



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111665220 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 05

(21) 申请号 202010689301.5

US 8311373 B1, 2012.11.13

(22) 申请日 2020.07.16

审查员 孙勐

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111665220 A

(43) 申请公布日 2020.09.15

(73) 专利权人 哈尔滨理工大学

地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区学
府路52号

(72) 发明人 于雪莲 张月 佐珊珊

(51) Int. Cl.

G01N 21/45 (2006.01)

G01K 11/32 (2021.01)

(56) 对比文件

EP 3168661 A1, 2017.05.17

US 2017328836 A1, 2017.11.16

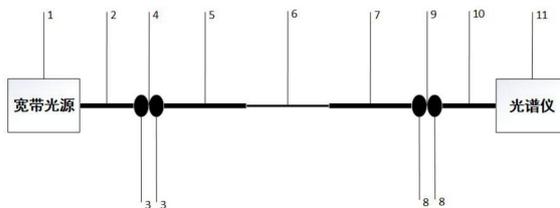
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,包括宽带光源、第一单模光纤、第一花生结构、第一熔接点、第一少模光纤、细芯光纤、第二少模光纤、第二花生结构、第二熔接点、第二单模光纤、光谱仪;使用时,宽带光源连接第一单模光纤的输入端,第二单模光纤的输出端连接光谱仪;通过对光谱仪上谐振波长的位置进行实时监测,能实现无温度干扰的高灵敏度折射率测量。与现有技术相比,本发明在显著提高整个传感器的消光比的同时,还能够避免折射率测量时温度的交叉敏感问题,具有灵敏度高、自由光谱范围大、结构简单、机械强度高等优点。



1. 一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,包括宽带光源(1)、第一单模光纤(2)、第一花生结构(3)、第一熔接点(4)、第一少模光纤(5)、细芯光纤(6)、第二少模光纤(7)、第二花生结构(8)、第二熔接点(9)、第二单模光纤(10)、光谱仪(11),并按顺序依次连接;

所述第一单模光纤(2)的输出端与第一少模光纤(5)的输入端熔接为第一花生结构(3),其熔接点为第一熔接点(4);第一花生结构(3)用于将第一单模光纤(2)中传输的光较为平均的耦合到第一少模光纤(5)的纤芯和包层中;第一单模光纤(2)的输入端外接宽带光源(1);

所述细芯光纤(6)的输入端熔接第一少模光纤(5)的输出端,所述细芯光纤(6)的输出端熔接第二少模光纤(7)的输入端;

所述第二少模光纤(7)的输出端与第二单模光纤(10)的输入端熔接为第二花生结构(8),其熔接点为第二熔接点(9);第二花生结构(8)用于将第二少模光纤(7)纤芯和包层中传输的光耦合到第二单模光纤(10)的纤芯中;所述第二单模光纤(10)的输出端外接光谱仪(11);

第一单模光纤(2)的输出端是采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第一少模光纤(5)的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第一花生结构(3);第一少模光纤(5)的输出端是采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第二单模光纤(7)的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第二花生结构(8);所述第一花生结构(3)的长轴与光纤方向垂直,长轴直径为 $200\sim 220\mu\text{m}$,短轴与光纤方向平行,短轴直径为 $150\sim 170\mu\text{m}$;所述第二花生结构(8)的长轴与光纤方向垂直,长轴直径为 $200\sim 220\mu\text{m}$,短轴与光纤方向平行,短轴直径为 $150\sim 170\mu\text{m}$;所述第一熔接点(4)是所述第一花生结构(3)中两个椭球形结构相融接熔接形成的熔接点,通过控制第一熔接点的熔接面积,使得熔接过程中分配到所述第一少模光纤(5)中纤芯和包层的光强相对平均;

所述第二熔接点(9)是所述第二花生结构(8)中两个椭球形结构相融接熔接形成的熔接点,通过控制第二熔接点的熔接面积,使得所述第二少模光纤(7)中纤芯和包层中的光耦合到第二单模光纤(10)的纤芯中发生干涉。

2. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述光谱仪(11)的输入端连接至所述第二单模光纤(10)的输出端;所述光谱仪(11)用于显示所述宽带光源(1)发出的光经过第一单模光纤(2)、第一花生结构(3)、第一少模光纤(5)、细芯光纤(6)、第二少模光纤(7)、第二花生结构(8)、第二单模光纤(10)形成的输出光的干涉谱,从而得到M-Z型在线干涉图样。

3. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述第一熔接点(4)的直径为 $100\sim 120\mu\text{m}$,所述第二熔接点(9)的直径为 $100\sim 120\mu\text{m}$ 。

4. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述第一少模光纤(5)、第二少模光纤(7)的长度均为 $3\sim 5\text{cm}$ 。

5. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述细芯光纤(6)的长度为 $2\sim 2.5\text{cm}$ 。

6. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述细芯光纤(6)的包层直径为 $70\sim 80\mu\text{m}$ 。

7. 如权利要求1所述的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,其特征在于,所述细芯光纤(6)的光纤纤芯直径为 $3\sim 4.5\mu\text{m}$ 。

一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器

技术领域

[0001] 该发明属于光纤传感测量温度和折射率的领域,具体的,涉及一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器。

背景技术

[0002] 在生物、医药以及化学等领域,常常需要对液体的各项参数进行测量,而折射率作为物质的固有属性,作为光学的重要参数之一,是实现很多参量测量的基础,通过对折射率进行测量,可以实现对物质的含糖量、DNA浓度、盐度、PH值、湿度等相关参量变化的测定。但是,由于热光效应的关系,当外界环境温度发生变化时,光纤本身和被测物质的折射率均发生变化,将影响光纤M-Z型传感器对外界折射率的测量。为了消除温度对折射率传感的影响,可以通过温度和折射率的双参量同时测量,来区分被测物理量和温度,从而消除温度对折射率测量结果的影响,用光纤M-Z型传感器测量温度、折射率成为了如今学者的研究重点。

[0003] 为了解决这个问题,国内研究人员做了大量的研究:黄然等(参见“Refractometer based on Mach-Zehnder interferometer with peanut-shape structure[J].Optics Communications:A Journal Devoted to the Rapid Publication of Short Contributions in the Field of Optics and Interaction of LightwithMatter, 2015.”)提出一种花生结构的折射率传感器,即用单模光纤两端熔接为花生结构,构成M-Z型传感器,但是并没有考虑温度对折射率的交叉敏感问题;细芯光纤M-Z干涉传感器多参数测量研究,文中使用掺Ge浓度较高(约为38mol.%)的细芯光纤构成M-Z干涉传感器,在30~250℃的温度范围内,其温度灵敏度为70.2pm/℃,测试了传感器对折射率的灵敏度分别为-8.12nm/RIU,但是并没有考虑温度对折射率的交叉敏感问题;综上所述,这些传感器分别用单模光纤的花生结构构成传感器,用细芯光纤作为传感部分构成传感器,但是干涉峰对于折射率、温度的响应程度相同,容易产生交叉敏感,并且使用单模光纤连接细芯光纤,自由光谱范围较小,因此,提出一种没有交叉敏感,自由光谱范围较大并且灵敏度较高的传感器是非常必要的。

发明内容

[0004] 针对以上传感器存在的技术问题,本发明提出能实现温度、折射率无交叉的传感测量的M-Z型折射率传感器,克服现在温度、折射率领域存在的交叉敏感、自由光谱范围小等的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,包括宽带光源、第一单模光纤、第一熔接点、第一少模光纤、细芯光纤、第二少模光纤、第二熔接点、第二单模光纤、光谱仪;

[0006] 所述第一单模光纤的输出端与第一少模光纤的输入端熔接为第一花生结构,其熔接点为第一熔接点;第一花生结构、第一熔接点用于将第一单模光纤中传输的光较为平均

