

具有多逻辑功能的 ZnS 光学双稳器件的研究*

曹明翠 刘夏安 游立德 李幼平

(华中理工大学激光研究所, 430074)

提要: 研究出在同一组信号光输入的情况下, 同时从反射和透射光获得多逻辑输出的透反型 ZnS 光学双稳器件, 可提高系统的总体效率。

关键词: 多逻辑功能, 光学双稳

Research of multi-logical optical bistable ZnS devices

T. M. Tsao, Liu Xia'an, You Lide, Li Youping

(Laser Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

Abstract: The structure of ZnS interference filter is presented, and the multi-logic bistable devices are developed using reflective and transparent light at the same time. This multi-logical device can greatly enhance the efficiency of the optical system.

Key words: multi-logical function, optical bistability

一、引 言

非线性薄膜干涉滤光片光学双稳器件, 具有开启阈值功率低, 开关速度快, 工作于可见波段, 并且制作工艺较成熟等优点, 对于研究全光数字运算和体系结构来说, 是一种较好的逻辑开关元件^[1,2]。一般来说可分为两类: 一类是用透射光作为逻辑输出的透射型器件; 另一类是用反射光作为逻辑输出的反射型器件。ZnS 光学双稳干涉滤光片由于能够得到高的透过率, 大都当作透射型光逻辑器件使用, 以提高串级工作能力^[3]。然而, 光学双稳干涉滤光片逻辑器件的反射逻辑与透射逻辑相比, 在某些应用场合中具有特殊的优点。例如, 在实现非门、或非门、与非门、全同等逻辑运算时, 反射逻辑能够顺利地一次性完成。

本文报道了我们利用 ZnS 光学双稳干涉滤光片的反射和透射特性曲线具有类似互补的特点, 有目的地选择滤光片的结构, 研究出在同一组光信号输入的情况下, 同时从反射光和透射光获得多逻辑输出的透反型光学双稳器件。从理论和实验两个方面探讨了干涉滤光片的结构, 特别是中间层厚度对透反型光双稳器件特性的影响, 找到了较为合理的结构参数。这种透反型多逻辑功能双稳器件的采用, 对下一步全光数字计算机运算器系统的设计将是有益的。

收稿日期: 1988年8月19日。

* 本工作为国家教委优秀青年教师基金和国家自然科学基金资助项目。

二、理论分析

2.1 光双稳器件的多逻辑功能

和在电子计算机中一样,这里我们仍然使用二进制逻辑。不难证明,利用透反型的光双稳器件,能够实现各种光学逻辑门,如与门、非门、与非门等十六种基本逻辑。现在我们只以用光双稳器件的透射特性完成“与”逻辑,反射特性完成“异或”逻辑为例,来说明透反型双稳器件是如何同时实现多逻辑功能的。

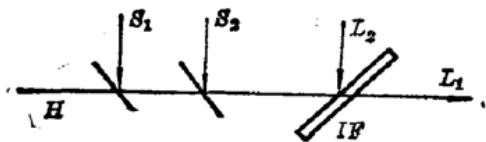


图1 透反器件实现多逻辑的原理光路

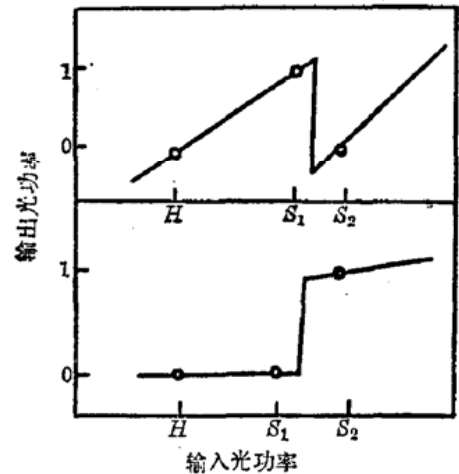


图2 光双稳器件反射、透射特性曲线

本文使用正逻辑系统。在图1中, S_1, S_2 代表两信号光束, H 是偏置光信号。它们的相对数值和在透反特性曲线上的位置示于图2。 H 的存在提供了一个合适的起始光强, 使两信号光束合并进光路, 经干涉滤光片 IF 后的输出光束 L_1, L_2 对信号 S_1, S_2 而言, 分别满足表1所描述的“与”逻辑和“异或”逻辑的关系。另外, 偏置光 H 实际上对输出信号还能起到放大的作用。

