

一种简单的增强光纤 Bragg 光栅温度灵敏度的方法

杜卫冲 谭华耀* 戴务勤* 刘颂豪

(华南师范大学激光生命科学实验室, 广州 510631 *香港理工大学电机工程系)

提要 提出了一种简单的铝管或铝板封装(AP)法来增强光纤 Bragg 光栅(FBG)的温度灵敏度, 实验测得 AP 光纤光栅的 Bragg 反射波长(1550 nm 附近)的温度灵敏度为 0.038 nm/°C, 是裸光纤光栅温度灵敏度的 3 倍之多, 相应的线性温度范围在 0~120 °C 之间。

关键词 光纤 Bragg 光栅, 光纤温度传感

1 引言

光纤 Bragg 光栅(FBG)在光纤通信与传感器件中有许多重要的应用, 最近几年来倍受重视。FBG 可以直接用强度按空间周期分布的紫外光在侧面照射高掺 Ge-石英单模光纤(纤芯)来产生一个折射率沿光纤轴向周期分布的光栅而形成, 这一折射率光栅对单模光纤内导波模的反射波长(Bragg 波长)为 $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$, 式中 n_{eff} 为导波模的有效折射率, Λ 为光栅的空间周期, 当这 FBG 经历一温度变化或对它施加一个轴向的应变即会引起 $n_{\text{eff}}\Lambda$ 的变化, 从而导致 Bragg 反射波长 λ_B 的位移($\Delta\lambda$), 因而可以通过测量 $\Delta\lambda$ 的值来确定外界温度的变化或施加的应变量的大小。这种传感方式的优点在于传感的信息是波长编码的, 是一个绝对量, 不受总的光强度涨落和损耗的影响, 但这种 Bragg 波长对应变量和温度变化量的位移是很小的, 分别为约 0.0012 nm/ $\mu\epsilon$ ($\mu\epsilon$ 代表 10^{-6} 的应变)和 0.011 nm/°C (对应的 Bragg 波长为 1550 nm)^[1]。而一般以衍射光栅或 Fabry-Perot 滤波器为基础的光学光谱分析仪(OSA)的波长分辨率为 0.1 nm, 且在一个传感器中采用这类昂贵的 OSA 测定 Bragg 波长的位移实际是不适用的, 因而最近几年, 许多工作集中在发展一类简单的、高灵敏的 Bragg 波长位移测试方法, 如干涉法^[2]和光纤栅列阵对参考法^[3]等。本文从另一个角度解决这一难题, 提出增强光纤光栅本身的温度(或应变)的灵敏度, 这里我们采用一种简单的铝管或铝板封装法来改善光纤光栅的温度灵敏度。

2 原理

当一光纤光栅经历一温度变化 ΔT 或对它施加一个轴向的应变 ϵ , 则它的 Bragg 波长位移为:

$$\Delta\lambda/\lambda_0 = K_T\Delta T + K_\epsilon\epsilon \quad (1)$$

式中 λ_0 是光栅的初始 Bragg 波长, K_T 和 K_ϵ 分别是光纤光栅 Bragg 波长的温度灵敏系数(TSC)

和应变灵敏系数。

裸光纤光栅温度传感元件的 $\varepsilon = 0$, 但当这一光纤光栅固定在一个具有大的热膨胀系数 (TEC) 的金属基底上, 施加在光纤光栅的应变则量则由金属热膨胀而产生, 所以公式 (1) 中的应变量为:

$$\varepsilon = B\Delta T \quad (2)$$

式中 B 是金属的热膨胀系数, 因而方程 (1) 可写为:

$$\Delta\lambda/\lambda_0 = (K_T + BK_\varepsilon)\Delta T \quad (3)$$

在实验中, 我们选择金属 Al 为热膨胀材料, 因为它具有很高的 TEC 值 ($23 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ^[4]), 大约是石英玻璃 TEC 值 ($0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) 的 46 倍^[5], 将这些参量代入方程 (3), 可将光纤光栅的温度灵敏度提高到为相应裸光纤光栅的 3.5 倍。

