



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111952829 B

(45) 授权公告日 2022.03.18

(21) 申请号 202010852671.6

(22) 申请日 2020.08.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111952829 A

(43) 申请公布日 2020.11.17

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72) 发明人 王泽锋 李宏业 王蒙 胡琪浩
田鑫 赵晓帆 饶斌裕 奚小明
陈子伦 潘志勇 王小林 许晓军
陈金宝

(74) 专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理
有限公司 43225
代理人 周达

(51) Int.Cl.

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101762343 A, 2010.06.30

CN 111397643 A, 2020.07.10

CN 109186490 A, 2019.01.11

CN 110736708 A, 2020.01.31

CN 110220611 A, 2019.09.10

US 2012132009 A1, 2012.05.31

审查员 禹伶俐

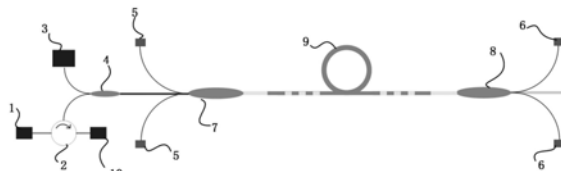
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法

(57) 摘要

本发明提出了一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量的方法,其特征在于,在待测光纤的纤芯上刻写光纤布拉格光栅阵列,包括在多个纤芯横向平面上并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同;利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,实现纤芯区域内三维温度场测量。本发明适用于高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度的测量以及纤芯内部热分布情况的分析。



1. 一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,其特征在于,在待测光纤的纤芯区域三维空间内刻写光纤布拉格光栅阵列,包括在纤芯的多个横向平面内并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,每个横向平面内的光纤布拉格光栅阵列均包括多个光纤布拉格光栅,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同;利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,实现纤芯区域内的温度准分布式测试,实现纤芯区域内三维温度场测量,其中各光纤布拉格光栅通过飞秒激光逐点刻写方式刻写而成,在逐点刻写过程中,保持脉冲激光能量不变,根据耦合模理论,越靠近纤芯的纤芯中心的光纤布拉格光栅谐振强度越强。

2. 根据权利要求1所述的光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,其特征在于,各光纤布拉格光栅不同的谐振波长通过改变各光纤布拉格光栅的周期来实现。

3. 根据权利要求1所述的光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,其特征在于,各光纤布拉格光栅的空间上相互间隔一定距离,且各光纤布拉格光栅的光谱互不重叠。

4. 一种高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,包括高功率光纤激光器、波分复用器、ASE光源、环形器和光谱仪,所述高功率光纤激光器包括种子源和增益光纤,所述增益光纤的纤芯区域三维空间内利用飞秒激光逐点刻写方法刻写有光纤布拉格光栅阵列,包括在纤芯的多个横向平面内并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,每个横向平面内的光纤布拉格光栅阵列均包括多个光纤布拉格光栅,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同;ASE光源输出激光由环形器的1#端口输入并从环形器的2#端口输出至波分复用器,然后输入到高功率光纤激光器的光路,当传输至增益光纤中的光纤布拉格光栅阵列时,位于各光纤布拉格光栅谐振波长的光能量被反射回去并经波分复用器传输至环形器的2#端口,通过环形器的2#端口传输至环形器的3#端口连接的光谱仪进行光谱测试,利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据增益光纤的纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,确定增益光纤的纤芯区域内光纤布拉格光栅阵列的三维温度场分布。

5. 根据权利要求4所述的高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,所述高功率光纤激光器为掺镱光纤激光放大器,所述高功率光纤激光器中的增益光纤采用掺镱光纤。

6. 根据权利要求5所述的高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,所述高功率光纤激光器为前向泵浦或后向泵浦。

7. 根据权利要求5所述的高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,所述高功率光纤激光器为双向泵浦方式。

8. 根据权利要求7所述的高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,所述高功率光纤激光器包括前向泵浦源、后向泵浦源、前向合束器、后向合束器、掺镱光纤;所述种子源输出的激光波段为1060nm波段,所述ASE光源为C+L波段ASE光源,各前向泵浦源和后向泵浦源的泵浦波长为976nm,所述波分复用器为1060nm/1550nm波分复用器,具有三个端口,分别为1550nm波段端口、1060nm波段端口、1060nm/1550nm波段端口;所述环形器为1550nm波段环形器,所述种子源的输出端连接波分复用器的1060nm波段端口,所述

