

文章编号: 0253-2239(2001)02-147-03

紫外均匀曝光对长周期光纤光栅耦合特性的影响*

关柏鸥^{1,2)} Tam H Y¹⁾ Ho S L¹⁾ 董孝义²⁾

1), 香港理工大学电机工程系, 香港

2), 南开大学现代光学研究所, 天津 300071

摘要: 写于载氢光纤上的长周期光纤光栅经过高温退火后, 对其进行紫外均匀曝光能够有效改变其耦合特性。随着曝光量的增加, 其共振波长向长波方向移动, 共振峰强度先增大继而减小。并对此给出了理论解释。

关键词: 长周期光纤光栅; 耦合特性; 紫外均匀曝光

中图分类号: TN25 文献标识码: A

1 引 言

长周期光纤光栅在通信与传感领域均有着广泛的应用, 例如用于铒光纤放大器的增益平坦、光耦合、全光开关^[1-3], 以及温度、应变、弯曲测量等方面^[4]。近年来, 各国研究者围绕着长周期光纤光栅的耦合特性开展了大量的工作, 包括模式耦合理论、光栅写入过程中的共振峰移动、周围介质折射率对共振波长强度的影响, 以及光纤包层参数对共振波长的影响等^[5-7]。

本文研究了紫外均匀曝光对写于载氢光纤上的经过高温退火的长周期光纤光栅的耦合特性的影响。研究结果表明, 紫外均匀曝光能够引起长周期光纤光栅的共振波长和共振峰强度的变化。随着曝光量的增加, 长周期光纤光栅的共振波长向长波方向移动, 共振峰强度先增大继而减小。本文对此给出了理论解释。本文结果对于进一步认识长周期光纤光栅的耦合特性有一定意义。

2 理 论

长周期光纤光栅的共振波长 λ_{res} 为^[5]

$$\lambda_{\text{res}} = (n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}) \Lambda, \quad (1)$$

式中 n_{core} 为纤芯中基阶导波模的有效折射率, n_{clad} 为共振包层模的有效折射率, Λ 为光栅周期。若光栅区域的折射率调制深度为 δn_{core} , 令 λ_{max} 为 δn_{core} 发生变化时的共振波长, 则 λ_{max} 与 δn_{core} 之间有如下

关系^[5]:

$$\lambda_{\text{max}} = \lambda_{\text{res}} \left[1 + \frac{\delta n_{\text{core}}}{(n_{\text{core}} - n_{\text{clad}})^2} \frac{d\lambda_{\text{res}}}{d\Lambda} \right]. \quad (2)$$

当折射率调制深度 δn_{core} 增大时, 共振波长 λ_{res} 是增大还是减小由 $d\lambda_{\text{res}}/d\Lambda$ 的符号来决定。当 $(d\lambda_{\text{res}}/d\Lambda) > 0$ 时, 共振波长随折射率深度的增加而增大。若 $(d\lambda_{\text{res}}/d\Lambda) < 0$ 时, 共振波长随折射率调制深度的增加而减小。

由纤芯内折射率周期调制所引起的基阶导波模与包层模之间的耦合系数由下式来描述^[8]:

$$\eta = \frac{\omega n_{\text{core}} \delta n_{\text{core}} L}{4} \quad (\mu\text{m}^{-1}), \quad (3)$$

式中 ω 为光波频率,

$$I = \iint_{\text{core}} e_{\text{core}}^T(x, y) \cdot (e_{\text{clad}}^T)^*(x, y) dx dy$$

为基阶导波模与包层模在纤芯区域的重积分 [$e_{\text{core}}^T(x, y)$ 和 $e_{\text{clad}}^T(x, y)$ 分别为基阶导波模和包层模的横向场函数]。耦合形成的共振峰强度可表示为^[8]

$$S = \sin^2(\eta L), \quad (4)$$

式中 L 为光栅长度。值得注意的是, 在长周期光纤光栅中共振峰强度随折射率调制深度以及光栅长度按正弦的平方规律变化。当折射率调制深度 δn_{core} 较大或光栅较长使得 $\eta L > \pi/2$ 时, 共振峰强度将下降。这是在长周期光纤光栅中的同向耦合与布拉格光纤光栅中的反向耦合截然不同之处。

3 实验与结果

长周期光纤光栅写于经过载氢处理的康宁 28 标准单模光纤上, 光栅周期为 500 μm 。先将光纤在

* 本课题得到香港理工大学资助。

收稿日期: 1999-06-30; 收到修改稿日期: 1999-11-10

140 Pa、70 °C 条件下载氢 7 天, 然后利用 193 nm 准分子激光写制光纤光栅。光栅写好后, 在 160 °C 条件下退火 6 小时。经高温退火后, 再利用 193 nm 准分子激光对光栅区域进行均匀曝光, 激光输出能量密度为 313 mJ/cm², 重复频率为 2 Hz。曝光前长周期光纤光栅的透射谱如图 1(a) 所示。此光栅共有 4 个共振峰, 分别位于 1638.5 nm、1493.5 nm、1420.5 nm 和 1383 nm, 强度分别为 23.42 dBm、10.9 dBm、5.76 dBm 和 4.47 dBm, 它们分别对应于基阶导波模 LP₀₁ 与包层模 LP₀₅、LP₀₄、LP₀₃ 和 LP₀₂ 之间的耦合。曝光过程中, 宽带光源发出的光入射光纤, 并利用光谱分析仪实时监测其透射谱的变化情况。

