

长周期啁啾光纤光栅级联作为波分复用 隔离滤波器的数值研究*

刘玉敏^{1,2} 俞重远^{1,2} 杨红波^{1,2} 张晓光^{1,2} 杨伯君^{1,2}

(1 北京邮电大学理学院, 北京 100876)

(2 北京邮电大学光通信光波技术教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要 用矩阵传输法对长周期啁啾光纤光栅用于波分复用隔离滤波器的特性进行了分析, 讨论了设计该类型高性能的波分复用隔离滤波器的关键技术, 给出了仿真结果, 表明该类型滤波器具有大的可用带宽、频率等间隔、隔离度高和通带内的色散可以忽略等优点, 并指出通过调谐级联长周期光纤光栅之间的光纤长度可以实现频率间隔的调谐.

关键词 长周期光纤光栅; 啁啾; 隔离滤波器

中图分类号 TN2; TN253 **文献标识码** A

0 引言

波分复用技术(WDM)在扩大光纤通信系统的传输容量方面变的越来越重要. 利用 WDM 技术, 可以充分挖掘光纤的巨大带宽资源, 使一根光纤上传输容量扩大几倍到几十倍^[1]. 现在无论是主干网还是城域网都已经部分的实现了 WDM 的商用化. 在基于 WDM 的传输系统中, 为了减少光源不稳定带来的干扰并减小临近信道的串话, 相邻的两个信道需要有较高的隔离度. 通常相邻的信道隔离度控制在 10~30 dB 是合适的^[2]. 除了隔离度指标外, 每个信道内的色散也是设计隔离滤波器一个十分重要的考虑因素. 通常基于传输的隔离滤波器与基于反射的隔离滤波器相比, 由于避免了使用光纤环路器而更具有吸引力. 长周期光纤光栅是一种损耗可调器件, 利用的是同向传播的模耦合作用, 将光纤导模的能量耦合到同方向传播的辐射模. 长周期光纤光栅的这一特性, 在 EDFA 增益平坦方面获得了广泛的应用^[3]. 利用均匀长啁啾光纤光栅进行色散补偿已有报道^[4]. 两个级联的完全相同的均匀长周期光纤光栅耦合模和辐射模在第二个光栅输出端产生的干涉图样用于隔离滤波器最早在 X. J. Gu 的文章中已有报道^[2]. 由于干涉图样很大程度上取决于单个光栅的带阻特性, 单个均匀光纤光栅的带阻都很陡很窄, 这在很大程度上限制了带宽内高隔离度的透射峰个数和可用带宽. 本文通过数值模拟演示了引入啁啾和切趾对单个长周期光纤光栅带阻宽度和

滚降特性的影响, 并在此基础上分析了两个光栅级联后的透射谱特性.

1 啁啾和切趾对长周期啁啾光纤光栅传输特性的影响

周期媒质的传输特性可以用耦合模方程描述, 假定 k 为耦合系数, 表示两模之间的耦合强度 $\delta = \frac{\pi\Delta_{\text{neff}}}{\lambda} - \frac{\pi}{\Lambda}$ 表示失谐量, $\Delta_{\text{neff}} = n_{\text{cor}} - n_{\text{cla}}$, 其中 n_{cor} 、 n_{cla} 分别为光栅导模和辐射模的有效折射率, 假定在传输中只能激发一个辐射模的耦合作用, Λ 为光栅周期. 对于切趾或啁啾光栅等非均匀光栅, 耦合模方程不能得到严格的解析解. 为了研究非均匀光栅的传输特性, 通常可以利用龙骨库塔法和矩阵传输法^[5]. 本文采用矩阵传输法, 将光栅分成 N 小段, 每一段可以按均匀光栅处理, 光栅的传输特性可以由总的传输矩阵决定. 以下的数值分析中, 假定光栅的长度为 $L_g = 25$ cm, $\Delta_{\text{neff}} = 0.01$, 光栅中心周期为 $\Lambda_0 = 155 \times 10^{-6}$. 图 1、图 2 分别描述了余弦切趾和啁啾后对长周期光纤光栅的传输特性的影响, 折射率调制深度均为 $\delta n = 3.5 \times 10^{-6}$. 图 1 给出了在引入余弦切趾后长周期光纤光栅的损耗谱, 抖动基本得到抑制, 整个带阻变得比较平滑. 图 2 描述了引入啁啾对光栅的频谱展宽作用, 以及切趾对透射损耗谱的抖动抑制作用. 仿真中调制折射率深度均为 $\delta n = 23 \times 10^{-6}$, 啁啾参数为 $C = 64 \times 10^{-7}$, 光栅啁啾为线性啁啾 $\Lambda(z) = \Lambda_c + Cz$, Λ_c 为光栅中心的调制周期, 光栅长度 $z \in (-L_g/2, L_g/2)$. 在引入啁啾后, 为了获得相同的传输损耗峰值大小, 必须增加光栅的耦合强度. 从图 2 可以看出在引入强啁啾后, 传输损耗谱的半极大值全宽度到达 60 nm, 无啁啾的情况在相同的耦合强度下也不会超过 10 nm.

