

证书号第8181969号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统

专利权人：上海交通大学

地址：200240 上海市闵行区东川路800号

发明人：沈阳;周乐峰;息朝祥;黄鑫;何广强

专利号：ZL 2022 1 0949030.1

授权公告号：CN 115332931 B

专利申请日：2022年08月09日

授权公告日：2025年08月22日

申请日时申请人：上海交通大学

申请日时发明人：沈阳;周乐峰;息朝祥;黄鑫;何广强

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，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115332931 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 11

(21) 申请号 202210949030.1

(22) 申请日 2022.08.09

(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 沈阳 周乐峰 息朝祥 黄鑫

何广强

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 31317

专利代理师 徐红银 刘翠

(51) Int.Cl.

H01S 3/102 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/00 (2006.01)

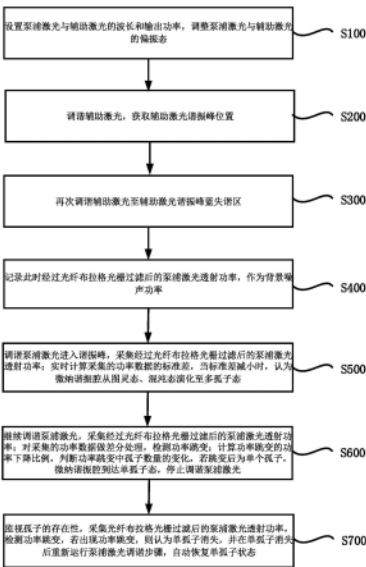
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统

(57) 摘要

本发明提供了一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统,调谐泵浦激光,根据功率自动化判断微纳谐振腔内光场状态。实时计算功率标准差,当标准差减小时,微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态;差分输出功率,检测功率跳变,根据功率跳变的功率下降比例,判断孤子数量的变化,以此判断是否产生单孤子。单孤子产生后,自动监视孤子的存在性,并在孤子消失后自动恢复单孤子态。本发明根据功率下降比例、差分、标准差等多个角度描述输出功率,实时、动态判断微纳谐振腔内光场状态,具有更高的鲁棒性与抗干扰能力,实现了自动化的产生单孤子、恢复单孤子,减少人工操作。



1. 一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,包括:

S1,设置泵浦激光与辅助激光的波长和输出功率,调整泵浦激光与辅助激光的偏振态;

S2,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置;

S3,再次调谐辅助激光至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区;

S4,记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} ;

S5,调谐泵浦激光进入谐振峰,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态;

S6,继续调谐泵浦激光,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;对采集的功率数据做差分处理,检测功率跳变;计算功率跳变的功率下降比例: $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$,其中, P_{before} 表示功率跳变前的功率数据, P_{after} 表示功率跳变后的功率数据, r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例;根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化,若跳变后为单个孤子,微纳谐振腔到达单孤子态,停止调谐泵浦激光;

S7,监视孤子的存在性,采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若出现功率跳变,则认为单孤子消失,并在单孤子消失后重新运行S5和S6,自动恢复单孤子状态。

2. 根据权利要求1所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,所述S2中,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置,包括:

保持泵浦激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐辅助激光;采集辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率;对采集的功率数据做差分处理,并记录差分值最大处的辅助激光波长调谐量,即为辅助激光谐振峰位置。

3. 根据权利要求2所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,向波长增大的方向连续调谐辅助激光的频率为:30GHz。

4. 根据权利要求2所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,所述S3中,再次调谐辅助激光至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区,包括:

再次调谐辅助激光,在所述辅助激光波长调谐量的差分值最大处之前停止,即实现将所述辅助激光调谐至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区。

5. 根据权利要求1所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,所述S5和所述S6中,调谐泵浦激光,包括:

保持辅助激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐泵浦激光。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,其特征在于,采用光功率计采集透射功率。

7. 一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统,其特征在于,包括:用于生成泵浦激光的第一可调谐激光器组件、用于生成辅助激光的第二可调谐激光器组件、微纳谐振腔、光纤布拉格光栅、光功率计以及计算机;其中:

所述泵浦激光和所述辅助激光对向耦合至所述微纳谐振腔内,其中,所述泵浦激光用于产生单孤子,所述辅助激光用于控制热效应;

所述光纤布拉格光栅,用于过滤所述泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率中的

泵浦激光和反射的辅助激光；

所述光功率计，用于采集所述泵浦激光经过所述微纳谐振腔后透射输出的功率、所述辅助激光经过所述微纳谐振腔后透射输出的功率以及所述光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率；

