

有机薄膜近共振饱和吸收 非线性及其相位共轭研究

张建国 翁兆恒 冯家璋

摘要: 在低光强下, 对有机染料 Eosin 聚合物薄膜的近共振饱和吸收非线性、简并四波混频及相位共轭图像畸变校正进行了实验研究, 实验结果表明, 这种有机薄膜是一种颇有应用前途的非线性薄膜材料。

一、引 言

近十年, 近共振增强光学非线性材料及其在光学信号处理中的应用研究倍受重视, 如相位共轭反射镜^[1]及光双稳态器件在光学联想存贮及光学数字处理器^[2]中的应用研究。在人们积极研究无机材料, 如半导体 (GaAs, InSb等) 及光折变材料 (BSO、BaCO₃、SBN等) 的同时, 也将兴趣转向了有机薄膜材料^[3]。这是由于有机材料可以采用分子工程技术按需要进行人工设计制做; 而用薄膜器件进行光学图像处理有二大优点: 一是采用薄膜结构不用考虑激光束在体材料中聚焦深度引起的不均匀性问题; 二则通过减小薄膜厚度可以降低严格的布拉格条件^[3]。本文报道了我们自己研制的有机染料 Eosin 聚合物薄膜的饱和吸收非线性特性, 测量了其非线性饱和吸收透过率曲线、四波混频相位共轭反射率随光强变化曲线及其相位共轭图像畸变校正效应。

二、基本理论概述

有机染料 Eosin 存在一个三态簇能级系统 (Triplet manifold), 二个激发态近简并。因此类似于一个二能级系统。我们用二能级系统复介电函数来描述其非线性光学性质。均匀展宽二能级系统的光学复介电函数为^[4]:

$$\epsilon = \frac{1 - i\Delta}{1 + \Delta^2} \cdot \frac{\alpha_0}{1 + I/I_s} \quad (1)$$

其中, α_0 为线性吸收系数, $\Delta = (\omega - \omega_0)/\gamma_{\perp}$, I_s 为饱和光强, γ_{\perp} 为横向弛豫时间。

当 $\omega \rightarrow \omega_0$ 时, 介质主要呈现饱和吸收非线性。一束光强 I_0 的单色激光束透过薄膜 (忽略其表面反射率) 后的光强为:

$$I = I_0 e^{-\alpha \cdot L} \quad (2)$$

此时: $\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + I/I_s}$ (3)

由方程 (1) 及 (2) 可知, 通过测量不同光强下的透过率, 就可获得薄膜的饱和光强、非线性吸收系数等材料的非线性光学参数。

采用对向泵浦（设两泵浦光强相同）结构的简并四波混频，该非线性薄膜的共轭信号反射率为^[5]：

$$R = \frac{|R|^2}{|\alpha + \omega' \cos \omega' L|^2} \quad (4)$$

其中

$$R = -2i \alpha_0 \frac{I/I_s}{(1 + 2 \cdot I/I_s)^{3/2}} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{(1 + 2 \cdot I/I_s)^{3/2}} \quad (6)$$

（6）与（3）形式上的不同是因为泵浦方式不同所致，理论上讲测量结果应该相同。我们将用（2~6）对实验结果进行描述。

三、Eosin 有机染料结构特征及其薄膜制备

Eosin的分子式为 $C_{20}H_8Br_4O_5$ ，其分子结构如图 1 所示。

有机染料分子受激跃迁到三重态一般是量子力学禁止的。但当在分子中嵌入重元素后，到三重态的中间系穿越（Inter system crossing）将大大增强。由于溴原子的嵌入，Eosin的三重态量在碱土金属溶液中的比例大大增加，为76%；三重态寿命在固态基质中为 $4.2ms$ ^[6]。由此可以计算得饱和光强为 $I_s = h\nu\omega/Qa \cdot \tau = 0.6W/cm^2$ （其中 Q 为三簇态量， a 为基态横截面积， τ 为寿命）。正常情况下，三簇态由于溶液中大量氧的存在会很快地被猝灭掉（Quenched），因而其寿命会降低几个数量级，导致饱和光强大大增大（ MW/cm^2 ）。Beuttner 曾证明固态聚合物基质中氧的含量很少^[6]。若将 Eosin 嵌入这类介质中，其三簇态寿命会大大增大，这样在低光强照射下会出现非线性饱和效应。

