

文章编号: 0253-2239(2003)02-0164-06

新型光纤光栅中心波长与带宽独立调谐方法*

张伟刚 开桂云 董孝义 袁树忠 赵启大

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 提出了一种新型光纤光栅中心波长与带宽独立调谐方法。将光纤光栅沿圆柱形弹性梁的轴向成一定角度粘贴于侧面, 通过改变梁的扭转角与侧向位移, 实现了光纤布拉格光栅中心波长与带宽的准线性独立调谐。实验上获得了 8.28 nm 准无啁啾波长调谐和 5.32 nm 准无中心波长漂移的带宽调谐, 实验结果与理论分析一致。

关键词: 光纤光学; 光纤布拉格光栅; 波长调谐; 带宽调谐; 弹性梁

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引 言

在光纤通信及光纤传感器实用化进程中, 光纤光栅波长调谐技术的研究与开发一直是人们重点关注的课题。在一些重要领域, 如可调谐光纤激光器、波分复用/解复用器(WDM/DM)、波长上下复用器(WADM)、光纤色散补偿器、增益平坦器、调谐滤波器、光纤光栅传感器等方面, 包括准无啁啾波长调谐与大范围带宽调谐技术均有重要的应用^[1,2]。光纤布拉格光栅(FBG)调谐方法已见诸多种文献, 从对光纤光栅的作用方式而言, 有机械调谐、电磁调谐、热调谐等之分; 从对波长的调谐关系而言, 又有线性调谐与非线性调谐之别, 上述方法各有所长, 适用于不同调谐系统的需求。在光纤光栅调谐技术的研发中, 需要重点解决两个问题: 一是尽量弱化中心波长调谐的啁啾度以实现准无啁啾波长的位移调谐; 二是带宽调谐过程中尽量保持中心波长的稳定以实现准无中心波长漂移的带宽调谐。前者报道较多^[3~10], 后者已引起了研究者的很大关注^[11~18]。

由于线性啁啾光纤光栅在激光脉冲产生、色散补偿、增益平坦及温度不敏感传感等方面具有特别重要的作用, 因此, 探索新型、实用的光纤光栅中心波长与带宽独立调谐方法是一项很有实际价值的课题。基于作者以往的研究工作^[1,3,16,18], 本文提出了一种新型光纤光栅中心波长与带宽独立调谐方法。

该方法将光纤布拉格光栅斜向粘贴于圆柱形弹性梁的侧面, 通过改变梁的扭转角与侧向位移, 实现对光纤布拉格光栅中心波长与带宽的准线性独立调谐。实验上获得了 8.28 nm 的准无啁啾波长调谐和 5.32 nm 准无中心波长漂移的带宽调谐, 实验结果与理论分析是一致的。

2 光纤布拉格光栅中心波长与带宽调谐原理

大量研究证明: 在恒温条件下, 光纤布拉格光栅轴向应变 ϵ 引起的相对波长变化为^[1]

$$\Delta\lambda/\lambda_0 = \kappa\epsilon, \quad (1)$$

式中 λ_0 为光纤布拉格光栅自由态的中心波长, $\kappa = 1 - p_e$ 为应变调谐系数, p_e 为有效弹光系数(约为 0.22), 与光纤泊松比、纤芯有效折射率有关。(1) 式是光纤光栅波长应变调谐的理论基础。若直接对光纤布拉格光栅施加轴向应变 ϵ , 则 κ 很小(当 $\lambda_0 = 1550$ nm 时, $\kappa \approx 1.2 \times 10^{-3}$ nm/ μ strain)。一种有效、实用的技术是将光纤布拉格光栅粘贴在弹性好的衬底材料上, 通过对弹性材料施加外力间接增大 κ 值。外力的形式包括纵向应力(使弹性梁轴向拉伸或压缩)、横向应力(使弹性梁侧向弯曲)以及扭转应力(使弹性梁扭转)。(1) 式表明, 若对光纤布拉格光栅施以线性或非线性应变, 则可实现对其反射(或透射)波长的线性或非线性调谐。