*国家“973”计划 (No. 2003CB314901), 国家“863”计划 (No. 2003AA311070) 及集成光电子学国家重点联合实验室开放课题资助

Tel: 010-62281490 Email: liuyuminhqy@263.net

收稿日期: 2004-02-20

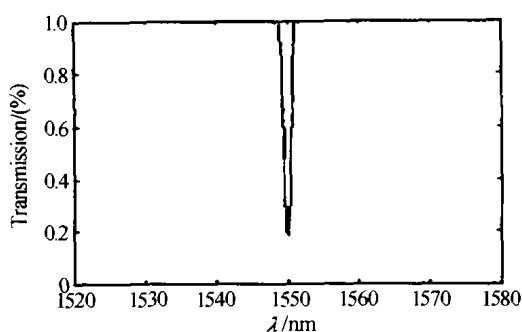


图 1 余弦切趾长周期光纤光栅的传输损耗谱
Fig. 1 The transmission loss spectrum of cosine apodized long period fiber grating

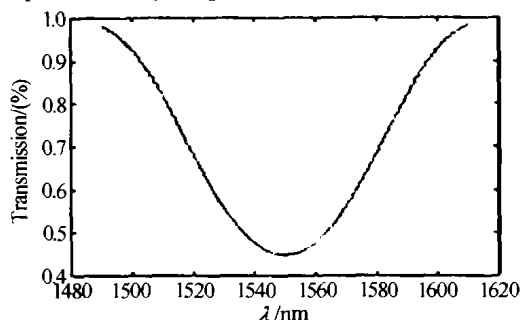


图 2 余弦切趾啁啾长周期光纤光栅的传输损耗谱
Fig. 2 Transmission loss spectrum of cosine apodized chirped long period fiber grating

2 两个级联的啁啾长周期光纤光栅用于 WDM 隔离滤波器

将两个长周期啁啾光纤光栅级联起来,其作用相当于一个 Mach-Zender 干涉仪^[6-8]. 如图 3,在损耗谱带宽范围内,忽略光纤损耗,第一个光栅由于导模和辐射模的耦合作用,将一部分光能量从导模耦合到辐射模中,由于是完全对称的两个光栅,在第二个光栅输出端口光栅又把辐射模中的光能量耦合到导模中,在这一光能量的复合过程中,由于导模和耦合模之间的折射率不同,在复合处存在相位差,产生干涉增强或干涉相消. 干涉图样的周期取决于单个光栅的长度、两光栅的间隔及由此决定的相位差.