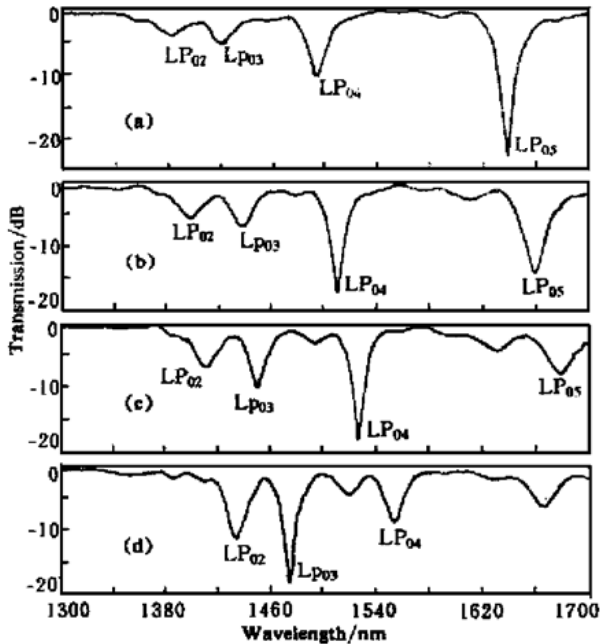


Fig. 1 Transmission spectra of the LPG after exposure of different number of UV pulses. (a) Before UV exposure, (b) after exposure of 10 UV pulses, (c) after exposure of 200 UV pulses, (d) after exposure of 1320 UV pulses

我们发现, 紫外均匀曝光使得长周期光纤光栅的共振峰强度及其共振波长发生变化。随着曝光脉冲数目的增加, 共振峰强度的变化情况如图 2 所示。从图 2 可以看出, 原来最强的共振峰(LP₀₅)很快变弱直至消失; 次强的共振峰(LP₀₄)先是随着曝光脉冲数的增加迅速增强, 而后又逐渐减弱; 两个较弱共振峰中较强的一个(LP₀₃)亦是先增强后减弱, 但其增强和减弱的速度远小于次强峰; 最弱的共振峰(LP₀₂)随着曝光脉冲数的增加而不断增强, 但其变化速度最慢。

共振波长的变化情况如图 3 所示。随着曝光脉冲数目的增加, 共振波长向长波方向移动。最强共振峰在其消失之前(经过 600 个脉冲辐照)移动了

56.5 nm。经过 5820 个脉冲辐照后, 其他三个共振峰按其强度顺序分别移动了 110.5 nm、99 nm 和 97.5 nm。经过不同数目的紫外脉冲辐照后长周期光纤光栅的透射谱如图 1(b)~ 图 1(d) 所示。

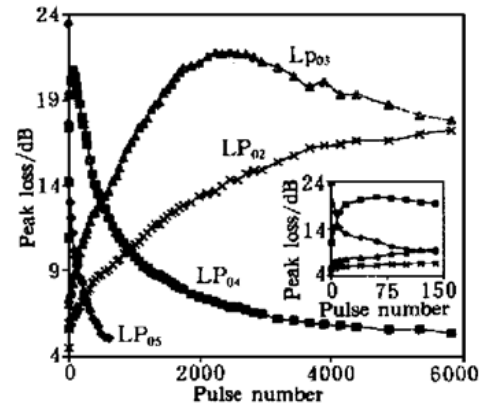


Fig. 2 Resonance peak intensity of the LPG vs UV pulse number

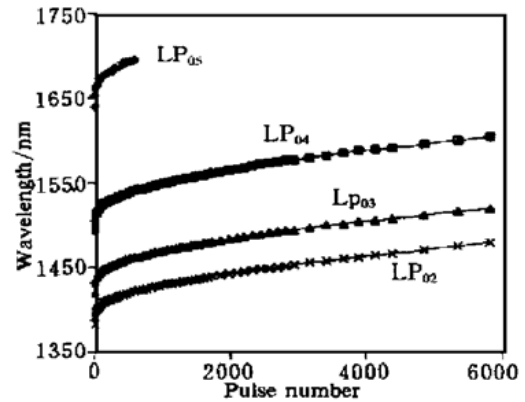


Fig. 3 Resonance wavelength of the LPG vs UV pulse number

4 讨 论

长周期光纤光栅是紫外激光经振幅掩模对光纤曝光所致, 可将其划分为无数个经过曝光的和未被曝光的周期性交替排列的小区域。由于紫外曝光能使得载氢光纤的光敏性增强, 被曝光区域折射率增大的同时, 其光敏性亦因曝光而增强。未被曝光的区域经高温退火后因氢分子全部跑掉而丧失光敏性。当对光栅区域进行紫外均匀曝光时, 曾经被曝过光的小区域因具有较强的光敏性, 其折射率进一步增强, 而未曾被曝过光的小区域因没有光敏性而不会发生折射率变化。因此, 二次曝光会导致折射率调制深度的增大, 由此导致长周期光纤光栅的共振峰强度发生变化。

