

# 电光非线性 Michelson 光学双稳态装置

李淳飞 季家镛

(哈尔滨工业大学物理教研室)

## 提 要

将一块电光晶体置于 Michelson 干涉仪的两臂之一的光路上,以反馈信号调制该臂光束的相位,从而使两臂干涉输出的光强呈现光学双稳性。基于此原理提出了一种集成器件。

## 一、导 言

光学双稳性是近年来量子电子学领域内引起重视的新课题。它不仅具有理论意义,而且具有重要的应用价值。利用光学双稳性制成的器件具有类似于晶体三极管、触发器等器件的性质,由于它具有开关速度快、不受电磁干扰、可实现集成化等优点,可能在光信息处理和光通信等方面获得实际应用。因此,近年来国际上光学双稳态器件(简称 BOD)的研究发展很快。

1977年 P. W. Smith 等人提出的电光非线性法布里-珀罗光学双稳态装置<sup>[1,2]</sup>具有可控的非线性,所需的光功率小,能制成自持式的集成光学器件<sup>[3]</sup>,为光学双稳性的实用化开辟了一条途径。但是该器件由于采用法布里-珀罗谐振腔也带来一些缺点:即制造工艺复杂、装调困难;由于内含介质而使输出光强衰减 100 倍以上<sup>[4]</sup>;谐振腔内激光振荡的建立时间影响开关速度的进一步提高;而且透射率曲线太陡不易获得稳定的光三极管特性。1978年 E. Garmire 等人在 P. W. Smith 工作的基础上,提出一种不用反射镜的方案<sup>[5]</sup>,使器件结构大为简化,避免了法布里-珀罗制造工艺上的困难。但是,这种基于偏振光干涉原理的器件,要求另加两块偏振器,而且所用的  $\text{LiNbO}_3$  晶体是  $z$  切割的,仅利用了电光系数的  $\gamma_{22}$  分量,半波电压较高,因而消耗电功率较大。此外我们曾指出<sup>[6]</sup>,它的特性曲线是比较差的。

我们在研究具有反馈的电光非线性器件的基础上,提出了另一种新型光学双稳态器件。该器件既不需要法布里-珀罗谐振腔,也不用偏振器,而是利用一束相位被电光调制的光与另一束未被调制的光相互干涉,再用输出光信号反馈控制晶体上的电压,从而实现双稳性。晶体采用  $y$  切割的  $\text{LiNbO}_3$ ,利用电光系数的  $\gamma_{33}$  分量,它比  $\gamma_{22}$  约大 9 倍,因而半波电压大大降低。我们的装置结构简单,便于实现集成化;光损耗减小;开关速度快;获得了很好的双稳特性曲线。我们还提出了本装置的一种集成化方案。

## 二、原 理

在 Michelson 干涉仪的一臂上置一块  $\text{LiNbO}_3$  调制晶体, 光通过晶体后相位被调制, 另一臂不置晶体, 两束光相遇发生干涉。设这两束光强度分别为  $I_1$  和  $I_2$ , 皆与入射光强  $I_i$  成正比, 即

$$I_1 = \beta_1 I_i,$$

$$I_2 = \beta_2 I_i,$$

$\beta_1$  和  $\beta_2$  取决于各路光所经过的光学元件的性质, 为固定常数。

设  $\beta = \beta_1 + \beta_2$ , 则合成的输出光强应为:

$$I_t = (I_1 + I_2)(1 + \alpha \cos \phi),$$

$$I_t = \beta I_i (1 + \alpha \cos \phi), \quad (1)$$

式中  $\phi$  为两束光的相位差,  $\alpha$  为对比度, 定义为:

$$\alpha = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}. \quad (2)$$

若令该干涉仪的透射率  $\tau$  为输出光强与输入光强之比:

$$\tau = \frac{I_t}{I_i}, \quad (3)$$

则得:

