

文章编号: 0258-7025(2002)11-1011-04

应变对啁啾光栅特性影响的研究

宁提纲, 裴 丽, 简水生

(北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要 对光纤光栅在应力作用下光栅的中心波长、带宽、时延进行了研究, 实验中发现光栅的中心波长、带宽随应力改变而呈线性变化, 时延的线性度在光栅拉伸时变得更好, 时延纹波减小, 补偿量减小, 光栅的反射率也减小。

关键词 光纤光栅, 3 dB 带宽, 中心波长, 时延, 线性调谐

中图分类号 TN 253 文献标识码 A

Study on Strain Effect of Chirped FBG Characterization

NING Ti-gang, PEI Li, JIAN Shui-sheng

(Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract The strain effect on fiber Bragg grating (FBG) wavelength, 3 dB bandwidth reflectivity and characterization of delay is experimentally studied. Change of the center wavelength and 3 dB bandwidth is linear with the strain, but the reflectivity decreases when the strain increases. Linearity of delay becomes better, root-mean-square deviation of delay ripple reduced and compensation lessens, when the strain increases.

Key words fiber Bragg grating, 3 dB bandwidth, center wavelength, delay, linear tuning

1 引 言

1978 年, 渥太华通信研究中心的 K. O. Hill 等首次报道了光纤中的光敏现象及永久性自组织光纤光栅的形成^[1]。G. Meltz 等以波长 ~ 244 nm 的紫外光为光源用全息干涉的方法从侧面对光纤进行曝光, 首次研制出布拉格波长与写入波长不同的紫外写入光纤光栅^[2]。随着紫外写入技术的发展^[3], 光纤光栅的应用变得越来越广泛, 在光通信领域中可用于上/下话路器(OADM)^[3-5]、滤波器^[3,5]、光纤光栅激光器^[3,6]、光纤光栅色散补偿器^[3,7]、光纤光栅 EDFA 增益平坦器^[3,8]、光纤光栅编解码器等等, 在传感领域也有广泛的应用与研究^[3,9]。在光纤光栅的应用中, 其中心波长、带宽、反射率和时延特性, 都是我们必须了解的, 当光纤光栅的外界条件发生变化时, 光栅的这些参数同样也会发生变化。我们研究了光纤光栅在发生应变时, 这些参数的变化, 为光

纤光栅的应用提供了有力的实验支持。

2 理论分析

光纤材料是 SiO₂, 在一定范围内, 它可以被拉伸或压缩。在光纤中写入光栅后, 当温度或/和应力发生变化时, 会引起光栅的周期和折射率调制发生变化, 从而导致光栅的其他参数改变。实际上温度和应力对光栅的作用是难以区分的。本文只考虑温度不变时应力的影响。当应力不超过弹性限度时, 材料的应变 ϵ 与应力 σ 成正比关系, 即 $\epsilon = \sigma/E$, E 为材料的弹性模量。实验中在光栅中引入应变的方法是采用悬臂梁调节机构^[10]。用其他方法引入应力对光栅参数的改变实质上是一样的, 但悬臂梁引入的光栅应变容易表达出来。如图 1, 对于悬臂梁表面上的一点 x , 应变的大小可以表示为

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F(l-x)}{W_2 E} \equiv CF(l-x) \quad (1)$$

收稿日期: 2001-07-03; 收到修改稿日期: 2001-10-29

基金项目: 国家“863”项目(863-317-02-03-99)国家自然科学基金(编号: 69999610)和北方交通大学论文攀登基金资助项目。

作者简介: 宁提纲(1968.10—), 男, 湖南省隆回人, 在读博士生, 主要从事高速光纤通信网及其关键器件的研究, 特别是光纤光栅的写入及其在光通信系统中的应用研究。E-mail: ntigang@163.net

