

磁致伸缩光纤磁光光学双稳态*

叶红安 刘德功 楚雪梅 吕厚均 姜作宏
(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

摘 要 报道了一种基于磁致伸缩原理实现的全光纤结构磁光光学双稳态装置。与分立元件的磁光双稳系统相比较, 该系统的双稳开关功率降低了 2~3 个数量级。实验结果与理论计算相符。
关键词 磁致伸缩, 光纤, 磁光效应, 光学双稳态。

1 引 言

磁光双稳性的研究一直受到人们的广泛关注^[1~4]。目前在光学双稳性的研究中, 主要是通过新方法、新材料等手段减小光学双稳运转的驱动功率。本文介绍了一种利用磁致伸缩原理实现的全光纤结构的磁光光学双稳态装置。与分立元件的磁光双稳装置相比较, 其驱动电功率降低了 2~3 个数量级。文中还探讨了该装置在光纤磁场传感技术中的可能应用。

2 实验装置

本工作的实验装置如图 1 所示。

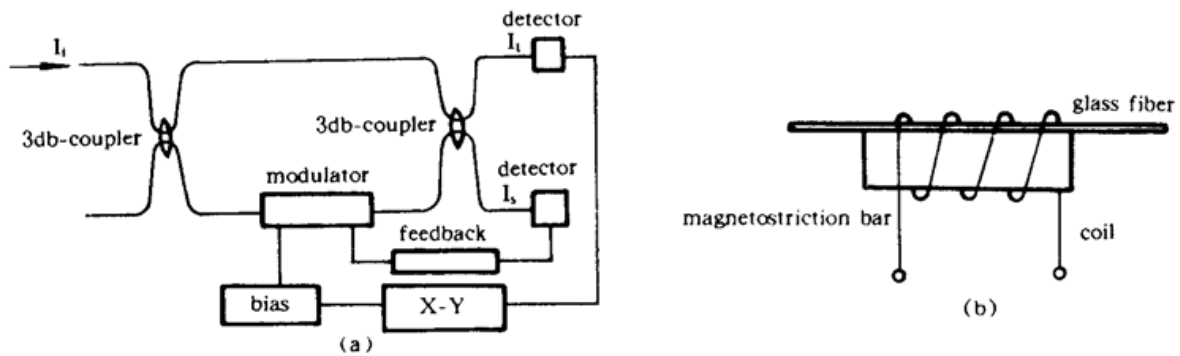


Fig. 1 (a) The experiment setup, (b) The modulator

在磁场作用下, 磁致伸缩棒沿轴向伸缩。固定于其上的光纤在轴向力的作用下, 其长度、折射率等参数将发生变化。这样就造成了干涉仪两臂间相位差的相应变化, 从而实现了光纤双光束磁光调制。在干涉仪输出端两信号中, 任取一信号 I_2 作为系统的输出, 另一信号 I_1 则作为采样信号。 I_1 经光电转换、反相及放大后被反馈至产生磁场的螺线管上, 构成反馈系统。图 1 便是一个利用磁致伸缩原理实现的混合型光纤磁光光学双稳系统。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 6 月 8 日; 收到修改稿日期: 1995 年 10 月 4 日

3 理 论

图 1 中干涉仪输出光强 I_t 与相位差 ϕ 及输入光强 I_i 之间的关系为:

$$I_t = (I_i/2) (1 + M \cos \phi), \quad (1)$$

式中 M 为由光纤耦合器分束比决定的常数。由于反馈取样信号 I_t 与作为系统输出的光信号 I_i 互补, 因此由 I_t 取样, 经反相及放大处理后, 可得到由 I_t 表述的反馈方程:

$$\phi = \phi_0 + F(kI_t), \quad (2)$$

式中 ϕ_0 为初相位, k 为反馈系数。函数 $F(kI_t)$ 的形式由磁致伸缩材料的特性及反馈电路决定。(1)、(2) 两式即为确定图 1 所示双稳系统稳态工作点的方程组。这是一个典型的双光束干涉光学双稳系统, 其运转特性, 以及 M 、 k 对双稳图的影响等已在多篇文章中有过详细讨论^[2, 5], 这里不再叙述。

