

孙士祥 主编

王永 陈羽 副主编

液晶显示技术

YEJING

XIANSHI

JISHU



化学工业出版社

液晶显示技术

孙士祥 主编
王永陈羽 副主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

液晶显示技术/孙士祥主编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-122-13369-4

I. 液… II. 孙… III. 液晶显示器 IV. TN141.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 017222 号

责任编辑: 刘 哲 张建茹

装帧设计: 史利平

责任校对: 周梦华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 414 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

进入 21 世纪，作为信息产业的重要组成部分——显示器件正在加速推进其平板化的进程。目前，世界已进入“信息革命”时代，显示技术及显示器件在信息技术的发展过程中占据着十分重要的地位，电视、电脑、移动电话、BP 机、PDA 等可携式设备以及各类仪器仪表上的显示屏为人们的日常生活和工作提供着大量的信息。没有显示器，就不会有当今迅猛发展的信息技术。显示器集电子、通信和信息处理技术于一体，被认为是电子工业在 20 世纪微电子、计算机之后的又一重大发展机会。

科学技术的发展日新月异，显示技术也在发生一场革命，特别是自 20 世纪 90 年代以来，随着技术的突破及市场需求的急剧增长，以液晶显示（LCD）为代表的平板显示（FPD）技术迅速崛起。经过 20 多年的研究、竞争、发展，平板显示器已进入角色，成为 21 世纪显示器的主流产品，目前竞争最激烈的平板显示器有 4 个品种：

- ① 场发射平板显示器（FED）；
- ② 等离子体平板显示器（PDP）；
- ③ 有机薄膜电致发光器（OLED）；
- ④ 薄膜晶体管液晶平板显示器（TFT-LCD）。

场发射平板显示器原理类似于 CRT。CRT 只有一支到三支电子枪，最多六支，而场发射显示器是采用电子枪阵列（电子发射微尖阵列，如金刚石膜尖锥），分辨率为 VGA（640×480×3）的显示器需要 92.16 万个性能均匀一致的电子发射微尖，材料工艺都需要突破。目前美国和法国有小批量的小尺寸显示屏生产，用于国防军工，离工业化、商业化还很远。

等离子体发光显示是通过微小的真空放电腔内的等离子放电激发腔内的发光材料形成的，发光效率低和功耗大是它的缺点（仅 1.2lm/W，而灯用发光效率达 80lm/W 以上，6W/in² 显示面积）（1in=0.0254m），但在 102~152cm 对角线的大屏幕显示领域有很强的竞争优势。业内专家分析认为，CRT、LCD 和数字微镜（DMD）三种投影显示器可以与 PDP 竞争。从目前大屏幕电视机市场来看，CRT 投影电视价格比 PDP 便宜，是 PDP 最有力的竞争对手，但亮度和清晰度不如 PDP，LCD 和 DMD 投影的像素和价格目前还缺乏竞争优势。尽管彩色 PDP 在像质、显示面积和容量等方面有了明显提高，但其发光效率、发光亮度、对比度还达不到直观式彩色电视机的要求，最重要的是其价格还不能被广大家用消费者所接受，这在一定程度上制约了彩色 PDP 的市场拓展，目前主要在公众媒体展示场合的应用开始普遍起来。

半导体发光二极管（LED）的显示方案由于 GaN 蓝色发光二极管的研制成功，从而一举获得了超大屏幕视频显示器市场的绝对控制权，但是这种显示器只适合作户外大型显示，在中小屏幕的视频显示器市场还不小。

有机薄膜电致发光可提供真正的又轻又薄、低功耗、广视角、高响应速度(亚微秒)的固体平板显示器。大规模工业生产的成本很低,使用寿命目前只有几千小时。OLED在可以预见的将来将首先应用,作为TFT-LCD的主要竞争对手,但目前还处于研究试制阶段。

液晶平板显示器,特别是TFT-LCD,是目前唯一在亮度、对比度、功耗、寿命、体积和重量等综合性能上全面赶上和超过CRT的显示器件,它性能优良,大规模生产特性好,自动化程度高,原材料成本低廉,发展空间广阔,将迅速成为21世纪的主流产品,是21世纪全球经济增长的一个亮点。

在众多的平板显示器激烈竞争中,何以TFT-LCD能够脱颖而出?液晶先后避开了困难的发光问题,利用液晶作为光阀的优良特性把发光显示器件分解成两部分,即光源和对光源的控制。作为光源,无论从发光效率、全彩色,还是寿命,都已取得了辉煌的成果,而且还在不断深化之中。LCD发明以来,背光源在不断地进步,由单色到彩色,由厚到薄,由侧置荧光灯式到平板荧光灯式。在发光光源方面取得的最新成果都会为LCD提供新的背光源。随着光源科技的进步,会有更新更好的光源出现并为LCD所应用。余下的就是对光源的控制,把半导体大规模集成电路的技术和工艺移植过来,研制成功了薄膜晶体管(TFT)生产工艺,实现了对液晶光阀的矩阵寻址控制,解决了液晶显示器光阀和控制器的配合,从而使液晶显示的优势得到充分利用。

