

第二章 显示技术

显示技术主要有两种方式：阴极射线管（CRT）、平板显示。阴极射线管是传统的信息显示器件，它具有质量优良、制作和驱动简单、性价比较高等优点，半个世纪以来一直在显示领域占有统治地位。但它同时也具有电压高、有软 X 射线、体积大等缺点。在此状况下平板显示技术应运而生，发展迅速。平板显示在国际上尚没有严格定义，一般指显示器的厚度小于显示屏幕对角线尺寸四分之一的显示技术。平板按显示媒质和工作原理主要有液晶显示（LCD）、等离子体显示（PDP）、电致发光显示（LED）等。

2.1 阴极射线管

2.1.1 黑白显像管

黑白显像管由电子枪、偏转系统、荧光屏和玻璃外壳组成，如图 2.1 所示。视频信号加在电子枪上以调制电子束强度，被调制的电子束在偏转系统作用下，在管内从上到下，从左到右依次偏转，在荧光屏上扫描出与被摄景物几何相似、明暗对应的适合人眼视觉特性要求的光学图像。

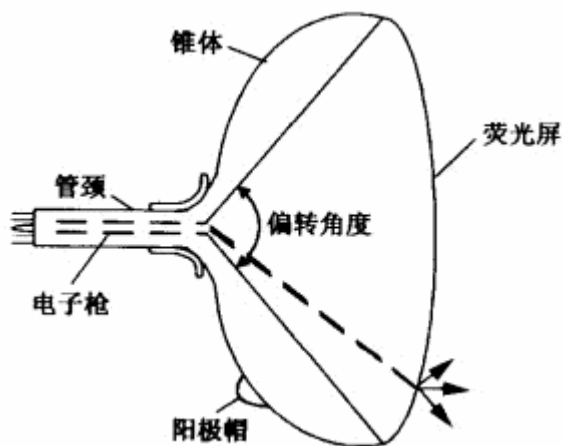


图 2.1 黑白显像管示意图

1、电子枪

电子枪实现电子束的发射、控制和聚焦，有较多种类。

(1) 双电位电子枪

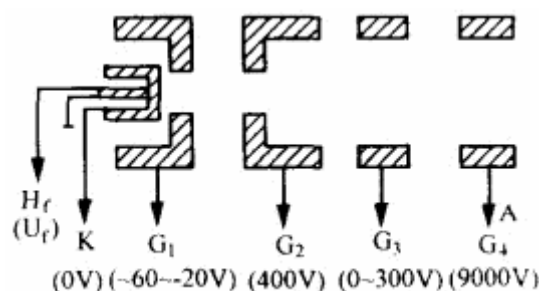


图 2.2 双位电子枪

双位电子枪原理结构与各极电压如图 2.2 所示：灯丝（Hf）、阴极（K）、第一控制栅极（G1，或称调制极）、加速极（G2，或称屏蔽极，或称第一阳极A1）构成发射系统，当灯丝加热，旁氧化物阴极达到工作温度时，大量电子获得逸出功，从阴极发射而出。若加速电压 U_{G2} 为额定值时，改变第一控制栅极电压（或阳极电压），即可改变阴极表面电位，控制电子束流大小，当调制电压为截止电压时，阴极电子因负电位全部返回阴极；相反，当合成电场为正时，大量阴极电子发射并被加速。电子在加速极附近形成交叉点，其位置和大小随调制电压大小而变化，此交叉点截面大小直接影响电视图像分辨率。加速极（G2）、聚焦极（G3，或称第二阳极A2）和高压阳极（G4，或称第三阳极A3）构成聚焦系统。聚焦极和高压阳极构成主聚焦透镜，将交叉点成像在荧光屏上，加速极和聚焦极构成弱聚焦的预聚焦透镜。

（2）单电位电子枪

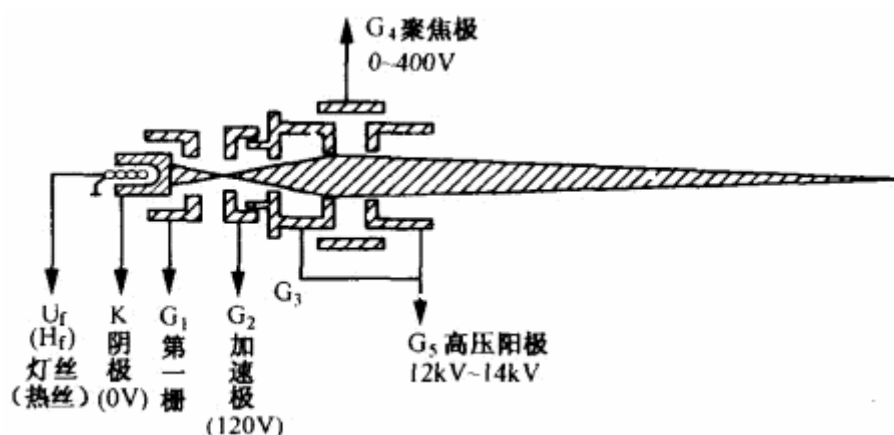


图 2.3 单电位电子枪

其结构如图 2.3 所示。灯丝（Hf）、阴极（K）、第一栅极（G1）、加速极（G2，或 A1）构成发射系统，加速极、第二阳极（G3，或 A2）、聚焦极（G4，或 A3）、高压阳极（G5，或 A4）构成聚焦系统。这种电子枪与双电位电子枪相比，在 G2 和 G4 之间多加了一个高压阳极 G3，这相当于在双电位电子枪的 G2 和 G3

之间多加了一个高压阳极，电位大幅增加，增强了预聚焦能力。电子束进入主透镜（由 G3、G4、G5 构成）前，经过预聚焦作用变细，然后再经过主透镜的聚焦，使电子束激发荧光屏产生的光电足够小。另外，由于聚焦极 G4 的电位大大低于 G3、G5，因此 G4 上的电位变化对电场影响作用减小了，这对显像管聚焦特性的稳定和提高起到了良好的保障作用。单电位电子枪只要在设计装配时将三电极位置调整好，在以后的使用中，对聚焦电压就不必进行调整，所以该电子枪又称为自聚焦电子枪。

（3）对电子枪的基本要求

- a. 束斑大小应符合扫描线宽的要求，屏幕尺寸越大，对光电尺寸的要求越宽。
- b. 束流足够强。为保证屏幕有足够的亮度，束流应在 $50\mu\text{A} \sim 200\mu\text{A}$ ，屏幕电压则为 $10\text{kV} \sim 20\text{kV}$ ，屏幕大的管子应取较大的束流与较高的电压。
- c. 调制特性陡，如图 2.4 所示。调制特性曲线表征荧光屏上束流随调制极电压 U_M 的变化规律，调制特性曲线越陡，所需图像信号 u_m 的幅值越小。用调制量来描写电子枪的调制特性，所谓调制量是指阴极从截止状态变化到正常工作束流时，调制极电压的变化范围，即调制量 $\Delta U_M = |U_{M0} - U_M|$ ，其中 U_{M0} 为截止电压，即束流降至 $0.5\mu\text{A}$ 时的调制极上所加负电压数值， U_M 为正常工作时调制极上所加负电压数值。

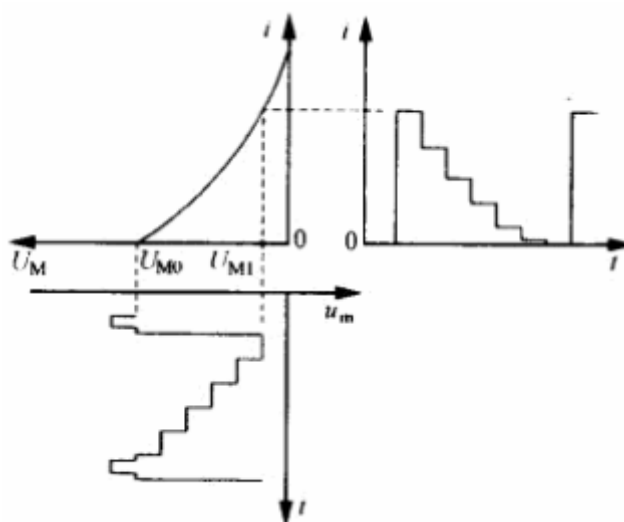


图 2.4 显像管调制特性

2. 偏转系统

为在显像管中实现在高阳极电压下的大角度偏转，才用磁偏转系统。在广播电视系统中都采用单向匀速直线扫描，且规定电子束从上到下、从左到右形成矩形光栅。我国采用 PAL 电视制式，每帧 625 行，每秒 25 帧；隔行扫描，每秒 50

场。每行水平扫描正程为 $52\mu\text{s}$ ，逆程为 $12\mu\text{s}$ 。场正程时间 $\geq 18.4\text{ms}$ ，场逆程时间 $\leq 1.6\text{ms}$ ，垂直方向实际显示 575 行。行频为 15625Hz ，场频 50Hz ，如图 2.5 所示。

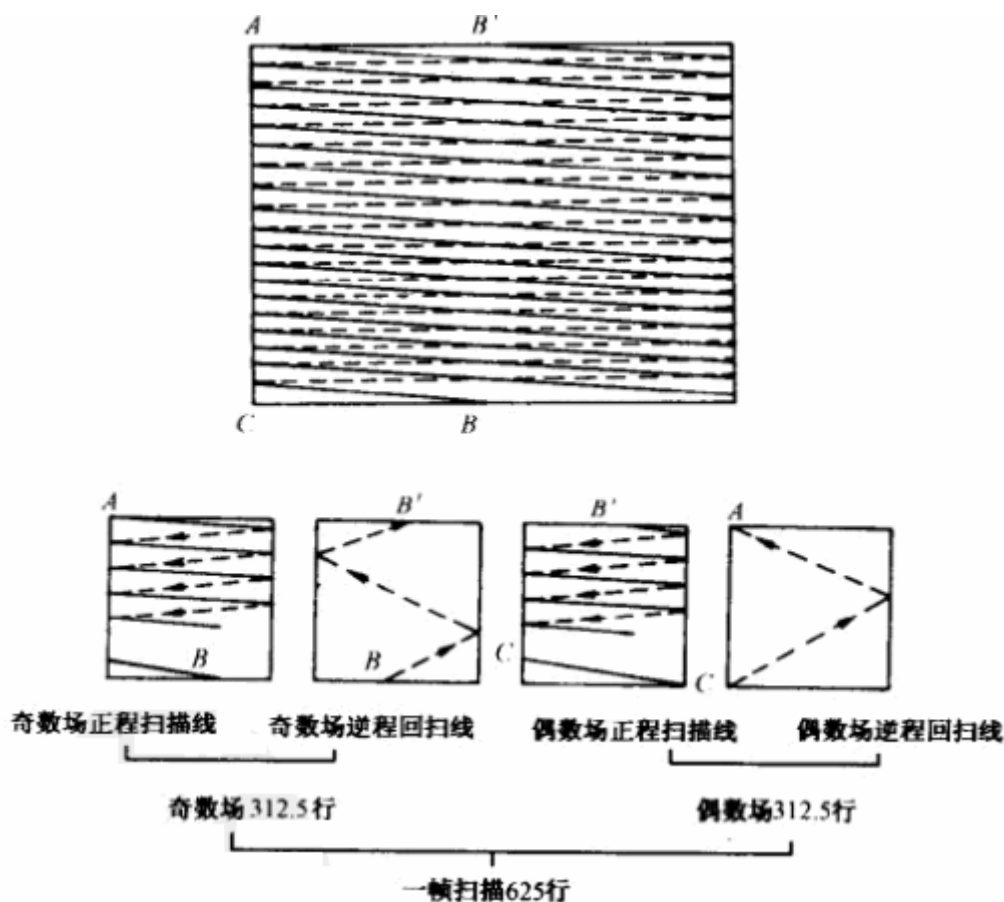


图 2.5 扫描光栅

为了形成水平扫描线，根据左手定则可以看出：只有在垂直方向磁场的作用下，可使电子束产生水平方向的偏转。当行频锯齿波电流流过一对水平线圈时，则电子束将按照广播电视所要求的那样从左到右在屏幕上进行偏转，形成水平扫描线。同理，要形成垂直扫描线，只有在水平方向磁场的作用下，可使电子束产生垂直方向的偏转。当场频锯齿波电流流过一对垂直线圈时，则电子束将按照广播电视要求从上到下在屏幕上进行偏转，形成垂直扫描线。

偏转线圈套在管颈处，垂直偏转线圈由于工作频率低，所以可以将线圈绕在环形磁环上，所需的安匝数较少；水平偏转线圈由于工作频率高，常采用空心的鞍形线圈，所需的安匝数大。为提高水平灵敏度，总是将水平线圈放在垂直线圈里面，且紧贴管颈。

为缩短显像管长度，采用大偏转角。所谓偏转角，是指在偏转磁场作用下，电子束在屏幕对角线处的张角 θ 。当偏转角从 90° 增大到 110° ，管长可缩短 $1/3$ ，

偏转功率则增加为 90^0 时的 123%。为了抑制偏转功率上升可将管颈缩小，例如将管颈由 $\Phi 36.5\text{mm}$ 缩小到 $\Phi 29.1\text{mm}$ ，则偏转功率只需原来的 56%。目前显像管大多是大偏转角（ 90^0 ， 100^0 ， 110^0 ）、细管颈。

3. 荧光屏

荧光屏一般由玻璃基板、荧光粉层和铝层构成。

人眼的最大视角，水平方向约为 17^0 ，垂直方向约为 13^0 ，所以电视画面的宽度与高度之比为 4: 3 或 5: 4，我国取 4: 3，因此采用矩形玻璃基板作为屏面。为了减小环境光的影响，提高图像对比度，屏玻璃采用具有中性吸光性能的烟灰玻璃。此外还要满足光洁度、均匀性、耐压力、耐张力和防爆性等方面的要求。

