

文章编号 1004-924X(2012)04-0685-07

## 应用 800 nm 飞秒激光制备长周期光纤光栅

苗飞<sup>1</sup>, 张玲<sup>1</sup>, 冯德军<sup>2</sup>, 隋青美<sup>1\*</sup>, 陈霄<sup>1</sup>, 贾磊<sup>1</sup>, 刘汉平<sup>3</sup>, 刘辉兰<sup>3</sup>

(1. 山东大学控制科学与工程学院, 山东济南 250061; 2. 山东大学信息科学与工程学院, 山东济南 250100;  
3. 德州学院物理系, 山东德州 253023)

**摘要:**利用 800 nm 钛蓝宝石飞秒激光器制备了长周期光纤光栅, 并实验验证了长周期光纤光栅的高温特性。基于摄像头和电动位移平台设计了激光精确对准光纤纤芯的方案; 以计算机控制 1.3 mW 飞秒激光, 使用逐点曝光法在未经载氢处理的光纤上刻写了长周期光纤光栅, 实验显示该光栅在 1 200~1 700 nm 波段的主谐振峰值可达 -17 dB。利用高温箱对长周期光纤光栅进行高温传感特性实验, 在 300~800 °C 得到的主谐振峰温度响应灵敏度为 0.056 nm/°C, 线性度为 0.992。实验结果表明, 提出的以 800 nm 钛蓝宝石飞秒激光器制备长周期光纤光栅的方法稳定可靠, 写制的光栅在高温环境下变化均匀, 不易退化, 响应特性良好, 适用于高温检测。

**关键词:**长周期光纤光栅; 飞秒激光; 光栅制备; 高温传感

**中图分类号:** TN305.7; TN253 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122004.0685

## Inscription of long period fiber gratings using 800 nm femtosecond laser

MIAO Fei<sup>1</sup>, ZHANG Ling<sup>1</sup>, FENG De-jun<sup>2</sup>, SUI Qing-mei<sup>1\*</sup>,  
CHEN Xiao<sup>1</sup>, JIA Lei<sup>1</sup>, LIU Han-ping<sup>3</sup>, LIU Hui-lan<sup>3</sup>

(1. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;  
2. School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China;  
3. Physics Department, Dezhou Collage, Dezhou 253023, China)

\* Corresponding author, E-mail: qmsui@sdu.edu.cn

**Abstract:** Long Period Fiber Gratings (LPFGs) were inscribed by using a 800 nm femtosecond laser and their high-temperature properties were verified in this paper. Firstly, an inscription system for the laser into fiber cores was designed using a camera and an electric moving platform. With controlling a pulse laser of 1.3 mW, a LPFG was inscribed in a non-hydrogen-loaded bare fiber using point by point technique, and the resonant peak of the LPFG is about -17 dB in the 1 200~1 700 nm band. Then, high temperature sensing experiments were performed on the LPFG by a high temperature box, obtained results show that the linearity of the resonance peak changes is about 0.992 and temperature sensitivity is 0.056 nm/°C at 300-800 °C. It demonstrates that the inscription technology for LPFGs by using the 800 nm femtosecond laser is feasible and obtained LPFGs have good response

收稿日期: 2011-10-19; 修订日期: 2011-12-12.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61074163); 山东省高校科研发展计划资助项目 (No. J10LA54)

characteristics and stability, and are suitable for the high-temperature measurement.

