

文章编号: 1001-3806(2015)04-0484-04

带状光纤多波长阵列光栅刻写工艺研究

刘燕燕^{1,2}, 姜凤贤¹, 侯佳鹏¹, 周宁¹, 武海生¹

(1. 燕山大学信息科学与工程学院光电子工程系, 秦皇岛 066004; 2. 河北省特种光纤与光纤传感重点实验室, 秦皇岛 066004)

摘要: 为了实现一次性在八芯带纤上不同波长阵列光纤光栅刻写, 采用专门设计的带纤夹具夹持光纤, 使用电控位移平台对带状光纤整体施加拉力, 利用相位掩膜工艺对光纤逐根曝光, 采用扫描写入的方法进行汉明切趾, 仅用单一相位模板就实现了八芯带纤上不同波长阵列布喇格光纤光栅刻写。刻栅过程由电脑编程控制, 中心波长、波长间隔以及切趾方式可以灵活调整。结果表明, 获得的光栅其 3dB 带宽为 0.2nm、波长间隔为 0.5nm、波长偏差小于 $\pm 50\text{pm}$ 、反射率达到 80% ~ 85%。此种带状光纤多波长阵列光栅刻写工艺是完全可行的。

关键词: 光栅; 带状光纤; 刻写; 工艺

中图分类号: TN253

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.04.012

Research of inscription technique for multi-wavelength array fiber gratings in ribbon fiber

LIU Yanyan^{1,2}, JIANG Fengxian¹, HOU Jiapeng¹, ZHOU Ning¹, WU Haisheng¹

(1. Department of Optoelectronics Engineering, School of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. The Key Laboratory for Special Fiber and Fiber Sensor of Hebei Province, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In order to inscribe multi-wavelength array fiber gratings in ribbon fiber including 8 fibers at the same time, ribbon fiber was fixed by a specifically designed fixture and tension was added to the whole ribbon fiber by a programmed control displacement platform. 8 fibers in the ribbon fiber were exposed with phase mask technique one by one and Hamming apodization was realized simultaneously by using scan inscription method. Only with one phase mask, multi-wavelength array fiber gratings in the ribbon fiber including 8 fibers was achieved. The inscription process was controlled by the computer program. The central wavelength, the interval of wavelength and the style of apodization were adjusted freely. The test results of array Bragg fiber grating show that 3dB bandwidth is 0.2nm, wavelength interval is about 0.5nm, deviation is within $\pm 50\text{pm}$, and reflectivity can reach 80% ~ 85%. Inscription technique for ribbon multi-wavelength array fiber gratings is entirely feasible.

Key words: gratings; ribbon fiber; inscription; technique

引言

带状光纤是将多根光纤紧密排列成平行带状, 单层或多层分布, 每层为四芯、六芯、八芯等, 相邻纤芯间距 $250\mu\text{m}$ 。此种结构光纤具有光纤密度高、体积小重量轻、光纤易识别、分路方便等优点^[1], 可大大提高光缆中光纤的组装密度和光缆接续速率, 在大容量的光

纤通信系统中得到了广泛的应用^[2-4]。

光纤光栅具有体积小、波长选择性好、易于与光纤系统连接等优点, 在现代光纤通信系统中广泛用作滤波器、波分复用器、均衡器、色散补偿器等^[4], 光纤光栅以及基于光纤光栅的器件已经成为全光网络中理想的关键器件。目前通信系统中常用的方式是将单纤上的光栅采用熔接或者活动连接的方式接入系统, 其缺点是接续费时、占用空间且不可避免地引入较大插入损耗。

本文中研究的主要工作是寻找一种工艺^[5-6], 将带纤和光栅的优势结合在一起, 直接在带纤上实现阵列光栅的刻写, 并且每根光栅的波长、反射率等参量可根据需要灵活调整。此种基于带纤的阵列光栅可以使光

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61275093); 秦皇岛市科技支撑计划资助项目(201401A008)

作者简介: 刘燕燕(1972-), 女, 博士, 现主要从事光子晶体光纤光栅的研究。

E-mail: liuyanyan@ysu.edu.cn

收稿日期: 2014-07-21; 收到修改稿日期: 2014-08-14

纤通信系统结构更为简单,连接更加方便,光栅密度更高,插入损耗更低,将大大扩展光纤光栅在光纤通信领域的应用。

作者研究设计了一种带纤上阵列光纤光栅刻写系统,利用一块相位掩模板,实现了八芯带纤上阵列光栅的刻写,刻栅过程电脑编程控制,自动化程度高,并且可灵活调整中心波长和波长间隔以及切趾方式。

