

实验一、液晶相的观测和液晶材料的混配

实验目的

- 1、掌握液晶相的概念，了解液晶的相变和光学结构；
- 2、了解液晶材料的混配原则，了解配置液晶的混合过程；
- 3、了解胆甾相液晶的温度特性。

仪器与药品

实验仪器：加热台、偏光显示镜、玻璃器皿等

实验试剂：液晶材料、手性材料等

实验原理

1、液晶的相变

一般液晶材料所具有的各种液晶相的热力学稳定性顺序如下：

(低温)C, S_B, S_C, S_A, N/Ch, I (高温)

由低温到高温排列的液晶相分别为：结晶相、近晶H相、近晶I相、近晶B相、近晶C相、近晶A相、向列相/胆甾相、各向同性液体。在这些相之实现转变的温度，称作相变温度。有些材料可以不具备某些液晶相，只需在上面的顺序上去掉不具有的相。到目前为止还没有发现既有胆甾相，又有向列相的材料。伴随着各个相间的转换，将发生热的吸收或放出，光学织构的变化等现象。所以可利用这现象的观测，判断液晶相态和求出相变温度。

不同的液晶相有自己独特的结构，在偏光显示镜下，液晶薄膜会呈现一些彩色的图案、纹理、线条等，这就是织构。它在液晶分类中起着非常重要的作用。在偏光显微镜下，每一个液晶相有典型的一种或几种光学织构：

- (1) 条纹结构，如向列相、近晶A相、近晶B相。
- (2) 平面结构，如胆甾相。
- (3) 焦锥和指纹织构以及扇形织构，如胆甾相、近晶相。
- (4) 镶嵌织构，如高有序近晶相。
- (5) 各向同性结构，如蓝相、D相。

常用于测定相变温度的方法，观察法有简便的方法将试样充填于一内径1~2 mm玻璃毛细管中，观察在升温 and 降温过程中该样品的外观变化，或者利用附有加热台的偏光显微镜观测结构变化。热分析法有精确的方法示差扫描量(DSC)法，它不仅精确测定相变温度，还可以精确给出相变时的热焓变化。

2、液晶材料的混配经验

单一组分液晶材料难以满足实用要求，必须根据液晶器件不同模式提出的液晶物性参数，进行多组分混合，以达到液晶器件性能要求。混合液晶的配制，重要的是积累每种液晶化合物的物理性能数据，建立混合液晶与每种液晶化合物性能相互关系，由此确定最佳配方。液晶的很多物理性能大体近似满足下面的混配原则，液晶混配规则，以提供液晶混合的基本方向。

(1) 液晶温度范围

液晶温度范围是保证液晶显示器件的重要物理参数。它包括上限温度清亮点(T_{ni})和下限温度熔点(T_m)。液晶材料由液晶态变为各向同性液态时的温度称为清亮点 T_{ni} 。液晶材料由晶态变为液晶态的相变温度称为熔点。

几种液晶材料通过共熔而混合的液晶混合物，它的熔点总是比各组分的熔点降低很多。而它的清亮点则在两个组分材料的清亮点中间。

液晶混合物的熔点 T_m 由下列关系确定

$$\sum_{i=1}^n \ln X_i = \sum_{i=1}^n \Delta H_i \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_m} \right) / R$$

其中 T_i , ΔH_i , X_i 和分别代表各组分液晶单体的熔点、焓和摩尔分数。这些分析适用于由多种组分形成的液晶材料。可以看出，要想获得比较宽的液晶混合物的工作温度，往往要采用多种材料混合。

液晶混合物的清亮点 T_{NI} 基本上是各组分材料的清亮点 T_{Ni} 的加权(摩尔分数 X_i)平均值，也就是

$$T_{(N-I)} = \sum_{i=1}^n X_i \cdot T_{(N-I)i}$$

(2) 黏滞系数

向列相液晶的黏滞系数可以用下面公式来表示

$$\ln \eta = \sum_{i=0}^n X_i \cdot \ln \eta_i$$

其中， η_i 是 i 组分液晶材料的黏滞系数。

(3) 弹性常数

向列相液晶的弹性常数 K_{aa} ($a=1, 2, 3$)可表示

$$\sqrt{k_{aa}} = \sum_{i=0}^n X_i \cdot \sqrt{k_{aa,i}}$$

其中， K_{aai} 是组分 i 液晶的弹性常数。

(4) 胆甾相液晶的螺距

对于胆甾相混合液晶螺距的计算，可用线性加法规则。混合液晶螺距倒数 $1/P$ (称为扭曲力 HTP)与各组分的螺距 P_i 和重量比 C_i 之间有如下关系

$$\frac{1}{P} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P_i}$$

对于向列相液晶，其螺距为无限大。在向列相液晶中掺杂一定量的手性剂可获得胆甾相液晶，改变手性剂的浓度可获得不同螺距的胆甾相液晶。此时手性剂的浓度与胆甾相液晶的螺距具有如下关系：

扭曲向列相液晶 (TN-LC) 要求液晶盒厚跟螺距的比值 $d/p=0.25$ ；超扭曲向列相液晶 (STN-LC) 要求液晶盒厚跟螺距的比值 $d/p=0.45\sim 0.55$ 。根据液晶盒等参数可能计算手性剂的添加量。

(5) 其他的液晶物理参数

其他的液晶物理参数还有很多，如介电常数、双折射系数等。所有这些液晶物理性质基本上是其各种组分的物理性质的加权(质量分数 c_i)平均值，这些物理参数基本上满足所谓线

性关系，它们一般可以表示为

$$\Delta X = \sum_{i=1}^n C_i \Delta X_i$$

其中， X_i 和 X 分别代表组分液晶和混合物液晶的介电常数，或者双折射系数等
液晶物理性能的加法规则要严格研究起来问题很多，但在实用上加法规则已经成为混合液晶的重要指南。

实验内容与要求

1、测量液晶的熔点和清亮点

- (1) 要求判断在室温到 200°C 之间样品是否存在液晶相，若存在液晶相，测出样品的熔点和清亮点。
- (2) 测量过程：
 - ①将样品一填充于一内径为 1 ~ 2 mm 的玻璃毛细管，然后放在热台上，热台处于室温。
 - ②迅速升温，大约 10°C/min,一直加到各向同性温度（清亮点以上）估计熔点和清亮点。
 - ③平衡以后，降温，大约 10°C/min，直到第一个液晶相出现。
 - ④降温时，记录转变为各向同性的相变温度；然后加温，并记录清亮点温度。
 - ⑤重复以上过程，一直到晶体相形成。
 - ⑥重新加温，并记录熔点的温度。

2、混配液晶材料

- (1) 要求：配制满足下面要求的液晶材料。
 - ①盒厚为 4 的 TN 或 STN 型液晶显示器所要求的液晶材料；
 - ②螺距在可见光范围的胆甾相液晶材料。
- (2) 根据的要求，计算液晶配比，确定实验材料配方如下表。本实验中可使用的手性剂为右旋手性剂 CB15（ $HTP=7.9\mu m^{-1}$ ）和 R1011（ $HTP=28.2\mu m^{-1}$ ）。

TN/STN 的样品配方如下：

液晶	(%)	mg
手性材料	(%)	mg

螺距为_____的样品配方如下：

液晶	(%)	mg
手性材料	(%)	mg

（备注：因所需液晶混合物的用量仅为几十毫克，为节约液晶用量，同学们称量液晶混合物总量不超过 200 毫克。）

- (3) 液晶的配制过程：
 - ①在精度为 0.001g 的电子天平上准确称取液晶和手性材料的重量，用毛细管吸取液晶和手性剂，放置于一个洁净的线玻璃管中混合均匀。
 - ②将混合好的液晶置于加热器上，边加热边搅拌直到清亮点后停止加热，继续搅拌 5~10min，视总量而定。观察此混合物与液晶的差异。
 - ③贴标签，注明液晶型号、配比、配制者及配制时间等，留待后面实验使用。

3、胆甾相液晶螺距 P 与温度之间的关系

- (1) 取适量的上述螺距在见光波段的胆甾相液晶样品放置于干净的载玻片上，盖上

盖玻片；任其自由浸润，等浸润完全后，再将用力压，压几分钟。观察观察此过程中反射光的变化

(2) 放在热台上，慢慢加热，观察反射颜色的变化。

(3) 分析螺距 P 与温度之间的关系

4、观察液晶的光学织构

再将样品置于偏光显微镜下，观察，并拍下偏光照片观察向列相液晶和胆甾相液晶的织构。

思考题

- 1、液晶材料的选择要求有那些？
- 2、TN、STN 和 TFT 显示模式的显示要求和它们混合液晶的主要组分是那些？
3. 偏光系统对液晶织构图的影响？

实验二 液晶的双折射率测量

实验目的

1、掌握用阿贝折射仪测量液晶的折射各向异性；

实验原理

众多的化合物混合在一起使最终化合物的性能可以按照显示器件的要求在很宽的范围
内调节，在温度性能、电性能、光学性能、螺距、粘度、弹性比和化学稳定性方面得到综合
平衡，满足显示器件对于液晶的温度区间、驱动电压、双折射率、螺距、粘度等全方位的性
能指标要求。

