

文章编号: 0258-7025(2006)07-0933-04

# 长周期莫尔光栅的实验研究

高 侃<sup>1</sup>, 朱 清<sup>1</sup>, C. Paul<sup>2</sup>, 陈光辉<sup>1</sup>, 彭刚定<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国电子科技集团公司第 23 研究所光科研中心, 上海 200437  
<sup>2</sup> 新南威尔士大学电子工程与通信学院光通信实验室, 澳大利亚 悉尼 2052)

**摘要** 相移长周期光栅和变迹长周期光栅作为两种特殊的长周期光纤光栅, 由于其特殊的光谱特性, 受到了人们的关注。结合长周期莫尔光栅理论, 利用紫外逐点写入和两次曝光法, 通过灵活地控制两次曝光的周期、起始位置、曝光量等制作参数, 在高掺锗载氢光纤上写入了多种长周期莫尔光栅, 实现了长周期光纤光栅的相移效应和变迹效应。结果表明, 莫尔技术可以被很好地应用于相移长周期光栅和变迹长周期光栅等特殊光栅的制作。

**关键词** 集成光学; 长周期光纤光栅; 莫尔光栅效应; 相移光栅; 变迹光栅

**中图分类号** TN 253 **文献标识码** A

## Experimental Study of Long-Period Moiré Gratings

GAO Kan<sup>1</sup>, ZHU Qing<sup>1</sup>, C. Paul<sup>2</sup>, CHEN Guang-hui<sup>1</sup>, PENG Gang-ding<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> No. 23 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shanghai 200437, China  
<sup>2</sup> Photonics and Optical Communications Group, School of Electrical Engineering  
and Telecommunications, The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia)

**Abstract** Two kinds of special long-period fiber gratings, phase-shift and apodised long-period gratings, were studied by many researchers, because of their special spectral characteristics. According to the theory of long-period moiré gratings, with the methods of step-by-step ultraviolet (UV) writing and double-exposure with different grating period, several kinds of long-period moiré gratings were fabricated in the hydrogenated high-germanium-doped fiber by controlling the period and the first position of both exposure and the exposure-time of each step, which realized the effects of phase-shift and apodization. The results indicated that the moiré gratings technology can be well applied in fabricating the special kinds of long-period fiber gratings, such as phase-shifted and apodised gratings.

**Key words** integrated optics; long-period fiber gratings; moiré gratings effect; phase-shifted gratings; apodised gratings

## 1 引 言

莫尔光纤光栅是利用光学中的莫尔效应, 在光纤上写入光栅的过程中, 对同一段光纤进行两次不同周期的曝光, 在光纤的轴向形成具有缓变包络的快变折射率调制。人们已将莫尔技术应用于布拉格光栅, 制作出了具有皮米量级的窄线宽相移光栅和变迹光栅<sup>[1~5]</sup>。长周期光纤光栅作为一种不同于布拉格光栅的损耗型光纤滤波器, 在光纤通信和光纤传感领域得到了广泛的应用<sup>[6,7]</sup>。而相移长周期光栅和变迹长周期光栅作为两种特殊的长周期光纤光

栅, 由于其特殊的光谱特性, 亦受到了人们的关注<sup>[8,9]</sup>。制作这两种长周期光纤光栅的方法有很多种, 文献<sup>[10]</sup>提出了利用莫尔技术可以方便地制作出多种相移和变迹长周期光纤光栅, 并对其进行了详细的理论分析。

本文着重介绍长周期莫尔光栅的实验制作, 利用紫外逐点写入和两次曝光法, 灵活地控制两次曝光的周期、起始位置、曝光量等制作参数, 在高掺锗载氢光纤上写入了多种长周期莫尔光栅。结果表明, 莫尔技术可以被很好地应用于相移和变迹等特殊长周期光纤光栅的制作。

收稿日期: 2005-11-11; 收到修改稿日期: 2005-12-30

作者简介: 高 侃(1975—), 男, 江苏无锡人, 中国电子科技集团公司第 23 研究所博士, 主要从事光纤光栅在光通信和光传感领域的应用研究。E-mail: gaokan@mail.siom.ac.cn

