

触摸屏制造工艺实战与难点

编写：李星

【一】ITO FILM 的调质处理

近年来，由于薄膜应用材料的发展，与 ITO 玻璃一样，ITO FILM 也越来越多的应用到了电子信息材料上，比如说应用在 LCD、OLED 显示器基板上，触摸屏上探测电极上，显示器模组的电磁屏蔽上等等。如何在这些产品的生产加工过程中，合理使用 ITO FILM 材料，也慢慢为电子制造行业所重视。

我们知道，ITO FILM 与 ITO 玻璃在产品制造生产过程中的区别在于，ITO FILM 在正式上生产线使用之前，要预先进行一道调质处理工序，也就是很多触摸屏厂家俗称的“ITO FILM 老化”工序。为什么 ITO FILM 要预先进行一道这样的调质处理“ITO FILM 老化”工序，而 ITO 玻璃就不用呢，这就要从它们所用的基材不同说起了。

一、为什么要进行调质处理：

目前最常用的 ITO FILM 的基材，是一层在上面进行过硬化层涂布处理过的 PET 膜，它的材质是 polyethylene terephthalate，中文名叫聚对苯二甲酸乙二醇酯，简称 PET，它在较宽的温度范围内具有优良的物理机械性能，长期使用温度可达 120℃，电绝缘性优良，甚至在高温高频下，其电性能仍较好，抗蠕变性，耐疲劳性，耐摩擦性、尺寸稳定性都很好。它有个特点是耐电晕性较差，所以可以在其表面进行金属镀膜二次加工，从而使得进行金属镀膜二次加工后的 PET，广泛应用于包装业、电子电器、医疗卫生、建筑、汽车等领域。

PET 的热变形温度是(1. 8MPa) 224℃，熔点 254℃，所以很易于加工成应用薄膜材料。

为了更好的应用在电子产品上，PET 膜上一般都要再涂布一层聚丙烯酸酯类的硬化层，也就是俗称的压加力涂层或加硬层，让 PET 膜表面的硬度能达到 2H 以上，让它更耐磨擦，更难被划伤。这种压加力的特性是热变型温度 $\geq 78^{\circ}\text{C}$ ，热软化温度 $\geq 105^{\circ}\text{C}$ 。

生产中使用的 ITO 玻璃是一种浮法玻璃，是以硅酸盐为材料，经 1300℃ 高温炉熔融成液体，流经锡水表面成型的平板玻璃。

这里说的 ITO 是一种 N 型氧化物半导体-氧化铟锡，ITO 薄膜即铟锡氧化物半导体透明导电膜，通常有两个性能指标:电阻率和透光率，

在氧化物导电膜中，以掺 Sn 的 In_2O_3 (ITO)膜的透过率最高和导电性能最好，而且容易在酸液中蚀刻出细微的图形。其中透过率以达 90%以上，ITO 中其透过率和阻值分别由 In_2O_3 与 Sn_2O_3 之比例来控制，通常 $\text{Sn}_2\text{O}_3:\text{In}_2\text{O}_3=1:9$ 。

ITO 玻璃和 ITO FILM 基材上所镀的 ITO 镀层，是用磁控溅射沉积上去的。其中镀膜的温度是影响 ITO 膜透光性和电阻率的最明显因素，当镀膜温度在 100℃ 以下时，膜层中多数是一些低价的铟锡氧化物，透光性较低，阻值也很高。随着镀膜温度升高，薄膜的结晶越趋完美使载流子迁移率有所提高，而光线透过率明显升高，阻值也相应降低，当温度达到 380℃ 附近时，光线透过率达到最高。

对于 ITO 平板玻璃来说，完全可以用最好的温度条件来进行 ITO 镀膜，因为平板玻璃的熔化温度在千度以上，所以 380℃ 最优镀膜条件对玻璃基板没什么影响。

可是另外一种以 PET 为原料基材中，不但其本身的热变形温度只有 224℃，并且其上面涂布的压加力层的热变形温度仅为 78℃。为了不在镀 ITO 膜层时不破坏和影响 PET 膜基材的性能，镀膜温度一定要严格的控制的 80℃ 以下，这就造成了 ITO 膜层的结晶度不够，光线透过率低，电阻阻值偏高并且不稳定。

PET 材料在提炼合成过程中，一定会有一些杂质掺杂在里面，PET 合成的过程，是一个小分子物质在化学键的作用下链接形成大分子的过程，这个过程中肯定有些未充分反应的小分子物质附在大分子链上。PET 膜在空气存放过程中，因 PET 膜层里面所含的微量杂质，会吸收空气中的气体和水份，并不断水解其中部分没聚合完全的水分子物质。这些杂质、气体、水份，和未聚合完全的水分子水解后生成的物质，会在高温中析出或重新聚合与结晶，让 PET FILM 产生不一致的形变或性能变化，造成 PET FILM 上的图形尺寸变化。

二、调质处理的原理：

PET 材料虽然拥有很好的尺寸稳定性，但在制成 PET 薄膜的过程中，合成的 PET 大分子物质经过挤塑和拉伸，原来熔融状态下自由伸展的分子团被迫在拉伸方向进行形变，以薄膜的厚度尺寸要求，所以内部聚集了部分内应力，这些内应力如果受到温度上升的变化，也会因温度升高，PET 内部分子活动能力增强而释放出来，在释放的过程中，多数的 PET 大分子会在拉伸方向进行分子间距缩小调整，而非拉伸方向的部分分子支链会伸展到拉伸方向收缩后所形成的空间里面来。这一系列的变化，也将改变 PET 薄膜的外形尺寸。

PET 上的 ITO 层，是镀膜温度在 80℃ 以下镀覆的，膜层中多数是一些低价的铟锡氧化物，这些低价的铟锡氧化物，在高温环境下或富氧环境下，还会继续与氧气反应，形成高价的铟锡氧化物，重新再次结晶。

所以，为了稳定 ITO FILM 的性能，要对 ITO FILM 进行加热处理，预先进行一道调质处理“ITO FILM 老化”工序。在加热处理过程中，PET 薄膜里面的杂质所吸收的气体与水分将会析出，小分子物质水解后的产物，会重新脱水形成小分子物质，未完全聚合的小分子物质、重新脱水后形成的小分子物质，薄膜拉伸过程中所断裂的分子支链和短分子链，将会重新排列到自由伸展的大分子长链上，让整个 PET 薄膜内部分子稳定下来，这样，PET 膜的外形尺寸也稳定下来了，大大减少了以后温度变化对 PET 外形尺寸带来的剧烈变化。而且在富氧的条件下，或加温过程中，ITO 层非结晶的低价锡锡氧化物再次与氧反应成高价锡锡氧化物重新结晶，所得到的结晶 ITO 层在以后使用过程中，只要温度不超过目前的加温温度，也比原非结晶状态的 ITO 层化学物理性能更加稳定。

