

液晶电视

——液晶显示的原理和应用

LIQUID
CRYSTAL
TV
DISPLAYS:
PRINCIPLES
AND
APPLICATIONS
OF
LIQUID CRYSTAL
DISPLAYS

● [日] 金子英二 著

● 王新久 田建民 译

● 电子工业出版社

内 容 提 要

本书全面、系统、详尽地介绍了液晶显示器件、液晶电视的基本原理和各项液晶显示技术；集中讨论了如何利用液晶显示技术实现液晶电视；准确地反映了液晶电视研制和生产中最新技术的发展。全书共分八章。

本书适于从事彩色电视的研制与生产、液晶显示器件的开发、研制与生产的科技人员阅读，它也是一本无线电爱好者的优秀读物。

液 晶 电 视

— 液晶显示的原理和应用 —

(日)金子英二 著

王新久 田建民 译

责任编辑 唐喜琼

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：9.875 字数：248 千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数：2500册 定价：6.00元

ISBN 7-5053-1213-8/TN·361

译 者 序

液晶的发现迄今整整一百年，然而十多年前还只有极少数专家、学者知道这个名字。今天，液晶已经家喻户晓了，液晶显示随着电子手表、袖珍计算器以及各种家用电器进入千家万户。在很多科技和工业领域中，它更是崭露头角，大显身手，广泛用于仪器仪表、办公室自动化、便携式计算机、大型信息显示牌等。其中，最辉煌的成就则是液晶电视（LCTV），它的出现给传统的电视带来质的飞跃，将给科学技术和人类生活带来崭新的面貌。

1983年第一台 LCTV 问世，迄今很多不同规格的产品纷纷进入实用，小到手表 LCTV、袖珍彩色 LCTV，大到 $3 \times 12M^2$ 的巨型镶嵌 LCTV。各种台式和壁挂式 LCTV 也正在研制和发展中。

LCTV 有很多优点而倍受青睐，例如，电压低、功耗小、重量轻、平而薄、易于集成化、无辐射等。它的主要技术指标已经堪与传统的 CRT 电视旗鼓相当，例如灰度、色度、对比度等。尽管如此，LCTV 目前尚不尽如人意，主要反映在屏幕尺寸、成本、可靠性以及响应速度上。为此，人们正在继续努力，进一步提高 LCTV 的性能。

我国早在 70 年代初即开始了对液晶和液晶显示的研究，这与世界上第一个实用性液晶显示的诞生时间相差不过几年。经过十多年的发展，现在已经形成一支相当大的科技队伍。现在，我国正处在研制 LCTV 的起跑线上。

本书全面、系统、详尽地介绍了 LCTV 的基本原理和各项技术，准确反映了 LCTV 研制和生产中最新技术发展。我们将本书的中译本及时介绍给读者，希望它能成为我国 LCTV 工业发展的

前 言

由于科学家和工程师们的努力,有些科学技术的发展似乎一帆风顺,并且在工业领域和消费品市场得到广泛的应用。但是,没有那一种技术是能够永存的,它或早或晚会被新的更先进的技术所取代。科学技术和人类社会就是这样才得以前进的。

另一方面,人们还发现,为数众多的科学技术自发明以后并没有得到任何实际应用就消声匿迹了。但是往往存在这种情况,当某些研究人员突然对它们发生兴趣,并投入极大的热情、不懈地去克服困难,这些技术就起死回生了。

因此,文献和资料中有些技术乍看起来似乎早已是山穷水尽,毫无用处了,但是最好不要过早地下结论,有些轻率的断语与我们的视野狭窄有关。就整体而言,技术是在不断地前进的,它的发展并非一成不变,而是在迂迴曲折地前进。在前进的过程中同时吸收新技术的好思想,自身的弱点和困难将被新事物、新思想所克服。所以,如果研究人员重新认识那些沉寂了的技术,这些技术可能再次柳暗花明,重放光彩。

液晶显示有悠久的发展历史,很多科学家和工程师一直在这个领域辛勤耕耘,液晶显示也因而得到长足的发展。他们的发明诞生了很多有趣而有重要实用价值的液晶显示技术。尽管如此,现在仍然只有少数的液晶显示技术进入实用,大多数都被扔在一边了。然而,就象其它技术一样,这些技术中的一部分可能会经过某些研究人员之手而妙手回春。