图 3 两个级联的长周期啁啾光纤光栅的 Mach-Zender 干涉原理
Fig. 3 Mach-Zender interference principle of two cascaded long period fiber grating

假定第一个光栅处,从导模耦合到辐射模的能量为 I_{cla} , 导模中剩余的能量为 I_{cor} , 根据干涉原理,干涉条纹的强弱 $I = I_{cor} + I_{cla} + 2\sqrt{I_{cor}I_{cla}}\cos(\phi)$ ^[9], ϕ 为两干涉光束的相位差,可见干涉极大处光强表示为 $I_{max} = I_{cor} + I_{cla} + 2\sqrt{I_{cor}I_{cla}}$, 干涉极小为 $I_{min} = I_{cor} + I_{cla} - 2\sqrt{I_{cor}I_{cla}}$. 因此为了获得最大的分辨率,必须使在整个光栅光谱内,由光栅导模耦合到辐射模中的功率占总功率的 50%. 定义隔离度 $ISO =$

$-10\log(I_{max}/I_{min})$. 因此为使设计的干涉隔离滤波器隔离度不低于 -20 dB, 在第一个光栅输出端口导模中的光能量占总能量的百分比 p 必须满足关系式

$$100 \geq \frac{1 + 2\sqrt{p(1-p)}}{1 - 2\sqrt{p(1-p)}} \quad (1)$$

因此导模占总输入能量的百分比 p 应在 0.396 和 0.698 之间,因此我们定义光栅传输损耗谱位于该区间内的带宽为隔离滤波器的有效带宽. 图 4 ~ 图 7 为级联长周期啁啾光纤光栅的传输谱特性,条件与图 2 中参数一致.

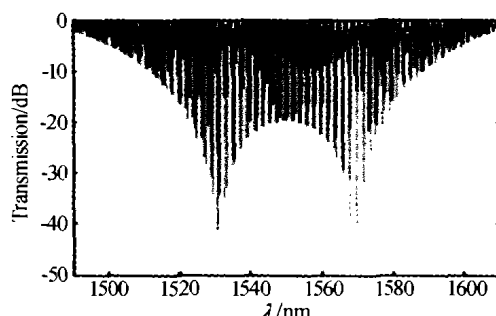


图 4 两个级联长周期切趾啁啾光纤光栅传输谱线
Fig. 4 The transmission loss spectrum of tow cascaded long period chirped cosine apodized fiber grating

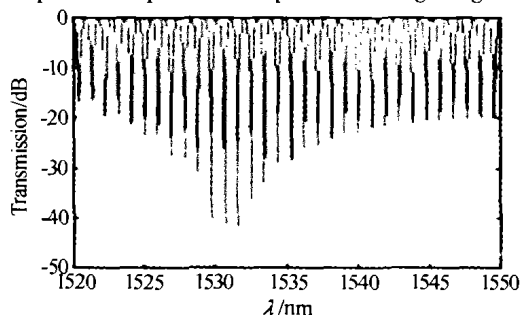


图 5 取自图 4 中干涉图样的一部分
Fig. 5 One part of the interference pattern of Fig. 4

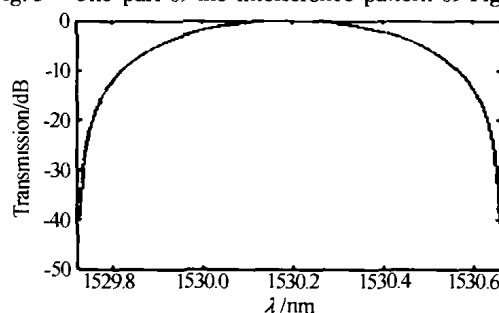


图 6 单个带通的传输特性谱线
Fig. 6 The transmission spectrum of one pass band

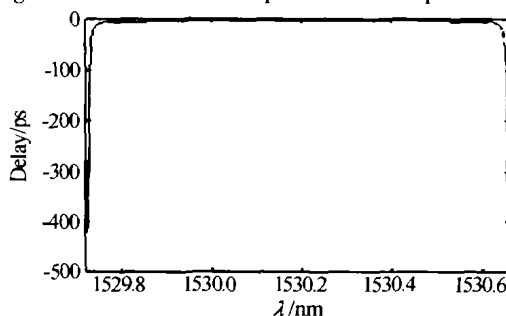


图 7 单个带通的时延特性谱线
Fig. 7 The delay spectrum of one pass band

从图 4 可以看出从 1522 nm 到 1578 nm 的波长范围内, 约有 60 个等频率间隔的损耗峰. 波长间隔约为 0.99 nm, 每个透射峰的 3 dB 带宽约 0.4 nm. 每个透射峰具体传输特性和色散特性如图 6、图 7 所示, 取自图 4 中隔离度最大的一个带通的传输和时延谱线.

