



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113483914 A

(43) 申请公布日 2021.10.08

(21) 申请号 202110570531.4

(22) 申请日 2021.05.25

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市迎泽西大街79号

(72) 发明人 张建忠 梁泽锋 刘双双 张晓程 马喆 张明江

(74) 专利代理机构 太原晋科知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 14110

代理人 赵江艳

(51) Int. Cl.

G01K 11/322 (2021.01)

G01B 11/16 (2006.01)

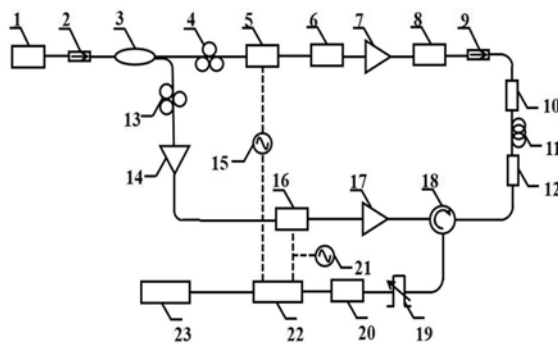
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置

(57) 摘要

本发明属于分布式光纤传感技术领域,公布了一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法和装置,利用少模光纤中不同模式组合下光波随温度或应变产生的布里渊频移的线性系数是不同的,可以有效的解决光纤中温度与应变交叉敏感问题。方法包括以下步骤:S1、混沌激光分为探测光信号和泵浦光信号;S2、使探测光信号经光学状态调整、模式选择后入射到少模光纤;使泵浦光信号经光学状态调整、模式选择后从另一端入射到少模光纤,测量少模光纤中产生的斯托克斯光拍频信号,得到布里渊频移量;S3、改变探测光和泵浦光的模式,重复测量得到布里渊频移量;S4、通过测量的布里渊频移量,计算得到传感光纤中的温度和应变信息。



1. 一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、混沌激光经被分为两路,其中一路作为探测光信号,另一路作为泵浦光信号;

S2、使探测光信号经光学状态调整、以及模式选择后入射到少模光纤(11);使泵浦光信号经光学状态调整、以及模式选择后从另一端入射到少模光纤(11),测量少模光纤(11)中产生的斯托克斯光拍频信号,并对拍频信号进行分析处理,得到布里渊频移量;

S3、改变探测光和泵浦光的模式,重复测量得到布里渊频移量;

S4、通过步骤S2和步骤S3测量的布里渊频移量,计算得到传感光纤中的温度和应变信息。

2. 根据权利要求1所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,其特征在于,所述步骤S2中,探测光信号的光学状态调整包括偏振态调整、调制、延迟、放大、扰偏和隔离;

泵浦光信号的光学状态调整偏振态调整、放大、调制、再放大。

3. 根据权利要求1所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,其特征在于,所述步骤S2中,探测光信号和泵浦光信号的模式选择通过光子灯笼实现,光子灯笼输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤,单模光纤的尾纤与少模光纤(11)连接,三根单模光纤分别对应:LP01、LP11a 和LP11b三种空间模式。

4. 根据权利要求1所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,其特征在于,计算得到传感光纤中的温度和应变信息的公式为:

$$\Delta T = \frac{C_{\varepsilon}^{LP11} \Delta V_B^{LP01} - C_{\varepsilon}^{LP01} \Delta V_B^{LP11}}{C_{\varepsilon}^{LP11} C_T^{LP01} - C_{\varepsilon}^{LP01} C_T^{LP11}};$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{C_T^{LP01} \Delta V_B^{LP11} - C_T^{LP11} \Delta V_B^{LP01}}{C_{\varepsilon}^{LP11} C_T^{LP01} - C_{\varepsilon}^{LP01} C_T^{LP11}};$$

其中, ΔT 和 $\Delta \varepsilon$ 分别为温度和应变的变化量, ΔV_B^{LP01} 和 ΔV_B^{LP11} 分别为LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合下的布里渊频移量, C_T^{LP01} 和 C_{ε}^{LP01} 分别为LP01-LP01模式组合下的布里渊频移的温度系数和应变系数, C_T^{LP11} 和 C_{ε}^{LP11} 分别为LP11a-LP11a模式组合下布里渊频移的温度系数和应变系数。

