

# 第八章 空间光调制器



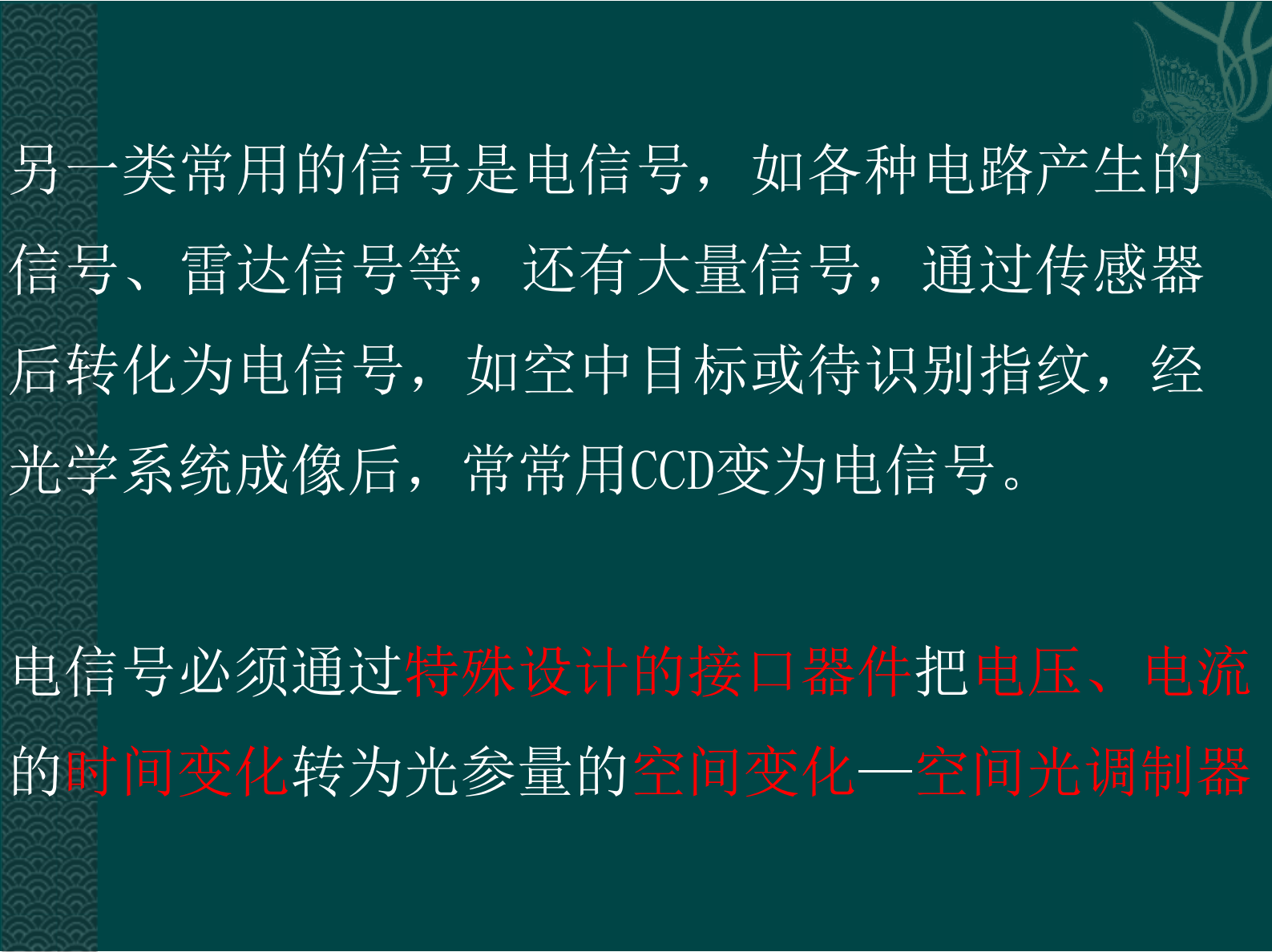


光学信息处理系统处理光波载荷的信息（光波的某一参数的空间分布表示，如强度、相位等）。特点：（1）频率高，允许信号有很宽的带宽；（2）光波独立传播，方便信息多通道并行传播；（3）具有大容量、高速度特点。

信息处理中，信号源和信息处理系统往往是两个独立的系统，信息源产生的信号必须通过某种形式的接口器件才能耦合到处理系统进行处理。

如常用的相干光处理系统，而大量被处理的光信号是非相干的，如日常生活中的图像、图形等。非相光所荷载的信息无法直接耦合到相干光处理系统中，需要一个**器件**——首先接收非相干光图像，通过器件中的特殊的效应，把光学图像所表征的光强分布转换为其它物理量的二维分布（如折射率、电压等），再通过器件的另一效应来调制处理系统中相干光的某一参数（相位、强度、偏振等），从而完成信息从信源向处理系统的转移，以及信息从非相干光荷载向相干光荷载的转换。

非相干光——相干光转换——》 **空间光调制器**



另一类常用的信号是电信号，如各种电路产生的信号、雷达信号等，还有大量信号，通过传感器后转化为电信号，如空中目标或待识别指纹，经光学系统成像后，常常用CCD变为电信号。

电信号必须通过特殊设计的接口器件把电压、电流的时间变化转为光参量的空间变化—空间光调制器



# 定义

SLM: Spatial Light  
Modulator

在信源信号的控制下，能对光波的**某个参量**进行调制，如通过吸收调制振幅、通过折射率调制相位、通过偏振面旋转调制偏振态等，从而将信源信号所荷载的信息写入入射光波中。即其输出光信号是随控制信号变化的空间和时间的函数

