

Bow-Tie 光纤偏振特性的测试

陈翼强 黄肇明
(上海科学技术大学)

提 要

本文叙述了测试 Bow-Tie 光纤的拍长和偏振隔离度的简单光学系统和计算方法。
关键词: 光纤测量。

一、引 言

高双折射光纤是目前引人注目的一种特种光纤。这种光纤除用作为长距离传输线偏振光外, 现已广泛的应用于相干通信系统和各种传感器。高双折射光纤在不同的工作波长和状态下具有不同的偏振特性。在高双折射光纤研究初期, 人们感兴趣的是光纤在直的状态下的偏振保持特性, 因为当时研究这种光纤的主要目的是把它用于长距离通讯, 而整个相干通讯网络的质量优劣直接受到光纤偏振保持特性的牵制。最近, 研究已转移到光纤弯曲形变后的偏振特性。虽然直的高双折射光纤的两偏振模反映出相同的传输损耗, 但光纤一经弯曲, 两偏振模的传输损耗差急剧增大。因此, 在一定的波长范围内, 两偏振模经一定的传输距离后, 一偏振模的功率以辐射的形式逐渐消失, 而另一偏振模仍然以低耗单模单偏振的形式继续沿光纤传播或从光纤输出。这种弯曲的高双折射光纤环就可形成所谓的光纤偏振器。关于这个问题的实验结果早在 1983 年已有文献报道^[1~2], 理论分析可见文献[3~4]。高双折射光纤制成的偏振器和传感器等的性能主要取决于光纤本身的双折射性或拍长的大小。对于短拍长的光纤, 偏振器可工作在较宽的工作窗口, 而它的工作中心波长可由光纤的弯曲半径控制。

无论用作传输还是用作器件, 高双折射光纤的拍长是描述光纤质量的一个关键指标。对于光纤的制作和使用单位来说, 都需要了解或测试这一特性参数。尽管已报道有多种测试这一参数的方法, 但使用的测试手段或计算方法较复杂。本文将叙述一种在一般光学实验室容易建立的实验系统测试 Bow-Tie 光纤的拍长和偏振隔离度。

二、基本 原 理

如果与光纤快轴成 θ 角的线偏振光

$$\mathbf{E} = \cos \theta E_0 \mathbf{a}_x + \sin \theta E_0 \mathbf{a}_y, \quad (1)$$

入射到双折射光纤, 在光纤输出端光的偏振态一般为椭圆, 其场分量表为

$$E_x = \cos \theta E_0 \cos(\omega t - \beta_x Z), \quad (2a)$$

$$E_y = \sin\theta E_0 \cos(\omega t - \beta_y Z), \quad (2b)$$

式中 β_x 和 β_y 分别为两偏振模的传播常数; Z 是光纤长度。该椭圆的长半轴与光纤快轴的夹角 ϕ 由下式决定

$$\operatorname{tg} 2\phi = \operatorname{tg} 2\theta \cos(\Delta B Z). \quad (3)$$

式中两偏振模传播常数差 $\Delta B = \beta_x - \beta_y$ 定义为光纤的双折射, 它与拍长的关系为

$$L_b = \frac{2\pi}{\Delta B}. \quad (4)$$

一般有 $\Delta B > 0$, 故 L_b 总是大于零。由于三角函数的多值性, (4)式代入(3)式得

$$2n\pi + \cos^{-1} \frac{\operatorname{tg} 2\phi}{\operatorname{tg} 2\theta} = \frac{Z}{L_b} \cdot 2\pi. \quad (5)$$

其中 n 取 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。虽然(5)式的 ϕ, θ, Z 都可由实验测出, 但 n 是不定的整数, 因此拍长 L 不能由一次测量决定。这一困难可由多次切割光纤, 测量光纤输出端不同的椭圆偏振态来解决。设 Z_1 和 Z_2 分别为光纤前后两次切割的长度, 且其相应输出偏振态的椭圆长半轴与光纤快轴的夹角分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 , 则光纤的拍长可表为

$$L_b = \frac{2\pi \cdot \Delta Z}{\cos^{-1} \cdot \frac{\operatorname{tg} 2\phi_1}{\operatorname{tg} 2\theta} - \cos^{-1} \cdot \frac{\operatorname{tg} 2\phi_2}{\operatorname{tg} 2\theta} + (n_1 - n_2) \cdot 2\pi}, \quad (6)$$

式中 $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ 。如在测量中, 控制每次光纤的切割长度短于一个拍长(这条件容易在实验上实现), 这样, (6)式中的 $n_1 - n_2$ 取值只能为 0 或 1。在这一假设下, 并考虑 L_b 为大于零的参数, 则每次切割最多只能产生四个可能的拍长值。对于不同的 ϕ_1 和 ϕ_2 值, 这四个可能的拍长值是由(6)式分母项反三角函数值的不同组合而成。下面分别讨论所有三种可能的情况。且设 $\xi_1 = \cos^{-1} \frac{\operatorname{tg} 2\phi_1}{\operatorname{tg} 2\theta}$ 在 $0 \sim \frac{\pi}{2}$ 内取值。

