



# TFT LCD液晶显示器的工作原理

---

谢崇凯 著

FPDisplay版权所有

2004.8



# 前言

---

我一直记得,当初刚开始从事有关液晶显示器相关的工作时,常常遇到的困扰,就是不知道怎么跟人家解释,液晶显示器是什么?只好随着不同的应用环境,来解释给人家听.在最早的时候是告诉人家,就是掌上型电动玩具上所用的显示屏,随着笔记型计算机开始普及,就可以告诉人家说,就是使用在笔记型计算机上的显示器.随着手机的流行,又可以告诉人家说,是使用在手机上的显示板.时至今日,液晶显示器,对于一般普罗大众,已经不再是生涩的名词.而它更是继半导体后,另一种可以再创造大量营业额的新兴科技产品,更由于其轻薄的特性,因此它的应用范围比起原先使用阴极射线管(CRT, cathode-ray tube)所作成的显示器更多更广.

如同我前面所提到的,液晶显示器泛指一大堆利用液晶所制作出来的显示器.而今日对液晶显示器这个名称,大多是指使用于笔记型计算机,或是桌上型计算机应用方面的显示器.也就是薄膜晶体管液晶显示器.其英文名称为Thin-film transistor liquid crystal display,简称之TFT LCD.从它的英文名称中我们可以知道,这一种显示器它的构成主要有两个特征,一个是薄膜晶体管,另一个就是液晶本身.我们先谈谈液晶本身.



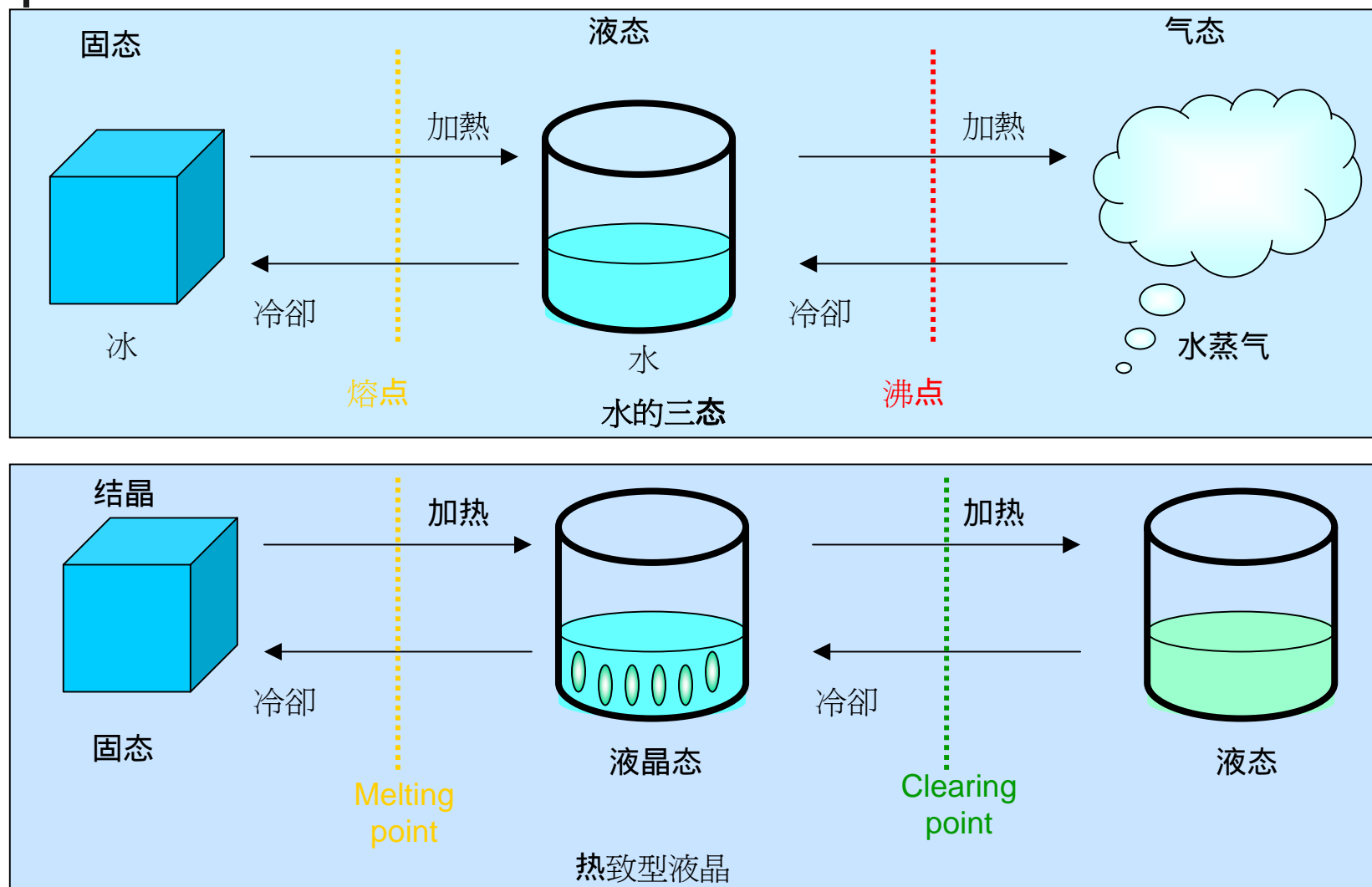
# 液晶(LC, liquid crystal)的分类

我们一般都认为物质像水一样都有三态, 分别是固态液态跟气态. 其实物质的三态是针对水而言, 对于不同的物质, 可能有其它不同的状态存在. 以我们要谈到的液晶态而言, 它是介于固体跟液体之间的一种状态, 其实这种状态仅是材料的一种相变化的过程(请见图1), 只要材料具有上述的过程, 即在固态及液态间有此一状态存在, 物理学家便称之为液态晶体.

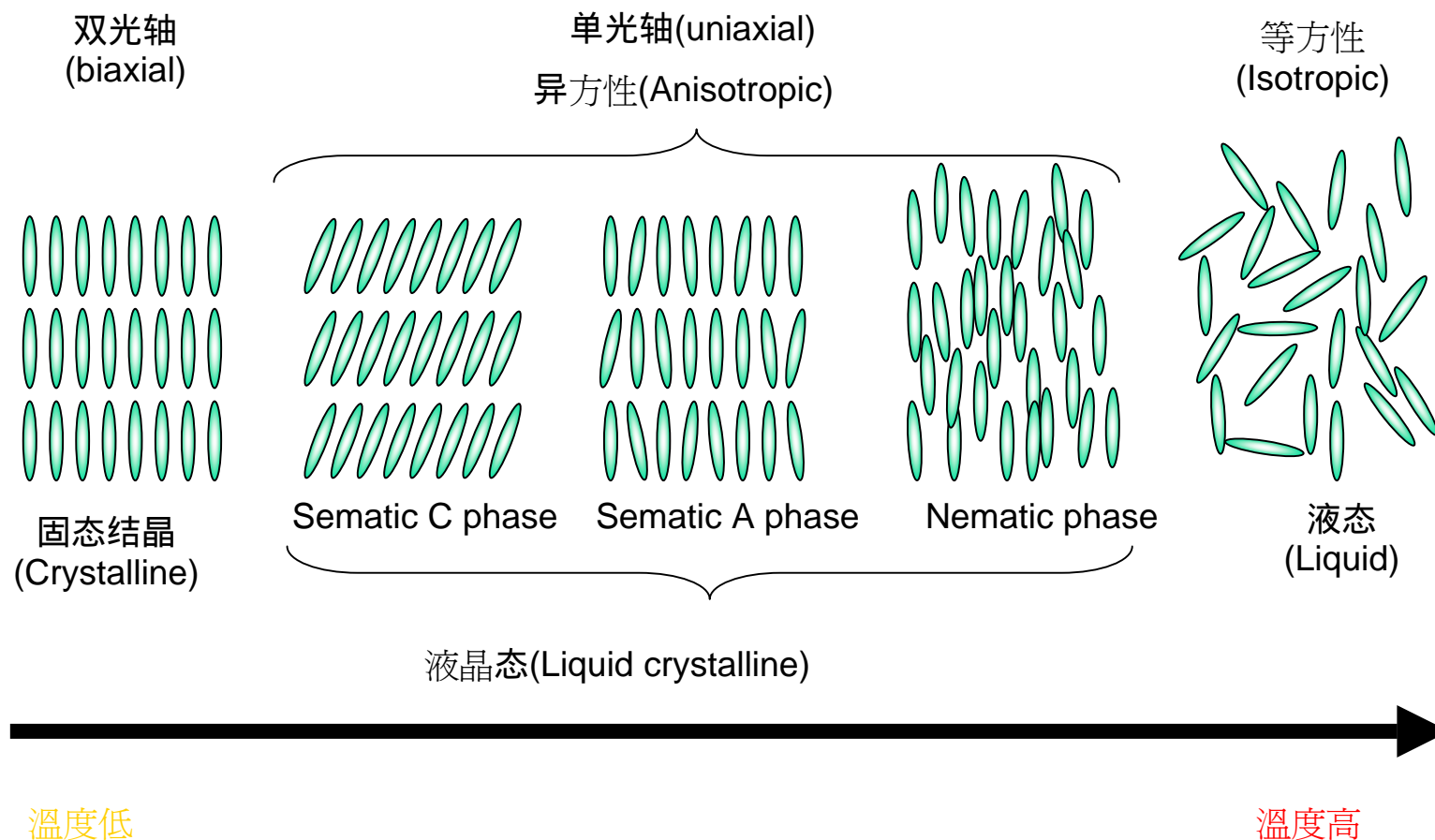
这种液态晶体的首次发现, 距今已经度过一百多个年头了. 在公元1888年, 被奥地利的植物学家Friedrich Reinitzer所发现, 其在观察从植物中分离精制出的安息香酸胆固醇(cholesteryl benzoate)的融解行为时发现, 此化合物加热至145.5度 时, 固体会熔化, 呈现一种介于固相和液相间之半熔融流动白浊状液体. 这种状况会一直维持温度升高到178.5度 , 才形成清澈的等方性液态(isotropic liquid). 隔年, 在1889年, 研究相转移及热力学平衡的德国物理学家O. Lehmann, 对此化合物作更详细的分析. 他在偏光显微镜下发现, 此黏稠之半流动性白浊液体化合物, 具有异方性结晶所特有的双折射率(birefringence)之光学性质, 即光学异相性(optical anisotropic). 故将这种似晶体的液体命名为液晶. 此后, 科学家将此一新发现的性质, 称为物质的第四态-液晶(liquid crystal). 它在某一特定温度的范围内, 会具有同时液体及固体的特性.

一般以水而言, 固体中的晶格因为加热, 开始吸热而破坏晶格, 当温度超过熔点时便会溶解变成液体. 而热致型液晶则不一样(请见图2), 当其固态受热后, 并不会直接变成液态, 会先溶解形成液晶态. 当您持续加热时, 才会再溶解成液态(等方性液态). 这就是所谓二次溶解的现象. 而液晶态顾名思义, 它会有固态的晶格, 及液态的流动性. 当液晶态刚发现时, 因为种类很多, 所以不同研究领域的人对液晶会有不同的分类方法. 在1922年由G. Friedel利用偏光显微镜所观察到的结果, 将液晶大致分为Nematic Smectic及Cholesteric三类. 但是如果是依分子排列的有序性来分(请见图3), 则可以分成以下四类:

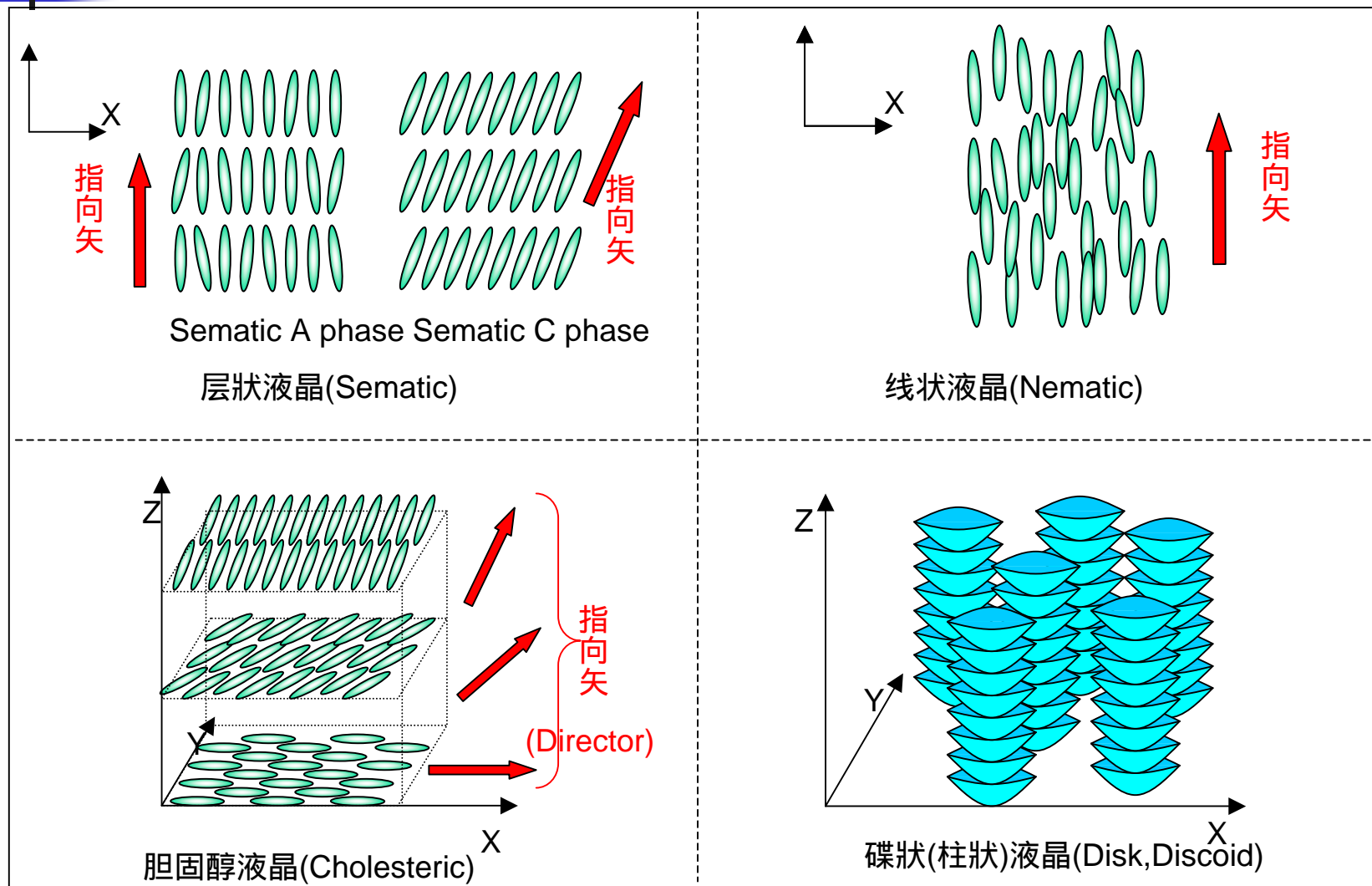
# 图1、物态的相变化



## 图2:各种热致型液晶分布的温度范围



## 图3:液晶的种类





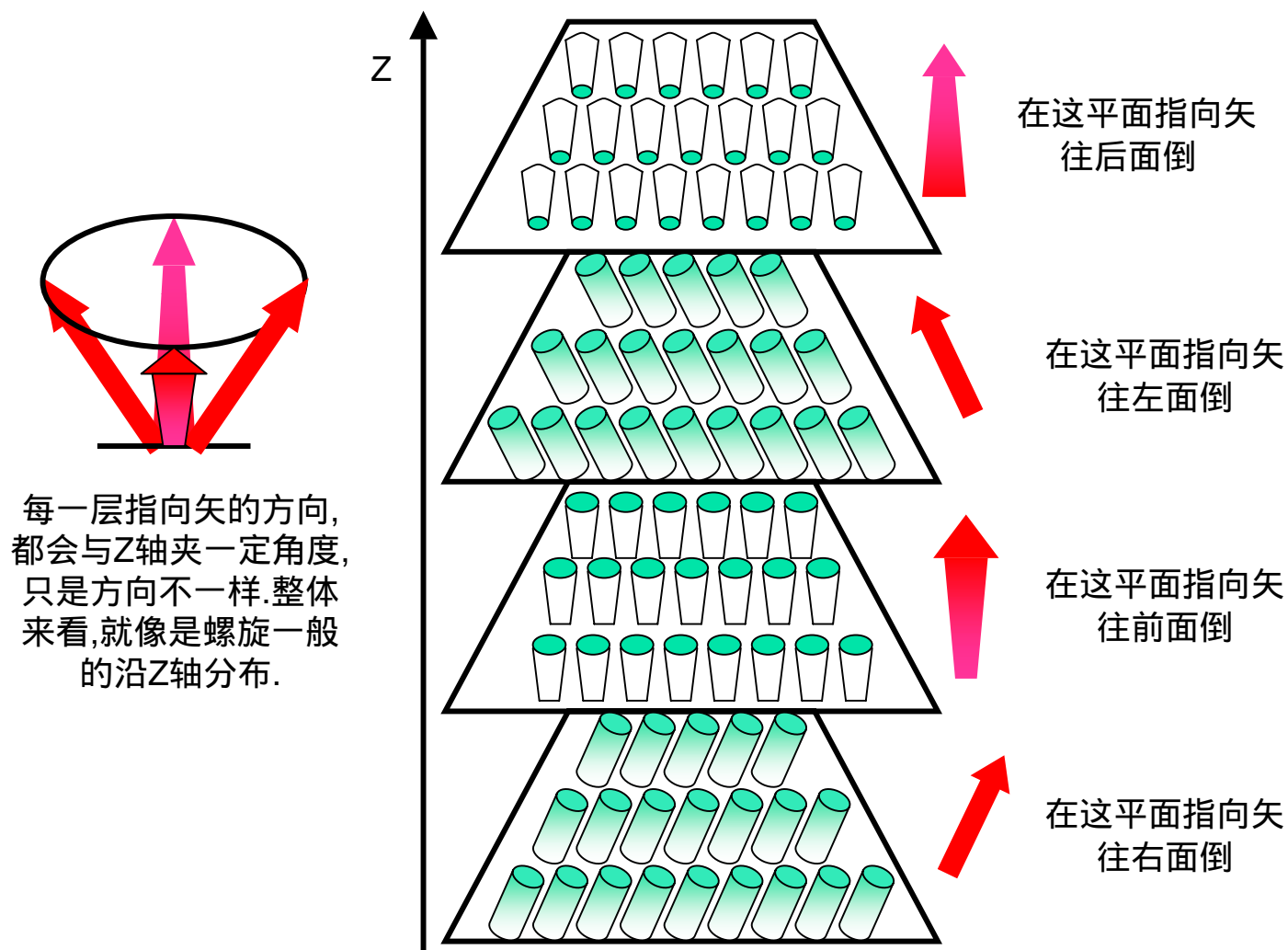
# 液晶(LC, liquid crystal)的分类

**1.层状液晶(Sematic)：**其结构是由液晶棒状分子聚集一起, 形成一层一层的结构. 其每一层的分子的长轴方向相互平行. 且此长轴的方向对于每一层平面是垂直或有一倾斜角. 由于其结构非常近似于晶体, 所以又称做近晶相. 其秩序参数 $S$ (order parameter)趋近于1. 在层状型液晶层与层间的键结会因为温度而断裂, 所以层与层间较易滑动. 但是每一层内的分子键结较强, 所以不易被打断. 因此就单层来看, 其排列不仅有序且黏性较大. 如果我们利用巨观的现象来描述液晶的物理特性的话, 我们可以把一群区域性液晶分子的平均指向定为指向矢(director), 这就是这一群区域性的液晶分子平均方向. 而以层状液晶来说, 由于其液晶分子会形成层状的结构, 因此又可就其指向矢的不同再分类出不同的层状液晶. 当其液晶分子的长轴都是垂直站立的话, 就称之为"Sematic A phase". 如果液晶分子的长轴站立方向有某种的倾斜(tilt)角度, 就称之为"Sematic C phase". 以A,C等字母来命名, 这是依照发现的先后顺序来称呼, 依此类推, 应该会存在有一个"Sematic B phase"才是. 不过后来发觉B phase其实是C phase的一种变形而已, 原因是C phase如果带chiral的结构就是B phase. 也就是说Chiral sematic C phase就是Sematic B phase(请见图4). 而其结构中一层一层液晶分子, 除了每一层的液晶分子都具有倾斜角度之外, 一层一层之间的倾斜角度还会形成像螺旋的结构.

**2.线状液晶(Nematic)：**Nematic这个字是希腊字, 代表的意思与英文的thread是一样的. 主要是因为用肉眼观察这种液晶时, 看起来会有像丝线一般的图样. 这种液晶分子在空间上具有一维的规则性排列, 所有棒状液晶分子长轴会选择某一特定方向(也就是指向矢)作为主轴并相互平行排列. 而且不像层状液晶一样具有分层结构. 与层列型液晶比较其排列比较无秩序, 也就是其秩序参数 $S$ 较层状型液晶较小. 另外其黏度较小, 所以较易流动(它的流动性主要来自对于分子长轴方向较易自由运动). 线状液晶就是现在的TFT液晶显示器常用的TN(Twisted nematic)型液晶.



