

文章编号: 0258-7025(2002)12-1064-03

液晶电控双折射特性的研究

王 宁, 李国华, 云茂金

(曲阜师范大学激光研究所, 山东曲阜 273165)

摘要 在考虑液晶吸收效应的前提下, 对向列相液晶 BL-009 作了电控双折射特性的研究, 测出了入射光波长为 560 nm 时双折射率随电压变化的关系曲线, 同时得到了吸收系数随电压变化的关系曲线。

关键词 液晶, 电控双折射, 偏光干涉, 吸收系数

中图分类号 O 753⁺.2 文献标识码 A

Voltage-dependent Birefringence Measurements of Liquid Crystals

WANG Ning, LI Guo-hua, YUN Mao-jin

(Laser research Institute of Qufu Normal University, Qufu, Shandong, 273165)

Abstract This paper investigated the voltage-dependent birefringence and absorption coefficient of liquid crystals BL-009 with the incident light of 560 nm. The voltage dependences of birefringence and absorption coefficient were given.

Key words liquid crystal, voltage-dependent birefringence, polarized interference, absorption coefficient

1 引 言

液晶作为一种应用广泛的特殊功能材料, 由于一方面具有象液体一样的流动性和连续性, 另一方面它又具有象晶体一样的各向异性, 因而具有了许多独特的性质, 电控双折射特性就是其中之一。尤其是向列相液晶, 这种特性表现的尤为突出。此性质可应用于液晶显示、信息处理、光通信等方面, 例如液晶调谐滤光片^[1]、菲涅耳位相波带片^[2]、液晶光调制器^[3]等等。国内已经开始在这一领域的研究工作, 但在研究液晶的电控双折射特性时不考虑液晶的吸收效应。因此, 本文在考虑液晶吸收效应的前提下, 对向列相液晶 BL-009 作了电控双折射特性的研究。我们在温度为 27 °C 时, 将液晶置于频率为 1000 Hz 的交流电场中, 测出了入射光波长为 560 nm 时双折射率随电压变化的关系曲线, 同时得到了吸收系数随电压变化的关系曲线。

数和电导率的各向异性, 使液晶分子受到一种使分子轴取向改变的作用力。这种电场所引起的转矩, 会使分子轴发生旋转。因此在这种状态时, 液晶盒的光学性质与加电场前不同, 双折射率也会受电场影响, 这就是液晶的电控双折射特性。液晶器件的所有有用的光学效应都起源于双折射率^[4]。该实验主要是利用了偏光干涉的理论。一般情况下向列相液晶的光轴与分子轴一致, 当在液晶上加纵向电压时, 液晶中分子发生重排, 导致光轴转动, 将厚度为 d 的液晶放在起偏器和检偏器之间, 对应垂直于液晶表面入射的波长为 λ 的入射光, 寻常光和非寻常光的相位差为

$$\delta = 2\pi d \Delta n / \lambda$$

因此, 双折射率为

$$\Delta n = \delta \lambda / 2\pi d \quad (1)$$

当起偏器与检偏器的透光方向相互垂直或平行时, 透过的光强分别为^[5]

$$I_{\perp} = \frac{1}{4} I_0 \sin^2 2\phi \times \{ \exp(-\alpha_o d) + \exp(-\alpha_e d) - 2\exp[-(\alpha_o + \alpha_e) d / 2] \cos \delta \}$$

2 基本原理

当对液晶盒加上外部电压时, 由于液晶介电常

收稿日期: 2001-09-04; 收到修改稿日期: 2001-12-07

作者简介: 王宁(1977—), 男, 山东省莱芜市人, 现为山东省曲阜师范大学激光研究所硕士研究生, 主要从事激光偏光技术方面的研究。E-mail: qfwn@263.net

$$I_{\parallel} = I_0 \{ \exp(-\alpha_o d) + \exp(-\alpha_e d) - 2 \exp[-(\alpha_o + \alpha_e) d/2] \cos^4 \phi + 2 \exp[-(\alpha_o + \alpha_e) d/2] - 2 \exp(-\alpha_o d) \cos^2 \phi + \exp(-\alpha_e d) - \exp[-(\alpha_o + \alpha_e) d/2] \sin^2 2\phi \sin^2(\delta/2) \}$$

式中 I_0 为入射光的光强, ϕ 为起偏器透光方向与液晶盒中寻常光振动方向的夹角, 即未加电压时起偏器透光方向与液晶光轴的夹角, 为简便起见, 一般取 $\phi = 45^\circ$, α_o 和 α_e 代表 o 光和 e 光的吸收系数。当 $(\alpha_o - \alpha_e) d/2 \ll 1$ 时, 即寻常光和非寻常光的吸收系数的差别可忽略时, 则^[6]

$$I_{\perp} = I_0 \exp(-\alpha_o d) \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

$$I_{\parallel} = I_0 \exp(-\alpha_e d) \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

