

具有非线性反馈的光学双稳态装置*

李 淳 飞

(哈尔滨工业大学物理教研室)

一、前 言

双稳态光学器件(BOD)具有双稳态电子器件类似的功能,可以用作存储器、放大器、振荡器、限幅器和开关元件等。如果实现微型化,做成集成光路元件,其开关速度估计可达 1ns。对于光学信息处理和光通讯的应用具有重要意义,可能成为未来光学数字计算机的一种基础逻辑元件。因而近年来引起人们的重视。

目前国外研究的 BOD 器件有两种类型,一类是纯光学的,即将非线性光学介质(如饱和吸收染料,金属蒸汽等)置于 F-P 谐振腔中构成;另一类是光电结合的,即利用电光普克尔效应构成。而电光 BOD 器件主要有两种方案:一种是 P. W. Smith 等人提出的 F-P 谐振腔调制方案^[1];另一种是 E. Garmire 等人提出的电光偏振调制方案^[2]。这两种方案都采取从输出光中取出信号,通过光电探测器和线性放大电路,调制在晶体上的电压的方法,实现对输出光的反馈控制。两种方案各有特点: P. W. Smith 的方案得到的双稳态特性较好,但 F-P 谐振腔的制造比较困难,而且必须使用单色相干光源。而 E. Garmire 的方案装置比较简单,不需要 F-P 谐振腔,且可用非相干光源,但双稳特性曲线不够理想。

我们采用偏振调制方案,但反馈电路不用线性的而用非线性的,与 Garmire 的方案相比,取得双稳态特性更好,而且省去了偏置电压。

二、原 理

如图 1,将 LiNbO₃ 晶体置于正交的两偏振器之间,组成偏振调制器,光束沿晶体光轴方

向传播,横向加电压。设入射光强为 I_0 ,出射光强为 I ,则透射率 τ 与电压 V 的关系为

$$\tau = \frac{I}{I_0} = \sin^2\left(\frac{\pi V}{2V_{1/2}}\right), \quad (1)$$

其中 $V_{1/2}$ 为 LiNbO₃ 的半波电压。

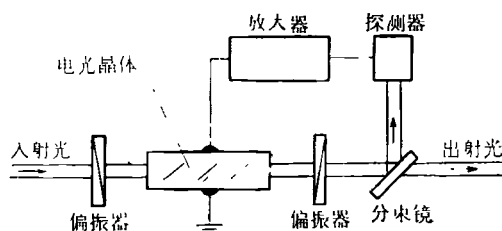


图 1

$$V_{1/2} = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \cdot \frac{d}{l}, \quad (2)$$

λ 为光波长, n_0 为 O 光折射率, γ_{22} 为电光系数, d 为晶体横向尺寸,即电极间距, l 为晶体通光方向长度。(1)式也可表示为

$$\tau = \frac{1}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi V}{V_{1/2}}\right) \right]. \quad (3)$$

考虑到晶体剩余应力引起的附加电压 V_s 及因光学不均匀性而引入的消光因子 F , 则透射率和电压关系可近似表示为

$$\tau = \frac{1}{2} \{ 1 - F \cos[\pi(V + V_s)/V_{1/2}] \}. \quad (4)$$

调制曲线的形状如图 2(a) 所示。

输出光被分束镜分出一部分射向光电探测器转变成电信号,再经放大器放大,调控加在晶体电极上的电压,从而实现对输出光的反馈控制。电压与输出光强的关系表示为

$$V = F(I). \quad (5)$$

对线性放大电路, $V = \alpha I$, α 为取决于探测器

*1979 年 10 月 4 日收到。

和放大器特性的常数,则透射率为

$$\tau = \frac{1}{\alpha I_0} V, \quad (6)$$

可见 τ 与 V 的关系为一直线, $\frac{1}{\alpha I_0}$ 为其斜率.