## 基本结构与分类

独立单元：像素

包括：

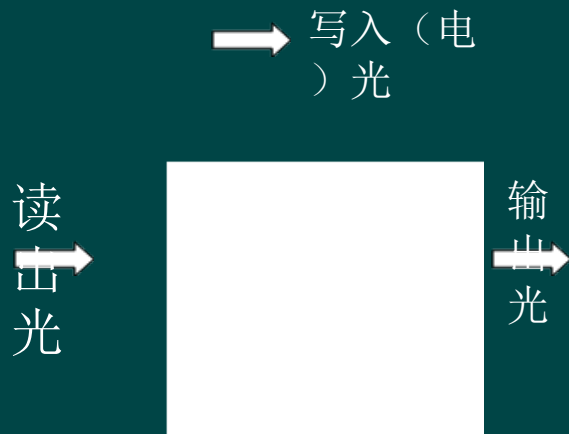
写入信号-----控制信号；

读出光-----输入信号；

输出光-----输出信号；

按系统中位置分类：用做输入器件（input-SLM）；频谱面上滤波器件（processor-SLM）；系统输出端（output-SLM）

按输出分类：透射式光寻址；反射式光寻址；透射式电寻址；反射式电寻址



透射式



反射式

## 寻址概念：光寻址与电寻址

**电寻址**：当写入信号是电信号（如视频信号或计算机电平信号），采用电寻址方法控制SLM的复数透过率。

$$T(x, y) = T[x(t), y(t)]$$

**通常方法**：通过SLM上两组正交的栅状电极，用逐行扫描的方式，把信号加到对应的单元上。又称为矩阵寻址，即EA-SLM。一对相邻的行和列电极构成SLM最小的单元，即**像素**，像素尺寸的两倍给出SLM分辨率的极限。

# 电寻址空间光调制器



**特点:** (1) 电寻址是串行寻址，失去光学信息并行处理特点

(2) 电寻址通过条状电极传递信息，电极尺寸的减小有限度，决定了像素尺寸的限度，也决定了SLM的分辨率

## SLM显示模式

模式	水平像素	垂直像素	SBP (*10 <sup>6</sup> )
VGA	640	480	0.31
SVGA	800	600	0.48
XGA	1024	768	0.79
SXGA	1400	1050	1.47
UXGA	1600	1200	1.92
HD	1920	1080	2.07





透射式SLM由于电极本身不透明，所以像素的有效通光面积于像素总面积之比——开口率较低，光能利用率不高。硅基液晶(LCOS)是反射型的，解决了开口问题，近年来发展很快。

数字式微反射镜器件(DMD)具有高效率、高对比度、多灰阶(256个灰阶)、高色保真度等特点，具有多种规格的像素单元。

如2048\*1152的超高分辨率器件，可以同16:9宽屏幕电视匹配。

# 光寻址空间光调制器 (OA-SLM)

## 方法:

首先把光学信号写入光寻址空间光调制器中，把光学信号对应的光强分布转化为电荷分布、折射率分布等，然后由读出光通过各种效应，如光电效应、双折射效应等，读出这一信号。

## 特点:

- 1 空间分辨率通常高于EA-SLM。如液晶光阀LCLV的分辨率达60lp/mm, 面积为50mm\*50mm, 相当于 3k\*3k个像素。
- 2 高度并行特点。
- 3 通常采用反射式，即写入光入射SLM的一个端面，读出光入射SLM另一端面，信息通过SLM转移到读出光中
- 4 通常采用非相干光写入，相干光读出。

# 常用的空间光调制器



## 电寻址

- ① 薄膜晶体管液晶显示器 (TFT-LCD)
- ② 硅基液晶显示器 (LCOS)
- ③ 磁光空间光调制器 (MOSLM)
- ④ 数字光处理 (DLP)

## 光寻址

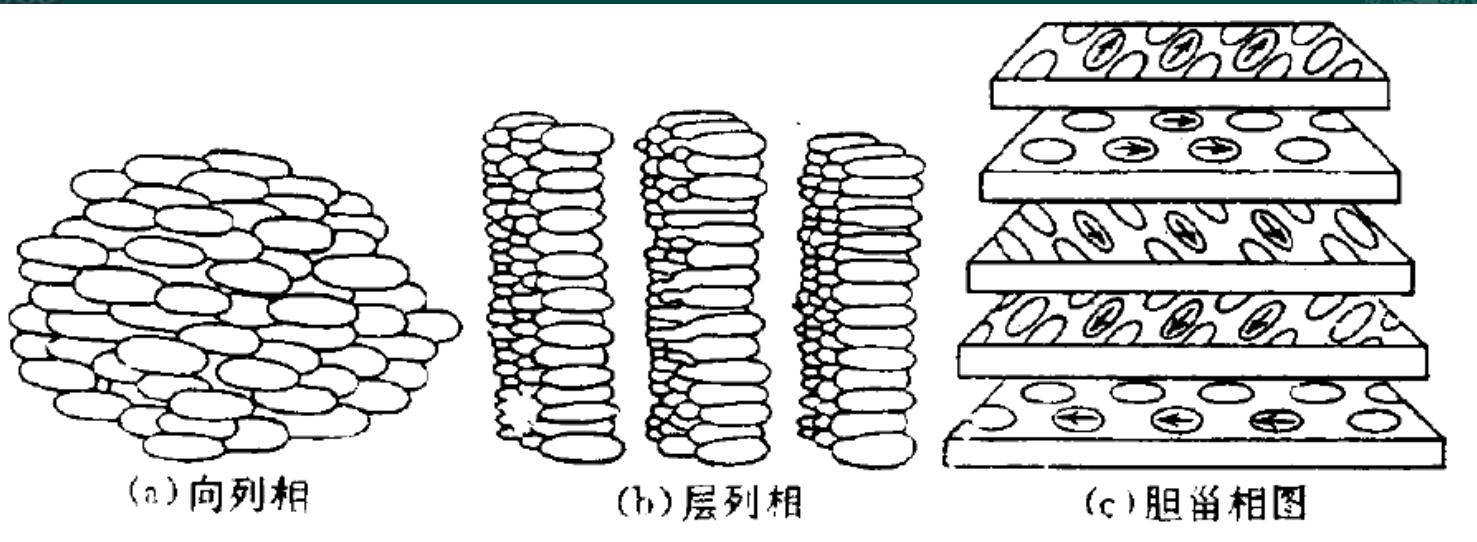
- ① 铁电液晶空间光调制器 (FLC-SLM)
- ② 液晶光阀 (LCLV) 及阴极射线管-液晶光阀
- ③ 微通道板空间光调制器 (MSLM)
- ④ Pockels光调制器

