

基于光纤锥和纤芯失配的 Mach-Zehnder 干涉湿度传感器

程君妮

Mach-Zehnder interferometer based on fiber taper and fiber core mismatch for humidity sensing

Cheng Jun-Ni

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 67, 024212 (2018) DOI: 10.7498/aps.20171677

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.20171677>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2018/V67/I2>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于综合特征的光纤周界安防系统高效入侵事件识别

High-efficiency intrusion recognition by using synthesized features in optical fiber perimeter security system

物理学报.2017, 66(12): 124206 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.124206>

基于游标效应的增敏型光纤法布里-珀罗干涉仪温度传感器

Sensitivity-enhanced temperature sensor with fiber optic Fabry-Perot interferometer based on vernier effect

物理学报.2017, 66(9): 094205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.094205>

光纤超声传感器及应用研究进展

Fiber-optic ultrasonic sensors and applications

物理学报.2017, 66(7): 074205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.074205>

面向地壳形变观测的超高分辨率光纤应变传感系统

Ultrahigh resolution fiber optic strain sensing system for crustal deformation observation

物理学报.2017, 66(7): 074208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.074208>

用于气象观测的阵列式温度传感器流体动力学分析与实验研究

Fluid dynamic analysis and experimental study of a temperature sensor array used in meteorological observation

物理学报.2016, 65(9): 094209 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.094209>

基于光纤锥和纤芯失配的Mach-Zehnder干涉湿度传感器*

程君妮[†]

(榆林学院能源工程学院, 榆林 719000)

(2017年7月21日收到; 2017年8月17日收到修改稿)

介绍了一种简单且灵敏度较高的Mach-Zehnder干涉湿度传感器. 将单模光纤和多模光纤渐变熔接光纤锥, 色散补偿光纤被熔接在两个多模渐变光纤之间, 形成了单模光纤-光纤锥-多模渐变光纤-色散补偿光纤-多模渐变光纤-光纤锥-单模光纤结构的传感器. 光纤锥起到了增加包层模能量的作用, 两个多模渐变光纤节点作为光耦合器, 从而形成光纤Mach-Zehnder干涉仪. 外界环境湿度的变化, 将使得传感器透射谱能量发生变化, 通过测量干涉谱波峰峰值能量实现对湿度的测量. 实验结果表明干涉谱波峰峰值能量与环境湿度之间存在良好的线性关系. 当环境湿度在35%RH—85%RH范围内变化, 一段由20 mm色散补偿光纤组成的传感器, 其灵敏度为 -0.0668 dB/%RH, 相关度为0.995. 该传感器结构紧凑、尺寸小、制造工艺简单, 这使其可以被广泛用于湿度测量.

关键词: 湿度传感器, 色散补偿光纤, 多模渐变光纤, Mach-Zehnder干涉仪

PACS: 42.81.Pa, 07.07.Df, 42.25.Hz

DOI: 10.7498/aps.67.20171677

1 引言

环境相对湿度(RH)是表示空气中绝对湿度与同温度下饱和绝对湿度的比值. 湿度测量在气象、农林业、生物化学、建筑、医疗卫生等领域中有着广泛的应用. 尤其在林业中, 湿度是林火预报重要的衡量指标之一, 空气中的水分含量是森林能否燃烧以及衡量林火蔓延速度的重要参数. 相对湿度越大, 可燃物水分吸收越快, 蒸发越慢, 越不容易发生火灾. 所以湿度的测量尤为重要^[1].

相比传统的电类湿度传感器, 光纤传感器具有响应速度快、体积小等独特优势, 而且可以实现分布式测量. 目前已经提出了多种不同结构的光纤湿度传感器, 包括基于法布里-珀罗原理的光纤湿度传感器^[2-5], 光纤布拉格光栅(FBG)测量法^[6,7]、基于Mach-Zehnder原理

的光纤(MZI)湿度传感器^[8,9], 长周期光纤光栅(LFPG)测量法^[10]等. Shao等^[11]提出一种基于单模光纤(SMF)-粗锥-SMF-粗锥-SMF结构的湿度传感器, 湿度在50%RH—90%RH范围内, 传感器灵敏度为 -0.047 nm/%RH, 但传感器制作实验条件难以控制, 同时未解决与温度交叉灵敏问题. Mather等^[12]提出基于反射式光子晶体光纤(PCF)干涉仪以测量湿度. 在40%RH—70%RH湿度范围内, 传感器灵敏度为 5.6 pm/%RH. 然而, 该传感器响应慢, 有超过1 min的时间响应. Zhang和Tao^[13]提出基于聚合物的布拉格光栅湿度传感器. 湿度在70%RH—95%RH范围内, 传感器灵敏度为 24 pm/%RH. 尽管在FBG表面涂覆聚合物, 对湿度显示出非常高的敏感堵, 但是响应却很慢. Liu等^[14]提出将传感器弯成S形以测量湿度. 在26.5%RH—95.2%RH范围内, 传感器灵敏度为 1.1718 nm/%RH. 然而未研究传感器被弯成不同S