5. 根据权利要求4所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,其特征在于,LP01-LP01模式组合的温度系数为1.01690 MHz/°C,应变系数为:0.05924 MHz/ $\mu\varepsilon$, LP11a-LP11a模式组合的温度系数为0.99099 MHz/°C,应变系数为:0.04872 MHz/ $\mu\varepsilon$ 。

6. 一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,其特征在于,包括:混沌激光器(1)、分束器(3)、第一偏振控制器(4)、第一电光调制器(5)、可编程光延迟发生器(6)、第一光放大器(7)、光扰偏器(8)、第一光子灯笼(10)、少模光纤(11)、第二偏振控制器(13)、第二光放大器(14)、第二电光调制器(16)、第三光放大器(17)、光环形器(18)、可调谐滤波器(19)、光电探测器(20)、锁相放大器(22)、数据采集卡(23)和计算机;

所述混沌激光器(1)产生的混沌激光被分束器(3)分为两路,其中一路作为探测光信号,另一路作为泵浦光信号;

探测光信号依次经过第一偏振控制器(4)、第一电光调制器(5)、可编程光延迟发生器

(6)、第一光放大器(7)、光扰偏器(8)分别进行光信号的偏振态调整、调制、延迟、放大和扰偏后进入第一光子灯笼(10),经第一光子灯笼(10)进行模式选择后入射到少模光纤(11);

泵浦光信号依次经过第二偏振控制器(13)、第二光放大器(14)、第二电光调制器(16)、第三光放大器(17)进行光信号偏振态调整、放大、调制、再放大后,从光环形器(18)第一端口输入,第二端口输出进入第二光子灯笼(12),经第二光子灯笼(12)进行模式选择后从另一端入射到少模光纤(11);

光环形器(18)的第三端口与可调谐滤波器(19)连接,用于输出少模光纤(11)中传感信号,传感信号经可调谐滤波器(19)滤波后进入光电探测器(20)转换为电信号;电信号依次经锁相放大器(22)进行锁相放大、数据采集卡(23)进行A/D转换后进入计算机,计算机通过对采集的数据进行分析,得到探测光和泵浦光信号在传感光纤(11)中发生受激布里渊散射作用位置处的温度和应变信息。

7.根据权利要求6所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,其特征在于,第一光子灯笼(10)和第二光子灯笼(12)的输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤,三根单模光纤分别对应:LP01、LP11a和LP11b三种空间模式。

8.根据权利要求6所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,其特征在于,还包括信号发生器(15)和任意脉冲函数发生器(21),所述信号发生器(15)的输出端分别与第一电光调制器(5)和锁相放大器(22)连接,所述任意脉冲函数发生器(21)的输出端分别与第二电光调制器(16)和锁相放大器(22)的连接。

9.根据权利要求1所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,其特征在于,还包括第一光隔离器(2)和第二光隔离器(9),所述第一光隔离器(2)设置在混沌激光器(1)与分束器(3)之间,第二光隔离器(9)设置在光扰偏器(8)与第一光子灯笼(10)之间。

10.根据权利要求9所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,其特征在于,混沌激光器(1)、第一光隔离器(2)、分束器(3)之间通过单模光纤跳线依次连接;

分束器(3)、第一偏振控制器(4)、第一电光调制器(5)、可编程光延迟发生器(6)、第一光放大器(7)、光扰偏器(8)、第二光隔离器(9)、第一光子灯笼(10)之间通过单模光纤跳线依次连接;

分束器(3)、第二偏振控制器(13)、第二光放大器(14)、第二电光调制器(16)、第三光放大器(17)、光环形器(18)、第二光子灯笼(12)之间通过单模光纤跳线依次连接;

光环形器(18)、可调谐滤波器(19)、光电探测器(20)之间通过单模光纤跳线依次连接。

基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置

技术领域

[0001] 本发明属于分布式光纤传感系统领域,具体涉及一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置及方法,可以实现对分布式光纤传感系统的温度和应变进行同时测量。

