

压光光学双稳态*

叶红安 李慧奇 张静立 余晓男

(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

提要: 报道了一种光纤压光光学双稳态装置。利用单模光纤的光弹效应及应变效应实现了压光调制, 并且完成了光学双稳实验。

关键词: 压光调制, 光学双稳态

Piezo-optical bistability

Ye Hongan, Li Huiqi, Zhang Jingli, Yu Xiaonan

(Physics Department, Heilongjiang University, Harbin)

Abstract: An optical bistable device using piezo-optical effect of glass fiber is presented. Using the photoelastic and strain effect of single-mode glass fiber we realized piezo-optical modulation and performed the optical bistable experiment.

Key words: piezo-optical modulation, optical bistability

我们利用光纤作为工作介质实现了压光调制, 完成了光学双稳态实验, 并且提出了紧凑的不含任何分立光学元件的“全光纤”结构光学双稳态装置。

一、理论分析

当光纤满足单模运转条件时, 基模 HE_{11} 模实际上是由两个简并模组成的。它们是在 O_x 和 O_y 两个正交轴上的线偏振模 HE_{11}^x 和 HE_{11}^y 。当外施压力 σ 作用在光纤上时, 会引起 HE_{11}^x 和 HE_{11}^y 模间相位延迟, 从而使两个模式间的能量相互耦合。外施压力对光的相位调制主要是通过光弹效应以及应变使光纤长度变化所致。当光线沿 z 轴传播时, 相移变化量可表述为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} L \left[\varepsilon_z - \frac{n^2}{z} (P_{11} + P_{12}) \varepsilon_r + P_{12} \varepsilon_1 \right] \quad (1)$$

式中 λ 为光波在介质中波长, L 是作用段光纤长度。 ε_z , ε_r 分别为轴向和横向应变。 P_{11} , P_{12} 是光纤光弹系数。由于光纤应变分布是圆柱对称的, 因此有

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_r, \quad \varepsilon_z \equiv \varepsilon_1 \quad (2)$$

在图 1 所示的单向应力状态下, 外施应力 σ 与应变的关系式可简化为^[1]

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} \\ \varepsilon_y &= -\mu \frac{\sigma_x}{E} \\ \varepsilon_z &= -\mu \frac{\sigma_x}{E} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 E 为杨氏模量, μ 为泊松比。由 (1) ~ (3) 式相移变量与外施应力 σ_x 间的关系可表述为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} L \left[-\frac{\mu}{E} - \frac{n^2}{z} (P_{11} + P_{12}) \frac{1}{E} - P_{12} \frac{\mu}{E} \right] \sigma_x \quad (4)$$

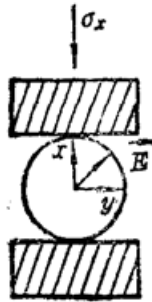


Fig. 1 Squeezed single-mode glass fiber, showing direction of the incident polarization E

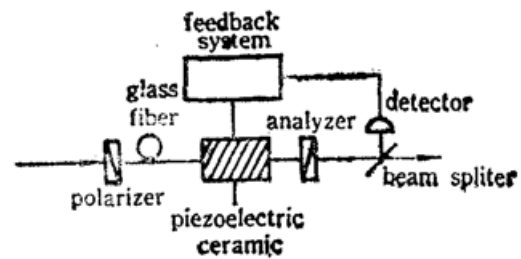


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up for piezooptical bistability

可见相移因子与外施应力 σ_x 是成正比的。作用段长度为 L 的光纤在外施压力 σ_x 作用下引起的相位延迟, 可由其琼斯矩阵来描述:

$$J_\phi = \begin{pmatrix} \exp(i\Delta\phi/z) & 0 \\ 0 & \exp(-i\Delta\phi/z) \end{pmatrix} \quad (5)$$

图 2 所示的光学双稳态装置, 其传输系统为由光纤、电致伸缩元件、起偏器及检偏器构成的压光调制器。起偏器和检偏器的偏振轴分别与 x, y 轴重合。入射光波振幅矢量 E 的偏振方向与这两个偏振轴成 45° 角(见图 1)。传输系统的透过率函数为

$$T(\Delta\phi) = \frac{1}{2} [1 - \cos \Delta\phi] \quad (6)$$

式中 $\Delta\phi$ 由 (4) 式决定。由于 $\Delta\phi \propto \sigma_x \propto V$ (V 为加在压电元件上的电压), (6) 式又可以写成

$$T(V) = \frac{1}{2} [1 - \cos f(V)] \quad (7)$$

利用线性时移不变物理模型^[2,3], 不难得出相应于本装置的稳态解:

$$Ky^* = \frac{1}{2} [1 - \cos(Ky^* + \phi_0)] Kx^* \quad (8)$$

式中 ϕ_0 为初始偏置宗量, K 为反馈系数, x^*, y^* 分别为系统的输入和输出。可见只要适当选取 ϕ_0 值, y^* 就能成为 x^* 的多值函数。

