及 1996 年 4 月 30 日授予 Tamura 等人的美国专利 5,513,194。然而构想将锁模光纤激光器配置为具有同时振荡的多个纵模。在谐振器中执行锁模机构,从而以任意两个相邻模式之间的相位差为恒量的方式使不同模式的多个相位同步。这些锁相模式结构性地互相累加来产生短脉冲。

[0007] 两个通常的锁模方案是“主动”锁模和“被动”锁模。主动锁模以等于一个或多个模间隔的频率调制腔内光场的振幅或相位。通过使用腔内光电和声光调节器可以实现主动锁模。

[0008] 可选择地,被动锁模使用谐振器内部的至少一个非线性光学元件来对光脉冲产生依赖于强度的响应,从而降低离开非线性元件的光脉冲的脉冲宽度。与主动锁模相比,可以有效地使用被动锁模来产生超短光源。通常使用的被动锁模技术包括饱和吸收器、8 字形激光器及依赖于强度的非线性偏振旋转。

[0009] 锁模光纤激光器一般需要“正常的”(即,负的)和“反常的”(即,正的)色散光纤的平衡以获得超短脉冲。对于例如 Yb 光纤激光器等的短波长的激光器,该需要造成了问题。短波长的反常色散需要例如带隙(bandgap)光纤或光子晶体光纤等特定光纤。这些特定光纤都难于制造(问题出在与传统光纤的接合上),并且这些特定光纤在反常色散光纤的任意端上还需要更高阶的模(例如,LP₀₂)传播和适当的模变换器。

[0010] 此外,这些源的环境稳定性需要在多数应用中使用保偏光纤。然而,在这样的激光器腔中启动锁模是困难的。

[0011] 因此,仍然需要在激光器中启动锁模的能力以及不需要使用反常色散材料来提供产生锁模输出脉冲所必需的色散管理的锁模 8 字形光纤激光器。

发明内容

[0012] 本发明处理现有技术中的局限性,本发明涉及被动锁模光纤激光器,更具体地,涉及正常色散保偏光纤的 8 字形锁模光纤激光器。

[0013] 根据本发明,本发明的 8 字形锁模光纤激光器包括保偏单模光纤的两个环路,沿着两个环路中的一个设置一段稀土掺杂保偏光纤来启动放大。在第一和第二环路之间设置定向耦合器以控制该两个环路之间的光信号的传播。由于每一个构件都由保偏光纤构成,因此,传播信号的偏振状态将不会漂移,并且锁模将保持固定。

[0014] 已经发现,当使用保偏光纤时,8 字形激光器将不容易“自开启”(“self-starting”)。因此,根据本发明,调制信号源(调相或调幅)被耦合到这两个环路中的一个以启动该处理。一旦受激,此后,光纤激光器将保持“被动”锁模,并且初始的调制器源可以被断开。包括单偏振、保偏的隔离器(isolator),该隔离器执行双重任务:提供在非放大环路(第一环路)中的单向操作;以及,对腔增加强烈的偏振相关损耗,从而提供单偏振状态的操作。

[0015] 参考附图,在下面描述的过程中,本发明的其它及进一步的方面和特点将变得清楚。

附图说明

[0016] 现在参考附图,

[0017] 图 1 示出现有技术的锁模 8 字形激光器的基本配置;

[0018] 图 2 说明本发明的第一实施例,包括全正色散保偏光纤(all normal dispersion, polarization maintaining fiber),应用该全部正常色散保偏光纤与一段保偏 Yb 掺杂的光纤来形成根据本发明形成的被动锁模 8 字形激光器;

[0019] 图 3 说明本发明的可选实施例,该实施例包括附加的调制元件来对 8 字形光纤激光器提供初始微扰信号并开启激光器的被动锁模状态;

[0020] 图 4(a) 示出本发明的保偏 8 字形光纤激光器的锁模光谱的曲线图;

[0021] 图 4(b) 是本发明的光纤激光器生成的对应的输出脉冲串的曲线图;

[0022] 图 5 是图 4(b) 中的脉冲的自相关的曲线图;

[0023] 图 6 说明将现有技术与本发明的配置相比较,锁模光纤激光器的光谱;

