

载氢光纤光折变的测量研究

赵 浩 丁 浩 刘 斌 陈高庭 陈新之 方祖捷

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

倪国权 周汝枋 翟华金

(中国科学院上海光机所 量子光学(联合)实验室, 上海 201800)

提要 报道了用光纤马赫-陈德尔干涉仪测量载氢通信光纤在 193 nm ArF 准分子紫外激光辐照下光致折射率变化的过程, 为进一步制作光纤光栅器件和分析光折变机理提供了有用的实验数据。

关键词 紫外光折变, 光纤, 光折变测量

1 引 言

自从 Hill 小组发现了掺锗光纤在 488 nm 氩离子紫外激光辐照下产生光折变效应以来^[1], 对光纤材料光折变机理及应用的研究做了大量的工作。利用光折变效应能在光纤上造成折射率的永久性改变, 可以直接在光纤上写入光栅, 从而使光纤光栅的制作过程变得简单, 成本下降, 预计光纤光栅及其演变的器件将在未来的光通信和光纤传感领域得到广泛的应用。

大多数商用通信光纤实际上都有一定程度的光敏性, 但由于光致折射率改变量太小, 很难用来做成实用器件, 所以早期的研究都是在高掺锗或其他特殊光纤上进行的。近年来发现用火焰水解和载氢处理的方法可以提高普通通信光纤的光敏特性, 如对于掺锗 3% 的普通光纤, 光折变量大约只有 3×10^{-5} , 而经过载氢处理的普通光纤, 在 242 nm 的辐照下, 光折变量可达到^[2] 5.9×10^{-3} 。242 nm 氩离子倍频激光, 248 nm KrF 准分子激光和 193 nm ArF 准分子激光已被证明是光纤材料光折变效应敏感的光源^[3]。

目前大部分研究集中在光折变光纤光栅的制作技术上, 如全息干涉法、相位板和逐点法等, 而对光折变效应机理的研究不多, 机理也不甚清楚, 所以对光致折射率变化进行定量的测量是十分有意义的, 它将有利的对机理的分析, 也可为进一步制作光栅提供可靠的实验数据。光致折射率变化一般是通过光纤预制棒或对已制成光栅某些参数(如布拉格波长反射率)的测量来估算的。本文采用光纤干涉仪对光纤的折射率变化进行直接实时测量, 以便在实际制作光纤光栅前得到折射率相对激光辐照强度的变化关系。

2 实 验

待研究的光纤是普通商用的 $9\ \mu\text{m}$ 芯径的单模光纤, 实验前在室温 150 atm 的氢气中处理了约 7 周。一般认为这样长的处理时间已足够能使纤芯中的氢溶解度达到其饱和值, 约 $100\ \text{ppm/atm}^{[4]}$ 。处理后纤芯的氢浓度可达 $4 \times 10^{26}\ \text{m}^{-3}$ 。所有的测量实验在光纤氢处理后 96 h 内进行。

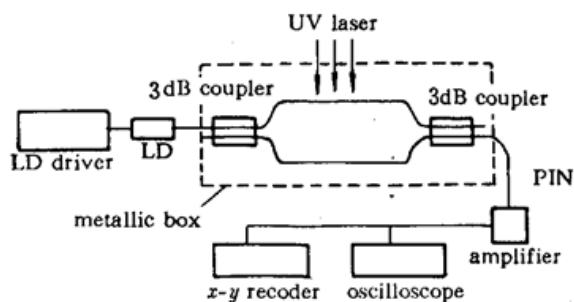


Fig. 1 Experiment arrangement for measurement of photorefractive index change

实验测量是在如图 1 所示的马赫-陈德尔型光纤干涉仪上进行的。干涉仪的光源采用 $1.3\ \mu\text{m}$ 的半导体激光器。待测量的载氢光纤接入干涉仪的一臂(测量臂), 普通光纤接入另一臂(参考臂)。当测量臂受到紫外激光辐照时, 其折射率发生 Δn 的变化, 则引起测量臂光程变化 $L\Delta n$ (L 为发生光折变的光纤长度), 两相干光的相位差为 $\Delta\varphi = (2\pi L\Delta n)/1.3\ \mu\text{m}$ 。通过对干涉输出信号的分析可以得到折射率变化量 $\Delta n = (N \times 1.3\ \mu\text{m})/L$, N

为干涉光强的峰值数。

在我们的实验条件下, 光纤折射率变化是一个慢变过程, 要求测量用的干涉仪能接收慢变的干涉强度信号, 同时能屏蔽掉外界的扰动干扰。干涉仪输出的光信号经光电二极管 PIN 转换为电信号, 我们采用了抑制直流漂动的精密直流放大器 (AD524) 对这一信号进行放大。放大后的信号用示波器实时监控并用一 $x-y$ 记录仪将结果记录下来。对干涉仪的外界干扰主要来自于空气的扰动、环境温度的漂移等, 因此整个干涉仪被密封在一金属盒中, 可以起到排除外界空气扰动的影响, 同时可保持相对的热稳定性, 在紫外光辐照时金属盒还可以起到散热作用, 使干涉仪迅速达到热平衡, 从而减轻热效应干扰。