$$\tau = \beta(1 + \alpha \cos \phi). \quad (4)$$

可见透射率  $\tau$  与相位差  $\phi$  间具有如图 1 的正弦型曲线关系(曲线 A)。

自输出光中分一部分光经探测器和放大器转变成反馈电压信号。若探测器和放大器皆工作在线性区, 反馈电压正比于输出光强, 将此电压加于晶体的电极上。若晶体为  $y$  切割, 入射光沿  $z$  轴偏振, 从  $y$  轴入射, 而电压加在  $z$  轴方向, 引起两次通过晶体的光的相位差的变化为:

$$\Delta\phi = \phi - \phi_0 = \pi \left( \frac{V}{V_{1/2}} \right), \quad (5)$$

其中

$$V_{1/2} = \frac{\lambda}{2n_e^3 \gamma_{33}} \left( \frac{d}{l} \right) \quad (6)$$

为半波电压,  $\lambda$  为光波长,  $n_e$  为  $e$  光折射率,  $\gamma_{33}$  为电光系数,  $d$  为电极间距,  $l$  为晶体通光长度。据(5)式  $\Delta\phi$  正比于  $V$ , 则有:

$$\Delta\phi \propto V \propto I_t$$

或

$$\phi - \phi_0 = K I_t, \quad (7)$$

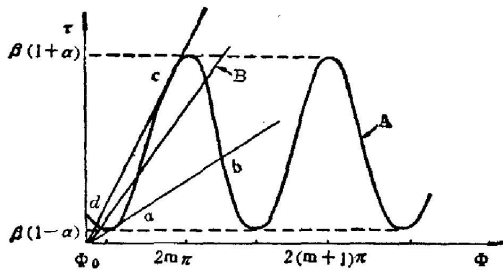


图 1

$K$  为比例常数。据(3)式则有

$$\tau = \frac{\phi - \phi_0}{KI_i}, \quad (8)$$

即  $\tau$  与  $\phi$  关系为一直线,斜率为  $1/KI_i$ , 相应于不同入射光得一组  $\tau-\phi$  直线, 见图 1 曲线  $B$ 。 $\phi$  与  $\tau$  的关系必须同时满足(4)和(8)两式, 可以用作图法来求解, 图 1 中曲线  $A$  和  $B$  的交点即为本装置的工作点。对应同一入射光强得到两个稳定的输出光强。入射光连续变化, 则可作出  $I_t$  依赖于  $I_i$  的双稳延滞回线, 如图 2 所示。延滞回线的形状取决于  $2m\pi - \phi_0$  的大小, 即取决于初始相位  $\phi_0$ 。

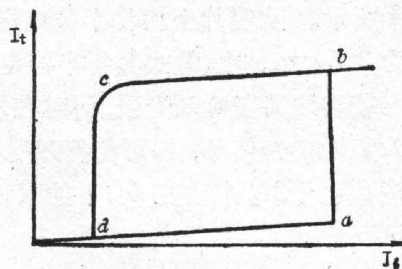


图 2

### 三、实验结果

实验装置如图 3 所示, 以  $0.5\text{mW}$  的 He-Ne 单色偏振光入射, 光强通过可调衰减器调变, 被分光镜  $P_1$  分开的两束光用补偿器使之强度近似相等, 两束光干涉而输出的光被分光镜  $P_2$  分取一部分, 经探测器  $T_3$  和放大器转变成电压信号, 加于干涉仪一臂的晶体电极上, 反馈调制此臂光的相位, 进而调制输出光强, 从而获得双稳特性。

