

液晶电光效应综合实验

液晶是介于液体与晶体之间的一种物质状态。一般的液体内部分子排列是无序的，而液晶既具有液体的流动性，其分子又按一定规律有序排列，使它呈现晶体的各向异性。当光通过液晶时，会产生偏振面旋转、双折射等效应。液晶分子是含有极性基团的极性分子，在电场作用下，偶极子会按电场方向取向，导致分子原有的排列方式发生变化，从而液晶的光学性质也随之发生改变，这种因外电场引起的液晶光学性质的改变称为液晶的电光效应。

1888 年，奥地利科学家赖因策（F.Reinitzer）在布拉格植物生理研究所做实验时，发现他加热的化合物熔化后先变成了白浊液体，并且闪现某些颜色，继续加热后变成透明液体。于是他又对化合物进行降温后，重复实验，依然看到上述现象。赖因策没有像其他人那样将这种特有的现象简单看作是材料不纯造成的，而是更精心地制备材料，对颜色的起因进行探究。1888 年 3 月 14 日，赖因策将样品寄给德国的年轻结晶学家雷曼（O.Lehmann），并附上一封长信。雷曼经过系统研究，发现有许多有机化合物都具有同样的性质，这些化合物在混浊状态，其力学性质与液体相似，具有流动性，而其光学性质与晶体相似，具有各向异性，故取名为液晶（liquid crystal）

1961 年美国 RCA 公司的 Heimeier 发现了液晶的一系列电光效应，并制成了显示器件。从 70 年代开始，日本公司将液晶与集成电路技术结合，制成了一系列的液晶显示器件，并至今在这一领域保持领先地位。液晶显示器件由于具有驱动电压低（一般为几伏），功耗极小，体积小，寿命长，环保无辐射等优点，在当今各种显示器件的竞争中有独领风骚之势。

【实验目的】

1. 根据液晶的电光效应特性，可制成光开关器件。在掌握液晶光开关的基本工作原理的基础上，测量液晶光开关的电光特性曲线，并由电光特性曲线得到液晶的阈值电压和关断电压。
2. 测量驱动电压周期变化时，液晶光开关的时间响应曲线，并由时间响应曲线得到液晶的上升时间和下降时间。
3. 测量由液晶光开关矩阵所构成的液晶显示器的视角特性以及在不同视角下的对比度，了解液晶光开关的工作条件。
4. 了解液晶光开关构成图像矩阵的方法，学习和掌握这种矩阵所组成的液晶显示器构成文字和图形的显示模式，从而了解一般液晶显示器件的工作原理。

【实验原理】

1. 液晶光开关的工作原理

液晶的种类很多，仅以常用的 TN（扭曲向列）型液晶为例，说明其工作原理。

TN 型光开关的结构如图 1 所示。在两块玻璃板之间夹有正性向列相液晶，液晶分子的形状如同火柴一样，为棍状。棍的长度在十几埃（1 埃 = 10^{-10} 米），直径为 4~6 埃，液晶层厚度一般为 5-8 微米。玻璃板的内表面涂有透明电极，电极的表面预先作了定向处理（可用软绒布朝一个方向摩擦，也可在电极表面涂取向剂），这样，液晶分子在透明电极表面就会躺倒在摩擦所形成的微沟槽里；电极表面的液晶分子按一定方向排列，且上下电极上的定向方向相互垂直。上下电极之间的那些液晶分子因范德瓦尔斯力的作用，趋向于平行排列。然而由于上下电极上液晶的定向方向相互垂直，所以从俯视方向看，液晶分子的排列从上电极的沿 -45 度方向排列逐步地、均匀地扭曲到下电极的沿 +45 度方向排列，整个扭曲了 90 度。

