

液晶器件工艺与材料习题

一、绪论

1、什么是正性液晶，在电场下分子如何排列？

正性液晶的介电各向异性 $\epsilon_{||} > \epsilon_{\perp}$, $\Delta\epsilon > 0$, 在电场下液晶分子长轴方向与外电场平行。

2、什么是负性液晶，在电场下分子如何排列？

负性液晶的介电各向异性 $\epsilon_{||} < \epsilon_{\perp}$, $\Delta\epsilon > 0$, 在电场下液晶分子长轴方向与外电场垂直。

3、以垂直排列液晶盒为例，叙述液晶盒的工作原理。

垂直排列向列相负性液晶盒，在不加电时液晶分子垂直基板排列，对入射的偏振光不发生双折射，出射光偏振方向垂直于上偏振片而无法透过，显示黑色；加电时，一方面在取向作用下液晶分子要垂直基板排列，另一方面液晶分子要垂直于电场、平行于基板排列，这样的双重作用下，内部的液晶分子长轴发生倾斜，对入射光产生双折射，输出椭圆偏振光。可部分透过上偏振片，显示颜色。

4、以 TN 液晶盒为例，叙述液晶盒的工作原理。

TN 液晶盒是在涂布了透明电极的两块玻璃基板中间，夹入厚几微米的具有正介电各向异性的向列相液晶，并对玻璃内表面处理，使得不加电状态下液晶分子长轴在上下两块基板之间连续扭曲 90° 排列。液晶的扭矩远大于可见光波长，垂直入射到玻璃基片上的线偏振光在通过液晶盒过程中，偏振方向将沿着液晶分子扭曲方向转过 90° ，在两片正交偏振片之间就可以透光。外加电场时，液晶分子长轴垂直于基板排列，入射偏振光不再旋转，无法通过第二个偏振片，不透光。

5、阵列工艺主要包括哪三个步骤？

阵列工艺主要包括薄膜（thin film）、光刻（track&photo）、刻蚀（etch）三个步骤。

6、成盒工艺主要包括哪四个步骤？（取向膜涂覆、摩擦、对盒、切割）

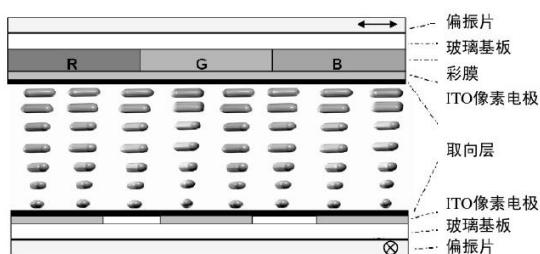
成盒工艺主要包括取向层涂覆（PI coating）、摩擦（rushing）、对盒（Ass'y）、切割（cutting）四个步骤。

7、模块工艺主要包括哪四个步骤？（偏光片贴附、外部引线连接、背光源装配、老化性测试）

模块工艺主要包括偏振片贴附（POL）、外部引线连接（OLB）、背光源装配（Ass'y）、老化性测试（Aging）四个步骤。

8、叙述液晶滴注技术和液晶注入技术，并叙述他们的优缺点。

液晶灌入技术是在真空环境下将液晶利用毛细现象的原理、由内外压力差注入到液晶盒内，然后再使用封口材料将注入口封堵；液晶滴注技术是真空环境下将液晶滴注到玻璃基板上，再封装成液晶盒。优缺点：传统液晶注入技术使用液晶多、存在浪费，而且在用于大尺寸液晶盒灌注时会残留真空气泡，灌注时间长。液晶滴注技术可以很好地解决大尺寸液晶屏灌注问题，而且液晶使用量少。



二、玻璃及其性能

1、有碱玻璃和无碱玻璃的区别？

有碱玻璃中含有碱金属离子，无碱玻璃中几乎不含碱金属离子。

2、为什么 TFT-LCD 用玻璃基板要求是采用无碱玻璃？

在 TFT-LCD 中，玻璃中的碱金属离子会影响薄膜晶体管栅极电压的稳定性，在高温时一价加金属会从玻璃内部向表面溢出，造成印刷电路的故障，因此基板的制造必须使用无碱配方，不能含有氧化钠和氧化钾成分。

3、ITO 玻璃的主要成分是什么？

ITO 玻璃是覆盖有氧化铟锡导电层的玻璃，主要成分为氧化铟 In_2O_3 、锡、二氧化硅。

4、TFT 用玻璃的应变点至少要在多少度以上？

TFT 用玻璃的应变点至少在 $650^{\circ}C$ 以上。

5、为什么基板玻璃对化学稳定性的要求几乎是玻璃中最严格的？

因为基板玻璃要求必须能够经受显示器制造过程中的各种化学处理工序。

6、基板玻璃的制造工艺有哪几种？各有什么特点？

基板玻璃的制造工艺主要有浮法、流孔下引法、溢流熔融法三种。浮法工艺是利用液态锡与熔融玻璃的密度差，使玻璃在表面张力和重力的作用下自然摊平，特点在成型不需克服重力、充分发挥玻璃表面张力作用、横向温度均匀、产能高、易于扩大尺寸；流孔下引法是使玻璃在重力作用下由孔流出，经过滚轮碾压后成型，特点是流孔大小和下引速度决定玻璃厚度，温度分布决定玻璃平整度；溢流熔融法是将熔融玻璃导入导管，达到容积上限后从两侧向下溢出，在下方汇流形成片状基板，特点是不接触任何介质，因而不存在玻璃表面性质差异，不需要后端抛光加工。

7、简述浮法工艺，并说明其优缺点。

浮法工艺是利用液态锡与熔融玻璃的密度差，使玻璃在表面张力和重力的作用下自然摊平，优点在于产能高、易于基板玻璃面积尺寸的扩大。

8、简述流孔下拉法工艺，并说明其优缺点。

流孔下引法是使玻璃在重力作用下由孔流出，经过滚轮碾压后成型特点是流孔大小和下引速度决定玻璃厚度，温度分布决定玻璃平整度。流孔的作用十分重要，由于外力作用可能变形，影响玻璃厚度、平整度等关键指标。玻璃表面与滚轮接触，平整度会受到影响，需后段加工。

9、简述溢流熔融法工艺，并说明其优缺点。

溢流熔融法是将熔融玻璃导入导管，达到容积上限后从两侧向下溢出，在下方汇流形成片状基板，优点是不接触任何介质，因而不存在玻璃表面性质差异，不需要后端抛光加工。

10、基板玻璃行业三大技术壁垒主要体现在哪三个方面？（工艺、配方及设备）

基板玻璃行业三大技术壁垒主要体现在工艺、配方、设备方面。

三、偏光片及其性能

1、偏光片的主要作用是什么？

偏光片的主要作用是使通过的自然光变成偏振光。

2、简述偏光片的工作原理。

将碘分子或染料分子附着在聚乙烯醇（PVA）上，对 PVA 做单向拉伸时，碘分子或染料分子就在拉伸

方向排列一致。排列一致的碘分子或染料分子会吸收振动方向平行于分子长轴的光，透过与之垂直的光，使出射光为偏振光。

3、LCD 用偏光片分为哪两类？

LCD 用偏光片主要有碘系偏光片、染料系偏光片。

4、碘系偏光片具有什么特性？有什么优缺点？

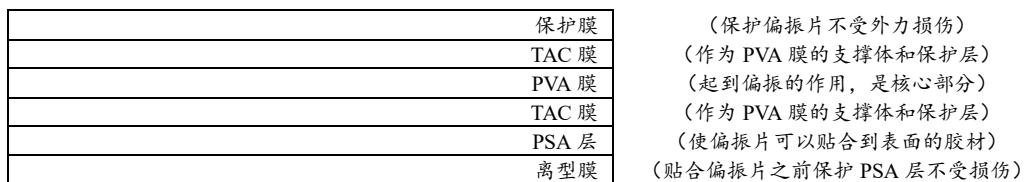
碘系偏光片具有高透过性、高对比特性、宽域波长偏振特性。优点是光学特性好，价格经济，缺点是耐久性不高。