三、如何进行调质处理：

在加温调质处理过程中，首先要把温度升到 PET 上的涂布的压加力热变形温度，完全释放和消除压加力层的气体、水份和内应力，同时 PET 本身基材中的水份、气体和杂质，也通过压加力和 ITO 层的分子间隙释放部分出来。

第二步是加热到压加力的热软化温度，这个温度下，让压加力先均匀软化，减少后面继续加热过程中 PET 在热收缩变形的时候，因压加力的抵抗产生变形阻力，因各部分收缩不一致引起翘曲。同时也让部分基材中水解的物质分解并把水分完全汽化释放。

第三步是加热温度设定到后续加工工序中所采用的最高加热温度，加了更加均匀和消除设备误差，一般这个设定温度还要在后续加工工序中所采用的最高加热温度的基础上，再增加 10~15℃，这样，不管以后你再怎么加热，都不会让 ITO FILM 再产生过多的形变了。当然这个温度最好不要超过 180℃，因为在这个温度下，压加力材料会迅速劣化，并且有可能颜色会变黄，透过率也会下降。对于使用在不同场合下的复合薄膜来说，中间的光学胶层也属于压加力酸类，过高的温度更容易使这些光学胶层性能劣化，因而一般建议温度设在 120~140℃之间，为了得到更好的调质效果，调质时间会相应的延长一倍时间左右。

在温度超过 120℃以后，PET 基材里的水份和气体几乎可以完全从基材中排出，而那些水解后的小分子会重新转化为小分子状态，并在化学键的作用下，慢慢链接到已经聚合的大分子链上去。原来在薄膜拉伸过程中受物理作用力被拉伸或挤压的化学键，则会在化学键端的原子吸收热能后，运动到最合适的位置，让原子两边的化学键力平衡。这样，使得整个 PET 基材中的化学分子更加安定，从而得到更稳定的外形尺寸和更高的透过率，并消除部分光学上的偏振现象，减光膜层之间的光学干涉。

这个时候，ITO 层的水份和气体也会释放出来，而且里面被水和二氧化碳形成碳酸所化学腐蚀的部分，也会受热分解，重新形成 ITO 晶体，低价氧化锡锡分子，也会继续跟空气中的氧气反应，形成更高价的氧化锡锡物质。在受热过程中，氧化锡锡物质沉积过程中散乱的原子在吸收热能后，慢慢运动到各最小位能的晶格顶点位置上，进行结晶。而里面的一些杂质则会被挤压到晶粒边缘，与相关晶格建立更稳定的结构。

第四步是进行紫外线臭氧活化 ITO 层，利用低压石英汞灯，产生 254 和 185nm 范围的紫外线，臭氧和等离子氧产生，低价的锡锡氧化物和离子氧原子反应形成高价的锡锡氧化物。在这过程中，还可以对 ITO 表面进行清洗，有机污染物分子在吸收 254nm 波长紫外线后被激发或分解。激发的有机污染物可以和离子氧原子反应形成气体，比如 CO₂, H₂O 等，再由抽风系统抽取排走。

四、调质处理过程中应注意的问题：

ITO FILM 在调质处理过程中，除了要有能得到加热平稳均匀的调质处理设备外，基板的承托和放置方式也是主要的考量范围。目前业界有两种倾向模式，一种是为了继续与 ITO 玻璃一样的工治具，同时也得到更稳妥的处理效果，认为应该直接把 ITO FILM 按 ITO 平板玻璃尺寸裁切后，继续放在玻璃基板上加热，这样一方面可能象处理 ITO 平板玻璃一样处理 ITO FILM 材料和承托玻璃基板，更有利于优化超净车间管理外，另一方面，由于玻璃基板有一定的贮热作用，可以让 ITO FILM 调质处理过程中，各个部分的加热和降温过程更加平稳均匀。另一种倾向认为加热速度的快慢直接影响生产效率，而玻璃制品容易产生玻璃碎，而且装载 ITO 平板玻璃的治具也不利于 ITO FILM 的取放，更容易折伤和划伤 ITO FILM，主张直接把 ITO FILM 放在加工平整的金属板上，利用金属板传热速度快的特性，提高生产效率。并且把这些金属板做成可以掀起的台车层架方式，ITO FILM 直接平放在金属承托板上，ITO FILM 和金属板的接触面不会产生相对的位置移动，所以能最大限度的防止 ITO FILM 在取放过程中被折伤和表面被划伤的情况发生。

因为压加力的热软化温度只有 105℃，小于调质处理的最高温度，所以在没有保护的情况下，要避免涂布压加力的那一面，直接放在承托板上进行加热，把承托板上的不平整，热转移到 ITO FILM 的压加力层上，造成外观不良。

总的来说，ITO FILM 的调质处理工艺，就是一个排除 ITO FILM 中所含水份、气体，进一步调整基材内部的原子位置和分子结构，消除各种材料内部的各种材料相互之间的物理应力，在后续的生产加工过程中和产品使用过程中，得到更稳定的物理尺寸、化学性能。

编写：李星

[二]ITO 图形制备工艺

透明导电氧化物薄膜主要包括号 In、Zn、Sb 和 Cd 的氧化物及其复合多元氧化物薄膜材料，具有禁带宽、可见光谱区光透射率高和电阻率低，对紫外线的吸收率大于 85%，对红外线的反射率大于 70% 等特性。透明导电薄膜以掺锡氧化铟（Indium TinOxide）ITO 为代表，广泛地应用于平板显示、太阳能电池、特殊功能窗口涂层及其它光电器件领域，它的特性是当厚度降到 1800 埃（1 埃 = 10^{-10} 米）以下时会突然变得透明，透光率为 80%，再薄下去透光率反而下降，到 300 埃厚度时又上升到 80%。ITO 是所有电阻技术触屏及电容技术触摸屏都用到的主要材料，实际上电阻和电容技术触摸屏的工作面就是 ITO 涂层。

一、ITO 的特性

ITO 就是在 In_2O_3 里掺入 Sn 后，Sn 元素可以代替 In_2O_3 晶格中的 In 元素而以 SnO_2 的形式存在，因为 In_2O_3 中的 In 元素是三价，形成 SnO_2 时将贡献一个电子到导带上，同时在一定的缺氧状态下产生氧空穴，形成 10^{20} 至 10^{21}cm^{-3} 的载流子浓度和 10 至 $30\text{cm}^2/\text{vs}$ 的迁移率。这个机理提供了在 $10^{-4}\Omega\cdot\text{cm}$ 数量级的低薄膜电阻率，所以 ITO 薄膜具有半导体的导电性能。