所述计算机，用于控制所述第一可调谐激光器组件、第二可调谐激光器组件和光功率计，并根据所述光功率计获取的功率数据，对所述功率数据进行数据处理后判断所述微纳谐振腔所处状态，进而自动恢复所述微纳谐振腔的单孤子状态；其中，所述根据所述光功率计获取的功率数据，对所述功率数据进行数据处理后判断所述微纳谐振腔所处状态，进而自动恢复所述微纳谐振腔的单孤子状态，包括：

调谐辅助激光至辅助激光谐振峰蓝失谐区，记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率，作为背景噪声功率 P_{noise} ；

调谐泵浦激光进入谐振峰，采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率；实时计算采集的功率数据的标准差，当标准差减小时，认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态；

继续调谐泵浦激光，采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率；对采集的功率数据做差分处理，检测功率跳变；计算功率跳变的功率下降比例： $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$ ，其中， P_{before} 表示功率跳变前的功率数据， P_{after} 表示功率跳变后的功率数据， r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例；根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化，若跳变后为单个孤子，微纳谐振腔到达单孤子态，停止调谐泵浦激光；

监视孤子的存在性，采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率，检测功率跳变，若出现功率跳变，则认为单孤子消失，并在单孤子消失后重新运行调谐泵浦激光的步骤，自动恢复单孤子状态。

8. 根据权利要求7所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统，其特征在于，所述第一可调谐激光器组件包括：第一可调谐激光器、第一光放大器和第一光纤偏振控制器，所述第一可调谐激光器经过第一光放大器放大，通过第一光纤偏振控制器调整偏振态，生成泵浦激光。

9. 根据权利要求7所述的基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统，其特征在于，所述第二可调谐激光器组件包括：第二可调谐激光器、第二光放大器和第二光纤偏振控制器，所述第二可调谐激光器经过第二光放大器放大，通过第二光纤偏振控制器调整偏振态，生成辅助激光。

基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光学频率梳技术领域,具体地,涉及一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统。

背景技术

[0002] 光学频率梳是一种由频率间隔相等的谱线组成的电磁波。其中,基于微纳谐振腔非线性参量过程产生的耗散克尔孤子光学频率梳,具有高度相干、高重复频率和低噪声等特性,在光通信、超快测距、调频连续波激光雷达、低相噪微波产生、光学频率合成、双梳光谱和量子密钥分布等领域得到广泛应用。

[0003] 然而,由于微纳谐振腔热效应的影响,稳定地到达单孤子态,产生单个克尔孤子光频梳较为困难。为解决这个问题,许多获取单孤子态的方法被提出,如泵浦激光快速扫描,反向调谐,脉冲驱动,在腔内产生布里渊散射,通过强度调制器、加热器或辅助激光控制热效应等方案。其中,通过辅助激光控制热效应的方案,可以大幅降低泵浦激光调谐速度,降低功率变化速度,降低功率采集、实时数据处理的难度,适合用于计算机控制的自动化单孤子产生。

[0004] 经检索,公开号为CN111244741A的中国发明专利申请,公开了一种程控微腔单孤子光学频率梳产生系统及产生方法,旨在解决现有微腔光频梳的产生过程依赖于专业人员的实验能力,不能自动化产生,从而不利于微腔光频梳工程化应用的问题。该发明基于温度控制器与辅助激光控制热效应的方案产生单孤子,通过控制单元实现程序控制,以设定的功率区间判别系统是否产生单孤子。但是,具体应用该系统及方法时需要设定的功率区间,与应用的微纳谐振腔、泵浦激光功率、辅助激光功率、系统线路损耗等因素有关,若上述因素发生变化,设定的功率区间也要修改或重新标定,否则容易出现判断错误。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供了一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,包括:

[0007] S1,设置泵浦激光与辅助激光的波长和输出功率,调整泵浦激光与辅助激光的偏振态;

[0008] S2,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置;

[0009] S3,再次调谐辅助激光至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区;

[0010] S4,记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} ;

[0011] S5,调谐泵浦激光进入谐振峰,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混

沌态演化至多孤子态；

[0012] S6,继续调谐泵浦激光,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;对采集的功率数据做差分处理,检测功率跳变;计算功率跳变的功率下降比例: $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$,其中, P_{before} 表示功率跳变前的功率数据, P_{after} 表示功率跳变后的功率数据, r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例;根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化,若跳变后为单个孤子,微纳谐振腔到达单孤子态,停止调谐泵浦激光;

