

# 四倍频 Nd : YAG 激光器制作光纤布喇格光栅

王向阳 查开德 廖延彪

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

张东香 张秀兰 冯宝华

(中国科学院物理研究所光学物理开放研究实验室, 北京 100080)

**提要** 报道用四倍频 Nd : YAG 激光器产生的 266 nm 的光波, 在高掺锗光纤中成功地写入了 FBG 的实验结果。

**关键词** 光纤光栅, FBG, Nd : YAG 激光器

## 1 引言

自 80 年代以来, 光纤布喇格光栅 (Fiber Bragg Grating, FBG) 在光纤通信和光纤传感领域已经受到广泛的注意, 其重要性越来越受到重视。除 FBG 的应用研究以外, FBG 的制作仍是研究的主要问题之一。

由于掺锗光纤对紫外光的吸收具有一定的选择性, 当写入波长在 240 nm 附近时吸收带宽约为  $\pm 10\text{nm}^{[1]}$ , 所以一般制作 FBG 的光源大都选择这个波段。目前常用的光源有 248 nm 的 KrF 准分子激光器, 244 nm 的  $\text{Ar}^+$  倍频激光器, 以及 230~250 nm 的染料倍频激光器<sup>[2]</sup>, 实验中都得到了较好的结果, 但对于其它光源的应用以及实验结果很少见诸报道。本文介绍我们用四倍频 Nd : YAG 激光器, 输出波长为 266 nm, 对 FBG 制作进行实验, 在 1505 nm 处测得约 3.0% 反射率的结果。

## 2 实验装置及原理

FBG 的制作方法大致上可分为全息相干法、分波面相干法、位相光栅复制法和逐点写入法四大类, 它们各有优点和缺点, 但在实际制作中都得到了应用。比较起来全息相干法设备较简单, 适合于实验室条件, 因此, 我们实验中就采用了这种方法。全息相干法的光路如图 1, 图中光源是脉冲工作 Nd : YAG 激光器经四倍频得到 266 nm 的光束。由于全息相干法要求光源具有良好的空间和时间相干性, 因而对光源的输出模式有很高的要求。出于这样的考虑, 在激光器的腔内放入一 F-P 腔, 用于压窄输出线宽, 增大相干长度; 在激光器的腔外加一长焦距扩束镜和一小孔光阑, 以期提高光束的空间相干性, 并尽量减少光功率的损失。采取了这些措施

后,明显地提高了光束的相干能力。

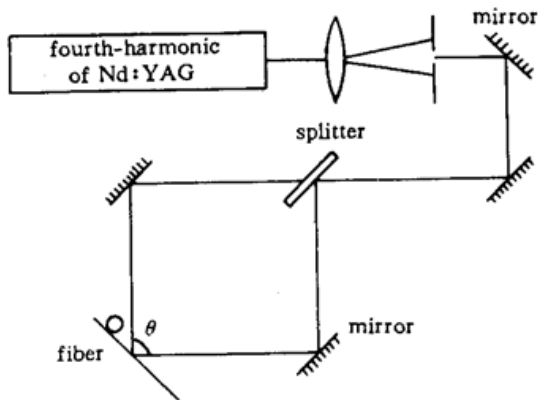


Fig. 1 The setup for fabrication of fiber Bragg gratings

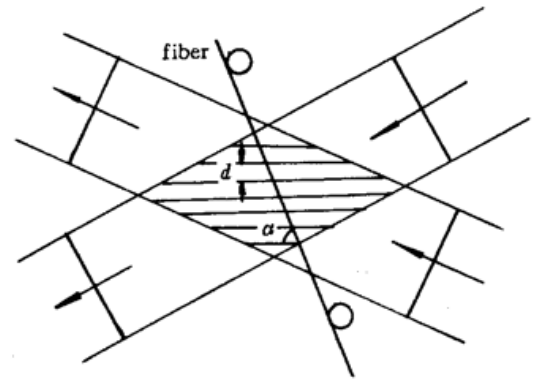


Fig. 2 The distribution of fringes in the coherence range

用全息相干法写入需要对整个光路装置的防震特性有相当严格的要求,否则,只要两光臂发生波长量级的移动就可能引起相干条纹的漂移,以至于无法得到稳定的相干场,影响制作 FBG 的质量。为此,我们将相干光路中各元件全部固定在一小平台上,使之与平台成为一体,并将该平台与激光器共同固定在一大气垫平台上,这样各光学镜面之间不会发生相对移动,光束与干涉仪之间也无相对移动,这就在很大程度上避免了震动对相干场造成的影响。