[0024] 图 7(a) 示出从根据本发明形成的示意性的被动锁模保偏 8 字形激光器输出的 111fs 脉冲的光谱;

[0025] 图 7(b) 示出与图 7(a) 的曲线图相关联的自相关函数。

具体实施方式

[0026] 在描述本发明的锁模 8 字形光纤激光器的配置和操作之前,将描述基本的 8 字形现有技术光纤激光器。参考图 1,现有技术 8 字形光纤激光器 1 包括第一光纤环路 2,该第一光纤环路 2 包括一段掺杂光纤 3 来提供放大。传统形态的掺杂光纤段 3 将呈现正常的(负

的)色散。通常,基于所希望的激光器的中心工作波长来选择掺杂光纤段 3 的长度。铒是该类型光纤激光器的传统的稀土材料选择之一。通过 50 : 50 定向耦合器 5 将第一环路 2 耦合到由正的(反常的)色散光纤构成的第二环路 4。由此,环路 2 和 4 与耦合器 5 的组合形成了“8 字形”结构。经由耦合器 7(在一种情况下,耦合器 7 可以包括波分复用元件)将泵浦光源 6 耦合到第一环路 2 以提供用于该结构的光输入。

[0027] 此后,在第一环路 2 的段 3 内放大的光将继续环绕环路 2 和 4 传播,通过每个来回呈现增益的增加。环路 4 中的隔离器 8 将防止在第二环路 4 中建立任何反向传播的信号。输出定向耦合器 9 也被包括在第二环路 4 中并被用于耦合输出一小部分的锁模激光器输出信号。在多数情况下,该小部分大约为 10% 左右,以允许 8 字形结构保持被动锁模并继续提供输出信号。一对机械偏振控制器 10 和 11 被分别布置在第一环路 2 和第二环路 4 内,机械偏振控制器 10 和 11 用于保持传播信号的一致的偏振状态。

[0028] 如上所述,对短波长的(通常在大概 1200nm 以下)“正的”色散光纤(如在现有技术配置的第二环路 4 中所使用的光纤)的需要仍存在需要具有极大操作限制的特定设计的光纤的问题。另外,在现有技术类型的锁模 8 字形光纤激光器内对机械保偏元件的需要导致容易受到环境改变影响的、相对大体积的配置。

[0029] 图 2 说明根据本发明形成的示意性的被动锁模 8 字形光纤激光器 20。根据本发明,8 字形光纤激光器的两个“环路”都由正常(即,负的)色散光纤构成,在本发明的结构中不需要使用特定光纤来引入正的色散。另外,通过使用保偏光纤来形成环路消除了对于机械偏振控制器的需要。另外,已经确定,为使被动锁模光纤适当地工作,该配置需要对调制(振幅或相位)的初始的“提升”(“boost”)以进入被动锁模状态。在图 2 的配置中具体地示出本发明的全部这些方面。

[0030] 参考该附图,被动锁模 8 字形光纤激光器 20 包括由保偏单模光纤(polarization maintaining, single mode fiber, PM-SMF)构成的第一环路 22。根据本发明,该光纤呈现单模光纤的“正常”的、负的色散特性。一段铒掺杂(Yb-掺杂)的保偏光纤 24 被耦合到 PM-SMF 以使第一环路 22 的几何结构完整。在该特定实施例中,使用 Yb 掺杂剂来提供相对短的波长(例如,1010 和 1100nm 之间)的输出脉冲。使用第一输入耦合器 26(也是保偏的)来将来自泵浦源 28 的泵浦光信号注入到 Yb 掺杂光纤 24 中。泵浦源 28 的波长(在此情况下示为 975nm)被选择来使用 Yb 掺杂剂提供放大。使用保偏的第二输入耦合器 32 来对 Yb 掺杂光纤 24 提供另外的反向传播泵浦信号输入。

