

通信技术

固化法布里-珀罗光纤传感器技术

黄正宇 曹砚锋¹ 靳 勇¹

(北京蔚蓝仕科技有限公司, 北京 100083; 中海石油研究总院, 北京 100027)

摘 要 装配和波阵面分裂固有发布里-珀罗光纤温度传感器。传感器将石英玻璃管接合到单模光纤尖端制作而成, 其直径与光纤相同, 长度不超过 0.5 mm。

关键词 光纤传感器 发布里-珀罗 接合

中图分类号 TN256; **文献标志码** A

法布里-珀罗腔传感技术在测量温度、张力、压力和超声波扰动中具有优秀的敏感性、反应速度快、有抗电磁干扰能力而著称^[1]。

干涉计可以分为两个主要类别: 振幅剖分法干涉计和波阵面分裂干涉计^[2]。大多数 IFPI 传感器是基于振幅剖分法原理。振幅剖分法与用不同模场直径的单模光纤不同, 比如有光纤微小空洞中的内部反光镜。然而, 在传感器制造中要对光纤磨光、绝缘镜子沉积物和圆弧拼接的强化控制^[3]。

我们这里讨论的是一种基于波阵面分裂原理的 IFPI 光纤传感器。只需要拼接和裂开单模光纤(单模光纤)的石英玻璃管的截面。制造工艺显著地简化, 并且取得了同传统 IFPI 传感器相同的效果。从理论上分析, 兼得传感器制造工艺和传感器效果两者。

1 操作原理

用数字阐明波阵面分裂 IFPI 的结构: 一片石英玻璃管接合到单模光纤, 然后在接合点附近裂开。单模光纤的 LP₀₁ 模式主导波阵面在光线管接触面分

裂成两部分; 这两部分分别在光纤的核心-空气接触面反射, 在管道末端裂开。法布里-珀罗腔道的长度是石英玻璃管的光学长度。干涉光谱由传感器探测器获得, 腔管长度由高精度的白光算法估算得来^[4]。

反射比 R 由菲涅耳公式给出

$$R = \left(\frac{n_{\text{glass}} - n_{\text{air}}}{n_{\text{glass}} + n_{\text{air}}} \right)^2 \quad (1)$$

式(1)中 n_{glass} 和 n_{air} 是石英玻璃和空气的折射率。

分裂的单模光纤反射中的电场、光纤核心-空气反射和石英玻璃管反射在图 1 中显示并由以下式(2), 式(3)给出

$$E_R(r, \varphi) = A_0 \sqrt{Re}^{-\frac{r^2}{w^2}} \quad (2)$$

$$\begin{cases} E_{\text{core}}(r, \varphi) = \begin{cases} E_R(r, \varphi), & r \leq a \\ 0, & r > a \end{cases} \\ E_{\text{tube}}(r, \varphi) = \begin{cases} E_R(r, \varphi), & r \geq a \\ 0, & r < a \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

其中 A_0 伴随电场的量级, w 是单模光纤的模式区域半径, a 是石英玻璃管的内径。高斯区域近似法在 E_q 中应用^[5]。

只有这些耦合成为单模光纤的基本形式的缩短反射部分才能到达检测器。耦合系数为

$$\eta_{\text{core}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^a E_{\text{core}} E_R^* r dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{+\infty} E_R E_R^* r dr d\varphi} \quad \text{and}$$

2010年8月16日收到

国家重大科学基金项目

(2008ZX05024-004-013)资助

作第一作者简介: 黄正宇, 北京蔚蓝仕科技有限公司总裁、技术总监。美国弗吉尼亚理工大学电子工程系光电子技术中心博士。

$$\eta_{\text{tube}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_a^{+\infty} E_{\text{tube}} E_R^* r dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{+\infty} E_R E_R^* r dr d\varphi} \quad (4)$$

因此这两部分中的标准化反射力度由 η^2 表示。

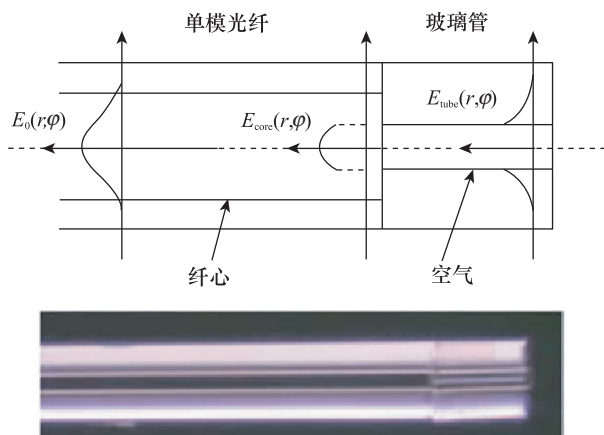


图1 波阵面分裂 IFPI 传感器头部构造

2 传感器的制造

制造 IFPI 的目的是获得大量的信号噪音比率和较高的边缘可见度。在制造过程中,先把石英玻璃纤维管接合到一个单模光纤上。然后把光纤管放到光线切割刀上,放在显微镜下。结合点在显微镜下很容易辨认。管道在距结合点一定距离处切割。细粒透镜单模光纤和基于 Polymicro 技术的石英玻璃管将被应用。光纤接合和切割分别应用 Type—36 光纤切割机(住友商事电器)和 CT—04 高精度光纤切割器(藤仓)。显微镜为奥林巴斯 SZ40。传感检测机运用 Si720 系统(美光光学)。