**Key words:** long period fiber grating; femtosecond laser; grating inscription; high-temperature sensing

## 1 引言

长周期光纤光栅是一种新型透射阻带式光纤传感灵敏元件,在浓度和折射率测量<sup>[1-2]</sup>、多参量同时解调<sup>[3-5]</sup>等方面具有独特优势,近年来已逐渐成为科研和相关应用领域的研究热点。目前,写制光栅使用的激光光源主要有紫外准分子激光器、高频 CO<sub>2</sub> 激光器以及飞秒脉冲激光器等几种。紫外准分子激光器、高频 CO<sub>2</sub> 激光器是刻写光栅最常用的激光器,但是此类激光器在写制光栅前需要对被刻光纤进行载氢处理,而且写制出的光纤光栅高温特性差,漂移及退化现象严重,不经过特殊工艺处理无法在高温下长期稳定运行<sup>[6]</sup>,不能满足高温检测的需求。而飞秒激光器的高强度超短脉冲经过聚焦后的功率密度可达  $10^{12} \sim 10^{15} \text{ W/cm}^2$ ,其写制的光栅无需载氢处理,高温特性稳定,因此飞秒激光器是一种较好的写制光源。不过,由于飞秒激光器技术发展较晚,激光器成本相对较高一直是制约飞秒激光写制发展的因素。近几年来,随着飞秒激光器技术的逐渐成熟,国内外对其应用的研究也逐渐增多。目前,飞秒激光器在精密微加工<sup>[7]</sup>、光波导结构<sup>[8]</sup>、整合制作光学元件<sup>[9]</sup>、太赫兹辐射、超高速通信<sup>[10]</sup>等方向的应用已经获得初步成就,并且国外已有利用 200~500 nm 的飞秒脉冲激光器在多种光纤上制作光栅的相关报道<sup>[11-15]</sup>。由于利用波长 800 nm 的飞秒激光脉冲刻写光纤光栅还需要考虑多光子吸收问题,因此用它制备光栅的研究仍然需要不断探索<sup>[16]</sup>。

本文利用 800 nm 飞秒激光脉冲设计构造逐点曝光法制备了长周期光纤光栅制作系统,并对写制得到的长周期光纤光栅的高温特性进行实验分析,结果显示该光栅在 300~800 °C 内温度灵敏度可达 0.056 nm/°C,线性度大于 0.992,具有较好的高温应用前景。

## 2 飞秒激光写制光栅原理

由于飞秒激光脉冲的光子密度 ( $10^{12} \sim 10^{15}$

$\text{W/cm}^2$ ) 远高于其它激光光源,并且超过了氢原子的库仑电场强度。当飞秒激光照射到介质材料时,非线性吸收需要的时间小于能量传递给晶格和晶格加热的时间,这使得激光可以将能量传输至介质材料的特定区域。当聚焦的能量足够高时,甚至可以使材料原子发生电子脱离,使价带电子跃迁至导带,进而将激光能量沉积到介质材料中,使介质材料的物理性质发生变化,比如折射率改变或荧光等现象。

普通光纤带隙能与激光光子能量关系如图 1 所示。使用高能脉冲激光器将高激发能量传递到光纤的方法有几种:选择相对强度较低的准分子激光器,如波长为 248 nm 激光器,利用单光子吸收作用完成价带到导带的能量跃迁,造成材料的折射率改变;当聚焦后的光子密度逐渐提高至  $10^{12} \text{ W/cm}^2$  时,介质材料中发生双光子作用的几率增加,产生另一种激发通道是将高激发能量传递到光纤的第一种方法;又如用高强度 264 nm 飞秒激光照射介质材料,利用双光子作用使光纤折射率产生变化,是高激发能传递至光纤的第二种方法;而当光子继续增强后,发生多光子吸收的几率逐渐增加;在高密度激光脉冲照射下,介质材料同时吸收多个光子的几率极大地增加,是高激发能传递至光纤的第三种方法。

