

# 在电光光学双稳中一种降低晶体半波电压的方法

李长英 孙 焱\* 姜满良\*\* 郝志琦\*\* 谭海蕴\*\* 忽满利\*\*\* 王 诺  
(西北大学物理系激光教研室, 西安 710069)

## 提 要

本文采用非线性晶体调制函数曲线平移的计算方法和计算方程,并在实验上作了验证,绘制出电光晶体半波电压工作曲线,测试了不同条件下的各种调制函数曲线和滞后回线.结果证明:电光晶体调制函数曲线平移法是一种有效制做非线性晶体半波电压  $V_{\pi}$  的光学方法.

**关键词** 光学双稳态, 反馈, 光电效应.

## 1 引 言

晶体半波电压的大小对电光混合型光学双稳态的实现有着非常重要的作用.在以往的工作中对于纵向运用人们总是从  $V_{\pi} = \lambda A / 2n_0^3 \gamma_{63} L$  公式中去寻找降低半波电压的方法;或研究探索低值半波电压的电光晶体材料.但这无形却增加了实现双稳态方面的难度.为此,我们从半波电压的原始定义出发,从光学方法考虑找到了一种更加有效的降低晶体半波电压的新方法.

## 2 理论分析

**2.1 问题的提出** 在光学双稳系统中,  $\text{LiNbO}_3$  晶体的调制函数曲线为<sup>[1]</sup>:

$$\tau = 1 - \gamma \cos^2 \phi, \quad \phi = \pi(V_b + V_f) / V_{\pi} \quad (1)$$

式中  $V_b$  为偏置电压,  $V_f$  为与光强成正比的反馈电压,  $V_{\pi}$  为晶体的半波电压.那么能否在电光双稳系统中,使进入晶体前的两个光波有一定的位相差  $\theta$ ,将调制函数曲线变为:

$$\tau = 1 - \gamma \cos^2(\phi + \theta), \quad (2)$$

起到在晶体上加一定电压的作用.然后再在晶体上加适当电压,以补偿剩下的位相差,使出射晶体后的两光波相位差达到  $\pi$ ,从而实现对半波电压的“降低”.本文设想单轴晶体插入平行偏振光路中能达到这样的目的,为此进行了实验.

**2.2 调制函数曲线平移** 实验中,  $\text{LiNbO}_3$  晶体的  $V_{\pi} = 1435 \text{ V}$ , 最大反馈电压  $V_f = 320 \text{ V}$ , 插入单轴晶体后,测试了在不同角度下的调制函数曲线,如图 1 所示.从图 1 看出,当单轴晶体从  $0^\circ$  转到  $45^\circ$  时,半波电压从  $1435 \text{ V}$  降至  $700 \text{ V}$  左右,实现了调制函数曲线向  $y$  轴的平移.当继续增大单轴晶体角度时,曲线又沿原来调制函数曲线路径返回.

**2.3 理论推导** 当振幅为  $A$  的单色直线偏振光垂直照射到单轴晶体表面上的  $O$  点(见图 2),

收稿日期:1992年7月9日;收到修改稿日期:1992年11月12日

\* 88级应届毕业生    \*\* 87级毕业生    \*\*\* 90级研究生

它的振动方向与光轴成  $\alpha$  角, 在单轴晶体内它被分解成振动方向彼此垂直的两种线偏振光  $o$  光和  $e$  光.

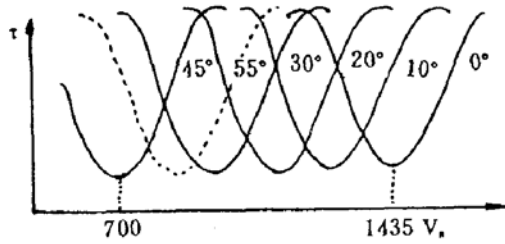


Fig. 1  $V_x = 1435$  V. The translation of LN crystal modulation function curve

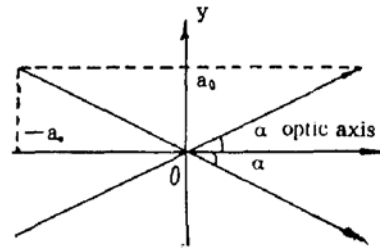


Fig. 2 A change of a polarized light pass through a single crystal

设  $x$  轴为单轴晶体的光轴方向, 光未进入单轴晶体前, 二振动分别为:

$$A_x = a_e \sin \tau = A \cos \alpha \sin \tau, \quad A_y = a_o \sin \tau = A \sin \alpha \sin \tau. \quad (3)$$