的耦合到第一少模光纤的纤芯和包层中；第一单模光纤的输入端用于外接宽带光源；

[0007] 所述细芯光纤的输入端熔接第一少模光纤的输出端，所述细芯光纤的输出端熔接第二少模光纤的输入端；

[0008] 所述第二少模光纤的输出端与第二单模光纤的输入端熔接为第二花生结构，其熔接点为第二熔接点，第二花生结构用于将第二少模光纤纤芯和包层中传输的光耦合到第二单模光纤的纤芯中；所述第二单模光纤的输出端外接光谱仪；

[0009] 第一单模光纤的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形，与第一少模光纤的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第一花生结构，其熔接点为第一熔接点；第一少模光纤的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形，与第二单模光纤的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第二花生结构，其熔接点为第二熔接点；

[0010] 所述第一熔接点是所述第一花生结构中两个椭球形结构相熔接形成的熔接点，第一熔接点熔接面积的不同，使得所述第一少模光纤中被激发的包层模式的数目不同，通过控制熔接点的熔接面积，能使得熔接过程中分配到所述第一少模光纤中纤芯和包层的光强相对平均；

[0011] 所述第二熔接点是所述第二花生结构中两个椭球形结构相熔接形成的熔接点，第二熔接点熔接面积的不同，使得所述第二少模光纤中纤芯和包层中的光耦合到第二单模光纤的纤芯中发生干涉；

[0012] 进一步的，所述光谱仪的输入端连接至所述第二单模光纤的输出端；所述光谱仪用于显示所述宽带光源发出的光经过第一单模光纤、第一花生结构、第一少模光纤、细芯光纤、第二少模光纤、第二花生结构、第二单模光纤形成的输出光的干涉谱，从而得到M-Z型在线干涉图样；

[0013] 进一步的，所述第一花生结构的长轴与光纤方向垂直，长轴直径为200~220 μm ，纤芯直径为20~30 μm ，第一花生结构的纤芯直径为20~30 μm ，长轴直径为200~220 μm ，短轴与光纤方向平行，短轴直径为150~170 μm （选择该直径范围是为了第一少模光纤中纤芯和包层中的光强较为平均），所述第二花生结构的纤芯直径为20~30 μm ，长轴直径为200~220 μm ，短轴直径为150~170 μm （选择该直径范围是为了第二少模光纤中纤芯和包层中的光强较大范围的与第二单模光纤纤芯发生干涉）；

[0014] 进一步的，所述第一熔接点的直径为100~120 μm （选择该直径范围是为了第一单模光纤纤芯中的光强能够较为平均的分配到第一少模光纤的纤芯和包层中），所述第二熔接点的直径为100~120 μm （选择该直径范围是为了第二少模光纤纤芯、包层中的光强能够较大范围的与第二单模光纤纤芯的光强发生干涉）；

[0015] 进一步的，所述第一、第二少模光纤的长度均为3~5cm，不同长度的少模光纤会使得干涉图样形成不同的自由光谱范围；第一、二少模光纤的长度越长，自由光谱范围越小；

[0016] 进一步的，所述细芯光纤的长度为2~2.5cm，不同长度的细芯光纤会使得干涉图谱中的消光比不同，细芯光纤的长度越长，消光比越大；

[0017] 进一步的，所述细芯光纤的包层直径为70~80 μm ，不同的包层直径使得包层中被激发的包层模式受外界环境的影响程度不同，从而影响最终被测温度和折射率的灵敏度，包层直径越小灵敏度越高；

[0018] 进一步的，所述细芯光纤的光纤纤芯直径为3~4.5 μm ，不同的纤芯直径使得第一

少模光纤纤芯耦合到细芯光纤纤芯的光功率不同,从而形成不同消光比的干涉图样;所述细芯光纤的纤芯直径取为 $3\sim 4.5\mu\text{m}$,包层直径取为 $70\sim 80\mu\text{m}$;

[0019] 本发明中,所述第一花生结构的熔接是为了将第一单模光纤中传输的光功率趋于平均地分配在第一少模光纤地纤芯和包层中,以便得到较高消光比的透射光谱;第一少模光纤与细芯光纤熔接是为了得到自由光谱较小,消光比较大的透射光谱,细芯光纤的折射率为第一单模光纤的3倍,能达到提高灵敏度的效果。同样细芯光纤与第二少模光纤熔接是为了将细芯光纤中的光更好的耦合到第二少模光纤中,最终在干涉谱观察到干涉图样。

