

基于光纤光栅的标准具*

葛 荆 陈向飞 谢世钟

(清华大学电子工程系,北京 100084)

摘 要 提出并研制出了一种基于光纤光栅的新型光学标准具. 这种新型标准具技术采用大啁啾取样光栅制作,可用于光纤光栅传感解调系统中. 通过调节大啁啾取样光栅的啁啾系数和取样函数,使透射谱具有法布里-珀罗标准具的特性. 运用传输矩阵法进行了模拟计算并进行了实验验证. 由于采用已经比较成熟的标准光纤光栅写入方法,基于光纤光栅的标准具性能可靠,适合规模生产,在光纤光栅传感技术上有重要的应用.

关键词 传感;标准具;取样光栅;大啁啾

中图分类号 TN25 **文献标识码** A

0 引言

随着光通信技术的迅猛发展,支撑互联网的通信网络也得到了前所未有的发展,同时光通信中的一些技术也为传感领域中的应用提供了技术平台,光纤光栅就是其中之一. 近年来,光纤光栅传感技术成为发展最快的光纤传感技术^[1~4]. 光纤光栅传感器不仅具有普通光纤传感器抗腐蚀、抗电磁干扰的性能,而且由于采用波长编码,将被感测信息转化为响应波长的移动,可以排除一般光强型光纤传感器光信号传输中各种光强起伏引起的干扰,还可以在在一根光纤中串联多个光栅进行分布式测量,构成各种形式的光纤光栅传感网络.

光纤光栅传感器的关键技术是波长漂移的检测. 一种常用的检测方法是采用可调谐法布里-珀罗法^[5],让传感器的反射光通过法布里-珀罗腔,用 PZT 抖动法布里-珀罗腔的腔长对透射波长进行调谐,当法布里-珀罗腔的透射波长和传感器的反射波长相匹配时通过透射光强达到最大值就可以检测出传感信号的波长. 但 PZT 不可避免地存在着滞后及蠕变效应^[6],为了减小滞后及蠕变效应引起的测量误差从而提高解调准确度,就需要用标准具进行校准.

因此用于校准的标准具在光纤光栅传感技术上具有重要的作用. 一般使用法布里-珀罗腔或气体谱线作为标准具. 法布里-珀罗标准具的滤波特性好,但是制作法布里-珀罗标准具需要在光纤的端面镀上精密的薄膜,并且要精密控制法布里-珀罗腔两个薄膜的间距,成本较高. 气体谱线温度稳定性好,成本低,但是作为标准具谱线繁杂,没有规律,校准难度大.

文献[7,8]提出了一种完全基于光纤光栅的梳状滤波器,在大啁啾取样光栅上引入特殊参量调制,获得良好的梳状滤波特性,可以在光通信上作为梳状滤波器使用. 本文研究了基于这种新型结构的光纤光栅标准具,在光纤光栅梳状滤波器的基础上,采用适合的啁啾系数和取样函数,使得到的梳状滤波特性具有法布里-珀罗标准具的特性. 利用传输矩阵法对此进行了模拟计算并进行了实验验证. 该光纤光栅型标准具经封装后温漂可小于 1 pm/°C,加上简单温度控制可使光纤光栅型标准具的波长准确度控制在±10 pm 以下. 与法布里-珀罗标准具不同,光纤光栅型标准具是一种分布反馈式梳状滤波器,其滤波特性由光纤内部的折射率调制决定,没有机械装置决定滤波特性,因此性能更可靠,适合规模生产,成本更容易控制,在光纤光栅传感技术上有重要的应用.

1 原理

光纤布喇格光栅的芯区折射率沿光栅方向呈周期性变化. 当光栅周期严格均匀时,其布喇格中心波长 λ_B 可表示为

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$

式中, Λ 为光栅的周期, n_{eff} 为光纤的有效折射率. 当光栅的周期不均匀时,称光栅周期存在啁啾,对于线性啁啾光纤光栅

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - Cz \quad (-l/2 < z < l/2)$$

式中, Λ_0 为光栅中心处的周期, C 为啁啾系数, z 为延光栅方向的坐标, l 为光栅的长度.

布喇格光栅存在禁带,禁带的中心就是布喇格中心波长,当入射光的波长落在禁带里时,入射光将被反射,这是布喇格光栅的基本滤波原理. 对布喇格光栅的折射率调制函数进行毫米量级的周期性调制就得到取样布喇格光栅. 取样布喇格光栅存在间

*国家“十五”项目(2003AA122550)资助

Tel: 010-62789363 Email: chenxf@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2004-12-15

隔相等的多个传输禁带^[9],当入射光的波长落在禁带里时,入射光将被反射,相反,当入射光的波长落在禁带外时,光将无阻拦的通过光栅. 由于存在多个传输禁带,取样布喇格光栅的透射谱具有多信道的形式,信道间隔为 $\lambda_0^2/(2n_{\text{eff}}sp)$, sp 为取样周期.

