

用布拉格光纤光栅制作啁啾光纤光栅*

韦占雄 秦 莉 韦 欣 王庆亚 郑 伟 张玉书
(吉林大学电子工程系, 长春 130023)

摘 要 介绍了一种用布拉格光纤光栅制作啁啾光纤光栅的方法。采用氢氟酸腐蚀布拉格光纤光栅, 使光栅的横截面沿光栅轴向逐渐变小, 然后对光栅施加 1.50 N 的拉力, 在光栅轴向建立应变梯度, 制作出长 15 mm、峰值反射率达 92%、反射半高宽为 5 nm 的啁啾光纤光栅。

关键词 布拉格光纤光栅, 腐蚀, 应变梯度, 啁啾光纤光栅。

1 引 言

近年来, 光纤光栅因其在光通信和传感技术领域有着广泛的应用前景而引起了人们极大的兴趣, 光纤光栅的制作及其特性的研究成了有关研究人员普遍关注的热点。自从 Ouellette^[1]在 1987 年提出用啁啾光纤光栅作为长距离光通信系统的色散补偿器件以来, 人们对啁啾光纤光栅的制备、性能及应用作了一系列深入的研究和探讨。除了用作色散补偿器件外, 啁啾光纤光栅还可应用于波分复用系统^[2]、掺铒光纤放大器^[3]等多种光通信器件和温度、应力等传感器件^[4]中。因此, 人们对啁啾光纤光栅的制备作了大量的研究工作, 提出了多种方法, 如非相似波前干涉法^[5]、相位掩膜法^[6]、二次曝光法^[7]、锥形法^[8]、光纤弯曲法^[9]、光纤倾斜法^[10]、温度梯度法^[11]等。

然而, 非相似波前干涉法和光纤倾斜法均要求用于制作光纤光栅的激光光源有很好的相干性; 二次曝光法、锥形法是以改变光栅的有效折射率为基础来制作啁啾光纤光栅, 由于有效折射率的变化量有限, 所以制作出的光栅的反射带宽受到了很大的限制; 相位掩膜法需要购买价格昂贵的啁啾相位掩模板; 利用均匀周期相位掩模板来制作啁啾光纤光栅的光纤弯曲法虽然可通过控制光纤弯曲的形状来调整光栅的带宽, 但是这种方法与其它利用相位掩模板制作光纤光栅的方法一样, 制作出啁啾光纤光栅的反射波长受到所用相位掩模板周期分布的限制。而且, 用前面几种方法制作出啁啾光栅之后, 光栅的一些参数如反射波长、带宽等很难改变。用温度梯度法制作的啁啾光纤光栅虽说可通过改变温度梯度的大小来调整光栅的反射波长、带宽等, 但制作出的光栅的带宽不宽, 而且难以达到所需的温度梯度值(当反射带宽为 1 nm 时光栅首尾两端的温差约 100°C)。为了以较低的成本制作宽反射带、高反射率的啁啾光纤光栅, 我们提出了一种简单易行的方法。首先, 用氢氟酸溶液腐蚀布拉格光纤光栅, 使光栅的横截面积沿光栅长度方向逐渐变小, 然后对光栅施加一定的拉力, 于是在光栅的长度方向建立了应变梯度, 从而制作出啁啾光纤光栅。该方法所用的布拉格光纤光栅可以是用任

* 集成光电子国家重点实验室资助课题。

意方法制作的, 腐蚀布拉格光纤光栅的氢氟酸溶液也很容易得到。另外, 还可以通过控制加在光纤光栅上的拉力来调整光纤光栅的反射波长、反射率及其带宽值, 制作出的啁啾光纤光栅反射率高, 带宽值大。