5、染料系偏光片有什么特性？有什么优缺点？

染料系偏光片耐久性好，耐高温高湿，但偏光性能较差。

6、偏光片的基本结构有哪些？并简单作图。

偏光片主要由聚乙烯醇（PVA）层、三醋酸纤维素（TAC）层、保护膜、离型膜、压敏胶（PSA）层复合制成。



7、简述 PVA 膜在偏光片中起的作用。

PVA 膜在偏振片中起到偏振的作用，是偏光片的核心部分，决定了偏光片的偏光性能、透过率色调等光学指标。

8、简述 TAC 膜在偏光片中起的作用。

TAC 膜一方面作为 PVA 膜的支撑体，保证延伸的 PVA 膜不会回缩，另一方面保护 PVA 膜不受外界物质损伤，保证偏光片的环境耐受性。

9、简述保护膜在偏光片中起的作用。

保护膜贴合在偏光片上可以保护偏光片本体不受外力损伤。

10、简述压敏胶在偏光片中起的作用。

压敏胶是偏光品贴合在 LCD 面板上的胶材，决定了偏光片的贴合性能和贴片加工性能。

11、简述离型膜在偏光片中起的作用。

离型膜是在偏光片贴合到 LCD 之前，保护压敏胶层不受损伤，避免产生贴合气泡。

12、简述位相差膜在偏光片中起的作用。

位相差膜用于步长液晶显示器内部液晶材料的位相差，起到提升液晶显示器的对比度、观看视角、矫正显示颜色等作用。

13、OLED 显示面板中的偏光片起什么作用？

OLED 显示面板中偏光片用来阻隔外界光的反射，以确保屏幕保持高对比度。

14、通过 PVA 膜拉伸前和拉伸后的碘分子分布情况说明碘分子在偏光片中所起的作用。

PVA 膜拉伸前碘分子在 PVA 中随机分布，拉伸后碘分子长轴方向与拉伸方向排列一致，会吸收振动方向与碘分子长轴平行的光，透过与之垂直的光，使 PVA 膜具备了偏光功能。

15、偏光片的偏振度怎么定义的？

偏光片的偏振度定义为 $S = \sqrt{\frac{T_{\parallel} - T_{\perp}}{T_{\parallel} + T_{\perp}}}$ ，其中 T_{\parallel} 是平行于偏振方向的透射率， T_{\perp} 是垂直与偏振方向的透过率。

16、单片偏光片的透过率怎么计算？

$$\text{单片偏光片透过率 } T_s = \frac{T_{\parallel} + T_{\perp}}{2}$$

17、两平行偏振片的透过率怎么计算？

$$\text{两平行偏振片透过率 } T_p = \frac{T_{\parallel}^2 + T_{\perp}^2}{2}$$

18、两垂直偏振片的透过率怎么计算？

$$\text{两垂直偏振片透过率 } T_s = T_{\parallel}T_{\perp}$$

19、入射自然光强度为 1，偏振片透光轴的透过率为 99.9%，吸光轴的透过率为 1%，计算：

(1) 单片偏光片的透过率；(2) 两平行偏振片的透过率；(3) 两垂直偏振片的透过率。

四、液晶及其性能

1、组成液晶的环状系统是什么基团？

组成液晶的环状系统是苯环、环己烷基团，或二者混合。

2、什么是液晶的清亮点？

液晶的清亮点是液晶转变为各向同性液体的相变温度。

3、混合液晶的清亮点怎么计算？

$$\text{混合液晶的清亮点 } T_C = \sum_i x_i T_{C_i} \text{, 其中 } x_i \text{ 是第 } i \text{ 种液晶的摩尔比。}$$

4、液晶的粘度影响显示的什么参数？

液晶的粘度影响液晶的灌注过程、响应速度。

5、液晶中 O 光和 E 光的偏振方向是什么方向？

液晶中 o 光的偏振方向垂直于液晶分子指向矢，e 光偏振方向平行于液晶分子指向矢。

6、液晶的介电各向异性怎么定义的？在电场作用下，怎么改变指向矢分布？

液晶的介电各向异性 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ 。在电场作用下， $\Delta\epsilon > 0$ 的正性液晶分子指向矢向平行于电场方向旋转， $\Delta\epsilon < 0$ 的负性液晶分子指向矢向垂直于电场方向旋转。

7、液晶的三种基本形变是什么？

液晶的三种基本形变是展曲形变、扭曲形变、弯曲形变。

8、影响液晶显示器响应速度的主要因素有哪些？怎么可以提高相应速度？

影响液晶显示器响应速度的主要因素有转动粘滞系数 γ_1 、等效弹性系数 K_{eff} 、液晶层厚度 d、介电各向

异性 $\Delta\epsilon$ 。提高响应速度，要降低 γ_1 、提高 K_{eff} 、减小 d（增大双折射率 Δn ）、增大 $\Delta\epsilon$

9、快速相应要求液晶材料具有什么特性？

快速响应要求液晶材料具有低 γ_1 、高 K_{eff} 、高 Δn 、大的 $\Delta\epsilon$ 。

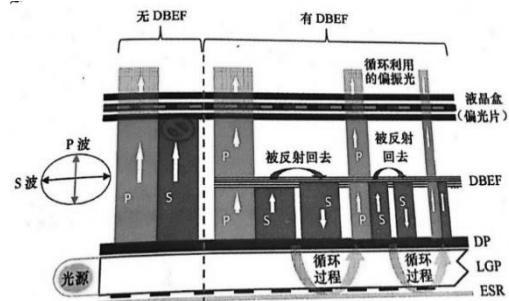


图 7.24 DBEF 膜增亮原理示意图

五、光学膜材

1、液晶显示器的视角是怎么定义的？

把可以清楚看到不失真影像的视线与屏幕法线的角度定义为液晶显示器的视角。

2、液晶显示中视角产生的原因有哪些？

液晶显示中视角产生的原因有被动发光结构、液晶的光学性质使不同方向看到的灰阶不同、漏光原因。

3、有哪些广视角技术？

广视角技术主要有：多畴垂直排列技术（MVA）、图像化垂直排列技术（PVA）；共面转换技术（IPS）；边缘场开关模式（FFS）；光学补偿双折射技术（OCB）；先进的广视角技术（ASV）。

4、背光模组在液晶显示器中起什么作用？

背光模组提供 LCD 中的背面光源，决定了显示屏的亮度、出射光均匀度、色阶等重要参数，很大程度上决定了液晶显示屏的发光效果。

5、直下式背光和侧入式背光放的位置有什么区别，各有什么优缺点？

直下式背光在 LCD 板的正下方排列光源，有点易实现高辉度化，缺点是易发生明暗条纹或亮度不均；侧入式背光是在导光板的侧面配置光源，有点优点是易实现薄型化，缺点是尺寸大型化较困难。

6、反射片在背光模组中起什么作用？

在背光模组中，反射片的主要作用是把从导光板（侧入式背光结构）或扩散板（直下式背光结构）中泄露的光再反射回去，以提高光源的利用率。

7、导光板在背光模组中起什么作用？

导光板的主要作用是引导光线方向，把侧入式水平入射光线转换为垂直出射光线，将线光源通过底部印刷点/注塑点漫反射转化为面光源。

8、导光板的原理？

导光板利用全反射效应，将外入射光集中在导光板内部；同时底部印刷有网点，破坏全反射，使光改变传播方向而透出导光板，从而将侧面光源转换为垂直基板出射的面光源。

9、扩散板在背光模组中起什么作用？

扩散板的主要作用是使入射光充分散射，并对灯影具有良好的遮蔽效果，使光源柔和均匀。

11、棱镜片在背光模组中起什么作用？

棱镜片使分散的光集中在一定范围内出射，达到提高亮度的效果。

12、反射型增亮膜（DBEF）如何增大透过率的？

反射型偏光增亮膜使入射光中的 p 光成分通过，反射 s 光成分，反射 s 光到达底部经一系列反射过程又被转换为自然光，反射后再次循环这个过程，最终实现充分利用光源、提高亮度的效果。