光纤中的相位因子 ϕ 可表述为:

$$\phi = \beta L \quad (3)$$

式中 β 为位相传播常数, L 为作用段光纤长度。光纤产生的相位调制可写成:

$$\Delta\phi = \beta\Delta L + L\Delta\beta \quad (4)$$

在轴向应力 S 的作用下, 且忽略光纤芯径变化的影响,

$$\Delta\phi = L [\beta\varepsilon_z + (d\beta/dn)\Delta n] \quad (5)$$

ε_z 为光纤轴向应变系数, n 为光纤纤芯折射率。(5)式中各量表述如下:

$$\varepsilon_z = -S/E, \quad \frac{d\beta}{dn} = K_0, \quad \Delta n = \frac{n^3}{2} \frac{S}{E} [-\gamma p_{11} + (1 - \gamma)p_{12}] \quad (6)$$

其中 E 为杨氏模量, K_0 为真空光传播常数, γ 为泊松比, p_{11} 、 p_{12} 为光弹系数。

4 实验结果及讨论

实验中光源为单模 He-Ne 激光器, 波长 630 nm。全光纤马赫-陈德尔干涉仪由两个 3 dB 光纤耦合器构成。光纤为截止波长 630 nm 的单模光纤。磁致伸缩材料为北京钢铁研究总院二室新近研制出的超磁伸缩材料, 具有极高的相对伸缩量, 参见图 2。实验中磁致伸缩棒长 3.8 cm, 光纤沿棒的伸缩方向粘在棒上, 其作用段长度也约为 3.8 cm。图 3 为由实验获得的调制曲线。调制曲线的周期特性主要由图 2 中磁致伸缩材料特性决定。实验中螺线管长 36 cm, 直径为 1.9 cm。3.8 cm 长的工作段内平均磁场强度的最大值约为 $(0.2/4\pi) \times 10^6$ A/m, 其对应的相对伸缩量在图 2 中由虚线标出。由图 3 可见, 场强为 $(0.2/4\pi) \times 10^6$ A/m 时, 获得了 12π rad 的相位调制。这相当于相同长度磁光玻璃的 500 倍以上。相应的理论计算可利用(5)、(6)两式进行。实验中所用光纤是石英光纤, 则各参数分别为: $\gamma = 0.17$, $p_{11} = 0.126$, $p_{12} = 0.274$, $n = 1.458$ 。在纯轴向力作用下, 相位灵敏度的计算值为 11.31 rad/ μm 。若实现 12π rad 的相位调制, ΔL (即 $L\varepsilon_z$) 应为 $3.336 \mu\text{m}$ 。由 $(\Delta L/L) = (3.336/3.8 \times$

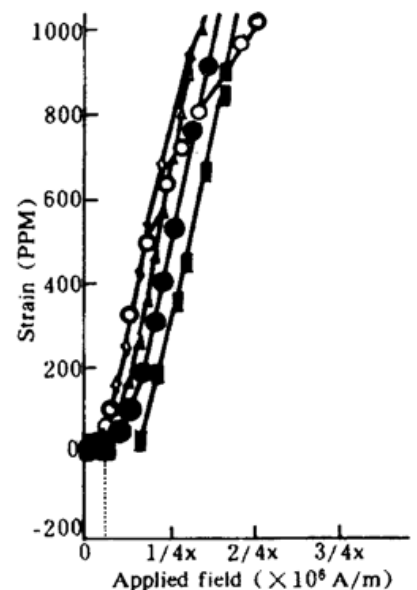


Fig. 2 Characteristic curve of the magnetostriction bar

$10^4 \times 10^{-6}$ PPM 值, PPM 值应为 88。如图 2 虚线标出的那样, 相对应的磁场强度约为 $(0.2/4\pi) \times 10^6$ A/m。可见实验与理论计算很好相符。