目前 ITO 膜层之电阻率一般在 5×10^{-4} 左右，最好可达 5×10^{-5} ，已接近金属的电阻率，在实际应用时，常以方块电阻来表征 ITO 的导电性能，ITO 膜之透过率和阻值分别由 In_2O_3 与 Sn_2O_3 之比例控制，增加氧化铟比例则可提高 ITO 之透过率，通常 Sn_2O_3 ： $\text{In}_2\text{O}_3=1:9$ ，因为氧化锡之厚度超过 200Å 时，通常透明度已不够好--虽然导电性能很好。

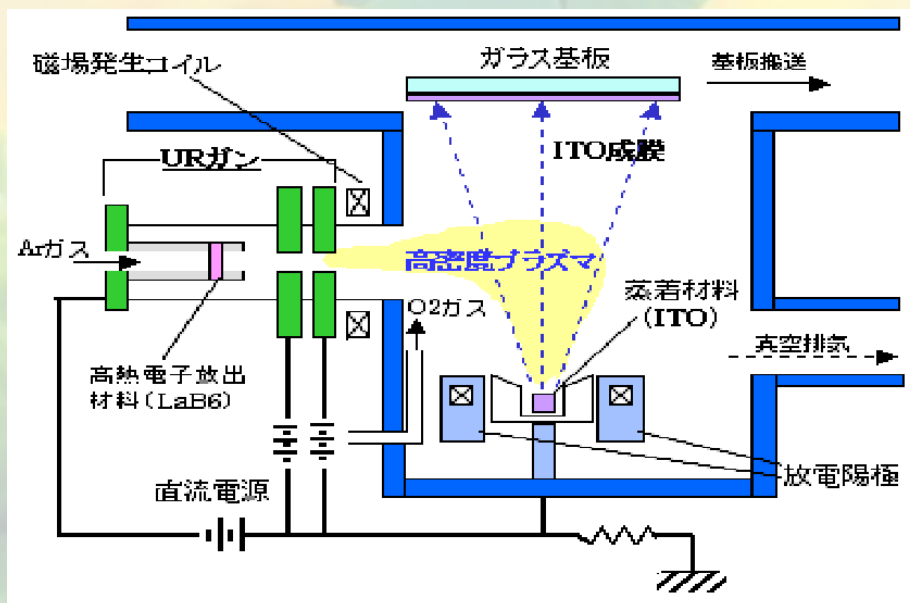
如用是电流平行流经 ITO 膜层的情形，其中 d 为膜厚，I 为电流， L_1 为在电流方向上膜厚层长度， L_2 为在垂直于电流方向上的膜层长主，当电流流过方形导电膜时，该层电阻 $R=PL_1/dL_2$ 式中 P 为导电膜之电阻率，对于给定膜层，P 和 d 可视为定值，P/d，当 $L_1=L_2$ 时，其正方形膜层，无论方块大小如何，其电阻均为定值 P/d，此即方块电阻定义： $R_{\square}=P/d$ ，式中 $R_{\square}$ 单位为：欧姆/□（ $\Omega/\square$ ），由此可所出方块电阻与 IOT 膜层电阻率 P 和 ITO 膜厚 d 有关且 ITO 膜阻值越低，膜厚越大。

ITO 膜层的电阻对高温和酸碱比较敏感，因为通常的电子产品生产工艺中要使用高温烘烤及各种酸碱液的浸泡，而一般在 $300^\circ\text{C} \times 30\text{min}$ 的环境中，会使 $R_{\square}$ 增大 2-3 倍，而在 10wt%NaOH*5min 及 6wt%HCL*2min（ 60°C ）下也会增到 1.1 倍左右，由此可知，在生产工艺中不宜采用高温生产及酸碱的长时清洗，若无法避免，则应尽量在低温下进行并尽量缩短动作时间。

ITO 膜在电子行业应用中，除了作为电子屏蔽、紫外线吸收阻断、红外线反射阻断等应用外，还有一大应用就是在平板显示器领域作为透明电极线路使用，利用 ITO 膜制作透明电极线路的方法主要为化学蚀刻、激光刻蚀两种。

二、ITO 膜的制作方式

1、真空磁控溅射镀膜。



ITO 磁控溅射示意图

溅射过程中，在高氧流量的情况下，从靶材中轰击出的金属 In、Sn 原子在真空室内或衬底表面能充分和氧反应生成 In_2O_3 和 SnO_2

2、真空蒸镀。

上世纪八十年代初的技术，基本已淘汰。

3、溶胶—凝胶法

这种方式不适合用于量产，目前仅用于一些科研机构分析使用。

4、丝印或喷墨打印法

目前仅日本住友有丝印法的实用技术，用于该公司自有产品上使用，据说品质上要比传统方式好些。一般微晶 ITO 粉剂制剂用丝印方式生产较合理，纳米级 ITO 粉剂制剂则可以使用喷墨打印法。

这种方式无疑在生产效率上是最高的，在绝大部分场合，省去了后面的刻蚀工序，直接生产所需要的 ITO 透明电极图形，是以后的主要研究和发展方向。

5、半导体制程之 Lift-off 作法

可以另外在 PET 薄膜基材上先进行印刷负型图案，接着进行 ITO 镀膜，最后将印刷油墨去除。

三、化学蚀刻法进行 ITO 图形制备

目前行业中应用最广的 ITO 膜，绝大部分都是利用磁控溅射的方式生产的。磁控溅射所生成的 ITO 层，可以理解为一些单个的原子或原子团经氧化后堆积在一起所形成的薄膜，所以从宏观上讲，它可以理解为具有各向同性的特性，也就是在光、电、化学等性能上，各个方向基本上是一致的。这个特性可以让 ITO 膜在进行化学蚀刻时，各个方向的化学反应速度都一致，从而得到很好的图形重现性。因为即使在图形边缘进行三到五倍的过蚀时间，也只是在边缘损失几百到几千埃的侧蚀区，对于微米级以上的线路而言，埃级的公差可以完全忽略。ITO 层在宏观上理解为各向同性特性这点与一些场合强调 ITO 是一种非等键晶体结构所体现的各向异性是完全不同的概念，强调其晶体结构，是为了强调表述其微观结构上的稳定性，这种稳定性能够具体描述它的一些物理化学参数的相对恒定值，然而从宏观上讲，ITO 不可能真正的成为完整结构的晶体结构。



ITO 的原子与晶粒排布（电子扫描）

在绝大多数的场合中，化学蚀刻法是 ITO 图形制备最成熟和可行的技术，它可以根据你的需要，生成目前足够精细的图案和相对比较少的前期投资。随着深紫外线技术在曝光设备上的应用，微米的精度，早已被大多数厂家所实现。它具有高效率、批次稳定性和重复性好、设备投资额低、配套技术完善等诸多优点，目前仍是大规模生产的主要方向，使用的原料有蚀刻膏、抗蚀油墨、光刻胶三种。