荧光粉层完成显像管内的光电转换功能，黑白显像管要求在电子轰击下荧光粉发白光，一般采用颜色互补的两种荧光粉混合起来发白光。例如常用的 P4 荧光粉，是将发黄光的 ZnS 、 $\text{CdS}[\text{Ag}]$ 与发蓝光的 $\text{ZnS}[\text{Ag}]$ 按 45: 55 的比例混合起来，发出白光，其光谱特性曲线如图 2.6 所示。余辉时间是荧光粉的重要特性参数。余辉时间是指荧光粉在电子轰击停止后，其亮度减小到电子轰击时稳定亮度的 $1/10$ 所经历的时间。一般把余辉分成三类：余辉时间长于 0.1s 的成为长余辉发光；余辉时间介于 $0.1\text{s}\sim 0.001\text{s}$ 的称为中余辉发光；余辉时间短于 0.001s 的称为短余辉发光。余辉太长，运动的画面会有拖影；余辉太短，荧光屏的平均亮度会降低，电视用荧光粉要求具有中余辉发光。

2.1.2 彩色显像管

彩色显像管利用三基色图像叠加原理实现彩色图像显示。荫罩式彩色显像管是目前占主导地位的彩色显像管，这种管子的原始设想是德国人弗莱西在 1938 年提出的。荫罩式彩色显像管有三大类：第一类是三枪三束彩色显像管，由美国无线电公司（RCA）公司与 1950 年研制成功。第二类是单枪三束彩色显像管，由日本索尼公司于 1968 年研制成功。第三类是自会聚彩色显像管，它克服了三枪三束管和单枪三束管的不足之处，美国无线电公司于 1972 年成功研制了第一只自会聚彩色显像管，自会聚彩色显像管经过不断改进，已成为目前的主要产品。

1. 三枪三束彩色显像管

三枪三束彩色显像管的原理如图 2.7 所示，荧光屏内壁涂有发光颜色为红、绿、蓝的荧光粉点，每一组三个红、绿、蓝荧光粉点排列成十字形，组成一个彩

色像素，通常再现一幅清晰的彩色图像需 40~50 万个像素，即需要 120~150 万个彩色荧光粉点。这些荧光粉点的直径很小（几微米到几十微米），在红、绿、蓝三个电子枪的激发下，红、绿、蓝荧光粉点产生对应颜色的光点，在适当的距离外，人眼分辨不出单色小点，而只是看到一个合成的彩色光点。红、绿、蓝三个电子枪在管颈内成品字形排列，相隔 120° ，每个电子枪与管颈中心轴线倾斜 $1^\circ \sim 1.5^\circ$ ，在距荧光屏后约 2mm 处放置一块荫罩板，一般用 0.12mm~0.16mm 厚的低碳钢板制作，在钢板上有规律的排列小孔，一个小孔与荧光屏上的一个像素对应，即小孔与荧光屏上的红、绿、蓝荧光粉点组一一对应。荫罩在彩色显像管中起选色的作用，由红、绿、蓝三个电子枪发射的三个电子束在荫罩上的小孔处会聚，穿过小孔后打在相应的红、绿、蓝荧光粉点上。三枪三束管中的每一个电子枪相当于黑白显像管中的电子枪。

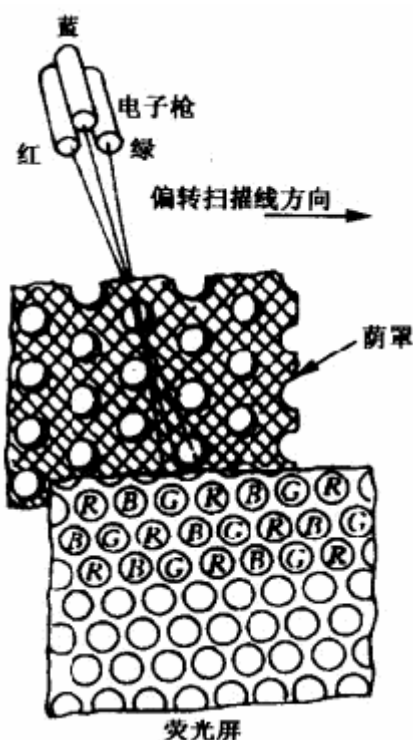


图 2.7 三枪三束彩色显像管原理示意图

为了提高荧光屏的亮度和对比度，采取了黑底技术。在早期的荫罩管中，荧光粉点的直径大于射向该点电子束直径，荧光粉点共约占屏面积的 90%，未涂荧光粉的部分约占 10%。所谓黑底技术，就是将荫罩板上的小孔加大使通过小孔后的电子束直径大于荧光粉点，这样就提高了输出亮度。屏幕上除荧光粉点以外的部分涂上石墨，这样又提高了对比度。一般黑底荧光屏 50% 为黑底，50% 为荧光粉点。荧光屏黑底结构如图 2.8 所示。

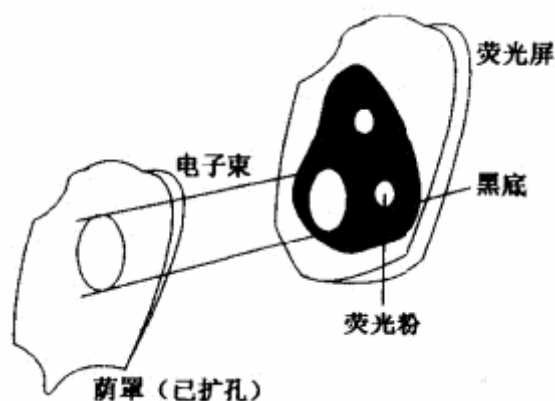


图 2.8 荧光屏黑底结构

2. 单枪三束彩色显像管

单枪三束彩色显像管的基本原理与三枪三束管相似，但结构上有重大改进，如图 2.9 所示。单枪三束彩色显像管有三个阴极，但发射的三束电子束共用一个电子枪聚焦。三条电子束在同一个水平面内呈一字排列，因此在任何偏转状态下三条轨迹大致保持在同一水平线上，故只需进行水平方向的动态会聚误差校正，静态会聚的调整也较三枪三束简单，大大简化了会聚的调节。用条状结构荧光屏代替点状结构荧光屏，荫罩也做成删缝状，提高了电子束的透过率，图像亮度高。

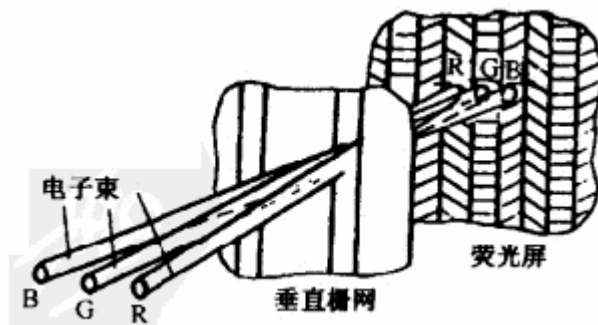


图 2.9 单枪三束彩色显像管原理示意图

3. 自会聚彩色显像管

自会聚彩色显像管是在三枪三束彩色显像管和单枪三束彩色显像管的基础上产生的，是深入研究电子光学像差理论的结构。自会聚彩色显像管采用精密直列式电子枪，配置了精密环形偏转线圈，如图 2.10 所示。直线排列的电子束通过以特定形式分布的偏转场后能会聚于整个荧光屏，因而无需进行动态会聚调整，使彩色显像管的安装、调整与黑白显像管一样简便。

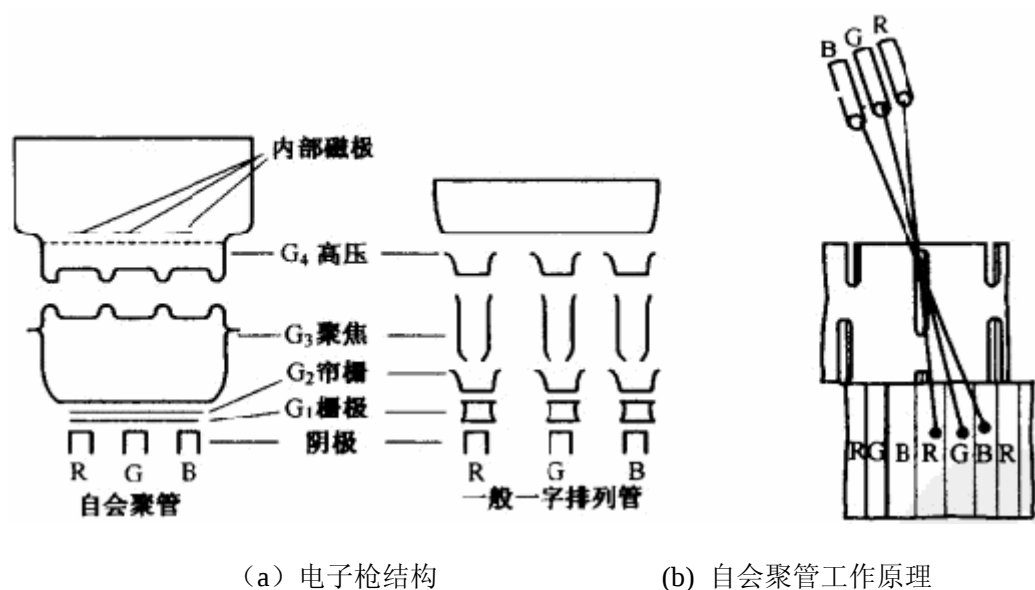


图 2.10 精密直列式电子枪工作原理示意图

(1) 自会聚彩色显像管的结构特点

① 精密直列式电子枪

自会聚彩色显像管的三个电子枪排列在一水平线上，彼此间距很小，因而会聚误差也很小。除阴极外，其它电极都采用整体式结构，电子枪之间的距离精度只取决于制作电极的模具精度，与组装工艺无关。电子枪除三个独立的阴极引线用于输入三基色信号和进行白场平衡调节，其它电极均采用公共引线。

② 开槽荫罩和条状荧光屏

自会聚管采用开槽荫罩，是综合考虑了三枪三束管的荫罩和单枪三束管的条状栅网的利弊而采用的折中方案，这种荫罩的槽孔是断续的，既有错开的横向结，克服了栅网式荫罩板怕振动的缺点，增强了机械强度，降低了垂直方向的会聚精度要求，提高图像的稳定性。但荧光屏的垂直分解力受到横向结构的影响，不如单枪三束管高。于开槽荫罩相对应，荧光屏做成条状结构，对这种结构的荧光屏也可采用黑底管技术，提高图像对比度。

③ 精密环形偏转线圈

自会聚彩色显像管采用了精密环形偏转线圈，其匝数分布恰好给出实现电子束会聚所需的磁场分布，从而无须进行动态会聚，三条电子束就能在整个荫罩上良好会聚。因此将这种偏转线圈称为动态会聚自校正型偏转线圈。

(2) 自会聚原理

由于从直线形排列的电子枪发出的三个电子束在一个水平面内，因而消除了产生垂直方向会聚误差的主要因素，下面主要讨论水平方向的会聚问题。

用来进行静态会聚调整的三对环形永久磁铁安装在彩色显像管的颈部靠近电子枪一侧，一对为二磁极式，一对为四磁极式，一对为六磁极式。二极磁铁也叫色钝磁铁，其作用是使三条电子束一起同方向移动。四极和六极磁铁称为静态会聚磁铁，四极磁铁可以使红、蓝两边束产生等量反方向移动，六极磁铁可使红、蓝两边束产生等量同方向移动。四极和六极磁铁在管颈轴线处的合成磁场为零，因此对中束无影响。二极、四极、六极的调整方法是：当两片磁铁做反方向相对转动时，可改变磁场的强弱，即改变移动量的大小；两片一起做同方向转动，可改变磁场方向，即改变移动方向。反复调整磁铁，就可以达到静态会聚的目的。

动态会聚校正采用两组非均匀分布磁场来解决，一组是桶形磁场分布解决垂直偏转，一组是枕形磁场分布解决水平偏转。综合水平枕形和垂直桶形磁场分布的作用，能使三束会聚得到校正，但中间束绿束光栅的垂直和水平幅度都稍小，如图 2.11 所示，需用磁增强器加以修正。

为使三色光栅重合，在电子枪顶部设置了附加磁极，它实际上是四个磁环，与两条边束同心的磁环形成磁场分路使两个边束的光栅尺寸有所减小，故称磁分路器。装在中心束上下的两个磁环是磁增强器，使中心束光栅尺寸有所增加。磁增强器与磁分路器的作用，如图 2.12 所示。因此它们的总效果是使红、绿、蓝三个光栅重合。

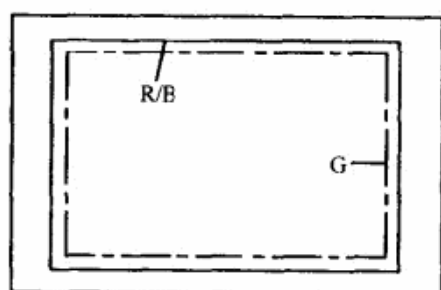


图 2.11 RGB 三电子束会聚图形

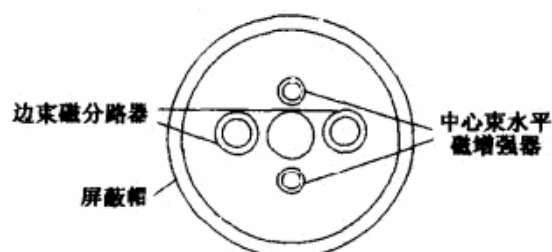


图 2.12 磁增强器与磁分路器作用

2.2 液晶显示

液晶显示器件 (LCD) 是利用液态晶体的光学各向异性特性，在电场作用下对外照光进行调制而实现显示的。自从 1968 年出现了液晶显示装置以来，液晶显示技术得到了很大的发展，已经广泛应用于钟表、计算器、仪器仪表、投影电视等家用、工业和军用显示器领域。液晶显示器主要有以下特点：

① 液晶显示器件是厚度仅数毫米的薄形器件，非常适合于便携式电子装置的显示。

② 工作电压低，仅几伏，用 CMOS 电路直接驱动，电子线路小型化。

③ 功耗低，显示板本身每平方厘米功耗仅数十微瓦，采用背光源也仅 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ ，可用电池长时间供电。