在  $0$  点相遇时, 这两列波的振动方向互成直角. 它们间的相位差假定为  $0$ , 当光线穿出单轴晶体后,  $o$  光与  $e$  光之间便产生了光程差, 其大小和单轴晶体厚度有关. 对于负晶体,  $e$  光在晶体中速度较快, 所以穿出负晶体后两振动分别为:

$$A_x = A \cos \alpha \sin \left( \tau + \frac{2\pi}{\lambda} \Lambda \right), \quad A_y = A \sin \alpha \sin \tau. \quad (4)$$

在本实验中所用的单轴晶体使  $\Lambda = \lambda/2$  (或  $3/2\lambda, \dots$ ), 所以通过单轴晶体后, 两振动分别为:

$$\left. \begin{aligned} A_x &= A \cos \alpha \sin (\tau + \pi) = -A \cos \alpha \sin \tau = -a_e \sin \tau, \\ A_y &= A \sin \alpha \sin \tau = a_o \sin \tau, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5) 式表示当光穿过单轴晶体后,  $o$  光的振动达到极大值  $a_o$  时,  $e$  光的振动刚好在它自己的反方向达到极大值  $a_e$ . 这样由它们合成的透射光, 合成振幅虽仍为  $A$ , 但振动方向却已以原来入射方向转过  $2\alpha$  角度. 由此可见, 选择不同的  $\alpha$  角就可以利用单轴晶体将直线偏振光的振动方向转过任意角度  $2\alpha$ , 当  $\alpha = 45^\circ$  时, 透射光的方向便改变至最大  $90^\circ$ . 因此当我们在光路中插入单轴晶体后, 便实现了(1)式向(2)式的转变, 其中  $\theta = 2\alpha$  ( $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ ). 所以调制函数曲线变为:

$$\tau = 1 - \gamma \cos^2 (\phi - 2\alpha) \quad (6)$$

(6) 式表明, 随着  $\alpha$  角的改变, 调制函数曲线将向  $y$  轴平移.

1) 当  $\alpha = 0^\circ$  时,  $\tau = 1 - \gamma \cos^2 \phi$ , 图 1 中  $A_1$  点电压为:  $V_B + V_F = V_x = 1435$  V.

2) 当  $0^\circ < \alpha < 45^\circ$  时, 曲线向  $y$  轴平移, 如图 1 中  $A_1$  点移向  $A_2, A_3, A_4$  点.

3) 当  $\alpha = 45^\circ$  时,  $\tau = 1 - \gamma \cos^2 (\phi + 2\alpha) = 1 - \gamma \cos^2 (\phi + 90^\circ)$ , 平移达到最大, 图 1 中  $A_5$  点电压  $V_B + V_F = 1/2 V_x \approx 700$  V.

4) 当  $45^\circ < \alpha < 90^\circ$  时, 式(5)变为:  $\theta = 2(90^\circ - \alpha) = 2\beta$  ( $0^\circ < \beta < 45^\circ$ ). 则  $\tau = 1 - \gamma \cos^2 (\phi + \theta) = 1 - \gamma \cos^2 (\phi + 2\beta)$  曲线沿原调制曲线路径返回, 如图 1 中  $A_5$  点移向  $A_6$  点.

5) 当  $\alpha = 90^\circ$  时,  $\tau = 1 - \gamma \cos^2 (\phi + 180^\circ) = 1 - \gamma \cos^2 \phi$  图 1 中  $A_6$  点返回至  $A_1$  点.

