

文章编号:1007-2780(2016)08-0755-05

温度对液晶盒电容的影响

郝慧明¹, 张平¹, 张翰卿¹, 王晓燕^{2,3}, 叶文江^{1*}

(1. 河北工业大学理学院, 天津 300401; 2. 河北冀雅电子有限公司, 河北石家庄 050071;

3. 河北省液晶显示器工程技术研究中心, 河北石家庄 050071)

摘要:液晶盒电容的大小与外加电压的数值相关。当液晶的温度发生变化时,即使施加的电压值一定,液晶盒的电容也会发生变化。为了研究温度的影响,采用交流电桥的方法对灌注 5CB 液晶的平行排列向列相液晶盒电容进行了实验测量,并由精密热台(LTS350, Linkam)控制液晶盒的温度,得到了不同温度下液晶盒的电压-电容特性曲线。由此可以看出:在大于阈值电压范围内,同一电压下液晶盒电容随温度的升高逐渐增加,并且曲线的斜率逐渐减小,说明液晶向各向同性态转变。此项研究对进一步分析液晶材料的介电常数有一定的指导意义。

关键词:液晶盒电容;交流电桥;平行排列向列相;介电常数

中图分类号: O753+.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163108.0755

Influence of temperature on the capacitance of liquid crystal cell

HAO Hui-ming¹, ZHANG Ping¹, ZHANG Han-qing¹, WANG Xiao-yan^{2,3}, YE Wen-jiang^{1*}

(1. School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Hebei Jiya Electronics Co Ltd, Shijiazhuang 050071, China;

3. Hebei Provincial Research Center of LCD Engineering Technology,
Shijiazhuang 050071, China)

Abstract: The capacitance of liquid crystal cell is associated with the value of external applied voltage. When the temperature of the liquid crystal is changed, the capacitance of liquid crystal cell will also change even if the applied voltage has a certain value. In order to research the influence of temperature, adopting the method of alternating current (AC) bridges, the capacitance of parallel aligned nematic (PAN) liquid crystal cell filled in liquid crystal 5CB is measured experimentally, where the precision hot stage (LTS350, Linkam) is used to control the temperature of liquid crystal cell. The voltage-capacitance characteristic curves of PAN cell for different temperatures are obtained. Within the scope greater than the threshold voltage, with the increasing of temperature the capacitance of PAN cell increases gradually under the same voltage and the curve slope is gradually reduced, which suggests that LC transforms gradually into the isotropic state. The study has certain guiding significance on further analyzing the dielectric constant of liquid crystal material.

Key words: capacitance of liquid crystal cell; alternating-current bridges; parallel aligned nematic; dielectric constant

收稿日期: 2016-03-21; **修订日期:** 2016-05-17.

基金项目: 河北省自然科学基金(No. A2014202123); 河北省教育厅项目(No. QN2014130); 大学生创新创业训练计划项目(No. 201510080058); 河北省高校重点学科资助课题

Supported by Natural Science Foundation of Hebei Province (No. A2014202123); Research Project of Hebei Education Department (No. QN2014130); Project of college students' innovation and entrepreneurship training program (No. 201510080058); Key Subject Construction Project of Hebei Province University.

* 通信联系人, E-mail: wenjiang_ye@hebut.edu.cn

1 引言

液晶显示过程与液晶盒电容的充放电紧密相关。液晶盒电容的大小受外加电压的影响,是电压可调的^[1-2]。除此之外,液晶器件基板的锚定特性^[3-4]及液晶材料的弹性常数^[5-6]、介电常数^[7]、挠曲电系数^[8-9]也会影响液晶盒电容,文献[3-9]给出了这些参数对液晶盒电压—电容曲线的影响。但是,上述研究是在同一温度下给出的结果,当液晶的温度发生变化时,即使施加的电压值一定,液晶盒的电容也会发生变化。温度对液晶盒电容的影响需要进一步深入研究。本文基于交流电桥法对平行排列向列相(PAN)液晶盒在不同电压和温度下的电容进行了实验测量,并给出了理论分析,研究了温度对液晶盒电容的影响。

