

激光与光电子学进展

基于边孔光纤耦合器与局域化光纤光栅级联的光传感器(特邀)

何智明^{1,2}, 彭庆幸^{1,2}, 王裕鑫^{1,2}, 翁祥欣^{1,2}, 方浩锐^{1,2}, 陈文涛^{1,2}, 刘德军^{1,2}, 廖常锐^{1,2}, 王英^{1,2*}, 王义平^{1,2}¹深圳大学射频频异质异构集成全国重点实验室, 光电子器件与系统教育部/广东省重点实验室, 深圳市超快激光微纳制造重点实验室, 广东 深圳 518060²深圳大学物理与光电工程学院广东省光纤传感技术粤港联合研究中心, 广东 深圳 518060

摘要 提出一种基于边孔光纤耦合器级联局域化光纤光栅的光传感器。边孔光纤耦合器采用四氯化碳选择性填充法制备, 边孔光纤纤芯与所填充的四氯化碳液柱构成波导耦合结构, 室温下其耦合波长在 1800~2100 nm 范围内。当温度升高时, 四氯化碳折射率改变导致耦合波长发生红移, 温度灵敏度高达 49.5 nm/°C。利用四氯化碳溶液的光热效应, 该耦合器可用于光传感, 灵敏度达 0.114 nm/(mW·cm⁻²)。局域化光纤光栅采用飞秒激光逐点法制备, 基模谐振波长为 1939 nm, 高阶模谐振波长从基模处扩展至 1643 nm。利用局域化光纤光栅的梳状谱特征, 将该器件与边孔光纤耦合器级联可实现强度解调的光传感, 灵敏度达 0.033 dB/(mW·cm⁻²)。级联结构的光传感器具有灵敏度高、解调方法简单的优势, 在光传感和光通信领域具有较好的应用前景。

关键词 光传感器; 边孔光纤; 四氯化碳; 局域化光纤光栅

中图分类号 O436

文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP251510

Light Sensor Based on Cascaded Side-Hole Fiber Coupler and Localized Fiber Bragg Grating (Invited)

He Zhiming^{1,2}, Peng Qingxing^{1,2}, Wang Yuxin^{1,2}, Weng Xiangxin^{1,2}, Fang Haorui^{1,2},
Chen Wentao^{1,2}, Liu Dejun^{1,2}, Liao Changrui^{1,2}, Wang Ying^{1,2*}, Wang Yiping^{1,2}¹National Key Laboratory of RF Heterogeneous Integration, Key Laboratory of Optoelectronic Devices and Systems of Ministry of Education/Guangdong Province,

Shenzhen Key Laboratory of Ultrafast Laser Micro-Nano Manufacturing, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, China;

²Guangdong and HongKong Joint Research Centre for Optical Fibre Sensors, College of Physics and Optoelectronic Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, China

Abstract This paper proposes a light sensor based on a cascaded side-hole fiber coupler and localized fiber Bragg grating. The side-hole fiber coupler is fabricated using a selective carbon tetrachloride (CCl₄) filling method. Within this structure, the fiber core and the filled CCl₄ liquid column constitute an optical waveguide coupling structure, exhibiting a coupling wavelength within the 1800–2100 nm range at room temperature. As temperature increases, the refractive index change of CCl₄ induces a red shift in the coupling wavelength, achieving a high temperature sensitivity of 49.5 nm/°C. Exploiting the photothermal effect of the CCl₄ solution, this coupler functions as an optical intensity sensor with a sensitivity of 0.114 nm/(mW·cm⁻²). The localized fiber Bragg gratings are fabricated using a femtosecond laser point-by-point technique. The fundamental mode resonance occurs at 1939 nm, while higher-order mode resonances extend from the fundamental mode wavelength down to 1643 nm. Leveraging the comb-like spectrum characteristics of the localized fiber Bragg gratings, cascading this device with the side-hole fiber coupler enables intensity-demodulated optical sensing, yielding a sensitivity of 0.033 dB/(mW·cm⁻²). The cascaded light sensor demonstrates advantages of high sensitivity and a simplified demodulation process, showing

收稿日期: 2025-06-20; 修回日期: 2025-07-28; 录用日期: 2025-08-21; 网络首发日期: 2025-08-26

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFE0111400)、国家自然科学基金(62475170)、广东省自然科学基金(2023A1515012893)、深圳市基础研究计划(JCYJ20220818095615034)

通信作者: *yingwang@szu.edu.cn

promising application potential in optical sensing and communication fields.