为了适应这一形势的发展,特别是长三角、珠三角地区液晶显示产业的发展,液晶行业的人才需求在不断增加,近年来众多高职高专院校纷纷开设了相关专业或开设了液晶显示器制造的相关课程。目前市面上已出现了许多液晶显示器制造方面的优秀教材,但其中大多为本科教材,内容往往涉及很深的理论,包含了大量而复杂的公式推导,不适合高职高专学生学习。鉴于此,我们特编写了本书。

在近两年的时间里,我们走访了多个现代化企业,主动征求企业对教材建设的建议,仔细分析了相关岗位涉及的知识的内容与层次并认真加以梳理,形成了本书的框架结构与基本内容。编写组还深入分析了高职高专学生的学情,以力图恰当把握教材内容的深度。本书结构可大致分为三个模块:第一个是无源液晶显示面板的制造,第二个是有源TFT-LCD液晶显示面板的制造,第三个是液晶面板设计。

本书由南京信息职业技术学院孙士祥担任主编,王永、陈羽、参加编写,并特别邀请南京中电熊猫液晶显示科技有限公司焦峰编写了第三章3.2节,王永编写第一章、第四章,陈羽编写第七章、第八章,孙士祥编写第二章、第三章3.1节、第五章、第六章并对全书进行了统稿。全书由深圳市欧特迈科技(深圳)有限公司张艳林总经理审稿。

在本书的编写过程中得到了台湾Springsoft Inc及海维图形软件工作室、深圳市欧特迈科技(深圳)有限公司以及化学工业出版社的大力支持,他们为本书的结构设计、资料提供、现场参观、岗位培训等方面提供了帮助,在此对他们深表感谢。

由于编者学识与经验所限,书中疏漏之处在所难免,敬请同行与读者批评指正。

编者

2011年11月

第一章 液晶化学与物理特性

1

1.1 液晶化学特性	1
1.1.1 液晶的分类	2
1.1.2 液晶的化学结构	4
1.2 液晶物理特性	5
1.2.1 液晶的应用物理特性	5
1.2.2 液晶的电光效应	12
1.2.3 液晶的有序参数	12
1.3 显示用混合液晶材料	13
1.3.1 混合液晶的性能参数与显示的关系	13
1.3.2 各类显示模式混合液晶	13
1.3.3 混合液晶配制	14
1.3.4 液晶测试及使用方法	16
1.4 液晶的连续体理论	17
1.4.1 液晶的光学特性分析	17
1.4.2 液晶分子的排列方式	20
思考题	21

第二章 常用液晶显示器件

22

2.1 液晶显示器件分类	22
2.2 常用液晶显示器件	25
2.3 液晶显示器件的基本结构与原理	26
2.3.1 液晶显示器件的三大基本部件	26
2.3.2 扭曲向列向型液晶显示器 (TN-LCD) 的结构和工作原理	27
2.3.3 超扭曲向列相液晶显示器	34
2.3.4 薄膜晶体管液晶显示器 TFT-LCD 的结构和显示原理	36
2.3.5 液晶显示器件的主要参数	39
2.3.6 液晶显示器件的驱动和寻址方式	44
思考题	50

3.1 无源 LCD 制造过程	51
3.1.1 新样品制作流程	55
3.1.2 LCD 设计的一般规则的内容	55
3.1.3 LCD 种类	56
3.1.4 外观图的设计	59
3.1.5 菲林版的设计	60
3.1.6 设计与制版	60
3.1.7 设计软件介绍	65
3.2 TFT-LCD 面板设计与制版	69
3.2.1 设计流程	70
3.2.2 产品规格书	71
3.2.3 像素设计	73
3.2.4 屏设计	78
3.2.5 Mask 配置	80
3.2.6 TEG 设计	80
3.2.7 TFT 面板设计软件介绍	85
思考题	91

4.1 玻璃基板	92
4.1.1 ITO 透明导电玻璃	92
4.1.2 TFT-LCD 用玻璃基板	95
4.2 偏光片	98
4.2.1 偏光片结构与分类	98
4.2.2 偏光片的制造工艺	99
4.2.3 偏光片的主要技术指标	101
4.3 彩色滤光片	102
4.4 取向剂	104
4.5 背光模组用材料	107
4.5.1 光源	109
4.5.2 导光板	110
4.5.3 增亮膜	111
4.5.4 扩散板	112
4.5.5 反射板	112
4.6 其他主要原材料	113
4.6.1 框胶 (丝印胶、环氧树脂)	113
4.6.2 导电胶	114
4.6.3 衬垫料 (spacer)	114

4.6.4	光刻胶	116
4.6.5	UV 封口胶	119
4.6.6	封金属引线 (PIN) 胶	120
4.6.7	金属引线	121
4.7	其他辅助材料	122
	思考题	122