PAN 液晶盒在强锚定外界条件下,液晶的指向矢平行于基板表面,当上下基板间施加外加电场时,液晶分子($\Delta\epsilon>0$)趋向于沿电场方向即垂直于基板表面排列,在这两种不同的液晶分子排布情况下实现对入射到液晶盒光线的透光和遮光。采用交流电桥的方法对灌注 5CB 液晶的 PAN 液晶盒电容进行了实验测量,并由精密热台(LTS350, Linkam)控制液晶盒的温度,得到了不同温度下液晶盒的电压—电容特性曲线。在大于阈值电压范围内,同一电压下液晶盒电容随温度的升高逐渐增加,并且曲线的斜率亦逐渐减小,说明液晶向各向同性态转变。由液晶盒电压—电容特性曲线还可以知道对应某一温度下 5CB 液晶的垂直和平行于液晶分子长轴的介电常数,对进一步研究液晶材料的介电常数有一定的指导意义。

2 实验

2.1 实验原理

实验基于交流电桥法^[10],交流电桥包括交流电源、精密电阻、精密电容、检流计、导线、开关等元器件,其示意图如图 1 所示。测试原理是利用电桥平衡时电路中各个元器件之间满足的数学关系并分析来确定待测液晶盒的电容值。

根据电学基本知识,此电桥达到平衡的条件

为 $B、D$ 两点的振幅和相位均相等

$$\tilde{U}_B = \tilde{U}_D, \tag{1}$$

即 $U_B = U_D$ 以及 $\varphi_B = \varphi_D$ 。

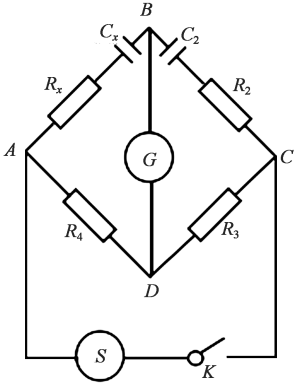


图 1 交流电桥示意图

Fig.1 Schematic diagram of AC bridges

根据复数相等的条件得到

$$\begin{cases} R_x = \frac{R_4}{R_3} R_2 \\ C_x = \frac{R_3}{R_4} C_2 \\ \tan\varphi' = \omega C_2 R_2 = \omega C_x R_x \end{cases}, \tag{2}$$

其中: φ' 为 $A、C$ 两点的相位差。

2.2 实验结果

在实验过程中外加交流信号源输出电压的频率是固定的,保持 $R_3、R_4、C_2$ 不变,通过对 $R_x、R_2$ 采用反复调节,多次逼近的原则使电桥满足(2)式,当检流计示数的绝对值最小时,即认为电桥达到平衡。为了研究温度对于液晶盒电容的影响,实验选取灌注 5CB 液晶材料(正性液晶 $\Delta\epsilon>0$)的平行排列向列相(PAN)液晶盒,通过精密热台(LTS350, Linkam)控制液晶盒的温度,分别测量了电压范围为 $0\sim4\text{ V}$,温度分别为 $20\text{ }^\circ\text{C}、30\text{ }^\circ\text{C}、40\text{ }^\circ\text{C}、50\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 下液晶盒电容和电压数值,利用 Origin 软件输入数据绘图并拟合得到液晶盒电压—电容特性曲线,如图 2 所示。

由图 2 可以看出:

(1)温度在 $20\sim50\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,灌注液晶的 PAN 盒电容随盒两端所施加电压的变化趋势相同,电容值均随电压的增加而增加,各温度下的阈值电压为 0.6 V 左右。当施加电压小于 0.6 V 时,电压增加,液晶盒电容不发生变化;当施加电压大于 0.6 V 小于 3 V 时,电压增加,液晶盒电容

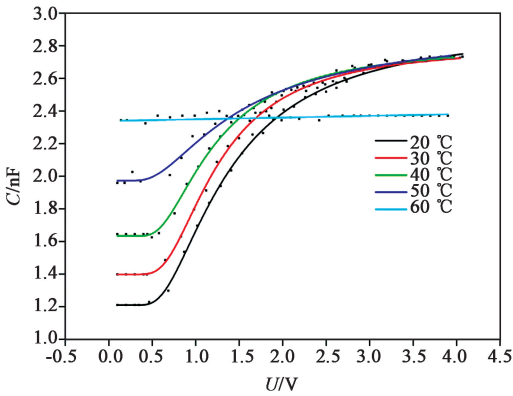


图 2 不同温度下液晶盒电压-电容特性曲线
Fig.2 Voltage-capacitance characteristic curves of liquid crystal cell in different temperature

