

# 液晶光学和液晶显示

王新久 著

科学出版社  
北京

---

## 内 容 简 介

本书从液晶物理和化学基础出发,详细介绍了液晶光学,并讨论了各类液晶显示的原理,结构和特性,深入介绍了高端应用中液晶显示的新发展,以及各类光学薄膜的应用。最后介绍了液晶显示的制备、驱动和测量。

本书是液晶光学和液晶显示的基础和进展的学科概述,包含了作者多年研究的成果。适合从事液晶显示和相关材料的研究、开发和生产的科学工作者,工程技术人员,以及光电、电子、物理和化学专业的大专院校教师,研究生和高年级学生阅读。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

液晶光学和液晶显示/王新久著. —北京:科学出版社, 2006  
ISBN 7-03-016762-7

I. 液… II. 王… III. ①液晶-光学 ②液晶显示器 IV. ①O753  
②TN141.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第001998号

---

责任编辑:胡 凯 贾瑞娜/责任校对:赵桂芬

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

**科 学 出 版 社 出 版**

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年2月第 一 版 开本: B5 (720×1000)  
2006年2月第一次印刷 印张: 30 1/2 插页: 1  
印数: 1—4 000 字数: 579 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

# 前 言

液晶显示(LCD)正处于迅速发展的时期,是工业界的新星和经济发展的新亮点。如果说 20 世纪 70 年代诞生的半导体集成电路(IC)产业是近代工业的心脏,那么 20 世纪 90 年代正式出现的 LCD 产业就是近代工业的感官外貌。IC 产业的发展一直遵守著名的 Moore 定律,IC 是以集成度来计算的,每一年半芯片的集成度翻一番;与此同时,IC 硅片的面积增加 15%。LCD 一般以面积计,每一年半 LCD 的基板面积增加 35%;综合来看,LCD 的发展已经可以与 IC 工业媲美。

液晶显示自 20 世纪 70 年代起开始在手表、计算器、仪器仪表等领域得到应用。经过数十年的飞速发展,液晶显示在面积,分辨率,多路寻址能力,亮度,对比度,响应时间,视角,彩色坐标,色度、灰度重复性等方面都有极大提高。当前液晶显示的应用已经扩展到彩色电视(袖珍型、直视式、大屏幕投影电视等),计算机(个人数字助理、袖珍型电脑、笔记本电脑、台式计算机以及计算机工作站等)和手提式、移动式电子产品(移动电话、数码照相机、数码摄像机等)。

液晶显示在 20 世纪 90 年代以前,还不是一个重要的工业领域。然而,到了 2003 年全世界液晶显示的产值超过了 500 亿美元。估计到 2008 年,全球液晶显示的产值将达到 760 亿美元。液晶显示技术,特别是 TFT 液晶显示技术,是 20 世纪人类的杰出成果之一。

我国的 LCD 工业正处于改型、迅速上升的阶段,逐渐从中低档产品向高档产品过渡。而且,高档 LCD 的生产制造基地也从先进国家和地区向我国转移。了解 LCD 发展的趋势,掌握 LCD 的新技术,提升 LCD 的整体水平是发展我国显示工业的重要环节。

本书是作者在多年授课和讲座内容的基础上,结合自身的研究成果综合而成的。同时参考了大量的文献,包括近年来所有国际 SID 会议的最新技术和进展。本书以科学性和技术性为主,同时兼顾可读性;在选材上,力求先进,同时也注意适当的基础性和连贯性。

第 1 章是 LCD 的化学基础。着重介绍与液晶化学、液晶结构和液晶相有关的内容,包括各种液晶相的 X 射线衍射图像。用较大篇幅介绍了液晶的分类,液晶的性质与 LCD 参数的关系,以及液晶混合物的混配规则。

第 2 章是 LCD 的物理基础。以液晶物理的有关内容为主,包括液晶的连续体弹性理论,黏滞理论和液晶动力学,液晶相理论,以及液晶中的缺陷和结构。下面各章都是以这一章作为基础的。

液晶作为一类可以流动的晶体，或者说一种各向异性的液体，它的光学特性是它受到青睐的主要原因。这些光学效应是液晶与生俱来的。第3章循序渐进地介绍液晶的光学效应。应用几种光学方法来分析液晶中的光学现象。例如，用 Poincaré 球表示介绍扭曲液晶盒的导波效应；用 Jones 矩阵方法分析胆甾相液晶的旋光和圆二色性；用 Maxwell 方程分析胆甾相液晶的选择反射。Berreman 矩阵方法则始终贯穿后面各章。还介绍了液晶中常见的两类散射：热涨落散射和微滴散射。

第4章是液晶的各类电磁畸变效应，它们是液晶显示的基础。其包括取向改变效应，流体动力学不稳定效应等。表面锚泊和体锚泊(高分子锚泊)是 LCD 的重要课题，这一部分介绍了锚泊的物理原因、方法、锚泊能量以及测定等。

第5章先后介绍了几乎所有的 LCD 方式。先从导波和双折射两种主要的扭曲型 LCD 谈起，将有关的 LCD 划分为这两类，它们包括 TN、HTN 和 STN，FLC 和 SMFLC，以及散射式和宾主效应等。其中 TN 和 STN 则着墨最多。另外对高分子束缚型一类 LCD 也分类作了介绍。

上述的这些液晶显示也不是白璧无瑕。第6章就从它们的弱点谈起，包括视角小而不对称、彩色重现性差、响应速度不够快、对比度不够高等。针对彩色液晶电视应用而诞生了 MVA/PVA/S-PVA，IPS/S-IPS 和 OCB 等 LCD；针对手机应用，诞生了半透半反式 LCD；针对投影式和头盔式显示应用，诞生了 HTPS 和 LCOS 式 LCD 等。双稳态 LCD 也得到了长足的进步。LCD 电路和驱动技术也积极参入了提高 LCD 性能的行列，LCD 并且开始向柔性显示发展。

LCD 已不再只是当年的手表、计算器显示了，已经发展成为高档的显示产品，因而变得更加精益求精，结构越来越复杂，于是，各种光学薄膜应运而生。第7章就以 LCD 中的光学薄膜和光学元件为题逐一介绍。

第8章简要介绍 LCD 的制备、驱动、液晶和 LCD 的参数测量，也用了较多的篇幅介绍液晶相的表征。

尽管作者做了努力，但是也未必一定能照顾到所有方面，如有错误，请读者指正。

王新久

美国加利福尼亚州帕萨迪那市

2005年1月

# 目 录

## 前言

导论 液晶和液晶显示器的发展	1
第 1 章 液晶化学结构和液晶相	6
1.1 液晶分子	6
1.1.1 液晶一瞥	6
1.1.2 液晶——物质的状态之一	7
1.1.3 液晶分子类型	8
1.2 液晶发展史中几种重要的液晶材料	9
1.3 液晶发展史和液晶的分类	12
1.4 液晶的多相性和液晶的相变	17
1.5 重要的液晶相	19
1.5.1 液晶相的分类规则	19
1.5.2 向列相	20
1.5.3 层状液晶相	21
1.5.4 六方近晶相	25
1.5.5 软晶体相	28
1.5.6 手征性液晶	31
1.5.7 立方相	34
1.5.8 无公度相	35
1.5.9 相变序	36
1.6 液晶化学结构和液晶显示性能	36
1.6.1 液晶化合物和液晶混合物	36
1.6.2 液晶化合物的类型与液晶性质的关系	38
1.6.3 液晶混合物的性质与液晶显示器的性能	51
参考文献	53
第 2 章 液晶的静力学和动力学	55
2.1 液晶的弹性理论	55
2.1.1 指向矢与有序参数	55
2.1.2 液晶中的形变	56
2.1.3 液晶的弹性形变自由能	58

