

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0128-04

载氢光纤光致折射率变化量与曝光时间关系的测量

陈 鹏¹ 王 荣¹ 蒲 涛¹ 卢 麟¹ 方 涛¹ 郭 虹²

(¹ 中国人民解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210007)
(² 沈阳军区军训器材研究所, 辽宁 沈阳 110035)

摘要 对普通载氢光纤光致折射率变化量与曝光时间的关系进行了实验测量研究。针对不同曝光时间导致的光栅强度不同,分别提出了均匀光栅最大反射率测量模型和反射率零点带宽测量模型,并分析了两个模型由于布拉格反射波长的测量误差对光致折射率变化量计算结果造成的影响。结果表明,244 nm 氩离子倍频激光器输出光功率为 40 mW 时,普通载氢光纤光致折射率变化量随曝光时间总体上呈现指数分布关系 $A_c = 1.632 \times 10^{-6} t^{0.76912}$;在曝光时间较短时,造成的光栅强度较弱,光致折射率变化量有明显的指数增长趋势,之后是一段较好的线性区域,这时两个测量模型的结果得到了很好的印证,随着曝光时间的继续增加,光致折射率变化量达到饱和。

关键词 光纤光学; 光纤布拉格光栅; 光敏性; 载氢

中图分类号 TN247 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200835s2.0128

Measurement Investigation on the Relationship between Photo-Induce Index Increment of Hydrogen Loading Fiber and Its Dose

Chen Peng¹ Wang Rong¹ Pu Tao¹ Lu Lin¹ Fang Tao¹ Guo Hong²

(¹ Institute of Communication Engineering, People's Liberation Army University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China)
(² Shenyang Military Command Researching Institute of Military Training Equipment, Shenyang, Liaoning 110035, China)

Abstract The relationship between UV photo-Induce index changes of single mode hydrogen loading fiber and its dose is studied experimentally. Maximum reflectivity model and reflectivity notch bandwidth model of uniform grating are proposed respectively for different fiber grating strength caused by its dose and the influence on AC result of Bragg reflectivity wavelength deviation are analyzed relatively. Results based on experiment and measurement data indicate that, when 244 nm argon ion laser emits 40 mW UV light, the curve of refractive index changes in single mode hydrogen loading fiber is exponential type ($A_c = 1.632 \times 10^{-6} t^{0.76912}$), exponential growth is obvious in the beginning, a very good linear region is following, and then refractive index increments reach saturated.

Key words fiber optics; fiber Bragg grating; photosensitivity; hydrogen loading

1 引 言

早在 1978 年, Kenneth O. Hill 等^[1]在加拿大通信研究中心(CRC)发现了光纤材料的光敏效应,随后利用光纤光敏效应制作的光纤光栅在近 10 年来得到了快速发展,基于光纤光栅的各种器件(激光

器、波分复用器、色散补偿器、滤波器和传感器)被广泛应用于光通信系统和传感领域中^[2,3]。掺铒和载氢是提高光纤光敏性的两种常用方法,载氢技术最早是由贝尔实验室于 1993 年提出的,它可以使普通光纤的光敏性提高 1~2 个数量级^[4],随后被广泛地

基金项目: 国家自然科学基金(60502003)资助课题。

作者简介: 陈 鹏(1983—),男,硕士研究生,主要从事集成光码分多址(OCDMA)编解码技术方面的研究。

E-mail: bigroc.chen@163.com

导师简介: 王 荣(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事集成光电子学和光网络等方面的研究。

E-mail: wr-njice@163.com

应用于增加各种光纤材料的光敏性,特别是对普通单模光纤的载氢,使之适用于各种光纤光栅器件的制作^[5,6]。目前已有文章对载氢掺锗石英光纤材料光敏性的物理起因和微观机制进行了分析研究,并利用折射率剖面分析仪对其光致折射率随紫外曝光时间的变化规律作了实验研究^[7]。本文主要是从光栅实验制作的角度来对载氢后的普通 G. 652 单模光纤光致折射率变化量随紫外光强、曝光时间的变化规律进行实验研究和分析,针对不同的光栅照射强度,分别提出均匀光栅最大反射率测量模型和最大反射率零点带宽测量模型,对用于具体实验的载氢光纤光致折射率随曝光时间的关系进行有效的测量。研究结果不仅为普通单模光纤载氢处理后的光敏性提供详实的实验资料,而且对后期光纤光栅的制作具有极大的指导作用。

