

磁光光学双稳态

董孝义 宋文涛 盛秋琴
(南开大学现代光学研究所)

提 要

本文报道一种磁光光学双稳态装置。该装置使用的磁光调制器是由新型磁性玻璃并经特殊设计而成,用该装置完成了光学双稳态实验,并对双稳特性及其有关参数进行了测量,测量结果与理论分析基本相符。

关键词: 磁光光学, 双稳态。

自从 Smith 等首次提出混合型光学双稳态的概念^[1]以来,已经先后利用电光效应^[2,7]、声光效应^[3,8]、磁光效应^[4,5]以及塞曼效应^[6]等完成了相应的光学双稳态的实验研究。最近我们利用一种国产新型磁性玻璃(FR-5),并借助特殊的工艺结构完成了磁光光学双稳态实验。本文给出了这种光学双稳态的结构原理及其实验结果,并对双稳特性与一些参数的关系作出了理论分析。理论分析与实验结果相符。

一、理论分析

磁光光学双稳态装置属于混合型光学双稳系统,其工作原理可采用线性的、时移不变的物理模型来描述^[10]。这类系统由传输和反馈两部分组成,其动态特性由下列方程决定:

$$\tau_1 \dot{y}^*(t) = -y^*(t) + T(\varphi)x^*, \quad (1)$$

$$\tau_2 \dot{\varphi}(t) = -(\varphi - \varphi_0) + ky^*, \quad (2)$$

式中 x^* 、 y^* 分别为系统的输入和输出, τ_1 、 τ_2 分别为传输和反馈部分的时间常数, k 为反馈系数,

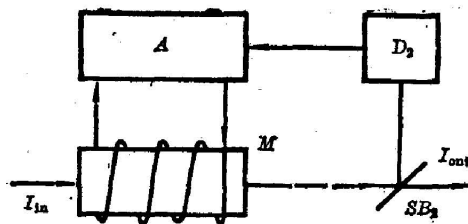


Fig. 1.

$T(\varphi)$ 为传输部分的透过率函数, φ 为控制透过率大小的量,在磁光作用情况下,它正比于调制器磁场的激励电流, φ_0 则为初始偏置宗量,对于磁光调制器构成的传输部分,如图 1 所示,如取 N 为消光比,则不难推导出它的透过率函数,即

$$T(\varphi) = \left[\sin^2 \varphi + \frac{1}{N-1} \right] \frac{N-1}{N}. \quad (3)$$

由(1)、(2)和(3)式可求出磁光光学双稳态解,即令 $\dot{y}^* = 0$ 和 $\dot{\varphi} = 0$ 可得

$$y = \frac{N-1}{N} \left[\sin^2(\varphi_0 + y) + \frac{1}{N-1} \right] x, \quad (4)$$

式中 $x = kx^*$, $y = ky^*$ 。从(4)式中不难看出,只要合理选择参数 φ_0 和 N 的值,就能使 y 成为

ω 的多值函数。图 2 给出了一典型的 $x \sim y$ 理论曲线, 其中 $\varphi_0 = 2^\circ$, $N = 30$ 。

对一给定的 N , φ_0 存在一个最大取值, φ_0 大于这个取值, 双稳现象便消失。不难从理论上算出这个最大取值 φ_{0c} , 在临界点上有 $(\partial\omega/\partial y) = 0$, 于是由 (4) 式得到

$$\sin^2(\varphi_0 + y) + p = y \sin 2(\varphi_0 + y), \quad (5)$$

式中 $p = (N - 1)^{-1}$ 。由此可见, 选取不同的 φ_0 值, 方程 (5) 的解可以有不同数目, 而当方程 (5) 只有一个解时, 双稳态宽度 Δx 将趋于零, 亦即双稳现象消失。根据这一分析, 便可以从 (5) 式求出只存在一个解时的 φ_0 值, 并令其为 φ_{0c} , 则有

$$\varphi_{0c} = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} - p = \frac{(\pi - 2)(N - 1) - 4}{4(N - 1)}. \quad (6)$$