第五章 无源LCD液晶面板制造工艺

123

5.1	清洗与干燥工艺	123
5.1.1	清洗与干燥工艺原理	123
5.1.2	高纯水制备原理	125
5.1.3	清洗与干燥工艺过程	129
5.2	光刻工艺	131
5.2.1	光刻工艺流程简介	131
5.2.2	光刻胶的配制	133
5.2.3	光刻工艺原理及操作	133
5.3	取向排列工艺	138
5.3.1	取向排列工艺简介	138
5.3.2	涂膜和固化	139
5.3.3	摩擦取向	141
5.4	丝网制盒工艺	145
5.4.1	丝网印刷技术的基本知识	145
5.4.2	丝网印刷工艺流程及原理	145
5.4.3	丝网印刷的基本材料	146
5.4.4	丝网印刷的主要设备	147
5.4.5	丝网印刷的质量要求和分析	149
5.4.6	丝网印刷的注意事项	149
5.4.7	制盒技术	150
5.4.8	丝印制盒质量控制	153
5.5	切割工艺	154
5.5.1	切割原理	154
5.5.2	裂片原理	155
5.5.3	切割工艺流程	155
5.5.4	切割设备	156
5.6	灌注液晶及封口工艺	156
5.6.1	灌注液晶	157
5.6.2	封口	159
5.6.3	灌注与封口操作注意事项	160
5.7	再排向	160
5.8	光台检测	160

5.9	电测工艺	161
5.10	贴片工艺	162
5.11	LCD 金属引线的连接和加工工艺	164
5.12	盒外丝印装饰图形工艺	166
5.13	包装工艺	166
	思考题	168

第六章 有源TFT-LCD液晶显示面板制造

169

6.1	薄膜晶体管液晶显示器的技术特点	169
6.1.1	TFT-LCD 的主要优点	169
6.1.2	TFT-LCD 的技术特点	170
6.2	TFT 元件的结构及特点	171
6.2.1	场效应晶体管的工作原理	171
6.2.2	TFT 的结构和特点	173
6.3	TFT 型液晶显示器的结构和组成	179
6.4	Array 面板信号传输过程	181
6.5	TFT 有源器件制造中的关键材料	182
6.5.1	单晶硅	182
6.5.2	多晶硅	183
6.5.3	非晶硅	183
6.6	TFT-LCD 的生产工艺流程	184
6.6.1	TFT 阵列制备	185
6.6.2	液晶盒的制备	185
6.6.3	外围电路、组装背光源等的模块组装工艺	186
6.7	薄膜晶体管有源矩阵液晶显示组件的制备	187
6.7.1	TFT 阵列基板制备中的关键工序	187
6.7.2	Array 基板制造流程	196
6.8	成盒工艺	198
6.8.1	TFT-LCD CELL 的结构	198
6.8.2	CELL 工艺流程	199
6.8.3	主要成盒工艺介绍	199
6.9	TFT-LCD 的广视角技术	204
6.9.1	TN+ Film (TN+ 视角扩大膜)	205
6.9.2	IPS (In-Plane Switching or Super TFT)	205
6.9.3	MVA	206
	思考题	209

第七章 液晶显示器模块制造基础

210

7.1	LCM 的基本知识	210
7.1.1	LCM 的定义	210

7.1.2	LCM 的结构和连接方法	210
7.1.3	LCM 分类	212
7.1.4	LCM 构成的主要元器件	215
7.2	LCM 制造	219
7.2.1	LCD 模组 (LCM) 基本架构	219
7.2.2	LCM 工艺概述	219
7.2.3	LCM 工艺流程	221
7.3	LCM 产品检验标准及检验方法	225
7.3.1	LCM 产品检验标准及检验方法	225
7.3.2	LCM 简单故障排除	227
	思考题	229

第八章 液晶显示器制造工艺环境

230

8.1	工艺环境对液晶面板产品质量的重要性	230
8.2	车间洁净控制技术	231
8.2.1	洁净生产环境	231
8.2.2	洁净室的建立	234
8.2.3	净化等级和洁净度	235
8.3	净化原理	236
8.3.1	净化工作台	236
8.3.2	空气调节	237
8.3.3	空气净化	237
8.4	净化厂房的管理	238
8.4.1	净化设施管理	238
8.4.2	LCD 生产过程中的净化等级要求	240
	思考题	240

参考文献	241
-------------	-----

第一章

液晶化学与物理特性

学习目标

1. 了解液晶的化学特性。
2. 了解液晶的物理特性。
3. 重点了解液晶的电导各向异性、介电各向异性、折射率各向异性。
4. 重点理解液晶旋光性。
5. 重点理解光线在液晶中的传播。