六、其他材料

1、聚酰亚胺是什么样的聚合物，是液晶显示器中哪部分的材料？起什么作用？

聚酰亚胺是指主链上含有酰亚胺环（-CO-NH-CO）的一类聚合物，是液晶显示器中的取向层材料，作用是使液晶材料在基板表面定向排列，并起到绝缘作用，限制电流。

2、叙述聚酰亚胺的性能？

聚酰亚胺有良好的化学稳定性，有优良的力学性能，高绝缘性，高介电，耐辐射，不可燃。

3、常用的液晶取向技术有哪些？

常用的液晶取向技术有机械摩擦、溅射或喷镀 SiO₂、离子束刻蚀、原子力扫描、光控取向。

4、用什么参数来表征表面取向？

用预倾角和锚定能表征表面取向。

5、环氧树脂是液晶显示器哪部分的材料？起什么作用？

环氧树脂是边框胶、银点胶、封口胶、缝 PIN 胶的材料，是液晶显示器的封接材料。

6、边框胶和银点胶用环氧树脂有什么区别？

边框胶中加入了 SiO₂ 或 Al₂O₃ 等绝缘性颗粒和控制盒间隙的玻璃纤维，银点胶中加入了导电粉或导电微球。

7、环氧树脂的固化方式有什么？各有什么特点？

环氧树脂的固化方式有热固化、紫外固化。热固化特点是需要 1h 以上时间，紫外固化需几十秒。

8、衬垫料在液晶盒中起什么作用？

衬垫料在液晶盒中的作用是确保液晶层具有一定的厚度，并保证其均匀性。

七、辅助材料

1、封框胶在液晶显示器中起什么作用？

封框胶在液晶显示器中的作用是将上下两片玻璃粘结，同时保持一定间隙，将灌入的液晶密封，放置外界污染物渗入。

2、封框胶主要有哪几类？

封框胶主要有两大类，热固化胶和紫外固化胶。

3、封框胶固化分为哪两个过程，固化目的是什么？

封框胶固化分为 UV 预固化过程和本固化过程。UV 预固化的目的是为了在接下来的搬运过程中，两基板不发生横向偏移。本固化的目的是确保粘结强度。

4、封框胶的工作原理？

封框胶的工作原理是，把胶状的 UV 胶均匀涂布在玻璃表面边框位置，上下两片玻璃贴合后，用紫外光照射，使胶由线性大分子结构交联为稳定的网状结构，具有很强的粘附能力，使两片玻璃贴合在一起。

5、封口胶在液晶显示器中的用途及其工作原理？

封口胶的作用是在液晶灌注后防止外界污染物及水分进入液晶屏内部。工作原理是，涂覆封口胶后利用紫外光的作用使胶本身发生化学交联和聚合作用，形成牢固的封口，防止屏内液晶向外渗漏，也防止外界污染物进入液晶中。

6、封金属引线胶有哪些要求？

封金属引线胶要求耐高温性能良好，纯度高，不腐蚀 ITO 膜。

7、导电粉在液晶显示器中起什么作用？

导电粉是掺杂在胶中形成导电胶，实现下玻璃基板的公共电极导通，起导电作用。

8、金属引线在液晶显示器中起什么作用？

金属引线的作用是将液晶显示器上的电极引脚与驱动电路的电极相连，使驱动电压信号加到液晶显示器上。

9、光刻胶由什么组成？最关键的组分是哪个？它影响光刻胶的什么性能？

光刻胶由感光剂、增感剂、溶剂组成。最关键的成分时感光剂，对光刻胶的感光度、分辨率起决定性作用。

10、光刻胶在液晶盒制造过程中起什么作用？

光刻胶的在液晶盒制造过程中用于印制电极图形、印制取向层、封框胶、导电胶等印刷工序。

11、在工艺中，光刻胶的使用操作工序是什么？

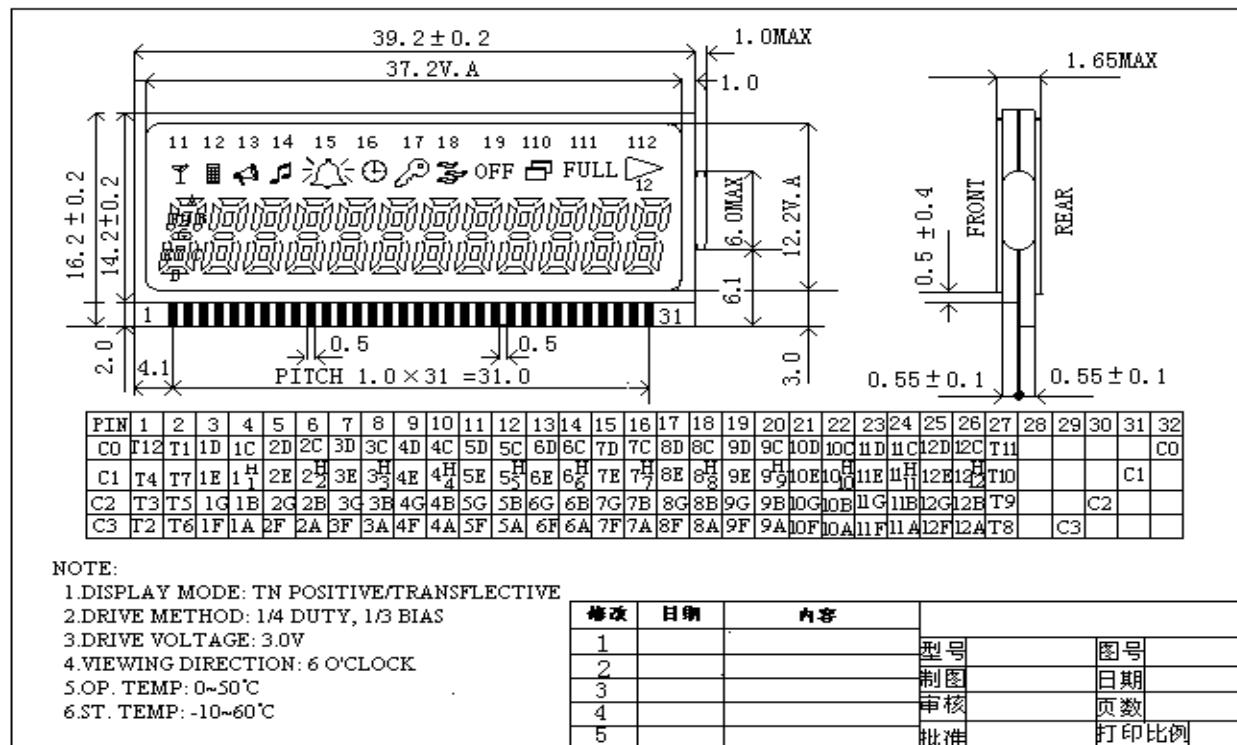
光刻胶的使用工序是配胶→涂胶→前烘→曝光→显影→坚膜→刻蚀→去胶。

12、叙述在光刻工艺中，浓盐酸、浓硝酸、氢氧化钠的用途。

浓盐酸、浓硝酸用于腐蚀无光刻胶覆盖的 ITO 膜，氢氧化钠用于清洗 ITO 玻璃，去除表面杂质、用于光刻时显影，溶除未感光部分的光刻胶、用于光刻后去胶，将经过腐蚀的玻璃表面光刻胶去除。