Key words optical sensor; side-hole fiber; carbon tetrachloride; localized fiber grating

1 引言

光纤传感器具有尺寸小、灵活性高、抗腐蚀等优势^[1-3],能够弥补传统电学传感器的短板,因此得到广泛应用。微结构光纤是一种内部结构尺寸达到微纳米量级的新型光纤^[4-5],得益于其本身结构的多样性,微结构光纤传感器能更好适应现代技术对高灵敏度、微型化的需求。边孔光纤(SHF)作为一种新型微结构光纤^[6],包层内具有沿着光纤轴线对称分布的两个空气孔。凭借独特的端面结构,其非常适用于一些新型光纤传感器的开发。特别地,光纤光强传感器凭借其电磁抗扰好、结构集成度高的特点^[7],得到广泛研究。2010年, Kim等^[8]报道了基于偶氮苯涂层的光纤布拉格光栅传感器,其平均灵敏度达 $0.00288 \text{ nm}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。次年, Chen等^[9]利用液晶光敏混合物研制了微光纤环谐振器传感器,光强变化引起折射率改变并导致谐振波长偏移,灵敏度为 $0.003 \text{ nm}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。2015年, Liu等^[10]提出了一种基于乙基橙光敏性的 Mach-Zehnder干涉仪传感器,实现了光功率检测,其光强灵敏度达到 $0.02576 \text{ nm}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。可见,光纤光传感器依旧存在灵敏度低的问题。

得益于光纤传感器的结构兼容性与可集成性,将多个功能化器件级联构成复合传感结构,可显著提升系统灵敏度、拓展探测范围并实现多参数测量。例如, 2020年, Xie等^[11]将两个锥形双模光纤级联起来,在 $25\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ 的温度范围内表现出 $3.348 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 的高温度灵敏度,相比于单个锥形双模光纤传感器,灵敏度提升约11.3倍。2024年, Wang等^[12]提出了一种基于表面改性 ZIF-8 级联锥形光纤传感器,将两根具有相似自由光谱范围的锥形光纤级联起来,利用其产生的游标效应显著增强了折射率传感性能,灵敏度可达到 $18366.17 \text{ nm}/\text{RIU}$ 。同年, Liu等^[13]通过在 Sagnac 环内级联锥形保偏光纤和布拉格光栅,利用光纤布拉格光栅(FBG)提供温度补偿,实现对盐度与温度的双参数测量。然而,目前报道的此类级联式光纤传感器大多依赖于波长解调技术,对检测设备的分辨率要求高,存在设备成本高昂、响应范围受限等问题。而局域化光纤光栅(loFBG)具有超宽光谱特性,通过与传感器级联能显著增加光谱的调制信息,降低所需测量仪器的分辨率,为解决上述问题提供了新途径。loFBG指调制点被局限在纤芯很小区域的光栅^[14],其调制点分布不均匀,向前传输的纤芯模式能耦合到向后传输的包层模式^[15],同时能激发高阶的方位角模式,从而形成具有超宽光谱特性的复杂谐振响应,适用于微小折射率变化环境的高灵敏度测量^[16-17]。

loFBG的多个离散反射峰与传感器的光谱特征叠加时,所产生的复合光谱能够同时保留两者的光谱信息。这一特性将有效测量范围从单一谐振波长显著扩展至整个谐振包络区域,为器件的强度解调提供了有利条件。

综上,本文提出一种边孔光纤耦合器级联局域化光纤光栅的光纤光传感器。该传感器将四氯化碳(CCl_4)液体选择性填入边孔光纤的空气孔中, CCl_4 是一种无色透明液体,其折射率对温度敏感,且具有较大的热光系数^[18-19]。孔中液态波导与光纤纤芯波导相互耦合。当满足相位匹配条件时^[20],纤芯中特定波长的光将耦合到液态波导中,形成耦合峰。光强灵敏度高达 $0.114 \text{ nm}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。进一步地,将SHF耦合器与loFBG级联,利用loFBG光谱中密集分布的多谐振峰与耦合峰的光谱叠加效应,在特定波长区间形成具有陡峭斜率的复合谐振凹陷。通过检测凹陷内谐振峰的振幅变化实现传感,灵敏度为 $0.033 \text{ dB}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。该方案不仅提升了光强灵敏度,还为光纤耦合器件的解调方式提供了新的思路。

2 传感器的制备与仿真

2.1 边孔光纤耦合器

实验中填充的SHF购于长盈通光电技术有限公司,与单模光纤(SMF)直径相同,SHF直径为 $125 \mu\text{m}$,纤芯直径为 $10 \mu\text{m}$,光纤端面空气孔直径为 $36 \mu\text{m}$,纤芯中心到其中一个空气孔中心的距离为 $26 \mu\text{m}$ 。 CCl_4 填入边孔光纤的流程如图1(a)所示,为方便操作,选用长度为 10 cm 的SHF进行填充。具体步骤如下:将端面切割平整的边孔光纤置于熔接机左侧,调节端面至视场,手动旋转SHF使两空气孔平行于视场;再将涂有紫外固化胶的单模光纤置于右侧,利用熔接机马达将SMF与SHF错位约 $30 \mu\text{m}$,使带胶SMF仅对准其中一个空气孔;轻移SMF,使紫外胶接触孔口,时间不宜过长,防止胶液进入另一孔。封堵后,用紫外灯固化。如图1(b)所示,封堵完成的SHF端面上,被堵孔因紫外胶反光而显亮。

将固化后的SHF垂直插入盛有 CCl_4 的烧杯,利用毛细作用使未堵孔充满液体,如图1(c)所示,可见下方孔已充满,上方孔仍空。为获得透射光谱,截取 1 cm 已填充的SHF,此时耦合峰对比度较大^[21],两端熔接SMF并密封。随后将SMF分别连接光源(YSL, SC-5)和光谱仪(Yokogawa, AQ6375B),该光谱仪可检测 $1200\sim 2400 \text{ nm}$ 范围的光。