背景技术

[0002] 分布式光纤传感技术具有可连续监测光纤上任意点扰动信息、传感距离长、抗电磁干扰能力强等特点,因此对恶劣环境中的各种重大基础设施如大型建筑、油气管线、电力线路、桥梁隧道、高铁公路、土木结构等的在线实时监测具有独特的优势,在交通、通信、电力、运输等超长线路的安全健康监测与预警等方面具有广阔的应用前景。

[0003] 目前,基于布里渊散射的分布式传感技术由于在传感距离和空间分辨率等方面具有很大的优势,并且该技术具有沿光纤连续测量温度或应变的能力,因此得到了很大的发展。布里渊分布式传感技术主要分为布里渊光时域反射(BOTDR)技术、布里渊光时域分析(BOTDA)技术、布里渊光相干域反射(BOCDR)技术和布里渊光相干域分析(BOCDA)技术。其中,布里渊光时域反射系统和布里渊光时域分析系统的应变或温度定位都是通过确定脉冲信号的飞行时间来实现,虽然能实现长距离的分布式测量,但是由于声学声子的寿命限制,其空间分辨率最高只有几米,这就出现了传感距离与空间分辨率的相互矛盾,限制了布里渊时域技术在具体工程中的应用。为了提高空间分辨率,研究者们提出了布里渊光相干域反射技术和布里渊光相干域分析技术。前者基于自发布里渊散射过程,散射回的信号较弱,信噪比较低,因此测量技术难度较大。后者基于受激布里渊散射过程,通过正弦信号对光源进行调制,可以构成相关峰具有周期性的相关函数,最终完成温度或应变测量,在保证一定传感距离的同时,实现了较高的空间分辨率。

[0004] 尽管如此,BOCDA系统同样无法从根本上消除传感距离与空间分辨率之间的矛盾。混沌光源作为一种低相干性光源,被用于解决上述问题,混沌布里渊光相干域分析的分布式光纤传感装置及方法(中国专利:ZL201510531253.6)提出将混沌激光作为探测信号进行光纤传感,成功解决了分布式光纤传感系统中传感距离与空间分辨率无法兼顾的问题,实现了长距离、超高空间分辨率的光纤传感。此外,由于布里渊频移与温度和应变具有同一的线性变化系数,无法根据布里渊频移一个变量来同时获得温度和应变的测量,所以同时测量温度和应变信息成为目前混沌BOCDA系统发展面临的一个瓶颈问题。因此,需要一种新的装置及方法,来解决混沌BOCDA系统中同时测量温度和应变的问题。

发明内容

[0005] 本发明克服现有技术存在的不足,所要解决的技术问题为:提供一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置及方法。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,包括以下步骤:

[0007] S1、混沌激光经被分为两路,其中一路作为探测光信号,另一路作为泵浦光信号;

[0008] S2、使探测光信号经光学状态调整、以及模式选择后入射到少模光纤；使泵浦光信号经光学状态调整、以及模式选择后从另一端入射到少模光纤，测量少模光纤中产生的斯托克斯光拍频信号，并对拍频信号进行分析处理，得到布里渊频移量；

[0009] S3、改变探测光和泵浦光的模式，重复测量得到布里渊频移量；

[0010] S4、通过步骤S2和步骤S3测量的布里渊频移量，计算得到传感光纤中的温度和应变信息。

[0011] 所述步骤S2中，探测光信号的光学状态调整包括偏振态调整、调制、延迟、放大、扰偏和隔离；

[0012] 泵浦光信号的光学状态调整偏振态调整、放大、调制、再放大。

[0013] 所述步骤S2中，探测光信号和泵浦光信号的模式选择通过光子灯笼实现，光子灯笼输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤，单模光纤的尾纤与少模光纤连接，三根单模光纤分别对应：LP01、LP11a和LP11b三种空间模式。