## 图4: Chiral smectic C phase







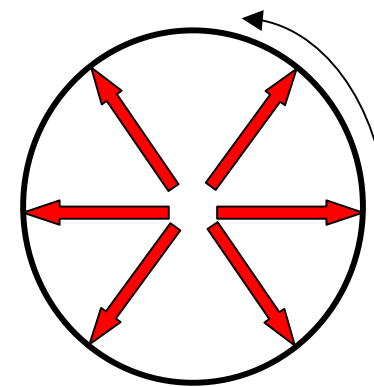
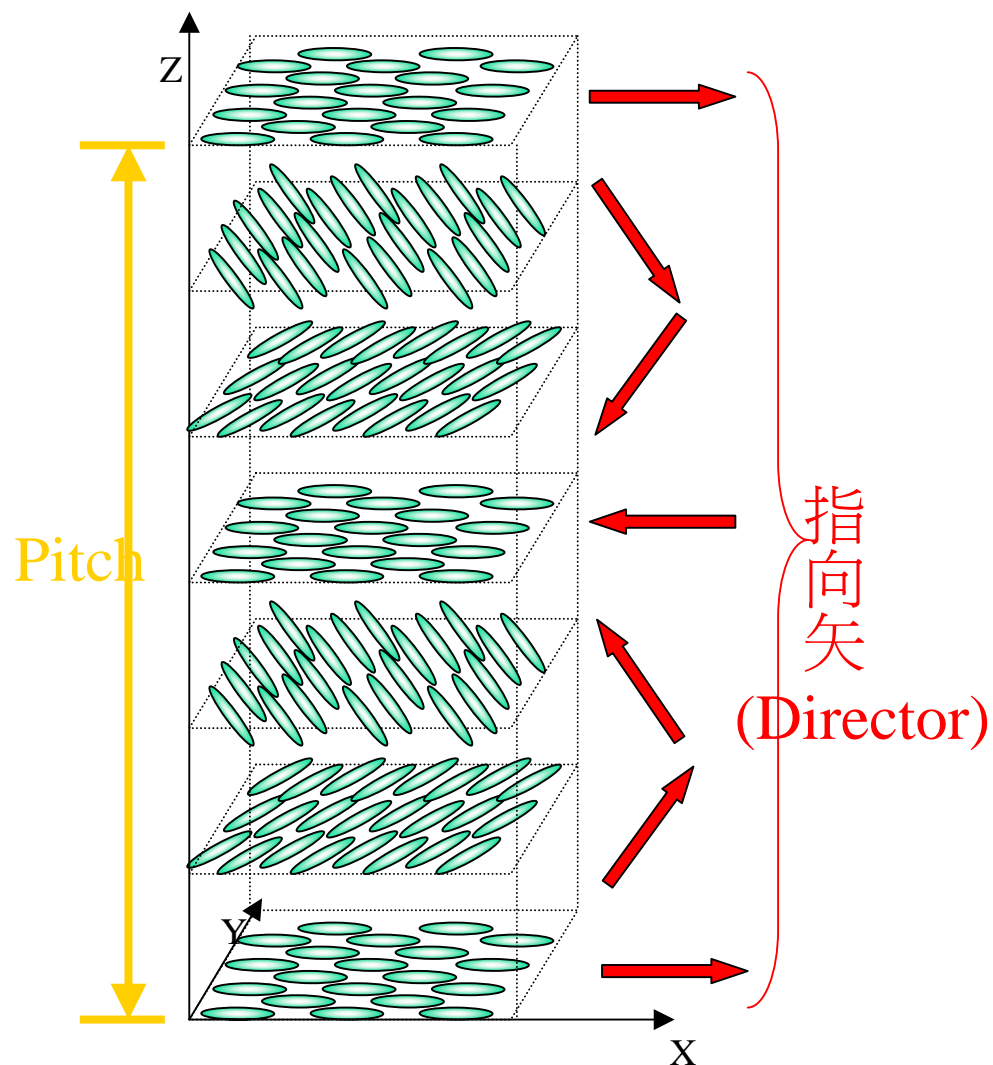
# 液晶(LC, liquid crystal)的分类

**3. 胆固醇液晶(cholesteric) :** 这个名字的来源,是因为它们大部份是由胆固醇的衍生物所生成的. 但有些没有胆固醇结构的液晶也会具有此液晶相. 这种液晶如图5所示, 如果把它的一层一层分开来看, 会很像线状液晶. 但是在Z轴方向来看, 会发现它的指向矢会随着一层一层的不同而像螺旋状一样分布, 而当其指向矢旋转360度所需的分子层厚度就称为pitch. 正因为它每一层跟线状液晶很像,所以也叫做Chiral nematic phase. 以胆固醇液晶而言, 与指向矢的垂直方向分布的液晶分子, 由于其指向矢的不同, 就会有不同的光学或是电学的差异, 也因此造就了不同的特性.

**4. 碟状液晶(disk) :** 也称为柱状液晶, 以一个个的液晶来说, 它是长的像碟状(disk), 但是其排列就像是柱状(discoïd).

如果我们是以分子量的高低来分的话则可以分成高分子液晶(polymer liquid crystal, 聚合许多液晶分子而成)与低分子液晶两种. 就此种分类来说 TFT液晶显示器是属于低分子液晶的应用. 倘若就液晶态的形成原因, 则可以分成因为温度形成液晶态的热致型液晶(thermotropic), 与因为浓度而形成液晶态的溶致型液晶(lyotropic). 以之前所提过的分类来说, 层状液晶与线状液晶一般多为热致型的液晶, 是随着温度变化而形成液晶态. 而对于溶致型的液晶, 需要考虑分子溶于溶剂中的情形. 当浓度很低时, 分子便杂乱的分布于溶剂中而形成等方性的溶液, 不过当浓度升高大于某一临界浓度时, 由于分子已没有足够的空间来形成杂乱的分布, 部份分子开始聚集形成较规则的排列, 以减少空间的阻碍. 因此形成异方性(anisotropic)之溶液. 所以溶致型液晶的产生就是液晶分子在适当溶剂中 达到某一临界浓度时, 便会形成液晶态. 溶致型的液晶有一个最好的例子, 就是肥皂. 当肥皂泡在水中并不会立刻便成液态, 而其在水中泡久了之后, 所形成的乳白状物质, 就是它的液晶态.

## 图5:胆固醇液晶(Cholesteric)



指向矢的方向,都位在XY平面上,只是方向不同.经过一个pitch高度,指向矢恰好旋转360度.



# 液晶的光电特性

由于液晶分子的结构为异方性 (Anisotropic)，所以所引起的光电效应就会因为方向不同而有所差异，简单的说也就是液晶分子在介电系数及折射系数等等光电特性都具有异方性，因而我们可以利用这些性质来改变入射光的强度，以便形成灰阶，来应用于显示器组件上。以下我们要讨论的，是液晶属于光学跟电学相关的特性，大约有以下几项：

**1.介电系数 (dielectric permittivity)：**我们可以将介电系数分开成两个方向的分量，分别是  $\epsilon_{\parallel}$  (与指向矢平行的分量) 与  $\epsilon_{\perp}$  (与指向矢垂直的分量)。当  $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$  便称之为介电系数异方性为正型的液晶，可以用在平行配位。而  $\epsilon_{\parallel} < \epsilon_{\perp}$  则称之为介电系数异方性为负型的液晶，只可用在垂直配位才能有所需要的光电效应。当有外加电场时，液晶分子会因介电系数异方性为正或是负值，来决定液晶分子的转向是平行或是垂直于电场，来决定光的穿透与否。现在 TFT LCD 上常用的 TN 型液晶大多是属于介电系数正型的液晶。当介电系数异方性  $(= \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})$  越大的时候，则液晶的临界电压 (threshold voltage) 就会越小。这样一来液晶便可以在较低的电压操作。

**2.折射系数 (refractive index)：**由于液晶分子大多由棒状或是碟状分子所形成，因此跟分子长轴平行或垂直方向上的物理特性会有一些差异，所以液晶分子也被称做是异方性晶体。与介电系数一样，折射系数也依照跟指向矢垂直与平行的方向，分成两个方向的向量。分别为  $n_{\parallel}$  与  $n_{\perp}$ 。

此外对单光轴 (uniaxial) 的晶体来说，原本就有两个不同折射系数的定义。一个为  $n_o$ ，它是指对于 ordinary ray 的折射系数，所以才简写成  $n_o$ 。而 ordinary ray 是指其光波的电场分量是垂直于光轴的称之。另一个则是  $n_e$ ，它是指对于 extraordinary ray 的折射系数，而 extraordinary ray 是指其光波的电场分量是平行于光轴的。同时也定义了双折射率 (birefringence)  $n = n_e - n_o$  为上述的两个折射率的差值。

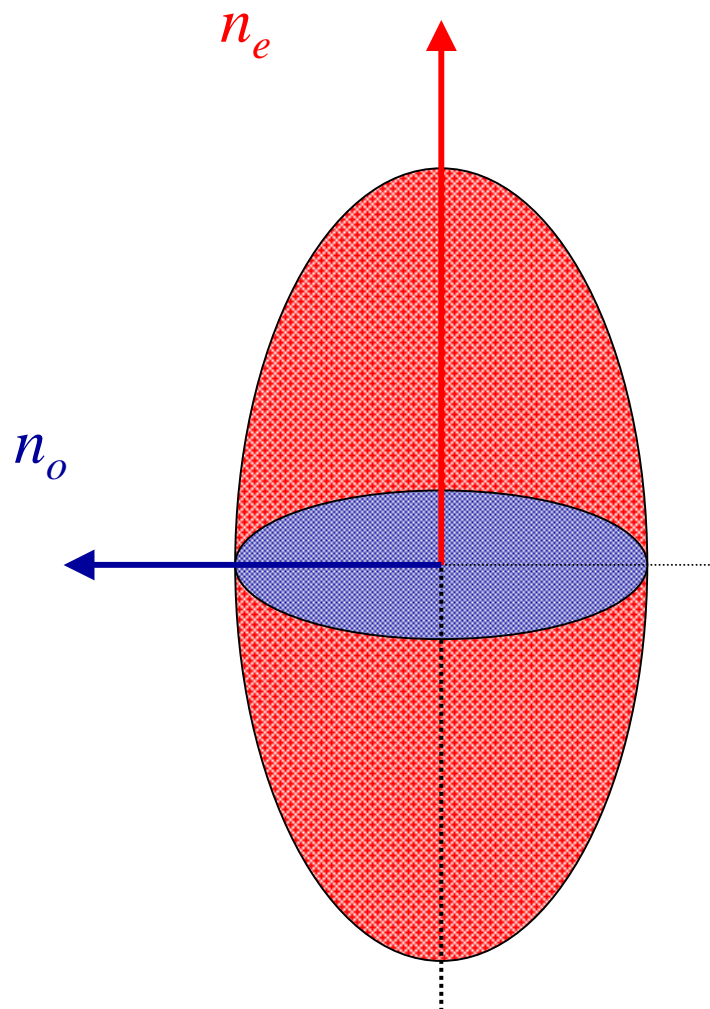
# 液晶的光电特性

依照上面所述,对层状液晶、线状液晶及胆固醇液晶而言,由于其液晶分子的长的像棒状,所以其指向矢的方向与分子长轴平行.再参照单光轴晶体的折射系数定义,它会有两个折射率,分别为垂直于液晶长轴方向 $n_e (= n_o)$ 及平行液晶长轴方向 $n_{//} (= n_o)$ 两种,所以当光入射液晶时,便会受到两个折射率的影响,造成在垂直液晶长轴与平行液晶长轴方向上的光速会有所不同。

若光的行进方向与分子长轴平行时的速度,小于垂直于分子长轴方向的速度时,这意味着平行分子长轴方向的折射率大于垂直方向的折射率(因为折射率与光速成反比),也就是 $n_e - n_o > 0$ .所以双折射率 $n > 0$ ,我们把它称做是光学正型的液晶,而层状液晶与线状液晶几乎都是属于光学正型的液晶.倘使光的行进方向平行于长轴时的速度较快,代表平行长轴方向的折射率小于垂直方向的折射率,所以双折射率 $n < 0$ .我们称它做是光学负型的液晶.而胆固醇液晶多为光学负型的液晶.

**3.其它特性:**对于液晶的光电特性来说,除了上述的两个重要特性之外,还有许多不同的特性.比如说像弹性常数(elastic constant:  $k_{11}, k_{22}, k_{33}$ ),它包含了三个主要的常数,分别是, $k_{11}$ 指的是斜展(splay)的弹性常数, $k_{22}$ 指的是扭曲(twist)的弹性常数, $k_{33}$ 指的是弯曲(bend)的弹性常数.另外像黏性系数(viscosity coefficients,  $\gamma$ ),则会影响液晶分子的转动速度与反应时间(response time),其值越小越好.但是此特性受温度的影响最大.另外还有磁化率(magnetic susceptibility),也因为液晶的异方性关系,分成 $\chi_{//}$ 与 $\chi_{\perp}$ .而磁化率异方性则定义成 $\chi = \chi_{//} - \chi_{\perp}$ .此外还有电导系数(conductivity)等等光电特性.

## 图 6:液晶的光学特性



- *Parameter define*

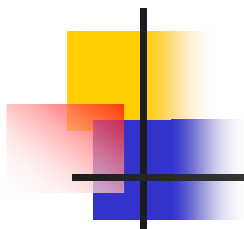
$$n_e = n_{\text{extraordinary}} = n_{\text{parallel}} = n_{//}$$

$$n_o = n_{\text{ordinary}} = n_{\text{perpendicular}} = n_{\perp}$$

- *Optical anisotropy*

- *Birefringence*  $\Delta n = n_{//} - n_{\perp}$

- *Positive birefringence* :  $n_e > n_o$



上次跟大家介绍的液晶特性中，最重要的就是液晶的介电系数与折射系数。介电系数是液晶受电场的影响决定液晶分子转向的特性，而折射系数则是光线穿透液晶时影响光线行进路线的重要参数。而液晶显示器就是利用液晶本身的这些特性，适当的利用电压，来控制液晶分子的转动，进而影响光线的行进方向，来形成不同的灰阶，作为显示影像的工具。当然啦，单靠液晶本身是无法当作显示器的，还需要其它的材料来帮忙，以下我们要来介绍有关液晶显示器的各项材料组成与其操作原理。



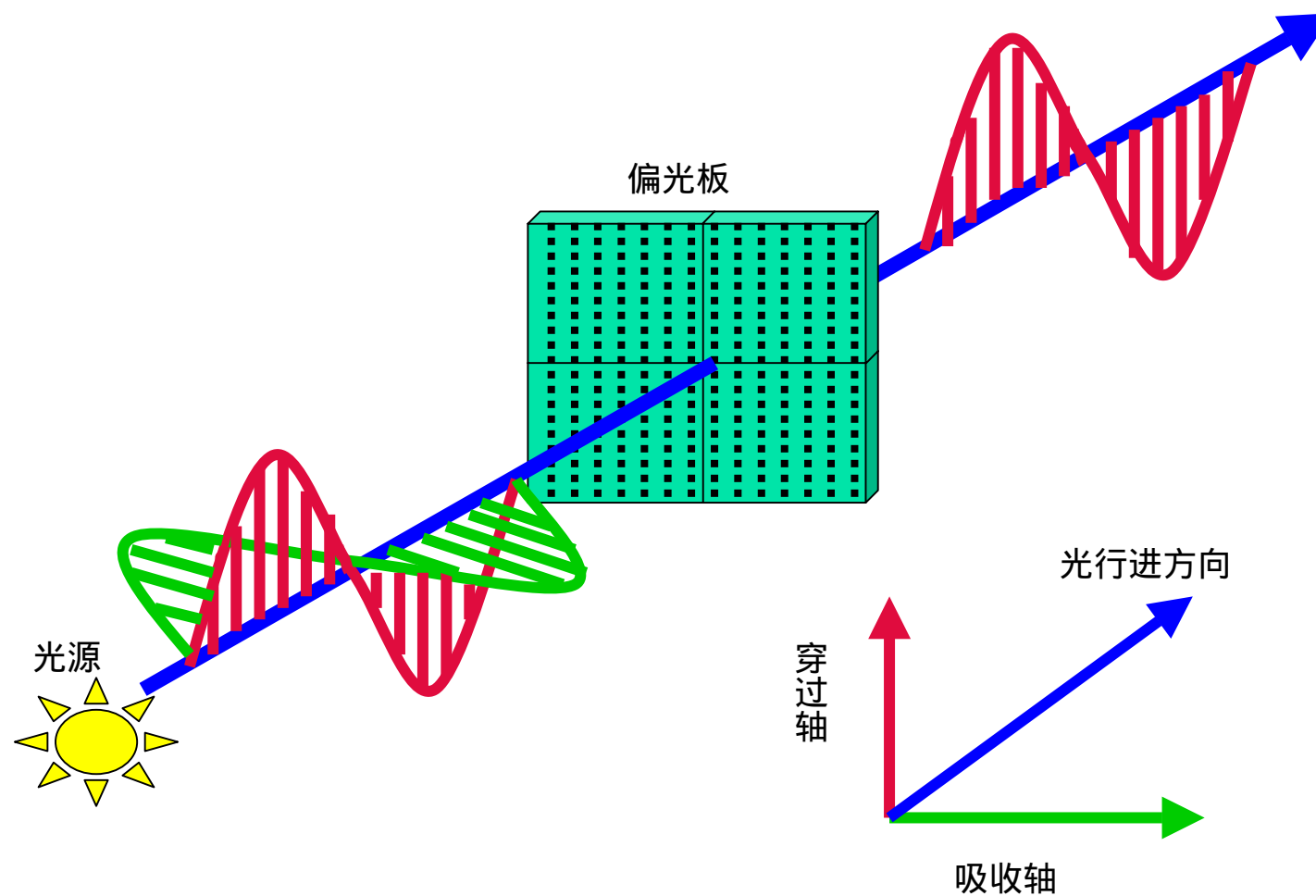


# 偏光板(polarizer)

我记得在高中时的物理课,当教到跟光有关的物理特性时,做了好多的物理实验,目的是为了要证明光也是一种波动.而光波的行进方向,是与电场及磁场互相垂直的.同时光波本身的电场与磁场分量,彼此也是互相垂直的.也就是说行进方向与电场及磁场分量,彼此是两两互相平行的.(请见图7)而偏光板的作用就像是栅栏一般,会阻隔掉与栅栏垂直的分量,只准许与栅栏平行的分量通过.所以如果我们拿起一片偏光板对着光源看,会感觉像是戴了太阳眼镜一般,光线变得较暗.但是如果把两片偏光板迭在一起,那就不一样了.当您旋转两片的偏光板的相对角度,会发现随着相对角度的不同,光线的亮度会越来越暗.当两片偏光板的栅栏角度互相垂直时,光线就完全无法通过了.(请见图8)而液晶显示器就是利用这个特性来完成的.利用上下两片栅栏互相垂直的偏光板之间,充满液晶,再利用电场控制液晶转动,来改变光的行进方向,如此一来,不同的电场大小,就会形成不同灰阶亮度了.(请见图9)



图7：偏光板(polarizer)的光透过图



## 图8：偏光板(polarizer)的工作原理

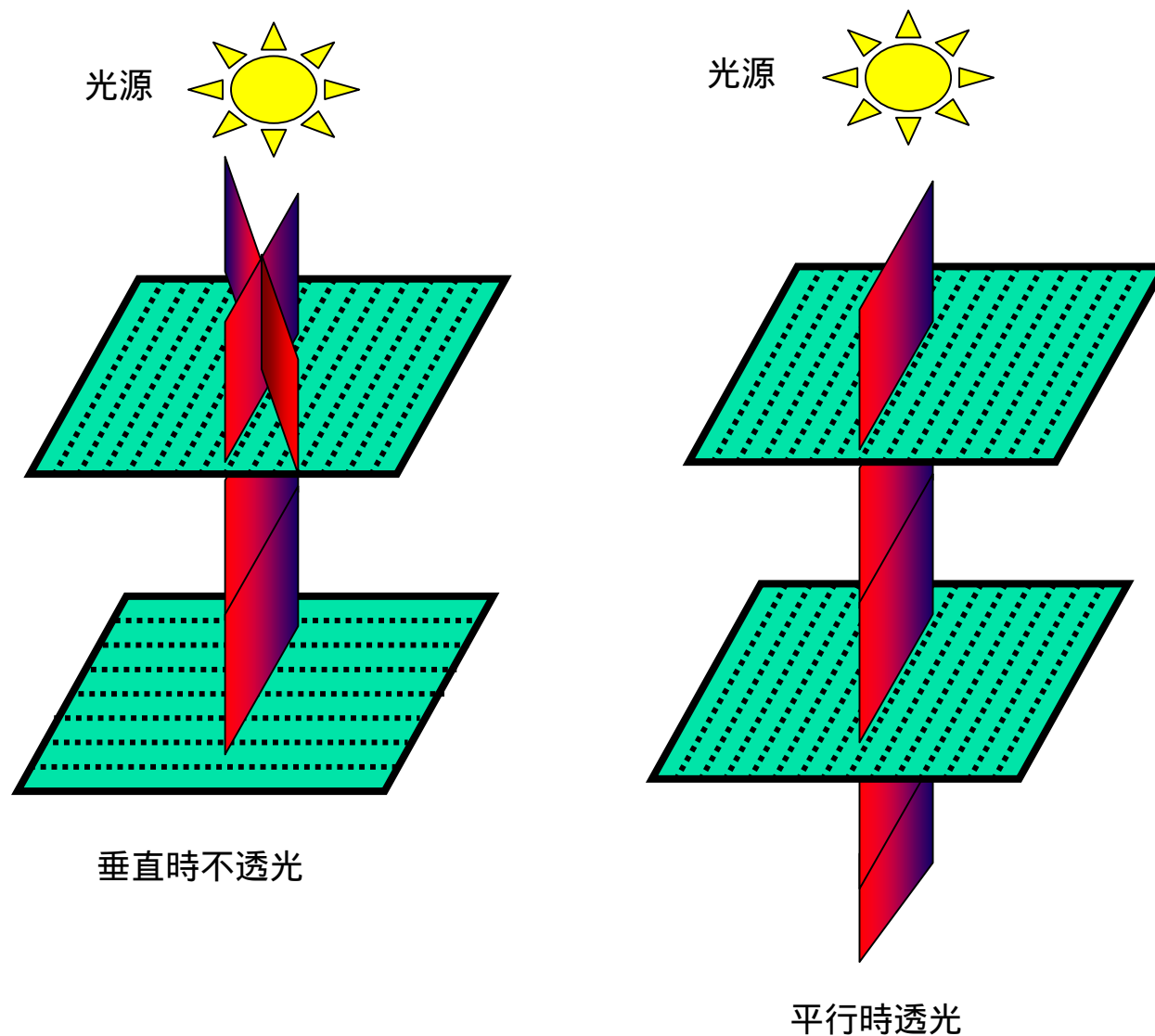
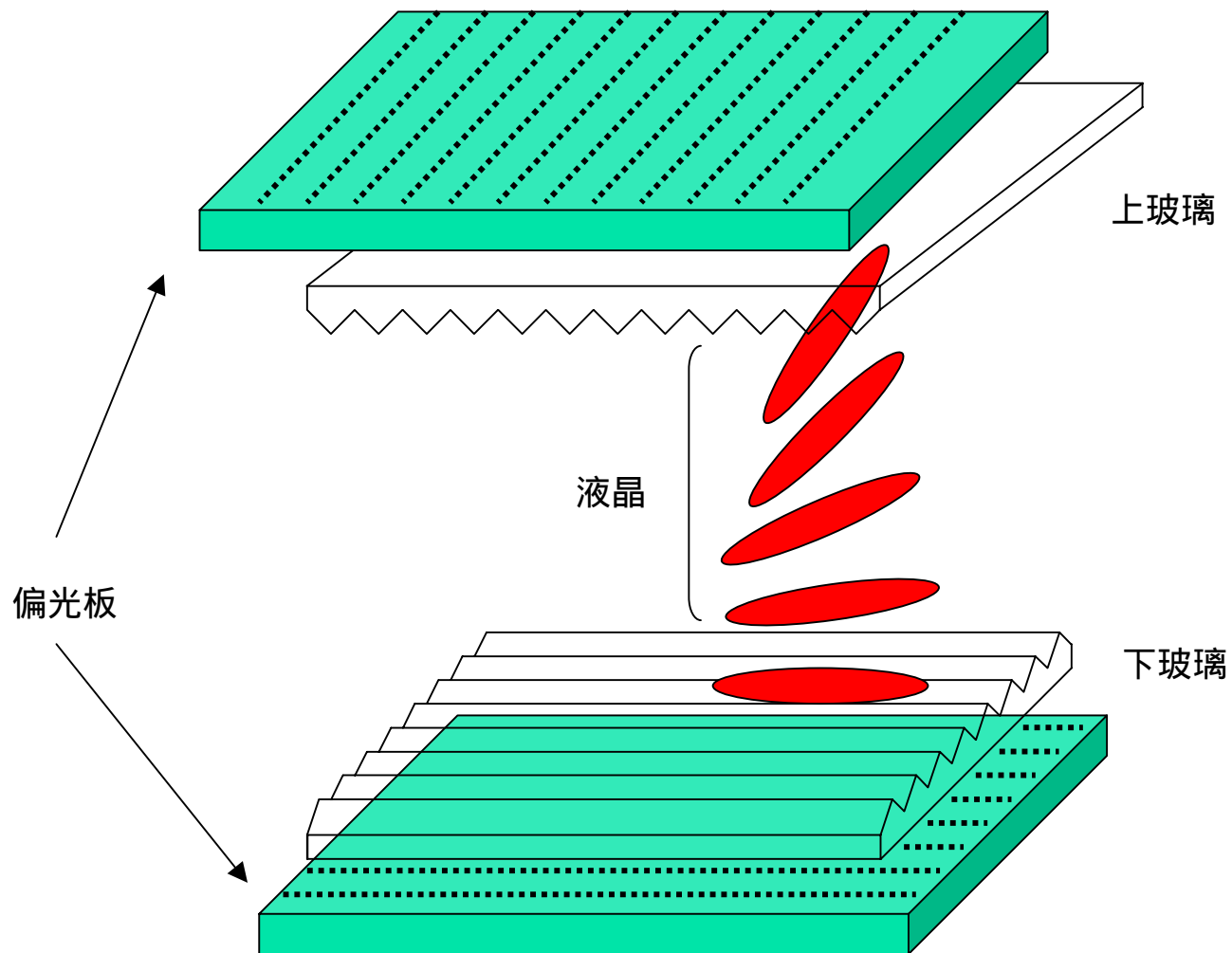