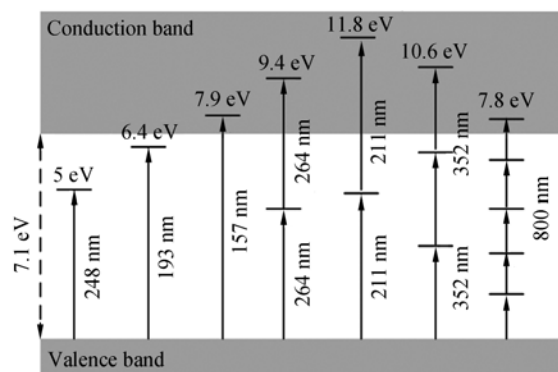


图 1 普通光纤中激光路径图

Fig. 1 Scheme of photoexcitation pathways energy levels in normal fiber

在高强度 800 nm 激光照射下,激光通过中间态,使介质材料电子通过五光子吸收作用激发 7.8 eV 的能量。这个能量超过了光纤的带隙能,

使得价带电子由导带跃迁至价带。当发生能量变化的材料分子的密度超过等离子体密度时,材料吸收激光能量引起缺陷或者局部的压缩产生致密变化,导致介质材料反射率发生改变。在脉冲激光照射下,光纤折射率的轮廓在聚焦中心区域呈现负增长,在聚焦中心外侧则会由于结构致密化产生折射率的增加<sup>[17-19]</sup>,这即可实现区域内光纤折射率调制。

### 3 实验结构及光栅制备过程

#### 3.1 系统结构

系统组成如图 2 所示。实验使用美国 Coherent 公司生产的飞秒激光器。射出的脉冲激光经过衰减控制后,通过显微物镜照射在由位移平台固定好的裸光纤上,并由水平和垂直两个方向的 CCD 监视脉冲激光照射在光纤的精确位置并通过监视器进行显示。通过计算机控制位移平台,利用 Shutter 实现激光的遮挡,使用逐点曝光法进行长周期光纤光栅的制作。实验使用 NKT photonics 公司的超连续谱光源和横河公司的光谱分析仪,对光纤光栅的写作过程进行观察。构建的系统实物图如图 3 所示。

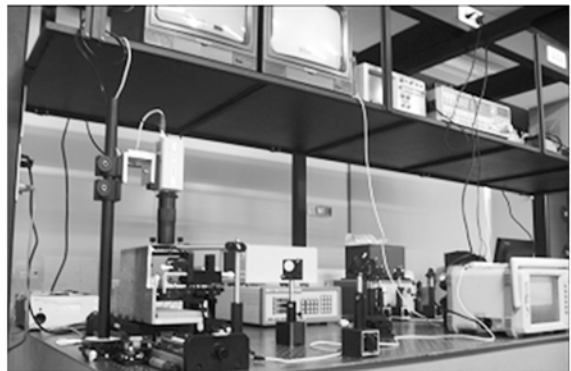


图 3 光纤刻写部分实物图

Fig. 3 Photo of laser inscription



图 4 飞秒脉冲激光器全景图

Fig. 4 Femtosecond pulse laser system

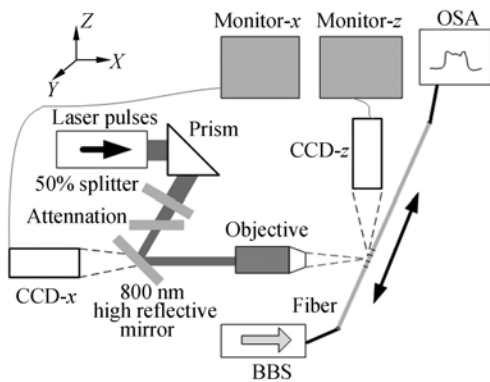


图 2 飞秒光刻系统结构

Fig. 2 Structure of femtosecond inscription system

实验使用的 Mira900 飞秒激光器及相关附属设备如图 4 所示。其中 Mira900-F 用来产生波长 800 nm,脉冲宽度 130 fs,频率 76 MHz 的激光脉冲信号,而 Legend Elite 利用 Mira900-F 产生振荡信号调制频率为 1 kHz 的另一脉冲激光,最终输出频率为 1 kHz,平均功率约为 1 000 mW 的激光信号。