1 cm SHF耦合器的透射光谱如图2所示。在 $1700\sim 2100 \text{ nm}$ 的范围内,由于光纤内纤芯波导与

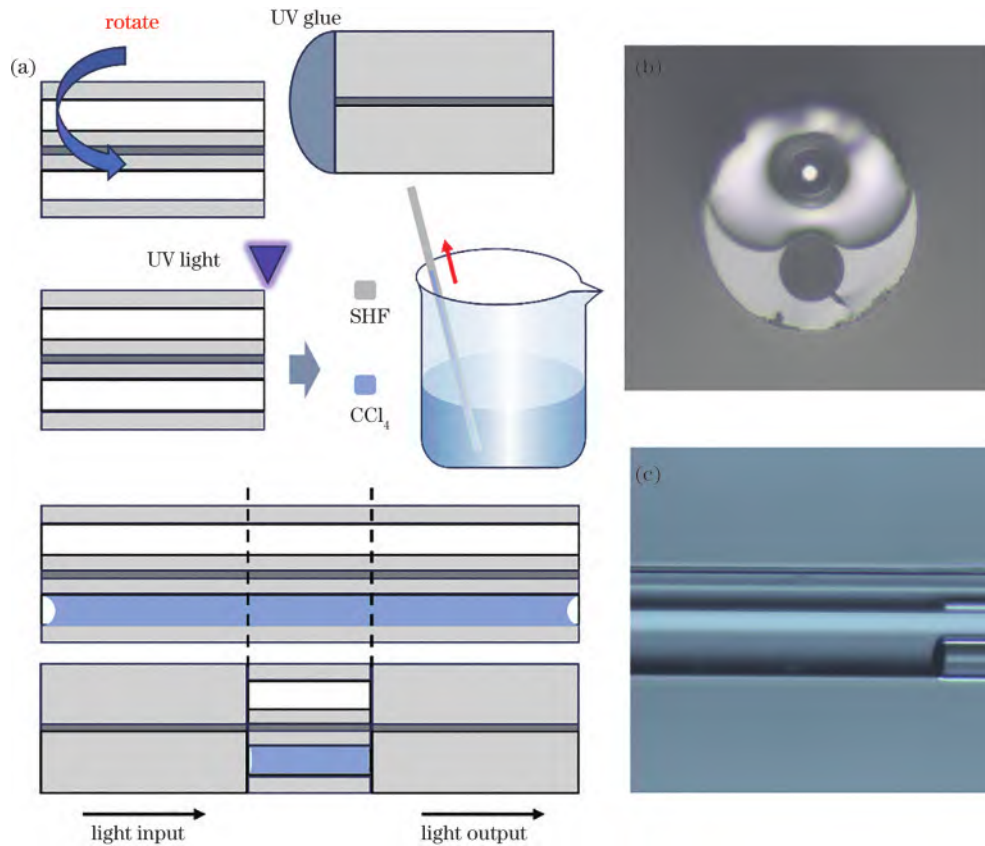


图1 SHF 耦合器件制造过程。(a)涂胶与填充工艺;(b)涂胶后 SHF 端面图;(c)填充后 SHF 侧面图
Fig. 1 Fabrication process of the SHF coupling device. (a) Gluing and filling process; (b) end view of the SHF after gluing; (c) cross-sectional view of the SHF after cavity filling

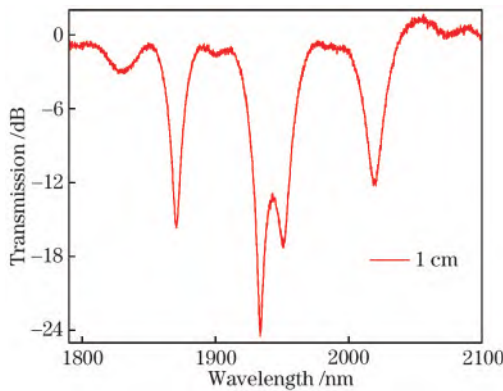


图2 耦合器透射光谱图
Fig. 2 Transmission spectrum of the coupler

CCl_4 的液体波导共同组成了波导耦合结构,产生多个损耗峰,对比度达到 10 dB 以上。

为进一步深入研究边孔光纤耦合器的传感机理,采用有限元分析方法构建了填充 CCl_4 液体的边孔光纤结构模型。通过设置材料参数,系统分析了光纤模式的耦合特性。通过仿真计算得到的边孔光纤与 CCl_4 的色散特性曲线如图 3(a)所示。仿真结果表明,当光纤基模与液柱波导模式的有效折射率一致时,在特定波长位置出现显著模式耦合。25 °C 标准环境温度下,纤芯模式与液柱波导模式存在多个

交点,各交点间距与实验用边孔光纤耦合器耦合峰间隔对应良好。

为探究温度响应特性,仿真分析了温度变化对两条色散曲线的影响。图 3(b)给出 25 °C 与 27 °C 时纤芯基模与液柱 LP_{41} 模式的色散曲线对比,器件温度灵敏度达 57.6 nm/°C。

