

国家九五重点图书

液晶显示技术



刘永智 杨开愚等 编著

多媒体信息
显示应用技术丛书



电子科技大学出版社

☆多媒体信息显示应用技术丛书☆

液晶显示技术

刘永智 杨开愚 等 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液晶显示技术/刘永智,杨开愚等编著. —成都:电子科技大学出版社,2000.12

(多媒体信息显示应用技术丛书)

ISBN 7—81065—570—1

I. 液... II. ①刘...②杨... III. ①液晶—显示 IV. TN27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 85786 号

内 容 提 要

液晶显示作为平板显示与大屏幕显示的一项重要技术,目前发展最快,应用最广,成为电子信息产业的支柱性产业之一,受到普遍关注与重视。

本书立足于液晶显示的最新发展,全面、系统地介绍了液晶显示所涉及的材料、器件工作原理与工作模式、液晶驱动与写入方式、广视角化技术、彩色化技术、驱动电路、器件结构与主要制造工艺以及液晶显示的应用和未来发展,其中对 TFT 驱动技术特别是低温 p-Si TFT 技术、广视角化技术和新的取向技术进行了较深入的介绍,其他一些新技术如反铁电液晶显示技术、硅衬底的 LCOS 技术等也进行了介绍。该书可供从事液晶显示器设计、制造的科技工作者、工程技术人员以及高等学校师生阅读,也可供从事液晶显示应用和材料制造等科技人员的参考。

液晶显示技术

刘永智 杨开愚 等 编著

出 版:电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号,邮编 610054)

责任编辑:徐守铭

发 行:新华书店

印 刷:新都华兴印务有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张 22.125 字数 538 千字

版 次:2000 年 12 月第一版

印 次:2000 年 12 月第一次印刷

书 号:ISBN 7—81065—570—1/TN·25

印 数:1—3000 册

定 价:28.80 元

前 言

液晶显示(LCD)作为液晶——这一特殊材料的一项最重要的应用,从液晶特性发现不久就一直得到人们的广泛关注。近几十年,特别是最近十年来信息技术的飞速发展以及人们对信息显示方式的不断追求,液晶显示得到了最迅猛的发展。今天,液晶显示正以多姿多彩的形态展示在人们面前,它的许多产品由于其优异的特性使其正成为时尚的追求,以及商店里炙手可热的商品。

CRT 显示开创了信息显示的先河,使电子技术进入了新的时代,特别是在彩色电视与计算机终端彩色显示中的应用,将 CRT 的巨大作用展现得淋漓尽致,“信息显示”已经深深地印记在人们心里。但是,随着 CRT 应用的广泛延伸,人们又开始对 CRT 产生了遗憾,渴望新的显示器诞生,期望一种显示品质如同 CRT 一样,而又具有体积小、重量轻、工作电压低、功耗小的新产品。液晶显示技术正是在这样的需求环境中得到提升的。从 20 世纪 70 年代最早的低档 TN 型液晶显示器用于钟表、计算器、仪表等显示开始,到 20 世纪 80 年代初中档 STN 型液晶显示的出现,液晶显示就已开始步入产业化进程。随着 AM-LCD 特别是 TFT-LCD 研究的发展,日本一些国家把 TN-LCD 的生产大举转移到了亚洲,特别是中国沿海,到 20 世纪 80 年代末中国已拥有了液晶显示产业。尽管那一时期 TFT-LCD 为显示品质与成品率等一系列问题所困扰,还在奋争之中,学术界与产业界中一些人对液晶显示抑或认为其不屑一顾,抑或将取代 CRT,因而争论不休,但是不论如何,一个不可否认的事实,即以液晶显示为代表的新型显示——平板显示正向我们迎面走来。今天,当人们满心欢愉地使用便携式计算机、移动电话、手机、数字照像机、掌上电脑与个人数字助理机(PDA)等现代信息产品的时候,谁也不会再怀疑液晶显示改变我们生活的魅力。大屏幕显示、平板显示代表着显示技术发展的方向,液晶显示正以前所未有的冲击力向这一方向迅猛发展。可以毫不夸张地说,液晶显示已成为 CRT 最有力的挑战者与竞争者,已在或正在一些领域取代 CRT,液晶显示与 CRT 显示两大产业并存发展的时期正在到来。

多年来,经过国内外无数的科学工作者与工程技术人员的锤炼,液晶显示技术已逐步发展形成为一门新兴的电子科学技术,它是指导液晶显示研究与产业发展最重要的理论与技术基础。特别是近十年来,一些学者与科技工作者在总结自己与前人经验基础上曾陆续发表了一些手册与编著,这些出版物对推进液晶显示发展起到了重要作用。随之而来,“液晶电子学”、“液晶显示技术”等课程已相继进入了高等学校与企业的课堂。一些高等学校不失时机地将液晶显示作为培养学生的一个重要专业方向,于是有关的教材也开始问市。与此同时,许多产业界的科技同仁也都希望有更多的关于液晶显示的科技新书。在这一新形势下,正值电子科技大学出版社获得国家新闻出版署批准出版一套高科技重点丛书,于是我们下决心编著了这本“液晶显示技术”。