1. ϕ_1 和 ϕ_2 异号, (6)式分母项的四个组合值为: $\pi + \xi_1 + \xi_2, \pi + \xi_1 - \xi_2, \pi - \xi_1 + \xi_2, \pi - \xi_1 - \xi_2$ 。

2. ϕ_1 和 ϕ_2 同号, 且 $|\phi_2| > |\phi_1|$, (6)式分母项的四个组合值为: $2\pi - \xi_1 + \xi_2, 2\pi - \xi_1 - \xi_2, \xi_1 - \xi_2, \xi_1 + \xi_2$ 。

3. ϕ_1 和 ϕ_2 同号, 但 $|\phi_2| < |\phi_1|$, (6)式分母项的四个组合值为: $2\xi + \xi_1 - \xi_2, 2\pi - \xi_1 - \xi_2, \xi_1 + \xi_2, \xi_2 - \xi_1$ 。

在某些特殊的情况下, 一次测量只给出两个或三个拍长值。以情况(1)为例, 当 $\xi_1 = \xi_2$, 一次测量只产生三个可能的拍长, 而当 $\xi_1 = 0$ 或 $\xi_2 = 0$ 时, 一次测量只给出两个拍长值。这可使测量的次数减少。

每次测量所得到的四个 L_b 中只有一个是真实的拍长值。而剩下的几个只是一些离散值, 因此, 比较多次测量的 L_b 值, 真实的拍长可容易的从一些离散值中选出。

三、测量装置及测试方法

一个椭圆偏振的偏振角和椭圆度可由一四分之一波片和一偏振器检测, 测试装置如图 1。

其中半波片 W_1 可在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内调节用来产生任意角度的线偏振光, 并可精确读

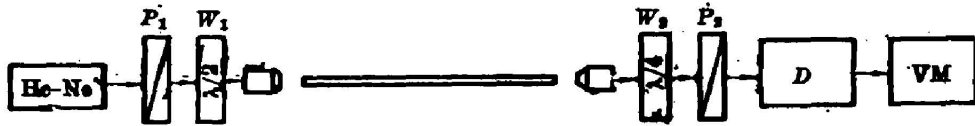


Fig. 1 Experimental arrangement for measuring beat length

数; P_1 是布儒斯特角偏振器; 四分之一波片 W_2 和偏振器 P_2 也可在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内旋转以搜寻消光位置。安上光纤后, 测试步骤如下:

(a) 先不置 W_2 , 调节 W_1 和 P_2 , 可方便地找到消光位置, 记下 W_1 的方位读数 θ_1 。这时光纤的输入线偏振光与光纤的快(慢)轴平行, 而 P_2 与输入线偏振光正交。

(b) 在 P_2 前放上 W_2 , 保持 W_1 和 P_2 不动, 调节 W_2 方位使电压表 VM 读数达极小。此时 D 处保持消光。在 $0 \sim 180^\circ$ 范围内, 有两个这样相互正交的消光位置, 分别对应于四分之一波片两主轴与光纤的双折射快慢轴相重合的位置。

(c) 使 W_1 的方位由 θ_1 增加至 $\theta_1 + \theta$ (θ 小于 45° , 本实验取 $\theta = 39^\circ$)。

(d) 调节 W_2 和 P_2 寻找新的消光位置, 记下读数 ϕ_1 。虽然调节中仍然出现两个相互正交的消光位置, 但最后的读数 ϕ_1 不变。

(e) 在保持测试系统及光纤不变的情况下, 切下一小段光纤, 重复步骤(d), 测得 ϕ_2 。并用读数显微镜测出切下光纤的长度 ΔZ 。

(f) 重复(e)的操作过程就可得到一系列的 L_b 值。从这一组 L_b 值内可容易的选出真正的拍长。

四、结果与讨论

我们对进口的 Bow-Tie 光纤进行了测试, 连续切割测试了五次。具体结果如表 1。

从表 1 可看出, 对应于每一次测量, 都有一个接近于 $L_b = 2.39 \text{ mm}$ 的会聚值, 而其它值则不存在这样的会聚点。我们的测试方法所得的结果与本所用加压法测试的数据一致。

在图 1 所示的测试装置中, 我们用了短波长的 He-Ne 激光源, 因此所测得的拍长只是对应于短波长的拍长。对于其它波长, 拍长可由下列关系得到

$$\frac{L_b(\lambda_1)}{L_b(\lambda_2)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (7)$$