增加较快;当施加电压大于 3 V 时,增加电压液晶盒电容几乎保持不变。

(2)温度在 20~50 °C 范围内,当施加电压小于阈值电压(约 0.6 V)时,温度越高液晶盒的电容值越大,且增加幅度较大;当施加电压大于 0.6 V 小于 3 V 时,温度越高液晶盒的电容值越大,但增加幅度减小即图示曲线的斜率逐渐减小,并且高电压下各曲线开始出现交叉;当施加电压大于 3 V 时,温度越高液晶盒的电容值越小,且随温度的增加电容值减小幅度较小。

(3)当温度为 60 °C 时,液晶盒的电容随电压的增加基本保持不变。

3 理论分析

温度 T 对于液晶材料有着重要的影响,温度越高,液晶分子无规则的热运动越剧烈,其混乱程度越大,序参数 S 越小^[11]。液晶盒电容及液晶系统在外加电场作用下的极化强度矢量和电位移矢量表达式如下式所示:

$$C = \frac{\epsilon S'}{d}, \tag{3}$$

$$\begin{cases} \alpha_{//} = \frac{N}{V} \left[\bar{\beta} + \frac{2}{3}(\beta_{//} - \beta_{\perp})S \right] \\ \alpha_{\perp} = \frac{N}{V} \left[\bar{\beta} - \frac{2}{3}(\beta_{//} - \beta_{\perp})S \right] \end{cases}, \tag{4}$$

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi \mathbf{E} = \alpha \mathbf{E}, \tag{5}$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} = \mathbf{P} + \epsilon_0 \mathbf{E}, \tag{6}$$

其中: S' 为基板面积, d 为液晶盒厚度, N 表示液

晶分子总数, V 表示液晶盒体积, χ 和 α 表示液晶系统的极化率张量, β 表示液晶分子的极化率,下标 $//$ 和 $\perp$ 分别表示与外加电场方向平行和垂直,其中 $\bar{\beta} = \frac{\beta_{//} + 2\beta_{\perp}}{3}$, ϵ 为液晶的介电常数张量, ϵ 为液晶的介电常数, ϵ_0 为真空介电常数,在主

$$\text{轴坐标系下, } \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{//} \end{pmatrix} = \epsilon_0 \chi. \text{ 对于}$$

同一液晶器件以及同种正性液晶材料,上述值均为定值,保持不变。随着温度 T 的升高,系统的有序性降低,序参数 S 减小,根据(4)式容易得到

$$T \uparrow \Rightarrow S \downarrow \Rightarrow \begin{cases} \alpha_{//} \downarrow \\ \alpha_{\perp} \uparrow \end{cases}. \tag{7}$$

由式(5)和式(6)可得 $\mathbf{P} = (\epsilon - \epsilon_0 \mathbf{I}) \mathbf{E} = \alpha \mathbf{E}$, α 与 ϵ 有相同的变化趋势,进一步根据式(3)得知 C 与 α 有相共同的变化趋势。

在低电压下,由于受到基板的强锚定作用,PAN 盒中液晶分子的取向排列方向平行于基板表面且垂直于外加电场,液晶盒的电容表现为 $C_{\perp}$,如图 3 所示。液晶盒受到温度的影响,由(7)式温度 T 的升高导致序参数 S 降低, $\alpha_{\perp}$ 增大,液晶盒电容值 $C_{\perp}$ 增大。尽管存在电场作用,但施加电压小于阈值电压,电场对于液晶分子的影响很小,可以忽略不计。故液晶分子取向排列主要受温度的影响,温度越高液晶盒的电容值越大,且随温度的增加电容值增加幅度较大。

