

文章编号: 1001-3806(2007)06-0568-03

## 啾啾布喇格光栅法布里-珀罗滤波器

廖小军, 杨亚培\*, 戴基智

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

**摘要:** 为了获得窄的自由光谱范围和可控的精细度, 采用了将平行双通道波导用啾啾布喇格光栅完全反向耦合, 在耦合区入口处制作解理面反射镜的方法, 将光栅色散引入法布里-珀罗腔内, 同时保持了解理面反射镜对精细度的控制。得到法布里-珀罗滤波器的自由光谱范围不仅决定于腔长, 还决定于色散, 通过调整光栅参数获得在大范围内可控的自由光谱范围。数值模拟和分析结果表明, 这种啾啾布喇格光栅法布里-珀罗滤波器可以在传统双镜法布里-珀罗滤波器尺寸下获得千倍量级压缩的自由光谱范围, 而精细度的调整不影响自由光谱范围。

**关键词:** 集成光学; 法布里-珀罗滤波器; 啾啾光栅; 双波导

**中图分类号:** TN256

**文献标识码:** A

## Chirped Bragg grating Fabry-Perot filter

LIAO Xiao-jun, YANG Ya-pei, DAI Ji-zhi

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** To obtain a narrow free-spectral range and controllable finesse, twin parallel channel waveguides are completely back coupled by a chirped Bragg grating, and cleaved facet mirrors are fabricated at the entrance of the coupling region. Thereby, the grating dispersion is introduced into the Fabry-Perot cavity, and the control of the cleaved facet mirrors on the finesse is maintained. The free-spectral range is determined not only by the cavity length, but also by the dispersion profile. A wide adjustment range of free-spectral range can be obtained by the adjustment of the grating profile. Numerical simulation and analyses show that the compression ratio of free-spectral range of the order of magnitude of 1000 can be obtained by this chirped Bragg grating F-P filter under the comparable device dimensions with conventional two-mirror F-P, and the free-spectral range will not be affected by the adjustment of finesse.

**Key words:** integrated optics; Fabry-Perot filter; chirped grating; twin waveguides

## 引言

传统的双镜法布里-珀罗 (Fabry-Perot, F-P) 滤波器广泛应用于激光器、光谱仪、调制器及密集波分复用系统等领域。提高 F-P 滤波器的精细度<sup>[1]</sup>、增大电光 F-P 滤波器的调谐范围<sup>[2,3]</sup>是重要的研究课题。最近, 用于光纤网络色散补偿<sup>[4]</sup>和可调谐激光器的啾啾光栅<sup>[5]</sup>被运用于形成 F-P 滤波器, 以获得高分辨率的压力传感器<sup>[6]</sup>和等间隔多通道滤波器<sup>[7]</sup>。由于在仅有光栅形成的 F-P 腔中, 色散、反射和透射率都决定于光栅的啾啾和切趾, 因而很难分别调整。本文中, 将光栅色散引入 F-P 腔内, 同时保持解理面反射率对器件精细度的控制, 获得了一种新颖的 F-P 滤波器。给出了理论分析和数值模拟, 并进行了讨论。

## 1 啾啾布喇格光栅法布里-珀罗滤波器的结构

为利用光栅色散并避免光栅反射率对精细度的影响, 将两个平行光波导由啾啾布喇格光栅 (chirped Bragg grating, CBG) 反向耦合, 在耦合区的入口端制作解理面反射镜, 见图 1,  $\beta_a, \beta_b$  为波导传输常数,  $\kappa(z)$  为

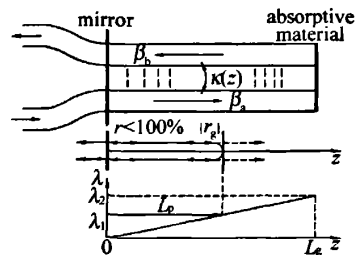


Fig. 1 Structure and principle of chirped Bragg grating Fabry-Perot filter, the light with different wavelengths is back coupled at different position, therefore sees different cavity lengths.