2.2 飞秒激光局域化光纤光栅

本研究中所有 loFBG 均基于标准 SMF 制备。为确保微加工精度,采用高精度空气轴承运动平台 (Aerotech, ABL1000) 夹持并精密操控光纤样品。飞秒激光加工系统核心光源为 Vibre Koyuan 飞秒激光器,其输出脉冲中心波长为 1030 nm,经二倍频晶体转换后获得 515 nm 加工波长,脉冲重复频率为 1 MHz,脉宽为 310 fs,单脉冲能量为 70 nJ。制备流程如下: 1) 将 SMF 的聚合物涂覆层去除,经无水乙醇清洁后固定; 2) 利用数值孔径 (NA) 为 1.32 的 100× 油浸物镜将激光脉冲聚焦于光纤纤芯内部,实现局部折射率调制; 3) 设定加工参数,刻写长度为 10 mm,扫描速度为 0.1 mm/s,横向偏移为 2 μm 。

loFBG 透射光谱如图 4 所示,光谱具备清晰的纤芯模与截止模,纤芯模与截止模之间为包层模共振范围,这些光栅峰源于前向传输的纤芯基模与后向传输的包层模在特定相位匹配条件下发生的模式耦合。相

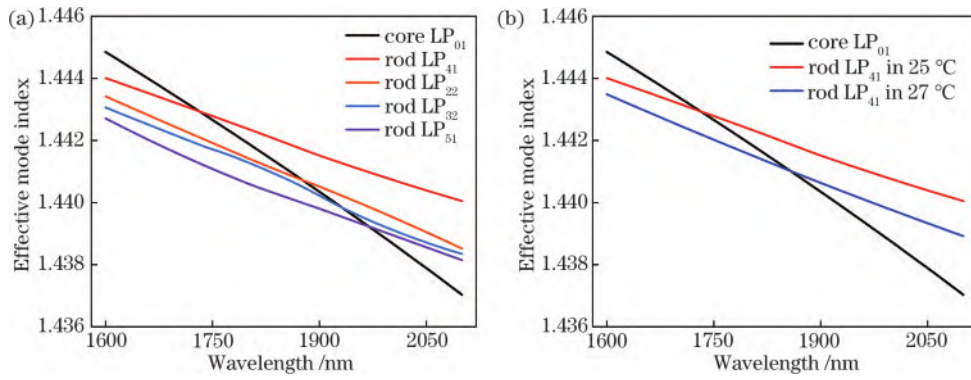


图 3 理论仿真。(a)纤芯基模与液柱波导中不同模式的色散曲线;(b)在 25 °C 与 27 °C 下的色散曲线

Fig. 3 Theoretical simulations. (a) Dispersion curves of the fiber core fundamental mode and different modes in the liquid-core waveguide; (b) dispersion curves at 25 °C and 27 °C, respectively

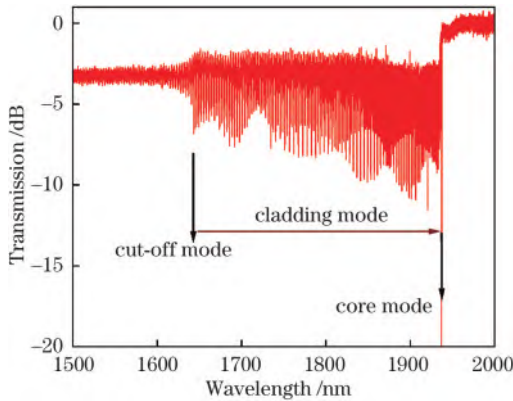


图 4 局域化光纤光栅透射光谱图

Fig. 4 Transmission spectrum of the localized fiber Bragg grating

比于传统的布拉格光纤光栅,loFBG 能显著增强包层模激发效率,其光谱覆盖更宽波长范围且包含多组离散谐振峰。同时,loFBG 纤芯模的波长位置可通过改变调制点的空间周期进行调控,包层模范围灵活可控,为与不同谐振波长的耦合器实现灵活级联及光谱匹配提供了自由度。

2.3 边孔光纤耦合器级联光栅光强测试

为探究 SHF 耦合器由波长解调转变成强度解调的可行性,在边孔光纤耦合器与光谱分析仪之间级联上局域化光纤光栅,图 5 为测试装置示意图。光源的输入光通过单模光纤连接到边孔光纤耦合器,形成波导耦合,再经过 loFBG 与光栅谐振峰形成叠加,光谱分析仪实时采集级联器件波长变化。

