

# 丝状液晶预倾角的测量

陈筱英 谢毓章

(清华大学)

1982年2月16日收到

## 一、引言

各种液晶器件都以一定的分子定向排列为基础,要求有均匀一致的小角度沿面排列、小角度垂面排列或沿面排列与垂面排列结合。标志定向排列的参数是预倾角,即液晶指向矢与基片表面之间的夹角。预倾角的大小直接影响液晶器件的电光特性,如对比度、响应速度、视角特性、均匀性等等。另外,液晶分子在基片上定向排列的机理至今尚未完全清楚。液晶指向矢在基片表面的倾角不仅与表面状态有关,也与材料和温度有关。因此不论是技术应用或基础研究,测量预倾角都是很重要的。

测量预倾角的方法一般有旋转晶体法<sup>[1,2]</sup>、磁衡消法<sup>[3]</sup>和移动同消色线法<sup>[3]</sup>等。其中磁衡消法具有测量精度高、不涉及液晶材料物理常数的特点。然而由于在电场中液晶指向矢可能发生偏转而改变液晶盒的电容,因此对磁衡消法中测量电容的电桥提出了特殊要求。本文提出一种电桥线路可以适当满足这些要求,并利用它对一次和二次斜蒸时 SiO 膜厚与倾角的关系进行了测量。

## 二、磁衡消法的原理

一般常用丝状液晶的磁化率各向异性  $\chi_a$  都是正值,  $\chi_a = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp} > 0$ ,  $\chi_{\parallel}$ ,  $\chi_{\perp}$  分别为平行和垂直于指向矢方向的磁化率。因此在磁场中指向矢趋向于与磁场方向相平行的排列。磁相干长度<sup>[4]</sup>

$$\xi_i = \sqrt{\frac{k_{ii}}{\chi_a H^2}} \quad (i = 1, 2, 3),$$

式中  $k_{ii}$  为液晶弹性常数,  $\xi_i$  与磁场强度  $H$  成反比。在较强的磁场中,只要液晶盒厚  $d$  远远大于  $\xi_i$ ,就可以认为盒中指向矢完全平行于磁场方向排列。如图 1 所示,把液晶盒放在带有刻度的转台上,取一固定在液晶盒上的直角坐标系,令转台的旋转轴  $z$  垂直于磁场方向和指向矢方向,  $x$  轴平行于盒表面,  $y$  轴在盒表面的法线方向,在  $xy$  平面内指向矢取向一致。令  $x$  轴平行于磁场方向时转台的转角  $\alpha$  为零,那么当转角  $\alpha$  等于液晶指向矢的倾角  $\theta$  时,磁场方向将与指向矢原有的取向完全一致。磁衡消法就是通过测量液晶盒的电容来确定这个位置的。

液晶是介电各向异性材料。如果在液晶盒的断面  $xy$  平面内,液晶指向矢有均匀一致的倾角  $\theta$ ,那么液晶盒的电容  $C$  等于

$$C = C_0(\epsilon_{\perp} + \epsilon_a \sin^2 \theta), \quad (1)$$

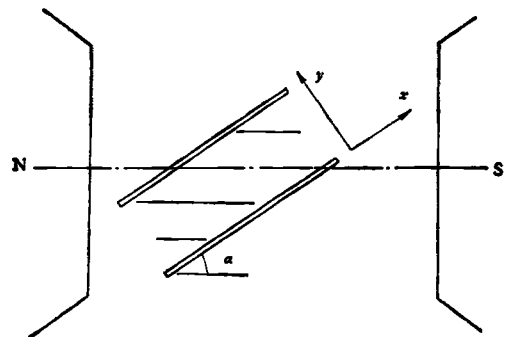


图 1 磁衡消法中磁场方向,指向矢取向与液晶盒转轴的关系图

$C_0$  是空盒电容,  $\epsilon_{\parallel}$  和  $\epsilon_{\perp}$  分别为平行和垂直于指向矢的液晶介电常数,  $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$  是液晶的介电各向异性. 所以液晶盒电容的大小与盒中液晶指向矢的方向有关. 磁场可以改变指向矢的取向  $\theta$  角, 从而影响液晶盒的电容. 只有当磁场方向与原有倾角  $\theta$  方向一致时才能保持  $\theta$  角不变, 从而保持液晶盒的电容不变. 磁衡消法测量倾角  $\theta$  是利用样品在磁场中旋转时, 如果在某一转角  $\alpha$ , 液晶盒的电容与磁场大小无关, 那么转角  $\alpha$  就等于倾角  $\theta$ .