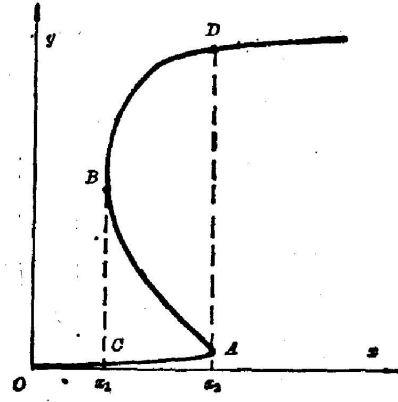


Fig. 2

已知考察光学双稳态特性的重要指标有: 双稳宽度 Δx (即图 2 中的 $x_2 - x_1$)、稳定态曲线的斜率以及可实现双稳态的最小输入 (即图 2 中的 x_2) 等。我们从理论上计算了上述参量和 φ_0 、 N 的关系, 如图 3 所示, 其中图 3(a) 是消光比 N 分别取值 6、14、22 和 30 时的 $(\varphi_{0c} - \varphi_0) \sim \Delta x$ 关系曲线; 图 3(b)、图 3(c) 分别是 N 为上述取值时的 $(\varphi_{0c} - \varphi_0) \sim k_1$ 和 $(\varphi_{0c} - \varphi_0) \sim k_2$ 关系曲线, k_1 、 k_2 分别为上、下稳定态的斜率; 图 3(d) 是 N 为上述取值时 $(\varphi_{0c} - \varphi_0) \sim x_2$ 关系曲线。从图 3(b)、图 3(c) 可以看到, 对于特定的 N 值, k_1 和 k_2 随 $(\varphi_{0c} - \varphi_0)$ 的增加而减小; 对于特定的 $(\varphi_{0c} - \varphi_0)$ 值, k_1 和 k_2 随 N 的增加而减

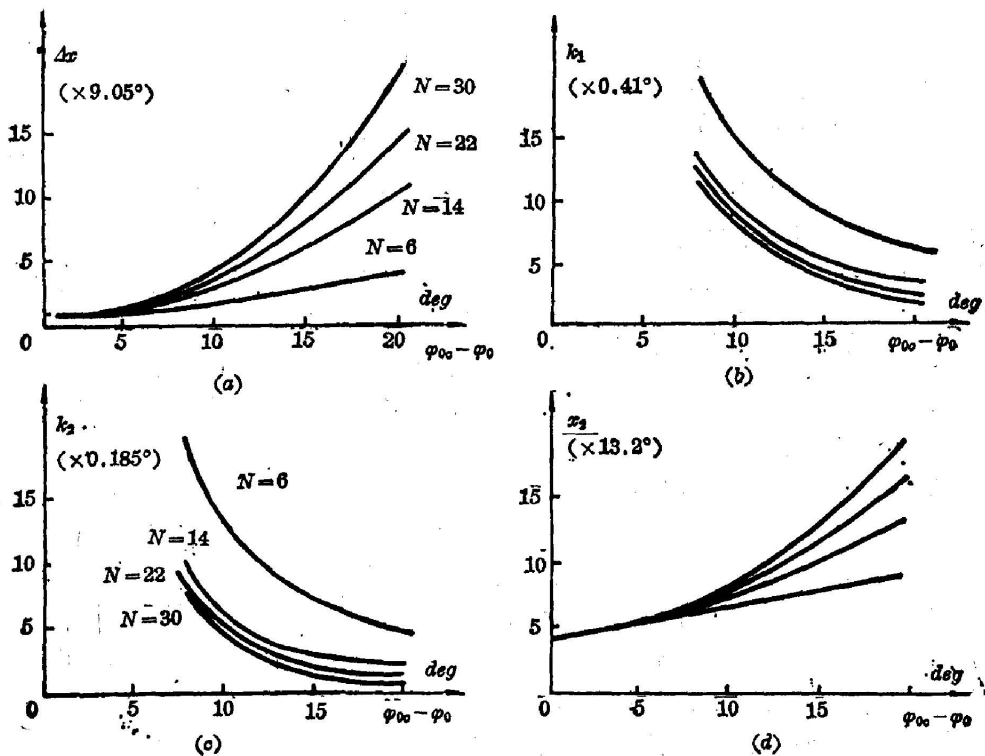


Fig. 3

小,这就是说,要使双稳曲线中两稳定态的输出较小地受输入影响,则要求有较大的 $(\varphi_{00}-\varphi_0)$ 值和较大的消光比 N ;从图 3(a) 中可看出,要得到较大的双稳宽度 Δx , 也必须有较大的 $(\varphi_{00}-\varphi_0)$ 值和消光比 N ;图 3(d) 告诉我们, N 取值一定时, x_2 随 $(\varphi_{00}-\varphi_0)$ 值的增加而增加,而 $(\varphi_{00}-\varphi_0)$ 值一定时, x_2 随 N 值增加而增加,这说明要得到以较大的 N 或较大的 $(\varphi_{00}-\varphi_0)$ 实现的双稳态,则必须以最大可能地增加输入作为代价。