1.1 液晶化学特性

液晶的起源是在 1888 年，奥地利植物学家莱尼茨尔 (F. Reinitzer) 在做加热胆甾醇苯甲酸酯结晶的实验时发现，在 145.5℃ 时，结晶熔解成为混浊黏稠的液体，当继续加热到 178.5℃ 时，则形成了透明的液体，如图 1-1 所示，这是人们对液晶认识的开始。德国的物理学家莱曼发现，上述 145.5~178.5℃ 之间的黏稠混浊液体在用偏光显微镜进行观察时，具有双折射现象。于是莱曼把这种具有光学各向异性、流动性的液体称之为液晶。1937 年 Bawden 和 Pirie 在研究烟草花叶病毒时，发现其悬浮液具有液晶的特性。这是人们第一次发现生物高分子的液晶特性。1950 年，Elliott 与 Ambrose 第一次合成了高分子液晶，溶致型液晶的研究工作同时展开。

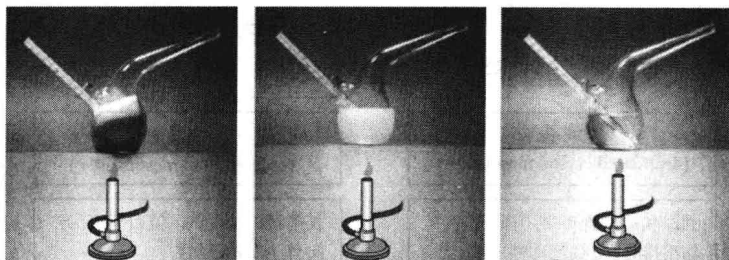
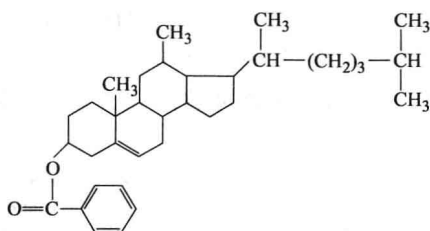


图 1-1 胆甾醇苯甲酸酯加热相变过程

一些物质的结晶结构熔融或溶解之后虽然变为了具有流动性的液态物质，但结构上仍保存一维或二维有序排列，在物理性质上呈现各向异性，形成兼有部分晶体和液体性质的过渡状态，称为液晶态，而这种状态下的物质称为液晶。

液晶在常态下是处于固态和液态之间，从形状和外观看上去都是一种液体，但它的分子结构又表现出固体的形态。不仅如此，其还兼具固态物质和液态物质的双重特性，如图 1-2 所示。像磁场中的金属一样，当受到外界电场影响时，其分子会产生精确的有序排列，如对分子的排列加以适当的控制，液晶分子将会允许光线穿透。光线穿透液晶的路径可由构成它的分子排列来决定，这又是固体的一种特征。在那个年代并没有对于此物质的适当称呼，因此就称之为 Liquid Crystal（液晶，顾名思义就是液态的晶体）。液晶的组成物质是一种有机化合物，也就是以碳为中心所构成的化合物。

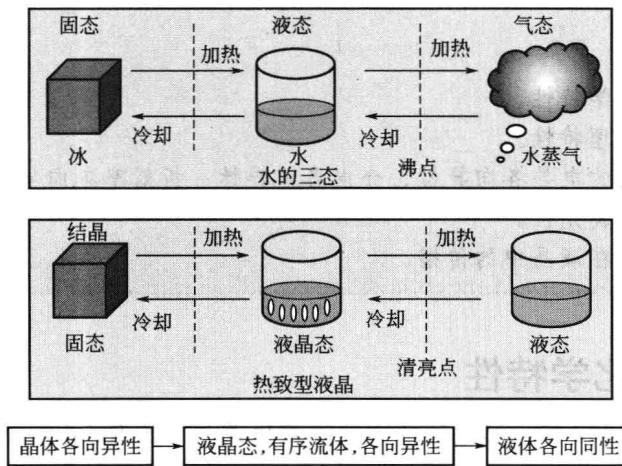


图 1-2 液晶物质的相态变化

1.1.1 液晶的分类

一般常见的物质由结晶状的固体 (crystalline solid) 相变为各向同性的液体 (isotropic liquid)，通常是经由单一过程的相变，但有很多有机物由结晶固体到各向同性液体间却需要经过多个步骤的相变，因此必定存在一个或多个介于结晶固体与各向同性液体间的中间相 (mesophases)。由于这些中间相的分子次序介于结晶固体与各向同性液体间，所以这些相的力学、光学性质和对称性也介于结晶固体与液体之间。

到目前为止，已被发现的这些中间相大致可被区分成塑性晶体及液晶体两大类，如图 1-3 所示。

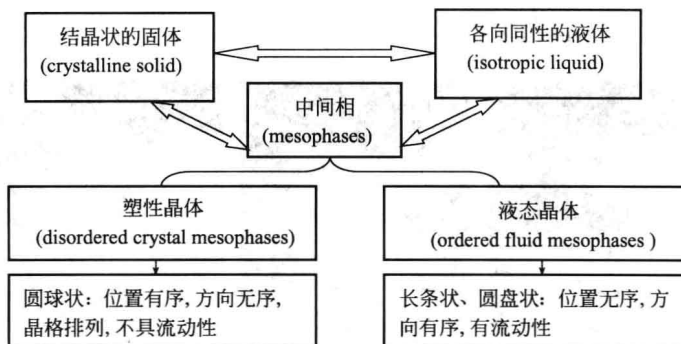


图 1-3 中间相

塑性晶体 (plastic crystals) 其分子形状常为圆球状 (globular), 故易形成分子位置有次序性但方向无次序性的相。因其分子位置仍保留三维晶格排列, 故不具流动性。