2 载氢光纤紫外光致折射率测量模型

载氢光纤由于氢气的渗入,改变了石英材料的电极化率,从而导致光纤折射率的改变。光纤光栅的折射率调制可以表示为带直流分量 $D_c(z)$ 、受 $A_c(z)$ 调制的正弦载波函数^[8,9],数学表达式为

$$\Delta n(z) = D_c(z) + \left\{ A_c(z) \exp \left\{ j \left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \varphi_g(z) \right] \right\} + c. c. \right\}, \quad (1)$$

式中 Λ 为光栅周期, $\varphi_g(z)$ 为光栅周期啁啾引起的相位调制。 $A_c(z)$ 为常数, $d\varphi_g(z)/dz=0$ 时,为均匀光栅结构。

2.1 均匀光栅最大反射率测量模型(模型一)

通过对实验制作的光纤光栅进行测量的方式来得得到载氢光纤的光致折射率变化量与曝光时间之间的关系,在曝光时间较短时,采用均匀光栅最大反射率测量模型,利用光矢量分析仪(OVA)测得实际制作均匀光栅的透射谱 $t(\lambda)$,从而得到其最大反射率 $r_{\max}^2 (=1-t_{\min}^2)$ 和相应的最大反射波长 λ_{\max} ,利用(2)式,在已知均匀光栅长度的前提下便可以得到相应的交流光致折射率变化量

$$r_{\max}^2 = \tanh^2(\kappa L), \quad (2)$$

式中 L 为均匀光栅长度, $\kappa = \pi A_c / \lambda_D$, A_c 的测量精度主要由 λ_D 决定

$$\frac{dA_c}{d\lambda_D} = \frac{a \tanh(r_{\max})}{\pi L}, \quad (3)$$

布拉格反射波长 λ_D 与最大反射波长间的关系为 $\lambda_{\max} = (1 + D_c/n_{\text{eff}}) \lambda_D$, 光矢量分析仪能精确测得光栅透射谱时, r_{\max} 一般在 0.99 以下,此时 λ_D 与 λ_{\max} 间

的差值不会超过 0.2 nm,实际制作均匀光栅长度为 1 cm,所以由此微分表达式有:此时对应的 A_c 变化量约为 1×10^{-7} ,因而完全可以利用测量得到的 λ_{\max} 代替 λ_D 来较为精确地求解 A_c 。

2.2 均匀光栅反射率零点带宽测量模型(模型二)

在曝光时间较长时,造成的光致折射率变化量较大,光矢量分析仪已经不能精确地测得其最小的透射率,所以模型一已经不再适用,但是此时能非常准确地测得反射谱的两个零点对应的波长,利用均匀光栅反射率零点带宽测量模型,同样利用光矢量分析仪测量均匀光栅的反射谱得到最大反射率邻近的两个零点波长, λ_{\max} 的取值为这两个波长的中间值。利用(4)式便可以得到交流光致折射率变化量

$$\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_{\max}} = \frac{A_c}{n_{\text{eff}}} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_D}{A_c L} \right)^2}, \quad (4)$$

同样考虑 λ_D 对 A_c 的影响有

$$\frac{dA_c}{d\lambda_D} = -\frac{\lambda_D}{A_c L}, \quad (5)$$

实际制作均匀光栅长度为 1 cm 时,如果 λ_D 变化 1 nm,则对应的 A_c 变化 1.5×10^{-9} ,所以利用 λ_{\max} 代替 λ_D 来求解 A_c ,并不会对结果有太大的影响。

在整个测量过程中,随着曝光时间的增加导致均匀光栅强度不断增强,光矢量分析仪测量结果规律为:曝光时间很短时,只能精确地测得最小透射率而不能精确地得到其零点带宽;随着曝光时间增加,透射率和零点带宽均能很精确地得到;曝光时间很长后,光矢量分析仪已不能对透射率进行精确地测量,但是可以精确地测得零点带宽。所以最大反射率模型和零点带宽模型在中间的一段曝光时间是有很好的重叠部分的,而在两个端点上则只能利用其中一个模型。