环形器的2#端口连接至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,波分复用器的1060nm/1550nm波段端口以及各前向泵浦源连接前向合束器,各后向泵浦源连接后向合束器,前向合束器和后向合束器之间连接有掺镜光纤,掺镜光纤其纤芯区域刻写的光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长位于1550nm波段。

9. 根据权利要求7所述的高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,其特征在于,C+L波段ASE光源输出激光由1550nm波段环形器的1#端口输入,1550nm波段的激光从1550nm波段环形器的2#端口输出至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,然后1550nm波段的光输入至掺镜光纤激光放大器的光路,与1060nm波段的激光经过前向合束器合束后在同一根光纤中传输,当1550nm波段的光传输至掺镜光纤其纤芯区域中的布拉格光栅阵列时,位于光纤布拉格光栅谐振波长的光能量被反射回去,1060nm波段的激光透过光纤布拉格光栅阵列传输至后向合束器,然后被放大的激光输出,被反射的1550nm波段的光能量返回至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,通过1550nm波段环形器的2#端口传输至1550nm波段环形器的3#端口,最后传输至光谱仪进行光谱测试,确定光纤芯区域内光纤布拉格光栅阵列的三维温度场分布。

一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤纤芯温度测量技术领域,具体涉及一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法。

背景技术

[0002] 在大功率光纤激光器中,热一直是限制其发展的重要因素,有研究表明大功率光纤激光器中增益光纤可以视作承载热负荷的桶子,而光纤中的量子缺陷以及光子暗化效应都可能导致热负荷的生成,光热效应造成的纤芯内部折射率发生周期性调制是大功率光纤激光器模式不稳发生的根本原因,散热时间是诱发模式不稳发生的直接原因,对大功率激光器中进行纤芯温度分布式或准分布式实时测量是当前十分必要的工作。

[0003] 目前对大功率激光器温度测量最有效的方法是通过光频域反射系统来实现的,这一方法可实时反应激光器纤芯内部温度的变化情况,可在较长范围内实现温度分布式测量,对局部温度过高可起到有效的预警作用,但该方法同样也存在一些问题,光频域反射系统通常造价十分昂贵,且需要添加大量硬件系统,增加了系统的复杂程度,为系统维护造成了一定的困难。此外光频域反射系统只能测量一维温度变化,温度在纤芯横向端面的分布被平均化,无法体现出光纤“散热”的特性,测量的空间精度仅在 $\sim 1\text{cm}$ 量级,且需要多次测量,光热效应所形成的长周期光栅的效果无法通过该方法来测量。还有利用光纤布拉格光栅来测温度的技术,但目前利用普通光纤布拉格光栅基本只能实现单点测试,而且绝大多数光纤布拉格光栅都是通过紫外曝光法刻写的,光栅的折射率调制区主要集中于纤芯的边沿位置,无法进行空间维度的温度测试。

[0004] 目前,几乎没有文献报道纤芯内部温度场测量的技术,光频域反射系统和紫外刻写的光纤布拉格光栅都只能进行一维温度的测试,无法进行三维空间的温度测试。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的缺陷,本发明提出了一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法。

[0006] 为实现上述技术目的,本发明采用的具体技术方案如下:

[0007] 一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,在待测光纤的纤芯上刻写光纤布拉格光栅阵列,包括在多个纤芯横向平面上并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同;利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,实现纤芯区域内三维温度场测量。本发明温度传感单元为光纤布拉格光栅,各谐振波长不同的光纤布拉格光栅分布于纤芯的不同位置,实现准分布式温度测量。本发明兼具并行与串行分布的光纤布拉格光栅阵列,可以满足纤芯内部温度的多点测量,特别对于某一特定光纤横截面的温度测量。

[0008] 作为本发明的优选技术方案,本发明中的各光纤布拉格光栅通过飞秒激光逐点刻写方式刻写而成,光纤无需做载氢处理。利用飞秒激光逐点刻写技术可以刻写局域性非常高的光纤布拉格光栅,如果用逐点刻写的光纤布拉格光栅测温度基本可以体现纤芯区域某一特定点的温度。

