

文章编号: 1001-3806(2004)03-0275-03

## 向列相液晶电热光效应的实验研究

王伟<sup>1,2</sup>, 李国华<sup>1</sup>, 郝殿中<sup>1</sup>, 薛冬<sup>1,2</sup>

(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:** 通过研究在变化的温度下向列相液晶 BL-009 的电控双折射率特性, 探讨了向列相液晶的电热光效应。实验上采用简单、精确的偏光干涉法, 在入射光波长为 630nm、测出从室温 20℃~100℃时, 液晶的透射率随温度的变化曲线。从而得到液晶电控双折射率随温度的变化曲线。分析实验数据可知, 液晶的电控双折射率随温度的升高, 在外加电压值不同时具有不同的变化规律。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; 向列相; 电热光效应; 电控双折射率

**中图分类号:** O437 **文献标识码:** A

### Experimental study of electric-termo-optic effect of nematic liquid crystal

WANG Wei<sup>1,2</sup>, LI Guohua<sup>1</sup>, HAO Dianzhong<sup>1</sup>, XUE Dong<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Laser, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** The thermo-optic effect of nematic liquid crystal (LC) (BL-009) is probed by studying the birefringence of LC as the temperature varies. The simple and precise polarized interference method is employed to measure the birefringence of the LC. The transmissivity of the LC is measured as temperature varies from 20℃ to 100℃, the wavelength of the incident light is 630nm, so electric control birefringence of the LC is obtained as temperature varies. After analysing the experimental data, it is found that the law of the falling of electric control birefringence is different when the applied voltage is different. The obtained result is favor of the design and manufacture, application of LC device.

**Key words:** liquid crystal (LC); nematic; thermo-optic effect; electric control birefringence

## 引言

液晶作为一种凝聚态物质, 其特性与结构介于固体晶体和各向同性液体之间, 一方面具有像液体一样的流动性和连续性, 另一方面它又具有像晶体一样的各向异性, 因而具有许多独特的性质<sup>[1]</sup>。向列相液晶是由长径比很大的棒状分子组成, 分子质心没有长程有序性。具有类似于普通流体的流动性, 分子不排列成层, 能上下、左右、前后滑动, 只在分子长轴方向上保持相互平行或近于平行。分子间短程相互作用力微弱。所以, 液晶分子排列并不像固体晶体分子的排列那样牢固, 很容易受到电场、磁场、温度、应力以及吸附杂质等外部刺激的影响<sup>[2]</sup>。其中, 在施加电场的同时改变温度, 使其光学性质发

生变化的现象称为液晶的电热光效应。由于描述液晶光学性质最重要的物理量是双折射率, 文中考虑了温度的变化对液晶电控双折射率的影响, 对向列相液晶 BL-009 作了电控双折射率的研究, 从室温 20℃~100℃测出了入射光波长为 630nm 时, 电控双折射率随温度变化关系曲线, 并找出液晶电控双折射率随温度的变化规律。

## 1 基本原理

液晶在光学上类似单轴晶体, 光轴与分子长轴

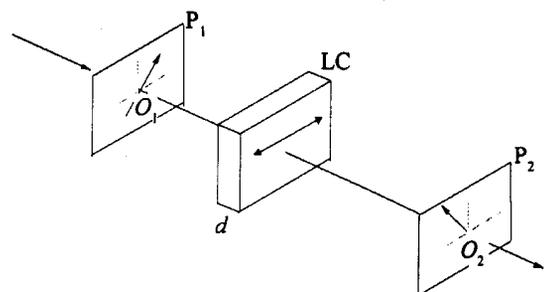


Fig. 1 Measurement of LC birefringence based on polarized interference

作者简介: 王伟(1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事偏光测试方面的工作。

E-mail: wwqf@eyou.com

收稿日期: 2003-07-03; 收到修改稿日期: 2003-09-16

的统计方向一致。该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。如图 1 所示,将液晶置于起偏器和检偏器之间,并且使液晶的光轴方向(向列相液晶 BL-009 的光轴方向平行与矩形液晶盒的长边)和起偏器透光方向成 45°。

垂直入射的波长为  $\lambda$  的光,寻常光和非寻常光的相位差为<sup>[3]</sup>:

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

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

式中,  $d$  为液晶盒的厚度,  $\Delta n$  为液晶的双折射率。液晶厚度为已知,只要求出  $\delta$  的值便可求出液晶的双折射率  $\Delta n$ 。若  $\alpha_o$  和  $\alpha_e$  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<sup>[4]</sup>:

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

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

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)式和(6)式得:

$$|\delta| = N\pi + 2\arctan^{-1} \sqrt{I'_{\perp} / I'_{\parallel}}, \quad N = 0, 2, 4 \dots \quad (7)$$

$$|\delta| = (N+1)\pi - 2\arctan^{-1} \sqrt{I'_{\perp} / I'_{\parallel}}, \quad N = 1, 3, 5 \dots \quad (8)$$