二、实验与讨论

图 3 是光纤压光光学双稳态实验装置。

He-Ne 激光经可调衰减器 A 进入分束器 S_1 。分束后, 一束经探测器 D_1 转换成电信号

输入到记录仪 x 轴。另一束进入由偏振器 P_1, P_2 及光纤组成的压光调制系统。耦合透镜 L

为 20 倍的显微物镜, 数值孔径为 0.4。单模光纤截止波长为 $0.63 \mu\text{m}$, 纤芯直径 $6 \mu\text{m}$ 。经调制系统的输出光强经分束器 S_2 , 一束经探测器 D_2 转换成电信号馈至记录仪 y 轴。另一束由 D_3 转换成电信号, 并通过放大器 A_m 放大, 作为反馈系统的输出电压驱动压电元件 G 工作。图 4 是实验测得的传输系统透过率函数与加在压电元件上电压间的 $T(V) \sim V$ 调制曲线。图 5 是由记录仪记录的一组对应不同 ϕ_0 值的双稳装置的输出特性曲线。

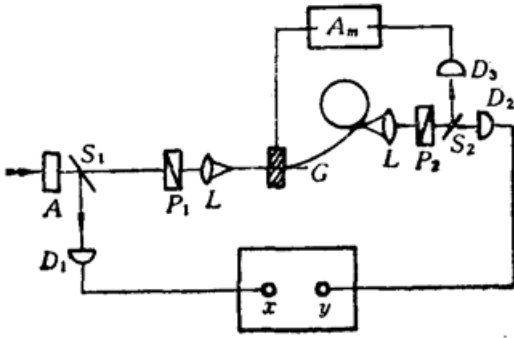


Fig. 3 Experimental setup

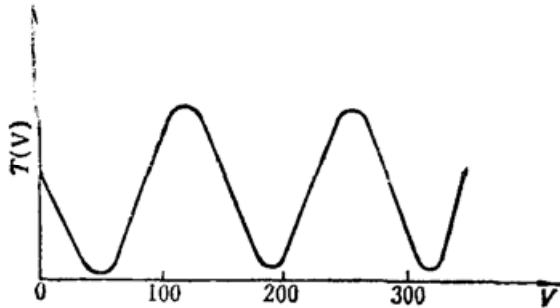


Fig. 4 Measured modulation curve from experiment

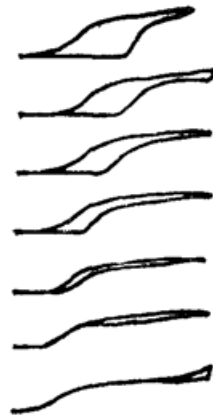


Fig. 5 Experimental results for different ϕ_0

以 $\Delta\phi_M$ 表示形成双稳回线所需的最小相位差变化, 利用文献[4]的方法, 求得本装置的 $\Delta\phi_M$ 为 1 rad。由相位灵敏度 S 的定义 $S = L^{-1}(d\phi/d\sigma)$, $\Delta\phi_M$ 可表述为

$$\Delta\phi_M = LS \Delta\sigma_M = 1 \tag{9}$$

$\Delta\sigma_M$ 表示实现双稳运转所需的最小应力变化, 其值正比于加在压电元件上的电压。采用双孔式光纤 [5] 可大大提高 S 值, 从而降低最小反馈电压。同时这种光纤又有极好的温度特性。紧凑的“全光纤”结构的双稳装置如图 6 所示。装置中不含任何分立的光学元件, 这就为实际应用带来了极大方便。本文提出的光纤光学双稳装置是光纤

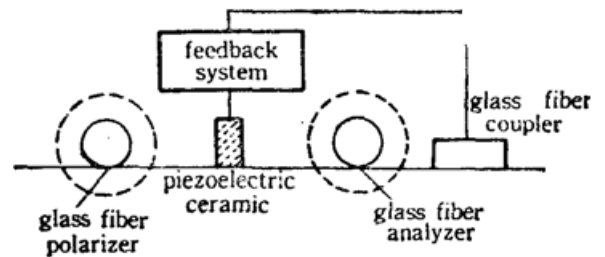


Fig. 6 Compact "all glass fiber" construction

数字处理器的基础, 而且装置间的互连、耦合都极为方便。另外绝大多数集成光路及相应的元件都工作在单模条件下。因此这种装置很有可能在光学信息处理中获得实际应用。

参 考 文 献

- 1 M. M. 弗罗赫特, 光测弹性力学, 科学出版社, 1964, 32~33
- 2 董孝义 *et al.*, 光学学报, 7(13), 1076(1987)
- 3 李永贵, 张洪钧, 物理学报, 32(3), 309(1983)
- 4 李淳飞 *et al.*, 光学学报, 1(4), 335(1981)
- 5 谢海明, 光学学报, 8(4), 332(1988)