这种方法的关键在于测量电容, 而测量液晶盒电容有三点必须注意:

1. 必须尽量降低测量电容时所用的电压

一般电容器只要耐压许可, 电容值与所加电压的大小无关, 但是装有液晶的液晶盒的电容却随外加电压而改变. 在外电场作用下, 指向矢取向发生变化称为电 Freedericksz 转变<sup>[5]</sup>. 对于沿面校列的正性 ( $\epsilon_a > 0$ ) 液晶和垂面校列的负性 ( $\epsilon_a < 0$ ) 液晶都在确定的阈值电压开始发生 Freedericksz 转变. 但是如果在液晶盒上下基片上液晶的预倾角  $\theta_0$  和  $\theta_d$  不等于零或  $\frac{\pi}{2}$ , 那么这时的阈值将等于零<sup>[6]</sup>. 在这种情况下,

测量液晶盒电容时加在液晶上的任何大小的电压都会改变指向矢的取向, 使得测出的电容值不能反映指向矢原来的取向. 为了最小地改变指向矢的取向, 测量电压一般要求在 100 mV 以下. 因此, 降低测量电压是保证磁衡消法测量精度的关键.

2. 要求有较好的屏蔽

液晶盒的电容与盒的有效面积、盒厚  $d$ 、液晶的介电常数有关. 受表面处理的均匀性和磁场间隙大小的限制, 一般盒面积约为几平方厘米,  $d$  在  $20\mu\text{m}$  左右. 在 8—9 kG 的磁场中可以满足  $d$  远远大于  $\xi$  的条件. 一般, 介电常数  $\epsilon_{\perp}$  在 5—10,  $\epsilon_{\parallel}$  在 5—20 的数量级. 在上述条件下液晶盒电容约为 1000 pf 左右, 容量较小. 在测量时必须要有较好的屏蔽, 同时还需要解决测量仪器与磁场中液晶盒之间存在的较长连线的分布电容问题.

3. 测量线路中的损耗平衡要求灵敏可调

在电桥线路中液晶盒可以等效成为 RC 并联电路, 等效电阻和等效电容都随外加电场、磁场和外界温度而变化. 液晶盒的电容在 1000 pf 左右, 并联等效电阻在几 M $\Omega$  到十几 M $\Omega$  的数量级, 对一些掺杂的液晶, 电阻将更低, 所以液晶盒电容的损耗因数  $D$  较大,

$$D = \text{tg } \delta = \frac{1}{\omega RC} \quad (2)$$

同时, 由于液晶材料的导电率各向异性, 随着指向矢取向的变化, 液晶盒的等效电容和等效电阻都会发生变化. 所以, 要求测量时损耗平衡灵敏可调.

三、电桥原理与测量误差

一般精密电桥所用的测量电压都在 500 mV 以上, 不能满足上面提出的要求. 但是图 2 的电桥线路在测量 1000 pf 左右的电容时可

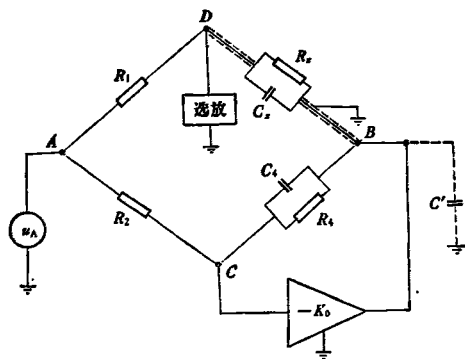


图 2 电桥原理图

以把测量电压降低到 50mV 左右. 考虑到频率对某些液晶介电常数的影响, 所以工作频率取 1kHz, 电桥的损耗平衡灵敏可调, 同时电容分辨率可达 0.5%, 从而满足了磁衡消法中倾角测量的要求. 图中  $C_x, R_x$  表示液晶盒的并联等效电容和等效电阻.  $R_4$  和  $C_4$  为调节电桥平衡的电阻箱和电容箱, 放大器  $-K_0$  ( $K_0 > 15000$ ) 与桥臂  $R_2$ 、反馈网络  $R_4$  和  $C_4$  组成运算放大器. 用选频放大器指示电桥的平衡. 电桥的平衡条件为

$$\left. \begin{aligned} R_x &= R_4 \frac{R_1}{R_2}, \\ C_x &= C_4 \frac{R_2}{R_1}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

