

# 横向衍射技术测量光纤光栅的特性\*

江 毅 王惠文

(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**摘 要** 提出了一种用 He-Ne 激光侧面照射光纤光栅、从另一侧探测光栅的布拉格衍射效率来测量光纤光栅光谱特性的技术,并用该技术测量了光栅的折射率变化的分布。

**关键词** 光纤光栅, 测量, 布拉格衍射。

## 1 引 言

自从 Meltz 等提出了用周期性紫外激光侧面照射掺锗光纤,制作光纤芯内布拉格光栅以来<sup>[1]</sup>,光纤光栅得到了广泛的研究和应用。使用光纤光栅前,一般须对所用光栅的特性,如中心波长、线宽、反射率等有所了解。通常测量光纤光栅特性的方法是用宽带光源注入光栅,用光谱仪测量其反射光谱或透射光谱,得到其特性。这种方法测量简便、准确,但对测量设备要求高。它需要用光栅所在波长的宽带光源和光谱仪,尤其要求光谱仪有较高的测量灵敏度与分辨率,这在国内一般实验室都难以具备。

本文提出了一种用 He-Ne 光横向照射光纤光栅,通过测量其布拉格衍射效率,结合理论推算来测量光纤光栅光谱特性的技术。尽管该技术所需设备简单,但也能够较准确地测得光纤光栅的光谱特性。这一技术还可以用来测量沿光栅的纤芯折射变化幅度,这在设计和制作各种具有不同光谱特性的芯内光栅器件时有重要的应用价值<sup>[2]</sup>。

## 2 测量原理

横向衍射法测量光纤光栅特性的原理如图 1 所示。He-Ne 光透过光纤包层照射到纤芯中的光纤光栅上,仔细调整 He-Ne 光的入射角度  $\alpha_i$ ,在满足布拉格衍射条件时,光纤的另一侧将出现一级衍射,衍射光角度  $\alpha_0 = \alpha_i$ 。一级衍射光经透镜会聚后由探测器测量出其光功率。由于 He-Ne 光经过光纤包层时会产生折射,所以有

$$\sin \alpha_i = \sin \alpha_0 = n_1 \lambda / \lambda_B \quad (1)$$

式中,  $\lambda_B$  为光栅的工作波长,  $\lambda$  为探测光(He-Ne)的波长,  $n_1$  为光纤纤芯在探测光波长上的折射率。  $\lambda_B = 2n_2 \Lambda$ ,  $n_2$  为光纤在光栅工作波长上的有效折射率,测量得一阶衍射角就可得到光纤光栅的中心波长。

\* 国家自然科学基金 59807002 资助。

收稿日期: 1997-06-01; 收到修改稿日期: 1997-12-17

直接测量光纤光栅的横向布拉格衍射效率比较困难，因为不能测量出实际照射到纤芯上的光功率。作者用如下方法近似测量。由于光纤芯径远小于 He-Ne 光束的宽度，所以可以近似假设，He-Ne 光束的光强的峰值部分在纤芯芯径宽度(9 μm) 范围呈均匀分布。由于光纤纤芯为圆形，为了计算方便和估测出实际参加衍射的光强，将纤芯等效为与之面积相等的正方形，则正方形边长  $a = \sqrt{\pi d/2}$ ，其中  $d$  为光纤芯径。假设 He-Ne 光直接照射到纤芯上，则实际参加衍射的光强  $P_c$  等于 He-Ne 光斑中心透过宽为  $a$  的单缝的光强，因此  $P_c$  可以用实验近似测量出。则一阶衍射效率

$$\eta = P_1/P_c \tag{2}$$

$P_1$  为一阶衍射光功率，可以由实验直接测量出。由公式<sup>[3, 4]</sup>

$$\eta = \sin^2 \left[ \frac{\pi \Delta n}{\lambda \cos \alpha_i} a \right] \tag{3}$$

便可求出  $\Delta n$ 。这里  $a$  是光栅衍射区的有效长度。由于纤芯呈圆形，为了引用(3) 式，将  $a$  取为面积与纤芯相等的矩形的边长。(3) 式在声光作用<sup>[3]</sup> 和光折射率效应<sup>[4]</sup> 的理论中都有详尽的推导，本文将该结论借用到光纤光栅的衍射中来。

沿光纤轴移动光纤光栅，观察一阶衍射光功率的变化可以测量得光栅的长度  $L$ 。由  $L$ 、 $\Delta n$  和  $\lambda_B$  就可以分析出光纤光栅的光谱特性<sup>[5]</sup>。

### 3 实验结果及分析

实验测量出光纤光栅的一阶衍射角为 36.6°，由(1) 式知  $\lambda_B = 1.539 \mu\text{m}$ 。

纤芯  $d = 9 \mu\text{m}$ ，等效的矩形边长  $a \approx 8 \mu\text{m}$ ，实验测得 He-Ne 光斑中心通过宽为  $8 \mu\text{m}$  的单缝的光功率为  $82.7 \mu\text{W}$ ，则近似地参加衍射的光功率  $P_c = 82.7 \mu\text{W}$ 。