图9 : TN(Twist Nematic)型LCD的结构





# 上下两层玻璃与配向膜

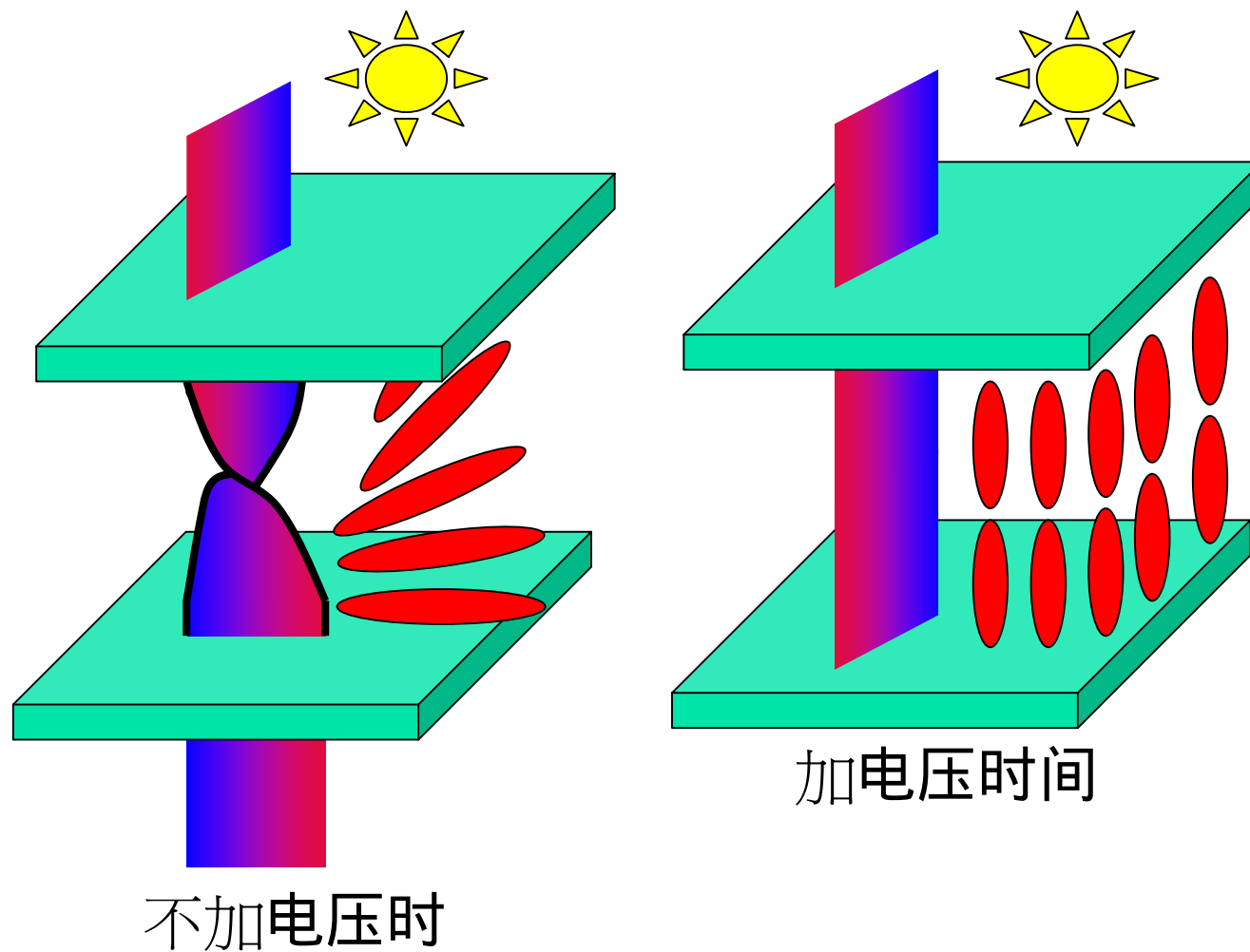
这上下两层玻璃主要是来夹住液晶用的. 在下面的那层玻璃长有薄膜晶体管(Thin film transistor, TFT), 而上面的那层玻璃则贴有彩色滤光片(Color filter). 如果您注意到的话(请见图3), 这两片玻璃在接触液晶的那一面, 并不是光滑的, 而是有锯齿状的沟槽. 这个沟槽的主要目的是希望长棒状的液晶分子, 会沿着沟槽排列. 如此一来, 液晶分子的排列才会整齐. 因为如果是光滑的平面, 液晶分子的排列便会不整齐, 造成光线的散射, 形成漏光的现象. 其实这只是理论的说明, 告诉我们需要把玻璃与液晶的接触面, 做好处理, 以便让液晶的排列有一定的顺序. 但在实际的制造过程中, 并无法将玻璃作成有如此的槽状的分布, 一般会在玻璃的表面上涂布一层PI(polyimide), 然后再用布去做磨擦(rubbing)的动作, 好让PI的表面分子不再是杂散分布, 会依照固定而均一的方向排列. 而这一层PI就叫做配向膜, 它的功用就像图3中玻璃的凹槽一样, 提供液晶分子呈均匀排列的接口条件, 让液晶依照预定的顺序排列.



# TN(Twisted Nematic) LCD

从图10中我们可以知道,当上下两块玻璃之间没有施加电压时,液晶的排列会依照上下两块玻璃的配向膜而定.对于TN型的液晶来说,上下的配向膜的角度差恰为90度.(请见图9)所以液晶分子的排列由上而下会自动旋转90度,当入射的光线经过上面的偏光板时,会只剩下单方向极化的光波.通过液晶分子时,由于液晶分子总共旋转了90度,所以当光波到达下层偏光板时,光波的极化方向恰好转了90度.而下层的偏光板与上层偏光板,角度也是恰好差异90度.(请见图9)所以光线便可以顺利的通过,但是如果我们对上下两块玻璃之间施加电压时,由于TN型液晶多为介电系数异方性为正型的液晶( $\epsilon_{//} > \epsilon_{\perp}$ ,代表着平行方向的介电系数比垂直方向的介电系数大,因此当液晶分子受电场影响时,其排列方向会倾向平行于电场方向.),所以我们从图4中便可以看到,液晶分子的排列都变成站立着的.此时通过上层偏光板的单方向的极化光波,经过液晶分子时便不会改变极化方向,因此就无法通过下层偏光板.

图10 : TN(Twist Nematic)型LCD的工作原理



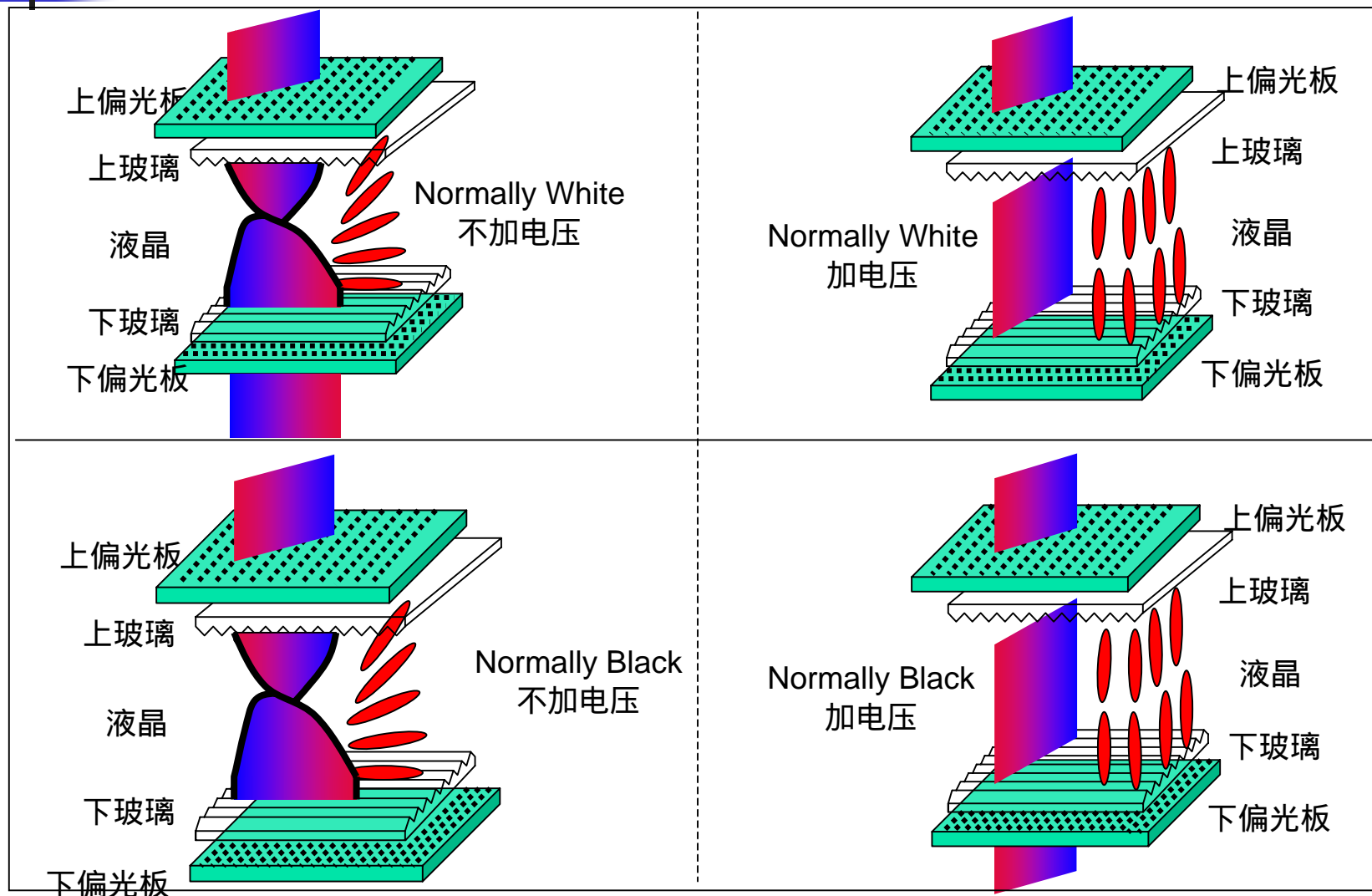


# Normally white及normally black

所谓的NW(Normally white),是指当我们对液晶面板不施加电压时,我们所看到的面板是透光的画面,也就是亮的画面,所以才叫做normally white. 而反过来,当我们对液晶面板不施加电压时,如果面板无法透光,看起来是黑色的话,就称之为NB(Normally black). 我们刚才所提到的图9及图10都是属于NW的配置,另外从图11我们可以知道,对TN型的LCD而言,位于上下玻璃的配向膜都是互相垂直的,而NB与NW的差别就只在于偏光板的相对位置不同而已. 对NB来说,其上下偏光板的极性是互相平行的. 所以当NB不施加电压时,光线会因为液晶将之旋转90度的极性而无法透光. 为什么会有NW与NB这两种不同的偏光板配置呢? 主要是为了不同的应用环境. 一般应用于桌上型计算机或是笔记型计算机,大多为NW的配置. 那是因为,如果你注意到一般计算机软件的使用环境,你会发现整个屏幕大多是亮点,也就是说计算机软件多为白底黑字的应用. 既然亮着的点占大多数,使用NW当然比较方便. 也因为NW的亮点不需要加电压,平均起来也会比较省电. 反过来说 NB的应用环境就大多是属于显示屏为黑底的应用了.



图11：TN型LCD的Normally white与Normally black结构





# STN(Super Twisted Nematic)型LCD

STN LCD与TN型LCD在结构上是很相似的, 其主要的差别在于 TN型的LCD,其液晶分子的排列, 由上到下旋转的角度总共为90度. 而STN型LCD的液晶分子排列, 其旋转的角度会大于180度, 一般为270度.(请见图12) 正因为其旋转的角度不一样, 其特性也就跟着不一样. 我们从图13中TN型与STN型LCD的电压对穿透率曲线可以知道, 当电压比较低时, 光线的穿透率很高. 电压很高时, 光线的穿透率很低. 所以它们是属于Normal White的偏光板配置. 而电压在中间位置的时候, TN型LCD的变化曲线比较平缓, 而STN型LCD的变化曲线则较为陡峭. 因此在TN型的LCD中, 当穿透率由90%变化到10%时, 相对应的电压差就比STN型的LCD来的较大. 我们前面曾提到, 在液晶显示器中, 是利用电压来控制灰阶的变化. 而在此TN与STN的不同特性, 便造成TN型的LCD,先天上它的灰阶变化就比STN型的LCD来的多. 所以一般TN型的LCD多为6~8 bits的变化, 也就是64~256个灰阶的变化. 而STN型的LCD最多为4 bits的变化 也就只有16阶的灰阶变化. 除此之外STN与TN型的LCD还有一个不一样的地方就是反应时间(response time) 一般STN型的LCD其反应时间多在100ms以上 而TN型的LCD其反应时间多为30~50ms 当所显示的影像变动快速时 对STN型的LCD而言 就容易会有残影的现象发生

图12 : TN型与STN(super twist nematic)型LCD的差别

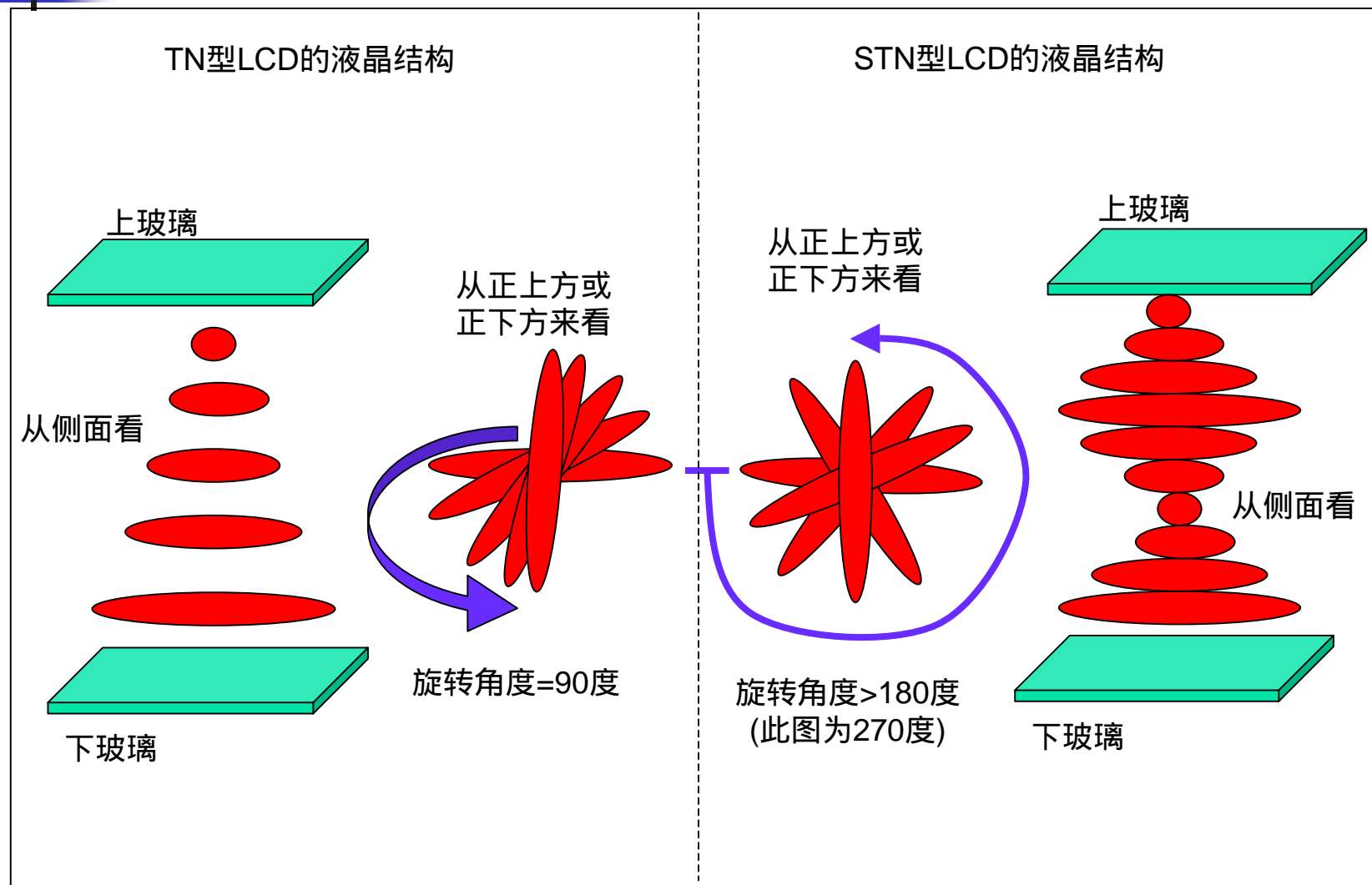
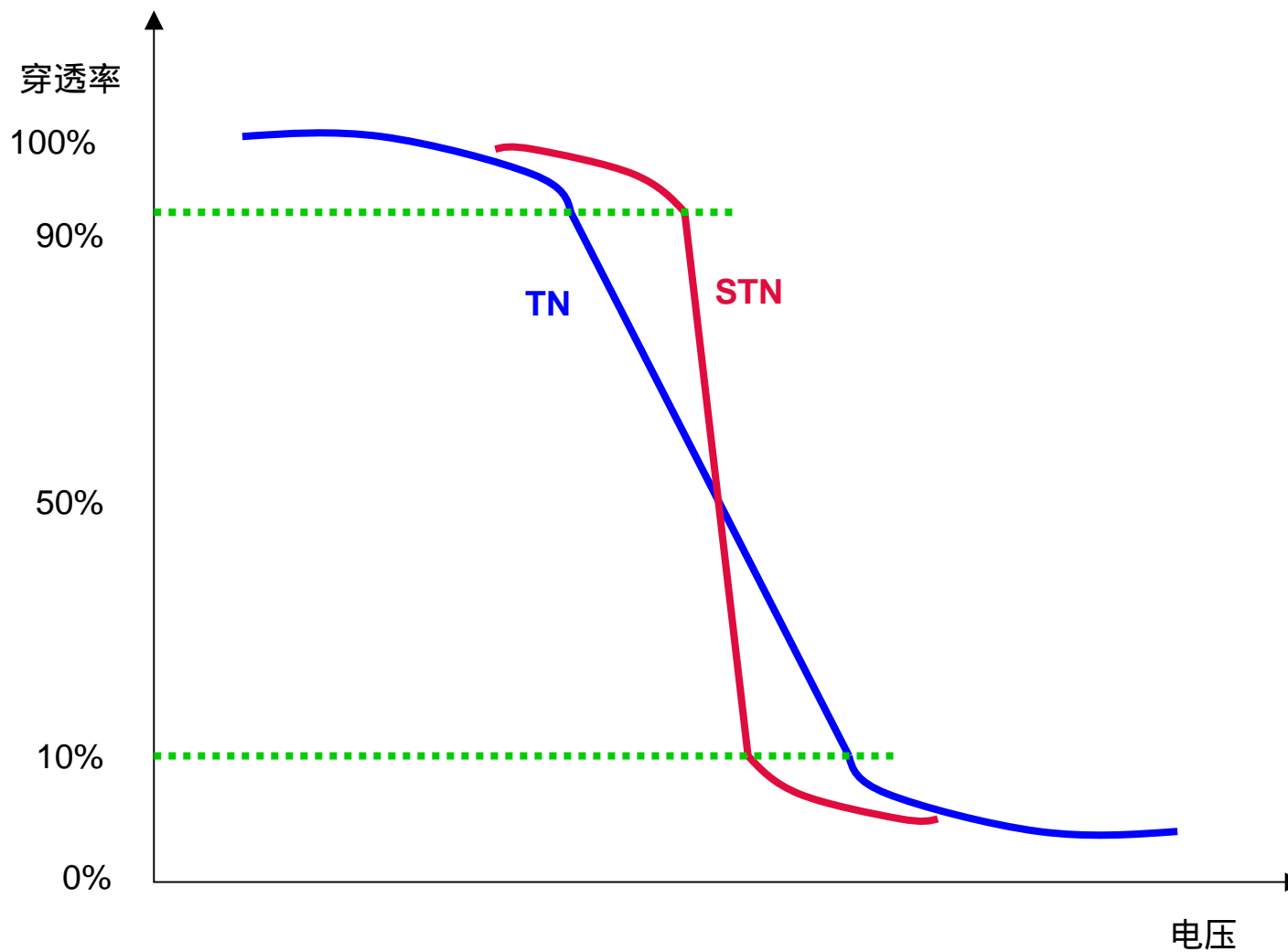