二、实 验

图 4 是磁光光学双稳态的实验装置,由 He-Ne 激光器输出的激光束经可调衰减器(或强度调制器) I 进入分束器 SB_1 , 分束后,一束经探测器 D_1 转换成电信号作为“输入”馈给 X-Y 记录仪的 X 轴,另一束进入由偏振器 P_1 、 P_2 和磁光调制器 MO 组成的传输系统。经磁光作用后并被检偏的激光束进入第二个分束器 SB_2 , 分束后,一束经探测器 D_2 转换电信号作为“输出”馈给 X-Y 记录仪的 Y 轴,另一束则经探测器 D_3 转换为电信号,并通过放大,作为反馈系统的驱动电流去激励磁光调制器工作。

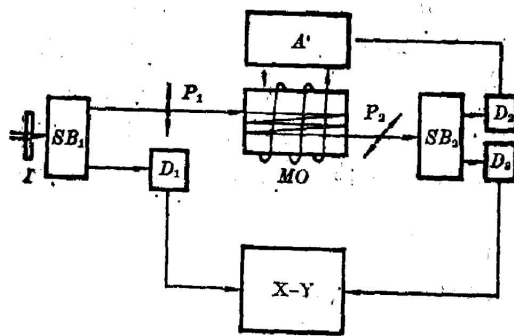


Fig. 4

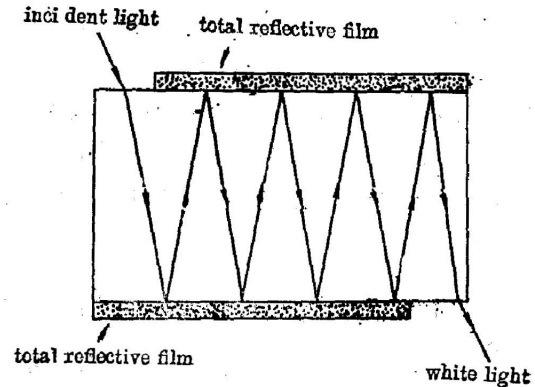


Fig. 5

1. 磁光调制器及其调制特性的测量

实验使用一种国产新型玻璃制成一种用于光学双稳态实验研究的磁光调制器,图 5 是它的结构原理图,不同于文献 [5],材料研磨成方柱形,在柱的端面镀以保偏的且有少量透过率的高反膜,这样可以通过调整入射角改变磁光作用距离和消光比 N 。由于螺旋管磁场与端面平行,因此反射时透出的光可以用来进行研究,图 6 是根据实际测量绘出的磁光调制曲线,其中横坐标 i 是螺旋管的电流值,经测量它与螺旋管磁场强度在实验范围内成线性关系,图中的虚线是根据 (3) 式(取 $N=6$) 描绘的理论曲线,测量值与理论计算值基本吻合。

2. 反馈曲线的测量

在图 4 的装置中,用一束强度可调的激光直接照射探测器 D_3 ,可测得光强与放大器输出间的关系曲线,即反馈曲线,如图 7 所示,在入射光强较低时,曲线近似为直线,当光强逐渐增强时,曲线变化越来越缓慢。这种非线性的产生是由放大器和探测器的非线性引起的。由于曲线的导数与反馈系数成正比,因此当入射光强增大到一定程度时反馈系数将减少,从而导致双稳态宽度 Δx 变窄,这说明实验中尽可能保证系统在线性曲线部分工作是十分重要的。