## 8.2 液晶的扭曲效应及薄膜晶体管驱动液晶显示器(TFT-LCD)



### 液晶

某些有机高分子物质在一定条件下呈现的一种特殊的物质状态，其结构介于液体、固体之间，称为中间态或中间相。



液晶分子一般呈长棒状，个别呈盘状、碗装，它们的分子排列介于完全规则的晶体和各向同性的液体之间：每个液晶分子的中心在液晶空间中的分布是随机的，但分子的取向具有有序性。长棒状分子的长轴方向或盘状、碗状分子的法线方向在一定温度范围内倾向彼此平行，该方向称为液晶分子的指向**矢量方向**。



液晶具有**双重性质**，在一定程度上，既有液体流动性，又有晶体所特有的各向异性。液晶分子之间的相互作用远低于固体分子之间的相互作用力。液晶的各向异性在外场作用下会发生显著变化。如：**KDP晶体的半波电压9.3kV**，**BSO晶体的半波电压为3.9kV**（ $\lambda_m=632.8\text{nm}$ ）（半波电压是晶体电光效应的一个特征参数，在振幅调制中，当外加电压达到半波电压时，调制器的透过状态从开态转为关态）**表征液晶电光效应的特征参量——开关电压大概为5V**，比晶体半波电压小三个数量级。

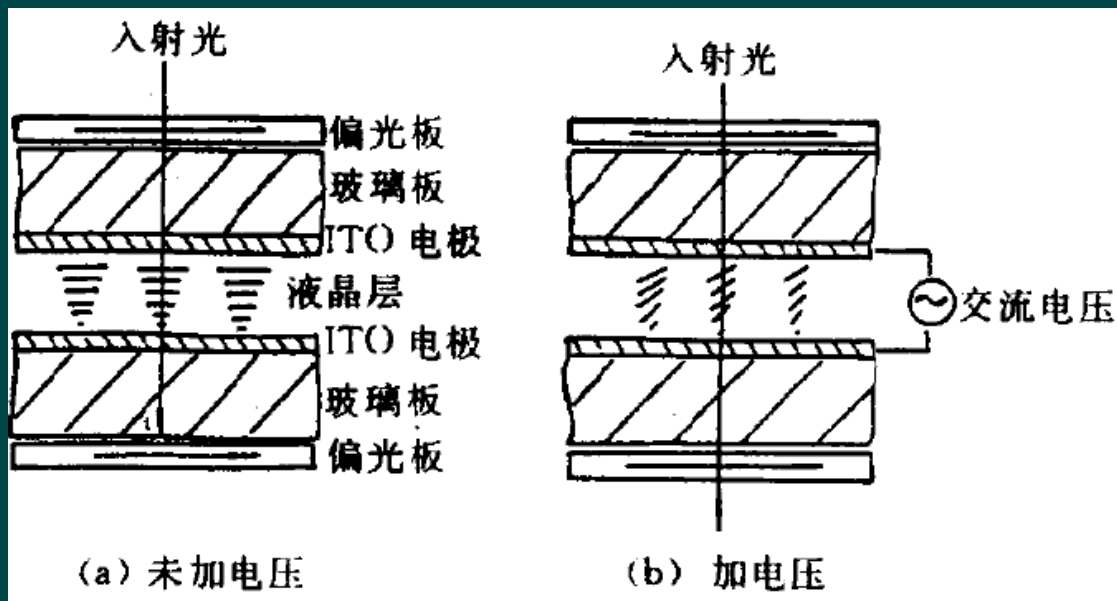
——可以做成低能耗、低电压的空间光调制器=>光寻址的液晶光阀（LCLV）以及电寻址的薄膜晶体管驱动的液晶显示器（TFT—CCD）。