[0020] 本发明在用于温度、折射率测量时,将光谱仪中产生的占主导地位或消光比较高的谐振波长的位置调节至所在光谱窗口的中间;当外界温度发生变化时,可以通过记录光谱上谐振波长的位置变化来测量温度的变化;同理,当外界环境的折射率发生变化时,可以通过记录光谱上谐振波长的位置变化来测量折射率的变化。通过对谐振波长位置的变化来实现温度和折射率的监测,两个被测参量在测量过程中没有相互串扰。

[0021] 在温度的测量过程中,由于光纤自身的热膨胀效应与热光效应,细芯光纤的折射率、直径、长度都会有所变化,细芯光纤的中纤芯和包层模式的热光系数不同,而且二者的热光系数相差 $1\sim 2$ 个数量级,且温度的测量过程中没有光从包层中泄露出去,所以谐振波长的光强不会发生变化,因此,在温度的测量过程中会有谐振波长的强度不变,位置出现漂移的现象。在折射率的测量过程中,由于外界折射率的变化只会影响包层中传输模式的有效折射率,纤芯折射率不会影响,因此,在折射率的测量过程中会有谐振波长强度不变,位置出现漂移的现象。

[0022] 花生结构就是为了使得在纤芯中传输的光能够平均的在纤芯和包层中传输。

[0023] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0024] (1) 本发明通过细芯光纤熔接花生结构产生的谐振波长来测量温度、折射率的变化,分别通过监测干涉图谱的不同谐振波长的波长位置的变化来实现温度和折射率的同时测量,由于温度和折射率对于干涉图谱的影响程度不同,温度对于干涉图谱的影响很微弱,可以忽略,可以实现无温度干扰的折射率测量。

[0025] (2) 本发明提供的花生结构熔接细芯光纤结构,由于细芯光纤对外界环境相对单模、多模光纤更加敏感,可实现高灵敏度、大动态范围、高精度的光纤温度和折射率的测量;此外,相比传统的错位光纤干涉仪,所述一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器具有机械强度高,避免错位方向对干涉光谱影响的优点。

附图说明

[0026] 图1是本发明实施例1的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器的结构示意图;

[0027] 图2是本发明实施例1中花生结构熔接细芯光纤的示意图;

[0028] 图3是本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器测试获得的光谱随温度升高,波长发生漂移的结果图;

[0029] 图4是本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器光谱谐振波长随温度变化的拟合曲线;

[0030] 图5是本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器测试获得的光谱随折射率升高,波长发生漂移的结果图;

[0031] 图6是本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器光谱谐振波长随折射率变化的拟合曲线;

[0032] 在所有附图中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中;1-宽带光源,2-第一单模光纤,3-第一花生结构,4-第一熔接点,5-第一少模光纤,6-细芯光纤,7-第二少模光纤,8-第二花生结构,9-第二熔接点,10-第二单模光纤,11-光谱仪。

具体实施方式

[0033] 为了使本发明的目的、拘束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以解释本发明,并不限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所设计到的技术特征只要彼此间未构成冲突就可以相互组合。

[0034] 本发明提供一种基于花生结构的无温度交叉干扰M-Z型折射率传感器,包括第一、二单模光纤、第一、二花生结构、第一、二熔接点、第一、二少模光纤、细芯光纤和光谱仪;

[0035] 其中,第一单模光纤的输入端用于连接宽带光源的输出端,第一单模光纤的输出端用于第一花生结构的熔接;第一单模光纤的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第一少模光纤的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第一花生结构,其熔接点为第一熔接点;细芯光纤连接在第一少模光纤输出端和第二少模光纤输入端;第二少模光纤的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第二单模光纤的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第二花生结构,其熔接点为第二熔接点;第二单模光纤的输出端与光谱仪的输入端相连。