对于大啁啾的取样光栅,当相邻取样反射中心波长的间隔 $2n_{\text{eff}}Csp$ 为信道间隔的整数倍时就会产生共振型多信道透射和反射^[10]. 由此可得到共振条件为

$$\frac{Csp^2}{\Lambda_0^2} = M \quad (M \text{ 为正整数})$$

当啁啾系数和取样周期满足共振条件时就会产生多信道透射和反射. 为了得到所需的滤波特性可进一步调节折射率调制强度和取样占空比. 改变折射率调制强度的大小可以控制边模抑制比的大小. 折射率调制强度越大,边模抑制比越大. 取样光栅的占空比是指一个取样中有效光栅长度同取样周期之比. 改变占空比的大小可以控制禁带的宽度,占空比越大,禁带越宽. 要使透射谱具有法布里-珀罗标准具的特性,即使透射谱具有多个尖锐的透射峰,就应该取接近 1 的占空比. 图 1 是一个占空比 r 为 0.93 的大啁啾取样光栅的透射谱计算图. 采样周期为 1.025 nm(对应信道间隔为 0.8 nm),啁啾系数为 2.76 nm/cm,二者由共振条件确定. n_{eff} 为 1.455,中心周期 Λ_0 为 530.928 nm,对应中心波长 1545 nm. 采用高斯切趾

$$\delta n(z') = \delta n_0 \exp \left[-u \left(\frac{z'}{h/2} \right)^2 \right] \quad (-h/2 < z' < h/2)$$

式中 δn_0 为折射率的调制幅度, u 为高斯切趾的系数, $h = rl/N$, l 为光栅的长度, N 为采样数. 由图 1 可以看出,采用适当的参量设计后,大啁啾取样光栅的透射谱在 1530 nm 到 1560 nm 的 30 nm 带宽内具有多个比较狭窄的透射峰,和法布里-珀罗标准具相似,具有波长标定的作用.

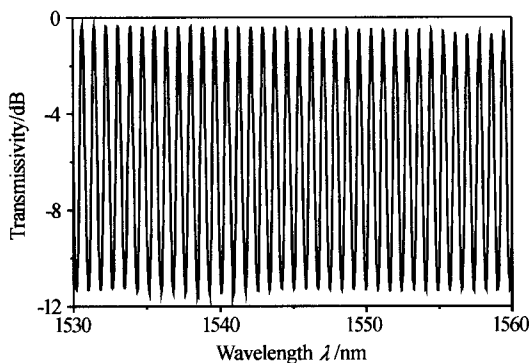


图 1 大啁啾取样光栅标准具的透射谱
Fig. 1 Transmission spectrum of a strongly chirped sampled Bragg grating etalon

图 2 是一个占空比 r 为 0.5 的大啁啾取样光栅的透射谱计算图. 该器件可以在光通信上作为梳状滤波器使用. 对比图 1 可以看出占空比对滤波特性的影响,占空比越大,透射峰的宽度越窄. 二者的主要区别在于占空比的设置.

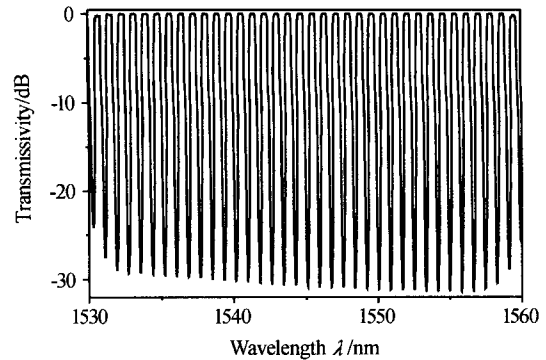


图 2 大啁啾取样光栅滤波器的透射谱
Fig. 2 Transmission spectrum of a strongly chirped sampled Bragg grating filter

2 实验

实验装置如图 3. 光源采用连续的 244 nm 倍频氩离子激光器,输出功率为 30 mW. 反射镜固定在 PI-55M 扫描仪上. 扫描仪采用微机控制,准确度为 0.1 μm ,扫描范围为 15 cm. 制作取样光栅时,扫描仪移动到每个取样的位置后光阑打开,紫外光通过全反镜,经过水平和垂直两个方向的透镜聚焦,形成垂直方向长度与光纤包层直径可比,水平方向满足取样占空比条件的光斑,垂直入射到中心周期为 1062 nm、啁啾系数为 5.19 nm/cm 的啁啾相位模板上,在相位模板背面形成周期性干涉条纹,在紧贴相位模板背面的经载氢处理的标准单模光纤中写入光栅. 经过一段时间的照射,达到所需折射率调制强度,光阑关闭,然后扫描仪移动到下一个取样的位置,重复刚才的动作,最终制作成大啁啾取样光纤光栅. 在这套装置中,扫描仪、光阑等均与计算机相连,进行统一控制. 在制作的整个过程中,采用谱宽为 60 nm 的 EDFA-ASE 光源、光环行器和准确度为 0.01 nm 的 AQ-6317B 光谱仪对光栅的透射光谱

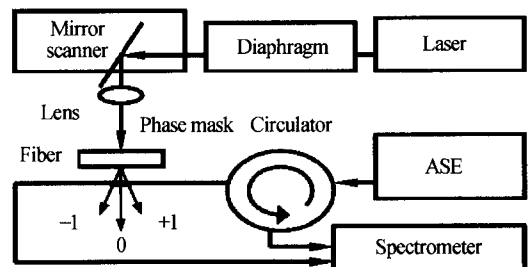


图 3 实验装置
Fig. 3 Experimental configuration

进行实时监控与分析,以得到准确的光栅性能参量.