2.1.4	Frederiks 转变	58
2.2	液晶的动力学	61
2.2.1	液晶的黏滞理论	61
2.2.2	液晶分子动力学	64
2.3	液晶的统计理论	94
2.3.1	Maier-Saupe 理论	94
2.3.2	Landau-de Gennes 理论	96
2.3.3	刚棒模型 I——Onsager 理论	98
2.3.4	刚棒模型 II——Flory 理论	105
2.4	液晶的缺陷和织构	112
2.4.1	向错和位错产生的 Volterra 过程	112
2.4.2	向错强度的 Euler 规则	114
2.4.3	向错的能量	115
2.4.4	向错的相互作用	118
2.4.5	面缺陷和点缺陷	121
2.4.6	近晶相液晶中的向错和位错	124
2.4.7	胆甾相液晶中的缺陷	128
2.4.8	液晶中缺陷的同伦群分类	130
2.4.9	液晶的织构	141
	参考文献	141
<b>第 3 章</b>	<b>液晶光学</b>	<b>143</b>
3.1	液晶的光学基础	143
3.1.1	偏振	143
3.1.2	双折射	147
3.1.3	旋光	149
3.1.4	二向色性和圆二色性	150
3.1.5	散射	150
3.2	光在介质中的传播	153
3.2.1	Snell 定律和海市蜃楼现象	153
3.2.2	Maxwell 方程	154
3.2.3	Jones 矩阵方法	156
3.2.4	扩展 Jones 矩阵方法	161
3.2.5	Poincaré 球表示	162
3.2.6	Berreman 矩阵方法	165
3.2.7	其他方法	168

3.3 向列相液晶的光学性质	168
3.3.1 单轴和双轴液晶	168
3.3.2 光吸收	170
3.3.3 扭曲液晶盒的旋光性质	172
3.3.4 非均匀各向异性介质(液晶)的光学	174
3.4 液晶的光散射	175
3.4.1 液晶的外观	175
3.4.2 向列相液晶光散射的详细分析	176
3.4.3 电场和磁场的影响	179
3.4.4 近晶 A 相液晶中的层位置涨落和取向涨落与光散射	180
3.4.5 近晶 C 相液晶的光散射	181
3.4.6 液晶微滴的光散射	182
3.5 胆甾相液晶的光学性质	184
3.5.1 胆甾相液晶的选择反射	184
3.5.2 胆甾相液晶的旋光性	190
3.5.3 胆甾相液晶的圆二色性	193
3.6 液晶的非线性光学	195
参考文献	199
<b>第 4 章 液晶的电磁场畸变效应</b>	<b>200</b>
4.1 液晶在电磁场下的形变	200
4.1.1 液晶的电磁场效应的分类	200
4.1.2 电控双折射效应和垂直排列相畴变效应	201
4.1.3 扭曲液晶盒的电场效应	210
4.1.4 超扭曲液晶盒的电场效应	214
4.1.5 胆甾相液晶的电场效应	221
4.2 液晶形变动力学和液晶流体动力学不稳定性	228
4.2.1 液晶取向变化的弛豫时间	228
4.2.2 液晶中的背流现象	229
4.2.3 向列相液晶的 Williams 畴	230
4.2.4 胆甾相液晶中的流体动力学不稳定性	233
4.3 液晶的锚泊效应	234
4.3.1 表面取向分类	234
4.3.2 表面锚泊效应	236
4.3.3 表面锚泊的理论	239
4.3.4 表面锚泊方法	249

4.3.5 高分子网络的体锚泊效应·····	252
参考文献·····	254
<b>第5章 重要的液晶显示方式·····</b>	<b>255</b>
5.1 平板显示器件·····	255
5.2 液晶显示的分类·····	256
5.2.1 液晶显示的分类·····	256
5.2.2 扭曲型液晶显示器件的分类·····	256
5.2.3 扭曲型液晶盒的光学设计·····	257
5.3 平行排列和垂直排列向列相液晶的电控双折射·····	260
5.4 扭曲液晶显示和超扭曲液晶显示·····	264
5.4.1 扭曲向列相·····	264
5.4.2 高扭曲液晶显示·····	273
5.4.3 超扭曲液晶显示·····	274
5.5 铁电和反铁电液晶显示以及软模铁电液晶显示·····	289
5.5.1 表面致稳铁电液晶显示·····	290
5.5.2 软模铁电液晶显示·····	292
5.5.3 反铁电液晶显示·····	293
5.6 散射型液晶显示·····	294
5.6.1 动态散射·····	295
5.6.2 负性胆甾相液晶显示·····	296
5.7 高分子束缚型液晶显示·····	297
5.7.1 高分子分散液晶微滴显示·····	297
5.7.2 高分子分散胆甾相液晶微滴显示·····	299
5.7.3 高分子致稳向列相液晶显示·····	300
5.7.4 高分子致稳胆甾相织构液晶显示·····	301
5.7.5 高分子增强负性胆甾相液晶显示·····	305
5.8 液晶的宾主效应·····	306
5.8.1 二色性染料·····	306
5.8.2 二向色性染料的有序参数和二色性比·····	306
5.8.3 宾主效应液晶显示方式·····	307
参考文献·····	312
<b>第6章 液晶显示进展·····</b>	<b>313</b>
6.1 高端应用领域的液晶显示·····	313
6.1.1 扭曲和超扭曲类液晶显示的弱点·····	314
6.1.2 视角·····	314



6.1.3	亮度和透过率或者反射率	315
6.1.4	响应速度	316
6.1.5	彩色坐标	317
6.1.6	彩色重现性	317
6.1.7	多路寻址能力	318
6.1.8	重要液晶显示应用的现状和目标	318
6.2	主要的新型液晶显示方式	319
6.2.1	光学补偿弯曲模式	319
6.2.2	共面转变液晶显示	323
6.2.3	垂直取向模式	327
6.2.4	轴对称微结构液晶显示	332
6.2.5	多畴扭曲液晶显示	332
6.3	反射型液晶显示	334
6.3.1	单偏振片反射式液晶显示	335
6.3.2	调节彩色滤色膜的厚度和饱和度	342
6.3.3	半透半反射型液晶显示	343
6.4	双稳态液晶显示	350
6.4.1	表面致稳胆甾相织构显示	350
6.4.2	表面倾斜转变双稳态液晶显示	355
6.4.3	表面方位转变双稳态液晶显示	358
6.4.4	双稳态扭曲向列相液晶显示	363
6.5	液晶微显示	368
6.5.1	反射式硅板液晶显示	368
6.5.2	透射式液晶微显示	369
6.6	柔性液晶显示	371
6.6.1	柔性基板	371
6.6.2	柔性电子学	373
6.7	驱动技术进展	375
6.7.1	过驱动技术	375
6.7.2	间歇式驱动和间歇式背光方式	376
6.7.3	其他电子技术	378
6.8	似纸液晶显示器	379
	参考文献	380
第7章	液晶显示中的光学薄膜和光学元件	381
7.1	玻璃基板和透明导电层	381

7.2	表面定向层	385
7.2.1	聚酰亚胺	386
7.2.2	预倾角	387
7.2.3	光定向	388
7.2.4	多扭曲液晶彩色显示	393
7.2.5	低温表面取向材料	395
7.3	偏振片	395
7.3.1	O类偏振片和E类偏振片	395
7.3.2	非吸收型偏振片	398
7.3.3	宽视角偏振片	398
7.4	彩色滤色膜	399
7.5	相位延迟片	402
7.5.1	单轴和双轴延迟片	402
7.5.2	宽带延迟片	406
7.5.3	扭曲型和混合型延迟片	406
7.6	反射片	409
7.6.1	漫反射片	409
7.6.2	全息反射片	412
7.7	背光源和导光板	414
7.7.1	发光二极管	415
7.7.2	冷阴极荧光灯	416
7.7.3	导光板	418
7.7.4	有极发光二极管	419
7.7.5	电致荧光灯	420
7.8	防反射层和防眩光层	420
7.9	微型透镜阵列	422
7.10	光增强膜	423
7.10.1	周期双层膜光增强膜	423
7.10.2	布儒斯特角方法光增强膜	425
7.10.3	双折射塑料光增强膜	425
7.10.4	胆甾相液晶高分子光增强膜	426
7.10.5	锯齿面光增强膜	428
	参考文献	430
第8章	液晶显示器的制备、驱动和测试	431
8.1	液晶显示的基本制备工艺	431

