

文章编号: 0253-2239(2004)07-970-3

液晶电控双折射率与电压关系的研究

王 伟^{1,2} 李国华¹ 薛 冬^{1,2}

(1 曲阜师范大学激光研究所, 曲阜 273165
2 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 对向列相液晶 BL-009 作了电控双折射特性的研究。实验上采用简单、精确的偏光干涉法, 利用岛津 UV-3101 PC 型分光光度计, 在入射光波长为 630 nm 时, 测出了液晶的透射率随交流电压的有效值和频率的变化曲线, 从而得到液晶电控双折射率随电压的有效值和频率变化曲线。分析实验数据, 可知液晶的电控双折射率随电压有效值的升高成一阶指数下降, 而且, 随电压频率的升高, 在一定的范围内基本成线性下降。此实验结果对液晶器件的设计、制作、使用都具有一定的参考价值。

关键词: 液晶; 电控双折射; 电压; 频率

中图分类号: O481 文献标识码: A

A Study of Voltage-Dependent Electric-Control Birefringence of Liquid Crystal

Wang Wei^{1,2} Li Guohua¹ Xue Dong^{1,2}

(1 *Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu 273165*
2 *Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

(Received 9 July 2003; revised 28 September 2003)

Abstract: The peculiarity of nematic liquid crystal (LC:BL-009) electric-control birefringence is studied. The simple and precise polarized light interference method is employed to measure the birefringence of liquid crystal. When wavelength of the incident light is 630 nm, transmissivity curve of LC is measured as the functions of the effective value and frequency of AC voltage by using Shimadzu UV-3101 PC spectrometer. After analysing the experimental result, electric-control birefringence of LC was obtained. The electric-control birefringence of LC is single order exponential falling with the increase of effective value of voltage and linear falling with the increase of frequency of voltage in definitive domain. The obtained result is usefull for the design and manufacturing, application of LC device.

Key words: liquid crystal; electric-control birefringence; voltage; frequency

1 引 言

液晶是介于固体和液体的中介相, 一方面具有象液体一样的流动性和连续性、粘滞性, 另一方面它又具有象晶体一样的各向异性, 因而具有许多独特的性质, 电控双折射特性就是其中之一。此性质可应用于液晶显示、信息处理、光通信等方面, 例如液

晶显示器、电压调谐滤光片^[1~3]、液晶光折变材料^[4], 这些应用都需要考虑液晶的双折射率与电压的关系。描述交流电压最重要的两个物理量是电压的有效值和频率, 所以我们在室温为 20 °C 时, 分别测出了入射光波长为 630 nm 时双折射率随电压有效值和频率变化关系曲线, 并找出液晶双折射率随电压有效值和频率的变化规律。

2 基本原理

液晶是一种各向异性的物质, 棒状液晶光学性

质上类似单轴晶体。光轴与分子的长轴方向一致。当对液晶盒施加电压时,随电压的改变,由于不同电场强度的作用,会使分子的长轴发生一个不同的倾角旋转。因此在这种状态下,与未加电场时相比,液晶盒的光轴发生了变化,同时双折射率也会受电场影响,这就是液晶的电控双折射效应。本实验对于液晶的双折射率的测定采用操作简单精度较高的偏光干涉法。将液晶置于起偏器和检偏器之间(液晶的光轴方向和起偏器透光方向成 45°),垂直入射的波长为 λ 的光,寻常光和非寻常光的相位差为^[5]

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

因此

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

式中 d 为液晶的厚度, Δn 为液晶的双折射率。液晶厚度为已知,只要求出 δ 的值便可求出液晶的双折射率 Δn 。若 α_o 和 α_e 分别代表寻常光和非寻常光的吸收系数,当 $(\alpha_e - \alpha_o)d \ll 1$ (即寻常光吸收系数和非寻常光吸收系数之间的差别可以忽略),当检偏器和起偏器透光方向相互垂直或平行时,透过光强为^[6]

