

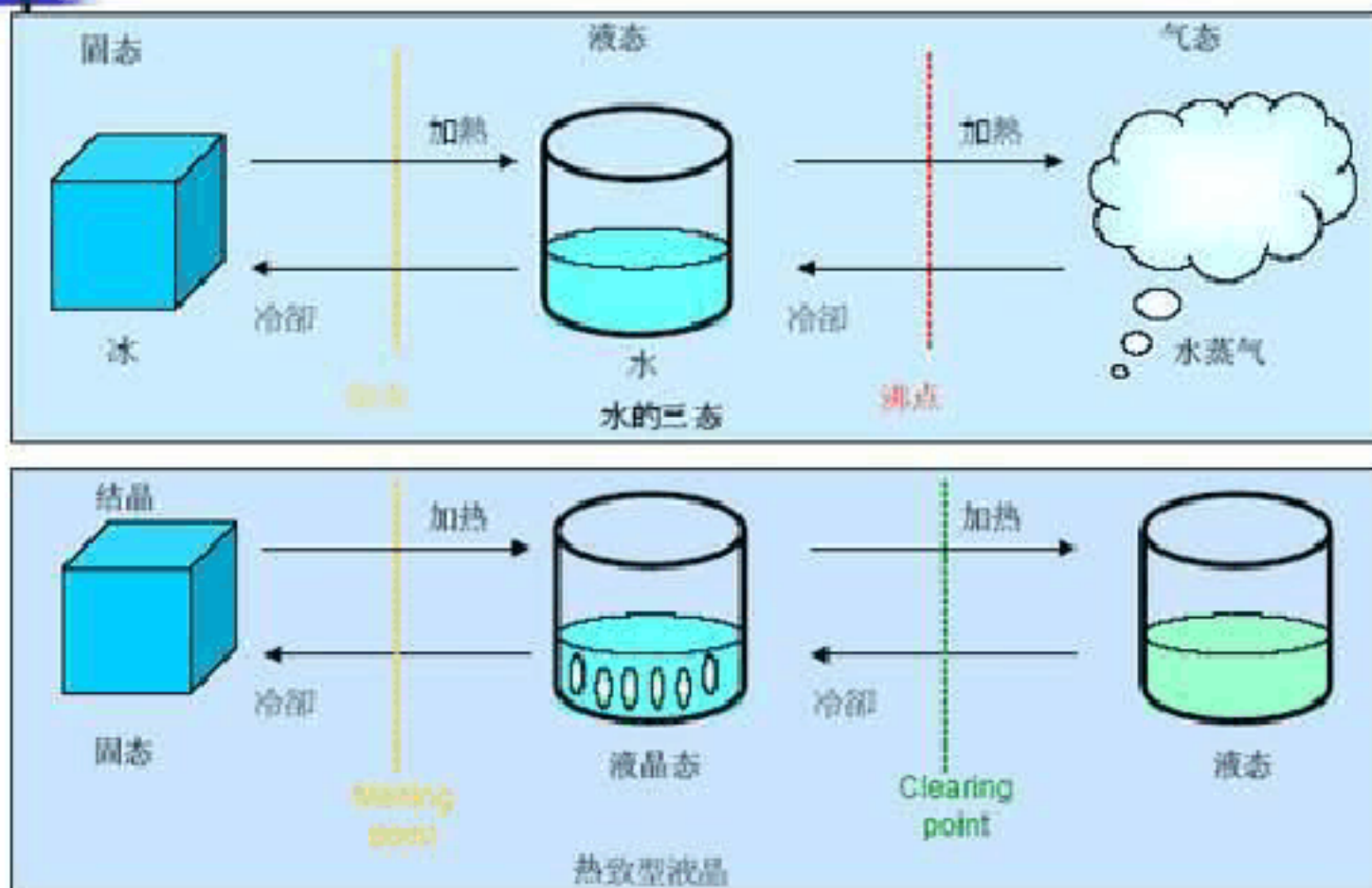
我一直记得，当初刚开始从事有关液晶显示器相关的工作时，常常遇到的困扰，就是不知道怎么跟人家解释，液晶显示器是什么？只好随着不同的应用环境，来解释给人家听。在最早的时候是告诉人家，就是掌上型电动玩具上所用的显示屏，随着笔记型计算机开始普及，就可以告诉人家说，就是使用在笔记型计算机上的显示器。随着手机的流行，又可以告诉人家说，是使用在手机上的显示板。时至今日，液晶显示器，对于一般普罗大众，已经不再是生涩的名词。而它更是继半导体后另一种可以再创造大量营业额的新兴科技产品，更由于其轻薄的特性，因此它的应用范围比起原先使用阴极射线管(CRT, cathode-ray tube)所作成的显示器更多更广。