---

8.1.1 无源液晶显示器的制备	431
8.1.2 TFT 彩色液晶显示器的制备	432
8.2 液晶显示驱动	435
8.2.1 液晶显示的静态驱动和矩阵显示	435
8.2.2 液晶彩色电视的标准	440
8.3 液晶的重要参数及测量	441
8.3.1 液晶相的表征和相变温度	441
8.3.2 黏滞系数	454
8.3.3 介电常数和各向异性	456
8.3.4 折射系数	457
8.3.5 弹性常数	458
8.3.6 电导率	464
8.3.7 胆甾相的螺距	465
8.4 液晶显示对液晶混合物的要求	467
8.4.1 扭曲液晶显示	467
8.4.2 超扭曲液晶显示	467
8.4.3 IPS 和 MVA/PVA 显示	468
8.4.4 铁电液晶显示	468
8.4.5 高分子束缚液晶显示	468
8.4.6 胆甾相液晶显示	468
8.5 液晶显示参数测量	468
8.5.1 液晶盒厚度	468
8.5.2 薄膜的厚度	470
8.5.3 预倾角	471
参考文献	472

## 导论 液晶和液晶显示器的发展

液晶显示作为重要的信息电子产品,变得日益重要。液晶显示重量轻、体薄、功耗小,这些优点使液晶显示迅速发展成为现代信息工业部门的后起之秀,促进了从 20 世纪 80 年代以来世界经济的飞速发展,并迅速在工业和生活的各个领域占领一席之地。可以毫不夸张地说,液晶显示已经与我们的生活和工作息息相关,密不可分。液晶显示自 20 世纪 70 年代起开始在手表、计算器、仪器仪表、汽车加油站等领域得到广泛的应用。经过数十年的飞速发展,液晶显示已经成为工业界的明星。当前液晶显示的主要应用是彩色电视(包括袖珍型、壁挂式、大屏幕投影显示和投影电视等),计算机(包括台式计算机、笔记本电脑、袖珍型电脑和个人数字助理等),以及各种移动式电子产品(如移动电话、数码照相机、摄像机等)。

液晶是液晶显示的心脏,已经诞生了 100 多年。奥地利的植物学家 Reinitzer 在 1888 年从显微镜中观察到一个奇怪的现象,胆甾醇苯甲酸酯在  $145.5^{\circ}\text{C}$  时,融化成一种雾状的液体;在  $178.5^{\circ}\text{C}$  时,突然全部变成清亮的;当冷却时,先出现紫蓝色,不久后即自行消失,物质再次呈浑浊状液体,继续冷却,再次出现紫蓝色,然后固化成白色的结晶体。Reinitzer 对在晶体固态和清亮液态之间出现两个熔点等现象百思不得其解,于是他将样品连同他的实验观察一起寄给德国物理学家 Lehmann。Lehmann 在他自己安装的有热台的偏光显微镜下作了仔细的观察,他的结论是:在  $145.5\sim 178.5^{\circ}\text{C}$ ,胆甾醇苯甲酸酯呈现一种新的物质形态!在研究了几年以后,他给这一物质形态取名为液晶。现在已进一步证实,冷却时胆甾醇苯甲酸酯在  $178.5\sim 145.5^{\circ}\text{C}$  实际上出现了两种液晶态,第一次出现的紫蓝色对应于蓝相液晶,第二次则是胆甾相液晶。蓝相和胆甾相只是迄今已经发现的 20 余种液晶相中的两种。Reinitzer 和 Lehmann 之间的合作诞生了一个新学科。

液晶并不罕见,液晶这一形态已经发展成为一个颇大的物质家族。液晶材料的种类越来越多,数量越来越大,到 20 世纪末已经发现了 5 万多种物质呈液晶相。研究液晶的文章也越来越多,液晶已经发展成为一个重要的学科。1968 年,仅有 100 余篇论文和专利发表;然而在 1996 年有人统计出,当年有关液晶的文章和专利大约为 7000 篇。液晶的产量也越来越高,估计今年将超过 100 吨;销售产值 2000 年已达 2.5 亿美元,这几年更有长足的发展。

液晶发现兴起的研究热潮并没有持续很久,由于缺乏应用前景,以后液晶沉寂了近半个世纪,一直到 20 世纪 60 年代末,1963 年 Williams 发现了第一个液晶电光效应——Williams 畴。1968 年 Heilmeyer 继而发现了动态散射效应,从此诞

生了液晶显示。次年，第一个室温液晶 MBBA 由于具有负介电各向异性的特点，立即应用到动态散射型液晶显示中。在 20 世纪 60 年代出现的 MOS-TFT 和 CMOS 集成电路、透明导电薄膜、纽扣电池等，使得袖珍型的电子产品和电子设备有可能装配液晶显示。从而使动态散射型液晶显示在 70 年代初迅速得到应用，因此，1970 年第一片液晶计算器、第一块液晶手表，1972 年第一台液晶汽车加油站计量显示器相继问世。

另外一个更加重要的发现是晴基联苯室温液晶(5CB 等)，它是 Gray 于 1974 年发明的。5CB 有相当宽的液晶相温度，性能稳定，有较大的正介电各向异性 and 双折射，正好应用于 Schadt 和 Helfrich 于 1972 年所发现的扭曲向列相液晶显示中，从而使扭曲向列相液晶显示得到迅速而广泛的应用。受其鼓舞，相继于 1969 年发现了胆甾相液晶的相变效应；1974 年发现了宾主效应；1980 年出现了铁电液晶显示；1984 年出现了超扭曲液显示；1989 年出现了反铁电液晶显示……

同等重要的是，1971 年美国的 Lechner 第一次提出应用有源矩阵驱动液晶显示，1973 年 Hughes 公司据此制成第一块液晶电视。自 1990 年以后，非晶硅 TFT 液晶显示大量进入实用。从此，液晶的发展势头更加迅猛。自 1996 年开始，液晶笔记本电脑高速发展，液晶移动电话迅速普及；从 2000 年始，液晶显示器全面取代台式计算机监视器；自 2002 年始，彩色液晶电视得到大力发展。就在著者已经要结稿时，Sharp 公司在 2004 年末的一个技术展览会上展示出了迄今最大的 65 英寸<sup>①</sup>直视式大屏幕彩色液晶电视。

在液晶材料和液晶显示发展的同时，液晶的器件理论也得到相应的发展。液晶的连续弹性体理论在经过世界多个研究小组近 20 年的努力后，于 1958 年由英国 Frank 总结出来，在俄罗斯 Frederiks 应用于三类重要的液晶形变后，很好地解释了液晶中的取向畸变与外电磁场的关系；另外一个理论方面的进展是由 Ericksen 和 Leslie 提出的液晶动力学和黏滞理论，它成功地解释了液晶取向和流动的关系；还有 Alt 和 Pleshko 于 1974 年提出了液晶矩阵的最佳驱动方式。这些都为液晶显示的设计和更高层次的发展做好了准备。

很多科学家和工程师为液晶显示的发展做出了重要贡献。法国的 de Gennes 由于在液晶方面的一系列理论贡献而获得 1991 年的诺贝尔物理学奖；英国的 Gray 因为在联苯类液晶材料和近晶相液晶合成方面的成就而获得 1995 年京都奖；美国的 Kwolek 因发明了液晶高分子 Kevlar 超强纤维，而获得 1996 年美国化学工程学会奖；此外，英国的 Warner 和德国的 Finkelmann 也由于他们在液晶高分子网络理论和应用方面的成就共同获得 2003 年欧洲 HP 物理奖。这一切都在推动液晶走向成熟。

---

① 1in(英寸)=2.54cm。

液晶显示是针对阴极射线管而发展出的一种平板显示方式。另外两个比较重要的平板显示技术是等离子体显示和场致发光显示。阴极射线管长期以来一直是最重要的显示器，只是在液晶显示出现后，阴极射线管的至尊地位才受到严峻的、全面的挑战。液晶显示诞生了笔记本电脑，在台式计算机监视器应用上正在全面代替阴极射线管。在普通尺寸彩色电视机方面，液晶显示已经占有很高的份额，正在彩色大屏幕电视方面与等离子体显示竞争。在投影电视和投影机显示方面，液晶显示与阴极射线管和 DLP 显示三分天下。现在，液晶显示几乎占领了全部显示器的半壁江山。

液晶显示在 20 世纪 90 年代以前，还不是一个重要的工业领域。直到 1996 年，液晶显示的产值还只在 20 亿~30 亿美元之间，然而，到了 2003 年则超过了 500 亿美元。液晶显示在多路寻址能力、亮度、对比度、响应时间、视角、彩色坐标、色度灰度稳定性等方面，都得到了极大的提高，终于在 21 世纪初迅速起飞。2004 年第三季度是一个重要的里程碑，液晶显示在电脑终端监视器方面的销量第一次超过传统的显像管。