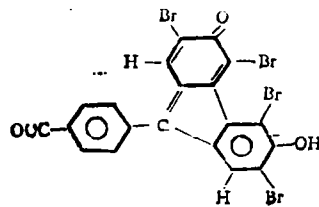


图 1 Eosin 分子结构图

鉴于以上考虑，我们采用明胶（Gelatin）作为基质。先将 Eosin 溶于去离子水中，浓度约 1%，然后将一定量的明胶放入溶液中，然后在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 温度下加热到一定程度后，将该液体注入到一透明玻璃片上，让其自然固化。这样就得到了厚约为 $40 \sim 60\mu m$ 的 Eosin 有机非线性薄膜。图 2 为该薄膜在可见光波段的线性吸收谱曲线。

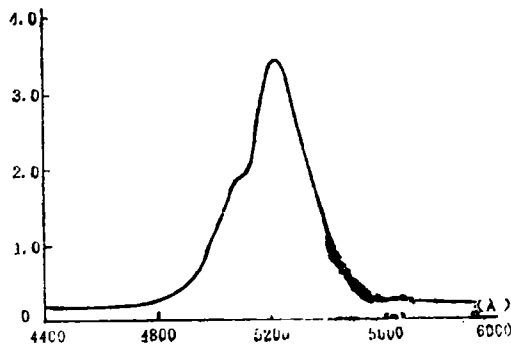


图 2 Eosin 有机薄膜线性吸收谱

四、Eosin 薄膜的共振饱和和非线性吸收 及其简并四波混频相位共轭实验

实验用光源为CW Ar⁺激光器5145 Å 输出谱线。由图 2 可以看出, Ar⁺ 激光谱线5145 Å 正处在Eosin共振吸收区内。实验中为了减小激光连续照射对薄膜的破坏, 在光束入射到样品之前先让其通过一占空比为5: 1 的斩波器, 斩波器后为一可调衰减器。图 3 为Eosin有机薄膜的饱和吸收曲线, 横坐标为入射光强, 纵坐标为透过率。图中实线为理论计算曲线, 由方程 (3) ~ (4) 得到。由图中实验数据测得该薄膜的饱和吸收光强为 $I_s \approx 0.5 \text{ W/cm}^2$, 与理论估算 0.6 W/cm^2 基本符合。

简并四波混频相位共轭实验采用两强泵浦光对向入射到薄膜样品, 弱探测光与其中一束泵浦光夹角 30° 入射到同一光斑区, 这样在探测光反向可获得混频产生的相位匹配共轭光。泵浦光不聚焦, 光斑直径约 2 mm, 探测光少许聚焦。图 4 为实验装置图。

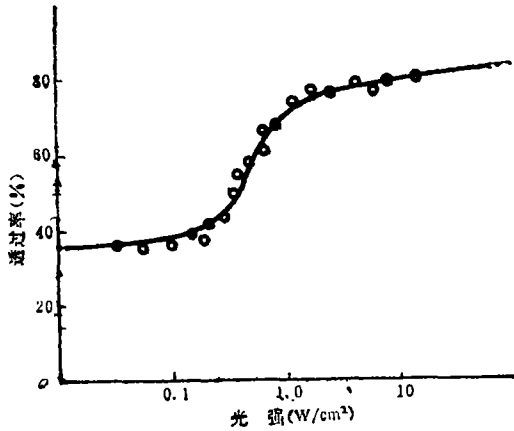


图 3 透过率随入射光强变化曲线圆圈为实验点, 实线为理论曲线。

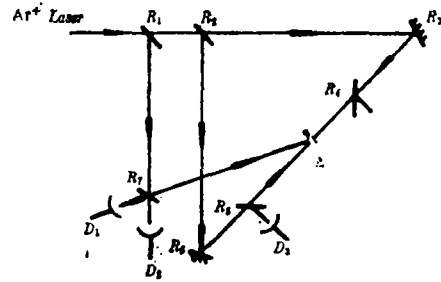


图 4 简并四波混频实验装置图
 $R_1: 5\%, R_2: 50\%, R_3 = R_6: 100\%$;
 $R_4 = R_5: 5\%, R_7: 50\%$ 。 $D_1, D_2,$
 D_3 为探测器, S 为样品。