本文对光纤布拉格光栅中心波长与带宽的独立调谐, 是采用均质、各向同性的圆柱形弹性梁结构设计实现的。设 L 、 D 、 E 、 G 、 I 和 I_p 分别代表梁长、横截面直径、杨氏模量、剪切模量、惯性矩和极惯性矩, 长度

* 国家自然科学基金(60077012)、国家博士点基金、天津市科技攻关项目(003104011)、天津市自然科学基金(013800511)、南开大学人事处科研启动基金资助课题。

E-mail: wraigangzh20@eyou.com, wraigangzh22@sina.com

收稿日期: 2001-12-30; 收到修改稿日期: 2002-04-27

为 l_0 的光纤布拉格光栅沿梁轴向成 β 角粘贴于梁的中部表面, 其中心点位于梁的中性面与其表面的交线上。在下面的分析中, 为简明且不失一般性, 忽略弹性梁因弯矩、扭矩及重量产生的横截面和轴向之形变。对扭梁和简支梁分别采用纯转动和纯弯曲假设。

2.1 光纤布拉格光栅中心波长调谐原理

若梁的一端固定, 另一端轴向自由并施加一扭矩, 则该梁成为扭梁, 如图 1 所示。

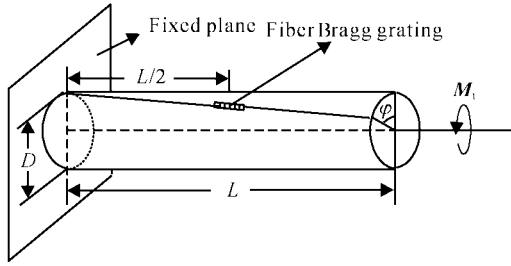


Fig. 1 The schematic diagram of the FBG tuning wavelength principle based on the torsional beam

根据材料力学理论, 在纯转动条件下, 在弹性范围内扭转时, 受扭矩 M_t 作用的梁表面任一点的扭应变 γ 可表示为^[1]

$$\gamma = \frac{DM_t}{2GI_p}, \quad (2)$$

在扭应变不大的条件下 ($D \ll L$), 光纤布拉格光栅的应变 ϵ 可表示为^[3]

$$\epsilon \approx \frac{\gamma \sin 2\beta}{2}, \quad (3)$$

式中 β 为光纤布拉格光栅的粘贴角。合并(1)式~(3)式, 得

$$\Delta\lambda = \frac{(1-p_c)\lambda_0 D \sin 2\beta}{4GI_p} M_t = \kappa_M M_t, \quad (4)$$

式中 $I_p = (\pi D^4)/32$ 。由自由端扭转角关系 $\varphi = LM_t/(GI_p)$, 得

$$\Delta\lambda = \frac{(1-p_c)\lambda_0 \sin 2\beta}{4L} \varphi = \kappa_\varphi \varphi, \quad (5)$$

式中 κ_M 与 κ_φ 分别为光纤布拉格光栅中心波长的扭矩和扭转角调谐系数。(4)式、(5)式表明, 光纤布拉格光栅中心波长的变化 $\Delta\lambda$ 与扭矩 M_t 及扭转角 φ 均成准线性(或亚线性)关系, 此二式是基于圆柱形扭梁对光纤布拉格光栅中心波长调谐的基本原理。当 $\varphi > 0$ 时, M_t 使光纤布拉格光栅栅格变大, $\Delta\lambda > 0$, 导致波长“红移”; 反之, 当 $\varphi < 0$ 时, M_t 使光纤布拉格光栅栅格变小, $\Delta\lambda < 0$, 导致波长“蓝移”。在小扭应变及梁长远大于直径的条件下, 这种扭梁可视为等强度梁。因此, 利用该机构可实现光纤布拉格光栅中心波长的准线性调谐。