1、蚀刻膏工艺

化学蚀刻法有以下几种方式实现：一种是直接在产品电极图形区域外印制蚀刻膏，等反应完全后，用蚀刻膏溶剂，一般是水清洗干净，留下所需的电极图形。这种方式对于一些线宽和线距要求在 0.2mm 以上的光电产品如低档 TN 显示器、电阻式触摸屏、按键式电容屏、光伏电池等，因为不用耗费大量的化学物品，对环境污染影响更小，节省大量水、电费、场地费用，前期投资费用低廉，一般的丝印行业就可以掌握大部分技术等因素，有日趋发展的势头。它主要的控制点就在于温度对于蚀刻速度的控制，设计时要充分考虑边缘效应这两点上，一般可以用比较简单的工场实地实验，就可以得到比较准备的参数。

2、抗蚀油墨工艺

化学蚀刻法第二种方法，刚好与第一种相反，它是在产品电极图形区域内印制是阻蚀油墨保护起来，然后把产品浸入化学蚀刻液中，让产品电极图形区域外部分与化学蚀刻液完全反应后，再把阻蚀油墨从产品电极图形表面剥离下来，形成产品电极图形。它的线宽和线距做到 0.08mm，仍可以达到 95%以上的蚀刻良率。这种方法在 PCB 线路板、薄膜开关、电阻式触摸屏、光伏电池等产品生产上，目前占据主流的地位。

按照最后剥离去的方式不同，阻蚀油墨分为物理剥离型和化学溶液剥离型。其中物理剥离型阻蚀油墨，除了用在电子产品图形制备生产中，更多的是用在产品表面防护上，以阻止外力损伤产品，隔绝外面环境中的水、电、气，防止它们腐蚀产品。其中在电子行业里应用最多的就是电路板绝缘保护胶，和触摸屏生产中的表面保护胶。由于物理剥离型阻蚀油墨，如果在产品转序过程中，需要去除的话，是使用物理外力撕下剥离的，所以一般它的丝印厚度要求在化学溶液剥离型阻蚀油墨的丝印厚度的二到三倍以上，并且在固化程度上，不能象化学溶液剥离型阻蚀油墨一样，只要达到表面固化即可，也要求一定要完全固化，这样在生产的后续加工过程中，边缘部分不会因为挤压而变形破裂，在需要移除的时候，产生边缘残留。在触摸屏的生产过程中，表面保护胶的边缘残留，是影响产品生产效率和品质良品率的主要因素之一。

化学溶液剥离型阻蚀油墨，按最后剥离时的方式不同，也分为一种是溶解型的，一种是膨胀型的。两都在蚀刻效果上没有什么区别，只是在剥离清洗过程中，溶解型的阻蚀油墨不需要强碱，对一些对碱浓度比较敏感的产品更适合，它的缺点是，为了提高油墨丝印的性能，添加了一些填料在油墨中以增加油墨粘度和定型能力，这些填料，会在剥离溶解过程中，因附壁效应，依附残留在产品表面，比较难以清洗干净。这些缺点，在膨胀型的油墨中则不会出现，但膨胀型油墨在剥离时，对碱的浓度要求较高，并且剥离后的油墨呈片状，在剥离设备的碱液循环系统中，要有相应的过滤和隔离措施，以免阻塞管路和重复污染产品。

阻蚀油墨的关键参数是针孔度和粘度，由于一般都是制作线宽线距 0.08mm 以上的产品，一般的针孔度都能达到要求，所以在实际生产过程，主要关注的是粘度变化。

3、光刻胶工艺

化学蚀刻方法在线宽线距要求在 0.07mm 以下的产品生产过程中，上面的两种方式就很难达到要求了，这时就需要一种更为精细的第三种化学蚀刻方式，光刻胶化学蚀刻。

光刻胶又称光致抗蚀剂，由感光树脂、增感剂和溶剂三种主要成分组成的对光敏感的混合液体。感光树脂经光照后，在曝光区能很快地发生光固化反应，使得这种材料的物理性能，特别是溶解性、亲合性等发生明显变化。经适当的溶剂处理，溶去可溶性部分，得到所需图像。光刻胶广泛用于印刷电路和集成电路的制造以及印刷制版等过程。光刻胶的技术复杂，品种较多。根据其化学反应机理和显影原理，可分负性胶和正性胶两类。光照后形成不可溶物质的是负性胶；反之，对某些溶剂是不可溶的，经光照后变成可溶物质的即为正性胶。利用这种性能，将光刻胶作涂层，就能在硅片表面刻蚀所需的电路图形。基于感光树脂的化学结构，光刻胶可以分为三种类型。①光聚合型，采用烯类单体，在光作用下生成自由基，自由基再进一步引发单体聚合，最后生成聚合物，具有形成正像的特点。②光分解型，采用含有叠氮醌类化合物的材料，经光照后，会发生光分解反应，由油性变为水溶性，可以制成正性胶。③光交联型，采用聚乙烯醇月桂酸酯等作为光敏材料，在光的作用下，其分子中的双键被打开，并使链与链之间发生交联，形成一种不溶性的网状结构，而起到抗蚀作用，这是一种典型的负性光刻胶。柯达公司的产品KPR胶即属此类。

感光树脂在用近紫外光辐照成像时，光的波长会限制分辨率的提高。为进一步提高分辨率以满足超大规模集成电路工艺的要求，必须采用波长更短的辐射作为光源。由此产生电子束、X 射线和深紫外(<250nm)刻蚀技术和相应的电子束刻蚀胶，X 射线刻蚀胶和深紫外线刻蚀胶，所刻蚀的线条可细至 1 μ m 以下。

微细加工技术是人类迄今所能达到的精度最高的加工技术，光刻胶是其重要支撑条件之一，这是由微电子信息产业微细加工的线宽所决定的

光刻胶在微电子信息产业中的应用有很多，如用于平板显示器行业，用于印制电路板行业中的光固化阻焊油墨、干膜、湿膜、ED 抗蚀剂等等。近年来，电子信息产业的更新换代速度不断加快，新技术、新工艺不断涌现，对光刻胶的需求不论是品种、还是质量和数量都大大增多。可以毫不夸张地说，光刻胶已成为微电子信息产业迅速发展的重要工艺支撑条件之一。

除了上述在平面显示器领域的应用外，光刻胶产品在微细加工技术中的应用将随着高集成度、超高速、超高频集成电路及元器件的开发，集成电路与元器件特征尺寸越来越精细的趋势，其加工尺寸将达到深亚微米、百纳米直至纳米级，应用光刻胶的发展趋势为了适应微电子行业亚微米图形加工技术要求，光刻胶的开发已从普通紫外光发展到紫外光刻胶、深紫外光刻胶、电子束胶、X 射线胶、离子束胶等。目前的开发重点是深紫外光刻胶和电子束化学放大抗蚀剂(CAR)。CAR 是以聚 4-羟基苯乙烯为化学平台，加入光产酸剂、交联剂及其他成分而成。在辐射源曝光时，其光化学增益可达 102~108，从而得到高精度图形。