[0031] 激光器 20 还包括第二环路 36,第二环路 36 也由保偏的单模光纤(也是“正常的”、负的色散光纤)构成。使用保偏 50 : 50 光分束器 38 来将第一环路 22 耦合到第二环路 36,由此引导两个环路之间的传播信号。在第二环路 36 内包括保偏的轴向的光隔离器 40 来防止信号反向传播通过该系统。设置保偏输出耦合器 42(这里以 50 : 50 分束器来说明,可以使用任意所希望的比率)来耦合输出来自光纤激光器 20 的锁模脉冲信号。

[0032] 在操作中,通过形成非线性放大环路镜(nonlinear amplifying loop mirror, NALM)的第一环路 22 将激光器 20 锁模。在如上所说明的典型的 8 字形激光器中,使用机械偏振控制器来将偏振的状态调准到有助于锁模的设定值。由于本发明的配置全部由保偏元件构成,因此消除了对于额外的外部偏振控制器的需要。

[0033] 如上所述,获得例如图 2 中所示的自开启配置是困难的。图 3 说明本发明的可选实

施例,在该实施例中,使用附加的调制元件来扰动激光器的稳态环境以充分启动被动锁模。如图所示,还配置本发明的激光器 20 包括沿着第二环路 36 设置的调制器元件(保偏)50。由外部驱动源 52 以激光器 20 的已知的重复频率来驱动调制器元件 50。该调制可以是相位调制或振幅调制,只要该调制能充分扰动激光器 20 的稳态环境并启动锁模即可。一旦锁模已经被维持,驱动器 52 就从系统断开,并且仅经由在非线性的放大环路镜 22 中的 Kerr 非线性效应来继续 8 字形激光器 20 的被动锁模操作。

[0034] 代替振幅/相位调制,可以使用其它类型的微扰来启动被动锁模。例如,可以使用如快速拉伸并压缩光纤等机械微扰。还可以使光纤弯曲来扰动该稳态并启动被动锁模。还可以使用例如指向光纤的声音信号(例如, kHz)、耦合到光纤的压电式转换器等声学微扰。通常,根据本发明可以使用将微扰引入 8 字形配置的稳态环境中的任意方法来启动被动锁模。

[0035] 在长波长(例如,大于 1300nm)中,容易得到具有反常和正常色散的光纤。然而,以较长波长值使用的保偏 8 字形激光器仍需要某种外部微扰来启动被动锁模。

[0036] 图 4(a) 示出本发明的保偏 8 字形光纤激光器的锁模光谱的曲线图。在用于产生该数据的特定配置中,对于 400mW 的总泵浦功率,激光器的总输出功率大约为 50mW。图 4(b) 是由本发明的光纤激光器产生的相应的输出脉冲串的曲线图。该激光器的重复脉冲频率大约为 33.1MHz。图 5 是图 4(b) 中的脉冲的自相关的图。如图所示,“干净的”自相关结果表示脉冲的优良特性:低噪音及高拉伸(与带宽限制相比)。如果此后需要脉冲压缩,则可以将一段反常色散光纤连接到激光器 20 的输出以执行该任务。

[0037] 图 6 说明将现有技术与本发明的配置相比较,锁模光纤激光器的光谱。曲线 A 与例如图 1 所说明的现有技术锁模 8 字形激光器相关。在该情况下,长的长度的反常色散光纤的存在导致同样为正的全部激光器色散。因此,激光器作为具有 14nm 的 FWHM 值的孤波进行工作。当反常色散光纤的数量减少时,全部激光器腔色散接近为零,并且光谱扩展为如曲线图 B 所示。这里,FWHM 值是 63.7nm,具有 90.2fs 的限制带宽脉冲。

[0038] 图 7(a) 示出从根据本发明形成的示意性的被动锁模保偏 8 字形激光器输出的 111fs 脉冲的光谱。图 7(b) 示出相关联的自相关函数。图 7(a) 中示出的光谱的零相位傅立叶变换(zero-phase Fourier transform)对应于 100fs 脉冲。对于该特定实施例,将需要相位/振幅调制(或任意其它类型的外部微扰)来开始脉冲调制。一旦获得被动锁模,就可以关闭外部调制并将外部调制从脉冲源断开。

[0039] 本领域技术人员将清楚,不脱离本发明的宗义或范围,对于本发明可以进行各种变形和变换。因此,本发明涵盖上述实施例的各种变形和变换,所有这些都认为落入如下面定义的权利要求所限定的本发明的宗义和范围内。