八、设计与制版

1、从外观图中能读出各部分的数据



从图中看出：

LCD 外形的长 $39.2 \pm 0.2\text{mm}$ ，宽 $16.2 \pm 0.2\text{mm}$ ；LCD 可视区的长 37.2mm ，宽 12.2mm ；LCD 大片的长 $39.2 \pm 0.2\text{mm}$ ，宽 $16.2 \pm 0.2\text{mm}$ ；LCD 小片的长 $39.2 \pm 0.2\text{mm}$ ，宽 $16.2 \pm 0.2\text{mm}$ ；引线电极共有 31；引线电极的长 1mm ，宽 0.5mm ；引线电极的间隙 0.5mm 。

2、菲林板在液晶显示器的生产过程中起什么作用？

菲林板是一种软性胶片掩模板，作用是通过制版方法在胶片上制成与电极图形相对应的黑白图案，黑色区域能遮挡光，透明区域可透光。

3、在液晶盒生产中所用的五张菲林板分别是什么？分别用在哪个工序中？起什么作用？（光刻、PI 涂覆、丝印成盒等工序中。）

五张菲林版是 Masku 菲林板、Maskd 菲林板、凸版菲林、边框菲林、银点菲林。其中 Masku 菲林板和 Maskd 菲林板用于光刻，使 ITO 玻璃上形成电极图案；凸版菲林用于制作取向层的印刷凸版；边框菲林用于制作边框丝印网；银点菲林用于制作银点丝印网；。

4、光刻掩膜版需要生产过程中的一些标记。（掌握标记代表什么及标记在生产中的要求）

上下两版重合的对位标记	光刻上版时的对位标记	PI 涂覆和丝印时的对位标记
玻璃切割时的对位标记	边框、PI 位置标志、液晶灌注口标记	光刻判别标志

5、光刻掩膜版的制作方法及工艺流程。

光刻掩膜版的两种制作方法：照相翻版的方法、计算机处理光绘版图的方法。

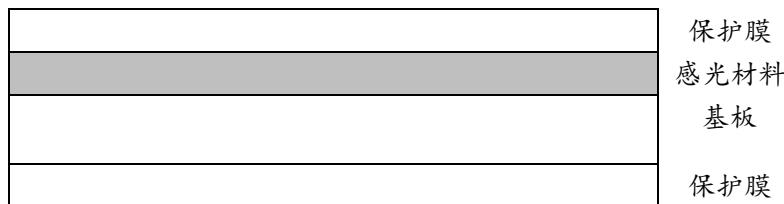
工艺流程：贴红膜→照相→精缩机→投到胶片胶曝光→冲洗得到图形→检查修图→上线使用。

6、LCD 铬版掩模版怎么做掩膜图形，与传统菲林板比较有什么优势？

LCD 铬版掩模版是在玻璃衬底上镀一层金属薄膜，主要优点是坚固耐磨，使用寿命长，分辨率高，反差大，化学稳定性好，不易受环境影响。

7、取向剂涂覆版（APR 版）的结构及制作工艺。

结构：



制作工艺：

菲林板制作→APR 版曝光→APR 版冲洗→烘干。

8、丝网版用于丝网印刷工序，分为印框版和印点版两种，丝网版的制作流程？

菲林板制作→绷网→贴感光膜→曝光→冲洗→烘干→封网→检查修网→上线使用

9、什么是丝网目数和丝网开度，这两个参数怎么影响丝印的图形质量？

丝网目数是单位长度内所含丝的根数，单位为目/cm 或目/英寸；丝网开度是网孔面积的平方根。目数越

高，丝网越密，印刷精度越高，图形越美观；丝网开度越大，网孔越大，印刷质量越好。相同的目数下，应选择开度大的丝网材料。

九、工艺流程及环境

1、液晶显示器制造全部过程大体可分为 40 多道工序，这些工序可分为哪五个阶段？每个阶段达到的工艺目的是什么？

液晶显示器制造的全部工序可分为 ITO 图形刻蚀（光刻）、取向排列、空盒制作、液晶灌注和成品检测五个阶段。

ITO 图形刻蚀（光刻）的目的是在导电玻璃上刻蚀出显示所需要的 ITO 电极图形；取向排列的目的是在刻蚀后的 ITO 玻璃表面涂覆取向层，并用特定的方法对取向层进行处理，使液晶分子能在取向层表面沿特定的方向取向；空盒制作的目的是把李阿玲片导电玻璃对叠，利用封接材料贴合并固化，制成间隙为特定厚度的玻璃盒；液晶灌注的目的是把液晶灌入到制作好的空盒内，并将注入口封堵；成品检测的目的是检查液晶屏显示图形是否符合要求，贴偏光片，检查外观，安装金属电极引线，对产品出厂检验，包装入库。

2、ITO 图形刻蚀(光刻)工艺流程，并掌握每个工艺流程的目的及简单操作。

ITO 玻璃投入：选择合适的 ITO 玻璃，ITO 面向上投入。

玻璃清洗干燥：用去离子水将 ITO 玻璃清洗干净，用物理或化学方法将 ITO 玻璃表面杂质和油污清除并干燥，保证下道工序的加工质量。

涂光刻胶（涂胶预烘）→前烘→曝光→显影→坚膜→刻蚀（酸刻）→去膜（高浓度碱液）→清洗干燥。

3、光刻工艺中前烘的目的是什么？

前烘的目的是使光刻胶中的溶剂挥发，增加与玻璃表面的粘附性。

4、光刻工艺中怎么进行曝光？曝光的结果是什么？

用紫外光通过余弦制作好的电极图形掩模板照射光刻胶表面，使被照射部分的光刻胶层发生反应，改变了在显影液中的溶解度。

5、光刻工艺中怎么显影？所用化学药品是什么？

显影：用显影液处理玻璃表面，将经过光照分解的光刻胶层（正性胶）除去，保留未曝光部分的光刻胶层。使用的化学药品是低浓度 NaOH 溶液。

6、光刻工艺中用什么材料来刻蚀，要刻蚀掉哪一部分？

用适当的酸液将无光刻胶覆盖的 ITO 层膜腐蚀掉。

7、光刻工艺中用什么方式去膜，要去掉哪一部分？

用高浓度碱液作脱膜液，将玻璃上剩余的光刻胶剥离，使 ITO 玻璃上形成与光刻掩模板图形完全一致的 ITO 图形。

8、取向排列的工艺流程？

涂取向剂→固化→取向摩擦→清洗。

9、空盒制作的工艺流程？

丝印边框及银点胶→喷衬垫料→对位压合→固化。

10、液晶灌注的工艺流程？

切割→灌注液晶→封口→分粒→清晰→再配向。

11、成品检测都包括哪些检测？

光台检验→电测图形检验→贴偏光片→消泡→外观检验→上引线→终验→包装→入库。

12、叙述不同工序中尘埃污染对液晶显示器制造的危害。

在光刻工序中的涂光刻胶、曝光等工序，如果有尘埃落在玻璃掩模板上，就会在显影、刻蚀中造成短路、断路、针孔气泡等缺陷。在涂取向层时如果在图层上粘附了尘埃物，影响取向效果；在成盒或液晶灌注时有污染，会对产品的电参数带来影响。

13、通常液晶显示器洁净室的温度和湿度控制在哪个范围？

温度控制在 $22\pm3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度控制在 $55\pm5\%$ 。

14、为防止悬浮尘粒进入洁净室，工作人员及设备、材料和零件等进入洁净室前，要做什么处理？

工作人员在进入洁净室前必须将衣服外面的尘粒清除，在经过吹淋后可进入洁净室；设备、材料、零件和其他物件在进入洁净室前必须经受净化处理，直到达到所生产的制品的洁净度，必须在特殊的吹淋室内经受 30 分钟的吹淋。

