导波光束偏转器的双稳态特性*

李玉善 林盛强 金 锋 (中国科学院长春物理研究所)

王 永 兴 (长春市第一光学仪器厂)

提 要

利用 LiNbO3 波导电光棱镜,验证了导波光束偏转器的双稳态特性。对此,利用调制特性曲线的高斯 函数模型,作了必要的理论分析,与测量结果基本相符。

一、引 言

在集成光学领域里,以电光波导调制器利用导波光束的干涉、定向耦合和截止等效应, 将相位调制转换成强度调制,并经电学反馈,实现了各种混合型光学双稳态器件:带有法 布里-珀罗谐振腔的相位调制器^{(1,21}、不带谐振腔的多模波导振幅调制器⁽³³、定向耦合调制 器^{(4,53}、分支波导双臂干涉调制器^{(5,71}和截止调制器^{(8,93}。除光波导调制器外,导波光束偏转 器原则上也可用来构造光学双稳态器件。本文利用 LiNbO₃ 波导电光棱镜^[10,11],验证了导 波光束偏转器的双稳态特性,对此提出了调制特性曲线的高斯函数模型,并作了必要的理论 分析。

二、实验装置

向切割的 Ti 扩散 LiNbO₃ 晶体上,利用光刻工 艺,由沿 α 轴向的平行电极和一个斜电极 9 构 成。斜电极把平行电极间隙分隔为两个电光棱 镜区域,在这两个区域外,加上一个沿 α 轴的极 性相反的电场,因线性电光效应产生折射率差 异,使 TE 波经过电极时在波导平面内发生偏 转。将这一器件用作双极开关时,对于 He-Ne 激光(λ =6328Å)和 50 Ω 负载,其开关电压为 ±19 V,开关时间为 0.1 ns。



图 1 实验装置示意图 Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

收稿日期: 1982年12月17日; 收到修改稿日期: 1983年2月16日 *本文在'83 IOL上宣读

实验装置如图1所示。这里,用LiNbO。波导电光棱镜作导波光束偏转器。它是在 y 方

输入棱镜 2 和输出棱镜 3. 分别充当光波导的输入和输出耦合器,将 TE 偏振的 He-Ne 激光耦合入和耦合出波导。输入探测器 5 检测分束器 4 输入光束的光强。输出探测器 7 将

偏转输出光束通过取样狭缝6作一维取样检测。 输出探测器的电流信号,经电学放大器 & 放大后变成电压信号,加在电光棱镜的电极上,以实现电学反馈。器件的偏置电压,由放大 器直接提供,故省去偏置电路。光学衰减器 10 由两个偏振器构成,用来改变输入光强。

将输入和输出探测器与记录仪 11 相连接,并用光学衰减器 10 连续改变输入光强时,记 录仪便绘出器件的输入-输出特性曲线。这些特性曲线的形状,与偏置电压、取样狭缝的位 置和宽度及背景光强度有关,并在一定条件下成双稳滞后回线。

三、理论分析

二维高斯光束通过输入棱镜耦合入光波导后变成波导平面内的一维高斯光束,经电极 后发生偏转,再由输出棱镜耦合出来的光束,沿平行波导平面方向近似地保持高斯型强度分 布。在取样狭缝方向与波导平面相垂直,且其宽度小于输出光束孔径时,对于确定的输入光 强和取样狭缝位置,取样输出光强 I 与调制电压 V 的关系,即器件的调制特性,可由高斯函 数作近似描述

$$I/I_{m} = D = \exp[-(V - V_{m})^{2}/V_{d}^{2}], \qquad (1)$$

式中 I_m 为I的最大值(对应于高斯光束的中心部位射入取样狭缝的情形),并与输入光强 成正比。D为归一化探测系数。 V_m 对应于 $I=I_m$ 时的调制电压,与取样狭缝位置有关。 V₄代表 D-V 曲线的宽度, 它与器件的双极开关电压和狭缝宽度有关。为了简便起见, 本 文以 Im 代表输入光强,并用 I-Im 关系来描述器件的输入-输出特性。

导波光束在波导平面内。因波导表面和折射率的不规则性发生散射,从而使m线扩展。 因此, m线同杂散光一起构成背景光。设背景光对 D的贡献为 D_{2} , 则(1)式应改写为

$$D = D_{s} + (1 - D_{s}) \exp\left[-(V - V_{m})^{2}/V_{4}^{2}\right]_{o}$$
(2)

当光束的偏转角范围很小时, D, 近似于常数。 可见,背景光影响器件的调制特性,尤其是加线 的作用较为显著。

对于线性反馈,调制电压可表示为V=VB $+K_{I}$,其中 V_{B} 为偏置电压, K_{I} 为反馈电 $E, K_1 为 I 对 V 的反馈系数。于是器件的反$ 馈特性可表示为

$$I/I_m = D = (V - V_B)/K_I I_{m_0}$$
(3)