近年来，光刻胶在微电子行业中不断开发出新的用途，如采用光敏性介质材料制作多芯片组件(MCM)。MCM 技术可大幅度缩小电

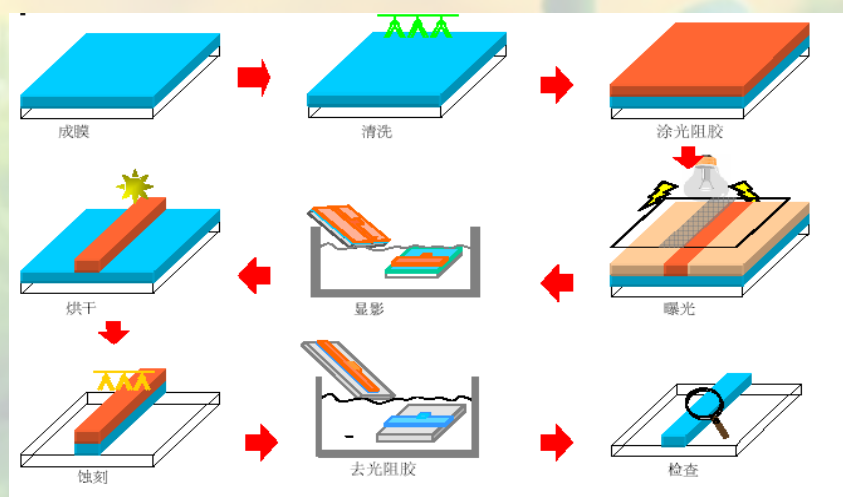
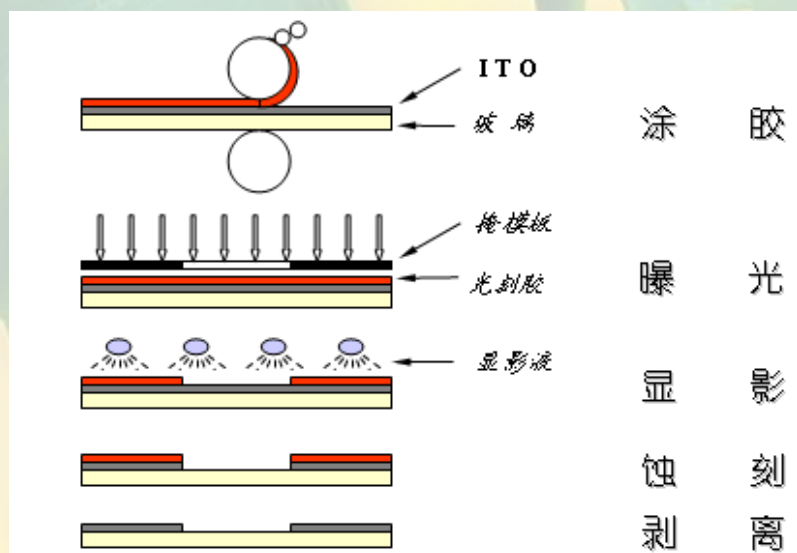
子系统体积，减轻其质量，并提高其可靠性。近年来国外在高级军事电子和宇航电子装备中，已广泛地应用 MCM 技术。

光刻胶的技术由于改良发展较快的缘故，在普通产品应用上，基本已经解决了针孔率偏高的问题，对普通产品应用几乎不再考虑针孔率对产品制作的影响了。

粘度的调整要视各家的习惯，一般是 50CP 的产品由于使用时添加了一定的稀释剂，可以比较好调整涂覆效果，成本也可以降低，但是由于大量使用稀释剂，也使光刻胶的一些性能受到影响，在作比较高档的产品时会有分辨率下降的趋势。而 30CP 的产品，在涂覆效果上，控制稍显困难，但性能比较稳定，比较适合制作精细度高的产品。

光刻胶的保存条件比较严格，在光线、温度、湿度上都有限制，特别是开瓶使用后的光刻胶和稀释剂，一旦吸潮，其物理化学性能均下降很快。现在光刻胶涂覆工段一般都与自动纯水清洗线连在一起，很多时候都只考虑此段的洁净度，而疏忽了该段的湿度控制，使得光刻胶涂覆的良品率比较低，在显影时光刻胶脱落严重，起不到保护阻蚀的效果。

电子类产品光刻胶分为高感光度光刻胶和低感光度光刻胶。高感光度光刻胶可以制作 $10\mu\text{m}$ 以内的高精密线路，一般用于 IC 和 LCD 微显示器制作，低感光度光刻胶制作精度在 $10\mu\text{m}$ 以上，一般用于普通电子产品制作和线路板制作，比如说 LCD、OLED、矩阵式电阻触摸屏、投影式电容触摸屏等产品。这种方式在 ITO 图形制备生产中，目前占据了主流的地位。下面所要讲述的光刻胶工艺，是指应用比较广泛的低感光度正型光刻胶工艺，而负型光刻胶工艺除在图形复制曝光过程中选择相反外，其它工艺步骤基本相似。光刻胶工艺分为以下几个步骤：光刻胶涂覆—光刻胶预烘—图形复制（曝光）--图形显影—光刻胶固化—化学蚀刻—光刻胶剥离



(1) 光刻胶涂覆方法

A、浸渍法：把所需涂覆的材料，直接浸入光刻胶中，然后取出后烘干。这种方法因为材料表面杂质不断污染光刻胶，光刻胶的利用率很低，对光刻胶浪费很大，同于材料的清洁程度不同和操作控制比较随便，膜层厚度很不稳定，得到精细图案能力也不太强，目前很少有人在使用。

B、离心旋转法：把所需涂覆的材料放在离心机旋转平台上，在上面倒上光刻胶，然后按设定的转速和时间进行涂覆后再烘干。这

种方式比浸渍法更容易得到精细的电极图案、生产批次稳定和批次重复性高的工艺数据等。它的前期设备投入费用较低，产品品质较稳定，特别是在一些高世代大尺寸产品和一些小规模产线的产品生产中，仍占有很重要的地位。当然它也没有克服光刻胶利用率低的缺点。

离心旋转法的主要难点在于旋转参数的控制，有时为了得到比较完美的效果，不得不把旋转参数分成多段，以便光刻胶在离心力的作用下，中心区和边缘区都达到相同的涂覆效果。针对不同的尺寸，一般需要多次试验后才能得到比较完美的各段参数。

C、辊印转移法

这种方式是先把光刻胶转移到一个或一组带有百微米级的沟槽或微孔的软胶轮上，通过调节刮板与软胶轮间隙，或一组轮的轮与轮的间隙调整光刻胶转移量，再转印到所需要的图形区域内。这种方式在一些中小尺寸产品生产线上应用最广，它可以完全嵌入自动流水生产线中，对生产效率提高、产品质量控制、生产环境控制十分有利。