实验使用的超宽带光源是丹麦 NKT photonics 公司生产的 SuperK Compact 超连续谱光源,可以产生 500~2 400 nm 的超连续光谱,其 500~1 750 nm 的光谱曲线如图 5 所示。光谱分析仪是日本横河公司的 AQ6331 光谱分析仪,最小解析精度为 0.05 nm,工作波长为 1 200~1 700 nm。

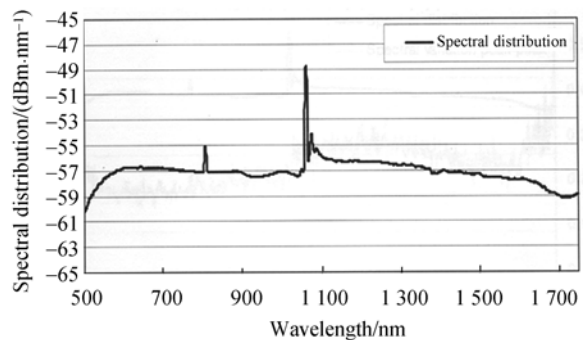


图 5 SuperK compact 超连续光源光谱图

Fig. 5 Spectrum of SuperK compact supercontinuum laser sources

实验使用卓立汉光公司生产的 SC300-1B 位移平台控制箱,对电机进行细分后,可以控制步进电机的最小移动速度为  $15.6 \mu\text{m/s}$ 。光纤夹具自行设计,裸光纤固定在夹具上后可由两对一维夹具控制实现 2 个自由度的调整。

### 3.2 写制过程

飞秒激光器射出的脉冲激光能量的平均功率约为  $1\ 000 \text{ mW}$ ,由于能量过高,所以在激光输出端使用一片 50% 的分光片衰减能量后再使用衰减片,将能量衰减至  $1.3 \text{ mW}$  左右。激光脉冲经过一片  $800 \text{ nm}$  波长的高反镜后再经过一个 40 倍,数值孔径 NA 为 0.6 的物镜聚焦至夹在移动平台上裸光纤的纤芯位置。

激光脉冲照射在裸光纤上后有一部分激光会发生色散。系统结构如图 2 所示,色散后一部分光会沿入射光路反方向通过物镜、 $800 \text{ nm}$  高反镜,被 CCD- $x$  捕捉后在 Monitor- $x$  上成像,用以观察光纤在垂直方向上的位置变化。在物镜焦点处、裸光纤正上方另有一个带有显微透镜的 CCD- $z$ ,由它连接的 Monitor- $z$  可以直接观察另外一个方向上光纤位置及激光照射在光纤上时光斑的变化。当脉冲激光准确照射在光纤纤芯位置上时,在无背景光条件下两个监视器监测到的图像如图 6 所示,图中左侧部分是 CCD- $z$  上监测到的图像,此时亮斑以纤芯为轴表现出轴对称状态,在监视器的垂直方向上激光的衍射条纹基本上完全相同。右侧圆形是 CCD- $x$  上监测到的图像,此时在该圆斑中心位置处另有两个相互重合的小亮斑。当光纤在垂直方向上移动,可以观察到圆斑中心的两个亮斑会向两个方向迅速分开。

实验中使用未经载氢处理的 SMF-28 单模光纤。将光纤去除涂覆层后夹至光纤夹具上,调整衰减片使入射至物镜的脉冲激光能量为  $1.3 \text{ mW}$ 。

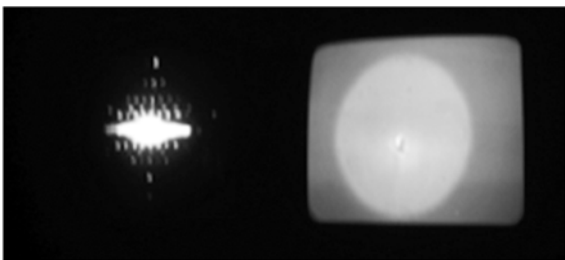


图 6 飞秒激光照射在纤芯位置时两监测器的图像  
Fig. 6 Images respectively on Monitor -  $z$  and -  $x$  with femtosecond laser irradiation on core position