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晶态。

图1、物态的相变化



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 $^{\circ}\text{C}$ 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 $^{\circ}\text{C}$, 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. 当液态晶体刚发现时, 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:

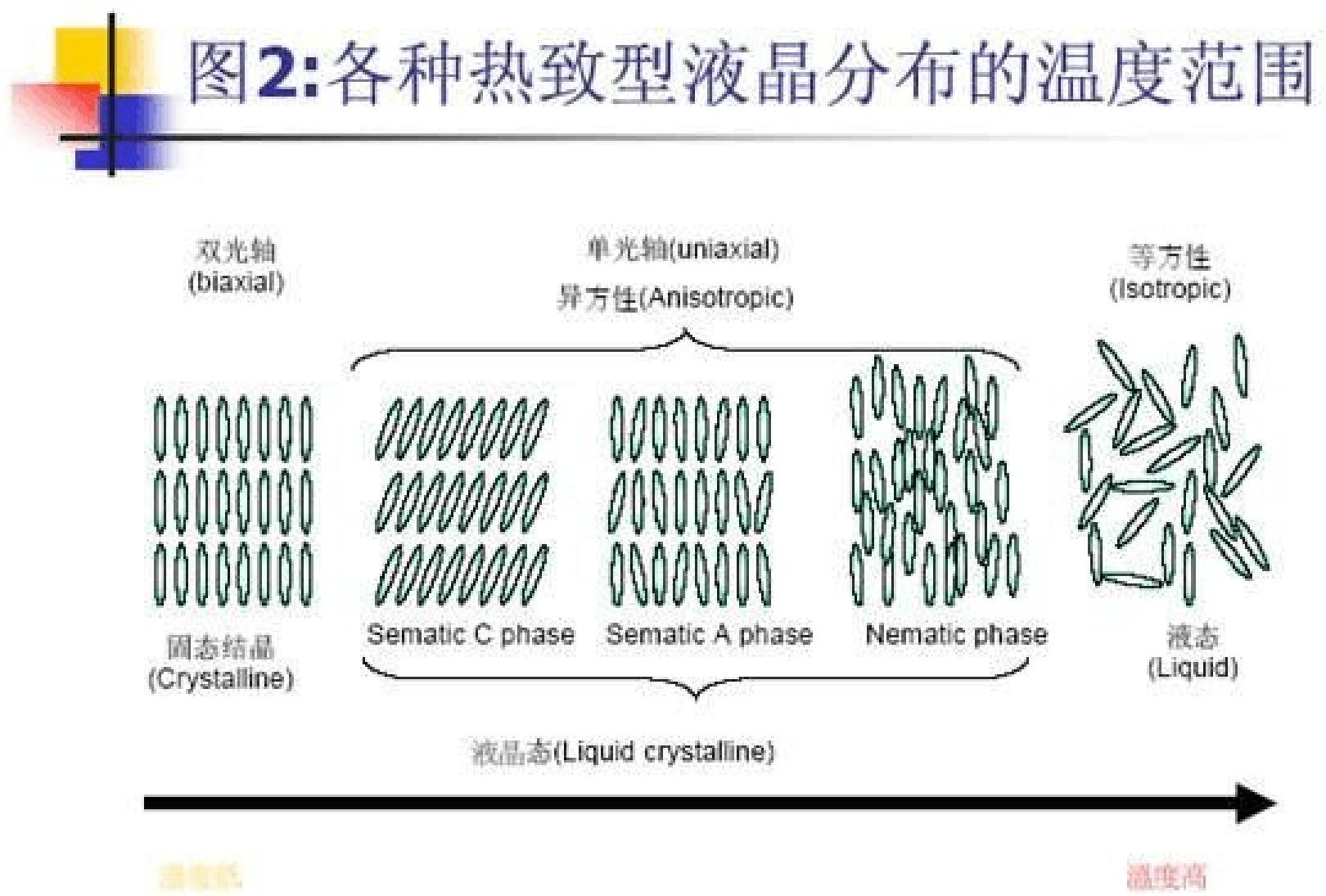
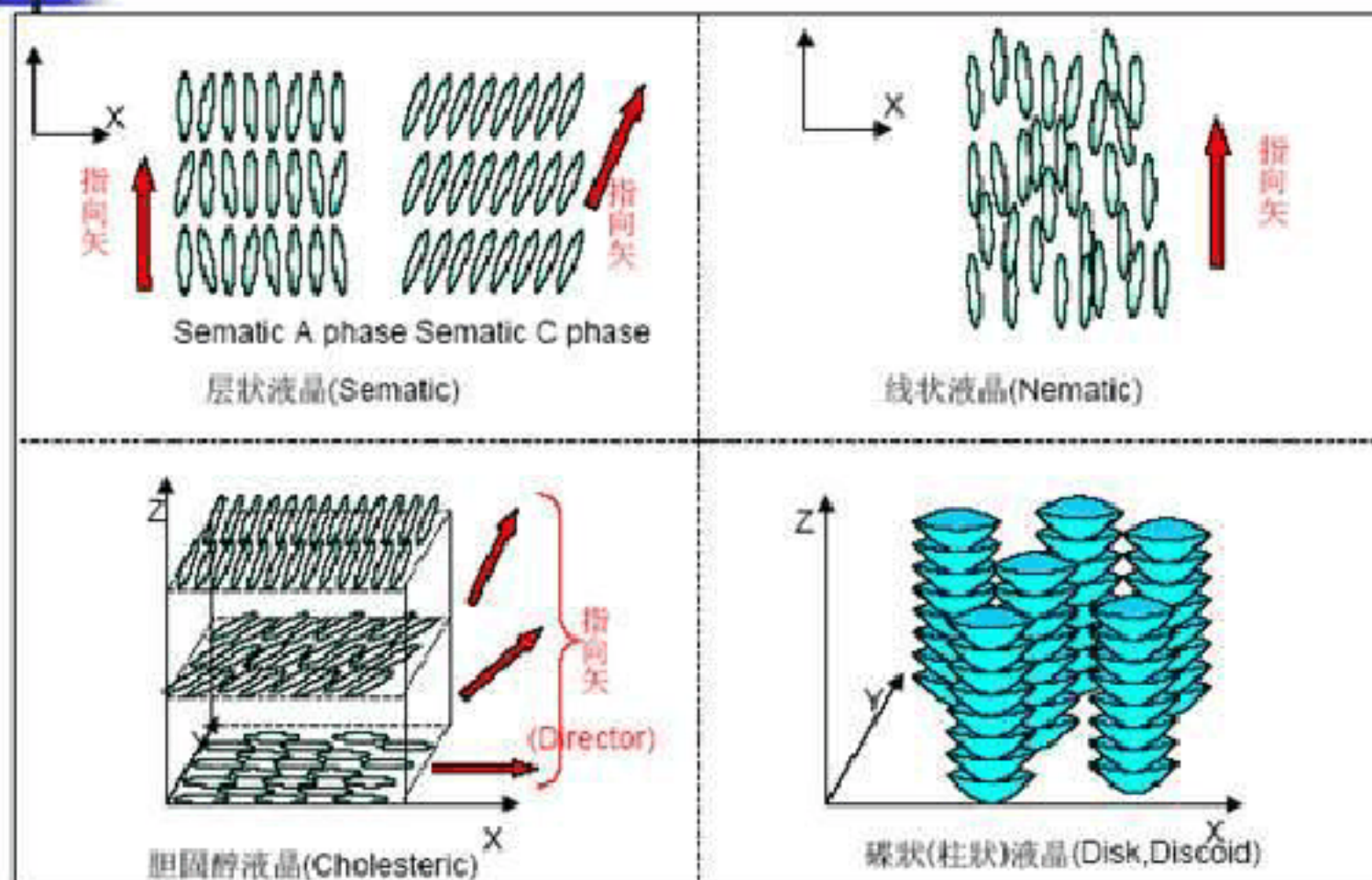