在辊印过程中，速度、压力、温度的控制，对涂覆质量起着决定性的作用，只有在这个环节得到稳定的效果后，才能对前后工序中的不良品分析有个清晰的认识。

离心旋转法和辊印转移法两种方式涂覆光刻胶，一般都是要求生产线上的 ITO 膜要先进行预清洗作业，要保证产品表面洁净度很好，水汽成份极小，因为光刻胶的表面张力较强，很容易与在产品表面的污渍互相疏离形成空泡或孔洞，在后面的蚀刻工序中失去阻蚀作用。所以对预清洗的品质控制、生产环境的控制，在光刻胶涂覆作业中尤为重要。

(2) 光刻胶预烘

因为光刻胶的表面张力比较大，被涂覆的 ITO 膜表层也无法做到绝对的无污染，为了阻止包裹在污渍外的光刻胶因表面张力和作用继续收缩，由气泡或小针也变为大针孔，需要把光刻胶预烘烤，让其表面迅速固化，利用其塑性保证光刻胶的厚度稳定，达到阻蚀效果均匀一致。并且在这道工序中尽量使里面的溶剂完全挥发出来，使光刻胶里面的单体结构在脱去溶剂后，初步聚合成为具有一定分子链的固态小分子物质，以便在后续的图形复制曝光、图形显影工序中，能够得到完整可靠的图形。

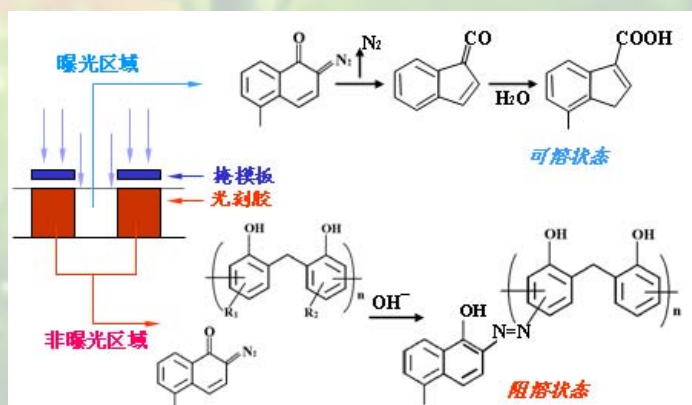
在光刻胶预烘过程中，如果溶剂挥发不干净，一是很容易在形复制曝光过程中，因光刻胶里包含的溶剂与已固化的光刻胶交接处的界面效应，使透光掩模下来的紫外光遇到这些界面时产生折射，让图形复制变形。二是在图形显影过程中，ITO 表层的溶剂溶于显影剂中，造成 ITO 膜上的光刻胶与 ITO 膜面脱离，失去保护 ITO 的阻蚀作用。

在光刻胶预烘过程中，如果温度过高或时间过长，可能让光刻胶提前由小分子物质变成大分子物质，失去其在显影液弱碱中的活性，就会在图形显影过程中无法显影，得不到复制的图案。

所以根据自己的工场环境、设备条件、图形设计效果、光刻胶参数，试验出自己的光刻胶预烘参数，是光刻胶工艺中的重中之重。

(3) 图形复制曝光

这个步骤是把设计好的图形复制到光刻胶上。具体操作时，是先把设计好的电极电路图形用专用的绘图仪绘制到掩模版上，再把掩模版套放在涂覆有光刻胶需要曝光的 ITO 膜上，用与光刻胶光感波长相匹配的紫外线灯光照射。掩模的作用就是让紫外线灯光对 ITO 膜上的光刻胶产生选择性，被绘制过的图形内部被不透紫外线的墨水遮盖，这部分光刻胶保持原样，图形内容外没有绘制墨水的部分，透过紫外线灯光，光刻胶里感光物质中的化学键吸收紫外线能量后断裂打开，形成溶于弱碱的单体分子。



在曝光过程中，主要要注意掩模版与 ITO 膜光刻膜间的距离和平行度，距离太大，平行度不够，都容易引起图形畸变。对于一些特别精细的图形，还要对掩模和 ITO 膜进行同温处理，以避免因热胀冷缩不同，产生图形复制尺寸偏差。

当然生产环境也是很关键，如果把一些外物、污渍或灰尘，也复制到产品上，产生批次性的品质缺陷不良品，那就损失巨大了。

(4) 图形显影

把曝光后的 ITO 膜浸渍在弱碱溶液中，被紫外线照射过的部分的光刻胶溶解于溶液中，图形部分则继续被光刻胶保护着，留下图形

的影子。

图形显影时间的安全系数，一般为曝光后的光刻胶完全溶解时间的三到五倍，这样可以保证光刻胶溶解得更彻底。

（5）光刻胶固化

显影后，需要对光刻胶进行固化，让光刻胶里的小分子物质产生聚合反应成不溶于强酸但溶于强碱的致密大分子物质。

（6）化学蚀刻

把光刻胶固化好的 ITO 膜浸入蚀刻液中，没有光刻胶遮盖的部分与蚀刻液产生化学反应，生成溶解在水中的盐和水。蚀刻液一般为强氧化溶液，如草酸、盐酸、硫酸、硝酸、三氯化铁等等。其中应用最多的是混和酸，比例为浓盐酸:水:硝酸=1:1:0.5。在一些使用 ITO FILM 的柔性透明电路产品生产过程中，你会发现，有些人用到与 ITO 镀膜玻璃一样的上述比例混和酸，有些人则要去掉里面的硝酸，主要原因在于 ITO FILM 的保护方式不一样，如果 ITO FILM 没有保护膜，或保护膜会被硝酸氧化脱水碳化或磺化，则不能加硝酸，如果保护膜本身就具有阻蚀作用，耐含硝酸在内的强酸，则无需考虑是不是要与 ITO 镀膜玻璃是否配比一样的问题。化学蚀刻时间的安全系数与显影时间的安全系数类似，也是为 ITO 完全蚀刻时间的三到五倍。以保证需要去除 ITO 的部分能彻底蚀刻干净。

（7）光刻胶剥离

把蚀刻好的 ITO 膜放入强碱中，让光刻胶溶解在碱液中，完全露出 ITO 线路和 ITO 工作面，再用水清洗干净上面的碱液，利用光刻胶化学蚀刻方法进行 ITO 图形制备的整个工艺流程就完成了。