液晶显示的基板玻璃现已发展到第七代，单片面积达到  $4\text{m}^2$ 。液晶显示器件的发展速度和规模已经可以和半导体集成电路相媲美，并且正在谱写自己的“Moore 定律”。

2001 年，整个显示器工业的产值为 430 亿美元，液晶显示本身约占 1/3 强。而在同一年，半导体元器件的产值约为 1510 亿美元，其他无源电子器件的产值为 570 亿美元，印刷电路板的产值为 360 亿美元，接插件的产值约为 280 亿美元。一年以后，显示器产值已经增长为约 500 亿美元，而液晶显示更骤升到近 230 亿美元。2003 年，全球的液晶显示产值为 550 亿美元，其中有源液晶显示占 86%。估计到 2008 年，全球液晶显示的产值将达到 760 亿美元。液晶显示，特别是薄膜场效应晶体管驱动的液晶显示可以说是 20 世纪一项重要的科技成果。它诞生于 20 世纪 60 年代末，成长于 20 世纪下半叶，开花结果于 21 世纪初。

液晶最早起源于欧洲，大量的液晶材料发现于欧洲。现在，德国的 Merck 公司在合并了瑞士的 Roche 液晶部门和英国的 BDH 以后，已经成为世界几个最大的液晶生产商之一。

液晶显示诞生于美国，薄膜场效应晶体管液晶显示也是在美国首先出现的。然而美国没有很好地保持这个势头，落后于日韩等国。美国很多公司正在另辟蹊径，致力于新型显示器件，包括新型液晶显示。其中最成功的是 TI 公司的数控微镜显示(又称为 DLP 技术)，它正在大屏幕投影电视领域与液晶显示一争高低。

亚洲一直是液晶显示发展的重镇，近来一直居世界领先地位。主要国家和地区包括日本、韩国、中国以及中国的台湾地区。

近 30 年来，日本在液晶显示方面一直在世界上占有绝对的优势。10 年前，

日本几乎囊括了全世界液晶显示产值的 90%。现在日本仍然在液晶显示工业整体环境方面居世界第一。

韩国从 10 年前开始奋起直追,大力投资,无论在产品的技术指标,设备先进性以及产量和产值等方面皆跻身于世界第一位。最主要的韩国企业包括 Samsung, LG-Philips。在液晶显示的战略和规划方面,韩国政府部门负责给项目提供资金并且规范企业的行为,所有的发展战略与具体规划都由企业本身确定,大学和研究机构在这些显示技术的发展方面起重要的咨询作用。韩国政府的贸易工业能源部、信息通讯部以及科技部先后共同资助了大约 40 项研究计划,主要集中在信息显示技术中生产技术的发展方面。液晶显示的研究计划主要包括三个方面:显示模块、显示材料及元件和制造设备,其中 TFT 液晶显示及有关技术是重点之一。约有 14 家公司加入了这些研究计划,在设备的研究和发展方面,国外的公司和有关技术人员也发挥了非常重要的作用。韩国教育部在有关大学建立机构,训练工业界技术人员,同时,建立了液晶显示标准委员会,确定了产品、部件和材料的测量方法。Samsung 是其中的佼佼者,无论是技术、产品档次以及生产规模和生产线的加工能力,现在都排在世界前列。它在 1991 年成立了由约 20 人组成的研发队伍,并在日本建立了一个研究中心。此举对它学习和积累液晶显示技术及经验,以及管理和经营起了良好作用。1994 年 Samsung 建成第一条液晶显示生产线,批量生产 9.4 英寸 VGA 液晶显示;1995 年开发出 22 英寸的液晶显示;1996 年底第二条液晶显示生产线(第三代)试生产;1999 年开发出 24 英寸宽屏幕液晶电视;同年,斥资 9 亿美元建设第四代生产线,与此同时斥巨资研发多晶硅 TFT 液晶显示。发展多晶硅技术使得它在高端液晶显示技术方面居于领先地位。2001 年 Samsung 又开发出 40 英寸液晶显示产品,2003 年展示出 54 英寸彩色液晶电视,2004 年在 SID 会议上展示出 57 英寸彩色液晶电视。Samsung 现约有 13000 名技术人员,在研发方面已经投资 17 亿美元。另一个在液晶显示方面几乎同等重要的公司是 LG-Philips。它是 1999 年由 LG 公司与荷兰 Philips 公司合资成立的。它及其前身分别于 1995 年、1997 年、2000 年、2002 年、2003 年建成五条液晶显示生产线,并且在第五条生产线投产不久,立即开始建设第六条,预定今年投产。它于 2003 年开发出 55 英寸高分辨率彩色 TFT 液晶电视。

近几年来,中国台湾在高档液晶显示方面大力投资,已经出现多个著名的企业,它们的产品开始占有世界上相当的份额。

我国的液晶显示工业在 20 世纪 70 年代末开始建立,主要集中在南方。90 年代初,我国不失时机地开始了超扭曲液晶显示生产,从而进一步提高了我国液晶显示的生产水平。几年前,已经开始具有 TFT 液晶显示生产能力。最近几年,随着经济全面迅速发展,也开始在高档液晶显示方面投资研究。同时,中国的液晶材料也逐渐从无到有,发展壮大,在世界中低档液晶显示市场中占有重要

份额。近几年来，随着日本、韩国和中国台湾，以及一些欧美液晶显示公司纷纷在中国建立合资和独资公司以及研发中心，进一步促进了中国液晶显示工业的技术更新、生产能力的提高和市场规模的扩大。正像液晶显示的市场研究公司 iSuppli/Stanford Resources 最近谈到的，在过去 4 年来中国半导体产业快速发展的过程将在平板显示产业方面再度重演，中国的平板显示器产业将在全球显示器产业中扮演重要的角色。世界普遍认为，中国将是下一代液晶显示的生产大国。



# 第 1 章 液晶化学结构和液晶相

## 1.1 液 晶 分 子

### 1.1.1 液晶一瞥

首先看一下液晶到底是个什么样子。图 1-1 就是从不同尺寸来观察液晶时所看到的图像。

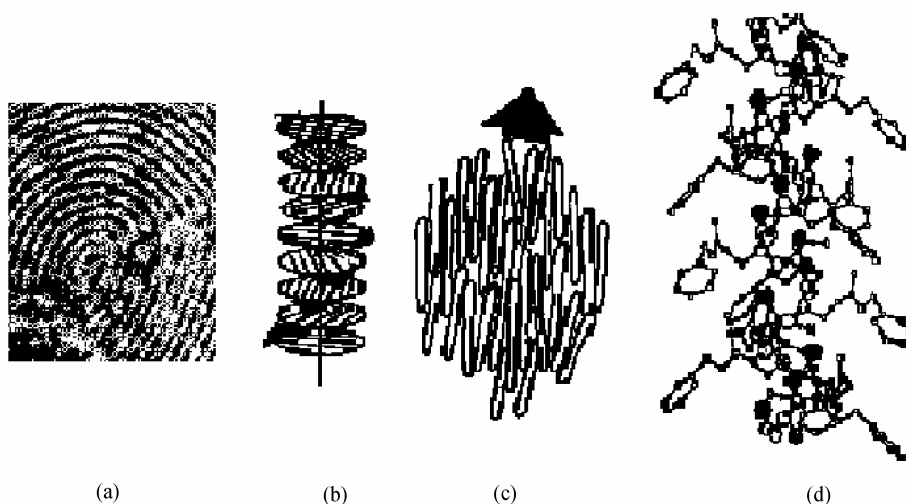


图 1-1 一个胆甾相液晶分子 PBLG 的不同图像

从右到左，实际上就是观察者的观察角度从微观逐渐过渡到宏观，或者说从化学家眼里的液晶过渡到物理学家眼中的液晶，然后再过渡到工程师眼睛中的液晶。最右边图 1-1(d)是一个 PBLG 液晶分子，它是一种刚性大分子。然后过渡到一层液晶分子图 1-1(c)，它们构成胆甾相的一个分子层。这个图 1-1(c)中实际上已经包括了大量的液晶分子。在图 1-1(b)中再进一步发展到胆甾相螺旋结构中的大约一个螺距，这里成千上万个液晶分子构成大量胆甾层，胆甾层与胆甾层之间彼此扭曲。然后过渡到我们在显微镜下看到的液晶，即图 1-1(a)，它是胆甾相液晶的指纹织构。最后还可以过渡到我们肉眼所看到的在试管或者玻璃瓶中的液晶。液晶是一种乳白状的液体，如果是胆甾相，甚至还有可能在

