

# 二维 R-N 型声光光学双稳态\*

董孝义 任占祥 盛秋琴 张建忠  
(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

赵启大 何士雅  
(北京工业大学应用物理系, 北京 100022)

## 提 要

本文在理论上给出了对二维 R-N(喇曼-奈斯)型声光作用的声学双稳系统普遍适用的动态方程, 并由此导出了该声光光学双稳系统的稳态解, 借助于计算机给出了取(1, 0)级作为反馈级次情况下的几个级次输入~输出关系曲线, 并对此进行了稳定性分析; 在实验上对该理论进行了验证, 实验结果与理论相符。

关键词: 光学双稳态, 二维声光调制。

## 一、引 言

二维 R-N 型声光作用的衍射级次的总数是一维 R-N 型声光作用的衍射级次数的平方, 因此, 由二维 R-N 型声光作用产生的光学双稳态, 可望把一维的并行开关数提高很多倍, 这对控制大量信息的同时多路传输将有很重要的实际意义<sup>[1]</sup>。

本文首次从理论上给出了对二维 R-N 型声光作用的声学双稳系统普遍适用的动态特性方程, 并由此导出了该类声光双稳系统的平衡态解, 进而借助于计算机给出了取(1, 0)级作为反馈级次情况下的几个级次的输入~输出关系曲线, 并对此进行了稳定性分析; 在实验上对该理论进行了验证, 实验结果与理论相符。

## 二、二维 R-N 型声光调制器的透过率特性

本文作者曾推导出二维 R-N 型声光调制器的透过率为<sup>[2]</sup>

$$\eta_{m,n} = J_m^2(aV_1) J_n^2(bV_2), \quad (1)$$

其中 $(m, n)$ 是出射光的衍射级次,  $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ;  $V_1$ 和 $V_2$ 是与超声功率有关的参数, 在实际应用中该参数与加在调制器上的驱动电压成正比,  $a, b$ 为比例常数;  $J_m, J_n$ 分别为第一类 $m$ 阶和 $n$ 阶的贝塞尔函数。

令 $V_x = aV_1, V_y = bV_2$ , 则(1)式变为

$$\eta_{m,n} = J_m^2(V_x) J_n^2(V_y), \quad (2)$$

这说明  $(m, n)$  级的衍射效率除与所加的两个方向上的超声功率有关外, 还与  $(m, n)$  的取值有关,  $(m, n)$  值越大, 衍射效率就越低。根据 (2) 式计算, 在相同取值  $V_x, V_y$  情况下不同级次的衍射效率曲线如图 1 所示。

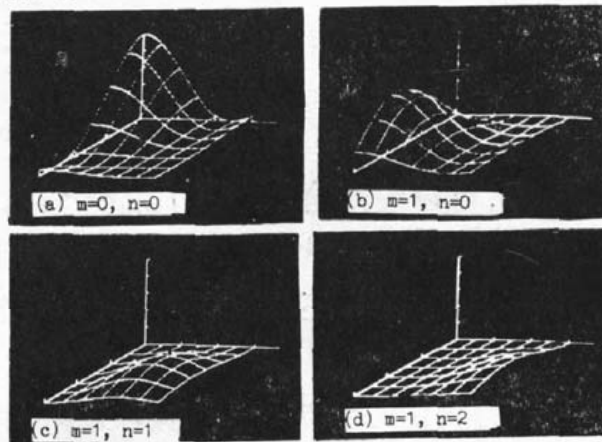


Fig. 1 Theoretical curves of 2 D Acousto optic diffraction efficiency

### 三、动态方程及稳态解

二维 R-N 型声光作用的声光光学双稳态装置的原理图如图 2 所示, 其中传输部分为声光调制器, 反馈部分是由两个光电变换器件和两个超声功率源组成。对图 2 所示系统采用线性的, 对时间  $t$  平移不变的物理模型<sup>[3]</sup> 来描述。由此可推导出该系统的动态特性方程为

$$\tau_1 \dot{I}_{m,n}(t) = -I_{m,n} + I_i J_m^2(V_x) J_n^2(V_y), \quad (3)$$

$$\tau_2 \dot{V}_x(t) = -(V_x - V_{0x}) + K_x I_{p,q}, \quad (4)$$

$$\tau_3 \dot{V}_y(t) = -(V_y - V_{0y}) + K_y I_{r,s}, \quad (5)$$

其中参量  $\tau_1$  是传输部分的时间常数,  $\tau_2$  和  $\tau_3$  是两路反馈部分的时间常数;  $I_i, I_{m,n}$  分别为系统的输入和输出光强;  $V_{0x}, V_{0y}$  分别为两个方向上的偏置宗量, 它与调制器上的偏置电压成正比;  $K_x, K_y$  分别为两个方向上光强与参量  $V_x, V_y$  之间的转换系数;  $m, n, p, q, r, s$  均为整数。若令  $\dot{I}_{m,n}(t) = 0, \dot{V}_x(t) = 0, \dot{V}_y(t) = 0$ , 则可得到系统的稳态解, 即