④ 采用彩色滤色器，LCD 易于实现彩色显示。

⑤ 现在的液晶显示器的显示质量已经可以赶上，有些方面甚至超过 CRT 的显示质量。

液晶显示器也有一些缺点，主要是：

① 高质量液晶显示器的成本较高，但目前呈下降趋势。

② 显示视角小，对比度受视角影响较大，现在已找到多种解决方法，视界接近 CRT 的水平，但仅限于高档次的彩色 LCD 显示。

③ 液晶的响应受环境影响，低温时响应速度较慢。

液晶显示的种类较多，下面讲介绍几种常见液晶显示器的工作原理。

2.2.1 液晶的基本知识

1. 什么是液晶

液晶是液态晶体的简称。1888 年奥地利植物学家莱尼采尔在合成许多胆甾醇酯中，观察到这些物质在加热焙熔过程中，刚熔时呈不透明状，具有流动性，又有像晶体那样的各向异性，进一步加热后浑浊完全消失，成为各向同性液晶。1889 年德国物理学家莱曼也观察到同样的现象，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晶的流动性、在光学上具有晶体性质的物质形态被命名 wie 流动晶体——液晶（Liquid Crystal）。液晶分为两大类：溶致液晶和热致液晶。前者要溶解在水中或有机溶剂中才显示出液晶状态，而后者则要在一定的温度范围内呈现出液晶状态。作为显示技术应用的液晶都是热致液晶。

显示用的液晶都是一些有机化合物，液晶分子的形状呈棒状很想“雪茄烟”，宽约十分之几纳米，长约数纳米，长度约为宽度的 4~8 倍。液晶分子有较强的电偶极矩和容易计划的化学团，由于液晶分子间作用力比固体弱，液晶分子容易呈现各种状态，微小的外部能量——电场、磁场、热能等就能实现各种分子状态间的转变，从而引起它的光、电、磁的物理性质发生变化，液晶材料用于显示器件就是利用它的光学性质变化。一般情况下单一液晶材料，即单质液晶满足不了

实用显示器件性能的要求,显示器件实际适用的液晶材料都是多种单质液晶的混合物。

2. 液晶的分类

热致液晶可分为近晶相、向列相和胆甾相三种类型,如图 2.13 所示。

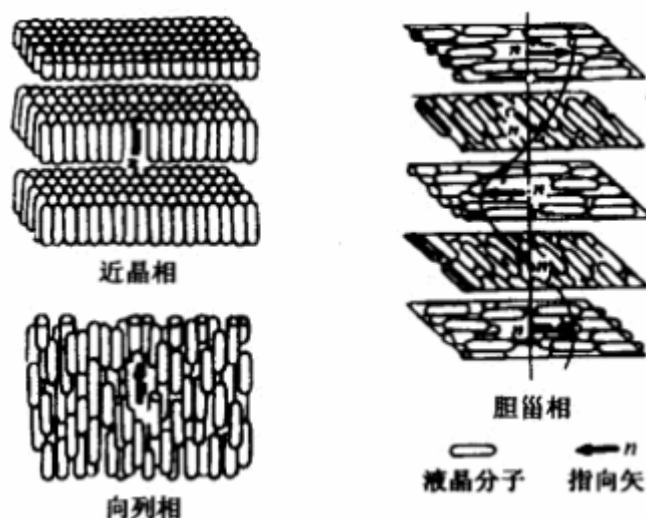


图 2.13 液晶分子排列的三种类型

近晶相液晶分子呈二维有序性,分子排列成层,层内分子长轴相互平行,排列整齐,重心位于同一平面内,其方向可以垂直层面,或与层面成倾斜排列,层的厚度等于分子的长度,各层之间的距离可以变动,分子只能在层内前后、左右滑动,但不能在上下层之间移动。近晶相液晶的黏度与表面张力都很大,对外界电、磁、温度等的变化不敏感。

向列相液晶分子只有一维排列,分子长轴互相平行,但不排列成层,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,对外界电、磁、温度、应力都比较敏感,目前是显示器件的主要材料。

胆甾相液晶是胆甾醇衍生出来的液晶,分子排列成层,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 分),多层扭转成螺旋形,旋转 360° 的层间距离称为螺距,螺距大致与可见光波长相当。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也是彼此平行取向,仅仅是从这一层到另一层时择优取向旋转一个固定角度,层层叠起来,就形成螺旋排列结构,所以在胆甾相中加消旋向列相液晶或将适当比例的左旋、右旋胆甾相混合,就可将胆甾相转

变为向列相。一定强度的电场、磁场也可将胆甾相液晶转变为向列相液晶。胆甾相易受外力的影响，特别对温度敏感，温度能引起螺距改变，而它的反射光波长与螺距有关。因此，胆甾相液晶随冷热而改变颜色。

热致液晶仅在一定温度范围内才呈现液晶特性，此时为混浊不透明状态，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，即黏度不同。如图 2.14 所示，低于问题 T_1 ，就变成固体（晶体），称 T_1 为液晶的熔点；高于温度 T_2 就变成清澈透明各向同性的液体，称 T_2 为液晶的清亮点。LCD能工作的极限温度范围基本上由 T_1 和 T_2 确定。

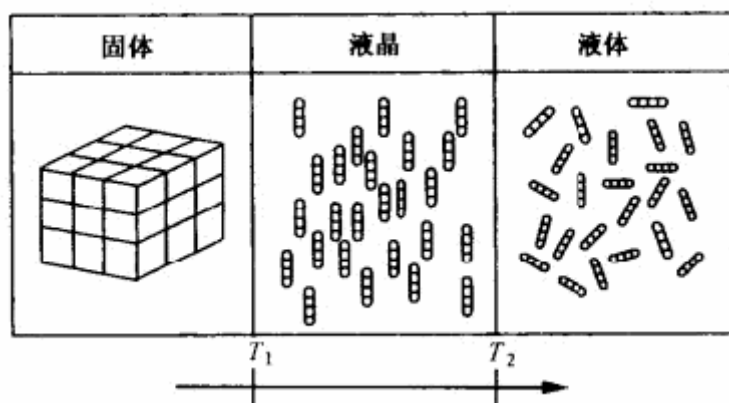


图 2.14 热致液晶的形成

3. 液晶的光电特性

如果不考虑由于热而引起液晶分子有序排列的起伏，则利用传统的晶体光学理论完全可以描述光在液晶中的传播。在外电场作用下，液晶的分子排列容易发生极化，液晶显示器件就是利用液晶的这一特性设计的。

(1) 电场中液晶分子的取向

液晶分子长轴排列平均取向的单位矢量 n 称为指向矢量，设 $\varepsilon_{//}$ 和 $\varepsilon_{\perp}$ 分别为当电场与指向矢平行和垂直时测得的液晶介电常数。定义介电各向异性 $\Delta\varepsilon$ 为

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{//} - \varepsilon_{\perp} \quad (2.1)$$

将 $\Delta\varepsilon > 0$ 的液晶称为 P 型液晶，它具有正的介电各向异性， $\Delta\varepsilon < 0$ 的液晶称为 N 型液晶，它具有负的介电各向异性。在外电场作用下，P 型液晶分子长轴方向平行于外电场方向，N 型液晶分子长轴方向垂直于外电场方向。目前的液晶显示器件主要使用 P 型液晶。

(2) 线偏振光在向列相液晶中的传播

沿着 P 型向列相液晶长轴方向振动的光波具有一个最大的折射率 $n_{//}$ ，而对于垂直于这个方向振动的光波具有一个最小的折射率 $n_{\perp}$ 。按照晶体光学理论，这种液晶为单轴的，分子的长轴方向就是光轴，寻常光折射率 $n_o = n_{\perp}$ ，非寻常光折射率 $n_e = n_{//}$ ，其折射率的各项异性 Δn 为

$$\Delta n = n_{//} - n_{\perp} = n_e - n_o \quad (2.2)$$

即显示用的向列相液晶一般呈正单轴晶体光学性质，它可以使入射光的偏振状态和方向发生改变。如图 2.15 所示，在 $0 \leq z \leq z_0$ 的区域内，业经沿着指向矢 n 的方向排列，偏振光振动方向与 n 成 θ 角，入射光在 x, y 方向上电矢量强度可用下式表示

$$E_x = E_o \cos \theta \cos(\omega t - k_{//} z) = a \cos(\omega t - k_{//} z) \quad (2.3)$$

$$E_y = E_o \sin \theta \cos(\omega t - k_{\perp} z) = b \cos(\omega t - k_{\perp} z) \quad (2.4)$$

两光场位相差记为 δ ，即

$$\delta = \frac{\omega z}{c} (n_{//} - n_{\perp}) \quad (2.5)$$

合成光场矢端方程为

$$\left(\frac{E_x}{a} \right)^2 + \left(\frac{E_y}{b} \right)^2 - 2E_x E_y \frac{\cos \delta}{ab} = \sin^2 \delta \quad (2.6)$$

当 $\theta = 0$ （或 $\frac{\pi}{2}$ 时）， $E_y = 0$ （或 $E_x = 0$ ），即偏振光的振动方向和状态没有改变，仍以线偏振光和原方向前进。

当 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时，式 (2.6) 变为

$$E_x^2 + E_y^2 - 2E_x E_y \cos \delta = \frac{E_o^2}{2} \sin \delta \quad (2.7)$$

随着光线沿着 z 方向前进，偏振光相继成为椭圆、圆和线偏振光，同时改变了线偏振方向。最后，这束光将以位相差 δ 所决定的偏振状态，进入空气中。

(3) 线偏振光在扭曲向列相液晶中的传播

如图 2.16 所示，把液晶盒的两个内表面作沿面排列处理并使盒表面上的向列相液晶分子方向互相垂直，液晶分子在两片玻璃之间呈 90° 扭曲，即构成扭曲向列液晶，光波波长 $\lambda \ll P$ （螺距）。当线偏振光垂直入射时，若偏振方向与上表面分子取向相同，则线偏振光偏振方向将随着分子轴旋转，并以平行于出口处分子轴的偏振方向射出；若入射偏振光的偏振方向与上表面分子取向垂直，则以

垂直于出口处分子轴的偏振方向射出；当其它方向的线偏振光入射时，则根据平行分量和垂直分量的位相差 δ 的值，以椭圆、圆或直线等某种偏振光形式射出。

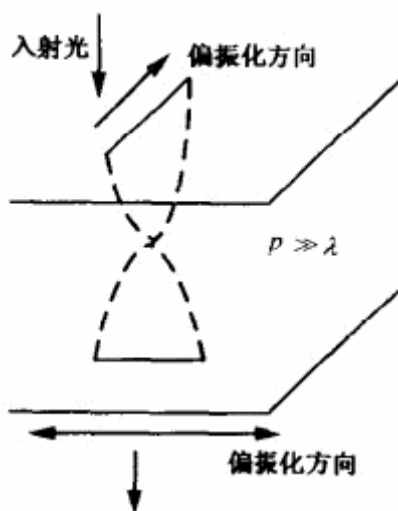


图 2.16 线偏振光在扭曲向列液晶中的传播

2.2.2 扭曲向列型液晶显示 (TN-LCD)

扭曲向列型液晶盒的基本结构如图 2.17 所示，在两块带有氧化铟锡 (ITO) 透明导电电极的玻璃基板上涂有称为取向层的聚酰亚胺聚合物薄膜，用摩擦的方式在表面形成方向一致的细微沟槽，在保证两块基板上的沟槽方向正交的条件下，将两块基板密封成间隙为几个微米的液晶盒，用真空压注法灌入正性向列液晶并加以密封。由于上下基板取向槽方向正交，，无电场作用时液晶分子从上到下扭曲 90° 。在液晶盒玻璃基板外表面黏贴上线偏振片，使起偏振片的偏振轴与该基片上的摩擦方向一致或垂直，并使检偏片与起偏振片的偏振轴相互正交或平行，就构成了最简单的扭曲向列液晶盒。

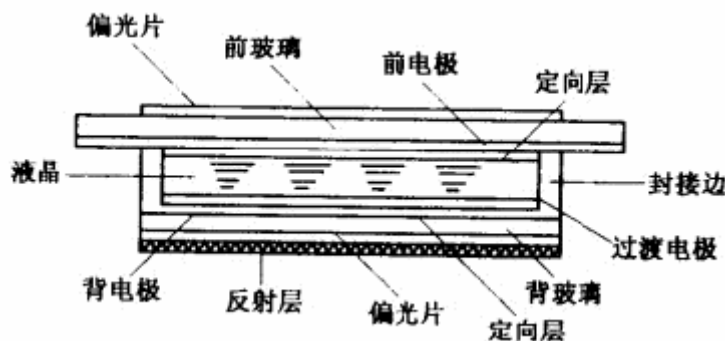


图 2.17 扭曲向列型液晶盒的基本结构

1. 工作原理

如图 2.18 所示, 入射光通过偏振片后成为线偏振光, 无电场作用时, 根据线偏振光在扭曲向列型液晶中的旋光特性, 如果出射处的检偏振片的方向与起偏振片垂直, 旋转过 90° 的偏振光可以通过, 因此有光输出而呈亮态。在有电场作用时, 如果电场大于阈值场强, 除了与内表面接触的液晶分子仍沿基板表面平行排列外, 液晶盒内各层的液晶分子其长轴都沿电场取向而呈垂直排列状态。此时通过液晶层的偏振光偏正方向不变, 因而不能通过检偏振片而呈暗态, 即实现了白底上的黑字显示, 称为正显示。同样, 如果将起偏振片和检偏振片的偏振轴相互平行黏贴, 则可实现黑底白字显示, 成为负显示。扭曲向列液晶产生旋光特性必须满足以下条件

$$d \cdot \Delta n \gg \lambda / 2 \quad (6.8)$$

式中 Δn 是液晶材料的折射率各向异性; d 是液晶盒的间距; λ 为入射光波长。一般的 TN-LCD 液晶盒取 $d = 10\mu m$ 。

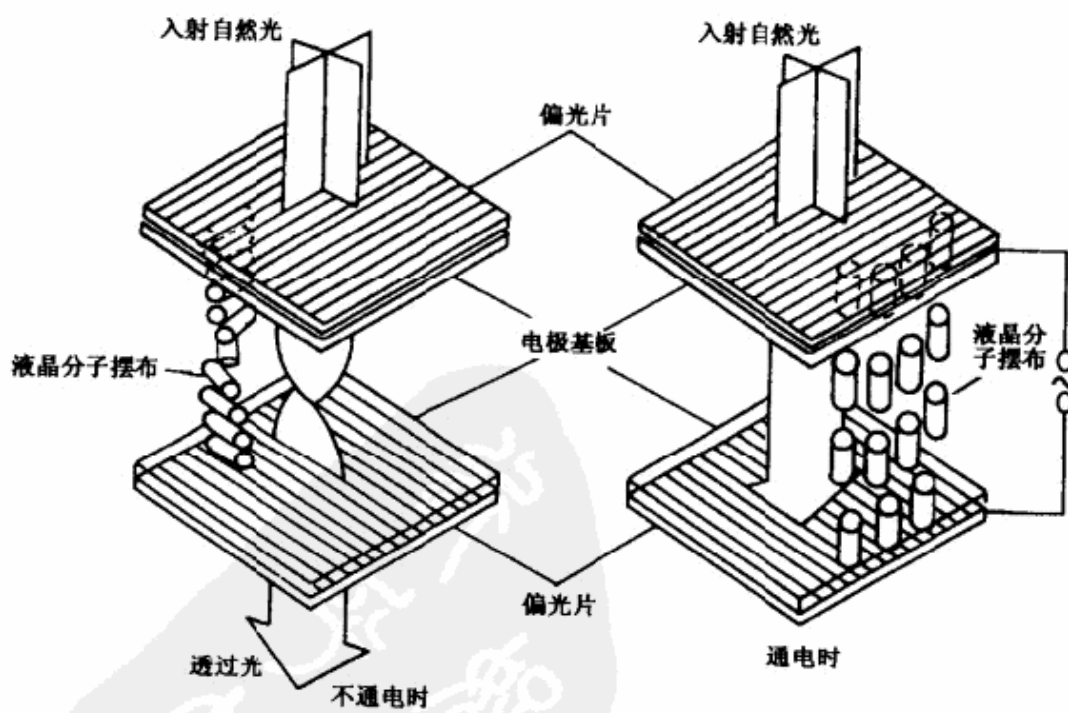


图 2.18 TN-LCD 的工作原理

2. TN-LCD 的电光特性

TN-LCD 的电光特性如图 2.19 所示, 纵坐标 T 表示透射率, 横坐标 V_{rms} 表示加在液晶盒上的电压均方根值, 即有效值。

阈值电压 V_{th} 定义为透射率为器件最大透射率的 90% (常白型) 或 10% (常黑型) 所对应的电压有效值, V_{th} 是和液晶材料有关的参数, 对于 TN-LCD, 大

