

用一根光纤光栅实现温度与应变的同时测量*

关柏鸥^{1, 2)} Tam H Y¹⁾ Ho S L¹⁾ Liu S Y¹⁾ 董孝义²⁾

1), 香港理工大学电机工程系, 香港
2), 南开大学现代光学研究所, 天津 300071

摘 要 报道了一种用一根光纤光栅实现温度与应变同时测量的新方案。用于同时传感温度与应变的光纤光栅写于两种不同光纤的连接处, 本身具有两个反射峰。将其中半个光栅粘于热膨胀系数较大的基底材料上, 这样, 两个反射峰便具有不同的温度及应变响应, 由此实现温度与应变的同时测量。

关键词 光纤光栅, 传感, 应变。

1 引 言

近年来, 光纤光栅作为一种新型传感器件引起了人们广泛的重视。但由于光纤光栅对温度与应变同时敏感, 即温度与应变同时引起光纤光栅的布拉格波长移动, 通过检测光纤光栅的响应波长移动无法对温度与应变加以区分。这种交叉敏感效应严重影响着光纤光栅在传感领域的实际应用。为了克服这种交叉敏感效应, 人们已提出了一些解决方案。其中大部分方案是采用两个或两个以上的光纤光栅组合来克服交叉敏感问题^[1~5], 也有方案采用光纤光栅法布里-珀罗腔来实现温度与应变的同时测量^[6]。这些方案有的需要两个解调光源, 这无疑给光纤光栅传感的实际应用带来不便, 而且, 极大地增加了成本; 有的则失去了光纤光栅传感器所特有的的波长编码特性的优点。本文提出了一种用一个光纤光栅进行温度与应变双参数传感的新方案。此种方案只需要一个解调光源, 简单易行, 并保留了光纤光栅传感器的波长编码特性的优点, 具有实际应用价值。

2 理 论

用于温度与应变同时传感的光纤光栅的结构如图 1 所示。光纤光栅写于两种光纤的连接处, 它本身具有两个反射峰, 反射波长分别为 λ_1 和 λ_2 , 其中部分光栅粘于热膨胀系数较大的基底材料上。

温度和应变引起的光纤光栅的反射波长移动可表示为

$$\Delta\lambda_i = k_{\epsilon_i}\Delta\epsilon_i + k_{T_i}\Delta T_i, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

* 香港理工大学资助课题。

收稿日期: 1999-05-10

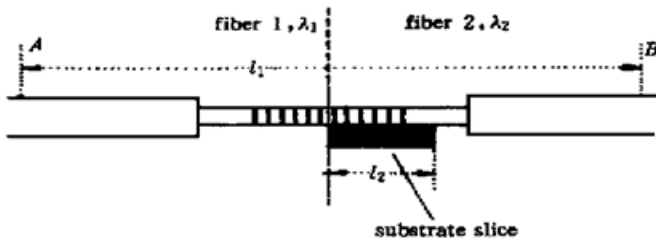


Fig. 1 Structure of the FBG using for simultaneous measurement of strain and temperature

A 、 B 两点之间发生应变 $\Delta\epsilon$ 时, 由于部分光栅粘于基底材料上, 两段光栅所产生的应变是不同的, 令 $\alpha = \Delta\epsilon_2/\Delta\epsilon_1$, 则有如下关系

$$\Delta\epsilon_1 = \frac{l_1}{l_1 + (\alpha - 1)l_2} \Delta\epsilon, \quad (2)$$

$$\Delta\epsilon_2 = \frac{\alpha l_1}{l_1 + (\alpha - 1)l_2} \Delta\epsilon. \quad (3)$$

将(2)式、(3)式代入(1)式中, 便可得到光纤光栅的反射波长移动与整个光栅区域的应变与温度变化之间的关系

$$\begin{bmatrix} \Delta\lambda_1 \\ \Delta\lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{\epsilon_1} & K_{T_1} \\ K_{\epsilon_2} & K_{T_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\epsilon \\ \Delta T \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中 $K_{\epsilon_1} = k_{\epsilon_1} l_1 / [l_1 + (\alpha - 1)l_2]$, $K_{\epsilon_2} = k_{\epsilon_2} \alpha l_1 / [l_1 + (\alpha - 1)l_2]$, $K_{T_i} = k_{T_i} (i = 1, 2)$ 。由(4)式可知, 只要测定了关系常数 K_{ϵ_i} 与 K_{T_i} , 便可根据光纤光栅反射波长移动 $\Delta\lambda_i$, 通过解方程组可以确定温度变化 ΔT 与应变 $\Delta\epsilon$ 。