本书由刘永智教授与杨开愚教授两人共同主持编著,全书共分八章。第一章“显示用液

晶材料”、第七章“液晶显示器制造技术”由方官久编写,第二章“液晶显示原理与工作模式”、第三章“液晶显示器件的驱动和寻址方式”、第六章“液晶显示中的宽视角化技术”由杨开愚编写,第四章“LCD的驱动电路”由黄子强编写,第五章“彩色显示”由杨健君编写,刘永智编写“绪论”与第八章“液晶显示的应用与发展”。

本书在编写过程中结合液晶显示产业发展的实际需要突出工程技术特点与难点,并尽可能反映最新的成果,因此有关液晶化学与物理以及详尽的数学分析推导等方面知识没有作过多的介绍。与此相反,我们对目前液晶显示器发展带有方向性的一些问题如驱动与寻址、彩色化与宽视角化以及液晶显示发展都作了较多的分析和讨论。但是由于时间仓促,加之我们的经验和知识又都十分有限,除主编外全都是年轻的科研骨干和教师,因此,我们仅以此书表达我们对液晶显示的热爱,并以此书供同行们饕餮,尚有错误和疏漏,敬望广大读者与同行批评与指正。本书所引用的参考文献多达200余篇,受篇幅所限,只列出主要参考书目,敬请见谅。

本书可供从事液晶显示器研究与设计、制造的科学工作者与工程技术人员以及高等学校相关专业的师生阅读,也可供从事液晶显示材料与液晶显示器应用的有关科技人员参考。

本书的出版得到不少同仁特别是产业界的关注与支持,在此表示感谢。

作者于成都
2000年11月

目 录

绪论 (1)

第一章 显示用液晶材料

1.1 液晶的属性..... (5)

1.2 液晶分类、结构特点及形成液晶条件 (6)

1.3 液晶化合物..... (8)

 1.3.1 向列相液晶..... (8)

 1.3.2 近晶相液晶..... (10)

 1.3.3 胆甾相液晶..... (12)

1.4 实用混合液晶..... (13)

1.5 二向色染料和手性剂..... (16)

第二章 液晶显示原理与工作模式

2.1 液晶电光特性与液晶显示..... (17)

 2.1.1 偏振光的旋转..... (17)

 2.1.2 双折射性..... (19)

 2.1.3 吸收二色性..... (20)

 2.1.4 光散射性..... (21)

2.2 TN 工作模式 (23)

 2.2.1 TN-LCD 的基本构成及工作原理 (23)

 2.2.2 非激活态的光学性质..... (25)

 2.2.3 激活态的光学特性..... (28)

 2.2.4 视角特性..... (31)

 2.2.5 材料和器件参数对 TN-LCD 光学特性的影响 (33)

 2.2.6 偏振片帖合角度的最佳化..... (36)

 2.2.7 TN 模式中两种显示方式 (37)

2.3 STN 工作模式 (38)

 2.3.1 STN-LCD 的结构和工作原理 (39)

 2.3.2 非激活态光学特性..... (40)

2.3.3	激活态光学特性	(41)
2.3.4	STN 系器件的视角特性	(43)
2.3.5	STN 器件电光特性的滞回现象	(44)
2.3.6	材料和器件参量对器件光学特性的影响	(44)
2.3.7	STN-LCD 的黑白化技术	(48)
2.4	铁电液晶系液晶显示(FLC-LCD)	(56)
2.4.1	体效应型器件($d/z_0 > 1$)	(58)
2.4.2	表面效应型器件($d/z_0 \leq 1$)	(64)
2.4.3	反铁电性液晶(AFLC)	(85)
2.5	液晶-聚合物复合膜显示	(92)
2.5.1	PDLC(NCAP)模式	(93)
2.5.2	PNLC 模式	(110)
2.5.3	高分子液晶/低分子液晶复合膜	(115)
2.6	其他工作模式	(116)