图 4 为实验制作标准具的透射谱,与计算结果基本一致,在 1530 nm 到 1560 nm 的 30 nm 带宽内具有多个比较狭窄的透射峰,信道间隔约为 0.8 nm,精细度(信道间隔与半峰全宽之比)的平均值为 5.8,边模抑制比大于 12 dB,可以作为标准具用在光纤光栅传感解调系统中.

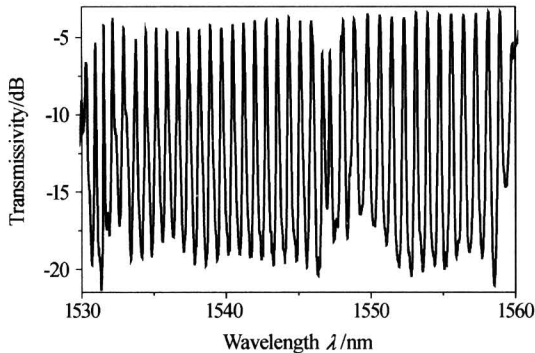


图 4 实验制作标准具的透射谱

Fig. 4 Transmission spectrum of the experimental result

3 结论

本文提出并研制出一种基于光纤光栅的新型光学标准具. 这种新型标准具技术采用大啁啾取样光栅制作标准具,可用于光纤光栅传感解调系统中. 由于采用已经比较成熟的标准光纤光栅写入方法,基于光纤光栅的标准具性能可靠,适合规模生产,在光纤光栅传感技术上有重要的应用.

参考文献

- 1 Kersey A D, Davis M A, Patrick H J, *et al.* Fiber grating sensors. *J Lightwave Technology*, 1997, **15**(8):1442~1464
- 2 李川,韩雪飞,张以谟,等. 采用 WDM 技术的光纤 Bragg 光栅传感网络. *光子学报*, 2003, **32**(5):542~545
Li C, Han X F, Zhang Y M, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(5):542~545
- 3 傅海威,乔学光,傅君眉. 基于平面膜片的光纤光栅传感研究. *光子学报*, 2004, **33**(9):1119~1122
Fu H W, Qiao X G, Fu J M. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(9):1119~1122
- 4 李志全,黄丽娟,吴飞,等. 基于 OFDRI/WDM 光纤光栅传感网络研究. *光子学报*, 2005, **34**(1):86~88
Li Z Q, Huang L J, Wu F, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1):86~88
- 5 Kersey A D, Berkoff T A, Morey W W. Multiplexed fiber Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter. *Optics Letters*, 1993, **18**(16):1370~1372
- 6 朱日宏,王青,陈磊,等. 压电晶体位移特性曲线干涉自动测量方法. *光子学报*, 1998, **27**(2):180~184
Zhu R H, Wang Q, Chen L, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(2):180~184
- 7 Chen Xiangfei, Fan Chongcheng, Luo Y, *et al.* Novel flat multichannel filter based on strongly chirped sampled fiber bragg grating. *IEEE Photon Technol Lett*, 2000, **12**:1501~1503
- 8 陈向飞,谢世钟,范崇澄,等. 平坦交叉群组滤波器. 中国专利,00130400,3. 2000-11-6
Chen X F, Xie S Z, Fang C C, *et al.* Flat Interleaver Filter. Chinese Patent,00130400,3. 2000-11-6
- 9 Eggleton B J, Krug P A, Poladian L, *et al.* Long periodic superstructure Bragg gratings in optical fibers. *Electron Lett*, 1994, **30**(19):1620~1622
- 10 Chen Xiangfei, Mao Jin, Li Xuhui, *et al.* High-channel-count comb filter with a simple structure. OFC' 2004, TuD2

Novel Etalon Based on Strongly Chirped Sampled Fiber Bragg Grating

Ge Jing, Chen Xiangfei, Xie Shizhong

Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084

Received date: 2004-12-15

Abstract A novel optical etalon based on a strongly chirped sampled Bragg grating is proposed for fiber grating sensing-demodulation system applications. This kind of grating can be produced with proper chirp and sampled distribution parameter. The computer simulation and experimental result is presented. Compared with other conventional etalons, the etalon based on strongly chirped sampled Bragg grating has the advantages of good stability and simple production process, and also is promising for mass production.

Keywords Sensing; Etalon; Sampled Bragg grating; Large chirp parameter



Ge Jing was born in 1980 in Shanxi Province. He received his B. S. degree from Nanjing University in 2002. Now he is studying for his M. S. degree of physical electronics in Tsinghua University. His research interest is fiber grating sensing.