## 索尼TFT—LCD透射式SLM



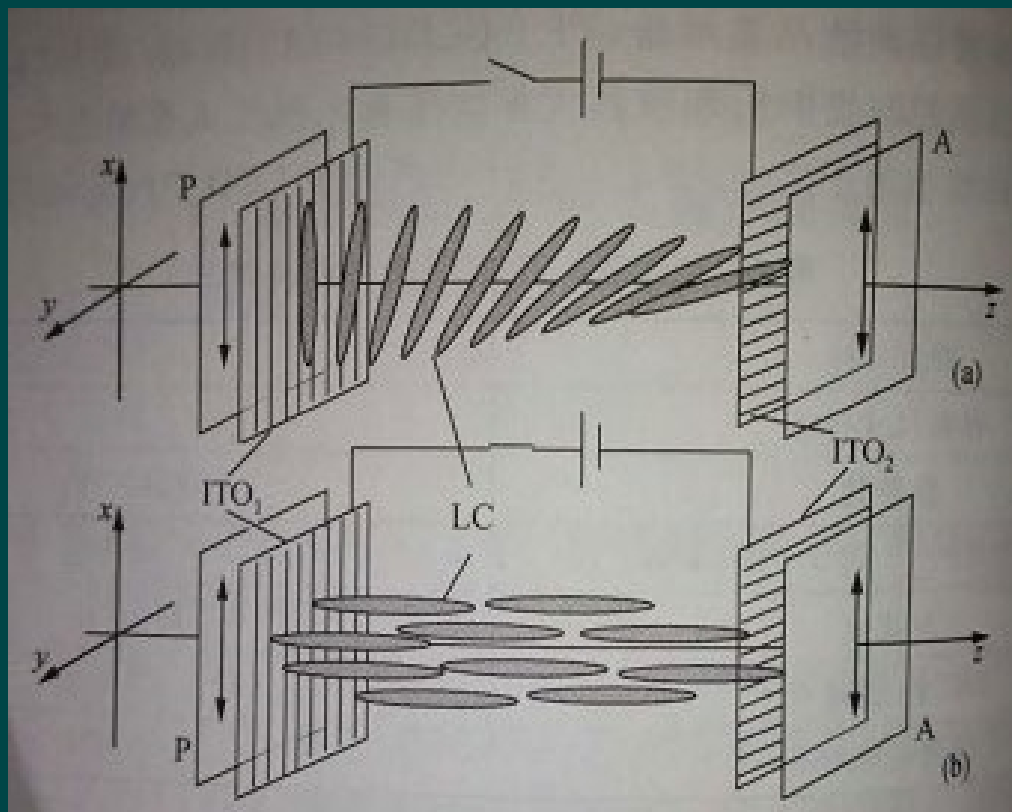
帧频/Hz	60
像素尺寸/微米	26
像素数	1024*768
像面尺寸/英寸	1.3
对比度	1000:1
开口率	23%
光谱范围 (nm)	400~700

# 偏振光在扭曲介质中的传播



## TN液晶盒结构和工作原理

把向列相液晶放在一个经特殊处理的盒中，可以构成具有特殊的扭曲效应的液晶盒。ITO为透明电极。液晶注入一导电玻璃之间，这两片导电玻璃的表面经过特殊处理，使其表面具有定向结构，而且上下导电玻璃的定向结构方向正交。



TN液晶盒结构和工作原理

如果将整个液晶层沿着与表面正交的Z轴分成均匀的N个薄层，则每一薄层中液晶分子的长轴取向大致相同，这样每层都可以看成一个单轴晶片。在整个液晶层中，随着Z的变化，分子长轴发生旋转，光轴也就随之旋转，形成各向异性介质。光轴的方位是Z的线性函数：

$$\psi = \alpha z.$$

TN 盒中总的旋转角

$$\psi_d = \alpha d,$$

且有  $\psi_d = 90^\circ$ . TN 盒外层有一对偏振片 P, A, 它们的光轴方向与上表面液晶指向矢方向相同, 这一方向取为  $x$  轴. 设光波沿  $z$  方向入射, 经 P 后变成沿  $x$  方向振动的线偏振光, 它的偏振态可以用 Jones 矩阵<sup>[6]</sup>表示:



$$E_{xy} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

理论上可以证明(参见附录 A7),由于扭曲型各向异性的作用,经液晶合透射的光波偏振态为

$$E'_{xy} = \begin{pmatrix} E'_x \\ E'_y \end{pmatrix}$$

$$= R(-\psi_d) \begin{pmatrix} \cos X - \frac{i\Gamma \sin X}{2X} & \frac{\psi_d \sin X}{X} \\ -\frac{\psi_d \sin X}{X} & \cos X + \frac{i\Gamma \sin X}{2X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$$

$$R(-\psi_d) = \begin{pmatrix} \cos\psi_d & -\sin\psi_d \\ \sin\psi_d & \cos\psi_d \end{pmatrix}$$

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda,$$

$$X = \sqrt{\psi_d^2 + (\Gamma/2)^2}.$$

液晶是正双折射介质， $n_e - n_o$  约为 0.1，如设  $d = 25\mu\text{m}$   
 $\lambda = 0.5\mu\text{m}$ ,  $\psi_d = \frac{\pi}{2}$ ,  $\Gamma/\psi_d \approx 20$

$$X \approx \Gamma/2,$$

$$\begin{pmatrix} E'_x \\ E'_y \end{pmatrix} \approx R(-\psi_d) \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = R(-\psi_d) \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$= R(-\psi_d)e^{-i\Gamma/2}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = R(-\psi_d)e^{-i\Gamma/2}\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$$

如将坐标轴沿  $z$  轴旋转  $\psi_d$ , 得到新的坐标系  $(\xi, \eta)$ ,  $\xi$  轴沿出射面的指向矢, 则在  $(\xi, \eta)$  坐标系下, 偏振态可表为

$$\mathbf{E}_{\xi\eta} = \begin{pmatrix} E_\xi \\ E_\eta \end{pmatrix} = R(\psi_d)\mathbf{E}'_{xy} = R(\psi_d)R(-\psi_d)\mathbf{E}'_{xy} = e^{-i\Gamma/2}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