[0014] 计算得到传感光纤中的温度和应变信息的公式为：

$$[0015] \quad \Delta T = \frac{C_{\varepsilon}^{\text{LP11}} \Delta V_B^{\text{LP01}} - C_{\varepsilon}^{\text{LP01}} \Delta V_B^{\text{LP11}}}{C_{\varepsilon}^{\text{LP11}} C_T^{\text{LP01}} - C_{\varepsilon}^{\text{LP01}} C_T^{\text{LP11}}} ;$$

$$[0016] \quad \Delta \varepsilon = \frac{C_T^{\text{LP01}} \Delta V_B^{\text{LP11}} - C_T^{\text{LP11}} \Delta V_B^{\text{LP01}}}{C_{\varepsilon}^{\text{LP11}} C_T^{\text{LP01}} - C_{\varepsilon}^{\text{LP01}} C_T^{\text{LP11}}} ;$$

[0017] 其中， ΔT 和 $\Delta \varepsilon$ 分别为温度和应变的变化量， ΔV_B^{LP01} 和 ΔV_B^{LP11} 分别为LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合下的布里渊频移量， C_T^{LP01} 和 $C_{\varepsilon}^{\text{LP01}}$ 分别为LP01-LP01模式组合下的布里渊频移的温度系数和应变系数， C_T^{LP11} 和 $C_{\varepsilon}^{\text{LP11}}$ 分别为LP11a-LP11a模式组合下布里渊频移的温度系数和应变系数。

[0018] LP01-LP01模式组合的温度系数为1.01690MHz/°C，应变系数为：0.05924MHz/ $\mu\varepsilon$ ，LP11a-LP11a模式组合的温度系数为0.99099MHz/°C，应变系数为：0.04872MHz/ $\mu\varepsilon$ 。

[0019] 此外，本发明还提供了一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置，包括：混沌激光器、分束器、第一偏振控制器、第一电光调制器、可编程光延迟发生器、第一光放大器、光扰偏器、第一光子灯笼、少模光纤、第二偏振控制器、第二光放大器、第二电光调制器、第三光放大器、光环形器、可调谐滤波器、光电探测器、锁相放大器、数据采集卡和计算机；

[0020] 所述混沌激光器产生的混沌激光被分束器分为两路，其中一路作为探测光信号，另一路作为泵浦光信号；

[0021] 探测光信号依次经过第一偏振控制器、第一电光调制器、可编程光延迟发生器、第一光放大器、光扰偏器分别进行光信号的偏振态调整、调制、延迟、放大和扰偏后进入第一光子灯笼，经第一光子灯笼进行模式选择后入射到少模光纤；

[0022] 泵浦光信号依次经过第二偏振控制器、第二光放大器、第二电光调制器、第三光放大器进行光信号偏振态调整、放大、调制、再放大后，从光环形器第一端口输入，第二端口输出进入第二光子灯笼，经第二光子灯笼进行模式选择后从另一端入射到少模光纤；

[0023] 光环形器的第三端口与可调谐滤波器连接，用于输出少模光纤中传感信号，传感信号经可调谐滤波器滤波后进入光电探测器转换为电信号；电信号依次经锁相放大器进行

锁相放大、数据采集卡进行A/D转换后进入计算机,计算机通过对采集的数据进行分析,得到探测光和泵浦光信号在传感光纤中发生受激布里渊散射作用位置处的温度和应变信息。

[0024] 第一光子灯笼和第二光子灯笼的输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤,三根单模光纤分别对应:LP、LPa和LPb三种空间模式。

[0025] 所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,还包括信号发生器和任意脉冲函数发生器,所述信号发生器的输出端分别与第一电光调制器和锁相放大器连接,所述任意脉冲函数发生器的输出端分别与第二电光调制器和锁相放大器的连接。

[0026] 所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,还包括第一光隔离器和第二光隔离器,所述第一光隔离器设置在混沌激光器与分束器之间,第二光隔离器设置在光扰偏器与第一光子灯笼之间。

[0027] 所述的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,混沌激光器、第一光隔离器、分束器之间通过单模光纤跳线依次连接;

[0028] 分束器、第一偏振控制器、第一电光调制器、可编程光延迟发生器、第一光放大器、光扰偏器、第二光隔离器、第一光子灯笼之间通过单模光纤跳线依次连接;