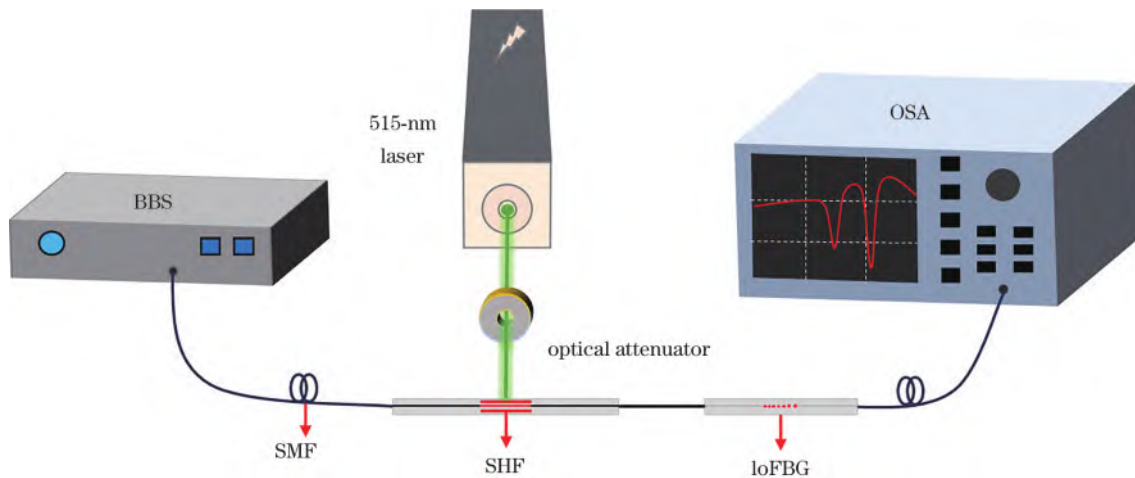


图 5 级联器件连接宽带光源与光谱分析仪传感测试示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the sensing test setup connecting cascaded devices with a broadband source and an optical spectrum analyzer

光谱特性分析表明,级联结构中 loFBG 的纤芯基模谐振峰位于 1939 nm,其包层模共振谱域与 SHF 耦合器在 1700~1900 nm 波段形成的耦合峰存在显著光谱重叠。图 6(a)展示了级联器件的透射光谱,可观测到由于干涉产生的密集谐振结构。通过精确设计 loFBG 的调制周期,使其在特定波长处与 SHF 耦合器的耦合

峰实现光谱对齐,原始 loFBG 透射谱在此区域产生深度调制的凹陷,如星号标记处。该凹陷本质上是耦合峰与光栅谐振峰相干叠加形成的复合谐振包络。温度响应测试结果如图 6(b)所示,当环境温度升高时,谐振凹陷发生显著红移。这一现象证实级联器件继承了 SHF 耦合器的高热灵敏度特性。

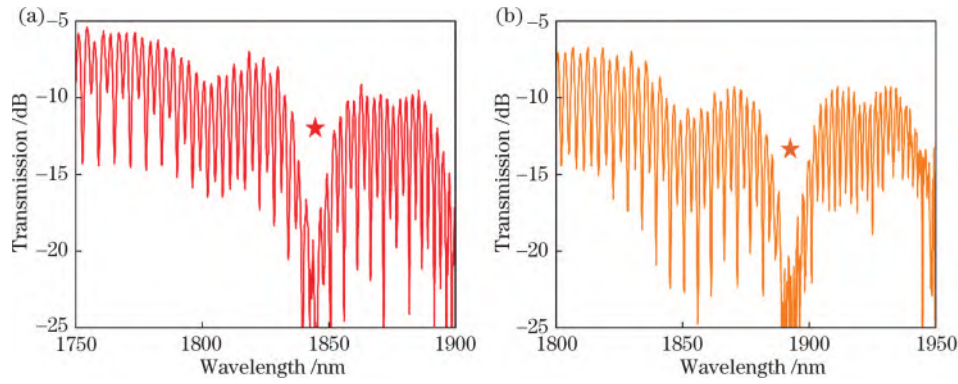


图 6 不同温度下 SHF 耦合级联 loFBG 透射光谱图。(a) 25 °C; (b) 26 °C

Fig. 6 Transmission spectra of the cascaded SHF coupler-loFBG at different temperatures. (a) 25 °C; (b) 26 °C

3 实验与分析

3.1 SHF 耦合器温度灵敏度测试

为表征温度传感特性,将长 1 cm 的 SHF 耦合器置于精密控温炉(Ecom, LCO102)中,该温炉可在室温至 100 °C 范围内调控,控温精度为 0.1 °C。实验设定的温度范围为 25~26.4 °C,调节步长为 0.2 °C。每点热平

衡后,光谱仪实时采集透射光谱,如图 7(a)所示。初始温度为 25.0 °C 时,选取 1830 nm 附近的耦合谐振峰监测,随温度升高该峰明显红移,漂移 70.2 nm。对峰位偏移与温度进行线性拟合,如图 7(b)所示,平均温度灵敏度为 49.5 nm/°C,符合图 3(b)仿真结果。为验证可逆性,进行降温循环,相同温度点峰位高度重合,表明传感器温度响应可逆。