图13：TN型与STN型LCD的电压对穿透率曲线

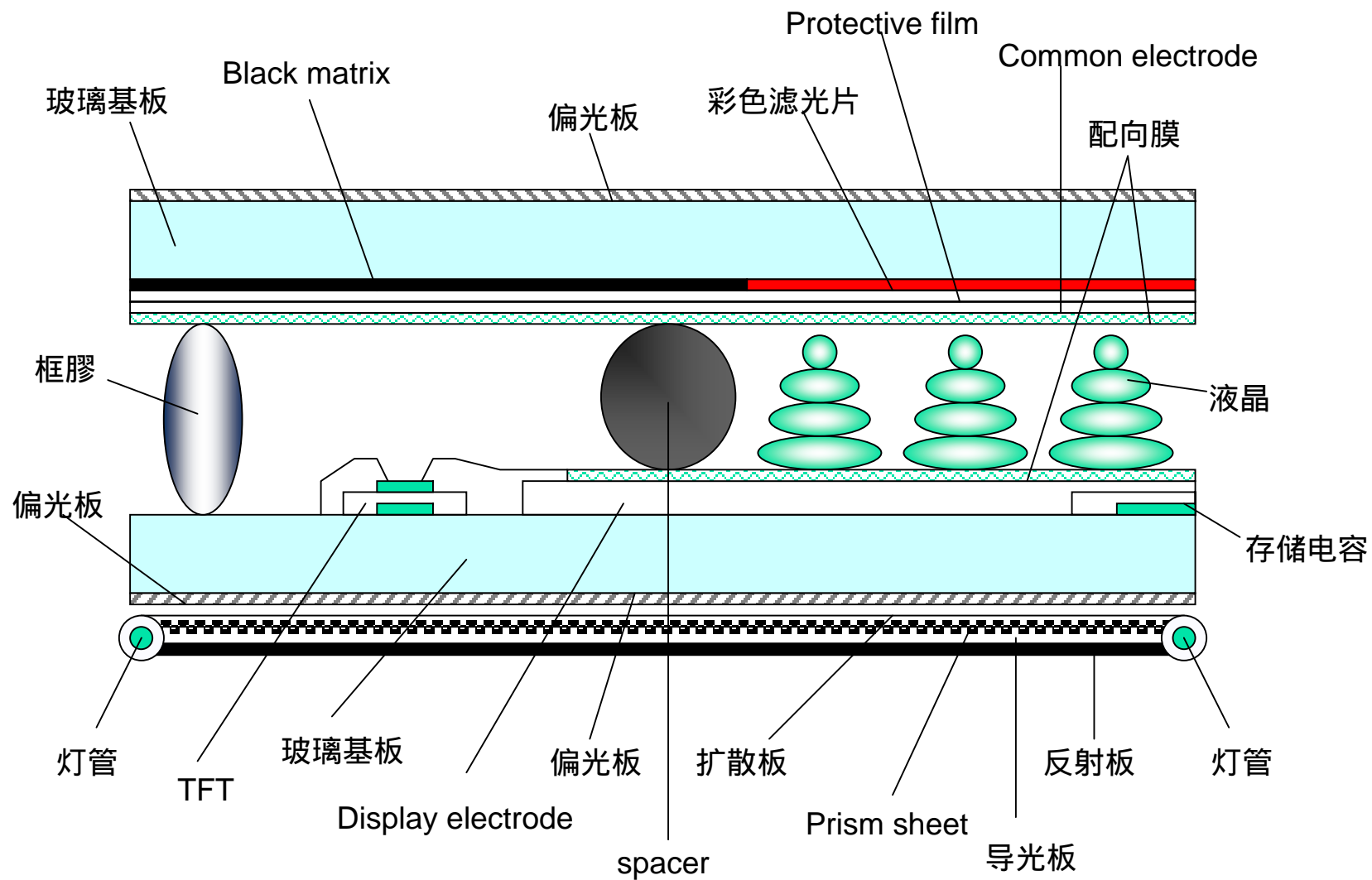




## TFT LCD(Thin film transistor liquid crystal display)

TFT LCD的中文翻译名称就叫做薄膜晶体管液晶显示器, 我们从一开始就提到液晶显示器需要电压控制来产生灰阶. 而利用薄膜晶体管来产生电压, 以控制液晶转向的显示器, 就叫做TFT LCD. 从图14的切面结构图来看, 在上下两层玻璃间, 夹着液晶, 便会形成平行板电容器, 我们称之为 $C_{LC}$  (capacitor of liquid crystal). 它的大小约为0.1pF, 但是实际应用上, 这个电容并无法将电压保持到下一次再更新画面数据的时候. 也就是说当TFT对这个电容充好电时, 它并无法将电压保持住, 直到下一次TFT再对此点充电的时候. (以一般60Hz的画面更新频率, 需要保持约16ms的时间.) 这样一来, 电压有了变化, 所显示的灰阶就会不正确. 因此一般在面板的设计上, 会再加一个储存电容 $C_s$  (storage capacitor 大约为0.5pF), 以便让充好电的电压能保持到下一次更新画面的时候. 不过正确的来说, 长在玻璃上的TFT本身, 只是一个使用晶体管制作的开关. 它主要的工作是决定LCD source driver上的电压是不是要充到这个点来. 至于这个点要充到多高的电压, 以便显示出怎样的灰阶. 都是由外面的LCD source driver来决定的.

图14:TFT LCD的切面结构图





# 彩色滤光片(color filter, CF)

如果你有机会,拿着放大镜,靠近液晶显示器的话.你会发现如图15中所显示的样子.我们知道红色,蓝色以及绿色,是所谓的三原色.也就是说利用这三种颜色,便可以混合出各种不同的颜色.很多平面显示器就是利用这个原理来显示出色彩.我们把RGB三种颜色,分成独立的三个点,各自拥有不同的灰阶变化,然后把邻近的三个RGB显示的点,当作一个显示的基本单位,也就是pixel.那这一个pixel,就可以拥有不同的色彩变化了.然后对于一个需要分辨率为1024\*768的显示画面,我们只要让这个平面显示器的组成有1024\*768个pixel,便可以正确的显示这一个画面.在图15中,每一个RGB的点之间的黑色部分,就叫做Black matrix.我们回过头来看图14就可以发现,black matrix主要是用来遮住不打算透光的部分.比如像是一些ITO的走线,或是Cr/Al的走线,或者是TFT的部分.这也就是为什么我们在图15中,每一个RGB的亮点看起来,并不是矩形,在其左上角也有一块被black matrix遮住的部分,这一块黑色缺角的部份就是TFT的所在位置.

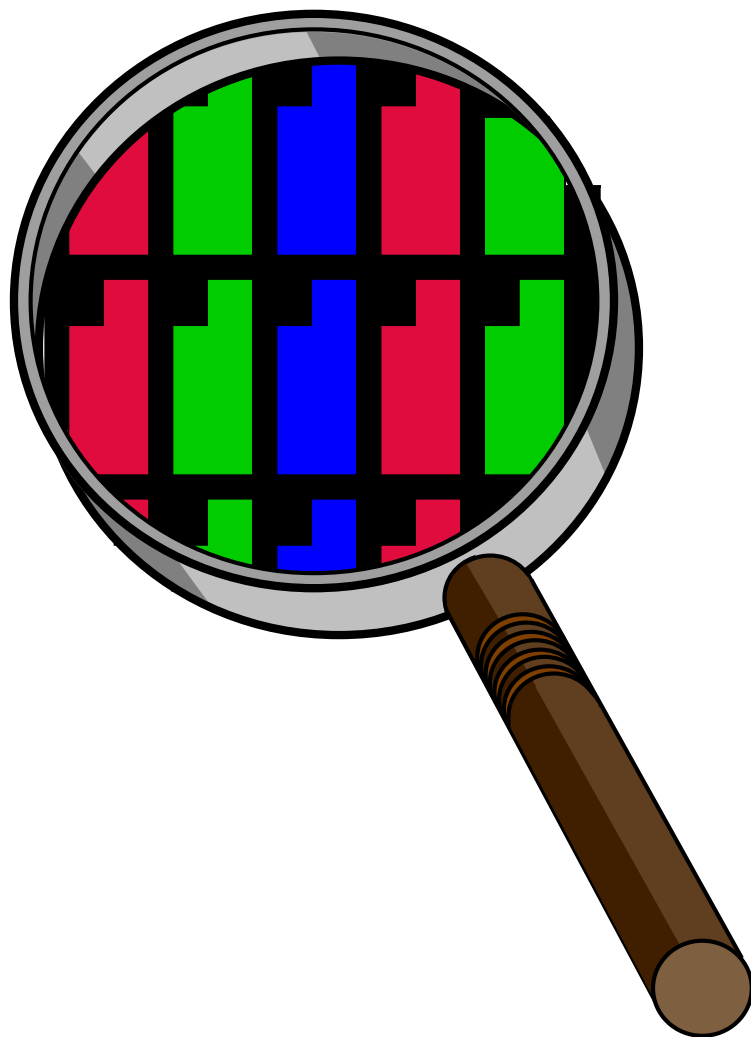
图16是常见的彩色滤光片的排列方式.条状排列(stripe)最常使用于OA的产品,也就是我们常见的笔记型计算机,或是桌上型计算机等等.为什么这种应用要用条状排列的方式呢?原因是现在的软件,多半都是窗口化的接口.也就是说,我们所看到的屏幕内容,就是一大堆大小不等的方框所组成的.而条状排列,恰好可以使这些方框边缘,看起来更笔直,而不会有一条直线,看起来会有毛边或是锯齿状的感觉.但是如果是应用在AV产品上,就不一样了.因为电视信号多半是人物,人物的线条不是笔直的,其轮廓大部分是不规则的曲线.因此一开始,使用于AV产品都是使用马赛克排列(mosaic,或是称为对角形排列).不过最近的AV产品,多已改进到使用三角形排列(triangle,或是称为delta排列).除了上述的排列方式之外,还有一种排列,叫做正方形排列.它跟前面几个不一样的地方在于,它并不是以三个点来当作一个pixel,而是以四个点来当作一个pixel.而四个点组合起来刚好形成一个正方形.



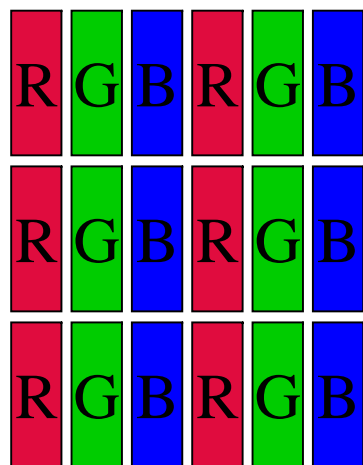


## 图15:放大镜下的液晶

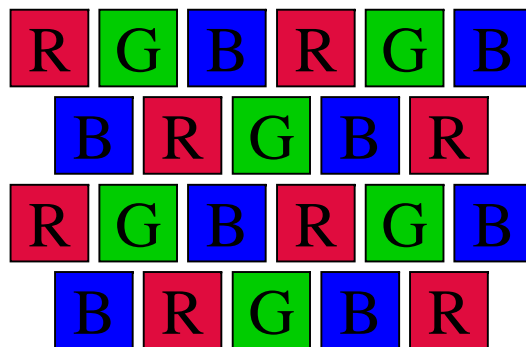
---



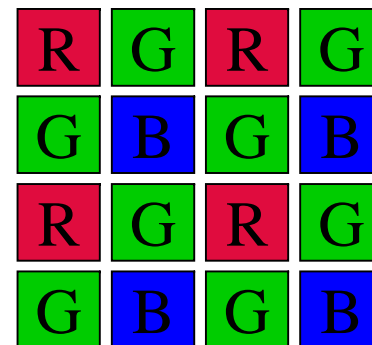
# 图16:常见的彩色滤光片的排列



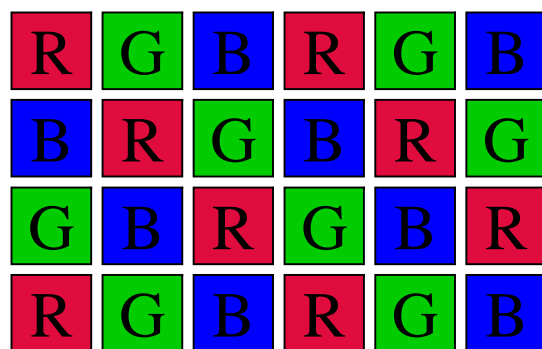
条状排列



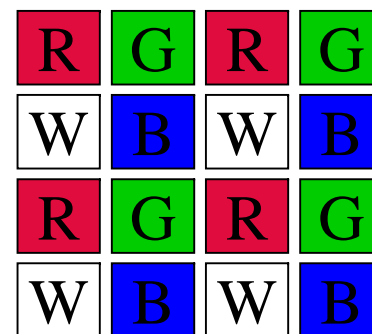
三角形排列



正方形排列



马赛克排列





# 背光板(back light, BL)

在一般的CRT屏幕, 是利用高速的电子枪发射出电子, 打击在银光幕上的荧光粉, 藉以产生亮光, 来显示出画面. 然而液晶显示器本身, 仅能控制光线通过的亮度, 本身并无发光的功能. 因此, 液晶显示器就必须加上一个背光板, 来提供一个高亮度, 而且亮度分布均匀的光源. 我们在图14中可以看到, 组成背光板的主要零件有灯管(冷阴极管), 反射板, 导光板, prism sheet, 扩散板等等. 灯管是主要的发光零件, 藉由导光板, 将光线分布到各处. 而反射板则将光线限制住都只往TFT LCD的方向前进. 最后藉由prism sheet及扩散板的帮忙, 将光线均匀的分布到各个区域去, 提供给TFT LCD一个明亮的光源. 而TFT LCD则藉由电压控制液晶的转动, 控制通过光线的亮度, 藉以形成不同的灰阶.



# 框胶(Sealant)及spacer

在图14中另外还有框胶与spacer两种结构成分. 其中框胶的用途,就是要让液晶面板中的上下两层玻璃,能够紧密黏住,并且提供面板中的液晶分子与外界阻隔,所以框胶正如其名,是围绕于面板四周,将液晶分子框限于面板之内. 而spacer主要是提供上下两层玻璃的支撑,它必须均匀的分布在玻璃基板上,不然一但分布不均造成部分spacer聚集在一起,反而会阻碍光线通过,也无法维持上下两片玻璃的适当间隙(gap),会成电场分布不均的现象,进而影响液晶的灰阶表现.



# 开口率(Aperture ratio)

液晶显示器中有一个很重要的规格就是亮度,而决定亮度最重要的因素就是开口率.开口率是什么呢?简单的来说就是光线能透过的有效区域比例.我们来看看图17,图17的左边是一个液晶显示器从正上方或是正下方看过去的结构图.当光线经由背光板发射出来时,并不是所有的光线都能穿过面板,像是给LCD source驱动芯片及gate驱动芯片用的信号走线,以及TFT本身,还有储存电压用的储存电容等等.这些地方除了不完全透光外,也由于经过这些地方的光线并不受到电压的控制,而无法显示正确的灰阶,所以都需利用black matrix加以遮蔽,以免干扰到其它透光区域的正确亮度.所以有效的透光区域,就只剩下如同图17右边所显示的区域而已.这一块有效的透光区域,与全部面积的比例就称之为开口率.

当光线从背光板发射出来,会依序穿过偏光板,玻璃,液晶,彩色滤光片等等.假设各个零件的穿透率如下所示:

偏光板: 50%(因为其只准许单方向的极化光波通过)

玻璃: 95%(需要计算上下两片)

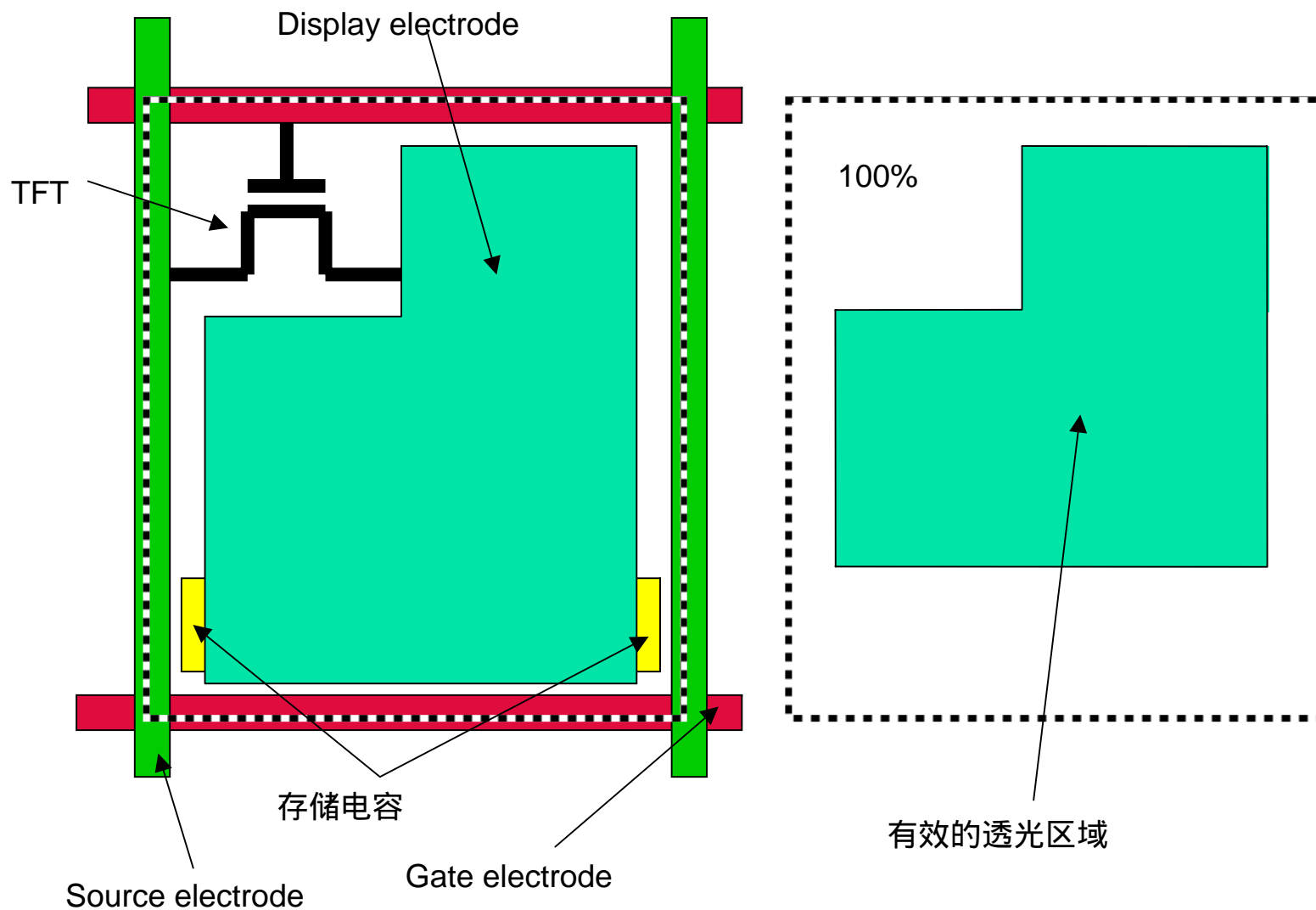
液晶: 95%

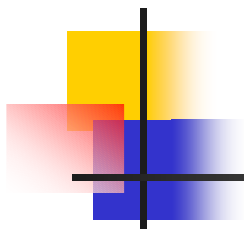
开口率: 50%(有效透光区域只有一半)

彩色滤光片: 27%(假设材质本身的穿透率为80%,但由于滤光片本身涂有色彩,只能容许该色彩的光波通过.以RGB三原色来说,只能容许三种其中一种通过.所以仅剩下三分之一的亮度.所以总共只能通过 $80\% \times 33\% = 27\%$ .)

以上述的穿透率来计算,从背光板出发的光线只会剩下6%,实在是少的可怜.这也是为什么在TFT LCD的设计中,要尽量提高开口率的原因.只要提高开口率,便可以增加亮度,而同时背光板的亮度也不用那么高,可以节省耗电及花费.

图17:开口率的计算





# END

本资料由业界同仁提供,以上资料供大家学习使用!