第三章 液晶显示器件的驱动和寻址方式

3.1	静态驱动方式和动态(时间分割)驱动概念	(133)
3.2	直接矩阵方式	(136)
3.2.1	直接矩阵结构及其工作方式	(136)
3.2.2	直接矩阵驱动方式中的行间串扰	(138)
3.2.3	减小行间串扰的方法	(139)
3.2.4	STN 器件视频显示的驱动方法	(145)
3.2.5	SSFLC 器件的驱动方法	(152)
3.2.6	透明电极电阻率的确定	(158)
3.3	有源矩阵方式	(159)
3.3.1	二端子型 AM 方式	(160)
3.3.2	三端子(FET)AM 方式	(169)
3.3.3	其他三端 AM 方式	(203)
3.3.4	PALCD(等离子寻址液晶显示)	(204)
3.4	射束寻址方式	(207)
3.4.1	光写入方式	(207)
3.4.2	激光束热写入方式	(212)
3.4.3	电子束写入方式	(215)

第四章 LCD 的驱动电路

4.1	LCD 驱动电路的基本构成	(217)
4.1.1	7 段数码 LCD 的静态驱动电路	(217)

4.1.2 动态 LCD 的驱动电路	(219)
4.1.3 LCD 驱动电压的确定	(222)
4.1.4 液晶的频率特性对显示的影响以及倒相频度的确定	(223)
4.2 动态 LCD 驱动电路的实践	(225)
4.2.1 最佳偏压比的范围	(225)
4.2.2 复线寻址技术(Plural Line Address, 简称 PLA)	(226)
4.2.3 双幅矩阵和双重矩阵	(228)
4.2.4 特殊图案的矩阵显示	(230)
4.3 灰度图像的显示	(230)
4.3.1 有源矩阵 LCD 的驱动电路	(230)
4.3.2 无源矩阵 LCD 灰度显示的电路原理	(234)
4.4 LCD 专用驱动集成电路例	(237)
4.4.1 用于笔段显示的动态驱动 LCD 专用 IC 实例	(237)
4.4.2 矩阵显示 LCD 的驱动电路实例	(240)
4.5 LCD 模块的构成	(244)

第五章 彩色显示

5.1 彩色显示的基础知识	(248)
5.2 单色显示	(254)
5.3 多色和全色显示	(260)
5.4 彩膜制造技术	(268)

第六章 液晶显示中的宽视角化技术

6.1 像素分割方式	(273)
6.2 光学补偿膜(OCF)方式	(278)
6.3 宽视角液晶工作模式	(285)

第七章 液晶显示器制造技术

7.1 液晶显示器一般制造工序	(291)
7.1.1 制造工艺流程	(291)
7.1.2 液晶显示器品质与制造工艺	(298)
7.2 部件与外围材料及制造	(299)
7.2.1 基板	(299)
7.2.2 透明电极	(299)
7.2.3 取向膜	(304)
7.2.4 偏振片	(316)
7.2.5 液晶显示用光源	(319)

7.3 液晶显示器件参数特性的测试..... (324)

第八章 液晶显示的应用与发展

8.1 直视式显示及应用..... (327)

8.2 投影显示及应用..... (330)

8.2.1 液晶投影显示与 CRT 投影显示的比较 (331)

8.2.2 LCTVP 投影显示的基本原理与结构 (332)

8.2.3 液晶投影显示的关键部件..... (334)

8.3 液晶显示的发展..... (339)

8.3.1 液晶显示发展的主要方向..... (339)

8.3.2 反射型 LCD 及其发展 (343)

主要参考书目 (346)

