

# 单模光纤拍长度的扭转测量法\*

黄肇明 姚寿铨 沈鸿元 曾瑞荣  
(上海科技大学物理系) (福建物质结构研究所)

## 提 要

本文通过以圆偏振光入射于扭转的单模光纤并测定输出偏振光的偏振椭圆率 $e$ 。得到光纤的拍长度。工作在 $1.3\mu\text{m}$ 的半导体激光器和Nd:YAP激光器用作单色光源。本方法的优点是不须预先确定光纤的偏振主轴的位置而且拍长度的计算也很容易。

## 一、引 言

对于无剩余应力存在的圆形截面理想单模光纤,存在两个简并的相互正交的偏振模式,它们以同样的相速度沿光纤传输,即光纤不存在偏振色散。可是,实际光纤总存在或大或小的应力,截面也多少有些椭圆化。这种应力或几何形状的不对称性导致上述两种简并的偏振模式退化,不再以共同的相速度沿光纤传输,从而产生偏振色散。我们把沿光纤传输的波矢量之差 $\Delta\beta = \beta_x - \beta_y$ 称为光纤的双折射率,式中 $\beta_x$ 和 $\beta_y$ 分别为两个正交偏振模式的传播常数。由此引申出光纤拍长度的概念:

$$L_b = (2\pi / \Delta\beta), \quad (1)$$

它表示在单模光纤中传输的偏振光状态每经过 $L_b$ 距离之后就回复到原来的状态。测量光纤拍长度的方法很多,本文采用的是测量常规通信光纤的一种比较简便的方法——圆偏振输入的扭转光纤法。

## 二、测量方法

将圆偏振光注入到一段单模光纤的固定不动的输入端,如图1所示,其输出端则固定在

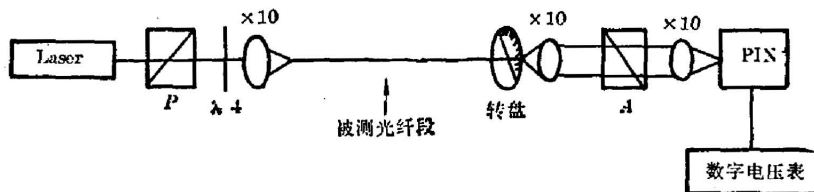


图1 测量系统方框图

Fig. 1 Block diagram of the measuring system

收稿日期: 1985年2月28日

\* 本稿件曾在1984年11月(合肥)光纤传感器学术讨论会及1985年(北京)国家科委光纤传感器座谈会上宣读与交流。

一可旋转的圆盘上。圆偏振光经过长度为  $z$  的光纤传输之后，两个出射的偏振态之间存在相位差  $\Delta\delta$ ，使出射光变成椭圆偏振光。当转盘被扭转，扭转角为  $\chi$ ，则出射的椭圆偏振光的状态将改变，偏振椭圆率  $\varepsilon_c$  (下标  $c$  表示圆偏振输入) 可表示为<sup>[1]</sup>

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_c &= |\sin \Delta\delta| = (2\eta/1+\eta^2)(1+\eta \cos^2 \varphi)^{1/2} |\sin \varphi|, \\ \eta &= [\Delta\beta \cdot z / |\chi| (2-g)], \\ \varphi &= [\chi^2(2-g)^2 + (\Delta\beta \cdot z)^2]^{1/2} / 2, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中  $g$  是光纤的光弹性系数， $z$  是光纤扭转部分的长度。

另一方面，从实验角度看，椭圆偏振光的椭圆率可用下式来表示：

$$\varepsilon = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}), \quad (3)$$

$I_{\max}$  是转动分析器得到的最大光强， $I_{\min}$  是最小光强，在不同扭转角度下可以测出一组  $\varepsilon_c$  并作出曲线。再利用 (2) 式调节  $\Delta\beta$  和  $g$  与实验曲线作最佳拟合，这样就可以确定  $\Delta\beta$  和  $g$  值。通常，对石英光纤  $g$  近似是一个常数  $g=0.14 \sim 0.15$ <sup>[1]</sup>。这样，只要调节一个参数  $\Delta\beta$  作拟合就方便得多了。

### 三、测量结果

实验使用两种激光器来测定单模光纤在  $1.3 \mu\text{m}$  的拍长度。

#### 1. 半导体激光器为光源

半导体激光二极管\*在脉冲输出情况下，光路也作适当简化，如图 2 所示。探测器是 PIN 光电二极管，输出信号由 SR13A 型示波器读出。对常规的通信单模光纤三次测量的结果列于表 1。光纤参数是外径  $120 \mu\text{m}$ ，芯径  $10 \mu\text{m}$ ，截止波长  $\lambda_c=0.98 \mu\text{m}$ 。三次测量是用同一光纤每次截去一段来进行的。每次测量均顺时针方面与反时针方向，每隔 10 度测一次；

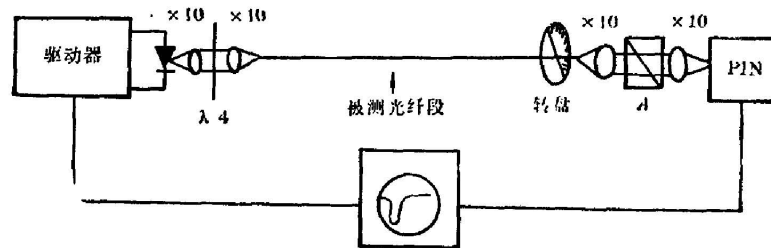


图 2 半导体激光源的测量系统方框图

Fig. 2 Block diagram of the measuring system using a laser diode as the source

表 1

次 数	长度 (cm)	$\Delta\beta (^{\circ}/\text{m})$	$L_b (\text{m})$	$\sigma$
1	65.7	297	1.21	0.10
2	63.5	299	1.20	0.075
3	42.7	342	1.02	0.048