2.2 光纤布拉格光栅带宽调谐原理

若使梁沿轴向自由而在其两端施加垂直方向的约束, 并对梁之中部施加垂直梁轴的应力时, 则该梁成为简支梁, 如图 2 所示。

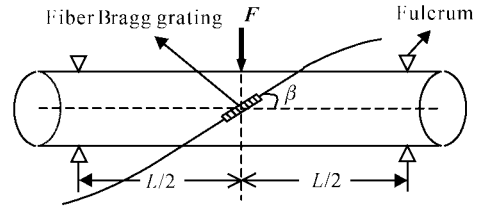


Fig. 2 The schematic diagram of the FBG tuning bandwidth principle based on the simple beam

根据材料力学理论, 在纯弯曲条件下, 在弹性范围内弯曲时, 沿光纤布拉格光栅中心并垂直于梁轴方向, 受应力 F 作用的梁之各层的应变 ϵ 可表示为^[1]

$$\epsilon = \frac{FL}{4EI} h, \quad (6)$$

式中 h 为光纤布拉格光栅上的微元 dh 与梁之中性面的垂直距离。考虑到光纤布拉格光栅上各点的挠度均很小, 即满足微弯条件, 可假定光纤布拉格光栅上各处产生的啁啾是呈准线性梯度变化的。因此, 沿光纤布拉格光栅各部分的轴向应变 $d\epsilon_f$ 应为 $d\epsilon$ 在光纤布拉格光栅上的投影

$$d\epsilon_f = d\epsilon \cos \beta = \frac{FL \cos \beta}{4EI} dh. \quad (7)$$

在小挠度条件下, β 的变化不大, 光纤布拉格光栅长度微元为 $dl \approx dh/\sin \beta$, 根据(1)式, 其波长差可表示为

$$d\lambda \approx \frac{\lambda_0 FL (1-p_c)}{4EI} \cos \beta \sin \beta dl. \quad (8)$$

光纤布拉格光栅的啁啾效应是其各个微元啁啾的整体贡献, 其反射谱的形状(带宽、强度等)反映了光纤布拉格光栅整体啁啾程度的大小及均匀程度, 而啁啾的总效应使光纤布拉格光栅的带宽增大。考虑到光纤布拉格光栅的长度变化很微小, 对(8)式 dl 的积分区间可取为 $[-l_0/2, l_0/2]$ 。于是, 光纤布拉格光栅反射谱的带宽为

$$\Delta\lambda_{\text{chirp}} \approx \int_{-l_0/2}^{l_0/2} d\lambda = \frac{\lambda_0 l_0 (1-p_c) \sin 2\beta F}{8EI} = \kappa_F F. \quad (9)$$

式中 $I = (\pi D^4)/64$, 由应力作用点挠度(侧向位移 ω) 关系 $\omega = (FL^3)/(48EI)$, 得

$$\Delta\lambda_{\text{chirp}} \approx \frac{6\lambda_0 l_0 (1-p_c) \sin 2\beta}{L^2} \omega = \kappa_\omega \omega, \quad (10)$$

式中 κ_F 与 κ_ω 分别为光纤布拉格光栅带宽的应力和位移调谐系数, (9)式、(10)式表明, 光纤布拉格光

栅带宽的变化与应力 F 及侧向位移 ω 均成准线性关系, 而此式是基于圆柱形简支梁对光纤布拉格光栅带宽调谐的基本原理。当 F 或 ω 变化时, 梁上不同层面的应变 ϵ 以中性面为对称面, 其中一侧产生拉应变, 使光纤布拉格光栅栅格变大, $\Delta\lambda > 0$, 导致波长“红移”; 而另一侧产生压应变, 使光纤布拉格光栅栅格变小, $\Delta\lambda < 0$, 导致波长“蓝移”。在微弯条件下, 这种简支梁可产生沿梁厚方向准均匀梯度变化的应变。因此, 利用该机构可实现光纤布拉格光栅带宽的准线性调谐。