* 陕西省榆林科学技术局产学研基金(批准号: 2015cxy-22)和陕西省榆林学院校内项目(批准号: JG-1527)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: jnchengylu@163.com

形时,对湿度的响应特征. Mathew等^[15]提出一种基于透射式PCF干涉仪,在其表面涂覆琼脂糖溶液以测量湿度.在14%RH—86%RH湿度范围内,传感器灵敏度为0.06 dB/%RH.尽管该传感器湿度灵敏度高,但是制造工艺十分复杂.张小康等^[16]提出了一种双包层单模光纤结构传感器,相对湿度在30%RH—100%RH范围内传感器光强变化接近9 dB,但是未研究聚甲基丙烯酸甲酯和聚偏氯乙烯不同比例混合时传感器对湿度响应特征.张芸山等^[17]提出一种基于光纤级联结构的湿度传感器.在湿度35%RH—95%RH范围内,该传感器灵敏度为-0.065 dB/%RH.然而未研究级联不同长度单模光纤的传感器对湿度响应差异.Yeo等^[18]提出往FBG表面涂覆热塑性聚酰亚胺材料以测量湿度灵敏度,该传感器具有秒量级响应时间.然而,FBG表面需要涂覆一层非常薄的涂层才能达到这个响应时间,从而降低了湿度灵敏度.Wu等^[19]提出一种单模光纤-细芯光纤-单模光纤结构的MZI传感器.湿度在80%RH—95%RH范围内,传感器透射谱波长漂移量大,但测量范围受到限制.

本文提出了一种单模光纤-光纤锥-多模渐变光纤-色散补偿光纤-多模渐变光纤-光纤锥-单模光纤结构的MZI湿度传感器.通过利用恒温恒湿试验机改变传感器外界环境湿度,引起传感器透射

光谱发生变化.并通过实验研究了温度对传感器透射谱的影响.实验结果表明该传感器灵敏度高、制作简单且易封装,因而具有用于测量湿度的潜在价值.

2 传感器制作和理论分析

图1为传感器结构示意图.该传感器是由商业熔接机制造.使用剥线钳去除渐变折射率多模光纤(GI MMF)涂覆层,用蘸有酒精的棉花反复擦洗,用光纤切刀将其切成两部分.将准备好的一部分GI MMF和SMF放入熔接机,在显微镜下调节成一条直线,调节熔接机参数并选择单模-多模(SM-MM)熔接程序,得到SM-GI MM光纤锥.经过多次错误调试和尝试,得到熔接光纤锥最优参数.设定的参数如下:首次放电强度+150,首次放电结束强度+120,预熔时间为300 ms,首次放电时间为1600 ms,Z推进距离为180 μm .按照同样的方法和熔接参数,得到另一个光纤锥.一段去除涂覆层的色散补偿光纤(DCF)熔接在两个GI MMF之间,构成了单模光纤-光纤锥-多模渐变光纤-色散补偿光纤-多模渐变光纤-光纤锥-单模光纤结构的MZI传感器.

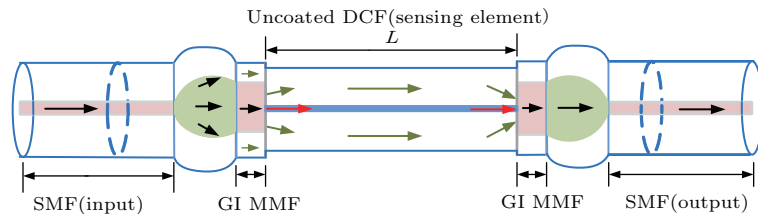


图1 传感器结构示意图

Fig. 1. Schematic diagram of the proposed sensing.

图2(a)为使用该熔接参数制作的光纤锥实物照片.经过多次实验,得到的光纤锥长度维持在372—396 μm 范围内,直径在160—172 μm 范围内变化,且重复性较好.相比较标准SM和GI MM光纤(直径125 μm),被制造的光纤锥直径更大.图2(b)是DCF实物图,图3为GI MMF光纤锥接入和未接入传感器时的透射谱.从图3中可以看到,将GI MMF光纤锥接入传感器,透射谱周期明显增加,且条纹对比度更加明显.这是因为光纤锥和GI MMF增大了光的发散角,从而使更多的光进入下一段色散补偿光纤包层中,增加包层模能量,

有利于提高干涉条纹的对比度.因此,两个GI MM光纤节点作为光耦合器.光从宽带光源发出,通过SMF与GI MMF第一个光纤锥节点时,一部分光会耦合进GI MMF纤芯中,一部分光进入到GI MMF包层中.在GI MMF传输的光经过DCF时,由于纤芯失配等原因,一部分光耦合进入DCF纤芯中传输,一部分光耦合进入DCF包层中传输,激发包层模产生.在DCF与GI MMF第二个熔接节点处,包层模与纤芯基模相遇并耦合.由于纤芯和包层有效折射率不同,造成两束光产生相位差,由此发生干涉现象. L 表示DCF长度.