约在 1V—2V 之间。

饱和电压 V_{sat} 定义为透射率为器件最大透射率的 10%（常白型）或 90%（常黑型）所对应的电压有效值。

陡度 γ 定义为

$$\gamma = \frac{V_{sat}}{V_{th}} \quad (2.9)$$

由于 $V_{sat} > V_{th}$ ，所以 γ 大于 1，极限值为 1。 γ 决定器件的多路驱动能力和灰度性能。陡度越大，多路驱动能力越强，但灰度性能下降，反之亦然。

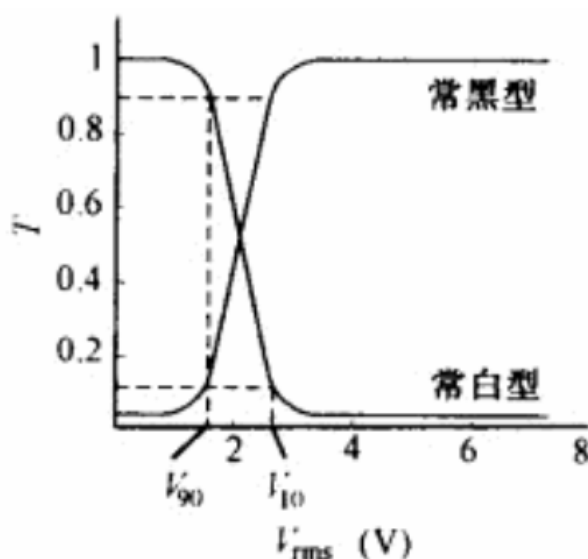


图 2.19 TN-LCD 的电光特性

LCD 的对比度是在恒定环境照明条件下，显示部分亮态与暗态的亮度之比。由于偏离显示板法线方向不同角度入射到液晶盒的光，遇到不同的液晶分子排列形态，造成有效光学延迟量不同，因此不同视角下对比度就不同，甚至可能出现暗态的透射率超过亮态透射率的情况，即出现对比度反转。目前，已经提出了几种解决视角问题等方法，最新产品的视角可以和 CRT 相当。

扭曲向列液晶显示器件对外加电压有如图 2.20 所示的瞬态响应曲线，液晶的电光响应通常滞后几十毫秒，透光率并不和外加电压同时增加，而要经过几个脉冲序列后才开始增加，并在经历一定序列脉冲后，达到最大值。停止施加外电压后，透光率也并不立即下降为零而是经过一定时间才达到较小值。

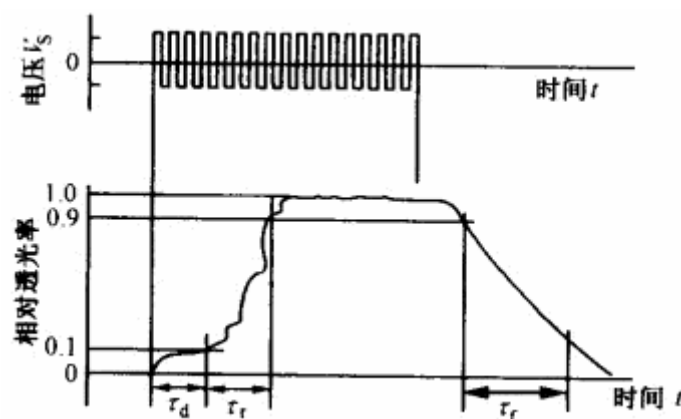


图 2.20 TN-LCD 的响应速度

液晶器件电光效应的瞬态响应特性通常用三个常数表征：延迟时间 τ_d ，定义为加上电压后透光率达到最大值 10% 时的时间；上升时间 τ_r ，定义为透光率从 10% 增加到 90% 所用的时间；下降时间 τ_f ，定义为透光率从 90% 下降到 10% 所用的时间。

三个常数与液晶材料的弹性系数、粘滞系数、液晶盒温度 and 外加电压有关。室温时，TN 型器件的 τ_d 为数毫秒， τ_r 在 10ms~100ms 之间， τ_f 在 20ms~200ms 之间。由于液晶材料的粘滞系数随温度上升而减小，因此 τ_r 和 τ_f 随环境温度上升而减小。目前普通 TN-LCD 的响应时间在 80ms 左右。

3. TN-LCD 的驱动

TN-LCD 液晶显示的电极可分为三类：

- ① 段型电极，用于显示数字和拼音字母；
- ② 固定图形电极，用于显示固定符号、图形；
- ③ 矩阵型电极，用于显示数字、曲线、图形及视频图像。

LCD 的驱动有如下一些特点：

- ① 为防止施加直流电压使液晶材料发生电化学反应而造成性能不可逆的劣化，缩短使用寿命，必须用交流驱动，同时应减小交流驱动波形不对称产生的直流成分；
- ② 驱动电源频率低于数千赫兹时，在很宽的频率范围内 LCD 的透光率只与驱动电压有效值有关而与电压波形无关；
- ③ 驱动时 LCD 像素是一个无极性的容性负载。

TN-LCD 主要有静态驱动和矩阵寻址驱动两种驱动方式。所谓静态驱动，是指在需要显示的时间里分别同时给所需显示的段电极加上驱动电压，直到不需要

显示的时刻为止。静态驱动的对比较度较高，但使用的驱动元器件较多，因此只用于电极数量不多的段式显示。TN-LCD 的矩阵寻址驱动实际上是一种简单矩阵（或无源矩阵）驱动方式，即把 TN-LCD 的上下基板上的 ITO 电极做成条状图形，并互相正交，行、列电极交叉点为显示单元，称为像素。按时间顺序逐一给各行电极施加选通电压，即扫描电压，选到某一行时各列电极同时施加相应于该行的信号电压，行电极选通一遍，就显示出一帧信息，若行电极数为 N ，每一行选通的时间只有一帧时间的 $1/N$ ，称 $1/N$ 为该矩阵寻址的占空比。占空比越小，每行在一帧时间内实际显示的时间所占的比例越小。

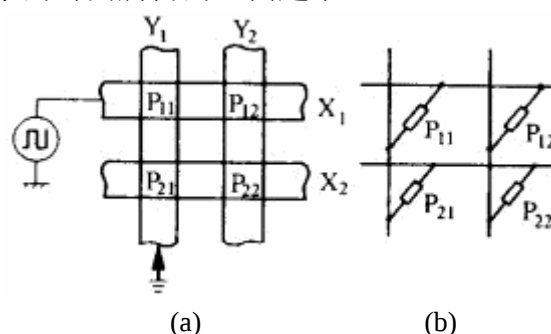


图 2.21 矩阵的交叉效应

矩阵寻址法可实现大信息容量的显示，但同时也带来了不可忽视的交叉效应问题，以 2×2 矩阵显示为例，如图 2.21(a) 所示。水平电极 X_1, X_2 是扫描电极，垂直电极 Y_1, Y_2 是信号电极，电压按序列加在 X_1, X_2 上，信号电压按调制要求加在 Y_1, Y_2 上。当只显示两个灰度等级时，如 V_0 加在 X_1 上，信号电压使 Y_1 为低电位，像素 P_{11} 称为全选点， P_{12} 、 P_{21} 称为半选点， P_{22} 称为非选点。可以将液晶像素视为一个阻抗，其等效电路如图 2.21(b) 所示。从等效电路可知， P_{11} 上的电压为 V_0 时， P_{12} 、 P_{21} 、 P_{22} 上有 $V_0/3$ 的电压。随着驱动电压的提高，最初 P_{11} 选中，滞后其它点也被“点亮”。此处的“亮点”指液晶单元有亮变暗或由暗变亮。交叉效应的主要原因是由于液晶像素的双向导体特性，外加电压只根据阻抗大小来分配电压。这样即使只对一个像素施加电压，矩阵上的所有像素都会由于矩阵网络的交叉耦合而分配到一定数值的电压。交叉效应随矩阵行、列数目的增大而加剧，它使图像对比度降低，图像质量变差。

采用偏压法可以在一定程度上较小交叉效应的影响，即不让非选点的行电极悬浮，而是让它加上 V_0/b 的电压，其中 V_0 是被选电极所加电压， b 是偏压比。理论分析表明：当 $b = N^{\frac{1}{2}} + 1$ 时（ N 为矩阵行数），则相应的交叉效应最小，称此时的 b 为最佳偏压比。

2.2.3 超扭曲向列型液晶显示 (STN-LCD)

1. STN-LCD 的结构和基本原理

扭曲向列液晶显示器件,其液晶分子的扭曲角为 90° ,它的电光特性曲线不够陡峭,由于交叉相应,在采用无源矩阵驱动时,限制了其多路驱动能力。理论分析和实验表明:把液晶分子的扭曲角从 90° 增加到 $180^\circ \sim 270^\circ$ 时,可大大提高电光特性的陡度。图 2.22 表示一组不同扭曲角下液晶盒中央平面上液晶分子倾角和外加电压的关系曲线。它的形状可近似看作电光曲线的形状。由图可知曲线的陡度随扭曲角的增大而增大,当扭曲角为 270° 是斜率达到无穷大。曲线陡度的提高允许器件工作在较多扫描行数下,但要求液晶分子在取向层界面上有较大的预倾角,这在规模生产中比较困难。目前的STN-LCD产品,扭曲角一般在 $180^\circ \sim 240^\circ$ 范围内,相应预倾角在 10° 以下,生产中比较容易实现。这种扭曲角在 $180^\circ \sim 240^\circ$ 范围内的液晶显示称为超扭曲向列型液晶显示。

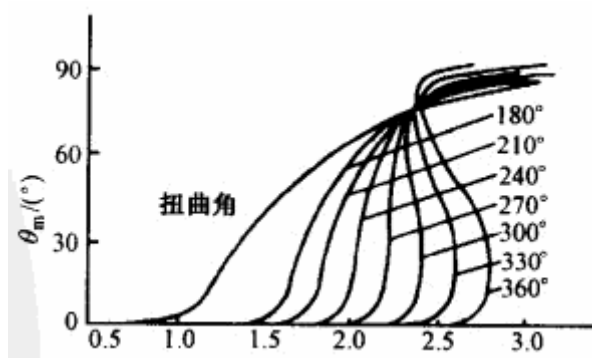


图 2.22 不同扭曲角情况下液晶盒中央液晶分子的倾角与所加电压的关系

STN液晶盒的结构和TN-LCD差别不大。STN-LCD利用了超扭曲和双折射两个效应,是基于光学干涉的器件。其工作原理如图 2.23 所示,取扭曲角为 180° 。起偏器偏振方向与液晶盒表面分子长轴在其上的投影方向呈 45° ,检偏器偏振方向与起偏器偏振方向垂直。在不加电压时由于入射STN的偏振光方向与液晶分子长轴成一定角度,从而使入射偏振光被分解成两束(正常光和异常光)。两束光波通过液晶后产生光程差,从而在通过检偏器时产生干涉,呈现一定颜色。加电压后,由于两偏振偏正交,光不能通过呈现黑色。根据液晶层厚度的不同和起偏振片、检偏振片相对取向的不同,常有黄绿色背景上些黑字(称为黄显示)和蓝色背景上写灰字(称为蓝模式)两种。为了对STN-LCD的有色背景进行补偿从而实现黑白显示,常采用两种方法:双盒补偿法和补偿膜法。双盒补偿法是在原有STN-LCD的基础上加一个结构参数完全一致但扭曲方向相反放大另一个液晶盒。

这种方法补偿效果好，但重量加重，成本较高。目前广泛采用的是补偿膜法，用一层或两层特制的薄膜代替补偿盒，这层膜可与偏振片贴在一起。实现黑白显示后，再加上彩色滤色器，就可以得到彩色STN-LCD，如图 2.24 所示。彩色滤色器是LCD实现彩色显示的关键器件，其基本原理同彩色CCD中采用的彩色滤色器相似。主体是由制作在玻璃基板上的红、绿、蓝三基色点阵组成，其间镶嵌有黑色矩阵，以增加其对比度。三基色点阵的排列方式常用的主要有品字形、田字形和条形结构，。一般显示字符和图形的办公用机都选用条形排列，显示动态图形和电视图像的多选用品字形或田字形排列。