根据上述分析, 采用均质、各向同性的圆柱形弹性梁结构设计, 将光纤光栅沿梁轴向成 β 角粘贴于梁的中部表面并使其中心点位于梁的中性面与其表面的交线上, 即可实现光纤布拉格光栅中心波长与带宽的独立准线性调谐。并且, 根据不同需求, 亦可灵活设计机构参量以获得适宜的调谐系数。

3 实验与结果分析

实验用弹性梁由有机玻璃 (PMMA) 制成, 梁长

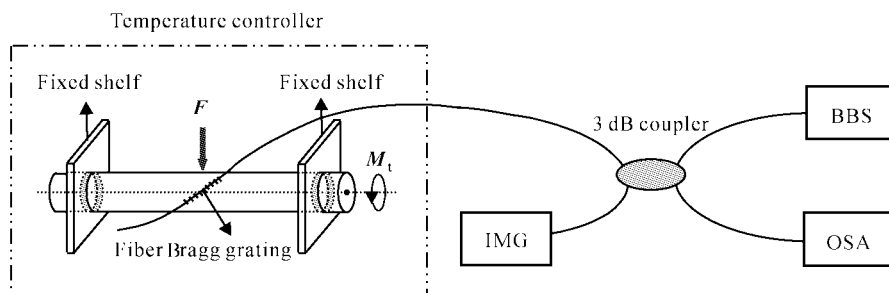


Fig. 3 The experimental structure of the fiber Bragg grating tuning based on the torsional beam

由光源 BBS (Broadband source) 发出的宽带谱经 3 dB 耦合器进入光纤布拉格光栅, 被光纤布拉格光栅选频后反射回来再经过 3 dB 耦合器, 其中一端接入分辨率为 0.1 nm 的光谱分析仪 OSA 进行频谱检测, 另一端插入折射率匹配液 IMG (Index matching gel)。实验中将包括弹性梁与光纤光栅的传感部分置于温控室内保持恒温 20 °C。在测量之前, 将弹性梁正、反向小角度旋转及侧向小挠度弯曲进行“预热”, 以使梁的扭应变与轴向应变传递均匀。

图 4 为光纤布拉格光栅中心波长最大双向漂移的反射谱与自由谱的对比图。由图 4 可见, 当扭转角达到正、反最大许用值 $\varphi_{\max} = 43^\circ$ 和 $\varphi_{\max} = -46^\circ$ 时, 光纤布拉格光栅向长、短波的最大漂移量分别为 4.01 nm、-4.27 nm, 即总漂移量为 8.28 nm。实验发现: 在上述调谐范围内, 光纤布拉格光栅的峰值反

为 20.00 cm, 直径为 0.80 cm, 杨氏模量为 2.744×10^9 N/m², 剪切模量为 1.83×10^9 N/m²。用于调谐的光纤布拉格光栅是用高掺锗光敏光纤以相位掩膜法自行研制的, 长度为 12 mm, 峰值反射率近 20 dB, 自由状态下的中心波长为 1556.28 nm, 反射带宽为 0.21 nm。在室温 (20 °C) 时, 将光纤布拉格光栅用特种胶沿梁轴向成约 15° 角平整粘贴于梁的中部表面, 且尽量使梁中性面两侧的光纤布拉格光栅长度相等。梁的两端套入与其直径相吻合的金属架之中, 架上有固定螺钉, 梁套入金属架中的厚度远小于梁的长度。做扭转实验时, 固定梁的一端, 另一端作为自由端可绕梁轴扭转; 做侧向弯曲实验时, 松开螺钉, 使梁的两端轴向自由。梁的自由端扭转角由精密扭转机构中的刻度盘读出, 该刻度盘范围为 $\pm 90^\circ$, 最小刻度值为 0.5°; 梁的挠度 (侧向位移) 由精密位移给进装置校准并步进调控, 步进量为每周 0.2 mm。扭矩与应力的测量由精密力矩仪与应力计校准、调控。光纤布拉格光栅调谐实验机构如图 3 所示, 详细描述请参见文献 [18]。