[0013] S7,监视孤子的存在性,采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若出现功率跳变,则认为单孤子消失,并在单孤子消失后重新运行S5和S6,自动恢复单孤子状态。

[0014] 可选地,所述S2中,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置,包括:

[0015] 保持泵浦激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐辅助激光;采集辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率;对采集的功率数据做差分处理,并记录差分值最大处的辅助激光波长调谐量,即为辅助激光谐振峰位置。

[0016] 可选地,向波长增大的方向连续调谐辅助激光的频率为:30GHz。

[0017] 可选地,所述S3中,再次调谐辅助激光至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区,包括:

[0018] 再次调谐辅助激光,在所述辅助激光波长调谐量的差分值最大处之前停止,即实现将所述辅助激光调谐至所述辅助激光谐振峰蓝失谐区。

[0019] 可选地,所述S5和所述S6中,调谐泵浦激光,包括:

[0020] 保持辅助激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐泵浦激光。

[0021] 可选地,采用光功率计采集透射功率。

[0022] 根据本发明的另一个方面,提供了一种基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统,包括:用于生成泵浦激光的第一可调谐激光器组件、用于生成辅助激光的第二可调谐激光器组件、微纳谐振腔、光纤布拉格光栅、光功率计以及计算机;其中:

[0023] 所述泵浦激光和所述辅助激光对向耦合至所述微纳谐振腔内,其中,所述泵浦激光用于产生单孤子,所述辅助激光用于控制热效应;

[0024] 所述光纤布拉格光栅,用于过滤所述泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率中的泵浦激光和反射的辅助激光;

[0025] 所述光功率计,用于采集所述泵浦激光经过所述微纳谐振腔后透射输出的功率、所述辅助激光经过所述微纳谐振腔后透射输出的功率以及所述光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;

[0026] 所述计算机,用于控制所述第一可调谐激光器组件、第二可调谐激光器组件和光功率计,并根据所述光功率计获取的功率数据,对所述功率数据进行数据处理后判断所述微纳谐振腔所处状态,进而自动恢复所述微纳谐振腔的单孤子状态;其中,所述根据所述光功率计获取的功率数据,对所述功率数据进行数据处理后判断所述微纳谐振腔所处状态,进而自动恢复所述微纳谐振腔的单孤子状态,包括:

[0027] 调谐辅助激光至辅助激光谐振峰蓝失谐区,记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} ;

[0028] 调谐泵浦激光进入谐振峰,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌

态演化至多孤子态；

[0029] 继续调谐泵浦激光，采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率；对采集的功率数据做差分处理，检测功率跳变；计算功率跳变的功率下降比例： $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$ ，其中， P_{before} 表示功率跳变前的功率数据， P_{after} 表示功率跳变后的功率数据， r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例；根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化，若跳变后为单个孤子，微纳谐振腔到达单孤子态，停止调谐泵浦激光；

[0030] 监视孤子的存在性，采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率，检测功率跳变，若出现功率跳变，则认为单孤子消失，并在单孤子消失后重新运行调谐泵浦激光的步骤，自动恢复单孤子状态。

[0031] 可选地，所述第一可调谐激光器组件包括：第一可调谐激光器、第一光放大器和第一光纤偏振控制器，所述第一可调谐激光器经过第一光放大器放大，通过第一光纤偏振控制器调整偏振态，生成泵浦激光。

[0032] 可选地，所述第二可调谐激光器组件包括：第二可调谐激光器、第二光放大器和第二光纤偏振控制器，所述第二可调谐激光器经过第二光放大器放大，通过第二光纤偏振控制器调整偏振态，生成辅助激光。

[0033] 由于采用了上述技术方案，本发明与现有技术相比，具有如下至少一项的有益效果：

[0034] 本发明提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统，通过描述输出功率的动态变化特性，实时、动态地判断微纳谐振腔内光场状态，提升程序判别系统单孤子产生的正确率，提高系统的鲁棒性，促进微纳谐振腔单孤子光学频率梳在工业上的应用。

[0035] 本发明提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统，通过功率跳变的功率下降比例来推断微纳谐振腔中的孤子数量，在考虑功率取值这一静态特性之外，利用了微纳谐振腔内光场状态、孤子数量变化时功率的动态变化特性。通过该方法判断系统是否到达单孤子态，比仅设置功率区间具有更好的鲁棒性与抗干扰能力。