3 实验结果与讨论

实验所用光纤光栅写于经过载氢处理的康宁 28 型普通单模光纤和色散位移光纤上。先将普通单模光纤和色散位移光纤放置于压力罐中载氢 7 天[1.12×10^7 Pa(140 个大气压)、 70°C]。取出光纤后, 将两种光纤焊接在一起, 采用相位掩模法用 193 nm 准分子激光在两种光纤连接处写制光纤光栅。这样得到的光纤光栅(长度为 1 cm)具有两个反射峰, 其透射谱如图 2(a) 所示。在室温条件下, 两个反射峰的反射波长分别为 1547.54 nm 和 1548.56 nm, 其中 1547.54 nm 处的反射峰对应于普通单模光纤区域的部分光栅的反射, 1548.56 nm 处的反

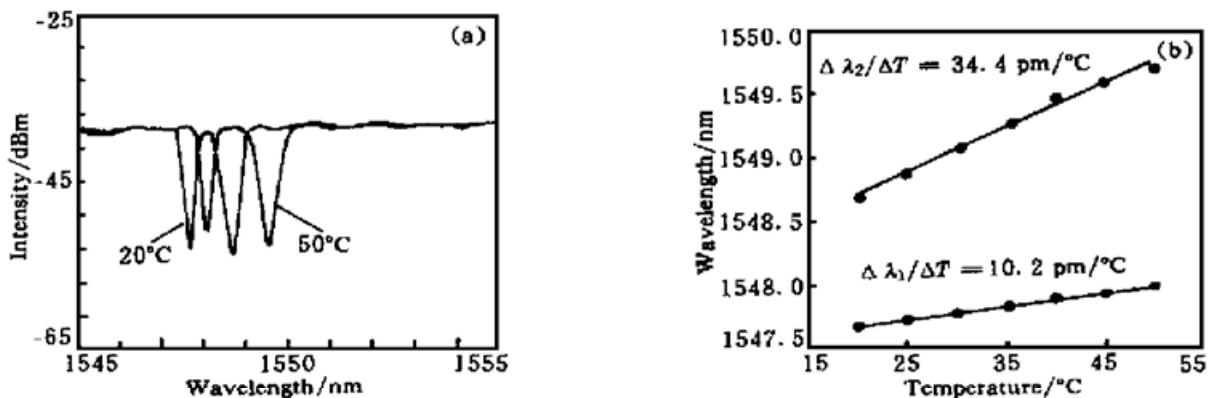


Fig. 2 (a) Transmission spectra of the FBG using for simultaneous strain and temperature measurement at different temperature, (b) Temperature response curve of the FBG

式中 $k_{\epsilon_i} = \partial\lambda_i/\partial\epsilon_i (i = 1, 2)$ 是与光纤材料的泊松比、弹光系数以及有效折射率有关的常数; $k_{T_1} = \partial\lambda_1/\partial T_1$ 是与光纤的热膨胀系数以及光热系数有关的常数; $k_{T_2} = \partial\lambda_2/\partial T_2$ 为与基底材料的热膨胀系数、光纤的热膨胀系数及光热系数有关的常数。

当整个光纤光栅区域发生应变 $\Delta\epsilon$ (图 1 中

射峰为色散位移光纤区域光栅的反射(为了叙述方便,以下分别称之为短波峰和长波峰)。为了造成两个反射峰在温度与应变响应上的差异,将色散位移光纤区域的部分光栅粘于铝片上,以改变长波峰的温度和应变响应。

测试光纤光栅的温度响应时,将光纤光栅置于温度控制器中,发光二极管发出的光经光纤光栅后进入光谱分析仪。改变温度控制器的温度,利用光谱分析仪监测光纤光栅的布拉格波长变化,得到两个反射峰的温度响应曲线,如图 2(b) 所示。短波峰和长波峰的温度系数分别为 $10.2 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 和 $34.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 。由于色散位移光纤区域的光栅粘于铝片上,而铝具有较大的热膨胀系数,当温度升高时,铝片膨胀导致光栅周期增大,因此,长波峰的温度响应系数远大于短波峰。

测试光纤光栅的应变响应时,将光纤光栅的两端分别固定于一精密的可编程位移控制装置上,通过精确控制光纤光栅一端的位移来改变整个光纤光栅区域的应变。由此得到的两个反射峰的应变响应曲线如图 3(a) 所示,短波峰的应变系数为 $0.97 \text{ pm}/\mu\epsilon$,而长波峰对应变没有响应。图 3(b) 为不同应变状态下光纤光栅的透射谱。