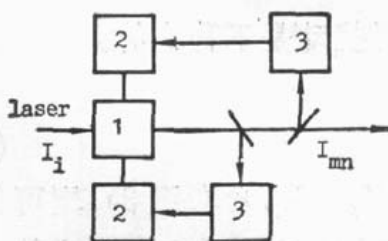


Fig. 2 Schematic diagram of 2-D Acousto-optic bistability 1, 2-D Acousto-optic modulator; 2, Acoustic power driver; 3, Opto-electronic detector

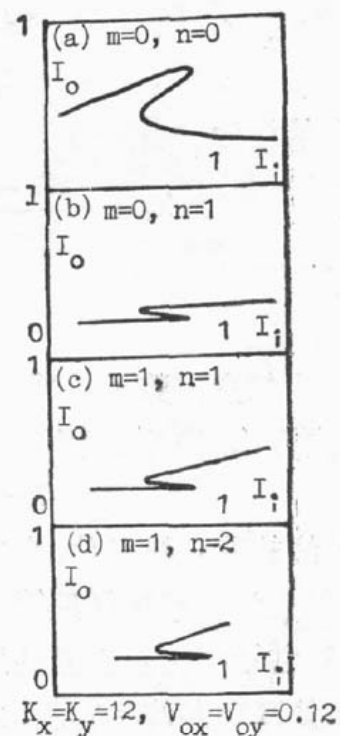


Fig. 3 The relationships between  $I_0 \sim I_i$

$$I_{m,n} = I_i J_m^2(V_x) J_n^2(V_y), \quad (6)$$

$$V_x = V_{0x} + K_x I_{p,q}, \quad V_y = V_{0y} + K_y I_{r,s} \quad (7)$$

从(7)式中可以看到两路反馈可以取不同的衍射级次,且任一路反馈方程中均隐含有另一路的参量  $V$ 。若取(1, 0)级衍射光为  $X$  方向和  $Y$  方向两路反馈部分提供反馈时,则有

$$I_{m,n} = I_i J_m^2(V_x) J_n^2(V_y), \quad (8)$$

$$V_x = V_{0x} + K_x I_i J_1^2(V_x) J_0^2(V_y), \quad V_y = V_{0y} + K_y I_i J_1^2(V_x) J_0^2(V_y), \quad (9)$$

借助于计算机计算,由(8)、(9)式,可以给出输出光强  $I_{m,n} \sim$  输入光强  $I_i$  的关系曲线,如图3所示,图中  $I_{m,n}$  与  $I_i$  均为相对值,  $I_i$  的最大值取 10 mW (对应的相对值为 1),以便与实验值一致。为了便于观察双稳态曲线形状,还对图3(c)和(d)的坐标尺寸进行了放大,其中(c)放大4倍,(d)放大10倍。

从图3中可以看到(0, 0)级的双稳态跳跃高度较大,另外随着输入光强的增大,(0, 0)级由高态跳跃到低态;(1, 0)、(1, 1)、(1, 2)三个级次的双稳态跳跃高度很小,以至于实验上较难观察到,随着输入光强的增大,这三个级次由低态跳跃到高态,这样,当输入光强为 10 mW,声光器件驱动功率为 2W 时,至少在输出的 11 个衍射级次中可以实现双稳态。

#### 四、双稳态的稳定性分析

在图3中(0, 0)级的输入光强~输出光强关系曲线呈Z字型;(0, 1)、(1, 1)、(1, 2)级三个级次的输入光强~输出光强关系曲线呈S字型,这样,它们都有实现双稳态的可能性。