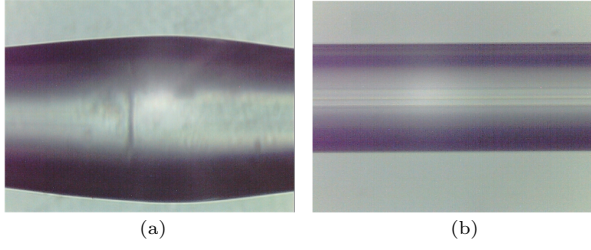


图2 (a) 光纤锥实物照片; (b) DCF 实物图
Fig. 2. The photograph of (a) the waist-enlarged fiber taper and (b) DCF.

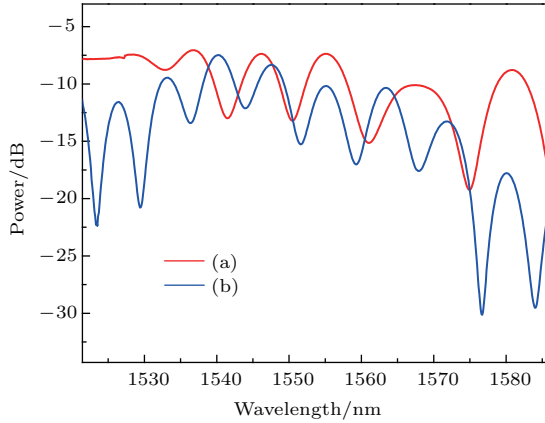


图3 (a) 未接入 GI MMF 光纤锥的透射谱; (b) 接入 GI MMF 光纤锥的透射谱
Fig. 3. The transmission spectra from the MZI (a) without and (b) with the graded-index multimode fiber.

传感器透射谱能量可以表示为^[20]

$$I = I_{\text{core}} + \sum_m I_{\text{cladding}}^m + \sum_m 2\sqrt{I_{\text{core}} I_{\text{cladding}}^m} \times \cos \left[\frac{2\pi(n_{\text{eff}}^{\text{core}} - n_{\text{eff}}^{\text{cladding},m})}{\lambda} \cdot L \right], \quad (1)$$

其中 I , I_{core} 和 I_{cladding}^m 为透射谱总光强、纤芯模光强和第 m 阶包层模光强; λ 为中心波长; L 为传感器长度; $n_{\text{eff}}^{\text{core}}$ 和 $n_{\text{eff}}^{\text{cladding},m}$ 为纤芯模和第 m 阶包层模有效折射率.

当光通过传感器时, 由于光纤纤芯和包层折射率不同, 在纤芯和包层传输的两束光经过传感器后产生相位差. 当干涉谱能量达到最大值时, 相位差 $\Delta\vartheta$ 可表示为^[21]

$$\Delta\vartheta = \frac{2\pi\Delta n_{\text{eff}} \cdot L}{\lambda} = 2k\pi, \quad (2)$$

其中 k 为整数, $\Delta n_{\text{eff}} = n_{\text{eff}}^{\text{core}} - n_{\text{eff}}^{\text{cladding},m}$ 为产生干涉的传导模有效折射率差. 两个干涉谱条纹之间的间隔表示为^[22]

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta n \cdot L}. \quad (3)$$

从 (3) 式中可以看到, 两干涉条纹之间的距离随着传感臂长度 L 的增加而减少.

当传感器外界温度恒定, 湿度发生变化时, 对 (1) 式求导, 即得到相对湿度灵敏度计算公式^[17]:

$$\begin{aligned} & \frac{dI}{d(\text{RH})} \\ &= \frac{d \sum_m I_{\text{cladding}}^m(\text{RH})}{d(\text{RH})} \\ &+ \sum_m [I_{\text{core}} I_{\text{cladding}}^m(\text{RH})]^{-\frac{1}{2}} \\ &\times \frac{I_{\text{core}} dI_{\text{cladding}}^m(\text{RH})}{d(\text{RH})} \\ &\times \cos \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} [n_{\text{eff}}^{\text{core}} - n_{\text{eff}}^{\text{cladding},m}(X)] \cdot L \right\} \\ &+ \sum_m \sqrt{I_{\text{core}} I_{\text{cladding}}^m(\text{RH})} \\ &\times \sin \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} [n_{\text{eff}}^{\text{core}} - n_{\text{eff}}^{\text{cladding},m}(\text{RH})] \cdot L \right\} \\ &\times \frac{4\pi}{\lambda} \cdot L \cdot \frac{dn_{\text{eff}}^{\text{cladding}}(\text{RH})}{d(\text{RH})}. \end{aligned} \quad (4)$$

随着环境中湿度逐渐增大, 传感器外部空气折射率逐渐增大, 导致包层有效折射率会增大, 根据消逝波原理向外辐射的能量增多, 导致包层模光强 I_{cladding}^m 减少, 而纤芯模光强 I_{core} 不变, 所以传感器透射谱光强减少. 通过监测光强 I 变化, 可以检测出空气中湿度的大小.