本书并不打算逐一列举所有的液晶显示技术,而是集中讨论如何利用这些技术实现液晶电视。液晶电视是最高级的液晶显示器之一,需要应用十分成熟的、先进的技术才能将电视画面重现为高分辨率、清晰的、逼真的图象。实际上,各种液晶显示技术彼此是

相互联系的,结合它们的优点可以实现液晶电视。反过来,液晶电视技术又可以用于其它的液晶显示器中。液晶电视是精心研究的产物,综合了技术、经济和人机工程等方面的考虑。

因为篇幅有限,本文不打算全面详细地介绍原理,而是尽可能地充分介绍液晶显示的技术。希望读者不仅理解本书介绍的知识,而且能够抓住各项技术发明的思路。此外,还希望读者继续深入研究本书中介绍的液晶显示的各项技术,推动其向前发展,以实现性能更佳、更先进的液晶电视。

最后,作者感谢 B. Kazan 博士数年前邀请本人写作了“液晶矩阵显示”(Academic Press)一章*。本书相当一部分内容是以它为基础改写而成的。但是,写作那一章的目的在于介绍所有的液晶矩阵技术,而本书的范围则集中介绍液晶电视技术。

* 作者指的是下书的一个章节,即 Liquid Crystal Matrix Displays, in Advances In Image Pickup And Display, Vol.4, Ed. B. Kazan, Academic Press, New York, 1981。——译者。

目 录

第一章 导论	1
第二章 液晶器件的基本概念	3
2.1 液晶材料及其奇异性质	3
2.2 动态散射型液晶器件	13
2.3 扭曲向列相型场效应液晶器件	14
参考文献	30
第三章 彩色液晶器件	33
3.1 电控双折射型液晶器件	33
3.2 扭曲向列相型彩色液晶器件	43
3.3 宾主型液晶器件	51
3.4 全彩色液晶器件	70
参考文献	73
第四章 直接寻址矩阵液晶显示和液晶电视	77
4.1 矩阵液晶显示及其扫描限制	77
4.2 矩阵液晶显示的应用	90
4.3 矩阵液晶显示屏电极结构的改进	103
4.4 液晶电视	119
参考文献	137
第五章 直接寻址矩阵液晶显示的特殊驱动方法	139
5.1 双频驱动	139
5.2 相变存贮型液晶显示	148
5.3 手征近晶C型存贮液晶显示	164
5.4 超扭曲双折射型液晶显示	169
参考文献	172
第六章 双阈值元件寻址矩阵液晶显示	175
6.1 二极管寻址矩阵液晶显示	175

6.2 金属-绝缘体-金属寻址矩阵液晶显示	188
6.3 变阻器寻址矩阵液晶显示	198
参考文献	207
第七章 晶体管开关寻址矩阵液晶电视	209
7.1 硒化镉和碲薄膜晶体管寻址矩阵液晶电视	210
7.2 MOS 晶体管寻址矩阵液晶电视	223
7.3 非晶硅薄膜晶体管寻址矩阵液晶电视	242
7.4 多晶硅薄膜晶体管寻址矩阵液晶电视	255
参考文献	272
第八章 投影型大屏幕液晶显示	277
8.1 激光寻址方式	278
8.2 光寻址方式	289
参考文献	304
附录	307

第一章 导 论

恰好在一个世纪以前,奥地利植物学家 F. Reinitzer 发现了第一个液晶材料——胆甾醇苯甲酸酯^[1]。后来美国科学家 G. H. Heilmeyer 发明了第一个初级的液晶显示器件,屈指算来迄今有 20 多年了^[2]。从那时起,很多研究人员和工程师们就一直在努力改进液晶显示器件的性能。

早期,液晶显示器主要应用于象手表、袖珍计算器这样一类小的仪器上,确实,它非常适合于这些仪器及用品。它可以用很低的电压驱动,功率损耗又特别小,可以与 CMOS-IC* 器件相匹配,即使用微型电池作电源也能工作很长时间。液晶显示器很薄,重量极轻,结构简单而又结实,不需要经常维修,有很长的寿命。液晶显示器需要高制造技术,它的生产可以全自动化,与其它显示器相比,它的生产周期短得多。