取(1, 0)级衍射光为两路反馈部分提供反馈光,即  $p=r=1, q=s=0$ ,级  $(m, n)$  作为输出光,考虑到实验上两路反馈部分的时间常数大致相等,即  $\tau_2 \approx \tau_3 = \tau$ ,将(3)、(4)、(5)式在平衡态点处展开,取线性项得

$$\tau_1 \Delta \dot{I}_{m,n}(t) = -\Delta I_{m,n} + I_i (J_m^2(V_x))'_{V_x} \cdot J_n^2(V_y) \cdot \Delta V_x + I_i J_m^2(V_x) (J_n^2(V_y))'_{V_y} \cdot \Delta V_y, \quad (10)$$

$$\tau \Delta \dot{V}_x(t) = -\Delta V_x + K_x (I_{1,0})'_{V_x} \cdot \Delta V_x + K_x (I_{1,0})'_{V_y} \cdot \Delta V_y, \quad (11)$$

$$\tau \Delta \dot{V}_y(t) = -\Delta V_y + K_y (I_{1,0})'_{V_x} \cdot \Delta V_x + K_y (I_{1,0})'_{V_y} \cdot \Delta V_y, \quad (12)$$

其特征方程的根为

$$\lambda_1 = -\frac{[1 - K_x (I_{1,0})'_{V_x} - K_y (I_{1,0})'_{V_y}]}{\tau}, \quad \lambda_2 = -\frac{1}{\tau}, \quad (13)$$

设  $\Delta I$  具有如下形式的解,

$$I = a_1 e^{\lambda_1 t} + a_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (14)$$

其中  $a_1, a_2$  为任意常数。显然,只要有一个  $\lambda$  大于零,则系统对扰动是不稳定的。

由(7)式得,  $\lambda < 0$  对应着

$$1 - K_x (I_{1,0})'_{V_x} - K_y (I_{1,0})'_{V_y} > 0, \quad (15)$$

此式即为系统的稳定性条件,由此条件并结合(8)式,令  $K_x = K_y = K$  (参考图3),则可得到(1, 0)级衍射光为两路提供反馈时的各级双稳态的有关稳定性判据,表1给出了相应的一些结果,对于其它级次衍射光提供反馈时,可以进行类似推导,不难得出结论:除(0, 0)级外,其他各级次的双稳态均具有相同的稳定性判据。

由以上的稳定性分析可知,(0, 0)级、(0, 1)级、(1, 1)级、(1, 2)级衍射光作为输出光都

Table 1 The relevant stable and nonstable criterions under the condition of (1, 0) diffracted beam feedback

Bistable curve	$m$	$n$	Stable criterion	Nonstable criterion	Figure number
$I_{00} \sim I_i$	0	0	$A_{00} < 0$	$A_{00} > 0$	Fig.3-(a)
$I_{01} \sim I_i$	0	1	$A_{01} > 0$	$A_{01} \leq 0$	Fig. 3-(b)
$I_{11} \sim I_i$	1	1	$A_{11} > 0$	$A_{11} < 0$	Fig. 3-(c)
$I_{12} \sim I_i$	1	2	$A_{12} > 0$	$A_{12} < 0$	Fig. 3-(d)
$I_{mn} \sim I_i$	$m$	$n$	$A_{mn} > 0$	$A_{mn} < 0$	Addition: $m, n \neq 0$

In the table  $A_{mn} = dI_{m,n}/dI_i$ .

存在双稳态。

### 五、实验及结果

实验装置如图 4 所示, 其中 1 为 He-Ne 激光器(输出功率至声光调制器前为 10 mW); 2 为  $\lambda/4$  波片; 3 为电光调制器; 4 为偏振镜; 5 为声光调制器; 6、7 为分束器; 8 为探测器; 9 为三角波信号源(频率为 1 kHz, 幅度为 150 V); 10、11 为声功率驱动源(频率为 28~34 MHz, 输出功率为 0~3 W); 12、13 为光电转换器; 14 为示波器。

由三角波功率信号源驱动电光调制器来控制输入光强, 这使得输入光强线性地增大到最大值, 然后线性地减少到最小值; 而  $\lambda/4$  波片是用来调节电光调制器的工作点的, 它使电光调制器工作在线性区域。

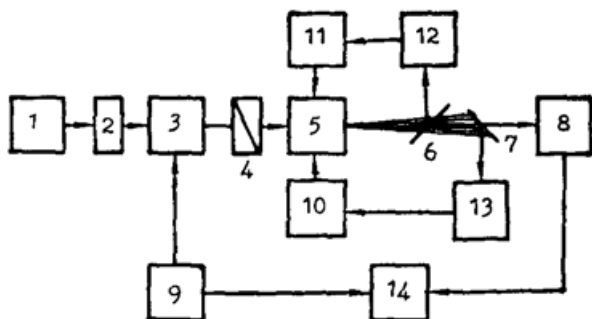


Fig. 4 Schematic diagram of experimental setup for measuring the 2-D Acousto-optic bistability