射率基本保持为 20 dB, 反射带宽变化不大于 0.1 nm, 与光谱分析仪分辨率相当。这说明, 该调谐过程是准无啁啾的。

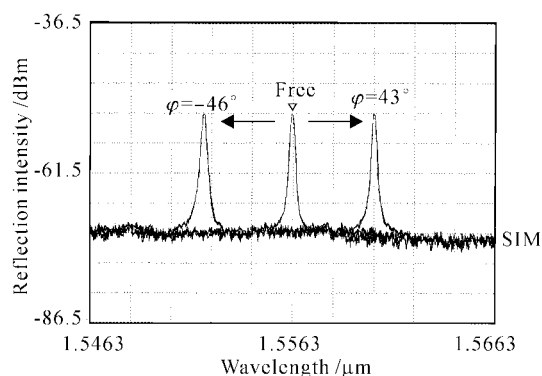


Fig. 4 The reflection spectra of the fiber Bragg grating when $\varphi_{\max} = -46^\circ$, $\varphi = 0$ and $\varphi_{\max} = 43^\circ$

图 5 为光纤布拉格光栅中心波长与扭转角及扭

矩的实验曲线。数据拟合表明, λ 与 φ 、 M_t 呈现良好的线性关系, 拟合的直线方程分别为 $\Delta\lambda = 2.23M_t$ (nm) 和 $\Delta\lambda = 0.093\varphi$ (nm), 线性拟合度分别为 0.9975 和 0.9987。于是, 得到扭矩和扭转角中心波长调谐系数的实验值分别为 $\kappa_M = 2.23$ nm/Nm 和 $\kappa_\varphi = 0.093$ nm/(°)。

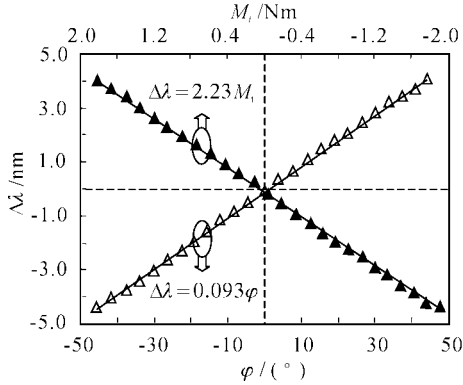


Fig. 5 The experimental plots between $\Delta\lambda$ and φ or M_t

图 6 为调谐光纤布拉格光栅带宽的最大展宽谱与自由谱的对比图, 其对应的许用挠度和许用应力值分别为 $\omega_m = 5.60$ mm 和 $F_m = 18.35$ N。实验发现: 当光纤布拉格光栅反射峰的带宽从 0.21 nm 展宽为 5.32 nm 时, 其中心波长漂移不大于 0.1 nm, 与光谱分析仪分辨率相当, 其峰值反射率从 20 dB 下降到约 17.5 dB。这说明, 该调谐过程的中心波长是准无漂移的。

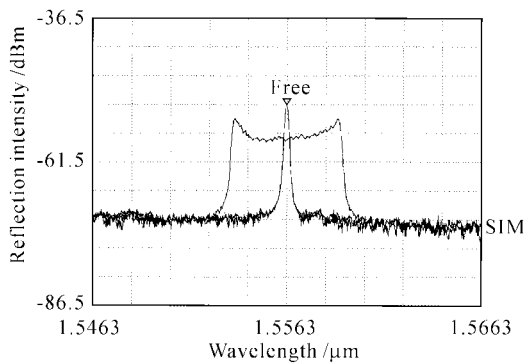


Fig. 6 The reflection spectra of the fiber Bragg grating when $\omega = 0$ mm (or $F = 0$ N) and $\omega = 5.60$ mm (or $F = 18.35$ N)

