

光栅光学双稳态*

叶红安 陈九江 张静立 余晓男

(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

提 要

本文报道了一种光栅光学双稳态装置。利用改变一对对称光栅间相对位移, 实现了对透过光强的周期性调制。将这样的系统作为传输部分, 分别用 He-Ne 激光和普通白光完成了光学双稳实验。实验结果与理论分析相符。

关键词: 光栅, 光学双稳态。

一、引 言

自从 Smith 等^[1]首次提出混合型光学双稳态概念以来, 迄今报道的混合型光学双稳态装置, 其传输部分都是利用干涉或偏振干涉原理来实现相位延迟的。它们都是利用某一物理量来引起相位延迟的变化, 从而对系统的输出光强进行调制^[2~5], 本文提出了一种非相干的直接对透射光强进行调制的方法。它是利用改变一对紧贴放置的光栅间的相对位移来实现的。

二、理 论 分 析

实验中采用的是一对正弦光栅, 其透过率系数为

$$t(x) = t_0 + t_1 \sin kx, \quad (1)$$

式中 $t(x)$ 为光栅任一点的透过系数, t_0 为透过光栅的直流分量。 t_1 为透过光栅调制分量的幅值。 K 为空间波矢, 其值为 $2\pi/d$, d 为光栅常数。将这样一对光栅紧贴放置(如图 1 所示)。当两光栅间的间距足够小时, 对可移动光栅而言, 完全可以忽略固定光栅的衍射效应。因此, 经固定光栅后分布在可动光栅上的光强, 可采用几何光学近似来分析。

图 1 所示系统的光强透过率函数与两光栅间相对位移 Δx 间的关系可表述为

$$T(\Delta x) = \int_0^l \{ (t_0 + t_1 \sin kx) [t_0 + t_1 \sin k(x + \Delta x)] \}^2 dx, \quad (2)$$

式中 l 为入射光在光栅上沿 x 方向的光斑尺寸。利用条件 $l \gg d$, 并取 l 为 d 的整数倍, (2) 式积分得

$$\left. \begin{aligned} T(\Delta x) &= A + B \cos k \Delta x + C \cos 2k \Delta x, \\ A &= l[(t_1^2/2) + t_0^2]^2, \quad B = 2lt_0^2t_1^2, \quad C = (lt_1^4/8), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

可见透过率函数由直流分量 A 以及空间波矢 K 的基波项和二次调波项构成。实验中取 $t_0=0.5, t_1=0.3$ 。图 2 为计算所得归一化的 $T(\Delta x) \sim \Delta x$ 关系曲线。由于(3)式中 C 远远小于 A 和 B , 因此透过率曲线几乎不受二次调波影响。由图 2 可见, 透过率函数 $T(\Delta x)$ 与两光栅间相对位移 Δx 呈余弦曲线关系, 周期为光栅栅距 d 。图 1 所示系统相当于一个可调的透过率板, 其透过率曲线具有极值、拐点, 满足作为光学双稳态装置传输系统的要求。

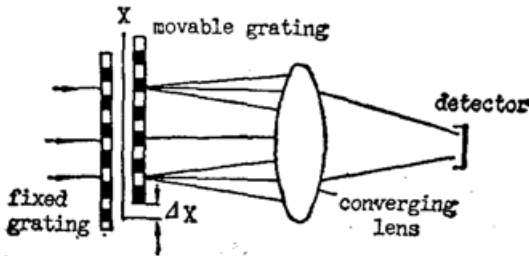


Fig. 1 The light intensity modulator using two gratings

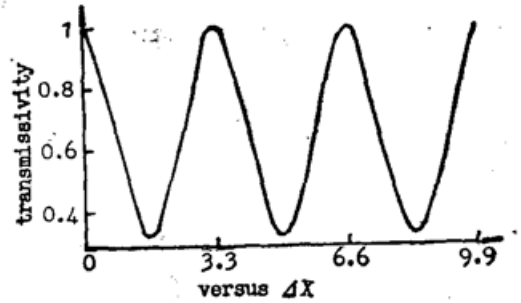


Fig. 2 Calculated transmissivity curve

三、实验与结果

图 3 为光栅光学双稳态的实验装置。其中 A 为可调衰减器, S_1, S_2 为分束器, 所采用的光栅 G_1, G_2 为 $3001/\text{mm}$ 的正弦光栅。 D_1, D_2, D_3 为光电探测器, L 为会聚透镜, A_m 为一线性放大器, P 为驱动可动光栅 G_2 的电致伸缩元件。图 3 所示的光学双稳态装置传输系统的透过率函数为

$$T(\Delta x) = A + B \cos K \Delta x + C \cos 2K \Delta x, \tag{4}$$

由于线性反馈作用可得到下面关系式

$$\Delta x = \alpha I_t, \tag{5}$$

式中 α 为电致伸缩元件位移量 Δx 与系统透射光强 I_t 间的转换因子。由 $T(\Delta x)$ 的定义及(4)式, 得到 $T(\Delta x) \sim \Delta x$ 的另一关系式

$$T(\Delta x) = \frac{\Delta x - \Delta x_0}{\alpha I_t}, \tag{6}$$

式中 Δx_0 为两光栅间的初始相对位移, I_t 为入射光强。光学双稳装置的静态工作点由方程(3)、(5)两式决定。可见, 适当选择 Δx_0 值, 系统的输出光强 I_t 就能成为输入光强 I_i 的多值函数。