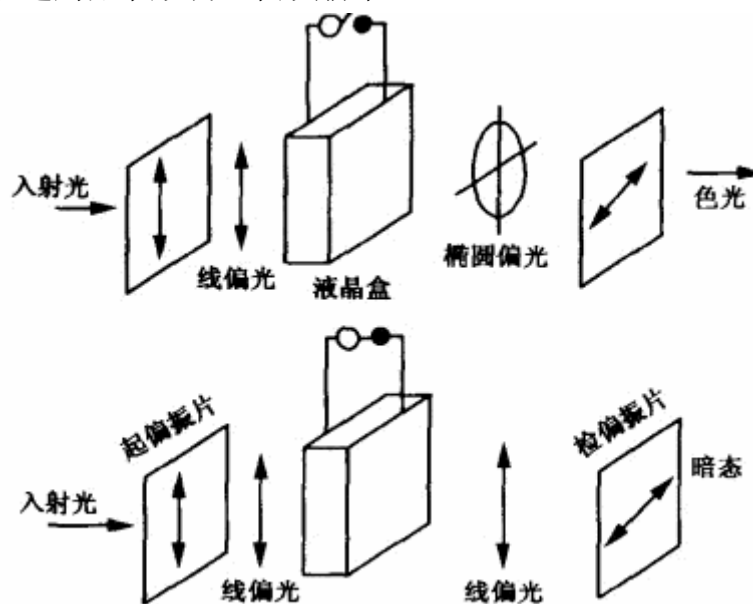


图 2.23 STN-LCD 显示原理示意图

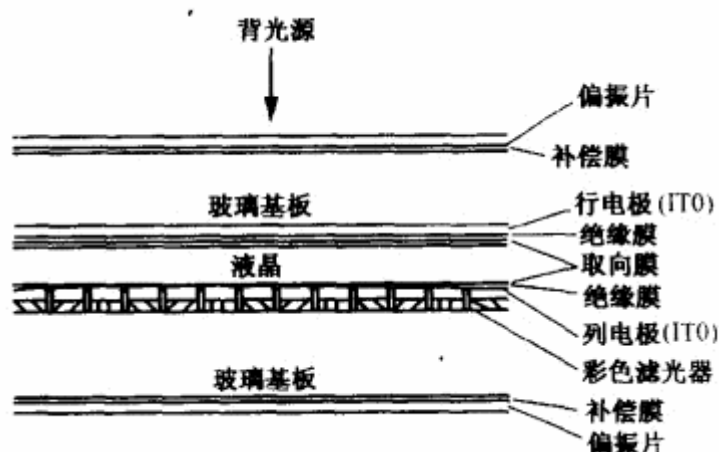


图 2.24 彩色 STN-LCD 结构示意图

2. STN-LCD 的制作工艺和性能特性

STN-LCD所用的液晶材料是在特定的TN材料中添加少量手征性液晶以增加

它的扭曲程度，盒的厚度较薄，一般 $5\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$ 。STN-LCD的工艺流程基本上和TN-LCD类似，但由于STN-LCD是基于光干涉效应的显示器件，对盒厚度的不均匀性要求 $< 0.05\mu\text{m}$ （TN-LCD只要求 $< 0.5\mu\text{m}$ ），否则就会出现底色不均匀，预倾角要求达到 $3^\circ \sim 8^\circ$ ，电极精细，器件尺寸较大，因此其规模生产难度较TN-LCD大许多。

STN-LCD 可以满足笔记本电脑的大容量信息显示需要，但其电光特性变陡后，灰度显示比较困难。另一方面，扭曲角增大后，相应速度下降。

2.2.4 有源矩阵液晶显示器件（AM-LCD）

STN-LCD 采用简单矩阵驱动，没有从根本上克服交叉效应，也没有解决因扫描行数增加、占空比下降所带来的显示质量劣化问题。因此，在每一个像素上设计一个非线性有源器件，使每个象素可以独立被驱动，克服交叉效应。依靠存储电容的帮助，液晶像素两端的电压可以在一帧时间内保持不变，使占空比提高到接近 1，从原理上消除了扫描行数增加时对比度下降的矛盾，获得高质量的显示图像。

有源矩阵液晶显示采用了像质最优的扭曲向列型液晶显示材料。有源矩阵液晶显示根据有源器件的种类分为二端型和三端型两种：二端型以 MIM（金属-绝缘体-金属）二极管阵列为主，三端型以薄膜晶体管（TFT）为主。

1. 二端有源矩阵液晶显示

二端有源矩阵液晶显示的电极排列结构如图 2.25 所示。图 2.26 为MIM矩阵等效电路，MIM与液晶单元成串联电路。二端有源器件是双向性二极管，正、反方向都具有开关特性。 R_{MIM} 、 C_{MIM} 分别是二端器件的等效非线性电阻和等效电容， R_{LC} 是液晶单元的等效电阻， C_{LC} 是液晶显示单元的等效电容。由于MIM 面积相对于液晶单元面积很小，故 $C_{\text{MIM}} \ll C_{\text{LC}}$ 。当扫描电压和信号电压同时作用于像素单元时，二端器件处于断态， R_{MIM} 很大，且 $C_{\text{MIM}} \ll C_{\text{LC}}$ ，电压主要降在 C_{MIM} 上，当此电压大于二端器件的阈值电压时，二端器件进入通态， R_{MIM} 迅速减小，大的通态电流对 C_{LC} 充电，一旦 C_{LC} 上的充电电压的均方根值 V_{rms} 大于液晶的阈值电压 V_{th} 时，该单元显示。当扫描移动到下一行时，原来单元上的外加电压消失，二端器件恢复到断态， R_{MIM} 很大，接近开路，此时 C_{LC} 上的信号电荷只能通过 R_{LC} 缓慢放电。如果参数选择合适，可使此放电过程在此后一帧时间内还维持 $V_{\text{rms}} \geq V_{\text{th}}$ 。因此该液晶单元不光在选址期内而且在以后的一帧时间内都保持显示状态，

这就解决了简单矩阵随着占空比下降而引起的对比度下降的问题。

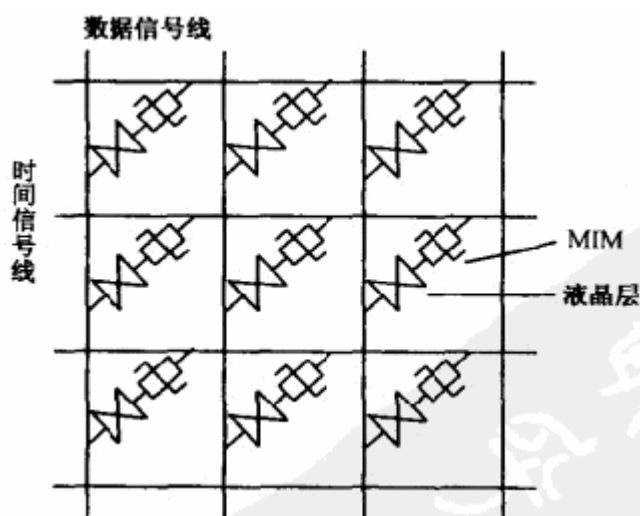


图 2.25 二端有源矩阵液晶显示的电极排列结构

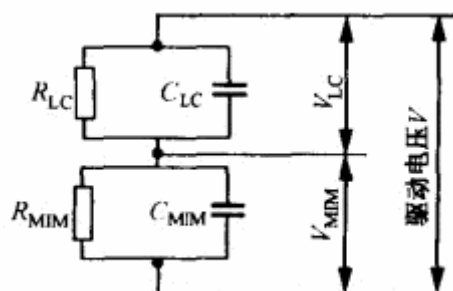


图 2.26 MIM 矩阵等效电路

2. 三端有源矩阵液晶显示

三端有源矩阵液晶显示的结构和单元等效电路如图 2.27 所示，每个像素上都串入一个薄膜晶体管TFT。它的栅极G接扫描电压，漏极D接信号电压，源极S接ITO像素电极，与液晶像素串联。液晶像素可以等效为一个电阻 R_{LC} 和一个电容 C_{LC} 的并联。当扫描脉冲加到G上时，使D-S导通，器件导通电阻很小，信号电压产生的大的通态电流 I_{on} 并对 C_{LC} 充电，很快充到信号电压数值。一旦 C_{LC} 的充电电压均方根值 V_{rms} 大于液晶的阈值电压 V_{th} 时，该像素产生显示。当扫描电压移到下一行时，单元上的栅压消失，D-S断开，器件断态电阻很大， C_{LC} 的电压只能通过 R_{LC} 缓慢放电。只要选择电阻率很高的液晶材料，可维持此后的一帧时间内 C_{LC} 上的电压始终大于 V_{th} ，使该单元像素在一帧时间内都在显示，这就是所谓的存储效应。存储效应是TFT-LCD的占空比为 1: 1，不管扫描行数增加多少，都可以得到对比度很高的显示质量。以上可见，三端AM-LCD的工作原理和二端AM-LCD基本相同，只是由于TFT的性能更加优越，它的通态电流 I_{on} 更大，断

态电流 I_{off} 更小，开关特性的非线性更陡，因而其显示性能也更好。

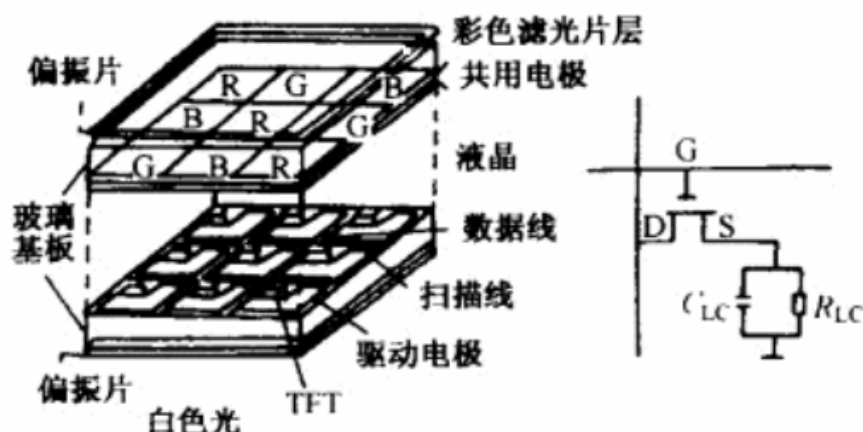


图 2.27 三端有源矩阵液晶显示的结构和单元等效电路

TFTLCD 的液晶盒工艺和 TN-LCD 类似，只是面积大、精度高、环境要求严，因此设备体系与 TN-LCD 完全不同，自动化程度要高几个量级。TFT 矩阵的制作工艺是玻璃基板上大面积成膜技术和类似于制造大规模集成电路的微米级光刻技术的结合。TFT 的图形虽然没有 IC 那样复杂，但要求在大面积上均匀一致，且只允许极少的缺陷率，从而导致了一个新的技术概念：巨微电子学（Giant Microelectronics）。

3. LCD 的背光源

LCD 可以在反射、透射或者透反射模式下工作，但为了实现高对比度的全色显示，往往选择在透射模式下工作，这就需要外照光源。这种光源一般置于液晶盒背后，称为 LCD 的背光源。背光源的色温、发光效率、驱动电路等对 LCD 的色彩、亮度和功耗有直接影响，它消耗的功率是整个 LCD 模块的 90% 以上。因此对便携机的背光源，薄形和低功耗是两个首先要考虑的问题。

目前采用的背光源主要有三种：热阴极荧光灯（HCFL），冷阴极荧光灯（CCFL）和电致发光板。

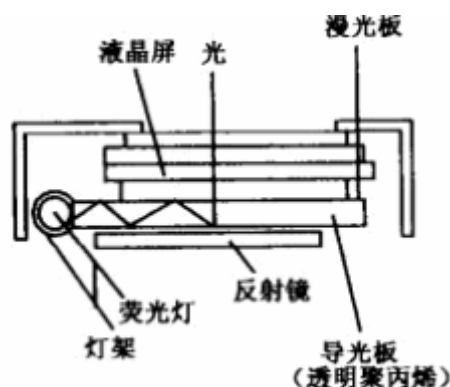


图 2.28 侧光照明方式

背光源用热阴极荧光灯与照明用荧光灯结构基本相同，亮度高、光效大，但功耗也较大，且需要点燃电路。冷阴极荧光灯的结构和热阴极荧光灯相似，只是用空心的金属筒阴极代替了灯丝，灯管可以做的很细，功耗较小且寿命很长，有较高的亮度和发光效率，使广泛采用的背光源。HCFL 与 CCFL 都是管状，其与液晶的组合方式可分为侧照式和背照式。为了减小厚度，大多数厂家都采用图 2.28 所示的侧光照明方式。厚度约为 $2.5\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 的聚丙烯导光板将灯光导入液晶盒背面并经过镜面反射投向它，一般而言，背照式比侧照式照明效率高约 40%。在液晶显示面积较大时，为提高背照光亮度的均匀性，常采用两只灯管，或采用 U 形、M 形灯。

电致发光板是全固态平板结构，无须真空，其本身就是面光源，发光均匀，厚度薄，且调光范围大，电压低，但亮度没有荧光灯高，白色不够纯净，寿命较低，只有 3000 小时左右。

在有些场合，也有用小型白炽灯和发光二极管作为背光源的，主要考虑色温、功耗和工作稳定等因素。

LCD 屏加上控制、驱动电路和背光源就组成了实用的 LCD 模块，LCD 模块的组装技术已发展成为一项专门的紧密组装技术。

TFT-LCD 的主要光电参数已经接近或达到彩色 CRT 的水平，TFT 目前主要用于个人视频用品（如电视机）、笔记本电脑和桌上监视器等。

2.3 等离子体显示

等离子体显示板（Plasma Display Panel，即 PDP）是利用气体放电产生发光现象的平板显示的统称。按 PDP 所施驱动电压的不同，PDP 可分为交流等离子显示板（AC-PDP）和直流等离子体显示板（DC-PDP）两类。自扫描等离子体显示板（SSPDP）有较特别的电极构造，具有辅助的放电部分，但仍属于 DC-PDP。

AC-PDP 因其光电和环境性能优异，是 PDP 技术的主流。

PDP 是人们期望用以代替 CRT 显示的新型显示器件之一。1966 年美国伊利诺斯大学教授贝塞特等人发明了交流等离子体显示板；1968 年荷兰飞利浦公司的波依尔发明了直流等离子体显示板；1970 年美国劳布斯公司成功研制了自扫描等离子体显示板。此后 PDP 的研究急速发展并日趋成熟，在计算机终端显示及家用电视方面取得了很大的进展。可以说 PDP 比其它平板显示更适合于大画面的显示。