实验中使用纤芯直径 $4.65 \mu\text{m}$ 、包层直径 $120 \mu\text{m}$ 的色散补偿光纤、纤芯直径 $50 \mu\text{m}$ 、包层直径 $125 \mu\text{m}$ 的多模渐变光纤. 使用商业熔接机在两个 GI MM 光纤之间熔接一段 DCF, 得到 MZI 传感器. 调整 DCF 长度, 得到不同长度的 MZI 传感器, 如图 4 所示. 其中 GI MMF 长 4 mm . 从图 4 中可以看到干涉谱周期性十分明显, 且条纹消光比较大, 达到 10 dB 以上, 满足实际测量要求. 当 DCF 长度增加时, 条纹自由光谱范围 (FSR) 在减少, 与 (3) 式理论分析一致.

为进一步理论分析, 对透射谱进行快速傅里叶变换, 得到相应的傅里叶空间频谱, 如图 5 所示. 空间频谱 ε 关系为^[20]

$$\varepsilon = \Delta m_{\text{eff}} \cdot L / \lambda^2, \quad (5)$$

其中 $\Delta m_{\text{eff}} = \Delta n_{\text{eff}} - \lambda_0 \frac{\partial}{\partial \lambda} \Delta n_{\text{eff}}$ 是由于模间色散引起的有效折射率差. 从 (5) 式中看到, 当中心波

长 λ 一定时, 空间频谱 ϵ 与有效折射率差 Δm_{eff} 和干涉臂长度 L 成正比. 从图5中可以看到, 不同长度的MZI空间频谱存在数个峰值, 说明有多个模式参与了干涉. 但每个频谱中存在一个非常明显的主峰, 对应的值分别是 0.0497 nm^{-1} 和 0.0749 nm^{-1} . 同时还存在一些较低的峰值, 而且所对应的频率大

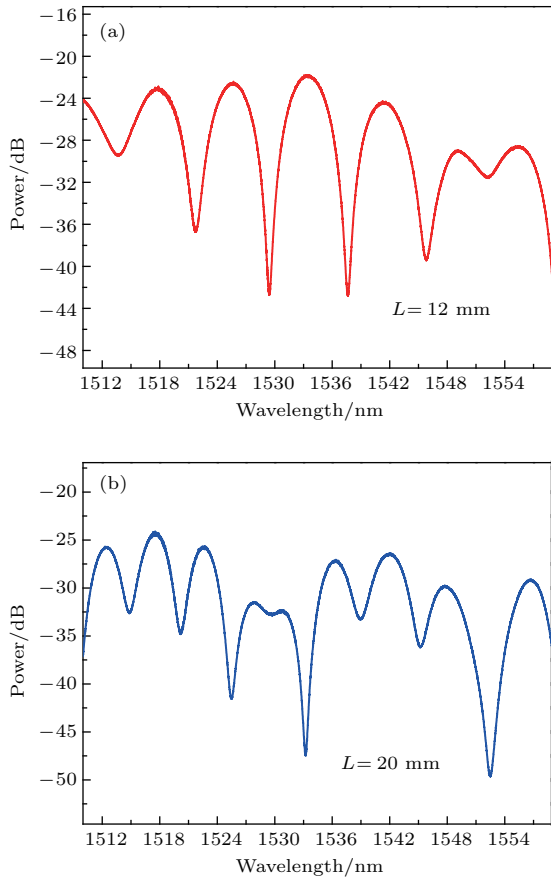


图4 MZI透射谱 (a) S-1; (b) S-2
Fig. 4. Interference patterns of the fabricated MZI: (a) S-1; (b) S-2.

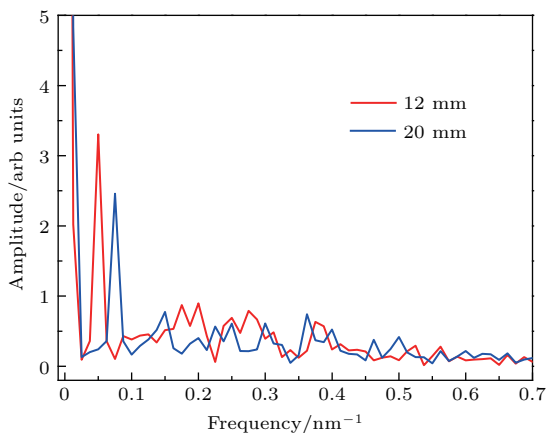


图5 传感器在空气中透射谱的空间谱
Fig. 5. Spatial frequency spectrum of the sensor in the air.