### 2 莫尔技术制作相移长周期光纤光栅

实验采用的紫外激光器是波长为244 nm的氩离子倍频激光器,连续输出功率为160 mW,所用光纤为经过一周高压载氢的高掺锗光敏光纤。采用逐点写入的方法来制作长周期光纤光栅,通过水平和竖直方向两块柱透镜的聚焦,把紫外光集中照射到光纤的纤芯上。通过一个精密的电控微移平台带动一块紫外全反镜进行横向移动,让全反镜反射过来的紫外光可以沿着光纤的轴向进行扫描。通过计算机编程可以控制微移平台的停留位置和停留时间。这样,在制作长周期莫尔光栅的时候,就可以通过设定相邻两个照射点的距离来控制光栅的周期;通过设定每个照射点上的停留时间来控制光栅紫外折变量的大小;通过设定起始照射位置来控制两次曝光的初始相位差。

根据长周期莫尔光栅的理论分析,当两次曝光的周期  $\Lambda_1$  和  $\Lambda_2$  满足  $\Lambda_1 \Lambda_2 / (\Lambda_1 - \Lambda_2) = L$  ( $L$  为光栅区的长度),两次曝光的起始照射点重合并且两次曝光引起的纤芯折变量相同的时候,就可以得到相移点在光栅区中心的  $\pi$  相移长周期光纤光栅。实验中采用的曝光参数为:  $\Lambda_1 = 282 \mu\text{m}$ ,  $\Lambda_2 = 278 \mu\text{m}$ , 光栅的长度为  $L = 1.974 \text{ cm}$ , 每个照射点上的停留时间为0.3 s。设定两次曝光引起的折射率变化量均为  $\Delta n$ , 那么光栅区的折射率调制分布如图1所示。通过白光光源和光谱仪测得的光栅光谱图如图2,图3所示(波长分辨率为1 nm)。

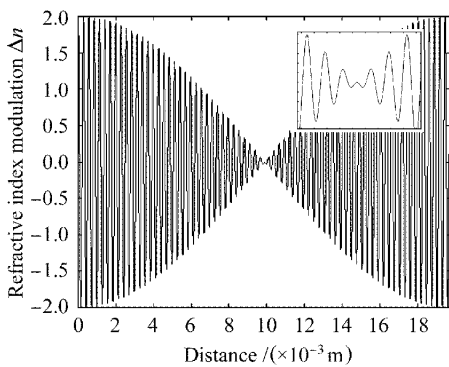


图1  $\pi$  相移光栅折射率调制示意图

Fig. 1 Modulation of refractive index of  $\pi$ -shift grating

图2中,(a)为经过第一次曝光后的光栅透射谱( $\Lambda_1$  为282  $\mu\text{m}$ ,各点停留时间为0.3 s);(b)为经过第二次曝光后的光栅透射谱( $\Lambda_2$  为278  $\mu\text{m}$ ,各点累积停留时间为0.3 s)。对比这两张图可以发现,(a)中的每个谐振峰在(b)中分裂成了两个对称的小

峰,实现了  $\pi$  相移长周期光纤光栅的光谱特性。

为了在两次不同周期的曝光中得到相同的纤芯折变量,采用了相同的停留曝光时间。但是由于光纤的折射率变化量和紫外曝光的时间并不是一个线

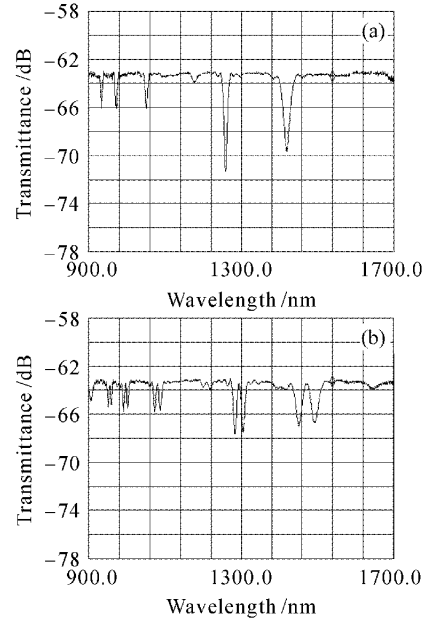


图2  $\Lambda_1, 0.3 \text{ s}$ (a)和  $\Lambda_2, 0.3 \text{ s}$ (b)曝光后的光栅透射谱

Fig. 2 Spectra after the exposure with  $\Lambda_1, 0.3 \text{ s}$  (a) and  $\Lambda_2, 0.3 \text{ s}$  (b) exposure time