[0036] 本发明提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统，根据功率标准差，判断微纳谐振腔内光场是否处于图灵态或混沌态，可以在运行判断孤子数量的程序前准确跳过图灵态、混沌态，避免图灵态、混沌态由于功率抖动大带来的对检测功率跳变的干扰。

[0037] 本发明提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统，在单孤子产生后，能够通过程序自动监视孤子的存在性，并在孤子消失后自动恢复，进一步简化人工操作。

[0038] 本发明提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统，实现非常灵活，功率监控、信号处理和反馈控制可以无缝级联。

附图说明

[0039] 图1为本发明一实施例中基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法的流程图。

[0040] 图2为本发明一实施例中基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统的结构示意图。

[0041] 图中：1为第一可调谐激光器，2为第二可调谐激光器，3为第一光放大器，4为第二

光放大器,5为第一光纤偏振控制器,6为第二光纤偏振控制器,7为第一环行器,8为第二环行器,9为微纳谐振腔,10为第一光分束器,11为光纤布拉格光栅,12为第二光分束器,13为光谱仪,14为光功率计,15为计算机。

[0042] 图3为应用本发明具体应用实例产生的单孤子光频梳光谱图与拟合曲线示意图。

[0043] 图4为本发明具体应用实例中调谐辅助激光时,光功率计采集的辅助激光透射功率以及该功率数据的差分结果示意图。

[0044] 图5为本发明具体应用实例中调谐泵浦激光时,光功率计采集的光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率示意图。

具体实施方式

[0045] 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。

[0046] 图1为本发明一实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法的工作流程图。该方法通过描述输出功率的动态变化特性,实时、动态地判断微纳谐振腔内光场状态,提升程序判别系统单孤子产生的正确率,提高系统的鲁棒性,促进微纳谐振腔单孤子光学频率梳在工业上的应用。

[0047] 如图1所示,该实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,可以包括如下步骤:

[0048] S100,设置泵浦激光与辅助激光的波长和输出功率,调整泵浦激光与辅助激光的偏振态;

[0049] S200,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置;

[0050] S300,再次调谐辅助激光至辅助激光谐振峰蓝失谐区;

[0051] S400,记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} ;

[0052] S500,调谐泵浦激光进入谐振峰,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态;

[0053] S600,继续调谐泵浦激光,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;对采集的功率数据做差分处理,检测功率跳变;计算功率跳变的功率下降比例: $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$,其中, P_{before} 表示功率跳变前的功率数据, P_{after} 表示功率跳变后的功率数据, r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例(r 接近功率跳变中孤子数量消失的比例);根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化,若跳变后为单个孤子,微纳谐振腔到达单孤子态,停止调谐泵浦激光;

[0054] S700,监视孤子的存在性,采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若出现功率跳变,则认为单孤子消失,并在单孤子消失后重新运行S500和S600,自动恢复单孤子状态。

[0055] 在该实施例的S200中,调谐辅助激光,获取辅助激光谐振峰位置,可以包括如下步

骤:

[0056] 保持泵浦激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐辅助激光;采集辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率;对采集的功率数据做差分处理,并记录差分值最大处的辅助激光波长调谐量,即为辅助激光谐振峰位置。

[0057] 进一步地,在该实施例S200的一具体应用实例中,向波长增大的方向连续调谐辅助激光频率为:30GHz。

[0058] 在该实施例的S300中,作为一优选实施例,再次调谐辅助激光至辅助激光谐振峰蓝失谐区,可以包括如下步骤:

[0059] 再次调谐辅助激光,在辅助激光波长调谐量的差分值最大处之前停止,即实现将辅助激光调谐至辅助激光谐振峰蓝失谐区。

[0060] 在该实施例的S500和S600中,作为一优选实施例,调谐泵浦激光,可以包括如下步骤:

[0061] 保持辅助激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐泵浦激光。

[0062] 在该实施例的一具体应用实例中,可以采用光功率计采集透射功率。

[0063] 本发明上述实施例提供的方法,计算功率跳变的功率下降比例 $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$ 。 r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例,接近功率跳变中孤子数量消失的比例,根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化,判断微纳谐振腔是否到达单孤子态。实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态。监视孤子的存在性,用光功率计采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若出现功率跳变,则认为单孤子消失,并在孤子消失后自动恢复单孤子状态。