绪 论

今天,液晶显示(LCD)已广为人们所熟知,它多姿多彩的应用为当今的信息社会增添了无数斑斓。作为最重要的一种应用,液晶显示伴随液晶的诞生经历了漫长的发展道路。早在1888~1889年,奥地利植物学家 F. Reinitzer 与德国物理学家 O. Lehmann 共同发现了第一种液晶材料——胆甾醇苯甲酸酯(Cholestery benzoate),从此液晶(英文名 Liquid Crystal, 法文名 Cristanx Liquides)这一新型材料得到许多科学家的关注,获得迅速发展。还在20世纪20年代人们就已合成出300多种液晶,并完成了至今仍应用的近晶相、向列相和胆甾相的液晶分类。从30年代开始,众多物理学家开展了液晶物理特性的研究,首次揭示了液晶的各向异性特性以及在外场(电或磁场)作用下向列相变形及其阈值特性。这些工作为液晶的应用研究奠定了良好基础。可以说从60年代起即开始了液晶应用的研究,在许多研究中美国科学家 G. H. Heilmair 的工作最具代表意义,他关于动态散射模式(DSM)的发现推动了液晶显示的发展。从这时起,许多研究人员就一直致力于寻找新型液晶显示模式并努力改善其性能的工作。到70年代中期,美国和日本都已能制作采用 DSM 的手表和计算器。在这期间,宾主(GH)模式、相变(PC)模式,电控双折射(ECB)模式相继出现。而由 J. L. Ferguson、M. Schadt 和 W. Helfrich 发明的扭曲向列(twisted nematic; TN) LCD,由于其低电压、低功耗、长寿命等特点而得到迅速发展,不仅广泛用于计算器、手表,而且开始用于各种仪器仪表以及汽车表盘显示等。直至今日,TN 模式仍广泛用于各种低档的液晶显示器。随着 LCD 技术的发展,人们期待着利用液晶显示技术发展电视机与计算机终端显示器。无疑,这给 LCD 研究提出了一系列新的要求,即增加信息显示容量,增大显示面积,提高对比度与分辨率,实现全色化。TN-LCD 由于其阈值电压特性不够陡峭从而妨碍其获得大容量、高画质矩阵驱动方式的应用。因此,提高对比度与响应速度是 LCD 发展急待解决的问题。这一问题的提出促使人们从液晶材料、液晶盒结构乃至驱动方式等方面去进行研究,直到80年代初,LCD 应用的前景依旧不很明朗。只是到1983年 T. Scheffer、J. Nehring 和 G. Waters 等发明超扭曲(Super twisted nematic; STN) LCD 以及 P. Brody 在1972年提出的有源矩阵(Active matrix; AM)方式的重新采用,LCD 的发展才又走出了低谷。到80年代末90年代初,全色 AM-LCD 采用 a-Si TFT(非晶硅薄膜晶体管)结构已作到 1000×1000 像素,14in; p-Si TFT(多晶硅薄膜晶体管)的 AM-LCD 也实现商品化;3~6in 的小型显示器件许多公司都能提供。这时期,STN-LCD 也能提供 10in 黄、蓝模式产品,并逐步向黑白显示过渡。1980年 N. Clark 和 S. Lagerwall 以及 1983年 K. Koshino 相继发明铁电液晶(FLCD),由于所具有的存储特性与高速响应特性,使其有可能进一步增大显示容量从而受到广泛关注。在 FLCD 出现不久即做出 14in, 1000×1000 像素的器件。随着直视式 LCD 的发展,为了获得更大显示尺寸,投影式 LCD 的研究被提上日程。到60年代末70年代初,利用光电导效应的光寻址法与利用热光效应的激光束热写入和矩阵驱动热写入相继研究成功,这使液晶显示向大画面显示迈出了一大步。

LCD 作为一门多学科综合应用技术,这些年的发展有赖于材料、高分子化学、光学、薄膜技术、微电子技术及其相关的工艺等技术的发展。正是由于液晶材料、玻璃基板、透明电极、分子取向膜、衬垫、偏振片、彩色膜、背光源、薄膜晶体管、驱动 IC 以及它特有的工艺与测试设备的不断改进和发展才使 LCD 拥有辉煌的今天。

LCD 能有今天的发展,这与它所具有的一系列优点密不可分,与人们熟知的 CRT 相比较,其突出的特点主要是:

1. 低工作电压与低功耗

LCD 特别是反射式 LCD 是目前所有各类显示器中单位面积功耗最低的器件。对角线 53cm(21in)的 TFT-LCD 功耗还不到 15W,而同样尺寸的 CRT 功耗则为 69W,至于普通反射式 LCD 因为无背照光源,仅借助外界光进行显示其功耗就更微不足道了。与此同时 LCD 有很低的工作电压,这使得它能够用 CMOS 驱动。因此,在许多情况下 LCD 可用电池供电,甚至长时间工作,这为 LCD 的广泛应用创造了良好条件。

2. 轻薄、平板化

LCD 的这一特点使它非常适于制造衣袋式、便携式产品,并成为平板显示最重要的技术之一。从大至 20 几英寸的壁挂电视到小至 BP 机显示器,许多产品将 LCD 的这一特点展现得淋漓尽致。

3. 显示方式灵活

LCD 显示方式多样化。尺寸从小至电子表,大至壁挂电视直至投影电视,其方式可显示文字、图形以至图像,色彩可为单色、多色或全色,可笔划型、固定型或矩阵型,如此众多的显示方式,使它不仅能适应 CRT 已有的许多应用,而且拥有许多 CRT 不能满足的显示用途。

4. 无闪烁和 X 射线辐射

在办公自动化进程中,显示器的人机工学设计十分重要,LCD 由于无闪烁、抖动、无 X 射线辐射与静电等作用,因而是最好的选择对象。

5. 采用矩阵选址有利于数字技术应用

除此之外,LCD 还具有结构简单、紧凑、无故障时间长等特点。LCD 的这些特点为它的迅速发展与广泛应用创造了十分良好的条件。LCD 也存在一些缺点,尽管它向 CRT 提出了全面挑战,但是就满足高品质、大容量显示与获得更广泛应用的要求来说,它的视角、对比度、响应速度以及低温工作特性等都还需作进一步改进。