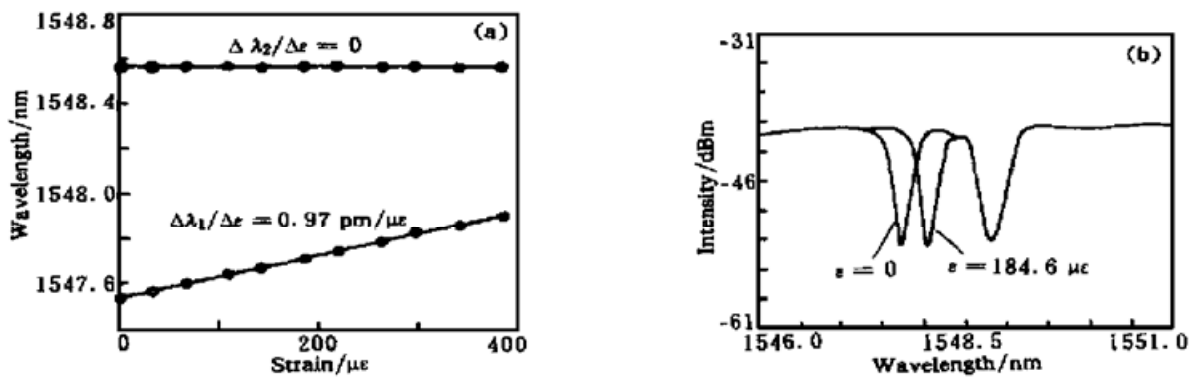


Fig. 3 (a) Strain response curve of the FBG using for simultaneous measurement of strain and temperature at different temperature, (b) Transmission spectra of the FBG at different strain

由此,可以得到(4)式中的关系常数 $K_{\epsilon_1} = 0.97 \text{ pm}/\mu\epsilon$, $K_{\epsilon_2} = 0$, $K_{T_1} = 10.2 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, $K_{T_2} = 34.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 。知道了这些关系常数,便可根据光纤光栅反射波长移动 $\Delta\lambda_i$ 来确定应变 $\Delta\epsilon$ 及温度变化 ΔT 。由于长波峰对应变无响应,由 $\Delta\lambda_2$ 可直接得到环境温度变化 ΔT ;再根据短波峰的波长移动 $\Delta\lambda_1$,通过求解(4)式便可确定应变变化 $\Delta\epsilon$ 。这样,便可实现温度与应变的同时测量。

结 语 有文献报道,在光纤材料中掺入 B_2O_3 (其折射率随温度升高而减小,即 $dn/dT < 0$)可改变光纤折射率的温度系数^[7]。如果将掺 B_2O_3 光纤与普通光纤焊接在一起并在连接处写制光栅,由于两部分光纤光栅具有不同的温度响应,便可直接实现温度与应变的双参数传感。

参 考 文 献

- [1] Kersey A D, Berkoff T A, Morey W W. Fiber Bragg grating strain sensor with drift compensated high resolution interferometric wavelength shift detection. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(1): 72~ 74
- [2] Xu M G, Archambault J L, Reekie L *et al.*. Discrimination between strain and temperature effects using dual-wavelength fiber grating sensors. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(13): 1085~ 1087
- [3] Jams S W, Dockney M L, Tatam R P. Simultaneous independent temperature and strain measurement using in-fiber Bragg grating sensors. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(12): 1133~ 1134

- [4] Patrick H J, Williams G M, Kersey A D *et al.*. Hybrid fiber Bragg grating/long period fiber grating sensor for strain/temperature discrimination. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(9) : 1223~ 1225
- [5] Kanellopoulos S E, Handerek V A, Rogers A J. Simultaneous strain and temperature sensing with photogenerated in-fiber gratings. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(3) : 333~ 335
- [6] Du Weichong, Tao Xiaoming, Tam Hwayaw. Fiber Bragg grating cavity sensor for simultaneous measurement of strain and temperature. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1) : 105~ 107
- [7] Han Y G, Kim C S, Oh K *et al.*. Performance enhancement of strain and temperature sensors using long period fiber grating. *Proc. SPIE*, 1999, **3746** : 58~ 61

Simultaneous Measurement of Strain and Temperature Using a Single Fiber Bragg Grating

Guan Baiou^{1), 2)} Tam H Y¹⁾ Ho S L¹⁾
Liu S Y¹⁾ Dong Xiaoyi²⁾

[1), *Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong*
[2), *Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*]

(Received 10 May 1999)

Abstract A new approach for simultaneous measurement of strain and temperature using a single fiber Bragg grating is proposed and demonstrated. The fiber Bragg grating used for simultaneous measurement of strain and temperature was written on the joint of two different fibers, and has two reflection-peaks at different wavelength. One section of the grating was bonded onto the substrate with large thermal expansion coefficient, so, the two reflection-peaks show different strain and temperature response, and strain and temperature can be measured simultaneously.

Key words fiber Bragg grating, sensing, strain.