

液晶与显示应用

施善定·黄嘉华·李秀娥 编著

YEJING YU XIANSHI YINGYONG
SHISANDING HUANGJIAHUA LIXIUE BIANZHU
HUADONG HUAGONG XUEYUAN CHUBANSHE

371

• 华东化工学院出版社

54.267
568

液晶与显示应用

施善定 黄嘉华 李秀娥 编著



华东化工学院出版社

9310283

(沪)新登字208号

液晶与显示应用

Yeijing yu Xianshi Yingyong

施善定 黄嘉华 李秀娥 编著

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞科技外文印刷厂排版

上海长鹰印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 8.375 字数 223 千字

1993 年 1 月第 1 版 1993 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—3000 册

ISBN 7-5628-0260-2/TN·1 定价 9.80 元

7478 / 15

内 容 简 介

液晶是一门新兴的学科,是继物质的固态、液态、气态等离子态以后,介于固相和液相之间的一个中间态——液晶态。它是一个多科性的边缘学科,涉及物理、化学、生物、电子学等领域。

液晶显示技术是70年代才兴起的一门新技术,从发展趋势看,它必将成为诸如等离子体、真空荧光显示器、电荧光显示器、发光二极管和阴极射线管等显示器之王。液晶与显示应用主要介绍液晶的物性与其显示技术应用,本书共分六章,内容主要包括热致液晶材料的物性与显示技术的关系;驱动方式;彩色显示以及各类液晶显示器的应用。

本书可作为大专院校有关专业师生参考或相关专业学生之教材,也可供从事液晶显示的生产、科研的工程技术人员参考。

序 言

液晶及其在显示方面的应用是在本世纪70年代发展起来的一门新兴的高科学技术，它涉及到物理、化学、生物、电子学和光学等广泛的领域，应用于当代各个工业部门并取得很大成就，已引起较广泛的重视和兴趣。

本书是为了那些对液晶与应用感兴趣的人和从事这方面工作的研究人员和工程技术人员而编写的，笔者根据国内外有关文献和在液晶研究和教学工作的基础上编写此书，希望给读者有所启发，但限于作者水平，文中有不妥之处请读者给予指教。

在此，谨向深圳天马微电子有限公司对本书出版给予支持表示感谢。

作者

目 录

1 绪言	1
1.1 液晶发展简史	1
1.2 液晶的特性	2
1.3 液晶的分类	4
参考文献	10
2 显示用液晶材料	12
2.1 液晶的分子结构	12
2.2 液晶分子结构与其性质的关系	21
2.3 混合液晶	28
参考文献	32
3 显示液晶的物性及其与显示技术的关系	35
3.1 液晶物性基础	35
3.2 显示液晶分子在电磁场作用下的行为	57
3.3 液晶分子排列和基片表面处理	81
3.4 液晶的电光效应	95
参考文献	125
4 液晶显示器及其驱动	128
4.1 概述	128
4.2 液晶显示器的基本结构	130
4.3 液晶显示器的技术参数	134
4.4 液晶显示器的静态驱动	142
4.5 液晶显示器的多路驱动	145
4.6 液晶显示器的矩阵驱动	146
4.7 液晶显示器的双频驱动	167
4.8 束扫描液晶显示器	170

4.9 液晶显示器的其他驱动方式	173
参考文献	175
5 液晶的彩色显示	178
5.1 引言	178
5.2 宾主型	179
5.3 电控双折射效应(ECB)	195
5.4 与液晶盒组合的薄膜方式	205
参考文献	213
6 液晶的显示应用	215
6.1 液晶电子表	215
6.2 液晶计算机显示器	219
6.3 液晶电视显示器	221
6.4 液晶大屏幕显示	226
6.5 液晶立体显示	246
6.6 液晶的其他显示应用	251
6.7 液晶显示器的发展和展望	255
参考文献	258