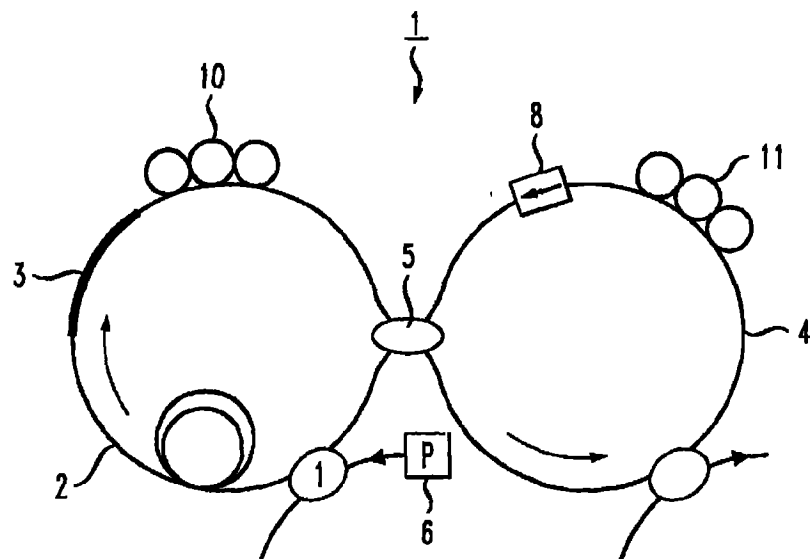


图 1

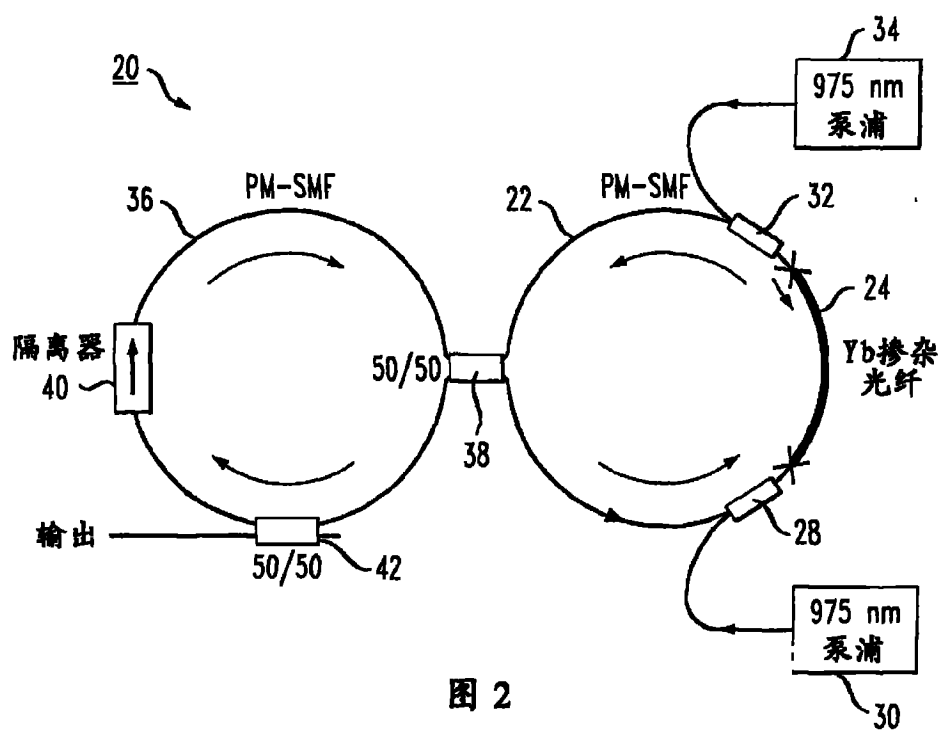