实验测得一阶衍射的平均光功率为  $6.5 \text{ nW}$ ，由(2) 式得到，光栅的布拉格衍射效率  $\eta = 7.9 \times 10^{-5}$ 。由(3) 式求出  $\Delta n = 1.79 \times 10^{-4}$ 。

实验测得该光栅长 6 mm，由此可以描述出光纤光栅的特性<sup>[5]</sup>：光栅的工作波长为  $\lambda_B = 1.539 \mu\text{m}$ ，最大反射率  $R_{\text{max}} = 0.94$ ，半高线宽  $\Delta\lambda = 0.2 \text{ nm}$ ，其反射光谱如图 2 所示。

用光谱仪测量该光栅透射光谱如图 3 所示。可见该光栅工作波长是  $1.543 \mu\text{m}$ ，最大反射

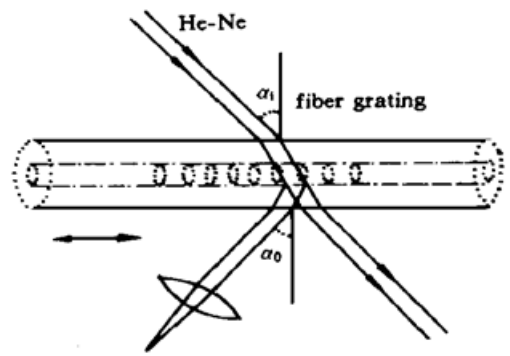


Fig. 1 Measuring principle

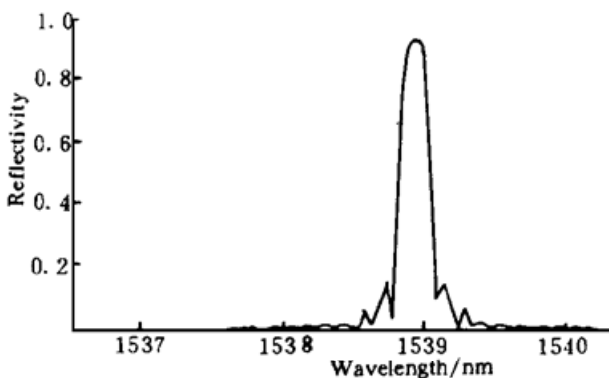


Fig. 2 The reflective spectrum of a fiber grating measured by transverse diffraction

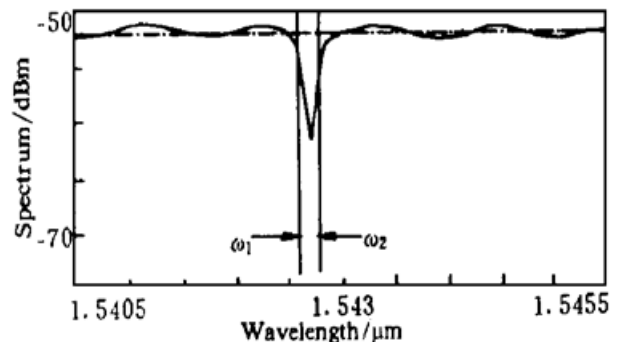


Fig. 3 The transmission spectrum of a fiber grating measured by optical spectrum analyser

率  $R_{\max}$  为 0.89, 半高线宽  $\Delta\lambda = 0.19 \text{ nm}$ 。由于最大反射率与光栅的折射率扰动的关系是<sup>[1]</sup>:

$$R_{\max} = \tanh^2\left[\frac{\pi}{\lambda}\Delta n\left(1 - \frac{1}{v^2}\right)L\right] \quad (4)$$

式中  $v$  为归一化频率,  $L$  为光栅长度。由(4)式可以得到用光谱仪测量出光栅的折射率变化  $\Delta n = 1.47 \times 10^{-4}$ , 与横向衍射法测量出的  $\Delta n = 1.79 \times 10^{-4}$  非常接近。

多次测量这只光栅侧面的一阶衍射光功率和照射到纤芯的等效功率, 得到 10 个衍射效率  $\eta$ , 由(3)式得到 10 个  $\Delta n$ , 在光栅长 6 mm 时, 得到 10 组光栅的特性(最大反射率, 谱线半宽), 如表 1 所示。

Table 1.