可见出射光波仍然是线偏振的, 振动方向沿出射面的指向矢方向, 只是增加了一个不重要的相位。条件

$$\Gamma \gg \psi_d \quad \text{或} \quad \alpha \ll 2\pi(n_e - n_o)/\lambda$$

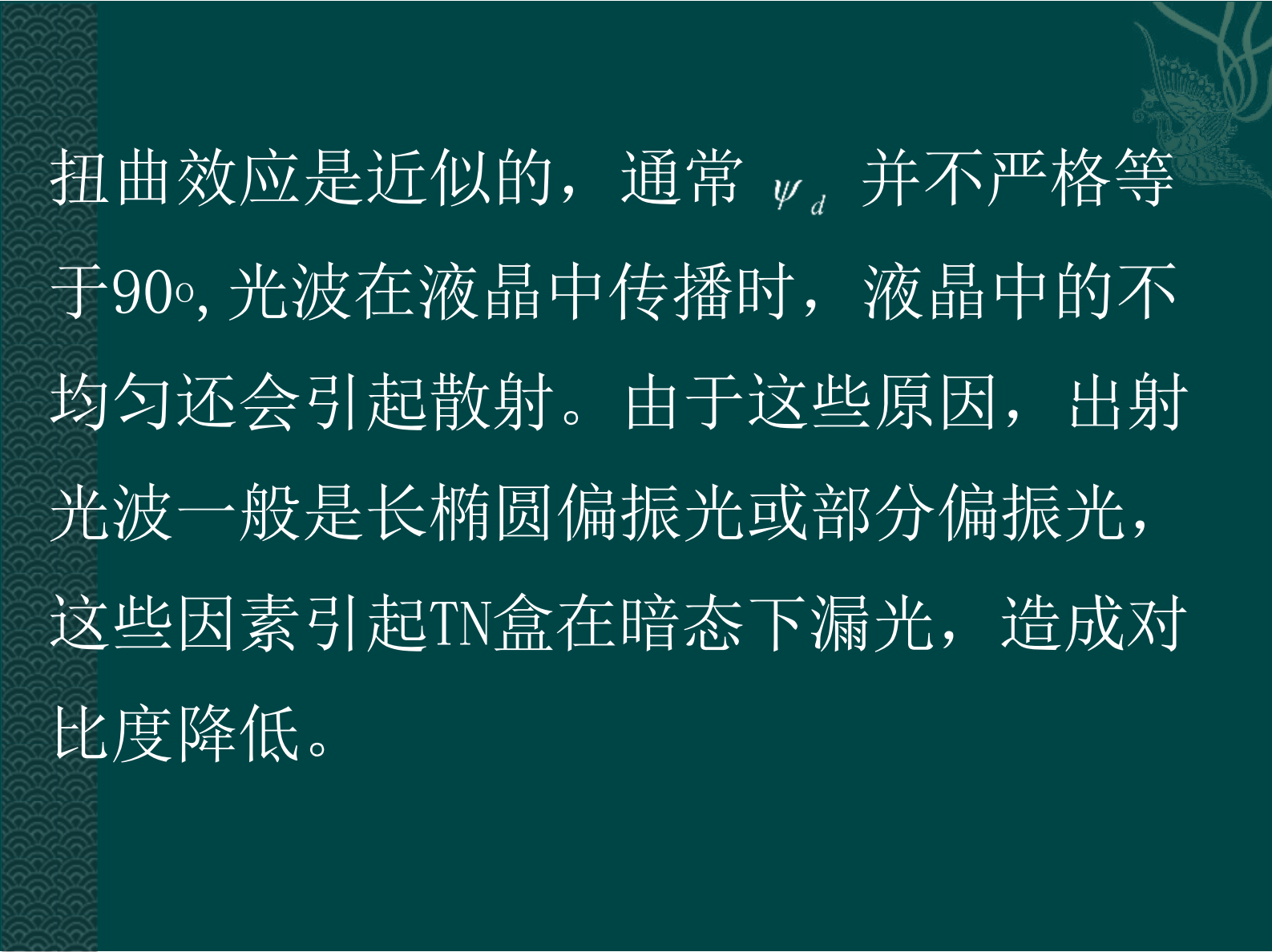
弱扭曲条件, 通常是满足的。

结论：在弱扭曲的情况下，当入射线偏振光的振动方向与扭曲介质表面的局部光轴一致时，振动方向将锁定在光轴的方向上，随着光轴旋转，出射光波仍然是线偏振光，振动方向与扭曲介质出射表面的光轴一致。这就是偏振光在扭曲介质中传播时的扭曲效应，常误认为旋光效应。

如果  $\psi_d = 90^\circ$ ，则在固定坐标系  $xy$  中

$$\begin{pmatrix} E'_x \\ E'_y \end{pmatrix} = e^{-i\Gamma/2} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