图 7 为光纤布拉格光栅带宽与挠度及应力的实验曲线。数据拟合表明, λ 与 ω 、 F 呈现良好的线性关系, 拟合的直线方程分别 $\Delta\lambda_{\text{chirp}} = 0.29F$ (nm) 和 $\Delta\lambda_{\text{chirp}} = 0.95\omega$ (nm), 线性拟合度分别为 0.9963 和 0.9957。于是, 得到应力和挠度带宽调谐系数实验值分别为 $\kappa_F = 0.29$ nm/N 和 $\kappa_\omega = 0.95$ nm/mm。

实验发现: 在中心波长调谐过程中, 若扭梁的扭

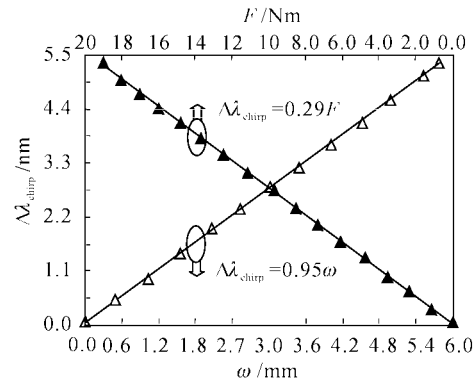


Fig. 7 The experimental plots between $\Delta\lambda_{\text{chirp}}$ and ω or F 应变最大值 $\gamma_{\text{max}} < 5\%$, 则(4)式和(5)式能够很好地描述扭转调谐的实验规律。在此条件下, 可以实现准无啁啾中心波长的双向调谐。一旦 $\gamma_{\text{max}} > 5\%$, 则 κ_M 与 κ_φ 不能近似为常数。考虑到 γ 与 D 和 L 有关, 若选择直径较大、梁长较长的扭梁, 在一定扭转角范围内, 可使其扭应变满足小于 5% 的要求。在带宽调谐过程中, 光纤布拉格光栅的反射谱为一带下凹状的连续宽带谱, 谱的边缘有两个突出且近似等高的反射峰, 这是由于光纤布拉格光栅上的应变梯度在边缘上变化不均匀而造成的, 即在光纤布拉格光栅两端处的 β 呈现较大的变化。对此, 我们从光纤布拉格光栅的粘贴角随梁弯曲发生变化的角度对图 6 反射谱进行解释。

如图 8 所示, 假设光纤布拉格光栅的中点固定在梁之中性面上, 且以等距螺旋线粘贴于梁之表面。梁未弯曲时, 光纤布拉格光栅两端的粘贴角分别为 β_{10} 和 β_{20} 。当梁侧向弯曲时, 光纤布拉格光栅上各点微元偏离原位置, 其粘贴角 β 亦发生变化, 且与柱坐标 ϕ 有关。这时, 光纤布拉格光栅两端的粘贴角由 β_{10} 、 β_{20} 变为 β_1 、 β_2 。根据螺旋线方程, 光纤布拉格光栅微元 dl 可表示为

$$dl = b(1 - \beta^3 + \dots)d\phi, \quad (11)$$

式中 b 是与螺距有关的常数。由图 8 可知, $\beta_1 > \beta_{10}$, $\beta_2 < \beta_{20}$, 根据(11)式, $dl_1 < dl_{10}$, 光纤布拉格光栅

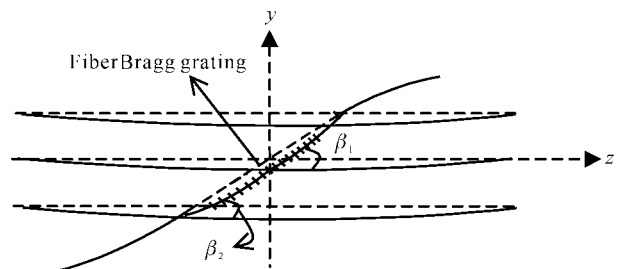


Fig. 8 The schematic diagram of fiber Bragg grating strain analysis when the beam is bent

