

ZnS 光学双稳性器件中的不稳定性

王瑞波 李淳飞 张 雷
(哈尔滨工业大学 应用物理系)

提 要

本文首次报道 ZnS 干涉滤光片双稳器件中的自再生脉冲现象, 并对器件产生这一不稳定性的条件和过程进行了分析及模拟计算, 该器件有可能作为光学脉冲发生装置用于数字光计算研究, 演示了光计算回路的逻辑功能。

关键词: 不稳定性; 干涉滤光片。

一、引 言

光学双稳器件中的弛豫振荡现象首先由 McCall 提出^[1], 在一个双稳态系统中, 如果同时存在符号相反、弛豫时间常数不同的两种非线性机制, 就有可能产生弛豫振荡、自再生脉冲, 并用混合光学双稳系统进行了实验验证。此后, Okada 等人^[2]对这一不稳定性进行了深入的研究。Jewell 等人^[3]还在块状 GaAs 和量子镜 GaAs 双稳器件中观察到了由激子非线性与热效应非线性之间的竞争引起的本征自脉冲过程。

本文报道 ZnS 干涉滤光片双稳器件中的自再生脉冲现象, 这种不稳定性起源于热效应在两种不同介质中引起的光学非线性的竞争。此外, 本文还简述了 ZnS 光学双稳器件的工作原理, 给出了产生不稳定的条件, 并得出了自再生脉冲过程的数值模拟结果。

二、原 理

ZnS 干涉滤光片属本征型热效应光学双稳性器件^[4], 它具有阈值功率低、易探测、室温运转等优点, 它是光计算回路的逻辑功能进行预言性研究的理想材料。干涉滤光片由多层高折射率材料(ZnS 或 ZnSe)、低折射率材料(Na_3AlF_6 或 MgF_2)交替蒸镀而成, 每层的光学厚度为四分之一中心波长, 膜系结构为 $(HL)^m(nH)(LH)^m$, 两端 $(HL)^m$ 膜系可以近似看作是两个具有高反射率的反射镜, 整个滤光片就相当于一个含有非线性介质的 F-P 标准具。在考虑介质膜吸收的情况下, 滤光片的透射特性为:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{A}{1 + F' \sin^2 \varphi}, \\ A &= \frac{D(1-R)^2}{(1-RD)^2}, \\ F &= \frac{4RD}{(1-RD)^2}, \\ D &= \exp(-\alpha L), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 R 为反射镜反射率, L 为间隔层厚度。当激光入射到滤光片上时, 间隔层因吸收激光能量而产生温度变化, 从而引起光程差的改变, 使透过峰向长波方向移动, 并越过激光频率, 在腔的负反馈作用下, 输出光稳定在高态, 因此输出光存在两个稳态。为了满足产生双稳态的初相位条件, 激光波长与中心波长之差应大于滤光片的半峰值宽度。

实际上, 光学薄膜并不是各向同性的均匀的平行平面固体, 而是具有显著的柱状结构, 薄膜就由许多直径为几百个埃的小柱体紧密地聚集在一起构成, 这些小柱体之间留下很多的空隙。当薄膜暴露在空气中时, 潮气就会吸附在薄膜内柱体的表面上, 以及毛细凝聚作用, 空隙内会注满液态水, 于是薄膜的折射率即为:

$$n = Pn_s + (1-P)n_w, \quad (2)$$

式中 n_s 是柱体的折射率, n_w 是空隙内水的折射率, P 为聚集密度。通常情况下, 水的存在会

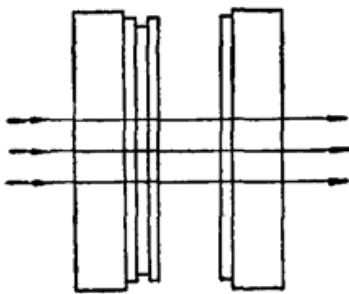


Fig. 1 The etalon constructed with an interference filter and a mirror

使滤光片透射峰向长波长方向移动。在连续双稳态运转时, 水汽的扩散会引起双稳回线的漂移。实验观察表明, 置于空气中时间越长的滤光片双稳回线漂移越显著。由于低折射率材料的聚集密度小于高折射率材料, 水气较多地吸附在表面的反射膜堆内, 为了使水汽对透过率影响加强, 作者采用滤光片和一反射镜构成一双腔标准具, 如图 1 所示, 其结构为 $S(HL)^m(nH)(LH)^m A(HL)^k HS$ 。这样标准具的透过率同时取决于光在表面反射膜堆和间隔层内的相移, 所以标准具相当于同时含有两种非线性材料, 假设光在这两种材料中的相移分别为 θ 和 φ , 透射光强的公式为:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= P_i T(\theta, \varphi), \\ \tau_1 \frac{d\theta}{dt} + \theta &= \alpha P_0, \\ \tau_2 \frac{d\varphi}{dt} + \varphi &= \alpha \gamma P_0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 τ_1, τ_2 为弛豫时间常数, γ, α 为相移与输出光强之间的比例常数。参照文献[2]中的分析方法, 可以得出系统产生不稳定性的条件为