[0029] 分束器、第二偏振控制器、第二光放大器、第二电光调制器、第三光放大器、光环形器、第二光子灯笼之间通过单模光纤跳线依次连接;

[0030] 光环形器()、可调谐滤波器(19)、光电探测器(20)之间通过单模光纤跳线依次连接。

[0031] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0032] 1、本发明提供一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置及方法,实现了温度和应变的同时测量,解决了该传感系统应用的交叉敏感问题。

[0033] 2.相对于现有技术中,采用LEAF光纤作为传感光纤,本发明利用少模光纤中有限的正交模式作为独立信道进行信息传送,根据不同模式内布里渊频移与温度和应变的线性关系系数不同,实现对温度和应变的同时测量,可以有效解决光纤温度与应变交叉敏感问题,精度更高,实验装置更简单,测量范围更大,成本更低,更容易在实际应用中得到推广。

附图说明

[0034] 图1为本发明实施例提供的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度与应变同时测量装置的结构示意图;

[0035] 图2为本发明实施例中实验测得的LP01-LP01、LP01-LP01、LP11a-LP11a、LP11a-LP11b四种少模光纤两端入射光不同模式组合下的布里渊增益谱图,图2中显示四种不同模式组合下的半高全宽分别为53.78MHz,57.54MHz,57.59MHz,57.55MHz。

[0036] 图1中,1-混沌激光器、2-第一光隔离器、3-分束器、4-第一偏振控制器、5-第一电光调制器、6-可编程光延迟发生器、7-第一光放大器、8-光扰偏器、9-第二光隔离器、10-第一光子灯笼、11-传感光纤、12-第二光子灯笼、13-第二偏振控制器、14-第二光放大器、15-信号发生器、16-第二电光调制器、17-第三光放大器、18-光环形器、19-可调谐光滤波器、20-光电探测器、21-任意脉冲函数发生器、22-锁相放大器、23-数据采集卡。

具体实施方式

[0037] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例;基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0038] 实施例一

[0039] 如图1所示,本发明实施例提供了一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,包括:混沌激光器1、第一光隔离器2、分束器3、第一偏振控制器4、第一电光调制器5、可编程光延迟发生器6、第一光放大器7、光扰偏器8、第二光隔离器9、第一光子灯笼10、少模光纤11、第二偏振控制器13、第二光放大器14、第二电光调制器16、第三光放大器17、光环形器18、可调谐滤波器19、光电探测器20、锁相放大器22、数据采集卡23和计算机。

[0040] 其中,所述混沌激光器1产生的具有低相干性的混沌激光经第一光隔离器2后,被分束器3分为两路,其中一路作为探测光信号,另一路作为泵浦光信号。

[0041] 探测光信号依次经过第一偏振控制器4、第一电光调制器5、可编程光延迟发生器6、第一光放大器7、光扰偏器8、第二光隔离器9分别进行光信号的偏振态调整、调制、延迟、放大、扰偏和隔离进入第一光子灯笼10,经第一光子灯笼10进行模式选择后入射到少模光纤11。

[0042] 泵浦光信号依次经过第二偏振控制器13、第二光放大器14、第二电光调制器16、第三光放大器17进行光信号偏振态调整、放大、调制、再放大后,从光环形器18第一端口输入,第二端口输出进入第二光子灯笼12,经第二光子灯笼12进行模式选择后从另一端入射到少模光纤11。

[0043] 探测光信号和泵浦光信号在传感光纤11中发生受激布里渊散射并产生斯托克斯光,斯托克斯光与泵浦光信号发生干涉拍频作用,产生的拍频信号即为传感信号。传感信号从少模光纤11中输出后,经第二光子灯笼12返回光环形器18,并从光环形器18的第三端口中输出,然后经可调谐滤波器19滤波后进入光电探测器20转换为电信号;电信号依次经锁相放大器22进行锁相放大,数据采集卡23进行A/D转换后进入计算机,计算机通过对采集的数据进行分析,得到探测光和泵浦光信号在传感光纤11中发生受激布里渊散射作用位置处的温度和应变信息。