十、前工序工艺 1

1、简述玻璃清洗的方法及其优缺点？

清洗方法主要有有机溶剂清洗、碱液加超声波清洗、中性清洗剂清洗。有机溶剂清洗。有机溶剂清洗是按照甲苯→丙酮→乙醇→去离子水的顺序清除表面油污，或使用表面活性剂→去离子水清除油污。超声清洗是利用超声空化作用破坏不溶性表面污物，优点是速度快、质量高、易于实现自动化，适于清洗表面形状复杂的工件。

2、清洗后的玻璃为什么要做干燥处理？采用的方法有哪几种？

清洗后的玻璃表面沾有水或有机溶剂等清洗液，会对后续工序造成不良影响，特别是对后续工艺产生浮胶、钻蚀、图形不清晰等问题。采用的方法有烘干法、甩干法、有机溶剂脱水法和风刀吹干法。

3、超声清洗的特点是什么？简述超声清洗的物理机制？

超声清洗的特点是速度快、质量高、易于实现自动化，适于清洗表面形状复杂的工件。超声清洗的物理机制是超声空化作用，液体中的微气泡在声场作用下振动，声压达到一定值时气泡迅速增长，突然闭合，闭合时产生冲击波，在周围产生高压，破坏不溶性污染物使其分散在清洗液中。

4、清洗与干燥工艺流程？

玻璃→装篮→测导电层方向→洗洁精洗、碱液清洗（超声）→高纯水清洗（超声）→异丙醇脱水（超声）→离心甩干→烘箱烘干。

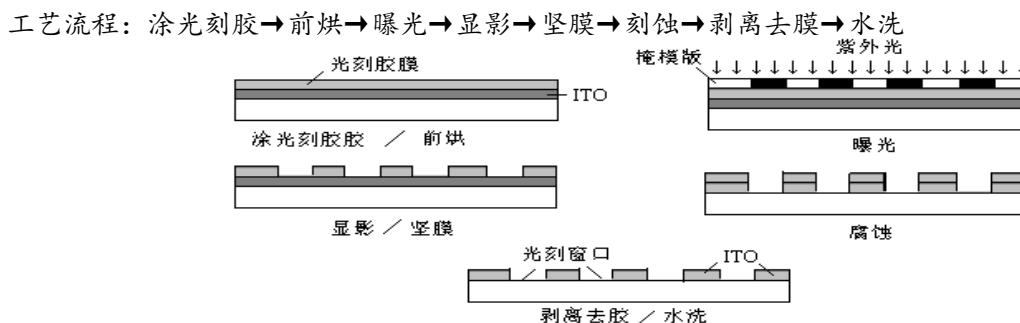
5、怎么根据污染的种类，选用对症的清洗方法？

去除油脂类——有机清洗，紫外光清洗；去除有机物——弱碱液清洗、等离子体清洗；去除无机物——弱酸、气流、喷淋清洗；去除残留微粒子——超声、喷淋、气流清洗。

6、光刻的目的？

按照产品设计要求，在导电玻璃上涂覆感光胶，并进行曝光，然后利用光刻胶的保护作用，对 ITO 导电层进行选择性化学腐蚀，从而在 ITO 导电玻璃上得到与掩模版完全对应的图形。

7、画出光刻工艺的工艺图。



8、光刻胶的配比原则？

光刻胶的性能与光刻胶的配比有关，配比原则是既要使光刻胶有良好的抗蚀能力，又要有较高的分辨率。但这往往是互相矛盾的，不能同时达到。

由于光刻胶中溶剂用量的多少决定着光刻胶的稀稠，从而影响光刻胶的厚薄。故当刻蚀细小图形时，为提高分辨率，必须采用较稀的胶，使光刻胶膜薄一些。但当被刻蚀的 ITO 层较厚时，由于腐蚀时间较长，为了满足抗蚀能力的要求，需采用较浓的光刻胶。

9、简述前烘工艺？

前烘的目的是促使胶膜内溶剂充分挥发，使胶膜干燥以增加胶膜与 ITO 表面的粘附性和胶膜的耐磨性。前烘方式有两种：恒温干燥箱中烘干、红外炉烘干。影响前烘质量的主要因素是烘干温度和烘干时间。

胶膜烘烤不足时（温度过低或时间过短），胶膜内的溶剂未充分挥发掉，曝光显影时，未受光的部分也被溶除形成浮胶或使图形变形；胶膜烘烤时间过长或温度过高时，会导致胶膜翘曲硬化，在显影时会显不出图形或图形留有底膜。

10、简述曝光工艺？

曝光就是在涂好光刻胶的玻璃表面覆盖掩模版，通过紫外光进行选择性照射，使受光照部位的光刻胶发生化学反应，改变了这部分胶膜在显影液中的溶解度。显影后，光刻胶膜显现出与掩模版相对应的图形。

一般曝光的操作过程是：先将曝光机的紫外光灯打开预热，待电源稳定，光刻版放在版框上通过显微镜进行初对位。要求光刻版两侧标记与显微镜“+”字线重合然后锁紧固定版夹，初调好的版框图形面向下放入曝光机框架上，取一张涂有光刻胶的玻璃，胶面朝上放在曝光平台，用定位销定位。

11、曝光时间过长过短都有什么影响？

曝光时间过短，光刻胶感光不足，其化学反应不充分，显影时受光部分溶解不彻底，易留底膜；曝光时间过长，不该曝光部分边缘也被微弱感光，刻蚀后图形边界模糊，细线条变形严重。

12、显影？

显影就是将感光部分的光刻胶溶除，留下未感光部分的胶膜从而显示所需要的图形。显影过程是将曝光后的玻璃放入显影槽中，显影液通过摇摆的喷头喷洒在玻璃的光刻胶面上，过一定时间显出图形后，玻璃再通过水洗，将显影液冲掉。显影液有两种：一种是与光刻胶配套的专用显影液，另一种是一定浓度的碱液（KOH 或 NaOH）。第二种使用普遍些。

13、显影时时间和温度控制不好有什么影响？

若显影时间不足或温度低，则感光部的光刻胶不能完全溶解，留有一层光刻胶，在刻蚀时，这层胶会对 ITO 膜起保护作用，使应该刻蚀的 ITO 被保护下来。若显影时间过长或温度过高，显影时未被曝光的光刻胶会被从边缘向里钻溶。使图形边缘变差，再严重会使光刻胶大片剥落形成脱胶。

14、坚膜？

显影后用适当的温度烘焙玻璃以除去水分，增强胶膜与玻璃的粘附性，这个过程成为坚膜。坚膜的方法有两种，烘箱坚膜、红外炉坚膜。坚膜的控制条件是温度和时间，与前烘相同。

15、刻蚀

刻蚀是用一定比例的酸液把玻璃上未受光刻胶保护的 ITO 膜腐蚀掉，而将有光刻胶保护的 ITO 膜保存下来，最终形成 ITO 图形。

选用的腐蚀液必须是能腐蚀掉 ITO 胶又不能损伤玻璃表面和光刻胶，一般选用一定比例的 HCl、HNO₃ 和水的混合液。

16、刻蚀的温度和时间怎么控制？

刻蚀的温度和时间对刻蚀效果影响很大，两者的变化也影响到刻蚀速度。速度太快难以控制容易造成过

刻蚀；速度太慢需要时间长，则光刻胶抗蚀能力降低，容易出现溶胶现象。一般恒定刻蚀温度，用时间调整刻蚀效果，刻蚀时间应由刻蚀速度和 ITO 膜厚度来确定，ITO 膜越厚刻蚀时间就越长。通过试验可确定不同 ITO 膜厚度应选用多少刻蚀时间，刻蚀时间的控制对刻蚀效果非常关键。时间太短 ITO 膜刻蚀不净，图形会出现短路；时间太长，由于光刻胶抗蚀能力下降，图形变差或被蚀断。