测量折射率的方法有很多。最常见的是 Abbe 折射仪，Abbe 折射仪就是用来确定一般液
体折射系数的设备。液晶的非寻常光折射系数往往相当大，一般的 Abbe 折射仪需要装备折
射系数高的棱镜。

当偏振光线从棱镜中以不同的角度进入待测液晶样品时，偏振光线的偏振方向与入射面
垂直，或者称为 S 偏振光、由于棱镜的折射系数比较大，当入射角大于棱镜-液晶界面的全
反射临界角时，该 S 偏振光全反射，在观察一边会出现一道明显的黑白分界线。对于寻常
光折射系数的测量，液晶并不需要作特别的锚泊处理。这时的入射角度对应的是液晶的寻常
光折射系数。

但是对于非寻常光折射系数，液晶必须是垂直排列.这时入射的是 P 偏振光。在阿贝折
射仪的光学玻璃表面和毛玻璃表面上分别均匀地涂敷一层垂直排列取向剂。使待测液晶分子
按一定方向垂直排列，并将一片偏振片贴在阿贝折射仪的目镜上。只要这样的几何安排，再
次出现黑白分界线时的入射角度对应的是液晶的非寻常光折射系数。

如果是胆甾相液晶，为了测量折射系数，可能并不需要在棱镜的表面做特别处理。有时
适当滑移胆甾相液晶液滴就可以获得平面织构。S 偏振光入射时某一角度出现的黑白分界线
相对的是液晶的两个折射系数的平均值，P 偏振光入射时某一角度出现的黑白分界线相对
的是液晶的寻常光折射系数。两次测量的结果就可以计算出两个折射系数和。

实验仪器与材料

阿贝折射仪、钠灯、垂面取向剂、液晶等

实验步骤

(1) 在开始测定前，必须先用认真阅读阿贝折射仪的使用说明书。

(2) 分别载玻片和折射棱镜表面涂覆垂面取向剂。

(3) 等垂面取向剂的溶剂挥发完全后，在折射棱镜表面撒非常少许的间隔子，将载玻
片有垂面取向剂的一面朝下盖在折射棱镜表面并在上面压上压合物使均匀紧密贴合。

(4) 打开反射镜，此时旋转手轮并在目镜上方视场中找到明暗分界线的位置，调节目
镜上的偏振片方向使视场上面的最亮，微调手轮，使分界线位于十字线的中心，再适当转动
聚光镜读出此时目镜视场下方显示示值即为被测液体的折射率 n_o 。

(5) 转动目镜上的偏振片 90° 。此时旋转手轮并在目镜上方视场中找到明暗分界线的位
置，微调手轮，使分界线位于十字线的中心，再适当转动聚光镜读出此时目镜视场下方显示

示值即为被测液体的折射率 n_e 。

多次测理记录，取平均值。

思考问题

1、请问载玻片和折射棱镜表面涂平面取向剂可以测量双折射率吗？请给出可以或不可以的原因。

附件 1：阿贝折射仪使用说明书

阿贝折射仪是测量物质折射率的专用仪器，它能快速而准确地测出透明、半透明液体或固体材料的折射率（测量范围一般为 1.4-1.7），它还可以与恒温、测温装置连用，测定折射率与温度的变化关系。

阿贝折射仪的光学系统由望远系统和读数系统组成，如图 1 所示。

望远系统。光线进入进光棱镜 1 与折射棱镜 2 之间有一微小均匀的间隙，被测液体就放在此空隙内。当光线（太阳光或日光灯）射入进光棱镜 1 时便在磨砂面上产生漫反射，使被测液层内有各种不同角度的入射光，经折射棱镜 2 产生一束折射角均大于出射角度 i 的光线。由摆动反射镜 3 将此束光线射入消色散棱镜组 4，此消色散棱镜组是由一对等色散阿米西棱镜组成，其作用是可获得一可变色散来抵消由于折射棱镜对不同被测物体所产生的色散。再由望远镜 5 将此明暗分界线成像于分划板 7 上，分划板上有十字分划线，通过目镜 8 能看到如图 2 (b) 上部分所示的象。

读数系统。光线经聚光镜 12 照明刻度板 11（刻度板与摆动反射镜 3 连成一体同时绕刻度中心作回转运动）。通过反射镜 10，读数物镜 9，平行棱镜 6 将刻度板上不同部位折射率示值成像于分划板 7 上（见图 2(a)）

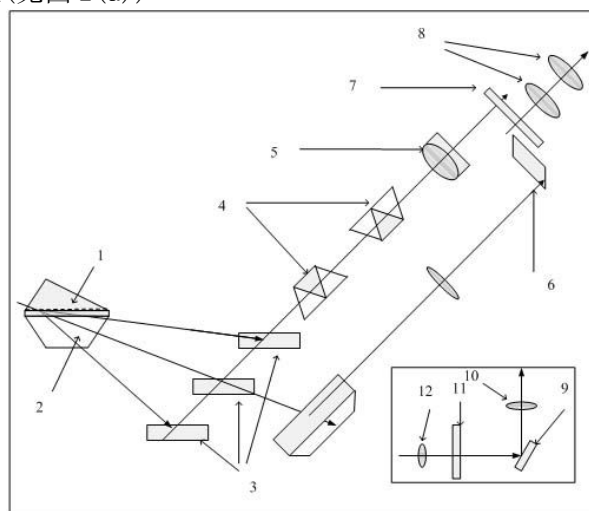


图 1 望远系统读数系统光路图

1.进光棱镜 2.折射棱镜 3.摆动反光镜 4.消色散棱镜组 5.望远物镜组 6.平行棱镜 7.分划板 8.目镜 9.读数物镜 10 反光镜 11.刻度盘 12.聚光镜

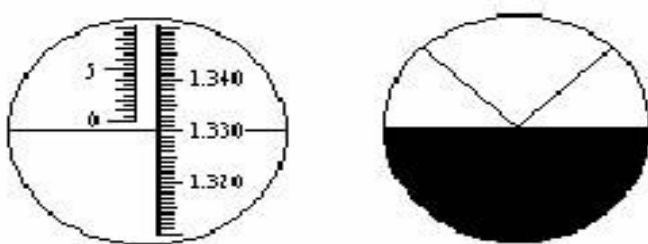


图 2(a) 读数镜视场和 (b) 望远镜视场

读数镜视场中右边为液体折射率刻度，左边为蔗糖溶液质量分数（锤度 Brix）（0-95%，刻度）

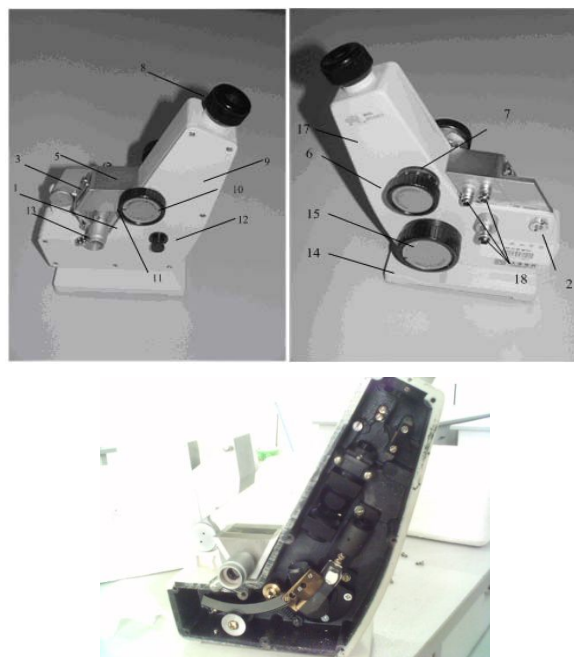


图 3 仪器结构图

- 1 反射镜 2 棱镜座连接转轴 3 遮光板 5 进光棱镜 6 色散调节手轮 7 色散值刻度圈
8 目镜 9 盖板 10 锁紧手轮 11 折射标棱镜座 12 照明刻度聚光镜 13 温度计座
14 底座 15 折射率刻度手轮 17 壳体 18 恒温器接头

阿贝折射仪是根据全反射原理设计的, 有透射光(掠入射)与反射光(全反射)两种使用方法。若待测物为透明液体, 一般用透射光即掠入射方法来测量其折射率 n_x 。

阿贝折射仪中的阿贝棱镜组由两个直角角棱镜(折射率为 n)组成, 一个是进光棱镜, 它的弦面是磨砂的, 其作用是形成均匀的扩展面光源。另一个是折射棱镜。待测液体($n_x < n$)夹在两棱镜的弦面之间, 形成薄膜。如图 4 所示,