调整位移平台的移动速度和 Shutter 开关时间,即可实现不同波长、不同谐振峰深度的光纤光栅。

### 3.3 实验结果

设置光纤移动速度为  $50 \mu\text{m/s}$ ,曝光时间为  $10 \text{ s}$ ,遮挡时间为  $10 \text{ s}$ 。刻写 40 周期时,在  $1\ 200 \sim 1\ 700 \text{ nm}$  波段内,LPPFG 透射光谱如图 7 所示。在  $1\ 309 \text{ nm}$  处得到主谐振峰峰值深度为  $-17 \text{ dB}$ 。

借助电子显微镜,可以观察光纤纤芯位置在激光曝光后的微结构变化。图 8 为 LPPFG 的显微照片,由图可见,在光纤纤芯位置曝光部分刻痕明显。

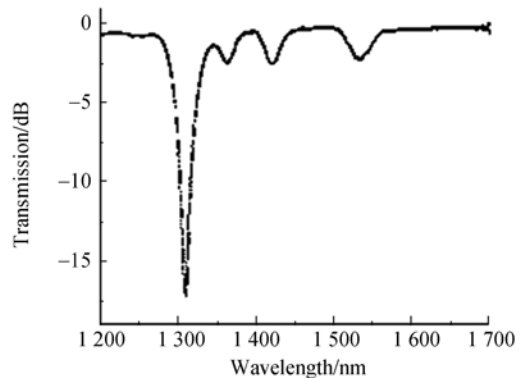


图 7 周期为  $500 \mu\text{m}$  时的 LPPFG 透射谱图

Fig. 7 Transmission spectrum of LPPFG with  $\Lambda$  of  $500 \mu\text{m}$

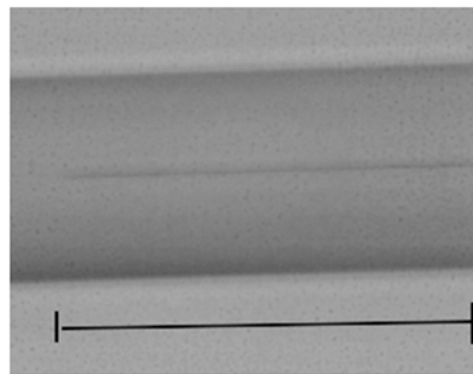


图 8 飞秒激光刻写 LPPFG 微观图像

Fig. 8 Microscopic image of LPPFG inscribed by femtosecond laser

在实验中改变光纤曝光时间、光纤平移速度或写制周期的个数,可以得到不同谐振峰深度和谐振峰波长的长周期光纤光栅。当脉冲激光能量为  $1.3 \text{ mW}$ ,光纤周期为  $375 \mu\text{m}$ ,移动速度为  $25 \mu\text{m/s}$ ,激光遮挡时间为  $15 \text{ s}$  时,刻写 100 周期的