[0064] 本发明上述实施例提供的方法,充分考虑从开始到产生单孤子的物理过程中,输出功率的动态变化具有一定的规律性,功率的动态变化特性与普遍的微纳谐振腔内光场状态变化的物理过程相关性高,应用的微纳谐振腔、泵浦激光功率、辅助激光功率、系统线路损耗等因素发生变化时,功率的动态变化特性不会发生较大变化。因此,通过描述微纳谐振腔内光场状态、孤子数量变化时输出功率的动态变化特性,实时、动态地判断微纳谐振腔内光场状态,提升程序判别系统单孤子产生的正确率,提高系统的鲁棒性与抗干扰能力。

[0065] 图2为本发明一实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统的结构示意图。

[0066] 如图2所示,该实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统,可以包括:用于生成泵浦激光的第一可调谐激光器组件、用于生成辅助激光的第二可调谐激光器组件、微纳谐振腔、光纤布拉格光栅、光功率计以及计算机;其中:

[0067] 泵浦激光和辅助激光对向耦合至微纳谐振腔内,其中,泵浦激光用于产生单孤子,辅助激光用于控制热效应;

[0068] 光纤布拉格光栅,用于过滤泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率中的泵浦激光和反射的辅助激光;

[0069] 光功率计,用于采集泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率、辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率以及光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;

[0070] 计算机,用于控制第一可调谐激光器组件、第二可调谐激光器组件和光功率计,并

根据光功率计获取的功率数据,对功率数据进行数据处理后判断微纳谐振腔所处状态,进而自动恢复微纳谐振腔的单孤子状态;其中,根据光功率计获取的功率数据,对功率数据进行数据处理后判断微纳谐振腔所处状态,进而自动恢复微纳谐振腔的单孤子状态,包括:

[0071] 调谐辅助激光至辅助激光谐振峰蓝失谐区,记录此时经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} ;

[0072] 调谐泵浦激光进入谐振峰,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态;

[0073] 继续调谐泵浦激光,采集经过光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率;对采集的功率数据做差分处理,检测功率跳变;计算功率跳变的功率下降比例: $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$,其中, P_{before} 表示功率跳变前的功率数据, P_{after} 表示功率跳变后的功率数据, r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例;根据 r 判断功率跳变中孤子数量的变化,若跳变后为单个孤子,微纳谐振腔到达单孤子态,停止调谐泵浦激光;

[0074] 监视孤子的存在性,采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若出现功率跳变,则认为单孤子消失,并在单孤子消失后重新运行调谐泵浦激光的步骤,自动恢复单孤子状态。

[0075] 在该实施例的一具体应用实例中,第一可调谐激光器组件包括:第一可调谐激光器、第一光放大器和第一光纤偏振控制器,第一可调谐激光器经过第一光放大器放大,通过第一光纤偏振控制器调整偏振态,生成泵浦激光。

[0076] 在该实施例的一具体应用实例中,第二可调谐激光器组件包括:第二可调谐激光器、第二光放大器和第二光纤偏振控制器,第二可调谐激光器经过第二光放大器放大,通过第二光纤偏振控制器调整偏振态,生成辅助激光。

[0077] 下面结合一具体应用实例,对本发明上述实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统的技术方案进一步说明。

[0078] 在该具体应用实例中,采用如图2所示的基于功率下降比例的单孤子自动化产生系统实现基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法,进一步地,实现一种通过辅助激光控制热效应的微纳谐振腔单孤子自动化产生技术。应用该具体应用实例产生的单孤子光频梳光谱图与拟合曲线示意图如图3所示。

[0079] 在该具体应用实例中,系统包括作为泵浦激光的第一可调谐激光器,作为辅助激光的第二可调谐激光器,第一、第二光放大器,第一、第二光纤偏振控制器,第一、第二环形器,微纳谐振腔,第一、第二光分束器,光纤布拉格光栅,光谱仪,光功率计,计算机。其中:

[0080] 泵浦激光经过第一光放大器放大,通过第一光纤偏振控制器调整偏振态。辅助激光经过第二光放大器放大,通过第二光纤偏振控制器调整偏振态。两路激光对向耦合至微纳谐振腔内,泵浦激光用于产生单孤子,辅助激光用于控制热效应。光纤布拉格光栅用于过滤泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率中的泵浦激光和反射的辅助激光。光功率计用于采集泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率,辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率,以及光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率。计算机用于通过程序控制泵浦激光、辅助激光与光功率计,处理数据,以及判断系统所处状态。

[0081] 基于上述系统,在该具体应用实例中实现的方法包括如下步骤:

[0082] 第一步,设置泵浦激光波长1552.3nm,辅助激光波长1557.1nm。泵浦激光经第一光放大器放大,设置放大器输出功率30.5dBm。辅助激光经第二光放大器放大,设置放大器输出功率32.5dBm。使用第一光纤偏振控制器调整泵浦激光偏振态,使泵浦激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率最大。使用第二光纤偏振控制器调整辅助激光偏振态,使辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率最小。

[0083] 第二步,保持泵浦激光波长不变,向波长增大的方向大范围连续调谐辅助激光,以4GHz/s的速度调谐30GHz。用光功率计采集辅助激光经过微纳谐振腔后透射输出的功率。对采集的功率数据做差分处理,并记录差分值最大处的辅助激光波长调谐量。调谐辅助激光时,光功率计采集的辅助激光透射功率以及该功率数据的差分结果示意图如图4所示。

[0084] 第三步,再次调谐辅助激光,在第二步记录的差分值最大处之前9.5GHz停止。

[0085] 第四步,用光功率计记录此时光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,作为背景噪声功率 P_{noise} 。

[0086] 第五步,保持辅助激光波长不变,向波长增大的方向连续调谐泵浦激光,用光功率计采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率。实时计算采集的功率数据的标准差,当标准差减小时,认为微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态,进入第六步。

[0087] 第六步,继续向波长增大的方向连续调谐泵浦激光,用光功率计采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率。对采集的功率数据做差分处理,检测功率跳变。计算功率跳变的功率下降比例 $r = (P_{\text{before}} - P_{\text{after}}) / (P_{\text{before}} - P_{\text{noise}})$, r 反映在功率跳变中孤子能量消失的比例,接近功率跳变中孤子数量消失的比例。若 r 大于等于40%,认为微纳谐振腔到达单孤子态,停止调谐泵浦激光。调谐泵浦激光时,光功率计采集的光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率示意图如图5所示。

[0088] 第七步,监视孤子的存在性,用光功率计采集光纤布拉格光栅过滤后的泵浦激光透射功率,检测功率跳变,若功率跳变的功率下降比例 r 大于75%,则认为单孤子消失,并在孤子消失后重新运行第五步、第六步,自动恢复单孤子状态。

[0089] 本发明上述实施例提供的基于功率下降比例的单孤子自动化产生方法及系统,包括:调谐泵浦激光,根据功率自动化判断微纳谐振腔内光场状态,具体地,实时计算功率标准差,当标准差减小时,微纳谐振腔从图灵态、混沌态演化至多孤子态;差分输出功率,检测功率跳变,根据功率跳变的功率下降比例,判断孤子数量的变化,以此判断是否产生单孤子;单孤子产生后,自动监视孤子的存在性,并在孤子消失后自动恢复单孤子态。本发明上述实施例提供的方法及系统,根据功率下降比例、差分、标准差等多个角度描述输出功率,实时、动态判断微纳谐振腔内光场状态,具有更高的鲁棒性与抗干扰能力,实现了自动化的产生单孤子、恢复单孤子,减少人工操作。