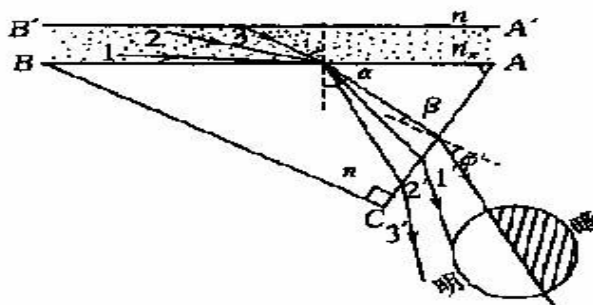


图 4 阿贝折射仪工作原理示意图

光先射入进光棱镜, 由其磨砂弦面 $A'B'$ 产生漫射光穿过液层进入折射棱镜(图中 ABC)。因此到达液体和折射棱镜的接触面(AB 面)上任意一点 E 的诸光线(如 1, 2, 3 等)具有各种不同的入射角, 最大的入射角是 90° , 这种方向的入射称为掠入射。对不同方向入射光中的某条光线, 设它以入射角 i 射向 AB 面, 经棱镜两次折射后, 从 AC 面以 φ' 角出射, 若 $n_x < n$, 则由折射定律得

$$n_x \sin i = n \sin \alpha \quad (1)$$

$$n \sin \beta = \sin \varphi' \quad (2)$$

其中 α 为 AB 面上的折射角, β 为 AC 面上的入射角。由图 4 得棱镜顶角 A 与 α 角及 β 角的关系为

$$A = \alpha + \beta \text{ 则 } \alpha = A - \beta \text{ 代入 (1) 式得}$$

$$n_x \sin i = n \sin(A - \beta) = n(\sin A \cos \beta - \cos A \sin \beta) \quad (3)$$

$$\text{由 (2) 式得 } n^2 \sin^2 \beta = \sin^2 \varphi'$$

$$\text{即 } n^2(1 - \cos^2 \beta) = \sin^2 \varphi'$$

$$n^2 - n^2 \cos^2 \beta = \sin^2 \varphi'$$

$$\text{则 } \cos \beta = \sqrt{(n^2 - \sin^2 \varphi') / n^2}$$

$$\text{代入 3) 式得: } n_x \sin i = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi'} - \cos A \sin \varphi'$$

从图 4 可以看出, 对于光线“1”, 有 $i \rightarrow 90^\circ$, $\sin i \rightarrow 1$, $\sin \varphi' \rightarrow \sin \varphi$, 则上式变为

$$n_x = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} - \cos A \sin \varphi$$

因此, 若折射棱镜的折射率 n 、折射顶角 A 已知, 只要测出出射角 φ 即可求出待测液体的折射率 n_x 。

若 $A = \alpha - \beta$, 这时出射光线与顶角 A 在 AC 面法线的同侧, 上式变为

$$n_x = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} + \cos A \sin \varphi$$

阿贝折射仪是如何测量与光线“1”相对应的出射角 φ 呢? 由图 4 可知。除光线“1”外, 其它光线“2”、“3”等在 AB 面上的入射角皆小于 90° 。因此当扩展光源的光线从各个方向射向 AB 面时, 凡入射角小于 90° 的光线, 经棱镜折射后的出射角必大于角 φ 而偏折于“1”的左侧形成亮视场。而“1”的另一侧因无光线而形成暗场。显然, 明暗视场的分界线就是掠入射光束“1”的出射方向(“1’”)。

阿贝折射镜标出了与 φ 角对应的折射率值, 测量时只要使明暗分界线与望远镜叉丝交点对准, 就可从视场中折射率刻度读出 n_x 值。

任何物质的折射率都与测量时使用的光波的波长有关。阿贝折射仪因此有光补偿装置(阿米西棱镜组), 所以测量时可用白光光源, 且测量结果相当于对钠黄光 ($\lambda = 589.3\text{nm}$) 的折射率(即 n_D)。另外, 液体的折射率还与温度有关, 因此若仪器接上恒温器, 则可测定温度为 0°C – 50°C 内的折射率即 n_D 。

实验三 液晶材料的介电常数测量

实验目的

1、掌握向列液晶介电特性常数（电容与电阻以及介电各向异性）的测定方法。

实验原理

众多的化合物混合在一起使最终化合物的性能可以按照显示器件的要求在很宽的范围
内调节，在温度性能、电性能、光学性能、螺距、粘度、弹性比和化学稳定性方面得到综合
平衡，满足显示器件对于液晶的温度区间、驱动电压、双折射率、螺距、粘度等全方位的性
能指标要求。

测量介电常数的方法比较多，一般都是通过测量电容来间接测量介电常数。

其中， ϵ_0 是真空介电常数； A 和 d 分别是测试盒的电极面积和盒厚； C_L 是分布电容；可以是平行
分量或者是垂直分量。一般是以空盒时的电容值为参考来计算。首先是要获得很好的单畴样
品，使液晶分子与液晶盒的基板成平行排列，这样测量的是。如果使液晶分子与基板成垂直
排列，这时测得的是。

外场强迫液晶分子定向的测量方法有磁场法和电场法。前一种方法是在磁场作用下，使
液晶分子排列，用精密电桥仪测量液晶盒的电容。和上，液晶盒厚 1 mm ，经过计算得到和。
这种方法测得的为静态参数。由于该方法测量的是静态参数，因而准确度比较高。缺点是用
磁场，而且液晶用量较多。后一种方法使用经过表面处理的液晶盒，在电场作用下使液晶分
子排列取向，用精密电桥仪测量液晶盒的电容、和，经过计算得到和。该方法的优缺点与第
一种方法正好相反。下面介绍用电场法测量液晶介电常数。

如图 1(a)所示两片带电极的玻璃基板，阴影部分为电极的图形，电极面朝上，并予以平
行于长边方向取向（见下节）。将上下基片沿虚线对折的方式装配起来，基片之间撒上直径
为几微米的间隔子，使两基片之间保持均匀的间隔，然后将两基片的边缘粘合在一起，留出
灌晶口，得到空液晶盒。以电桥测空盒之电容，记为 C_{L0} 。

因：
$$\epsilon_0 = \frac{C_{L0} \cdot S}{d}$$
 故：
$$\frac{S}{d} = \frac{\epsilon_0}{C_{L0}} \quad (1)$$

其中 $S = L \times L$ 为上下电极重叠部分的面积， d 为液晶盒厚。

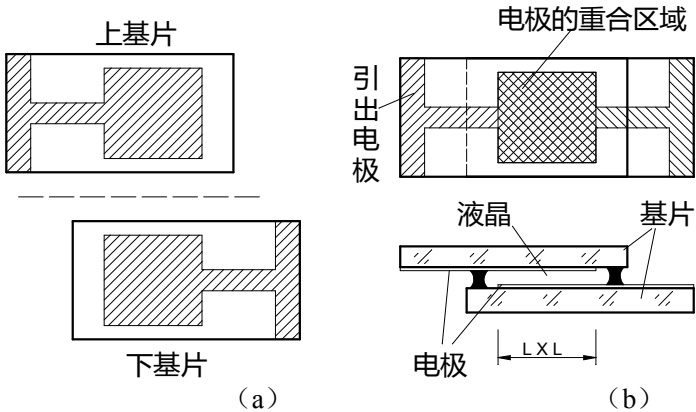


图 1 测试用液晶盒的结构示意图

将空盒灌入正性液晶，如图 1(b)所示，此时所测为电容为 C_L ，则：

$$\varepsilon = \frac{C_L \cdot S}{d} \quad (2)$$

式中 d 是盒的间隙， S 是两片基板电极重叠部分面积。

代入 1 即有：

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{C_L}{C_{L0}} = \varepsilon_r \quad (3)$$

上式表示，灌入液晶后所测电容与空盒电容之比即为液晶的相对介电常数 ε_r 。若测试所加的电压小于阈值电压，则所测值为 $\varepsilon_{\perp} / \varepsilon_0$ ，相反，若电压远大于阈值，则所测近似为 $\varepsilon_{//} / \varepsilon_0$ 。之所以是近似值，是因为所测值要受到液晶在基片表面粘附的作用。电场越强，粘附长度越大。无论如何，粘附长度不可为 0，这就是误差的根源。

除了粘附长度因素以外，液晶的直流电阻、液晶盒电极的电阻、测试的频率等均影响测量的精度。测试应当满足的条件的具体推导过程见附件 2。

满足测试条件使液晶盒电极的电阻对测试结果的影响得到消除，这时只要测试电压小于阈值电压，对于沿面排列的正性液晶或垂面排列的负性液晶，以 1-6-10 式可以分别计算出液晶的介电常数 $\varepsilon_{\perp}$ 或 $\varepsilon_{//}$ 。

对于如此排列的正性液晶或负性液晶若要得到另一个介电常数 $\varepsilon_{//}$ 或 $\varepsilon_{\perp}$ ，则应当加上较高的电压，而且还要考虑边界上粘附长度对测量的影响。以正性液晶沿面排列的为例，当所加电压达到阈值以上并逐步继续升高时，所测的电容逐步增加。基于连续弹性体理论的推导结果表明，若施加的电场足够高，则在高电压区域，电容的变化与电压的倒数成线性关系。图 1-26 为 Chisso 公司对某种液晶的实际测量曲线。实际测量时可以将高压区域的曲线按直线外推到电压为无穷大，在电容量坐标轴上的交会点即为 $C_{\perp}$ 。