图 2

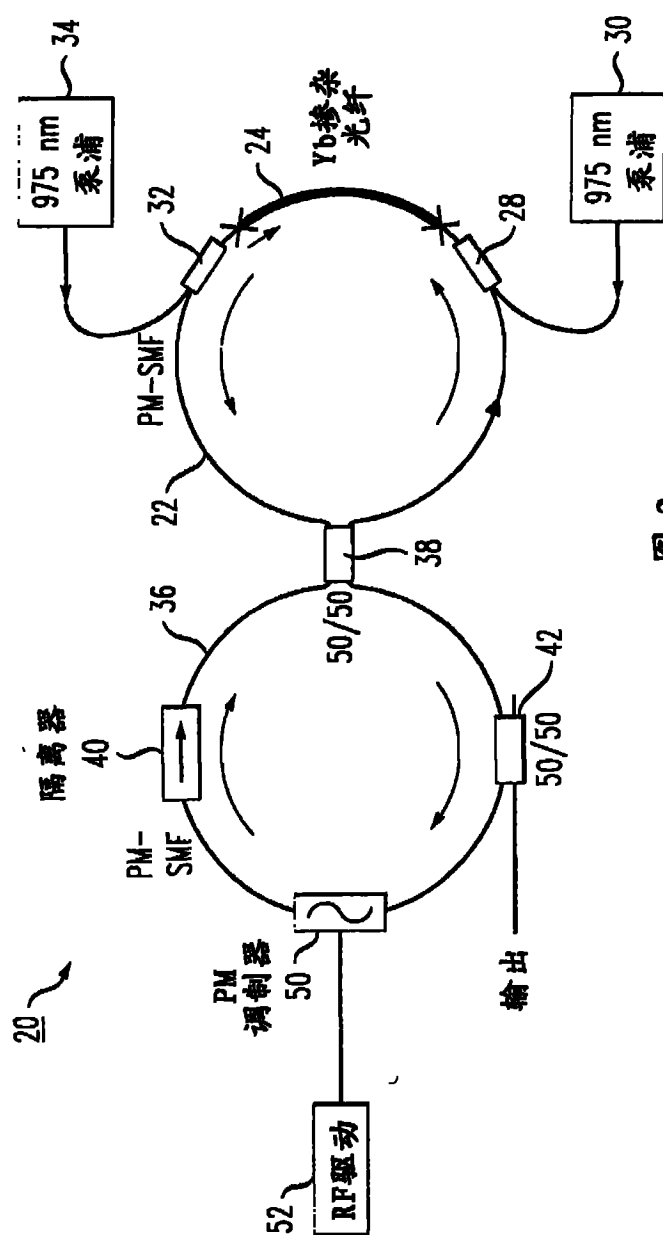


图 3

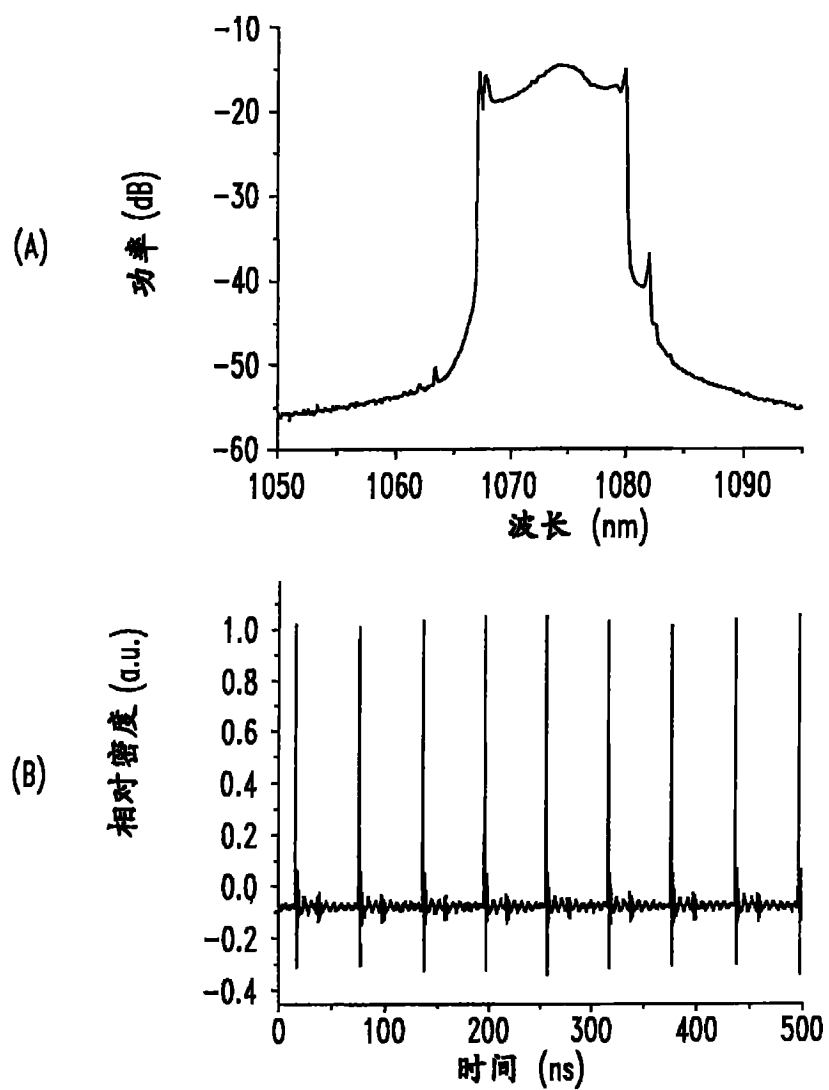


