

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0233-02

连续 CO₂ 激光脉冲写入制作长周期光纤光栅的实验研究

罗售余, 严明, 李莉莉, 张智明, 夏宇兴

(上海交通大学物理系, 上海 200240)

摘要 用耦合模理论对长周期光纤光栅进行了简要分析, 叙述了连续 CO₂ 激光脉冲写入制作的长周期光纤光栅技术的实验研究情况, 实验过程中观测到模式耦合强度随光栅区域长度发生变化。

关键词 光电子技术; 长周期光纤光栅; 耦合模理论; 连续 CO₂ 激光脉冲

中图分类号 TN253

文献标识码 A

Experiment of Long-Period Fiber Gratings Fabricated by CW CO₂ Laser Pulses

LUO Shou-yu, YAN Ming, LI Li-li, ZHANG Zhi-ming, XIA Yu-xin

(Department of Physics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract In this paper, long-period fiber gratings are analyzed by using the coupled mode theory, and the recent progress of the fabrication technology using CW CO₂ laser pulses is briefly presented, and stiffness of mode coupling changing with the length of grating is observed.

Key words optoelectronics technique; long-period fiber grating; coupled mode theory; CW CO₂ laser pulses

1 引言

长周期光纤光栅 (long-period fiber grating, LPFG) 作为一种有带阻滤波特性的器件^[1], 在光通信和光传感领域有着诱人前景, 是目前的研究热点之一。与短周期的布拉格光纤光栅不同的是, LPFG 因其周期较长, 写入方法灵活多变。而较之传统的紫外写入方法的成本较高, 在温度和应力作用下很不稳定的缺点, 用连续 CO₂ 激光脉冲写入制作 LPFG 新技术, 具有设备简单, 所使用的是标准普通单模通信光纤, 写入步骤简明, 制作成本低廉, 写入前光纤无需敏化。所制成的光栅还具有温度漂移小的优点, 故它具有良好的商业应用前景^[2-4]。而近年的研究表明, CO₂ 激光写入制作的长周期光纤光栅温度稳定性尤为突出。

2 理论

研究长周期光纤光栅有耦合模、有效折射率、传输矩阵等方法, 本文主要采用耦合模理论进行简要分析^[5,6]。

在长周期光纤光栅中, 芯层中传输的导波光(基模 LP₀₁)与同向的包层的辐射模(LP_{0m})发生耦合, 所以它是一种波长相关的损耗器件。

基模和多个包层模的振幅耦合模方程可以写成

$$\frac{dA_v^{\omega}}{dz} = i\kappa_{01-01}^{\omega-\omega} A_v^{\omega} + i \sum_v \frac{m}{2} \kappa_{1v-01}^{\omega-\omega} A_v^{\omega} \exp(-i2\delta_{1v-01}^{\omega-\omega} z) \times \sum_v \left[\frac{dA_v^{\omega}}{dz} = +i \frac{m}{2} \kappa_{1v-01}^{\omega-\omega} A_v^{\omega} \exp(-i2\delta_{1v-01}^{\omega-\omega} z) \right]$$

其中 $\kappa_{01-01}^{\omega-\omega}$ 为芯层基模的耦合系数, $\kappa_{1v-01}^{\omega-\omega}$ 为包层辐射模与芯层基模的耦合系数, $\delta_{1v-01}^{\omega-\omega}$ 为微扰系数。

$$\kappa_{01-01}^{\omega-\omega} = \frac{1}{2} \left(\beta_{01}^{\omega-\omega} - \beta_{1v}^{\omega-\omega} - \frac{2\pi}{\Lambda} \right),$$

β 为传播常量。耦合条件 $\delta=0$ 满足时

$$\lambda_D = \Delta n_{\text{eff}} \Lambda$$

λ_D 是光栅的设计波长。

3 实验

CO₂ 激光是一种新的写入制作长周期光纤光栅的光源, 我们采用逐点写入法。

本实验采用波长为 10.6 μm 的 CO₂ 激光作为

作者简介: 罗售余(1955-), 男, 上海交通大学物理系副教授, 主要从事非线性光学、光通信无源器件等方面的研究。

E-mail: luosy@sjtu.edu.cn

写入光源,在光纤侧面逐点写入,同时在光纤两端加上 ASE 光源和光谱分析仪 (Optical spectrum analyzer,简称 OSA),以便实时监控刻写的情况。光源和测试系统是实验室提供的加拿大 EXPO 公司的光无源测试系统,采用 IQ-2300 的 ASE 源作光源(约 1520~1560 nm)和 IQ-5320 多波长计做光谱测试。光纤采用康宁公司(Corning Corp.)的 SMF28 普通单模通信光纤,为 G652 型。