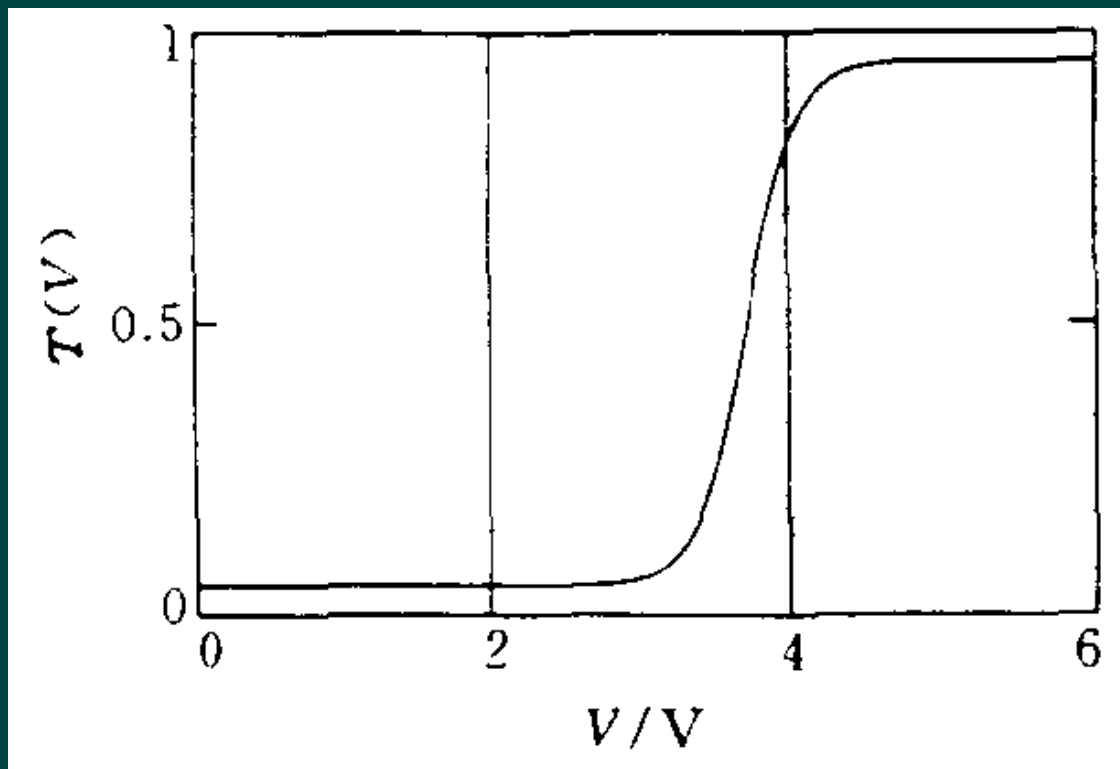
即从液晶层射出的光波振动方向沿 $y$ 轴。如果检偏器光轴与 $x$ 轴平行，则TN器件的透过率为0，反之如检偏器光轴沿 $y$ 轴方向，则TN器件的透过率为最大，即分别对应TN液晶盒的**关态**（暗态）和**开态**（亮态）。



扭曲效应是近似的，通常  $\psi_d$  并不严格等于  $90^\circ$ ，光波在液晶中传播时，液晶中的不均匀还会引起散射。由于这些原因，出射光波一般是长椭圆偏振光或部分偏振光，这些因素引起TN盒在暗态下漏光，造成对比度降低。