$$\left. \begin{aligned} 1 + \frac{\tau_1}{\tau_2} &< \alpha P_i \left(T'_\theta + \gamma T'_\varphi \frac{\tau_1}{\tau_2} \right), \\ T'_\theta &= \frac{\partial T}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \varphi_0}, \quad T'_\varphi = \frac{\partial T}{\partial \varphi} \Big|_{\theta_0, \varphi_0}, \\ \theta_0 &= \alpha P_i T(\theta_0, \varphi_0), \quad \varphi_0 = \gamma \theta_0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在由差分-微分方程描述的延时反馈双稳性系统中, 其不稳定性表现为倍周期振荡和混沌等现象^[5], 对于由耦合微分方程决定的德拜弛豫系统, 不稳定的主要特性在于它取决于两个符号相反、响应速度不同的非线性过程, 自再生振荡周期不仅随两个弛豫过程的时间常数而且随两个非线性系数的变化而改变。

用龙格-库塔法对(3)式进行模拟计算, 其中取 $T(\theta, \varphi) = \{T_0/[1 + F \sin^2(\theta + \varphi)]\}$, 并考虑了材料吸收对标准具峰值透过率的影响。根据 ZnS 干涉滤光片双稳态运转的阈值条件和开关速度, 可以推得 α 和 τ_1 的值。由于无法测得薄膜的聚集密度, 也就不能确定 γ 和

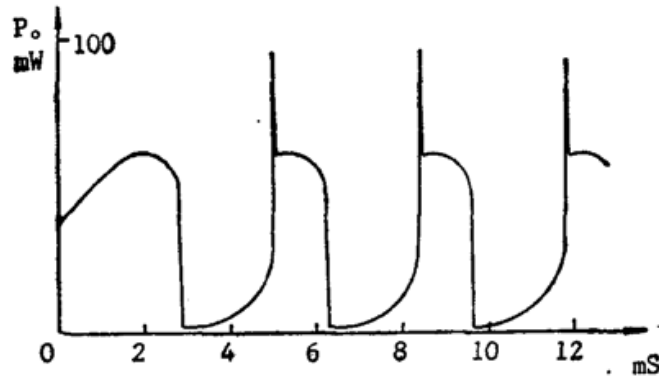


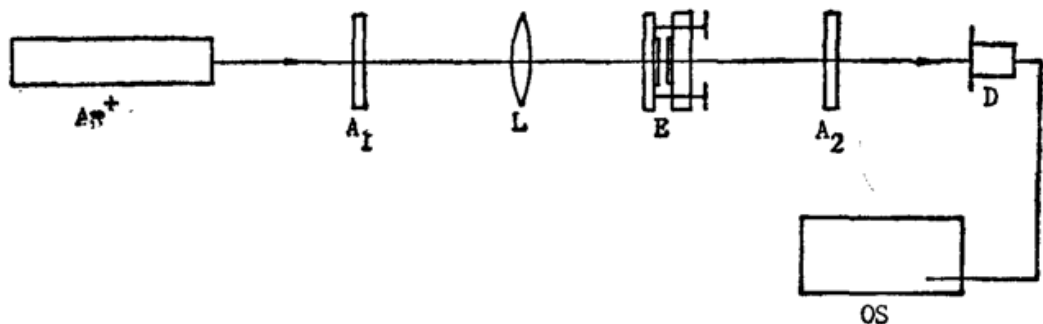
Fig. 2 Simulation of the regenerative pulsation process

τ_2 的值。在满足不稳定性条件(4)式的前提下,对 γ 和 τ_2 取不同值进行计算。图 2 为 $\alpha = 4.0 \times 10^{-3} \text{ mW}^{-1}$, $\tau_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ sec}$, $\tau_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ sec}$, $\gamma = -2$, $P_1 = 100 \text{ mW}$ 时得到的自再生脉冲波形。