用(2)式画出高斯型调制特性曲线(简称调 制曲线),并用(3)式画出偏置电压与调制曲线 相切的对应于某一确定偏置电压VB的两条反 馈特性曲线(简称反馈曲线),如图2所示。在 这两条反馈曲线之间的区域内,任意一条反馈 曲线与调制曲线均有三个交点。除了中间的交



687

点对应于不稳态以外,其余两个交点对应于双稳态,即对于确定输入状态存在有两个稳定输 出状态。在这两条反馈曲线以外的区域内,任意一条反馈曲线与调制曲线只有一个交点,即 对于确定输入状态只有单一稳定输出状态。

若与调制曲线相切的两条反馈曲线相互重叠,并切于调制曲线的拐点,则器件处于临界 状态,即从双稳态过渡到单稳态的工作条件。在图 2 中,画出与调制曲线的拐点相切的反馈 曲线,设其与横坐标轴的夹角为α。于是,得到实现双稳态的阈值偏压可表示为

$$V_{th} = V_0 - D(V_0) / \operatorname{tg} \alpha = V_0 - D(V_0) / (dD/dV)_{V=V_0}, \qquad (4)$$

式中 Vo 为对应于拐点的调制电压。对于高斯型调制曲线,由(2)式和(4)式推得

$$V_0 = V_m - (V_d/\sqrt{2}),$$
 (5)

$$V_{th} = V_m - \sqrt{2} V_d \left[1 + \frac{D_s \sqrt{e}}{2 \sqrt{1 - D_s}} \right]_o$$
(6)

显然, V₁, 与 V_m、V_a和 D, 有关。换句话说, 阈值偏压与取样狭缝的位置和宽度、双极开关 电压及背景光强度有关。

以上的分析说明: 当 $V_B < V_{th}$ 时,器件具有双稳态,其 $I-I_m$ 关系构成双稳态特性曲线,即滞后回线;当 $V_B > V_{th}$ 时,器件只有单稳态,其 $I-I_m$ 关系构成单稳态特性曲线。于是,对于确定的取样狭缝宽度、双极开关电压和背景光强度,改变取样狭缝的位置或偏置电压,总可以实现器件的双稳态。

四、测量结果

为了便于描述测量结果,用输出探测器的光电流 A 来表示取样输出 光强 I,并将对应于 I_m 的 A 记作 A_m ,则器件的 $I-I_m$ 特性可由 $A-A_m$ 曲线来表示。于是,有关系式 $D=I/I_m=A/A_m$ 。于是(4)式可改写为

$$D = (V - V_B) / K_A A_m, \tag{7}$$

式中 K_A 为A对V的反馈系数,可由放大器的特性曲线确定。

对于 V_B=-27、-9.8 和 5 V,利用数字电压表测得放大器的特性曲线,如图 3 所示。







图 4 调制曲线和反馈曲线($V_B = -11.3 \text{ V}$) Fig. 4 The modulation and feedback characteristic curves at $V_B = -11.3 \text{ V}$ 其中,纵坐标和横坐标分别为放大器的输入电流和输出电压,黑点表示测量值。由图3可以 看到,在所用偏置电压范围内,放大器的线性很好, K₄ 为 8.9V/μA,其误差约为 5%。 当取样狭缝的宽度约为输出光束孔径的 1/5~1/6 时,连续改变调制电压,用记录仪测

 $V_{B} = -11.3 V$ 9.0 7.5 6.0 $(\Pi \Lambda)$ 4.5 3.0 1.5 0.0 8 12 16 20 24 28 32 Am (uA) 图 5 图解的双稳滞后回线(V_B=-11.3 V) Fig. 5 The graphical hysteresis curve at $V_B = -11.3 \text{ V}$

得调制曲线。对此,进行归一化后用(2)式作 最小二乘法拟合,拟合参数为 $D_s=0.065$, $V_m=44.5V$ 和 $V_a=22V$,代入(6)式得 $V_{th}=$ 11.6V。实测和拟合的调制曲线,分别用实线 和破折线(见图4所示)。拟合结果表明,当取 样狭缝的宽度小于输出光束孔径时,调制曲线 的高斯函数模型基本上符合实际,可用来描述 双稳态的诸特性。

对于 $V_B = -11.3$ V,将 $K_A = 8.9$ V/ μ A 代入(7)式,以 A_m 为参变量画出一系列反馈曲 线(见图 4)。利用图 4 中的调制曲线和反馈曲 线的交点,解出 $A-A_m$ 的双稳滞后回线,如图 5 所示。在图 4 中的切点 D 和交点 A,分别对

应于图 5 中的滞后回线前沿的高低两个输出状态,其调制电压跃变为 $V_D - V_A \approx 46$ V;交点 C 和切点 B 分别对应于滞后回线后沿的高低两个输出状态,其调制电压跃变为 $V_C - V_B \approx 64$ V。