[0009] 作为本发明的优选技术方案,本发明中的各光纤布拉格光栅不同的谐振波长通过改变各光纤布拉格光栅的周期来实现。整个刻写的全过程只需调整刻写平台的位移速度以及飞秒激光聚焦点的位置。

[0010] 作为本发明的优选技术方案,本发明中的各光纤布拉格光栅的空间上相互间隔一定距离,且各光纤布拉格光栅的光谱互不重叠。本发明各光纤布拉格光栅在光谱上严格分离开,避免因温度梯度变化而造成多个光纤布拉格光栅在同一波长处发谐振。

[0011] 本发明上述方案适用于高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度的测量以及纤芯内部热分布情况的分析。

[0012] 另一方面,本发明提供一种高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,包括高功率光纤激光器、波分复用器、ASE光源、环形器和光谱仪,所述高功率光纤激光器包括种子源和增益光纤,所述增益光纤的纤芯上利用飞秒激光逐点刻写方法刻写有光纤布拉格光栅阵列,包括在多个纤芯横向平面上并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同;ASE光源输出激光由环形器的1#端口输入并从环形器的2#端口输出至波分复用器,然后输入到到高功率光纤激光器的光路,当传输至增益光纤中的光纤布拉格光栅阵列时,位于各光纤布拉格光栅谐振波长的光能量被反射回去并经波分复用器传输至环形器的2#端口,通过环形器的2#端口传输至环形器的3#端口连接的光谱仪进行光谱测试,利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据增益光纤的纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,确定增益光纤的纤芯区域内光纤布拉格光栅阵列的三维温度场分布。

[0013] 作为优选技术方案,本发明中的所述高功率光纤激光器为掺镱光纤激光放大器,所述高功率光纤激光器中的增益光纤采用掺镱光纤。

[0014] 作为优选技术方案,本发明中的所述高功率光纤激光器为前向泵浦、后向泵浦或双向泵浦方式。

[0015] 作为优选技术方案,本发明中的所述高功率光纤激光器包括前向泵浦源、后向泵浦源、前向合束器、后向合束器、掺镱光纤;所述种子源输出的激光波段为1060nm波段,所述ASE光源为C+L波段ASE光源,各前向泵浦源和后向泵浦源的泵浦波长为976nm,所述波分复用器为1060nm/1550nm波分复用器,具有三个端口,分别为1550nm波段端口、1060nm波段端口、1060nm/1550nm波段端口;所述环形器为1550nm波段环形器,所述种子源的输出端连接波分复用器的1060nm波段端口,所述环形器的2#端口连接至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,波分复用器的1060nm/1550nm波段端口以及各前向泵浦源连接前向合束器,各后向泵浦源连接后向合束器,前向合束器和后向合束器之间连接有掺镱光纤,掺镱光纤其纤芯区域刻写的光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长位于1550nm波段。

[0016] C+L波段ASE光源输出激光由1550nm波段环形器的1#端口输入,此后,1550nm波段

的激光从1550nm波段环形器的2#端口输出至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,然后1550nm波段的光输入至掺镱光纤激光放大器的光路,与1060nm波段的激光经过前向合束器合束后在同一根光纤中传输,当1550nm波段的光传输至掺镱光纤其纤芯区域中的布拉格光栅阵列时,位于光纤布拉格光栅谐振波长的光能量被反射回去,1060nm波段的激光透过光纤布拉格光栅阵列传输至后向合束器,然后被放大的激光输出,被反射的1550nm波段的光能量返回至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,通过1550nm波段环形器的2#端口传输至1550nm波段环形器的3#端口,最后传输至光谱仪进行光谱测试,确定光纤芯区域内光纤布拉格光栅阵列的三维温度场分布。

[0017] 本发明的有益效果如下:

[0018] 本发明提供了一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,通过在待测光纤的纤芯上刻写光纤布拉格光栅阵列,所有的光纤布拉格光栅都是通过飞秒激光逐点刻写的,并写在纤芯内部特定的位置,可以弥补之前测量维度的限制,从而实现三维空间内的温度准分布式测量。

[0019] 本发明可用于高功率光纤激光器温度梯度的测试,对于研究高功率光纤激光器纤芯中的热分布以及散热情况具有重要意义,是一种研究光热效应产生的长周期光栅的重要手段,同时还能研究大功率光纤激光器模式不稳的问题。