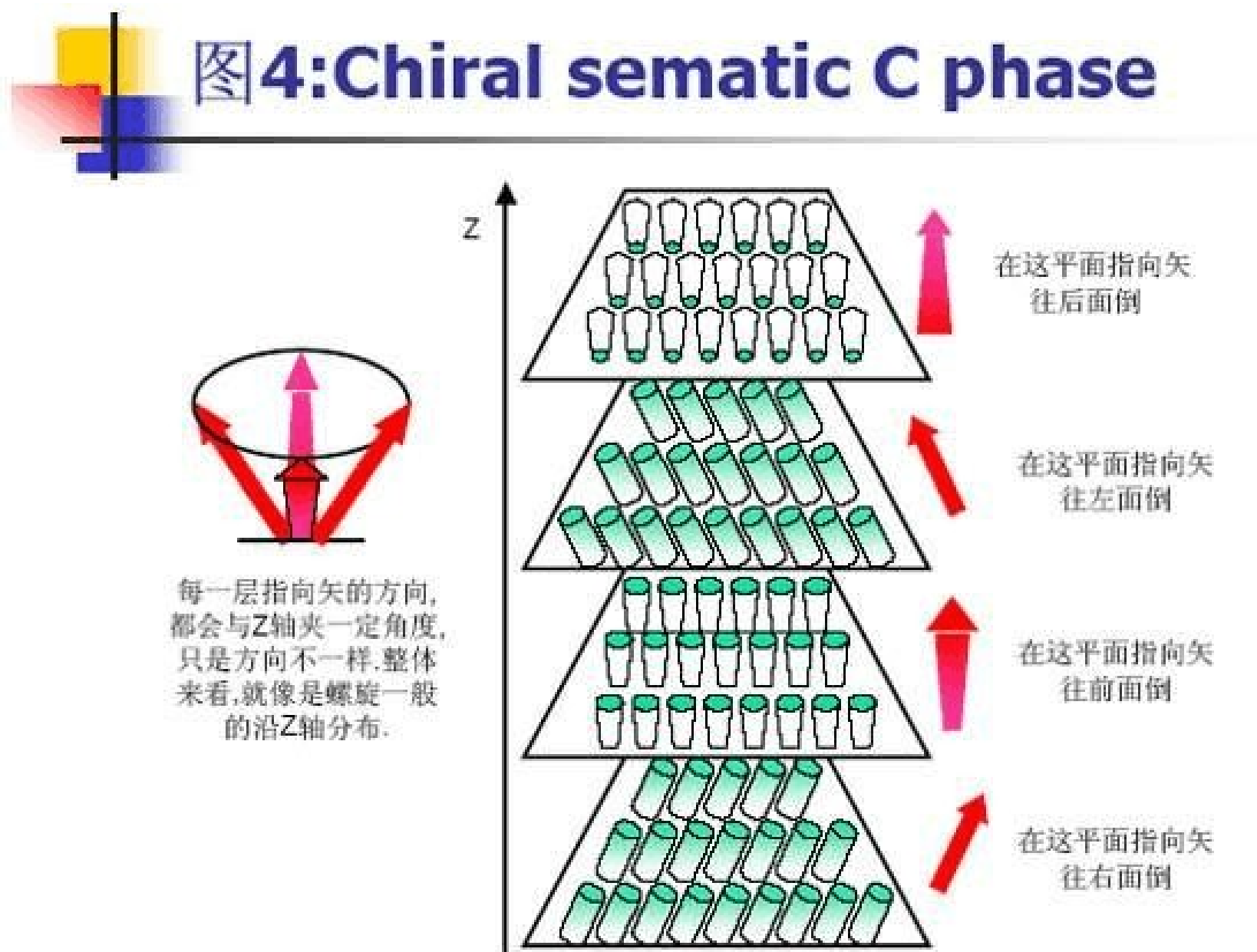
图3:液晶的种类



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). 而其结构中的一层一层液晶分子, 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.