入射光越大,斜率越小. 而对非线性放大电路,将(5)式表示为 $I = F^{-1}(V)$, 则透射率与电压的关系为

$$\tau = \frac{1}{I_0} F^{-1}(V). \quad (7)$$

对应不同的 I_0 值,有不同的曲线关系,得到一组反馈曲线,如图 2(a). 该器件应同时满足方

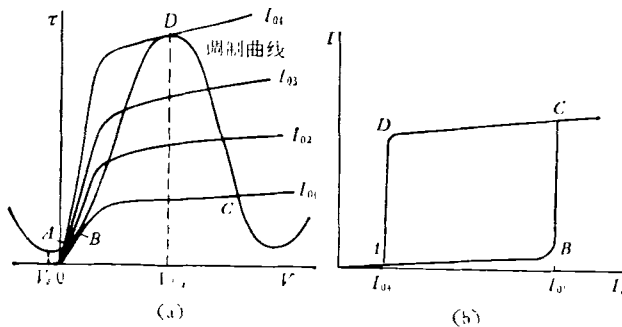


图 2

程(4)和(7),其解为器件的工作状态.也可以用作图方法由调制曲线和反馈曲线的交点得到(4),(7)的解.从而得到输入-输出特性曲线,如图 2(b),该曲线具有滞后回线特征.在临界点 A, B, C, D 范围内,对应于一个输入光强,存在着两个稳定的输出光强,此即双稳态.

三、实验装置

本实验所用 LiNbO_3 晶体长为 28mm, 电极距为 7mm, 宽为 9mm, 乙向切割, 半波电压 1000V, 动态消光比为 60, 侧面镀金形成电极. 测得附加电压 $V_s = 40\text{V}$, 消光因子 $F = 0.97$, $\tau-V$ 关系近似表示为

$$\tau = \frac{1}{2} \{1 - 0.97 \cos [\pi(V + 40)/1000]\}. \quad (8)$$

实验光路如图 3, P_2 和 P_3 为一对固定的正交偏振器, 偏振器 P_1 和 P_4 分别与 P_2 和 P_3 组成可调衰减器, 旋转之可调变输入和输出光强. F_1 和 F_2 为透射率 80% 的分束镜. F_1 将入射光分出一部分, 供探测器 T_1 测其光强. F_2 从

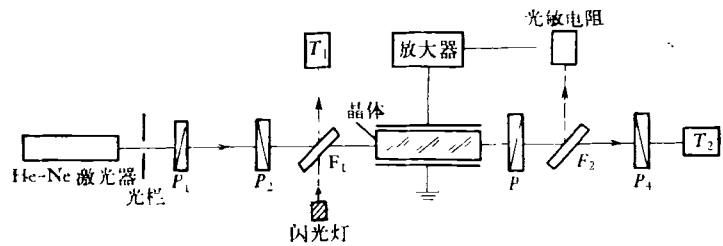


图 3 P_1, P_2, P_3, P_4 ——偏振器; T_1, T_2 ——光电探测器; F_1, F_2 ——分束镜

出射光中分出一部分, 供光敏电阻转换成电信号, 反馈控制晶体电极上的电压. 探测器 T_2 用以测量出射光强.

放大器采取可控硅调压电路. 来自光敏电阻的信号被晶体管放大, 控制单结晶体管触发电路的振荡频率, 改变可控硅的导通角, 从而改变高压整流电源的初级电压, 最后调变直流输出电压. 该电路的输入-输出特性是非线性的.

四、实验结果

实验测得的调制曲线、反馈曲线和双稳滞后曲线见图 4、图 5 及图 6.

通过作图法求得的输出-输入关系曲线与直接测量所得结果相符.

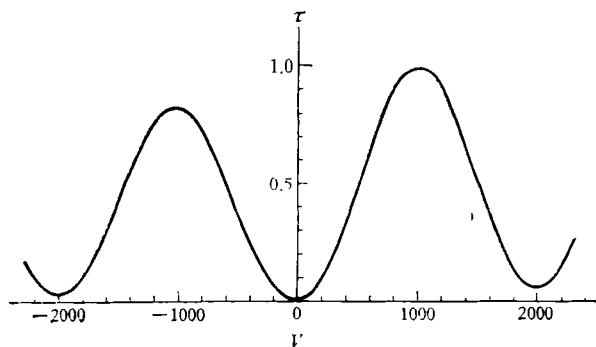


图 4

该装置的双稳态特性非常明显。对于双稳态范围内的某一入射光强，以小灯泡的闪光瞬间照射光敏电阻（相当正脉冲作用），即可把输出光强由低态激发到高态，并可长期维持。若瞬间遮住射向光敏电阻的光信号（相当负脉冲作用），即可使输出光强从高态回到低态。