理论和实验都证明，上述均匀扭曲排列起来的结构具有光波导的性质，即偏振光从上电极表面透过

扭曲排列起来的液晶传播到下电极表面时，偏振方向会旋转 90 度。

取两张偏振片贴在玻璃的两面，P1 的透光轴与上电极的定向方向相同，P2 的透光轴与下电极的定向方向相同，于是 P1 和 P2 的透光轴相互正交。

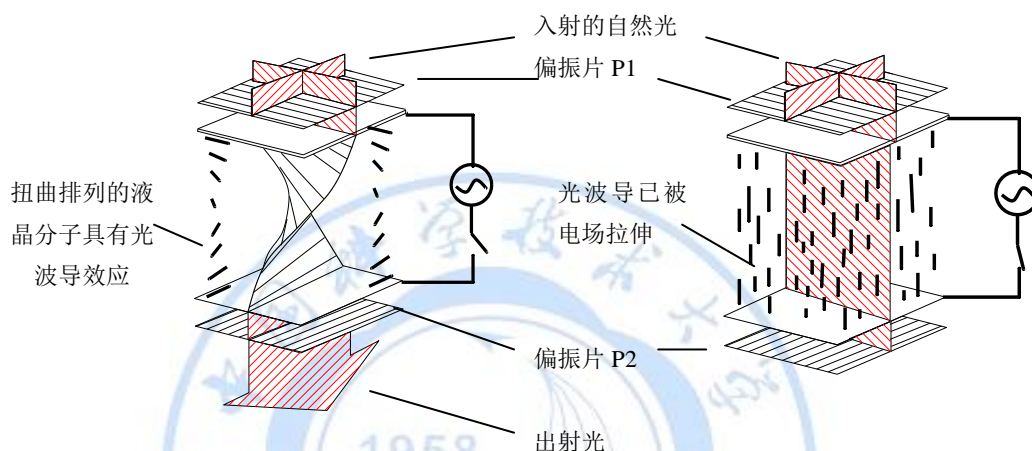


图 1. 液晶光开关的工作原理

在未加驱动电压的情况下，来自光源的自然光经过偏振片 P1 后只剩下平行于透光轴的线偏振光，该线偏振光到达输出面时，其偏振面旋转了 90° ，如图 1 左图所示。这时光的偏振面与 P2 的透光轴平行，因而有光通过。

在施加足够电压情况下(一般为 1~2 伏)，在静电场的作用下，除了基片附近的液晶分子被基片“锚定”以外，其他液晶分子趋于平行于电场方向排列（上下两电极形成的空间相当于平行板电容器）。于是原来的扭曲结构被破坏，成了均匀结构，如图 1 右图所示。从 P1 透射出来的偏振光的偏振方向在液晶中传播时不再旋转，保持原来的偏振方向到达下电极。这时光的偏振方向与 P2 正交，因而光被关断。

由于上述光开关在没有电场的情况下让光透过，加上电场的时候光被关断，因此叫做常通型光开关，又叫做常白模式。若 P1 和 P2 的透光轴相互平行，则构成常黑模式。

液晶可分为热致液晶与溶致液晶。热致液晶在一定的温度范围内呈现液晶的光学各向异性，溶致液晶是溶质溶于溶剂中形成的液晶。目前用于显示器件的都是热致液晶，它的特性随温度的改变而有一定变化。

2. 液晶光开关的电光特性

当光线垂直液晶面入射时，液晶相对透过率随着外部所加的电压不同而不同。图 2 是一台实验数据图，表示液晶相对透射率（以不加电场时的透射率为 100%）与外加电压的关系。

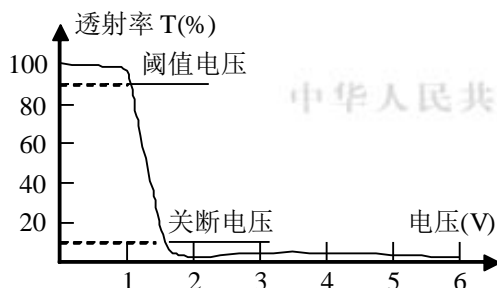


图 2 液晶光开关的电光特性曲线

由图 2 可见，对于常白模式的液晶，其透射率随外加电压的升高而逐渐降低，在一定电压下达到最低点，此后略有变化。可以根据此电光特性曲线图得出液晶的阈值电压和关断电压。

阈值电压：透过率为 90% 时的驱动电压；

关断电压：透过率为 10%时的驱动电压。

液晶的电光特性曲线越陡，即阈值电压与关断电压的差值越小，由液晶开关单元构成的显示器件允许的驱动路数就越多。TN 型液晶最多允许 16 路驱动，故常用于数码显示。在电脑，电视等需要高分辨率的显示器件中，常采用 STN（超扭曲向列）型液晶，以改善电光特性曲线的陡度，增加驱动路数。

