

文章编号 : 0253-2239(2002)11-1368-04

氙离子倍频激光器制作取样光纤光栅的 切趾补偿工艺研究*

殷玉 林宗强 陈向飞 夏 历 李栩辉 冯 佳 毛 晋 谢世钟

(清华大学电子工程系 , 北京 100084)

摘要 : 对取样光栅而言 , 完整的平均折射率补偿应包括切趾补偿和取样补偿两部分。理论模拟显示 , 只作切趾补偿而不作取样补偿仍然可以收到良好效果。提出了针对氙离子倍频激光器写入取样光栅的简单的切趾补偿工艺。依据是模板存在一定的干涉区 , 当光纤退出模板的干涉区后 , 只有平均折射率提高而不写入新的光栅。因此在干涉区外进行与切趾函数互补的曝光就可以切趾补偿了。实验结果显示 , 切趾补偿有效降低了取样光栅每信道反射谱的旁瓣 , 使反射谱的形状更加理想 , 同时也有效降低了群时延曲线的波纹。

关键词 : 光纤光栅 ; 取样 ; 切趾 ; 补偿

中图分类号 : TN25 文献标识码 : A

1 引 言

随着密集波分复用技术的高速发展 , 对具有多信道工作能力的光通信器件的需求越来越迫切。光纤光栅具有廉价、偏振、小型化等优点 , 在单信道滤波和色散补偿等方面已经进入商用市场^[1]。近来 , 研究的热点集中到取样光纤光栅上。其特点是对折射率调制深度作周期性调制 , 获得的反射谱具有多个反射峰 , 其形状及波长间隔与周期性调制的形状、占空比、调制周期有关。由于它具有单一器件多信道工作的特点 , 因此非常适合于密集波分复用技术传输系统的需要。多信道色散或色散斜率补偿及多信道滤波器的设计已经提出^[2,3] , 国外在实验上也取得了相当的进展^[4,5]。在制作单信道光纤光栅器件时 , 为了改善反射与色散谱特性 , 器件两端要作折射率调制深度渐变的切趾处理(或变迹)。但由于平均折射率在切趾的地方发生了变化 , 因此对应的反射波长也发生了变化 , 切趾光栅两端反射波长相同的部分形成了法布里-珀罗共振腔 , 造成反射与时延曲线的波纹^[6]。解决的办法是使平均折射率保持一致 , 要在不写入光栅的情况下 , 作与切趾曝光函数相反的切趾补偿曝光处理。若干种单信道光纤光栅切趾补偿工艺已经提出^[7]。对比单信道光栅 , 取样光

栅的平均折射率补偿更加复杂 , 应包括总的折射率调制轮廓的切趾补偿和每个取样周期内的取样补偿两部分。一种简便的方案是只作切趾补偿而不作取样补偿 , 但还未见相关报道。

本文首先从理论上模拟了不作任何平均折射率补偿、只作切趾补偿而不作取样补偿的部分补偿方案和对切趾和取样都作补偿的完全补偿方案三种情况下的反射及时延谱。模拟结果及理论分析显示 , 部分补偿仍然可以有效消除法布里-珀罗共振效应 , 其反射及时延谱与完全补偿没有显著差别。以此为依据 , 本文针对氙离子倍频激光器写入光栅的特点 , 提出了一种简单的部分补偿的方法 , 并从实验上对不作任何补偿和只作切趾补偿的两种情况的反射及时延曲线进行了比较。实验结果与理论模拟及单信道的相关实验结果相符合 , 证明新的工艺是有效的。

2 切趾补偿对反射及时延谱特性影响的理论分析

取样光栅的折射率调制函数 $\Delta n(z)$ 可以表示为

$$\Delta n(z) = S(z) \delta n_0 f_A(z) \exp(-j2\pi z/\Lambda) + \overline{\delta n(z)}, \quad (1)$$