1 系统结构

研究采用的系统结构如图 1 所示。待加工带纤事先在 12MPa 下加热载氢 23h,加热温度为 75℃,之后在带纤中合适位置剥除 2cm 长的窗口,去除涂覆层,小心不要使窗口区之外的带纤散开,然后利用专门设计的带纤夹具将带纤两端分别固定在两个电控 3 维位移平台上。准分子激光器发出的光束经反射镜反射、柱透镜聚焦及光阑约束后经过相位模板,对去掉涂覆层的带纤窗口区域的第 1 根光纤进行曝光,待第 1 根曝光结束后利用电控 3 维位移台将带纤向下移动 250μm,同时 3 维位移台左右移动设定的距离来改变施加在带纤上的拉力实现光栅波长的调节,进行第 2 根光栅的刻写。这样逐根在带纤上刻写符合要求的光栅,直至完成带纤上所有光栅的刻写。刻写过程中移动固定在 1 维位移平台上的反射镜和聚焦透镜进行扫描来实现良好的切趾,光纤两端连接放大自发辐射 (amplified spontaneous emission, ASE) 光源和光谱仪检测光纤透射光谱,对光栅写入过程进行实时监测。

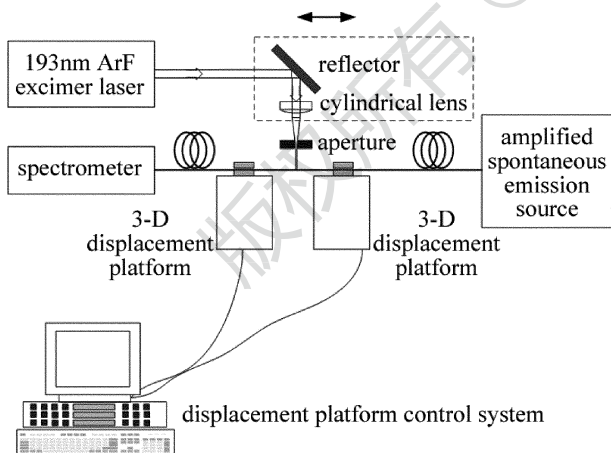


Fig. 1 Schematic diagram of system structure

为了消除激光光束对带纤中其它光纤的影响,光阑宽度设定为 250μm,每次刻写完 1 根后带纤下移 1 根光纤的位置。相对于实验中使用的 193nm 波长紫外光源,250μm 光阑不会产生明显衍射;另外 250μm 的宽度是相邻两个光纤纤芯的距离,这样即使位移平台移动时出现微小偏差,例如偏差几个微米或者十几个微米,也不会漏掉要刻写的纤芯,同样不会重复已曝

光的纤芯。

实验中所用光谱仪为日本 Ando 公司的 AQ-6370C 型光谱仪,波长分辨率 0.02nm;准分子激光器为美国 COHERENT 公司生产的 COMPEX Pro-50 准分子激光器,波长 193nm;3 维精密电控位移平台为北京微纳光科生产的 WN301ZA,脉冲当量为 0.155μm;1 维电控位移平台为北京卓立汉光生产的 SC300-1B 型位移平台,脉冲当量为 0.155μm。

2 工作原理

2.1 专用带纤夹具设计

为了采用位移平台来拉伸带纤,首先需要将带纤牢固地固定在位移平台上,而目前市场上没有专门的带纤夹具,为此设计了一种可夹持不同宽度带纤且角度可调的带纤夹具。图 2 为带纤夹具实体图,夹具采用不锈钢材料制作,L 型底板的两面均带有螺纹孔,可以牢固地安放在 3 维位移平台上。其基本原理是通过带有自锁功能的偏心轮的旋转挤压顶杆,顶杆前移,推动前端不锈钢小块夹紧带纤。夹持装置宽度及角度的调整可通过调整 L 型板上的不锈钢小块的相应位置实现。

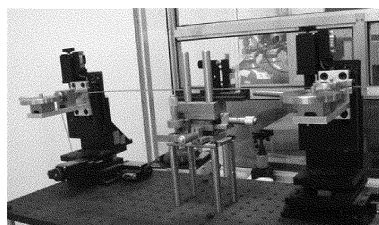


Fig. 2 Photo of array fiber grating inscription device

由于光栅周期极小(纳米级),因而对曝光过程中曝光区域的移动非常敏感,轻微的带纤滑动都会导致刻栅失败。在研究初期,采用平行夹持面,时常会出现带纤的滑动,经过多次实验,将平行夹持面改为宏弯结构,以增加摩擦阻力。宏弯轮廓曲线表达式为:

$$y = \begin{cases} 0, & (0\text{mm} \leq x \leq 5\text{mm}) \\ \sin[0.2\pi(x - 5)], & (x > 5\text{mm}) \end{cases} \quad (1)$$