液态晶体 (liquid crystals) 简称液晶。由于此相常由长条状 (rod-like) 或圆盘状 (disc-like) 的分子所组成, 故易形成分子重心位置无次序性但方向有次序性的相。由于此相分子重心位置不受限于晶格“位置无序”, 故具有一定程度的流动性。由上述可知, 这些中间相的分子形状是决定其物性的重要因素。

目前液晶依产生相变的原因可分为热致液晶和溶致液晶。热致液晶是指单成分的纯化合物或均匀混合物在温度变化下出现的液晶相。溶致液晶是因溶于溶剂中浓度比例的改变而产生相变。

热致液晶分子形状一般为长条状和圆盘状, 长条状液晶又分为向列型 (nematic) 液晶、近晶型 (smectic) 液晶和胆甾型 (cholesteric) 液晶, 圆盘状液晶又分为柱状相 (columnar) 液晶和向列型 (nematic) 液晶。

典型的长条状有机化合物热致液晶的相对分子质量一般在 $200 \sim 500 \text{g/mol}$ 左右, 分子的轴比 (长宽比) 约为 $4 \sim 8$ 。实验室里最常用的热致液晶有氧化偶氮茴香醚 [PPA, $\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{N}_2\text{O}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{OCH}_3$] 和对甲氧基苄叉对氨基丁苯 [MBBA, $\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{CHN}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}_4\text{H}_9$]。前者的熔点和清亮点分别为 118.2°C 和 135.5°C , 后者是 21°C 和 48°C 。

溶致液晶是两种或者两种以上组分形成的液晶, 其中一种是水或其他的极性溶剂, 在一定浓度溶液出现液晶相。溶致液晶中的溶质在温度变化下常常是稳定的, 因此可以忽略温度引起相变的问题。溶致液晶中的长棒溶质分子一般要比构成热致液晶的长棒状溶质分子大得多, 分子的轴比在 15 左右。最常见的溶致液晶有肥皂水、洗衣粉溶液和表面活性剂等。溶致液晶中引起长程有序的主要是溶质与溶剂之间的相互作用, 溶质与溶质之间的相互作用是次要的。溶致液晶在生物系统中大量存在, 生物膜就具有液晶特征。因此, 溶致液晶的研究对生物物理学颇为重要。

液晶显示器使用的是长条状热致液晶, 包含向列型液晶、近晶型液晶和胆甾型液晶; 又可按显示类型分为 TN 型液晶、STN 型液晶及 HTN 型液晶等; 按清亮点分为普通型液晶及宽温型液晶; 按阈值电压分为低阈值电压液晶、普通液晶及高阈值电压液晶。

(1) 向列型液晶

向列型液晶由长径很大的棒状分子所组成, 如图 1-4 所示, 分子质心没有长程有序性, 分子的重心位置没有次序性。具有类似于普通液体的流动性, 分子不排列成层。它能上下、左右、前后滑动, 只在分子长轴方向上保持互相平行或近于平行, 分子倾向平行于某个共同的方向去排列, 分子间短程相互作用微弱, 属于范德华引力。此类型液晶的黏度小, 应答速度快, 是最早被应用的液晶, 普遍使用于液晶电视、笔记本电脑以及各类型显示元件上。

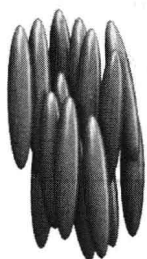


图 1-4 向列型液晶的分子排列

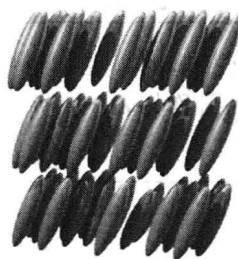


图 1-5 近晶型液晶的分子排列

(2) 近晶型液晶

近晶型液晶由棒状或条状分子组成, 分子排列成层, 层内分子长轴相互平行, 其方向可

以垂直于层面，或与层面成倾斜排列。因分子排列整齐，其规整性接近晶体，具有二维有序。分子质心位置在层内无序，可以自由平移，从而有流动性，但一般而言黏度很大。分子可以前后、左右滑动，不能在上下层之间移动，如图 1-5 所示。由于其有黏度，外加电场的应答速度慢，比较少应用于显示器上，多用于光记忆材料的发展上。