玻璃瓶的壁上看到胆甾相液晶所特有的绚丽的彩色。图 1-1(d)的度量尺寸大约为几个埃，图 1-1(c)大约为 10nm，图 1-1(b)大约为 1 $\mu$ m，图 1-1(a)的尺度为 0.1mm 以内。实际上使用液晶时装液晶容器的大小至少为几个厘米。图 1-1(a)的图像借助显微镜可以观察到，但图 1-1(b)~图 1-1(d)，只能借助更复杂的仪器才能看到。

### 1.1.2 液晶——物质的状态之一

众所周知，物质分为三态：气态、液态和固态。例如，在室温，水是液态，铜是固态，氧是气态。物质的状态在适当条件下可以互相转变。把水加热至 100 $^{\circ}$ C，它会吸热汽化而转变为气体；反之，如果把水降温，当温度低至 0 $^{\circ}$ C 时，水会凝结成冰，而成为固态，同时伴随着放热。在固态(一般指晶态)，组成物质的原子或分子规则紧密地排列着，形成晶格，X 射线衍射会产生很规则的衍射光斑。地球上 98%以上的物质是晶态，而且晶体结构的类型繁多。例如，各种宝石、金属、糖、盐以及雪花等，多数以多晶的形式存在。晶态的物理性质是各向异性的，有固定的熔点(非晶则没有)，外观上两对应晶面的夹角相等。当温度升高时，晶体会由于原子或分子的热运动加剧而使晶格解体，开始出现流动性。这时物质不再具有规则的外形和各向异性的特征了，从而变成液体。在液体中，原子和分子不再整齐有序地排列，但是相互间仍然结合得很紧密，只是不再是最紧密堆积。与晶态相比，它的体积变化不很大，但是不再具有固定的外形，它可以流动，由于重力的作用，其表面呈水平。水无疑是最重要的液体，无机物和有机物的熔体以及液氮、液氦等都是液体。继续加热，超过沸点，物质就从液态转变为气态。这时近程有序也没有了，分子之间的束缚非常小，由于热运动，它充满整个容器，不再具有水平表面了。有时也有特别，有的物质可以直接从固态转变为气态，即升华，如碘；反之，则称为凝华，如水气直接凝结成冰花就是凝华现象的一例。

随着人们对物质状态认识的深入，发现物质除了上述三态外，还存在等离子体、非晶态、液晶态、超导态、中子态等。而液晶态及其应用之一——液晶显示正是本书的中心内容。

液晶态的特征是具有取向有序。图 1-2 为物质的晶体态、液晶态和各向同性液态的示意图。

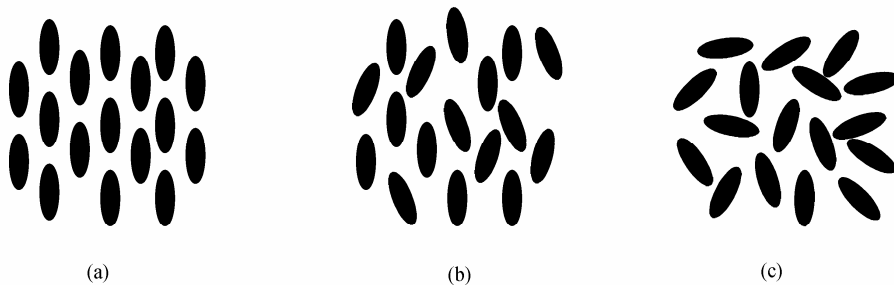
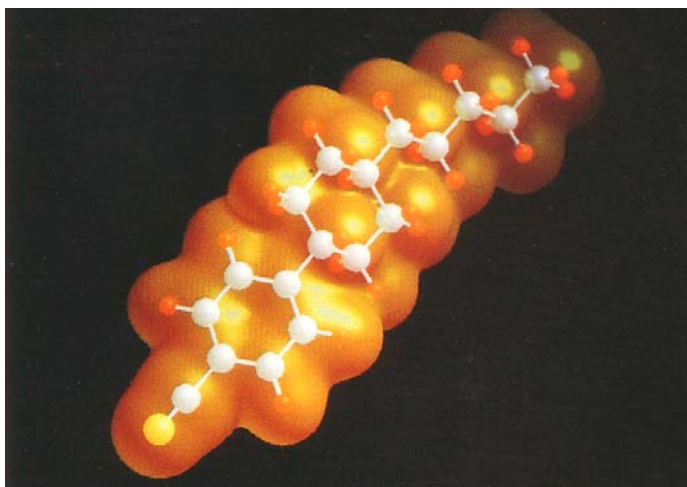
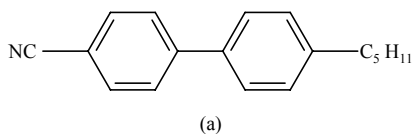


图 1-2 物质的晶体态(a)，液晶态(b)和液态(c)

### 1.1.3 液晶分子类型

许多的分子都可以形成液晶，但它们的形状必须是各向异性的。最典型的是筷子形状分子，还有盘子形状分子，甚至碗形分子。

用在液晶显示器件中最多的的是上述的筷子状或长棒形液晶分子，它们的构象如图 1-3(b)所示。



(b)

图 1-3 液晶分子 5CB 的化学式(a)和构象(b)<sup>[1]</sup>

图 1-3 中液晶是 4-正戊基-4'-氰基联苯(5CB)。为比较起见，图 1-3(a)中还同时

列出了该液晶的化学分子式。它中间有一个刚性的中央集团，两端各有一条比较柔性的端链或者尾链，往往其一是极性基团。理论表明(2.3节)，它的长宽比、长径比或者轴比至少要大于4才可能形成液晶相。大量的实验也证实了这一结论。

这些呈长棒状或长条状液晶物质，小分子量液晶分子的分子量大约为数百道尔顿<sup>①</sup>。这些长棒状液晶分子的基本结构一般可以表示为图1-4。

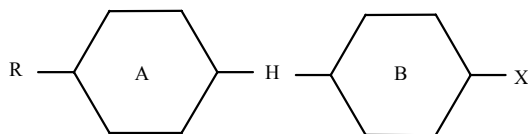


图1-4 长棒状液晶分子的化学结构

它的中心 AHB 是一个刚性的核，核中间有的有一桥键—H—，如—CH=N—，—N=N—，—N=N(O)—，—COO—等。两侧由苯环，或酯环、杂环组成，形成共轭体系。分子的尾端含有较柔顺的极性或者可极化的基团—R，—X，如酯基、氰基、硝基、氨基、卤素等。小分子量液晶分子的长度为20~40Å，宽度为4~5Å。

除此以外，高分子材料也可以形成液晶，这就是高分子液晶或液晶高分子。它们大量应用于高强度高模量纤维、复合材料等领域。双亲性分子也可以形成液晶，它们中间大部分形成的都是溶致液晶。这一类液晶材料在日用化工工业中有极其广泛的应用。

## 1.2 液晶发展史中几种重要的液晶材料

几种液晶材料在液晶和液晶器件的发展中曾经发挥过非常重要的作用。第一个是胆甾醇苯酸酯，整个一类新的物质形态——液晶就是从它身上发现的。非常幸运的是，这个材料正巧是胆甾相液晶。由于胆甾相液晶特有的绚丽的彩色，再加上这个材料在固态和液态之间存在一个以上的熔化温度，才引起 Reinitzer<sup>[2]</sup>和 Lehmann<sup>[3]</sup>的关注。这个材料的结构如图1-5所示。

当时测得的相转变温度分别是145℃(固态-液晶)和179℃(液晶-液体)，距离人们现在使用新的精确测量仪器和方法测量的数据只相差1~2℃，现在的测量值为：固态—146.8℃—液晶—180.6℃—液体。

第二个重要的液晶材料是 MBBA。MBBA 是第一个人工合成的室温液晶，它称为 N-(4-甲氧基苄叉)-4'-正丁基苯胺。它在室温下是液晶相，而且它的介电各向异性是负的，这一特征使它正好应用在几乎同时出现的液晶动态散射效应中。它

① 原子质量单位，1Da(道尔顿) = 1u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup>kg。