$$I_{\perp} = I_0 \exp(-\alpha_o d) \sin^2(\delta/2), \quad (3)$$

$$I_{\parallel} = I_0 \exp(-\alpha_o d) \cos^2(\delta/2), \quad (4)$$

式中 I_0 为入射光的强度。

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

$$I'_{\perp} = \exp(-\alpha_o d) \sin^2(\delta/2), \quad (5)$$

$$I'_{\parallel} = \exp(-\alpha_o d) \cos^2(\delta/2), \quad (6)$$

由(5)和(6)得

$$|\delta| = N\pi + 2\arctan \sqrt{I'_{\perp}/I'_{\parallel}}, \quad (7)$$

$$N = 0, 2, 4, \dots$$

$$|\delta| = (N+1)\pi - 2\arctan \sqrt{I'_{\perp}/I'_{\parallel}}, \quad (8)$$

$$N = 1, 3, 5, \dots$$

通过实验数据可确定公式中的 N 、 I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 的值,由(7)式、(8)式得到延迟量 δ ,再利用(2)式得出液晶的双折射率 Δn 。

利用日本产岛津 UV-3101 PC 分光光度计完成了此实验,实验装置如图 1。P₁ 为起偏器, P₂ 为检偏器, LC 为液晶盒, V 是 XD1022 低频信号发生器^[7]。

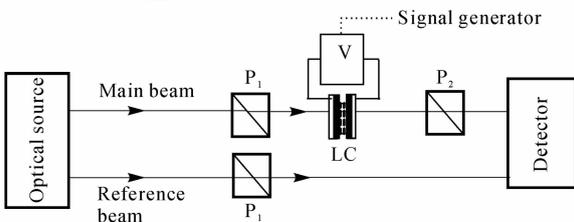


Fig. 1 Measurement of liquid crystal Voltage-dependent birefringence by spectrophotometer

3 实验步骤及结果

在室温为 20°C 时,固定分光光度计出射光波长为 630 nm ,利用 XD1022 低频信号发生器对液晶盒施加频率为 1000 Hz 、占空比为 50% 的交流方波电压,逐渐升高电压的大小(用万用电表测电压的有效值),可以做出透射比曲线,如图 2 所示。由图 2 可以看出:当电压足够大时, I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 趋于一定值,此时液晶分子的长轴与所加的电场同向(液晶光轴的方向和入射光线的方向相同),从而表现出各向同性,液晶盒的延迟量为 0,随电压的逐渐减小(I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 自右向左变化时),液晶盒的延迟量也逐渐从 0 开始增大,当 I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 到达第一个交点时,由(5)式、(6)式可知 $\delta = \pi/2$,所以 I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 曲线到达第一个交点之前(7)式、(8)式中的 $N=0$,依此类推曲线在第 n 个交点和第 $n-1$ 个交点之间时 $N=n-1$ 。

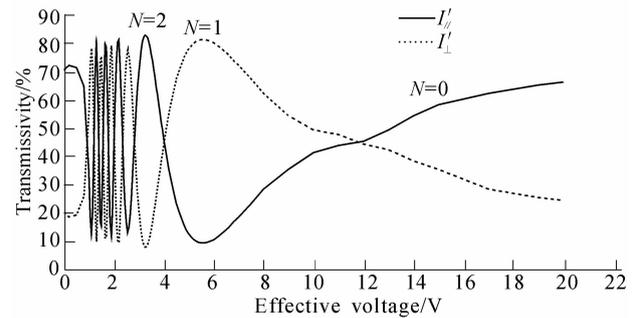


Fig. 2 Voltage-dependent optical transmissivity of liquid crystal cell, $\lambda = 630\text{ nm}$, $T = 20^\circ\text{C}$

由以上分析利用(2)式、(7)式、(8)式做出液晶的双折射率随电压有效值的变化曲线如图 3 所示。

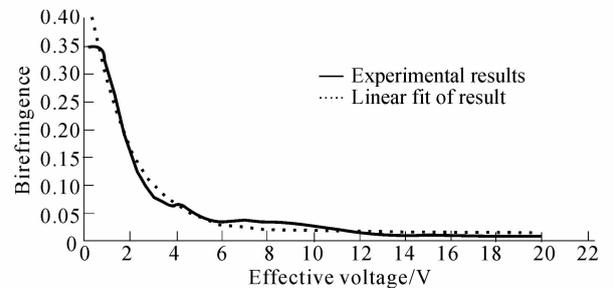


Fig. 3 Effective voltage-dependent birefringence of liquid crystal cell

图中实线为实验结果,虚线是对实验结果用拟合模型函数为 $y = y_0 + A_1 \exp[-(x/t)]$ 拟合的曲线。分析上图可以看出以下几点结论:

- 1) 液晶 BL-009 的阈值电压约为 0.8 V ,在小于 0.8 V 时液晶的双折射率变化较小。
- 2) 在 $0.8 \sim 4\text{ V}$ 之间,液晶双折射率下降较快,

且随电压连续变化,此性质可应用于相位型液晶光调制器,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,此时双折射率曲线趋逐渐于平坦, $\Delta n \rightarrow 0$,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。

4) 电压大于 0.8 V 时,实验曲线与拟合曲线符合较好。拟合常数为: $y_0 = 0.014, A_1 = 0.357, t = 2$,所以能有公式 $\Delta n = 0.014 + 0.357 \exp[-(V/2)]$ 来描述液晶的双折射率随电压的变化关系,其规律基本成一阶指数下降。

在室温 20 °C、入射光波长为 630 nm 的条件下,保持信号发生器输出交流电压的有效值($V = 1$ V)、占空比、波形不变,逐渐升高交流电压的频率,利用分光光度计测量(I'_{\perp} 和 I'_{\parallel}),结果如图 4 所示。由图 2 可知在 20 °C, $V = 1$ V, $f = 1000$ Hz 时 $N = 9$,再根据延迟量变化的连续性可确定图中 I'_{\perp} 和 I'_{\parallel} 曲线的 N 值。

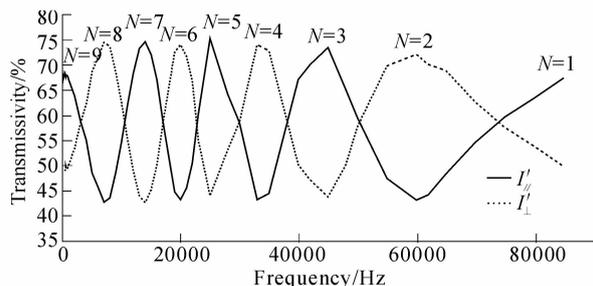


Fig. 4 Voltage frequency-dependent optical transmission of liquid crystal cell

利用(2)式、(7)式、(8)式做出液晶的双折射率随电压频率的变化曲线如图 5 所示。

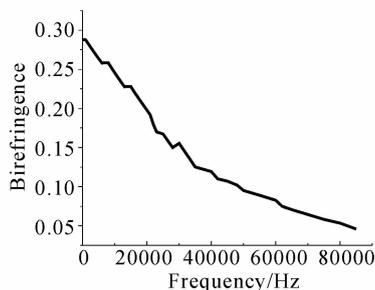


Fig. 5 Voltage frequency-dependent birefringence of liquid crystal cell

分析上图可以看出,在外加电压频率小于 85000 Hz 时,液晶 BL-009 的双折射率随频率的升高基本成线性下降。

参 考 文 献

- 1 Yun Maojin, Li Guohua, Wang Ning. Study of tunable liquid crystal filter by voltage. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(9): 1119~1122 (in Chinese)
- 2 Yun Maojin, Li Guohua, Kong Yong *et al.*. Tunable liquid crystal filter used for lineselection of Ar⁺-laser. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2002, **29**(2): 135~137 (in Chinese)
- 3 Yun Maojin, Li Guohua, Wu Fuquan *et al.*. Characteristic of lyot tunable liquid crystal filters. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(5): 627~632 (in Chinese)
- 4 Shi Lei, Zhao Youyuan, Min Ke *et al.*. Study of photo refractivity nematic liquid crystals Doped with electron donor and acceptor molecules. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(3): 266~271 (in Chinese)
- 5 Li Guohua. *Optics* (光学). Jinan: Shandong Educational Press, 1990. 411~412 (in Chinese)
- 6 Wu Shin-Tson, Efron Uzi, Hess L D. Birefringence measurements of liquid crystals. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(21): 3911~3915
- 7 Wang Ning, Li Guohua, Yun Maojin. Voltage dependent birefringence measurement of liquid crystals. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2002, **29**(12): 1064~1066 (in Chinese)