

# 双折射光纤中克尔效应及光纤-光学逻辑门

王兆民 张喜和 任建华

(长春光学精密机械学院 光学物理系, 长春 130022)

**摘 要** 本文详细地研究了单模双折射光纤中的克尔效应. 讨论了其应用于光纤-光学逻辑门的优点, 给出了有关的理论分析和计算结果以实验装置, 确定了强度型逻辑门的“1/0”状态, 测出了输出光脉冲宽度. 理论分析和实验结果符合良好.

**关键词** 双折射光纤, 光纤-光学逻辑门.

近年来, 随着工农业生产和科学技术的发展, 几乎所有领域提出了对信息的高速, 超高速处理的迫切要求. 而所有光信息处理和光计算都需要有光学逻辑器件和光学记忆元件. 利用光纤中的非线性效应而研制的这种器件由于其响应速度快, 结构简单. 经济实用且易于控制而受到人们的普遍关注<sup>[1,2]</sup>. 具有很重要的理论和实用价值.

本文在双折射光纤中克尔效应基础上, 探讨其应用于光学逻辑门的演示实验.

## 1 理论分析

当激光束入射到光纤中时, 就要产生光学克尔效应, 自聚焦等非线性效应, 并引起光纤折射率等结构参量的变化. 这种变化与光纤材料长度及入射光特性有关. 对于弱入射光这种变化可以忽略不计. 如果选用高保偏双折射光纤作非线性介质, 其入射光偏振面与光纤长短轴的取向基本保持不变, 若在光纤出射端放置一偏振片并使其偏振轴与光的偏振方向垂直, 这时将无光信号输出, 当入射激光强度很高时, 光纤的非线性效应将非常显著. 由于克尔效应光纤的两主轴(快轴和慢轴)的折射率将产生变化, 从而引起克尔相移, 使偏振方向旋转, 并在光纤出射端给出光信号. 设快、慢轴方向分别为  $x, y$ , 则光纤折射率的改变量  $n_x(p), n_y(p)$  可写为

$$n_x(p) = \chi[P_x + (\frac{2}{3})P_y], \quad n_y(p) = \chi[P_y + (\frac{2}{3})P_x] \quad (1)$$

式中  $P_x, P_y$  分别为泵浦光在  $x, y$  轴方向的光强,  $\chi$  为与光纤非线性自聚焦系数  $n_2$  有关的参量<sup>[3]</sup>

$$\chi = (4\pi n_2 \times 10^7) / (nc A_{eff}) \quad (2)$$

式中  $n$  为光纤芯子的线性折射率, 在进行理论计算时取光纤长短轴折射率的平均值; 自聚焦系数  $n_2$  取  $1.1 \times 10^{-13} \text{ mW/cm}^2$ ;  $A_{eff}$  为光纤的等效入射截面, 取其几何面积的 1.3 倍. 因此, 光纤两主轴折射率改变所引起的克尔相移为<sup>[4]</sup>

$$\phi = (2\pi\chi L_{eff}/3\lambda)(P_x - P_y) = (2\pi\chi L_{eff}/3\lambda)P_0 \cos\theta \quad (3)$$

式中  $\lambda$  为泵浦光波长;  $L_{eff}$  为光纤有效长度(在实验中  $L_{eff} = 18 \text{ m}$ );  $P_0$  为泵浦光脉冲功率;  $\theta$  为泵浦光偏振方向与  $x$  轴之间夹角. 克尔效应系统的输入、输出光功率的关系为<sup>[3]</sup>

$$P = P_0 \sin^2(\phi/2) \sin^2 2\theta \quad (4)$$

由于两轴折射率的变化而导致输出光偏振面发生旋转并在输出端偏振器后给出光信号. 如果以“0”表示无信号输出的“OFF”状态, 用“1”表示有信号输出的“ON”状态, 此系统可以构成光学逻辑门. 由于双折射光纤的折射率受入射光强的影响. 在大功率时会发生自聚焦和自位相调制等效应, 自位相调制结合群速度色散使得脉冲频率展宽为:

$$\delta\omega = 0.86\phi_{spm}\Delta\omega \quad (5)$$

式中  $\Delta\omega$  为初始脉宽,  $\delta\omega$  为频率展宽,  $\phi_{spm}$  为产生自位相调制的峰值相移. 它与克尔相移  $\phi$  之间的关系为<sup>[3]</sup>

$$\phi_{spm} = 3\phi/\cos 2\theta = (2\pi X/\lambda)P_0L_{eff}, \quad (6)$$

根据频率展宽, 估算对应的时间宽度为<sup>[5]</sup>

$$\Delta t \cong 1/\delta\omega = (1/0.86\phi_{spm}\Delta\omega) \quad (7)$$

## 2 实验装置及数据分析

本实验中所用的纯元素、无杂质高保偏双折射光纤截止波长为  $0.63 \mu\text{m}$ . 核芯长短轴分别为  $2.5 \mu\text{m}$  和  $3.5 \mu\text{m}$ . 外径为  $125 \mu\text{m}$ . 芯成份为  $\text{GeO}_2 + \text{SiO}_2$ , 相对折射率为  $(\Delta n_x - \Delta n_y)/\Delta n = 0.0005$ , 有效长度为  $18 \text{ m}$ \*. 实验装置如图 1 所示. 倍频 YAG 激光器 ( $\lambda = 532.0 \text{ nm}$ ) 用作泵浦光源. 激光器和运转特性为: 调 Q 脉冲重复频率为 20 pps; 脉宽为 10 ns. 图中  $R_1, R_2$  (半反半透镜),  $R_3, R_4$  (全反镜) 将  $\lambda = 532.0 \text{ nm}$  的激光分为两束光, 经  $R_2$  汇合后通过  $\lambda/4$  波片形成圆偏振光.  $F$  为单通干涉滤光片, 用以除去倍频后剩余的  $1.06 \mu\text{m}$  光.  $P_1, P_2$  为起偏和检偏器.  $L_1, L_2$  分别为  $\times 10$  和  $\times 25$  的输入、输出耦合显微物镜.  $D$  为光强调制装置, 用来控制耦合进光纤中的二路光强. 最后由检测系统给出结果.