因为最强共振峰处的透射损耗本身已很大(23.4 dB, 测量时光谱仪分辨率为 5 nm, 实际值应

比此值大得多), 相应于(3)式中的 ηL 值已在 $\pi/2$ 附近。当折射率调制深度进一步增加时, 使得 ηL 值超过 $\pi/2$, 共振峰强度将下降。因此, 最强的共振峰随曝光脉冲数的增加而减小。两个次强共振峰相应的初始 ηL 值较小, 因此, 它们先是随曝光脉冲数的增加而增大。当 ηL 值达到 $\pi/2$ 时, 共振峰强度到最大, 而后, 又相继减弱。可以推断, 随着曝光时间的进一步增加, 最弱的共振峰亦会达到最大, 然后再变弱。

几个共振峰强度随着曝光时间的变化快慢不同与(3)式中的重积分因子 I 有关。从(3)、(4)两式可以看出, 与基阶导波模 LP_{01} 之间的重积分因子 I 越大的包层模引起的共振峰越强。当折射率调制深度 δn_{core} 发生变化时, 重积分因子 I 越大的共振峰强度的变化也越快。耦合所涉及到的几个包层模中, LP_{05} 与基阶模 LP_{01} 之间的重积分因子 I 最大, 因此, 随着曝光量的增加, 其相应共振峰的强度变化最快; LP_{02} 与 LP_{01} 之间的重积分因子 I 最小, 因此, 其相应共振峰的强度变化最慢。共振波长因紫外均匀曝光而向长波方向移动的原因可由(2)式得到解释。在周期为 $500 \mu\text{m}$ 的长周期光纤光栅中只涉及低阶包层模与基阶导波模之间的耦合, 而对应于此种耦合情形的 $(d\lambda_{\text{res}}/d\Delta) > 0$, 共振波长随折射率调制深度 δn_{core} 的增大而增大^[5]。因此, 长周期光纤光栅的共振波长随曝光脉冲的增加而向长波方向移动。

结语 由于紫外曝光导致载氢光纤的光敏性增强, 对写于载氢光纤上的周期光纤光栅进行紫外均匀曝

光能够使其折射率调制深度增大, 由此引起光栅的共振峰强度和共振波长变化。本文结果对进一步认识长周期光纤光栅的耦合特性具有一定意义, 同时为长周期光纤光栅的共振峰强度及其共振波长的控制与调节提供了一种有效途径。

参 考 文 献

- [1] Wysocki P F, Judkins J B, Espindola R P *et al.*. Broad band erbium doped fiber amplifier flattened beyond 40 nm using long-period grating filter. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1997, **9**(10): 1343~ 1345
- [2] Chen W T, Wang L A. Optical coupling between single mode fibres by utilizing long period fibre gratings. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(5): 421~ 423
- [3] Eggleton B J, Slusher R E, Judkins J B *et al.*. All-optical switching in long-period fiber gratings. *Opt. Lett.*, 1996, **22**(12): 883~ 888
- [4] Bhatia V, Vengsarkar A M. Optical fiber long-period gratings sensors. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(9): 692~ 694
- [5] Pilevar S, MacDougall T W, Davis C C. Growth and sensitivity of the resonant peaks of long period gratings. *Proc. SPIE*, 1999, **3746**: 474~ 477
- [6] Lee B H, Liu Y, Lee S B *et al.*. Displacements of the resonant peaks of a long-period fiber grating induced by a change of ambient refractive index. *Opt. Lett.*, 1996, **22**(23): 1769~ 1770
- [7] Erdogun T. Cladding-mode resonances in short- and long-period fiber grating filters. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1997, **14**(8): 1760~ 1773
- [8] Othonos A, Kalli K. *Fiber Bragg Grating-Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing*. Boston·London: Artech House, 1999. 189~ 222

Effect of UV Uniform Exposure on Coupling Characteristics of Long-Period Fibre Gratings

Guan Baiou^{1,2)} H. Y. Tam¹⁾ S. L. Ho¹⁾ Dong Xiaoyi²⁾

1), Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong

2), Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

(Received 30 June 1999; revised 10 November 1999)

Abstract: UV uniform exposure can effectively vary the coupling characteristics of the annealed long-period gratings (LPGs) in hydrogen-loaded fiber. With the increase of UV exposure, the resonance wavelength shifts toward longer wavelength and resonance peak intensity increases first and then decreases. A theoretical explanation for this phenomenon has been given.

Key words: long-period fibre gratings; coupling characteristics; UV uniform exposure