于主峰对应的频率, 说明产生干涉的过程中, 干涉模式十分稳定. 从图5中可见传感器S-2比传感器S-1的空间频率大, 这是因为传感器S-2比S-1有更长的干涉长度. 根据(5)式可知, 传感器S-2比传感器S-1空间频率大, 与实验结果一致. 由于高阶包层模对应较高的空间频率, 所以对模间干涉起主要作用的是低阶包层模. 因此, 可以认为该传感器的干涉图样主要是由一个激发的低阶包层模和基模干涉形成.

3 实验与结果分析

图6为湿度和温度实验装置图. 传感器S-1和S-2被放置在密闭容器中, 用来测量湿度. 它由宽带光源(BBS, Lightcomm, ASE-CL)、恒温恒湿控制器(RH Chamber, Wewon, WHTH-225L)和光谱分析仪(OSA, Anritsu, MS9740 A)组成. 由于弯曲损耗会造成MZI透射损耗, 所以, 传感器被拉直且固定在树脂玻璃上. 树脂玻璃上有气孔分布, 可以允许水分子通过. 传感器头尾端通过单模光纤连接到BBS和OSA. 恒温恒湿控制器湿度和温度测试范围是20%RH—98%RH和 -20 — $150 \text{ }^\circ\text{C}$, 测量误差 $\pm 1\% \text{RH}$ 和 $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

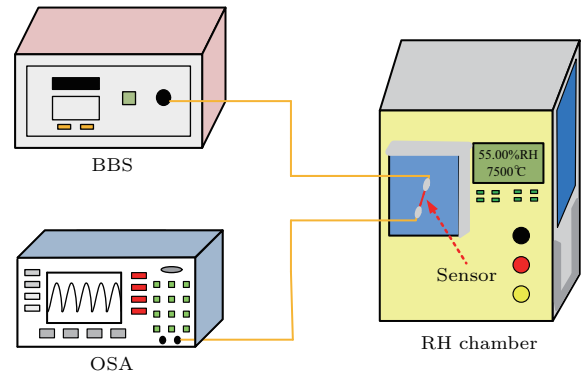


图6 实验装置图
Fig. 6. The schematic diagram of the relative humidity measuring system.

图7为不同湿度条件下传感器S-1和S-2的测量光谱. 实验中传感器S-1和S-2分别选取中心波长 1525.9 nm 和 1517.5 nm 处的波峰作为监测对象. 不同颜色的线型代表不同湿度. 温度恒定在 $35 \text{ }^\circ\text{C}$, 湿度从35%RH—85%RH每10%RH改变一次, 记录监测点所对应的能量. 从图中可以看到, 随着空气湿度不断增加, 传感器S-1和S-2有相同的变化趋势, 监测点能量逐渐减小, 最大变化达到了

3.17 dB和3.36 dB; 波长发生红移, 最大漂移量分别为0.13 nm和0.22 nm, 这与理论分析一致. 由于干涉谱峰值能量的变化比峰值波长变化明显, 且灵敏度更高, 便于测量.

外界温度改变, 同样也会引起透射光谱发生漂移. 在恒定湿度条件下, 当外界温度升高, 空气中水分子含量会减少, 因此, 测量湿度时也应考虑温度. 本文对传感器的温度响应做了实验研究. 实

验中传感器S-1和S-2仍选取中心波长1525.9 nm和1517.5 nm处的波峰作为监测对象. 将传感器传感部分悬空置于温箱之中, 然后加热. 湿度恒定在35%RH, 温度从35—85 °C每10 °C改变一次. 图8是不同温度下传感器S-1和S-2透射光谱. 从图中可见, 随着温度不断升高, 监测点波长发生红移, 分别漂移了1.51 nm和1.62 nm; 而波峰能量分别变化了0.12 dB和0.16 dB, 基本保持不动.