由实验数据可确定公式中的  $N, I'_{\perp}$  和  $I'_{\parallel}$  的值,由(7)式和(8)式得到延迟量  $\delta$ ,再利用(2)式得出液晶的双折射率  $\Delta n$ 。

利用 751 型分光光度计完成了此实验,实验装置如图 2 所示,  $P_1$  为起偏器,  $P_2$  为检偏器,  $LC$  为液晶盒。

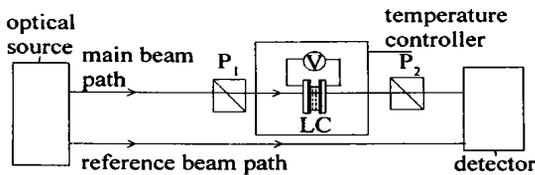


Fig. 2 Measurement of LC birefringence with 751 spectrophotometer

## 2 实验步骤及结果

(1) 在室温为 20 °C 时,调节分光光度计使出射光波长为 630nm,利用 XD1022 低频信号发生器对液晶盒施加频率为 1kHz、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),可以得到透射比曲线<sup>[5,6]</sup>,如图 3 所示。

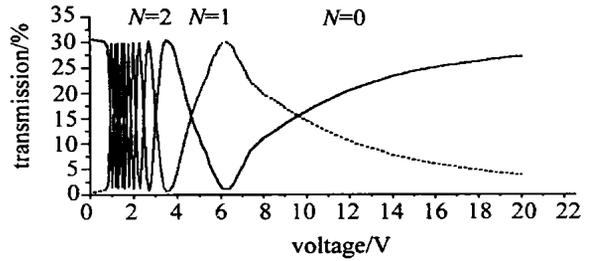


Fig. 3 Voltage-dependent optical transmission of LC cell,  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , BL-009,  $d = 11 \mu\text{m}$

由图 3 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  $\delta$  也逐渐从 0 开始增大,当  $I_{\perp}'$  和  $I_{\parallel}'$  到达第 1 个交点时,由(5)式和(6)式可知,  $\delta = \pi/2$ ,所以  $I_{\perp}'$  和  $I_{\parallel}'$  曲线到达第 1 个交点之前(7)式和(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  $N = n-1$ 。

(2) 对液晶盒施加频率为 1kHz、占空比为 50% 的交流方波电压,  $V = 1\text{V}, V = 2\text{V}, V = 3\text{V}$  的情况下,通过调节温控装置,从室温 20 °C 逐渐升高温度直至 100 °C,测出透射比曲线,如图 4 所示。

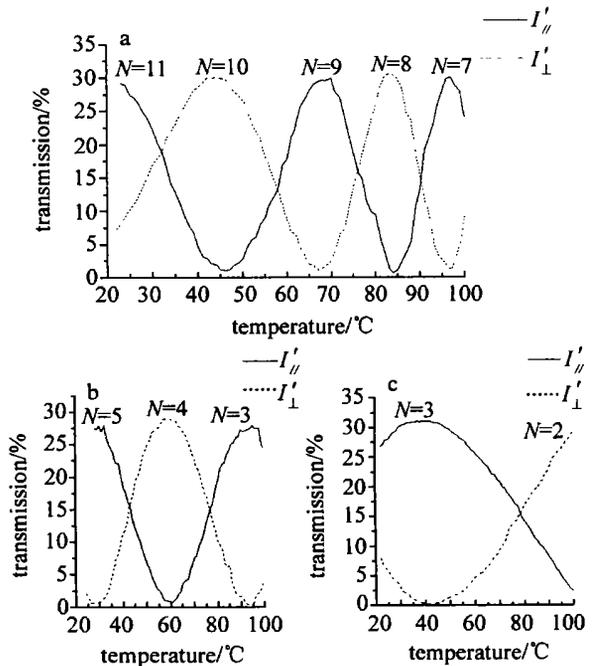


Fig. 4 Temperature-dependent optical transmission of polarizer-LC cell  
a  $-V = 1\text{V}$  b  $-V = 2\text{V}$  c  $-V = 3\text{V}$ ,  $\lambda = 630\text{nm}$ ,  $f = 1\text{kHz}$ , square wave, BL-009,  $d = 11 \mu\text{m}$

随着温度的升高向列相液晶会转变为各向同性的液体,此时,液晶的双折射效应也随之消失,所以

液晶的双折射率随温度的升高而逐渐减小。由图 2 可知,在室温  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0\text{V}$ ,  $V = 1\text{V}$ ,  $V = 2\text{V}$ ,  $V = 3\text{V}$  时的  $N$  值分别为  $N = 12$ ,  $N = 11$ ,  $N = 5$ ,  $N = 3$ , 由以上两方面可以确定图中曲线的所有  $N$  值。利用 (1) 式、(7) 式和 (8) 式做出液晶的电控双折射率随温度的变化曲线如图 5 所示。