如果没有液晶显示出现,我们很难想象袖珍计算器能以现在如此惊人的速度迅速发展。而且,液晶显示器的上述优秀性能不仅对于小的仪器、仪表适用,对于需要显示的大的装置设备也非常有用。随着液晶显示器性能的进一步改进,它们还将推广应用到更广泛的领域。复杂的液晶显示要采用矩阵方式。矩阵显示是将一块显示器分成很多块小象素,图象越精细越复杂,要求矩阵显示的分辨率越高越精确。高清晰度的矩阵液晶显示已经应用在便携式的高级计算机上了,这些计算机可以装在手提箱里,或者装在用于户外或远距离工作站的一些机器上,用以显示来自大的中央计算机和远程通讯线路输送来的数据。

* 互补金属-氧化物-硅集成电路。

实现了上述进展后,人们开始利用这些技术来实现液晶电视显示。电视显示有三个基本要求:高分辨率、高(彩色)对比度和快速响应。以前一直认为液晶显示器不能显示高分辨率的图象,因为它们的阈值特性虽然比其它的平板显示器件要陡一些,但仍然比较缓。目前,增加图象的分辨率主要有两个途径:一是改进液晶材料本身以获得较陡峭的阈值特性,同时改进或研制新的器件结构来改善显示器的特性;第二个途径来自外部,即在每一个液晶象素上串联一些非线性元件,以便于能够独立地控制每个象素。

液晶显示的图象对比度目前并没有高到可以在暗的环境下使用。一部分原因是由于器件的阈值特性缓,然而主要原因还在于它本身并不发光,液晶器件只调制光。低对比度是所有非发光型显示的固有问题。为了得到高对比度和明亮的图象,有时需要采用背光源来照明。为了增加图象的对比度,在寻址间隔内,必须在液晶象素上维持电压恒定,因而需要适当改进液晶器件的结构以使象素上电荷存贮较长的时间。为了再现明亮的全彩色图象,人们正在考虑人眼的特性,进行有关的各种实验。

经过不断改进后,液晶显示的响应时间仍然比人眼的响应时间稍长一点,为此,人们正在作出种种努力,在满足上述其它要求的同时,降低液晶显示的响应时间^[3]。

本书的后几章将分别讨论克服上述困难的各种办法;介绍不同类型液晶显示器的结构及其特点。最后,对将来液晶显示的发展趋势作一展望。

参考文献

- 1) Friederich Reinitzer, "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins", *Monatshefte für Chemie*, Vol. 9, pp. 421-422, Springer, 1688.
- 2) G. H. Heilmeyer *et al.*, "Dynamic scattering: A new electro-optic effect in certain classes of nematic liquid crystals", *Proc. IEEE*, Vol. 56, No. 11, pp. 1162-1171, July, 1968.
- 3) E. Kaneko, "Liquid crystal matrix displays", *Advances in Image Pickup and Display*, 4, Academic Press, 1981.

第二章 液晶器件的基本概念^[1~25]

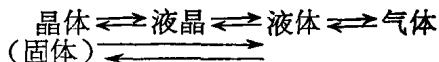
2.1 液晶材料及其奇异性质

如果普通晶体的基元不是球对称的，则存在两类长程有序性或长程规则性：基元重心的位置有序性和基元的取向有序性。随着温度升高，晶体将熔化而成为液体。在熔化过程中，晶体的长程有序性因基元的热激发而消失。结果，形成液体中只存在短程有序性。如果温度继续升高，液体将变成气体，这时所有基元都在空间无规则运动，基元之间不再存在任何有序性了。

由此可见，一般材料存在三种状态：晶体、液体和气体。若温度逐渐下降，与上述过程相反，最后会晶化。但是，还有一些有机材料在一定温度区间会呈现第四种状态——中间相又称液晶态，它处于液态和晶态之间。在中间相时，它们具有一类、有时两类长程有序性，同时又表现出类似液体的性质，例如流动性，易于变化形状等。象这样一类材料就叫做热致液晶，它们具有类似晶体一样的光学性质。通常，随着温度上升，这一类材料的基元之间的位置有序性将消失，然而保持了取向有序性。

另外还有一类液晶称为溶致液晶，这类材料具有双亲性，只有在水的表面，或以适当的浓度包裹在某些溶液（一般是水）中时，它们才呈液晶态。这类液晶在生物学中有着重要意义，在生命系统中可能扮演着重要角色。