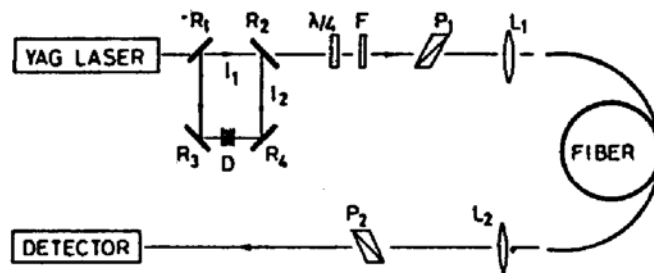


Fig. 1 Experimental setup for fiber optical logic gate and Kerr effect

如果设光束 1 和 2 的输入光强为  $I_1$  和  $I_2$ , 对应从光纤输出端测得光强为  $I_1$  和  $I_2$ . 实验证明: 当  $I_1 + I_2 \leq 18.3 \text{ mW}$  时,  $I_1, I_2$  同时输入时在光纤出射端测得光功率为  $I_1 + I_2$ . 即为单路输入各光束时, 输出光功率之和. 但如果  $P = I_1 + I_2 > 18.3 \text{ mW}$  时, 输出光功率大于  $I_1 + I_2$ , 并且观测到偏面的旋转. 随着入射光强的增加, 输出光强也急速增加, 此即为阈值功率. 表 1 给出了实验和理论计算结果. 泵浦光的偏振角为  $\theta = 21.5^\circ$ , 同时也测得输出光脉冲压缩效应. 当入

\* 光纤为北京玻璃研究所提供.

射光功率为 32.1 mW 时,输出光脉冲约为 400 ps.

Table 1 Theoretically calculated and measured data of input and output power(mW)

Input	2.12	5.48	8.28	13.48	18.28	22.68	34.23
Output							
Calculated data	0.00	0.04	0.14	0.58	1.01	2.61	6.67
Measured data	0.00	0.03	0.09	0.32	0.71	1.30	5.84

### 3 讨 论

由上述结果可以看出,利用光纤的非线性效应可以构成光纤逻辑门.它具有结构简单,特别是易于控制等优点.但这种强度型逻辑器件受泵浦光强度起伏和信号漂移影响较为严重,这将导致信噪比降低,为了器件小型化,可以将耦合透镜与偏振器集成起来,这也提高了调整精度.为了使光纤非线性效应更加明显,在芯材方面可以选用较大自聚焦系数的材料.如锗或充以  $CS_2$  的液芯等.利用这一原理,如果用一控制光路代替图 1 中的 D,并用光纤输出作触发信号,它也可构成可控性良好的光学开关.

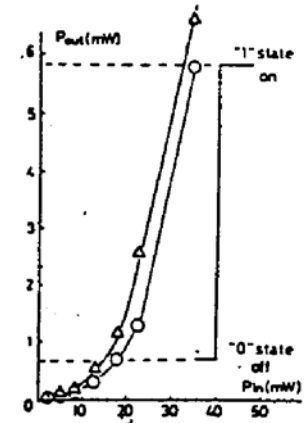


Fig. 2 The dependence curve of output power of birefringence fiber on input power

### 参 考 文 献

- [1] M. N. Islam, Ultrafast all-optical logic gate based on soliton trapping in fiber. *Opt. Lett.*, 1989, 14(22): 1257~1259
- [2] Sandra F. Feldman, Doreen A. Weinberger, Herbert G. Winful, Observation of polarization instabilities and modulational gain in a low-birefringence optical fiber. *Opt. Lett.*, 1990, 15(6): 311~313
- [3] R. H. Stolen, J. Botineau, A. Ashkin, Intensity discrimination of optical pulses with birefringent fiber. *Opt. Lett.*, 1982, 7(10): 512~514
- [4] J. M. Dziedzic, R. H. Stolen, A. Ashkin, Optical Kerr effect in long fibers. *App. Opt.*, 1981, 20(8): 1403~1406
- [5] 董孝义, 光波电子学. 天津, 南开大学出版社, 1987: 678

## Kerr Effect in Birefringence and Optic Logic Gate

Wang Zhaomin Zhang Xihe Ren Jianhua

(Department of Optical Physics, Institute of Optical and Fine Mechanics, Changchun 130022)

(Received 8 September 1992; revised 5 January 1993)

**Abstract** In the paper, The Kerr effect in single mode birefringence fiber is studied in detail. The related advantage is discussed when it is used as fiber optic logic gate. In addition, its theoretical analysis and calculated data as well as experimental setup are given. The "1/0" state of intensity model fiber logic gate is defined and the pulse width of output light is measured. The experimental results coincide well with theoretically calculated data.

**Key Words** birefringence fiber, fiber optic logic gate.