

ZnSe和ZnS干涉滤光片非线性光学 双稳态的研究

孙 德 贵

摘要: 本文提出了一种测定薄膜非线性参数(n, k)大小的简单方法。并且, 用所测得的 ZnSe 参数(n)为基础, 已经推导出对任何对称结构均适用的设计和计算干涉滤光片型双稳器件的程序。进而我们讨论了干涉滤光片的外部结构对双稳特性的影响。最后, 我们用实验测定了这种材料的双稳曲线。

一、引 言

光学双稳性是现代光学的一个新课题, 属于非线性光学领域。它将在光学通讯, 光学计算机及信息处理中有重要应用。半导体光学材料在体积小的条件下有着相当大的非线性效应, 可以实现功耗低, 开关速度快的双稳操作。尤其是 ZnSe 和 ZnS 干涉滤光片可以在可见光波段实现室温双稳运转。从1977年苏联的 Karpushko 和 Sinitsyn 首先报导了 ZnS 和 ZnSe 干涉滤光片的光学双稳的实验现象后, G. R. Olblight, S. D. Smith, B. S. Wherrett 等人也先后发表过有关 ZnS 和 ZnSe 干涉滤光片光学双稳性方面的论文^{[1]-[3]}。但是, 他们的研究都是在理论上以热效应非线性为依据来研究 ZnS 和 ZnSe 的光学双稳性。而 ZnS 和 ZnSe 在边带处的电子和激子跃迁还是存在的, 无法完全否定这一过程对非线性色散的影响。

二、薄膜非线性参数(n, k)的检测

在非线性光学领域中, 特别是光学双稳的研究中, 折射率 n 和消光系数不是常数, 而是光强的函数($n(I), k(I)$)。因此, 求 n 和 k 与光强 I 的关系就不象在线性光学中 (n, k 是常数) 那样容易了。我们用下面的方法求出 $n(I)$ 和 $k(I)$ 。

为简单起见, 我们让波长为 λ 的光垂直入射到已知厚度 d 的待测材料上, 则有:

$$\delta = (2\pi/\lambda) \cdot d \cdot N \quad (1)$$

其中 $N = n - ik$, 于是有:

$$\delta = \delta_1 - i\delta_2 \quad \delta_1 = (2\pi/\lambda) \cdot n \cdot d \quad \delta_2 = (2\pi/\lambda) \cdot k \cdot d \quad (2)$$

由薄膜光学原理, 我们推得反射率 R 和透射率 T 的表达式为:

$$R = \frac{A \sin^2 \delta_1 + B \cos^2 \delta_1 + 2C \cos \delta_1 \sin \delta_1}{D \sin^2 \delta_1 + E \cos^2 \delta_1 + 2F \cos \delta_1 \sin \delta_1} \quad (3)$$

$$T = \frac{4n_0n_s(n^2 + k^2)}{D\sin^2\delta_1 + E\cos^2\delta_1 + 2F\cos\delta_1\sin\delta_1} \quad (4)$$

n_0 是空气折射率, n_s 是基底的折射率, A, B, C, D, E, F 也是 n, k 的函数。我们通过光谱线来确定单层膜的光度厚度, 设光学厚度为 $(m \cdot \lambda' / 4)$, m 是整数 λ' 是谱线峰值的波长, 则有

$$n \cdot d = m\lambda' / 4 \quad (5)$$

通过测量入射光 I_0 , 反射光 I_r , 和透射光 I_t , 求得透射率 T 和反射率 R , 代入到方程 (3), (4) 和 (5) 中, 可以求得 d, n, k , 三个参数, 测量几组值以 F_2 取平均值。这是低光强时薄膜参数 n, k, d , 然后根据测相位变化的方法测出 n 随出射光强 I_t 的变化关系。

三、双稳曲线模拟

用测得的线性和非线性参数的大小, 根据薄膜光学原理, 我们对不同的薄膜干涉滤光片结构进行光学双稳的曲线模拟, 发现:

- (1) 不同的外部结构 (层数和中心层厚度) 对光学双稳特性的影响很大。
- (2) 不同的入射角对光学双稳特性的影响很大。

图(1)就是不同入射角的条件下的双稳特性曲线比较: $(ZnS_2)(HL)^4(2H)^4(LH)^4$

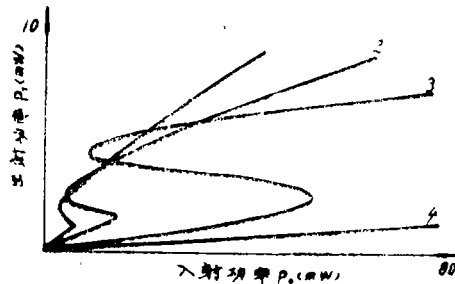


图 1 同一个双稳器件在不同入射角 θ_0 时双稳曲线。
(1) $\theta_0 = 0^\circ$; (2) $\theta_0 = 10^\circ$; (3) $\theta_0 = 20^\circ$; (4) $\theta_0 = 30^\circ$

四、物理机理讨论

我们首先从热传导方程出发, 来研究和验证热效应:

$$D^2T - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = -Q(\vec{r}, t) \quad (8)$$

其中 ρ 是密度, C 是定容比热容。 K_f 和 K_s 是薄膜和基底中的热传导系数时, T 表示温度的增加, $Q(\vec{r}, t)$ 表示 \vec{r} 处, t 时刻单位体积和单位时间产生的热量, 显然 $Q(\vec{r}, t) = P_0 = aP_0 \cdot \exp(-az) I_0 f(r/w)$ (高斯光束)。经计算得定态解为:

$$\begin{aligned} \text{在膜中: } T_f(r, z) = & (P_0 / 2\pi K_f) \int_0^\infty d\lambda J_0(\lambda r) \\ & \times \exp(-\lambda^2/4) \{ 1 + \exp(-2\lambda L) + k[1 - \exp(-2\lambda L)] - \exp(\lambda z) \\ & - \exp(-\lambda z - 2\lambda L) \} / \lambda \{ 1 + \exp(-2\lambda L) + k[1 - \exp(-2\lambda L)] \} \end{aligned} \quad (9)$$

在基底中的定态解为:

$$\begin{aligned}
 T_s(R, T) = & (P_0/2\pi k_s) \int_0^\infty d\lambda J_0(\lambda R) \exp(-\lambda^2/4) \\
 & \times \exp(-\lambda z) [1 - \exp(-2\lambda L)] \{1 + \exp(-2\lambda L) \\
 & + k[1 - \exp(-2\lambda L)]\}
 \end{aligned} \tag{10}$$

式中, $k = K_t/K_s$, $L = -d/W$, $R = r/W$, $Z = z/W$ 。 W 是束腰半径。用计算曲线和实验曲线比较可以验证热效应所占的比例。

参 考 文 献

- [1] G.R.Olbright et al, Appl. phys. lett., 45(10)1984
- [2] S.D.Smith et al, opt. Commun, 51(5)1984 357~362
- [3] B.S.Wherrett. et al, J. opt. soc. Am., B 3(2)1986. 351
- [4] 唐晋发等,《应用薄膜光学》1982年版

Studies on Optical Bistability in ZnSe and ZnS Interference filters

Sun Degui

Abstract

This paper describes a simple and practical way to determine nonlinear parameters (n, k) of a thin film. With the parameters of ZnSe as basis we have derived a procedure of calculating optical-bistability of the interference filters with any structure. Then we discuss the influences of outside structures of a interference filter on the optical bistability of the devices. Finally we present the measured bistable curves of the sort of material in experiment.