图 4

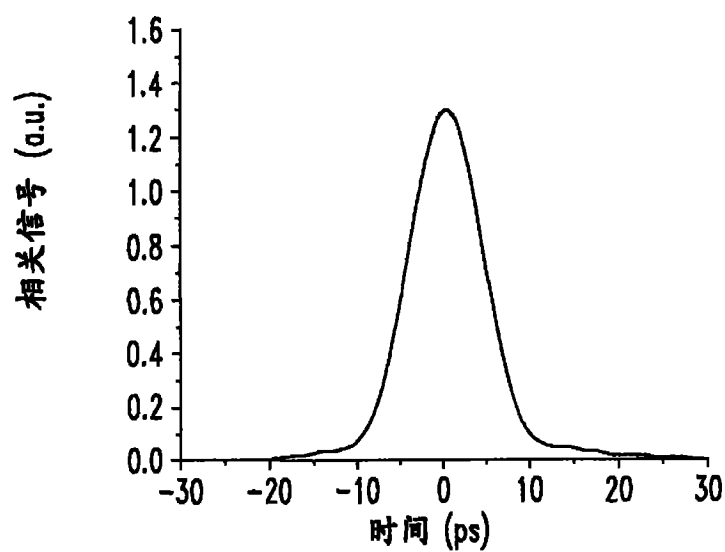


图 5