1.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.

2.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.

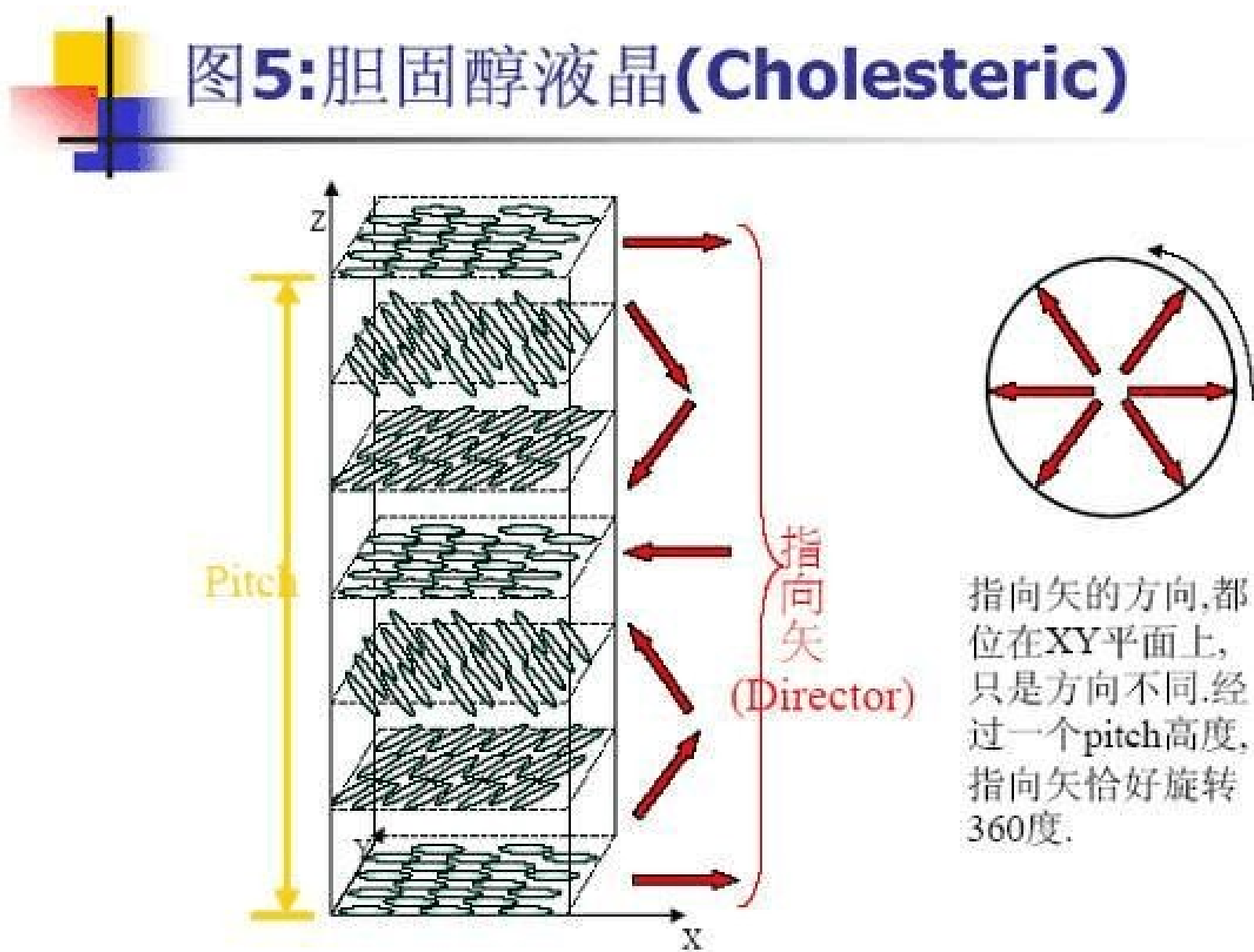
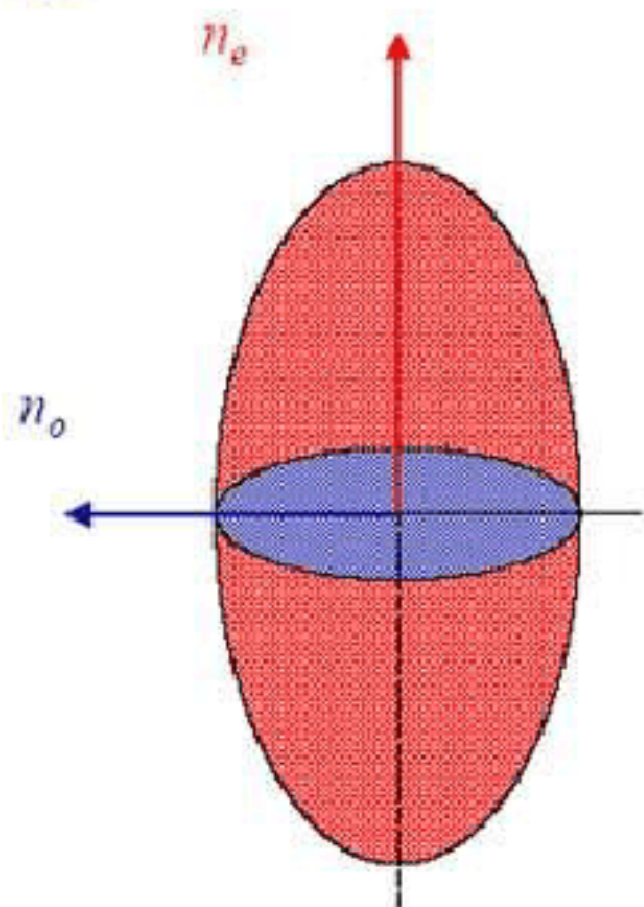