1 绪 言

1.1 液晶发展简史

1888年奥地利植物学家莱尼采尔的(F. Reinitzer)^[1]在合成许多胆甾醇酯中,观察到这些物质在加热熔融过程中,刚熔时呈不透明状,进一步加热后混浊完全消失,成为各向同性液体,1889年德国物理学家莱曼(O. Lehmann)^[2]亦观察到同样的现象,他在偏光显微镜下,观察到乳白液体的双折射现象。他认为这是一种具有流动性的晶体,顾名思义,这种在机械上具有液体的流动性,在光学上具有晶体性质的物质形态被命名为流体晶体——液晶(Liquid Crystal),莱曼做了大量的研究工作,经过25年,至1915年他完成了四本著作,此后,研究活动暂时消声匿迹,直到20世纪20年代后半期至30年代前半期,出现了从量子力学观点研究液晶的动向,从而使研究活动再次盛行起来,1933年英国召开有关液晶会议,论文发表于法拉第学会汇刊(Transaction of Faraday Society),由于当时尚无科学上或实用上的价值,同时以布朗克的量子力学为基础的固体物理,特别是半导体的研究相当盛行,从而使许多研究人员转移了方向,使研究工作再度冷落,直到1957年美国肯特(Kent)大学的G.H. Brown等整理了从1888年到1956年70年间,近500篇有关液晶方面的资料,于1957年发表在化学评论(Chemical Review)上,引起了科学界的强烈关注。1963年发表胆甾相液晶独特的温度灵敏性的专利,指出随温度变化而改变其颜色,可作温度计或温度记录之用。1965年8月,美国Kent州立大学召开第一届国际液晶会议,全文刊登在1966年创刊的《分子晶体》(Molecular Crystals)上。1967年美国RCA无线电公司的R. Williams发表动态散射专利,此后取得了工业上的应用,使

液晶成为物理、化学、电子学、生物的一门边缘科学而广泛发展。1968年8月在美国肯特州立大学召开第二届国际液晶会议,共发表论文近70篇,此后就有了每两年一度的国际液晶会议活动,现有专业刊物(美)分子晶体与液晶(Molecular Crystals and liquid Crystals)和(英)液晶(Liquid crystals)等。我国从1970年开展液晶大屏幕电视会战以来,对物理、化学、电子学、真空技术、玻璃材料等多学科的发展均打下基础。1979年7月,在上海举行首届中国液晶学术会议,1981年10月在桂林召开第二次中国液晶学术会议,收集论文88篇,1985年在厦门集美,1988年在北京召开液晶发现百周年纪念会议。1991年在深圳召开第六届中国液晶会议。20年来,液晶这一新型材料在我国已受到越来越多的人所关注,在全电子手表、微型计算机、数字屏幕游戏机等液晶显示已投入生产,我国自制液晶光阀已出口美国,液晶显示器生产正向着中高档发展。

近十多年来,液晶科学获得了令人鼓舞的重要发展,研究领域遍及物理、化学、电子学、生物学等各个学科^[3],例如研究液晶光学特性,非线性光学性质,光的偏振、旋光性、二向色性、液晶电光效应、光阀、激光信息储存与传输等液晶光学;研究液晶的相转变理论,液晶电磁流体理论,弹性体理论等分子物理学;研究液晶分子结构和性质的关系,新型液晶材料的合成,高分子液晶及其应用以及宾主效应中染料分子的结构与性质关系的液晶化学;研究生命过程,组织、疾病、衰老过程中液晶态变化;生物膜结构和功能,生物体能量,信息传递过程,光合作用等与液晶结构和行为之间的关系;研究液晶的拉曼光谱,核磁共振谱,电子自旋共振谱,中子衍射,穆斯堡尔谱等液晶分子光谱^[4]。其中液晶显示器的发展已列入当代高技术产品,发展迅猛。

1.2 液晶的特性

由液晶的命名可知,液晶态是一种介于液体与晶体之间的中

同态,它既有流体的流动性,又有类似晶体结构的有序性,所以液晶又叫液态晶体或晶状液体、介晶液体或中介相等,在一定温度范围内,它既具有液体的流动性、粘度、形变等机械性质,又具有晶体的热(热色效应或温度效应)、光(光学各向异性)、电(电光效应)、磁(磁光效应)等物理性质。

