

文章编号: 0258-7025(2003)06-0541-04

# 掺 Yb 相移光纤光栅形成过程的分析

陈嘉琳, 陈 柏, 乔启全, 范 薇, 李学春, 陈兰荣, 薛绍林, 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

文双春

(湖南大学通信与电子工程系, 湖南 长沙 410082)

**摘要** 研究了用二次曝光法制作掺 Yb 相移光纤光栅的实验过程, 并对相移光纤光栅制作过程中出现次峰的情况进行了理论分析。合理地解释了该现象。

**关键词** 光电子学; 掺 Yb; 相移光纤光栅; 二次曝光法; 次峰

**中图分类号** TN 253 **文献标识码** A

## Study about Making of Yb-doped Phase-shifted Fiber Bragg-grating

CHEN Jia-lin, CHEN Bai, QIAO Qi-quan, FAN Wei,

LI Xue-chun, CHEN Lan-rong, XUE Shao-lin, LIN Zun-qi

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

WEN Shuang-chun

(Department of Communication and Electronic Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

**Abstract** A Yb-doped phase-shifted Fiber Bragg-Grating fabricated with double exposure method was reported in this paper. In the experiments, a weak peak was found in phase-shifted FBG, and the phenomenon was explained.

**Key words** optoelectronics; Yb-doped phase-shifted; double exposure method; weak peak

## 1 引 言

光纤光栅作为光通讯领域里的一种新兴光学器件, 具有广阔的应用前景<sup>[1~3]</sup>。由于光栅具有很好的选频作用, 故光纤光栅在频域中呈现出丰富多彩的传输特性, 能研制出性能优异的光纤带通或带阻滤波器(或滤光器)、高质量多功能全光纤激光器与放大器, 以及各种全光纤集成器件。作为非均匀周期的相移光纤光栅可在反射谱阻带中打开线宽极窄的一个或多个透射窗口, 使得光栅对某一波长或多个波长有更高的选择度, 而且窗口位置可以随相移量的大小发生改变; 窗口的通透率以及线宽也可以随相移点的位置不同而不同, 因而可以根据不同的

需要设计具有不同反射谱的相移光栅<sup>[4]</sup>。这些特点使相移光纤光栅在窄线宽单频光纤激光器、光波解复系统、掺饵光纤的增益平坦化等方面有重要作用。而一段掺杂光纤上制作的相移光栅, 即为相移分布反馈(DFB)光纤激光器。在 ICF 系统中要求前端振荡器输出的是 1053 nm 单纵模。 $\lambda/4$  相移 DFB 具有良好的单纵模运行特性<sup>[5]</sup>。美国 LIF 实验室曾用  $\lambda/4$  相移 DFB 掺 Yb 激光器作为振荡器<sup>[6]</sup>。

相移光栅结构的显著特点是位相的不连续性。制作相移光栅的方法有许多种, 但用得最多的还是二次曝光法和遮挡法。本文详细介绍了用二次曝光法制作掺 Yb 相移光纤光栅的生长过程, 并观察到在相移光栅的生长过程中有次峰向长波方向漂移,

收稿日期: 2002-03-22; 收到修改稿日期: 2002-05-15

基金项目: 国家 863 高技术计划资助项目(编号: 863-416-2)。

作者简介: 陈嘉琳(1978. 2—), 女, 广东新会人, 中国科学院上海光学精密机械研究所研究生, 主要从事光有源及无源器件的研究。E-mail: ziqiangminmin@mail. china. com

对此作出了理论分析。

## 2 实验原理

位相掩模是方便的成栅方法,它对紫外光源及相关系统的稳定性要求不高。它的成栅原理是写入激光束经位相掩模,零级被减弱,被增强的正负一级衍射光在掩模场重叠,形成干涉条纹,被紧密靠近的光纤记录下来而成栅。依此原理设计了如图 1 所示的实验系统。而二次曝光法即:第一次曝光在光纤上先制作一个均匀光栅,然后再对光栅的中间区域进行第二次曝光,从而产生一个相移区。