表 1

S_1	S_2	L_1	L_2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

2.2 透反特性的计算公式

薄膜干涉滤光片的基本结构主要由三部分构成, 两边是 $\lambda/4$ 膜系的高反射层, 夹在中间的是间隔层, 最外边是基底玻璃。在 ZnS 干涉滤光片中, 间隔层是 ZnS 介质。

假设中间层介质的吸收系数是 α , 那么薄膜干涉滤光片的透过率和反射率可以用以下公式近似描述:

$$T = \frac{(1-R_F)(1-R_B)A}{(1-R_\alpha)^2} \cdot \frac{1}{(1+F_\alpha \sin^2 \phi)} \quad (1)$$

$$R = 1 - \frac{(1+R_\alpha^2 - R_F - R_B A^2)}{(1-R_\alpha)^2} \cdot \frac{1}{(1+F_\alpha \sin^2 \phi)} \quad (2)$$

其中, $R_\alpha = (R_F R_B)^{\frac{1}{2}} \exp(-\alpha D)$, $F_\alpha = 4R_\alpha / (1-R_\alpha)^2$, $A = \exp(-\alpha D)$ 。 R_F 和 R_B 分别是滤光片前后反射层的反射率, D 是中间层厚度。

由于中间层介质折射率的非线性效应, 位相变化 ϕ 成为腔内光强 I 的函数:

$$\phi(I) = N\pi + \delta + 2\pi D n_2 I / \lambda \quad (3)$$

n_2 是非线性折射率系数, δ 是初始失调角。

2.3 计算结果与分析

从式(1)、(2)中可以看出, 两边高反射层的反射率 R_F 、 R_B 对干涉滤光片的透反特性影响很大。而根据多层膜反射率的计算公式, 其值又主要是由 $\lambda/4$ 膜系的层数及高低折射率层的折射率值决定的。只考虑两边反射层对称的情况, 根据理论计算和我们过去对透射型 ZnS 双稳滤光片的研究结果, 反射层取 8 层时, 即 $(HL)^4$ 和 $(LH)^4$ 的结构比较合适。这时对 514.5 nm 波长的 Ar^+ 激光来说, 反射层的反射率大约在 0.7 左右, 而滤光片的整体透过率容易控制在 60% 到 80% 之间。

两边高反射层的结构确定以后, 中间层厚度 D 就成为影响干涉滤光片特性的重要参数。取 ZnS 的折射率为 2.39, MgF_2 低折射率层的折射率为 1.38。并设 $D = m\lambda/4$ (m 取偶数), 则滤光片的半带宽 $\Delta\lambda$ 随 D 的变化曲线如图 3 所示。

直观地说, 干涉滤光片发生双稳现象是因为(3)式中的折射率非线性效应 n_2 使得滤光片的透过峰值波长位置向工作波长漂移的结果。因此, $\Delta\lambda$ 越大, 产生双稳所需的激光入射功率也就越高。图 3 忽略了某些影响因素, 如介质的散射等, 因此实际镀出的干涉滤光片的半带宽比图 3 中的值大一些。

