

文章编号: 0529-6579 (2000) 01-0111-03

平行排列丝状液晶超短脉冲激励下的弯曲形变^{*}

林子扬, 项颖, 黄淳

(中山大学物理学系, 广州 510275)

摘 要: 用光学相位延迟法研究平行排列丝状液晶在超短脉冲激光作用下的瞬态弯曲形变. 与垂直排列液晶相比, 采用平行排列丝状液晶可以不考虑取向致流, 从而简化实验分析. 结果表明, 液晶在激光作用下会产生瞬态的弯曲形变, 并伴随着热效应, 前者的弛豫时间为数十毫秒, 后者的弛豫时间为数毫秒.

关键词: 液晶; 平行排列; 激光; 瞬态形变

中图分类号: O482.55; O484.4 **文献标识码:** A

丝状液晶分子具有较强的非线性光学效应, 并且在不同的时域里会出现密度波效应, 热效应和转动效应等现象^[1~2], 因此有大量文献报道丝状液晶在超短脉冲激光激励下的瞬态效应. 但是, 有关文献均采用垂直排列 (homeotropic alignment) 丝状液晶, 而本文则采用平行排列 (planar alignment) 丝状液晶, 与垂直排列液晶相比, 平行排列丝状液晶可以不考虑取向致流, 从而简化实验分析. 实验中对液晶分子预先施加了超过阈值的偏置静电场, 使其发生稳定的弯曲形变, 再用超短脉冲激光激励来研究液晶分子的瞬态弯曲形变.

1 实验布置和结果

实验使用石家庄清华液晶厂提供的 5CB 液晶 (4'-n-pentyl-4-cyanobiphenyl), 样品盒由香港高发液晶公司提供, 盒厚 d 分别为 $8.0\ \mu\text{m}$, $11.5\ \mu\text{m}$. 预倾角约为 1° , 前后面打磨方向相同, 平行 X 方向排列. 我们使用相位延迟法来检测液晶分子在超短脉冲激光激励下的瞬态弯曲形变. 光路如图 1 所示. 液晶盒未加电场时, 指向矢 n 在 $X-Z$ 平面且与 X 轴平行 (忽略预倾角). 激励光使用调 Q 的 YAG $1.06\ \mu\text{m}$ 的单脉冲光, 经过倍频晶体变成 $0.53\ \mu\text{m}$ 的绿光由透镜聚焦成直径 $1.6\ \text{mm}$ 的圆斑入射液晶盒, 脉冲宽度为 $50\ \text{ns}$, 强度为 $5\ \text{mJ/脉冲}$. 激励光的偏振方向 E_Y 为 X 方向, 入射面为 $Y-Z$ 平面, 入射方向与 Z 轴夹角为 0.5° . 探测光为 $0.63\ \mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光. P1 为起偏器, 起偏方向位于 $X-Y$ 平面且与 X 轴成 45° 夹角. P2 为检偏器, 检偏方向位于 $X-Y$ 平面与 X 轴成 -45° 夹角. V_b 为偏置电压, 偏置静电场 E_b 方向沿 Z 方向. D 为光电倍增管, 后接泰克公司 (Tektronix) 的 $400\ \text{MHz}$ 数字存储示波器, 实验室温度 $26\ ^\circ\text{C}$.

在偏置静电场作用下, 液晶分子只在 $X-Z$ 平面内发生弯曲形变, 转角 θ 只是 Z 的函数, 当激励激光 E_Y 作用在液晶上时, 会使液晶分子产生瞬态的弯曲形变变化, 使得经

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19474073)

收稿日期: 1999-03-03 作者简介: 林子扬 (1958~), 男, 在职博士, 暨南大学副教授.

