

24923

证书号第 3385943 号



发明专利证书

发明名称：基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法

发明人：熊梓桐;何广强

专利号：ZL 2016 1 0575016.4

专利申请日：2016 年 07 月 20 日

专利权人：上海交通大学

地址：200240 上海市闵行区东川路 800 号

授权公告日：2019 年 05 月 24 日

授权公告号：CN 106299995 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



证书号第 3385943 号



专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 07 月 20 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

上海交通大学

发明人：

熊梓桐；何广强





(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106299995 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(21)申请号 201610575016.4

(22)申请日 2016.07.20

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 熊梓桐 何广强

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236

代理人 徐红银 郭国中

(51)Int.Cl.

H01S 3/102(2006.01)

H01S 3/10(2006.01)

H01S 3/08(2006.01)

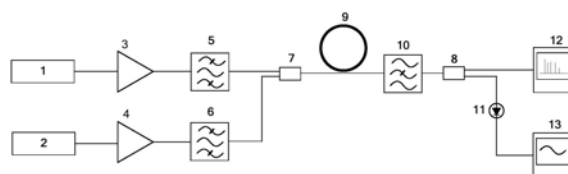
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法

(57)摘要

本发明提供一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法,所述方法分三步进行调节:首先采用单光源放大滤波后泵浦微纳谐振腔,找到泵浦光能够耦合进入微纳谐振腔的波长范围,并确定孤子产生对应的双稳态区域的波长范围;然后用波长为第一步测量记录下的腔内功率开始增大时对应值的单光源泵浦谐振腔从而产生光学频率梳;最后将第二步单光源的波长调为双稳态区域对应波长,同时加入波长低于该光源N倍FSR处的另一光源,二者共同耦合到谐振腔内,逐步演化出孤子光频梳;当泵浦光源频率间隔为N倍FSR时,孤子光频梳的谱线间隔相应也为N倍FSR。本发明能产生谱线间距可调孤子光频梳,无需考虑泵浦光波长调节速率的问题。



1. 一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统、其特征在于,所述系统包括:第一连续可调谐激光器、第二连续可调谐激光器、第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器、用于滤除泵浦光边带杂散信号的第一带通滤波器、第二带通滤波器、第一耦合器、第二耦合器、一个微纳谐振腔、一个滤除泵浦光信号的布拉格光纤光栅、光电探测器、用于分析光谱特性的光谱分析仪以及用于分析拍频后电信号的电谱分析仪;其中:

第一连续可调谐激光器发出泵浦光源,泵浦光源经第一掺铒光纤放大器、第一带通滤波器放大滤波后,经第一耦合器的第一输入口耦合到微纳谐振腔;

第二连续可调谐激光器发出泵浦光源,泵浦光源经第二掺铒光纤放大器、第二带通滤波器放大滤波后,经第一耦合器的第二输入口耦合到微纳谐振腔;

微纳谐振腔的输出端连接布拉格光纤光栅,布拉格光纤光栅输出端连接第二耦合器的输入口,第二耦合器有两个输出口,其中一个输出口连接光谱分析仪、另外一个通过光电探测器连接电谱分析仪。

2. 根据权利要求1所述的一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统的调节方法,其特征在于,所述微纳谐振腔采用三阶非线性介质制备,通过非线性微腔参量过程,首先激发简并四波混频效应,两个泵浦光子产生一个闲置光和一个信号光,生成的闲置光和信号光再次进行简并四波混频和非简并四波混频效应,以此类推,级联四波混频效应最终生成微纳克尔光学频率梳。

3. 根据权利要求2所述的一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统的调节方法,其特征在于,所述微纳谐振腔为CMOS工艺制备的 Si_3N_4 光学微腔。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统,其特征在于,所述光电探测器由光电二极管组成。

5. 一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳的调节方法,其特征在于,所述方法采用两个连续可调谐激光器作为泵浦光源,泵浦光源经放大滤波后耦合到微纳谐振腔,分三个步骤调节泵浦光源,通过控制两泵浦光源频率间距从而实现对孤子光频梳谱线间距的控制;

第一步,确定谐振腔谐振波长范围:采用单光源放大滤波后泵浦微纳谐振腔,找到泵浦光能够耦合进入微纳谐振腔的波长范围,并确定孤子产生对应的双稳态区域的波长范围;