近年 LCD 的应用得到十分迅速的发展,与 CRT 显示不同,LCD 的多种显示方式相互并行,从低档的 TN 到中档的 STN,以及技术难度最大的 FLC、AM-LCD 的各类产品同时不同的应用场合发挥其作用。TN 型 LCD 主要用于电子表、计算器,各种低级的小型矩阵显示等,目前投入研究力量不多,其生产大部转移到亚洲特别是中国,年产值由 90 年代初占有的 40%逐年下降,随着通信产品与家电市场增长,其销售份额稳定在 5%左右。STN 型 LCD 广泛用于文字处理机、传真机、游戏机、电子辞典、寻呼机、移动电话等,前几年曾看好便携式计算机市场,但随着 TFT-LCD 性能、价格的改进已逐年退出。它主要占据中、小尺寸单色矩阵显示市场。其研究主要是发展低成本多色的各种 STN 模式,如 DSTN、单层膜或双层膜补偿 STN、负性 STN 以及多色 STN 等。FLC 目前作为商品应用还不多,仍然处于继续开发阶段。TFT-LCD 是 AM-LCD 的典型代表,其研究最活跃、发展最快,应用增长也最迅速。这些年它除像质与显示容量得到进一步提高外,更多的主要得益于生产成本的降低与

成品率的提高。可以说它在便携式计算机、摄像机与数字像机监视器等方面应用独领风骚,随着 GPS 技术的发展,它在地理信息系统以及飞机座舱、测量仪器,便携式 VCD、DVD 等方面都得到很好应用。TFT-LCD 的分辨率由 CGA(320×200)发展到今天的 SXGA(1280×1024)以及 UXGA(1600×1200)(见表 1),其显示性能可与 CRT 媲美,某些参数甚至超出 CRT。TFT-LCD 发展的这一过程大约经历了 7 年时间,几乎与计算机芯片发展速度相当。尽管作为直视式大屏幕显示、特别对要满足对角线 1m 以上要求的 HDTV 来说 TFT-LCD 还有很多困难;但是对不断提高其显示品质,提高分辨率,降低功耗,减少成本来说仍然有不少发展空间。例如反射式 TFT-LCD 的最新发展就是一个很好的说明。液晶投影显示在近年也得到迅速发展,特别是家用电视与便携式计算机多媒体投影显示的增长均十分迅速,其亮度、色彩、对比度都有了很大提高,满足 HDTV 要求的前投型液晶投影电视达到 120 万彩色像素,图像对角线 1~5m。表 1、表 2 分别列出各类 LCD 产品市场及预测。

今天,LCD 的发展大有超过 CRT 发展的趋势,根据日本 IDC 预测(见图 1)到 2003 年以后 LCD 所占市场份额将全面超过 CRT,同时远高于发展迅速的等离子体显示(PDP)。由此可见 LCD 具有很广阔的市场前景,因此如何紧紧把握这一发展机遇,适时调整产业结构,大力发展具有市场竞争力的 LCD,尽快地培养更多高素质从事 LCD 研究开发与生产的人材也显得十分迫切与重要。

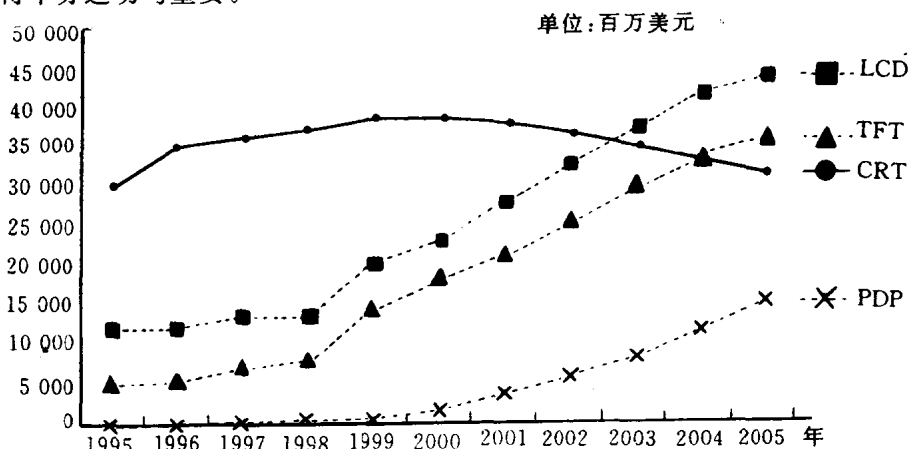


图 1 1999~2005 年 CRT 与 LCD 市场规模的发展(日本半导体产业新闻)