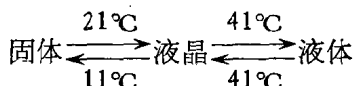
本书涉及的所有液晶材料都是热致液晶，在温度改变时，其相变次序如下：



箭头→和←分别表示温度上升和下降。有些材料当温度上升

或下降时会跳过液晶态，被称为单变性液晶。另一些材料无论从固态升温还是从液态降温，都呈现液晶态，被称为互变性液晶。单变性液晶只在温度沿一个方向变化时才呈液晶态。用于液晶显示器件的只是互变性液晶。有时，如果温度迅速降低，有些液晶材料会成为非晶态。

不同的液晶材料，液晶相的温度范围也不同。例如，4-甲氧基苄叉-4'-正丁基苯胺 (MBBA) 的相变序为：



可以看出，由于过冷现象，MBBA 从液晶变为固体的相变温度比从固体变为液晶的相变温度低。

人们发现，当两种或者多种液晶材料混合时，其共熔混合物的最低液晶相温度范围通常比各个单体要宽。图 2.1 所示为 MBBA 与 4-乙氧基苄叉-4'-正丁基苯胺 (EBBA) 的溶混结果。图中混合比 R_M 代表 MBBA 和 EBBA 的重量比。当混合比 R_M 为 40:60 时，混合物的液晶相温度范围扩展到 $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，比两个单

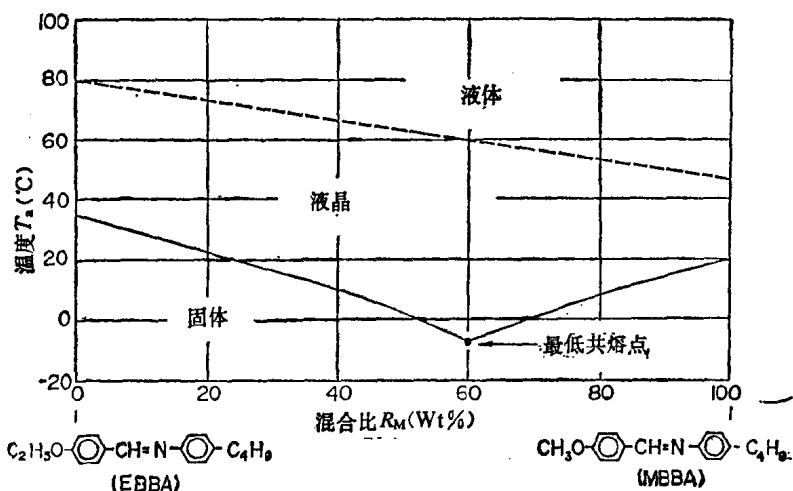


图 2.1 MBBA 和 EBBA 混合物的相图^[3]

体各自的液晶相温度区间都要宽得多。更重要的是，该混合物的液晶相温度范围与人类生活的环境温度很一致。

目前发现大约每 200 种有机物中就有一种呈液晶态。绝大多数的液晶分子是棒状的或条形的，宽度约十分之几纳米（1 纳米 = 10 埃），长度约数纳米。分子的长宽比约为 10。图 2.2 是这类液晶分子的模型。

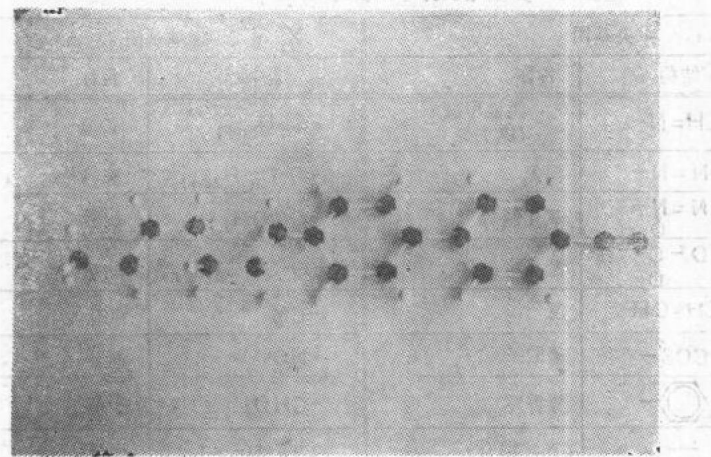


图 2.2 液晶材料 $H, C, -\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CN}$ 的棒状分子模型。靠外的小白球代表氢原子，大的黑色多面体代表碳原子，位于中间


