

文章编号:1001-9014(2006)01-0064-03

## 波长扫描法测量光纤偏振模色散研究

吴玉年, 黄志明, 陈育伟, 褚君浩

(中国科学院上海技术物理研究所 红外物理国家重点实验室, 上海 200083)

**摘要:**利用基于波长扫描法而改进的测试装置对一段很短长度(2m)保偏光纤进行了测量,采用极值密度法计算光纤的偏振模色散.在计算过程中采用了一种有效的信号提取方法,大大降低了噪声的影响,提高了测量的准确度.

**关键词:**光纤;偏振模色散;噪声;波长扫描法

**中图分类号:**TC115.3+39 **文献标识码:**A

### MEASUREMENT OF POLARIZATION MODE DISPERSION IN FIBER USING WAVELENGTH SCANNING METHOD

WU Yu-Nian, HUANG Zhi-Ming, CHEN Yu-Wei, CHU Jun-Hao

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, CAS, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** An improved experimental device based on the wavelength scanning method was developed to measure the polarization mode dispersion of polarization maintaining fiber. The algorithm of density of extrema was used to calculate the polarization mode dispersion of fiber. A method to reduce the affection of the noise was applied and the accuracy of the measurement was improved.

**Key words:** fiber; polarization mode dispersion; noise; wavelength scanning method

#### 引言

作为现代长途干线通信主体的光纤通信一直朝着高速率、大容量和长距离的方向发展.在单信道速率不断提高(现已发展到 10Gb/s,正向 40Gb/s 发展)的情况下,偏振模色散(PMD)对系统的影响越来越明显.偏振模色散与其他色散一样也会限制系统的传输带宽和传输距离,使脉冲展宽,增加数字通信系统的误码率.正是由于偏振模色散对高速大容量通信系统有着不可忽视的影响,因此必须对光纤的偏振模色散进行检测,越来越多的光纤生产厂家也将偏振模色散列为出厂达标标准之一.偏振模色散的测量方法按照其定义可以分为:时域法和频域法<sup>[1,2]</sup>.时域法是测量光纤输出端的输出光的自相关函数的均方根宽度  $\delta\tau$  来度量偏振模色散的大小;频域法则测量光纤输出端的输出光的两个偏振主状态之间的 DGD(群时延差)  $\langle\Delta\tau\rangle$  作为偏振模色散的度量.

本文报导基于波长扫描法<sup>[2]</sup>而改进的一种光

纤偏振模色散测量装置,该装置大大提高 PMD 的可测范围,所测的单模光纤长度长可以至几公里,短可以至几十米,甚至几米;这种测试系统具有操作简单,成本低的特点.在采用极值密度法计算 PMD 时,噪声引起的极值点将会使计算结果产生偏差,影响测量结果的测量精度.因此我们通过设定极值点阈值的方法来比较有效地去除噪声引起的影响.

#### 1 光纤偏振模色散的测量

偏振模色散是波长的函数,与光纤中存在的双折射息息相关,且它对外界的温度和光纤所受的应力等非常敏感<sup>[3]</sup>.因此在实际测量中常取它的平均值  $\langle\Delta\tau\rangle$  来度量大小,这一平均值可以是对不同波长的平均;也可以是对不同时间的平均.

波长扫描法常用的测试装置有两种布局,一种是用可调谐激光器作为光源,检偏器后用探测器进行接收;另一种是用 LED 作为光源,检偏器后用光谱仪进行接收.改进的测试装置如图 1 所示,将钨灯和单色仪组合成可调谐光源,以此增加了波长可调

收稿日期:2005-04-05,修回日期:2005-10-30

基金项目:上海市科委重大资助项目(02DJ14001).

作者简介:吴玉年(1972-),男,山东章丘人,中科院上海技物所博士,主要研究方向:光学仪器及红外光谱.

Received date: 2005-04-05, revised date: 2005-10-30

谱的范围,使光源的带宽不再是制约系统可测的光纤的最小 PMD 的因素,而仅仅取决于被测样品的工作带宽。

通过光纤的光束经过检偏器入射到探测器,探测器探测到的能量是光频的函数. 检偏器输出的光束能量与入射进检偏器的光束能量的比值在不同波长时,形成一条透射光谱曲线<sup>[4,5]</sup>

$$T(\omega) = \frac{P_{out}(\omega)}{P_{in}(\omega)} = \frac{1}{2}(1 + s(\omega) \cdot \mathbf{p}) \quad (1)$$

上式中  $\mathbf{p}$  是 Stokes 空间单位矢量,方向指向检偏器的输出光轴方向, $s(\omega)$  表示检偏器输出光束偏振态的 Stokes 空间单位矢量,从式(1)中可以看出  $T(\omega) \in [0, 1]$ .