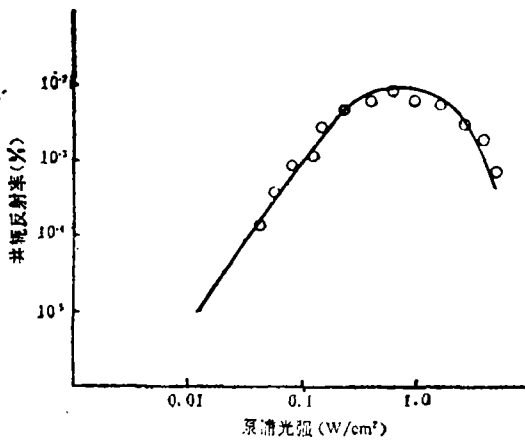


图 5 四波混频共轭反射率随泵浦光强变化曲线。圆圈为实验点, 实线为理论曲线。

图 5 为共轭信号反射率 (共轭光强与入射探测光强之比) 随泵浦光强变化曲线。实线是由方程 (4) ~ (6) 计算得的理论曲线, 方程中的 α_0, I_s 等参数采用由图 2、3 测量得到的结果。由图 5 可以看出, 在弱泵浦光强区域, 共轭反射率随泵浦光强增大而增大, 然后达到一极大值, 此时泵浦光强约为薄膜饱和光强的一半。随后, 共轭反射率随光强增大而减小。不难看出, 实验结果与理论计算吻合的很好。

为了检验该种薄膜在图像处理方面的应用前景,我们用该薄膜在简并四波混频实验结构中作为共轭反射镜,对汉字图像“理”进行了图像畸变校正补偿实验,如图6所示。其中(a)为原始图像;(b)为经一畸变玻璃片后的图像;(c)为经薄膜共轭反射镜反射补偿后的图像。不难看出,Eosin有机非线性薄膜对畸变图像校正补偿的效果很好。

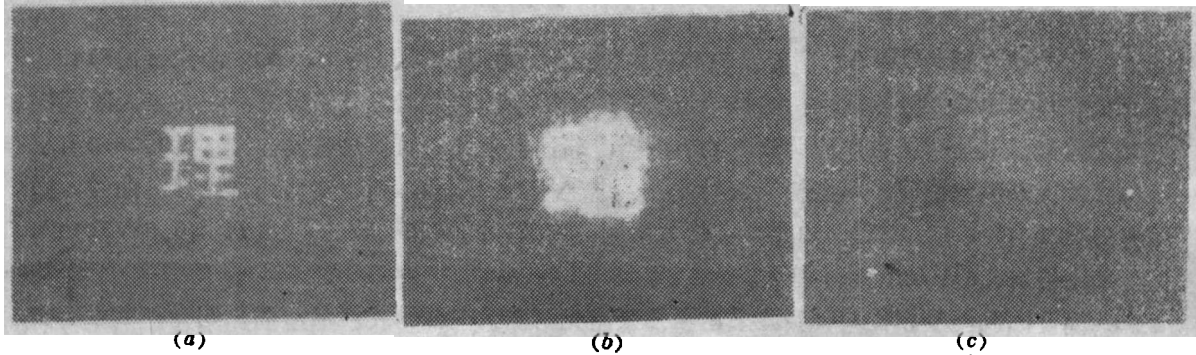


图6 Eosin有机薄膜简并四波混频畸变图像补偿
(a) 原始图像; (b) 经畸变玻璃后的图像; (c) 薄膜共轭反射补偿后的图像

五、结 论

在低光强下,我们对有机染料Eosin聚合物薄膜的近共振饱和吸收非线性、简并四波混频及相位共轭图像畸变校正进行了理论和实验研究工作,实验结果和理论分析吻合的很好,实验证明该种薄膜是一种颇有应用前景的非线性薄膜材料。

参 考 文 献

- [1] Y. Owechko, et al., Applied Optics, 26 (1987).1900
- [2] D. Psaltis, et al., Optics Letters, 10, (1985).98
- [3] Y. Silberberg, et al., Optics Communications, 39, (1981) 265
- [4] L. A. Lugiato, Progress in Optics, 21, (1984) 80
- [5] K. P. B. Moosad, et al., Optical Engineering, 29 (1990).47
- [6] A. V. Buettner, J. Phys. Chem.,68, (1964). 3253

Near Resonant Saturable Absorptive Nonlinearity and Optical Phase Conjugation of Organic Film

Zhang Jianguo Weng Zhaocheng Feng Jiazhang

Abstract

Under the low power condition the near resonant saturable absorptive nonlinearity, degenerate fourwave mixing and compensation of distort image through phase conjugation were studied experimentally in organic dye film EOSIN. The results show that this kind of nonlinear film has a good applied prospect.