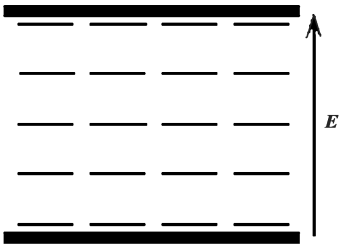


图 3 低电压下 PAN 盒中液晶分子排布
Fig.3 Alignment of liquid crystal molecules in PAN Cell with a low voltage

在较高电压下,受到基板的强锚定作用,PAN 盒中贴近基板表面的液晶分子的取向排列方向仍平行于基板。液晶分子距离基板越远受到电场的作用越明显,越趋向于沿电场方向排列,如

图 4 所示。液晶盒受到温度的影响,由式(7)温度 T 的升高导致序参数 S 降低, $\alpha_{\perp}$ 增大、 $\alpha_{//}$ 减小、 $C_{\perp}$ 增大、 $C_{//}$ 减小。随着施加电压越来越大,电场作用越来越强,液晶分子沿电场方向的数量越来越多,故温度越高液晶盒的电容值越大,但随温度的增加电容值增加的幅度逐渐减小,进而出现不同温度下的电容值相等的情况。

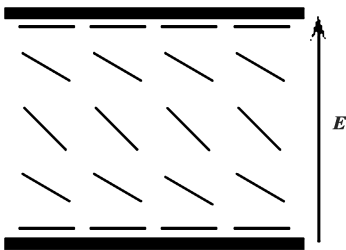


图 4 较高电压下 PAN 盒中液晶分子排布
Fig.4 Alignment of liquid crystal molecules in PAN Cell with a higher voltage

在高电压下,受到基板的强锚定作用,PAN 盒中贴近基板表面的液晶分子的取向排列方向仍平行于基板。非贴近基板表面处的液晶分子受到强电场的作用,液晶分子的取向排列方向完全平行于电场方向,如图 5 所示。液晶盒受到温度的影响,由式(7)温度 T 的升高导致序参数 S 降低, $\alpha_{//}$ 减小,液晶盒电容值 $C_{//}$ 减小。由于电场的作用较强,温度对于液晶分子取向排列方向的影响不是很明显,故温度越高液晶盒的电容值越小,且随温度的增加电容值减小幅度较小。特别地,当 $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$,此温度已经超过了液晶的清亮点温度,液晶转变为各向同性态,序参数几乎不随温度变化, $S\approx 0$, $\alpha_{//}=\alpha_{\perp}$, $C_{//}=C_{\perp}$,电压-电容特性曲线近似为一条直线,且电容值介于液晶态时的 $C_{//}$ 和 $C_{\perp}$ 之间。

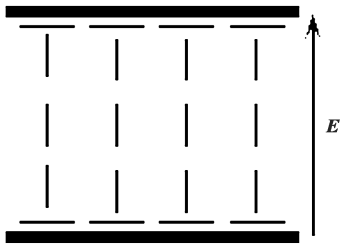


图 5 高电压下 PAN 盒中液晶分子排布
Fig.5 Alignment of liquid crystal molecules in PAN Cell with a high voltage

由式(3)可知,已知液晶盒电容 C 则可计算出相应的液晶介电常数 ϵ 。实验使用的液晶盒厚度为 $d=4\text{ }\mu\text{m}$,基板电极的面积 $S'=0.785\text{ cm}^2$,由此计算得到平行和垂直于液晶分子长轴的相对介电常数及介电各向异性,如表 1 所示。

表 1 不同温度下液晶的相对介电常数

Tab.1 Relative dielectric constant of liquid crystal with different temperatures

	20 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$	40 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$
$\epsilon_{//}$	15.815	15.665	15.691	15.751	13.687
$\epsilon_{\perp}$	6.959	8.042	9.396	11.347	13.459
$\Delta\epsilon$	8.856	7.623	6.295	4.404	0.228