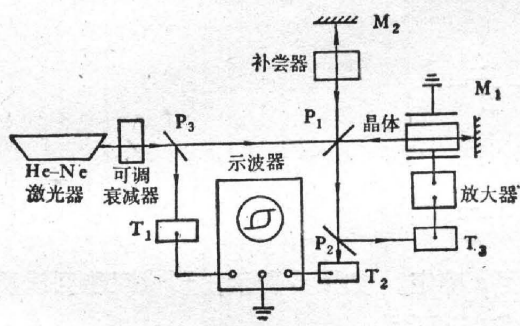


图 3

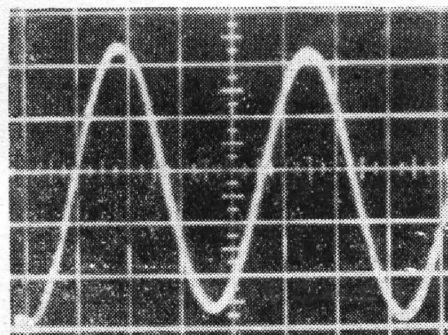


图 4

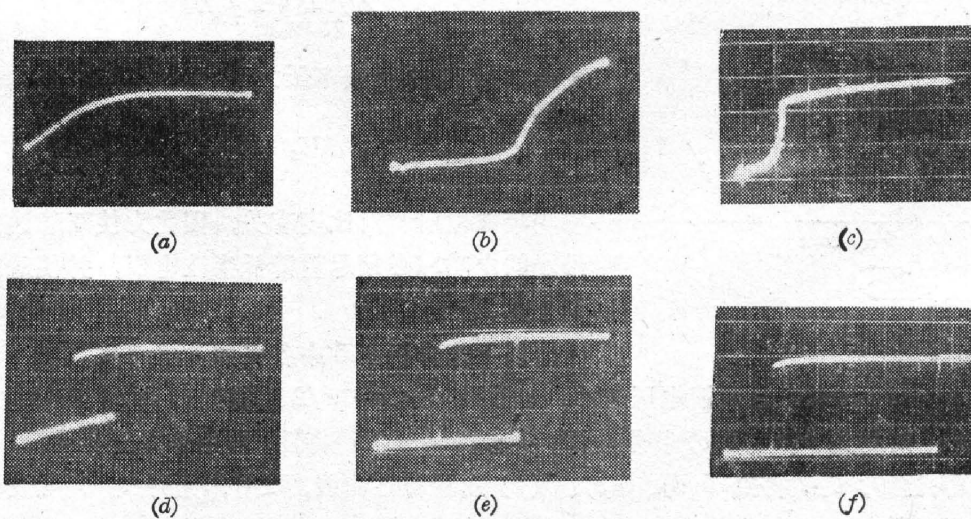


图 5

若在电极上加  $0 \rightarrow 750 \text{ V}$  连续可变电压(此时不加反馈信号), 可得到  $\tau-\phi$  调制曲线, 如图 4 所示。从照片上测得半波电压为  $164 \text{ V}$ 。本实验采用的  $y$  切割晶体长  $20.6 \text{ mm}$ , 电极距为  $3.5 \text{ mm}$ 。由 (6) 式算得半波电压值与实验结果相符。

若连续调变输入光强, 同时在超低频示波器的两输入端输入由  $T_1$ 、 $T_2$  探测器探测到的输入和输出光信号, 即可获得双稳特性曲线。图 5 给出了一组在不同初相  $\phi_0$  (通过改变反射镜  $M_1$  或  $M_2$  来改变  $\phi_0$ ) 下的双稳延滞回线, 所得结果相当理想。

#### 四、讨 论

以上指出, 双稳延滞曲线的形状由  $\theta = 2m\pi - \phi_0$  确定, 也即由初始相位差  $\phi_0$  确定。为求得最小初相位差  $\phi_M$ , 对公式 (4) 求二阶导数, 并令  $d^2\tau/d\phi^2 = 0$ , 得曲线拐点  $C$  的坐标为:

$$\left. \begin{aligned} \phi_c &= 2m\pi - \frac{\pi}{2}, \\ \tau(\phi_c) &= \beta. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

而由  $\phi_M$  出发过  $C$  点切线的斜率为

$$\left. \frac{d\tau}{d\phi} \right|_{\phi=\phi_c} = \alpha\beta,$$

则求得  $\phi_M$

$$\phi_M = 2m\pi - \frac{\pi}{2} - \frac{1}{\alpha}, \quad (10)$$

相应的  $\theta$  值为

$$\theta_M = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\alpha}. \quad (11)$$