2 原 理

光纤光栅的反射波长与光栅的光学周期(即光栅的几何周期 Λ 与该周期内光栅的有效折射率 n_{eff} 的乘积)的关系为

$$\lambda = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

对于布拉格光纤光栅, n_{eff} 及 Λ 均为常数。而啁啾光纤光栅就是光栅的光学周期沿光栅轴向逐渐变大(小)的一种光纤光栅。啁啾光纤光栅的几何周期与布拉格光纤光栅的几何周期均较小, 与光波长处于同一量级。可见, 如沿光栅轴向使布拉格光纤光栅的光学周期逐渐变大(小)即可制作出啁啾光纤光栅。光纤光栅的光学周期与环境温度、光栅中产生的应变等有关。当应变很小时, 光纤光栅的光学周期与光栅产生的应变的关系可近似表示为^[12]

$$n_{\text{eff}}(\epsilon)\Lambda(\epsilon) \approx n_{\text{eff}0}\Lambda_0 + (n_{\text{eff}0}\Lambda_0 + \kappa^{\epsilon}\Lambda_0)\epsilon \quad (2)$$

式中 ϵ 为光纤光栅因外力作用而产生的应变, κ^{ϵ} 为光纤折射率的应变系数, $n_{\text{eff}0}$ 、 Λ_0 分别为 $\epsilon = 0$ 时光栅的有效折射率和几何周期。可见, 光纤光栅的光学周期随 ϵ 线性增大。

另一方面, 光纤光栅在受一拉力作用时产生的应变 ϵ 与所受拉力 F 之间的关系为

$$F = EA\epsilon \quad (3)$$

式中 A 为光栅的横截面积, E 为光纤的杨氏模量。当 A 不变时, ϵ 随 F 的增大而增大; 当 F 不变时, ϵ 随 A 的增大而减小。由(2)式、(3)式可见, 如使光纤光栅的横截面沿光栅轴向逐渐变大(小), 再对光栅施加一恒定的拉力, 便可制作出啁啾光纤光栅。

3 实验及结果

3.1 制作布拉格光纤光栅

对常规单模光纤在低温高压条件下进行掺氢处理, 以提高光纤的光敏性。然后用相位掩膜法制作布拉格光纤光栅, 实验装置如图 1 所示。用加拿大进口的 PM-866 型准分子激光器为光源, 相位掩模板是 Lasiris 公司生产的周期为 $1.071 \mu\text{m}$ 均匀周期相位掩模板。制作出的布拉格光纤光栅长 15 mm , 峰值反射率接近 100% , 反射半高宽为 1.58 nm , 反射中心波长为 1553 nm 。其反射谱如图 2 所示。