第二步,单光源泵浦谐振腔产生频率梳:用波长为第一步测量记录下的微纳谐振腔内功率开始增大时对应值的单光源泵浦谐振腔,从而产生光学频率梳;

第三步,间距可调谐孤子光频梳的产生:将第二步单光源的波长调为双稳态区域对应波长,同时加入波长低于该光源N倍自由谱宽处的另一光源,二者共同耦合到谐振腔内,逐步演化出孤子光频梳;当泵浦光源频率间隔为N倍自由谱宽时,孤子光频梳的谱线间隔相应也为N倍自由谱宽。

6. 根据权利要求5所述的基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳的调节方法,其特征在于,所述第一步,具体如下:

选用第一连续可调谐激光器经第一掺铒光纤放大器放大,并通过第一带通滤波器滤除边带杂散信号后进入第一耦合器的第一输入口,第二连续可调谐激光器无信号输入第一耦合器,再将第一耦合器输出口的连续光耦合到微纳谐振腔,微纳谐振腔内一部分光信号通过耦合口输出,经布拉格光纤光栅滤除夹杂的强烈泵浦光信号后进入光谱分析仪以分析光

频梳的产生情况,将第一可调谐激光器扫频,观察输出功率变化情况,输出功率不为零时说明谐振波长在此波段内,同时找到双稳态区域对应的泵浦光波长范围。

7.根据权利要求6所述的基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳的调节方法,其特征在于,所述第二步,具体为:

将第一连续可调谐激光器的波长设为第一步测量记录下的微纳谐振腔内功率开始增大时对应的泵浦波长,经第一掺铒光纤放大器放大并通过第一带通滤波器滤除边带杂散信号后进入第一耦合器,再经第一耦合器的输出口进入微纳谐振腔,第二连续可调谐激光器无信号输入,将微纳谐振腔内的一部分信号经耦合口提取出并经布拉格光纤光栅滤除强烈的泵浦光后进入光谱分析仪观察光谱,观测该步骤产生的光学频率梳特性。

8.根据权利要求7所述的基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳的调节方法,其特征在于,所述第三步,具体为:

第一连续可调谐激光器功率不变,将波长转换到第一步中测得的双稳态区域的值,接下来将第二连续可调谐激光器波长设为偏离第一连续可调谐激光器波长N倍自由谱宽处,两束连续光分别经过第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器放大、并经过第一带通滤波器、第二带通滤波器滤除边带杂散信号后,通过第一耦合器的第一输入口、第二输入口进入第一耦合器,第一耦合器的输出口输出信号通过光纤耦合到微纳谐振腔,再将一部分微纳谐振腔内信号耦合出来,经布拉格光纤光栅滤除强烈的泵浦光后一部分通过第二耦合器的第一输出口进入光谱分析仪以观察形成的孤子光频梳、另一部分通过第二耦合器的第二输出口进入光电探测器拍频后通过电谱分析仪观察拍频信号,从而得到谱线间距。

9.根据权利要求5-8任一项所述的一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统,其特征在于,所述第一步中:

先将可调谐激光器波长由小往大调节,通过光谱分析仪记录微纳谐振腔内功率的变化状况,观测到功率逐步增大时,说明泵浦光的波长在微纳谐振腔谐振波长附近;

接下来将泵浦光波长由大往小调节,综合两次调节步骤,找到双稳态区域对应的泵浦光波长范围。

基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学频率梳技术领域,具体地,涉及一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法。

背景技术

[0002] 光学频率梳是指在频率域上一系列精确等间隔且线宽极窄的分立光谱,时域上则是一系列等间隔的超短光脉冲序列,主要应用于毫米波/太赫兹通信、精密光学频率测量、光谱定标、绝对距离测量、射频光子学等领域,是高频低相噪信号源产生、高速光通信光源产生、光学任意波形发生器、基本物理常数测量、类地行星探测、暗物质暗能量研究、光频原子钟等必不可少的工具。2005年美国国家标准技术研究院的霍尔教授(J.L.Hall)和德国马普量子光学所的亨施教授(T.W.Hansch)因对光学频率梳的杰出贡献共同获得2005年度诺贝尔物理学奖。目前光学频率梳的产生方式主要有两种:基于锁模激光器的光学频率梳与基于参量过程的微纳克尔光频梳。前者产品体积庞大、系统复杂,且重复频率低,仅达兆赫兹。后者采用连续可调谐激光器泵浦填充三阶非线性介质的光学微纳谐振腔,通过级联的四波混频效应最终形成光学频率频梳。与基于锁模激光器的光频梳相比,基于参量过程的微纳克尔光频梳具有体积小、与CMOS工艺兼容、低能耗等优点。