液晶盒与电桥用屏蔽线连接，这部分连线对地约有 100 pf 的电容  $C'$ ，这相当于在  $B$  点和  $D$  点对地并联的电容。由于这种电桥线路无直接接地点，在桥路中引入了运算放大器，所以  $C'$  并不影响电桥的平衡条件。

磁衡消法测量倾角的误差与倾角的大小和材料的介电各向异性有关。根据电容的分辨率和转台精度，可以求出在保证一定的测量误差时倾角的可测量范围。设磁场为零时液晶盒电容为  $C(0)$ ，在磁场中电容为  $C(H)$ ，电容测量误差  $\Delta C = C(H) - C(0)$ 。如果在测量中指向矢原有的方向偏离磁场方向  $\Delta\theta$  角，则由 (1) 式得电容分辨率  $\eta$  为

$$\eta = \frac{\Delta C}{C(0)} = \frac{\epsilon_a \sin 2\theta}{\epsilon_{\perp} + \epsilon_a \sin^2 \theta} \Delta\theta.$$

而倾角的测量误差  $\Delta\theta$  以度计算时成为

$$\Delta\theta = \eta \frac{\epsilon_{\perp} + \epsilon_a \sin^2 \theta}{\epsilon_a \sin 2\theta} \frac{180}{\pi}. \quad (4)$$

以  $E_7$  液晶为例，在温度为 22°C 时， $\epsilon_{\parallel} = 19.20$ ， $\epsilon_{\perp} = 5.40$ ， $\eta = 5 \times 10^{-3}$ 。由 (4) 式可计算得到倾角测量误差小于 1° 的倾角测量范围为 3° 到 78°。倾角与测量误差的关系如表 1。 $\theta$  为倾角大小， $\Delta\theta$  为测量误差，倾角接近 0° 和 90° 时测量误差增大。

表 1 倾角  $\theta$  与测量误差  $\Delta\theta$  的关系

$\theta$ (度)	1	2	3	4	5	78	80	85	86	87	88
$\Delta\theta$ (度)	3.2	1.9	1.1	0.7	0.6	0.9	1.1	2.2	3.8	5.7	

#### 四、斜蒸 SiO 膜厚与倾角关系的测量

用斜蒸 SiO 法获取空间定向排列时，膜厚对倾角有相当大的影响。对一次斜蒸和二次斜蒸 SiO 的基片所获得的倾角曾用上述电桥进行了磁衡消法的测量。基片由曙光电子管厂提供，

SiO 膜厚由曙光电子管厂用北京真空仪器厂生产的薄膜厚度测量仪进行测量。一次斜蒸 SiO 的基片是用 85° 蒸发角斜蒸的。由磁衡消法测得 SiO 膜厚与倾角的关系见图 3。测量结果表明，当 SiO 膜厚在 100 Å 到 250 Å 的范围时，倾角随膜厚的增加而增加；而当膜厚超过 250 Å 时，倾角的变化不大。

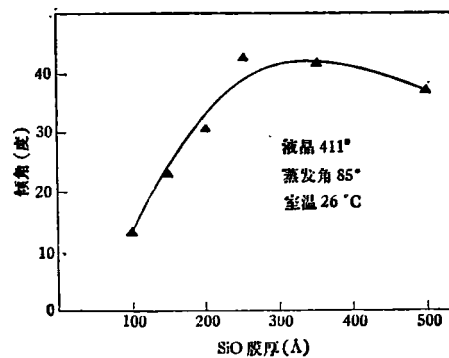


图 3 斜蒸 SiO 的膜厚与倾角关系图

二次斜蒸 SiO 的基片是在第一次以 85° 蒸发角斜蒸 80 Å (SiO 膜厚<sub>I</sub>) 后，将基片绕法线方向旋转 90°，再进行蒸发角为 60° 的第二次斜蒸。二次斜蒸 SiO 时，第二次斜蒸的 SiO 膜厚 (SiO 膜厚<sub>II</sub>) 与倾角的关系见图 4。测量结果表明，倾角随第二次斜蒸的膜厚的增加而减小，证

