

# 光纤光栅透射谱线的测量

张艺兵 刘志国 王 江 董孝义

(南开大学现代光学研究所 天津 300071)

**提要** 在已有光纤光栅调谐技术的基础上,研究了一种由不同光谱特性的光纤光栅组成的光栅对,用于测量光纤光栅谱线结构。并给出了测试结果。

**关键词** 光纤光栅, 光纤光栅调谐, 光纤光栅谱线, 光谱测量

## 1 引 言

光纤光栅制作及应用技术发展至今,由于激烈的需求,相继出现了布喇格光纤光栅(FBG)、长周期光纤光栅(LPG)等。这些光栅都是对特定波长光波起作用的。光纤光栅是直接光敏光纤中制作的具有波长编码、解码能力的光纤无源器件,与普通光纤一样具有天然的兼容性,加之其插入损耗低、使用寿命长,以及工作波长对周围环境的温度变化与应变敏感,因此在光纤通信、传感方面都具有很大的应用潜力。

目前测试波长编码信号通常是直接利用光纤光谱仪或波长可调半导体激光器,因这类仪器的高精度、高灵敏度,导致价格昂贵,而且其体积较大,使用条件苛刻,难以携带,不易在工程现场使用和普及。关于光纤光栅系统信号的小型实用化检测结构已有报道<sup>[1-8]</sup>,我们在已有光纤光栅调谐技术基础上<sup>[9]</sup>,提出了一种新颖的测量方法,即由光谱特性不同的两根光纤光栅组成光栅对,采用带尾纤 PIN 光电二极管作为探测器直接对光纤光栅透射谱线进行测试。

## 2 实验装置与原理

实验中使用的光纤光栅是我们近期利用位相掩模法自行研制的。

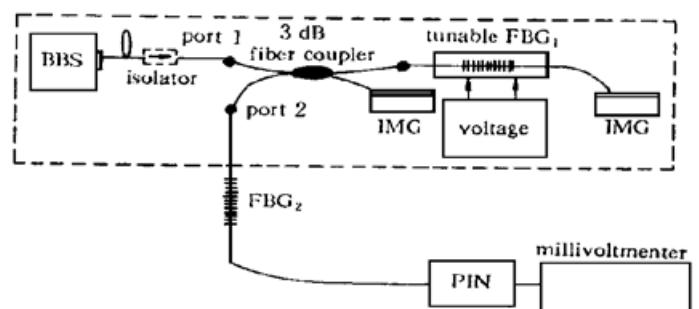
实验测试装置如图 1 所示。利用 3 dB 耦合器将两根光纤光栅(FBG<sub>1</sub>, FBG<sub>2</sub>),其中 FBG<sub>1</sub>

图 1 光纤光栅 FBG<sub>2</sub> 透射谱测量实验结构

BBS: 宽带光源; IMG: 折射率匹配液;  
FBG: 光纤光栅

Fig. 1 The experimental set-up for measuring the transmission spectrum of FBG<sub>2</sub>

BBS: broad-band source; IMG: index matching gel;  
FBG: fiber Bragg grating



的光谱特性已知,且 FWHM 很窄)连接成光纤光栅对,将光信号从耦合器一端 port1 输入,光栅 FBG<sub>1</sub> 产生反射光。待测光纤光栅 FBG<sub>2</sub> 接在 Port2 端,调谐 FBG<sub>1</sub> 进行反射波长扫描,利用探测器检测 FBG<sub>2</sub> 的透射光。图中虚线框部分相当于一输出波长可调的单色光源,即利用电调谐光纤光栅(FBG<sub>1</sub>)对宽带光源(BBS, OPS-1 型稳定宽带光源,带宽: 70 nm, 功率: 30 μW)进行扫描选频,新光源带宽大小与 FBG<sub>1</sub> 的 FWHM 有关,强度与 BBS 输出功率及 FBG<sub>1</sub> 的反射率有关。使用的 FBG<sub>1</sub> 其 FWHM 为 0.14 nm, 反射率为 98%, 反射谱线见图 3, 工作波长调谐范围为 3 nm。实验中采用了简支梁结构调谐光纤光栅 FBG<sub>1</sub>, 这项技术在文献[9]中已有专门