## TFT LCD液晶显示器的驱动原理(一)

副标题：

前两次跟大家介绍有关液晶显示器操作的基本原理，那是针对液晶本身的特性，与 TFT LCD 本身结构上的操作原理来做介绍。这次我们针对 TFT LCD 的整体系统面来做介绍，也就是对其驱动原理来做介绍，而其驱动原理仍然因为一些架构上差异的关系，而有所不同。首先我们来介绍由于 Cs(storage capacitor) 储存电容架构不同，所形成不同驱动系统架构的原理。

### Cs(storage capacitor) 储存电容的架构

一般最常见的储存电容架构有两种，分别是 Cs on gate 与 Cs on common 这两种。这两种顾名思义就可以知道，它的主要差别就在于储存电容是利用 gate 走线或是 common 走线来完成的。在上一篇文章中，我曾提到，储存电容主要是为了让充好电的电压，能保持到下一次更新画面的时候之用。所以我们就必须像在 CMOS 的制程之中，利用不同层的走线，来形成平行板电容。而在 TFT LCD 的制程之中，则是利用显示电极与 gate 走线或是 common 走线，所形成的平行板电容，来制作出储存电容 Cs。

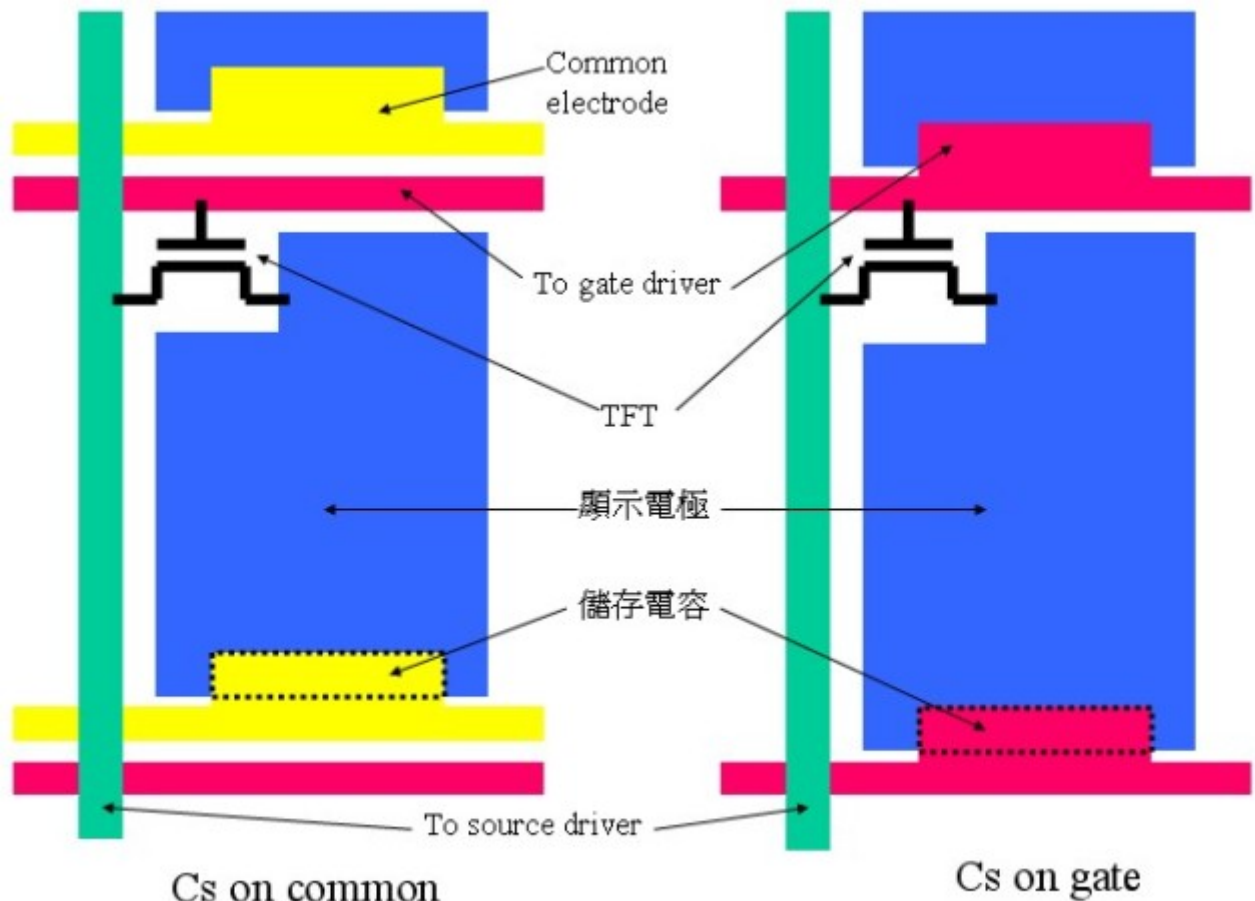


圖1:Cs on gate與Cs on common的架構

图1就是这两种储存电容架构，从图中我们可以很明显的知道，Cs on gate 由于不必像Cs on common 一样，需要增加一条额外的 common 走线，所以它的开口率(Aperture ratio)会比较大。而开口率的大小，是影响面板的亮度与设计的重要因素。所以现今面板的设计大多使用Cs on gate 的方式。但是由于Cs on gate 的方式，它的储存电容是由下一条的 gate 走线与显示电极之间形成的。(请见图2的Cs on gate 与Cs on common 的等效电路)而 gate 走线，顾名思义就是接到每一个 TFT 的 gate 端的走线，主要就是作为 gate driver 送出信号，来打开 TFT，好让 TFT 对显示电极作充放电的动作。所以当下一条 gate 走线，送出电压要打开下一个 TFT 时，便会影响到储存电容上储存电压的大小。不过由于下一条 gate 走线打开到关闭的时间很短，(以 1024\*768 分辨率，60Hz 更新频率的面板来说。一条 gate 走线打开的时间约为 20us，而显示画面更新的时间约为 16ms，所以相对而言，影响有限。)所以当下一条 gate 走线关闭，回复到原先的电压，则 Cs 储存电容的电压，也会随之恢复到正常。这也是为什么，大多数的储存电容设计都是采用 Cs on gate 的方式的原因。

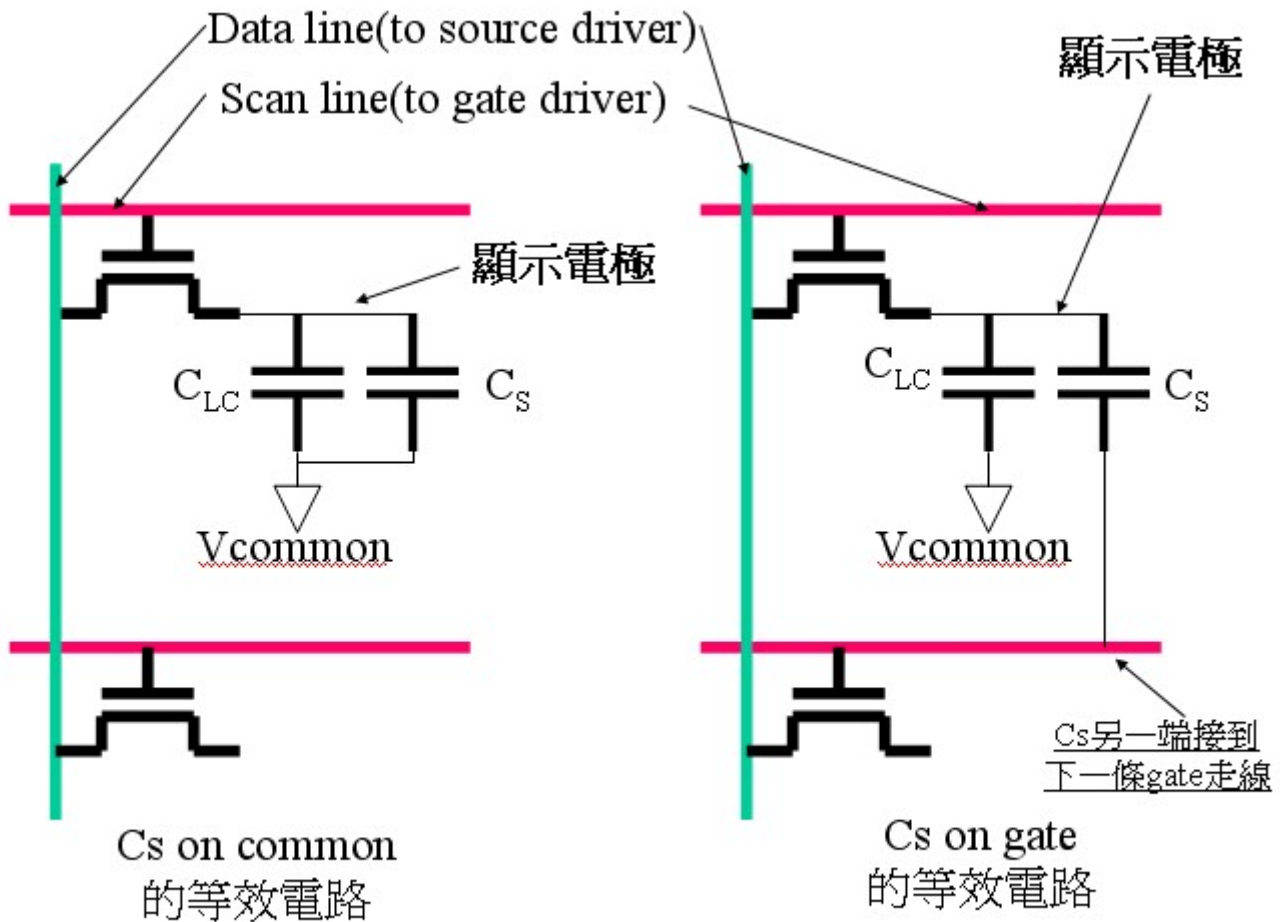


圖2:Cs on gate與Cs on common的等效電路

至于 common 走线，我们在这边也需要顺便介绍一下。从图 2 中我们可以发现，不管您采用怎样的储存电容架构， $C_{LC}$  的两端都是分别接到显示电极与 common。既然液晶是充满在上下两片玻璃之间，而显示电极与 TFT 都是位在同一片玻璃上，则 common 电极很明显的就是位在另一片玻璃之上。如此一来，由液晶所形成的平行板电容  $C_{LC}$ ，便是由上下两片玻璃的显示电极与 common 电极所形成。而位于  $C_S$  储存电容上的 common 电极，则是另外利用位于与显示电极同一片玻璃上的走线，这跟  $C_{LC}$  上的 common 电极是不一样的，只不过它们最后都是接到相同的电压就是了。

### 整块面板的电路架构

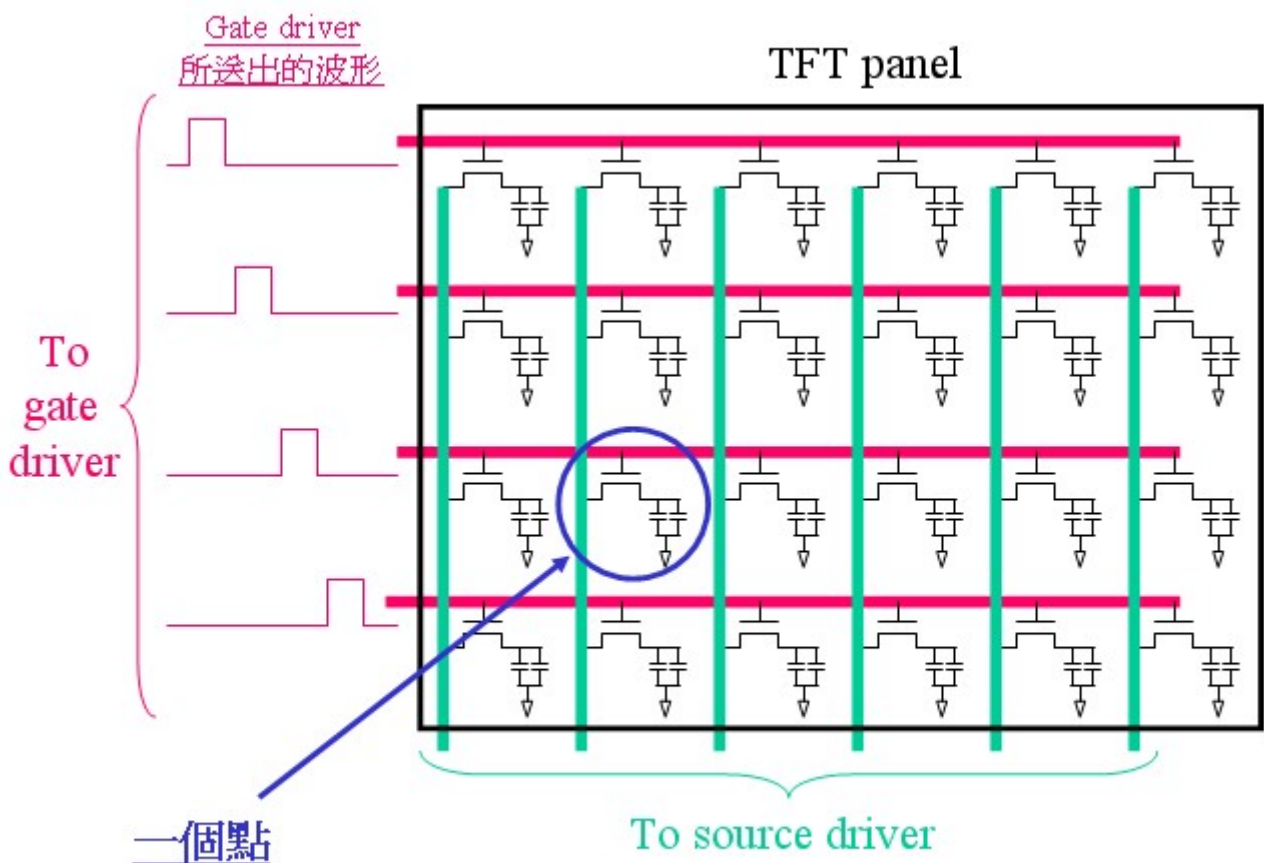


圖3:整塊液晶面板的等效電路

从图 3 中我们可以看到整片面板的等效电路，其中每一个 TFT 与  $C_{lc}$  跟  $C_s$  所并联的电容，代表一个显示的点。而一个基本的显示单元 pixel，则需要三个这样显示的点，分别来代表 RGB 三原色。以一个 1024\*768 分辨率的 TFT LCD 来说，共需要 1024\*768\*3 个这样的点组合而成。整片面板的大致结构就是这样，然后再藉由如图 3 中 gate driver 所送出的波形，依序将每一行的 TFT 打开，好让整排的 source driver 同时将一整行的显示点，充电到各自所需的电压，显示不同的灰阶。当这一行充好电时，gate driver 便将电压关闭，然后下一行的 gate driver 便将电压打开，再由相同的一排 source driver 对下一行的显示点进行充放电。如此依序下去，当充好了最后一行的显示点，便又回过头来从头从第一行再开始充电。以一个 1024\*768 SVGA 分辨率的液晶显示器来说，总共会有 768 行的 gate 走线，而 source 走线则共需要 1024\*3=3072 条。以一般的液晶显示器多为 60Hz 的更新频率来说，每一个画面的显示时间约为  $1/60=16.67\text{ms}$ 。由于画面的组成为 768 行的 gate 走线，所以分配给每一条 gate 走线的开关时间约为  $16.67\text{ms}/768=21.7\mu\text{s}$ 。所以在图 3 gate driver 送出的波形中，我们就可以看到，这些波形为一个接着一个宽度为 21.7us 的脉波，依序打开每一行的 TFT。而 source driv

er 则在这 21.7 $\mu$ s 的时间内，经由 source 走线，将显示电极充放电到所需的电压，好显示出相对应的灰阶。

## 面板的各种极性变换方式

由于液晶分子还有一种特性，就是不能够一直固定在某一个电压不变，不然时间久了，你即使将电压取消掉，液晶分子会因为特性的破坏，而无法再因应电场的变化来转动，以形成不同的灰阶。所以每隔一段时间，就必须将电压恢复原状，以避免液晶分子的特性遭到破坏。但是如果画面一直不动，也就是说画面一直显示同一个灰阶的时候怎么办？所以液晶显示器内的显示电压就分成了两种极性，一个是正极性，而另一个是负极性。当显示电极的电压高于 common 电极电压时，就称之为正极性。而当显示电极的电压低于 common 电极的电压时，就称之为负极性。不管是正极性或是负极性，都会有一组相同亮度的灰阶。所以当上下两层玻璃的压差绝对值是固定时，不管是显示电极的电压高，或是 common 电极的电压高，所表现出来的灰阶是一模一样的。不过这两种情况下，液晶分子的转向却是完全相反，也就可以避免掉上述当液晶分子转向一直固定在一个方向时，所造成的特性破坏。也就是说，当显示画面一直不动时，我们仍然可以藉由正负极性不停的交替，达到显示画面不动，同时液晶分子不被破坏掉特性的结果。所以当您所看到的液晶显示器画面虽然静止不动，其实里面的电压正在不停的作更换，而其中的液晶分子正不停的一次往这边转，另一次往反方向转呢！

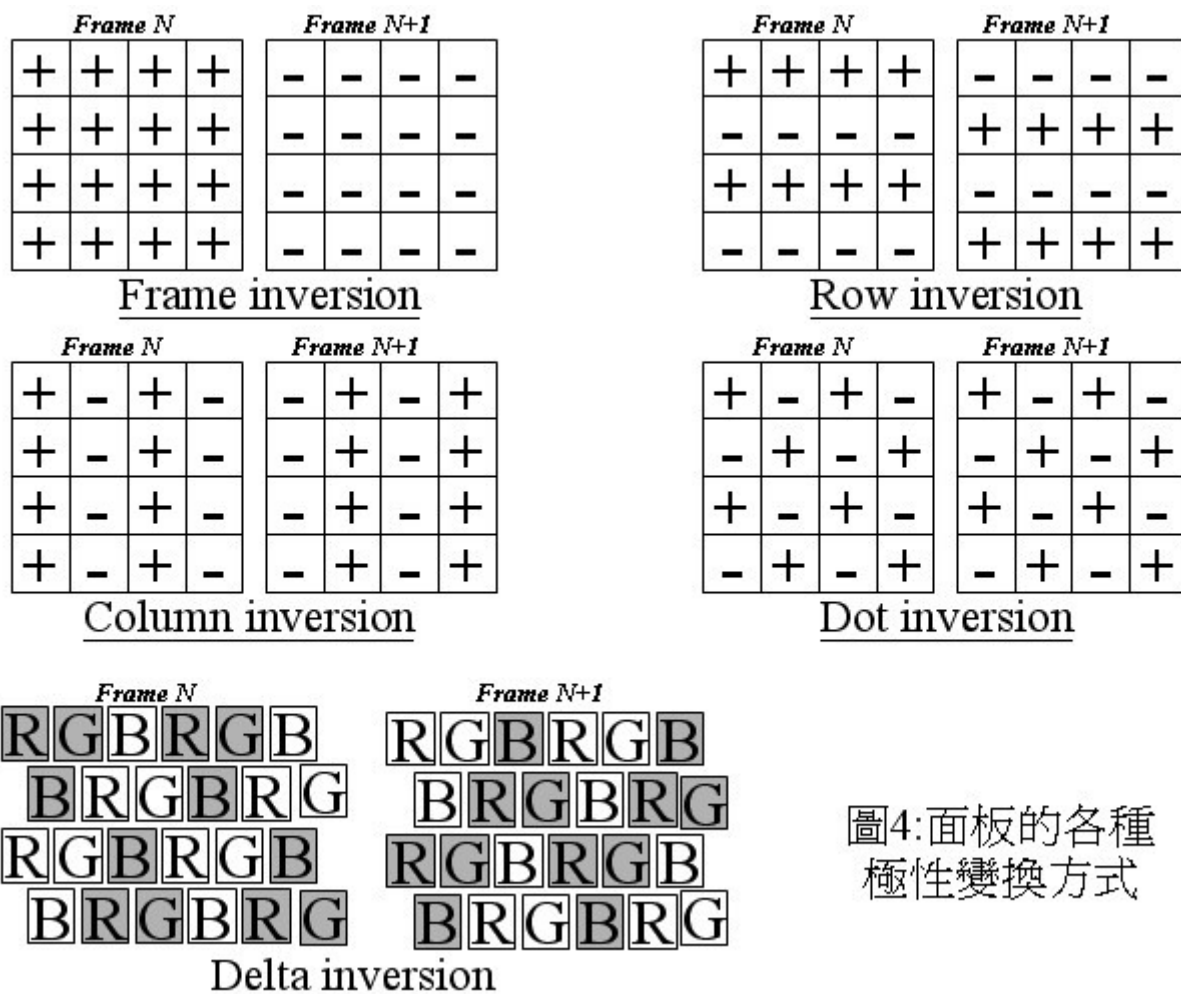


圖4:面板的各種極性變換方式

图4就是面板各种不同极性的变换方式，虽然有这么多种的转换方式，它们有一个共通点，都是在下一次更换画面数据的时候来改变极性。以 60Hz 的更新频率来说，也就是每 16ms，更改一次画面的极性。也就是说，对于同一点而言，它的极性是不停的变换的。而相邻的点是否拥有相同的极性，那可就依照不同的极性转换方式来决定。首先是 frame inversion，它整个画面所有相邻的点，都是拥有相同的极性。而 row inversion 与 column inversion 则各自在相邻的行与列上拥有相同的极性。另外在 dot inversion 上，则是每个点与自己相邻的上下左右四个点，是不一样的极性。最后是 delta inversion，由于它的排列比较不一样，所以它是以 RGB 三个点所形成的 pixel 作为一个基本单位，当以 pixel 为单位时，它就与 dot inversion 很相似了，也就是每个 pixel 与自己上下左右相邻的 pixel，是使用不同的极性来显示的。