3.2 腐蚀布拉格光纤光栅

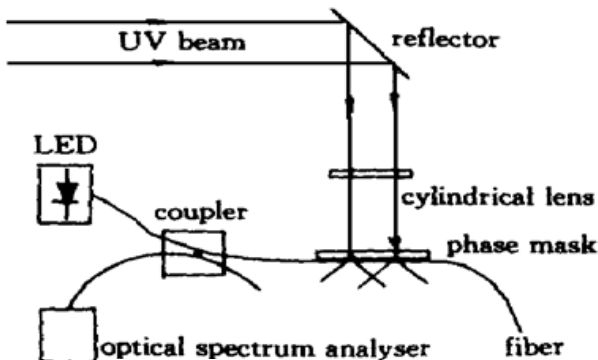


Fig. 1 Experimental setup for fiber Bragg grating fabrication

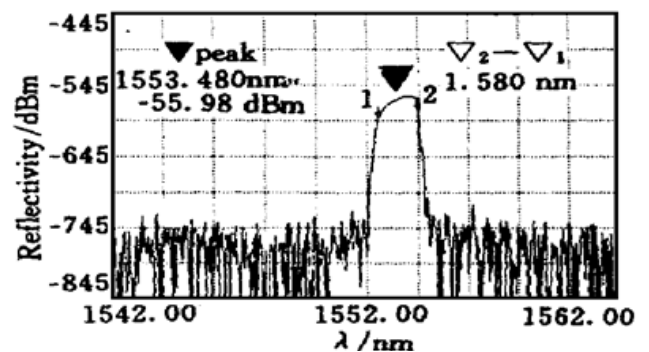


Fig. 2 Reflection spectrum of fiber Bragg grating

先将整个布拉格光纤光栅浸入氢氟酸中, 然后将光栅匀速拉出, 其速度用步进电机控制, 保证为恒定值。因为氢氟酸溶液对光栅的腐蚀量与光栅浸在溶液中的时间成正比, 所以当光栅完全从氢氟酸中拉出时, 光栅的横截面积就沿光栅轴向逐渐变小。腐蚀后, 整个光栅的直径由 $125\ \mu\text{m}$ 逐渐减小到 $60\ \mu\text{m}$ 左右, 光栅的反射谱如图 3 所示。此时, 光栅的反射带宽比原布拉格光纤光栅的带宽稍宽。这是因为光栅的有效折射率随光栅直径的减小而减小, 布拉格光栅腐蚀后便形成了啁啾光纤光栅。但是, 由于有效折射率的变化有限, 光栅的带宽只是在原布拉格光纤光栅的基础上有少量的增加。

3.3 建立应变梯度

为制作宽反射带的啁啾光纤光栅, 在腐蚀后的光纤光栅两端施加拉力。因为光栅的横截面积沿光栅轴向逐渐变小, 所以光栅中产生的应变沿光栅轴向逐渐变大, 导致光栅的光学周期沿光栅轴向逐渐变大。由于光栅的光学周期随应变的变化量较大, 所以加拉力后, 制作出啁啾光纤光栅具有较大的反射带宽。实验中, 当拉力值分别为 $0.70\ \text{N}$ 、 $1.00\ \text{N}$ 、 $1.30\ \text{N}$ 、 $1.50\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的反射谱如图 4(a)、(b)、(c)、(d) 所示。

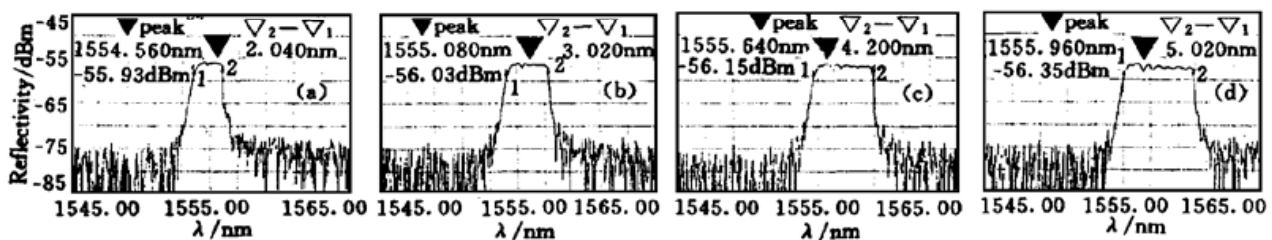


Fig. 4 Reflection spectrum of chirped fiber grating under different tension

由图 4 可以算出, 当拉力为 $0.70\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的峰值反射率接近 100% , 反射半高宽为 $2\ \text{nm}$; 当拉力为 $1.00\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的峰值反射率约为 99% , 反射半高宽为 $3\ \text{nm}$; 当拉力为 $1.30\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的峰值反射率约为 96% , 反射半高宽为 $4.2\ \text{nm}$; 当拉力为 $1.50\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的峰值反射率约为 92% , 反射半高宽为 $5\ \text{nm}$ 。实验中, 当拉力从 $0.70\ \text{N}$ 增加到 $1.50\ \text{N}$ 时, 光纤光栅的反射波长往长波移动, 反射带宽增加, 但反射率有所降低。这是因为拉力增加时, 光栅的光学周期随之增大, 使光栅的反射波长向长波移动; 而光纤光栅首尾两端的光学周期之差也随拉力的增加而增加, 所以光栅的反射带宽增大; 反射带宽增大的同时, 光栅对其反射带宽内某一波长的光的反射作用减弱了, 导致光栅的反射率有所降低。