本身的向列相液晶温度范围并不很宽,但是与它的同系物EBBA的混合物(40:60)的液晶相温度范围却相当宽(-10~+60℃)。图 1-6 是 MBBA 分子的化学结构式。

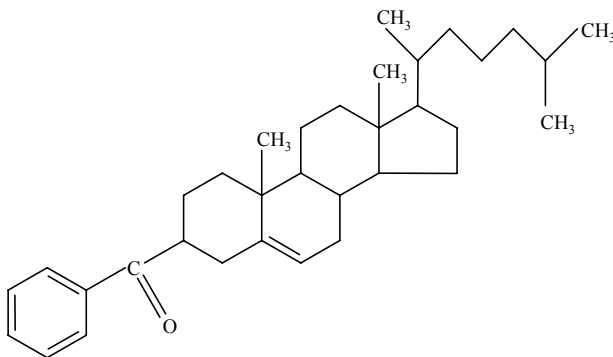


图 1-5 胆甾醇苯酸酯的分子结构

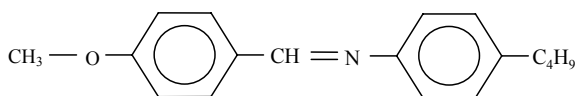


图 1-6 MBBA 分子的化学分子式

它只有一个液晶相-向列相(记作 N), 它的相变序为



其中, I 是各向同性相; Cr 代表晶体相; 数字表示相变温度(单位: °C)。它的有关物理化学性质如表 1-1 所示。

表 1-1 MBBA 的物理化学性质

分子量		267
黏度/cP(25°C)	$\eta_1$	121
	$\eta_2$	23.8
	$\eta_3$	41.6
折射系数(20°C)	$n_e$	1.798
	$n_o$	1.543
	$\Delta n$	0.255
	介电常数(25°C)	$\epsilon_{//}$
	$\epsilon_{\perp}$	5.2
	$\Delta\epsilon$	-0.5
磁化率/[emu/(cm <sup>3</sup> ·Oe)]	$\chi_{//}$	$-5.8 \times 10^{-7}$
	$\chi_{\perp}$	$-7.0 \times 10^{-7}$
	$\Delta\chi$	$1.2 \times 10^{-7}$
弹性系数/dyn(22°C)	$K_{11}$	$5.3 \times 10^{-7}$
	$K_{22}$	$2.2 \times 10^{-7}$
	$K_{33}$	$7.45 \times 10^{-7}$
电导率(25°C)	$\sigma_{//} / \sigma_{\perp}$	1.5

注: 1cP = 10<sup>-3</sup>Pa·s; 1emu = 1 电磁单位; 1Oe = 79.5775A/m; 1dyn = 10<sup>-5</sup>N。

第三个重要的液晶材料是 5CB, 即 4-正戊基-4'-氰基联苯, 它的化学结构分子如图 1-3(a) 所示。这也是一个室温液晶, 它的介电各向异性为正, 它的化学稳定性高, 双折射高, 介电各向异性也高。所有这一切使它非常适用于当时出现的扭曲液晶显示器件。它的有关物理化学性质如表 1-2 所示。

表 1-2 5CB 的物理化学性质

熔点/°C		24
清亮点/°C		35.5
黏度/cP(25°C)	$\eta_1$	129.6
	$\eta_2$	22.9
	$\eta_3$	37.4
折射系数(20°C, 632.8nm)	$n_e$	1.706 3
	$n_o$	1.530 9
	$\Delta n$	0.175 4
介电常数(25°C)	$\epsilon_{//}$	19.7
	$\epsilon_{\perp}$	6.4
	$\Delta\epsilon$	13.3
弹性系数/dyn(22°C)	$K_{11}$	$6.4 \times 10^{-7}$
	$K_{33}$	$10.0 \times 10^{-7}$

第四个重要的液晶材料是苯基环己烷, 它几乎保持了联苯类液晶的所有优点, 此外还具有黏度很低的特点。这样的特性非常适合超扭曲液晶显示。这类的材料还包括双联苯环己烷等, 它们的化学分子式如图 1-7 所示。

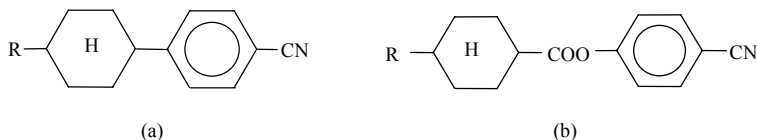


图 1-7 苯基环己烷的典型分子结构

第五个重要的液晶材料是 DOBAMBC, 它是第一个被发现可以呈铁电性的液晶, 它的分子结构如图 1-8 所示。

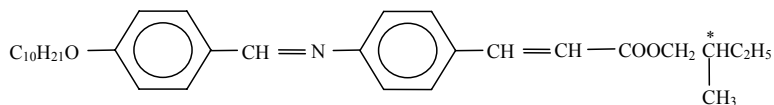


图 1-8 铁电液晶分子 DOBAMBC 的分子结构

后来又发现反铁电液晶，如图 1-9 所示。

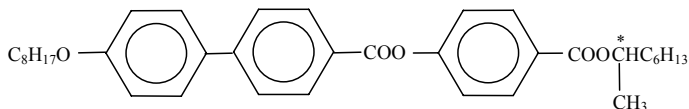


图 1-9 反铁电液晶 MHPOBC 的分子结构

第六个重要的液晶材料是乙炔类液晶，它的结构通式如图 1-10 所示。

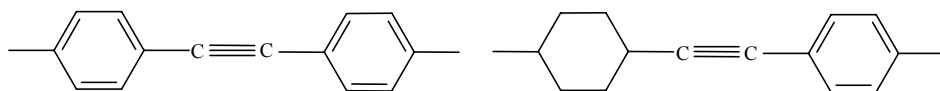


图 1-10 乙炔类液晶的典型分子结构

这个材料的特点也是黏度低，双折射特别高，非常适合应用于超扭曲液晶、IPS 一类液晶显示。

第七类重要的液晶是含氟类的液晶。它的黏度很低，电阻率很高，非常适合于薄膜场效应晶体管驱动的液晶显示，结构如图 1-11 所示。

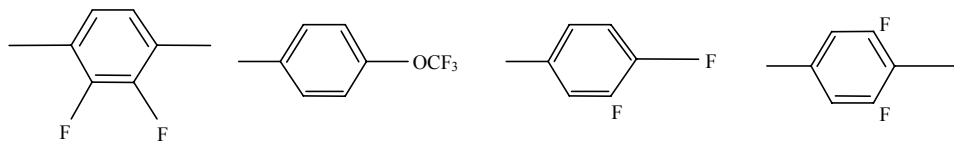


图 1-11 含氟类液晶的典型基团

经过一个多世纪的努力，迄今为止人们已经发现有 8 万多种化合物可以显示液晶相。

### 1.3 液晶发展史和液晶的分类

所有的液晶都可以分为三大类：向列相、胆甾相和近晶相。近晶相的种类又分为很多种。很多液晶相还有对应的手征相，是由具有手征性的分子组成的。

各种液晶相结构确定的年代如表 1-3 所示。表 1-4 中将几乎所有的长棒状分子的热致液晶相根据它们相的结构进行了分类。

表 1-3 各种液晶类型结构确定的年代

年代	液晶类型	年代	液晶类型
1888	液晶被发现	1974	近晶 H 相
1922	向列相、胆甾相、近晶相	1976	近晶 I 相
1922	近晶 A 相	1976	近晶 D 相
1969	近晶 C 相	1978	近晶 F 相
1971	近晶 B 相	1983	近晶 J 相, 近晶 K 相
1972	近晶 G 相	1983	近晶 O 相, 近晶 Q 相
1972	近晶 E 相		

表 1-4 长棒状分子的热致液晶相分类

液晶相分类		正交	倾斜		手征相
			$a > b$	$b > a$	
无平移有序		N			CH
层结构	层内无序	SA	SC		SC*
	六方相	SB	SF	SI	SF*, SI*
软晶体相	圆柱状分子	CrB	CrG	CrJ	CrG*
	椭圆柱状分子	CrE	CrH	CrK	
各向同性相		D			BP