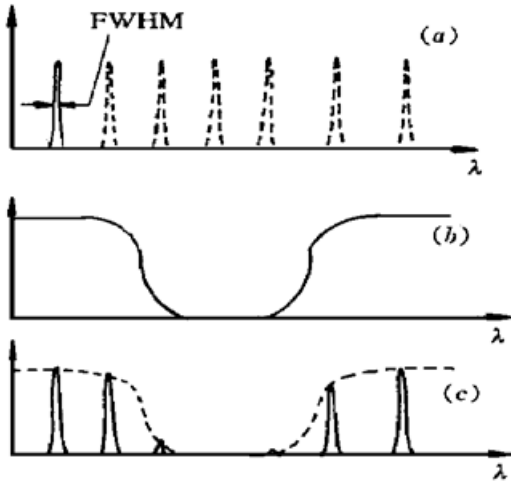


图 2 函数  $f(\lambda - \lambda')$  与  $g(\lambda)$  卷积原理

Fig. 2 The convolution of  $f(\lambda - \lambda')$  and  $g(\lambda)$  indicating the principle of this experiment

(a) FBG<sub>1</sub>  $f(\lambda - \lambda')$ ; (b) FBG<sub>2</sub>  $g(\lambda)$ ;

(c)  $h(\lambda') = f(\lambda - \lambda') * g(\lambda)$

线结构进行梳状函数取样,即

$$h(\lambda') = f(\lambda - \lambda') * g(\lambda) = \sum_{n=0}^n \delta(\lambda - \lambda_n') * g(\lambda) = \sum_{n=0}^n g(\lambda_n')$$

### 3 实验结果与分析

利用光纤光谱仪对简支梁电调谐结构<sup>[9]</sup>的电压-波长关系进行校准,便可得到表征透射光强大小的电压信号与波长关系的 FBG<sub>2</sub> 的谱线。图 3, 图 4 示出由光纤光谱仪直接测定的 FBG<sub>1</sub> 的反射谱线和 FBG<sub>2</sub> 的透射谱线, 图 5 给出了光纤光栅对结构测试 FBG<sub>2</sub> 透射谱线结果。

由图 5 的实验结果可以看出,利用这种光纤光栅对结构,已可测出光纤光栅 FBG<sub>2</sub> 的透射谱线,测试结果与精密光谱仪给出的结果基本相符。利用光纤光栅对测量的谱线半宽度为 0.55 nm, 光谱仪测试结果 0.60 nm, 误差为 0.05 nm。结果的误差部分主要来自实验中光纤光栅 FBG<sub>1</sub> 的电调谐结构,文献[9]报道的光纤光栅调谐线性度极好 ( $R^2 = 0.999$  以上),采用电磁螺线圈进行电调谐后,因为这种电控位移结构缺陷影响了电磁位移与电压线性关系(如图 6),从而产生误差。谱线峰值波长的准确性也与调谐机构有关,故扫描结构的准确性及精度的进一步提高可以通过改善光纤光栅调谐机构来完成。从测得的谱线可以看出,将 FBG<sub>1</sub> 的扫描函数  $f(\lambda - \lambda')$  作梳状函数近似是可行的,在 FBG<sub>1</sub> 的 FWHM 很小的情况下,可以直接通过测

报道。为进一步改进该调谐结构,本实验通过电磁螺线圈电压调谐光纤光栅 FBG<sub>1</sub>。实验使用的探测器为带尾纤 PIN 光电二极管,用毫伏表测量透射光强对应的电压值。用 AV6361 型光纤光谱仪(灵敏度为 -70 dBm, 分辨率达 0.1 nm)对调谐机构校准。