修改后的夹具夹持效果得到很大改善,实验结果表明,此种结构既能牢固地夹持带纤,又能够保证带纤涂覆层的完整。

2.2 精确的拉力施加装置及施加方法

本研究中采用精密电控位移平台编程来实现光纤上拉力的改变。实验中首先刻写中心波长最大的光栅,之后在原有拉力的基础上,逐个增大施加在带纤上的拉力,从而改变光纤上的拉伸量,直至带纤上所有光栅的刻写完成。

带纤上相邻光栅中心波长差 0.5nm,最长波长与

最小波长差 3.5nm, 此时尚处于光纤的弹性形变范围内, 胡克定律适用, 光栅波长漂移与拉伸量成线性关系。波长漂移 0.5nm 需要的脉冲数 N 可按如下公式求得:

$$N = \frac{0.5L_1}{P \cdot 2\Lambda \cdot n_{\text{eff}}} \quad (2)$$

式中, L_1 为带纤长度, P 为位移平台的脉冲当量, Λ 为模板周期, n_{eff} 为纤芯有效折射率, 这里取 1.447。

在将带纤安装到 3 维位移台之前, 为保证施加在带纤上的初始力一致, 并消除带纤中不同光纤上的残余应力^[7], 需要在带纤两端施加一定拉力, 实验中选择悬挂 200g 砝码作为初始应力, 保证带纤中各光纤处于相同的初始应力状态。

2.3 激光与光阑的对准

为了保证单根光纤的刻写成功, 必须使刻写过程中紫外光斑恰好只覆盖单根光纤。实验中所使用的带纤是由 8 根带涂覆层的标准单模光纤排列成的光纤带, 整体宽度为 2mm, 单根光纤含涂覆层宽度为 250 μm , 即光斑的宽度应调整为 250 μm 以内。实验中在相位模板前添加光阑, 调整光阑宽度为 250 μm , 光阑与模板和光纤平行, 正中心与带纤正中心相对。为满足该要求, 实验前在光阑前放置激光笔, 保证激光笔出射激光与准分子激光器的出射激光平行, 将带纤移动到带纤窗口位置(未刮除涂覆层), 调整狭缝位置, 逆着激光笔激光出射方向观察, 若恰好看不到激光笔发出的激光, 则此时对准已经完成。刻写完成第 1 个光纤后, 只需要将带纤整体下移 250 μm 即可对准下一个光纤。

2.4 切趾

尽管周期性折射率微扰带来模式耦合, 进而获得了独特的光谱结构, 但也会带来激烈的旁瓣振荡, 尤其是当反射率比较高时, 此种现象更加明显^[8]。旁瓣振荡带来通信串扰码, 损害通话质量, 必须加以滤除。实验中采用汉明切趾对光纤光栅进行扫描切趾^[9-10], 其切趾包络函数为:

$$\delta(z) = \bar{\delta} \frac{1 + H \cos\left(\frac{2\pi z}{L_2}\right)}{1 + H} \quad (3)$$

式中, $\delta(z)$ 为光纤有效折射率包络函数, $\bar{\delta}$ 为光纤有效折射率调制初值的平均值, H 为汉明函数的控制参量, L_2 为光栅长度, 本研究中取 $H = 0.8$, $L_2 = 13.5\text{mm}$ 。

实验中通过控制柱透镜和反射镜的运动实现不同函数的切趾。由于位移平台限制, 柱透镜和反射镜的运动不能实现连续曲线的移动, 实验时使柱透镜和反射镜以分段曲线运动, 调整各分段的长度和扫描速度,

可实现近似的汉明切趾, 分段越多, 切趾曲线越接近设定函数。根据切趾包络形状在切趾长度(13.5mm)内分成 7 段进行扫描切趾, 各段的长度与速度大小如表 1 所示。

Table 1 Scan parameters of Hamming apodization

apodization segmentation	apodization length/mm	scan speed /($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	scan delay/s
1	0	200	6.5
2	1.5	250	0
3	3	72.475	0
4	1.5	38.4	0
5	1.5	34.4	0
6	1.5	38.4	0
7	3	72.475	0
8	1.5	250	0