其中 $S(z)$ 为取样函数 , f_A 为切趾函数 , δn_0 为折射率调制深度 , Λ 为光栅周期。 $\overline{\delta n(z)}$ 为平均折射率调制轮廓。理论模拟采用耦合波理论和传输矩阵法。对准分子激光器而言 , 由于光斑比较大 (3 mm × 6 mm) , 能量比较高 (16 mJ/pulse) , 因此可以对光源

* 国家自然科学基金(60107004) 资助课题。

E-mail : dpicy@mail.tsinghua.edu.cn

收稿日期 : 2001-12-27 ; 收到修改稿日期 : 2002-02-08

扩束、匀光 覆盖整个写入光栅的长度,再采用正、反振幅模板进行切趾和切趾补偿。而对氩离子倍频激光器而言,由于光源光斑尺寸较小(直径小于 1 mm),功率比较低(小于 100 mW),因此一般不采用振幅模板制作取样光栅和切趾补偿,而是先聚束,使光斑直径小于取样周期后,再采用电移台控制周期性写入光栅的方法来形成取样光栅。控制不同位置的曝光时间,可以产生切趾的取样光栅。由于有效光束宽度难以精确确定,每个取样中实际写入光栅的长度或占空比难以精确确定,因此对每个取样周期进行高质量的平均折射率补偿相当困难,需要研究是否可以采用只作切趾补偿的部分补偿方案。当不作任何补偿时, $\overline{\delta n(z)} = S(z) \delta n_0 f_A(z)/2$, 对应于图 1(a)。当只作切趾补偿时,对应于图 1(b),每个取样内只是写入光栅部分的平均折射率得到了补偿,而空白段的平均折射率没有补偿。 $\overline{\delta n(z)} = S(z) \delta n_0/2$, 当 $S(z)$ 是简单的 0/1 二值函数时, $\overline{\delta n(z)}$ 在写入光栅的部分为 $\delta n_0/2$, 空白段为 0, 对应于图 1(c)。当完全补偿时,空白段的平均折射率也进行了补偿,我们称之为取样补偿。这时 $\overline{\delta n(z)}$ 处处相同 $\overline{\delta n(z)} = \delta n_0/2$ 。

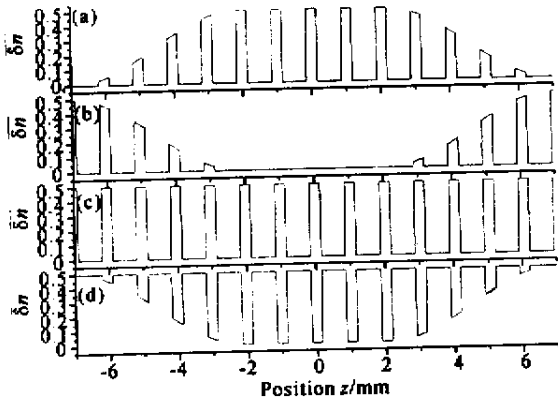


Fig.1 Mean refractive index modulation profile($\overline{\delta n}$). (a) $\overline{\delta n}$ profile of an apodized sampled Bragg grating without any compensation. (b) Required $\overline{\delta n}$ profile for apodization compensation without sampling compensation. (c) Resultant $\overline{\delta n}$ profile of Fig. 1(b). In each sample, $\overline{\delta n}$ is not flat. (d) Required $\overline{\delta n}$ profile for totally compensation including apodization and sampling compensation. The resultant $\overline{\delta n}$ is 0.5 everywhere

模拟采用耦合波-传输矩阵方法^[6]模拟结果如图 2 所示。模拟结果表明切趾补偿对取样光栅同样是非常重要的。由图 2(a)可知,不作切趾补偿,会对反射谱和时延谱带来严重的波纹。对比图 2(b)和 2(c)可知,只作切趾补偿而不作取样补偿的部分