[0003] 克尔微腔内有非常复杂的非线性现象,如孤子态、双稳态、图灵态、混沌态等。而处于孤子态的光频梳以其良好的特性受到人们的青睐。时域上看,可经长距离传输而保持脉冲形状不变从而可应用于长距离相干光通信系统中,频域上则表现为宽谱、低相噪,频谱光滑且谱线间具有良好的相干特性。2010年,Leo等人首次在光纤腔中观测到了光孤子。接下来几年里,陆续又有小组通过可调谐激光器扫频来泵浦微纳谐振腔从而得到了光孤子,并就高阶色散、拉曼效应等对光频梳性能的影响进行了实验研究。期间关于孤子光频梳的产生及演化也有大量的理论研究,用于描述微纳谐振腔中光频梳演化过程的主要有非线性耦合模及非线性Lugiato-Lefever两种理论模型。非线性耦合模模型中每个模式各对应一个描述其演化的方程,而各方程又通过描述四波混频效应的项耦合到一起。四波混频耦合项的存在使得数值计算该方程的时间与微腔模式数的三次方成正比,因此仿真成百上千个模式的演化时,非线性耦合模模型这种描述方式就显得极其低效了。与非线性耦合模方程相比,数值计算联立非线性薛定谔方程及谐振腔耦合处边界条件推导出的非线性Lugiato-Lefever模型则会高效很多,因此非线性Lugiato-Lefever模型广泛用于光频梳各种性质的理论分析中。

[0004] 一旦微纳谐振腔的尺寸确定,其自由谱宽free spectral range(FSR)就确定了,且光频梳的谱线间隔为FSR的整数倍。目前已经有了孤子光频梳产生与演化的理论分析及实验结果,产生的孤子光频梳谱线间距均为FSR。但实际应用中通常需要得到谱线间隔可调的孤子光频梳,此时传统的可调谐激光器泵浦微纳谐振腔方案无法满足需求。而采用双连续光泵浦谐振腔使产生谱线间隔可调的孤子光频梳成为可能。

[0005] 目前主要采用可调谐激光器泵浦谐振腔,同时将可调谐激光器在谐振腔谐振波长

附近连续扫频来产生孤子光频梳。然而采用这种方法时扫频速率至关重要,过快或者过慢都会导致光频梳错过孤子区域。同时即使产生了孤子光频梳,孤子的个数与位置也无法通过此调节方式控制。国内外的多次试验证明通过调节双泵浦光波长间距的方式从而实现对光频梳谱线间距的调节是切实可行的,然而目前已有的双泵浦光源方案仅产生了间距可调的光频梳,并没有得到性能更好的孤子光频梳。目前普遍的孤子光频梳产生系统均采用单一可调谐光源,通过在谐振腔谐振波长附近连续扫频得到,这种方案对扫频速率要求极高,扫频过快或者过慢都无法形成孤子光频梳。

[0006] 经检索,公开号为CN105680301A、CN申请号为201610144450.7的中国发明申请,该发明公开一种基于微环谐振腔的可调频率间隔的光频梳产生系统和方法,旨在解决现有光频梳产生系统稳定性差,且光频梳的频率间隔固定或者仅在几个自由光谱范围内可调的弊端。该系统由光学放大器、光隔离器、偏振控制器、上传/下载型微环谐振腔、光分束器以及可调双波长滤波器通过单模光纤串联形成的闭合的光纤环形腔;其中,沿光纤环形腔内激光信号的传播路径,光分束器位于上传/下载型微环谐振腔之后。

[0007] 但是:上述专利仅提出了间距可调光频梳的产生方案,无法应用于对光频梳稳定性要求更高的领域。

发明内容

[0008] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统及调节方法,同时改进现有的调节方案,将连续扫频步骤改为两次调节,从而简化孤子光频梳的产生方式。

[0009] 根据本发明的一个方面,提供一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统,所述系统包括:第一连续可调谐激光器,第二连续可调谐激光器,第一掺铒光纤放大器,第二掺铒光纤放大器,用于滤除泵浦光边带杂散信号的第一带通滤波器、第二带通滤波器,第一耦合器,第二耦合器,一个微纳谐振腔,一个滤除泵浦光信号的布拉格光纤光栅,光电探测器,用于分析光谱特性的光谱分析仪,以及用于分析拍频后电信号的电谱分析仪;其中:

[0010] 第一连续可调谐激光器发出泵浦光源,泵浦光源经第一掺铒光纤放大器、第一带通滤波器放大滤波后,经第一耦合器的第一输入口耦合到微纳谐振腔;

[0011] 第二连续可调谐激光器发出泵浦光源,泵浦光源经第二掺铒光纤放大器、第二带通滤波器放大滤波后,经第一耦合器的第二输入口耦合到微纳谐振腔;

[0012] 微纳谐振腔的输出端连接布拉格光纤光栅,布拉格光纤光栅输出端连接第二耦合器的输入口,第二耦合器有两个输出口,其中一个输出口连接光谱分析仪、另外一个通过光电探测器连接电谱分析仪。

[0013] 所述微纳谐振腔,用于生成微纳克尔光学频率梳。

[0014] 所述布拉格光栅用以滤除强烈的泵浦光,防止泵浦光干扰观测结果。

[0015] 优选地,所述微纳谐振腔为CMOS工艺制备的 Si_3N_4 光学微腔,有利于可调谐光源的片上集成。

[0016] 优选地,所述光电探测器由光电二极管组成。

[0017] 根据本发明的另一个方面,提供一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统的调节方法,所述方法采用两个连续可调谐激光器作为泵浦光源,泵浦光源经放大滤波后

耦合到微纳谐振腔,分三个步骤调节泵浦光源,通过控制两泵浦光源频率间距从而实现对孤子光频梳谱线间距的控制;

[0018] 第一步,确定谐振腔谐振波长范围:采用单光源放大滤波后泵浦微纳谐振腔,找到泵浦光能够耦合进入微纳谐振腔的波长范围,并确定孤子产生对应的双稳态区域的波长范围;

[0019] 第二步,单光源泵浦谐振腔产生频率梳:用波长为第一步测量记录下的微纳谐振腔内功率开始增大时对应值的单光源泵浦谐振腔,从而产生光学频率梳;

[0020] 第三步,间距可调谐孤子光频梳的产生:将第二步单光源的波长调为双稳态区域对应波长,同时加入波长低于该光源N倍自由谱宽处的另一光源,二者共同耦合到谐振腔内,逐步演化出孤子光频梳;当泵浦光源频率间隔为N倍自由谱宽时,孤子光频梳的谱线间隔相应也为N倍自由谱宽。

[0021] 进一步的,所述第一步,确定谐振腔谐振波长范围:

[0022] 选用第一连续可调谐激光器经第一掺铒光纤放大器放大并通过第一带通滤波器滤除边带杂散信号后进入第一耦合器的第一输入口,第二连续可调谐激光器无信号输入第一耦合器,再将第一耦合器输出口的连续光耦合到微纳谐振腔,微纳谐振腔内一部分光信号通过耦合口输出,经布拉格光纤光栅滤除夹杂的强烈泵浦光信号后进入光谱分析仪以分析光频梳的产生情况,将第一可调谐激光器扫频,观察输出功率变化情况,输出功率不为零时说明谐振波长在此波段内,同时找到双稳态区域对应的泵浦光波长范围。

[0023] 进一步的,所述第二步,单光源泵浦谐振腔产生频率梳:

[0024] 将第一连续可调谐激光器的波长设为第一步测量记录下的微纳谐振腔内功率开始增大时对应的泵浦波长,经第一掺铒光纤放大器放大并通过第一带通滤波器滤除边带杂散信号后进入第一耦合器,再经第一耦合器的输出口进入微纳谐振腔,第二连续可调谐激光器无信号输入,将微纳谐振腔内的一部分信号经耦合口提取出并经布拉格光纤光栅滤除强烈的泵浦光后进入光谱分析仪观察光谱,观测该步骤产生的光学频率梳特性。

[0025] 进一步的,所述第三步、间距可调谐孤子光频梳的产生:

[0026] 第一连续可调谐激光器功率不变,将波长转换到第一步中测得的双稳态区域的值,接下来将第二连续可调谐激光器波长设为偏离第一连续可调谐激光器波长N倍自由谱宽处,两束连续光分别经过第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器放大、并经过第一带通滤波器、第二带通滤波器滤除边带杂散信号后,通过第一耦合器的第一输入口、第二输入口进入第一耦合器,第一耦合器的输出口输出信号通过光纤耦合到微纳谐振腔,再将一部分微纳谐振腔内信号耦合出来,经布拉格光纤光栅滤除强烈的泵浦光后一部分通过第二耦合器的第一输出口进入光谱分析仪以观察形成的孤子光频梳、另一部分通过第二耦合器的第二输出口进入光电探测器拍频后通过电谱分析仪观察拍频信号,从而得到谱线间距。