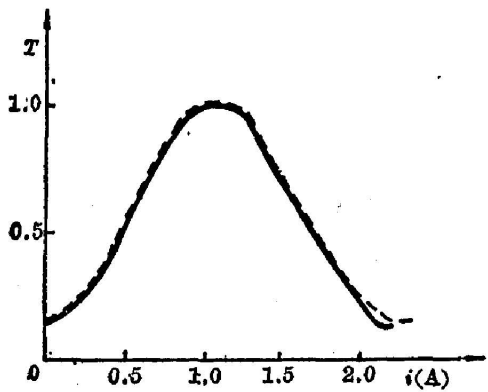


Fig. 6

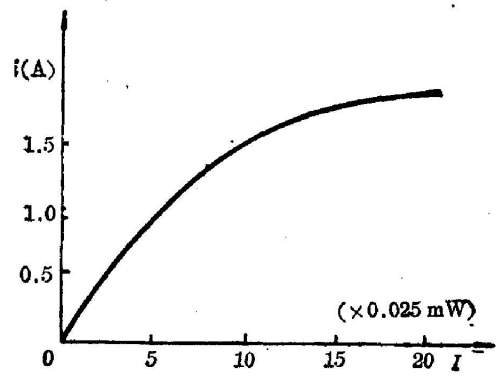
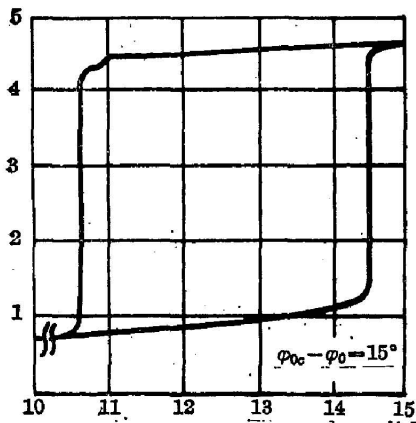
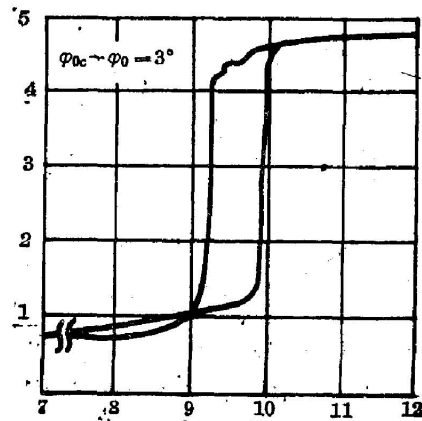


Fig. 7



(a)



(b)

Fig. 8

3. 双稳特性的测量

在测量系统的双稳特性时,选反射次数为 5,测得相应的消光比为 $N=6$,在图 4 的装置中固定 P_2 的方向,调节衰减器,使光强从零逐渐增大到最大值,然后再逐渐减小到零,这时即可在 X-Y 记录仪上绘出相应条件下的输入输出曲线,即双稳特性曲线。改变 P_2 的方向,重复上述测量,即可得到不同 φ_0 值(由 P_2 方向决定)下的双稳特性曲线,如图 8 所示。

从测得的一系列双稳特性曲线中不难求出双稳宽度 Δx , 上、下稳定态的平均斜率以及实现双稳运转的最小输入 x_2 等。图 9 是在 $N=6$ 的条件下,测得的上述各参量与 $(\varphi_{0c}-\varphi_0)$ 值的关系曲线,以及相应的理论曲线(图中虚线所示)。

从理论分析和实验结果可作出以下几点结论:

(1) 利用较便宜的磁光玻璃,并经过简单的工艺加工即可研制成磁光光学双稳器件,而且还可以用来作光隔离器、分配器等,因此有较高的实用价值,特别是在光纤通信领域将会得到实际应用。

(2) 对于实际应用来说,总是希望双稳特性曲线的 Δx 值大一些,而 k_1 、 k_2 值小一些。因此要尽可能地选择较大的消光比 N 和 $(\varphi_{0c}-\varphi_0)$ 值。前者可通过镀具有较高反射率并具有