光纤透射谱如图9所示。深度最高的两个谐振峰峰值深度分别为 $-17$  dB和 $-14$  dB。

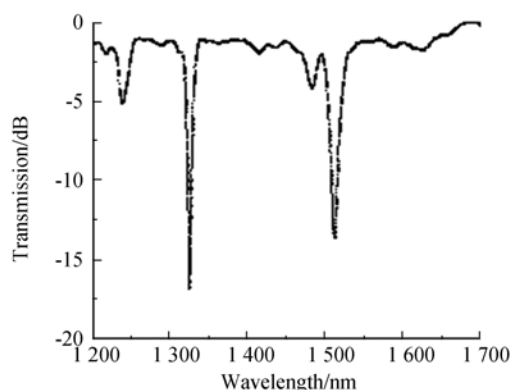


图9 周期为 $375 \mu\text{m}$ 时的LPFG透射谱图

Fig. 9 Transmission spectrum of LPFG with  $\Lambda$  of  $375 \mu\text{m}$

#### 4 高温检测实验

使用NKT photonics公司的SuperK Compact超连续谱光源和横河公司的AQ6331光谱分析仪,测量长周期光纤光栅谐振峰峰值波长的温度响应曲线,对飞秒激光刻写的长周期光栅进行温度传感特性实验。将长周期光纤光栅呈自由状态水平放置于高低温干燥箱中,设定初始温度为 $30^\circ\text{C}$ ,在 $250^\circ\text{C}$ 内每隔 $10^\circ\text{C}$ 测量并记录一次峰值波长变化。采用分辨率为 $0.1^\circ\text{C}$ ,精度为 $1^\circ\text{C}$ 的电子温度计作为温度校准设备,测得的温度响应曲线如图10所示。长周期光纤光栅主谐振峰峰值波长随着温度的上升向长波方向移动,灵敏度为 $0.056 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ,曲线的线性度为 $0.996$ 。然

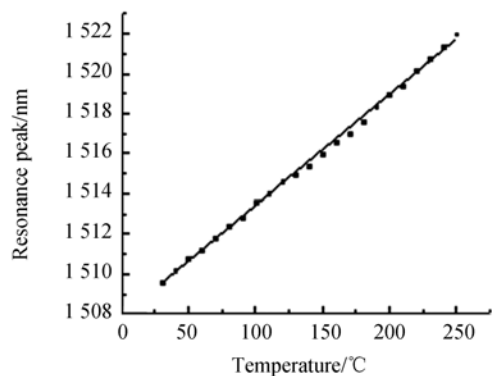


图10 长周期光纤光栅在 $30\sim 250^\circ\text{C}$ 的温度特性

Fig. 10 Temperature characteristics of LPFG from  $30^\circ\text{C}$  to  $250^\circ\text{C}$

后,利用SXL-1002高温箱式电炉进行高温特性实验,采用分辨率为 $0.1^\circ\text{C}$ ,精度为 $2^\circ\text{C}$ 的电子温度计作为温度校准设备。设定初始温度为 $300^\circ\text{C}$ ,在 $300\sim 800^\circ\text{C}$ 内每隔 $50^\circ\text{C}$ 测量并记录一次数据,测得长周期光纤光栅主谐振峰峰值波长的高温响应曲线如图11所示。主谐振峰峰值波长随着温度的上升向长波方向移动,温度灵敏度为 $0.056 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ,曲线线性度为 $0.992$ 。由图10和图11可见,在两段温度范围内,LPFG谐振峰峰值波长的温度变化灵敏度约为 $0.056 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ,线性拟合度高于 $0.992$ 。

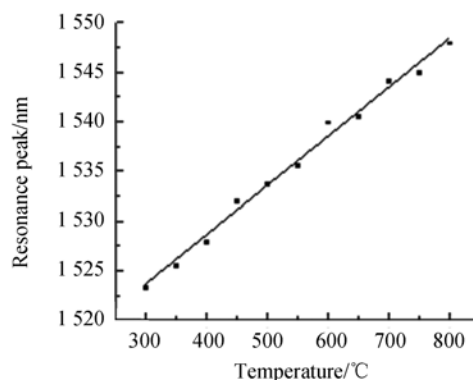


图11 长周期光纤光栅在 $300\sim 800^\circ\text{C}$ 的温度特性

Fig. 11 Temperature characteristics of LPFG from  $300^\circ\text{C}$  to  $800^\circ\text{C}$