实验中采用 $193\ \text{nm}$ ArF 准分子激光器作为辐照光源, 其脉冲工作频率为 $8\ \text{Hz}$, 每个脉冲能量为 $18\ \text{mJ}$ 。激光束通过干涉仪密封盒上的一个窗口照射到测量臂光纤上。

3 实验结果和分析

为了保证实验结果的可信性, 我们先对干涉仪本身作了一些必要的测量, 以了解干涉仪的抗外界干扰性能和散热性能。

图 2 (a) 是测试干涉仪的静态漂动特性曲线的一段。曲线开始时的几次振荡是人为引入一较强热扰动的结果, 停止加热后振荡很快地平息下来, 说明干涉仪有很好的散热特性, 在受到热干扰的情况下能很快地达到热平衡状态。随后在静态漂动幅度在 15 min 内不超过干涉动态范围的 $1/5$, 由漂动造成的干涉仪两臂的光程差的变化不超过 $0.56\ \mu\text{m}$, 因此可排除外界扰动对慢变化光折变测量的影响。

图 2 (b) 是对参考臂(非载氢光纤)进行紫外激光辐照时获得干涉仪输出。在所观察的 25 min 内(图中只显示了一部分)漂动一直没有超出干涉动态范围的 $2/3$ 。由激光不对称辐照引起的热效应产生的光程差小于 $1.3\ \mu\text{m}$, 即干涉仪光源的一个波长。只要在相同的时间内由光折变引起的光程差远大于 $1.3\ \mu\text{m}$, 上述热效应便可忽略不计。

让紫外激光单独照射测量臂(载氢光纤), 得到了图 2 (c) 所示的干涉强度呈正弦形变化的

结果。我们还做了一个对比实验,让紫外激光同时照射测量臂和参考臂(对称辐照),以彻底排除热效应的影响,结果得到了与图 2(c) 一样的干涉图。这个结果是在意料之中的,因为只有载氢光纤才对紫外光产生明显的折射率变化。

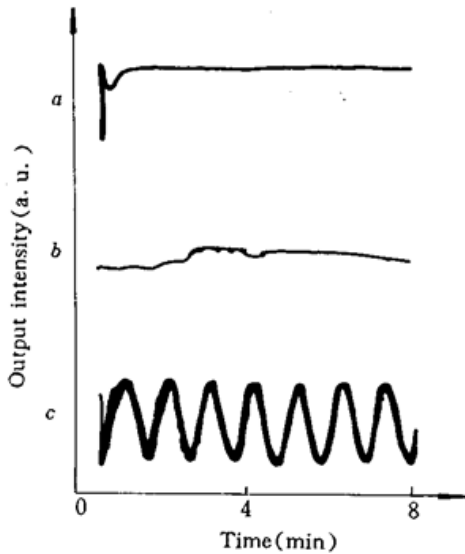


Fig. 2 Output signals of the fiber interferometer

- (a) static characteristic measurement;
 (b) in standard optical fiber;
 (c) in hydrogen-loaded optical fiber

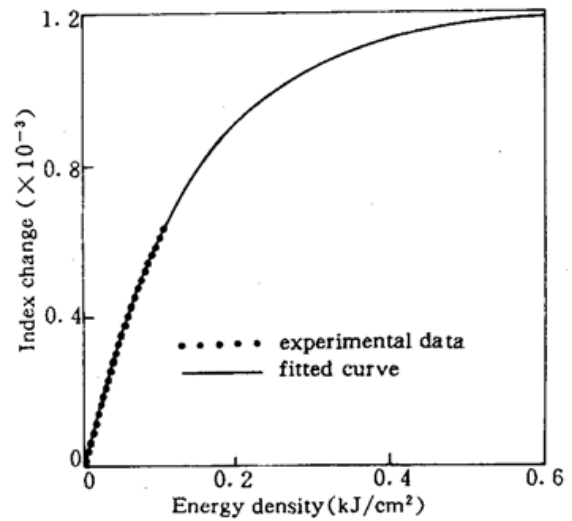


Fig. 3 Refractive index change as a function of UV irradiation dose

图 3 是根据图 2 (c) 推算出来光纤折射率变化量相对于紫外激光辐照量的变化曲线。我们对其进行了数值拟合,发现非常接近关系式

$$\Delta n = \Delta n_s \left[1 - \exp\left(-\frac{E}{E_0}\right) \right]$$

其中 Δn_s 为光致折射率变化量的饱和值, E_0 为紫外光辐照的特征剂量。在本实验条件下,我们得到 Δn_s 为 1.2×10^{-3} , E_0 为 0.14 kJ/cm^2 。特征剂量值与国外报道中使用同样波长光源所得到的结果相接近,反映了光纤载氢处理后的共性^[5]。而光折变饱和量比文献[2]的结果小,说明它与光纤本身的参数、载氢处理过程,特别是与辐照光源的波长等有很大的关系,有待我们进一步研究。但是折射率 10^{-3} 的变化量已能满足制作实用器件的要求,因此在普通通信光纤上制作光折变光栅是可行的。使用普通通信光纤可使光折变光栅光纤与其使用环境中其他通信光纤的耦合变得简单,损耗减小,因此有诱人的发展前景。

