

文章编号 : 0253-2239(2001)10-1275-03

# 一种新颖的光纤光栅带宽调谐方法\*

董新永 刘志国 开桂云 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 教育部光电技术科学开放研究实验室, 天津 300071)

摘要: 提出了一种新颖有效的光纤光栅带宽调谐方法。将光纤布拉格光栅斜向粘贴到矩形截面弹性梁的侧面上, 通过调节弹性梁的曲率, 实现了对光纤布拉格光栅的线性带宽调谐, 调谐后的光纤光栅带宽可达 11.32 nm, 中心波长的变化小于 0.1 nm。

关键词: 光纤布拉格光栅; 带宽调谐; 波长调谐

中图分类号: TN253 文献标识码: A

## 1 引 言

光纤光栅具有优异的光波选频特性, 在光纤通信和光纤传感领域有很多应用。利用光纤光栅选频特性对应变和温度的敏感效应, 可以对许多物理量进行传感测量<sup>[1]</sup>; 反之, 通过控制光纤光栅的应变和温度, 可对光纤光栅的波长和带宽进行调谐, 应用于波分复用(WDM)通信系统中, 如可调光纤激光器、可调下载滤波器、色散补偿器和增益平坦器等<sup>[2]</sup>。因此, 寻找一种简单有效的光纤光栅波长、带宽调谐方法是非常重要的。光纤光栅的波长调谐可以通过施加轴向应力或改变温度获得, 带宽调谐的机理与波长调谐相同, 但要求施加的应力或温度是沿光栅梯度变化的, 以使光栅各部分的波长变化不同。已报道的方法有很多, 如 Hill<sup>[3]</sup>提出将光纤光栅埋置于软胶中, 然后在光栅一端施加轴向拉力, 利用应力在软胶中的衰减获得了 2 nm 的光栅带宽展宽; 另外的方法有光纤光栅锥形蚀刻法<sup>[4-6]</sup>, 锥形电阻外包层法<sup>[7]</sup>和梯形悬臂梁基底法<sup>[8,9]</sup>等。这些光纤光栅带宽调谐方法有一个共同的特点: 调谐过程中光栅的中心波长随带宽一起变化, 无法实现波长和带宽的分别调谐。这给实际的应用带来很多不便, 同时也限制了光纤光栅带宽调谐的范围。

本文在以前工作的基础上<sup>[10,11]</sup>, 提出了一种新颖的光纤光栅带宽调谐方法, 将光纤布拉格光栅粘贴到曲率可调的矩形截面弹性梁上, 利用梁弯曲时在不同层面上产生的梯度应变, 实现了对光纤光栅带宽的单参量调谐。利用这种方法可将光纤布拉格

光栅的带宽展宽到 11.32 nm。

## 2 光栅带宽调谐的原理

研究表明, 温度不变时, 光纤布拉格光栅的中心反射波长变化  $\Delta\lambda$  与其轴向应变  $\epsilon_{ax}$  满足<sup>[1]</sup>

$$\Delta\lambda/\lambda_B = (1 - p_e)\epsilon_{ax}, \quad (1)$$

其中  $\lambda_B$  为光纤光栅没有应变时的布拉格波长,  $p_e$  (约为 0.22) 为光纤的有效弹光因数。所以沿光纤光栅轴向施加梯度变化的应变, 使光栅各部分的布拉格波长变化不同, 可有效改变光栅的反射带宽。

将光纤光栅粘贴在矩形弹性梁的一个侧面上, 其轴向与弹性梁中性面的夹角为  $\theta$ , 并保证光栅部分的中点恰好位于梁的中性面上, 如图 1 所示。为了方便地描述梁上各厚度层, 定义  $z$  轴为垂直于中性面并以中性面为零点的坐标轴,  $z$  的大小仅表示厚度层与中性面的相对距离。由材料力学理论可知, 梁

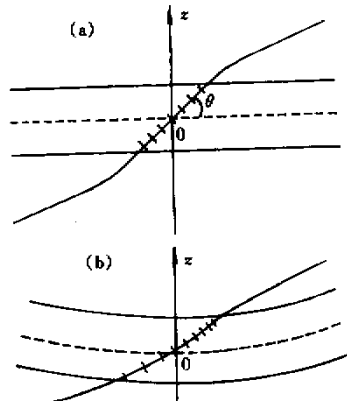


Fig. 1 Chirp fiber Bragg grating by using a flexible beam

\* 国家自然科学基金(60077012)资助课题。

在弹性范围内弯曲时, 梁上各厚度层将产生不同的应变  $\epsilon(z)$

$$\epsilon(z) = \kappa z, \quad (2)$$

其中  $\kappa$  为弹性梁中性面的曲率。此应变传递到光纤光栅上, 由于光栅轴向与各层面存在夹角, 引起光栅各部分栅格周期变化的应变将只是  $\epsilon(z)$  沿光栅轴向的分量。在梁的厚度和曲率比较小的情况下, 光栅各部分的轴向与所在层面的夹角可认为是一致的常量, 均为  $\theta$ 。因此, 光栅各部分的轴向应变可表示为

$$\epsilon_{ax}(z) = \kappa z \cos\theta, \quad (3)$$

即  $\kappa$  一定时, 沿光栅轴向的应变将按照很好的梯度分布。将光栅分为很多小段, 每相邻两小段的厚度差为  $\delta z$ , 并假设每一小段上应变相同, 应用(1)式和(3)式, 可得相邻两小段光栅的布拉格波长差为

$$\delta\lambda = \lambda_B \kappa (1 - p_e) \cos\theta \cdot \delta z. \quad (4)$$