附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图示出的结构获得其他的附图。

[0021] 图1为实施例1中纤芯区域三维空间内光纤布拉格光栅阵列分布的情况(以某一平面内存在7个光纤布拉格光栅为例)示意图。

[0022] 图2为实施例1中特定横向纤芯平面内折射率分布情况示意图。

[0023] 图3为实施例2的光路示意图。

具体实施方式

[0024] 为了使本发明的技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用于解释本发明,并不用于限定本发明。

[0025] 实施例1:

[0026] 参照图1和图2,本实施例提供一种光纤纤芯三维空间温度的准分布式测量方法,利用飞秒激光逐点刻写技术在待测光纤的纤芯上刻写光纤布拉格光栅阵列,包括在多个纤芯横向平面上并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同。利用各光纤布拉格光栅的光谱对温度的响应特性实现对纤芯区域各光纤布拉格光栅所在位置的温度传感,根据纤芯区域中所有的光纤布拉格光栅的光谱变化,实现纤芯区域内的温度准分布式测试,实现纤芯区域内三维温度场测量。

[0027] 如图1所示,为以某一平面内存在7个光纤布拉格光栅为例,纤芯区域三维空间内光纤布拉格光栅阵列分布的情况,光纤布拉格光栅用符号 $G_{m,n}$ (m 代表该光纤布拉格光栅在某一平面的序号, n 代表该光纤布拉格光栅所处的平面)来表示,在图1中在纤芯的三个横向平面内刻写了光纤布拉格光栅阵列,纤芯的三个横向平面等间距分布。三个横向平面内的光纤布拉格光栅阵列均包括7个光纤布拉格光栅。如果需要提高横向平面温度测试的空间精度,可以在同一平面内均匀的刻写更多的光纤布拉格光栅。各光纤布拉格光栅的长度 L 为 $\sim 1\text{mm}$ 的量级, $G_{m,n}$ 的周期为 $\Lambda_{m,n}$,各光纤布拉格光栅在空间上不存在任何交叠,且各光纤布拉格光栅的谐振波长完全不同,且两相邻的谐振波长的间隔较大,不会因为纤芯中的温度场差异发生光谱上的重叠造成解调上的困难。

[0028] 如图2所示为以纤芯的某一横向平面内存在7个光纤布拉格光栅为例,图1中纤芯左端面折射率分布情况,由于利用飞秒激光逐点刻写的方式,光纤布拉格光栅的折射率调制区的面积相对于纤芯的总面积非常小,基本可认为只是一个点,如果需要提高横向平面温度测试的空间精度,可以在同一平面内均匀的刻写更多的光纤布拉格光栅,根据各光纤布拉格光栅的光谱温度漂移的情况,决定该点所在点的温度,对各点温度进行插值处理,可得到该平面内的温度梯度,同理,对于图1中的三维光纤布拉格光栅阵列,利用相似的方法可以得到纤芯三维空间的温度场。在逐点刻写过程中,若保持脉冲激光能量不变,根据耦合模理论,越靠近纤芯的纤芯中心的光纤布拉格光栅谐振强度越强,这是因为所有的光纤布拉格光栅都只与基模发生作用,而基模呈现出类高斯分布,越靠近中心强度越大。

[0029] 本实施例利用飞秒激光逐点刻写技术刻写了在纤芯横向端面呈并行分布,在纤芯轴向呈串行分布的高度局域化光纤布拉格光栅阵列,实现了对纤芯某一定点温度的测试,此外,该光纤布拉格光栅阵列具有集成度高、解调方便的特性,将光纤温度传感的维度由一维扩展到三维,可适用于纤芯内部温度呈非均匀分布的情况,如高功率光纤激光器。

[0030] 实施例2:

[0031] 参照图3,本实施例提供一种高功率光纤激光器纤芯横向平面温度梯度测量系统,包括高功率光纤激光器、波分复用器4、ASE光源1、环形器2和光谱仪10,所述高功率光纤激光器包括种子源3、前向泵浦源5、后向泵浦源6、前向合束器7、后向合束器8、掺镜光纤9。通过飞秒激光逐点刻写方式在掺镜光纤9的纤芯上刻写有光纤布拉格光栅阵列,包括在多个纤芯横向平面上并行刻写的光纤布拉格光栅阵列以及沿光纤轴向串行刻写的光纤布拉格光栅阵列,光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长互不相同。