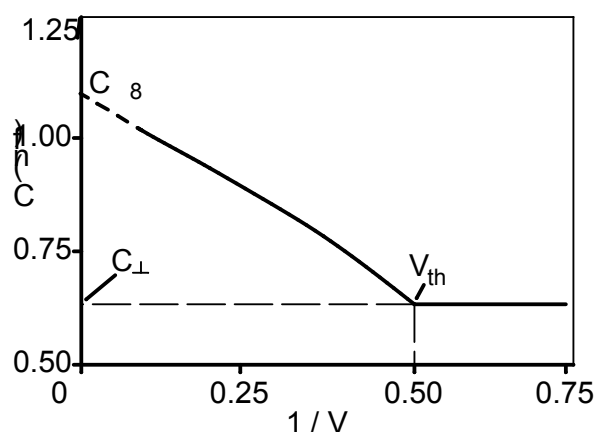


图 2 液晶的电容的变化与电压的倒数成线性关系

据此以式 (3) 算出液晶的相对介电常数 $\varepsilon_{\perp}$ 。负性液晶 $\varepsilon_{//}$ 的测量方法与此相仿，就不再重复。

实验仪器与材料

阿贝折射仪、钠灯、垂面取向剂、LCR 数字电桥、正性向列液晶、空液晶盒

实验内容

测试正性向列液晶的 $\varepsilon_{//}$ 和 $\varepsilon_{\perp}$

(1)取一间隔子为9um的平行取向的空液晶盒(此液晶盒经过斜蒸 SiO 获得平行取向),测试空盒的电容 C_{L0}

(2) 将液晶灌注至此液晶盒中,测试此时液晶盒的电容 C_L ,频率为 60Hz,将电压设为 0.2V, $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{C_L}{C_{L0}} = \varepsilon_r$ 。

(3) 调节测试电压,将电压从 2.50V 逐渐降低至 0.10V,每间隔 0.1V 取一个样,此时读出电容 C_L 。

调节测试所加的电压小于阈值电压,则所测值为 $\varepsilon_{\perp} / \varepsilon_0$,相反,若电压远大于阈值,则所测近似为 $\varepsilon_{\parallel} / \varepsilon_0$ 。之所以是近似值,是因为所测值要受到液晶在基片表面粘附的作用。

思考问题

- 1、设计如何测试负性混合液晶的介电常数,液晶盒表面需要如何处理?
- 2、对于有源矩阵所用的液晶材料电阻值比 TN 型所用的液晶材料大 100 倍左右,请问如何消除液晶盒电阻的影响,应在何种条件下测试?该选取串联还是并联档测试?

附件 1:

首先分析如何避免液晶盒电极的电阻对测试结果的影响。

图 1 所示的基板之间夹着液晶的结构，其等效电路如图 3a。其中的 R_e 表示电极电阻， C_e 为取向层的静电容， R_L 和 C_L 分别为液晶电阻和液晶静电容。

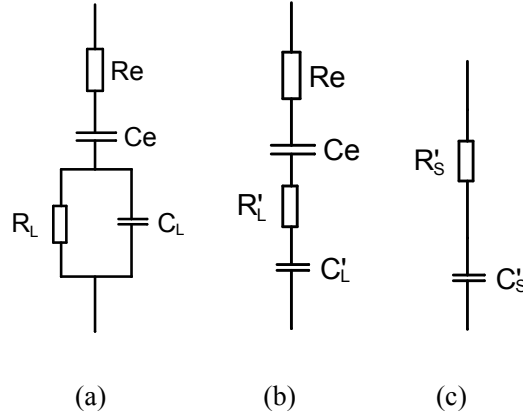


图 3 测试单元的等效电路

为了对以上参数的大小有个大致的估计，对于盒间隙为 10 微米，电极面积为 1cm^2 的测量盒，这里给出其大概的数量级： $R_e \sim 1\text{k}\Omega$ 、 $C_e \sim 50\text{nF}$ (表面取向层相对介电常数为 5，厚度为 50nm)、 $C_L = 1\text{nF}$ (液晶的相对介电常数为 10)， $R_L \sim 10\text{M}\Omega$ (液晶的电阻率 $10^{10}\Omega\text{cm}$)。为了确定适当的测试频率，以便能忽略 R_e 和 C_e 对测试结果的影响，这里将图 3a 的并联电路转换为图 3b 的串联等效电路。

$$C'_L = C_L + \frac{1}{(\omega R_L)^2 C_L}$$

$$R'_L = \frac{1}{(\omega C_L R_L)^2}$$

其中 ω 是测试用交流电压的角频率，若使 R_e 和 C_e 能忽略不计，则应当满足：

$$C'_L \gg C_e, \quad R'_L \ll R_e \quad 1-6-13$$

解上面的不等式，得到：

$$\frac{1}{2\pi R_L \sqrt{C_L(C_e - C_L)}} \ll f \ll \frac{1}{2\pi R_L C_L} \sqrt{\frac{R_L}{R_e - 1}}$$

将上述参数的估计值代入，得到测试的频率应当满足：

$$2\text{Hz} \ll f \ll 1.6\text{kHz}$$

因此，若测试用交流电压频率的上限和下限取 10 倍安全系数的话，用 20~160Hz 应当没有问题的。此时可以用并联等效直接获得 C_L 和 R_L 的值。

实验四 TN 型液晶电光特性测试

实验目的

- 1、在掌握液晶光开关的基本工作原理的基础上，测量液晶光开关的电光特性，将液晶光关的定性概念和定量的测量参数结合起来，从而深入了解和掌握液晶光开关的物理内容。
- 2、测量由液晶光开关矩阵所构成的液晶显示器的视角特性以及在不同视角下的对比度。
- 3、了解液晶光开关的工作条件和视角问题的成因。
- 4、了解液晶光开关构成图像矩阵的方法，学习和掌握这种矩阵所组成的液晶显示器构成文字和图形的显示模式，从而了解一般液晶显示器件的工作原理

实验原理

1、液晶光开关的工作原理

液晶的种类很多，仅以常用的 TN（扭曲向列）型液晶为例，说明其工作原理。

液晶光开关的结构如图 4-1 所示。在涂有透明电极的两块玻璃板之间夹有正性向列相液晶，向列液晶分子的形状大多数如同火柴一样，为棒状。分子的长度在十几埃（1 埃=10 纳米），直径为 4~6 埃。液晶层厚度一般为 5-8 微米，玻璃板的内表面涂有透明电极，电极的表面预先用软绒布朝一个方向摩擦，这样，液晶分子在透明电极表面就会躺倒在摩擦所形成的微沟槽里，（也可在电极表面涂取向剂）这一过程叫做液晶分子的定向。使电极表面上的液晶分子按一定方向排列，液晶光开关的定向方向与电极面的法向垂直，且上下电极上的定向方向相互垂直。上下电极之间的那些液晶分子因范德瓦斯力的作用，趋向于平行排列。然而由于上下电极上液晶的定向方向相互垂直，所以从俯视方向上看，液晶分子的排列从上电极的沿-45 度方向排列逐步地、均匀地、扭曲到下电极的沿+45 度方向排列，整个扭曲了 90 度。如图 4-1 左图所示。

理论和实验都证明，上述均匀扭曲排列起来的结构具有光波导的性质，即偏振方向平行于上电极的定向方向的偏振光，当通过扭曲排列起来的液晶时，偏振方向与液晶的扭曲结构同步旋转，到下电极表面时，光的偏振方向与下电极的定向方向相同，此时光的偏振方向转过了 90 度。

另取两张偏振片 P1 和 P2 贴在玻璃的两面，P1 的透光轴与上电极的定向方向相同，P2 的透光轴与下电极的定向方向相同，于是 P1 和 P2 的透光轴相互正交（标记为 $P1 \perp P2$ ）。

当未加驱动电压的情况下，来自光源的自然光经过偏振片 P1 后只剩下平行于透光轴的线偏振光，线偏振光射入液晶层以光波导方式在液晶层传播，即该光在传播中，其偏振方向随分子扭曲结构同步旋转。光到达输出面时，其偏振面旋转了 90° 。这时光的偏振面与 P2 的透光轴平行，因而有光通过。

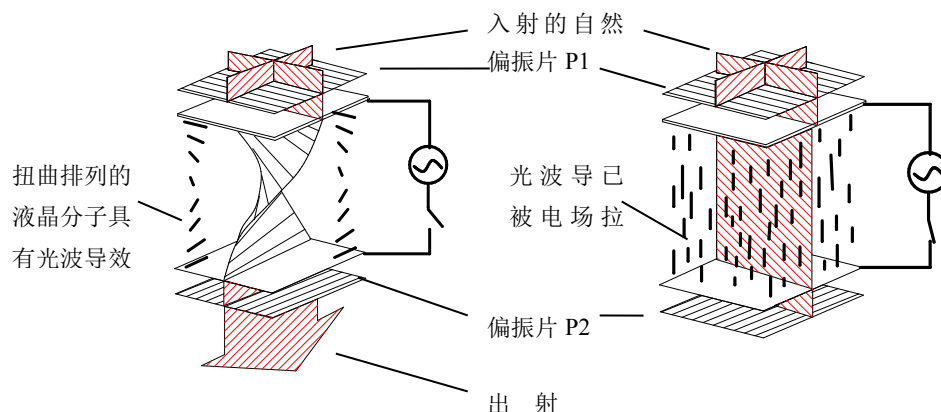


图 4-1 液晶光开关的工作原理

在施加足够电压情况下(一般为 1~2 伏), 棍状的液晶分子在静电场的吸引下, 除了基片附近的液晶分子被基片“锚定”以外, 其它液晶分子趋于平行于电场排列。于是原来的扭曲结构被破坏, 成了均匀结构。当光通过液晶时, 从 P1 透射出来的偏振光的偏振方向在液晶中不再旋转, 保持原来的偏振方向到达下电极。这时光的偏振方向与 P2 正交, 因而光被关断。由于上述液晶光开关在没有电场的情况下让光透过, 加上电场的时候光被关断, 因此叫做常通型光开关, 又叫做常白模式。