图 2 示出这种方法的干涉条纹分布情况,其条纹间距  $d$ ,光栅的栅距  $\Lambda$  为

$$\Lambda = \frac{d}{\sin\alpha} = \frac{\lambda}{2\sin\theta\sin\alpha} \quad (1)$$

其中  $\lambda$  为入射光波长, $\theta$  为两光束夹角, $\alpha$  为光纤与光栅条纹的夹角,通过改变  $\theta$  可得到不同的条纹间距,从而获得不同栅距的 FBG。但是改变  $\theta$  角,干涉场的位置发生了变化,必须重新调整光路,增加了实验的难度。从上式可以看出,改变  $\alpha$  同样可以达到改变栅距的作用,避免了  $\theta$  的改变需要对光路重新调整的困难。并且从布喇格方程  $\lambda_b = 2n\Lambda$  可以看出, $\Lambda$  的改变直接导致布喇格中心波长  $\lambda_b$  的改变,这就使得这种方法在制作 FBG 时有着很好的灵活性。

### 3 实验与结果

在实验中,我们采用了两种光纤,目的是进行对比。一种为普通单模光纤,一种为高掺锗单模光纤(数值孔径 0.203,可根据经验公式推算其实际掺锗量为 8.6mol-%)。先去掉光纤一部分涂敷层,将两纤的裸纤部分一同放置于相干场中。激光光源波长为 266 nm,脉冲工作频率 10 Hz,脉宽约 5 ns(经两次倍频压窄后),单脉冲能量 30 mJ,输出平均功率为 300 mW,经光阑空间滤波后功率约 200 mW。前文已经说明掺锗光纤的紫外敏感中心波长为 240 nm,266 nm 处的吸收效率比中心波长处小近两个量级,另外,光纤芯子折射率的改变量与照射能量在一定范围内成线性关系,因此,通过延长曝光时间可以在一定程度上弥补吸收效率的不足。在我们的实验中,光纤在相干场中曝光约 60 min,这样既使之照射了足够的能量,又降低了过长时间曝光造成的防震设备复杂度。通过我们的实验证明,过长的曝光时间很难保证在光纤上写入清晰的干涉条纹,光栅效应并没有明显改观。

测试光纤是否已写入了光栅所用的方法是测量光纤透射谱法,即用一宽谱光源注入光纤,观测透射谱的损耗峰。实验中用的是英国 York 公司生产的光纤分析仪。将两根经曝光处理并

经端面处理后的光纤分别放置于光纤分析仪上,变化光源波长,观测谱图,结果发现普通光纤未出现异常现象,高掺锗光纤损耗谱如图 3 所示,图中纵坐标为光纤透射光功率,主要有宽带