2.4 实验验证 为了从实验方面论证上面理论推导的正确性, 实验测试了单轴晶体在不同角度下, 得  $V_x = 250$  V 的  $\text{LiNbO}_3$  晶体的调制函数曲线, 如图 3 所示. 实验证明, 装置中插入单轴晶体, 当  $\alpha$  角从  $0^\circ$  转到  $45^\circ$  时, 可使  $\text{LiNbO}_3$  晶体的半波电压由  $V_x$  “降低”至  $V_x/2$ , 即 130 V.

2.5 工作曲线 为了更明显地看出单轴晶体从  $0^\circ$  转到  $45^\circ$  时  $\text{LiNbO}_3$  晶体“半波电压”的变化, 从图 1 可作出图 4, 我们把这条曲线称为晶体的工作曲线. 在这条工作曲线上可任意选择旋转角度确定不同半波电压以适应光双稳对  $V_x$  和  $V_F$  的要求.

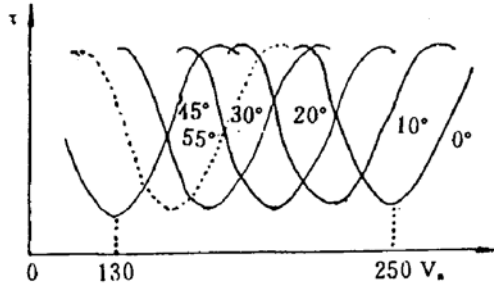


Fig. 3  $V_{\pi} = 250 V$ . The translation of LN crystal modulation function curve

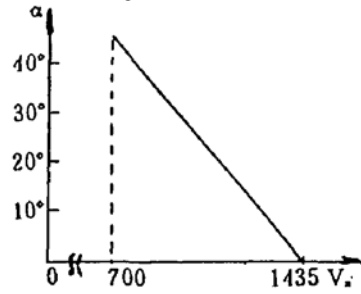


Fig. 4  $V_{\pi} = 1435 V$  LN crystal working curve

### 3 实验结果与讨论

3.1 实验装置 实验装置如图 5 所示. 总体设计由纯光路系统、反馈网络系统、输入回路和记录回路四部分组成.

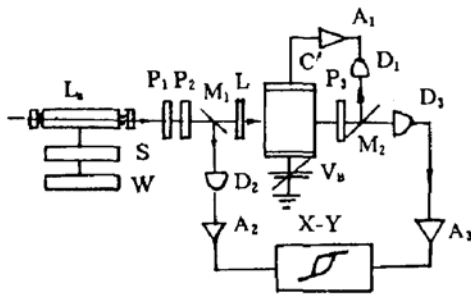


Fig. 5 The working principles of mixed optical bistable state of LN crystal electronic photo modulation

- 1. polarimeter; 2. C: LiNbO<sub>3</sub> crystal; 3. electronic alternating current stabilizer; 4. D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>; detector; 5. V<sub>B</sub>; direct current bias; 6. A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>; amplifier; 7. M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>; half-reflectors; 8. X-Y; recorder; 9. S; He-He; laser; supply; 10. L; twin crystal

3.2 双稳滞后线的绘出 图 6 是  $V_{\pi} = 1435 V$ , 最大反馈电压:  $V_F = 650 V$ , 不同偏压下 x-y 记录仪绘出的双稳滞后回线. 图 7 是  $V_{\pi}$  等效于  $700 V$ , 最大反馈电压  $V_F = 320 V$ , 不同偏压下的双稳滞后回线. 图 8 是  $V_{\pi} = 250 V$ ,  $V_B = 0$ , 不同反馈电压下绘出的双稳滞后回线.

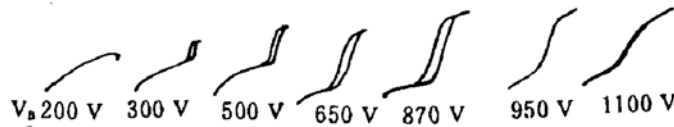


Fig. 6  $V_{\pi} = 1435 V$ ,  $V_{Fmax} = 650 V$  the hysteresis loops of optical bistability