2、液晶光开关的电光特性

液晶分热致液晶和溶致液晶。热致液晶在一定的温度范围内呈现液晶的光学各向异性, 溶致液晶是溶质溶于溶剂中形成的液晶。目前有于显示器件的都是热致液晶, 它的电光特性跟温度的改变有一定的关系。由图 4-2 为光线垂直入射本实验所用液晶屏时的相对透射率(以不加电场时的透过率为 100%) 与外加电压的关系。

由图 4-2 可知对于常白模式的液晶, 其透射率随外加电压的升高而逐渐降低。在一定的电压下达到最低点, 此后略有变化。

出现该极点的原因, 简单的说, 可以认为表征液晶光学各向异性的透射率椭圆的光轴方向正好与入射光的方向重合。更详细的分析见文献^[1]。

3、液晶光开关的视角特性

液晶光开关的视角特性表示对比度与视角的关系。对比度定义为光开关打开和关断时透射光强度之比对比度大于 5 时, 可以获得满意的图像, 对比度小于 2, 图像就模糊不清了。图 4-3 表示了某种液晶视角特性的理论计算结果。图 4-3 中, 有与原点的距离表示垂直视角(入射方向与液晶屏法线方向的夹角)的大小, 图 4-3 中同心圆分别表示垂直视角 30, 60, 90 度。90 度同心圆外面标注的数字表示水平视角(入射光线在液晶屏上的投影与 0 度方向之间的夹角)的大小。图 4-3 中的闭合曲线为不同对比度时的等对比度曲线。由图 4-3 可以看出, 对比度与垂直和水平视角都有关。我们在不同的方向上看液晶屏幕时, 可观察到对比度有较大的变化。对比度的视角特性归因于液晶的各向异性, 详细的分析可见文献^[2]。

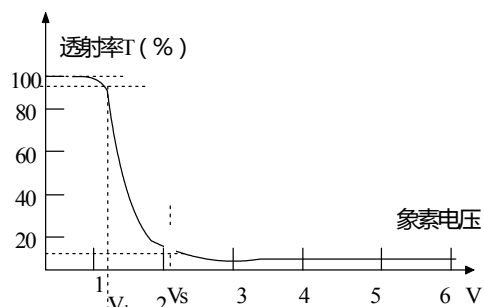


图 4-2 液晶光开关的电光特性曲线

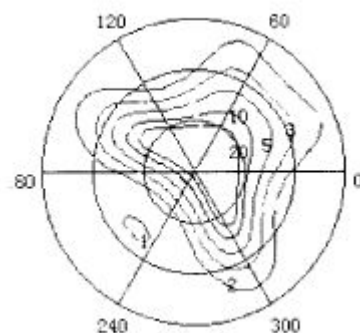


图 4-3 LCD 的视角特性

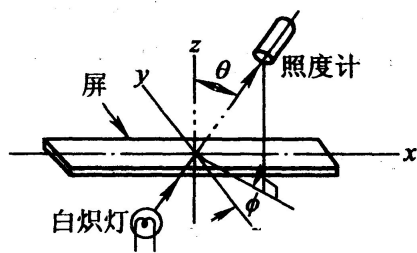


图 4-4 测量视角的装置示意图

实验仪器简介

1、仪器的构成和原理

本实验所用仪器为液晶光开关电光特性综合实验仪，其电气构成和结构的示意图如图 4-5 所示。

其中：1 为激光器电源，2 为矩阵驱动器，3 为电流放大显示器，4 为中央控制器，5 为开关矩阵板（用于字符点阵的输入）。以上构成了液晶光开关电光特性综合实验仪的电路部分。6 为激光器，7 为 16 x 16 的液晶光开关单元构成的显示器。8 为激光探测器。9 为底座。

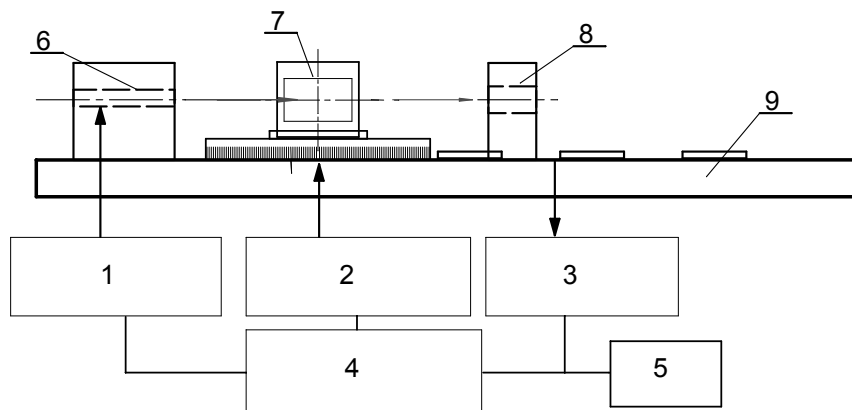
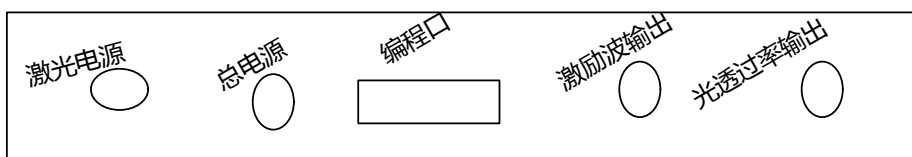


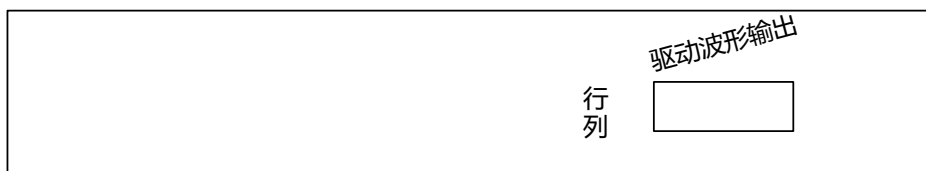
图 4-5. 液晶光开关电光特性综合实验仪

激光器电源 1 为激光器 6 供电，使激光器发出波长为 633nm 的单色准直光。准直光穿过液晶光开关后被探测器 8 接收，转化为微弱的电流信号，经电流放大器 8 放大后由显示器 11 显示出来。此时，中央控制器 4 控制矩阵驱动器 2 向液晶光开关 7 输出幅度可以被手动调节的供电电压。实验时调节供电电压的幅度以改变光开关的透过率，所加电压的幅度被中央控制器 4 上的数字电压表显示出来，透过率由 3 显示出来。外部结构如图 4-6 所示。

侧面图



背面图



正面:

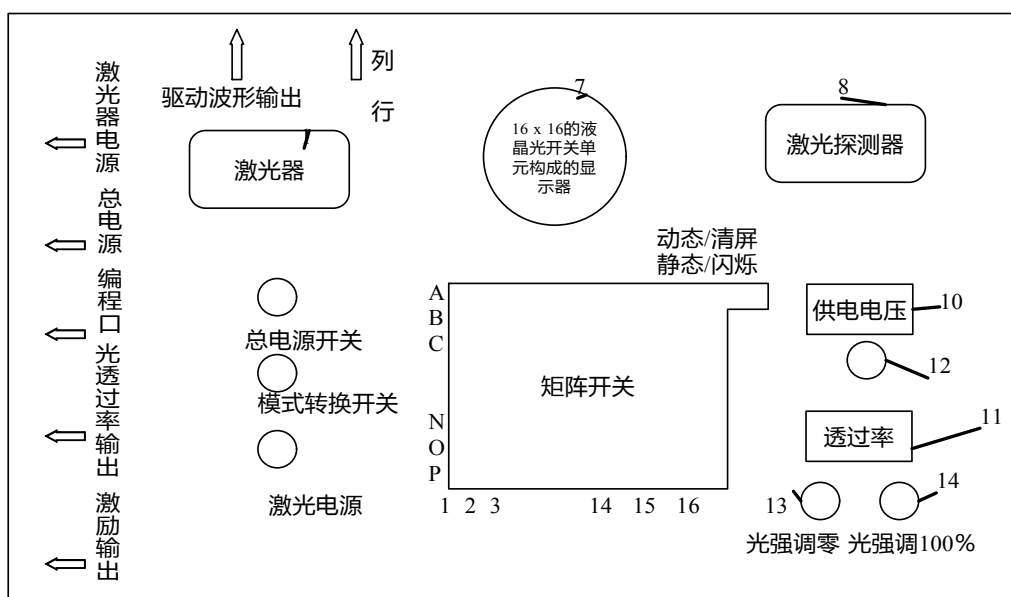


图 4-6 液晶光开关电光特性综合实验仪面板示意图

2、面板上的按钮和旋钮的功能

液晶光开关电光特性综合实验仪面板上的按钮开关和旋钮的排列如图 4-6 所示。其中，10 和 11 分别为电压显示器和相对光强显示器。12、13、14 分别为液晶光开关的电压调整、相对透过率调零、相对透过率 100% 调节。7 为 TN 型 16X16 液晶显示器，5 为用于字符点阵输入的矩阵开关板，17 为半导体激光器、光探测器与直流放大器一体化模块。