这种谱线测量方式的理论依据是,对光纤光栅对的扫描探测在数学上是把 FBG<sub>1</sub> 的谱线扫描函数  $f(\lambda - \lambda')$  与 FBG<sub>2</sub> 谱线函数  $g(\lambda)$  进行卷积运算  $h(\lambda') = f(\lambda - \lambda') * g(\lambda)$ , 数学意义示于图 2。通过光纤光栅 FBG<sub>1</sub> 调谐,可以在光栅工作波长可调谐范围 ( $\Delta\lambda = 3$  nm) 内将 FBG<sub>1</sub> 的谱线函数变换成扫描函数  $f(\lambda - \lambda')$ , 光通过 FBG<sub>2</sub> 时,完成卷积计算。根据数学原理,如果 FBG<sub>1</sub> 的 FWHM 小(相对于被测光栅的 FWHM),且调谐过程中 FBG<sub>1</sub> 的谱线形状能够保持稳定,则将 FBG<sub>1</sub> 的谱线扫描函数  $f(\lambda - \lambda')$  作为梳状函数近似越好,扫描过程相当于对 FBG<sub>2</sub> 的谱

得的离散点得到待测光栅的谱线,而不必经过反卷积运算。若  $FBG_1$  调谐步长亦很小,即相当于对  $FBG_2$  谱线的取样频率高,得到的离散点平滑连线结果会更接近  $FBG_2$  的谱线  $g(\lambda)$  实际形状。

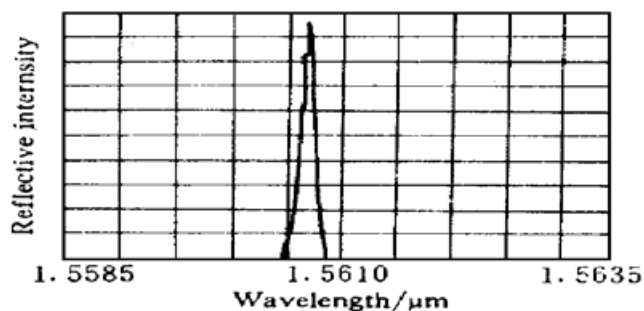


图3 光纤光栅  $FBG_1$  的反射谱  
(中心波长:  $1.56067 \mu\text{m}$ , 半宽度带宽:  $0.14 \text{ nm}$ )

Fig. 3 Reflective spectrum of  $FBG_1$   
(wavelength center:  $1.56067 \mu\text{m}$ , FWHM:  $0.14 \text{ nm}$ )

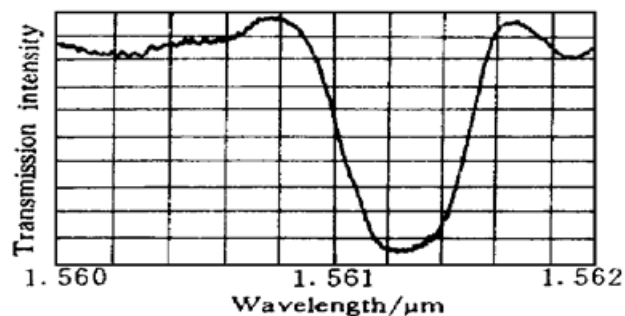


图4 光纤光栅  $FBG_2$  的透射谱  
(中心波长:  $1.5613 \mu\text{m}$ , 半宽度带宽:  $0.60 \text{ nm}$ )

Fig. 4 Transmission spectrum of  $FBG_2$   
(wavelength center:  $1.5613 \mu\text{m}$ , FWHM:  $0.60 \text{ nm}$ )

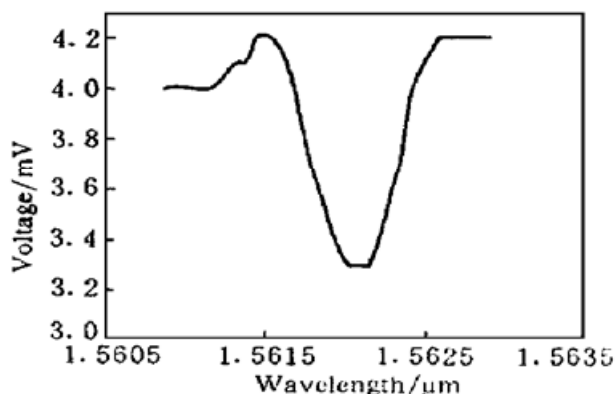


图5 光栅对测量  $FBG_2$  透射谱线

Fig. 5 Measured result of the transmission spectrum of  $FBG_2$  with a pair of  $FBG$ 's