结 论 用氢氟酸溶液腐蚀布拉格光纤光栅, 使其横截面沿光栅轴向逐渐变小, 然后在光栅两端加上 $1.50\ \text{N}$ 的拉力, 从而在光栅轴向建立应变梯度, 制作出了长 $15\ \text{mm}$ 、反射中心波长约为 $1558\ \text{nm}$ 、峰值反射率为 92% 、反射半高宽为 $5\ \text{nm}$ 的啁啾光纤光栅。光栅的反射波长、反射率及带宽可以通过改变加在光栅上的拉力来调整。如精确控制腐蚀光栅的形状, 用这种方法则可以制作出线性啁啾、平方啁啾以及其它类型的啁啾光纤光栅。

参 考 文 献

- [1] Francois Ouellette. Dispersion cancellation using linearly chirp Bragg grating filter in optical waveguides. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(10) : 847~ 849
- [2] Ellis A D, Kashyap R, Crisp I *et al.*. Dispersion compensation reconfigurable optical add drop multiplexer using chirp fiber gratings. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(17) : 1474~ 1475
- [3] Farries M C, Ragdale C M, Reid D C J. Broadband chirp fiber Bragg filter for pump rejection and recycling in erbium doped fiber amplifiers. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(5) : 487~ 489
- [4] Fallon R W, Zhang L, Glenn A *et al.*. Identical broadband chirp grating interrogation technique for temperature and strain sensing. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(8) : 705~ 706
- [5] Farries M C, Sugden K, Reid D C J *et al.*. Very broad reflection bandwidth (44 nm) chirp fibre gratings and narrow bandpass filters produced by the use of an amplitude mask. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(11) : 891~ 892
- [6] Kashyap R, Mckee P F, Campbell R J *et al.*. Novel method of producing all fibre photoinduced chirp gratings. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(12) : 996~ 997
- [7] Hill K O, Bilodeau F, Malo B *et al.*. Chirp in-fiber Bragg gratings for compensation of optical-fiber dispersion. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17) : 1314~ 1316
- [8] Byron K C, Sugden K, Bricheno T *et al.*. Fabrication of chirp Bragg gratings in photosensitive fiber. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(18) : 1659~ 1660
- [9] Zhang Q, Brown D A, Reinhart L J *et al.*. Linearly and nonlinearly chirp Bragg gratings fabrication on curved fibers. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(10) : 1122~ 1124
- [10] Painchaud Y, Chandonnet A, Lauzon J. Chirp fiber gratings produced by tilting the fiber. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(3) : 171~ 172
- [11] Taverner D, Richardson D J, Barcelos S *et al.*. Dispersion compensation of step-index fiber using cascaded chirp fiber gratings. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(12) : 1004~ 1005
- [12] Henriksson A, Sandgren S, Asseh A. Temperature insensitivity of a fiber optical Bragg grating sensor. *Proc. SPIE.*, 1996, **2839** : 20~ 33

Fabrication of Chirped Fiber Gratings Using Fiber Bragg Gratings

Wei Zhanxiong Qin Li Wei Xin Wang Qingya
Zhen Wei Zhang Yushu

(Department of Electronics Engineering, Jilin university, Changchun 130023)

(Received 13 July 1998)

Abstract A method for fabricating chirped fiber gratings using fiber Bragg gratings is presented. A Bragg fiber grating has been tapered by etching it in HF acid. A strain gradient along the grating was formed when a tension of 1.50 N was applied to the etched fiber grating and then a 15 mm long chirped fiber grating with a peak reflection of 92% and reflection full-width at half maximum (FWHM) width of 5 nm was fabricated.

Key words fiber Bragg grating, etch, strain gradient, chirped fiber grating.