仪器可工作于静态全屏（模式转换开关弹出）或图像显示（模式转换开关按下）两种工作模式之一。

3、工作模式

模式 1：液晶电光特性测试

选择静态全屏模式，此时液晶屏上所有显示单元（共有 16X16 显示单元）均工作于同一状态。通过供电电压调节旋钮可调节加到液晶屏光开关上的电压，其数值由供电电压显示窗口显示

作电光特性测量时，调节液晶屏的位置使激光垂直液晶屏入射。准直半导体激光穿过液晶开关后被探测接收，其强度由相对透过率显示窗口显示，测量相对透过率随光开关像素电压的变化关系，即可绘出液晶光开关的电光特性曲线。

作视角特性测量时，在水平方向转动液晶屏，测量不同光线入射角时光开关打开（电压为 0

伏)和关断(电压为2伏)时的光透过率,由此可计算出水平方向对比度与视角的关系。液晶屏在相互垂直的方向上有两个插口,将液晶屏的另一方向插入,即可测量垂直方向对比度与视角的关系。

实验步骤

- 1、做实验之前,请仔细阅读实验讲义;
- 2、液晶像素光开关器静态电光特性测量
 - 1)将TN型16X16点阵液晶屏金手指1,如图4-7(a)所示,插入插槽;
 - 2)插上电源,打开电源总开关和激光器电源开关;使激光器预热10~15分钟;
 - 3)将液晶屏旋转台置于零刻度位置,使得准直激光垂直入射到液晶屏上;
 - 4)将模式转换开关弹出,将TN型16X16点阵液晶屏像素开关置于光关断状态,即置于静态全屏模式;
 - 5)进行透过率100%,和0%调节:
 - A、透过率0%调节
将入射微光探测器的激光挡住,调100%旋钮不动,调节调0%旋钮使得透过率显示为0(注:调节致0.5以内都可视为误差允许范围内)。
 - B、透过率100%调节

让激光入射微光探测器,将像素步电压置于最低0V,此时液晶像素开关处于光开通态,调0%旋钮不动调节100%旋钮使得透射率显示为100。

- (6)液晶像素光开关透过率的测量
 - A、在调整好100%和0%以后,
 - B、按表1第1行的数据改变像素电压,使得电压值从0V到6V变化,读出并记录相应电压下的透过率数值。
重复实验3次并计算3次相应电压下透过率的平均值,依据实验数据绘制电光特性T—V曲线。
 - C、将液晶屏旋转90°,使用金手指2,重复上述步骤依据实验数据绘制电光特性T—V曲线。
讨论测量误差。
 - D、将上述两个方向所测得的T—V曲线进行比较,并且讨论它们的异同。

表1 0度视角下液晶光开关电光特性测量

电 压 (伏)		00 0	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
透 过 率 %	1															
	2															
	3															
	平均															

- (7)不同电压下液晶像素光开关水平方向和垂直方向光透过率(视角)特性的测试
 - A、水平视角特性的测试(液晶屏长方向在水平方向如下图4-6.a所示)
 - A)、透射率100%、0%调节。(注意:必须防止液晶屏处于闪烁状态)
 - B)、供电电压值0伏,按照表2第1所列的角度调节液晶屏与入射激光的角度,要每一角度下测量光强度透过率最大值Tmax。然后将像素电压置于2伏,再次调节液晶屏的角度测

量光透过率最小值 T，并计算出其对比度。

以角度为横坐标，对比度为纵坐标，绘制出水平方向对比度随入射光入射角而变化的曲线。

表 2

角度（度）		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
水平方向视角特性	Tmax（%）											
	Tmin（%）											
	Tmax/Tmin											
垂直方向视角特性	Tmax（%）											
	Tmin（%）											
	Tmax/Tmin											

3、垂直视角特性的测试（液晶屏长方向在竖直方向如下图 4-7.b 所示）

1) 关断电源后，取下液晶屏，将液晶屏旋转 90 度，用金手指 2 插入，将液晶屏置于图 4-7b 状态。重新开启总电源后，按照现上面同样的方法和步骤，可测量垂直方向的视角特性。

2) 关断电源。

4、液晶显示器，点阵显示原理

A、将液晶屏转为平行，打开电源开关，按下模式转换开关使液晶屏处于动态显示模式状态（为了增强显示效果，供电电压为 4.5 伏以上）。

此时矩阵板上的每个按键位置对应一个液晶屏上的光开关像素。初始时各像素都处于开通状态，按 1 次矩阵开头板上的某一按键，可改变相应液晶像素的通断状态，即显示了图形。所以可以利用点阵输入关断（或点亮）对应的像素，使暗像素（或亮像素）组合成一个字符或文字。以此体会液晶显示器件组成图像和文字的工作原理。矩阵开关板右上角的按键为清屏键，用以清除已输入在显示屏上的图形。

B、用矩阵板上的每个按键组成一个字符或文字，并记录下自己的所按的每个按键和液晶屏上所显示出的像素的位置。

C、关断电源

5、液晶显示器的时间响应特性

1) 将 TN 型 16X16 点阵液晶屏金手指 1，如图 4-7(b)所示，插入插槽；

2) 按图 8 所示把示波器和液晶综合测试仪相应的接口连接起来；

3) 插上电源，打开示波器电源、电源总开关和激光器电源开关，使激光器预热 10~15 分钟；

4) 将液晶屏旋转台置于零刻度位置，使得准直激光垂直入射到液晶屏上；

5) 将模式转换开关弹出，将 TN 型 16X16 点阵液晶屏像素开关置于光关断状态，即置于静态全屏模式；

6) 进行透过率 100%和 0%调节；

方法如下：

A、透过率 0%调节

将入射微光探测器的激光挡住，调 100%旋钮不动，调节调 0%旋钮使得透射率显示为 0（注：调节致 0.5 以内都可视为误差允许范围内）。

B、透过率 100%调节

让激光入射微光探测器，将像素步电压置于最低 $0V$ ，此时液晶像素开关处于光开通态，调 0%旋钮不动调节 100%旋钮使得相对透过率显示为 100。

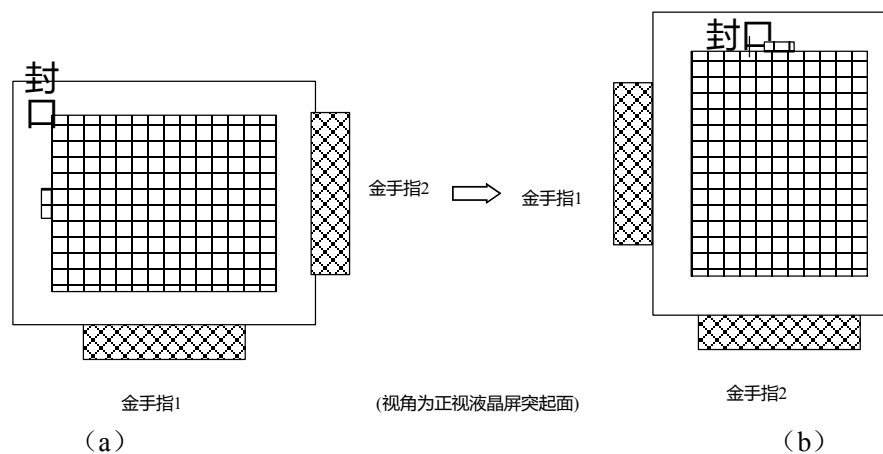


图 4-7 金手指示意图

- 7) 将供电电压调到 5 伏以上，按静态/闪烁按键使液晶屏处于闪烁状态；
- 8) 观察示波器所示的波形并记录下来；
- 9) 关断电源。

思考题

- 1、如何在本实验中涉及到的光波导的原理基础上构造常断型光开关（常黑模式）？
- 2、讨论：为什么当电压为比较高时，还有光透过？
- 3、讨论：液晶显示器件的对比度随视角变化为什么呈现出不对称性且视角较窄？
- 4、按键的位置和液晶屏上所显示出的像素的位置有什么样的关系？