式中 λ_1 和 λ_2 分别表示两不同波长, 其相应的拍长是 $L_b(\lambda_1)$ 和 $L_b(\lambda_2)$ 。在得出上式时, 类似于用波长扫描技术测试拍长的方法^[5], 我们已忽略了材料和波导色散效应。另外, 如要从实验上测试长波长的拍长, 可把测试装置作一小的变动, 即把图 1 中的四分之一波片 W_2 去掉, 而在半波片 W_1 后加一个可精确读数且其输出线偏振方向近似与半波片输出线偏振光同向的起偏器以克服长波长激光器波长变动范围大造成半波片不准的困难。由于去掉了 W_2 , 测试中 ϕ_1 或 ϕ_2 的读数可由调节 P_2 使电压表 VM 读数达最大或最小得出。

从前面的讨论可看出, 本文采用的切割法主要限制是每次切下的光纤长度必须短于所测光纤的拍长。这一要求并不苛刻, 因为目前国内外实验上能实现光纤的最短拍长为 0.55 mm ($\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$), 而稍短于这一长度的光纤很易用读数显微镜读准。另外, 如果把

Table 1

number	ϕ_1	ξ_1	ϕ_2	ξ_2	ΔZ (mm)	denominator of (6) formula	I_0 (mm)
1	-18°	81.12°	38°	31.51°	0.450	292.62° 130.39° 67.37° 229.61°	0.554 1.242 2.405 0.706
2	38°	31.51°	32.5°	62.88°	0.629	265.61° 328.63° 94.39° 31.37°	0.853 0.689 2.400 7.218
3	32.5°	62.88°	34°	58.26°	0.800	238.86° 355.38° 121.14 4.62°	1.206 0.810 2.377 62.338
4	34°	58.26°	-34°	58.26°	1.180	296.52° 63.48° 180°	1.433 6.692 2.360
5	-34°	58.26°	36°	49.14°	0.482	287.40° 72.60° 170.88° 189.12°	0.604 2.390 1.015 0.913

这一方法用于光纤生产的常规测量, 实验过程中的消光位置搜寻和数据处理都可用计算机自动控制。尤其对于测试短拍长(高双折射)的光纤, 这种方法的测试精度不会受到光纤被人为扭曲因素的影响。

五、Bow-Tie 光纤的偏振隔离度的测量

如果一束与光纤快轴同向的线偏振光注入到长度为 l 的光纤, 则在光纤的输出端的快轴和慢轴方向可测到两正交方向的偏振功率 P_x 和 P_y 。光纤的隔离度定义为

$$\eta_x = P_y / P_x \quad (8)$$

同理, 如果输入线偏振光的方向在光纤的慢轴方向, 则此时光纤的隔离度定义为

$$\eta_y = P_x / P_y \quad (9)$$

我们对拍长为 2.39 mm, 长度为 90 m 的 Bow-Tie 光纤作了测试。测试装置如图 2, 结果是 $\eta_x = 1.84 \times 10^{-4}$, $\eta_y = 8.1 \times 10^{-4}$ 。所测的光纤是绕在 12 cm 直径的圆筒上。这一直径已足

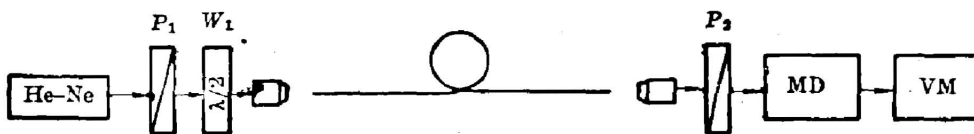


Fig. 2 Experimental arrangement for measuring extinction ratio

够大以消去光纤弯曲引起的偏振模间耦合效应。隔离度 η_x 和 η_y 之差是由于两偏振模不同的传输损耗引起的。对于用作偏振保持的高双折射光纤, η_x 和 η_y 的差别较小, 但对于用作偏振滤波的高双折射光纤, 两者的差别就很大。

本文的工作是在黄宏嘉教授指导下完成的。

参 考 文 献

- [1] M. P. Varnham, D. N. Payne *et al.*; *Electron. Lett.*, 1983, **19**, No. 7 (Mar), 246.
- [2] M. P. Varnham, D. N. Payne *et al.*; *Electron. Lett.*, 1983, **19**, No. 17 (Aug), 679.
- [3] Chen Yijiang, Huang Hungchia; *Electron. Lett.*, 1987, **23**, No. 4 (Feb), 157.
- [4] Chen Yijiang, Huang Hungchia; *Electron. Lett.*, 1987, **23**, No. 4 (Feb), 159.
- [5] K. Kikuchi, T. Okoshi; *Opt. Lett.*, 1983, **8**, No. 2 (Feb), 122.

Measurement of polarization characteristics of Bow-Tie fiber

CHEN YIQIANG AND HUANG ZHAOMING

(Shanghai University of Science and Technology)

(Received 6 January 1987; revised 4 May 1987)

Abstract

The paper describes a simple experimental process, including the optical system and calculation method for measuring the beat length and extinction ratio of bow-tie fiber.

Key words: optical fiber measurement.