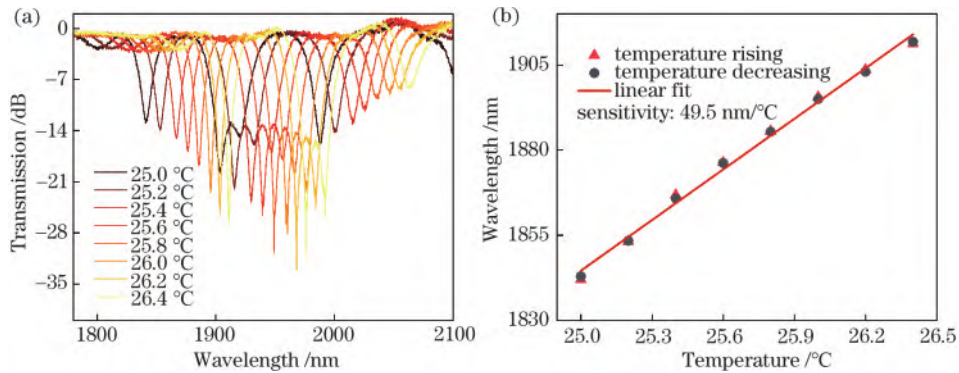


图 7 器件的温度响应。(a) 器件在不同温度下的透射光谱;(b) 耦合峰波长随温度变化

Fig. 7 Temperature response of the device. (a) Transmission spectra at different temperatures; (b) temperature-dependent shift of the coupling peak wavelength

3.2 SHF 耦合器光强灵敏度测试

CCl_4 作为优异的光热转换材料,表现出显著的光吸收特性。在光辐射作用下,由于其热光效应,填充 CCl_4 的空气孔内部温度升高。鉴于器件固有的高温灵敏度,本研究将其进一步应用于光强传感。为评估光强响应特性,将 SHF 耦合器置于中心波长为 515 nm、重复频率为 1 MHz 的激光照射下,器件两端分别连接光源与光谱分析仪。由于器件对温度变化高度敏感,选取 1801 nm 处的耦合谐振峰进行监测。入射光功率密度设定为 0~212.5 $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$,实时记录透射光谱随光功率密度的变化,波长偏移曲线如图 8(a)所示。结果表明,耦合谐振峰随入射光功率密度增大线性红移,红移量约为 26.6 nm。图 8(b)给出了 1800 nm 附近耦合峰中心波长与入射光功率密度的线性拟合结果,光强灵敏度为 0.114 $\text{nm}/(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2})$ 。

3.3 级联器件光强灵敏度测试

为测试级联器件的光强响应特性,将级联结构中 SHF 耦合器区域置于中心波长为 515 nm、重复频率为 1 MHz 的激光照射下,入射光功率密度调控范围为 0~170.1 $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$,利用光谱分析仪实时监测透射光谱变化。零光照时,级联器件的共振峰凹陷位于 1803 nm;随着照射光密度增大,谐振凹陷红移,移动距离与未级联光栅的 SHF 耦合器几乎相同,证实温度传导机制未受级联结构影响。此时,谐振峰凹陷包络范围为 1796~1801 nm,增大照射光密度后,耦合峰偏移,而局域化光纤光栅透射光谱对光强与温度变化不敏感,光栅峰无偏移。两者共同作用使凹陷包络接收的光源光强改变。如图 9(a)所示,透射光谱总强度随入射光功率密度单调递增。选取 1799.2 nm 处的光栅峰与透过光强进行拟合,如图 9(b)所示,在照射光密度变化范

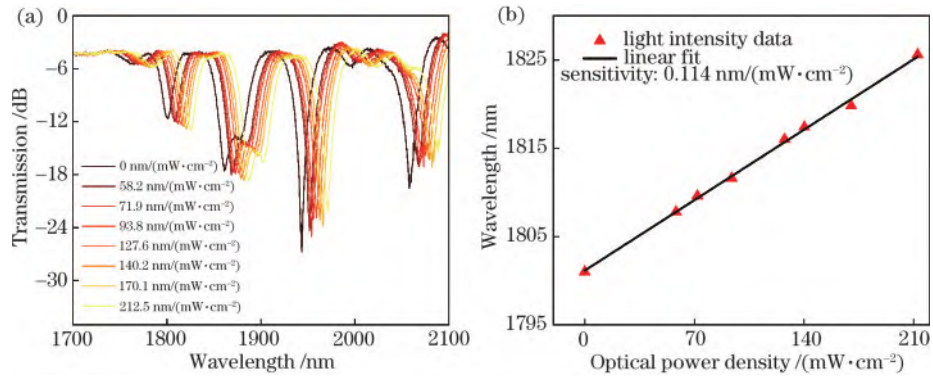


图 8 器件的光强响应。(a) 器件在不同光强下的透射光谱; (b) 耦合峰波长随光强变化

Fig. 8 Optical intensity response of the device. (a) Transmission spectra at different optical intensities; (b) intensity-dependent shift of the coupling peak wavelength