整个光栅的带宽展宽是各小段光栅波长变化的总和, 因此利用上式对全部光栅积分, 可得到光栅带宽展宽  $\Delta\lambda_{chirp}$  与曲率  $\kappa$  的关系

$$\Delta\lambda_{chirp} = \int \delta\lambda = \lambda_B \kappa l (1 - p_e) (\sin 2\theta) / 2, \quad (5)$$

式中  $l$  为光栅的长度。由上式可见, 光栅调谐后的带宽与梁的曲率成线性关系, 通过调节梁的曲率可以对光栅进行线性带宽调谐。

### 3 实验结果与讨论

实验采用简支梁结构获得弹性梁的曲率变化(如图2所示)。因为光栅的长度远小于简支梁的跨度, 光栅附着部分梁的中性面的曲率可认为是一致的。由文献[10]可知, 简支梁中点处中性面的曲率与挠度的关系为

$$\kappa = 12S/L^2, \quad (6)$$

式中  $S$  和  $L$  分别为梁中点处的挠度和梁的跨度。因此, 通过调节梁中点处的挠度, 可有效地对梁的曲率进行调节, 进而获得光纤光栅不同程度的带宽调谐。

光纤光栅带宽测量装置如图2所示。由自制宽带光源(BBS)发出的光经3 dB耦合器到达光纤光栅, 被反射回来的光再经3 dB耦合器, 最后由光谱

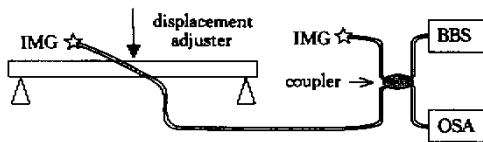


Fig. 2 The experimental setup for chirping fiber Bragg grating

分析仪(OSA)检测。IMG为折射率匹配液。实验中所用光纤光栅的长度为11 mm, 自由状态下的布拉格波长为1557.1 nm, 反射带宽为0.42 nm, 矩形弹性梁的跨度、宽度和厚度分别为10 cm、6 mm和5 mm, 粘贴后光栅轴向与梁长的夹角为24°, 梁的挠度由精密位移给进装置步进调节。

图3为实验得到的不同曲率的光纤光栅的四个反射谱。由图可见, 光栅反射峰的带宽从0.42 nm展宽到了11.32 nm, 而中心波长变化小于0.1 nm, 峰值反射率从26 dB下降到了19.5 dB。

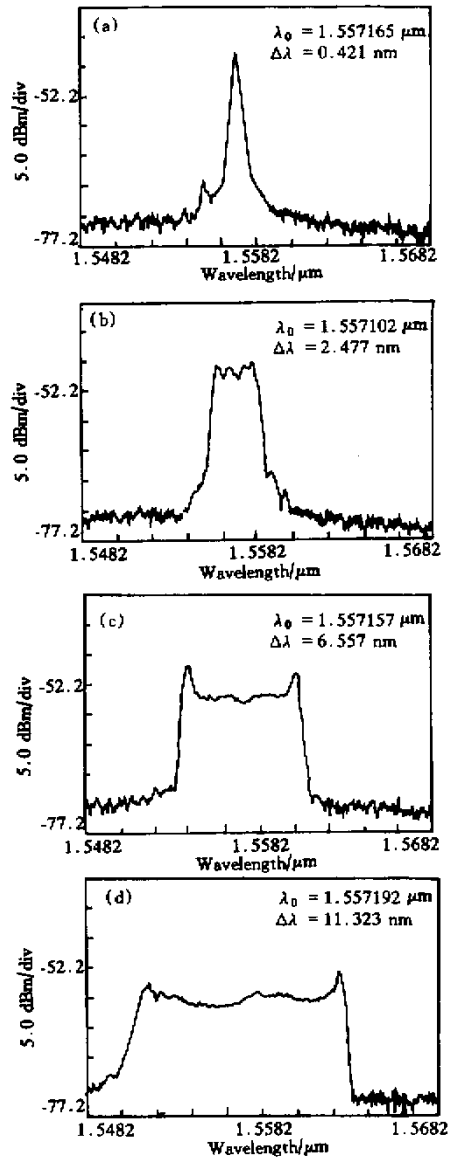


Fig. 3 Reflection spectra of fiber Bragg grating under different curvature. (a)  $0 \text{ m}^{-1}$ ; (b)  $0.7 \text{ m}^{-1}$ ; (c)  $2.2 \text{ m}^{-1}$ ; (d)  $4 \text{ m}^{-1}$