## Common电极的驱动方式

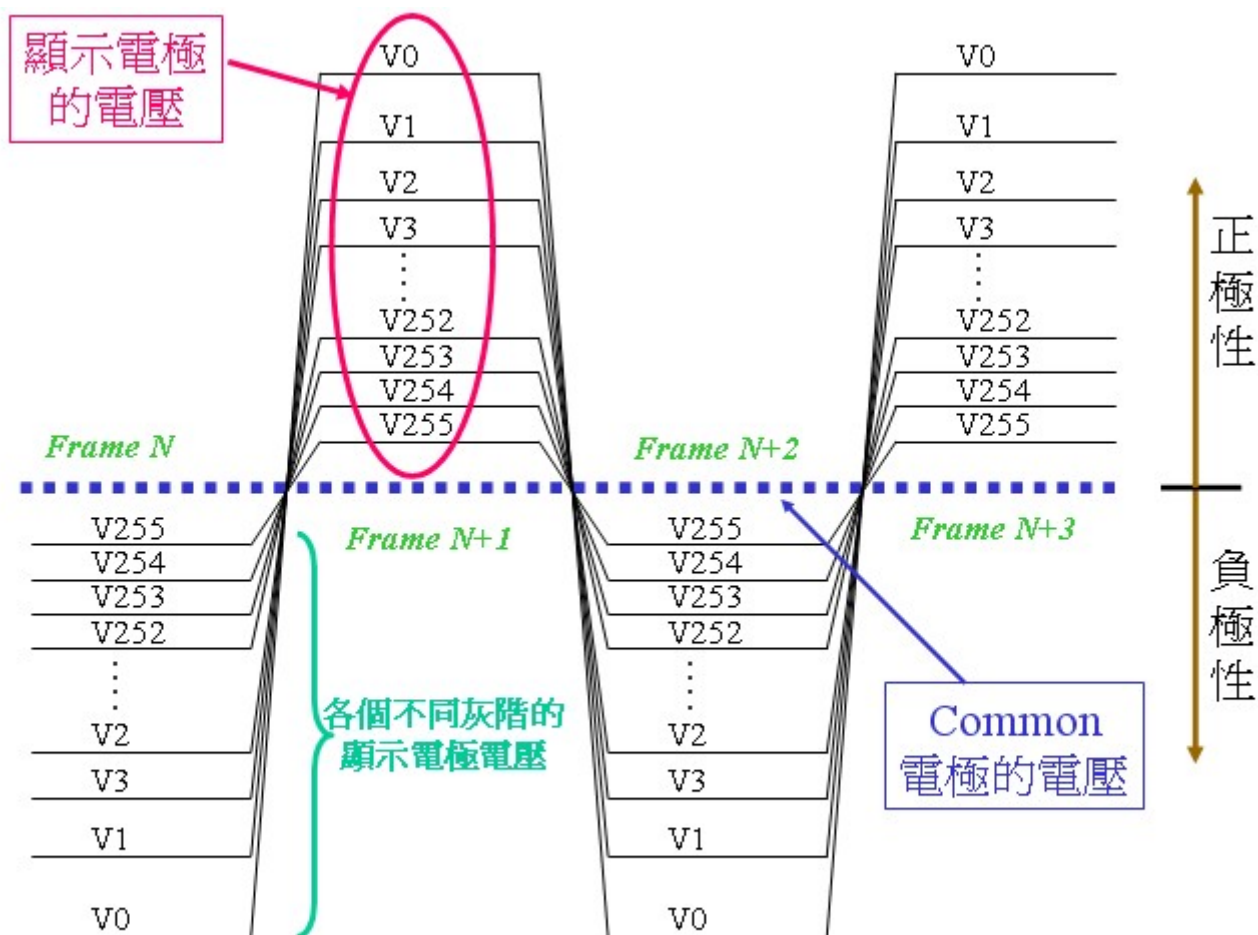


圖5: Common電壓固定不動的驅動方式



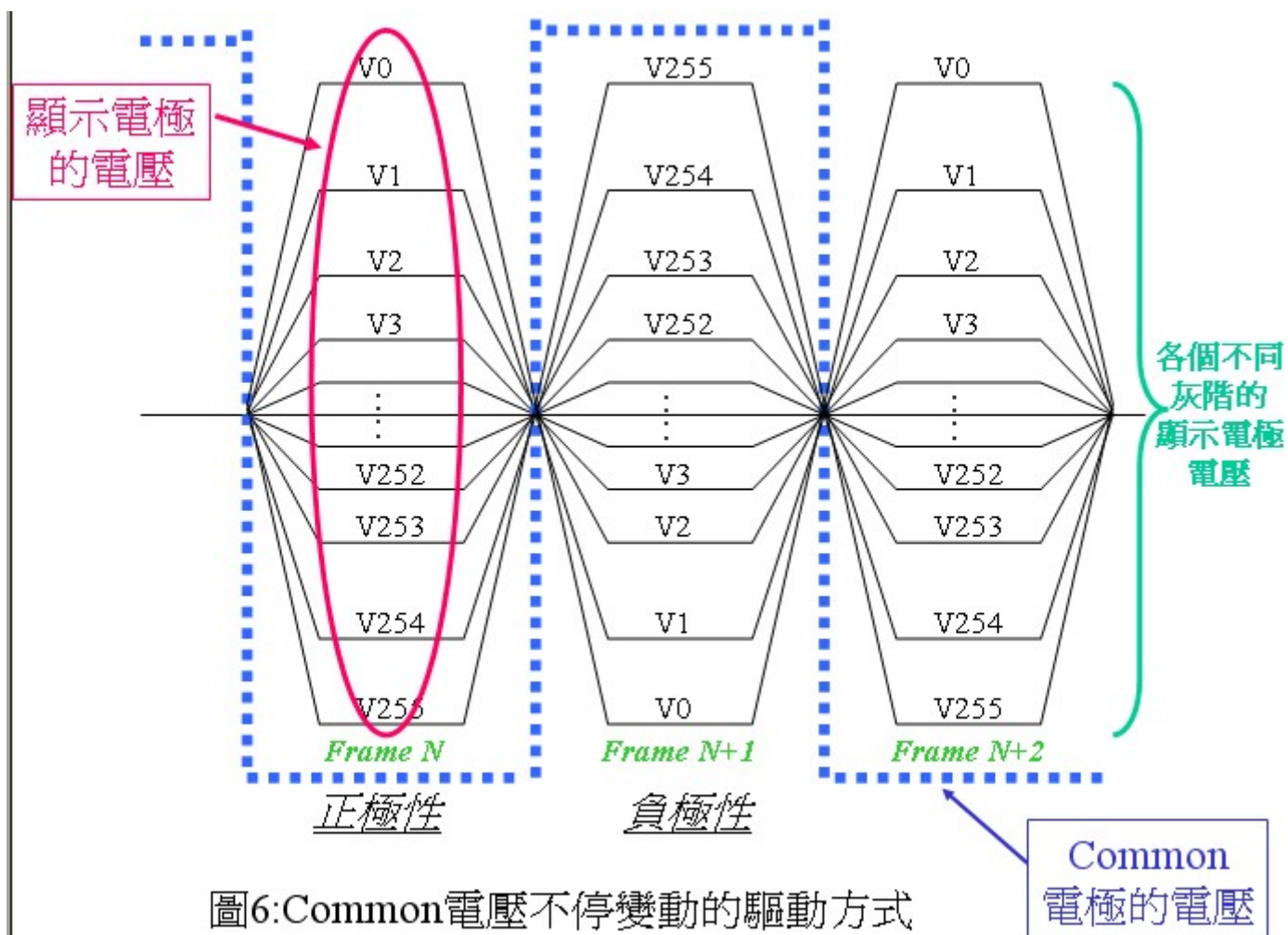


图 5 及图 6 为两种不同的 Common 电极的电压驱动方式，图 5 中 Common 电极的电压是一直固定不动的，而显示电极的电压却是依照其灰阶的不同，不停的上下变动。图 5 中是 256 灰阶的显示电极波形变化，以 V0 这个灰阶而言，如果您要在面板上一直显示 V0 这个灰阶的话，则显示电极的电压就必须一次很高，但是另一次却很低的这种方式来变化。为什么要这么复杂呢？就如同我们前面所提到的原因一样，就是为了让液晶分子不会一直保持在同一个转向，而导致物理特性的永久破坏。因此在不同的 frame 中，以 V0 这个灰阶来说，它的显示电极与 common 电极的压差绝对值是固定的，所以它的灰阶也一直不曾更动。只不过位在 Clc 两端的电压，一次是正的，称之为正极性，而另一次是负的，称之为负极性。而为了达到极性不停变换这个目的，我们也可以让 common 电压不停的变动，同样也可以达到让 Clc 两端的压差绝对值固定不变，而灰阶也不会变化的效果，而这种方法，就是图 6 所显示的波形变化。这个方法只是将 common 电压 一次很大，一次很小的变化。当然啦，它一定要比灰阶中最大的电压还大，而电压小的时候则要比灰阶中最小的电压还要小才行。而各灰阶的电压与



图 5 中的一样，仍然要一次大一次小的变化。

这两种不同的 Common 驱动方式影响最大的就是 source driver 的使用。以图 7 中的不同 Common 电压驱动方式的穿透率来说，我们可以看到，当 common 电极的电压是固定不变的时候，显示电极的最高电压，需要到达 common 电极电压的两倍以上。而显示电极电压的提供，则是来自于 source driver。以图七中 common 电极电压若是固定于 5 伏特的话，则 source driver 所能提供的工作电压

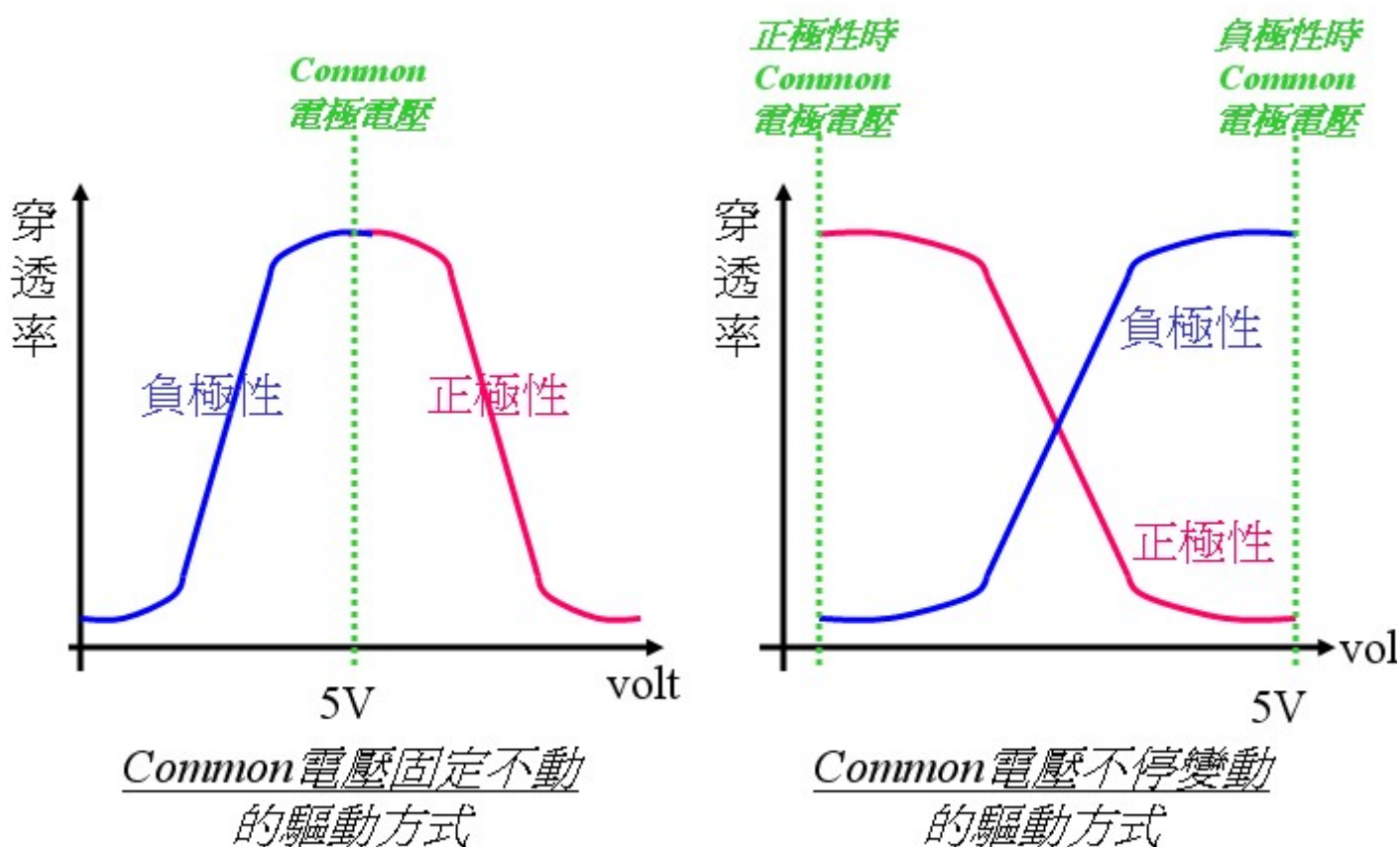


圖7:不同Common電壓驅動方式的穿透率

范围就要到 10 伏特以上。但是如果 common 电极的电压是变动的的话，假使 common 电极电压最大为 5 伏特，则 source driver 的最大工作电压也只要为 5 伏特就可以了。就 source driver 的设计制造来说，需要越高电压的工作范围，制程与电路的复杂度相对会提高，成本也会因此而加高。

面板极性变换与common电极驱动方式的选用

并不是所有的面板极性转换方式都可以搭配上述两种 common 电极的驱动方式。当 common 电极电压固定不变时，可以使用所有的面板极性转换。但是如果 common 电压是变动的话，则面板极性转换就只能选用 frame inversion 与 row inversion. (请见表 1) 也就是说，如果你想使用 column inversion 或是 dot inversion 的话，你就只能选用 common 电极电压固定不动的驱动方式。为什么呢？之前我们曾经提到 common 电极是位于跟显示电极不同的玻璃上，在实际的制作上时，其实这一整片玻璃都是 common 电极。也就是说，在面板上所有的显示点，它们的 common 电压是全部接在一起的。其次由于 gate driver 的操作方式是将同一行的所有 TFT 打开，好让 source driver 去充电，而这一行的所有显示点，它的 common 电极都是接在一起的，所以如果你是选用 common 电极电压是可变动的方式的话，是无法在一行 TFT 上，来同时做到显示正极性与负极性的。而 column inversion 与 dot inversion 的极性变换方式，在一行的显示点上，是要求每个相邻的点拥有不同的正负极性的。这也就是为什么 common 电极电压变动的方式仅能适用于 frame inversion 与 row inversion 的缘故。而 common 电极电压固定的方式，就没有这些限制。因为其 common 电压一直固定，只要 source driver 能将电压充到比 common 大就可以得到正极性，比 common 电压小就可以得到负极性，所以 common 电极电压固定的方式，可以适用于各种面板极性的变换方式。

表 1

面板极性变换方式	可使用的 common 电极驱动方式
Frame inversion	固定与变动
Row inversion	固定与变动
Column inversion	只能使用固定的 common 电极电压
Dot inversion	只能使用固定的 common 电极电压

各种面板极性变换的比较

现在常见使用在个人计算机上的液晶显示器，所使用的面板极性变换方式，大部分都是 dot inversion. 为什么呢？原因无它，只因为 dot inversion 的显示品质相对于其它的面板极性变换方式，要来的好太多了。表 2 是各种面板极性变换方式的比较表。所谓 Flicker 的现象，就是当你看液晶显示器的画面上时，你会感觉到画面会有闪烁的感觉。它并不是故意让显示画面一亮一灭来做出闪烁的视觉效果，而是因为显示的画面灰阶在每次更新画面时，会有些微的变动，让人眼感受到画面在

闪烁. 这种情况最容易发生在使用 frame inversion 的极性变换方式, 因为 frame inversion 整个画面都是同一极性, 当这次画面是正极性时, 下次整个画面就都变成了是负极性. 假若你是使用 common 电压固定的方式来驱动, 而 common 电压又有了一点误差(请见图 8),

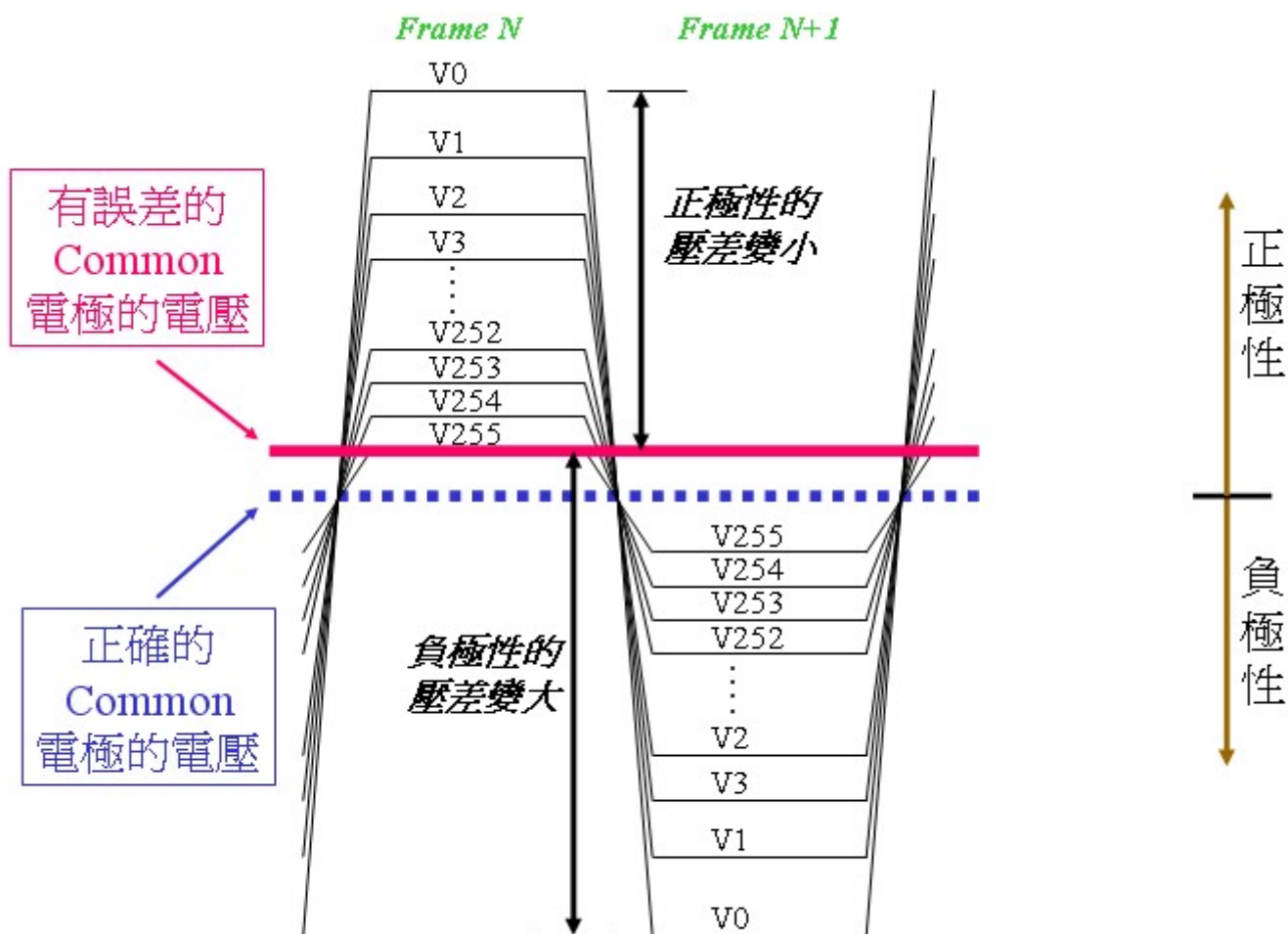


圖8:Flicker的成因

这时候正负极性的同一灰阶电压便会有差别, 当然灰阶的感觉也就不一样. 在不停切换画面的情况下, 由于正负极性画面交替出现, 你就会感觉到 Flicker 的存在. 而其它面板的极性变换方式, 虽然也会有此 flicker 的现象, 但由于它不像 frame inversion 是同时整个画面一齐变换极性, 只有一行或是一列, 甚至于是一个点变化极性而已. 以人眼的感觉来说, 就会比较不明显. 至于 crosstalk 的现象, 它指的就是相邻的点之间, 要显示的资料会影响到对方, 以致于显示的画面会有不正确的状况. 虽然 crosstalk 的现象成因有很多种, 只要相邻点的极性不一样, 便可以减低此一现象的发生. 综合这些特性, 我们就可以知道, 为何大多数人都使用 dot inversion 了.

表 2

面板极性变换方式	Flicker 的现象	Crosstalk 的现象
Frame inversion	明显	垂直与水平方向都易发生
Row inversion	不明显	水平方向容易发生
Column inversion	不明显	垂直方向容易发生
Dot inversion	几乎没有	不易发生

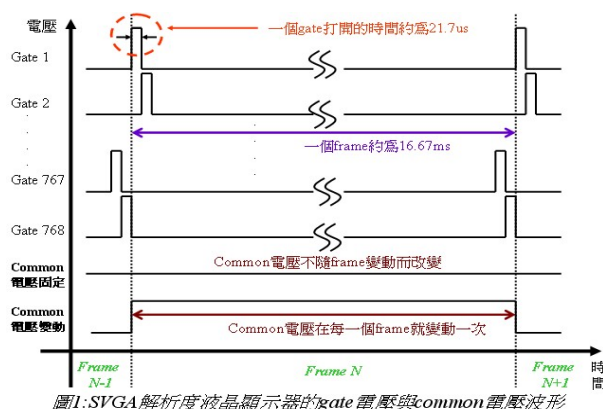
面板极性变换方式，对于耗电也有不同的影响。不过它在耗电上需要考量其搭配的 common 电极驱动方式。一般来说 common 电极电压若是固定，其驱动 common 电极的耗电会比较小。但是由于搭配 common 电压固定方式的 source driver 其所需的电压比较高，反而在 source driver 的耗电会比较大。但是如果使用相同的 common 电极驱动方式，在 source driver 的耗电来说，就要考量其输出电压的变动频率与变动电压大小。一般来说，在此种情形下，source driver 的耗电，会有 dot inversion > row inversion > column inversion > frame inversion 的状况。不过现今由于 dot inversion 的 source driver 多是使用 PN 型的 OP，而不是像 row inversion 是使用 rail to rail OP，在 source driver 中 OP 的耗电就会比较小。也就是说由于 source driver 在结构及电路上的改进，虽然先天上它的输出电压变动频率最高也最大(变动电压最大接近 10 伏特，而 row inversion 面板由于多是使用 common 电极电压变动的方式，其 source driver 的变动电压最大只有 5 伏特，耗电上会比较小)，但 dot inversion 面板的整体耗电已经减低很多了。这也就是为什么大多数的液晶显示器都是使用 dot inversion 的方式。

TFT LCD液晶显示器的驱动原理(二)

副标题：

## 续 TFT LCD液晶显示器的驱动原理(一)

上次跟大家介绍液晶显示器的驱动原理中有关储存电容架构, 面板极性变换方式, 以及common电压的驱动方式. 这次我们延续上次的内容, 继续针对feed through电压, 以及二阶驱动的原理来做介绍. 简单来说Feed through电压主要是由于面板上的寄生电容而产生的, 而所谓三阶驱动的原理就是为了解决此一问题而发展出来的解决方式, 不过我们这次只介绍二阶驱动, 至于三阶驱动甚至是四阶驱动则留到下一次再介绍. 在介绍feed through电压之前, 我们先解释驱动系统中gate driver所送出波形的timing图.

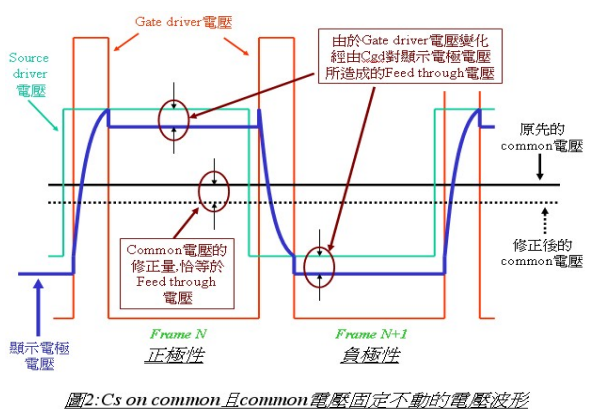


## SVGA分辨率的二阶驱动波形

我们常见的 1024\*768 分辨率的屏幕, 就是我们通常称之为 SVGA 分辨率的屏幕. 它的组成顾名思义就是以  $1024 \times 768 = 786432$  个 pixel 来组成一个画面的数据. 以液晶显示器来说, 共需要  $1024 \times 768 \times 3$  个点 (乘 3 是因为一个 pixel 需要蓝色, 绿色, 红色三个点来组成.) 来显示一个画面. 通常在面板的规划, 把一个平面分成 X-Y 轴来说, 在 X 轴上会有  $1024 \times 3 = 3072$  列. 这 3072 列就由 8 颗 384 输出 channel 的 source driver 来负责推动. 而在 Y 轴上, 会有 768 行. 这 768 行, 就由 3 颗 256 输出 channel 的 gate driver 来负责驱动. 图 1 就是 SVGA 分辨率的 gate driver 输出波形的 timing 图. 图中 gate 1 ~ 768 分别代表着 768 个 gate driver 的输出. 以 SVGA 的分辨率, 60Hz 的画面更新频率来计算, 一个 frame 的周期约为 16.67 ms. 对 gate 1 来说, 它的启动时间周期一样为 16.67ms. 而在这 16.67 ms 之间, 分别需要让 gate 1 ~ 768 共 768 条输出线, 依序打开再关闭. 所以分配到每条线打开的时间仅有  $16.67\text{ms}/768 = 21.7\mu\text{s}$  而已. 所以

每一条 gate driver 打开的时间相对于整个 frame 是很短的, 而在这短短的打开时间之内, source driver 再将相对应的显示电极充电到所需的电压。

而所谓的二阶驱动就是指 gate driver 的输出电压仅有两种数值, 一为打开电压, 一为关闭电压. 而对于 common 电压不变的驱动方式, 不管何时何地, 电压都是固定不动的. 但是对于 common 电压变动的驱动方式, 在每一个 frame 开始的第一条 gate 1 打开之前, 就必须把电压改变一次. 为什么要将这些输出电压的 timing 介绍过一次呢? 因为我们接下来要讨论的 feed through 电压, 它的成因主要是因为面板上其它电压的变化, 经由寄生电容或是储存电容, 影响到显示电极电压的正确性. 在 LCD 面板上主要的电压变化来源有 3 个, 分别是 gate driver 电压变化, source driver 电压变化, 以及 common 电压变化. 而这其中影响最大的就是 gate driver 电压变化 (经由  $C_{gd}$  或是  $C_s$ ), 以及 common 电压变化 (经由  $C_{lc}$  或是  $C_s + C_{lc}$ ).