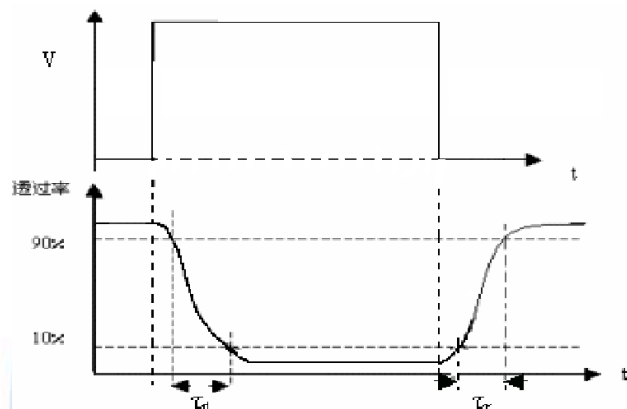


图 3 液晶驱动电压和时间响应图

3. 液晶光开关的时间响应特性

加上（或去掉）驱动电压能使液晶的开关状态发生改变，是因为液晶的分子排序发生了改变，这种重新排序需要一定时间，反映在时间响应曲线上，用上升时间 τ_r 和下降时间 τ_d 描述。给液晶开关加上一个如图 3 所示的周期性变化的电压，就可以得到液晶的时间响应曲线，上升时间和下降时间。如图 3 下图所示。

上升时间：透过率由 10%升到 90%所需时间；

下降时间：透过率由 90%降到 10%所需时间。

液晶的响应时间越短，显示动态图像的效果越好，这是液晶显示器的重要指标。早期的液晶显示器在这方面逊色于其它显示器，现在通过结构方面的技术改进，已达到很好的效果。

4. 液晶光开关的视角特性

液晶光开关的视角特性表示对比度与视角的关系。对比度定义为光开关打开和关断时透射光强度之比，对比度大于 5 时，可以获得满意的图像，对比度小于 2，图像就模糊不清了。

图 4 表示了某种液晶视角特性的理论计算结果。图 4 中，用与原点的距离表示垂直视角（入射光线方向与液晶屏法线方向的夹角）的大小。

图中 3 个同心圆分别表示垂直视角为 30，60 和 90 度。90 度同心圆外面标注的数字表示水平视角（入射光线在液晶屏上的投影与 0 度方向之间的夹角）的大小。图 3 中的闭合曲线为不同对比度时的等对比度曲线。

由图 4 可以看出，液晶的对比度与垂直视角、水平视角都有关，而且具有非对称性。若我们把具有图 4 所示视角特性的液晶开关逆时针旋转，以 220 度方向向下，并由多个显示开关组成液晶显示屏。则该液晶显示屏的左右视角特性对称，在左，右和俯视 3 个方向，垂直视角接近 60 度时对比度

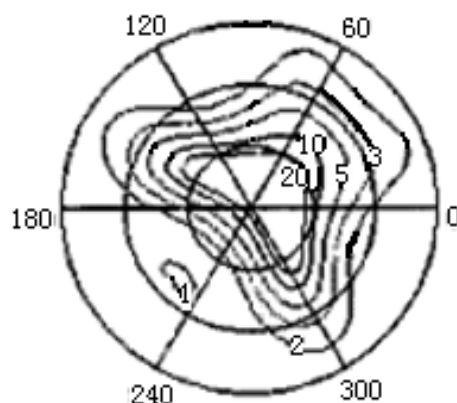


图 4 液晶的视角特性

为 5，观看效果较好。在仰视方向对比度随着垂直视角的加大迅速降低，观看效果差。

5. 液晶光开关构成图像显示矩阵的方法

除了液晶显示器以外，其他显示器靠自身发光来实现信息显示功能。这些显示器主要有以下一些：阴极射线管显示（CRT），等离子体显示（PDP），电致发光显示（ELD），发光二极管（LED）显示，有机发光二极管（OLED）显示，真空荧光管显示（VFD），场发射显示（FED）。这些显示器因为要发光，所以要消耗大量的能量。