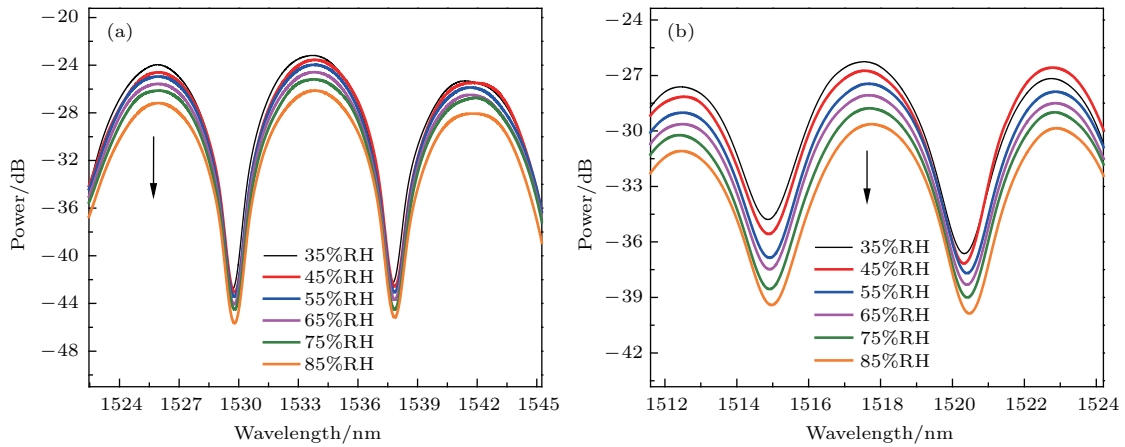


图7 不同湿度下传感器透射光谱 (a) S-1; (b) S-2

Fig. 7. The spectral responses of the sensor with different RHs: (a) S-1; (b) S-2.

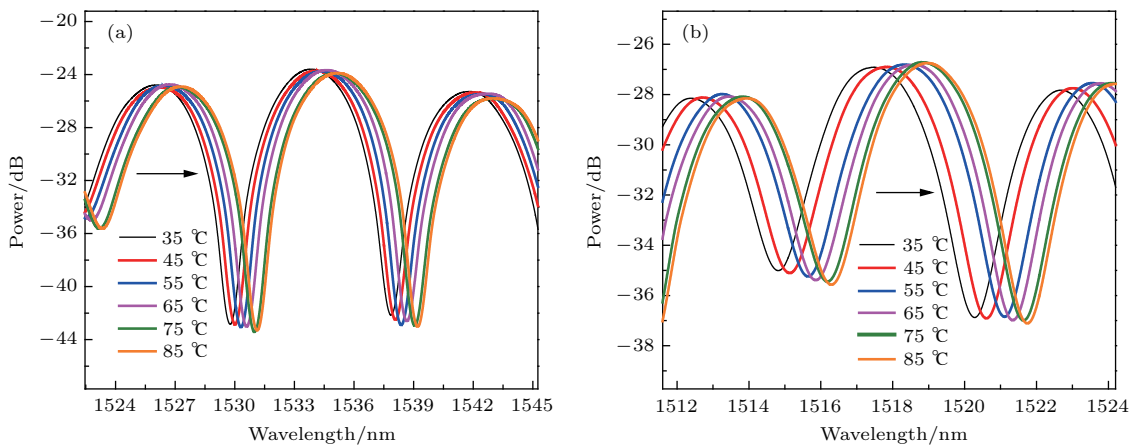


图8 传感器在不同温度下的透射光谱 (a) S-1; (b) S-2

Fig. 8. The spectral responses of the sensor with the temperature increasing: (a) S-1; (b) S-2.

图9(a)和(b)是传感器S-1和S-2监测点能量与湿度的变化关系. 从图中可以看到, 随着湿度不断增加, 监测点能量减少, 对应灵敏度分别为-0.0585 dB/%RH和-0.0668 dB/%RH, 相关度为0.987和0.995, 说明传感器波峰能量漂移量与湿度变化呈良好的线性关系. 比文献[17, 20]中的湿度灵敏度低而高于文献[21]的结构灵敏度. 在相同湿度变化范围内高于文献[23]的结构灵敏度.

图9(c)和(d)是在不同温度下传感器的透射谱响应. 随着温度升高, 透射谱发生红移, 而能量变化幅度不大. 这是由于热膨胀和热光效应使传感器长度增长和有效折射率差增大, 透射谱发生红移; 而传感器干涉谱漂移量较小, 所以对干涉模式间能量调制不明显. 传感器S-1和S-2温度灵敏度分别为30.7 pm/°C和33.1 pm/°C, 相关度为0.988和0.983. 而在波峰处能量几乎保持不变.