[0090] 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。

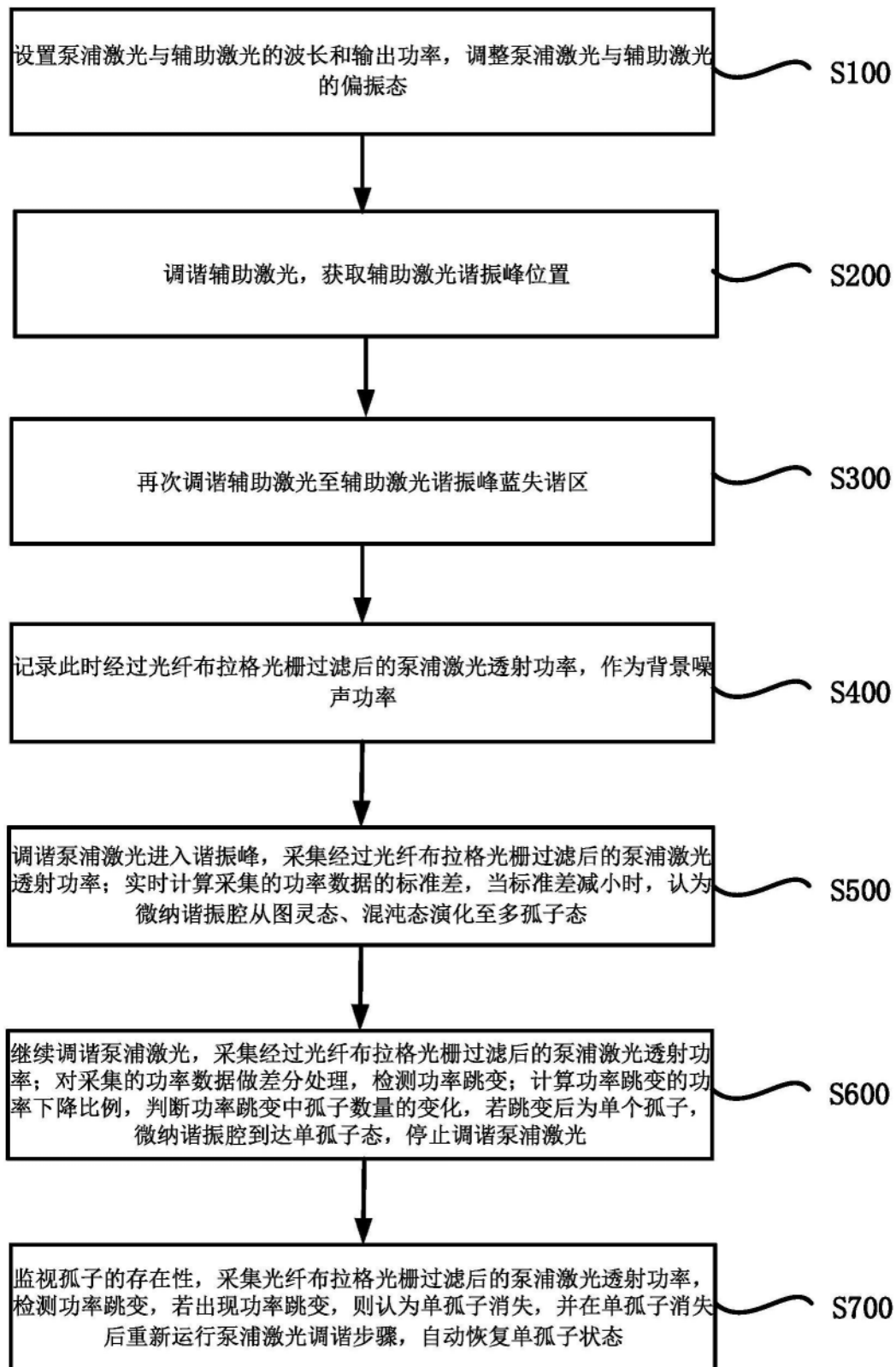


图1

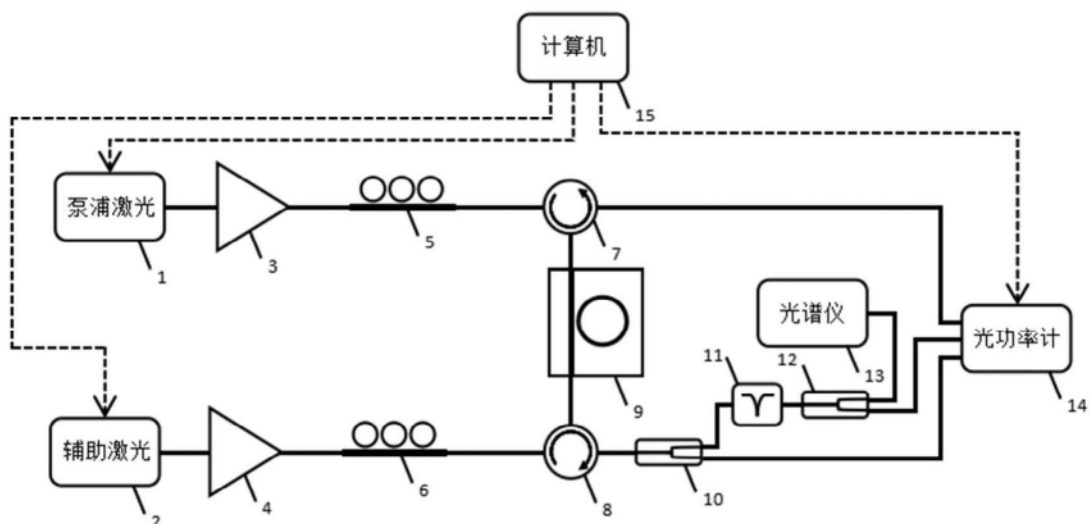