[0036] 以下结合实施例1提供的一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器,进一步的阐述本发明:本发明实施例1的一种基于花生结构无温度交叉干扰的M-Z型折射率传感器测试示意图如图1所示,包括第一单模光纤2、第一花生结构3、第一熔接点4、第一少模光纤5、细芯光纤6、第二少模光纤7、第二花生结构8、第二熔接点9、第二单模光纤10、光谱仪11;宽带光源1连接第一单模光纤2的输入端;第一单模光纤2的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第一少模光纤5的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第一花生结构3,其熔接点为第一熔接点4;第一少模光纤5的输出端采用电弧放电的方式熔融的椭球形,与第二单模光纤7的输入端采用电弧放电的方式熔融的椭球形相熔接为第二花生结构8,其熔接点为第二熔接点9;第二单模光纤10的输出端光谱仪11的输入端连接。

[0037] 具体地,实施例1中,第一单模光纤2的输入端与宽带光源1以及第二单模光纤10的输出端与光谱仪11之间利用FC/APC光纤机头通过法兰盘对接。

[0038] 下面结合实施例1对上述一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器的工作原理进行阐述:

[0039] 宽带光源1发出的宽谱光经由第一单模光纤2传输至第一熔接点4;由于第一花生结构3的纤芯不连续,且由于第一单模光纤2的输出端、第一少模光纤5的输入端通过电弧放电熔融为椭球形,会在第一熔接点4处出现模场不匹配的现象,使得第一单模光纤2中传输的纤芯模激发了第一少模光纤5中的包层模向前传输,同时还有部分纤芯模耦合到第一

少模光纤5的纤芯中向前传输；当纤芯模和包层模向前传输到细芯光纤6输入端时，由于纤芯、包层直径的不匹配，导致第一少模光纤5包层的光信号部分传输到细芯光纤6输出端的包层中，部分泄露到空气中，第一少模光纤5输出端纤芯中的光信号部分传输到细芯光纤6输入端的纤芯中，部分传输到包层中向前传输；当光信号到达细芯光纤6输出端时，光信号耦合到第二少模光纤7的纤芯和包层中，前行传输的纤芯和包层模经过第二花生结构8耦合进第二单模光纤10的纤芯中产生干涉信号，最后干涉光信号进入光谱仪11的输入端，在光谱仪11上可观察到基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器产生的占主导地位的谐振波长。

[0040] 当外界环境的折射率发生变化时，在细芯光纤6中包层的折射率发生变化，纤芯中的折射率未发生变化，导致纤芯和包层的折射率差发生变化，因此，在折射率测量过程中会有谐振波长的位置出现漂移的现象；在光谱仪11中不同的谐振波长会产生漂移而谐振波长的功率强度未发生变化的现象，即可采用波长解调的方式来检测外界折射率的变化。

[0041] 当外界环境的温度发生变化时，细芯光纤6的长度和包层的折射率都会发生变化，由于细芯光纤具有纤芯模和包层模的热光系数相差较大的特性，导致二者的有效折射率差会发生变化，从而产生相位的变化；同样温度的变化并没有光从包层中泄露到外界环境，所以在温度的测量过程中仅出现谐振波长位置漂移的现象，即可采用波长解调的方式来检测外界折射率的变化。

[0042] 图3为本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度交叉干扰M-Z型折射率传感器测试获得的光谱随温度升高，波长发生漂移的结果图，从图中可以看出当温度变化范围为0~120℃时，谐振波长位置几乎没有变化，即在外界温度变化过程中谐振臂长的位置并没有产生漂移的现象，所以在进行折射率测量时，不会出现温度交叉干扰的现象。

[0043] 图4为本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器光谱谐振波长随温度变化的拟合曲线，通过拟合计算出温度的灵敏度为0.00788nm/℃，温度灵敏度可以忽略，所以在进行折射率测量时，不会出现温度交叉干扰的现象。

[0044] 图5为本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度交叉干扰M-Z型折射率传感器测试获得的光谱随折射率升高，波长发生漂移的结果图，从图中可以看出，在折射率为1.3~1.4范围内，随着折射率的增大，干涉谱向长波长方向移动。