在计算 PMD 时,我们采用了极值密度法。

$$\langle \Delta\tau \rangle = \frac{k\pi N_e}{\Delta\omega} = \frac{kN_e\lambda_1\lambda_2}{2c(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (2)$$

上式中  $k$  是耦合系数,无模式耦合时  $k = 1$ ;强模式耦合时  $k = 0.81 \sim 0.85$ <sup>[6]</sup>,  $N_e$  是透射谱曲线上出现的极值点的个数, $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  是扫描窗口的起止波长, $c$  是光速。

## 2 结果讨论

利用图 1 所示的测试装置对一段长 2 米的保偏光纤进行了测量,保偏光纤出射光束经过检偏器前后的透射光谱如图 2 a 所示。

由于样品是保偏光纤,耦合系数  $k = 1$ ,根据等式(2)可以得到  $\langle \Delta\tau \rangle = 5.148ps$  这显然大大高于理论计算<sup>[7]</sup>。从图 2 a 可以看到一些起伏较小的极值点,这些极值点是由于系统中存在的噪声引起的,由于这些极值点的存在将导致极值点数  $N_e$  增多,从而过高地估计了所测光纤的 PMD,带来测量误差。因此我们提出了一种信号提取方法以便将噪声所引起的极值点去除掉,以此提高测量的准确度。

我们装置所采用的可调谐光源增加了测量的带宽,使装置所能测的最小的 PMD 大大的降低了,如

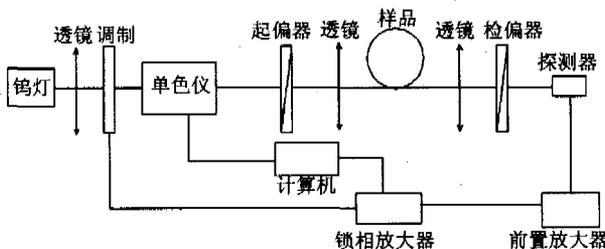


图 1 改进的波长扫描法 PMD 测量装置  
Fig. 1 The improved FA measurement device

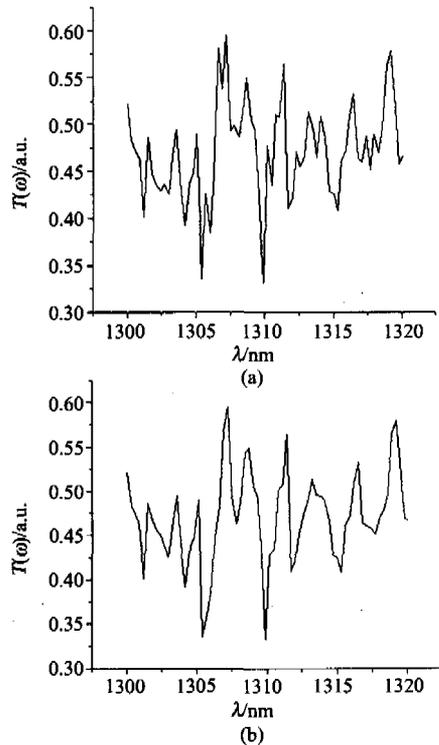


图 2 a. 保偏光纤输出光通过检偏器前后的能量变化曲线, b. 处理去噪声后的透射光谱  
Fig. 2 a. The transformation curve of energy of light output the PMF  
b. The transmission spectrum after algorithm of density of extrema

图 3 所示是对单模光纤在 300nm 扫描窗口扫描得到的扫描光谱图,这时其在 1300nm 处测得的 PMD 为 0.0648ps. 因此就可以通过测量薄膜或晶体的 PMD 大小计算得到薄膜或晶体的在某波长处的传播常数差,从而可以表征被测样品表面的各向异性。

首先我们任意选取一个极值点,将它的传输比  $T(\omega)$  与它左边相邻的极值点的传输比  $T_L(\omega)$  的差作为  $\alpha_1, \alpha_1 = |T(\omega) - T_L(\omega)|$ ;再求出与它右边相邻的极值点的传输比  $T_R(\omega)$  的差作为  $\alpha_2, \alpha_2 = |T(\omega) - T_R(\omega)|$ . 这样每一个极值点都有一一对应的  $\alpha_1, \alpha_2$ , 在所有极值点的  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  中找出最大值  $\alpha_{max}$ , 然后再根据系统噪声的大小来确定一个噪声系数  $\epsilon$ , 这时我们会得到一个极限高度  $\alpha = \alpha_{max} \epsilon$ , 设它为极值点阈值. 把每一个极值点的  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  与极值点阈值  $\alpha$  来比较, 当同时满足  $\alpha_1 > \alpha, \alpha_2 > \alpha$  时, 就认为这个极值点是一个真正的极值点。