(3) 胆甾型液晶

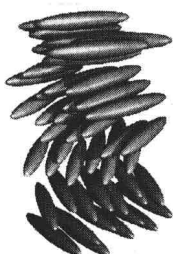


图 1-6 胆甾型液晶的分子排列

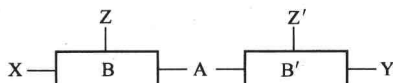
胆甾型液晶由多层向列型液晶堆积所形成，扁平的长形分子靠端基相互作用彼此平行排列为层状结构，长轴在平面内。相邻层间分子长轴取向取决于伸出面外的光学活性基团相互作用，依次规则扭转一定角度而成螺旋面结构，如图 1-6 所示。两取向相同的分子层之间的距离称胆甾液晶的螺距。这类液晶有极高的旋光特性，为向列型液晶的一种，也可以称为旋光性的向列型液晶。因分子具有非对称碳中心，所以分子的排列呈螺旋平面状的排列，面与面之间为互相平行，而分子在各个平面上为向列型，由于各个面上的分子长轴方向不同，即两个平面上的分子长轴方向有一定角度。当两个平面上的分子长轴方向相同时，这两个平面之间的距离称为一个像素。胆甾型液晶像素的长度会随着温度的不同而改变，因此会产生不同波长的选择性反射，产生不同的颜色变化，故常用于温度感测器。

(4) 手性向列型液晶

这是胆甾相液晶的一种，属于非甾体类，具有胆甾相液晶所必需的螺旋结构，但在结构式中不包含胆甾环。它们是把含不对称碳原子的光学活性的烷基或烷氧基等支链连接到一般的向列型液晶化合物的末端而形成的。它们的分子形状、光化学稳定性、介电各向异性、电阻特性等都与向列型液晶相似。在实际应用中常用此类液晶来代替胆甾相液晶。

1.1.2 液晶的化学结构

液晶分子的结构可以简单地表示为：



其中，X、Y 称为末端基团。末端基团是构成液晶所不可缺少的组成部分，是柔软易弯曲的基团。常见的末端基团如表 1-1 所示。




表 1-1 液晶分子的末端基团

末端基团	结构式	末端基团	结构式
烷基、烷氧基	R—, RO—	卤素等	—F, —Cl, —Br, —I, —OF ₃
酯基	ROO—, —OCOOR	氨基等	—NH ₃ , RHN—, R ₂ N—, —NHCOOR
氰基、异氰基等	—CN, —NC, —N=C=O, —N=C=S	醚	—O(CH ₂) _n OR

A 称为连接基团，也称为中心桥键。A 也代表了某些液晶系列。常见的连接基团及由此产生的液晶名称如表 1-2 所示。

表 1-2 常见的连接基团及由此产生的液晶名称

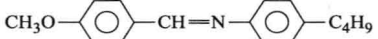


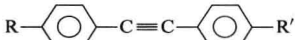
连接基团	液晶名称	连接基团	液晶名称
/	联苯	—N(O)N—	氧化偶氮苯
—CH ₂ —CH ₂ —	二苯基乙烷	$\begin{matrix} O \\ \\ -C-O- \end{matrix}$	二苯酯
—CH=CH—	二苯乙烯	$\begin{matrix} O \\ \\ -C-S- \end{matrix}$	硫代苯酯
—C≡C—	二苯乙炔		
—C=N—	席夫碱		
—N=N—	偶氮苯		

B、B'称为环体系，显示用液晶材料的环体系大多为六元环。环体系是决定分子有无液晶相的一个重要因素。有芳香环的分子不一定都有液晶相，但有液晶相的分子几乎都有一个以上的芳香环。芳香环在固体熔融成液体时保持了分子间的短程吸引力，使分子不至于马上变成各向同性的液体。常见的环体系有饱和的六环()及不饱和的苯环()，或这两者的组合。饱和六元环中的电子是 σ 电子，彼此不共轭，而苯环中则是 π 电子，有共轭作用。电子的共轭作用对液晶的相变及各项物理参数有重要影响。此外还有嘧啶()、四氮苯等杂环体系。

Z、Z'称为侧向基团，常见的侧向基团有一F，—CN，—CH₃等。

典型的液晶材料名称和结构式如表 1-3 所示。

表 1-3 典型的液晶材料名称和结构式

液晶名称	结构式	液晶名称	结构式
席夫碱		苯基环己烷	
氰基联苯		乙炔类液晶	

液晶分子的各种物理、化学性质完全是由这些基团以及这些基团之间的相互作用决定的，因而改善液晶分子的性能，实际上就是改变液晶分子结构中某个基团的属性。

一般认为化合物分子要呈现液晶相，该化合物的分子结构必须满足下述要求。

① 几何形状上液晶分子应是各向相异的，分子的长径比 (L/D) 必须大于 4。

② 液晶分子长轴应不易弯曲，要有一定的刚性，且是线性结构，因而常在分子的中央部位引进双键或叁键，形成共轭体系，得到刚性的线型结构或者使分子保持反式构型，以获得线状结构。

③ 分子末端含有极性或可极化的基团。通过分子间电性力、色散力的作用，使分子保持取向有序。

分子结构的各向异性是化合物具有液晶相态的必要条件。但分子长轴不能弯曲，且为具有刚性的线性结构。

为使液晶分子长度比宽度大许多倍，成为棒状分子，合成时总是采用 1,4-对位取代结构的化合物。反式构型也可使分子呈线型结构，呈现液晶态。顺式构型分子呈弯曲态，没有液晶相出现。片状分子不利于液晶态的形成，因此其中只有极少数的化合物能形成单变性液晶。