液晶显示器通过对外界光线的开关控制来完成信息显示任务，为非主动发光型显示，其最大的优点在于能耗极低。正因为如此，液晶显示器在便携式装置的显示方面，例如电子表、万用表、手机、传呼机等具有不可代替地位。下面我们来看看如何利用液晶光开关来实现图形和图像显示任务。

矩阵显示方式，是把图 5（a）所示的横条形状的透明电极做在一块玻璃片上，叫做行驱动电极，简称行电极（常用 X_i 表示），而把竖条形状的电极制在另一块玻璃片上，叫做列驱动电极，简称列电极（常用 S_j 表示）。把这两块玻璃片面对面组合起来，把液晶灌注在这两片玻璃之间构成液晶盒。为了画面简洁，通常将横条形状和竖条形状的 ITO 电极抽象为横线和竖线，分别代表扫描电极和信号电极，如图 5（b）所示。

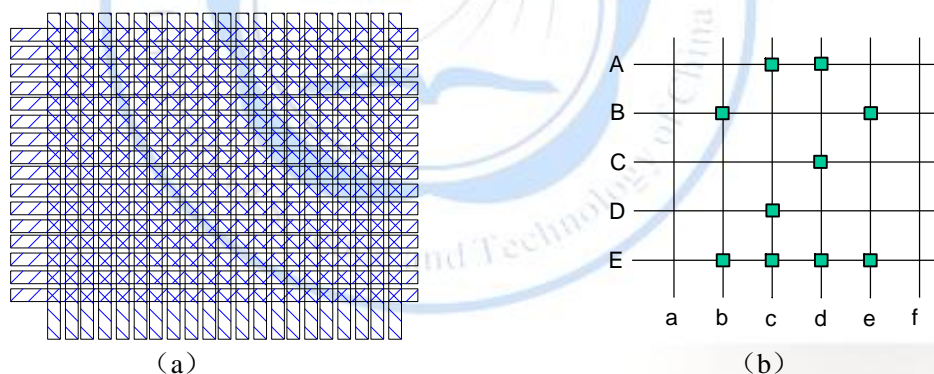


图 5. 液晶光开关组成的矩阵式图形显示器

矩阵型显示器的工作方式为扫描方式。显示原理可依以下的简化说明作一介绍。

欲显示图 5（b）的那些有方块的像素，首先在第 A 行加上高电平，其余行加上低电平，同时在列电极的对应电极 c、d 上加上低电平，于是 A 行的那些带有方块的像素就被显示出来了。然后第 B 行加上高电平，其余行加上低电平，同时在列电极的对应电极 b、e 上加上低电平，因而 B 行的那些带有方块的像素被显示出来了。然后是第 C 行、第 D 行 ……，余此类推，最后显示出一整场的图像。这种工作方式称为扫描方式。

这种分时间扫描每一行的方式是平板显示器的共同的寻址方式，依这种方式，可以让每一个液晶光开关按照其上的电压的幅值让外界光关断或通过，从而显示出任意文字、图形和图像。