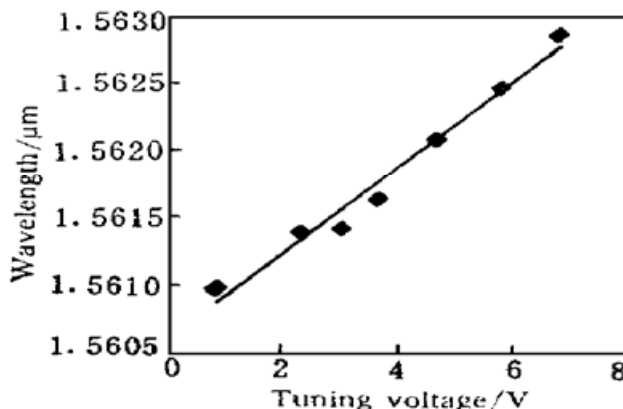


图6 电调谐光栅  $FBG_1$  的波长与电压关系

Fig. 6 Calibrated characteristic between wavelength and voltage of the voltage-tuning  $FBG_1$

由实验测量原理看,实验结果还会受到光源输出光强稳定性的影响,本实验所用光源稳定性较好(室内温度为  $10\sim 35^\circ\text{C}$ , 输出稳定度  $\leq 0.1 \text{ dB}$ , 短时间 ( $1 \text{ min}$ ) 稳定度  $\leq 0.02 \text{ dB}$ ), 故可以忽略其影响。另外,考虑到光纤光栅的温度灵敏度较应变灵敏度低,所以在实验过程中(室温条件)认为温度影响小而不计。作为对实验的改进,如果利用定向耦合器替代一般  $3\text{dB}$  耦合器实验效果会更好,若将隔离器连接于 Port1 口(图 1 中虚线标出),也可以降低因反射光引起的噪声。实验中我们也直接利用了光功率计探测透射光强信号,同样观察到较满意的实验结果。

### 参 考 文 献

- 1 A. D. Kersey, T. A. Berkoff, W. W. Morey. High-resolution fibre-grating based strain sensor with interferometric wavelength-shift detection. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(3): 236~ 238
- 2 D. A. Jackson, A. B. Lobo Ribeiro, L Reekie *et al.*. Simple multiplexing scheme for a fiber-optic grating sensor network. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(14): 1192~ 1194
- 3 M. A. Davis, A. D. Kersey. Matched-filter interrogation technique for fibre Bragg grating array. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(10): 822~ 823

- 4 M. G. Xu, H. Geiger, J. L. Archambault *et al.*. Novel interrogating system for fiber Bragg grating sensors using an acousto-optic tunable filter. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(17): 1510~ 1511
- 5 A. D. Kersey, W. W. Morey. Multiplexed Bragg grating fiber-laser strain-sensor system with mode-locked interrogation. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(1): 112~ 114
- 6 S. M. Melle, K. Liu, R. M. Measures. A passive wavelength demodulation system for guided-wave Bragg grating sensors. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, **4**: 516~ 518
- 7 M. A. Davis, A. D. Kersey. All-fibre Bragg grating strain-sensor demodulation technique using a wavelength division coupler. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(1): 75~ 77
- 8 Q. Zhang, D. A. Brown, H. Kung *et al.*. Use of highly overcoupled couplers to detect shifts in Bragg wavelength. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(6): 480~ 482
- 9 Liu Zhiguo, Zhang Yibing, Kai Guiyun. A new method for fiber grating linear tuning. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(12): 1731~ 1734 (in Chinese)

## The Measurement of Fiber-grating Transmission Spectra

Zhang Yibing   Liu Zhiguo   Wang Jiang   Dong Xiaoyi  
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)

**Abstract** Based on the technique of fiber-grating linear-tuning, this paper reports a new method of measuring fiber-grating transmission spectra using a pair of fiber-gratings of different spectral properties. This method is simple and effective. It is promising to become a new spectral technique. The experimental result is also presented.

**Key words** fiber-grating, tuning of fiber-grating, spectrum, measurement of spectrum