如果扩大中心部分成为刚性盘状或椭圆状核心，再同与之相适应的柔性侧链匹配，也可使其紧密堆叠起来形成新的盘状液晶。这些盘状分子二维有序，呈现向列相、胆甾相、柱状相，但是没有近晶相。

中心桥键是构成液晶的重要条件，但无中心桥键也能构成液晶。液晶分子中所含的环，可以是苯环、脂环、杂环和稠环。末端基团也是构成液晶不可缺少的部分，它是柔软易弯曲的基团。

1.2 液晶物理特性

1.2.1 液晶的应用物理特性

由于液晶分子形状具有高度几何异向性(长条状或圆盘状)，导致其分子排列方向具有

秩序性，这一异于各向同性液体的特性也表现在电性、磁性、光学及力学等各方面。当测量其介电系数、磁导率、折射率及黏滞系数等时，将因液晶分子排列方向不同而有所差异。

指向矢 (director)

这是液晶连续体理论中为了描述液晶分子的排列状态和讨论液晶各向异性的物理性质而引入的一个单位矢量，用 n 表示。其物理意义是表示液晶中空间某点附近分子平均取向方向的单位矢量，一般这一方向可以看成是棒状分子长轴或圆盘状分子短轴的择优取向的方向，如图 1-7 所示。

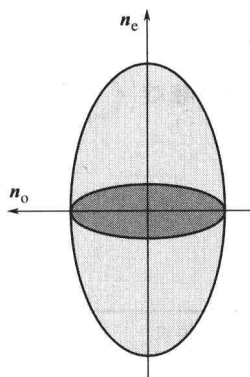


图 1-7 指向矢

液晶材料主要物性参数有介电各向异性 ($\Delta\epsilon$)、双折射 (Δn)、体积黏度 (η)、弹性常数 (K)、相变温度 (熔点 T_m 、清亮点 T_c) 和液晶电阻率 (ρ) 等。在实际应用中，对应液晶材料的特性参数其相应器件特性关系如图 1-8 所示。

混合液晶的物理参数 (如 $\Delta\epsilon$ 、 Δn 、 η 、 K_{33}/K_{11} 等) 对液晶显示来说是非常重要的，但是这些参数常常是相互制约的。例如，为了降低黏度，改善混合液晶的低温性能，常加入一些低黏度的单体液晶，这些液晶一般极性较小， $\Delta\epsilon$ 及 Δn 都不大，因而这些液晶的加入量不能太大，否则将降低混合液晶体系的 $\Delta\epsilon$ ，从而增加阈值电压。在混合液晶的调制过程中，应全面地考虑各个参数间的匹配，不能片面强调一个因素而忽略了其他的因素，尽可能做到所有参数的最佳匹配。

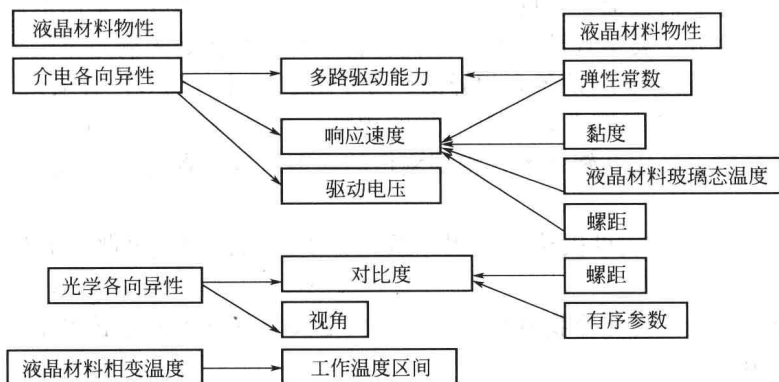


图 1-8 液晶各物理参数与显示技术间的关系

(1) 相变温度 (熔点 T_m ，清亮点 T_c)

液晶材料由晶态变为液晶态的相变温度称为熔点，记为 T_m ，呈透明时的温度称为清亮点，记为 T_c 。

(2) 体积黏度 (η)

流体黏滞系数是相邻流体层以不同速度运动时所存在内摩擦力的一种量度。黏滞系数分为绝对黏滞系数和相对黏滞系数。绝对黏滞系数有两种表示方法：动力黏滞系数和运动黏滞系数。动力黏滞系数是指单位面积的流层以单位速度相对于单位距离的流层流出时所需的切向力，用希腊字母 η 表示黏滞系数，简称黏度，单位是泊 (P)、厘泊 (cP) 或 SI 制的帕斯卡·秒 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)， $1\text{cP}=10\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。由于液晶是各向异性流体，所以其黏滞系数也是各向异性的，标准表示为 $\Delta\eta=\eta_{//}-\eta_{\perp}$ ， $\eta_{//}$ 是长轴方向 (平行) 黏滞系数， η_{\perp} 是短轴方向 (垂直) 黏滞系数。运动黏滞系数是液体的动力黏滞系数与同温度下该液体的密度 ρ 之比，用符号 γ 表示。其单位是平方米/秒 (m^2/s)。相对黏滞系数是某液体黏滞系数与标准液体黏滞系数之比，无量纲。