令 $I_{\perp}' = I_{\perp}/I_0$, $I_{\parallel}' = I_{\parallel}/I_0$, 即用透射比表示为

$$I_{\perp}' = \exp(-\alpha_o d) \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (2)$$

$$I_{\parallel}' = \exp(-\alpha_e d) \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

最方便和精确测量 δ 的方法是测量 $I_{\perp}'/I_{\parallel}'$ 的值, 由(2), (3) 两式得

$$|\delta| = N\pi + 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{I_{\perp}'}{I_{\parallel}'}}$$

$$N = 0, 2, 4, \dots \quad (4)$$

$$|\delta| = (N+1)\pi - 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{I_{\perp}'}{I_{\parallel}'}}$$

$$N = 1, 3, 5, \dots \quad (5)$$

通过实验数据即可确定公式中的 N , I_{\perp}' 和 I_{\parallel}' 的值, 由公式(4), (5) 得到延迟量 δ , 再利用(1) 式得出液晶的双折射率 Δn , 同时可利用(2), (3) 两式得到吸收系数 α_o 的值。利用岛津 UV-3101PC 分光光度计完成了此实验, 整套实验装置如图 1 所示, P_1 为起偏器, P_2 为检偏器, LC 为液晶。岛津分光光度计采用双光路测量形式, 并通过微机实现自动测量。

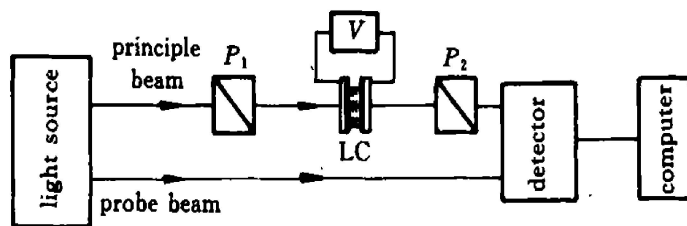


图 1 利用岛津 UV-3101 分光光度计测量液晶电控双折射率

Fig. 1 Measurement of LC voltage-dependent birefringence with UV-3101PC spectrophotometer

3 实验结果及分析

在温度为 27°C 时, 将液晶置于频率为 1000 Hz 的交流电场中, 垂直入射光波长为 560 nm , 利用岛津分光光度计得到的透射比曲线如图 2 所示。

利用如前所述的方法可得双折射率随电压变化的关系曲线(如图 3 所示)。

从图 3 可以得到以下几点结论:

1) 液晶 BL-009 的阈值电压约为 0.8 V ; 2) 在 $0.8\sim 4\text{ V}$ 之间, 双折射率 Δn 下降较快, 且随电压连续变化, 此性质可应用于位相型液晶光调制器, 而且具有调谐电压低、易控制、连续可调等优点; 3) 当电压大于 4 V 时, 双折射率曲线逐渐趋于平坦, $\Delta n \rightarrow 0$, 这是液晶分子的转力矩与外加电场产生的转力矩达到平衡的结果, 此时液晶指向矢已转到外电场方向。同时也得到了吸收系数 α_o 随电压的变化关

系曲线, 如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 此时液晶的吸收系数随电压变化很小, 几乎是不变的, 而且数值很小, 接近于 0, 这是由于在可见光区域, 液晶的吸收因远离共振区而大大下降, 液晶的吸收带主要集中在紫外和红外区域^[7]。

4 误差分析

由于液晶的电控双折射特性受环境温度、所加电压、入射光波长、所加信号频率、入射单色光的偏振方向等因素的影响, 因此在研究和应用液晶电控双折射性质时总是利用某一个因素的变化, 而让其他因素不变来达到调整液晶双折射率的目的。比如本文就是在温度为 27°C 时, 将液晶置于频率为 1000 Hz 的交流电场中, 研究了入射光波长为 560 nm 时

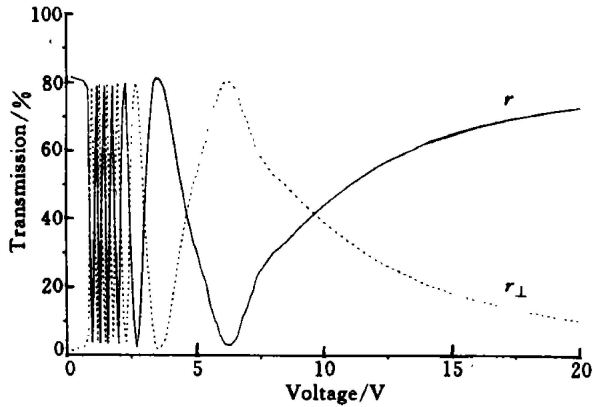


图2 光强透射比与电压的关系曲线

入射光波长为 560 nm; 温度为 27 °C; 加 1 kHz 正弦波信号;
液晶 BL-009, 厚度为 11 μm

Fig.2 Voltage-dependent optical transmission of Polarizer-LC cell analyzer system for perpendicular and parallel polarization