[0044] 具体地,本实施例提供的一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,还包括信号发生器15和任意脉冲函数发生器21,所述信号发生器15的输出端分别与第一电光调制器5和锁相放大器22连接,所述任意脉冲函数发生器21的输出端分别与第二电光调制器16和锁相放大器22的连接。其中,信号发生器15用于驱动第一电光调制器5对探测光信号进行调制,任意脉冲函数发生器21用于驱动第二电光调制器16对探测光信号进行脉冲调制。此外,信号发生器15和任意脉冲函数发生器21发出的调制信号还发送至锁相放大器,对探测得到的电信号进行锁相放大处理。

[0045] 具体地,本实施例中,第一光子灯笼10和第二光子灯笼12的输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤,输入光入射到不同的输入光纤后,再经过单模尾纤出射到少模传感光纤11中。本实施例中,使用的少模光纤的芯层结构为阶跃型,而且内包层掺杂一定浓度的氟(F),它具有固定纤芯和包层的半径以及折射率,所以少模光纤的传播模式就确定。由于

简并模态的存在,实际上两模阶跃光纤存在三种空间模式:LP01、LP11a和 LP11b。因此,本实施例通过输入端有三根单模光纤的第一光子灯笼10和第二光子灯笼 12与少模光纤连接,三根单模光纤分别对应:LP01、LP11a和LP11b三种空间模式,可以将单模光纤中的基模转换为少模光纤中对应的不同模式,从而实现模式选择。也就是说,通过将探测光和泵浦光接入传感光纤两端光子灯笼的不同输入光纤,即可以对探测光和泵浦光进行模式选择,得到基于这三种空间模式的不同组合,即LP01-LP01、LP11a-LP11a、LP01-LP11、和LP11a-LP11b四种模式组合。其中,LP01-LP01模式表示探测光接入LP01模式,泵浦光接入LP01模式;LP11a-LP11a模式表示探测光接入LP11a 模式,泵浦光泵浦光接入LP11a模式;、LP01-LP11模式表示探测光接入LP01模式,泵浦光接入LP11a或LP11b模式;LP11a-LP11b模式表示探测光接入LP11a模式,泵浦光接入LP11b模式。

[0046] 具体地,本实施例中,混沌激光器1、第一光隔离器2、分束器3之间通过单模光纤跳线依次连接;分束器3、第一偏振控制器4、第一电光调制器5、可编程光延迟发生器6、第一光放大器7、光扰偏器8、第二光隔离器9、第一光子灯笼10之间通过单模光纤跳线依次连接;分束器3、第二偏振控制器13、第二光放大器14、第二电光调制器16、第三光放大器17、光环形器18、第二光子灯笼12之间通过单模光纤跳线依次连接;光环形器18、可调谐滤波器19、光电探测器20之间通过单模光纤跳线依次连接。

[0047] 具体实施时,混沌激光源的中心波长为1550nm,分束器3采用1x2光纤耦合器,其耦合比为90:10(探测光路:泵浦光路),第一电光调制器5和第二电光调制器16采用 AZ-DK5-20-FFU-SFU-LV-SRF1W型强度调制器,可编程光延迟发生器6采用ODG-101高精度可编程光延迟线,第一光放大器7、第二光放大器14、第三光放大器17采用掺铒光纤放大器,光扰偏器8采用PCD-104型扰偏器,传感光纤11采用少模光纤,其长度为 10km,信号发生器15采用EXG-N5173B型信号源,可调谐滤波器19采用XTM-50带宽波长可调型滤波器,光电探测器20采用PM100D探测计。

[0048] 本实施例提供了一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量装置,可以通过改变少模光纤两端入射光的模式组合,对布里渊增益谱频移量进行测量来实现对温度和应变的同时检测。

[0049] 本实施例中,通过两个光子灯笼对探测光和泵浦光进行模式选择,通过两组不同的模式组合方式(LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合)进行布里渊频移量的测量,即可以同时解调出少模光纤中的温度和应变信息,下面介绍本发明的测量原理。