上半部分被压缩; $dl_2 > dl_{20}$, 光纤布拉格光栅下半部分被拉伸。对于小 β 的情况, dl 的应变是 β 的亚线性函数。对于本文的实验, $\beta \approx \pi/12 \approx 0.26$, 满足亚线性要求。于是, 大 β 对应 dl 的应变亦大。而光纤布拉格光栅两端的 β 值最大, 故其对应的 dl 应变亦最大, 从而导致光纤布拉格光栅反射谱的边缘形成两个突起的高峰, 这就解释了图 6 的实验结果。实验表明, 当梁的中点处挠度不大时, 光纤布拉格光栅反射谱的两侧的峰值不很大, 但随着挠度值的增大而有所增大。尽量使梁之中性面两侧的光纤布拉格光栅长度愈趋于相等, 则两个反射峰的高度在调谐过程中将愈趋于一致, 而两个反射峰之间的光反射分布对中心波长的位置几乎无影响。在调谐系统其它条件一定的前提下, 若选择较长的光纤布拉格光栅并使粘贴角 $\beta \approx 45^\circ$, 可望得到展宽量较大的反射谱。在本实验中, 通过梁的扭转可以使光纤布拉格光栅波长调谐范围(总漂移量)超过 8.28 nm, 但光纤布拉格光栅的带宽将随扭角的增加而增大。实验发现: 在光纤布拉格光栅不被破坏的前提下, 反向扭转范围(使光纤布拉格光栅压缩)可超过正向扭转范围(使光纤布拉格光栅拉伸)。同理, 通过梁的侧向弯曲亦可使带宽调谐范围超过 5.32 nm, 但其线性度将随带宽的增加而严重劣化。并且, 超过上述范围的调谐操作将可能损坏该调谐装置。

根据相关参量计算, 本实验中光纤布拉格光栅中心波长调谐系数的理论值分别为 $\kappa_M = 2.552 \text{ nm/Nm}$ 和 $\kappa_\varphi = 0.106 \text{ nm}/(^{\circ})$, 带宽调谐系数的理论值分别为 $\kappa_F = 0.330 \text{ nm/N}$ 和 $\kappa_w = 1.092 \text{ nm/mm}$ 。相应的实验值与之相比, 二者之比约为 87%。产生差异的主要因素有: 光纤光栅与弹性梁粘贴的非刚性使应变传递不均匀并造成一定的损耗; 梁之中性面两侧的光纤布拉格光栅长度不完全相等导致扭转角与挠度值低于相应的理论值。因此, 优化实验设计, 选择均质程度高的弹性梁, 进一步提高光纤布拉格光栅的成栅质量及粘贴程度, 可以实现质量高、线性度好、独立可调的准无啁啾波长的双向调谐及大调谐量准无中心波长漂移的带宽调谐。

结论 本文采用新颖的圆柱形弹性梁设计结构, 将扭梁与简支梁特性集成于一个系统之中。将光纤光栅斜向粘贴于圆柱形弹性梁的侧面, 通过改变梁的扭转角与侧向位移, 实现了一种光纤布拉格光栅中心波长与带宽的准线性、独立调谐新方法。实验上获得了 8.28 nm 的准无啁啾波长双向调谐和