图2

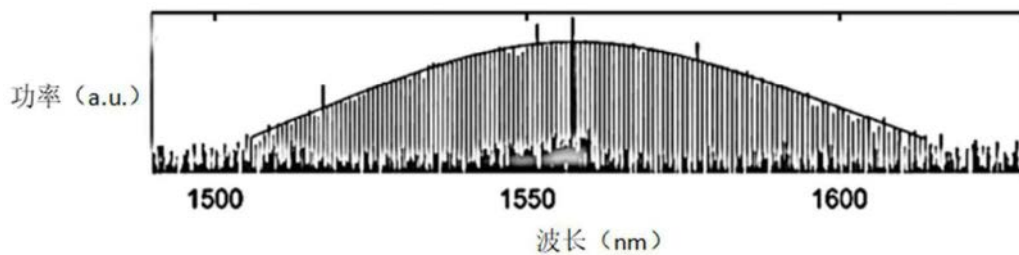


图3

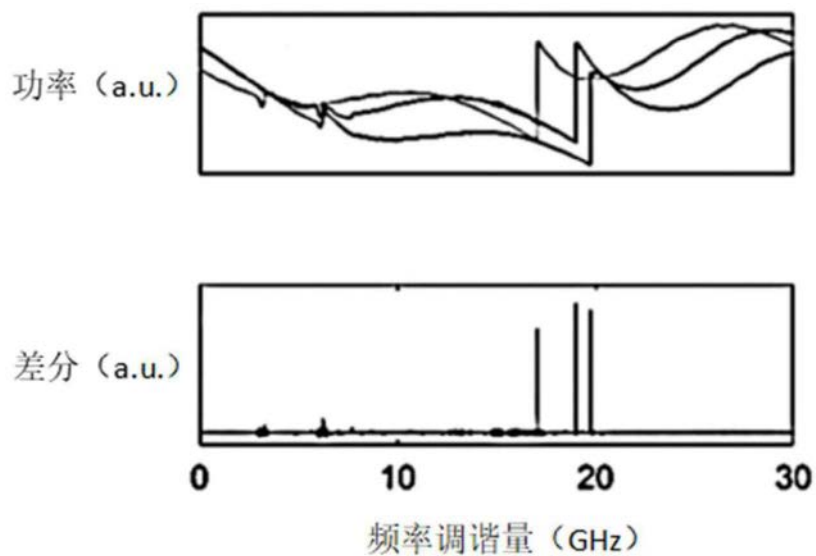


图4

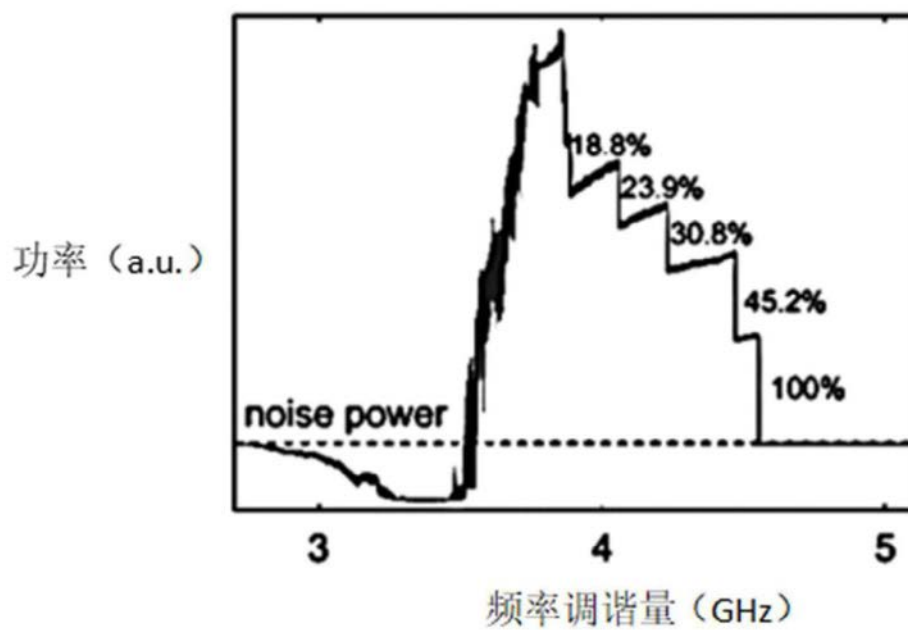


图5