三、实验结果与分析

实验所用的装置如图 3 所示,从氩离子激光器发射的波长为 5145 \AA 的光由会聚透镜聚焦到标准具上,用探测器接收其透射光。首先调节入射光角度,使其略大于滤光片产生双稳态的最小倾角,然后在小光强下调节滤光片与反射镜间距,同时观察透射光的干涉环,使其中心光强接近于极大值,最后,逐渐增加输入光强至滤光片阈值光强,在示波器上便可以观察到自脉冲现象。由于薄膜的非线性系数和响应时间常数都难以准确测定,所以不能预先知道滤光片是否满足不稳定性条件,作者从大量滤光片中挑选出能够产生显著双稳回线漂移的滤光片进行测试。图 4(a)和图 4(b)是在同一块滤光片中不同位置上观测到的自脉冲波形,不同点上薄膜的聚焦密度不同,非线性系数和响应时间常数就不一样。所以,即使在相同条件下,自脉冲波形也是不相同的。实验所用的滤光片中心波长为 5130 \AA ,带宽为 30 \AA ,峰值透过率为 53%,产生双稳态的阈值功率密度为 $18 \text{ kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。反射镜反射率为 81%,滤光片与反射镜间距为 $17 \mu\text{m}$ 。

根据实验观察,整个振荡过程可以作如下描述,假设在 $t=0$ 时刻开始开启输入光,并设输入光强大于此时的上跳阈值,输入光开启速度远大于器件响应速度。薄膜中 ZnS 柱体吸



Ar⁺—Argon laser
A₁, A₂—Attenuators
L—Focusing lens

E—Etalon
D—Detector
OS—oscilloscope

Fig. 3 The experimental set-up

收激光功率,温度上升使其折射率增大,输出光跳变到上态;由于热传导作用,柱体之间水汽温度不断上升,其折射率随温度上升而减小,改变腔的初始相移,从而使阈值增大,当下跳阈值等于输入光强时,输出光跳变到下态,腔内光强下降,使水汽的温度下降,阈值功率也随之减小,当上跳阈值等于输入光强时,输出光再次跳变到上态;如此循环,输出光被调制成近似矩形的脉冲序列。



(a) (b)

Fig. 4 Regenerative pulses observed in the experiment. The time scale is 5 ms/div

由于热响应速度远小于激光噪声频率,振荡受噪声影响很小。实验中还发现,在滤光片的同一点上,光强不同时,振荡频率也不同,这可能与水汽的扩散有关,光强增大时,温度升高引起水汽密度减小,也使得非线性系数和响应时间常数发生改变,这与理论模拟计算结果相符。为了消除水汽扩散的影响,获得稳定的振荡,作者设想在标准具中充以具有合适的响应速度和稳定性、且与 ZnS 相反的非线性折射率系数的^[6]乙醇(或乙二醇)之类热光学非线性比较大的液体来替代水汽,并选用聚焦密度大的滤光片,由待作进一步的实验研究。

四、结 束 语

用 ZnS 双稳器件可以构成全加器、寄存器、触发器等逻辑元件^[7,8]。该器件可望代替光电、声光调制器用作基于 ZnS 双稳器件的光计算研究。此外,通过 ZnS 双稳器件的不稳定性研究,可以进一步了解双稳器件的动态过程和光学薄膜的各种特性。

参 考 文 献

- [1] S. L. McCall; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, No. 5 (15 Mar), 284~286.
- [2] M. Okada *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, **QE-17**, No. 4 (Apr), 517~524.
- [3] J. L. Jewell *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **40**, No. 4 (15 Feb), 291~293.
- [4] F. V. Karpushko, G. V. Sinitsyn; *Appl. Phys.*, 1982, **B28**, No. 2/3 (Jun/Jul), 137.
- [5] 陈历学等; *Chinese Phys. Lett.*, 1984, **1**, No. 2 (Nov), 85~88.
- [6] 李淳飞,张雷;《中国激光》,1983, **10**, No. 8 (Aug), 464.
- [7] F. A. P. Tooley *et al.*; *Opt. Commun.*, 1987, **63**, No. 6 (15 Sep), 365~370.
- [8] 王瑞波,李淳飞等;《Digest of 1989 Topical Meeting on Optical Computing》, (Feb. 27 1989, Salt Lake City, U. S. A.), P. WC2.

Optical instability in ZnS optical bistable devices

WANG RUIBO, LI CHUNFEI AND ZHANG LEI

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology)

(Received 28 June 1989; revised 18 December 1989)

Abstract

In this paper we present the first observation of optical regenerative pulsation in ZnS interference filter bistable device. Condition for the device to be unstable is analysed. Simulation of the pulsation process has been carried out. The device is expected to be used as clock-pulse generator in optical digital computing experiments.

Key words: instability; interference filter.