

单模光纤中模耦合微扰功率谱 与偏振关系的研究

周佐平 肖克波 麦泳贤

(华南理工大学应用物理系, 广东, 广州, 510641)

摘要 提出用测量光纤偏振耦合率来确定模耦合系数, 从而得到耦合微扰功率谱与双折射关系. 它给出了光纤拉制中微扰作用的信息, 是研制偏振光纤的一种有效方法.

关键词 光纤偏振, 模耦合, 微扰功率谱.

引言

实际光纤中难免存在一些内应力或截面畸变或人为产生的各向异性, 从而形成双折射微扰, 两偏振模会产生耦合, 它与有规则线双折射 $\Delta\beta$ 有关, 这些均使偏振度下降、偏振态不稳定^[1]; 因此, 研究双折射系数、模耦合系数对改进光纤偏振性能有实际意义.

研究模耦合系数与偏振关系的方法有宽带光源法、向后散射法和迈克尔逊干涉法^[2], 前两种方法不能测量耦合系数随双折射的变化, 后一方法虽可测出光纤上各处的耦合强度, 但设备复杂, 不易实施. 我们研究了模耦合与偏振的关系并确定耦合微扰功率谱分布测试方法, 给出了光纤拉制微扰分布的信息, 对研究与提高光纤偏振性能有实际意义.

1 理论基础

光纤中的模耦合主要是由于光纤的不完整性引起的. 根据模耦合理论和文献 [1] 作合理的近似后可得到关于单模光纤两个偏振模平均功率 P 的方程

$$\frac{dP_\mu}{dz} = \sum_{\nu=1}^2 h_{\mu\nu}(P_\nu - P_\mu), \quad \mu, \nu = 1, 2 \quad (1)$$

$$h_{\mu\nu} = 2\overline{K^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^\infty \varphi(u) \exp[i\Delta\beta u] du \right\} = H(\Delta\beta) \quad (2)$$

式中双折射系数 $\Delta\beta = \beta_\mu - \beta_\nu$. 假设在不同位置发生的模耦合项之间的互相作用系数 $K_{\mu\nu}$ 取决于它们之间的距离, 则有下列关系:

$$\langle K_{\mu\nu}(z) \cdot K_{\mu\nu}^*(z) \rangle = \overline{K^2} \varphi(u), \quad (3)$$

式(3)中 $\varphi(u)$ 为自相关函数, $\overline{K^2}$ 为随机微扰的均方值. 因为这是平稳随机过程, 所以 $K_{\mu\nu}(z)$ 在相距为 u 的两点的自相关性只与它们之间距离有关, 自相关函数 $\varphi(u)$ 在 $u=0$ 处具有极大值, 因为在这点它由函数 $K_{\mu\nu}(z)$ 的均方值组成, 当 u 增加时, 一般情况下 $\varphi(u)$ 随之减少, 这是由于统计起伏 $K_{\mu\nu}(x)$ 在 $x=z$ 及 $x=z+u$ 处取不同符号, 有部分相互抵消; 当 u 值大时, $\varphi(u)$ 趋于零, 因为两个取样点函数之间不再有任何关系; 当 $u=u_0$, 使 $\varphi(u)$ 减少为 $1/e$ 时, u_0 称为自相关长度; u_0 越大, 相关度也越大, 不同地方耦合的光产生干涉而具有大的偏振度. 因为 $\varphi(u)$ 是偶函数, 由式(2)可见 $h_{\mu\nu}$ 是对称的, 即 $h_{\mu\nu}=h_{\nu\mu}=h$, h 为耦合系数, 它与光纤的偏振度有关. 如果入射光偏振面与双折射轴平行, 且只有一个本征偏振模被激发, 传输至 z 处的偏振度为^[1]

$$P = \left(e^{-4h} + 8\overline{K^2}x_2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

x_2 是与偏振色散及自相关系数有关的参数. 可见, h 实际上就是偏振度 P 的退化率, 并从式(2)可知, 它也是空间频率等于光纤双折射空间分布频率时的功率谱强度 $H(\Delta\beta)$. 所以, 只要有测量 $H(\Delta\beta)$ 与 $\Delta\beta$ 关系的手段, 就可以研究和改进偏振光纤结构和生产工艺.

2 研究与测量方法

2.1 光纤双折射的获得

由于光纤弯曲会产生双折射, 因此可以通过把光纤绕在圆柱上来获得双折射, 若在绕线时加大拉力, 双折射就增大. 自由纯弯曲产生的双折射^[4]为

$$\Delta\beta_b = 0.25Kn^3(P_{11} - P_{12})(1 - V) \left(\frac{r}{R} \right)^2, \quad (5)$$

由于拉伸时的双折射为^[5]

$$\Delta\beta_a = K \left(\frac{n^3}{2} \right) (P_{11} - P_{12})(1 + V)(2 - 3V) \frac{r}{R} \cdot \bar{\epsilon}_z; \quad (6)$$

所以拉伸和弯曲时的双折射为

$$\Delta\beta = \Delta\beta_b + \Delta\beta_a, \quad (7)$$

式(6)中 V 为泊松比, $(P_{11} - P_{12})$ 为光弹张量分量, $\bar{\epsilon}_z$ 为位伸比, r 为光纤截面半径, R 为弯曲半径, 对于熔石英, $n=1.46$, $V=0.17$, $(P_{11} - P_{12})=-0.15$.

由上所述, 可以通过改变 R 或拉力而达到不同的双折射 $\Delta\beta$.