#### 5 结论

根据当前长周期光纤光栅高温解调需求状况以及飞秒激光器的应用现状,研究了 $800 \text{ nm}$ 飞秒激光刻写光纤光栅的可行性,设计使用摄像头与监视器实现激光精确对准光纤纤芯的光栅制备系统,并利用 $800 \text{ nm}$ 飞秒激光使用逐点曝光法制备了长周期光纤光栅,刻得LPFG在 $1200\sim 1700 \text{ nm}$ 波段内主谐振峰峰值约为 $-17 \text{ dB}$ ,并对该光栅进行温度传感特性分析实验。实验测得在 $300\sim 800^\circ\text{C}$ ,光栅温度响应灵敏度为 $0.056 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ,线性拟合度为 $0.992$ 。下一步的工作将继续研究飞秒激光制备光栅的制作规律,探索写制特定LPFG的准确方法。在传感特性方面,由于测量得到的主谐振峰半高宽(Full Width Half

Maximum, FWHM) 为 13 nm, 各谐振峰变化较规整, 并且高温环境下变化均匀、不易退化, 是高温

检测的一种新型元件。此外, 其在折射率及浓度测量方面的传感特性也有待探索。

#### 参考文献:

- [1] 顾铮, 张江涛. 基于双峰谐振效应的镀金属长周期光纤光栅液体浓度传感器[J]. 光学学报, 2011, 31(3): 0305003-1-0305003-7.  
GU ZH, ZHANG J T. Metal-coated long-period fiber grating liquid sensor based on dual-peak resonance [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(3): 0305003-1-0305003-7. (in Chinese)
- [2] LI Q SH, ZHANG X L, YU Y S, *et al.*. Enhanced sucrose sensing sensitivity of long period fiber grating by self-assembled polyelectrolyte multilayers [J]. *Reactive and Functional Polymers*, 2011, 71(3): 335-339.
- [3] 胡兴柳, 梁大开, 陆观, 等. 基于单长周期光纤光栅光谱特性的温度和应变同时区分测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(3): 851-854.  
HU X L, LIANG D K, LU G, *et al.*. Simultaneous discriminating measurement of temperature and strain based on a long period grating's spectrum [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(3): 851-854. (in Chinese)
- [4] 张志荣, 张冠茂, 张晓萍. 长周期光纤光栅应变和温度传感灵敏度研究[J]. 光子学报, 2009, 38(1): 103-106.  
ZHANG ZH R, ZHANG G M, ZHANG X P. Strain and temperature sensitivities of long period fiber grating [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, 38(1): 103-106. (in Chinese)
- [5] JIANG M SH, FENG D J, SUI Q M. Characteristic research on mechanically induced long-period fiber gratings [J]. *Chinese Optics Letters*, 2009, 7(2): 112-114.
- [6] ZHU Y N, PING SH, BAY H W, *et al.*. Strain-insensitive and high-temperature long-period gratings inscribed in photonic crystal fiber [J]. *Optics Letters*, 2005, 30(4): 367-369.
- [7] 龚小竞, 褚家如, 王翔, 等. 飞秒激光多次聚焦在并行加工中的应用 [J]. 光学 精密工程, 2008, 16(1): 48-54.  
GONG X J, CHU J R, WANG X, *et al.*. Application of femtosecond laser multi-focusing to parallel fabrication [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1): 48-54. (in Chinese)
- [8] 龚小竞, 褚家如, 杨建军, 等. 改进的飞秒激光加工微型光波导方法 [J]. 光学 精密工程, 2007, 15(1): 27-32.  
GONG X J, CHU J R, YANG J J, *et al.*. An improved way for fabricating micro-waveguide by femtosecond laser [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1): 27-32. (in Chinese).
- [9] FORSTER E. Bent crystal X-ray optics [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(12): 1823-1828.
- [10] 张帆, 侯冬, 郭海鹏, 等. 光纤时间频率传输的时延抖动主动补偿 [J]. 光学学报, 2010, 30(3): 671-675.  
ZHANG F, HOU D, GUO H P, *et al.*. Timing delay jitter compensation of a fiber link with active delay compensation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(3): 671-675. (in Chinese)
- [11] LIAO CH R, WANG Y, WANG D N, *et al.*. Femtosecond laser inscribed long-period gratings in all-solid photonic bandgap fibers [J]. *Photonics Technology Letters*, 2010, 22(6): 425-427.
- [12] TU H, SHIN S, JOHN R, *et al.*. Long-period fiber gratings spontaneously written by a mechanism markedly different from Hill grating formation [J]. *Applied Physics Letters*, 2010, 97(12): 121104-1-121104-3.
- [13] NIKOGOSYAN D N. Long-period gratings in a standard telecom fibre fabricated by high-intensity femtosecond UV and near-UV laser pulses [J]. *Measurement Science & Technology*, 2006, 17(5): 960-967.
- [14] OREGANA B J, NIKOGOSYAN D N. Femtosecond UV long-period fibre grating fabrication with amplitude mask technique [J]. *Optics Communications*. OPTICS-16450, 2011, 8: 35-39.
- [15] MA J, JIN W, JIN L. Temperature characteristics of microfiber long-period-gratings fabricated by a femtosecond infrared laser [J]. *SPIE*, 2011, 7753: 77539J-1-4.
- [16] LIU SH J, JIN W, JIN L, *et al.*. Fabrication of long-period fiber gratings by using of a femtosec-