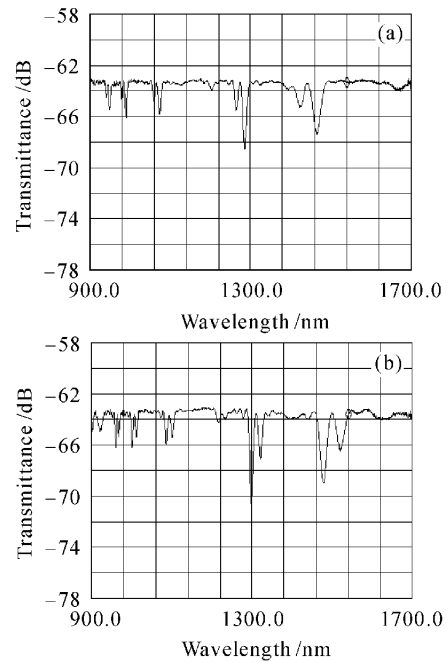


图3  $\Lambda_2, 0.15 \text{ s}$ (a)和  $\Lambda_2, 0.45 \text{ s}$ (b)曝光后的相移光栅透射谱

Fig. 3 Phase-shift spectra after the exposure with  $\Lambda_2, 0.15 \text{ s}$  (a) and  $\Lambda_2, 0.45 \text{ s}$  (b) exposure time

性的关系,在设定相同曝光时间的情况下,两次曝光所造成的折射率变化量往往不能完全一致。折变量的略微差异会引起在光栅相移点上的相移量偏离 $\pi$ ,形成两个峰损耗的差异。对于这种情况,用数学式来表达比较困难,可通过实验来加以验证。在对光纤完成第一种周期的曝光后,采用多次扫描,逐步累加的方法来对光纤进行第二种周期的曝光。图 3 中,(a)是停留时间为 0.15 s 照射后的光栅透射谱,而(b)为累计停留时间为 0.45 s 照射后的光栅透射谱。从图中可以明显地看出,由于光栅的相移量偏离 $\pi$ ,两个小峰的损耗相对大小发生了变化。在图 3(a)中左边的小峰小于右边的小峰,属于相移量小于 $\pi$ 的情况;而在图 3(b)中左边的小峰大于右边的小峰,属于相移量大于 $\pi$ 的情况。

这里制作的是具有一个 $\pi$ 相移点的长周期光纤光栅,利用莫尔效应通过改变 $\Delta_2$ 的大小,同样可以制作出存在多个 $\pi$ 相移点的长周期光纤光栅。根据理论计算可知,在这种相移光栅的透射谱上对应于同一阶包层模总会存在两个比较大的主峰,它们之间的距离会随着相移点个数 $N$ 的增加而增加。

图 4 为多个 $\pi$ 相移点的光栅折射率调制示意图。图 5 为测得的相应的光栅透射谱,其中(a)对应的制作参数是 $\Delta_1$ 为 282  $\mu\text{m}$ ,各点停留时间为 0.2 s, $\Delta_2$ 为 270.4  $\mu\text{m}$ ,各点累积停留时间为 0.21 s,光栅

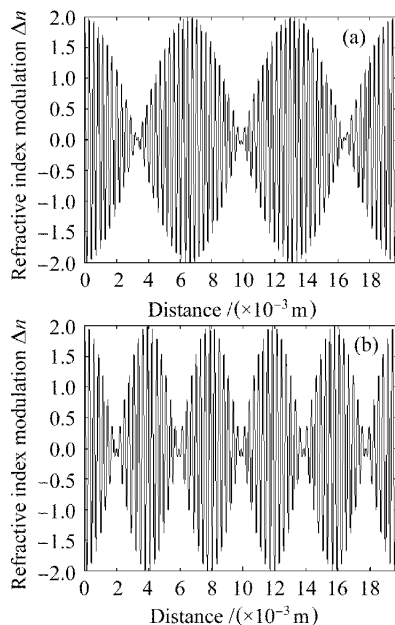


图 4 多个 $\pi$ 相移点的光栅折射率调制示意图  
Fig. 4 Modulation of refractive index of many  
 $\pi$  phase-shift points  
(a) 3; (b) 5