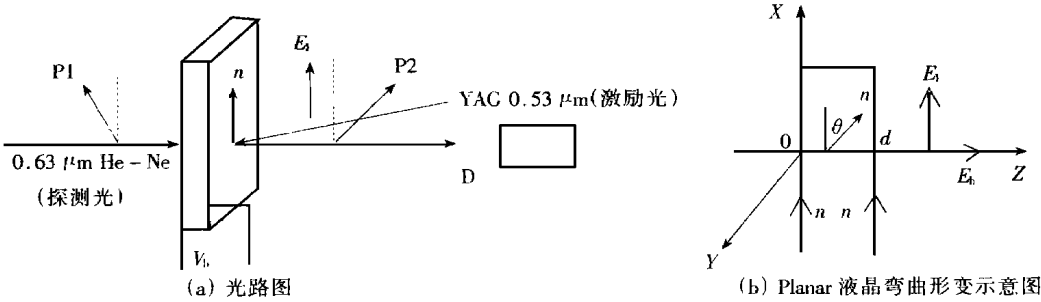


图 1 实验装置

Fig.1 Experimental arrangement

$P2$ 出射的光强发生变化，检测探测光强随时间的变化就可以得到瞬态弯曲形变的弛豫时间。根据电场下发生弯曲形变的阈值公式 $V_c = \pi \sqrt{K_{11}/\epsilon_a}$ ，阈值电压理论值 $V_c = 0.82\text{ V}$ ，实验测得 $d = 8.0\text{ }\mu\text{m}$ 样品的 $V_c = 0.78\text{ V}$ ， $d = 11.5\text{ }\mu\text{m}$ 样品的 $V_c = 0.80\text{ V}$ 。图 2 是示波器记录的 8.0 和 $11.5\text{ }\mu\text{m}$ 的样品在 YAG 激光脉冲作用后的探测光强随时间变化的曲线。

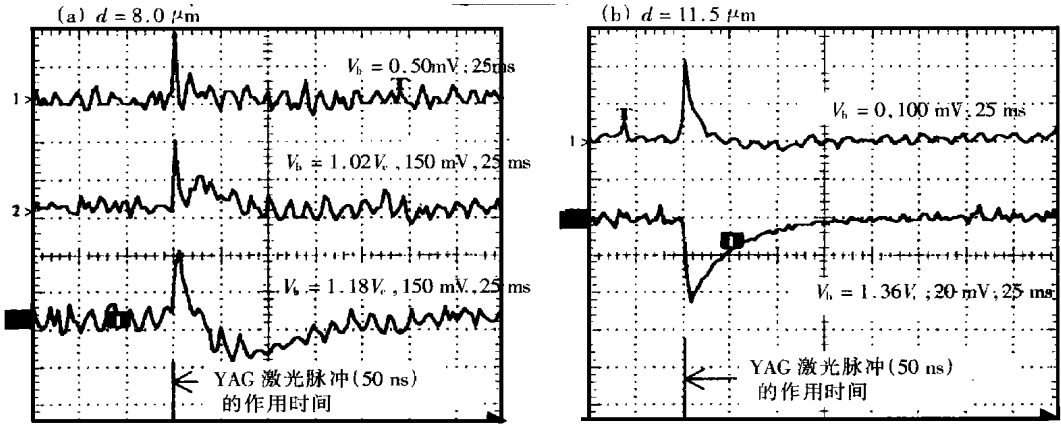


图 2 实验结果

Fig.2 Experimental results for the samples

2 理论和实验结果分析

当较强的超短脉冲激光打在丝状液晶样品上，会产生瞬态的弯曲形变，并伴随着热效应，其相位延迟的效果是二者的叠加^[3]

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_R + \Delta\varphi_T$$
$$\Delta\varphi_R = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d \left(\frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial \theta} \right)_{\theta(Z)} \Delta\theta(Z, t) dZ, \quad \Delta\varphi_T = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d \left(\frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial T} \right)_{\theta(Z)} \Delta T(Z, t) dZ$$

其中， $\Delta\varphi_R$ 是由于弯曲形变引起的相位延迟， $\Delta\varphi_T$ 是由于热效应所引起相位延迟。从图 2 可以看出，当 $V_b = 0$ 时， $\theta_0(Z) = 0$ ，液晶分子处于平行排列状态， YAG 激光脉冲的电场 E_Y 平行于液晶分子长轴，此时液晶分子不会发生弯曲形变。液晶对激励光的响应是热效应，弛豫时间约为数毫秒。图 2a 中的曲线 2 和 3 是施加偏置电场后液晶对激励激光脉冲的响应曲线，可以看出弯曲形变，并同时伴随着热效应，其中弯曲形变的弛豫时间较长，约为数十毫秒。