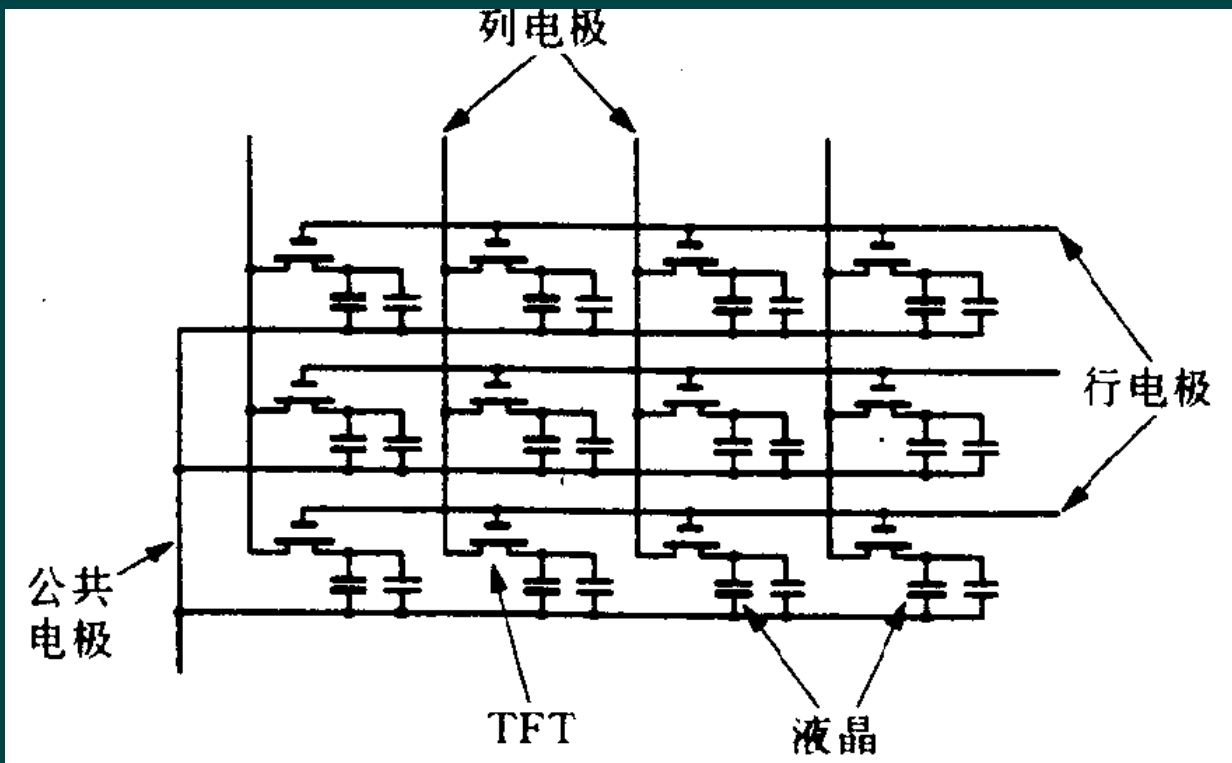


# 扭曲向列液晶盒的工作原理

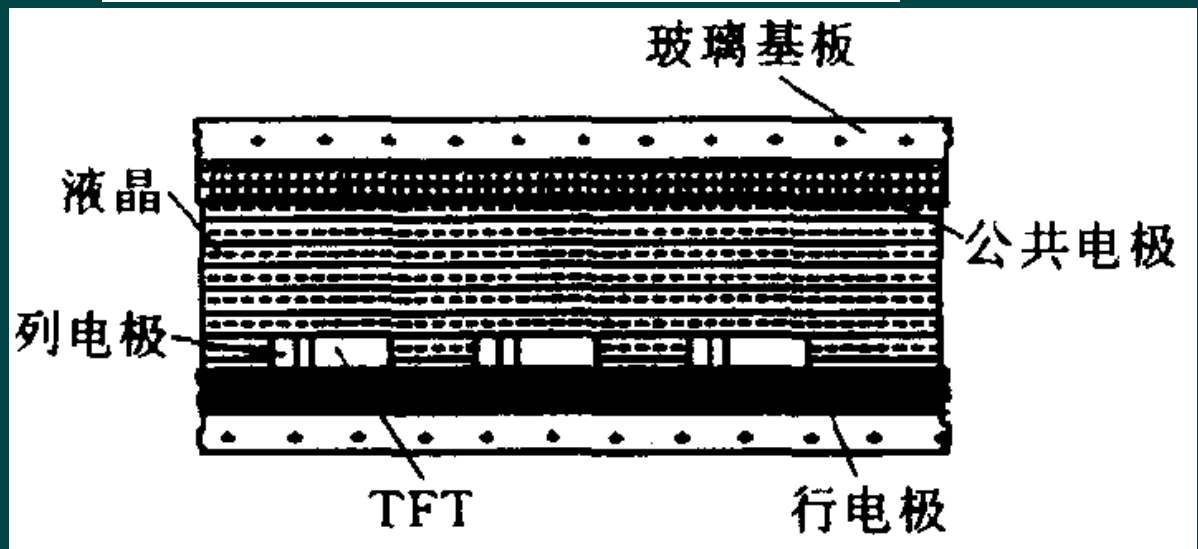
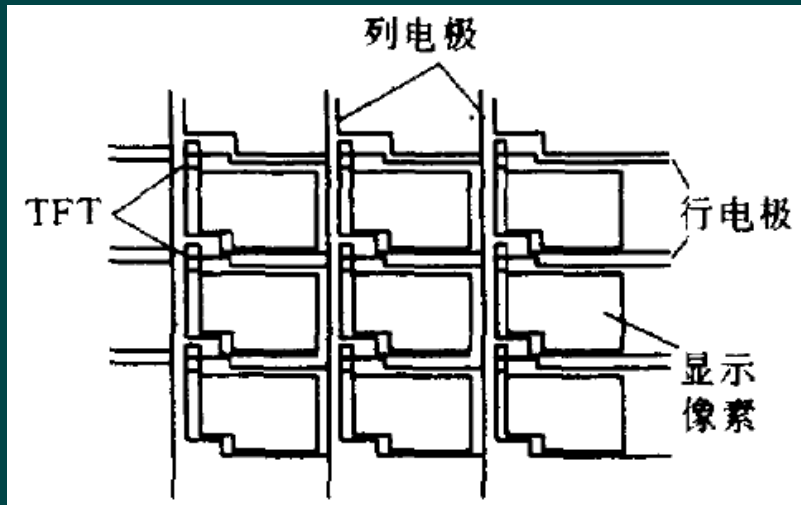