光纤光栅带宽与梁曲率的实验曲线如图 4 所示,二者成良好的线性关系,线性拟合得带宽调谐的速率为  $2.74 \text{ nm/m}^{-1}$ 。

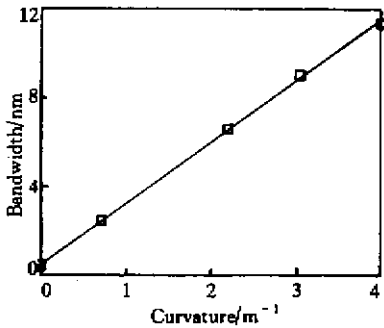


Fig. 4 The relationship between the bandwidth of fiber grating and the curvature of the beam

与其它光纤光栅带宽调谐的方法相比,这种方法可获得比光纤布拉格光栅的反射带大得多的展宽,实验得到的最大带宽可达  $11.32 \text{ nm}$ 。而且调谐过程中反射带是向长波侧和短波侧同时展宽,中心反射波长几乎不变,这就实现了光纤布拉格光栅带宽的单参量调谐。这是其不同于其它调谐方法的一个主要特点,也是获得大带宽调谐量的关键所在。

理论计算发现,由(5)式、(6)式得到的  $\Delta\lambda_{\text{chirp}}-\kappa$  的理论斜率为  $4.96 \text{ nm/m}^{-1}$ ,比实验值大得多。这主要有两方面的原因:一是应变在由梁表面到光纤光栅的传递过程中由于非刚性粘贴造成应变损失;二是光栅两端由于偏离简支梁中点造成实际曲率低于理论值。所以,提高光栅粘贴质量或优化实验设计可望获得更高的光栅带宽调谐速率和调谐量。

结论 提出了一种新颖有效的光纤光栅带宽调谐方法,将光纤布拉格光栅斜向粘贴到矩形截面弹性梁的侧面上,利用弹性梁弯曲所产生的梯度应变,实现了光纤光栅带宽的单参量线性调谐。实验得到的最

大带宽值为  $11.32 \text{ nm}$ ,调谐前后的中心布拉格波长几乎不变。而且通过改进,如提高光栅的粘贴质量以减少应变传递损失,或采用更接近  $45^\circ$  的角  $\theta$ ,可得到更大的带宽调谐速率和调谐量。由于啁啾光纤光栅在滤波、色散补偿和温度不敏感传感等方面的重要应用,这种光纤光栅带宽调谐装置在光通信和光传感方面都将有很大的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] Kersey A D, Davis M A, Patrick H J *et al.*. Fiber grating sensors. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1442~1463
- [2] Park K N, Lee Y T, Kim M H *et al.*. All-fiber drop-pass filters with fiber Bragg gratings. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(4):555~557
- [3] Hill P C, Eggleton B J. Strain gradient chirp of fibre Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(14):1172~1174
- [4] Dong L, Crus J L, Reekie L *et al.*. Tuning and chirping fiber Bragg gratings by deep etching. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(12):1433~1435
- [5] Putnam M A, Williams G M, Friebele E J. Fabrication of tapered strain-gradient chirped fibre Bragg grating. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(4):309~310
- [6] 韦占雄,秦莉,韦欣等.用布拉格光纤光栅制作啁啾光纤光栅. *光学学报*, 1999, **19**(11):1563~1566
- [7] Eggleton B J, Rogers J A, Westbrook P S *et al.*. Electrically tunable power efficient dispersion compensation fiber Bragg grating device. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(7):854~856
- [8] Hill K O, Bilodeau F, Malo B *et al.*. Chirped in-fiber Bragg gratings for compensation of optical-fiber dispersion. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17):1314~1316
- [9] 秦玉文,赵玉成,张劲松等.均匀光纤光栅 Chirp 化及其用于色散补偿实验研究. *中国激光*, 1999, **A26**(10):935~939
- [10] 董新永,张颖,关柏鸥等.光纤光栅曲率传感的实验研究. *光子学报*, 2000, **29**(9):806~809
- [11] 刘志国,张义兵,开桂云等.新型光纤光栅线性调谐方法. *光学学报*, 1998, **18**(12):1732~1734

## A Novel Method to Chirp Fiber Grating

Dong Xinyong Liu Zhiguo Kai Guiyun Dong Xiaoyi

(Optical Information Science Lab, NED; Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 4 July 2000; revised 27 October 2000)

**Abstract:** A novel and efficient method for chirping fiber grating is demonstrated. The fiber Bragg grating was attached slantwise on a side face of a flexible beam. When the beam is bending, a strain gradient formed along the grating produces a variable shift in the Bragg spacing, resulting in a chirp up to  $11.32 \text{ nm}$  nearly without central wavelength shift.

**Key words:** fiber Bragg gratings; band width tuning; wavelength tuning