这些分子结构细长，由两、三个环构成分子核，这些环是芳香环，环己基环等。环之间要么直接相接，要么通过一个中央基团（在表 2.1 中用 A 表示）相连接。细长的末端基团 X 和 Y 处于分子核的对位位置上。两端的基团一般不一样。







中央基团与它两侧的环结合很窄，从而使整个液晶分子保持线状结构。而末端基团则对材料的介电、光学和其它各向异性性质起主要作用。

氧化偶氮和席夫碱化合物最早用于液晶显示，但是它们的稳定性差，现在已经很少用了。例如，氧化偶氮化合物在光照下易于

分解而转变为非液晶性材料；席夫碱的亚胺桥键容易水解。联苯类液晶稳定性很好，目前得到广泛使用。最近，苯基环己烷，双环己烷和环己烷酯化合物也相继研制问世，它们的电光特性好，工作温度范围宽，满足了日益发展的液晶显示的要求。

表2.1 典型液晶分子的化学结构

A: 中央基团		X, Y: 末端基团	
结构	名称	结构	名称
-CH=N-	偶氮甲碱 (席夫碱)	-C _n H _{2n+1}	烷基
-N=N-	偶氮	-O-C _n H _{2n+1}	烷氧基
-N=N- O	氧化偶氮	-COOH	羧基
-O-C- O	酯	-O-CO-C _n H _{2n+1}	酯基
-CH=CH-	茂	-CN	氰基
-COS-	硫酸	-NO	硝基
	芳香环	-CHO	甲酰
—	(直接耦合)	-Cl, -Br, -I	卤素

式中的一个或两个芳香环()有时可以与一个或两个环己基环()，嘧啶()，二氧杂环己基环()，环辛烷()或方环()取代。

根据液晶分子排列的平移和取向有序性，液晶可以简单划分为三大类：近晶相，向列相和胆甾相，其结构如图 2.3 所示。图中，矢量 n 表示液晶分子的宏观取向，被称为指向矢。分子沿 n 方向取向有序的程度用取向序参数 S 表示， S 定义为

$$S = \frac{1}{2} (3\cos^2\theta - 1) \quad (2-1)$$

式中， θ 是每个液晶分子长轴与指向矢之间的夹角。如果所有分子都相互平行， $S = 1$ ；如果分子完全无规排列， $S = 0$ 。

近晶相中，分子的长轴彼此平行，分子的重心位于同一平面内，这些分子层又相互堆垛起来。但是，在同一分子层内分子的间距没有规则性。所以，近晶相的分子存在二维位置有序。

近晶相内分子间的结合不很牢固，使得分子层比较柔软，因此，层面往往是弯曲的。由于近晶相力图维持分子层面的完整，所以，与层面垂直的粘滞系数比与层面平行的粘滞系数要大得多。

近晶一词来源于希腊字 $\sigma\mu\eta\nu\mu\alpha$ ，意思是肥皂，因为近晶相的力学性质与肥皂有些类似。在偏光显微镜下观察，发现近晶相至少存在 15 种不同的结构。这些结构并不一定都是真正的液晶相。人们将呈现不同结构的近晶相进一步细分为：近晶 A 、 B 、 C 、 \dots 、 I 相。这种命名法并不是以其性质区分的，而是依照它们发现的时间先后命名的。