## Cs on common 架构且 common 电压固定不动的 feed through 电压

我们刚才提到, 造成有 feed through 电压的主因有两个. 而在 common 电压固定不动的架构下, 造成 feed through 电压的主因就只有 gate driver 的电压变化了. 在图 2 中, 就是显示电极电压因为 feed through 电压影响, 而造成电压变化的波形图. 在图中, 请注意 gate driver 打开的时间, 相对于每个 frame 的时间比例是不正确的. 在此我们是为了能仔细解释每个 frame 的动作, 所以将 gate driver 打开的时间画的比较大. 请记住, 正确的 gate driver 打开时间是如同图 1 所示, 需要在一个 frame 的时间内, 依序将 768 个 gate driver 走线打开的. 所以每个 gate 走线打开的时间, 相对于一个 frame 的时间, 是很短的。



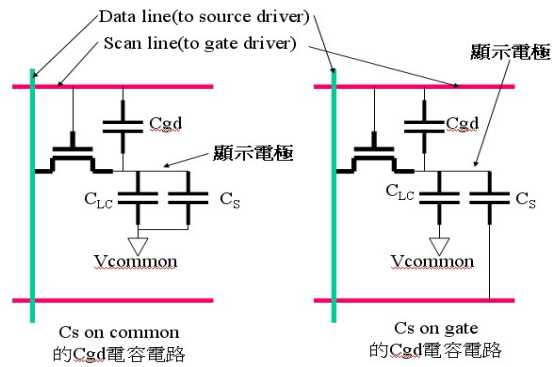
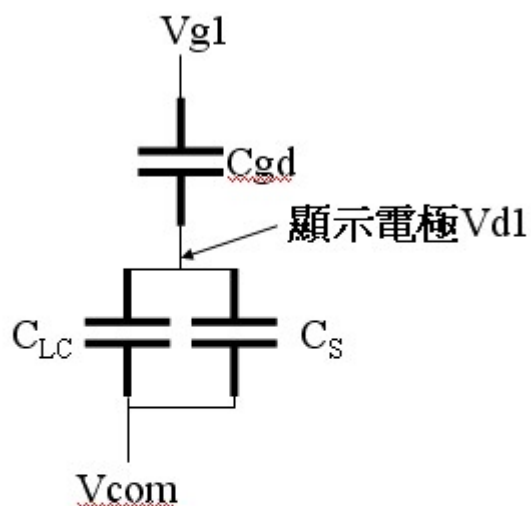


圖3: TFT LCD 的 Cgd 電容電路

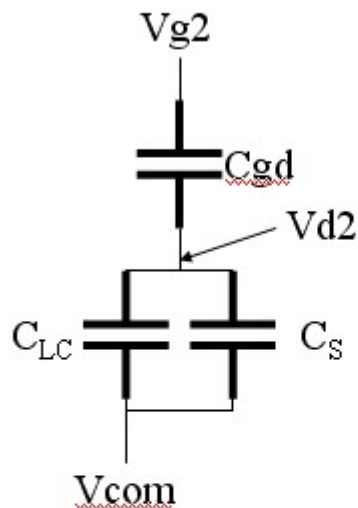
当 gate 走线打开或关闭的那一瞬间, 电压的变化是最激烈的, 大约会有 30~40 伏特, 再经由 Cgd 的寄生电容, 影响到显示电极的电压. 在图 3 中, 我们可以看到 Cgd 寄生电容的存在位置. 其实 Cgd 的发生, 跟一般的 CMOS 电路一样, 是位于 MOS 的 gate 与 drain 端的寄生电容. 但是由于在 TFT LCD 面板上 gate 端是接到 gate driver 输出的走线, 因此一但在 gate driver 输出走在线的电压有了激烈变化, 便会影响到显示电极上的电压. 在图 2 之中, 当 Frame N 的 gate 走线打开时, 会产生一个向上的 feed through 电压到显示电极之上. 不过此时由于 gate 走线打开的缘故, source driver 会对显示电极开始充电, 因此即便一开始的电压不对 (因为 feed through 电压的影响), source driver 仍会将显示电极充电到正确的电压, 影响便不会太大. 但是如果当 gate 走线关闭的时候, 由于 source driver 已经不再对显示电极充电, 所以 gate driver 关闭时的电压压降 (30~40 伏特), 便会经由 Cgd 寄生电容 feed through 到显示电极之上, 造成显示电极电压有一个 feed through 的电压压降, 而影响到灰阶显示的正确性. 而且这个 feed through 电压不像 gate 走线打开时的 feed through 电压一样, 只影响一下子, 由于此时 source driver 已经不再对显示电极充放电, feed through 电压压降会一直影响显示电极的电压, 直到下一次 gate driver 走在线的电压再打开的时后. 所以这个 feed through 电压对于显示画面的灰阶的影响, 人眼是可以明确的感觉到它的存在的. 而在 Frame N+1 的时候, 刚开始当 gate driver 走线打开的那一瞬间, 也会对显示电极产生一个向上的 feed through 电压, 不过这时候由于 gate 已经打开的缘故, source driver 会开始对显示电极充电, 因此这个向上的 feed through 电压影响的时间便不会太长. 但是当 gate 走线再度关闭的时候, 向下的 feed through 电压便会让处在负极性的显示电极电压再往下降, 而且受到影响的负极性显示电压会一直维持到下一次 gate 走线再打开的时候. 所以整体来说, 显示电极上的有效电压, 会比 source driver 的输出电压要低. 而减少的电压大小刚好为 gate 走线电压变化经由 Cgd 的 feed through

h 电压. 这个电压有多大呢?

Gate走線打開的時候



Gate走線關閉的時候



$$\begin{aligned} \text{電荷不滅: } & (V_{d1} - V_{g1}) * C_{gd} + (V_{d1} - V_{com}) * (C_{lc} + C_s) \\ & = (V_{d2} - V_{g2}) * C_{gd} + (V_{d2} - V_{com}) * (C_{lc} + C_s) \\ \rightarrow \text{Feed through 電壓} & = V_{d2} - V_{d1} \\ & = (V_{g2} - V_{g1}) * C_{gd} / (C_{gd} + C_{lc} + C_s) \end{aligned}$$

圖4: Gate走線電壓變化時的feed through電壓推導

在图 4 中, 我们以电荷不灭定律, 可以推导出 feed through 电压为  $(V_{g2} - V_{g1}) * C_{gd} / (C_{gd} + C_{lc} + C_s)$  . 假设  $C_{gd}=0.05\text{pF}$ , 而  $C_{lc}=0.1\text{pF}$ ,  $C_s=0.5\text{pF}$  且 gate 走线从打开到关闭的电压为  $-35$  伏特的话. 则 feed through 电压为  $-35*0.05 / (0.05+0.1+0.5) = 2.69$  伏特. 一般一个灰阶与另一个灰阶的电压差约仅有  $30$  到  $50$  mV 而已(这是以  $6$  bit 的分辨率而言, 若是  $8$  bit 分辨率则仅有  $3$  到  $5$  mV 而已). 因此 feed through 电压影响灰阶是很严重的. 以 normal white 的偏光板配置来说, 会造成正极性的灰阶会比原先预期的来得更亮, 而负极型的灰阶会比原先预期的来得更暗. 不过恰好 feed through 电压的方向有一致性, 所以我们只要将 common 电压向下调整即可. 从图 2 中我们可以看到, 修正后的 common 电压与原先的 common 电压的压差恰好等于 feed through 电压.



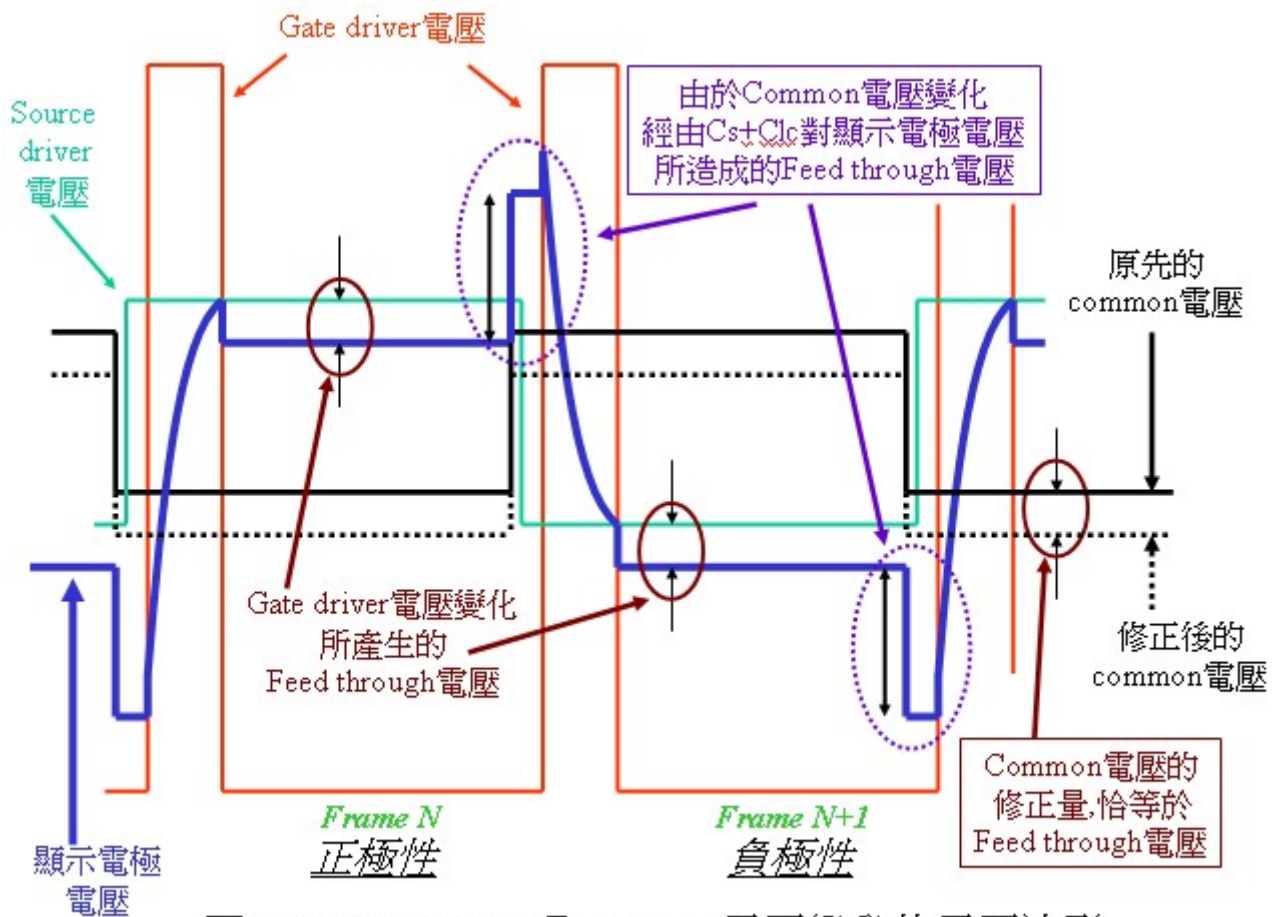


圖5: Cs on common 且 common 電壓變動的電壓波形

Cs on common 架构且 common 电压变动的 feed through 电压

图 5 为 Cs on common 且 common 电压变动的电压波形, 由于其 common 电压是随着每一个 frame 而变动的, 因此跟 common 电压固定的波形比较起来. 其产生的 feed through 电压来源会再多增加一个, 那就是 common 电压的变化. 这个 common 电压的变化, 经由  $C_{lc}+C_s$  的电容, 便会影响到显示电极的电压. 且由于整个 LCD 面板上所有显示点的  $C_{lc}$  与  $C_s$  都是接到 common 电压, 所以一旦 common 电压有了变化, 受影响的就是整个面板的所有点. 跟前面 gate 电压变化不一样的是, gate 电压变化影响到的只是一整行的显示点而已. 不过 Common 电压变化虽然对显示电极的电压有影响, 但是对于灰阶的影响却没有像 gate 电压变化来的大. 怎么说呢? 如果我们使用跟前面一样的电容参数值, 再套用图 6 所推导出来的公式, 再假设 Common 电压由 0 伏特变到 5 伏特, 则 common 电压变化所产生的 feed through 电压为  $(5 - 0) * (0.1\text{pF} + 0.5\text{pF}) / (0.05\text{pF} + 0.1\text{pF} + 0.5\text{pF}) = 5 * 0.6 / 0.65 = 4.62$  伏特. 虽然显示电极增加这么多电压, 但是 common

电极也增加了 5 伏特. 因此在 Clc 两端, 也就是液晶的两端, 所看到的压差变化, 就只有  $4.62 - 5 = 0.38$  伏特而已. 跟之前 gate 走线电压变化所产生的 feed through 电压 2.69 伏特比较起来要小的多了, 所以对灰阶的影响也小多了. 且由于它所产生的 feed through 电压有对称性, 不像 Gate 走线所产生的 feed through 电压是一律往下, 所以就同一个显示点来说, 在视觉对灰阶的表现影响会比较小. 当然啦, 虽然比较小, 但是由于对整个 LCD 面板的横向的 768 行来说, common 电压变化所发生的时间点, 跟 gate 走线打开的时间间隔并不一致, 所以对整个画面的灰阶影响是不一样的. 这样一来, 就很难做调整以便改进画面品质, 这也是为什么 common 电压变动的驱动方式, 越来越多人使用的缘故.

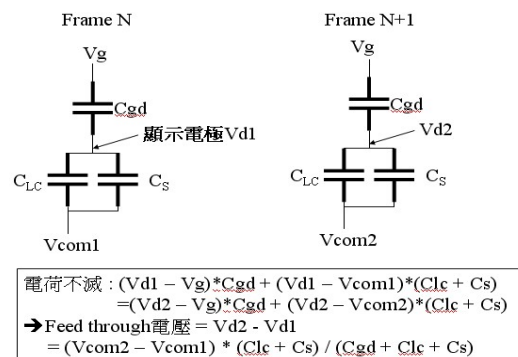


圖6: Common 電壓變化時的 feed through 電壓推導

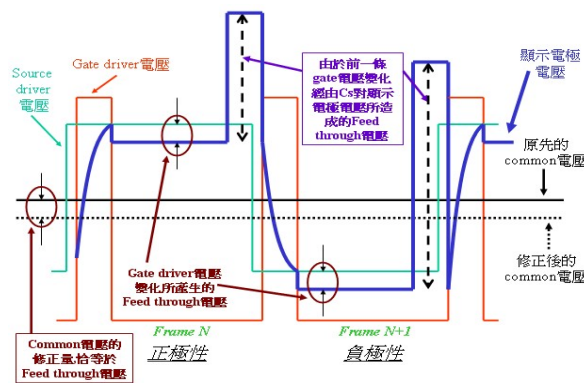


圖7: Cs on gate 且 common 電壓固定不動的電壓波形

Cs on gate 架构且 common 电压固定不动的 feed through 电压

图 7 是 Cs on gate 且 common 电压固定不动的电压波形图. 它并没有 common 电压变化所造成的 feed through 电压, 它只有由于 gate 电压变化所造成的 feed through 电压. 不过它跟 Cs on common 不一样的是, 由 gate 电压变化所造成的 feed through 电压来源有两个地方, 一个是自己这一条 gate 走线打开经由 Cgd 产生的 feed through 电压, 另一个则是上一条 gate

走线打开时, 经由  $C_s$  所产生的 feed through 电压. 经由  $C_{gd}$  的 feed through 电压跟前面所讨论过的状况是一样的, 在这边就不再提了. 但是经由  $C_s$  的 feed through 电压, 是因为  $C_s$  on gate 的关系, 如图 3 所示.  $C_s$  on gate 的架构, 它的储存电容另一端并不是接到 common 电压, 而是接到前一条 gate 走线, 因此在我们这一条 gate 走线打开之前, 也就是前一条 gate 走线打开时, 在前一条 gate 走线的电压变化, 便会经由  $C_s$  对我们的显示电极造成 feed through 电压. 依照图 8 的公式, 同时套用前面的电容参数与 gate 电压变化值, 我们可得到此一 feed through 电压约为  $35 \times 0.5\text{pF} / (0.5\text{pF} + 0.1\text{pF} + 0.05\text{pF}) = 26.92$  伏特. 这样的 feed through 电压是很大的, 不过当前一条 gate 走线关闭时, 这个 feed through 电压也会随之消失. 而且前一条 gate 走线从打开到关闭, 以 SVGA 分辨率的屏幕来说, 约只有  $21.7\mu\text{s}$  的时间而已. 相对于一个 frame 的时间  $16.67\text{ms}$  是很短的. 再者当前一条 gate 走线的 feed through 电压影响显示电极后, 我们这一条的 gate 走线也随之打开, source driver 立刻将显示电极的电压充放电到所要的目标值. 从这种种的结果看来, 前一条 gate 走线的电压变化, 对于我们的显示电极所表现的灰阶, 几乎是没有影响的. 因此对于  $C_s$  on gate 且 common 电压固定不动的驱动方式来说, 影响最大的仍然是 gate 走在线电压变化经由  $C_{gd}$  产生的 feed through 电压, 而其解决方式跟前面几个一样, 只需将 common 电压往下调整即可.

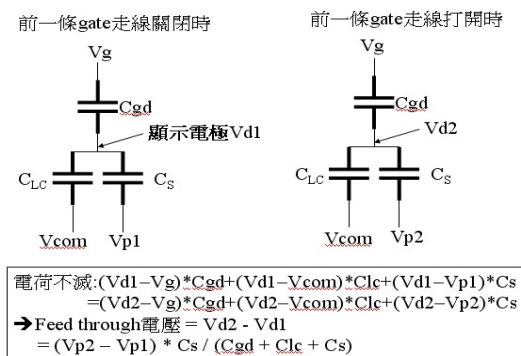


圖8: 前一條gate走線電壓變化時的feed through電壓推導

$C_s$  on gate 架构且 common 电压变动的 feed through 电压

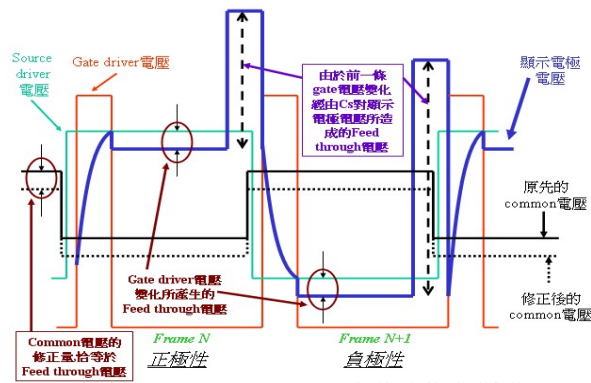


圖9: Cs on gate 且 common 電壓變動的電壓波形

图 9 是 Cs on gate 架构且 common 电压变动的 feed through 电压波形图. 这样子的架构, 刚好有了前面 3 种架构的所有缺点, 那就是 gate 走线经由 Cgd 的 feed through 电压, 和前一条 gate 走线经由 Cs 的 feed through 电压, 以及 Common 电压变化经由 Clc 的 feed through 电压. 可想而知, 在实际的面板设计上几乎是没有人使用这种架构的. 而这 4 种架构中最常用的就是 Cs on gate 架构且 common 电压固定不动的架构. 因为它只需要考虑经由 Cgd 的 feed through 电压, 而 Cs on gate 的架构可得到较大的开口率的缘故.

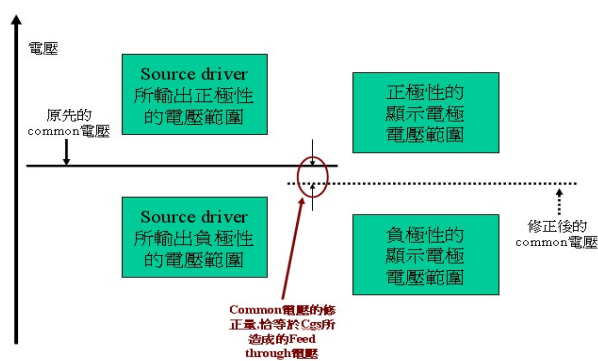


圖10: 二階驅動所需修正電壓的示意圖

二阶驱动 (Two level addressing) 的效应

请关注：

TFT LCD液晶显示器的驱动原理(三)

TFT LCD液晶显示器的驱动原理(三)

## 副标题：

上次跟大家介绍液晶显示器的二阶驱动原理, 以及因为 feed through 电压所造成的影响. 为了解决这些现象, 于是有了三阶驱动甚至于四阶驱动的设计. 接下来我们先针对三阶驱动的原理作介绍.

### 三阶驱动的原理(Three level addressing method)

二阶驱动的原理中, 虽然有各种不同的 feed through 电压, 但是影响最大的仍是经由  $C_{gd}$  所产生的 feed through 电压. 也因此二阶驱动时需要调整 common 电压, 以改进灰阶品质. 但是由于  $C_{lc}$  并非是一个固定的参数, 让调整 common 电压以便改进影像品质目的不易达成. 因此便有了三阶驱动的设计, 期望在不变动 common 电压的情形下, 将 feed through 电压给补偿回来.