实验五 液晶盒的制备和观测

实验目的：

- 1、熟悉实验室制备液晶盒的工艺流程。
- 2、了解液晶盒的光学性质；

实验仪器

液晶器件制备测试系统

实验原理

液晶显示器的结构如图 1 所示，液晶盒是由两片相距 5~9 μm 的玻璃基板组成。在这些玻璃基板的内表面上有一层氧化铟锡（ITO）或氧化铟（ In_2O_3 ）透明电极，在两块基板这间填充正或负介电常数的向列相液晶材料（或其他如胆甾相、近晶相等各种液晶材料），通过对电极表面进行适当处理，使液晶分子的取向成一定状态。

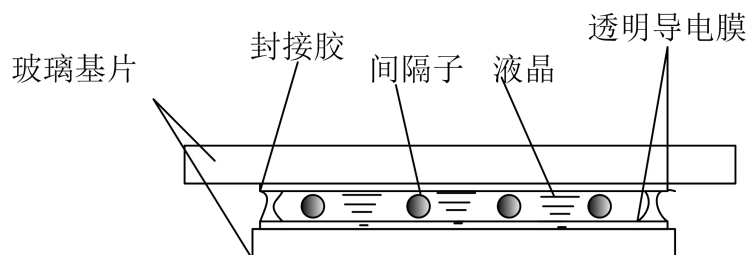


图 1 液晶显示器件的结构示意图

液晶盒的此种结构要求两玻璃基板这间具有均匀的间隙。由此，要在基板表面均匀地散布玻璃纤维或玻璃微粒。同时，为了防止潮气和氧气与液晶发生作用，玻璃板四周应进行气密封接。密封材料可以用环氧树脂之类的有机材料，也可用低熔点玻璃粉之类的无机密封材料，这就是丝网印刷油墨。为了使液晶盒厚保持在设计值，在印刷油墨中还需加入衬垫材料。

液晶显示器制造工艺中，取向是一个关键工艺。液晶盒内基片表面直接与液晶接触的一薄层材料被称之为取向层，它的作用是使液晶分子按一定的方向和角度排列，这个取向层对于液晶显示器来说是必不可少的，而且直接影响显示性能的优劣。液晶显示器所用的取向材料及取向处理方法有多种，如摩擦法、斜蒸 SiO_2 方法等等。摩擦法是沿一定的方向摩擦玻璃基片，或是摩擦涂覆在玻璃基片表面的无机物或有机物覆盖膜，再进行摩擦，以使液晶分子沿摩擦方向排列，这样可以获得较好的取向效果。

本实验使用摩擦机对基板表面进行摩擦处理，能更好地控制摩擦的强度和均匀性从而达到更好的取向效果。而台式液晶盒光固机的使用大大缩短了实验的周期。

实验内容

- 1、制备反平行取向的液晶盒至少一个；
- 2、制备 TN 模式的液晶盒至少一个；

实验步骤

I、反平行取向液晶盒的制备：

- (1) 清洗基片；
 - (2) 烘干；
 - (3) 旋涂 PI 膜；
 - (4) 固化；
 - (5) 摩擦取向；(两片基片的摩擦方向不同，一片为平行摩擦取向，另一片为垂直摩擦取向)
 - (6) 喷洒间隔子；
 - (7) 封盒；
- 2、TN 模式液晶盒的制备：
- 步骤同 1、反平行液晶盒的制备。
- 3、在偏光显微下观察液晶盒的取向效果。
- 4、在液晶电光测试系统测量制备好的液晶盒的电光特性。

特别说明：详细的制作流程见附件。

实验注意事项：

- 1、喷洒间隔子时，尽量使间隔子分布均匀；
- 2、在用摩擦机摩擦玻璃表面时，需力度适中，需要在实验过程中多做几次，摸索出摩擦辊与玻璃基片的最佳距离。用力过度，就容易将玻璃片的划痕太深，偏光下看到大量的划痕而非液晶分子的排列。

思考题：

查阅相关的资料，总结现代液晶生产工艺中，制盒工艺流程以及相关的关键技术。

附件：

液晶盒的制作流程及注意事项

在液晶盒的整个实验制作过程中，应随时保证仪器和实验环境的洁净，尽量避免用手接触 ITO 玻璃表面。在使用各种仪器之前，务必仔细阅读仪器操作说明书及相关注意事项。

液晶器件制备测试系统主要可实现小型 TN 型液晶盒的制作，并对制作的液晶进行观察和测试。除了可以制作 TN 型液晶外，使用不同原材料和不同的制作工艺，还可以制作双稳态液晶和电控双折射液晶盒。这里只介绍 TN 型液晶的制作。

TN 型液晶盒的基本制作流程如下：

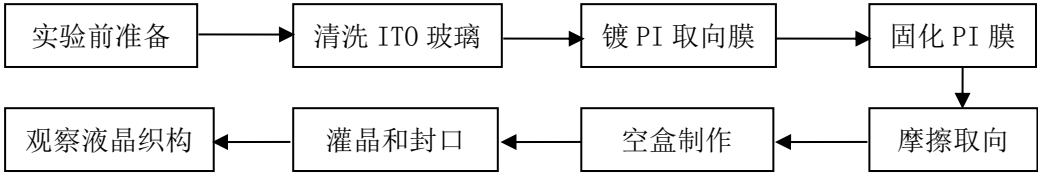


图 1 液晶盒制作的基本流程

在图 1 中提及的清洗 ITO 玻璃部分中，由于现有提供的 ITO 玻璃已经经过清洗，学生使用的时候可以省略这一步。但如果老师要进行研究，选用其他的 ITO 玻璃，则必须按照要求对玻璃做清洗。

一、实验前准备

1. 将 PI 取向剂从冰箱内取出，保证其在使用时能恢复到室温。否则可能会因为取向剂与室温温差过大而导致内部吸水，导致取向剂失效，影响镀膜参数；
2. 将实验中所需要的各种配件准备妥当；
3. 洗手，减小自身灰尘和油污对整个实验制作过程的影响。
4. 仔细阅读仪器操作说明及相关注意事项，以减少实验中的误操作，提高液晶制作的质量。

二、清洗基片

在清洗前先检验 ITO 玻璃原材料的方块电阻等指标是否满足工艺技术的要求，同时要检测 ITO 面是否向上（采用万用表的欧姆档来测试玻璃表面是否导通：指针偏转则表面为 ITO 面）。材料 ITO 玻璃主要的污染物为：灰尘，油脂等，一定温度的碱液对 ITO 玻璃有很好的清洗作用，高纯水清洗可去除溶于水的杂质及一些灰尘，同时还能够将上工艺的碱液去除掉，而超声波的清洗作用，在于利用水分子在超声波的作用下发生振动摩擦，使玻璃表面粘附的杂质松动而脱落。水洗后的玻璃要进行干燥处理，方法为强风（最好保证风源洁净）吹去玻璃表面的水然后经过烘箱干燥（干燥温度为 60~80℃）。

实验室一般清洗流程：

- （1）、将需要清洗的玻璃基片放入适合玻璃片厚度与大小的洗篮中
- （2）、将洗篮置于中性洗涤剂中超声波清洗 5 分钟
- （3）、将洗篮置于饱和 NaOH 碱性溶液超声波清洗 5 分钟

(4)、将洗篮置于去离子水清洗 5 分钟

(5)、取出洗篮，吹去表面的水，然后置于烘箱中干燥至基片表面为无水状态。

注意事项：

(1) 由于每次清洗时均为多片基片同时清洗，可在基片放入洗篮前用万用表欧姆档先测出基片的 ITO 面，当放入洗篮时可使 ITO 面同侧，这样可以简化后面的步骤中判断每片基片 ITO 面的过程。

(2) 基片的取、放均不能用手接触，可以戴专用手套或者使用玻片夹夹取基片边沿。手的表面有油脂，直接接触基片会污染基片表面。

三、镀 PI 取向膜

1. PI 取向剂的旋涂

(1)、将确定好 ITO 面的玻璃基片置于恒温干燥箱内预烘 10 分钟，温度在 50℃左右；

(2)、将恢复到室温的取向剂用滴定管取出少许到取向剂盛装瓶中（液面高度小于 1 mm），用真空吸笔吸住预烘好的玻璃基片的非 ITO 面，将 ITO 面朝下置于取向剂中，注意不要让非 ITO 面沾上取向剂。

(3)、将沾上取向剂的玻璃基片 ITO 面朝上（此时需要用玻片夹配合真空吸笔使用）放置于液晶基片旋涂机旋转台中央，调节固定装置将基片固定。**注意：从取向剂中取出基片的时候，尽量将多余的取向剂滴落到取向剂盛装瓶中。**

(4)、盖上旋涂机上盖，打开旋涂机电源开关，调节旋涂机的工作时间和转数，开始工作。（时间和转数与 PI 本身性质有关，根据所购买 PI 溶液提供的相关参数确定。现有提供的 PI 的旋涂时间设置为 60s，转数应缓慢增加到 2500 转/分）。**注意：通电前，应检查转速设置旋钮逆时针旋转到底。以避免通电后旋涂机设置工作后高速旋转而影响 PI 膜的旋涂效果。**