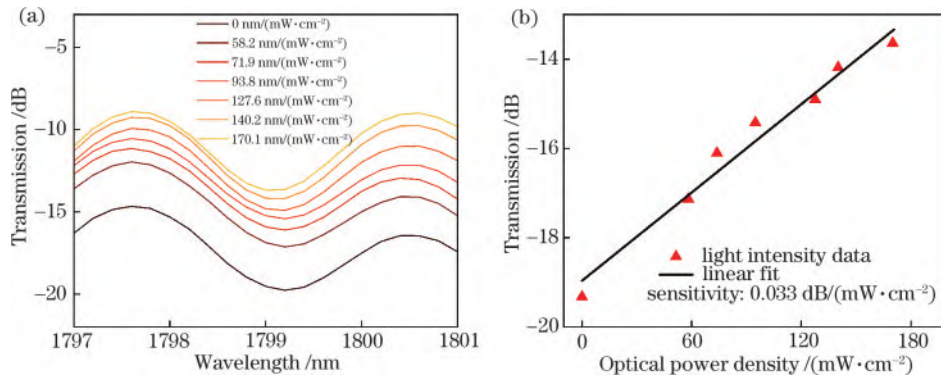


图 9 级联器件的光强响应。(a) 不同光强下局部光谱变化; (b) 透射光强度随光强变化

Fig. 9 Optical intensity response of cascaded devices. (a) Local spectral evolution at different incident optical intensities; (b) transmitted intensity versus incident optical power

围内,级联器件透射光强升高 5.682 dB,光强灵敏度为 0.033 dB/(mW·cm⁻²)。

该级联器件在任意给定波长处的透射强度均可建立与入射光功率密度的映射关系。当入射光功率密度持续增大导致耦合峰完全移出预设凹陷区域时,透射光谱将退化为未受调制的原始 loFBG 谱型。由于 loFBG 本身不具备光强响应特性,系统丧失连续传感能力。此时可通过计算边孔器件耦合峰间的距离,得到其他耦合峰与光栅峰叠加形成的谐振凹陷位置,再将监测窗口自适应切换至新生成的复合谐振凹陷区域,理论上可将光强探测范围扩展至边孔耦合器的全工作谱域,突破传统固定波长解调的范围限制。

4 结 论

本文分别制备了基于四氯化碳液体填充边孔光纤的高灵敏度光强传感器与局域化光纤光栅,创新性地将两者级联,成功研制出一种高光强灵敏度的光纤光传感器。该器件的传感机理基于光纤纤芯模式与四氯化碳填充所形成的液态波导模式之间的耦合。实验结果表明,该耦合结构表现出超高温度灵敏性,可达 49.5 nm/°C。基于器件优异的光热特性,其可用于 515 nm 波长光的

测量,测得的光强灵敏度为 0.114 nm/(mW·cm⁻²)。级联后,耦合器耦合峰与光栅反射峰在光谱上叠加,在特定波长区间内形成振幅随光强显著调制的复合谐振峰,光强变化灵敏度为 0.033 dB/(mW·cm⁻²)。515 nm 波长光在生物医学与健康监测领域具有重要应用价值,在视网膜成像诊断和光疗等场景中需精确监测光强以保障疗效与安全。同时,作为可见光谱段的典型代表,515 nm 光在可见光通信中亦展现出显著潜力。该传感器支持波长解调与强度解调双模式,可有效提升测量准确性,兼具灵敏度高、重复性好的优势,在光传感和光通信领域具有良好应用前景。

参 考 文 献

- [1] Knight J C, Birks T A, Russell P S, et al. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding: errata[J]. Optics Letters, 1997, 22(7): 484-485.
- [2] Hansen T P, Broeng J, Libori S E B, et al. Highly birefringent index-guiding photonic crystal fibers[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2001, 13(6): 588-590.
- [3] Wang X, Lou S Q, Lu W L. Rectangle lattice large mode area photonic crystal fiber for 2 μm compact high-power fiber lasers[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2014, 20(5): 0903606.

- [4] Zhang R, Teipel J, Giessen H. Theoretical design of a liquid-core photonic crystal fiber for supercontinuum generation[J]. *Optics Express*, 2006, 14(15): 6800-6812.
- [5] Bozolan A, de Matos C J S, Cordeiro C M B, et al. Supercontinuum generation in a water-core photonic crystal fiber[J]. *Optics Express*, 2008, 16(13): 9671-9676.
- [6] Xie H M, Dabkiewicz P, Ulrich R, et al. Side-hole fiber for fiber-optic pressure sensing[J]. *Optics Letters*, 1986, 11(5): 333-335.
- [7] Poletti F, Wheeler N V, Petrovich M N, et al. Towards high-capacity fibre-optic communications at the speed of light in vacuum[J]. *Nature Photonics*, 2013, 7(4): 279-284.
- [8] Kim H K, Shin W, Ahn T J. UV sensor based on photomechanically functional polymer-coated FBG[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2010, 22(19): 1404-1406.
- [9] Chen Z, Hsiao V K S, Li X Q, et al. Optically tunable microfiber-knot resonator[J]. *Optics Express*, 2011, 19(15): 14217-14222.
- [10] Liu H F, Zhang H, Miao Y P, et al. A light-intensity-controlled microfiber-assisted Mach-Zehnder interferometer based on ethyl orange solution under 532 nm laser excitation[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2015, 216: 229-234.
- [11] Xie L Q, Sun B, Chen M M, et al. Sensitivity enhanced temperature sensor with serial tapered two-mode fibers based on the Vernier effect[J]. *Optics Express*, 2020, 28(22): 32447-32455.
- [12] Wang Z Q, Ma H Y, Yang X H, et al. Ethanol sensor based on cascaded tapered optical fiber with surface modification of ZIF-8[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2024, 402: 135084.
- [13] Liu Y H, Lin W H, Zhao F, et al. Dual-parameter fiber sensors for salinity and temperature measurement based on a tapered PMF incorporated with an FBG in Sagnac loop[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2024, 16(1): 6300107.
- [14] He J, Chen R X, Xu X Z, et al. Slit beam shaping for femtosecond laser point-by-point inscription of highly localized fiber Bragg grating[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2022, 40(16): 5722-5728.
- [15] Koutsides C, Kalli K, Webb D J, et al. Characterizing femtosecond laser inscribed Bragg grating spectra[J]. *Optics Express*, 2011, 19(1): 342-352.
- [16] Yang K M, Liu B N, Liao C R, et al. Highly localized point-by-point fiber Bragg grating for multi-parameter measurement[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2021, 39(20): 6686-6690.
- [17] Chen R X, He J, Xu X Z, et al. Orientation-dependent accelerometer based on a highly localized fiber Bragg grating[J]. *Optics & Laser Technology*, 2023, 164: 109464.
- [18] Olson J D, Horne F H. Direct determination of temperature dependence of refractive index of liquids[J]. *The Journal of Chemical Physics*, 1973, 58(6): 2321-2325.
- [19] Moutzouris K, Papamichael M, Betsis S C, et al. Refractive, dispersive and thermo-optic properties of twelve organic solvents in the visible and near-infrared[J]. *Applied Physics B*, 2014, 116(3): 617-622.
- [20] Lægsgaard J, Bang O, Bjarklev A. Photonic crystal fiber design for broadband directional coupling[J]. *Optics Letters*, 2004, 29(21): 2473-2475.
- [21] Deng Y B, Wang Y, Liu H, et al. Light sensor based on carbon tetrachloride-infiltrated side-hole fiber[J]. *Optics Express*, 2025, 33(11): 23244-23251.