从微观来看,液晶态是各种特定分子在溶剂中有序排列而形成的聚集态,具有液晶性质的物质,在芳香族、脂肪族、多环族和胆甾醇衍生出来的有机化合物中都可以找到,显然,并非所有物质都能形成液晶态,只有符合以下几个基本条件的物质,才有可能形成液晶态。

(1) 分子链必须具有刚性或比较刚性的物质,在溶液中,分子链呈棒状或近乎棒状的构象,此外近年还发现,有些平板状、盘状、叶状分子也可形成液晶态。

(2) 液晶分子链上,必须具有苯环和氢键等。

(3) 对于形成胆甾相液晶的分子,除了具备上述两个条件外,还必须具有光学活性因素,如含有不对称碳原子等,因而分子本身具有较大的各向异性。

我们可以按照这三个条件来判断某种物质是否具有液晶性质以及能形成什么样的液晶结构。

液晶与各向同性的液体主要区别就是液晶态是具有结构上一定程度的有序性,所以液晶与液体易区别,液晶与晶态固体区别是比较困难的,在有机化学中,碳原子多于二十的烷烃长链分子可以绕单元分子长轴转动而发生塑晶态,也是各向异性,但不是液晶,



图 1-1 棒状分子排列图

现在按 Bernal 所发展的体系,晶体和塑晶体是具有二维的平移周期性物质,而液晶只是一维或二维的近程有序性,而一般晶体是长程有序的。

以棒状的分子为例,如图 1-1 所示,晶体、液晶、液体之间的区别:液体是各向同性的,棒状分子液晶有取向序,但无位置序,而晶体既有取向序又有位置序。

1.3 液晶的分类

就形成液晶方式而言,液晶物质可分为热致性和溶致性两类。

1.3.1 热致性液晶(Thermotropic Liquid Crystals)

热致性液晶是加热液晶物质时,形成的各向异性熔体,如图 1-2 所示。如前所述,莱尼兹尔首次发现的液晶物质,胆甾醇苯甲酸酯,就是一种热致性液晶。

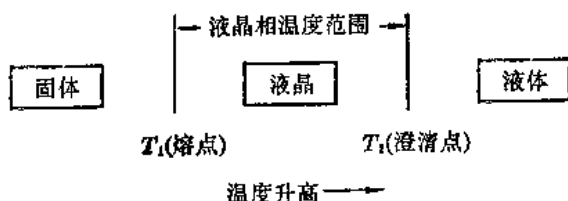


图 1-2 热致液晶的形成

把某种能形成液晶的固体加热到熔点 T_1 , 这种物质就转变成成为既有双折射性, 又有流动性的液晶态, 肉眼能看到的是一种粘稠而浑浊的液体, 其稠度随不同的化合物而有所不同, 从糊状到自由流动的液体都有, 即粘度不同, 从分子角度来看, 温度超过熔点时, 物质内部的分子排列还是有序的, 仍然具有晶体结构的某些性质。但是, 这时的分子又是能够流动的, 产生了液体的某些特性, 所以说, 这种物质此时处于液晶态, 由于这种液晶态是靠加热形成的,

因而称之为热致性液晶。

温度继续升高,直至澄清点 T_2 ,液晶态又转变成各向同性的液体,从分子角度来看,温度超过澄清点时,物质分子的取向是随机的,杂乱无章的,此时,这种物质仅有和液体一样的流动性,而无任何有序性,所以说,这种物质在加热到澄清点的温度之后,就完成了从液晶态到液态的相变。

如果冷却这种液体,逆过程又可以倒转回来,但是,有些液晶物质在冷却时会出现“过度冷却”现象,从而形成一种不稳定相。

根据织构形态不同,热致液晶可分为近晶相、向列相和胆甾相三种类型:

1.3.1.1 近晶相(Smectic Liquid Crystals)

近晶相液晶简称为S,它是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,层的厚度等于分子的长度,如图1-3所示,排列整齐,像一块板刷,各层之间的距离可以变动,分子可以前后、左右滑动,但不能上下层之间移动,因分子排列整齐,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。但粘