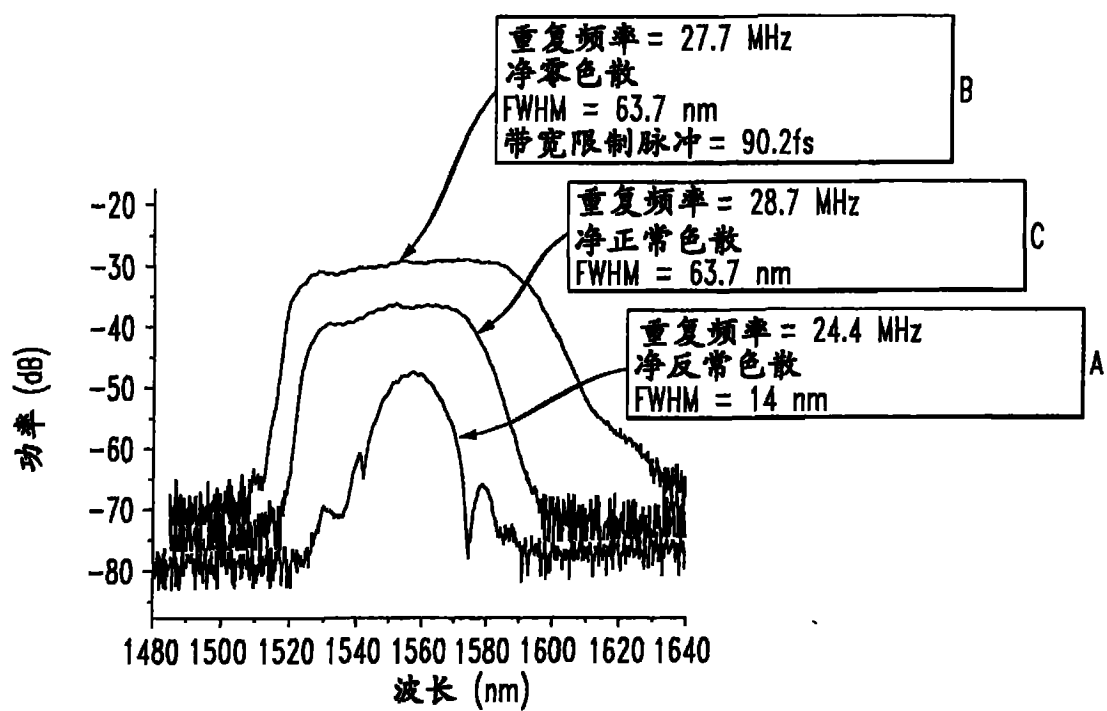


图 6

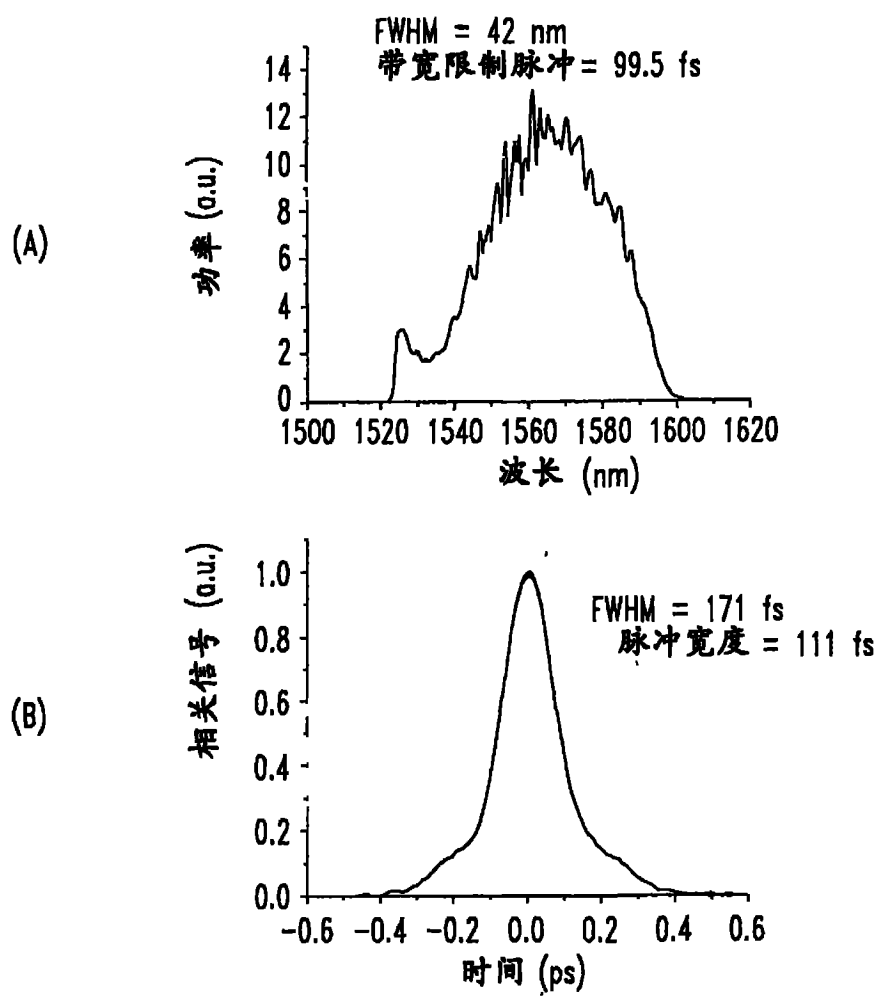


图 7