17、去膜和清洗？

去膜就是把刻蚀后玻璃上剩余的光刻胶去掉。去膜液是用碱液配制而成的，它的碱浓度要高于显影浓度，去膜是在一定温度条件下，用碱液冲洗并用滚刷擦洗玻璃以保证将玻璃上残胶去除净。

清洗是冲洗干净玻璃表面的残胶、杂质等，清洗是用高纯水冲洗玻璃上残留碱液同时冲洗残胶。

18、简述引起光刻工艺质量问题的因素（浮胶、毛刺和钻蚀、针孔、小岛）

浮胶是显影或腐蚀过程中常出现的一种不良现象，也是影响较为严重的一种光刻弊病。

毛刺和钻蚀：在刻蚀时，如果刻蚀液渗透光刻胶的边缘，则会使图形边缘受到腐蚀，从而破坏掩蔽区（图形）的 ITO 层。若渗透腐蚀作用较轻时，图形边缘出现针刺状的局部破坏，习惯上常称为“毛刺”；情况严重时，图形边缘就出现“锯齿状”或“绣花球”似的图案，称为“钻蚀”。

针孔：当 ITO 层上的光刻胶膜存在漏洞小孔时，腐蚀后在 ITO 层上会出现相应的小孔（一般仅为微米的数量级），这些小孔习惯上称为“针孔”。

小岛：腐蚀 ITO 层后，发现留有小的 ITO 层——“岛屿”，它们的尺寸一般比针孔大些，形状不规则，习惯称之为“小岛”。

十一、前工序 2

1、取向排列的主要方法有哪两种？简述这两种方法的优缺点

取向排列的主要方法有倾斜蒸镀法、摩擦法。倾斜蒸镀法是在玻璃基板表面以小角度倾斜蒸镀 SiO_2 、 MgO 等薄膜，形成凹凸表面，液晶分子将沿沟槽排列。倾斜蒸镀法可精确控制液晶分子取向和预倾角，但不适合工业化生产。摩擦法是沿一定的方向摩擦玻璃基片或表面的覆盖膜，使液晶分子沿着摩擦方向排列，工艺简单，适合工业化生产。

2、取向排列的一般工艺流程。

清洗→涂膜→预烘→固化→摩擦。

3、简述凸版印刷法的原理及过程。

原理：凸版印刷是一种选择性涂覆，将取向材料溶液印刷到指定范围内。

过程：凸版印刷时先将取向材料溶液加到转印版上，然后用刮刀刮平，开动印刷滚筒，将转印版上的溶液粘附在印刷用的凸版上。当滚筒开到工作台时，凸版上的溶液转印到玻璃上。

4、简述凸版印刷法的优点。

凸版印刷法的优点是可以把取向膜印在指定范围的区域内，不会影响到银点处的导通性和边框处的气密性。可以通过调整落料量改变材料溶液的浓度和印刷次数来自由调整膜的厚度。

5、简述摩擦对液晶分子取向的原理。

一方面通过摩擦在表面形成深浅宽窄不一的沟槽，与液晶分子尺寸相当的沟槽对液晶分子取向产生作用；另一方面摩擦导致有机高分子重新排列，液晶分子与表面有序排列的分子之间的范德瓦尔斯作用或极性官能团的有序分布引起液晶分子在表面有序取向排列。

6、如何获得好的取向效果？

为了获得好的取向效果，应该在减少宽大沟槽的同时增加细微沟槽的密度。若摩擦强度太大，将造成较多的宽大沟槽；摩擦强度太小，将造成细微沟槽密度的下降，因此要适当地选择摩擦强度。

7、怎么检验取向效果？

将摩擦好的玻璃取出两片，一片玻璃上滴入液晶，另一片按贴合方向贴合，在正交偏光系统下检测。若有液晶处呈蓝黑色，则正常；依然透明或浅灰色，则说明存在取向差错或取向效果很弱。

十二、前工序工艺 3

1、什么是丝网印刷技术？

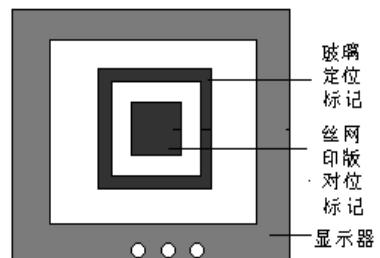
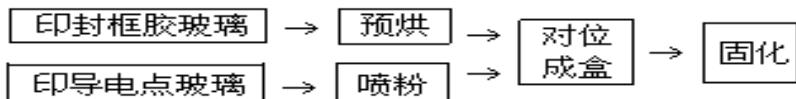
丝网印刷是将丝织物、合成纤维或金属丝网绷在网框上，利用感光材料通过照相制版的方法制作丝网印版，使丝网印版上图文部分的丝网孔为通孔，而非图文部分的丝网孔被堵住，印刷时通过刮板的挤压，使印刷胶体通过图文部分的网孔转移到承印物上，形成与原稿一样的图文。

2、全自动丝网印刷机能做到迅速准确地对位，其对位原理是什么？

对位原理是一束光通过光路系统照射在玻璃定位标记和丝网版的丝印对位标记上，再经丝网上的反射镜把光路反射到摄像机中，摄像机通过光电转换将信号通过监视器把摄到的图象放大显示出来。

由于屏幕的图像是被放大的，丝网和玻璃的对位偏差能容易地发现和修正，同时在印刷过程中监视器能把每片印刷玻璃对位情况反映出来，因此由于丝网变形引起的错位或曝光时跑位造成的偏差也就有了被检查出来的可能。

3、制盒的工艺流程。



4、怎么确保制盒工艺中上下两光刻版的图形重合准确？

为了保证重合准确，在设计时两个版的两侧分别做了对位标记“①”和“●”。当两个版的“①”和“●”重合在一起组成“◎”时，即圆与圆点的中心重合在一起才能使图形不出偏差。

5、全自动对位压合设备的贴合的主要过程。

左右两平面工作台用真空吸附方法各吸附一片 ITO 玻璃（喷有衬垫料的一片应放于非运动工作台上），一个工作台不动，另一个工作台以水平轴为中心作 180°的转动与固定工作台重合，光学对位系统分别寻找上、下板玻璃的对位标记，然后记忆。

上板玻璃下落至上下玻璃有一定间隙时设备通过对位标记自动移动平台，使上下玻璃的标记中心重合，最后上板下落，并施加一定大小的气压，使两片玻璃紧密贴住，粘合在一起，之后旋转工作台转至初始位置。整个对位过程由两个电视监视器观察，它的对位精度非常高，误差可控制在 $\pm 5\mu\text{m}$ 内。

6、丝印成盒工序中影响盒厚均匀的因素？

ITO 玻璃的平整度；封框胶预处理工艺不当或热膨胀冷却中收缩；导电胶选择不好或印点过大，导电材料粒径大小；衬垫料的粒径和分布；尘埃污染；丝网印刷工艺条件如压力、速度等；喷粉工序；压合压力大小和分布。