表 1 TFT、STN-LCD 市场与预测

单位:百万美元

	1996 年	1997 年	2001 年	2005 年
a-Si TFT 7.62cm(3in)以上	5515	6644	14 000	30 000
a-Si TFT 7.62cm(3in)以下	237	268	600	1000
p-Si TFT 高温	200	260	410	450
p-Si TFT 低温	5	50	1000	2000
STN 7.62cm(3in)以上	2269	2602	3400	8000
STN 7.62cm(3in)以下	1044	1375	2200	2500
TN	1135	1178	1300	1500
其他	385	315	700	1000
合计	10 790	12 692	23 610	46 450

液晶显示技术

表 2 各类 LCD 市场与预测

每行上栏为数量(千片),下栏为金额(百万美元)】

	TFT			STN		
	1997 年	2001 年	2005 年	1997 年	2001	2005 年
笔记本电脑	8800	22 000	30 000	6370	8000	10 000
	4400	5500	6000	1911	1440	1440
桌上电脑	100	4500	14000	20	1500	6000
	100	2250	5600	13	450	1440
监视器	120	6000	35 000	80	3000	15 000
	120	3000	1 400 000	5200	90 000	360 000
PDA	90	300	400	1740	3400	4600
	8.10	21	22.4	57.42	102	11 040
车载导航系统	1100	1610	2300	0	0	0
	121	144.90	165.60	0	0	0
摄像机监视器	5600	6400	7400	0	0	0
	504	448	414.4	0	0	0
摄像机取景器	7300	8300	9600	0	0	0
	240.90	215.80	199.68	0	0	0
数字照相机	2300	5200	7800	0	0	0
	138	260	312	0	0	0
投影显示器	1420	2840	3890	0	0	0
	120.70	184.60	202.28	0	0	0
寻呼机	0	0	0	13 000	16 000	20 000
	0	0	0	32.50	35.20	40
移动电话	0	0	0	70 000	125 000	175 000
	0	0	0	140	237.50	297.50
合计	26 830	57 150	110 390	91 210	156 900	230 600
	5752.70	12 024.30	26 916.36	2205.29	3164.70	6927.90

第一章 显示用液晶材料

1.1 液晶的属性

液晶的发现可追溯到 1888 年,当时奥地利植物学家莱尼茨尔(F. Reinitzer)在测定有机物熔点时,发现胆甾醇苯酸酯熔化后会经历一个不透明的浑浊液态阶段,进一步加热,浑浊液态变成透明的各向同性液态。翌年,德国物理学家莱曼(O. Lehmann)用偏光显微镜观察这些胆甾类化合物,发现了这些乳白色浑浊液体具有晶体的双折射现象,并据此称之为液晶(Liquid Crystal)——LC。

从液晶的发现及命名可知:液晶处于固相和各向同性液相之间,具有液体的流动性和晶体的各向异性特征。为了加深对液晶属性的认识,可从分子序角度考虑。在气体中,分子是完全无序的,理想晶体中分子排列具有三维远程有序。液体介于上述两种情况之间,具有近程有序。晶体分子高度有序的特性,使晶体的光学、电学、磁学、力学等性质呈现出较高的各向异性;与此相反,普通液体中,因分子远程有序的完全破坏,各个方向上的物理参数不再变化,即各向同性特征。在固相与液相之间的相——中间相(mesophase),除了液晶,还有塑晶和构像无序晶体。

晶体具有高度有序特征,包括三个方面:位置有序、取向有序和构像有序。在晶体有序基础上,代位置有序以位置无序的中间相,就是液晶。因此液晶也可称为取向有序的流体。假如保留位置有序,取向有序被破坏,称该种相为塑晶;而构像无序晶体,保留了大部分完全有序晶体的位置有序和取向有序,但失去了构像有序,如聚乙烯、聚四氟乙烯等柔性高分子物质。

对液晶和塑晶,其行为差异的根本原因在于分子形状上的不同。大多数塑晶是由球形分子所组成,如 N_2 、 CH_4 、 CF_4 等简单分子的物质,转动的势垒与点阵能量相比甚小,因此当温度升至某一临界值之后,分子的能量足以克服转动的势垒,但并不足以破坏晶体的点阵,这就出现一种平动位置有序,转动取向无序的晶体。与塑晶不同,液晶的分子常有不对称的棒状或盘状结构,它们在某些方向发生转向的活化能很高。因此在液晶中尽管晶体点阵结构完全消失了,但分子仍然保留一定程度的取向有序。在某些情况下,分子也保留一定程度的平动有序。从以上讨论可知,液晶分子结构的各向异性决定了液晶物性的各向异性特征。

综上所述,液晶可定义为各向同性液体与完全有序晶体之间的一种中间态,既有液体的流动性,又有晶体的各向异性特征,是一种取向有序的流体。构成液晶的分子结构具有棒状或盘状(如盘状液晶:Discotic)不对称性特征。