等离子体显示具有以下一些特点：

(1) 等离子体显示为自发光型显示，有较好的发光效率与亮度。PDP 亮度为 $30\text{cd/m}^2 \sim 1700\text{cd/m}^2$ ，而充氖的 PDP 视掺入的气体成分，发光效率在 $0.1\text{lm/W} \sim 0.5\text{lm/W}$ ，以上数值与其它显示相比虽不算太高，但因 PDP 显示媒质是透明的，它对环境光的反射率比较低，能得到较高的对比度。

(2) 适于大屏幕、高分辨率显示。PDP 商品分辨率达 39.4 线/厘米，实验室中可做到 49.2 线/厘米，1980 年就有对角线超过 1 米的 PDP 商品面市。

(3) 等离子体显示单元具有很强的非线性。简单矩阵为了实现单元寻址，要求显示单元从熄灭到点亮有很强的非线性特性，这种非线性越强，能显示的行数就越多。而气体放电单元具有很强的非线性，或称开光特性，即当单元上的施加电压低于着火电压时，它基本上不发光。因此即使每行多达 1000 个像素，但全选点与半选点仍具有较高的亮度比，不会显著降低等离子体显示单元的对比度。

(4) 存储特性。PDP 特有的存储特性使等离子体显示单元可工作在存储方式或刷新方式，而存储工作方式在大屏幕显示时能得到较高的亮度，这使得制造高分辨率大型 PDP 成为可能。

(5) 由于气体放电时会向电极周围扩散，因此在 PDP 结构上可以采用不透明但电阻低的金属电极，这对制作大面积、高分辨率的 PDP 十分重要。

(6) PDP 有合适的阻抗特性。由于放电气体的介电常数近似为 1，与其它矩阵型显示，如薄膜电致发光板相比，PDP 单元电容小，这使得它有较小的驱动电流。虽然 PDP 要求有较高的驱动电压，这不能不说是一大缺点，但在像素有相同亮度与效率时，如电压低、电流势必大，而驱动电流大同样是不希望能的。

(7) 响应快。PDP 响应时间为数毫秒，使显示电视图像时更新像素信号不成问题。

(8) 刚性结构，耐振动，机械强度高，寿命长。

2.3.1 气体放电基本知识

1. 充气二极管的伏安特性

在如图 2.29 所示的电路中，接有一个平板电极的充气二极管，电极所在空间充有惰性气体，例如：充氖气(Ne)或氖(Ne)+0.1%氩(Ar)混合气体，采用一系列同类型但结构尺寸不同的充气放电管，改变电源电压 V 和限流电阻 R ，实验测得二极管放电的伏安特性如图 2.29 所示。图中曲线按放电形式不同划分成不同的部分。

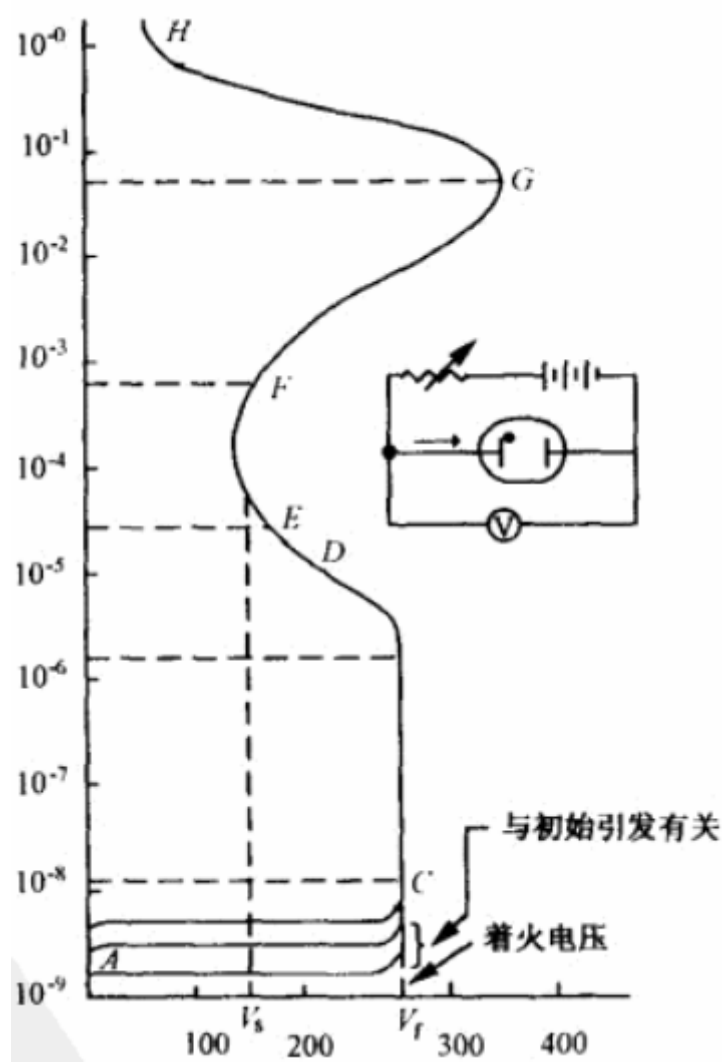


图 2.29 充气二极管伏安特性

曲线 AC 段属于非自持放电，在非自持放电时，参加导电的电子主要是由外界催离作用（如宇宙射线、放射线、光、热作用）造成的。当电压增加，电流也随之增加并趋于饱和，C 点之前称为暗放电区，放电气体不发光。随着电压增加，

到达 C 点后, 放电变为自持放电, 气体被击穿, 电压迅速下降, 变成稳定的自持放电 (图中 EF 段), EF 段被称为正常辉光放电区, 放电在 C 点开始发光, 不稳定的 CD 段是欠正常的辉光放电区, C 点电压 V_f , 称为击穿电压或着火电压、起辉电压, EF 段对应的电压 V_s 称为放电维持电压。阴极电流密度为常数是正常辉光放电的特点。当放电电流更大时进入异常辉光放电 FG 段, 这时放电单元阻抗变大。当电流进一步增大, 放电进入弧光放电后, 在 H 点曲线变得平坦, 压降小、电流大是弧光放电的特点。显然, 实际的显示器件必须应用在正常或异常辉光放电区, 这个区域放电稳定、功耗小。充气二极管的伏安特性具有很强的非线性, 可以认为充气二极管有开关特性。可将图 2.29 所示的静态伏安特性分为三个状态: 熄火态、过渡态和着火态。

2. 气体放电机理

气体放电是气体中带电粒子不断增值的过程: 由外界催离作用或上一次放电残存下来的原始电子从外电场得到能量并电离气体粒子, 新产生的电子又参加电离过程, 使电子、离子不断增加。初始自由电子对引起放电是不可少的, 为了产生稳定可靠的放电, 在实际器件中常采用附加的稳定辅助放电源。

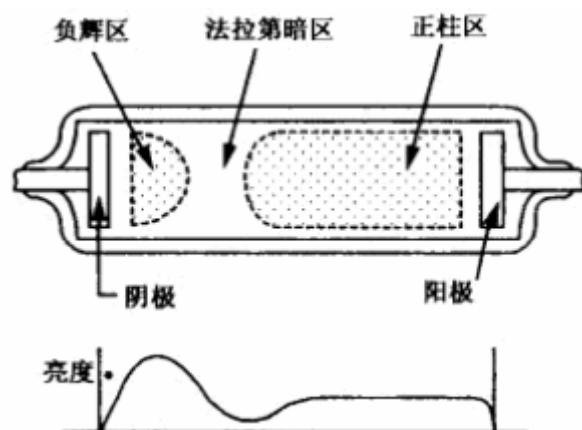


图 2.30 放电单元极间放电时的发光区域和光强度分布

图 2.30 为放电单元放电时的发光区域和光强度分布图。电极间的两个重要发光区: 负辉区和正柱区 (又称等离子区), 负辉区的发光紧靠阴极, 它的发光比正柱区强, 而其它放电光源常利用正柱区的发光照明。PDP 放电单元特别之处在于放电间隙小, 因极间间隙小, 放电常常不能显示正柱区而只是利用了负辉区的发光。维持放电的基本过程都在阴极位降区, 电极间压降几乎都集中在这里, 控制放电电压、气压和间隙大小可决定是负辉区或正柱区哪一种发光为主。负辉区内电场较弱, 自由电子不具备足够的能量使多数气体原子电离, 但能使经过该

区的多数气体原子的能量从基态跃迁到激发态，这些激发态的寿命只有 10^{-8}s ，当原子恢复到基态时，这些能量的全部或部分便以光子形式释放出来，氖气产生的可见光波长范围在 400–700nm，其中峰值波长为 582 nm 的光辐射占整个光强的 35–40%，因此氖气发橙红色光。

2.3.2 单色等离子体显示

1. 基本结构

单色 PDP 是利用 Ne-Ar 混合气体在一定电压作用下产生气体放电，直接发射出 582nm 橙红色光而制作的平板显示器件。按其工作方式，也可分为交流和直流两种，其单元结构如图 2.31 所示。DC-PDP 由于无固有的存储特性，全靠刷新方式工作，因此亮度较低，目前已不大流行。AC-PDP 用电容限流，其电极通过介质薄层以电容的形式耦合到气隙上，因此只能工作在交流状态，它无电极溅射问题，寿命很长。AC-PDP 有固有的存储特性，所以亮度可以做得很高，是目前等离子体显示技术的主要发展方向。

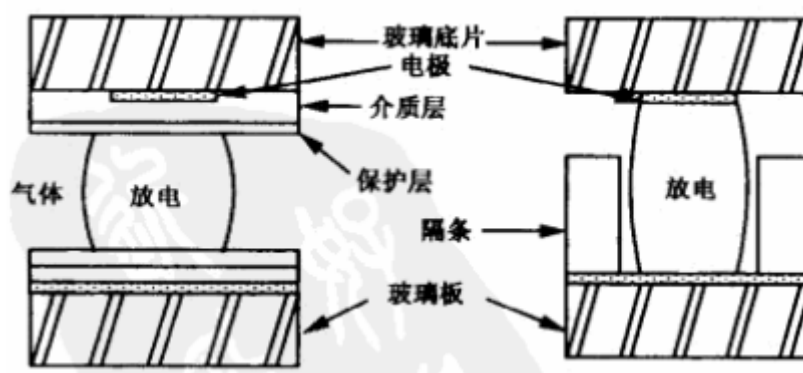


图 2.31 AC-PDP 与 DC-PDP 结构比较

AC-PDP 的基本结构如图 2.32 所示。在研磨过的两块平板玻璃上用光刻或真空镀膜的方法制作电极，矩阵型的条形电极彼此正交，交点处构成一个放电单元。电极材料采用金、银、铬合金或透明的氧化锡。交流等离子体显示板的介质层材料、厚度对显示质量和放电稳定性都有较大关系，通常采用在电极表面沉淀一层厚约 $10\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ 的介质层。为保护介质层在放电过程中不受离子轰击，在介质层表面再涂敷一层 MgO 保护层，MgO 的二次电子发射系数较大，采用 MgO 保护后可得到稳定的放电和较低的维持电压，并能延长器件的寿命。两块玻璃用衬垫保持间隙为 $80\mu\text{m} \sim 120\mu\text{m}$ ，周边用低熔点玻璃密封，经排气、烘烤后充入 Ne-Ar 混合气体（其中 Ar 占 0.1%），气压约为 0.5 个大气压或者更高。

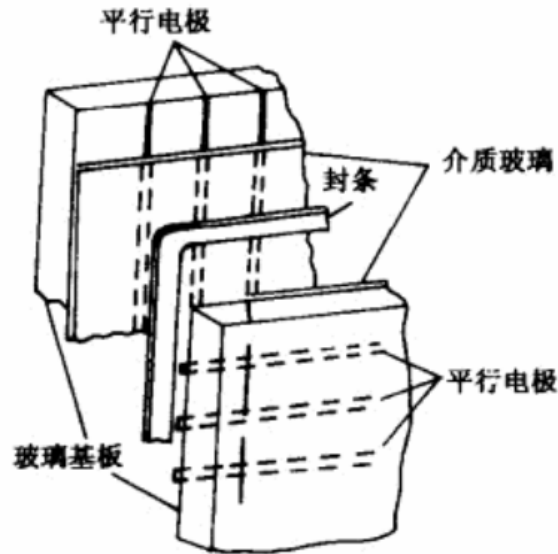


图 2.32 单色 AC-PDP 的基本结构

2. 工作原理

当放电单元的电极加上比着火电压 V_f 低的维持电压 V_s 时，单元中气体不会着火，如在维持电压间隙加上幅度高于 V_f 的书写电压 V_{wr} ，单元将放电发光，放电形成的电子、离子在电场作用下分别向该瞬时加有正电压和负电压的电极移动。由于电极表面是介质，电子、离子不能直接进入电极而在介质表面累积起来，形成壁电荷，在外电路中，壁电荷形成与外加电压极性相反的壁电压，这时，放电空腔上的电压为外加电压和壁电压之和。它将小于维持电压，使放电空间电场减弱，致使放电单元在 $2\mu s \sim 6\mu s$ 内逐渐停止放电，因介质电阻很高，壁电荷会不衰减地保持下来，当反向的下一个维持电压脉冲到来时，上一次放电形成的壁电压与此时的外加电压同极性，叠加电压峰值大于 V_f ，单元再次着火发光并在放电腔的两壁形成与前半周期极性相反的壁电荷，并再次使放电熄灭直到下一个相反极性的脉冲的到来……因此，单元一旦由书写脉冲电压引燃，只需要维持电压脉冲就可维持脉冲放电，这个特性称为 AC-PDP 单元的存储特性。

要使已放电的单元熄灭，只要在下一个维持电压脉冲到来前给单元加一窄幅（脉宽约 $1\mu s$ ）的放电脉冲，使单元产生一次微弱放电，将储留的壁电荷中和，又不形成新的反向壁电荷，单元将中止放电发光。PDP 单元虽是脉冲放电，但在一个周期内它发光两次，维持电压脉冲宽度通常 $5\mu s \sim 10\mu s$ ，幅度 $90V \sim 100V$ ，主要工作频率范围 $30\text{ kHz} \sim 50\text{ kHz}$ ，因此光脉冲重复频率在数万次以上，人眼不会感到闪烁。以上工作方式为 AC-PDP 的存储模式，如图 2.33 所示。