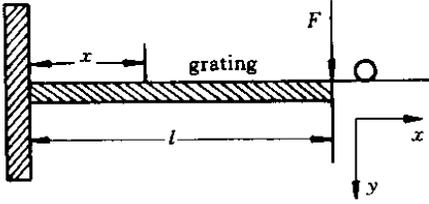


图 1 悬臂梁调节光栅的装置

Fig.1 Schematic diagram of cantilever beam

其中 F 为在悬臂梁自由端所施加的作用力, W_z 为惯性矩, 它的值与材料截面的形状和大小有关, l 为悬臂梁长度, 由(1)式知悬臂梁调节时应变是线性的。只有应力作用时, 结合(1)式, 光栅中心波长偏移量^[3]可以表示为

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - p_e)\epsilon = (1 - p_e)CF(l - x) = uF(l - x) \quad (2)$$

其中 p_e 为光栅材料光弹系数, 对石英其值近似为 0.21。根据材料力学的知识, 可以推导出在弹性限度内光栅周期变化与应力的关系

$$\frac{d\Delta_{pm}}{dx} = CF\left(lx - \frac{1}{2}x^2\right) \quad (3)$$

其中 x 范围为有光栅的区间, 折射率的变化^[11]可以近似表示为

$$\frac{\delta n_{eff}}{n_{eff}} = \frac{\delta\Delta_{pm}}{\Delta_{pm}} - \frac{n_{eff} - k}{n_{eff}}\epsilon \quad (4)$$

其中 n_{eff} 和 Δ_{pm} 为光栅在自由状态下的参数, k 为光栅折射率应变系数。由式(1)~(3)可知光栅的啁啾参数^[3]

$$\frac{d\psi}{dz} = -\frac{8\pi n_{eff} z}{\lambda_D^2} \frac{d\lambda_D}{dz} \quad \lambda_D \text{ 为啁啾光栅设计的波长}$$

光栅的啁啾量由啁啾光栅设计的最小波长与最大波长确定, $\frac{d\lambda_D}{dz}$ 在拉伸时增大, 因此光栅的时延量减少; 由式(1)~(3)可以定性知道, 在拉伸的时候, 有效折射率减少, 光栅的反射率降低; 光栅的时延纹波(ripple)主要是由于两端的 F-P (Fabry-Perot) 效应, 在拉伸的时候, 有效折射率降低使得光栅两端的 F-P 效应减少, 光栅时延纹波降低; 光栅的 3 dB 带宽^[3] $\frac{\delta n_{eff}}{n_{eff}}\lambda_D$ 在拉伸时增大。利用上述理论分析得到的定性结果与下面的实验结果是一致的。

3 实验结果

实验采用啁啾光栅是用氢载的普通单模光纤写

入的, 光栅长度为 132 mm, 光栅起点离悬臂梁固定点 20 mm, 3 dB 带宽为 1.038 nm, 反射率为 51.5%。光栅被胶固定在悬臂梁上, 如图 1, 悬臂梁尺寸为 2 mm × 4 mm × 260 mm, 光谱仪分辨率为 0.01 nm, 色散分析仪的分辨率设置为 0.01 nm, 光源利用 EDFA 的自发辐射噪声。

在不同荷载 (F) 条件下, 分别测量了光栅的反射率、中心波长、带宽、时延, 对测得的时延特性进一步分析了补偿量、纹波均方差。光栅反射率随压力增大, 呈现出下降的趋势, 如图 2, 中心波长和带宽的变化随压力增大线性增大, 这与式(2)的分析一致, 如图 3, 时延特性如补偿量、纹波、均方差均随压力增大而减小, 利用(3)(4)式结合耦合模理论可以很好地分析时延在应变下的特性变化。如图 4, 图 5, 纹波和均方差减小说明光栅的时延特性具有更好的线性度和更小的离散性, 这在色散补偿中是有利的, 补偿量的变化, 说明这可以用于对系统进行动态色散补偿, 这对高速通信系统是十分有意义的, 因为在高速通信时残留色散值要求小, 用 DCF 或啁啾光纤光栅进行固定补偿后, 环境变化引起色散变化, 这时可变色散补偿尤为重要。