同样在上述的测量时,采用这种信号提取方法 ( $\epsilon = 0.3$ ) 得到了如图 2b 所示的透射光谱图,显然根据图 2b 计算得到的被测光纤的 PMD 为 2.574ps, 与厂家提供的拍长而计算得到的被测光纤的 PMD

值一致.但是采用这种方法,合理的选取噪声系数  $\varepsilon$  是保证测量系统的准确度的关键,噪声系数  $\varepsilon$  选取的过小,将不会有效地去除噪声的干扰;而噪声系数  $\varepsilon$  选取的过大,将会去除真正的极值点,这都将会影响最终的测量准确度.

如图 4 所示对保偏光纤进行 40 次测量所得到光纤的 PMD 结果与理论计算所得到光纤的 PMD 关系图,从图中可以看出测量结果与理论计算结果相一致,从而证明设定极值点阈值的方法来去除噪声对测量结果的影响是行之有效的,同时说明测试结果是准确的,测试装置是可靠的.

### 3 结论

利用改进的波长扫描法测试装置对一段保偏光纤进行了 PMD 测量,所测的结果与理论计算的数据相一致,证明了测试装置的可靠性.同时这种装置具有高的灵敏性,可以测定其它材料的各向异性.利用极值密度法来计算被测光纤的 PMD 时,采用了设定极值点阈值的方法来有效地去除噪声的影响,在这种方法中合理的选择噪声系数是保证测量准确度的关键.

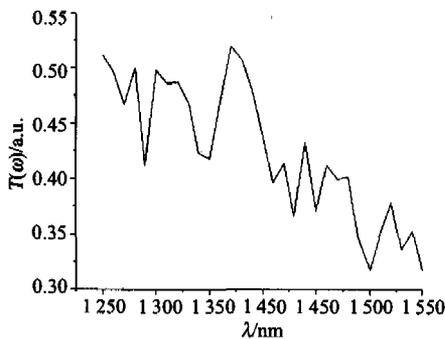


图 3 单模光纤扫描光谱图

Fig. 3 The spectrum of single mode fiber

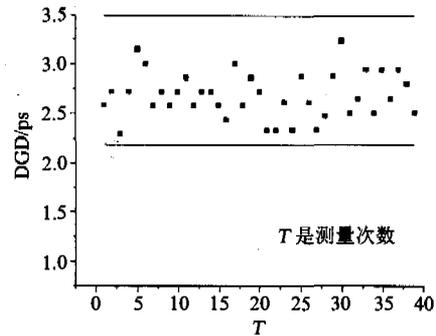


图 4 测量结果与理论计算的关系图

Fig. 4 The relation fig between the measurement result and theory calculation

### REFERENCES

- [1] Gisin N, Passy R, Von der Weid J P. Definitions and measurements of polarization mode dispersion: interferometric versus fixed analyzer methods [J]. *IEEE Photon. Technol.* 1994, 6(6): 730—732.
- [2] Gisin N, Pellaux J P. Polarization mode dispersion: time versus frequency domains [J]. *Opt. Commun.*, 1992, 89: 316—323.
- [3] GUAN Rong-Feng, LI Zhan-Tao, HOU Bi, et al. Analysis on stress-inducing birefringence of “pseudo-rectangle” polarization-maintaining of optical fiber [J]. *J. Infrared Millim. Waves.* (关荣锋,李占涛,侯斌等.类矩形保偏光纤应力双折射分析,红外与毫米波学报), 2005, 24(1): 45—48.
- [4] Poole C D, Favin D L. Polarization-mode dispersion measurements based on transmission spectra through a polarizer [J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1994, 12(6): 917—929.
- [5] Galtarossa A, Palmieri L, Tambosso T. Improving the accuracy of the wavelength scanning technique for PMD measurements [J]. *IEEE Photon. Technol.*, 2000, 12(2): 184—186.
- [6] Galtarossa A, Gianello G, Someda C G, et al. In-field comparison among polarization-mode-dispersion measurement techniques [J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1996, 14(1): 42—49.
- [7] Kikuchi K, Okoshi T. Wavelength-sweeping technique for measuring the beat length of linearly birefringent optical fibers [J]. *Opt. Lett.*, 1983, 8(2): 122—123.