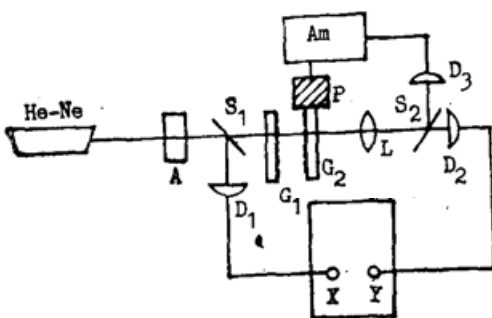


Fig. 3 Experimental setup

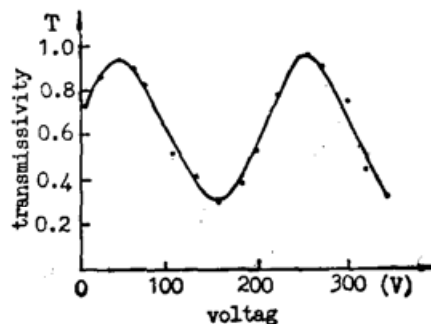


Fig. 4 The measured modulation curve from experiment

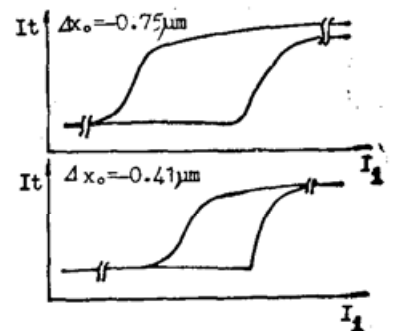


Fig. 5 Experiment results for different Δx_0

图 4 是实验测得的透过率曲线, 它是以透过率 T 与加在压电元件上的电压的形式表示出来的。压电陶瓷灵敏度为 20 nm/V 。实验曲线与理论计算曲线基本相符。图 5 为对应两个不同 Δx_0 值的双稳回线。

四、讨 论

(1) 实验中, 两光栅间的距离在微米量级。由物理光学分析, 图 1 中固定光栅对可动光栅的单缝衍射及多缝干涉效应均可忽略。因此实验中采用的光强调制方法是一个非相干过程。这种装置是目前报道的双稳装置中允许驱动光源带宽最宽的装置, 它为宽带光源提供了一种有希望的实时光调制方法。实验中, 用显微镜上的普通白炽灯作为光源也观察到了很好的双稳回线。这种装置很有可能应用于光通讯中白光源的调制过程。

(2) 实验中所用压电陶瓷为层叠式的, 响应时间为 2 ms , 远慢于其它过程。因此这种装置的开关时间尺度在 ms 量级^[6]。若采用栅距更小的光栅, 可使调制曲线变窄, 并可使用位移量小但响应时间快得多 (10^{-8} s) 的压电元件, 使开关速度大大提高。采用矩形刻痕光栅可获得更高的透过率, 消除直流分量, 实现从零到 50% 的光强调制^[7]。

参 考 文 献

- [1] P. W. Smith *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **30**, No. 6 (Mar), 280~281.
- [2] 李淳飞等;《光学学报》, 1981, **1**, No. 4 (Jul), 335~339.
- [3] 董孝义等;《光学学报》, 1987, **7**, No. 12 (Dec), 1076~1081.
- [4] J. Chrostowski *et al.*; *Opt. Commun.*, 1982, **41**, No. 2, 71~74.
- [5] M. Kitano *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1981, **46**, No. 14 (Apr), 926~929.
- [6] D. A. B. Miller; *Laser Focus*, 1982, **18**, No. 4, 79~84.
- [7] 徐予生等(译);《光纤传感器技术手册》, (电子工业出版社, 1987年10月, 北京), 145~147.

Grating optical bistability

YE HONGAN, CHEN JIUJIANG, ZHANG JINGLI AND YU XIAONAN

(Department of Physics, Heilongjiang University, Harbin 150080)

(Received 16 May 1991; revised 5 July 1991)

Abstract

In this paper, a grating optical bistable device is described. Changing the relative displacement between two symmetrical gratings, a periodic modulation of the light intensity is realized. Taking such a system as the transmission part and using He-Ne laser and white light, we have performed the optical bistable experiment. The experimental results are in good agreement with theoretical analyses.

Key words: grating, optical bistability.