波导间的耦合系数,  $r$  为解理面反射系数,  $r_g$  为光栅耦合的反射系数,  $L_p$  为光渗入光栅的深度,  $L_g$  为光栅长度,  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  是光栅的最小和最大布喇格波长,  $t_b$  为器

作者简介: 廖小军 (1979-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为集成光电子技术与器件。

\* 通讯联系人。E-mail: ypyang@uestc.edu.cn

收稿日期: 2006-10-24; 收到修改稿日期: 2006-12-13

件反向透射系数,吸收材料用于消除残余光对器件的干扰。这一结构与内腔式定向耦合器相似<sup>[8]</sup>。当由耦合系数与耦合长度乘积定义的耦合强度足够大时,反射镜与布喇格光栅耦合的双波导实际上形成了一个F-P腔阵列<sup>[6]</sup>,其腔长由不同的波长寻址,波长不同,腔长不同,而光栅的剩余透射作为一种损耗机制考虑。啁啾布喇格光栅法布里-珀罗滤波器(chirped Bragg grating Fabry-Perot filter, CBG-F-P)的反向透射系数 $t_b$ 可由传输矩阵法导得:  $t_b = t^2 r_g / (1 - r^2 r_g^2)$  (1) 式中, $r_g$ 可由耦合模理论通过传输矩阵法计算<sup>[9]</sup>,或者直接对耦合模方程积分得到<sup>[10]</sup>。在前一种方式中,假定啁啾光栅沿深度方向分为若干段,各段为均匀光栅,将各段由耦合模理论推导的传输矩阵相乘以获得总的复数反射系数 $r_g$ 。在后一种方式中,利用光栅内某一位置反向和正向光波复电场振幅的比值,即局部反射系数的定义,可以由耦合模方程得到一个关于局部反射系数的一阶微分方程,使用龙格-库塔数值积分算法解得 $r_g$ 。为减小由光栅端面反射造成的光波渗入光栅深度(见图1中 $L_p$ )随波长的振荡,应当对光栅进行切趾,即对光栅区有效折射率或物理周期按一定的函数变化。图2示出了有 Gauss、柯西、双曲正切切趾及没

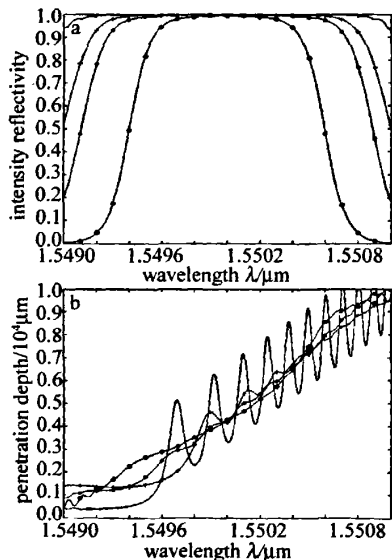


Fig. 2 Reflectivities and penetration depths for various apodizations of a chirped Bragg grating, the cases of Gaussian (circle), Cauchy (asterisk), tanh (plus), and no (no marker) apodizations are plotted.

有切趾的线性啁啾光栅的光强反射率和渗入深度。由于渗入深度的非线性将导致 CBG-F-P 的自由光谱范围沿波长轴非均匀地变化,可选择渗入深度线性度较好的高斯切趾线性啁啾光栅来形成 CBG-F-P。反向透射特性可通过将光栅复数反射系数代入(1)式计算得到,其结果示于图3。在这一计算过程中,将渗入深度