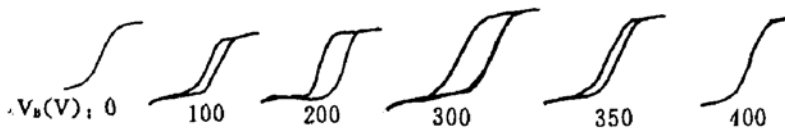


Fig. 7  $V_{\pi} = 700 V$ ,  $V_{Fmax} = 320 V$  the hysteresis loops of optical bistability

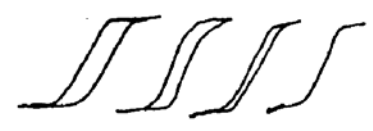


Fig. 8  $V_{\pi} = 250 V$ ,  $V_B = 0$  the hysteresis loops of optical bistability

从上面三个图看出: 无论是用光学法“降低” $V_{\pi}$ (如图 7), 还是从晶体尺寸上降低  $V_{\pi}$ (如图 8) 都会在低反馈、低偏压(或无偏压)的情况下实现双稳态.

### 3.3 讨 论

3.3.1 对临界值的分析 实现光学双稳态的两个方程为:

$$\tau = 1 - \gamma \cos^2 \phi, \quad \tau = (\phi - \phi_B)/KI_i \quad (7)$$

式中:  $K = \pi/V_\pi \cdot x$  ( $x = V_F/I_i$  为反馈系统的光电转换效率).

第一临界点的值由下列两方程决定:

$$I_i = (1 - \gamma)I_i, \quad I_i = I_i[1 - \gamma \cos^2(\phi_B + I_i)]. \quad (8)$$

由此得到:

$$I_{ic_1} = (\pi - \phi_B)/(1 - \gamma), \quad I_{ic_1} = \pi - \phi_B. \quad (9)$$

第二临界点的值将由  $I_i = I_i$  和 (7) 式共同决定, 其结果为:

$$I_{ic_1} = 1.5\pi - \phi_B, \quad I_{ic_2} = 1.5\pi - \phi_B. \quad (10)$$

因此  $\Delta I_i = I_{ic_2} - I_{ic_1} = \pi/2$ . 所以, 若反馈电压  $V_F$  和  $I_i$  成线性关系, 则  $V_F$  必须满足:

$$V_F \geq 1/2 \cdot V_\pi \quad (11)$$

否则无论  $V_B$  加多大, 也无法实现双稳态, 如图 8, 当  $V_F < 1/2V_\pi \approx 130$  V 后, 滞后回线退化为一微分曲线. 在图 6 中,  $V_\pi = 1435$  V, 最大反馈电压  $V_F = 650$  V  $< 1/2 V_\pi$ . 图 7 中,  $V_\pi = 700$  V, 最大反馈电压  $V_F = 320$  V  $< 1/2 V_\pi$ .

### 3.3.2 对反馈系统的考证

实验中我们对光电探测器的转换能力进行了测试, 如图 9 所示. 该图说明  $V_F$  和  $I_i$  成非线性关系. 图 10(a)、(b) 分别为线性反馈回路和非线性反馈回路求得的双稳方程的解“ $A$ ”其合为图 11(a). 并画出它们分别对应的临界范围, 即图 10(b). 从中可以看出, 非线性反馈电路得到的双稳滞后回线要好一些. 例如对同一输入光强  $I_{in}$ , 非线性反馈曲线与调制曲线的交点  $C_1$  比线性反馈曲线与调制曲线的交点  $C_2$  低得多, 即  $\tau_1 < \tau_2$ , 而  $D_1$ 、 $D_2$  和  $A_1$ 、 $A_2$  两临界点差别并不大. 因此可以得出结论: (11) 式对非线性反馈系统并不适用, 且采用合适的非线性反馈系统, 高态(上稳态)光强易趋于相等, 即稳态特性好, 双稳滞后回线较为理想.