从上面看来，化学蚀刻方法制备 ITO 图形，无非就是复制设计图案，制作一层图案选取层，把一部分 ITO 表面进行保护遮盖后，让裸露的部分 ITO 与化学蚀刻液产生反应腐蚀掉，得到与设计图案一致的 ITO 图形。这个过程中，图案选取层的材质与 ITO 表面的表面亲和力，以及对外物污渍的溶解能力，直接影响图案选取层的遮盖效果。所以在一些使用蚀刻膏和抗蚀油墨的场合，主要是找到对外物污渍溶解能力比较强，粘度比较高适合丝印的材料；而在一些制作精细图案使用光刻胶的场合中，则需要降低粘度，以得到足够薄的阻蚀层，为了得到比较逼真的图案复制效果，又需要光刻胶材料具有比较高的表面张力，这就使得光刻胶与 ITO 表面的亲和力降低，因而对光刻胶的纯净度和 ITO 表面的洁净度有很严格的要求，以便能让光刻胶在 ITO 膜表面得到更均匀一致的浸润效果。这样一来，对 ITO 膜的表面处理、ITO 膜和光刻胶的使用和保存环境，都相应有很严格的要求。

四、激光蚀刻法进行 ITO 图形制备

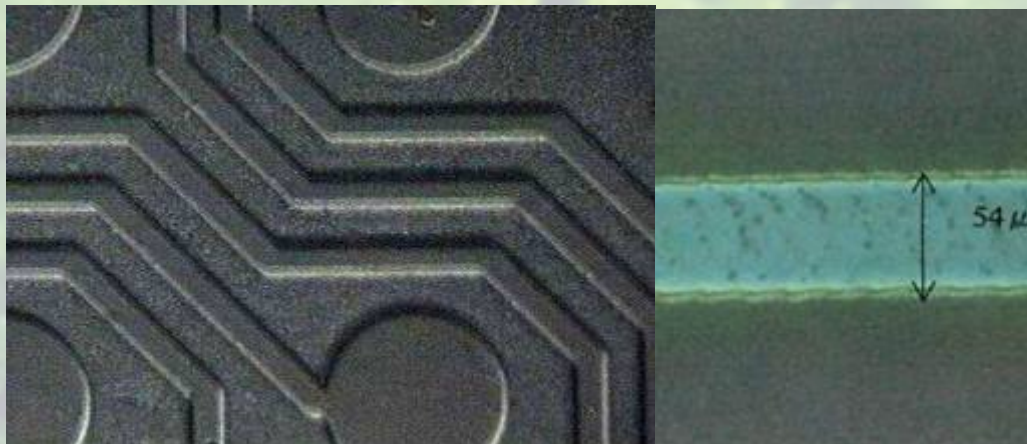
ITO 具有反射红外线，吸收紫外线能量的特性。人们利用这两个特性制作了 1055nm 和 355nm 的激光器，进行 ITO 膜图形制备加工。红外线激光加工是使 ITO 层在高温下汽化挥发，把 ITO 去除掉。紫外线激光加工让 ITO 层里的原子吸收紫外线能量后自己激化成离子，从 ITO 层表面不断逃逸，把 ITO 去除掉。

激光蚀刻法制作 ITO 层有比较严格的线距限制，在图形制备工艺中有相当大的局限性，对那些图形简单的产品如触摸屏、硅片光伏电池、薄膜开关等比较实用。当然，在其它使用 ITO 膜的产品中，也经常用来做为 ITO 线路短、断路修补使用。

由于激光发生器有一定的发射频率，为了提高生产率和保证 ITO 激光蚀刻的安全系数，一般会对激光光路进行差分补偿，防止激光死点造成的短路现象。

在激光加工方式中，大尺寸的 ITO 膜一般采用矢量图形激光切割 ITO 层的方式加工，小尺寸的除了采用矢量切割方式外，也有人使用振镜式图形点阵激光扫描雕刻方式进行快速加工。

激光加工是一种非接触性加工，对产品表面处理要求不高，产品表面更容易得到保护，产品品质更能得到保证。由于不用使用化学原料和消耗水资源，更符合环境保护要求，在包含电子信息业的各个产业中，得到迅速的发展和应用，慢慢在往主流加工方式靠拢。



激光干蚀加工效果（左边是紫外线激光加工效果，设备贵，效果好。右图是红外线激光加工效果，有明显的激光烧蚀频率痕迹）

触摸屏制造工艺实战与难点

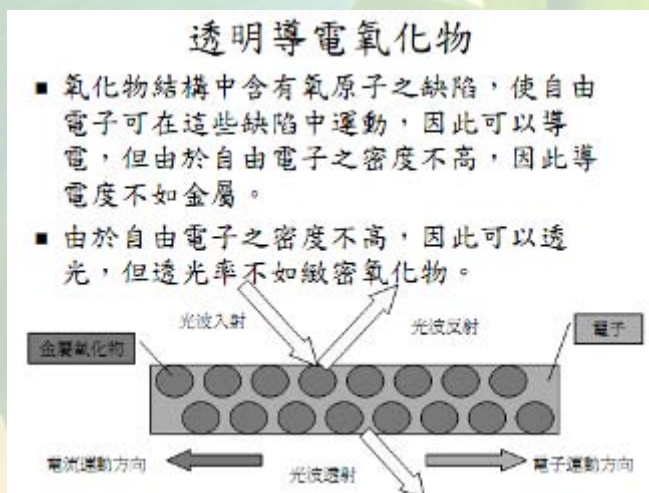
编写：李星

[三]ITO 镀膜产品污染清洁

一、前言

随着光电子产业的迅猛发展，清洗工艺在光电产品中是必不可少的工艺，清洗对产品的质量、精度、外观等方面的影响也越来越重要。如何保证产品的高可靠性和高成品率？如何保证生产的安全性及生产过程中对环境的保护？在又安全又环保的前提下，如何彻底清除物体表面的污物？这些都是每个光电子产业从业人员每天都要思考和关注的话题。

我们知道，微电子行业一般都是属于与半导体相关的行业，而 ITO 属于掺锡氧化铟的半导体，导电载流子主要是导带锡中的电子，属电子型导电 N 型杂质半导体。而在实际应用中，又是利用了 ITO 在一定膜厚下透过率显著变化的光学特性，所以，ITO 镀膜产品的污染，不但会改变镀膜产品的导电性能，还会改变其光学性能。