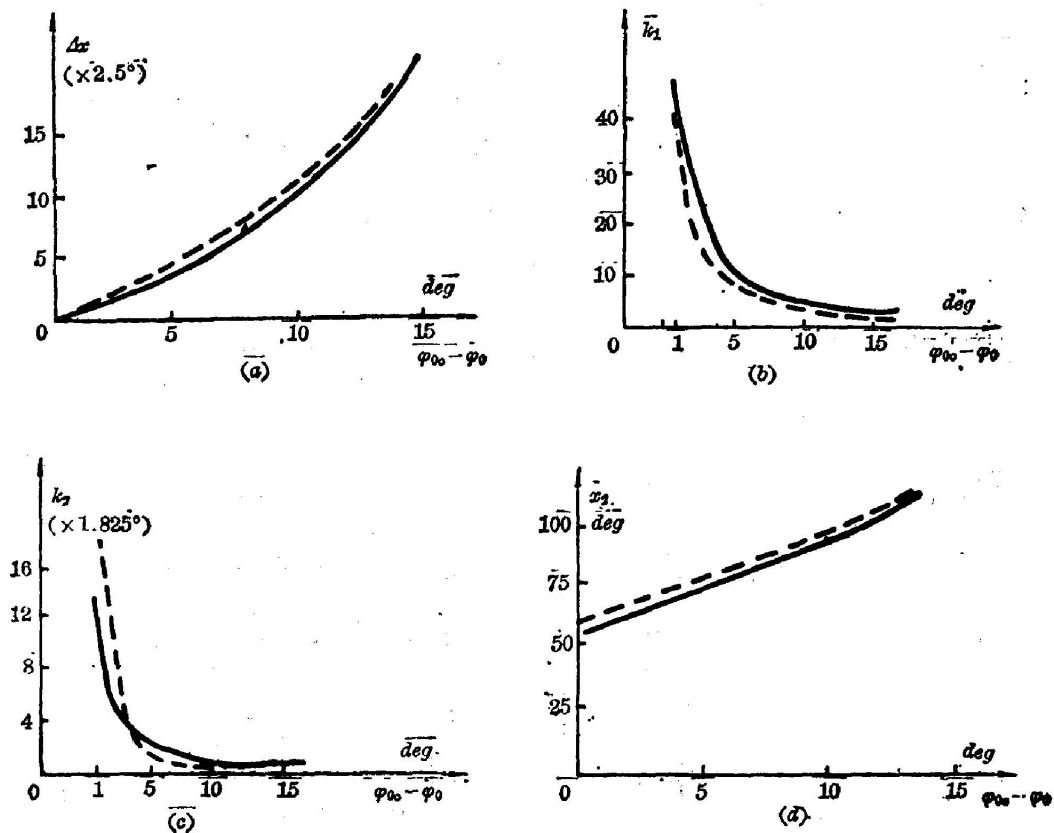


Fig. 9

保偏性能的反射膜(例如镀 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 高反保偏膜)来保证,而后者则通过调整 P_2 的方向来选择。

(3) 由于随 N 和 $(\varphi_{00} - \varphi_0)$ 值的增加将导致实现双稳的最小输入值的增加,而实际受限的往往是激光器的功率,这一点可借助反馈系数的增加来抵偿,因而只要提高反馈系数并使之足够大,就可能在激光输入功率较小的情况下实现光学双稳态运转。

参 考 文 献

- [1] P. W. Smith *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **30**, No. 6 (Mar), 280~281.
- [2] E. Garimire *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, No. 5 (Mar), 320~321.
- [3] J. Chrostowski *et al.*; *Opt. Commun.*, 1982, **41**, No. 2 (Mar), 71~74.
- [4] I. M. Popescu; *Rev. Phys. Appl.*, 1983, **18**, No. 5 (May), 313~315.
- [5] S. Umegaki *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 10 (May), 752~754.
- [6] M. Kitano *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1981, **46**, No. 14 (Apr), 926~929.
- [7] 李淳飞, 季家溶; 《光学学报》, 1981, **1**, No. 4 (Jul), 335~339.
- [8] 董孝义等; 《光学学报》, 1985, **5**, No. 12 (Dec), 1074~1081.
- [9] 张洪钧等; 《物理学报》, 1981, **30**, No. 6 (Jun), 810~819.
- [10] 李永贵, 张洪钧; 《物理学报》, 1983, **32**, No. 3 (Mar), 309~314.

Magneto-optical bistability

DONG XIAOYI, SHENG QIUQIN AND SONG WENTAO
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin*)

(Received 13 January 1986; revised 5 May 1986)

Abstract

In this paper, a magneto-optical bistable device with a special designed magneto-optical modulator made of a new type magnetic glass is presented. With this device, the optical bistable experiment has been performed, and the bistable characteristics and relevant parameters have been measured. The results are in good agreement with the theoretical analyses.

Key Words: Magneto-optical, Bistability.