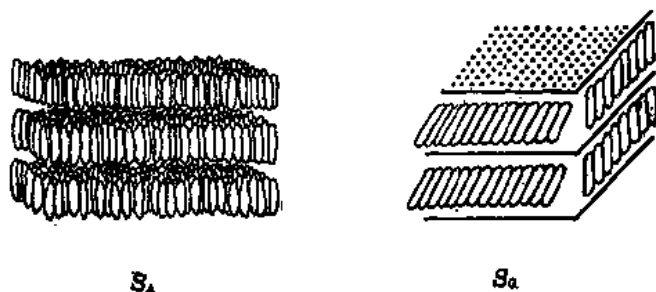


图1-3 近晶 S_A 、 S_C 相液晶的分子排列

度很大,因为它的高度的有序性,近晶相经常出现在较低温度区域内,目前已经发现至少有八种近晶相(S_A — S_H 相)和三种扭转的近晶相(S_C^* 、 S_D^* 、 S_H^*),最近还所发现 S_I 相^[6]。由于近晶相液晶分子的排列和运动受到较大的约束,对外界条件的响应不大灵敏,它

的用途，现在还在深入研究和开发发展之中。

1.3.1.2 向列相液晶(Nematic Liquid Crystals)

向列相液晶简写为 N ，它的分子呈棒状，分子的长宽比大于 4:1，分子的长轴也互相平行，但不排列成层，如图 1-4 所示，它能上下、左右、前后滑动，只在分子长轴方向上保持相互平行或近于平行，分子间短程相互作用微弱，向列相液晶分子的排列和运动比较自由，对外力相当敏感，目前是液晶显示器件的主要材料。



图 1-4 向列相液晶的分子排列

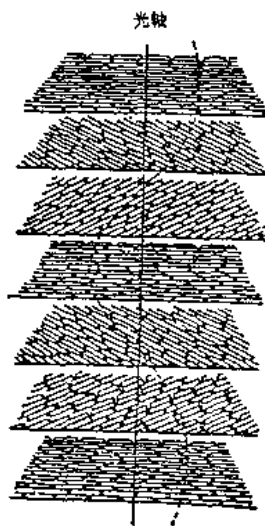


图 1-5 胆甾相液晶的分子排列

1.3.1.3 胆甾相液晶(Cholesteric Liquid Crystals)

胆甾相液晶简写为 ch ，只在旋光性物质中出现，这类液晶大部分是胆甾醇(胆固醇)的各种衍生物，这种液晶分子呈扁平状且排列成层，层内分子相互平行，分子长轴平行于层平面，不同层的分子长轴方向稍有变化，相邻两层分子，其长轴彼此有一轻微的扭角(约为 15°)，多层分子的排列方向逐渐扭转成螺旋线，形成一个沿层的法线方向排列成螺旋状结构，如图 1-5 所示，像一卷可以绕松绕紧的钢丝弹簧，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 。胆甾相实际上是向列相的一种畸变状态,因为胆甾相层内的分子长轴彼此也是平行取向,仅仅是从这一层到另一层时的均一择优取向旋转一个固定角度,层层叠起来,就形成螺旋排列的结构,所以在胆甾相中加入消旋向列相液晶,能将胆甾相转变为向列相,或将适当比例的左旋、右旋胆甾相混合,在某一温度区内,由于左右旋的相互抵消转变为向列相。值得指出的是一定强度的电场、磁场,亦可使胆甾相液晶转变为向列相液晶。

反之,在向列相液晶中加入旋光性物质,会形成胆甾相,含不对称中心的手性向列相液晶亦呈现胆甾相,这些都说明胆甾相和向列相结构是紧密相关的。胆甾相液晶易受外力的影响,特别对温度敏感,温度能引起螺距改变,有温度效应,即随冷热而改变颜色。

因此,液晶按分子排列分类可归纳为:方向一致,且成层的近晶相(S);只有方向一致的向列相(N);呈螺旋结构的胆甾相(ch)。

近年来,在热致性液晶中,出现高分子化合物呈熔融状的热致高分子液晶,它们具有光学的各向异性(双折射)和熔体的切变粘度明显地低于各向同性相的切变粘度值的流变学的特殊性,高分子化合物的热致液晶性质近来受到普遍的注意,不仅是因为该类材料可以用作为高强度的纤维和塑料,而且也因为它们在流体相中特有的有序结构在理论研究上具有特殊的意义。