三阶驱动的基本原理是这样的, 利用经由  $C_s$  的 feed through 电压, 来补偿经由  $C_{gd}$  所产生的 feed through 电压. 也就是因为需要利用  $C_s$  来补偿, 所以三阶驱动的方法只能使用在面板架构为 Cs on gate 的方式. 图 1 就是三阶驱动 gate driver 电压的波形, 从这个三阶驱动的波形中我们可以知道, 三阶驱动波形跟二阶驱动不一样的是, 它的 gate driver 驱动波形之中, 会有三种不一样的电压. 当 gate driver 关闭时, 会将电压拉到最低的电压, 等到下一条的 gate driver 走线也关闭后, 再将电压拉回. 而这个拉回的电压, 就是为了去补偿下一条线的 feed through 电压. 也就是说, 每一条 gate driver 走线关闭时, 经由  $C_{gd}$  所产生的 feed through 电压, 是由上一条走线将电压拉回时, 经由  $C_s$  所产生的 feed through 电压来补偿的. 既然是经由拉回的电压来补偿, 那拉回电压的大小要如何计算呢? 上次我们有提到 feed through 电

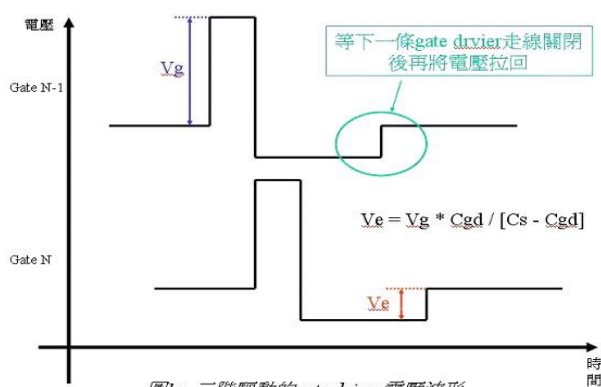
压的计算方式，我们可以依照上次的公式来计算所需的电压：

经 Cgd 的 Feed through 电压 =  $(V_{g\_high} - V_{g\_low}) * C_{gd} / (C_{gd} + C_{lc} + C_s)$ ； $V_{g\_high}$  与  $V_{g\_low}$  分别为 gate driver 走线打开与关闭的电压。

经  $C_s$  的 Feed through 电压 =  $(V_{p2} - V_{p1}) * C_s / (C_{gd} + C_{lc} + C_s)$ ； $V_{p2}$  与  $V_{p1}$  分别为上一条 gate 走线拉回前与拉回后的电压。

如果需要两者互相抵消，则经 Cgd 的 Feed through 电压需要等于经  $C_s$  的 Feed through 电压。所以需拉回的电压为  $V_e = V_{p2} - V_{p1} = (V_{g\_high} - V_{g\_low}) * C_{gd} / C_s$ ，而从图 1 中我们知道  $V_{g\_high} - V_{g\_low} = V_g + V_e$ ，所以需拉回的电压  $V_e = (V_g + V_e) * C_{gd} / C_s$ ，也就是  $V_e = V_g * C_{gd} / [C_s - C_{gd}]$ 。

从上述的公式推导中，我们发现虽然  $C_{lc}$  会影响 feed through 电压的大小，但是藉由三阶驱动的方式， $C_{lc}$  的影响就不见了。因此当我们在面板制程与 gate driver 的打开电压确定之后，就可以精确的计算出所需要的拉回电压了。



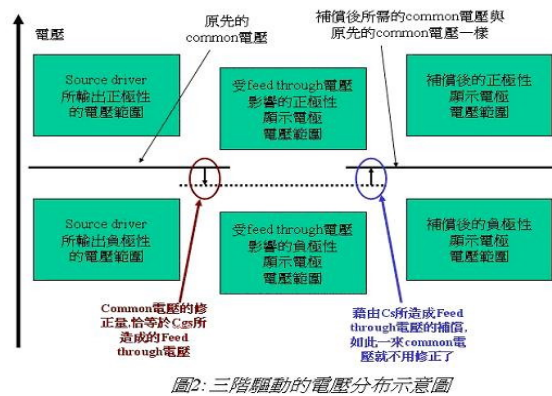


图 2 是三阶驱动的电圧分布示意图。我们可以看到最左边的是由 source driver 所输出的电压分布，这是显示电极所充电电压的最原始状况。而中间的电圧分布，就是显示电极受到经由 Cgd 的 feed through 电压影响的变化。一般二阶驱动就是只有到这里，所以需要修正 common 电压的大小，以便以少灰阶的失真程度。而三阶驱动藉由 Cs 的 feed through 电压影响的情形，则可以由最右边的电压分布来看出。在这时候，只要拿捏好拉回电压  $V_e$  的大小，便可以将原本受到经由 Cgd 的 feed through 电压影响的电压分布，补偿到跟最左边的电压分布一样，如此一来就不必再去修正 common 电压的大小了。

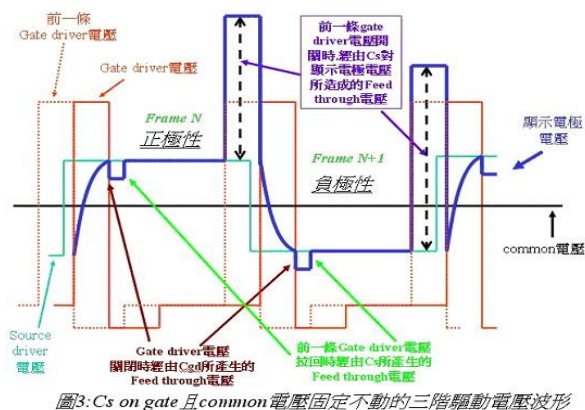


图 3 是三阶驱动的电圧波形图。正如先前所说的，由于三阶驱动需要利用前一条的 gate driver 走线来补偿，所以只能使用于 Cs on gate 的架构。而且由于有电压补偿的关系，common 电压就不必再做修正了。在图 3 中，属于 gate driver 电压有两种，一个是前一条 gate driver 的电圧波形，用虚线来表示。而用实线表示的是属于打开我们要讨论的显示电极电压波形的 gate driver



iver 走线电压. 从此图形我们可以知道, 实线的 gate driver 走线关闭时, 会经由 Cgd 产生一个 feed through 电压, 而这个向下的电压偏移量, 在前一条 gate driver 走线的拉回电压经 Cs 所产生的 feed through 电压影响后, 便可以让显示电极恢复到原先的电压准位. 而前一条 gate driver 走线经由 Cs 的 Feed through 电压还有另一种状况, 那就是在前一条 gate driver 走线打开时所产生的 feed through 电压, 这个电压值虽然很大, 不过由于其影响的时间, 相对于整个 frame 来说, 相当的短, 因此对显示画面并不会有多大的影响.

图四是使用三阶驱动针对 gate driver 走线电压变动所形成的 feed through 电压更仔细的显示电极电压波形图. 跟图三不一样的是, 这个图形有考虑到当 gate driver 走线电压拉回时经由 Cgd 所造成的 feed through 电压. 原本拉回电压是为了补偿下一条 gate driver 走在线的显示电极, 但是它的副作用就是也会对 gate driver 走线所在位置的显示电极产生影响. 所以拉回电压的设计考量, 并不是一次将所有电压补偿回来, 而是使用两次的 feed through 电压补偿. 一次是上一条 gate driver 走线经由 Cs 的 feed through 电压来补偿, 一次则藉由显示电极所在位置的 gate driver 走线, 它的拉回电压经由 Cgd 的 feed through 电压来补偿.



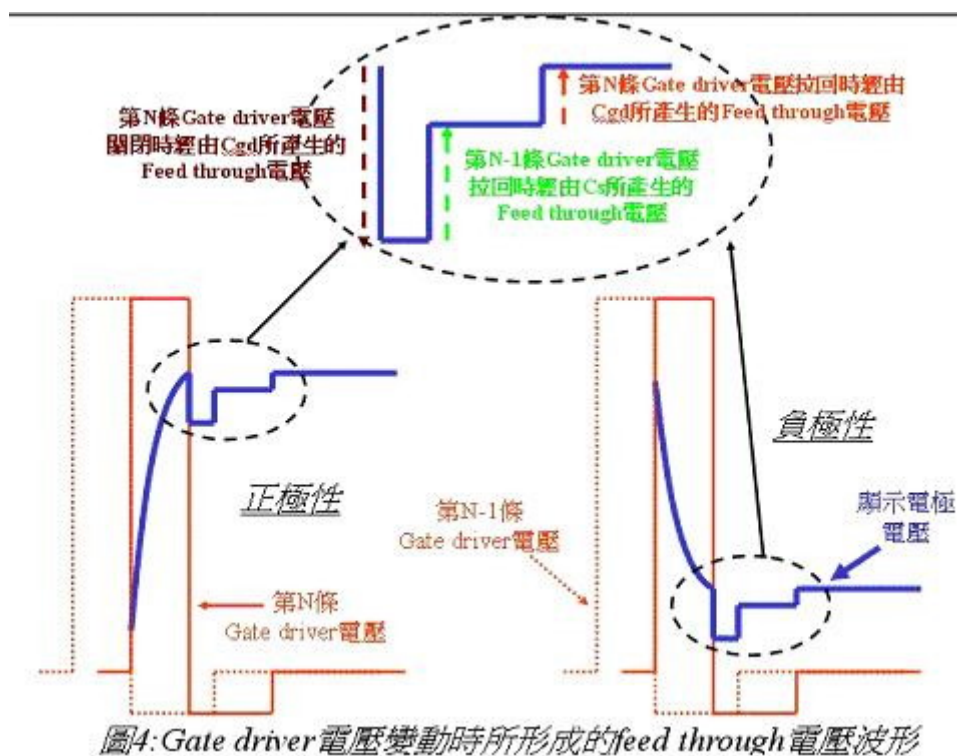


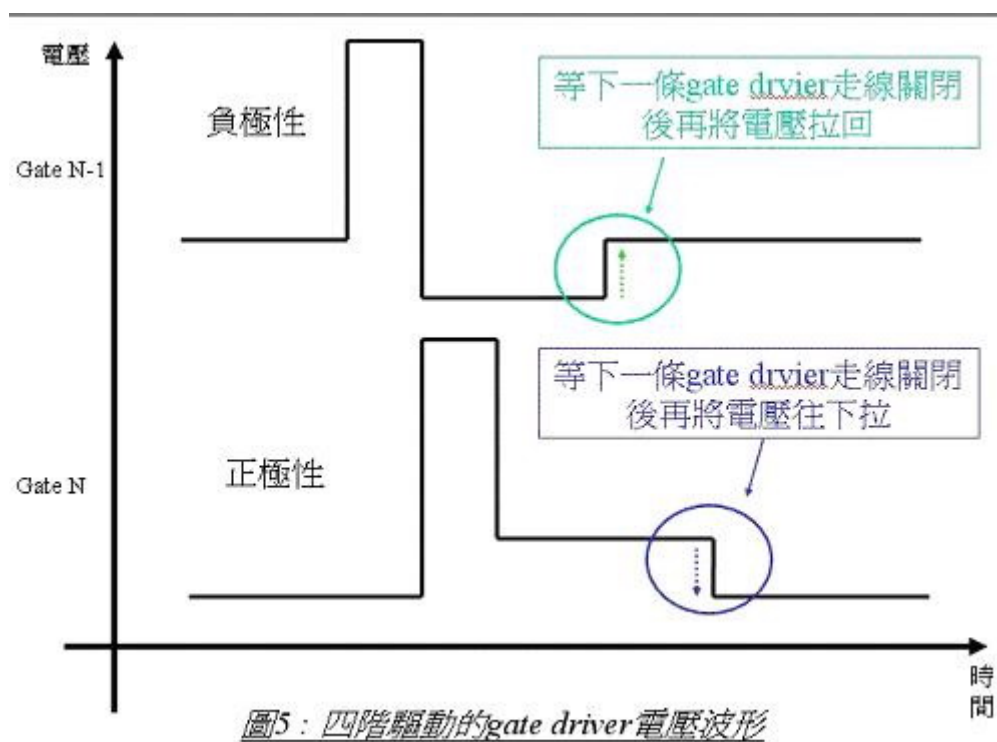
图4: Gate driver 電壓變動時所形成的feed through 電壓波形

总的来说，使用三阶驱动的方式比起二阶驱动的方式来说，可以不用调整 common 电压就可以克服 feed through 电压的影响。而且也可以避免由于  $C_{lc}$  的非线性关系所造成的灰阶问题。不过跟底下要介绍的四阶驱动比较起来，它仍然需要使用较高输出电压的 source driver。接下来要介绍的四阶驱动，它在 common 电压固定不变的状况下，并不需要使用高电压输出的 source driver, 就可以达到分别出正负极性电压的结果了。

#### 四阶驱动的原理(Four level addressing method)

图 5 是四阶驱动 gate driver 走线的电压基本波形。我们可以看到负责正极性与负极性的 gate driver 走线电压是不一样的。负责负极性的 gate driver 走线电压在电压关闭时，会往下拉到一个比一般关闭时的电压更低的准位，等到下一条走线的电压关闭后，再将电压拉回到一般关闭电压的准位。而负责正极性的 gate driver 走线电压则是在电压关闭时，电压并没有一口气拉到一般关闭的电压准位，而是等到下一条 gate driver 走线关闭后，再将电压下拉到一般关闭的电压准位。而这两种极性的电压准位总共有：打开的电压，关闭的电压，比关闭电压高的准位，以及比关闭电压更低的电压，总共四种。

这是为什么叫做四阶驱动的原因。从图五来看，我们会发现，同样一条 gate driver 走在线的显示电极，都必须属于同一种显示的极性，不是正极性，就是负极性。因此采用四阶驱动就只能使用 line inversion 的显示方式。不过这样一来，跟使用 dot inversion 驱动方式的面板来说，显示画面的品质会变得更差，flicker 与 cross talk 的效应会更明显。这也是为什么四阶驱动很少有人使用的缘故，虽然它可以使用驱动电压较低的 source driver，但是它的 gate driver 复杂度升高，而且画面品质下降，(当然啦，想要让四阶驱动的面板使用 dot inversion 并不是不可以，只是需要更改面板上的 TFT 薄膜晶体管的配置方式，以及加大显示控制器内的内存大小，来同时储存两条 gate driver 走在线的所有显示电极的数据，整个硬件的复杂度会更高，成本又会加大。) 比较起来倒不如使用 line inversion 且 common 电压变动的面板极性显示方式。



四阶驱动原理简单的来说，是利用前一个 gate driver 走线经由 Cs 的 fed through 电压，在正极性时将显示电极的电压提升到很高的电压，而在负极性时 将显示电极的电压，下拉到很低的电压，以便将显示电极的电压分别出给正极性或是负极性的电压位准之用。如此一来，source driver 的驱动电

压范围虽然不大，但是却可以同时给正极性以及负极性的显示电极电压来用。

图 6 是四阶驱动电压分布示意图，图中最左边的是 source driver 输出电压的范围。不管是正极性的画面，或是负极性的画面，都是使用相同的输出电压范围。因此使用于四阶驱动的 source driver，其输出电压范围比起一般的 source driver 要小的多。而图 6 中间则是受到 gate driver 走线关闭时，经由  $C_{gd}$  的 feed through 电压影响的显示电极电压范围。而图 6 右边则是最后分别出正负极性的显示电压范围。从图中我们可以知道，因为受到经过  $C_{gd}$  的 feed through 电压影响，若是要将正负极性的电压范围分开的话，对于正极性的电压范围，往上提升的电压会比较大，而其往上提升的电压，是由上一条 gate drive 走线电压往上拉经由  $C_s$  的 feed through 电压来形成。因为其所需的电压比较大，所以上一条 gate driver 走在线的拉回电压 也会比较大。而对于负极性的显示电压范围的形成，也是利用上一条 gate driver 走在线的电压变化来完成。跟正极性的显示电极电压不一样的是，它需要的是下拉的 feed through 电压，以便形成负的显示电极电压范围。它所需要的下拉电压 跟正极性的上拉电压比较起来会比较小。不过对于调整后正负极性的显示电压范围来说，它们相对于 common 电压的距离要一样，这样对于同一个灰阶的正负极性电压，显示出来的画面才会一致。从整个图 6 来说，我们可以发现，对于 source driver 的输出电压，如同前面所说的，并不需要有正负两种不同极性的显示范围。只要利用上一条 gate driver 走线的电压变化来帮助形成正负极性的两种电压范围即可。

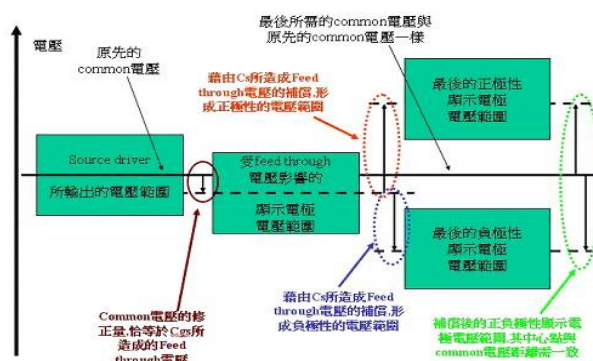
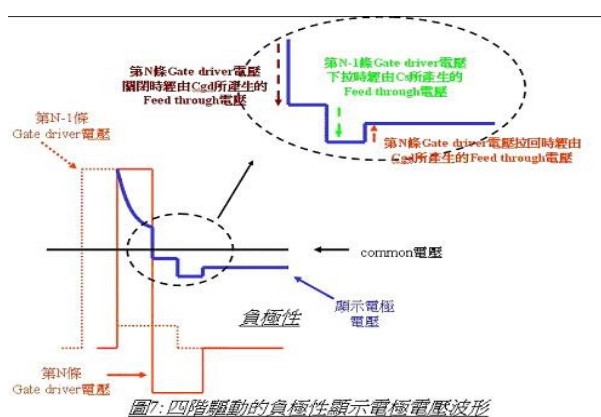
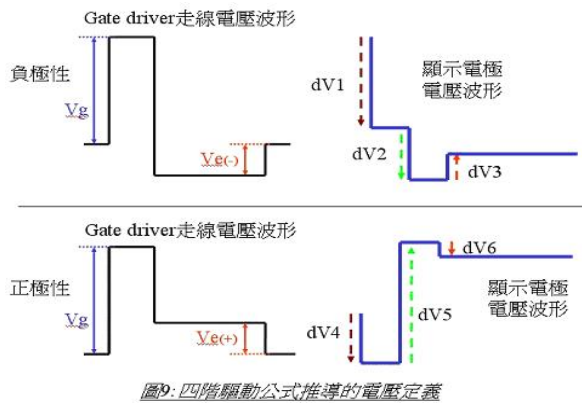
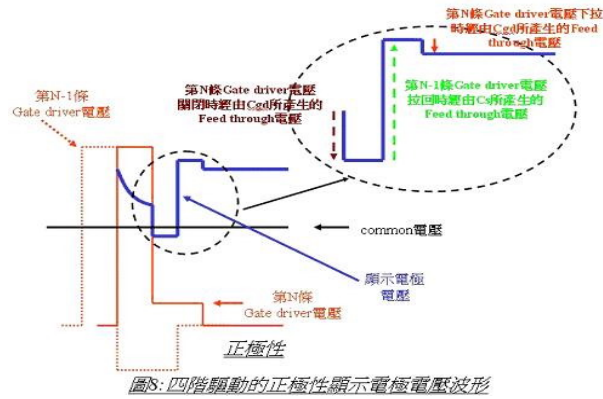


圖6: 四階驅動電壓分布示意圖

至于在显示电极上的电压变化波形，我们则可以利用图 7 跟图 8 来解释其

电压变化的原理。图 7 是负极性显示电极电压的波形变化，从图中我们可以知道 显示电极电压从 source driver 充好电后，会再经过三次的电压变化。首先是本身 gate driver 走线电压关闭时，经由  $C_{gd}$  所产生的 feed through 电压影响，由于电压关闭的关系，会把显示电极的电压往下拉。其次是上一条 gate driver 走线下拉时，经过  $C_s$  的 feed through 电压。这个电压的影响很重要，因为它是将电压调整成负极性电压的主要成分，必须能够将整体的电压调整到所需要的准位。最后是本身的 gate driver 走线电压拉回时，经由  $C_{gd}$  的 feed through 电压的影响。由于拉回电压的幅度比较小，所以整体的影响也比较少。而图 8 是正极性显示电极电压的波形变化，跟负极性的电压变化一样，它也有三阶段的电压变化。首先是本身 gate driver 走线关闭时经由  $C_{gd}$  的 feed through 电压，其次是由前一条 gate drive 走线电压拉回经由  $C_s$  的 feed through 电压，这电压是扮演将显示电极电压推升到正极性电压范围的最重要角色。而最后则是本身 gate driver 走线电压下拉时所产生的 feed through 电压，这个电压由于是经由  $C_{gd}$  的关系，而且变化的幅度也不大，所以影响也比较小。





既然这些电压的操作原理, 都是藉由 feed through 电压的影响, 我们就可以利用计算 feed through 电压的公式, 依照图 9 的电压定义, 来推导出各阶电压的大小. 其结果如下:

属于负极性电压的各个 feed through 电压:

$$dV1=[Vg+Ve(-)]*Cgd/[Cs+C1c+Cgd]$$

$$dV2= Ve(+) * Cs / [Cs+C1c+Cgd]$$

$$dV3= Ve(-) * Cgd / [Cs+C1c+Cgd]$$

属于正极性电压的各个 feed through 电压:

$$dV4=[Vg-Ve(+)]*Cgd/[Cs+C1c+Cgd]$$

$$dV5= Ve(-) * Cs / [Cs+C1c+Cgd]$$

$$dV6= Ve(+) * Cgd/[Cs+C1c+Cgd]$$

在图 6 中，我们提到补偿后的正负极性输出电压与 common 电压的距离应该一致，所以给正极性显示电压范围用的所有 feed through 电压总合应该和给所有负极性显示电压范围用的 feed through 电压总合应该一样。所以  $dV1+dV2-dV3$  应该等于  $-dV4+dV5-dV6$ 。合并化简后，我们可以得到：

$$Ve(-) - Ve(+) = 2Vg * Cgd / Cs$$

也就是说，只要  $Ve(-)$  与  $Ve(+)$  的差值，符合上述公式，就可以达到四阶驱动的效果了。而且上述公式也告诉我们一个现象，那就是公式化简后，已经没有了  $C1c$  的成分存在。因此它跟三阶驱动一样，不会受到  $C1c$  非线性的影响。至于  $Ve(-)$  及  $Ve(+)$  的大小如何决定呢？我们回过来观察  $dV1+dV2-dV3$  与  $-dV4+dV5-dV6$  的化简结果：

$$dV1+dV2-dV3 = Vg*Cgd + Ve(+)*Cs = \text{向下的 feed through 总量}$$

$$-dV4+dV5-dV6=-Vg*Cgd + Ve(-)*Cs = \text{向上的 feed through 总量}$$

只要我们依照液晶的特性，便可得知需要向上或是向下的 feed through 电压总量需要多少才够(一般是液晶的 threshold 电压与最大工作电压加起来的一半)，再参考面板设计的参数  $Vg$ ,  $Cgd$ ,  $Cs$  的大小，就可以计算出所需的  $Ve(+)$  与  $Ve(-)$  了。在数学上来说，当你把向上与向下的 feed through 总量，都设为 0 时，就可以得到  $Ve(+)= -Ve(-)$ ，这时候四阶驱动就变成三阶驱动了。因此三阶驱动也可以说是四阶驱动的一个特例。