[0045] 图6是本发明实施例1中一种基于花生结构的无温度干扰M-Z型折射率传感器光谱谐振波长随折射率变化的拟合曲线，通过拟合计算，其波长随折射率变化的灵敏度可达345.8408nm/RIU。

[0046] 本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

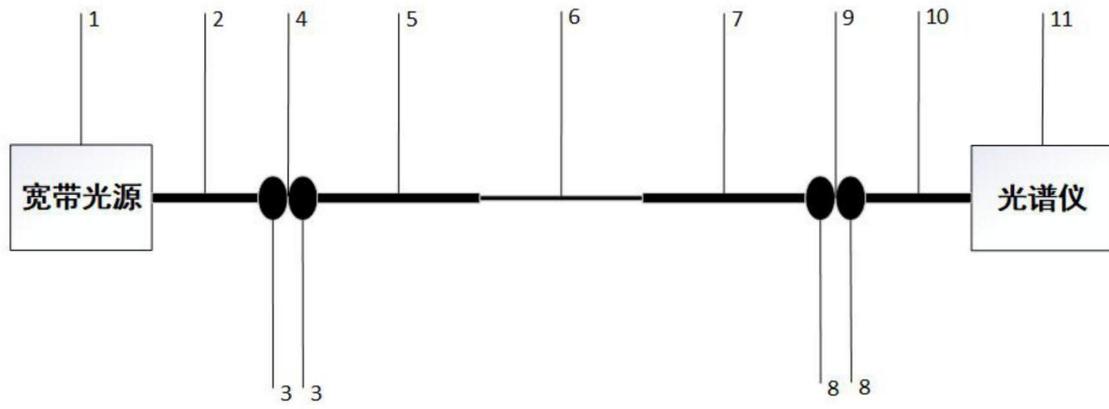


图1