实验内容和步骤详见实验室说明板

【实验仪器简介】

本实验所用仪器为液晶光开关电光特性综合实验仪，其外部结构如图 6 所示。下面简单介绍仪器各个按钮的功能。

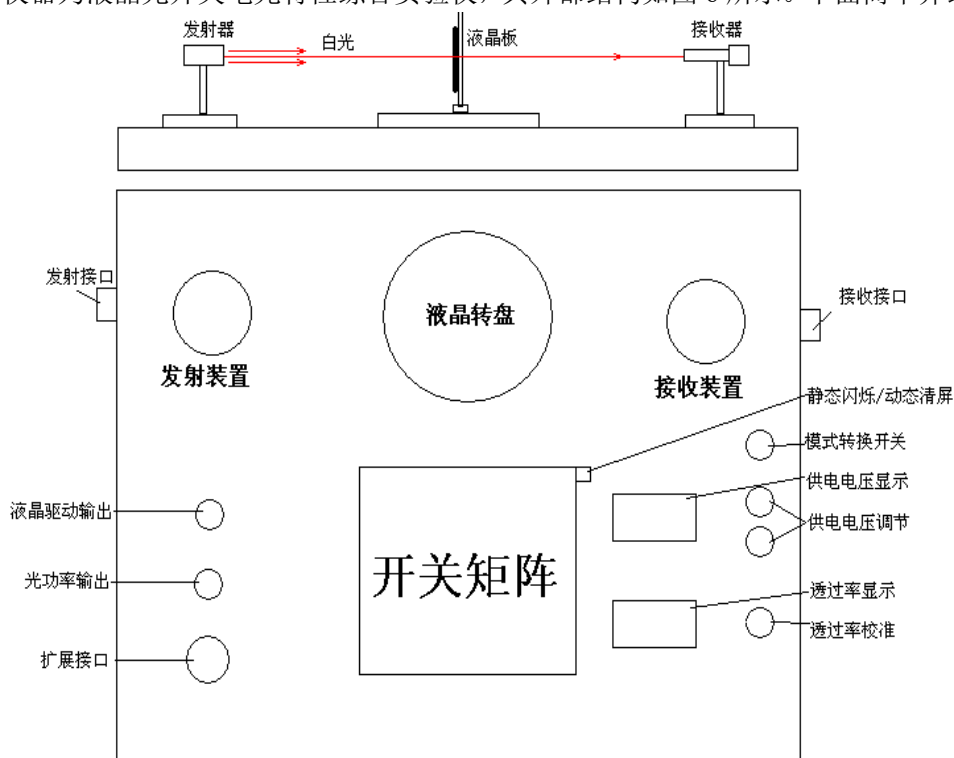


图 6 液晶光开关电光特性综合实验仪功

模式转换开关：切换液晶的静态和动态（图像显示）两种工作模式。在静态时，所有的液晶单元所加电压相同，在（动态）图像显示时，每个单元所加的电压由开关矩阵控制。同时，当开关处于静态时打开发射器，当开关处于动态时关闭发射器；

静态闪烁/动态清屏切换开关：当仪器工作在静态的时候，此开关可以切换到闪烁和静止两种方式；当仪器工作在动态的时候，此开关可以清除液晶屏幕因按动开关矩阵而产生的斑点；

供电电压显示：显示加在液晶板上的电压，范围在 0.00V~7.60V 之间；

供电电压调节按键：改变加在液晶板上的电压，调节范围在 0V~7.6V 之间。其中单击+按键（或-按键）可以增大（或减小）0.01V。一直按住+按键（或-按键）2 秒以上可以快速增大（或减小）供电电压，但当电压大于或小于一定范围时需要单击按键才可以改变电压；

透过率显示：显示光透过液晶板后光强的相对百分比；

透过率校准按键：在接收器处于最大接收状态的时候（即供电电压为 0V 时），如果显示值大于“250”，则按住该键 3 秒可以将透过率校准为 100%；如果供电电压不为 0，或显示小于“250”，则该按键无效，不能校准透过率。

液晶驱动输出：接存储示波器，显示液晶的驱动电压；

光功率输出：接存储示波器，显示液晶的时间响应曲线，可以根据此曲线来得到液晶响应时间的上升时间和下降时间；

发射器：为仪器提供较强的光源；

液晶板：本实验仪器的测量样品；

接收器：将透过液晶板的光强信号转换为电压输入到透过率显示表；

开关矩阵：此为 16×16 的按键矩阵，用于液晶的显示功能实验；

液晶转盘：承载液晶板一起转动，用于液晶的视角特性实验；

电源开关：仪器的总电源开关。

实验内容:

1. 液晶光开关电光特性测量

实验步骤:

- 1.1. 将液晶板金手指 1 (如图 7) 插入转盘上的插槽, **液晶凸起面必须正对光源发射方向**。打开电源开关, 点亮光源, 使光源预热 10 分钟左右。(若光源未亮, 检查模式转换开关。只有当模式转换开关处于静态时, 光源才会被点亮。)
- 1.2. 检查仪器初始状态: 发射器光线必须垂直入射到接收器(当没有安装液晶板时, 透过率显示为“999”的情况下, 我们就认为光线垂直入射到了接收器上); 在静态、0 度、0V 供电电压条件下, 透过率显示大于“250”时, 按住透过率校准按键 3 秒以上, 透过率可校准为 100%。(若供电电压不为 0, 或显示小于“250”, 则该按键无效, 不能校准透过率) 若不为此状态, 需增加光源预热时间, 再重新调整仪器光路, 直到达到上述条件为止。