图 6:液晶的光学特性



•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 : $n_e > n_o$

1. 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 (discoid).

如果我们是依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.

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 ϵ (dielectric permittivity) :

我们可以将介电系数分开成两个方向的分量, 分别是 $\epsilon_{//}$ (与指向矢平行的分量)与 $\epsilon_{\perp}$ (与指向矢垂直的分量). 当 $\epsilon_{//} > \epsilon_{\perp}$ 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 $\epsilon_{//} < \epsilon_{\perp}$ 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 $\Delta \epsilon (= \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp})$ 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 $n_{//}$ 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) $\Delta n = n_e - n_o$ 为上述的两个折射率的差值.

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 $n_{\perp}(=n_e)$ 及平行液晶长轴方向 $n_{\parallel}(=n_o)$ 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 $\Delta n > 0$, 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的话, 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 $\Delta n < 0$. 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 : κ_{11} , κ_{22} , κ_{33}), 它包含了三个主要的常数, 分别是, κ_{11} 指的是斜展(splay)的弹性常数, κ_{22} 指的是扭曲(twist)的弹性常数, κ_{33} 指的是弯曲(bend)的弹性常数. 另外像黏性系数(viscosity coefficients, η), 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 $c_{\parallel}$ 与 $c_{\perp}$. 而磁化率异方性则定义成 $\Delta c = c_{\parallel} - c_{\perp}$. 此外还有电导系数(conductivity)等等光电特性.

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