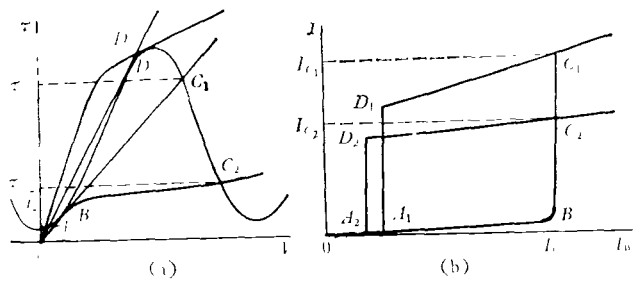


图 7

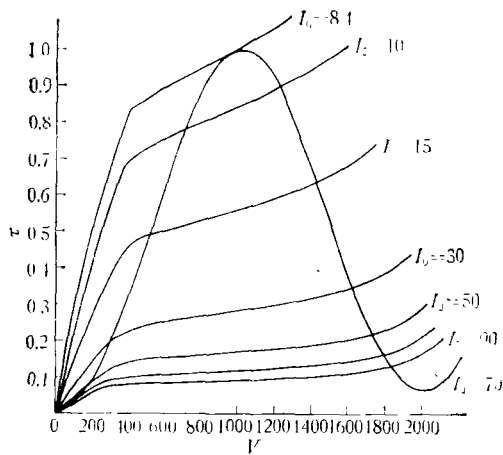


图 5

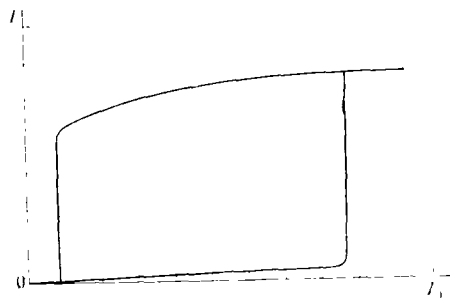


图 6

五、讨 论

我们用非线性反馈电路得到的双稳滞后回线接近于矩形，特性比用线性反馈电路得到的要好，其原因参看图 7。对应同一入射光强 I_{0B} ，非线性反馈曲线与调制曲线的交点 C_2 比线性反馈曲线的交点 C_1 低得多，即 $\tau_{C_2} < \tau_{C_1}$ ，出

关系 $I = \tau I_0$ ，输出光强 $I_{C_2} < I_{C_1}$ ，而在 D 和 A 两临界点，两种情况差别不大，因此非线性反馈情况比线性反馈情况高态输出光强更接近相等，双稳态特性更理想。

由于本装置使用的晶体尺寸较大，半波电压较高，因此开关速度较慢，若减小晶体尺寸，由(2)式可知，减小 d/L 将使半波电压降低，有利于提高开关速度。

微型双稳态器件，所需开关能量极小，甚至可以省去外加电压和复杂的反馈电路，而做到以输入光能量直接调制晶体^[3]。即使对于这种微型器件，如果做到使光电探测器具有如图 5 所示非线性饱和特性，对于改善双稳态特性仍然有效，因此我们的实验是有意义的。

此外在实验中，我们也观察到文献[4]中指出的开关速度“临界减慢”(critical slowing down)现象。这个现象发生在临界入射光强 I_{0B} 附近，而在远离 I_{0B} 的更强入射光强下开关速度明显增大。

作者感谢洪晶教授对本工作的关怀和指导。

参 考 文 献

- [1] P. W. Smith, E. Turner and P. Maloney, *IEEE, J. Q. E.* **QE-14**(1978), 207—215.
- [2] E. Garmire, J. H. Marburger and S. D. Allen, *Appl. Phys. Lett.*, **32**(1978), 320.
- [3] P. W. Smith, I. F. Kaminow, P. J. Maloney and L. W. Stulz, *Appl. Phys. Lett.*, **34**(1979), 62—64.
- [4] E. Garmire, J. H. Marburger, S. D. Allen and H. G. Winful, *Appl. Phys. Lett.*, **34**(1979), 374—376.
- [5] 李荫远、杨顺华，非线性光学，科学出版社，(1974)。