ond laser source[C]. *Opto-Electronics and Communications Conference*, 2009;1-2.

- [17] EATON S, ZHANG H B, HERMAN P, *et al.*. Heat accumulation effects in femtosecond laser-written waveguides with variable repetition rate[J]. *Optics Express*, 2005, 13(12):4708-4716.
- [18] MARTINEZ A, DUBOV M, KHRUSHCHEV I, *et al.*. Photoinduced modifications in fiber gratings inscribed directly by infrared femtosecond irradiation[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 2006, 18(11):2266-2268.

- [19] 张玲, 苗飞, 冯德军, 等. 飞秒激光对光纤布拉格光栅的曝光实验研究[J]. *中国激光*, 2011, 38(5):0505006-1-0505006-6.
- ZHANG L, MIAO F, FENG D J, *et al.*. Exposure experiment study of fiber bragg grating by femtosecond laser[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2011, 38(5):0505006-1-0505006-6. (in Chinese)

#### 作者简介:



苗飞(1979—),男,山东淄博人,博士研究生,2003年于东南大学获得学士学位,主要从事光电子技术,光纤传感技术等方面的研究。E-mail: philotack@163.com



陈霄(1985—),男,江苏连云港人,博士研究生,2007年于山东大学获得学士学位,主要从事光电子技术,光纤传感技术等方面的研究。E-mail: cx\_012003@yahoo.com.cn



张玲(1981—),女,山东齐河人,博士研究生,2002年于山东理工大学获得学士学位,主要从事光纤传感技术及飞秒光刻等方面的研究。E-mail: campus@mail.sdu.edu.cn



刘汉平(1971—),男,山东高密人,副教授,2008年于山东大学获得光学工程博士学位,现为德州学院物理系副主任,主要从事光生物物理研究。E-mail: liuhanping206@163.com



冯德军(1973—),男,山东济南人,副教授,主要研究方向为光学全息及信息处理,光电子与光纤通信和光纤传感技术等。E-mail: khuutfeng@126.com



刘辉兰(1971—),女,山东平原人,硕士,讲师,1996年毕业于山东师范大学,2007年于山东师范大学获得硕士学位,主要从事光生物物理方面的研究。E-mail: lhl9871@126.com



隋青美(1963—),女,山东东营人,博士,教授,1983年、1986年于山东工业大学分别获得学士、硕士学位,2001年于天津大学获得博士学位,主要从事检测理论与应用,光纤传感技术等方面的研究。E-mail: qmsui@sdu.edu.cn

#### 导师简介:



贾磊(1959—),男,山东济南人,博士,教授,博士生导师,1993年于浙江大学获得博士学位,主要从事流程工业计算机信息集成与自动控制系统、智能交通、光纤传感等方面的研究。E-mail: jialei@sdu.edu.cn