图 2~5 中“×”和“+”均表示实际测得的值, 图

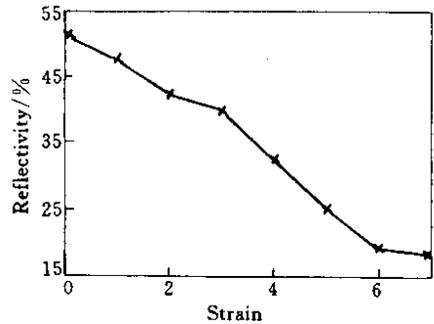


图 2 光栅反射率与应变的关系

Fig.2 Relation between reflectivity and strain

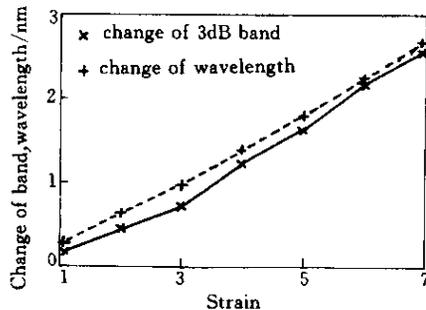


图 3 光栅带宽、中心波长与应变的关系

Fig.3 Relation between wavelength/bandwidth and strain

中应力均指(2)式中系数与 F 的积,图 4 纹波最大值是除以 3 后才绘在同一图中,图 3 表明,中心波长的变化与应力成线性关系,这与文献 3 中的结论是一致的。带宽的变化近似呈线性变化。图 5 表明光栅的补偿量在应力的作用下线性地减小,这在色散补偿中非常有价值。