[0050] LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合下布里渊频移与温度和应变的关系为:

$$[0051] \quad \Delta V_B^{LP01} = C_\varepsilon^{LP01} \Delta \varepsilon + C_T^{LP01} \Delta T; \quad (1)$$

$$[0052] \quad \Delta V_B^{LP11} = C_\varepsilon^{LP11} \Delta \varepsilon + C_T^{LP11} \Delta T; \quad (2)$$

[0053] 根据公式(1)和(2)可以得到,温度和应变的变化量为:

$$[0054] \quad \Delta T = \frac{C_\varepsilon^{LP11} \Delta V_B^{LP01} - C_\varepsilon^{LP01} \Delta V_B^{LP11}}{C_\varepsilon^{LP11} C_T^{LP01} - C_\varepsilon^{LP01} C_T^{LP11}}; \quad (3)$$

$$[0055] \quad \Delta\varepsilon = \frac{C_T^{LP01} \Delta V_B^{LP11} - C_T^{LP11} \Delta V_B^{LP01}}{C_\varepsilon^{LP11} C_T^{LP01} - C_\varepsilon^{LP01} C_T^{LP11}}; \quad (4)$$

[0056] 其中, ΔT 和 $\Delta\varepsilon$ 分别为温度和应变的变化量, ΔV_B^{LP01} 和 ΔV_B^{LP11} 分别为LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合下的布里渊频移, C_T^{LP01} 和 C_ε^{LP01} 分别为LP01-LP01模式组合下的布里渊频移的温度系数和应变系数, C_T^{LP11} 和 C_ε^{LP11} 分别为LP11a-LP11a模式组合下布里渊频移的温度系数和应变系数。

[0057] 通过实验测量,可以获得了LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合下的温度和应变系数如表1所示,以及LP01-LP01、LP01-LP11、LP11a-LP11a、LP11a-LP11b四种不同模式组合下的布里渊增益谱如图2。

[0058] 表1实验测量获得的LP01-LP01和LP11a-LP11a模式组合下的温度和应变系数

	模式	温度系数	应变系数
[0059]	LP01-LP01	1.01690 MHz/°C	0.05924 MHz/ $\mu\varepsilon$,
	LP11a-LP11a	0.99099 MHz/°C	0.04872 MHz/ $\mu\varepsilon$

[0060] 根据表1,将LP01-LP01模式组合和LP11a-LP11a模式组合测得的布里渊频移代入式(3)和式(4),可以算出 ΔT 和 $\Delta\varepsilon$ 的值。根据仿真结果,我们将获得的布里渊频移84.7MHz、73.5MHz代入式中算出 ΔT 和 $\Delta\varepsilon$ 分别是24.8°C,1003.5 $\mu\varepsilon$ 。与实际设置温度与应变变化非常接近,它们的温度误差与应变误差分别为0.2°C,3.5 $\mu\varepsilon$ 。

[0061] 实施例二

[0062] 本发明实施例二提供一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法,包括以下步骤:

[0063] S1、混沌激光经被分为两路,其中一路作为探测光信号,另一路作为泵浦光信号;

[0064] S2、使探测光信号经光学状态调整、以及模式选择后入射到少模光纤11;使泵浦光信号经光学状态调整、以及模式选择后从另一端入射到少模光纤11,测量少模光纤11中产生的斯托克斯光拍频信号,并对拍频信号进行分析处理,得到布里渊频移量;

[0065] S3、改变探测光和泵浦光的模式,重复测量得到布里渊频移量;

[0066] S4、通过步骤S2和步骤S3测量的布里渊频移量,计算得到传感光纤中的温度和应变信息。

[0067] 具体地,所述步骤S2中,探测光信号的光学状态调整包括偏振态调整、调制、延迟、放大、扰偏和隔离;泵浦光信号的光学状态调整偏振态调整、放大、调制、再放大。光束的偏振态调整、调制、延迟、放大、扰偏和隔离分别通过偏振控制器、调制器、光延迟发生器、光放大器、光绕偏器和光隔离器实现。

[0068] 具体地,所述步骤S2中,探测光信号和泵浦光信号的模式选择通过光子灯笼实现,光子灯笼输入端分别有三根单模光纤作为输入光纤,单模光纤的尾纤与少模光纤11连接,三根单模光纤分别对应:LP01、LP11a和LP11b三种空间模式。