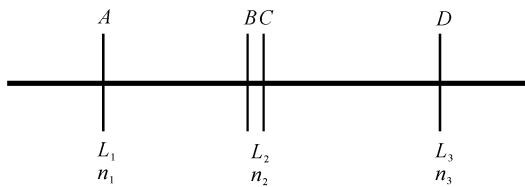


图 1 光纤光栅的示意图

Fig. 1 Schematic illustration of fiber grating

在该实验中所用的光纤,芯径约  $6 \mu\text{m}$ ,在  $915 \mu\text{m}$  的吸收系数约  $36 \text{ dB/m}$ 。首先对  $10 \text{ cm}$  长的  $AD$  段进行曝光(如图 1 所示),制作一段均匀光栅,然后对光纤光栅的中间  $2 \text{ mm}$  即  $BC$  段区域进行第二次曝光,从而产生一个相移区。 $BC$  两点的位相差为<sup>[7]</sup>

$$\Phi_C - \Phi_B = 2\beta_B n_{\text{eff}} L_2 \quad (1)$$

其中  $n_{\text{eff}}$  为光纤心的有效折射率, $\beta_B$  是 Bragg 波长  $\lambda_B$  的传播常数, $L_2$  是相移区的长度,对于相移光纤光栅,相移区相移量为<sup>[8]</sup>

$$\Delta\Phi_{CB} = \Phi_C - \Phi_B - 2\beta_B n_{\text{eff}} L_2 \quad (2)$$

1) 第一次曝光,在光纤上制作均匀的光纤光栅,其有效折射率比原来改变了  $\Delta n_1$  的量;

2) 对光纤光栅的中间区域  $L_2$  进行曝光后,相移区的折射率改变量为  $\Delta n_2$ ,这时<sup>[9]</sup>

$$\Phi_B = \Phi_A + 2\beta_B L_1 (n_{\text{eff}} + \Delta n_1)$$

$$\Phi_C = \Phi_A + 2\beta_B L_2 (n_{\text{eff}} + \Delta n_1) + 2\beta_B L_2 (n_{\text{eff}} + \Delta n_1 + \Delta n_2)$$

因而  $\Phi_C - \Phi_B = 2\beta_B L_2 (n_{\text{eff}} + \Delta n_1 + \Delta n_2)$

则光纤光栅所产生的相移为

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{CB} &= \Phi_C - \Phi_B - 2\beta_B (n_{\text{eff}} + \Delta n_1) L_2 = \\ &= 2\beta_B \Delta n_2 L_2 = 2 \frac{2\pi}{2(n_{\text{eff}} + \Delta n_1)\Lambda} \times \\ &= \frac{2\pi}{\Lambda} \cdot \frac{\Delta n_2}{n_{\text{eff}} + \Delta n_1} L_2 \end{aligned} \quad (3)$$

$\Lambda$  为光栅的周期,由于光致折射率的变化和光纤本身的折射率相比为小量( $10^{-4}$ ),因此可以忽略不计,则影响相移量的值就只有二次曝光所引起的折射率的变化和相移区的长度这两个量。所以在实验中利用光敏实验来测量光致折射率的变化,再根据此值来选择合适相移区的长度  $L_2$  的范围,并通过二次曝光来调节相移区的光致折射率  $\Delta n_2$  的变化,以得到所需的相移量。

## 3 实验装置和过程

如图 2 所示,KrF 准分子激光器发出的紫外激光( $\lambda = 193 \text{ nm}$ )透过相位模版衍射后,在光纤上形成空间周期为  $\Lambda/2$  的光强分布。由于载氢光纤的光敏性,使得纤芯折射率得到调制,形成均匀光纤光栅,然后用二次曝光法处理成相移光栅。整个过程由光谱仪实时在线监控。作为探测光的宽带光源是由 LD 所发射的  $980 \text{ nm}$  激光通过波分复用器(WDM)后抽运一段掺 Yb 光纤形成的。

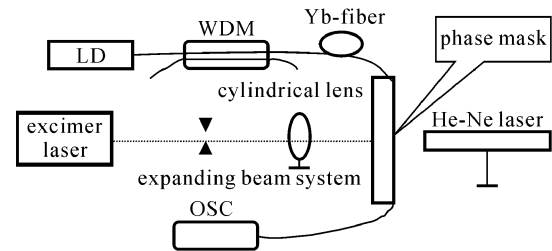


图 2 实验装置原理图

Fig. 2 Experiment setup

实验过程如下:

1) 对  $10 \text{ cm}$  掺 Yb 光纤进行均匀曝光,准分子激光器的参数是:激光脉冲重复频率  $10 \text{ Hz}$ ,单脉冲能量  $54 \text{ mJ}$ ,经  $2000$  个脉冲照射后  $R = 27.8 \text{ dB}$ ,光栅反射峰位于  $1050.9 \text{ nm}$  处。如图 3(a)所示。

2) 将相位版反过来移开扩束系统和柱透镜,对光纤中间一段  $2 \text{ mm}$  部分进行曝光,准分子激光器的参数是  $10 \text{ Hz}$ ,  $20 \text{ mJ}$ ,经  $3000$  个脉冲后在  $1053.504 \text{ nm}$  处出现一次峰,反射率约为  $10 \text{ dB}$ (如图 3(b)所示)。与图 3(a)相比可见,该反射峰光谱已发生了明显的变化,在该反射峰长波一侧开始出现凹凸变化,表明已有相移出现。

3) 将准分子激光器的参数改为  $10 \text{ Hz}$ ,  $34 \text{ mJ}$ ,随着脉冲数增加,次峰向长波方向漂移,  $11000$  个脉冲后光栅光谱如图 3(c)所示。由图可见,在光栅的反射主峰中开启一透射窗口,透射窗口的位置接近

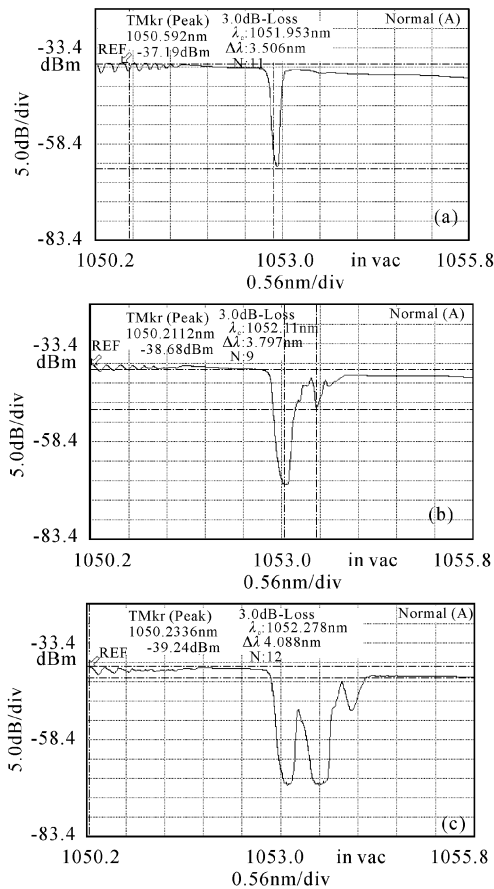


图 3 光栅光谱图(a), 相移光栅光谱图(b)和  $\lambda/4$  相移光谱图(c)

Fig. 3 Fiber grating spectrum (a), phase-shifted fiber grating spectrum (b)  $\lambda/4$  phase-shifted fiber grating spectrum (c)

反射峰中央。表明光栅所形成相移近似为  $\lambda/4$ <sup>[4]</sup>。

## 4 分析与结论

在实际制作过程中,经常观察到如图 3(a)~(c)所示的在相移生长过程中随着曝光时间的增长在相移区的旁边又出现一个次峰,该次峰随着曝光量的增加而向长波方向漂移。我们对此做了大量重复性实验,图 4 就是其中任意一根光纤用上述方法制作并在线观察到的结果。

对以上现象做如下解释:在二次曝光过程中出现的次峰,我们认为是出现了第二个光栅。由于光纤光栅的 Bragg 反射波长可表示为<sup>[7]</sup>

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (4)$$

随着曝光量的增大  $n_{\text{eff}}$  也随之增大<sup>[10]</sup>,由公式(4)也可看出  $\lambda_B$  与  $n_{\text{eff}}$  成正比,所以后面的峰出现在