研究发现如图 2 所示,增加融化连接的电弧功率和电弧时间,都会使光纤核心-空气反射率单色降低。在标准单模光纤拼接配置中,电弧功率 P 和弧时间 D 的标准为 $P = 15$ 、 $D = 2.0$ 。这是因为石英管内径随着弧光产热而缩小,导致了有效反射区的减小。因此要制造精良的 IFPI 传感器,不影响机械强度的低电弧功率和较短的电弧时间是可以接受的。选用 $5 \mu\text{m}$ 内径的石英管可以在两个接口出产生相近的量级,因此具备较高的边缘可见度。在图 3 中

对实验资料和理论预期进行了比较,对耦合模型建立了有效的假设。管道要被良好地切割,因为倾斜的表面会提高到达单模光纤的反射波的耦合损耗,同时降低边缘可见度。石英管的长度应当被控制在 $500 \mu\text{m}$ 范围内。管道中的光如果不被限制在波导结构中将会产生偏离。过长的腔管长度将会导致大量的偏离,使较少的反射光能够达到单模光纤。

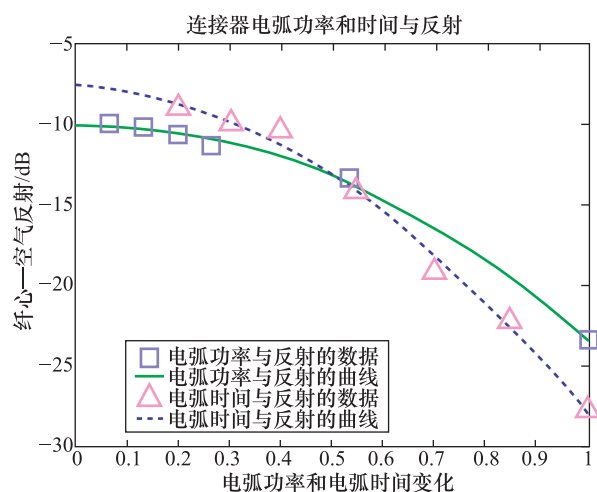


图2 IFPI 光纤核心-空气反射 vs 拼接电弧功率和时间
(以单模光纤反射波分离为标准)

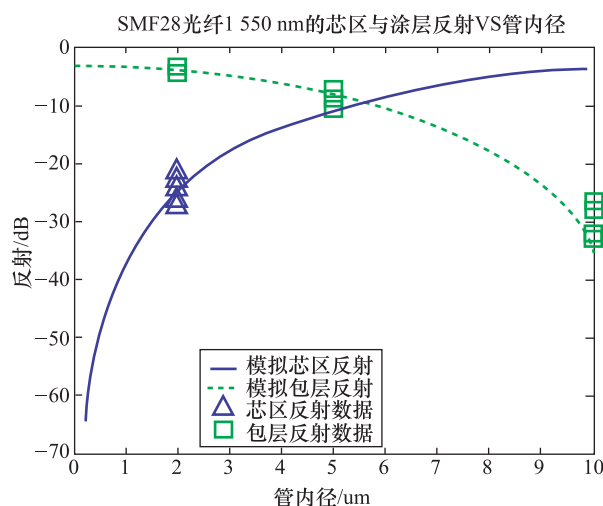


图3 IFPI 核心和包层反射
(以单模光纤反射波分离为标准)

由于光纤拼接过程具有高度可重复性,借助显微镜控制 IFPI 长度在 $500 \mu\text{m}$ 并不困难,成功制造 IFPI 只由管道切割质量决定。我们制造的 13 个传

感器中的 10 个证明了图 4 中显示的超过 10 dB 的峰到峰的边缘图。运用精密的光纤切割器,IFPI 制造的成功率预期能够达到 75%。

3 传感器表现

传感器运用一个放在双钻孔的陶瓷管的热电偶(K-type, 欧米茄)进行共同定位,然后放入熔炉中(Thermolyne 48000)。陶瓷管的作用时抑制温度的波动。温度每级提高 50℃,每一级从室温到 600℃再回到室温循环 4 次,时间为 1 h。图 4 中显示了传感器光路差异(OPD)在不同温度级别下的平均值。实验室 OPD 曲线和 4 次平均 OPD 曲线的最大偏差为 ± 0.23 nm。