3 载氢光纤紫外光致折射率的实验测量结果

光纤载氢过程中,实际载入的氢气含量决定了载氢后光纤的光敏特性,其中载氢压力、载氢时间是影响载入氢气含量的两个主要因素^[7],大量的实验研究结果表明:光纤的紫外光敏特性与载氢压力呈线性增长,随载氢时间呈指数增长,后达到饱和。采用普通单模光纤(G. 652)载氢 90 天来增加其光敏性。

均匀光纤光栅的制作采用相位掩模板法,原理如图 1 所示。主控计算机按照均匀光栅的曝光时间和曝光位置生成移动速度和光快门开关动作联动控

制电控位移台和光快门,使得 244 nm 氩离子倍频激光器发出的紫外光束透过掩模板,按照指定位置和时长照射到载氢光纤上,形成相应的折射率分布,

相位掩模板前的透镜主要用于调整照射在模板上的紫外光斑大小。

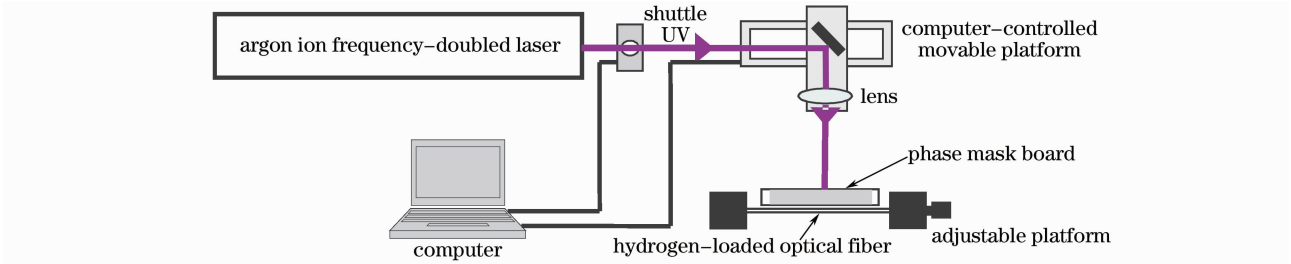


图 1 光纤光栅制作原理图

Fig. 1 Experiment setup for fabricating fiber Bragg grating

利用该实验制作平台,采用连续扫描的方式制作长为 1 cm 的均匀光栅,氩离子倍频激光器的输出光功率为 40 mW,通过改变电控位移台的均匀移动速度来控制光纤的曝光时间,对于制作好的均匀光纤光栅,利用光矢量分析仪测量得到其反射谱和透射谱,分别记录下最小透射率、最大反射波长和两个邻近最大反射波长的零点波长,然后利用模型一、二对其分别进行处理。

利用该实验原理,当 244 nm 氩离子倍频激光器输出光功率为 40 mW 时,根据不同的曝光时间制作了 23 根均匀光栅,并使用光矢量分析仪测得相应的参数。图 2(a)所示为交流折射率改变量随曝光

时间的变化关系,星型和圆型的点分别表示利用模型一和模型二测量得到的结果,实线为对整段时间内折射率变化的指数拟合曲线,从中可以得到结论: 1) 在中间一段曝光时间里,两个模型测量得到的结果吻合得非常好,与预测非常一致;2) 在 0~80 s 间呈现明显的指数增长,在 80~500 s 之间线性较好;3) 从整段来看,光致折射率改变量随曝光时间大致呈指数分布,关系为 $A_c=1.632\times10^{-6}t^{0.76912}$,随着曝光时间的继续增加,光致折射率基本达到饱和状态;4) 实测数据表明,该普通单模光纤经载氢处理后,曝光时间在 600 s 后光致折射率基本达到饱和,相应的光致折射率改变量最大为 4×10^{-4} 。