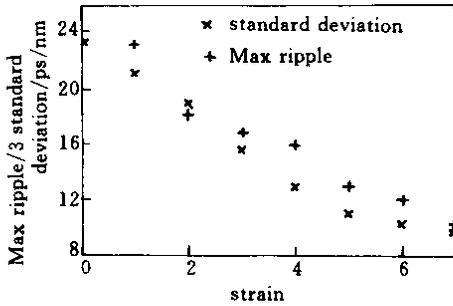


图 4 时延纹波与应变的关系

Fig.4 Relation between delay ripple and strain

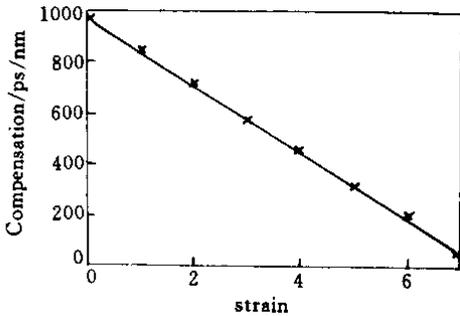


图 5 补偿与应变的关系

Fig.5 Relation between compensation and strain

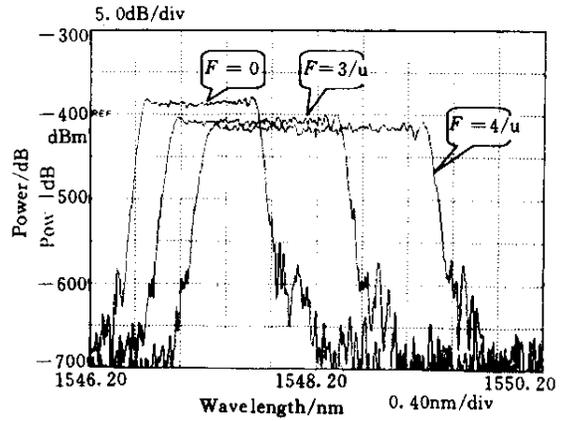


图 6 测得的光栅在不同应力下的光谱

Fig.6 Spectrum at different strain

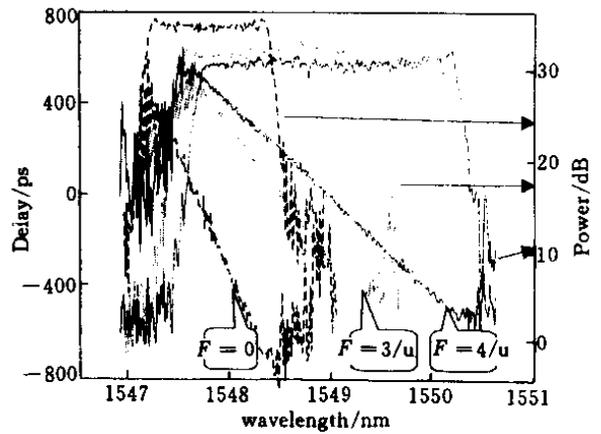


图 7 色散分析仪测得的光栅在不同应力下的时延

Fig.7 Delay and spectrum at different strain by dispersion analyzer

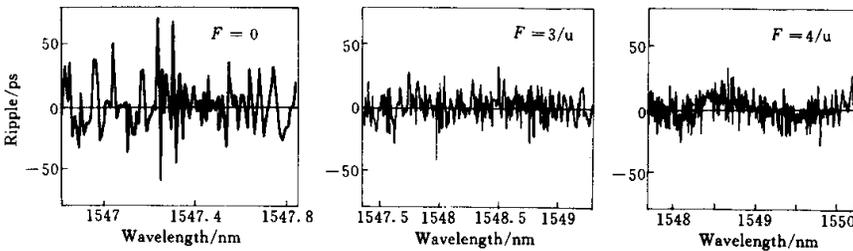


图 8 不同应力下光栅时延的纹波

Fig.8 Delay ripple at different strain

为了研究应力作用下的时延特性,本文采用的光栅写入没有很好地切趾,纹波较大,图 6~8 是选 $F = 0, 3/u, 4/u$ 时,光谱、时延、纹波的变化,从图 6 可以看到,压力增大,光栅的带宽增大,中心波长向长波长移动,光栅消光比下降,从侧面说明折射率调

制下降,反射率降低,式(4)的 k 值应使右端在应力拉伸光栅时为负。图 7 说明应力加大时补偿量减小。图 8 说明在压力加大时,时延纹波减小,波动离散性也减小。

4 结 论

对啁啾光栅用悬臂梁进行了线性调谐,在应力线性增大时,光栅中心波长线性增大,带宽增大,反射率降低,时延特性变好,如时延线性度变好,时延纹波最大值减小,时延纹波均方差减小,这与理论符合较好。这些实验结论对光纤光栅的应用十分有意义,如采用调谐啁啾光栅的方法对线路进行动态色散补偿,可以对光纤光栅激光器进行波长调整等。

参 考 文 献

- 1 K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson. Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**(10):647 ~ 649
- 2 G. Meltz, W. W. Morey, W. H. Glenn. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method [J]. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(15):823 ~ 825
- 3 K. O. Hill, G. Meltz. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1263 ~ 1276
- 4 C. R. Giles. Lightwave applications of fiber Bragg gratings [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1391 ~ 1404
- 5 Kwang No Park, Young Tak Lee, Min Hyung Kim *et al.*. All-fiber drop-pass filters with fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(4):555 ~ 557
- 6 Nam Seong Kim, Mahendra Prabh, Cheng Li *et al.*. 1239/1484 nm cascaded phosphosilicate Raman fiber laser with CW output power of 1.36 W at 1484 nm pumped by CW Yb-doped double-clad fiber laser at 1064 nm and spectral continuum generation [J]. *Opt. Comm.*, 2000, **176**:219 ~ 222
- 7 Sadayuki Matsumoto, Takuya Ohira, Masakazu Takabayashi *et al.*. Tunable dispersion equalizer with a divided thin film heater [C]. OFC '2001 Anaheim, California 2001, TuS4-1 ~ TuS4-3
- 8 M. Rochette, M. Guy, S. LaRochelle *et al.*. Gain equalization of EDFA's with Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(5):536 ~ 538
- 9 Sung Chul Kang, Se Yoon Kim, Sang Bae Lee *et al.*. Temperature-independent strain sensor system using a tilted fiber Bragg grating demodulator [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(10):1461 ~ 1463
- 10 Jian Shuisheng, Zhao Yucheng, Wei Daoping *et al.*. Experiment on single mode fiber dispersion compensation using adjustable chirp and wavelength fiber Bragg grating [J]. *Science in China (Series E)*, 1999, **42**(2):165 ~ 170
- 11 Henriksson A., Sandgren, Asseh A.. Temperature insensitivity of a fiber optical Bragg grating strain sensor [C]. *SPIE*, 1996, **2839**:20 ~ 23