$\eta/10^{-5}$	8.70	8.20	7.90	7.60	7.90	8.40	6.80	7.00	8.90	8.10
$\sqrt{\eta}/10^{-3}$	9.3	9.5	8.9	8.7	8.9	9.2	0.82	8.4	9.4	0.9
$\Delta n/10^{-4}$	1.88	1.84	1.80	1.76	1.80	1.86	1.66	1.70	1.90	1.81
$R_{\max}/\%$	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.95	0.92	0.93	0.95	0.94
$\Delta\lambda/\text{nm}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

可见用横向衍射测量测得的光栅特性与光谱仪测量结果非常接近。表 1 中测得光栅的最大反射率比光谱仪测量的数据普遍偏大, 其原因估计是在测量光栅长度  $L$  时, 由于确定光栅边缘点不准确使得光栅长度  $L$  偏大造成的。

## 4 测量折射率变化 $\Delta n$ 的分布

探测光纤光栅的横向衍射不仅可以测量其光谱特性, 还可以测量出沿光栅不同位置的光栅折射率变化幅度, 这在设计和制作不同光谱特性的芯内光栅时有重要的意义。因为常需要将纤芯折射率变化幅度按一定方式改变, 以实现一些特定的功能, 如制成强度渐变的啁啾光栅, 以补偿色散<sup>[2]</sup>。

在图 1 中, 沿光纤轴向移动光栅的位置, 分别在不同位置探测一阶衍射光强, 就可以在

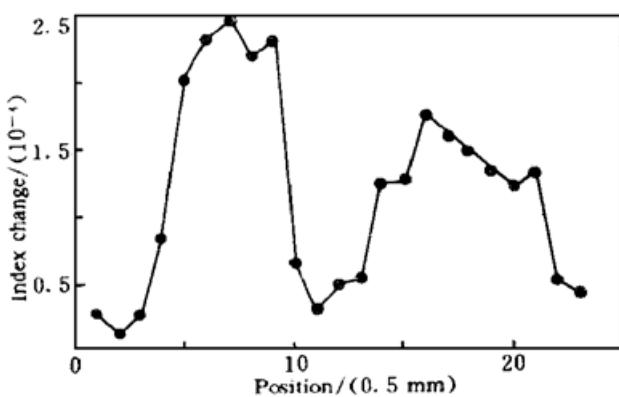


Fig. 4 Measured distribution of  $\Delta n$  for a fiber grating

不同位置得到光栅的折射率变化幅度。图 4 是测量得到的一只光栅的折射率变化的分布, 光纤每移动 0.5 mm 测量一次。由此图知, 这只光栅的折射率变化有 2 个峰值, 中间位置的折射率变化有一个谷, 并且左右两个峰强度不等。

实际上, 这只光栅是用相位掩模技术制作的<sup>[6]</sup>, 它是利用紫外光透过掩模的  $\pm 1$  级衍射来对纤芯曝光制作出的, 因此在零级衍射光位置处的纤芯折射率变化小(并且透过掩模的零级衍射光对光栅有“漂白”的作用)。两个峰的强度不等是由于  $\pm 1$  级衍射光强不等造成的(制作掩模的工艺和曝光时紫外光入射角的偏移都可能造成)。可见, 图 4 中实际测得的纤芯折射率变化幅度  $\Delta n$  的分布与光栅制作采用的技术是吻合的。

小 结 本文提出了一种用 He-Ne 光侧面照射光纤光栅, 用光栅的横向布拉格衍射光来测

量光栅特性的技术。该技术所需实验装置简单, 测量结果与光谱仪测量结果非常相近。并用该技术测量了沿光栅不同位置的折射率分布, 得到了与光栅制作技术相吻合的结果。这一横向衍射测量技术在设计和制作各种不同性能的芯内光栅时有重要的意义。

### 参 考 文 献

- [1] G. Meltz, W. W. Morey, W. H. Glenn, Formation of Bragg grating in optic fiber by transvers holograph method. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(15) : 823~ 825
- [2] U. Eriksson, P. Blixt, J. A. Tellefsen, Design of fiber gratings for total dispersion compensation. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(14) : 1028~ 1030
- [3] 董孝义, 光波电子学, 天津: 南开大学出版社, 1987.
- [4] A. M. Glass, The photorefractive effect. *Opt. Engng.*, 1978, **17**(5) : 470~ 479
- [5] 江 毅, 陈伟民, 黄尚廉, 光纤光栅的特性. 重庆大学学报, 1997, **20**(1) : 27~ 30
- [6] K. O. Hill, Bragg grating fabricated in monomode photosensitive optic fiber by UV exposure through a phase mask. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(10) : 1035~ 1037

## Transverse Diffraction Technology for Measuring the Characteristics of Fiber Gratings

Jiang Yi      Wang Huiwen

(Department of Opto-Electronic Engineering,  
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)  
(Received 1 June 1997; revised 17 December 1997)

**Abstract** A new technology for measuring the characteristics of fiber gratings is described. By projecting a beam from a HeNe laser onto the fiber grating transversely and measuring the first Bragg diffraction, the property of fiber gratings can be measured. Based on this technique, the distribution of reflective index of the fiber grating can be obtained.

**Key words** fiber grating, measurement, Bragg diffraction.