[0069] 综上所述,本发明提供了一种基于少模光纤的混沌BOCDA温度应变测量方法和装置,基于低相干性的混沌激光,可以实现超高空间分辨率,使用的传感光纤为少模光纤,利用少模光纤中有限的正交模式作为独立信道进行信息传送,根据不同模式内布里渊频移与

温度和应变的线性关系系数不同,实现对温度和应变的同时测量,可以有效解决光纤温度与应变交叉敏感问题,精度更高,实验装置更简单,测量范围更大,成本更低,更容易在实际应用中得到推广。

[0070] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

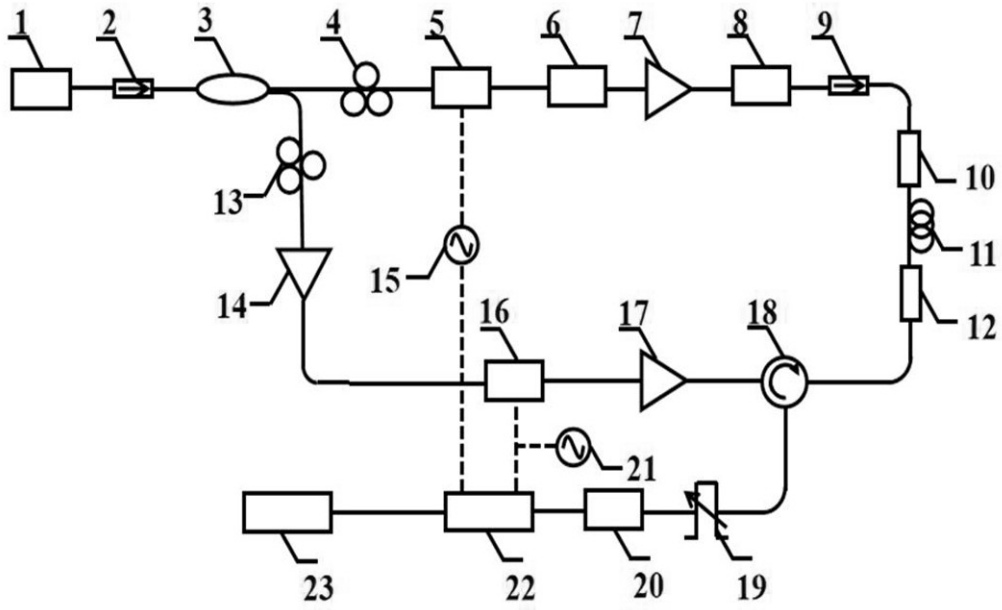


图1

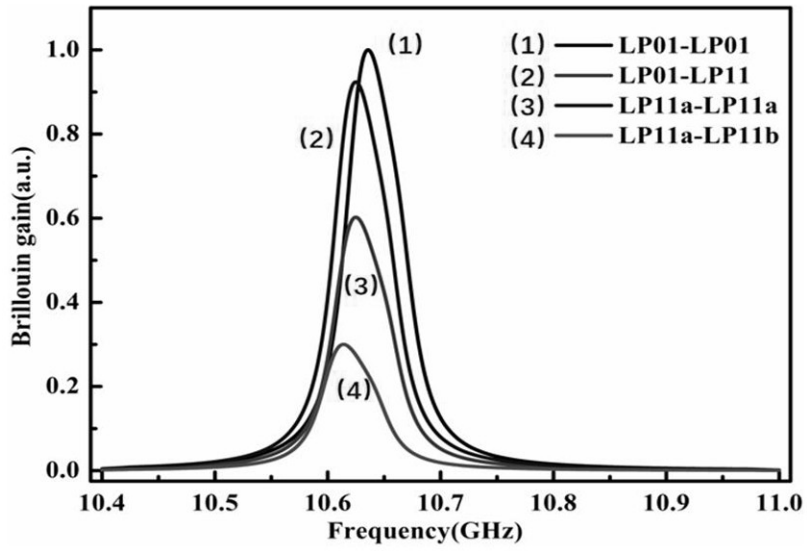


图2