5.32 nm 准无中心波长漂移的带宽调谐, 实验结果与理论分析一致。由于这种方法提供了中心波长和带宽的独立调谐机制, 中心波长可由扭矩或扭角准线性调谐, 带宽可由应力或挠度准线性调谐, 这给实际应用带来很大便利。因此, 进一步优化系统设计, 在激光脉冲产生、色散补偿、增益平坦及多参量传感等方面将具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- 1 Zhang Weigang, Zhao Qida, Kai Guiyun *et al.*. Tunable principle and technological program of fiber Bragg grating based on elastic beam. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2001, **22**(5):299~303 (in Chinese)
- 2 Yang Xiufeng, Yu Yonglong, Li Zhibong *et al.*. Study on dispersion compensation in fiber communication system. *J. Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1998, **9**(4):288~290 (in Chinese)
- 3 Zhang Weigang, Dong Xiaoyi, Feng Dejun *et al.*. Linear fibre-grating-type sensing tuned by applying torsion stress. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(20):1686~1688
- 4 Ge Chunfeng, Zhao Donghui, Yang Xiufeng *et al.*. Tunable FBG ring laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(6):762~765 (in Chinese)
- 5 Liu Yunqi, Guo Zhuanyun, Liu Zhiguo *et al.*. Fiber grating sensor with enhanced pressure and temperature sensitivity. *Chin. Phys. Lett.*, 2000, **17**(2):115~116
- 6 Liu Zhiguo, Zhang Yibing, Kai Guiyun *et al.*. A new method for fiber-grating linear tuning. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(12):1731~1734 (in Chinese)
- 7 Du W C, Tao X M, Tam H Y. Fiber Bragg grating cavity sensor for simultaneous measurement of strain and temperature. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1):105~107
- 8 Zhang Weigang, Liu Zhiguo, Sheng Qiuqin *et al.*. On-line detecting of the electric current by applying electromagnetic tuning. *Proc. SPIE*, 2000, **4220**:109~112
- 9 Gupta S, Mizunami T, Yamao T *et al.*. Fiber Bragg grating cryogenic temperature sensors. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(25):5202~5205
- 10 Zhang Weigang, Zhou Guang, Liang Longbin *et al.*. Experiment of temperature sensitivity fiber grating component packaged with mixed polymer. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2000, **30**(8):1003~1005 (in Chinese)
- 11 Hill P C, Eggleton B J. Strain gradient chirp of fibre Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(14):1172~1174
- 12 Grathe D, Epworth R E, Lee W S *et al.*. Adjustable dispersion equalizer for 10 and 20 Gbit/s over distances up to 160 km. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(25):2159~2160
- 13 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
- 14 Eggleton B J, Rogers J A, Westbrook P S *et al.*. Electrically tunable power efficient dispersion compensation fibre Bragg grating device. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(7):854~856
- 15 Liu Songhao, Du Weizhong, Tan Huayao *et al.*. Dispersion compensation by chirped optical fiber grating in optical fiber communication system. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(1):24~28 (in Chinese)
- 16 Zhang Weigang, Dong Xinyong, Zhao Chunliu *et al.*. Study of deflection and stress sensing using grating chirp effect in bilateral cantilever beam. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(11):1309~1312 (in Chinese)
- 17 Dong Xinyong, Liu Zhiguo, Kai Guiyun *et al.*. A novel method to chirp fiber grating. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(10):1275~1277 (in Chinese)
- 18 Zhang Weigang, Xu Zhaowen, Yang Xiangpeng *et al.*. Sensing measurement of two parameters for torsion and temperature using single fiber grating. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(9):1070~1075 (in Chinese)

A Novel Independent Tuning Method of Center Wavelength and Bandwidth of Fiber Grating

Zhang Weigang Kai Guiyun Dong Xiaoyi Yuan Shuzhong Zhao Qida
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 30 December 2001; revised 27 April 2002)

Abstract: A new independent tuning method of the center wavelength and the bandwidth of fiber grating is demonstrated. The fiber grating is bonded to the side surface of elastic beam with a determinate angle along its axis direction. The center wavelength and the bandwidth of the fiber grating can be quasi-linearly tuned respectively through changing the torsional angle and the lateral displacement. In the experiments, it is demonstrated the quasi-chirp-free wavelength tuning of 8.28 nm and the bandwidth tuning of 5.32 nm in which the center wavelength is quasi-shift-free. The experimental results are in good agreement with the theoretical analyses.

Key words: optical fiber optics; fiber Bragg grating; wavelength tuning; bandwidth tuning; elastic beam