长度为 1.974 cm;(b)对应的制作参数是 $\Delta_1$ 为 282  $\mu\text{m}$ ,各点停留时间为 0.2 s, $\Delta_2$ 为 263.2  $\mu\text{m}$ ,各点累积停留时间为 0.21 s,光栅长度为 1.974 cm。从图 5 中可以看到,纤芯基模与各阶包层模的耦合都存在相互对应、损耗大致相同的两个峰,其波长间隔随着相移点个数的增加而增加(如在图 5(a)中最右侧的两个峰对应于同一个包层模,其波长间隔大约为 100 nm;而图 5(b)中最右侧的两个峰同样对应于同一包层模,而其波长间隔却为 150 nm 左右)。这与理论分析完全一致。

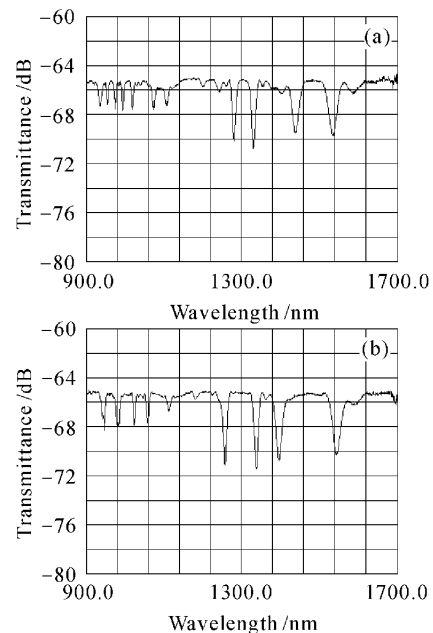


图 5 测得的多个 $\pi$ 相移点的光栅透射谱  
Fig. 5 Spectra of many  $\pi$  phase-shift points  
(a) 3; (b) 4

### 3 莫尔技术制作变迹长周期光纤光栅

当莫尔光栅条纹的缓变周期 $\Delta_s$ 等于两倍光纤光栅长度,并使莫尔光栅条纹的亮区落在光纤光栅的中部时,光纤光栅的折射率调制幅度的变化呈现余弦分布,如图 6 所示。与通常所采用的升余弦函数不同的是,光纤莫尔光栅的折射率调制同时发生在正负两个方向,因而能够保持纤芯平均折射率不变,实现纯变迹。

图 7 为实验所测得的光谱图,其中(a)中 $\Delta_1$ 为 282  $\mu\text{m}$ ,各点停留时间为 0.22 s,光栅长度为 1.974 cm;(b)中 $\Delta_2$ 为 278  $\mu\text{m}$ ,各点累积停留时间为 0.23 s,与制作 $\pi$ 相移光栅不同的是,起始照射点与第一次曝光的起始照射点位置相差 140  $\mu\text{m}$ ,约为半个光栅周期。从图 7 可以看出经过莫尔光栅变迹

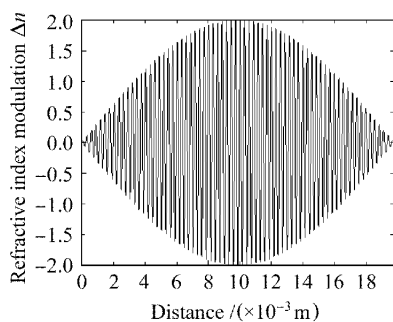


图 6 变迹光栅折射率调制示意图

Fig. 6 Refractive index modulation of apodized grating

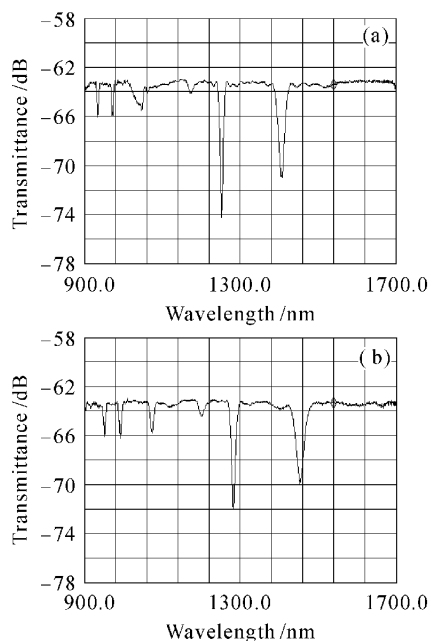


图 7 测得的光谱图

(a) 第一次曝光后的光栅透射谱;