\* 北京半导体研究所研制。

然后将顺与反时针方向得到的  $\varepsilon_0$  取平均并画出曲线。最后把实验曲线与理论曲线作拟合, 拟合后的样本标准差列于表 1 的最后一行。这三次平均拍长度  $L_b = 1.14 \text{ m}$ , 样本标准误差为 0.074。

## 2、Nd:YAP 固体激光为光源

Nd:YAP 固体激光器\*工作在  $1.34 \mu\text{m}$ , 低阶模式连续输出, 输出激光功率约 3 W, 光功率波动不大于 6%, 发散角接近  $1 \text{ m rad}$ , 输出光接近线偏振, 实验系统的概貌如图 3 所示。在光纤的输出端用折射率为 1.52 的溴化萘溶液去除包层模, 并用红外变像器观察输出光的远场光斑模式, 如图 4 所示。它是一个良好的单模圆斑。探测器仍为 PIN 光电二极管, 输出接到 Keltley-195 型数字万用表。这个电表每取样 100 点后自行平均求取平均值作为一次测量的结果, 这样大大降低了光强波动的影响。使用的光纤外径为  $120 \mu\text{m}$ , 芯径为  $9 \mu\text{m}$ , 截止波长为  $0.78 \mu\text{m}$  的常规单模通信光纤, 结果列于表 2。三次测量获得平均拍长度  $L_b = 26.5 \text{ cm}$ , 样本标准差为 0.069。

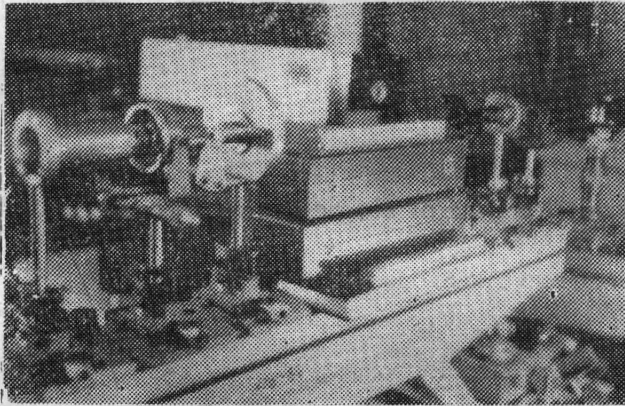


图 3 Nd:YAP 实验装置

Fig. 3 Experimental setup using a Nd:YAP laser

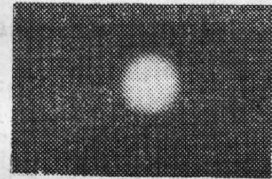


图 4 单模光纤的光斑

Fig. 4 Mode pattern of the single-mode fiber

表 2

次 数	长度 (cm)	$\Delta\beta(^{\circ}/\text{m})$	$L_b(\text{m})$	$\sigma$
1	58.3	1178	30.6	0.106
2	55.3	1324	27.2	0.044
3	43.0	1651	21.8	0.056

## 四、讨 论

(1) 本文的数据处理方法是简单的, 只要用一台 Texas 公司的 TI59 程序计算器就足以对付所需的数据拟合, 花费的时间也很短。

(2) 半导体激光器与固体激光器比较, 使用简单, 缺点是光强弱, 调整光路要花费一些时间。此外, 因半导体激光器在脉冲状态下工作, 平均光强很低, 要观察光斑来判别光纤传输模式是较困难的。

(3) 固体激光器具有:

\* 中国科学院福建物质结构研究所研制。

(A) 输出光功率强, 可以直接观察用匹配液去除包层模的情况, 并直接观察光斑的模式, 以判定系统是否在单模下工作;

(B) Nd:YAP 激光器输出光的偏振度比半导体激光器高, 这对实验有利;

(C) 输出的光功率最大可达 43 W, 有很大的余量, 这有利于今后进一步稳定光功率的波动。在许多精密测量中, 稳定光功率是很重要的。

最后, 本方法对于特长或特短的光纤拍长度测量会遇到困难, 这类光纤拍长度的测量需要寻找新方法。

作者们对福建物质结构研究所周玉平、于桂芳和廖宏等同志给予的种种帮助和提供的诸多方便深表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] M. Monexie, P. Lamouler; *Electron. Lett.*, 1981, 17, No. 7 (Feb), 252.

## Twist measurement of beat lengths of single-mode fibers

HUANG ZHAOMING AND YAO SHOUQUAN

(*Department of Physics, Shanghai University of Science and Technology*)

SHEN HONGYUAN AND ZHEN RUIRONG

(*Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica*)

(Received 28 February 1985)

### Abstract

Beat lengths of single-mode fibers were measured by determining the output polarization ellipticity  $\varepsilon_o$  of a circularly polarized beam of light incident on the twisted single-mode fiber diode laser and a  $1.34\mu\text{m}$  Nd:YAP laser were used as monochromatic light sources. The advantage of this method is that preliminary determination of the position of the major polarization axis is not needed and calculations of beat lengths become very simple.