7、怎么检验液晶盒厚度均匀性？（观察干涉环（牛顿环））

用钠光灯照射使之形成干涉光环，根据环的状态判断均匀程度。若是圆形或椭圆形，则认为盒厚均匀质量符合要求。

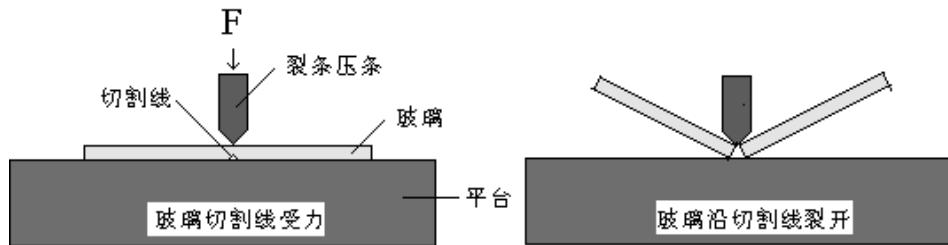
8、怎么消除电极底影？

根据 ITO 层厚度和折射率以及取向层折射率，设计取向层厚度，可以尽量消除电极底影。

十三、前工序工艺 4

1、切割工艺中，切割后的玻璃怎么裂断？

裂断是用裂片机完成，裂片的原理是在有切割刀痕的玻璃的背面施加一定压力使玻璃发生微小形变，玻璃沿切割线裂开。



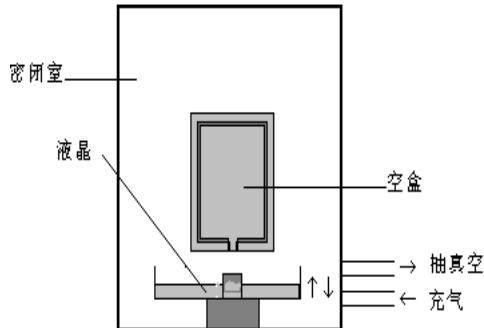
2、简述灌注液晶的工艺原理。

将空盒放置在抽真空的液晶灌注密闭室内，盒中的气体由封口处抽出，然后使封口处接触液晶，并向真空中充气，液晶在外界气压作用下，被充入空盒内。

一般当空盒不大时，在一定真空条件下，仅利用毛细管现象，就可将空盒的大部分容积注入液晶材料。

因而将空盒和液晶材料都进行抽空以后，就可在液晶盒的注入孔（密封边框的缺口）压进接合垫圈，把液晶材料从其贮存容器，经过接合垫圈，慢慢地注入到空盒中。

当空盒的大部分注入了液晶材料以后，再向液晶灌注室充入经过充分干燥的氩气或氮气等惰性气体，利用惰性气体的压力，使液晶材料充满液晶盒。



3、封口的工艺流程。

将封口胶点在液晶盒封口处，在-10°C 左右冷冻，使封口胶收缩入封口内，经过紫外光照射后，将粘在液晶盒表面的胶刮去，并用清洗剂将液晶盒洗净。

点封口胶→冷冻→紫外光照射→刮胶→清洗。

4、各工段流程图（见 ppt）

（前工序图形段、前工序定向段、前工序组合段、后工序）

5、光台检测的基本原理。

光台检测是根据液晶的旋光特性，在两片正交（或平行）偏振片之间形成暗场（或亮场）。如果盒内有内污、盒厚不均等问题，就可以在暗场（或亮场）下观察到白点（或黑点）以及彩虹等异常，以此对产品分类。

6、电测工艺原理。

在显示像素上加交流驱动电压，当电压有效值大于液晶显示器阈值电压时，就显示出相应的图形，对显示器进行测试。

十四、后工序工艺

1、液晶显示器的连接方式有哪三种？

斑马胶条（导电橡胶条）压接、金属引线卡接、导电薄膜热压连接。

2、斑马胶条的连接适用于什么情况？怎么保证纵向导电，横向绝缘？

斑马胶条的连接适用于印刷电路板电极引脚与液晶显示器电极引脚完全吻合的情况。斑马胶条中导电橡胶层与绝缘胶层间隔排列，很次纵向导电、横向绝缘。

3、导电薄膜热压连接的优点。

导电薄膜具有结构薄、可弯曲，对液晶显示器和印刷电路板的电极引脚数目和排列方式无严格限制的优点。

4、比较三种不同的连接方式的优缺点及适用范围。

斑马胶条连接：优点是安装容易、可拆卸。缺点是体积大，抗恶劣环境性能差，对印刷电路板表面光洁度要求高。

金属引线连接：优点是牢固、可靠性高，显示器安装方便。缺点是体积较大，要求显示器的电极引脚间距宽，对玻璃厚度有要求，常用于仪表类电极数目少、环境差的场合。

导电薄膜连接：优点是占用空间小、重量轻，对印刷电路板的相对位置没有要求，适用于多电极密集排列的场合。缺点是无法拆卸，维修困难，恶劣环境下易断裂。

5、上金属引线加工工艺流程。

印导电胶→裁腿→上引线腿→涂 UV 胶→UV 照射→切腿→弯腿→测试

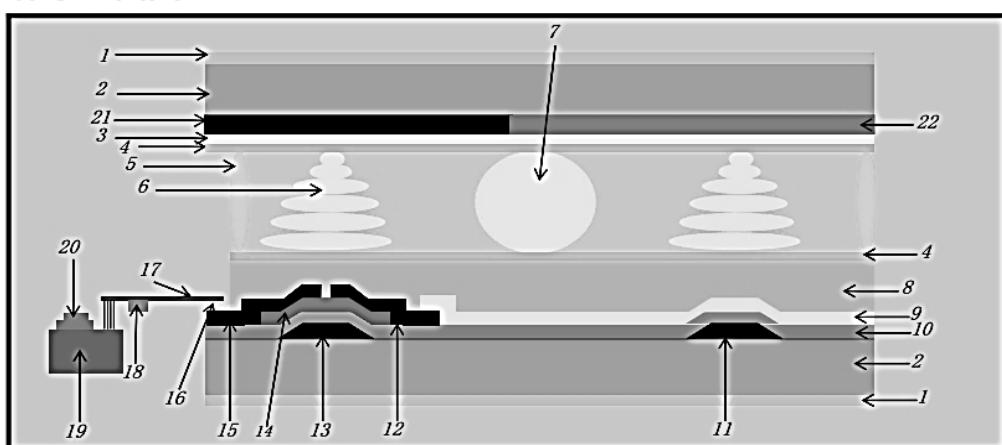
十五、TFT-LCD

1、TFT-LCD 中文名字是什么

薄膜晶体管液晶显示器（Thin Film Transistor Liquid Crystal Display）。

2、TFT-LCD 剖面图中各元件名称。

2) 像素剖面图



- | | | | |
|--------|------------|--------------------|------------------|
| 1、偏振片 | 7、隔垫物 | 13、TFT栅电极 | 19、印刷电路板 (PCB) |
| 2、玻璃基板 | 8、保护层 | 14、有机半导体有源层 | 20、控制IC |
| 3、公共电极 | 9、ITO像素电极 | 15、TFT源电极及引线 | 21、黑矩阵 (BM) |
| 4、取向层 | 10、栅绝缘层 | 16、各向异性导电胶 (ACF) | 22、彩膜 (CF) |
| 5、封框胶 | 11、存贮电容底电极 | 17、TCP | |
| 6、液晶 | 12、TFT漏电极 | 18、驱动IC | |

3、屏幕的分辨率为 1025*768，表示什么意思？

水平线上包含有 1025 个像素点，共有 768 条线，即扫描列数为 1025 列，行数为 768 行。

4、PPI 是什么意思？

PPI (Pixel per inch) 每英寸的像素数目。

5、计算边长为 0.264mm 的像素的 PPI。

$$PPI = \frac{lin}{0.264mm} = \frac{25.4mm}{0.264mm} = 96.2$$

6、计算 PPI=100 的 SXGA (1028×1024) 的对角线尺寸？

$$\sqrt{\left(\frac{1028}{100}\right)^2 + \left(\frac{1024}{100}\right)^2} = 14.5in$$

6、计算 12.4 英寸（1 英寸=2.54 厘米）XGA (1024*768) 的像素大小与 PPI？

$$\text{像素大小 } \frac{12.4 \times 25.4}{\sqrt{1024^2 + 768^2}} = 0.246\text{mm}, \quad PPI = \frac{\sqrt{1024^2 + 768^2}}{12.4} = 103.2$$