长波方向并向长波方向漂移。图 5(a), (b)所记录的是其他实验中光纤光栅随曝光量的增加波长向长波方向漂移的现象,理论与实验是相符合的。由图 5(a)可知 CD 段相对于 AB 段又可看作一段光纤,而由图 3(c)可知  $CD = L_2, AB = L_1 + L_2 + L_3$ 。显然 AB 段大于 CD 段。而光纤光栅的反射率<sup>[11]</sup>

$$R_{\text{max}} = \tanh^2(KL) \quad (5)$$

所以后面出现的峰的反射率比第一个峰低。这也是和实验相吻合的。

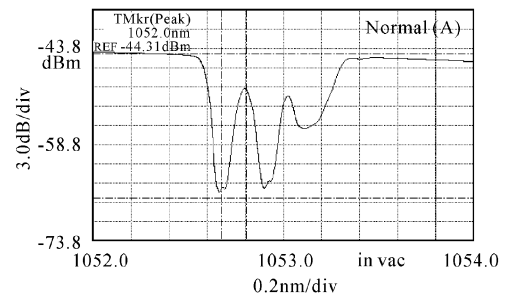


图 4  $\lambda/4$  相移光纤光栅光谱图

Fig. 4  $\lambda/4$  phase-shifted fiber grating spectrum

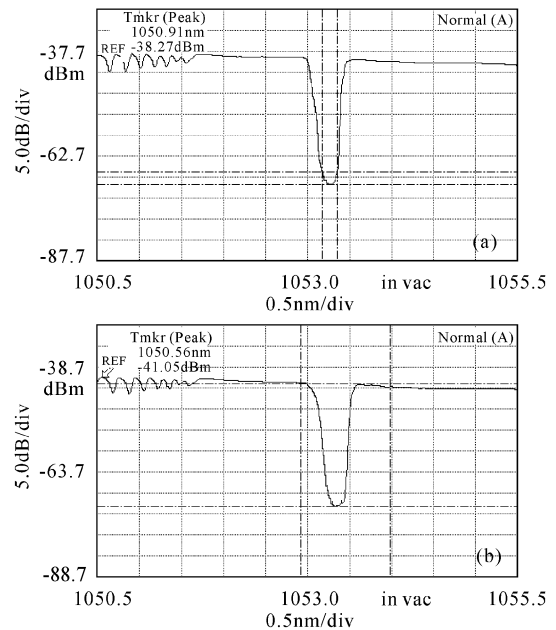


图 5 光纤光栅光谱图

Fig. 5 Bragg grating spectrum

## 参 考 文 献

- 1 P. St. J. Russell, J.-Larchambault, L. Reekie. Fibergratings [J]. *Physics World*, 1993, (10):41~46
- 2 K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau *et al.*. Bragg grating fabricated in monomode fiber by UV exposure through phask mask [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(10): 1035~1037
- 3 D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. E. White *et al.*.

- Production of in-fiber gratings using a diffractive optical element [J]. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(6):566~569
- 4 Zhao Donghui, Yang Xiufeng, Liu Zhiguo *et al.*. Analyses for characteristics of the phase-shifted fiber grating [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 1998, **9**(3):175~180 (in Chinese)
- 5 H. Kogelnik, C. V. Shank. Coupled-wave theory of distributed feedback lasers [J]. *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**(5):2327~2335
- 6 J. K. Crane, R. B. Wilcox, M. Hermann *et al.*. The NIF Injection Laser System [R]. UCRL-LR-105821-99-1
- 7 Xie Manhong, Yuan Rong. The optical properties and applications of fiber grating in optical communication [J]. *Opt. Comm. Technol.*, 1998, **21**(2):113~121
- 8 M. Yamada, K. Sakuda. Analysis of almost-periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach [J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(16):3474~3478
- 9 Fan Wei, Li Xunchun, Chen Bai *et al.*. Comparison of the two fabrication methods of phase shifted fiber grating [R]. OFCIO'2001. 665~667
- 10 Qin Yuwen, Chen Genxiang, Zhao Yucheng *et al.*. Fiber Bragg gratings fabrication and its temperature stability investigation [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 1998, **9**(3):173~176 (in Chinese)
- 11 Guo Yubin, Ge Huang. Fabrication of fiber Bragg grating [J]. *Optics and Precision Engineering* (光学精密工程), 1999, **7**(1):31~38 (in Chinese)