这是产生双稳回线的最小  $\theta$  值, 它由对比度  $\alpha$  确定。如图 6 所示, 形成双稳回线所需的最小相位差变化为:

$$\Delta\phi_M = \phi_0 - \phi_M = \frac{1}{\alpha}.$$

根据 (5) 式最小反馈电压为

$$V_M = \frac{V_{1/2}}{\pi\alpha}, \quad (12)$$

它与半波电压和对比度有关, 因此为使双稳器件消耗最小的电功率必须尽量降低半波电压, 并使对比度尽量增加。

以下来分析图 5 中各张照片的意义。

当  $-\pi/2 \leq \theta \leq 0$ , 且反馈电压较小, 以致使  $\phi_0 < \phi \leq \pi/2$  时得到图 5(a) 特性曲线; 当  $0 < \theta \leq \theta_M$ , 时得到 5(b)、5(c) 特性曲线, 类似晶体三极管特性, 可用作光三极管及限幅器、整形器等; 当  $\theta > \theta_M$ , 得到 5(d)、5(e)、5(f) 双稳特性曲线, 可用作光开关, 光触发器及各种光逻辑元件。

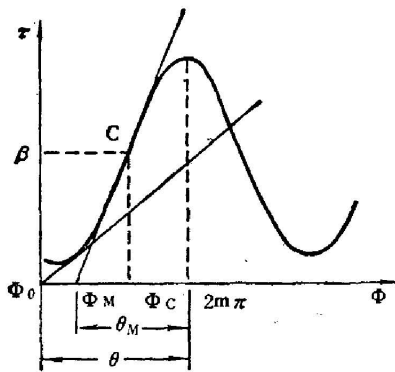


图 6

## 五、集成器件

为实现微型化器件,将本器件做成集成光学波导形式,有利于减少  $d/l$  比,据(6)式有利于降低半波电压,从而可以免去放大器。我们建议集成器件采用钛扩散  $\text{LiNbO}_3$  波导,如图7所示,光束通过耦合透镜自端面入射波导,在波导内分成两束,每束光两侧电极上各加相反极性的电压,使各自的相位发生相反变化。这样不仅对称性好,且可使所需反馈电压降低一半。输出光经耦合透镜扩束被光电探测器接收,转换成电压,直接反馈控制波导中的光,而实现双稳运转。

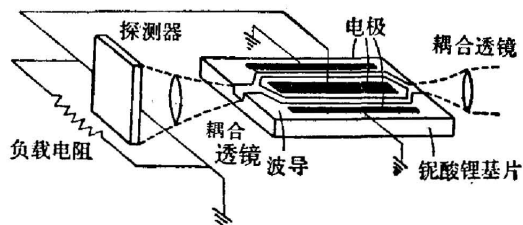


图 7

电光 Michelson 器件与电光法布里-珀罗器件相比有如下优点:

- (1) 省去了反射镜,因而结构和工艺简单。
- (2) 光束单次通过波导损耗小,有利于实现自持式。
- (3) 没有法布里-珀罗谐振腔,有利于提高开关速度。
- (4)  $\theta_M$  较大而易于获得稳定的光三极管特性。

### 参 考 文 献

- [1] P. W. Smith, E. H. Turner; *A. P. L.*, 1977, **30**, No. 6 (15 Mar), 282~284.
- [2] P. W. Smith, E. H. Turner *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1978, **QE-14**, No. 3 (Mar), 207.
- [3] P. W. Smith, I. P. Kaminow *et al.*; *A. P. L.*, 1979, **34**, No. 1 (1 Jan), 62.
- [4] 李淳飞, 许景春; 《光学学报》1981, **1**, No. 2, 167.
- [5] E. Garmiro, J. H. Marburger *et al.*; *A. P. L.*, 1978, **32**, No. 5 (1 Mar), 320.
- [6] 李淳飞; 《物理》, 1980, **9**, No. 2 (Apr), 99.

## An electrooptic nonlinear Michelson optical bistable devices

LI CHUNFEI and JI JIARONG

(Department of Physics, Harbin Institute of Technology)

(Received 25 November 1980)

### Abstract

An electrooptical crystal was inserted in one of the two arms of a Michelson interferometer. The feedback signal was used for phase modulation of the light beam in this arm. Thus the light output intensity, as a result of the interference of two beams, exhibited optical bistability. An integrated optical device version based on this principle was proposed.