3 实验与结果

实验中所用的光纤光栅是通过相位模板复制方法*, 使用 KrF 准分子激光器在硼-锗 (B-Ge) 共掺杂石英单模光纤中制作的, 光栅长度为 10 mm, Bragg 波长为 1546.5 nm, 光栅的通带宽度为 0.2 nm, 反射率在 30~50% 之间, 图 1 所示为用塑胶将光纤光栅封装在一根铝管中和固定在一块铝板上的示意图, 所用铝管的长度为 50 mm, 内径为 0.3 mm, 壁厚为 0.15 mm, 而铝板的厚为 $1 \times 5 \times 50$ mm, 塑胶是由 Locite Canada Inc 生产的 QM-50A 树脂。图 2 所示为实验

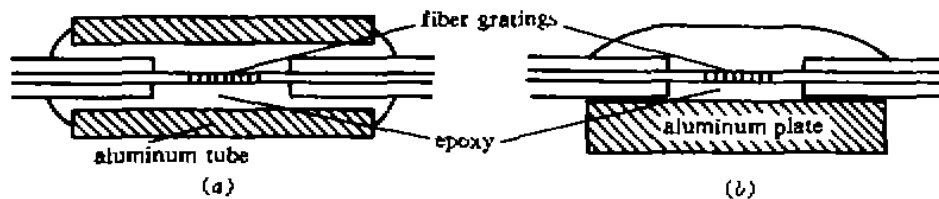


图 1 增强光纤光栅传感器的结构。(a) 铝管内; (b) 铝板上

Fig. 1 Structures of enhanced fiber grating sensors (a) in aluminum tube; (b) on aluminum plate

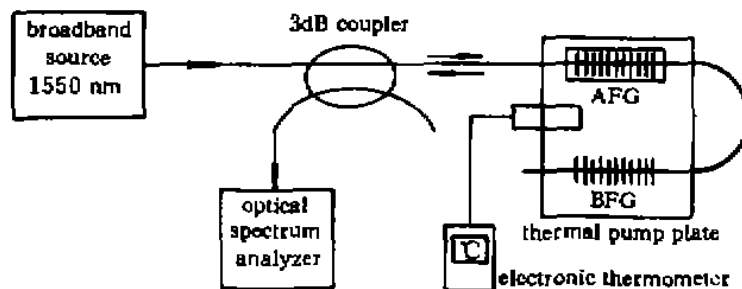


图 2 测量裸光纤光栅和增强光纤光栅传感器的实验装置

Fig. 2 Experimental setup for measuring Bragg wavelength shift of the bare fiber grating and the enhanced fibre grating sensor (AFG; fiber grating in Al tube; BFG; bare fiber grating)

装置的布置, 一根裸光纤光栅和另一根固定在金属 Al (铝管或铝板) 一起的光纤光栅相连, 并放在同一块电热片上于经历相同的温度变化, 这二个光栅通过一个 3 dB 耦合器被一宽带光源照射, 它们反射的光谱由一光学光谱分析仪记录。图 3 所示为一裸光纤光栅和一 Al 管封装光纤光栅在不同温度下 ($T = 10^\circ\text{C}$, 93°C 和 200°C) 的反射光谱。图中高的反射峰对应于裸光纤光栅, 而低的反射峰对应于 Al 管封装的光纤光栅, 由此可见当温度从 10°C 增大到 93°C , 后者的 Bragg 波长位移量约为前者位移量的 3 倍, 说明这种 AP 光纤光栅具有相当高的温度

* 实验所用的光纤光栅由我们自己制备, 目前所制备的光纤光栅最大反射率达 95%。

灵敏度增强效应,对于高温情况,由于树脂变软,这种增强效应相对温度的变化呈现非线性特性(所用树脂的工作温度范围为 $-40\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$),图 4 给出了裸光纤光栅,Al 管封装与 Al 板固定的光纤光栅 Bragg 波长位移相对于温度变化的实验结果,测得其温度灵敏度分别为 $0.012\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$, $0.038\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ 和 $0.035\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$,即二种固定在金属 Al 上的 FBG 的温度灵敏度约为裸光纤光栅的 3 倍,由图 4 所示,可知这种 AP 光纤光栅的线性温度范围在 $0\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