为了比较起见,对于 $V_B = -11.1$ V,利用光学衰减器连续改变输入光强,由记录仪绘制 出双稳滞后回线,如图 6(*a*)所示。对此,用数字电压表测得 $V_D - V_A = 46$ V, $V_C - V_B = 62$ V。 由图 5 和图 6(*a*)可以看到,图解和实测的双稳滞后回线,不仅形状相似,而且 $V_D - V_A$ 和 $V_C - V_B$ 的数值也基本相符。





图 7 两个稳态相互转换 的示波器照片 Fig. 7 The oscillograph photo for the conversion between two stable states



在不同偏置电压下($V_B = -4.7, 0, 8.7, 9$),由记录仪绘制出各种形状的输入-输出特性曲线,如图 6(b)、(c)、(d)和(e)所示。显然,只有当 $V_B < 9$ V 时,才能实现双稳态。

3卷

为了验证导波光束偏转器的光存储和光开关功能,实验过程中,用正负光脉冲进行触发,使器件的两个稳定输出状态之间相互转换,其示波照片如图7所示。

五、讨 论

测量结果表明:调制曲线的高斯函数模型适合于取样狭缝较窄的情形。但是,狭缝宽度不能过小,否则为了实现双稳态必须采用较大的输入光强。 当狭缝宽度大到可以同输出 光束孔径相比较时,调制曲线不能由高斯函数来描述。当取样狭缝过宽时,调制曲线没有明 显拐点,故不易实现双稳态;同时,调制曲线明显加宽, V_D-V_A和 V_C-V_B随着变大,故开 关能量显著增加。

由图 4 中拟合的调制曲线求得的阈值偏压(理论值: $V_{ih}=11.6V$)和由 图 6 中 特性曲 线获得的阈值偏压(测量值: $V_{ih}\approx9V$)之间有一定差异。这有两个原因。首先,正如图 4 所 示,实测和拟合的调制曲线不完全一致,这就说明调制曲线的高斯函数模型同实际调制特性 还有一些偏差;其次,用记录仪测得图 4 中的调制曲线和图 6 中的特性曲线时,前者是慢速 测量的,而后者是快速测量的,因此记录仪的机械惰性也能引起测量误差。

本实验采用的 LiNbO₃ 波导电光棱镜,具有较大的双极开关电压,为了实现双稳态必须 使用电学放大器。若采用波导电光棱镜陈列⁽¹²⁾,并适当改进电极结构和尺寸,则双极开关电 压能够降至几伏,从而可以省去反馈电路。 这样的导波光束偏转器可用来构造自持式集成 化光学双稳态器件⁽²⁾。

综上所述,我们在实验和理论上验证了导波光速偏转器的双稳态特性,为研制新型集成 化光学双稳态器件,提供了科学依据。

在制作线性放大器的过程中,曾得到哈尔滨工业大学物理教研室几位同志的热情帮助, 在此深表谢意。

参考文献

- [1] P. W. Smith et al., Appl. Phys. Lett., 1978, 33, No. 1 (Jul), 24.
- [2] P. W. Smith et al.; Appl. Phys. Lett., 1979, 34, No. 1 (Jan), 62.
- [3] E. Garmire et al.; Opt. Lett., 1978, 3, No. 2 (Feb), 69.
- [4] P. C. Cross et al.; IEEE J. Q. E., 1978, QE-14, No. 8 (Aug), 577.
- [5] H. Ito et al.; Electron. Lett., 1978, 15, No. 24 (Nov), 791.
- [6] A. Schnapper et al.; Opt. Commun., 1979, 29, No. 3 (Jun), 364.
- [7] H. Ito et al.; Electron. Lett., 1978, 15, No. 10 (May), 283.
- [8] W. Sohler; Appl. Phys. Lett., 1980, 36, No. 5 (Mar), 351.
- [9] H. F. Schlaak et al.; Opt. Commun., 1980, 32, No. 1 (Jan), 72.
- [10] I. P. Kaminow, L. W. Stulz; IEEE J. Q. E., 1975, QE-11, No. 8 (Aug), 633.
- [11] 李玉善; 《光学学报》, 1981, 1, No. 1 (Jan), 93.
- [12] C. S. Tsai et al.; Appl. Phys. Lett., 1975, 27, No. 4 (Aug), 248.

LI YUSHAN LIN SHENGQIANG AND JIN FENG (Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

WANG YONGXING (The First Optical Instrument Factory of Changchun)

(Received 17 December 1982, revised 16 February 1983)

Abstract

The bistability of the optical guided-wave beam deflector has been demonstrated for the first time. For this, the Gaussian function model of the modulation characteristic curve is presented by

 $I/I_m = D = D_s + (1 - D_s) \exp[-(V - V_m)^2/V_d^2]$,

where I is the sampling output light intensity, and I_m is the maximum of I. D is the normalized coefficient of the sampling detection, and D_s is the contribution from the background light in D. V is the modulating voltage, and V_m is corresponding to $I = I_m$ and D = 1. V_d is used to represent the width of the dV curve. Theoretical analysis using this model agrees with the measured results basically.

^{*} This paper was presented at '83 ICL (Guangzhou, China)