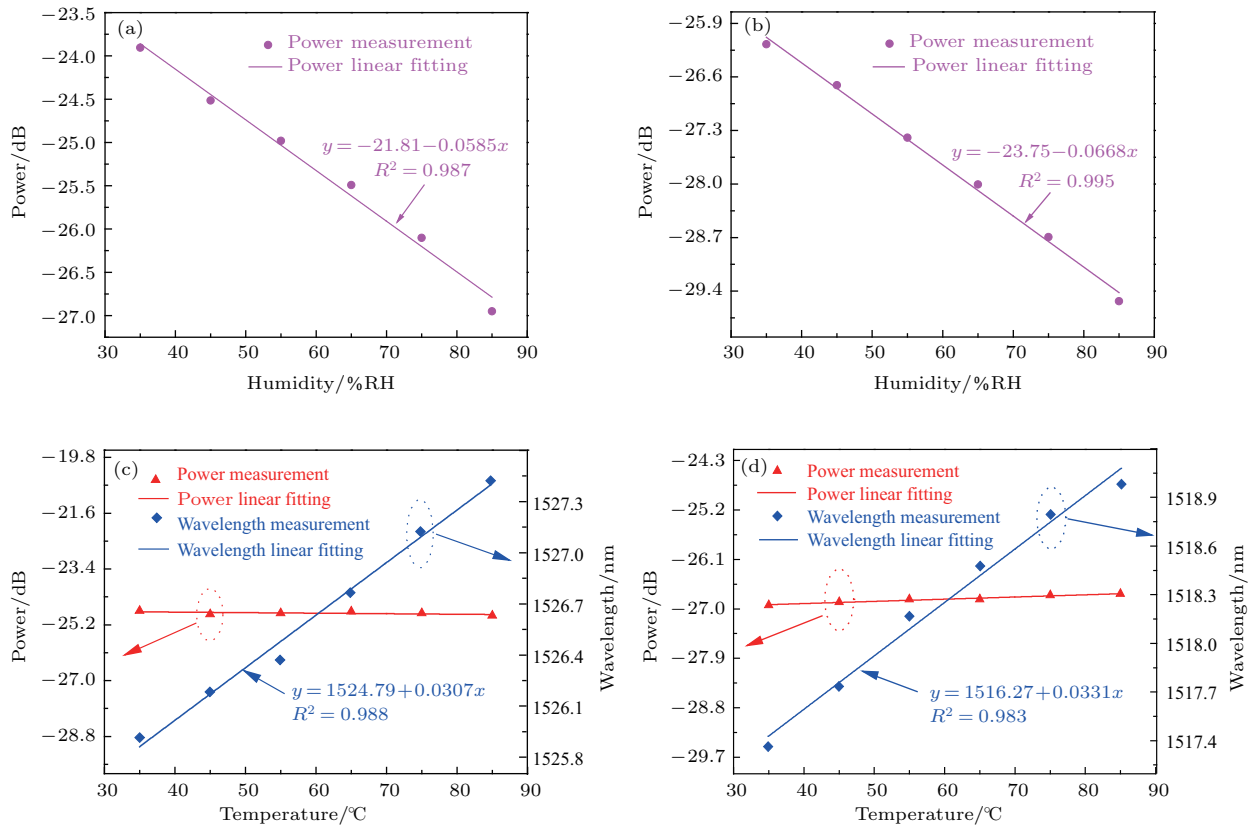


图9 波峰能量与湿度变化关系 (a) S-1; (b) S-2; (c), (d) 分别为 (a), (b) 的温度响应

Fig. 9. Relationship between peak power variation and surrounding RH of different sensors: (a) S-1; (b) S-2; (c), (d) are the temperature response of (a), (b) respectively.

4 总 结

提出了一种基于光纤锥级联纤芯失配的MZI传感器. 通过监测干涉谱能量变化实现对湿度的测量. 单模光纤和多模渐变光纤熔接光纤锥, 色散补偿光纤被夹在两个多模渐变光纤, 构成了单模光纤-光纤锥-多模渐变光纤-色散补偿光纤-多模渐变光纤-光纤锥-单模光纤结构的MZI湿度传感器. 对该传感器传光理论进行了分析, 研究了对环境湿度变化的传感特性. 实验结果表明, 透射光谱能量随湿度增大而减少, 环境湿度在35%RH—85%RH范围内变化, 一段由20 mm色散补偿光纤组成的传感器, 其湿度灵敏度为-0.0668 dB/%RH, 相关度为0.995. 该传感器制造容易、成本低、灵敏度较高, 而且没有涂覆任何吸湿增敏材料, 因此, 它可以成为一个实际测量湿度候选传感器.

参考文献

[1] Kolpakov S A, Gordon N T, Mou C B, Zhou K M 2014 *Sensors* **14** 3986

[2] Xu W, Huang W B, Huang X G, Yu C Y 2013 *Opt. Fiber Technol.* **19** 583

[3] Xie W J, Yang M, Cheng Y, Li D, Zhang Y, Zhuang Z 2014 *Opt. Fiber Technol.* **20** 314

[4] Sun H, Zhang X, Yuan L, Zhou L, Qiao X, Hu M 2014 *IEEE Sens. J.* **15** 2891

[5] Su D, Qiao X G, Rong Q Z, Sun H, Zhang J, Bai Z Y, Du Y Y, Feng D Y, Wang Y P, Hu M L, Feng Z Y 2014 *Opt. Commun.* **311** 107