液晶黏滞系数会对显示器件的响应时间 t_r 和下降时间（或余辉） t_d 产生较大的影响，其表达式如下：

$$t_d = \frac{C \eta z^2}{K_{ii} \pi^2}$$

$$t_r = \frac{4\pi \eta z^2}{\Delta\epsilon U^2 - 4\pi^2 K_{ii}}$$

式中， C 为液晶特性常数， η 为液晶的体黏度系数（动力黏滞系数）； z 为液晶层厚度， K_{ii} 为液晶弹性系数， U 为外加电压， $\Delta\epsilon$ 为介电各向异性。

从应用角度来看，对液晶显示影响最大的参数是液晶的黏滞系数（黏度）。各种液晶显示的响应时间都直接正比于液晶的某一个黏滞系数。液晶的黏滞系数越大，指向矢在外场或自身弹性力作用下，从一个态（如光学上的明态）转变到另一个态（暗态）的时间就越长，液晶作为光开关的开关速度就越慢。

黏滞系数取决于分子的活化能、惯性动量、温度及分子间的吸引力。一般来说，分子长、重的，它的黏性就大。温度对黏性影响最大。

(3) 液晶的各向异性

液晶的分子一般都是刚性的棒状分子，由于分子头尾、侧面所接的分子基团不同，使液晶分子在长轴和短轴两个方向上具有不同的性质，液晶分子是极性分子，由于分子间的作用力，液晶分子集合在一起时，分子长轴总是互相平行的，或有一个择优方向。液晶分子长轴的平均趋向的单位矢量称为该液晶的指向矢。

沿液晶分子长轴方向和短轴方向上的宏观物理性质是不同的，这就是液晶的各向异性的实质。

① 介电各向异性 ($\Delta\epsilon$) 介电常数是液晶材料的最基本的电参数，在各向异性的介质中，可以将介电常数分开成两个方向的分量， $\epsilon_{//}$ 、 ϵ_{\perp} 分别为平行和垂直于分子轴方向上的介电常数。通常，介电各向异性 $\Delta\epsilon$ 定义为： $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$ 。液晶介电各向异性是决定液晶分子在电场中行为的主要参数。

介电常数反映了在电场作用下介质极化的程度， $\Delta\epsilon$ 的数值可正可负。根据实验发现：不同类型的液晶分子，液晶分子的长轴偏向于平行或垂直于分子电偶极矩（电场的方向）。

把偶极矩平行于分子长轴的一类液晶 ($\Delta\epsilon > 0$) 称为正性液晶 (N_p)；垂直于分子长轴的那一类液晶 ($\Delta\epsilon < 0$) 称为负性液晶 (N_n)。这两类液晶的电光效应是不同的，在大部分 LCD 显示屏中，加入的是正性液晶。

当有外加电场时，液晶分子会因介电各向异性为正或是负值，来决定液晶分子的转向是平行或是垂直于电场，决定光的穿透与否。现在 TFT-LCD 上常用的 TN 型液晶大多是属于介电常数正型的液晶。当介电常数各向异性 $\Delta\epsilon$ 越大的时候，液晶的临界电压就会越小，这样液晶便可以在较低的电压下操作。

当液晶分子含有两个以上偶极矩时，其 $\Delta\epsilon$ 值决定于分子中永久偶极矩的矢量和，同向时 $\Delta\epsilon$ 值增大，反向时 $\Delta\epsilon$ 值减小。

液晶分子中偶极矩和液晶分子长轴间夹角 β 值之大小，是决定液晶分子呈现正介电各向异性还是负介电各向异性的关键数值。在垂直于分子轴上各引进强极性基团和分子轴形成约 60° 夹角，平行于分子轴的偶极矩和垂直于分子轴的偶极矩对 $\Delta\epsilon$ 的贡献互相抵消，所以 $\Delta\epsilon$ 较小。

在向列相液晶分子中，通常都含有容易极化变形的苯环，所以沿分子轴方向的极化度大于垂直方向的极化度，因此 $\epsilon_{//} > \epsilon_{\perp}$ 和 $\Delta\epsilon > 0$ 。对于某些系列的液晶，其 $\Delta\epsilon > 0$ ，而且数值比较小， $\epsilon_{//}$ 、 ϵ_{\perp} 都随末端烷基或烷氧基链的增长而降低，随原子数增加 $\Delta\epsilon$ 表现出交替升降的规律性，即为奇偶效应。

液晶介电各向异性是决定液晶分子在电场中行为的主要参数， $\Delta\epsilon$ 影响 LCD 的阈值电压