1, He-Ne Laser; 2,  $\lambda/4$  flat; 3, Electro-optic modulator; 4, Polarizer; 5, 2-D Acousto-optic modulator; 6, 7, Beam divider; 8, 12, 13, Opto-electronics detector; 9, Triangular signal generator; 10, 11, Acoustic power driver; 14, Oscillograph

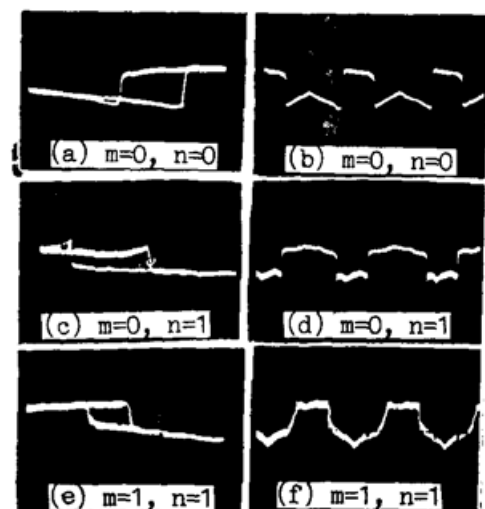


Fig. 5 The experimental results (a), (c), (e). The oscillograms relevant AO bistability; (b), (d), (f). The oscillograms of relevant switch signal corresponding to (a), (c), (e) respectively

两个分束器分别将两路反馈系统所需的反馈级次提供给各自的光电转换器, 在本实验中所采用的反馈级次是(1, 0)级, 此外, 由于这两个分束器的分光, 使得输出光强变得更小, 双稳态也就越发难以观察到。因此要求 He-Ne 激光器的输出光功率一定要大。

用图 4 的实验装置观察到的实验结果如图 5 所示, 其中图 5b、图 5d、图 5e 依次是图 5a、图 5c、图 5f 对应的输出信号。从图中可以看到当(0, 0)级处于“1”态时, 其它各级处于“0”态, 即开关的时间有一个  $\pi$  位相的延迟。此外, 由图中还可以知道, (0, 0)级的跳跃高度较其它级次要大得多, 这是由于

$$[J_0^2(x)]_{\max} > [J_1(x)J_0(x)]_{\max} > [J_1^2(x)]_{\max} > [J_1(x)J_2(x)]_{\max}, \quad (16)$$

因此它的双稳态更易于观察到。

以上理论与实验均证明, 两维声光光学双稳态是一种新颖的空间型双稳态, 其双稳现象非常丰富, 作为体型器件, 声光作用时间约为  $0.1\mu\text{s}$  量级, 反馈电路的响应时间为同一量级, 因此本装置的响应时间为  $0.1\sim 1\mu\text{s}$  量级, 可见, 作为一个光电单元器件, 这个响应时间太慢了, 但考虑到是两维器件, 实际上的响应时间要比单一的器件快  $M \times N$  倍 ( $M, N$  分别为  $X$  和  $Y$  方向上的衍射级数), 对于 R-N 型器件可作到  $10 \times 10$  以上, 即快 100 倍, 如进一步改用声表面波器件, 并能作成光电混合集成(OEIC), 那么响应时间还可以提高几个量级, 有望达到几百个, 甚至几十个 ps 量级。因此, 可望作为非均匀平面光开关列阵在光交换、光计算等高技术实验领域中得到应用。

### 参 考 文 献

- [1] 董孝义, 张建忠, 盛秋琴等;《通信学报》, 1990, 11, No. 6 (Dec), 1~8。
- [2] 任占祥, 董孝义, 张建忠, 盛秋琴;《光学学报》, 1990, 10, No. 11 (Nov), 1047~1051。
- [3] 李永贵, 张洪钧;《物理学报》, 1983, 32, No. 3 (Mar), 301~309。

## 2-D R-N acousto-optic bistability

DONG XIAOYI, REN ZHANXIANG, SHENG QIUQIN, ZHANG JIANZHONG

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

ZHAO QIDA AND HE SHIYA

(Beijing University of Technology, Department of Applied Physics, Beijing 100022)

(Received 28 February 1991; revised 22 May 1991)

### Abstract

Universal dynamic equation of optical bistability in Raman-Nath acousto-optic modulator is deduced. The stable solution to it derived. Using computer, when (1, 0) order diffraction light is used as feedback, the output-input curves is calculated. The stable condition is analysed. The experiment has been done, its results is correspondent with the theory.

**Key words:** optical bistability, 2-D acousto-optic modulation.