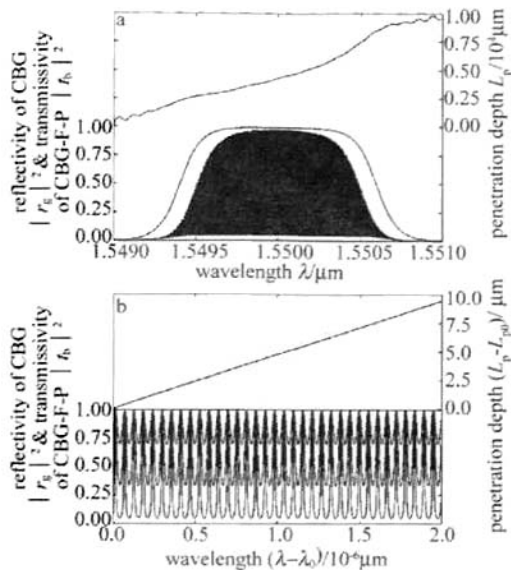


Fig. 3 a—reflectivity and penetration depth of Gaussian-apodized linearly chirped Bragg grating and corresponding transmission of CBG-FP b—backward transmission of CBG-FP for  $r = 0.3, 0.5175, 0.8, 1.0$  is the starting wavelength of plot around  $1.55 \mu\text{m}$  and  $L_p$  is the corresponding penetration depth.

代入光栅复数反射系数相位中。显然,器件的自由光谱范围大大压缩了,因为对1cm长玻璃波导的传统双镜F-P滤波器,自由光谱范围大约为 $8.3 \times 10^{-5} \mu\text{m}$ ,而1cm长玻璃波导CBG-F-P则约为 $5.7 \times 10^{-8} \mu\text{m}$ ,见图3。CBG-F-P和双镜F-P滤波器自由光谱范围比值约为1:1456。

## 2 分析与讨论

为找到CBG-F-P自由光谱范围的近似表达式,可以使用有效介质法。但这里作者采用另一个相似和直观的方法。依据布喇格条件,特定波长的入射光波在一个特定的渗入深度被强烈地反射,因而在线性啁啾光栅中,渗入深度可以表达为波长的线性函数。将这一线性表达式代入F-P腔内往返一周的相移中,可以得到一个与传统双镜F-P滤波器不同的有效腔长表达式:

$$L_c = 2L_g \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (2)$$

自由光谱范围可表达为 $FSR = \lambda^2 / (2n_g L_c)$ 。(2)式表明,自由光谱范围由光栅长度以及光栅的啁啾率 $L_g / (\lambda_2 - \lambda_1)$ 决定。对实际的光栅, $\lambda_1 \gg (\lambda_2 - \lambda_1)$ ,从而 $L_c \gg L_g$ ,因而自由光谱范围大大压缩。(2)式与图3的结果在同一数量级。

图3b中给出了不同 $r$ 时的反向透射率。当光栅耦合区结构确定且光栅反射率接近于1时,通过调整解理面反射镜的反射系数,可以得到不同的半峰全宽。当把模式损耗计入复数传输常数中,半峰全宽 $\varepsilon$ 和精

细度  $F$  可由(1)式求得,并示于图4中。由图4可见,

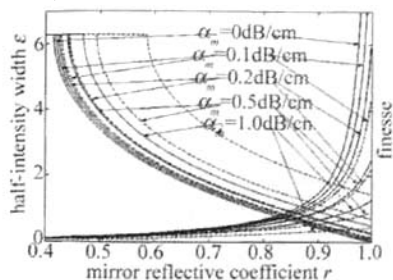


Fig. 4 Half-intensity width and finesse, the solid and dashed lines are for 1.5495  $\mu\text{m}$  and 1.5505  $\mu\text{m}$ , respectively for each wavelength, the mode losses,  $\alpha_m = 0, 0.1 \text{ dB/cm}, 0.2 \text{ dB/cm}, 0.5 \text{ dB/cm}$ , and  $1.0 \text{ dB/cm}$  in turn, are labeled.