江俊峰，天津大学讲席教授、博士生导师，国家级高层次人才。天津市光纤传感工程中心主任，天津市光纤光子学国际联合研究中心常务副主任，天津大学光纤传感研究所副所长。中国光学学会光电技术专业委员会常务委员，中国仪器仪表学会光机电技术与集成分会理事，中国仪器仪表学会地质仪器分会理事。主要从事光纤力热传感理论与方法研究。主持国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目、国家973计划、科技部国家重大仪器专项、中国工程院咨询研究项目等重大重点项目。发表SCI论文150余篇，授权美国发明专利8项，授权中国发明专利101项。荣获国家技术发明奖二等奖1项、省部级科技奖一等奖6项、中国专利金奖1项，中国专利优秀奖2项。荣获国家级教学成果奖二等奖1项，天津市教学成果奖一等奖1项。入选天津市中青年科技创新领军人才，天津市人才发展特殊支持计划高层次创新创业团队负责人。获天津青年科技奖，以及天津市优秀科技工作者、天津市最美科技工作者等称号。



张明江，太原理工大学教授、博士生导师，国家级高层次人才，物理与光电工程学院院长，精密测量山西省重点实验室主任。博士毕业于天津大学光学工程专业，加拿大渥太华大学访问学者，主要从事光子集成混沌激光器及分布式光纤传感研究。获全国百篇优秀博士学位论文提名奖，入选首批青年三晋学者、山西省学术技术带头人、山西省高校中青年拔尖创新人才。担任中国光学学会光学教育专业委员会常务委员、山西省光学学会副理事长、《激光与光电子学进展》编委等。主持国家重点研发计划项目、国家重大科研仪器研制项目、国家自然科学基金联合基金重点项目等，以第一/通信作者在Nature子刊、Advanced Photonics Nexus等发表SCI论文100多篇，入选ESI高被引论文、全球Top 2%科学家，出版中、英文学术专著2部，授权美国专利4项、中国发明专利50项。获山西省技术发明一等奖、山西省自然科学奖二等奖、中国专利优秀奖、“金燧奖”中国光电仪器品牌榜铜奖等奖励，相关成果获得2023年度中国十大光学产业技术提名奖。



王义平，深圳大学物理与光电工程学院讲席教授、博士生导师。国家杰出青年科学基金获得者、美国光学学会会士、国家重点研发计划首席科学家、光电子器件与系统教育部重点实验室主任、广东省光纤传感技术粤港联合研究中心主任。1995年毕业于西安工业大学精密仪器专业，2003年获重庆大学光学工程博士学位，先后在上海交通大学（博士后）、香港理工大学（博士后）、德国耶拿光子技术研究院（洪堡学者）和英国南安普顿大学（玛丽·居里学者）从事研究工作。2012年受聘深圳大学特聘教授，组建了光纤传感创新团队和广东省光纤传感技术粤港联合研究中心。长期从事光纤传感技术及应用研究，获教育部自然科学奖一等奖和二等奖、深圳市自然科学奖一等奖、四川省科学技术进步奖一等奖和全国优秀博士学位论文奖，以及德国洪堡研究奖、欧盟玛丽·居里国际引进人才基金奖等。主持国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目等32项。发表SCI论文420篇（引用13000余次、H指数为60）、授权发明专利70项。担任Applied Optics编委、Photonic Sensors编委、广东省光学学会副理事长。