4 结 论

本文研究了温度对液晶盒电容的影响。基于交流电桥法实验测量灌注 5CB 液晶材料的强锚定 PAN 液晶盒,通过精密热台控制液晶盒的温度,得到了不同温度下液晶盒电容值随施加电压的变化情况,并通过 Origin 输入数据绘图拟合得到了电压—电容特性曲线。通过理论分析得到:在施加不同的电压情况下(0~4 V)PAN 盒电容随温度的变化情况不同。在低电压下(小于 0.6 V),温度越高 PAN 盒的电容值越大,且随温度的增加电容值增加幅度较大;在较高电压下(0.6~3 V),温度越高 PAN 盒的电容值越大,但随温度的增加电容值增加的幅度逐渐减小,进而出现不同温度下的电容值相等的情况;在高电压下(大于 3 V),温度越高 PAN 盒的电容值越小,且随温度的增加电容值减小幅度较小。根据实验得到的电压-电容特性曲线计算给出的垂直于液晶分子长轴的相对介电常数随温度有一个明显的变化,与液晶盒电容随温度规律一样,而平行于液晶分子长轴的相对介电常数随温度变化基本保持不变,并由此得到了不同温度下的介电各向异性,该结果与文献中报道的 5CB 液晶介电常数实验测量值基本一致。

参 考 文 献:

- [1] MORRIS S W. Measurements of the elastic constants of a liquid crystal [D]. Vancouver: University of British Columbia, 1985.
- [2] YANG D K, WU S T. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* [M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [3] NASTISHIN Y A, POLAK R D, SHIYANOVSKII S V, *et al.* Nematic polar anchoring strength measured by electric field techniques [J]. *Journal of Applied Physics*, 1999, 86(8): 4199-4213.
- [4] 叶文江, 刘小松, 宋晓龙, 等. 基板锚定特性对液晶盒电容的影响[J]. *液晶与显示*, 2014, 29(5): 686-691.
YE W J, LIU X S, SONG X L, *et al.* Influence of anchoring property of substrate on capacitance of crystal cell [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(5): 686-691. (in Chinese)
- [5] 宋晓龙, 叶文江, 邢红玉, 等. 弹性常数对液晶盒电容的影响[J]. *河北工业大学学报*, 2016, 45(2): 92-95.
SONG X L, YE W J, XING H Y, *et al.* Influence of elastic constants on the capacitance of liquid crystal cell [J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2016, 45(2): 92-95. (in Chinese)
- [6] 孔祥建, 荆海, 黄霞, 等. 一种改进的 C-V 方法对向列相液晶弹性常数 k_{11} 、 k_{33} 测量的理论研究[J]. *液晶与显示*, 2007, 22(5): 587-590.
KONG X J, JING H, HUANG X, *et al.* Theoretical research of improved C-V method to measure k_{11} and k_{33} of nematic liquid crystals [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(5): 587-590. (in Chinese)
- [7] WELFORD K R, MINERS F, SAMBLES J R. A new technique for determining the dielectric constants of a nematic liquid crystal [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1988, 21(9): 1320-1325.
- [8] 崔文静, 邢红玉, 张艳君, 等. 挠曲电效应对向列相液晶盒电容的影响[J]. *数值计算与计算机应用*, 2012, 33(2): 129-137.
CUI W J, XING H Y, ZHANG Y J, *et al.* Influence of the flexoelectric effect on the capacitance of nematic liquid crystal cell [J]. *Journal on Numerical Methods and Computer Applications*, 2012, 33(2): 129-137. (in Chinese)
- [9] YE W J, XING H Y, CUI W J, *et al.* Determining the sum of flexoelectric coefficients in nematic liquid crystals by the capacitance method [J]. *Chinese Physics B*, 2014, 23(11): 116101.
- [10] 叶文江, 宋晓龙, 邢红玉, 等. 液晶盒电容的实验测量[J]. *实验技术与管理*, 2015, 32(9): 38-41.
YE W J, SONG X L, XING H Y, *et al.* Experimental measurement of capacitance liquid crystal cell [J]. *Experimental Technology and Management*, 2015, 32(9): 38-41. (in Chinese)
- [11] 黄子强. *液晶显示原理* [M]. 2 版. 北京: 国防工业出版社, 2008.
HUANG Z Q. *Principle of Liquid Crystal Display* [M]. 2nd ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)

作者简介: 郝慧明(1995—), 男, 河北保定人, 主要从事液晶物理及液晶器件物理方面的研究。E-mail: wenjiang_ye@hebut.edu.cn