从图 7 可以看出, 在整个带通内色散时延量很小(除带通边缘), 并且边缘部分的时延滚降十分陡峭, 因此色散效应完全可以忽略. 相邻信道的频率间隔可以在两个光栅之间引入一段光纤来调谐. 图 8 中两个级联光栅之间的长度间隔为 8 cm, 此时相邻信道的频率间隔为 0.75 nm, 单个信道的 3 dB 带宽约为 0.35 nm.

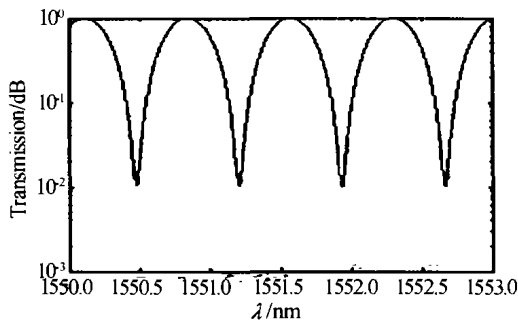


图 8 两个光栅之间的间隔为 8 cm 时光栅的传输损耗谱线(只画出了其中的一部分)

Fig. 8 The transmission spectrum when the sandwiched fiber of the two long period fiber is 8cm (only one parts of the spectrum are plotted)

图 9 为当两光栅之间的间隔长度为 20 cm 时的传输谱线, 其它条件与图 8 中相同. 可以看到在相同的带宽内, 最大峰值个数, 由原来的图 10 中的 4 个变为图 12 中的 5 个, 相邻信道间隔由原来的 0.75 nm 变为 0.53 nm, 3 dB 带宽由原来的 0.35 nm 变为 0.22 nm.

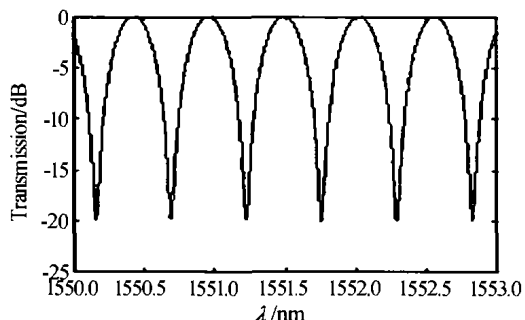


图 9 两个光栅之间间隔为 20 cm 时的传输损耗谱(只画出了其中的一部分)

Fig. 9 The transmission spectrum when the sandwiched fiber of the two long period fiber is 20cm (only one parts of the spectrum are plotted)

图 10 给出了梳状隔离滤波器信道间隔与光纤长度的关系曲线. 从图中可以看出, 随着光纤长度的增加, 相邻信道的间隔变得越来越小. 最大信道间隔(直接将两个光栅级联, 中间无光纤的情况)取

决于光栅参数, 主要是光栅的长度参数. 限于篇幅本文不再做详细讨论.

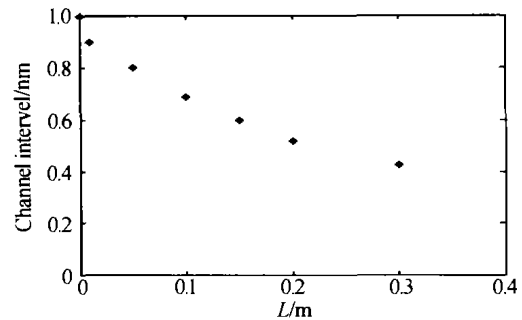


Fig. 10 相邻信道间隔与光纤光栅间光纤长度的关系

Fig. 10 The relationship of channel spacing and the length of sandwiched fiber between the two long period fiber grating