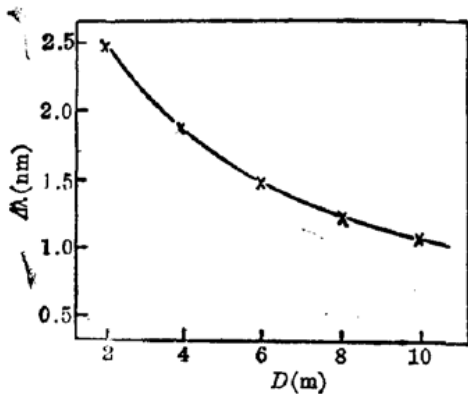


图 3 半带宽 $\Delta\lambda$ 和宽度 D 的关系曲线

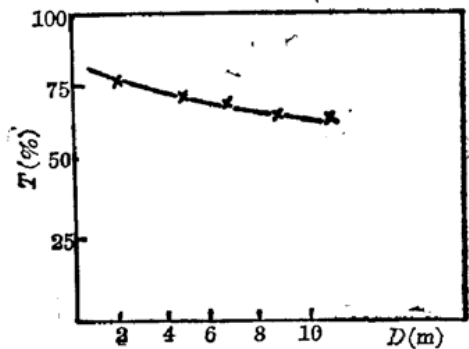


图 4 峰值透过率和 D 的关系曲线

由于激光通过干涉滤光片时, 吸收、散射等损耗所占比例很小, 因而可以认为透射光强和反射光强之间近似互补。故可通过控制干涉滤光片的透过率, 来达到调整透过光强之间比例的目的。图 4 绘出了滤光片峰值透过率随 D 变化的曲线。

文献[4]中给出了计算滤光片式双稳器件阈值光强的公式, 但对透反型滤光片, 还需考虑进片子倾斜对聚焦光斑大小的影响。图 5 表明阈值光强随 D 值的增加呈下降趋势。

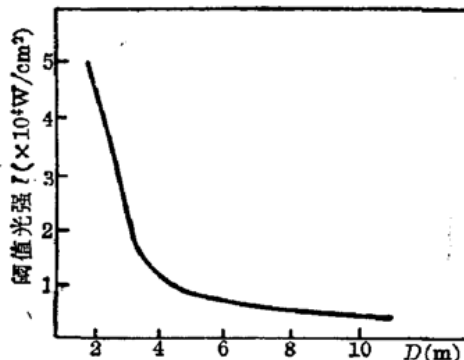


图 5 阈值光功率密度和 D 的关系曲线

三、实验结果

根据前一部分的计算分析,透反型 ZnS 干涉滤光片选择 $G|(HL)^46H(LH)^4|G$ 的结构。

图 6 是测量滤光片透反特性的实验装置图。通过旋转 $\lambda/2$ 波片,使穿过偏振棱镜 P 的 Ar^+ 激光束被调制。 L_1 是焦距为 17mm 的聚焦透镜,激光束的远场发散角约为 1mrad。干涉滤光片 IF 放在角度可以精密调节的旋转工作台上, D_1 、 D_2 、 D_3 是光电探测器,分别接收入射、反射和透射激光。

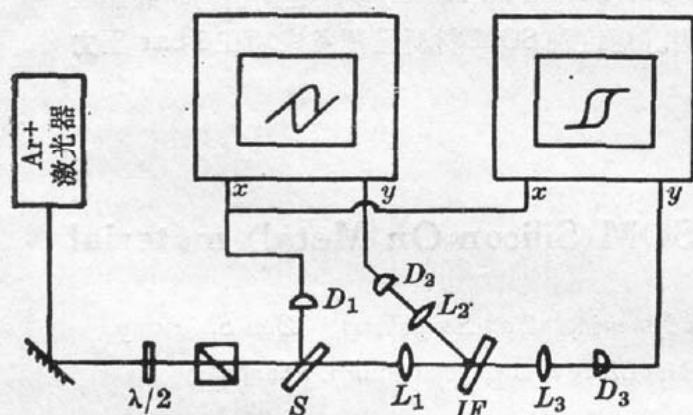


图 6 测量双稳器件透反特性的实验装置图



图 7 测量透反特性的实验照片

图 7 是测量透反特性实验的示波器照片。滤光片峰值透过率 68%,半带宽 2.0nm,峰值透过波长位于 522.0nm。

实验测出入射光相对于片子法线偏斜 20° 时,透射从低态到高态(反射则是从高态到低态)的双稳阶跃功率为 8mW;开关时间分别是 $10\mu s$ 和 $20\mu s$;阈值激光入射功率 10mW。当改变激光的入射角度时,在示波器上显示的对应不同角度的双稳曲线都能够保持长时间的稳定。

作者对李再光教授和中国科学院邮电科学研究院提供的诸多帮助表示感谢。

参 考 文 献

- 1 G. R. Olbright, *Appl. Phys. Lett.*, **45**(10), 1037(1984)
- 2 S. D. Smith, *Opt. Commun.*, **51**(5), 357(1981)
- 3 M. T. Tsao, *Opt. Engin.*, **26**(1), 41(1987)
- 4 D. A. B. Miller, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (3), 326(1981)