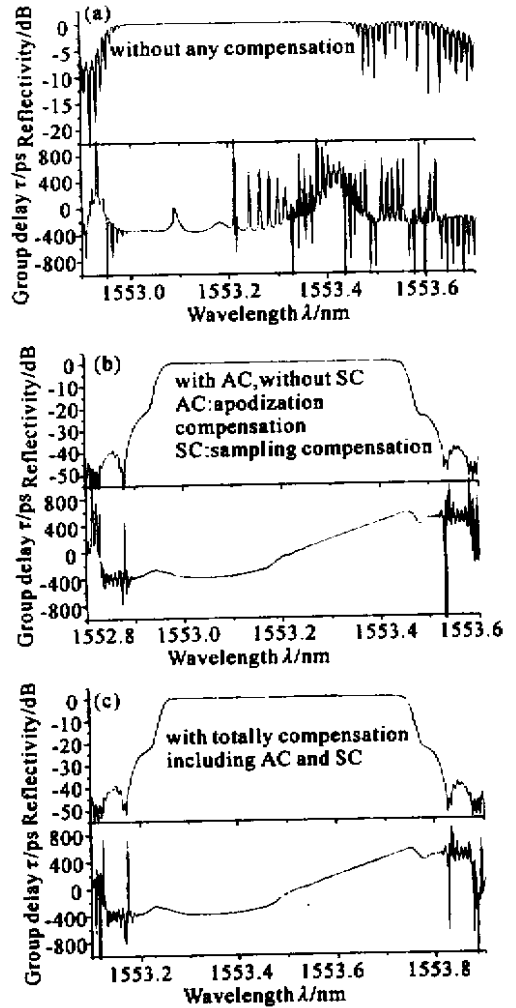


Fig.2 Simulated reflectivity and group delay of apodized sampled Bragg grating and apodization compensation. grating length : 90 mm ; chirp factor :0.03 nm/cm ; duty cycle 0.2 ; central wavelength :1553.5 nm. All of them are cosine apodized of 15% symmetrically at each end of the grating. Central wavelength : 1553.5 nm. (a) Without any compensation. (b) With apodization compensation, without sampling compensation. (c) With total compensation including apodization and sampling compensation

补偿图 2(b)和对切趾和取样都作补偿的完全补偿图 2(c)]的反射及时延谱之间没有显著差别。原因如下:设没有曝光时光纤纤芯的折射率为 n_0 , 折射率调制深度为 δn_0 , 则部分补偿之后所有写入光栅的部分平均折射率是一样的,为 $n_0 + \delta n_0/2$ 。而每个取样中没写光栅的部分平均折射率仍然为 n_0 。平均折射率比写入光栅的部分低 $\delta n_0/2$ 。但由于这部分没有光栅,因此不会形成法布里-珀罗共振腔,所以不会对反射及时延谱带来附加的波纹,但它对信道间隔和带内色散有 $\delta n_0/2n_0$ 量级的影响,如

果取 $n_0 = 1.5$, $\delta n_0 = 1 \times 10^{-3}$, 这一影响在 0.003% 的量级。对比图 2(b) 和图 2(c) 可知, 中心波长移动了 0.3 nm。虽然只作切趾补偿和完全补偿两种情况的反射及时延谱相似, 但由工艺的角度考虑, 只作切趾补偿更容易实现, 原因是没有写光栅的部分不用作补偿, 曝光时间可以显著减小, 而且不会由于光束的宽度估计不准造成写入光栅的占空比与补偿平均折射率的占空比不匹配的问题。因此, 在下文中, 本文针对氩离子倍频激光器写入光栅的特点, 提出一种简单的切趾补偿的方法, 并从实验上对不作补偿和只作切趾补偿两种情况的反射及时延曲线进行了比较。

3 实验结果

取样光纤光栅由氩离子倍频激光器在载氢的光敏光纤上制作, 光源光斑尺寸约为 0.8 mm, 经聚焦后由电机控制写入位置与曝光时间。通过控制写入点来产生取样, 通过控制某点的曝光时间来切趾