1.3.2 溶致液晶(Lyotropic Liquid Crystals)

溶致液晶乃是由于溶液的浓度的改变导致液晶态的形成,因此称为“溶致”液晶,溶致液晶是一种特殊的溶液。一般来说,是由双亲^[6](Amphiphilic)化合物与极性溶剂组成的二元或多元体系,双亲化合物包括简单的脂肪酸盐,离子型和非离子型表面活性剂,以及与生物体密切相关的复杂类脂等一大类化合物,所以溶致液晶广泛地存在于自然界中,由于双亲化合物在食品、化妆品、纺织、石油开采等工业中已获得实际应用,并且在生物体中具有特殊意义,因而溶致液晶的组成和性质正日益受到物理学家、化学学家

和生物学家的重视。

双亲化合物其特征是在同一个分子内具有溶解性非常不同的两种基因,分子的一端是亲水的极性基团,可以与水或其他极性溶剂按任意比例互溶;另一端是疏水的或亲油的烃链,易溶于大多数烃类或非极性溶剂中^[7]。

根据分子的几何形状,双亲分子有两种类型:第一类是以脂肪酸盐为代表(即皂类),例如,硬脂酸钠 $C_{17}H_{35}COONa$, 其中亲水部分是羧基,它连接在疏水的烃链上,在分子中形成一个极性“头”,和一个疏水“尾”形象地表示这种分子的结构时,习惯用一黑圆点代表亲水的极性“头”,用弯曲线表示疏水“尾”,如图 1-3 (a) 所示。另一类是具有特殊生物意义的类酯,例如磷脂,分子中亲水的根性头连接在两条疏水尾上。这两条疏水链通常彼此并排地排列,如图 1-6 (b) 所示。

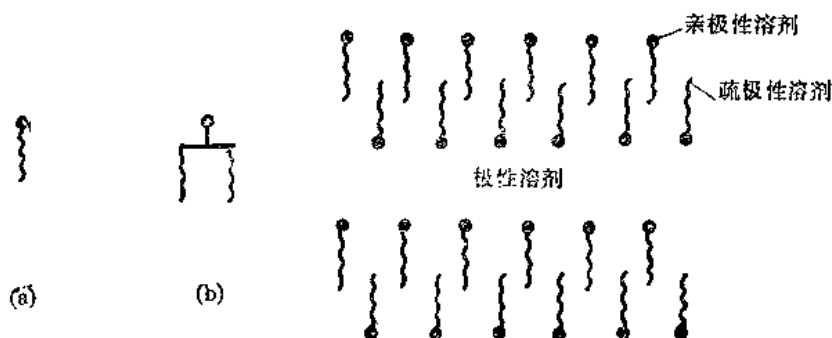


图 1-6 双亲分子示意图

图 1-7 层相溶致液晶

溶致液晶中的溶质双亲分子有聚集在一起的倾向,长的碳氢链(可一条或二条)尾部内聚为疏水(或溶剂,部分长链能蜷曲,尾部甚至可以摆动,其头部为亲极性溶剂的极性基团为亲水(或溶剂)部分,与之亲合而往外(似蝌蚪),一般典型的溶致液晶为蝶层相,每一层由两支双亲分子组成,它们的尾部向内,头部向外,溶剂分子就夹在两层中间,每层厚度一般要比两个双亲分子的长度总和稍短,如图 1-7 所示,随着温度升高或是溶剂量的增加,每层厚度由于碳氢链的蜷曲而变小,这种层状的溶致液晶的结构与热致

液晶的近晶相十分相似。

当溶液浓度减少时,也就是溶剂的浓度增加时,一个双亲分子与溶剂接触的面积增大,则层状结构可转化为球形结构和圆柱形结构,如图 1-8 所示,在球形和圆柱形结构中,亲水头互相缔合排列于聚集体的外圈球形和圆柱形结构是胶团的两种形式,此时双亲分子的尾部聚在球柱内,头部处于球柱体表面,而构成一个个双亲分子群的球柱体,这些球柱体互相平行排列成六角形密堆积形