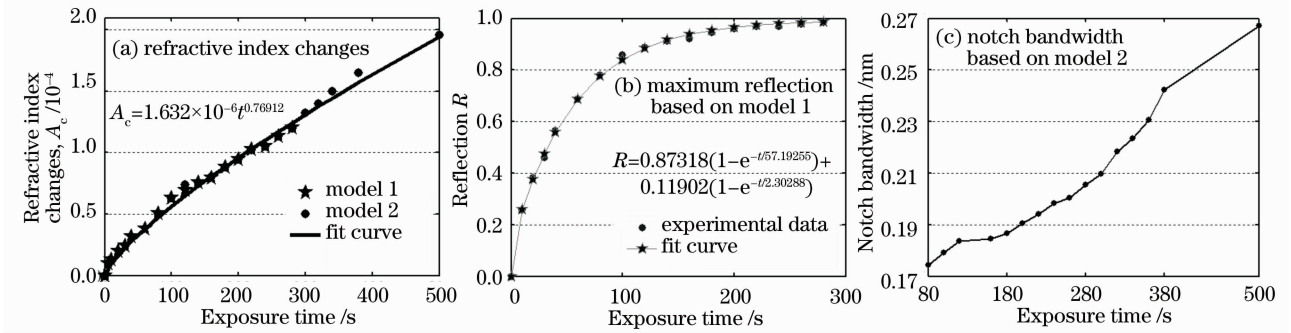


图 2 实测数据随曝光时间的变化趋势

Fig. 2 Experimental data changes with different dose

文献[10]中针对 10% 掺锗量的光纤光敏性提出的光纤光栅反射率与曝光时间的变化模型,同样可以得到相应普通单模载氢光纤的反射率与曝光时间的变化曲线,如图 2(b)所示,其结果为利用模型一求得的最大反射率随曝光时间的变化关系,圆点为根据实测数据算得的结果,星型线为其拟合曲线。图 2(c)所示为利用模型二得到的零点带宽随曝光时间的变化趋势。

4 结 论

利用光栅实验制作的方法测得实际使用的载氢光纤光致折射率变化量随曝光时间增加的变化趋势,实验结果表明:244 nm 氩离子倍频激光器输出光功率为 40 mW 时,光致折射率改变量与曝光时间大致呈指数分布($A_c=1.632\times10^{-6}t^{0.76912}$),到达一定的曝光时间后基本达到饱和,同时也发现曝光时间为 80~500 s 时,光致折射率有一段很好的线性

区域,为后续的光栅制作具有重要的指导意义。

参 考 文 献

1 Hill K O, Fujii Y, Johnson D C *et al.*. Photosensitivity in optical fibers waveguides; application to reflection filter fabrication[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**(10): 647~649

2 Zhang L, Williams J A R, Bennion I *et al.*. Enhanced FBG strain sensing multiplexing capacity using combination of intensity and wavelength dual-coding technique[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(20): 1638~1640

3 Kersey A D, Davis M A, Patrick H J *et al.*. Fiber grating sensors[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8): 1442~1463

4 Lemaire P J, Atkins R M, Mizrahi V *et al.*. High pressure H loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO₂ doped optical fibres[J]. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(13): 1191~1193

5 Zhao Hao, Ding Hao, Liu Bin *et al.*. Experimental study on photo-refractivity in hydrogen-loaded fibers with 193 nm light [J]. *Chinese J. Lasers*, 1996, **A23**(5): 441~444

6 Zhao Hao, Ding Hao, Liu Bin *et al.*. Bragg gratings photo-imprinted in hydrogen loaded optical fibers [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(4): 575~576

7 Li Jianzhi, Jiang Desheng. Hydrogen loading and photolytic index changes in germanosilicate fiber [J]. *J. Inorganic Materials*, 2006, **21**(2): 345~350

8 Erdogan T. Fiber grating spectra[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8): 1277~1294

9 C. R. Giles. Lightwave applications of fiber Bragg gratings[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8): 1391~1404

10 Atkins R M, Mizrahi V, Erdogan T. 248 nm induced vacuum UV spectral changes in optical fibre perform cores support for a colour centre model of photosensitivity [J]. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(4): 385~387