激光器的延时为 8s, 位移平台的延时为 1.5s, 扫描程序中加入第 1 段, 保证了同时开启激光器与位移平台时, 激光发射出的同时位移平台开始移动。

3 实验结果

按照前述刻写流程, 充分注意刻栅过程中的影响因素, 成功地在八芯带纤上实现了 3dB 带宽 0.2nm、波长间隔 0.5nm、反射率 80% ~ 85% 的阵列布喇格光纤光栅刻写, 反射谱如图 3 所示, 光栅参量如表 2 所示。

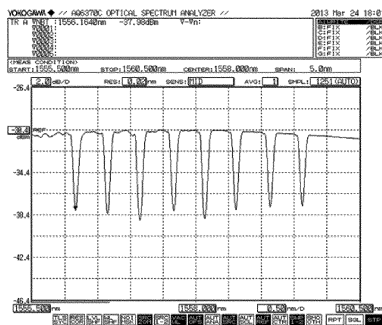


Fig. 3 Reflection spectrum of array fiber grating

Table 2 Wavelength and transmissivity of array grating

E581	wavelength /nm	transmissivity /dB	wavelength interval/nm
black	1559.624	7.0	0
red	1559.136	7.0	-0.488
white	1558.612	7.5	-1.012
gray	1558.136	8.0	-1.488
brown	1557.660	7.5	-1.964
green	1557.144	8.0	-2.480
yellow	1556.652	8.0	-2.972
blue	1556.164	7.5	-3.46

实际应用中, 为了防止光纤光栅断裂, 必须将光纤光栅进行封装保护。本研究中采用矩形不锈钢管对刻

写完成后的带纤进行封装,矩形钢管由底座和顶板组成,长30mm、宽3mm、高2.5mm。将带纤装入方形不锈钢管中,两侧用橡胶头固定,同时在橡胶头处进行粘接处理,最后扣上顶板,室温下静置24h即可。为减小外界应力对光栅的影响,封装过程中应使带纤保持松弛状态。

4 结 论

给出了一种在带纤上实现阵列光栅刻写的方法。将带纤和光栅的优势结合在一起,直接在带纤上实现阵列光栅的刻写,并且每根光栅的波长、反射率等参量可灵活调整。此种基于带纤的阵列光栅可以使光纤通信系统结构更为简单、连接更加方便、光栅密度更高、插入损耗更低,将大大扩展光纤光栅在光纤通信领域的应用。

参 考 文 献

- [1] HOFFMANN M, DICKHUT S, VOGES E. Fiber ribbon alignment structures based on rhombus-shaped channels in silicon[J]. IEEE Xplore, 2000, 12(7):828-830.
- [2] DRACHENBERG D, MESSERLY M, PAX P, *et al.* First multi-watt ribbon fiber oscillator in a high order mode[J]. Optics Express, 2013, 21(15):18089-18096.
- [3] CHOU H H, ZHANG F, WILKINSON T D, *et al.* Implementation of a 6×6 free-space optical fiber ribbon switch for storage area networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(11):1719-1725.
- [4] LUO J, JIANG S, XIONG Y. Demodulation technique of fiber grating vibration sensor based on the edge filter method[J]. Laser Technology, 2013, 37(4):469-472(in Chinese).
- [5] BECKER M, FERNANDES L, ROTHHARDT M, *et al.* Inscription of fiber bragg grating arrays in pure silica suspended core fibers[J]. IEEE Xplore, 2009, 21(19):1453-1455.
- [6] QI Y F, QIAO H P, BI W H, *et al.* Heat transfer characteristics in fabrication of heat method in photonic crystal fiber grating[J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(3):034214(in Chinese).
- [7] ZHOU Y J, LIU G, LI X Q, *et al.* Effect of thermal residual stress on fiber Bragg grating sensors embedded in T-stiffened panels[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(1):54-61(in Chinese).
- [8] WANG X, BIGOURD D, KUDLINSKI A, *et al.* Correlation between multiple modulation instability side lobes in dispersion oscillating fiber[J]. Optics Letters, 2014, 39(7):1881-1884.
- [9] WILLIAMS R J, VOIGTLÄNDER C, MARSHALL G D, *et al.* Point-by-point inscription of apodized fiber Bragg gratings[J]. Optics Letters, 2011, 36(15):2988-2990.
- [10] BAI H J, WANG Y F, WANG J Z, *et al.* Using Hamming apodization technique to improve spectral beam combining efficiency of volume Bragg grating[J]. Journal of Applied Optics, 2013, 34(2):279-283(in Chinese).