4 结论

讨论了切趾和啁啾对长周期光纤光栅传输损耗特性的影响, 并在此基础上对级联长周期啁啾光纤光栅在 WDM 隔离滤波器中的应用进行了分析. 通过调谐两个对称的长周期啁啾光栅之间光纤的间隔, 可以实现整个带宽内相邻频率间隔的调谐. 为了获得高性能的隔离滤波器和较大的工作带宽, 两个关键的优化对象分别是损耗带宽和隔离度. 较大的工作带宽可以通过合理的引入啁啾来实现, 为了获得高隔离度必须使单个长周期啁啾光纤光栅的传输损耗在整个频谱范围内接近 50%.

参考文献

- 1 韦乐平. 光同步数字传送网(修订本), 北京: 人民邮电出版社, 1999. 356-358
Wei L P. Synchronous Digital Hierarchy Transport Network (revised edition), Beijing: Posts & Telecom Press, 1999. 356 ~ 358
- 2 Gn X J. Wave-division multiplexing isolation fiber filter and light source using cascaded long - period fiber grating. *Opt Lett*, 1998, **23**(7): 509 ~ 510
- 3 Lee C L, Lai Y. Evolutionary programming synthesis of optimal long-period fiber grating filters for EDFA Gain Flattening. *IEEE Photonics Technology Lett*, 2002, **14**(11): 1557 ~ 1559
- 4 Das M, Thyagarajan K. Dispersion compensation in transmission usin guniform long period fiber gratings. *Optics Communications*, 2001, **190**: 159 ~ 163
- 5 Erdogan T. Fiber grating spectrum. *J Lightwave Technol*, 1997, **15**(8): 1277 ~ 1294
- 6 Das M, Thyagarajan K. Wavelength division multiplexing isolation filter using concatenated chirped long period gratings. *Optics Communications*, 2001, **197**: 67 ~ 71
- 7 冉曾令, 饶云江, 朱涛. 基于新型长周期光纤光栅的掺铒光纤放大器. *光子学报*, 2003, **32**(1): 72 ~ 75

- Ran Z L, Rao Y J, Zhu T. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32** (1):72 ~ 75
- 8 宋宁, 郭晓金, 殷宗敏. 长周期光纤光栅的分析和优化设计, *光子学报*, 2003, **32**(6):735 ~ 737
- Song N, Guo X J, Yin Z M. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32** (6):735 ~ 737
- 9 廖延彪. 物理光学. 北京: 清华大学出版社, 1980. 185 ~ 187
- Liao Y B. *Physical Optics*. Beijing: Tsinghua University Press, 1980. 185 ~ 187

Numerical Simulation to Wavelength-division Multiplexing Isolation Filter Using Concatenated Long Period Chirped Fiber Grating

Liu Yumin^{1,2}, Yu Zhongyuan^{1,2}, Yang Hongbo^{1,2}, Zhang Xiaoguang^{1,2}, Yang Bojun^{1,2}

1 *School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876*

2 *Key Laboratory of Communication and Lightwave Technologies Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876*

Received date: 2004-02-20

Abstract An analysis about the wavelength-division multiplexing isolation filter using concatenated long period chirped fiber grating by transmission matrix method is given. The key factors of design high performance of such type filter are proposed. The simulation result demonstrates that such type isolation filter have a very large band width, equal frequency spacing, high isolation, and with a neglect dispersion in the band pass, and the frequency spacing can be tuned by tuning the fiber length between the concatenated long period chirped fiber gratings.

Keywords Long period fiber grating; Chirping; Isolation filter



Liu Yumin was born in Dingzhou Hebei province China in 1976. He received his B. S degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2000. He began his M. S studies in the Beijing University of posts and Telecommunications on September 2000. Now he is pursuing the Ph. D. degree. His main area of interest are about the nonlinear optics and the critical technology of high-speed optical communication.