[0032] 所述种子源3输出的激光波段为1060nm波段,所述ASE光源1为C+L波段ASE光源,各前向泵浦源5和后向泵浦源6的泵浦波长为976nm,所述波分复用器4为1060nm/1550nm波分复用器,具有三个端口,分别为1550nm波段端口、1060nm波段端口、1060nm/1550nm波段端口;所述环形器2为1550nm波段环形器。

[0033] 所述种子源3的输出端连接波分复用器4的1060nm波段端口,所述环形器2的2#端口连接至1060nm/1550nm波分复用器4的1550nm波段端口,波分复用器4的1060nm/1550nm波段端口以及各前向泵浦源5连接前向合束器7,各后向泵浦源6连接后向合束器8,前向合束器7和后向合束器8之间连接有掺镜光纤9。为了避免光纤布拉格光栅的作用波长与激光波长($\sim 1060\text{nm}$)相冲突,掺镜光纤9其纤芯区域刻写的光纤布拉格光栅阵列中的各光纤布拉格光栅的谐振波长位于1550nm波段。

[0034] C+L波段ASE光源输出激光由1550nm波段环形器的1#端口输入,此后,1550nm波段的激光从1550nm波段环形器的2#端口输出至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,然后1550nm波段的光输入至掺镱光纤激光放大器的光路,与1060nm波段的激光经过前向合束器合束后在同一根光纤中传输,当1550nm波段的光传输至掺镱光纤其纤芯区域中的布拉格光栅阵列时,位于光纤布拉格光栅谐振波长的光能量被反射回去,1060nm波段的激光透过光纤布拉格光栅阵列传输至后向合束器,然后被放大的激光输出,被反射的1550nm波段的光能量返回至1060nm/1550nm波分复用器的1550nm波段端口,通过1550nm波段环形器的2#端口传输至1550nm波段环形器的3#端口,最后传输至光谱仪10进行光谱测试,确定光纤芯区域内光纤布拉格光栅阵列的三维温度场分布。

[0035] 综上所述,虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然其并非用以限定本发明,任何本领域普通技术人员,在不脱离本发明的精神和范围内,当可作各种更动与润饰,因此本发明的保护范围当视权利要求书界定的范围为准。