参 考 文 献

- Hill K. O., Fuji Y., Johnson D. C. *et al.*. Photosensitivity in optical fiber waveguides; application to reflection filter fabrication. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, 32: 674
- Lemaire P. J., Atkins R. M., Mizrahi V. *et al.*. High pressure H₂ loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO₂ doped optical fibers. *Electr. Lett.*, 1993, 29(13): 1191~1192
- Hill K. O.. Photorefractive fiber devices and application. CLEO '94, 1994, paper CWK1. 241
- Shackelford J. F., Studt P. L., Fulrath R. M.. Solubility of gases in glass I. He, Ne, and H₂ in fused silica. *J. Appl. Phys.*, 1972, 43: 1619
- Albert J., Malo B., Bilodeau F. *et al.*. Photosensitivity in Ge-doped silica optical waveguides and fibers with 193 nm light from an ArF excimer laser. *Opt. Lett.*, 1994, 19(6): 387~389

Experimental Study on Photorefractivity in Hydrogen-loaded Fibers with 193 nm Light

Zhao Hao Ding Hao Liu Bin Chen Gaoting Chen Xinzhi Fang Zujie
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Ni Guoquan Zhou Rufang Zhai Huajing
(Joint Laboratory for Quantum Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract Photorefractive index changes in hydrogen-loaded germanosilicate fibers under the irradiation of 193 nm light were measured using a fiber Mach-Zehnder interferometer. Experimental results obtained are useful for fabrication of fiber gratings and understanding of the photorefractive effect.

Key words UV photorefractivity, optical fiber, photorefractivity measurement

单一谱线 1.3188 μm Nd^{3+} : YAG TEM_{00} 模激光器的研制

1.3188 μm Nd^{3+} : YAG 单一谱线及高光束质量的激光有极其重要的用途。目前开展单一谱线的 1.3188 μm 研究,一般需要采用两片标准具才可完全甄选出单谱线,但由于标准具的介入,从中要再选模出较大功率的 TEM_{00} 模激光是比较困难的。我们在这一工作中,采用特殊介质膜系,省去了标准具,实验中在 6 kW 电功率输入下得到 47 W 多模连续 1.3188 μm 激光输出,采用直径为 1.3 μm 光阑选模,得到了 7.8 W 远场发散度小于 3 mrad 的 TEM_{00} 模激光输出,该结果高于目前国际报道的在 1.319 μm 波长 3.5 W 的产品水平。采用 Ge 光敏二极管及宽带示波器在 10 Hz~50 kHz 范围内扫描未出现尖峰,用 44 W 平面光栅单色仪扫描也未见到除 1.3188 μm 之外的其他谱线。

实验中采用 $\phi 6 \times 100$ mm 的 Nd: YAG 棒,腔长为 450 mm 的平面腔。由于 Nd^{3+} : YAG 材料的跃迁截面,在 1.064 μm 有较大的跃迁截面,这一谱线的激光必需首先抑制掉。其次 1.3188 μm 与 1.338 μm 跃迁截面相当,如不采取措施往往两种波长将会同时输出。实验中全反镜 M_1 对 1.064 μm 高透,对 1.3 μm 宽带全反,输出镜对 1.3188 μm 反射率 $R = 97\%$,对 1.338 μm 反射率 $R = 94\%$,实现了 1.3188 μm 单模单谱线运转。可见若采用标准具不易分离的 1.320 μm 谱线,在本实验装置中很容易被抑制掉。这是因为采用标准具中 1.320 μm 与 1.3188 μm 相距 2 nm,由于单个标准具分辨带宽不够尖锐,极易造成 1.320 μm 及 1.3188 μm 损耗分布对 1.320 μm 有利,从而出现两者同时起振,而且两者之间能量分布不稳定,甚至于功率稳定性变差。而我们实验采用介质镜节选的办法,由于 1.320 μm 及 1.3188 μm 波长极相近,腔损耗相近,但由于 1.3188 μm 跃迁截面是 1.320 μm 的四倍,所以在自由运转时 1.320 μm 竞争不过 1.3188 μm 谱线,自然就被抑制了。我们还发现有趣的现象,如果输出镜反射率在 1.3188 μm 和 1.338 μm 相差不大时,如 $R_{1.3188} = 97\%$, $R_{1.338} = 95\%$ 时,在不加选模光阑时虽然可获得单一谱线输出,但加入光阑后两条谱线却同时起振。这是由于加入光阑选模后,激光的纵模特性较为显著,直线腔的驻波效应产生的空间烧孔效应引起的。此外实验中我们曾分别采用直径 $\phi 6$ mm, $\phi 5$ mm 两种棒,实验结果发现 $\phi 5$ mm 的棒较易选出高功率的 TEM_{00} 模,但 $\phi 6$ mm 的棒相比之下其功率的瞬时及长时间稳定性较好,这是因为粗棒比细棒对外部环境的缓冲能力高的缘故。

(林文雄 周玉萍 曾瑞荣 沈鸿元)

中国科学院福建物构所,福州 350002 1995 年 9 月 18 日收稿)