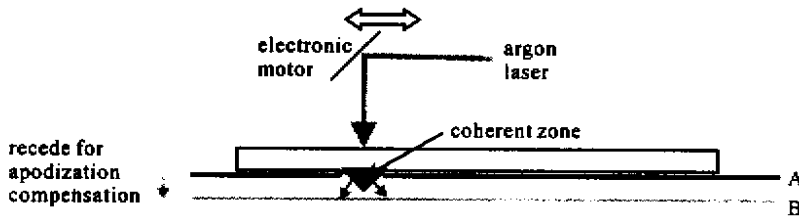


Fig. 3 Experimental setup of fabricating apodized sampled Bragg grating and apodization compensation by frequency doubled Argon laser. Position A: for fabricating apodized sampled Bragg grating. The photosensitive fiber is placed inside the coherent zone. Position B: for apodization compensation. The photosensitive fiber recede outside the coherent zone

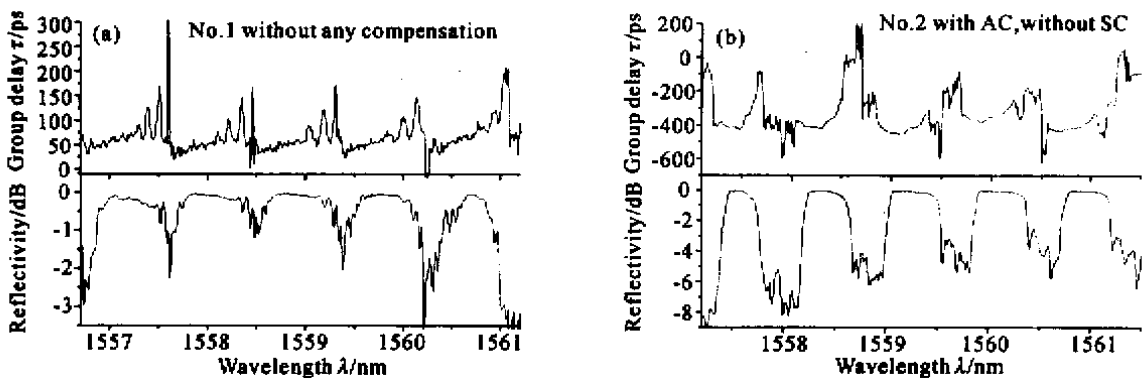


Fig. 4 Experimental result of reflectivity and group delay of apodized sampled Bragg grating with and without apodization compensation. No. 1: without apodization compensation. No. 2: With apodization compensation. Without sampling compensation. Grating parameters of No. 1 and No. 2 are the same. grating length: 90 nm; chirp factor: 0.03 nm/cm; phase mask central period: 1072.6 nm. They are symmetrically apodized at each end of the grating. Total apodization ratio is 30%

由实验结果可见:

1) 如果不作切趾补偿, 每个信道反射谱的带外都有很多旁瓣, 对应在每个信道的时延谱的长波方向上出现了显著的波纹。

2) 切趾补偿显著降低了反射谱的旁瓣, 因而使

与切趾补偿。通常的切趾补偿工艺都是去掉模板后进行, 缺点是下次制作光栅时要重新安装模板, 调整光路, 重复性不好。相位模板有一定的空间干涉范围, 光纤在此区域内曝光, 将形成光栅, 而离开此区域, 将不形成光栅, 只是平均折射率提高。根据这个原理, 本文尝试了一种新的切趾补偿工艺, 也就是在光栅第一次曝光, 写入切趾取样光栅后, 将光纤向后退 1 mm, 离开模板的干涉区, 再进行切趾补偿的第二次曝光。这种工艺的好处是不用去掉模板, 便于重复实验和工业化应用。实验装置如图 3 所示。

本次实验共制作了两个光栅, 在载氢的光敏光纤上制作, 都是 90 mm 长, 两端各进行 15% 的部分升余弦切趾, 光源功率 70 mW, 最长曝光时间 20 s, 1 号样品没有作任何补偿, 2 号样品按前文提出的方法进行了切趾补偿。从光纤载氢到光栅制作和反射谱的测量都是在本实验室完成, 时延谱的测量在电信科学研究院计量室完成。实验结果如图 4 所示。