2.2 通过测量耦合率确定耦合系数

当单色入射光只激励一个本征模时, 由式(1)解得

$$P_1(z) = P_0 \exp(-hz) \cos h(hz), \quad (8)$$

$$P_2(z) = P_0 \exp(-hz) \sin h(hz), \quad (9)$$

所以耦合率

$$\langle \eta \rangle = \frac{P_2}{P} = \frac{1}{2} [1 - \exp(-2hz)]. \quad (10)$$

$P = P_1 + P_2$, 上式是在统计上具有相同微扰的双折射光纤的总平均, 这就需要大量相同的光纤, 但这在实验上很难做到, 我们可采用一个宽带的光源, 对一条单模光纤进行测量, 而在波长域上取得平均, 这里只要把两偏振模的随机耦合理论延伸到具有波数 $\Delta\nu$ 的窄带域上, 对式 (10) 进行分析可得到在 $\Delta\nu$ 的谱平均耦合率为

$$\eta = \left\langle \frac{P_2}{P} \right\rangle = \frac{1}{2} \langle 1 - \exp(2hz) \rangle, \quad (11)$$

由此可见, 用偏光系统测得 P_2 , 由式 (11) 便可得到 h ; 改变双折射 $\Delta\beta$, 便可得 $H(\Delta\beta) = h$.

2.3 测量装置与实验

测量装置如图 1 所示.



图 1 测量装置

Fig. 1 Measurement system

实验时调节起偏器和检偏器, 使输出光强为最小, 这时起偏器偏振方向即为输入处光纤双折射轴方向, 所得到的对应光强即为 P_2 .

光源用溴钨灯, 在近红外区有较高的发光率, 而且光强随波长变化小. 用 C_{587-701A} 型的单模光纤, 其截止波长 $\lambda_c = 0.93 \mu\text{m}$ (系统波长设置在 $0.75 \sim 1.35 \mu\text{m}$), 取长度 20 m 的光纤绕在一个圆柱上, 改变绕柱的拉力, 从而改变双折射 $\Delta\beta$.

为了测量耦合率 η , 我们考虑到不同的窄带 $\delta\nu$ 对应的比率 P_2/P 是互不相干的, 所以平均值 $\eta = \left\langle \frac{P_2}{P} \right\rangle = \sum_{i=1}^N \frac{P_{2i}}{P_i} \frac{1}{N}$, 设探测器对第 i 个 $\delta\nu$ 内输出信号为 I_{2i}/I_i , 则有

$I_{2i}/I_i = P_{2i}/P_i$, 若 $I_i = I_0$ 为常数, 对整个光谱区总输出 $I_2 = \sum_{i=1}^N I_{2i}$, 设 $I = NI_0$, 则有:

$$\eta = \left\langle \frac{P_2}{P} \right\rangle = \frac{I_2}{I}, \quad (12)$$

即耦合率直接由测得的两个电信号相除. 这样改变 $\Delta\beta$, 测得相应的 η , 再由式 (11) 便可得到 $h = H(\Delta\beta)$.

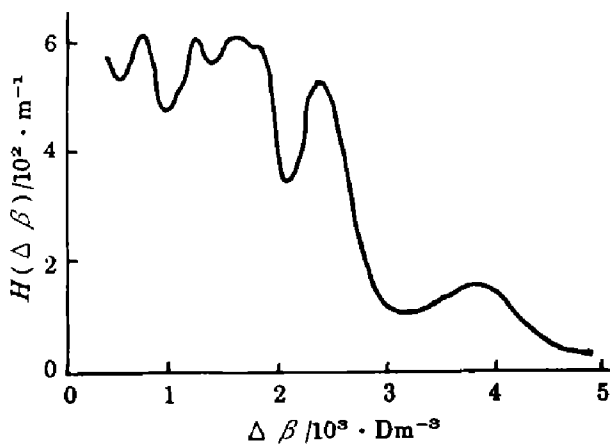


图 2 $H(\Delta\beta) - \Delta\beta$ 曲线

Fig. 2 The curve of $H(\Delta\beta)$ vs. $\Delta\beta$

测量结果见图 2. 从图 2 可见, $H(\Delta\beta)$ 有随 $\Delta\beta$ 增大而减小的趋势, 从曲线轮廓看, 它有低通滤波特性, 这与光纤外径起伏的功率谱相似, 在曲线中出现的一些峰值是光纤在拉制过程中存在一些谐振微扰所致. 从 $H(\Delta\beta)$ 变化趋势看, 要减少耦合系数 h 必须增大双折射 $\Delta\beta$, 但 $\Delta\beta$ 增大往往使偏振色散增大, 这增加了输出偏振的不稳定; 改变光纤结构可解决这个矛盾, 因为偏振色散与光纤结构和纤芯形状关系很大.

从上述结果可见, 利用本文的研究结果和测量方法能较好地研究光纤偏振特性, 从而改善偏振光纤的生产工艺.

参考文献

- 1 Jun-ichi Sakai. *J. Opt. Soc. Am.*, 1984, **A10**(1):1007~1013
- 2 Masataka Nakazawa, Masamitsu Tokuda *et al.* *Opt. Lett.*, 1983, **10**(8):546
- 3 Sakai J, Kimura T. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **77**:1041
- 4 Ulrich R, Rashleigh S *et al.*, *Opt. Lett.*, 1980, **5**:273
- 5 Rashleigh S *et al.* *Opt. Lett.*, 1980, **5**:354

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE POLARIZATION AND THE PERTURBATION POWER SPECTRUM WITH MODE COUPLING IN A SINGLE-MODE FIBER

Zhou Zuoping Xiao Kebo Mai Yonxian

(Department of Applied Physics, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China)

Abstract The method to determine the mode-coupling coefficients by measuring the coupling ratio is proposed and the relationship between the birefringence and the perturbation power spectrum is obtained, from which the information about perturbation in the process of making fibers is given. So it is an effective method to develop polarized fibers.

Key words polarized fiber, mode-coupling, perturbation power spectrum.