向列相中，液晶分子的长轴倾向于彼此平行排列，但是分子重

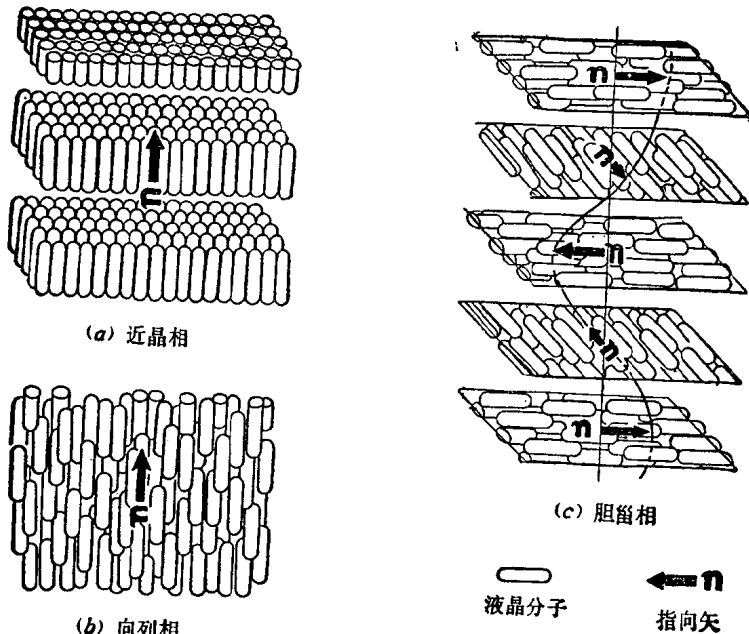


图 2.3 三类液晶相的分子有序性

心的分布无序,无规排列,就象各向同性液体一样。所以,向列相的分子只有一维有序。向列相的流动性一般是所有液晶中最大的。在正交偏振片之间观察,常常会看到一些丝状的缺陷。向列相一词来自希腊语 $\nu\eta\mu\alpha$, 它的意思就是丝。向列相是光学单轴的,有强烈的双折射。迄今没有发现铁电向列相。

胆甾相中,液晶分子的长轴在同一平面内互相平行,但是从一个平面到另一个平面它的指向矢逐渐扭曲。很多胆甾醇酯呈胆甾相,所以后者也因此而得名。指向矢的扭曲使胆甾相的折射率出现周期性变化,而且扭曲螺距与可见光的波长相当,所以胆甾相对可见光会产生布喇格散射而呈现各种颜色。胆甾相指向矢的扭曲螺距,即螺旋螺距定义为指向矢旋转 2π 的两个平面间的距离。

某些胆甾醇酯会呈现“蓝相”,蓝相是均匀胆甾相的稳定缺陷网络。蓝相的温度范围很窄,约 1°C 左右,其螺距一般小于 0.5 微米。蓝相是光学各向同性的,但是对偏振光有很强的旋光性和圆二色性。

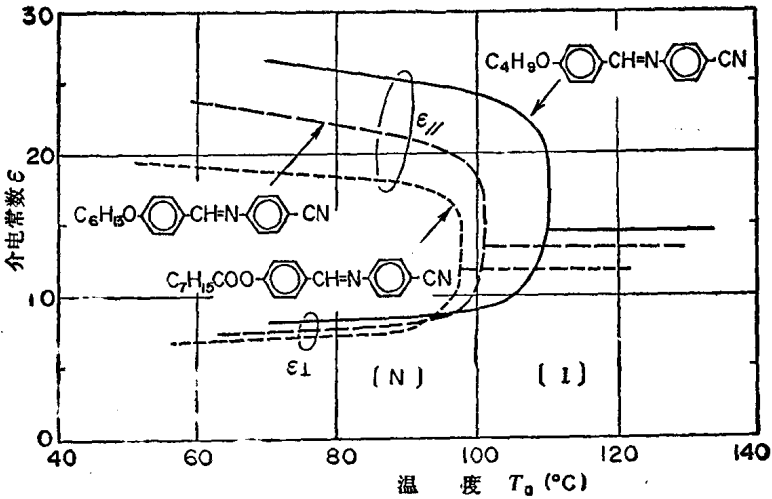


图 2.4 氰基化合物的向列相和各向同性液相的介电常数与温度的关系^[6]

由于单个液晶分子都有各向异性的折射率(因为分子细长)和介电性(因为其永久偶极矩或感应偶极矩),所以体液晶材料的折射率和介电常数也是各向异性的。此外,液晶的粘滞系数、磁化率、电导率也是各向异性的。这些性质会因温度和驱动频率等外界因素的不同而改变。下面简略介绍这些性质。

图 2.4 中给出了三种液晶材料的介电常数与温度的关系^[6]。图中, ϵ_{\parallel} 和 ϵ_{\perp} 分别为电场与指向矢平行和垂直时的介电常数*、 Δ 。从图中可以看到,当材料处于向列相(N)时, ϵ_{\parallel} 和 ϵ_{\perp} 不相等;当温度升高进入各向同性液态(I)后,两个介电常数相等。

介电各向异性 $\Delta\epsilon$ 表示为

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \quad (2-2)$$

介电各向异性为正的液晶称作 P 型液晶,又叫正性液晶;介电各向异性为负的液晶称作 n 型液晶,或负性液晶。请注意,以上术语不要与半导体材料的 P 型和 n 型的含义混淆。p 型液晶的分子