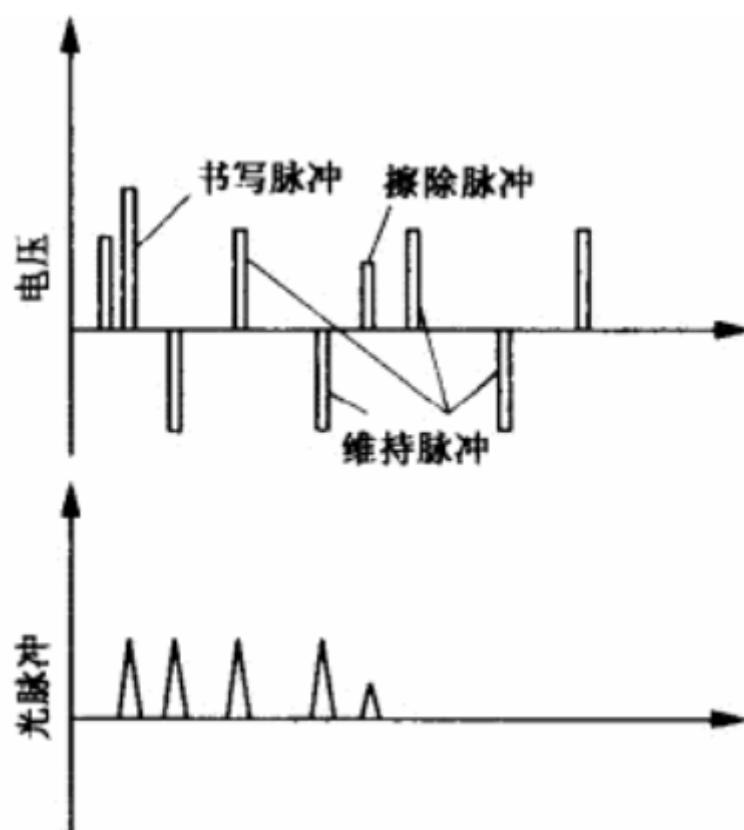


图 2.33 AC-PDP 书写、维持和擦除脉冲工作方式

3. AC-PDP 的驱动

单色 AC-PDP 驱动的原理如图 2.24 所示。它由驱动电路、显示控制电路和电源三部分组成，x,y 方向驱动电路可采用专用集成块，在控制电路控制下产生 PDP 所需要的维持、书写和擦除脉冲，扫描部分工作在浮地上。显示控制电路以单片微处理器为核心，在系统软件的协调下，提供驱动控制电路所需的各种信号。电源部分提供整个系统所需的多组电压，并根据驱动控制电路提供的信号产生一个合适的复合波形作为显示屏的浮地信号。整个系统除扫描电路及扫描控制电路工作在浮地以外，其余均工作在系统地上。驱动电压的幅度对显示器亮度有影响，但曲线比较平缓且很快趋于饱和。驱动电压的频率对亮度影响很大，在一定范围内跟亮度有线性关系，因为频率越高，单位时间内发光的次数增多。但频率高时 PDP 功耗也增加，器件的升温明显，现在最高的维持频率一般在 60kHz。

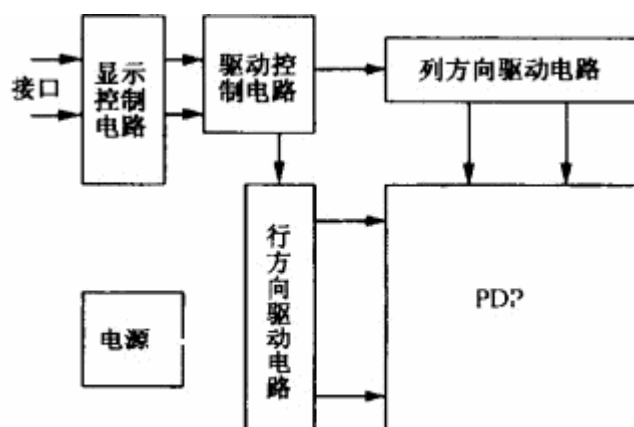
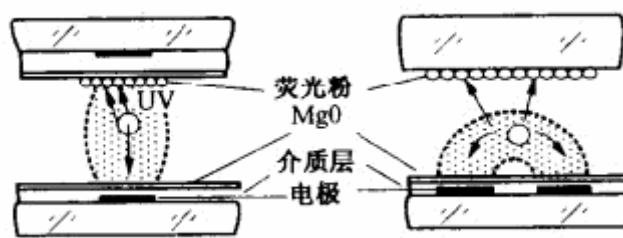


图 2.24 单色 AC-PDP 驱动电路原理图

2.3.3 彩色等离子体显示

1. 基本结构

单色 PDP 单元中，氖气放电只能产生橘红色单色光，不能产生多色或全色显示的彩色光。彩色 PDP 中，利用气体放电产生的电子或紫外光激发低压荧光粉或光致发光荧光粉发出彩色光，实现彩色图像显示。目前，彩色 PDP 主要采用紫外光激发发光方式。图 2.35 为两种实现彩色显示的交流 PDP。对向放电式 AC-PDP 与单色结构相同，两个电极分别在相对放置的底板上，在 MgO 薄膜上涂覆荧光粉。当等离子体放电时，荧光粉受离子轰击会使发光性能变差，因此难以实用化。表面放电式 AC-PDP 避免了上述缺点，显示电极位于同一侧底板上，放电也在同侧电极间进行。现在上市的大多数商品都采用表面放电式结构，是彩色 PDP 的主流技术。表面放电式 AC-PDP 的实际结构有两种，其中一种实用结构如图 2.36 所示。它的前基板用透明导电层制作一对维持电极。为降低透明电极的电阻，在其上再制作细的、有金属 Cr-Cu-Cr 组成的汇流电极，电极上覆盖透明介质层和 MgO 保护层。后基板上先制作与上基板电极呈空间正交的选址电极，其上覆盖一层白色介质层，作隔离和反射之用。白色介质层上再制作与选址电极平行的条状障壁阵列，即做控制两基板间隙的隔子，又做防止光串扰之用。之后在障壁两边和白色介质上一次涂覆红、绿、蓝荧光粉。板子四周用低熔点玻璃密封，排气之后充入 Ne-Xe 混合气体即成显示器件。



(a) 对向放电式 AC-PDP (b) 表面放电式 AC-PDP

图 2.35 彩色 PDP 单元原理结构示意图

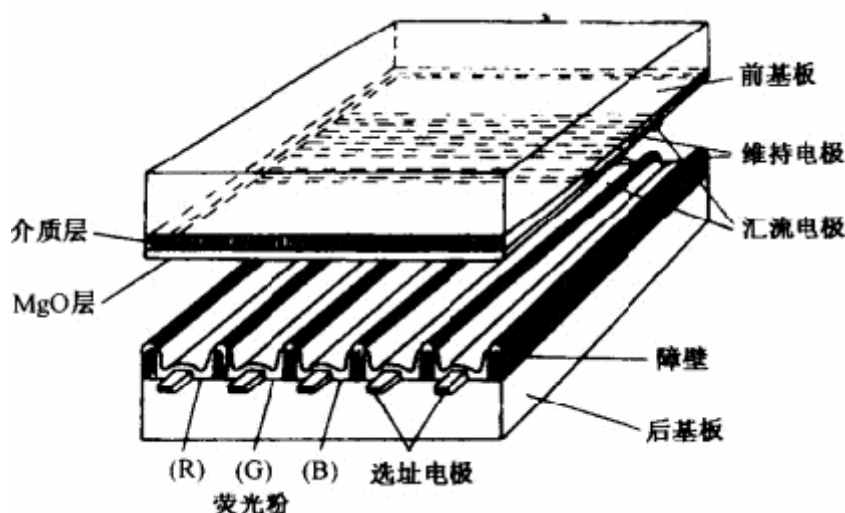


图 2.36 表面放电式 AC-PDP 结构示意图

2. 驱动方式和灰度调制

等离子体显示板可工作在刷新工作方式和存储工作方式。刷新工作方式下，一行显示单元被按顺序点亮时，前面各行已不再发光。这样显示板的平均亮度随着显示板行数的增加而成比例下降。因此刷新方式只适用于扫描行数少于 100 行的小容量显示板，当显示容量增加时，只能采用存储工作方式。这时当一行显示单元被书写时，其它行的显示信号仍被保持，单元在一帧时间内持续发光，显示板的亮度比刷新方式高很多。

PDP 显示单元具有双稳态工作特性，它只能处于着火或熄灭两种状态之一。因此 PDP 一般采用时间调制技术实现有灰度层次的图象显示。放电单元的时间调制技术通常采用图 2.37 所示的“子场扫描法”。为了实现有 16 级灰度的显示，将一帧时间分成 4 个子场，每个子场都由写入脉冲、维持脉冲和熄火脉冲组成，写入脉冲使放电单元发光，而 4 个子场的维持脉冲数各不相同，脉冲数与 1, 2, 4, 8 之比成比例，即 K 子场的发光时间是 K+1 子场发光时间的一半，单元相应的平均发光亮度也减半。这样当在帧周期内选用不同子场波形驱动时，单元发光时

间长短有别，一帧时间内被寻址 4 次，由 4 个子场组合可得 2^4 即 16 种不同的发光时间，对应单元有 16 种不同的平均亮度。同样如一帧周期内包含 8 个子场，它们具有的维持脉冲数与 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 之比成比例，用这种波形扫描显示单元，可得到 256 级灰度的图像显示。

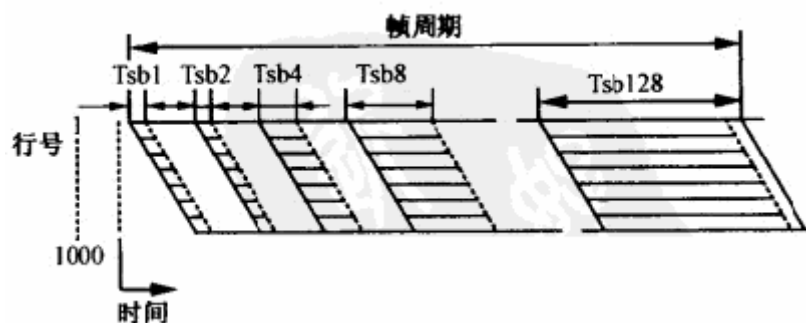


图 2.37 子场扫描法实现灰度显示

2.4 其它显示技术

2.4.1 投影显示

投影显示可分为 CRT 投影和 LCD 投影显示两种。

图 2.38 为前投式液晶显示系统示意图，采用三基色投影方式，光源为金属卤素灯，色温 6000K~7000K，其光色接近于自然光，寿命可达几千个小时。来自光源的白光经两个二向色镜分成红、绿、蓝三基色，形成三个光路分别照射三个 TFTLCD，经液晶光阀调制后的三基色再经过两个二向色镜并通过一个投影透镜投射到屏幕上，也可通过三个投影透镜分别投向屏幕上合成彩色图像。每个基色的亮度取决于光源每种光谱的强度、二向色镜的色彩分离特性和每个液晶光阀的调制度，使用适当的滤色片和调制度能得到正确的亮度比例。背投式液晶显示装置如图 2.39 所示，其基板原理同前投式液晶显示系统。

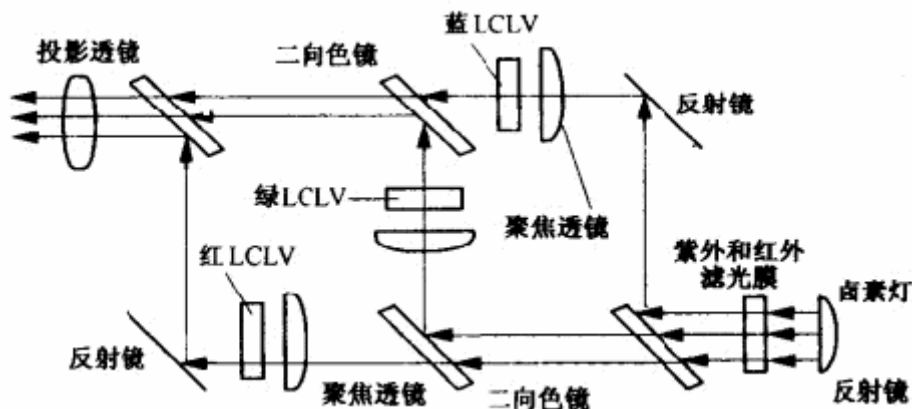


图 2.38 前投式液晶显示系统结构图

通常认为液晶投影适用于前投式系统，在光线较暗的室内显示非常大的影像，液晶前投式投影装置十分紧凑，体积小，屏幕容易安置（可挂在墙上），光源的寿命也较长。目前，采用强光光源（金属卤素灯）和高分辨率液晶光阀的液晶投影得到的图像质量，已经可以直视式 CRT 显示相媲美。CRT 背投式显示无须外光源，它在较高的室内环境下也能产生十分生动的影像。但由于受投影空间的限制，屏幕尺寸通常在 40~60 英寸之间，最大可达 70 英寸左右。现在，CRT 和 LCD 的前投式和背投式显示四种方式中，LCD 前投影电视得到了较快的发展。