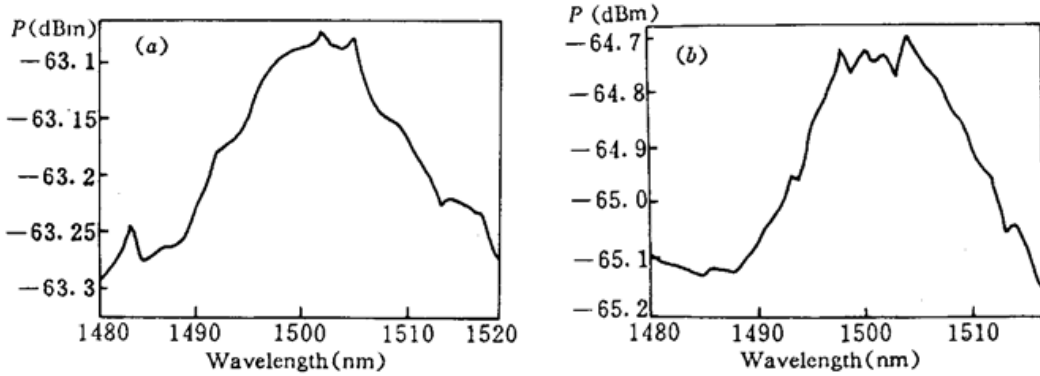


Fig. 3 Transmission spectrum of a Ge doped fiber (a) before exposure; (b) after exposure

光源功率决定,图 3(a) 为高掺锗光纤紫外曝光前的损耗谱,图 3(b) 为 60 min 曝光后的损耗谱,和图 3(a) 相比较,在 1505 nm 附近出现三个损耗峰,最大损耗值约 3%左右,说明有光栅的存在。图中三个损耗峰的出现是由于光纤在长时间的曝光过程中极微小的移动引起的。由于测量设备的最小扫描步长只能达到 1 nm,分辨率不够,所以图 3(b) 并未完全详细地反映出损耗峰的真实情况,但它已说明了布喇格反射现象的存在。图 4 是在同样的实验条件下,将光纤旋转一定的角度,并进一步消除震动,曝光 60 min 后的结果,它是采用剪断法,即将带有 FBG 的光纤损耗谱和剪掉 FBG 的光纤损耗谱相除而得到的。可以看出,在 1548 nm 附近出现了比较明显的损耗峰,显示出光纤中已写入了 FBG。

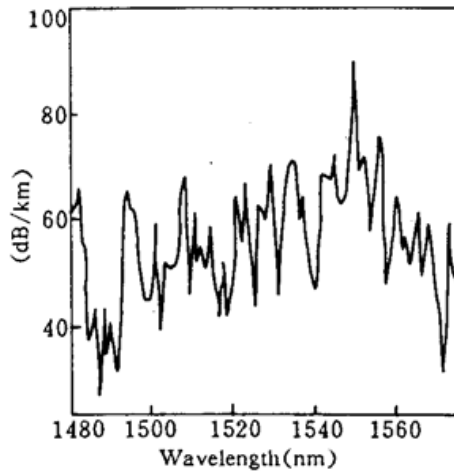


Fig. 4 Transmission spectrum of a fiber after changing the angle between fringe and the fiber, measured by a cutting method

### 4 结 论

通过我们的实验,验证了掺锗光纤对 266 nm 紫外光波的吸收作用,观察到了由此制成的 FBG 现象。我们准备进一步提高有效写入光功率,延长曝光时间,并对光纤进行增敏处理,以期制出更好的 FBG。同时,我们已在制作方法上进行了新的探索,其结果不久将发表。

## 参 考 文 献

- 1 M. Josephine Yuen. Ultraviolet absorption studies of germanium silicate glasses. *Appl. Opt.*, 1982, 21(1): 136~140
- 2 K. O. Hill, B. Malo, F. Biodeau *et al.*. Photosensitivity in optical fibers. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 1993, 23: 125~157

## Fabrication of Fiber Bragg Gratings by Fourth Harmonic of a Nd : YAG Laser

Wang Xiangyang   Zha Kaide   Liao Yanbiao

(Dept. of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Zhang Dongxiang   Zhang Xiulan   Feng Baohua

(Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

**Abstract** In this paper, the fabrication of fiber Bragg gratings by the fourth harmonic of a Nd : YAG laser is described. This is the first report of writing with this kind of ultraviolet light source. The spatial and temporal coherence of laser beam is improved by applying a F-P etalon and a diaphragm of small aperture. The fiber was placed in an interferometer and exposed for 60 minutes. As a result, about 3% reflection was observed at 1505 nm.

**Key words** fiber Bragg gratings, fourth harmonic of Nd : YAG laser, holographic interferometer