图 1 中纵向一格为 5.00 dB,因为光纤长度只有 1.5 m,其损耗色散和非线性现象可以忽略,监测光源为 ASE 光源,谱宽约 40 nm。光栅写入的激光功率为 0.65 W,曝光时间为 0.5 s,曝光距离间隔(即光栅周期)为 625 μm ,对每一步曝光的光纤传输谱都进行了检测。随着光栅的写入,阻带峰变深变窄,在写入 15 个周期后,两个模式耦合达到最大,出现最深的阻带峰,见图(1)。随周期数的增加,带峰变窄,变深。达到最深峰后,随刻写的继续进行,谱线的阻带峰又减小,并且阻带根部有一些变化。

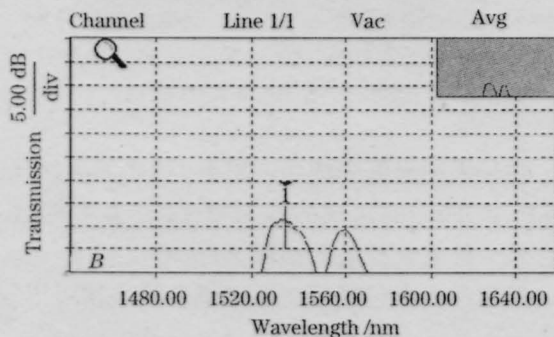


图 1 一个阻带峰最深时的传输谱线图

Fig.1 Transmission of LPFG induced by CW CO₂ laser

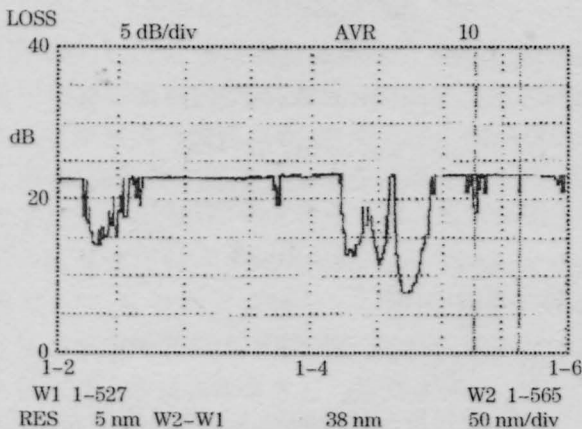


图 2 损耗全谱图

Fig.2 Full-wavelength transmission of LPFG

整个刻写过程中,总共刻写了 37 个周期。器件采用石英槽和紫外固化胶封装。器件在封装前,经过 12 h 的监测,其阻带透射峰几乎不发生漂移。最终的损耗全谱图如图 2 示。阻带峰共有 6 个,对应阻带峰波长分别为:1400 nm,1442 nm,1462 nm,1508 nm,1548 nm,1582 nm。

4 实验结果分析及讨论

从实验结果的分析来看,我们可以得出以下结论:

1) 日韩所报道的 CO₂ 激光写入制作光栅的功率远高于我们的功率,所用为柱透镜,但都同样出现光栅效应,进一步证明引起折射率变化的关键是照射点的功率密度。

2) 在写入过程中的测量表明,光栅谱线的凹峰随着写入长度出现强弱变化,由于 LPFG 是模式间耦合的结果,所以其强弱变化反映了模式耦合的情况,对于进一步分析光栅原理有很大意义。我们也看到中心波长的变化不是很明显。

3) 全谱损耗可以看到多个损耗峰,是基模和多个包层模式之间耦合的结果。

对于 CO₂ 激光写入制作长周期光纤光栅的机理现在还没有一个很好的解释,对于特种光纤,主要的原因是应力释放,但对于几乎没有残余应力的普通光纤,尚无很好的机理解释,我们猜想可能主要是由于玻璃材料的瞬间致密化导致折射率变化。

参 考 文 献

- 1 A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins *et al.*. Long-period fiber gratings as band-rejection filters[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, 14:58-65
- 2 D. D. Davis, T. K. Gaylord, E. N. Glytsis *et al.*. Long-period fibre grating fabrication with focused CO₂ laser pulses [J]. *Electron.Lett.*, 1998, 34: 302-303
- 3 D. D. Davis, T. K. Gaylord, E. N. Glytsis *et al.*. CO₂ laser-induced long-period fiber gratings: spectral characteristics, cladding modes and polarization independence [J]. *Electron. Lett.*, 1998, 34: 1416-1417
- 4 D. D. Davis, T. K. Gaylord, E. N. Glytsis *et al.*. Very-high-temperature stable CO₂ laser-induced long-period fibre gratings[J]. *Electron. Lett.*, 1999, 35: 740-741
- 5 T. Erdogan. Fiber grating spectra[J]. *J. Lightwave. Technol.*, 1997, 15: 1277-1294
- 6 T. Erdogan. Cladding-mode resonances in short- and long-period fiber grating filters[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1997, 14: 1760-1773