7、亮度的定义？

亮度是显示器在最高灰阶画面之下明亮的程度，单位是 cd/m²

8、对比度的定义？

对比度是屏幕纯白色亮度和纯黑色亮度的比值。

9、响应速度的定义？

响应是指像素由亮转暗或由暗转亮所需的时间，单位是 ms。响应速度分为两个部分，上升时间和下降时间，表示时以二者之为准。

10、每个像素由三个子像素组成，计算 6 比特数据可以合成的颜色数。

可合成的颜色数： $2^6 \times 2^6 \times 2^6 = 2^{18}$

11、TFT-LCD 工艺流程分为哪四大模块？（阵列工艺、彩膜工艺、成盒工艺和模块工艺）

阵列工艺、彩膜工艺、成盒工艺、模块工艺。



12、阵列工艺采用 5 次光刻工艺，每次光刻都包含哪三个步骤？

每次光刻都包含薄膜、光刻、刻蚀三个步骤。

13、成盒工艺主要包括哪四个步骤？

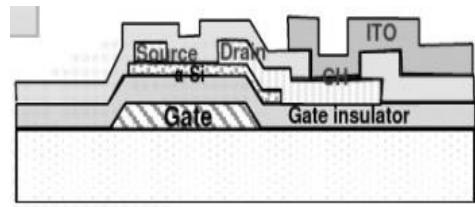
成盒工艺主要包括取向层涂覆、摩擦、对盒、切割四个步骤。

14、模组工艺主要包括？偏光片贴附、外部引线连接、背光源装配和老化性测试。

模组工艺主要包括偏光片贴覆、外部引线连接、背光源装配、老化性测试四个步骤。

15、阵列工艺 5 次曝光的 Array 制程：

以玻璃为基板，第一次光刻形成栅极，原料为 Cr；第二次光刻形成“硅岛”，即 SiN_x, a-Si, n⁺-a-Si 层；第三次光刻形成 ITO 导电膜；第四次光刻形成源极漏极，原料为 Cr，并进行 n⁺切断，基本形成 TFT；第五次光刻形成 SiN_x 保护膜。



16、阵列工艺中溅射的目的。

溅射的目的是形成金属膜层，包括 gate 层、源/漏极层和像素层（ITO）。

17、阵列工艺中等离子体增强化学气相沉积的目的。

PECVD 的目的是形成绝缘膜层、a-Si 层、n⁺a-Si 层、SiN_x 保护层）

18、阵列工艺中湿刻的目的是什么？采用湿刻工艺的有哪些层？

湿刻的目的是刻蚀掉未被光刻胶掩盖的金属膜，采用湿刻工艺的有 gate 层、源/漏极层和像素层（ITO），主要刻蚀对象为

19、阵列工艺中干刻的目的是什么？采用干刻工艺的有哪些层？

干刻的目的是刻蚀掉未被光刻胶掩盖的非金属膜，形成 TFT 基板的各种图案，采用干刻工艺的是硅层。

	工艺名称	工艺目的
1	洗净	清洁基板表面，防止成膜不良
2	溅射 (SPUTTER)	成Gate膜、D/S膜和Pixel膜
3	P-CVD	成a-Si膜和SiNx膜
4	PR/曝光	形成与MASK图案相一致的光刻胶图案
5	湿刻 (WE)	刻蚀掉未被光刻胶掩蔽的金属膜
6	干刻 (DE)	刻蚀掉未被光刻胶掩蔽的非金属膜
7	剥离	去掉残余的光刻胶
8	退火	修复晶体损伤，改善晶体性质
9	检查修复	监控产品不良，修复不良

十六、彩膜工艺

1、彩膜玻璃基板上主要有哪些膜层？简述每一膜层的作用。

玻璃衬底，作为衬底材料；黑矩阵，用于遮光；红绿蓝三基色色阻层，用于对透射光着色；平坦层，使表面平坦化，同时作为着色层的保护层；ITO 层，驱动液晶的透明电极膜；柱状隔垫物，保证盒厚均一。

3、彩膜制作工艺流程。

在玻璃基板上涂布黑矩阵材料，经过曝光和显影形成了黑矩阵图案；然后涂布一层色阻，经过曝光和显影即在基板形成了一层色阻图案，接着再涂布另外一层色阻，，经过同样的工艺步骤，最后完成 RGB 三种色阻的图案；然后涂布一层 OC，经过膜层热固化实现平坦效果，同时防止色阻层金属离子进入液晶；用溅射法在上面沉积一层 ITO 透明导电电极；涂布一层 PS 光阻，经过曝光和显影后形成 PS 图案。以上完成了彩膜基板的工艺流程。

4、黑矩阵的主要作用。

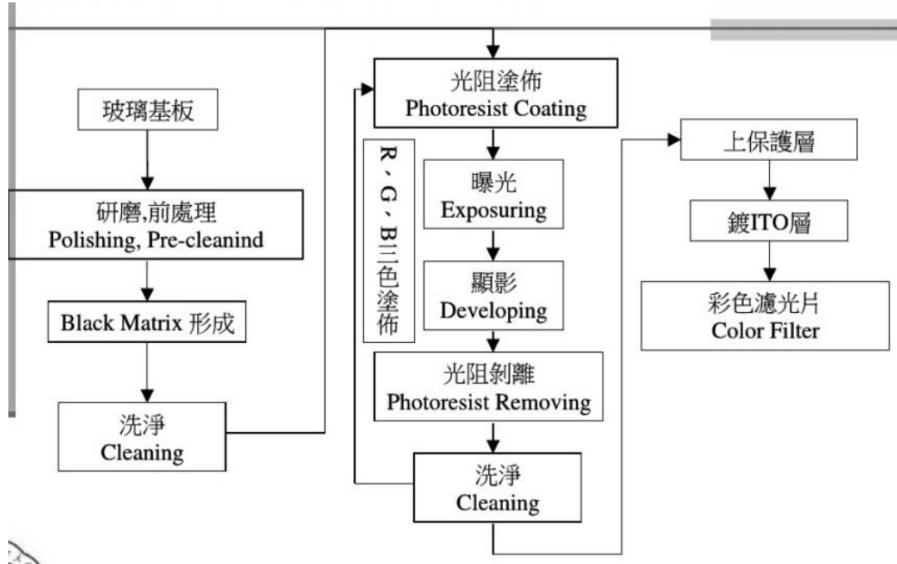
遮蔽像素区域（开口部分）之外的背光源的漏光；防止相邻 RGB 亚像素混色，提高显示对比度；防止光线照射 TFT 器件的 a-Si 层而增加漏电流；防止背景光的写入造成对比度低，可明显提高对比度。

5、色阻由什么组成？起什么作用？

色阻由红、绿、蓝三基色色阻排列组成，作用是将背光源的白光过滤为三原色，配合 TFT 改变其比例而形成多彩色。

6、叙述彩膜制造过程中的涂布工艺过程。

彩膜制造中的涂布工艺，使用旋涂、刮涂等方法将材料均匀分布在基板上形成薄膜，经过曝光和显影，残留部分在基板上形成所需的图案。使用涂布工艺的有黑矩阵层、色阻层、平坦层（无曝光显影）、PS 层。



附：混合液晶公式

$$\text{清亮点 } T_C = \sum_i x_i T_{C_i}$$

$$\text{熔点 } (T_{mp})_i = \frac{\Delta H_i}{\frac{\Delta H_i}{T_{mi}} - R \ln x_i}$$

$$\text{粘滞系数: } \ln \eta_i = \sum_i x_i \ln \eta_i$$

$$\text{弹性常数: } \sqrt{K_{\alpha\alpha}} = \sum_i x_i \sqrt{K_{\alpha\alpha i}}$$

$$\text{胆甾相液晶螺距: } \frac{1}{P} = \sum_i \frac{x_i}{P_i}$$

式中 x_i 是第 i 种液晶的摩尔比， ΔH_i 是第 i 种液晶的相变焓， R 是气体常数 $R = 1.987 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

变换摩尔比与质量比：

$$(wt\%)_i = \frac{x_i M_i}{\sum_j x_j M_j}$$