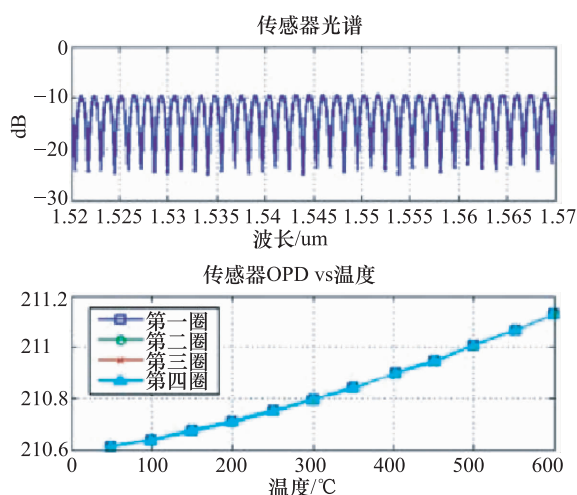


图 4 IFPI 光谱和温度表现
(以单模光纤反射光分离为标准)

从 50℃到 600℃的 OPD 变化总数为 517.0 nm。因此传感器的可重复性近似为 ± 0.24 ℃和 ± 0.046 % 的浮动范围。传感器的分辨率通常用温度度量的标准偏差来解释。这与运用两次标准偏差(STD)作为分辨率的直接估量相同。传感器被插入

陶瓷管中,并且放入 25℃环境室(Test Equity 1000 系列温度室)中 5 h,每 5 s 抽取一次 OPD 数据。STD 为 0.13 nm。传感系统的分辨率为 0.26 nm,符合其 0.27℃和 0.05%的动态范围。传感器的非线性表现是由石英玻璃的折光率和腔管长度的温度敏感性引起的。

4 结论

提出了波阵面分裂 IFPI 的原则,之后讨论了如何实现制造最优化。IFPI 由 5 μm ID 的融化陶瓷管制成。在传感器制造过程中保持较短的电弧时间和较低的电弧功率。运用到 600℃的温度四次循环测量传感器,证明了 0.27℃的分辨率和 ± 0.24 ℃的可重复性。

参考文献

- 1 Tsai W H, Lin C J. A novel structure for the intrinsic Fabry Perot fiber-optic temperature sensor. *J Lightwave Technol*, 2001; 19(5), 682—686
- 2 Born M, Wolf E. *Principles of optics*. Cambridge University Press, 7th ed., Cambridge, UK 1999
- 3 Lee C E, Gibler W N, Atkins R A, *et al.* In-line fiber Fabry-Perot interferometer with high-reflectance internal mirrors. *J Lightwave Technol*, 1992; 10(10):1376—1379
- 4 Lo Y L, Sirkis J S, Chang C C. Passive signal processing of in-line fiber etalon sensor for high strain-rate loading. *J Lightwave Technol*, 1997; 15(8):1578—1586
- 5 Singh H, Sirkis J S. Simultaneously measuring temperature and strain using optical fiber microcavities. *J Lightwave Technol*, 1997; 15(4), 647—653
- 6 Bing Q, Pickrell G, Xu J, *et al.* Novel data processing techniques for dispersive white light interferometer. *Opt Eng*, 2003; 42(11), 3165—3171
- 7 Marcuse D. Loss analysis of single-mode fiber splices. *Bell Syst Tech J*, 1977; 56(5):703—718

Intrinsic Fabry-Perot Fiber Optic Sensor Technology

HUANG Zheng-yu, CAO Yan-feng¹, JIN Yong¹

(Beijing Raylens Ltd., Beijing 100083, P. R. China; China CNOOC Research Center, Beijing 100027, P. R. China)

[**Abstract**] The principle, fabrication, and characterization of a novel wavefront splitting intrinsic Fabry – Perot fiber temperature sensor are presented. The sensor is made by splicing a section of fused silica tubing to the tip of a single – mode fiber. The completed sensor has the same diameter as the fiber and the sensor length is less than 0.5 mm.

[**Key words**] fiber sensors Fabry-Perot splice

(上接第 7229 页)

Brushless DC Motor Speed Control System Based on Fuzzy PID Control

XU Wei, QU Bai-da*, XU Bao-guo

(Jiangnan University, Wuxi 214122, P. R. China)

[**Abstract**] Brushless DC motor speed control system is a multivariate, strong coupling, nonlinear, time-varying complex system, but adopting traditional PID control method to carry out control is difficult to achieve good control effect. A kind of PID controller with fuzzy algorithm setting on-line PID parameters automatically was designed and applied in brushless DC motor speed control system, using the voltage, speed and torque equation of brushless DC motor, according to the parameters of the motor, the controller adopts fuzzy theory to adjust the PID parameters, in order to obtain high-precision speed control. Results of simulation experiment show that the fuzzy PID control method compared with normal PID control and pure fuzzy control is with better control performance, non overshoot, quick velocity response, higher control precision and good robustness, which is insensitive to the parameter chattering and many disturbances.

[**Key words**] brushless DC motor fuzzy PID control Matlab/Simulink simulation fuzzy control