早些时候, 近晶相的命名比较混乱。当时大多数近晶相的命名法是按照发现的编年顺序确定的, 谁发现得早, 谁命名的英文字母顺序也靠前。结果发现, 有时同一类液晶相被赋予了不同的名字; 有时两种不同的液晶相又被赋予了同一个名字。针对这种混乱, 国际液晶学会及国际纯粹和应用化学联合会在原来命名的基础上推荐了新的命名法, 这种命名法主要适用于热致液晶的分类。在表 1-4 中, 就采用了上述新的命名方法。这是热致性液晶的分类, 而且只针对长棒状液晶分子。在下面的讨论中, 基本上遵循上述定义。不过个别时候, 并没有完全遵循上述定义, 而是沿袭当时的定义。

不同的液晶性物质呈现液晶态的方式不同。它们有的因温度差异出现液晶态, 这一类被称为热致液晶; 另一部分则要在溶剂中, 在一定的浓度下才能呈液晶性, 因此被称为溶致液晶。前述棒状分子和盘状分子多是热致液晶, 而双亲性分子则多属溶致液晶。

由盘形分子组成的液晶, 大致也可以分类为一些与上述定义类似的不同的相,



如图 1-12 所示。除此以外，溶致液晶也可以分为若干不同的相类型。但是它们基本上没有在液晶显示中得到应用。只有个别情况，如高分子盘状液晶被用来制作某些液晶显示的补偿膜。

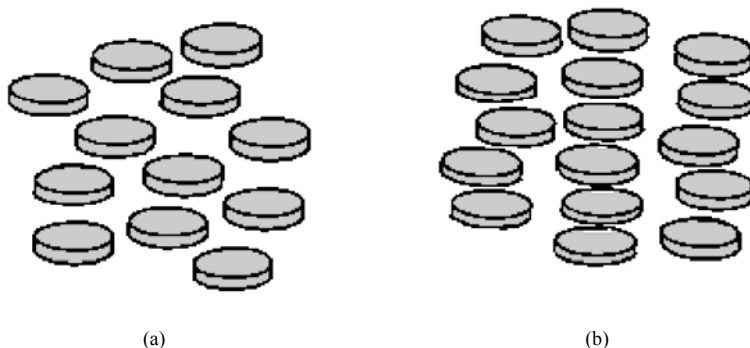


图 1-12 盘状液晶相示意图

(a) 向列相; (b) 柱状相

de Gennes 在其著名的《液晶物理学》<sup>[4]</sup>一书中曾预言盘状分子可以形成液晶相。几年后，印度学者 Chadrasekhar 的实验室首次合成出了这种盘状液晶<sup>[5]</sup>。它的中心有一块刚性的平板状芳香核心，外围连着 3, 4, 6, 8, 9 条较柔顺的侧链。图 1-13 是一个实例。一般盘状分子的厚度在 10Å 以内，直径为数十埃。

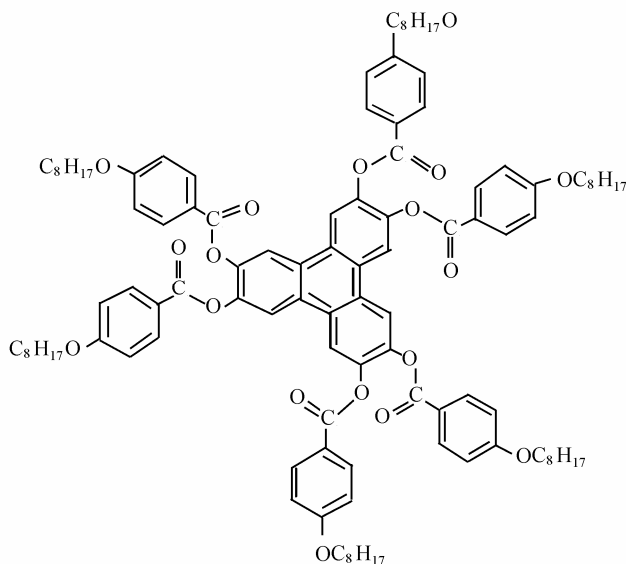
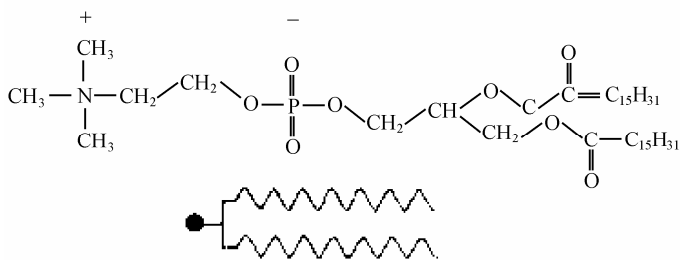
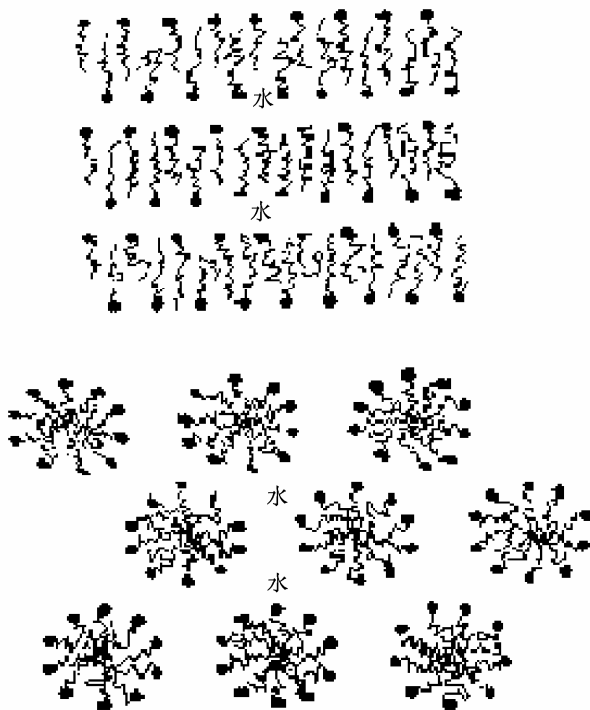


图 1-13 盘状液晶分子

双亲性分子溶于水时，其极性头互相靠近，而另一端非极性基团则与水相接触，如图 1-14(a)所示。图 1-14 中，蝌蚪表示双亲分子，小圆点代表双亲分子的极性头，锯齿线代表疏水基因。根据浓度不同，双亲分子有时聚集形成球，有时形成柱或者形成层状结构，如图 1-14(b)所示。这些液晶相因分子和浓度而异，但都是溶致液晶。



(a)



(b)

图 1-14 溶致液晶分子和溶致液晶相

(a) 分子结构示意图；(b) 溶致液晶相：层状相和柱状相

溶致液晶分子的典型相图如图 1-15 所示。

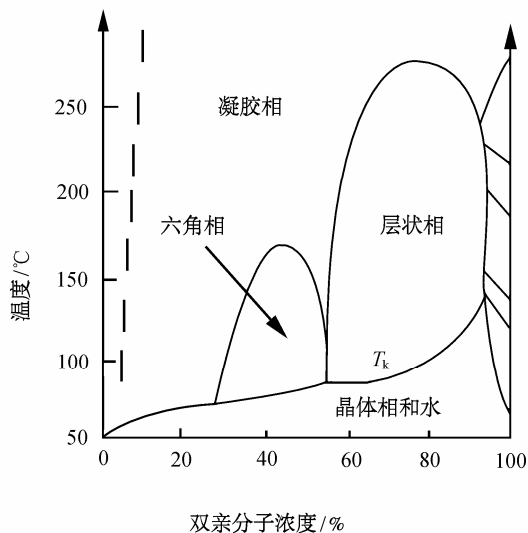


图 1-15 一种溶致液晶——肥皂水的相图<sup>[6]</sup>

液晶高分子是具有液晶性的高分子，它们往往由小分子量液晶基元键合而成。这些液晶基元可以是棒状的，也可以是盘状的；或者是更为复杂的二维乃至三维形状；甚至可以两者兼而有之。它还可以由双亲分子组成。根据液晶基元在分子中的存在方式不同，可以是主链型液晶高分子，其液晶基元位于主链之内；也可以是侧链型液晶高分子，这时，液晶性基元是作为支链链段悬挂在主链之上的，一般情况下侧链型液晶高分子的主干链是相当柔顺的。如果侧链型液晶高分子的主干链和支链上均含有液晶基元，这种高分子被称为组合式液晶高分子。此外，还有一些侧链型液晶高分子，它的侧链是通过其中心，或者是通过某一偏离中心然而又不是尾端的地方与主干部链相接的。图 1-16 中列出了一些液晶高分子的结构。