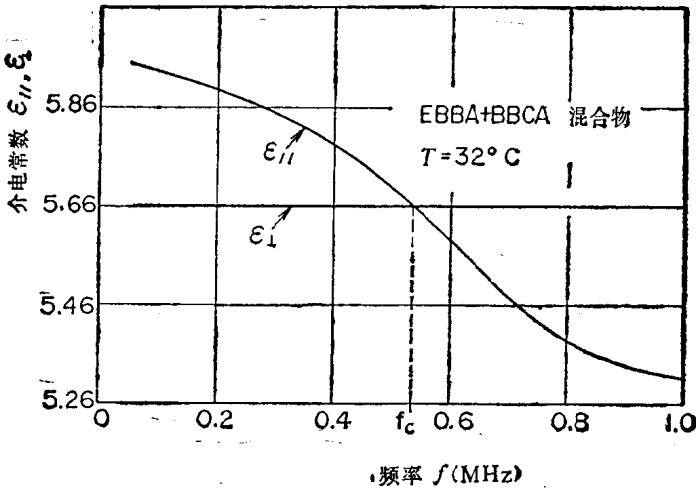


图 2.5 介电常数 ϵ_{\parallel} 和 ϵ_{\perp} 与频率的关系^[22]

* 准确讲,这里的介电常数 ϵ 是相对介电常数。材料的介电常数 $\epsilon^* = \epsilon \cdot \epsilon_0$, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ 法/米,是真空介电常数。

Δ 原文将 ϵ_{\parallel} 与 ϵ_{\perp} 写倒了。——译者。

倾向于平行外电场排列，而 n 型液晶的分子则倾向于垂直外电场排列。p 型液晶的介电各向异性一般在 10~20 左右，n 型液晶则一般在 -1~-3 之间。分子末端含有氰基 (-C≡N) 一类极性取代基的液晶，通常介电各向异性为正，因为这类基团的电偶极矩较大。

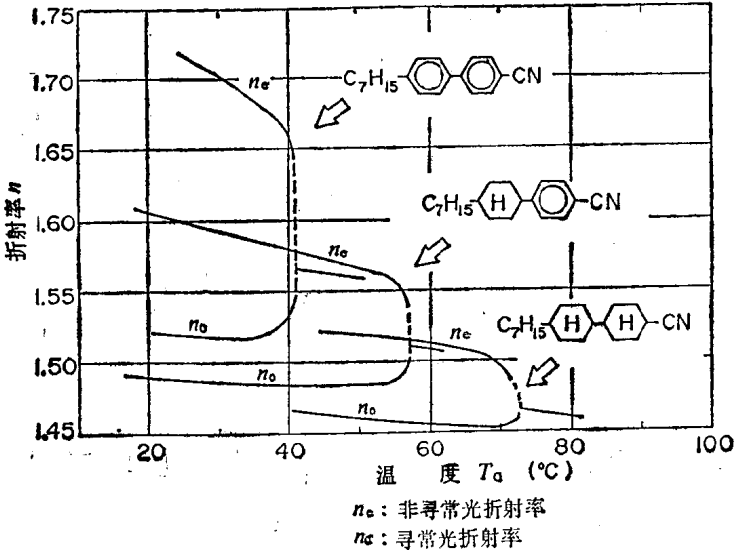


图 2.6 几种向列相液晶的折射率与温度的关系^[11]

通常，液晶的平行介电常数 ϵ_{\parallel} 随驱动频率增加而迅速降低，如图 2.5 所示^[22]。这是液晶的介电弛豫所致。但是，另一个介电常数 ϵ_{\perp} 在很宽的频段基本不变。在相交的频率 f_c 处， $\epsilon_{\parallel} = \epsilon_{\perp}$ ，这时，液晶成为介电各向同性了。材料不同， f_c 也不同，一般 f_c 在 100 千赫~1 兆赫之间。

芳香环，例如苯环内的非定域 π 电子会产生高的电极化率，所以芳香环是液晶呈现光学各向异性的主要原因。图 2.6 给出了几种向列相液晶材料的折射率与温度的关系曲线^[11]。图中， n_e 和 n_o 分别代表寻常光和非寻常光折射率。随着光波长的增加，液晶