[6] Lin Y, Gong Y, Wu Y, Wu H 2015 *Photon. Sens.* **5** 60

[7] Kronenberg P, Rastogi P K, Giaccari P, Limberger H G 2002 *Opt. Lett.* **27** 1385

[8] Shao M, Qiao X, Fu H, Zhao N, Liu Q, Gao H 2013 *IEEE Sens. J.* **13** 2026

[9] Lokman A, Arof H, Harun S W, Harith Z, Rafaie H A, Nor R M 2016 *IEEE Sens. J.* **16** 312

[10] Yu X J, Zhang J T, Chen X F, Liu S C 2014 *Adv. Mater. Res.* **981** 616

[11] Shao M, Qiao X, Fu H W 2013 *IEEE Sens. J.* **13** 2026

[12] Mather J, Semenova Y, Rajan G, Farrell G 2010 *Electron. Lett.* **46** 1341

[13] Zhang Z F, Tao X M 2012 *J. Lightwave Technol.* **30** 841

[14] Liu H F, Miao Y P, Liu B, Lin W, Zhang H, Song B B, Huang M G, Lin L 2015 *IEEE Sens. J.* **15** 3424

[15] Mathew J, Semenova Y, Farrell G 2012 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **18** 1553

- [16] Zhang X K, Ye X Q, Chen Z D 2011 *Acta Opt. Sin.* **31** 33 (in Chinese) [张小康, 叶晓靖, 陈志东 2011 光学学报 **31** 33]
- [17] Zhang Y S, Qiao X G, Shao M, Fu H W, Zhao N 2015 *Acta Photon. Sin.* **44** 115 (in Chinese) [张芸山, 乔学光, 邵敏, 傅海威, 李辉栋, 赵娜 2015 光子学报 **44** 115]
- [18] Yeo T L, Sun T, Grattan K T V, Parry D, Lade R, Powell B D 2005 *IEEE Sens. J.* **5** 1082
- [19] Wu Q, Semenova Y L, Mathew J 2011 *Opt. Lett.* **36** 1752
- [20] Shao M, Qiao X G, Fu H W, Li H D, Zhao J L, Li Y A 2014 *Opt. Laser Technol.* **52** 86
- [21] Liu N, Hu M L, Sun H, Gang T T, Yang Z H, Rong Q Z, Qiao X G 2016 *Opt. Commun.* **367** 1
- [22] Yan X, Fu H W, Li H D, Qiao X G 2016 *Chin. Opt. Lett.* **14** 030603
- [23] Huan X F, Sheng D R, Cen K F, Zhou H 2007 *Sensors Actuat. B: Chem.* **127** 518

Mach-Zehnder interferometer based on fiber taper and fiber core mismatch for humidity sensing*

Cheng Jun-Ni[†]

(School of Energy Engineering, Yulin University, Yulin 719000, China)

(Received 21 July 2017; revised manuscript received 17 August 2017)

Abstract

A simple and high sensitivity optical fiber relative humidity (RH) sensor based on Mach-Zehnder interferometer (MZI) is proposed and demonstrated in this paper. A single-mode fiber and a graded-index multimode fiber are connected by a fiber taper to form a section. Then an uncoated dispersion compensation fiber is sandwiched between two short sections of the graded-index multimode fiber. Therefore, a sensing structure is set up as a single-mode fiber-taper fiber-graded-index multimode fiber-dispersion compensation fiber-graded-index multimode fiber-taper laser-single-mode fiber. The taper fiber is used to augment the energy of the cladding mode. The two nodes of the graded-index multimode fiber can be looked as a mode coupler. Thus an MZI is constructed. Since the external RH change can make the transmission spectrum energy changed, we can obtain the RH by detecting the peak energy variation of the interference pattern induced by the evanescent-field interaction. The experimental results show that the peak energy changes linearly with surrounding relative humidity. Under the condition of 35%RH–85%RH, the sensitivity of the sensor with a 20 mm dispersion compensation fiber is -0.0668 dB/%RH and the linearity is 0.995. Moreover, temperature response characteristics are investigated. Experimental results suggest that the transmission spectrum energy of the sensor is insensitive to temperature. With temperature increasing, the transmission spectrum presents obviously a red-shift, yet the peak energy of the monitoring point barely moves, which demonstrates its potential for measuring simultaneously RH and temperature. The proposed sensor has a small size and simple manufacturing process, which can make it widely used to measure RH.

Keywords: humidity sensors, dispersion compensation fiber, graded-index multimode fiber, Mach-Zehnder interferometer

PACS: 42.81.Pa, 07.07.Df, 42.25.Hz

DOI: 10.7498/aps.67.20171677

* Project supported by the Research Foundation of Science and Technology Board of Yulin, Shaanxi, China (Grant No. 2015cxy-22) and the Fundamental Research Funds for Yulin University, China (Grant No. JG-1527).

† Corresponding author. E-mail: jnchengylu@163.com