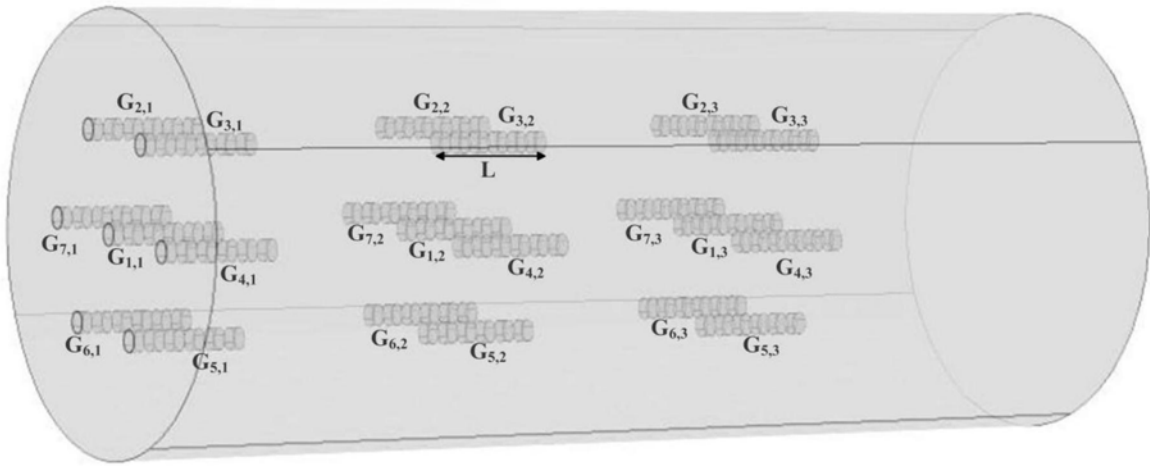


图1

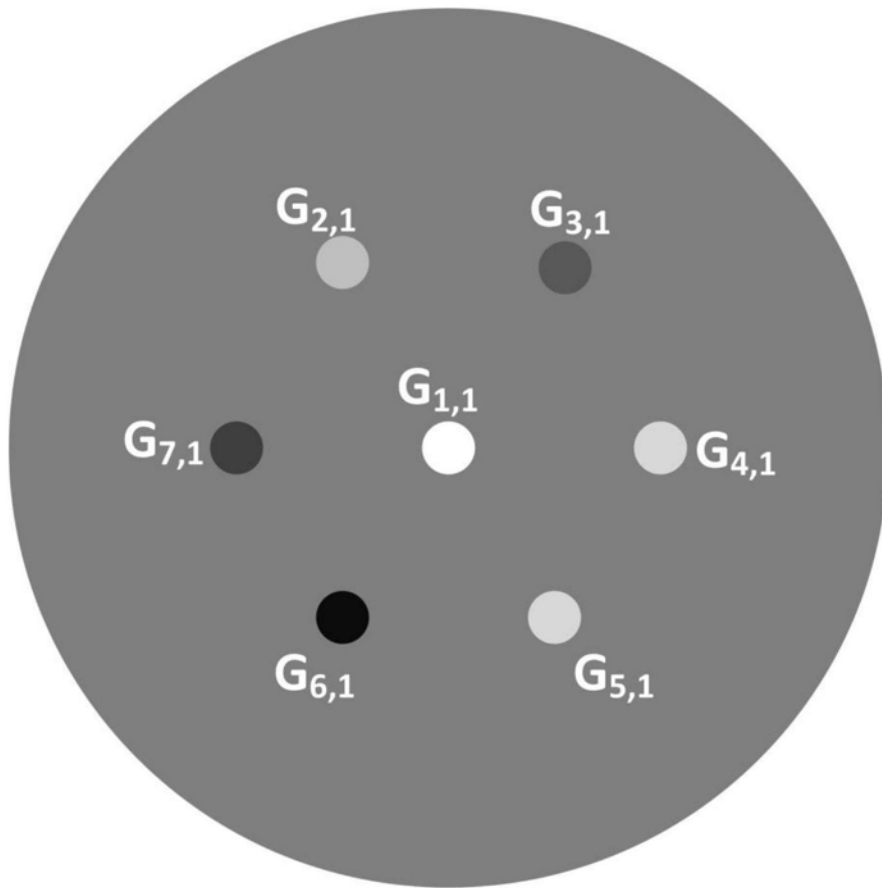


图2

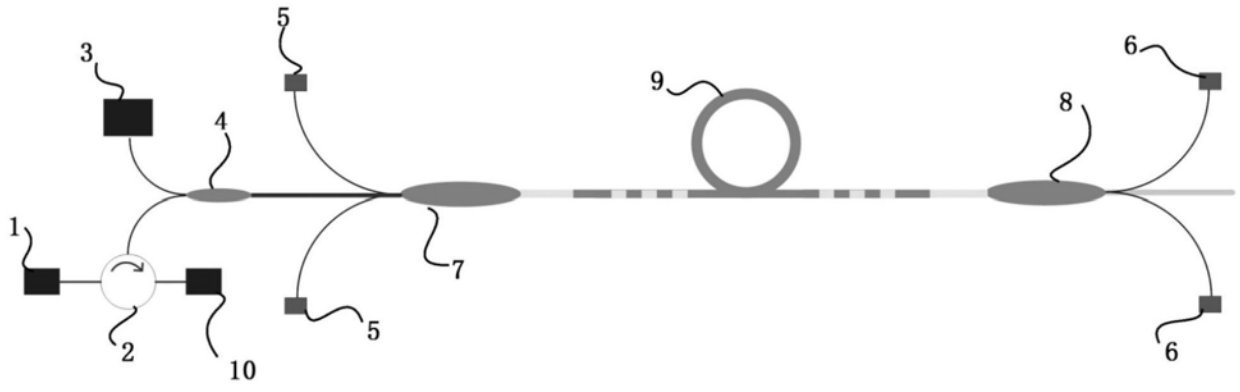


图3