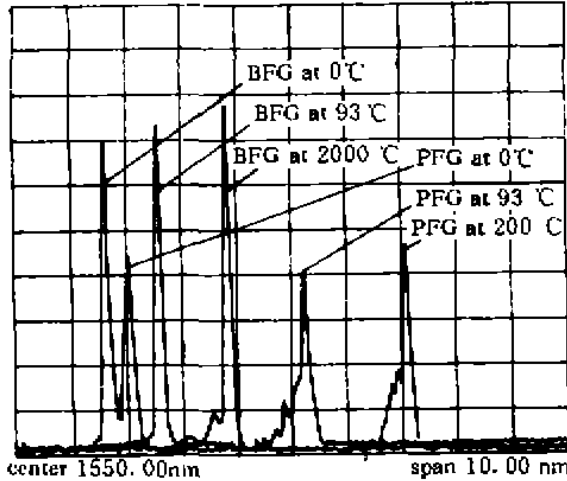


图 3 在三种温度($10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$)处裸光纤光栅和铝管封装光纤光栅的反射光谱

Fig. 3 Reflection spectra of the bare fiber grating (BFG) and the aluminum tube packaged fiber grating (PFG) at three different temperatures, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

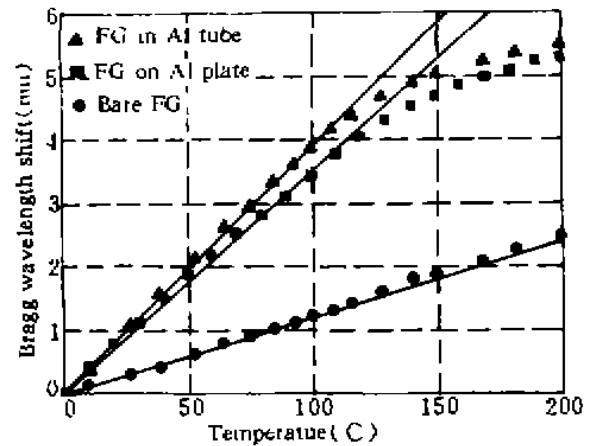


图 4 三种光纤光栅温度传感器的 Bragg 波长与温度的关系

Fig. 4 Bragg wavelength shift versus temperature of the three FG temperature sensors

参 考 文 献

- 1 G. A. Ball *et al.*, Cheo. Single and multipoint fiber laser sensors. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, 5(2): 267
- 2 A. D. Kersey, T. A. Berkoff, W. W. Morey. High-resolution fiber-grating based strain sensor with interferometric wavelength-shift detection. *Electron. Lett.*, 1992, 28(3): 236
- 3 M. A. Davis, A. D. Kersey. Matched-filter interrogation technique for fiber Bragg grating arrays. *Electron. Lett.*, 1995, 31: 822~823
- 4 M. L. Sharp. Behavior and design of aluminum structures. New York: McGraw-Hill, 1992. 15
- 5 I. Fandderlik. Silica glass and its application. Amsterdam, New York: Elsevier, 1991. 215

A Simple Method to Enhance Temperature Sensitivity of Fiber Bragg Gratings

Du Weichong H. Y. Tam* M. S. Demokan* Liu Songhao

(Laser & Life Science Institute, South China Normal University, Guangzhou 510631;

* Department of Electrical Engineering, Hong Kong Polytechnic University)

Abstract A simple method for enhancing fiber grating temperature sensitivity using an aluminum tube or aluminum plate packaging is presented. Bragg wavelength shift of about $0.038\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ was measured for fiber gratings at 1550 nm within $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. This represents an improvement in temperature sensitivity that is more than 3 times than that could be achieved with a bare fiber grating.

Key words fiber Bragg grating, fiber temperature sensor