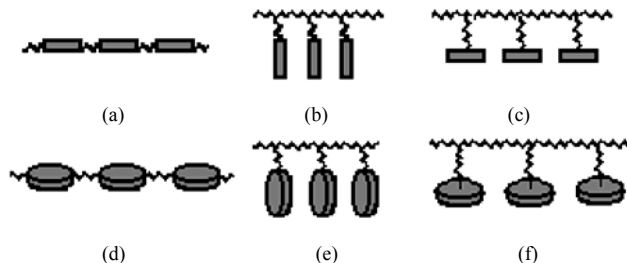


图 1-16 几种典型的液晶高分子示意图

液晶高分子彼此交联可以形成液晶网络，在应力作用下它会产生形变，像橡胶一样，它具有橡胶弹性。如果交联密度高，则会形成液晶塑料。它们都在不同的领域得到应用。热致液晶高分子的实例有液晶性聚芳酯和液晶基元取代的聚硅氧烷等。用来生产高强纤维 Kevlar 的聚对苯二甲酰对苯二胺则属于溶致液晶高分子，其分子式如图 1-17 所示。其他重要的溶致液晶高分子还有纤维素衍生物，以及多肽(如图 1-1 中的 PBLG)和烟草花叶病毒等。

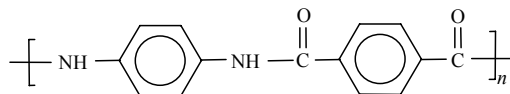


图 1-17 溶致液晶高分子聚对苯二甲酰对苯二胺

## 1.4 液晶的多相性和液晶的相变

同一种液晶化合物在不同的温度下，可以呈现多种不同的液晶相，这就是液晶的多相性。即使同一系列液晶混合物，由于它们碳氢链的长度不同，它们的液晶相的类型也不尽相同。以简单的腈基联苯( $n$ CB)为例，它的分子式如图 1-18 所示。

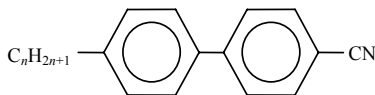
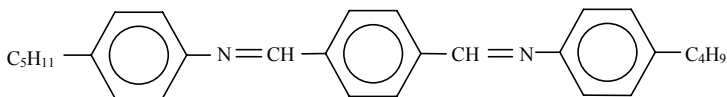


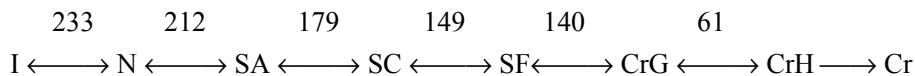
图 1-18 腈基联苯系列液晶分子

当链很短时，没有液晶相( $n = 1, 2$ )，然后开始出现单向性液晶向列相( $n = 3, 4$ )，也就是说只有在温度下降时才有向列相液晶在一定的温度范围内出现。随着碳氢链的进一步增加，然后开始出现互变型向列相( $n \geq 5$ )，再进而出现了近晶相(SA,  $n \geq 8$ )，当碳氢链很长时，向列相消失，如图 1-19 所示。还可以看到，相变温度随  $n$  的变化出现奇偶效应。

这种同系物的相图具有典型性。这种趋势还可以在复杂的液晶化合物中发现，如 N-对戊苯基-N'-对丁苯基对苯二甲亚胺(TBPA)，它的结构要复杂得多，它可以呈现多个复杂的液晶相，它的化学分子式如下：



而相变序为



其中, SA, SC, SF, CrG, CrH 分别表示近晶 A 相, C 相, F 相, 软晶体 G 相和 H 相, 上面的数目字表示温度, 单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

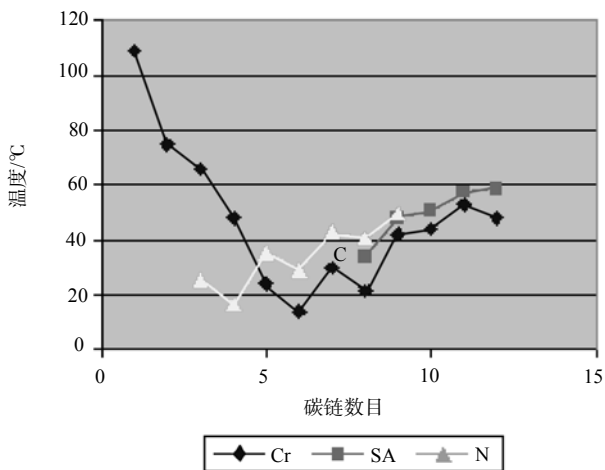


图 1-19  $n\text{CB}$  的相变温度与分子链长的关系

TBPA 的同系物  $\text{TB}n\text{A}$  中, 随着  $n$  的逐渐增加, 最初只有向列相, 逐渐出现了近晶相, 先出现的是简单的近晶相, 然后进一步出现比较复杂的近晶相, 而且近晶相的类型也逐渐增多, 如图 1-20 所示。

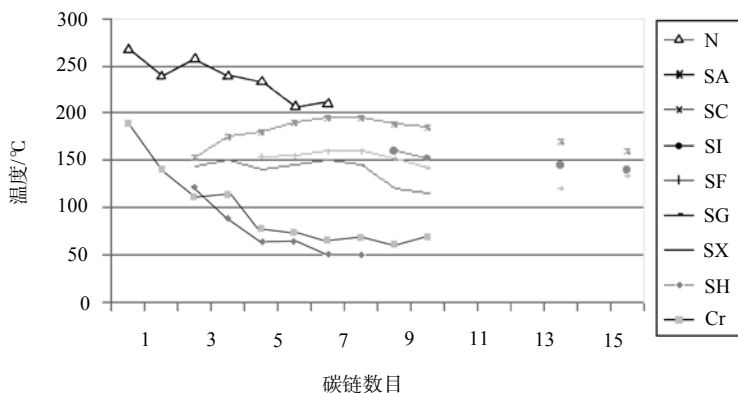
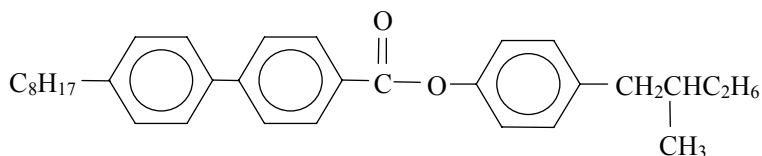
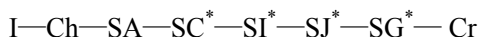


图 1-20  $\text{TB}n\text{A}$  的相变温度与分子链长的关系

还有不少液晶分子由于含有不对称碳原子，从而会出现螺旋结构，如化学结构式为



的液晶性物质(8SI)的相变序为



其中，Ch 代表胆甾相，也可以用  $N^*$  来表示；SI, SJ 代表近晶 I 相和 J 相。上标\* 则代表相应的手征相。

## 1.5 重要的液晶相

液晶的种类虽然很多，但是能够应用于液晶显示中的液晶相只有几种。最主要的是向列相；其次是胆甾相；此外还包括铁电近晶 C 相、反铁电近晶 C 相、近晶 A 相和手征性近晶 A 相等。

下面逐一介绍这些液晶相的分类和结构特征。关于液晶相的判定，将在第 8 章中提到。

### 1.5.1 液晶相的分类规则

物质中存在两种基本的有序性：取向有序和平移有序。低温时，物质呈晶态。晶体中，原子或分子规则地周期排列，取向和位置(平移)都有序。如果将该物质加热，它可能沿着两个途径转变为各向同性液体：一是先失去取向有序，同时保留平移有序，而成为塑晶；另一条途径是先失去平移有序，而保留取向有序，这一类材料就是液晶。实际上，将液晶物质降温时，它在保持取向有序的同时，不一定立刻完全丧失(三维长程)平移有序。所有的液晶相都具有取向有序，但是(除了向列相液晶外)不同的液晶相有不同程度的平移对称性。除了以上两种基本的有序性外，还有另一类重要的有序性——键取向有序性，这在讨论液晶六方相时有重要意义。图 1-21 是取向有序性、平移有序性和键取向有序性的示意图。