反射谱的边模抑制比有显著提高。反射谱的形状也更接近理想滤波器平顶、边沿陡峭的特点, 时延曲线的波纹也有明显减小, 这个结果与其它文献中报道的单信道切趾补偿的效果相吻合^[7], 因此本文提出的新的切趾补偿工艺是有效的。只作总体折射率调

制轮廓切趾补偿的部分切趾补偿仍然可以起到良好的补偿效果。实验结果与理论模拟结果相符合。

此工艺的好处是简单,不用去掉相位模板,不用正、反振幅模板。可重复性好,适于未来工业应用,但需要光源光束尺寸比较小,因此只适合于氩离子倍频激光器制作光栅。

小结 本文针对氩离子倍频激光器写入取样光栅的特点,试验了新的切趾补偿工艺。对取样光栅而言,完整的切趾补偿应包括总的折射率调制轮廓的补偿和每个取样周期内的补偿两部分。理论模拟显示,只对总的折射率调制轮廓作补偿而不对每个取样周期作补偿仍然可以收到良好效果。以此为依据,本文提出了针对氩离子倍频激光器写入取样光栅的简单的切趾补偿工艺。依据是模板存在一定的干涉区,当光纤退出模板的干涉区后,只有平均折射率提高而不写入新的光栅。因此在干涉区外进行与切趾函数互补的曝光就可以切趾补偿了。实验结果显示,切趾补偿有效降低了取样光栅每信道反射谱的旁瓣,使反射谱的形状更加理想,同时也有效降低了群时延曲线的波纹。实验结果与理论模拟相符合,并且与其他方法所作切趾补偿的结果相吻合,说明新的切趾补偿工艺是有效的。

参 考 文 献

- [1] Hill K O, Meltz G. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1263 ~ 1276
- [2] Chen Xiangfei, Luo Yi, Fan Chongcheng *et al.*. Analytical expression of sampled Bragg gratings with chirp in the sampling period and its application in dispersion management design in a WDM system. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(8):1013 ~ 1015
- [3] Chen Xiangfei, Fan Chongcheng, Luo Yi *et al.*. Novel flat multichannel filter based on strongly chirped sampled fiber Bragg grating. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(8):1501 ~ 1503
- [4] Xie Y, Lee S, Pan Z *et al.*. Tunable compensation of the dispersion slope mismatch in dispersion-managed systems using a sampled nonlinearly chirped FBG. *OFC '2000*, Baltimore, Maryland, USA. ThS2-1
- [5] Ibsen M, Fu A, Geiger H *et al.*. All-fiber 4 × 10 Gb/s WDM link with DFB fibre laser transmitters and single sinc-sampled fibre grating dispersion compensator. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(12):982 ~ 983
- [6] Erdogan T. Fiber grating spectrum. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1277 ~ 1294
- [7] Singh H, Zippin M. Apodized fiber Bragg gratings for DWDM applications using uniform phase mask. *ECOC '98*, Madrid, Spain:189 ~ 190

Apodization Compensation of Sampled Bragg Grating Fabricated by Argon Ion Laser

Yin Yuzhe Lin Zongqiang Chen Xiangfei Xia Li Li Xuhui Feng Jia
Mao Jin Xie Shizhong

(*Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*)

(Received 27 December 2001; revised 8 February 2002)

Abstract: Complete mean refractive index compensation should include apodization and sampling compensation. However, numerical simulations show that only apodization compensating is required. A simple compensation technique is proposed and demonstrated. Receding the fiber outside the coherent zone, apodization compensation is implemented by controlling the exposure position and exposing time of argon ion laser. The side lobes of reflection spectrum is suppressed. Group delay ripple is smoothed.

Key words: fiber grating; sample; apodization; compensation