图 4 为固定输入光强不变, 通过改变 $\phi_0(\Delta L)$ 获得的双稳及多稳回线。采取这种运转方式, 主要是为了测定在调变 $\phi_0(\Delta L)$ 时, 获得一个双稳脉冲所需的磁场强度。图 4 中实现双稳脉冲的相移 $\delta\phi_0$ 可通过反馈系数 k 来调变^[5]。对本实验很容易在约 $(1/4\pi) \times 10^3$ A/m 场强变化下获得一个双稳脉冲。

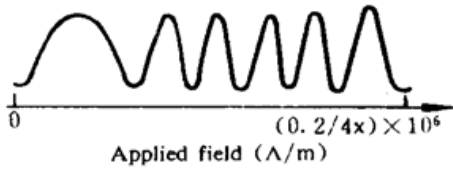


Fig. 3 The modulation curve from experiment

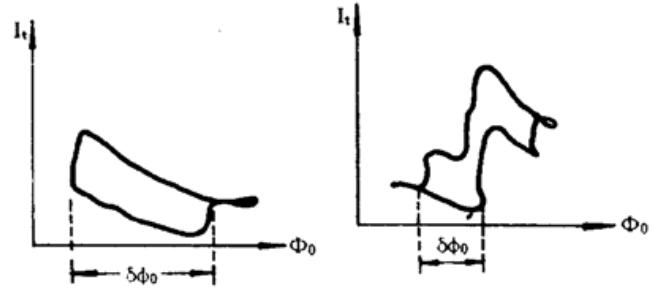


Fig. 4 The experimental results

由于 $\delta\phi_0 \ll 2\pi$, 因此在以脉冲当量方式输出的传感器当中, 以双稳脉冲为记数单位要比基于干涉条纹来计数的分辨率高 1~2 个数量级^[5]。而且与相应的相位调制型光纤传感器的差别只是在其参考臂中引入了反馈系统及使双稳器件复原的阶梯电压产生装置^[5]。

实验中光纤作用段长度选为 3.8 cm, 主要是为了使光纤受到纯轴向力作用, 使得计算方便、准确, 便于和实验结果相比较。按磁致伸缩材料的驱动能力(见图 2), 光纤可绕到几十圈。这样获得一个双稳脉冲的磁场强度还可相应地降低 1~2 个数量级。本文提出的方案, 可能是目前驱动功率最低的混合型磁光双稳装置。另外, 由于全光纤结构特点, 这对于新兴学科光子学领域中光纤无源器件的开发具有实际意义。

参 考 文 献

- [1] Shinuke Umegaki, Hiroaki Inoue, Optical bistability using a magneto-optic modulator. *Appl. Phys. Lett.*, 1981, 38(10): 752~754
- [2] 董孝义, 宋文涛, 盛秋琴, 磁光光学双稳态. *光学学报*, 1987, 7(12): 1076~1081
- [3] 潘应天, 杜从武, 刘贤得等, 磁液磁光双稳特性的研究. *光学学报*, 1991, 77(8): 688~692
- [4] 郑植仁, 高锦岳, 李继纯, 磁光双稳系统的非稳特性. *光学学报*, 1992, 12(11): 1004~1008
- [5] 李淳飞, 吴杰, 张雷等, 应用光学双稳原理的高精度光纤传感器. *光学学报*, 1992, 12(5): 422~425

Glass Fiber Magneto-Optical Bistability Based on Magnetostriction

Ye Hongan Liu Degong Chu Xuemei Lu Houjun Jiang Zuohong

(Department of Physics, Heilongjiang University, Harbin 150080)

(Received 8 June 1995; revised 4 October 1995)

Abstract A magneto-optical bistable device of whole glass fiber structure based on magnetostriction is developed. In comparison with a separate-element magneto-optical bistable system, the bistable switch power of this system has reduced by 2-3 orders. The results are in good agreement with the theoretical calculation.

Key words magnetostriction, optical fiber, magneto-optical effect, optical bistability.