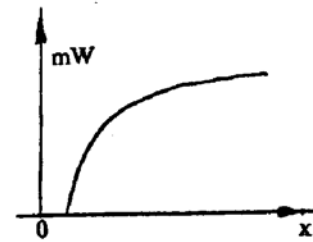


Fig. 9 The reversal efficiency of the photoelectronic detector

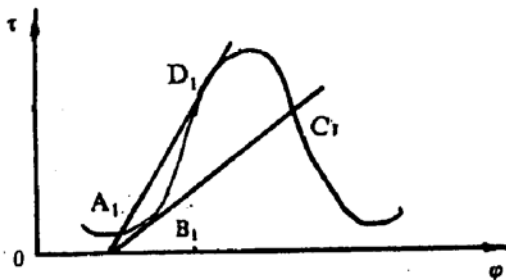


Fig. 10(a) The comparison of the solution between the linear and nonlinear optical bistability question-sets

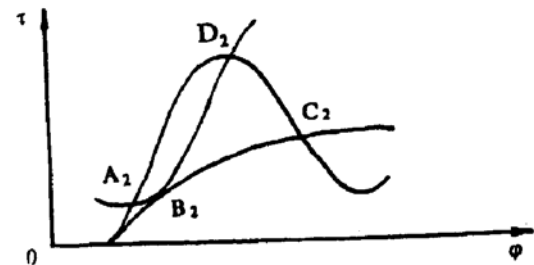


Fig. 10(b) The comparison of the critical range between the linear and nonlinear circuit

## 4 结 论

从本文所做的  $\text{LiNbO}_3$  晶体电光调制混合型光学双稳态实验中, 可得到以下几个结论:

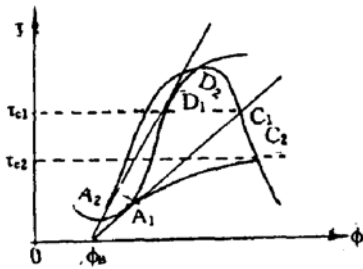


Fig. 11(a) The comparison of the solution between the linear and nonlinear optical bistability question-sets

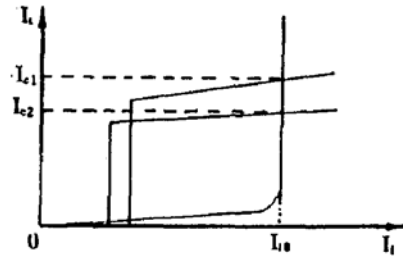


Fig. 11(b) The comparison of the critical range between the and nonlinear circuit

- 1) 文中所提的“调制函数曲线平移法”从理论和实践两方面得到了证明,实验结果和理论符合得很好.
- 2) 光路中插入单轴晶体,在一定条件下,可使晶体半波电压从  $V_{\pi}$  “降”至  $V_{\pi}/2$ .
- 3) 半波电压的降低,使得双稳态第一、第二临界电压降低,从而能够实现低反馈、低偏压(或无偏压)下的光学双稳态.
- 4) 采用合适的非线性反馈系统,双稳滞后回线效果更好.

### 参 考 文 献

- [1] 李允中,董孝义,王清月主编, 现代光学实验:天津南开大学出版社, 1991, 9: 198~201
- [2] 董孝义编著, 光波电子学—光通信物理基础:天津南开大学出版社, 1987, 11: 590~599
- [3] 龙槐生,张仲先,谈恒英编著, 光的偏振及其应用:北京机械工业出版社, 1989, 7: 85~88
- [4] 李淳飞,季家箐, 电光非线性 Michelson 光学双稳态装置. 光学学报, 1981, 1(4): 335~339
- [5] 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
- [6] E. Garmire *et al.*, Incoherent mirrorless bistable optical devices. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, 32(5): 320~321

## A way of decreasing crystal half-wave voltage in optical bistable state

LI Changying    SUN Yan    JANG Manliang  
HAO Zhiqi    TAN Haiyun    HU Manli

(Northwest University, Physics Department, Laser Institute Xian 710069)

(Received 9 July 1992; revised 12 November 1992)

### Abstract

The calculating method and equation of paralling modulation function curve of nonlineral crystal are applied in this paper, and verified experimentally. The half-wave voltage working curve of electron-optical crystal has been plotted. All kinds of modulation function curve and hystereosis loop in different conditions are tested. The result proved that the paralling method of modulation function curve of electron-optical crystal is an effective optical method of making half-wave voltage ( $V_{\pi}$ ) of nonlineral crystal.

**Key words** optical bistability, freeback, photoelectric effect.