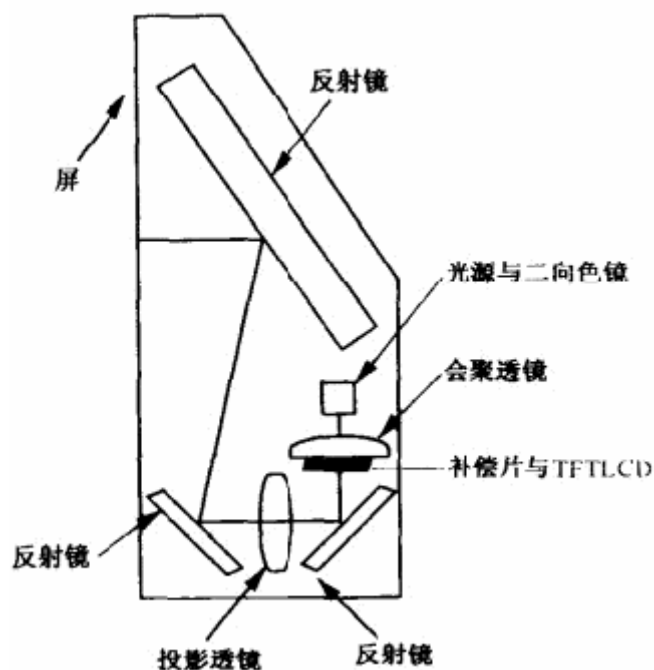


图 2.39 背投式液晶显示装置示意图

2.4.2 真空荧光显示

真空荧光显示（VFD）也称低能电子发光显示，它利用氧化锌（ $\text{ZnO}:\text{Zn}$ ）等荧光粉在数十伏以下的低能电子轰击下的发光现象，其结构如图 2.40 所示。VFD 器件是一个典型的真空三极管结构，它由阴极、栅极、阳极组成。阴极发射的电子在栅极控制下加速飞向阳极，在阳极电压作用下，这些具有一定能量的电子轰击阳极图形上的荧光粉使其发光，如对阳极图形电极选址，就可以显示出不同数字与图形。阴极是一根或多根细钨丝的灯丝，上面涂覆一层碱金属钡、锶、钙的三元碳酸盐，在管子制造工艺中，玻壳排气封接前对灯丝通电加热，使阴极激活，这时三元碳酸盐分解，在灯丝上留下碱金属氧化物。这种直热式氧化物阴极是很好的电子发射源，工作温度约为 650°C 。阴极的激活条件对 VFD 的特性有

很大影响。位于阴极和阳极间的栅极是用极薄的金属板蚀刻成细密格子或龟纹形金属网，它对电子有较高的透过率，透过率的高低对VFD管子中的电流分配、亮度、显示质量等都由直接的影响。阳极和荧光粉层做在玻璃底板上，将涂层材料借助厚膜印刷技术和烧结工艺反复进行，在玻璃底板上一次做好金属导线、绝缘层和阳极图形。当图形较复杂、连线密度高时，采用厚膜印刷工艺只能在玻璃底板上规定尺寸内做成多层结构，这会使成本增高、驱动不便。这时可采用厚膜、薄膜混合工艺，将阳极和引线做成铝薄膜，而用厚膜技术印刷绝缘层。涂在阳极外的荧光粉采用低盐电子荧光粉 $\text{ZnO}:\text{Zn}$ 等，不同用途要求VFD的荧光粉发不同颜色的光，采用 $\text{ZnO}:\text{Zn}$ 发绿色光。

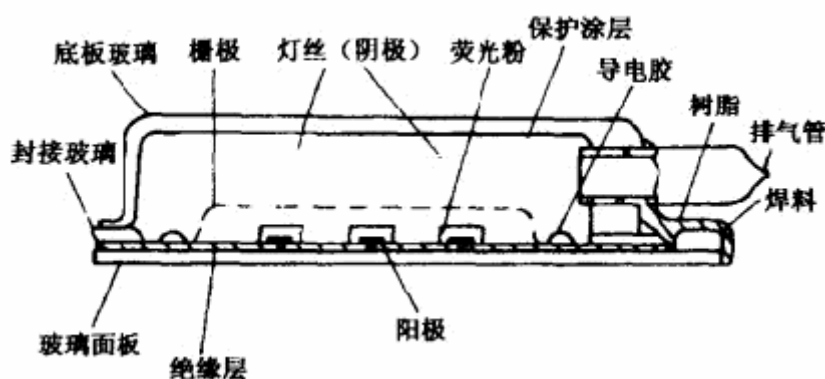


图 2.40 VFD 结构示意图

2.4.3 电致变色显示

有许多物质在受到外界各种刺激，如受热、光照、流过电流的时候，其颜色会发生变化，即产生着色现象，所谓电致变色显示，是指在电致着色和发光现象，从显示的角度看则是专门指施加电压后物质发生氧化还原反应，使颜色发生可逆性的电致变色现象。

电致变色有三种主要形式：

- (1) 离子由电解液进入材料引起变色；
- (2) 金属薄膜电极沉积在观察电极上；
- (3) 彩色不溶性有机物析出在观察电极上。

与同样是被动显示器的液晶显示器相比，电致变色有以下突出优点：

- (1) 显示鲜明、清晰，由于液晶显示板；
- (2) 视角大，无论从什么角度都可以得到较好的对比度；
- (3) 具有存储特性，如书写电压去掉且电路断开后，显示信号仍可以保持几小时到几天，甚者一个月以上，存储功能不影响寿命。

- (4) 在存储状态下不消耗功率;
- (5) 工作电压低, 仅为 $0.5\text{V}\sim 20\text{V}$, 可与集成电路匹配;
- (6) 器件可做成全固化。

电致变色显示也有一些不容忽视的缺点, 如响应慢, 响应速度 (约 500ms) 接近秒的数量级; 对频繁改变的显示, 功耗大致是液晶功耗的数百倍; 往复显示的寿命不高 (只有 $10^6\sim 10^7$ 次)。许多液态或固态的有机物或无机物都有电致变色的功能, 其中三氧化钨被研究较多, 因为在三氧化钨中离子的迁移率高, 电子注入会产生对可见光的强烈吸收。

2.4.4 电泳显示

电泳是指悬浮于液体中的电荷粒子在外电场作用下的定向移动并附着在电极上的现象。电泳广泛用于照相复制、涂覆积某些金属沉积上。在 1972 年发现应用可逆的电泳现象可制作被动显示。电泳显示主要的优点有:

- (1) 在大视角和环境光强变化大时仍有较高的对比度;
- (2) 具有较高的响应速度, 且显示电流低 (约 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$);
- (3) 有存储能力, 撤除外电压后仍能使图像保持几个月以上;
- (4) 工作寿命长 (10^4 小时) 或可开关 10^8 次以上;
- (5) 采用控制技术可实现矩阵寻址, 可与集成电路相配合;
- (6) 价格低、工艺简单。

电泳显示的基本原理如下: 在两块玻璃间夹一层厚约 $50\mu\text{m}$ 的胶质悬浮体, 两块玻璃上涂有透明导电层, 胶质悬浮体由悬浮液、可溶性着色染料、悬浮色素微粒和稳定剂或电荷控制剂组成。其中色素微粒由于吸附液体中杂质离子而带同号电荷, 当加上外电场, 微粒便移向一个电极, 该电极就呈现色素粒子的颜色; 一旦电场反向, 微粒也反向移动, 该电极又变成悬浮液的颜色。即悬浮液颜色相当于背景颜色, 微粒颜色就是要显示的字符颜色, 两者之间应有较大反差。当透明电极制成所需要的电极形状时, 就可以显示较复杂的图形。

2.5 TN 型液晶光阀电光特性的实验研究

首先按照图 2.41 所示的装置安上仪器, 首先将液晶盒及检偏器取下, 因激光器输出光束为椭圆偏转光, 所以旋转起偏器光轴使探测器输出电流达到最大值, 此时可以判断起偏器的光轴和椭圆偏振光的长轴相重合, 激光器输出光束经

起偏器后变为线偏振光输出，偏振方向和起偏器的光轴方向相平行。随后安装检偏器，旋转检偏器光轴方向，当探测器电流为最小值时对应正显示工作模式，即检偏器的光轴方向和起偏器相垂直。最后安装液晶盒，测量数据则为正显示时电光特性。若旋转检偏器光轴方向，当探测器电流为最大值时对应负显示工作模式，即检偏器的光轴方向和起偏器相平行。最后安装液晶盒测量数据则为负显示时电光特性。

在两种工作模式下，均是由 0V 开始增加液晶盒的驱动电压 U_{TN} ，每隔 0.2V 测一个点，直至 5V 结束，记录各电压下的探测器电流 I_{PD} ，数据归一化后作正负显示情况下液晶显示的电光响应曲线。最后求阈值电压、饱和电压、陡度。液晶盒的驱动信号为方波，频率首先设置在 32Hz。

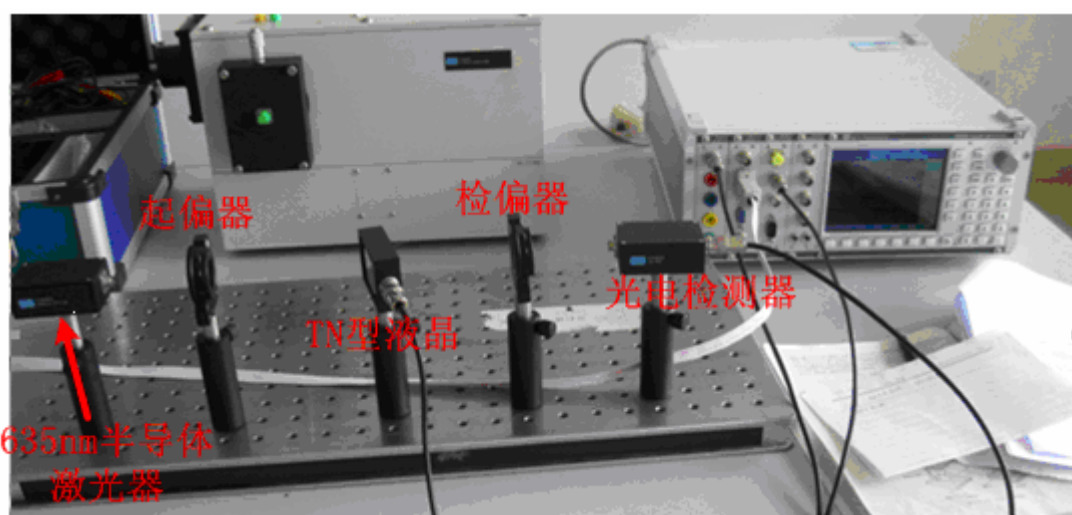


图 2.41 实验系统

测量数据如下表所示。图 2.42 是根据表 2.1 绘出的正显示情况下液晶显示的电光响应曲线图。

表 2.1 正显示模式下驱动电压与透射光强测量数据

$U_{TN}(V)$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
$I_{PD}(\mu A)$	75.2	75.2	75.2	75.2	75.6	75.7	75.7	75.8	76.2	80.8	80.6	87.3	75.7
$U_{TN}(V)$	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$I_{PD}(\mu A)$	51.3	51.3	30.3	17.5	10.8	7.5	7.5	5.8	4.8	4.3	4.3	4.0	3.9

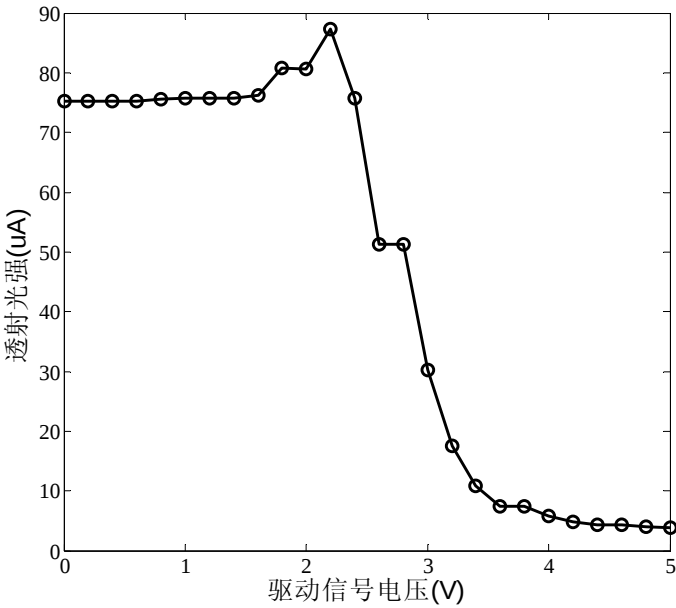


图 2.42 正显示模式的电光响应曲线

利用测量数据可知正显示模式下：

阈值电压 U_{th} =87.3×90%所对应的电压有效值=1.626（V）；

饱和电压 U_{sat} =87.3×10%所对应的电压有效值=2.475（V）；

陡度 γ =1.522。

图 2.43 是根据表 2.2 绘出的负显示情况下液晶显示的电光响应曲线图。

表 2.2 负显示模式下驱动电压与透射光强测量数据

$U_{TN}(V)$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
$I_{PD}(uA)$	30.8	30.8	30.8	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.3	20.1	20.2	3.3	26.5
$U_{TN}(V)$	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$I_{PD}(uA)$	81.4	81.4	131.8	162.9	178.6	186.1	186.1	189.8	191.5	192.2	192.2	192.5	192.5

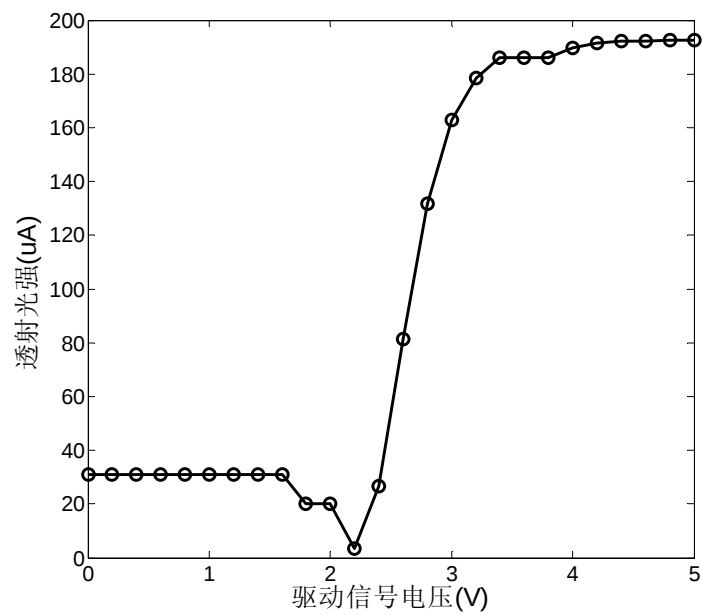


图 2.43 负显示模式的电光响应曲线

利用测量数据可知负显示模式下：

阈值电压 $U_{th} = 192.5 \times 10\%$ 所对应的电压有效值 = 1.485 (V)；

饱和电压 $U_{sat} = 192.5 \times 90\%$ 所对应的电压有效值 = 2.333 (V)；

最大对比度 $\gamma = 1.571$ 。