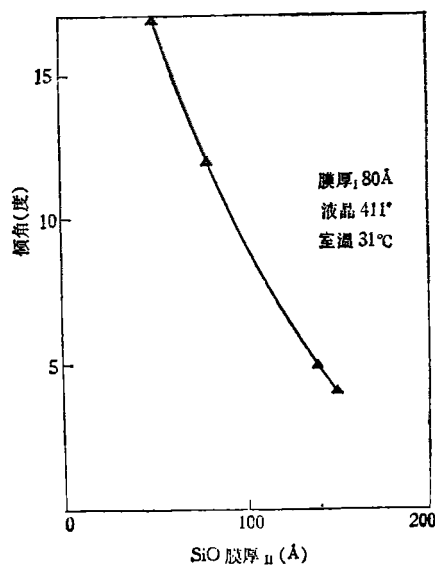


图 4 斜蒸 SiO 的膜厚<sub>II</sub> 与倾角关系图

实了 Johnson<sup>[7]</sup> 提出的二次斜蒸 SiO 可以获得小倾角的结果。

## 五、结 论

磁衡消法通过测量液晶盒的电容来确定倾角。电容所反映的是液晶盒中液晶指向矢的积分效果。因此,如果基片上指向矢取向各点有差异时,磁衡消法测得的倾角只是一个平均值。只有基片上液晶指向矢取向一致时,磁衡消法才能最真实地反映排列的效果。

另外,磁衡消法测量倾角的精度与液晶的介电各向异性有关,同时与倾角的大小也有关。越是接近沿面排列或垂面排列的状态,测量误差也越大。一般倾角大约在 5° 到 75° 之间可

以得到小于 1° 的误差。

在电桥线路问题中曾得到陆瑶海的协助,赵静安对电桥的改进提出了有益的意见,谨此致谢。

## 参 考 文 献

- [1] G. Baur, V. Wittwer, *Phys. Lett.*, 56A(1976), 142.
- [2] T. J. Scheffer, J. Nehring, *J. Appl. Phys.*, 48 (1977), 1783.
- [3] W. A. Crossland, J. H. Morrissey, *J. Phys. D*, 9 (1976), 2001.
- [4] P. G. de Gennes, *Physics of Liquid Crystal*, Clarendon Press, Oxford, (1974).
- [5] S. Chandrasekhar, *Liquid Crystal*, Cambridge University Press, (1977), 120.
- [6] S. Shimoda, H. Mada, S. Kobayashi, *Jap. J. Appl. Phys.*, 17(1978), 1359.
- [7] M. Johnson, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED24 (1977), 805.

# 几种铁基非晶带的磁畴观察及单纯外应力对畴结构影响的研究

童莉泰 周增均 王桂芝

(北京大学物理系)

1982年1月13日收到

## 一、引 言

近年来国内外对非晶磁性材料的磁畴结构的研究做了不少工作<sup>[1,2,3,4]</sup>。实验结果指出,由急冷淬火制备的非晶磁性材料虽然不存在磁晶各向异性,但用 Kerr 效应和 Bitter 粉纹技术都能很好地观察到两大类型的畴结构<sup>[5,6,7,8]</sup>,一般认为这是由材料内部的应力造成的。由于畴结构对应力非常敏感,因此非晶带中畴的形式主要取决于制备过程中所受到的应力方式<sup>[9]</sup>。

由应力造成的等效各向异性可表示为

$$E_e = -\frac{3}{2} \sum_{i=1}^3 \sigma_i r_i$$

$\sigma_i$  是带上所受到的主应力,  $r_i$  是磁化强度矢量相对于主应力轴的方向余弦,根据此式算出各种非晶材料的等效各向异性常数  $K_e$  可达  $10^3$ — $10^4$  erg/cm<sup>3</sup><sup>[9,10]</sup>,按照铁磁学理论,当  $K_e > 10^3$  erg/cm<sup>3</sup> 时就可以用 Bitter 技术清楚地观察到材料表面上的磁畴结构<sup>[11]</sup>,因此用 Bitter 技术来研究非晶材料中的畴结构以及应力对畴结构的影响,是比较简单而实用的。我们用粉纹技术观察了铁基非晶薄带自由面上的畴结构,并且让薄带退火,消除内应力,再外加单纯的张应力 ( $\sigma > 0$ ) 和压应力 ( $\sigma < 0$ ),观察此时的畴结构形态,估计其应力的大小,分析了单纯外应力对畴结构的影响。说明淬态非晶材料的应力分布状况。