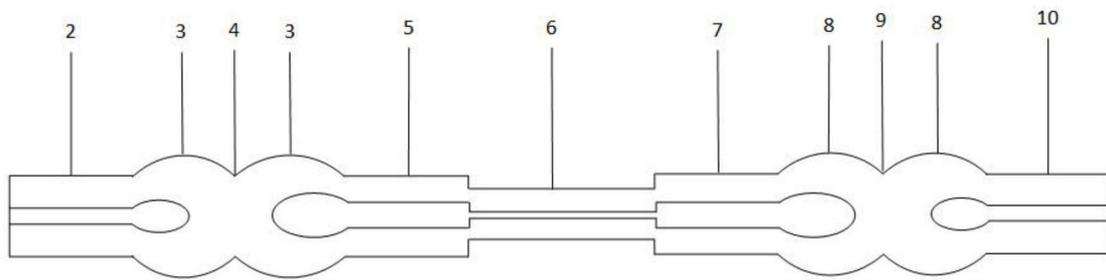


图2

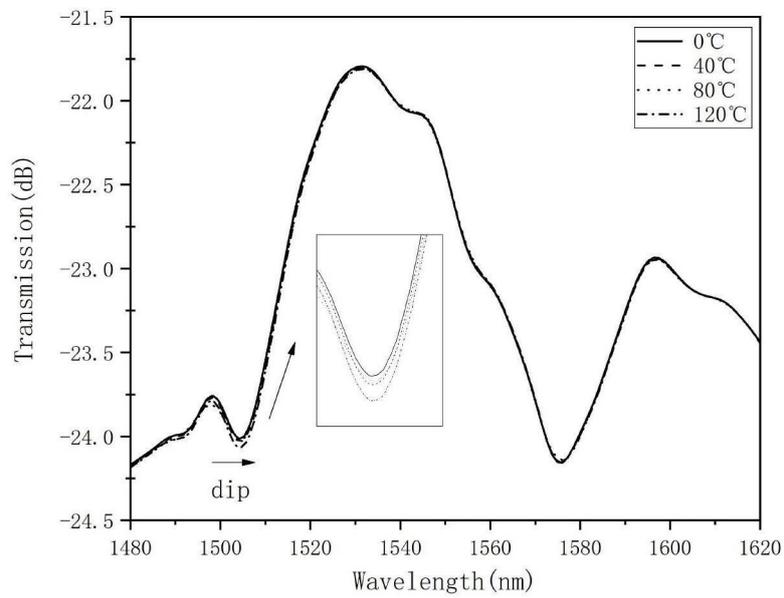


图3

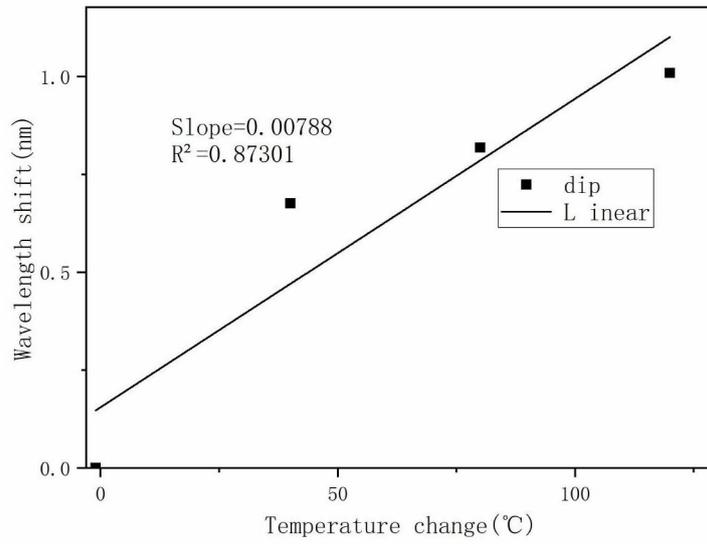


图4

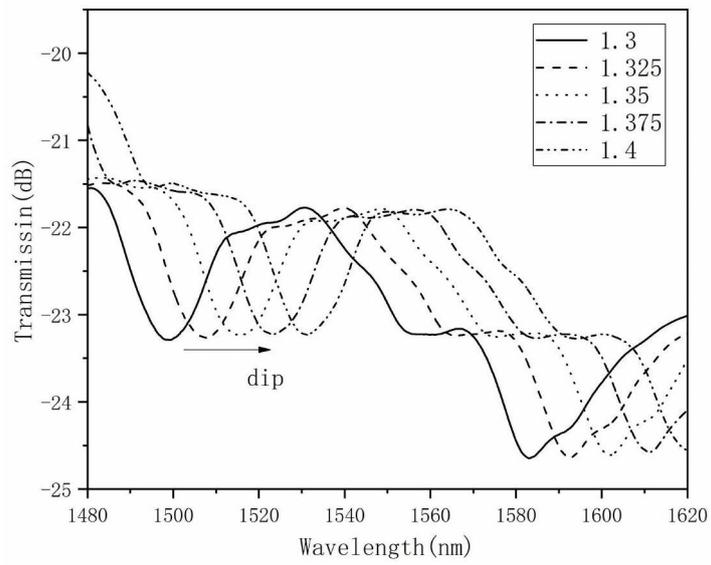


图5

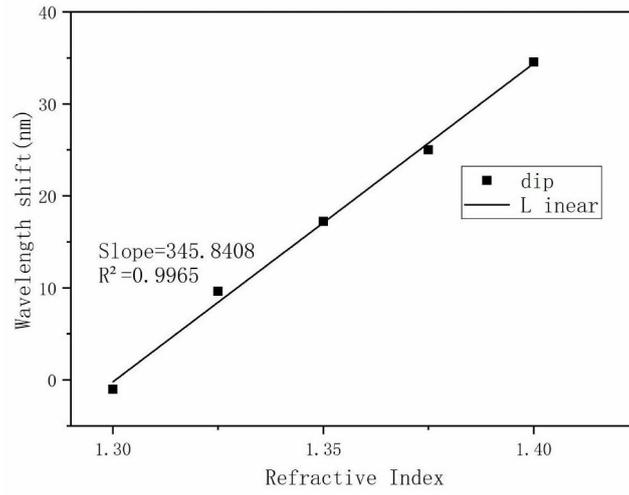


图6