TN盒透明电极→纵上电压→液晶的长形分子为电偶极子，趋向于电场方向重新排列→一定程度抵消扭曲效应，使器件产生一定透过率。

# 有源矩阵驱动液晶显示器 (TFT-LCD)

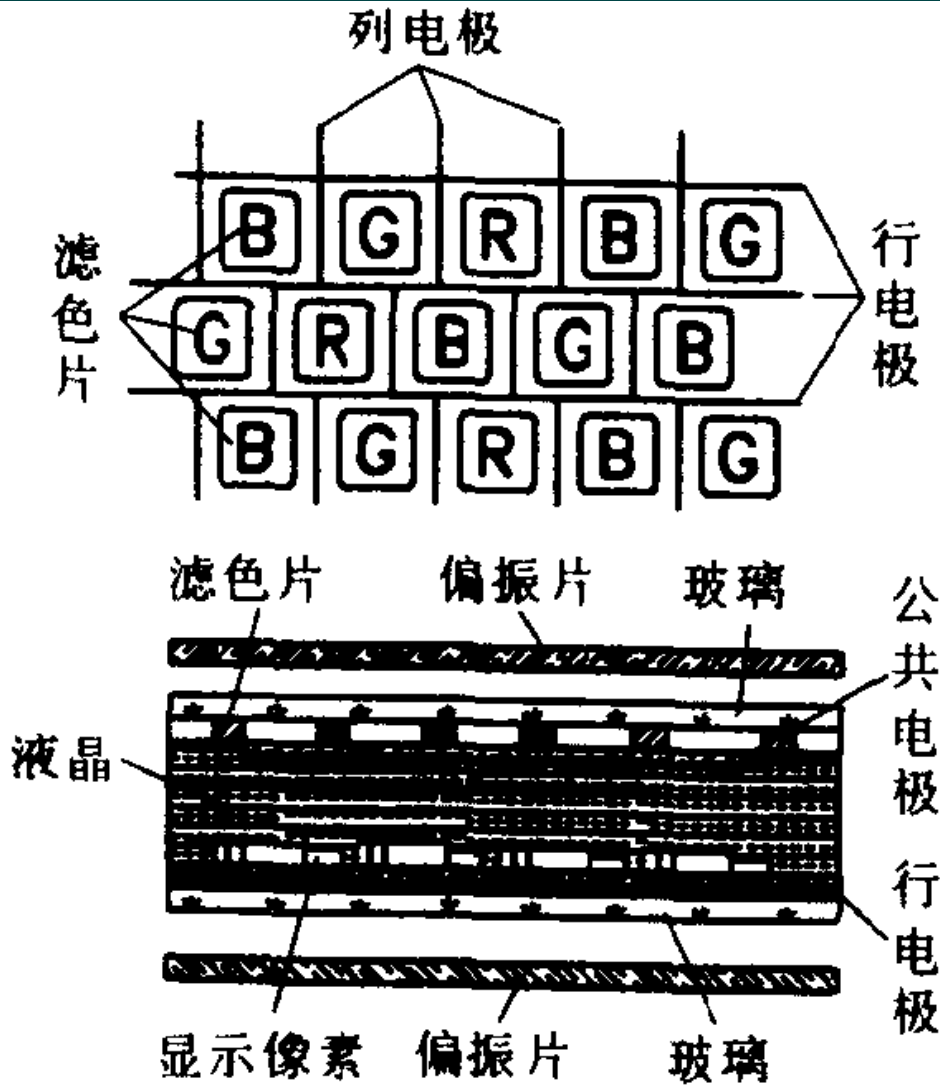


电寻址的SLM多采用矩阵寻址方案。在一块玻璃板上形成互相绝缘的行和列电极，交点上制作薄膜晶体管(TFT)。TF栅极、源极和漏极分别接行、列电极和显示像素。另外一块玻璃上所有像素公用一个电极，之间填充扭曲或强扭曲液晶



TFT-LCD 结构示意图

全彩色 TFT-LCD 液晶板



在各个像素上顺序贴上红(R)、绿(G)、蓝(B)滤光片，以组R, G, B像素为一个彩色显示单元。

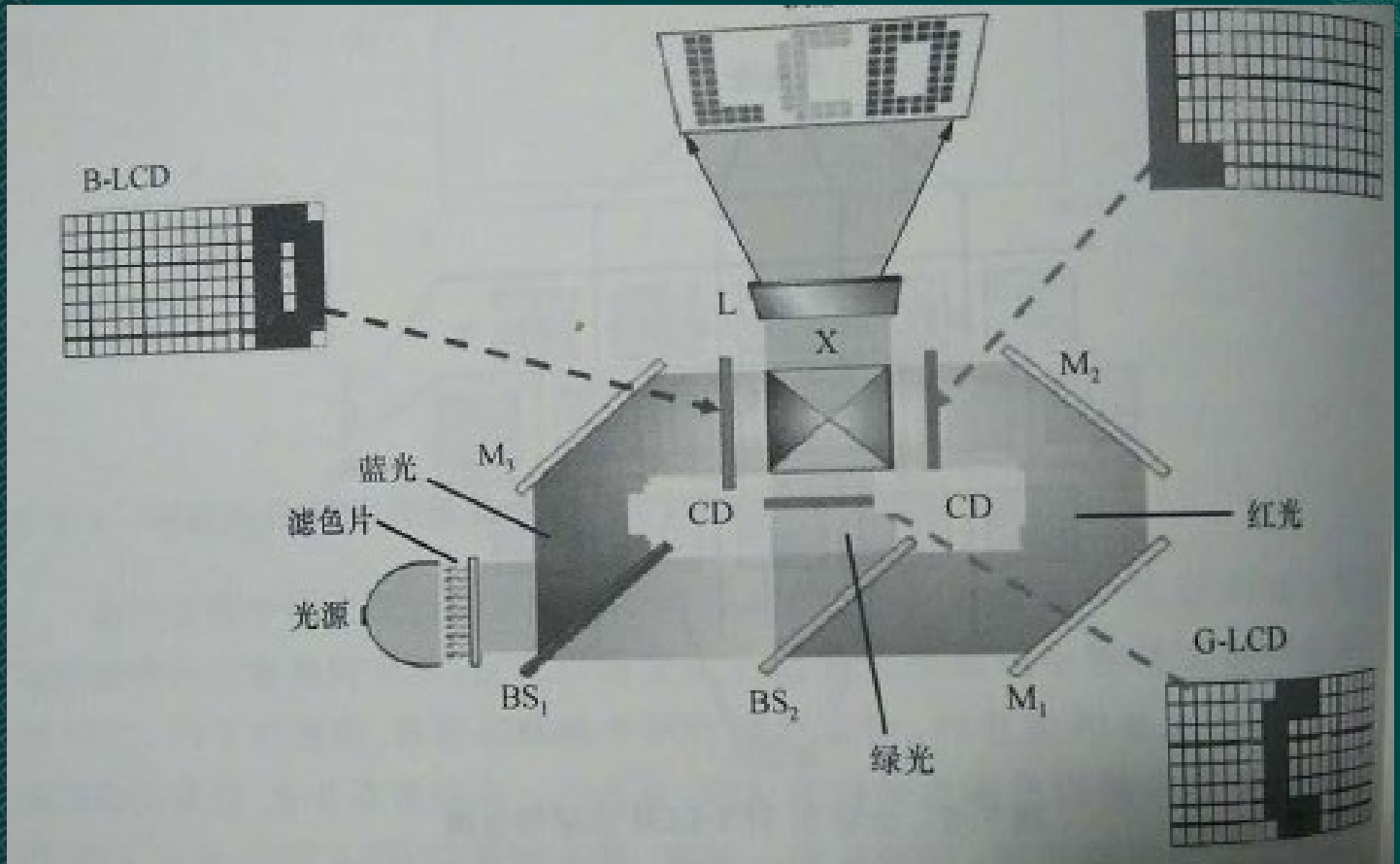
# LCD平板显示器技术指标

项目	规格	备注
屏尺寸	110”	对角线长度
像素数	4k*2k	已知以批量产品化的最高像素数（12M）
像素数	8k*4k	演示样机像素数（32M）
可视角	178° 178° *	TFT-LCD生产厂家标注的最大值
色域覆盖率	72% NTSC	覆盖颜色三角形的百分比

# LCD投影机

投影屏

R-LCD





以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/945141132233011311>