1.2 液晶分类、结构特点及形成液晶条件

一、液晶的分类

按分子量大小,液晶可分为低分子液晶与高分子液晶,一般原子数目小于 1000 的液晶分子划入低分子液晶,大于 1000 的液晶分子归入高分子液晶。高分子液晶可应用于高强度高模量材料、分子增强复合材料、光学记录、储存和显示材料以及光导材料等。

按形成条件和组成,液晶可以分为两大类:热致液晶(Thermotropic LCs)和溶致液晶(Lyotropic LCs)。用于显示的液晶,一般为热致液晶。热致液晶相是由温度引起的,并且只能在一定温度范围内存在,一般是单一组分或均匀混合物。而溶致液晶是由浓度引起的,在一定浓度范围内存在,一般是由符合一定结构要求的化合物与溶剂组成的混合物。最常见的溶致液晶是由水和双亲分子所组成。所谓双亲性分子指分子结构中既含有亲水的极性基团,也含有不溶于水的非极性基团。溶致液晶在生物化学和生物物理学、仿生学等领域十分引人注目。可以说,多数生物体组织,例如脑、神经、肌肉、血液等与生命现象关系密切的主要组织,就是由溶致液晶结构构成的。

从分子排列有序性来分,液晶可分为向列相(nematic)、近晶相(smectic)、胆甾相(cholesteric)。近晶型又可分为 S_A 、 S_B 、 S_C 、 S_D 、 S_E 、 S_F 、 S_G 、 S_H 、 S_I 、 S_J 、 S_K 等 11 种和 S_C^* 、 S_F^* 、 S_G^* 、 S_H^* 、 S_I^* 、 S_J^* 、 S_K^* 等 7 种有扭转的近晶相。

二、液晶的结构特点

在讨论各种液晶分子排列前,先介绍指向矢的概念。指向矢 n 指在一个无限小范围内大量液晶分子的平均长轴取向。习惯上一般把矢量场 n 的大小取作一,即满足下式

$$n \cdot n = 1 \quad (1.1)$$

指向矢 n 的引用,提供了定量描述液晶物理特征的手段。然而指向矢 n 本身至今还不是一个非常明确肯定的物理量。其主要原因在于液晶分子一般并不是具有轴对称结构的分子,甚至也不是完全刚性的分子。

(1) 向列相液晶

向列相液晶[见图 1.1(a)]是由棒状分子组成,近似于平行取向,具有一维取向有序。分子排列不分层,它能上下、左右、前后滑动。另外,向列相液晶有序度低,粘度较小。向列相液晶这种近似于平行取向使其产生较高的双折射性,即 $n_{//} \neq n_{\perp}$, $n_{//}$ 和 n_{\perp} 分别表示平行和垂直于指向矢 n 方向的折射率。向列相液晶的折射率差 $\Delta n = n_{//} - n_{\perp}$,大多数情况下大于零。

(2) 近晶相液晶(S_A)

近晶相液晶 A 相[见图 1.1(b)]是由棒状分子组成,分子排列成层,层内分子长轴相互平行,且垂直于层平面,具有二维有序,即一维取向有序和一维点阵有序。 S_A 相液晶分子质心在层内可前后、左右滑动,但不能在上下层之间移动,从而表现出高的有序性和粘度,同时,液晶相经常出现在较低温度区域内。在光学性质方面 S_A 相具有单轴晶体特征,光轴垂直于层平面。