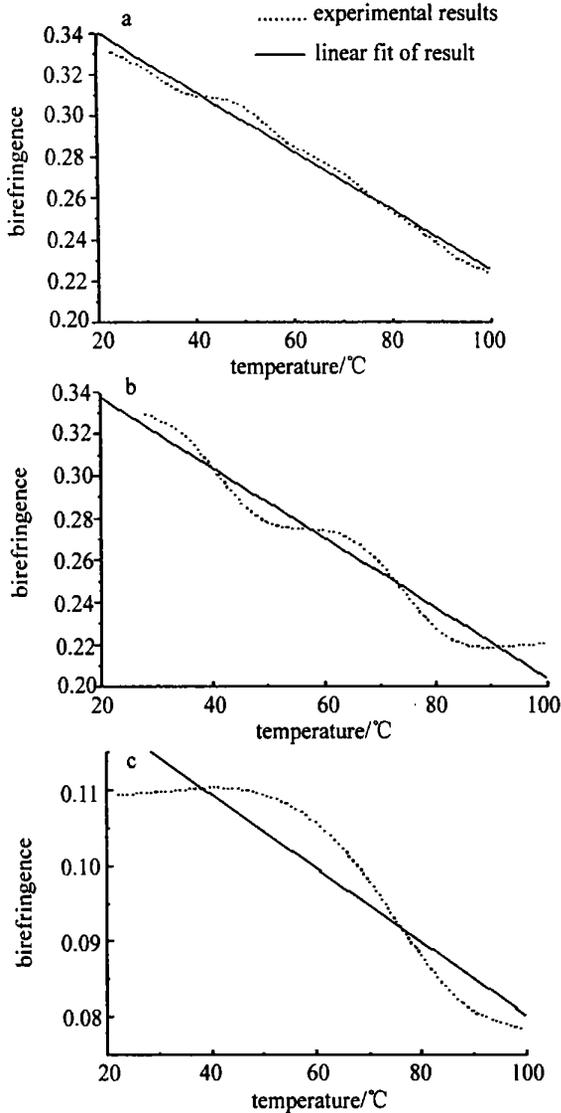


Fig. 5 Temperature-dependent electric control birefringence of polarizer-LC cell  
 a— $V = 1\text{V}$  b— $V = 2\text{V}$  c— $V = 3\text{V}$ ,  $\lambda = 630\text{nm}$ ,  $f = 1\text{kHz}$ , square wave, BL-009,  $d = 11\mu\text{m}$

图中虚线为实验结果,实线是对实验结果的线性拟合,拟合模型函数为  $y = A + Bx$ , 得到拟合常数

见表 1。

Table 1 The fitting constants when  $V = 1\text{V}$ ,  $V = 2\text{V}$ ,  $V = 3\text{V}$

	1V	2V	3V
A	0.36899	0.1851	0.1288
B	- 0.00144	- 8.305 $\times 10^4$	- 4.856 $\times 10^{-4}$

从图 5 可以看出,  $V = 1\text{V}$  时,液晶的电控双折射率随着温度的变化曲线与线性拟合曲线符合较好,能用拟合函数来描述,可以认为液晶的电控双折射率随着温度的升高而线性下降;  $V = 2\text{V}$  时,从室温到  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  电控双折射率呈线性降低,  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  以后电控双折射率基本不再变化;但在更高电压  $V = 3\text{V}$  时,从室温到  $47\text{ }^{\circ}\text{C}$  液晶的电控双折射率几乎不变,从  $47\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 73\text{ }^{\circ}\text{C}$  电控双折射率随着温度的升高下降得越来越快,从  $73\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  电控双折射率的变化率逐渐减小,从  $90\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  电控双折射率变化不大。上面的分析可以看出,在施加电压较小的时,液晶的电控双折射率随温度的升高而线性下降,而施加电压较高时,到达一定的阈值温度时,电控双折射率才会下降。并且由表 1 可以看出:随着施加电压的升高,温度对电控双折射率的影响变的越来越小。

### 3 结 论

综上所述,液晶在施加电压较小的时,电控电控双折射率随温度的升高而线性下降,而施加电压较高时到达一定的阈值温度后,电控双折射率才会下降。并且,随着施加电压的升高,温度对电控双折射率的影响变得越来越小。

### 参 考 文 献

- [1] 王素红,徐永安. 液晶的电光特性 [J]. 信息工程学院学报, 1998, 17(1) :56~59.
- [2] 立花太郎. 液晶知识 [M]. 北京:科学普及出版社,1984. 1.
- [3] 李国华. 光学 [M]. 济南:山东教育出版社,1990. 6.
- [4] WU Sh T, EFRON U, HESS V L D. Birefringence measurements of liquid crystals [J]. Appl Opt, 1984, 23(21) :3911~3915.
- [5] 王 宁,李国华. 液晶电控双折射特性的研究 [J]. 中国激光, 2002, 29(12) :1064~1066.
- [6] 云茂金,李国华. 电压调谐液晶滤光片的研究 [J]. 光学学报, 2002, 22(9) :1119~1122.