(5)、当旋转停止后（观察转速显示为 0 时），打开旋涂机上盖，用玻片夹取出已镀有 PI 膜的玻璃基片，置于洁净的干燥箱加热台上，镀膜一面朝上，注意不要污染。继续下一片基片的 PI 涂覆，步骤同上。

(6)、待所有基片均镀好 PI 膜后，开始固化。

2. PI 膜固化

(1)、检查已镀有 PI 的基片安放位置是否合适（应将基片面全部置于同一块加热台上，不可太靠近边沿）。

(2)、打开干燥箱电源开关，将对应加热台的控制表头加热温度设置为 80℃进行预热，预热时间约为 30 分钟。

(3)、预热结束后，将温度调至 200℃进行固化，固化时间约为两小时。

(4)、固化结束后，关闭对应加热台的加热开关，将烤箱门打开，待加热台温度冷却至接近室温时将基片取出，置于洁净的培养皿中，固化 PI 完成。

注意事项：

(1)、所有对基片的操作过程中，必须保证基片的 ITO 面朝上放置。

(2)、干燥箱必须随时保证内部洁净，尤其是加热台表面。

(3)、在浸泡基片和取出基片过程中，不可让 ITO 面触及盛装瓶，以免破坏基片表面的平整度以及 ITO 的均匀性。

(4)、取放基片的过程中应注意基片间不要发生摩擦或碰撞，取放结束后可用另一个洁净培养皿盖好，避免空气中的灰尘等污染基片表面。取放过程与清洗基片过程相同，均不能用手接触基片。

(5)、固化过程一点要先预热再固化，同时注意一定要达到固化时间（不同的 PI 溶液

要求的固化时间略有差异)。

(6)、固化结束后一定要将烤箱内温度冷却至接近室温时再取出基片，不可直接取出放置室温下冷却，否则会影响 PI 膜的形成，影响取向效果。

四、摩擦取向

- (1)、打开空气压缩机开关，让空压机开始打气加压。
- (2)、检查液晶配向摩擦机（下称摩擦机）的各个功能开关，要求置于关闭状态，滑台开关置于“前”，转速调节旋钮顺时针旋转到底。
- (3)、通过升降柄调整摩擦筒与待摩擦基片之间的压距。调节方法为：将小面积孔板置于滑台上，孔板上的其中一条刻度线对齐滑台“0°”（孔板必须要求洁净，且须和滑台完全贴合），并将滑台移动到摩擦筒正下方。然后逆时针缓慢旋转升降柄，同时观察摩擦筒与孔板之间的距离。当摩擦筒上绒布刚好与孔板接触时，停止转动升降柄。而转动升降柄下外部的刻度盘，使刻度盘上的“0”刻度对其升降柄的刻度线。保持刻度盘位置不变，顺时针转动升降柄一周，即升高摩擦筒 1 mm，留出玻璃基片的高度。最后再逆时针转动 0.2 mm（即压距确定为 0.2 mm，根据实验要求不同，可以要求压距不同）。
- (4)、调整好摩擦筒与基片之间的压距后，将滑台移动到前。打开气路和电路开关，观察滑台气压表和摩擦筒气压表指针读数。正常工作状态必须是滑台气压大于 2kg，摩擦筒气压大于 4kg(启动时需大于 6kg)。
- (5)、用玻片夹将培养皿中已经固化了 PI 膜的玻璃基片 PI 膜朝上正直的放置在孔板正中央（要求基片完全遮住孔板上的小孔）。
- (6)、打开负压开关，让负压吸住孔板和玻璃基片。
- (7)、打开摩擦筒开关，调节转速旋钮，使摩擦筒的转速在 2000~2500 转/分之间。然后将“滑台开关”从“前”扳到“后”，完成 PI 膜的摩擦取向。此时，必须先关闭摩擦筒开关，然后关闭负压开关，再用玻片夹将已取向的基片取出，放置到培养皿中，并对此基片的摩擦方向做好标识。最后将滑台从“后”扳到“前”。
- (8)、重复(5)~(7)步，对下一片基片进行摩擦取向。将所有完成摩擦取向并做好取向标识的基片放好，备用。

特别说明：不同的 PI 取向剂，由于自身材料和浓度不同，其摩擦的强度不同，这要求根据实际的情况调整好摩擦辊下表面距离基片表面的高度。摩擦强度 S 与相关参数关系如下：

$$S = N \cdot L \left(\frac{\omega r}{v} - 1 \right)$$

式中：N 为摩擦的次数；

L 为压距，为辊上的绒毛与基片接触部分的厚度；

ω 为辊的角速度；

r 为辊的半径；

v 为基片移动的速度。

注意事项：

- (1) 摩擦过程中注意摩擦台表面的清洁，使用前应将摩擦台表面的灰尘等擦洗干净，避免摩擦过程中污染基片表面。
- (2) 摩擦台表面有刻度，摩擦前根据实验的具体要求摆放基片的方向来确定摩擦方向。
- (3) 摩擦只能进行一次，不可对同一片基片进行多次摩擦。
- (4) 在整个摩擦过程中，必须注意仪器的操作顺序，否则可能严重影响后期液晶盒的

制作效果。

- (5) 摩擦后基片应及时放在蒸发皿等容器中，避免空气中灰尘等对其表面的污染。
- (6) 摩擦前后取放基片应使用玻片夹或戴手套等，避免用手接触基片表面。也不可对基片表面用嘴吹气，避免油污基片表面。
- (7) 摩擦筒在转动的过程中，严禁用手触摸转动部件的任何位置！
- (8) 使用完毕后，请盖上上盖。
- (9) 严禁用手或其物体触碰摩擦筒上的绒布！如果长时间不使用，必须用洁净的塑料袋将转动部分及护罩套好，以减小外接灰尘等对绒布的影响。

五、 空盒制作

1. 喷洒间隔子

- (1)、将基片 IT0 面朝上平放于“台式液晶盒光固机”玻璃操作台上制定的位置；
- (2)、用毛细玻璃管吸囊蘸取极少量间隔子，然后在基片上方轻轻抖动毛细玻璃管，让间隔子尽量均匀散落在基片表面。
- (3)、若基片表面有明显的间隔子集中现象，可用毛细管吸囊轻轻的吹散集中的间隔子（不可用嘴吹），直至用肉眼在基片表面看不到聚集的白色颗粒为止。

2. 封液晶盒

- (1)、将另一片摩擦好的玻璃基片 IT0 一面朝向洒好间隔子的面，按照实验要求确定两块基片摩擦方向的相对位置后。通过操作台上的定位装置，确定两块基片的相对位置，然后用定位装置上的压片小心的压住两块基片。
- (2)、打开半自动点胶机的开关，将点胶状态调节到手动状态，调节气压表压力指示到 2kg。
- (3)、取出点胶筒，取下点胶筒上的针盖，踩动脚踏开关，在图 2 所示的位置点上适量的 UV 光固胶。然后将光固机的上盖和上，打开光固机电源，调节曝光时间为 60 秒。
- (4)、将曝光灯开关旋转到“上、下灯”位置，按一下“曝光启动”键，开始将 UV 胶固化。
- (5)、当固化结束后，翻转液晶盒，在另外一边也涂上 UV 胶，重复 60 秒曝光固化。

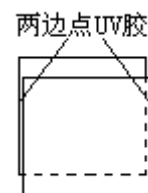


图 2 液晶盒两边封口示意图

六、 灌晶和封口

- (1)、将液晶盒开口的两端其中一端垫起约 1-2mm 厚，然后从较低的一端滴加液晶。可用毛细玻璃管蘸取适量的液晶滴在较低端。让液晶自然充满整个液晶盒。
- (2)、用封框胶封另外两个开口，放在紫外曝光台上曝光，固化封框胶。

注意事项：

- (1) 喷洒间隔子时注意不要喷洒太多并且尽量喷洒均匀，以免间隔子集中会影响液晶盒厚度。
- (2) 间隔子明显集中时，不可用嘴对基片表面吹散间隔子。以免有水汽和油污染基片表面。
- (3) 封盒过程中可在基片上压上具有一定重量的砝码等物品，既可以固定基片不随意滑动，又可使基片各处受力趋向平衡，保证封盒过程中盒厚均匀。
- (4) 封盒过程中注意封框胶涂抹适量，不要过多，同时注意封严，不要留下缝隙，以免漏晶。
- (5) 液晶为高分子材料，有一定的毒性，使用时应避免将其粘到皮肤上。如果不小心

沾上，用清水冲洗即可。

七、 液晶盒的光学现象观察

将制作好的液晶盒置于 USB 透射式显微镜的观察台上，用观察台上的压片压住液晶盒，上观测内部结构；

用导电夹子分别夹住液晶盒的两级，并将液晶驱动信号连接到导电夹上。逐渐增加液晶驱动信号的电压，观察液晶内部的变化情况。对比给液晶盒加电和不加电情况下，液晶盒的变化情况。

显微镜上的电子目镜可连接到计算机，通过视频窗口，可以将显微镜上观察到的图像显示在计算机屏幕上。实验图像可以保存，便于学生完成实验报告。