

保偏光纤双折射主轴的旋转 对消光比的影响

张京城 冯铁菝 金国藩 廖延彪
(清华大学 精密仪器系, 北京) (清华大学 电子工程系, 北京)

提 要

本文利用无穷切片模型和 Jones 矩阵理论, 给出了主轴连续旋转的保偏光纤的等效矩阵, 并讨论了主轴旋转对消光比的影响。

关键词: 保偏光纤; 消光比。

一、引 言

在控制保偏光纤时, 扭矩的产生及部分扭矩通过变形在低粘度颈口处的释放往往导致保偏光纤双折射主轴的旋转, 保偏光纤主轴旋转率一般为 $0.44^\circ \sim 11^\circ/\text{cm}^{[1]}$ 。保偏光纤主轴的旋转增加了制造保偏光纤器件(如耦合器和偏振器)的困难, 同时也影响保偏光纤本身的消光比性能。

二、理论分析

设保偏光纤单位长度的双折射相位差为 β , 主轴旋转速率为 $\alpha(\alpha \ll \beta)$, 假想长度为 l 的一段该保偏光纤被切成 N 等分, N 足够大, 使得每个切片都可视为双折射大小为 $\frac{\beta l}{N}$ 的双折射片, 每个双折射片的主轴依次转动 $\frac{\alpha l}{N}$ (如图 1 所示), 在 (x, y) 坐标下该保偏光纤的等效矩阵 M 可以写为

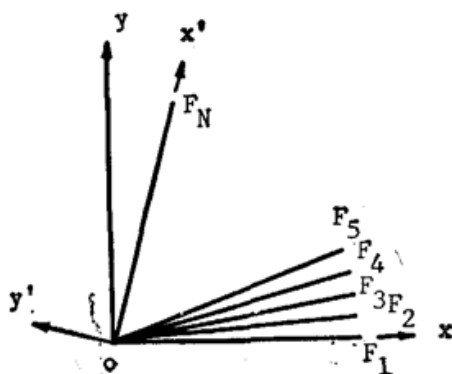


Fig. 1 Imaginary slices model of polarization-maintaining fibers with rotation of birefringent axes

在 (x, y) 坐标下该保偏光纤的等效矩阵 M 可以写为

$$\begin{aligned} M &= R\left[-(N-1) \cdot \frac{\alpha l}{N}\right] J_N R\left[(N-1) \cdot \frac{\alpha l}{N}\right] \cdots \cdots R\left(-3 \cdot \frac{\alpha l}{N}\right) J_4 \\ &R\left(3 \cdot \frac{\alpha l}{N}\right) \cdot R\left(-2 \cdot \frac{\alpha l}{N}\right) J_3 R\left(2 \cdot \frac{\alpha l}{N}\right) \\ &\cdot R\left(-\frac{\alpha l}{N}\right) J_2 R\left(\frac{\alpha l}{N}\right) \cdot J_1 \\ &= R(-\alpha l)\left[R\left(\frac{\alpha l}{N}\right) J\right]^N \end{aligned} \quad (1)$$

其中,

$$J = \begin{bmatrix} \exp\left(-j \frac{\beta l}{2N}\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(j \frac{\beta l}{2N}\right) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$R\left(\frac{\alpha l}{N}\right) = \begin{bmatrix} \cos \frac{\alpha l}{N} & \sin \frac{\alpha l}{N} \\ -\sin \frac{\alpha l}{N} & \cos \frac{\alpha l}{N} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

利用 Chebyshev 恒等式^[2] 将(1)式化简, 并取 $N \rightarrow \infty$ 时的极限, 得

$$M = R(-\alpha l) \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma l - j \frac{\beta}{2} \frac{\sin \gamma l}{\gamma} & \alpha \frac{\sin \gamma l}{\gamma} \\ -\alpha \frac{\sin \gamma l}{\gamma} & \cos \gamma l + j \frac{\beta}{2} \frac{\sin \gamma l}{\gamma} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\gamma = \sqrt{\alpha^2 + \left(\frac{\beta}{2}\right)^2}. \quad (5)$$

对于沿保偏光纤主轴入射的线偏振光 $P_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$, 经过存在主轴旋转的保偏光纤后, 在新坐标系 (x', y') 下, 出射偏振态 $P' = R(\alpha l) M P_0$, 即

$$\begin{pmatrix} P'_x \\ P'_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma l - j \frac{\beta}{2} \frac{\sin \gamma l}{\gamma} \\ -\alpha \frac{\sin \gamma l}{\gamma} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