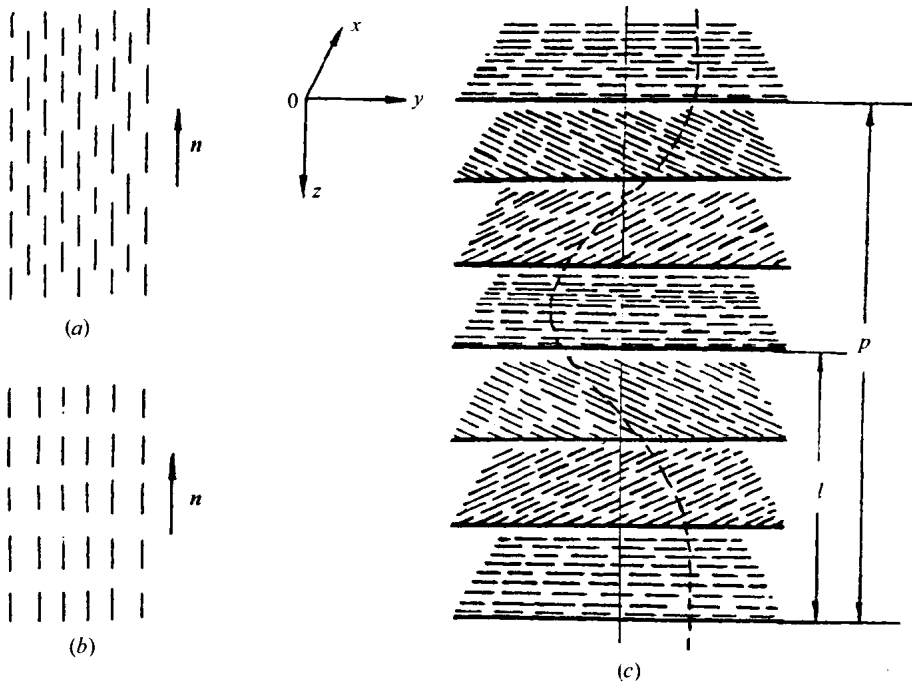


图 1.1 热致液晶的分子排列
(a) 向列相; (b) 近晶相 S_A; (c) 胆甾相

(3)胆甾相液晶

胆甾相液晶[见图 1.1(c)]分子呈扁平形状,分子排列成层,层内分子类似于向列相排列。分子长轴平行于层平面,不同层的分子长轴方向沿层的法线方向排列成螺旋结构。

当不同层的分子长轴排列沿螺旋方向经历 360°的变化后,又回到初始取向。这个周期性的层间距称为胆甾相液晶的螺距(p)。胆甾相液晶结构的周期性可以用指向矢 n 分量表示:

$$n_x = \cos(q_0 z + \phi), \quad n_y = \sin(q_0 z + \phi), \quad n_z = 0 \quad (1.2)$$

$$|q_0| = \pi/l, l = p/2 \quad (1.3)$$

在图 1.1(c)所示坐标系中, $\phi = \pi/2$ 。 q_0 值的正负可区别胆甾相液晶是左旋还是右旋结构。当 $q_0 > 0$, 为右旋结构;反之为左旋结构。

因胆甾相液晶层内排列取向类似于向列相液晶,其差别仅仅在于胆甾相液晶层与层间有一旋转角度。因此在胆甾相液晶中加入消旋向列相液晶或非液晶手性化合物,能将胆甾相转变为向列相。将适当比例的左旋、右旋胆甾相混合,在某一温度区间内,由于左右旋的相互抵消变为向列相。电场、磁场也可使其转变为向列相液晶。反之,在向列相液晶中加入旋光性物质,会形成胆甾相。胆甾相液晶的双折射性为负,即 $\Delta n < 0$ 。

三、形成液晶条件

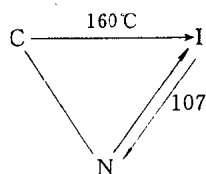
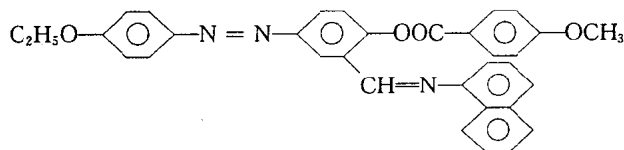
一般认为要呈现液晶相,该化合物的分子结构必须满足下述要求:

(1) 液晶分子的几何形状应是各向异性的, 分子的长径比(L/D)必须大于 4。

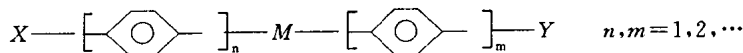
(2) 液晶分子长轴应不易弯曲, 要有一定的刚性。因而常在分子的中央部分引进双键或叁键, 形成共轭体系, 以得到刚性的线型结构或使分子保持反式构型, 以获得线状结构。

(3) 分子末端含有极性 or 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。

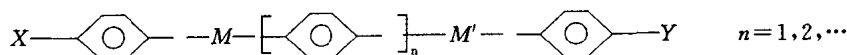
分子结构没有满足上述条件之一就不能形成液晶。线性结构、反式结构利于形成液晶, 而片状结构、顺式结构、空间位阻不利于形成液晶。对片状分子也有少数的化合物能形成单变液晶, 如:



分子末端无极性基团(如两端都是一 C_nH_{2n+1} 基团)不利于形成液晶。由此, 液晶大体上采用如下结构



或



M, M' 是连接芳环的中心桥键, 它和两侧芳环形成共轭体系(或部分参加共轭体系); X, Y 是液晶分子末端基团。

中心桥键是形成液晶分子的重要条件, 但无中心桥键亦能构成液晶, 如联苯液晶。分子末端基团是构成液晶不可缺少的部分, 它是柔软易弯曲的基团。苯环亦可用其它脂环、杂环替代, 形成各种各样的液晶物质。

1.3 液晶化合物

1.3.1 向列相液晶

液晶材料种类目前已超过 1 万种, 其大部分是向列相液晶。在本节, 将简单讲述显示用棒状单分子向列相液晶化合物的单体性能, 从中说明化学结构和液晶物理性能关系(若要做