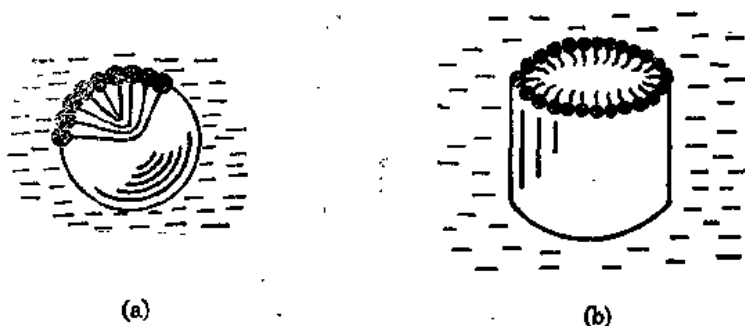


图 1-8 球、柱状溶致液晶

式,中间充以极性溶剂,当溶剂再增加时,双亲分子柱体破裂,形成小胶囊无规则地漂浮在溶剂内,形成胶囊溶液(微胞溶液),溶液浓度继续增加,至溶液的一个临界浓度 ρ_c 以上,会形成真正的分子溶液,例如对于皂类,当水含量为 5%—20% 时,液晶具有层状结构,即层状相,水含量增加到 23%—40% 时,结构转变为由球状胶团组成的立方相,它具有立方的对称性,光学上呈各向同性的中间相;水含量达到接近 80% 时,则成为由圆柱形胶团组成的正六边形的六方相^[1],其结构在小角 α 射线衍射区有特征的衍射图,水含量继续增加时,体系转变成没有液晶特征的胶团溶液。

在健康的生命体系中分子的液晶有序性也是广泛存在的,而且其他生命器官和组织例如肌肉的主要组成,也具有类似液晶的有序排列,许多重要的生物分子,如蛋白质,核酸,脂类,肌球蛋白

红血素,血红蛋白,叶绿素,多糖,卟啉和类胡萝卜素等,都符合形成液晶态的基本条件,它们在溶液中多呈棒状或扁平状的构象,分子们链上有苯环和氢键等极性基团,还含有不对称碳原子,因此,它们都具有液晶性质,在水中都能呈现出液晶结构,又如人眼和鱼、蛙、鸟、兽等脊椎动物的眼睛构造大体相同,在视杆盘膜中,蛋白质和脂类分子的运动方式,是在沿片层表面的二维空间作相对运动,所以,现在认为,盘膜的片层结构属于近晶相液晶,眼睛通过屈光系统接收的光信号,照射到视杆细胞外段的液晶盘膜上,也会因光生伏特效应而产生电信号,电信号经神经转入大脑视觉中枢,才“看到了”物体;生物膜是浸浮于水溶液中,排列有序的物质,所以也是一种溶致性液晶。目前,对癌症病因的探讨,已从细胞水平深入到分子水平,并且发现,当正常细胞转变为癌细胞时,细胞从液晶态转变成液态,因此生物体内的液晶态结构与生命过程有着密切的关系。

研究多肽溶液的液晶态结构,不仅可以对了解生命体系的结构和功能提供有用的资料,而且近年来在分子化合物的合成中也越来越受到重视,近年来从芳香聚酰胺和聚脂的向列相溶液获得了超高膜量、超高强度、热稳定性高和力学性能好的合成高强度纤维和薄膜更引起人们对分子化合物液晶态结构的巨大兴趣,目前从液晶态聚合物得到的复合材料已应用于飞机,火箭等尖端技术领域中。

参 考 文 献

- [1] F. Reinitzer, *Wicner Monatsh*, (1988) 9,421.
- [2] O. Lehmann, *Z. Physik chem*, (1889), 4. 462.
- [3] H. Keflker, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* (1973). 21.1.
- [4] G. Meier, et al, "Application of liquid Crystals", Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1973). P. 143.
- [5] 林磊,物理 (1982). 3,171.