而出射偏振态的消光比 ER 为,

$$ER = 10 \log \left(\frac{P'_y{}^2}{P'_x{}^2} \right) = 10 \log \frac{\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)^2 \sin^2 \gamma l}{\cos^2 \gamma l + \left(\frac{\beta}{2\gamma}\right)^2 \sin^2 \gamma l}. \quad (7)$$

三、讨 论

从(7)式看到, 消光比 ER 随光纤长度 l 做周期性变化, 对于拍长 $L_P = 2 \text{ mm}$ ($\beta = 180^\circ / \text{mm}$), $\alpha = 1^\circ / \text{mm}$ 的保偏光纤, 消光比随 γl 的变化见图 2 所示。

当 $\gamma l = k\pi$, ($k = 0, 1, 2, \dots$) 时, 消光比的绝对值最大, 它最终将受到瑞利散射的限制, 不可能为无穷大; 当 $\gamma l = (2k+1) \cdot \frac{\pi}{2}$ 时, 消光比的绝对值最小, 即

$$ER_{\min} = 10 \log \left(\frac{2\alpha}{\beta} \right)^2. \quad (8)$$

对于 $L_P = 2 \text{ mm}$ 的保偏光纤, 最小消光比与主轴旋转率的关系见图 3 所示。

所以, 在制造保偏光纤时, 除了考虑增加双折射以外, 还应监控主轴的旋转, 从而有效地提高保偏光纤消光比性能; 使用保偏光纤时, 在无其它机械扰动或强磁场干扰的情况下, 消光比的不稳定性主要归咎于温度对光纤长度 l 和双折射 β 的影响。

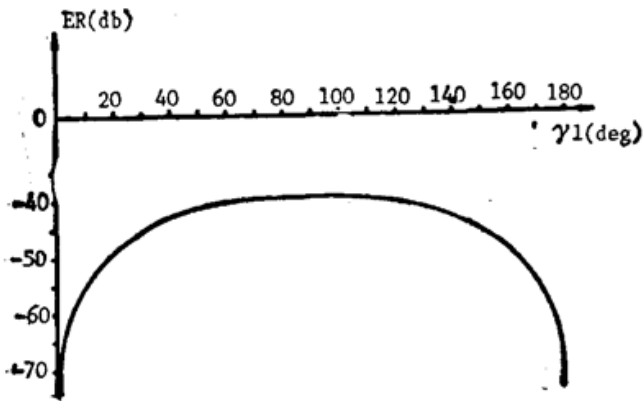


Fig. 2 Variation of the extinction ratio with γl , for beat length 2 mm, and rotation rate of birefringent axes 1/mm

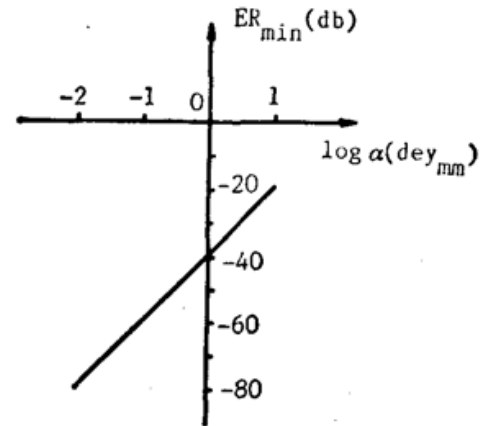


Fig. 3 Minimum extinction ratio versus rotation rate of birefringent axes

参 考 文 献

- [1] M. J. Marrone, C. A. Villarruel et al.; *Opt. Lett.*, 1987, 12, No. 1 (Jan), 60~62.
 [2] A. Yariv, P. Yeh; *Optical Waves in Crystals*, (John Wiley & Sons, New York, 1984), 134.

Dependence of extinction ratio on birefringent axes rotation in polarization-maintaining fibers

ZHANG JINGCHENG, FENG TIESUN, JIN GUOFAN

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing)

LIAO YANBIAO

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing)

(Received 1 September 1989)

Abstract

Based on a model of infinite slices imaginarily cut and Jones matrix theory, an equivalent matrix is proposed for describing polarization-maintaining fibers with rotation of their birefringent axes. The influence on the extinction ratio is discussed due to birefringent axes rotation in the polarization-maintaining fibers.

Key words: polarization-maintaining fibers; extinction ratio.