考虑平行排列液晶取向致流 (backflow) 可以忽略，根据指向矢运动方程^[4]

$$K \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} + [\epsilon_a E_b^2 - \epsilon_0 (n_e^2 - n_o^2) E_Y^2] \sin \theta \cos \theta - (\alpha_3 - \alpha_2) \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$$

其中, $\theta = \theta(Z, t)$ 为指向矢的弯曲形变角度, K 为液晶的弹性系数, α_3, α_2 为液晶的粘滞系数, ϵ_a 为低频介电各向异性常数, ϵ_0 为真空介电常数, n_e, n_o 分别是液晶分子的平行和垂直折射率, E_Y 为激励激光脉冲的电场强度.

① 稳态, 只有 $E_b, E_Y = 0, \partial/\partial t = 0$

$$\theta_0(Z) = \theta_m \sin(\pi Z/d), \quad \theta_m = \sqrt{2(1 - E_c^2/E_b^2)}$$

其中, $\theta_0(Z)$ 是平衡时指向矢的弯曲形变角, 由平行排列的边界条件而得, θ_m 是最大的弯曲角, 由对称条件得 $\theta_m = \theta_0(d/2)$. E_c 为偏置的阈值电场. 对 $8.0 \mu\text{m}$ 的样品而言, 当 $V_b/V_c = 1.02$ 时, $\theta_m \approx 15^\circ$; 当 $V_b/V_c = 1.18$ 时, $\theta_m \approx 45^\circ$.

② 瞬态 (当 YAG 激光脉冲对丝状液晶激励时),

$$\theta = \theta_0(Z) + \Delta\theta(Z, t) = [\theta_m + \Delta\theta_m(t)] \sin(\pi/d)Z$$

$\Delta\theta(Z, t)$ 为液晶在 YAG 激光脉冲作用下的瞬态弯曲形变角, $\Delta\theta_m(t)$ 是 YAG 激光脉冲激励时所产生的最大弯曲形变角. 随着光场的撤离, 液晶分子进入弛豫阶段, 弛豫时间 $\tau = \alpha_3 - \alpha_2/\epsilon_a(E_b^2 - E_c^2)$, 如取 $\alpha_3 - \alpha_2 \approx 0.015 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})^{[3]}$, 对 $8.0 \mu\text{m}$ 样品而言, 当 $V_b/V_c = 1.18$ 时, $\tau \approx 50 \text{ ms}$; 对 $15.0 \mu\text{m}$ 样品而言, 当 $V_b/V_c = 1.36$ 时, $\tau \approx 35 \text{ ms}$; 对比图 2, 理论估算与实验结果基本一致.

参考文献:

- [1] KHOO I C. Dynamics of picosecond laser-induced density, temperature, and flow-reorientation effects in the mesophases of liquid crystals[J]. J Appl Phys 1991, 69(7): 3853.
- [2] EICHLER H J, MACDONALD R. Inertial effect in the dynamics of picosecond laser-induced molecular reorientation in nematic liquid crystals[J]. Physical Review Letters 1991, 67: 2666.
- [3] HSIUNG H, SHI L P, SHEN Y R. Transient laser-induced molecular reorientation and laser heating in a nematic liquid crystal[J]. Physical Review A, 1984, 30: 1453.
- [4] 谢毓章. 液晶物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 288-294.

Transient Laser-Induced Bend-Reorientation in a Planar Alignment Nematic Liquid Crystal

LIN Zi-yang^{*}, XIANG Ying, HUANG Chun

Abstract: A detailed experiment study of laser-induced bend-reorientation in a planar alignment nematic liquid crystal is presented. A biased static electric field was applied to make the bend orientation. The advantage of the planar alignment is that the backflow effect can be neglected compared to the homeotropic alignment. The experiment behavior combines heating and bend reorientation, with their decay times being several millisecond and several tens of millisecond respectively.

Keywords: liquid crystal; planar alignment; laser; reorientation

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China