[0027] 更进一步的,所述第一步中:

[0028] 先将可调谐激光器波长由小往大调节,通过光谱分析仪记录微纳谐振腔内功率的变化状况,观测到功率逐步增大时,说明泵浦光的波长在微纳谐振腔谐振波长附近;

[0029] 接下来将泵浦光波长由大往小调节,综合两次调节步骤,找到双稳态区域对应的泵浦光波长范围。

[0030] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0031] 本发明提出的间距可调的孤子光频梳具有相噪特性更优异、谱线间相位严格锁定、频谱更宽等优点,这些特点使得本发明可应用于对光频梳稳定性要求更高的领域。同时本发明的系统结构更简单,无需外围的闭合光纤环形腔,调节操作简单可靠。

[0032] 本发明中采用双连续光泵浦微纳谐振腔的方法得到间距可调的孤子光频梳,不存在扫频速率的问题,并且只需要三步即可得到间距可调的孤子光频梳,无需考虑泵浦光波长调节速率的问题。

附图说明

[0033] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0034] 图1为本发明一实施例基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统示意图;

[0035] 图中:第一连续可调谐激光器1、第二连续可调谐激光器2、第一掺铒光纤放大器3、第二掺铒光纤放大器4、第一带通滤波器5、第二带通滤波器6、第一耦合器7、第二耦合器8、微纳谐振腔9、布拉格光纤光栅10、光电探测器11、分析光谱特性的光谱分析仪12、分析拍频后电信号的电谱分析仪13。

具体实施方式

[0036] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0037] 如图1所示,一种基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳系统,所述系统由第一连续可调谐激光器1、第二连续可调谐激光器2、第一掺铒光纤放大器3、第二掺铒光纤放大器4、两个滤除泵浦光边带杂散信号的第一带通滤波器5、第二带通滤波器6、第一耦合器7、第二耦合器8、一个微纳谐振腔9、一个滤除泵浦光信号的布拉格光纤光栅10、光电二极管组成的光电探测器11、分析光谱特性的光谱分析仪12和分析拍频后电信号的电谱分析仪13组成。微纳谐振腔9采用CMOS工艺制备的 Si_3N_4 光学微纳谐振腔。其中:

[0038] 第一连续可调谐激光器1发出泵浦光源,泵浦光源经第一掺铒光纤放大器3、第一带通滤波器5放大滤波后,经第一耦合器7的第一输入口耦合到微纳谐振腔9;

[0039] 第二连续可调谐激光器2发出泵浦光源,泵浦光源经第二掺铒光纤放大器4、第二带通滤波器6放大滤波后,经第一耦合器7的第二输入口耦合到微纳谐振腔9;

[0040] 微纳谐振腔9的输出端连接布拉格光纤光栅10,布拉格光纤光栅10输出端连接第二耦合器8的输入口,第二耦合器8有两个输出口,其中一个输出口连接光谱分析仪12、另外一个通过光电探测器11连接电谱分析仪13。

[0041] 所述微纳谐振腔9,用于生成微纳克尔光学频率梳。

[0042] 所述布拉格光栅10用以滤除强烈的泵浦光,防止泵浦光干扰观测结果。

[0043] 在一实施例中,所述微纳谐振腔9采用三阶非线性介质制备,通过非线性微腔参量过程,首先激发简并四波混频效应,两个泵浦光子产生产生一个闲置光和一个信号光,生成的闲置光和信号光再次进行简并四波混频和非简并四波混频效应,以此类推,级联四波混

频效应最终生成微纳克尔光学频率梳。

[0044] 采用上述系统,基于微纳谐振腔的间距可调孤子光频梳的调节方法,分三步进行:

[0045] 第一步、确定谐振腔谐振波长范围:

[0046] 选用单个可调谐激光器即第一连续可调谐激光器1设定一输入功率,经第一掺铒光纤放大器3放大并滤除边带信号后,进入第一耦合器7的第一输入口,第二连续可调谐激光器2功率为零,第一耦合器7输出的光信号耦合到微纳谐振腔9内,微纳谐振腔9内一部分信号耦合出来与未进入微纳谐振腔9内的泵浦光信号,一起通过布拉格光纤光栅10滤除强烈的泵浦光信号后,进入光谱分析仪12观察微纳谐振腔9内信号:先将第一连续可调谐激光器1波长由小往大调节,通过光谱分析仪12记录微纳谐振腔9内功率的变化状况,观测到功率逐步增大时,说明泵浦光的波长在微纳谐振腔9谐振波长附近;接下来将泵浦光波长由大往小调节,综合两次调节步骤,找到双稳态区域对应的泵浦光波长范围;

[0047] 第二步、单光源泵浦谐振腔产生频率梳:

[0048] 选用第一连续可调谐激光器1设定一输入功率,波长设为第一步测量记录下的微纳谐振腔9内功率开始增大时对应的泵浦波长,泵浦光经第一掺铒光纤放大器EDFA放大并经第一带通滤波器5滤除边带杂散信号后进入第一耦合器1的第一输入口,第二连续可调谐激光器2功率为零,第一耦合器7的输出信号耦合进入微纳谐振腔9,微纳谐振腔9内一部分信号与未耦合进入微纳谐振腔9内的泵浦光信号进入光线布拉格光栅10,光线布拉格光栅10滤除强烈的泵浦光信号后进入光谱分析仪12,观测该步骤产生的光学频率梳特性;

[0049] 第三步、间距可调谐孤子光频梳的产生:

[0050] 第一连续可调谐激光器1的功率保持不变,波长调为第一步中测得双稳态区域的值,第二连续可调谐激光器2功率设为第一连续可调谐激光器1功率的十分之一,波长为小于第一连续可调谐激光器1波长N倍FSR的值;两连续光分别经第一掺铒光纤放大器3、第二掺铒光纤放大器4放大并滤除边带杂散信号后通过第一耦合器7合为一路,第一耦合器7的输出口将合并的信号耦合进入微纳谐振腔9,微纳谐振腔9内一部分信号耦合到微纳谐振腔9外,与未耦合入微纳谐振腔9的双泵信号共同进入布拉格光纤光栅10,滤除强烈的泵浦光的信号后进入第二耦合器8,进入第二耦合器8的一部分信号通过第二耦合器8的第一输出口进入光谱分析仪12观察产生的光频梳,经过一段时间的演化即可观察到孤子光频梳的形成;进入第二耦合器8的另一部分信号通过第二耦合器8的第二输出口进入光电探测器11拍频后,将得到的电信号接入电谱分析仪13,生成的光频梳谱线间距即为电谱分析仪13观测到的射频信号频率;

[0051] 通过修改两泵浦光源的波长间隔即可对产生孤子光频梳的谱线间隔实现调节,当泵浦光源频率间隔为N倍FSR时,孤子光频梳的谱线间隔相应的也为N倍FSR。

[0052] 本发明能产生谱线间距可调孤子光频梳,无需考虑泵浦光波长调节速率的问题。

[0053] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

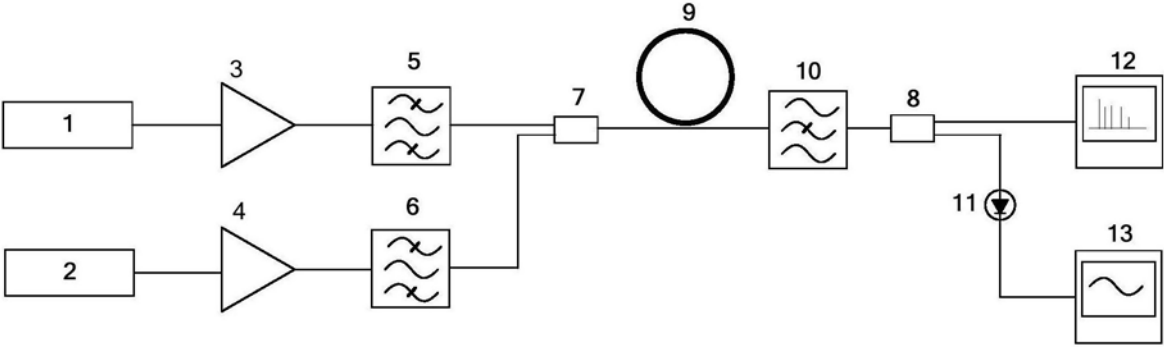


图1