当  $r$  增加,  $\varepsilon$  减小,  $F$  增加; 模式损耗  $\alpha_m$  的增加使  $\varepsilon$  增大,  $F$  减小。然而, 对  $\alpha_m$  较小的曲线, 这些现象并不明显。比如, 对  $\alpha_m = 0.1 \text{ dB/cm}$  和  $r = 0.52$ , 波长从 1.5495  $\mu\text{m}$  到 1.5505  $\mu\text{m}$ ,  $\varepsilon$  的相对变化量约为 5%。顺便指出, 图4中曲线的转折点是半峰全宽  $\varepsilon < 2\pi$  造成的, 因而, 当要求 CBG-F-P 的反向透射率曲线最低点处于半峰全宽直线以下时,  $r$  应当大于转折点对应的值。

作为器件的一种应用, 这里简单讨论使用 CBG-F-P 实现光谱编码模数转换器<sup>[11,12]</sup>中多位数光谱编码器的设计。由于腔内光栅啁啾引入的色散大大压缩了自由光谱范围, 使得采用 CBG-F-P 的光谱编码阵列的波长周期大大缩小, 从而使使用常规尺寸的器件实现非常高的编码位数成为可能。同时, 当要求独立调整半峰全宽时, 仅仅调整解理面的反射率即可, 如要求半峰全宽为  $\pi$ , 或者精细度为 2 时, 若模式损耗  $\alpha_m = 0.1 \text{ dB/cm}$ , 要求的解理面反射率约为 0.52。图4还提供了计算光谱编码误差大小的一个途径。

### 3 结论

分析了一种新颖的由啁啾布喇格光栅反向耦合双

波导的法布里-珀罗滤波器。在常规器件尺寸下, 通过在腔内引入色散可以获得非常窄的自由光谱范围, 而半光强宽度和精细度则可以通过调整制作在光栅耦合区入口处的解理面反射率获得独立的调整。这一自由光谱范围很窄的啁啾光栅法布里-珀罗滤波器可以应用于高位数的光谱编码模数转换器、高精度的应力传感器及其它使用周期滤波器的领域。

### 参考文献

- [1] PENG X D, ROYCHOUDHURI C. Design of high finesse, wideband Fabry-Perot filter based on chirped fiber Bragg grating by numerical method [J]. Opt Engng, 2000, 39(7): 1858 ~ 1862.
- [2] GUNNING W. Double-cavity electrooptic fabry-perot tunable filter [J]. Appl Opt, 1982, 21(17): 3129 ~ 3131.
- [3] FU Y L, YUAN Y F, WU Y C *et al.* Analysis and design of F-P cavity resonator filters with  $\text{LiNbO}_3$  optical waveguides [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 40 ~ 65 (in Chinese).
- [4] OUELLETTE F. Dispersion cancellation using linearly chirped Bragg grating filters in optical waveguides [J]. Opt Lett, 1987, 12(10): 847 ~ 849.
- [5] CHEN N, KITAMOTO A, NAKANO Y *et al.* Chirped grating tunable DFB laser-novel laser diode with broader continuous tuning range [J]. SPIE, 1992, 1979: 347 ~ 350.
- [6] KOO K P, LEBLANC M, TSAI T E *et al.* Fiber-chirped grating Fabry-Perot sensor with multiple- wavelength-addressable free-spectral ranges [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1998, 10(7): 1006 ~ 1008.
- [7] OKAI M, LEALMAN I F, RIVERS L J *et al.* In-line Fabry-Perot optical waveguide filter with quasi-chirped gratings [J]. Electron Lett, 1996, 32(2): 108 ~ 109.
- [8] GRIFFEL G. Very short intracavity directional coupler for high-speed communication [J]. A P L, 1993, 63(2): 135 ~ 137.
- [9] ERDOGAN T. Fiber grating spectra [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(8): 1277 ~ 1294.
- [10] OKAMOTO K, HIBINO Y, ISHII M. Guided-wave optical equalizer with  $\alpha$ -power chirped grating [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1993, 11(8): 1325 ~ 1330.
- [11] LIAO X J, YANG Y P. Optical-spectrum-encoded analog-to-digital converter [J]. Optoelectronics Letters, 2007, 3(3): 227 ~ 230.
- [12] ZMUDA H. Analog-to-digital conversion using high-speed photonic processing [J]. Proc of SPIE, 2001, 4490: 84 ~ 95.

· 简 讯 ·

请向邮局订阅 2008 年度《激光技术》

国内统一刊号: CN51-1125/TN, 邮发代号: 62-74

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



### 微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

### 更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>