(b) 第二次曝光后的变迹光栅透射谱

Fig. 7 Measurement spectra

(a) spectrum after 1st exposure;

(b) apodized spectrum after 2nd exposure

后((b)图)的各谐振峰的旁瓣要比均匀的长周期光栅((a)图)小得多,证实莫尔光栅效应起到了很好的变迹效果。

## 4 结 论

利用莫尔光栅技术制作了多种相移和变迹长周期光纤光栅,获得了与理论分析相一致的光栅透射谱。结果证实,莫尔技术不仅可以被应用于布拉格光栅的制作,同样也可以被灵活地应用于一些特殊应用的长周期光纤光栅的制作。例如,在利用长周

期光纤光栅来制作掺铒光纤放大器(EDFA)增益平坦滤波器时,由于掺铒光纤放大器增益谱谱形通常比较复杂,需要用多根均匀光栅串联来实现,这样就势必增加了器件的插入损耗和封装难度。在利用莫尔技术制作长周期光纤光栅的过程中,通过改变两次曝光起始照射点的相对位置,光栅中相移点的位置可以得到很好的控制。结合改变曝光量控制相移量的手段,就可以方便地在一根光栅上利用纤芯基模和同一阶包层模的耦合得到具有特殊光谱形状的谐振峰,能就很好地解决上述问题。

## 参 考 文 献

- 1 D. C. J. Reid, C. M. Ragdale, I. Bennion *et al.*. Phase-shifted Moiré grating fiber resonators [J]. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(1):10~12
- 2 Zhou Kaiming, An Guiren, Ge Huang *et al.*. Bandpass filter based on a moiré in-fiber Bragg grating with a stretch and double exposure method [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(9):828~832  
周凯明,安贵仁,葛 璜 等. 用拉伸和二次曝光法制作基于莫尔光纤光栅的带通滤波器[J]. *光子学报*, 1998, **27**(9):828~832
- 3 L. A. Everall, K. Sugden, J. A. R. Williams *et al.*. Fabrication of multipassband moiré resonators in fiber by the dual-phase-mask exposure method [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(19):1473~1475
- 4 Hans-Georg Fröhlich, Raman Kashyap. Two methods of apodisation of fiber-Bragg-gratings [J]. *Opt. Commun.*, 1998, **157**:273~281
- 5 Zhao Ling, Li Ling, Qu Ronghui *et al.*. Band-pass filter based on moiré fiber Bragg grating [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2002, **23**(6):408~411  
赵 岭,李 琳,瞿荣辉 等. 基于莫尔光纤光栅的带通滤波器[J]. *半导体光电*, 2002, **23**(6):408~411
- 6 Wang Yiping, Rao Yunjiang, Hu Aizi *et al.*. A novel long-period fiber grating torsion sensor [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(9):1096~1099  
王义平,饶云江,胡爱姿 等. 长周期光纤光栅扭曲传感器[J]. *光学学报*, 2002, **22**(9):1096~1099
- 7 Rao Yunjiang, Wang Yiping, Ran Zengling *et al.*. Simultaneous measurement of transverse load and temperature using a single long-period fiber grating element [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(12):1116~1120  
饶云江,王义平,冉曾令 等. 单个长周期光纤光栅实现横向负载和温度的同时测量[J]. *中国激光*, 2003, **30**(12):1116~1120
- 8 H. Ke, K. S. Chiang, J. H. Peng. Analysis of phase-shifted long-period fiber gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(11):1596~1598
- 9 V. Grubsky, A. Skorucak, D. S. Starodubov *et al.*. Fabrication of long-period fiber gratings with no harmonics [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1):87~89
- 10 Gao Kan, Zhou Yingwu, Qu Ronghui *et al.*. Theoretical analysis of long-period moiré gratings [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3):427~430  
高 侃,周赢武,瞿荣辉 等. 长周期莫尔光栅的理论研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3):427~430