在模式转换开关置于静态模式, 透过率显示校准为 100%, 液晶转盘的转角置于 0 度, 保持当前转盘状态。按表 1 的数据改变电压, 使得电压值从 0V 到 6V 变化, 记录相应电压下的透射率数值。重复 3 次并计算相应电压下透射率的平均值, 依据实验数据绘制电光特性曲线, 可以得出阈值电压和关断电压。

表 1 液晶光开关电光特性测量

电压 (伏)	0	0.5	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
透 射 率 (%)	1															
	2															
	3															
	平均															

2. 液晶的时间响应的测量

将模式转换开关置于静态模式, 透过率显示调到 100; 然后再将液晶供电电压调到 2.00V, 在液晶静态闪烁状态下, 用存储示波器观察此光开关时间响应特性曲线, 可以根据此曲线得到液晶的上升时间 τ_r 和下降时间 τ_d 。

具体操作:

- 2.1 将液晶实验仪上的“液晶驱动输出”和“光功率输出”与数字示波器的通道 1 和通道 2 用 Q9 线连接起来。
- 2.2 打开实验仪和示波器。将实验仪“模式转换开关”置于静态模式, 液晶盘转角置于 0 度, 透过率显示校准到 100, 供电电压调到 2.00V。
- 2.3 按动“静态闪烁/动态清屏”按键, 使液晶处于静态闪烁状态。
- 2.4 调节示波器, 使通道 1 和通道 2 均以直流方式耦合; 调节电压和周期按钮, 直到出现合适的波形为止。(调节时可以从屏幕下方看到对应的电压值和周期值的变化)
- 2.5 用示波器观察此光开关时间响应特性曲线; 由示波器上的曲线可读出不同时间下的透过率值。选定测试项目为上升时间和下降时间, 可以直接测出液晶光开关的响应时间。

示波器使用请看示波器使用简要说明

表 2 响应时间

次数	1	2	3	平均
上升时间 τ_r				
下降时间 τ_d				

3. 液晶光开关视角特性的测量

①. 水平方向视角特性的测量

将模式转换开关置于静态模式。首先将透过率显示调到 100%，然后再进行实验。

确定当前液晶板为金手指 1 插入的插槽（如图 7 所示）。在供电电压为 0V 时，按照表 2 所列举的角度调节液晶屏与入射激光的角度，在每一角度下测量光强透过率最大值 T_{MAX} 。然后将供电电压设置为 2V，再次调节液晶屏角度，测量光强透过率最小值 T_{MIN} ，并计算其对比度。以角度为横坐标，对比度为纵坐标，绘制水平方向对比度随入射光入射角而变化的曲线。

②. 垂直方向视角特性的测量

关闭总电源后，取下液晶显示屏，将液晶板旋转 90 度，将金手指 2（垂直方向）插入转盘插槽（如图 7 所示）。重新通电，将模式转换开关置于静态模式。按照与①相同的方法和步骤，可测量垂直方向的视角特性。并记录入表中。

注意：在角度为零不加电压，初始化透光率为 100%后，做本步骤实验时，有可能会出现透光率为大于 100%的情况，想想这是为什么？在水平方向换为竖直方向时，再次强调必须关闭总电源，拔掉并插上后再开电源，否则可能损坏仪器。

表 3 水平方向视角特性

正角度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Tmax (0V)																
Tmin (2V)																
Tmax/Tmin																
负角度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Tmax (0V)																
Tmin (2V)																
Tmax/Tmin																

由上表数据可以找出比较好的水平视角显示范围。

表 4 垂直方向视角特性

正角度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Tmax (0V)																
Tmin (2V)																
Tmax/Tmin																
负角度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Tmax (0V)																
Tmin (2V)																
Tmax/Tmin																

由上表数据可以找出比较好的垂直视角显示范围。

4. 液晶显示器显示原理

实验室计算机内软件说明。

实验完成后，关闭电源开关，取下液晶板妥善保存。