$\lambda = 560 \text{ nm}$; $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$; sine wave frequency, 1 kHz;
BL-009 liquid crystal, $d = 11 \mu\text{m}$

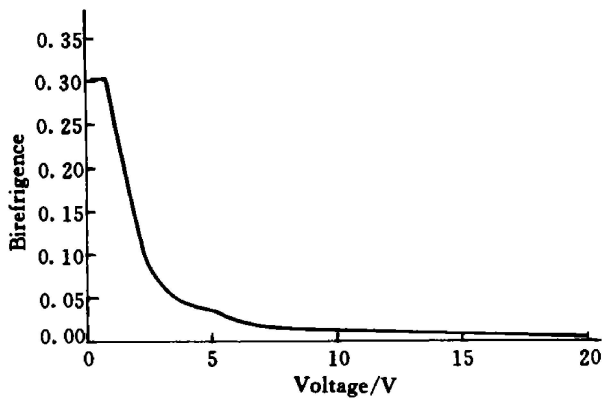


图3 液晶 BL-009 的电控双折射率随电压变化关系曲线

入射光波长为 560 nm; 温度为 27 °C; 对液晶盒所加正弦波
电信号频率为 1000 Hz; 液晶盒厚度为 11 μm

Fig.3 Voltage-dependent birefringence of BL-009
liquid crystal

$\lambda = 560 \text{ nm}$; $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$;

LC cell excitator sine wave, 1 kHz; $d = 11 \mu\text{m}$

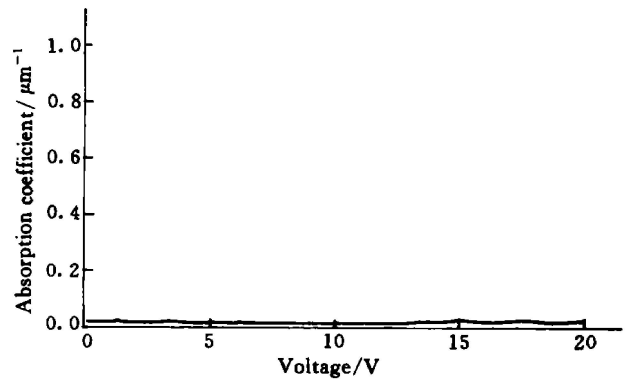


图4 液晶 BL-009 的吸收系数随电压变化的关系曲线

Fig.4 Voltage-dependent absorption coefficient of
LC BL-009

射光的偏振方向, 为了简便起见, 我们使其为 45° , 可利用精密调整支架来减小小角度造成的误差。

另外, 液晶盒的灵敏度、动态范围也将影响到液晶电控双折射特性的具体应用。由于所使用的液晶的瞬态响应时间不大于 5 ms, 而且液晶工作在正常区域, 因此这两个因素造成的误差很小。

参 考 文 献

- 1 Li Guo-hua, Pang Yan-tao, Dai Zu-xiao *et al.*. Study of tunable liquid crystal filters [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 2001, **12**(2): 141~ 143 (in Chinese)
- 2 Ren Hong-wen, Ling Zhi-hua, Wu Sheng *et al.*. A new type of Fresnel phase waveband plate [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(1): 124~ 126 (in Chinese)
- 3 Jeffrey A. Davis, Dylan E. McNamara, Don M. Cottrell *et al.*. Tow-dimensional polarization encoding with a phase-only liquid crystal spatial light modulator [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(10): 1549~ 1554
- 4 Liu Zhu-jin. The Character and Appliance of Liquid Crystal [M]. Shanghai: Shanghai Science and Teconology Literature Book Concern, 1981. 80 (in Chinese)
- 5 M. Born, E. Wolf. Principles of Optics [M]. New York: Pergamon, 1980. 714
- 6 Shiu-Tson Wu, Uzi Efron, LaVerne D. Hess. Birefringence measurements of liquid crystals [J]. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(21): 3911~ 3915
- 7 Shiu-Tson Wu. Liquid crystals and its appliance [J]. *Mordern Display*, 1995, (2): 30

液晶电控双折射率随电压变化的关系。对于温度造成的误差, 可以通过利用比较精密的温控装置来减小误差; 对于频率和电压由于使用了性能稳定的低频信号发生器, 因而减小了测量误差; 对于入