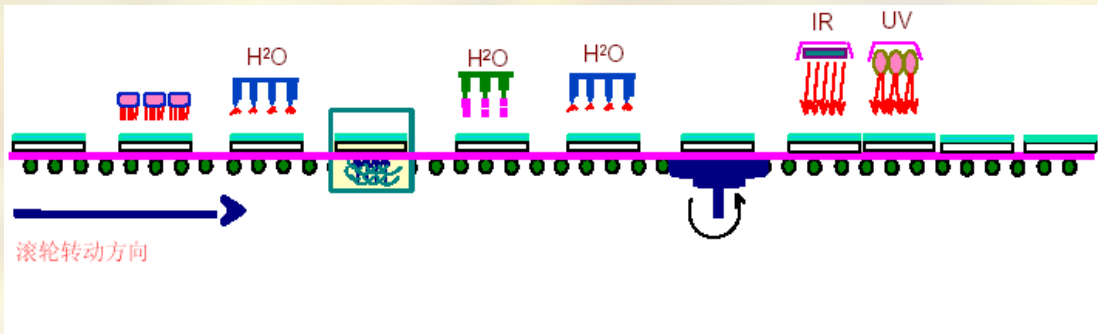
ITO 镀膜产品是绝大多数平板显示器和触摸屏的产体结构材料，对它的导电性和光学性要求十分严格，所以在利用 ITO 膜进行绝大多数平板显示器、触摸屏生产时，也要求象半导体行业一样，建立标准的洁净厂房，按洁净厂房的环境管理要求进行生产工艺管理。以 ITO 膜玻璃为例，ITO 玻璃在加工完以后，会按一定数量叠放在一起进行包装运输出厂。为了防止运输过程中，互相间碰撞和摩擦，损伤 ITO 膜，一般会在每层间用硬度低于 ITO 膜的纤维纸隔开，以吸收每层间的压力，防止 ITO 膜面互相直接接触摩擦受损。在使用 ITO 膜玻璃的工厂拆除包装时，ITO 膜表面会因各种原因，残留一些人体皮脂、静电吸附的灰尘、粘附在上面的纸屑和各种纤维。这些表面的污染物，如果不清除的话，一是会影响 ITO 的电学性能如接触电阻等，二是会影响 ITO 膜的光学性能，如透过率等，三是会污染生产车间环境，降低洁净厂房的洁净等级，给生产中使用的其它原材料带来二次污染。

所以，一般 ITO 镀膜产品在进入洁净厂房，上生产线进行使用前，都要对 ITO 镀膜产品表面进行清洗作业。

清洗是指清除工件表面上液体和固体的污染物，使工件表面达到一定的洁净程度。清洗过程是清洗介质、污染物、工件表面三者之间的相互作用，是一种复杂的物理、化学作用的过程。清洗不仅与污染物的性质、种类、形态以及粘附的程度有关、与清洗介质的理化性质、清洗性能、工件的材质、表面状态有关、还与清洗的条件如温度、压力以及附加的超声振动、机械外力等因素有关。因此，选择科学合理的清洗工艺，必须进行工艺分析。

下面是 ITO 镀膜产品进入光电企业生产线使用之前，产品自动清洗线中一种比较完整的表面清洗流程：

投料→臭氧清洁→刷洗(GW2010)→US（超声波）清洗→高压 DIW（纯水）清洗→风刀吹干→IR 炉（红外加热）→UV 光照。



上面这个流程中，包含了接触式清洗和非接触式清洗两种方式。

二、非接触式清洗

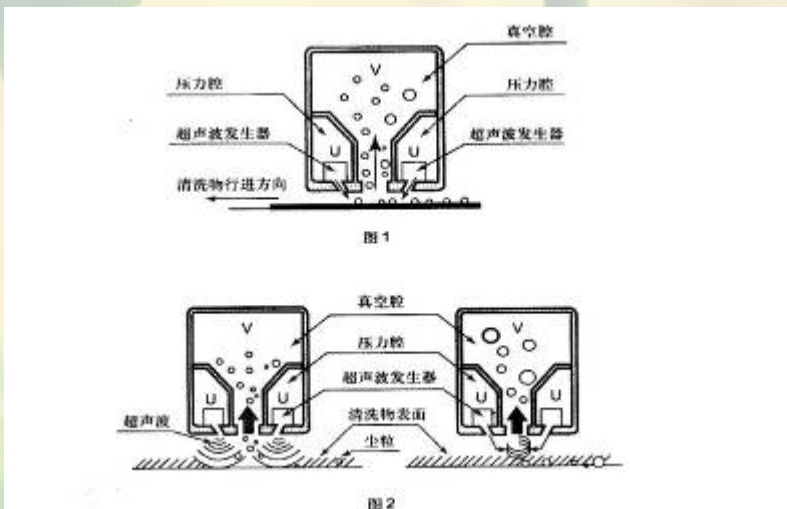
非接触清洗中，主要有超声波干洗和紫外线臭氧清洗两种。

超声波干洗

超声波干洗机的原理是由两个喷嘴产生的高压风刀有效的清除 $1.6-100\mu\text{m}$ 的尘粒.这些尘粒从两个方向被吸附至真空腔.由于高速气流使工件表面形成了一层粘膜,而超声波能将吸附在粘膜上的微粒分离出来,最后吸至真空腔。

ITO 玻璃进入生产车间之前、膜层制作工序之前、工作面组合之前，高档产品和生产线，会加入超声波干洗，以减少玻璃表面积附的尘粒对生产车间、下一道成膜工序和产品内部的污染。在触摸屏生产和平板显示器生产中，比较常用到。

超声波频率一般是 28KHZ 或 44KHZ，高档机器会两种频率交替工作。频率的选择是按你要清洗的缝隙宽度和尘粒大小来决定的，一般能漂浮在空气中迁移的灰尘，都是集中在一定直径或质量的范围内，刚好对 28KHZ 或 44KHZ 这两个频率共振能量比较敏感。频率过低，会有噪声，频率过高，则消耗能量过大，容易损伤器件内部结构。



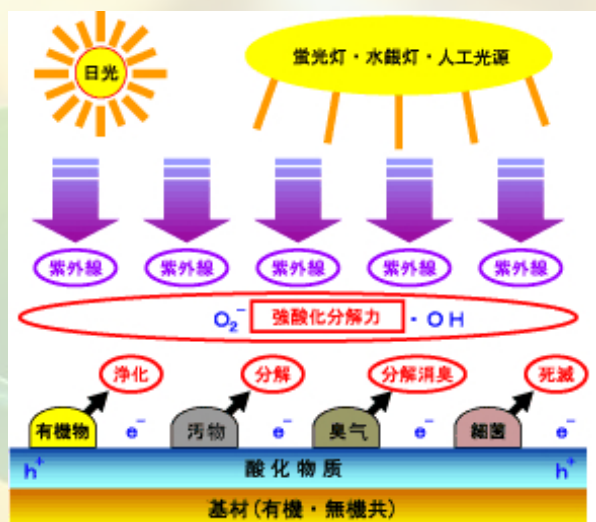
2、紫外线清洗

紫外(UV)光清洗，一方面能避免由于使用有机溶剂造成的污染，同时能够将清洗过程缩短。

紫外光清洗的工作原理

紫外光清洗技术是利用有机化合物的光敏氧化作用达到去除黏附在材料表面上的有机物质，经过光清洗后的材料表面可以达到“原子清洁度”。更详尽的讲：UV 光源发射波长为 185nm 和 254nm 的光波，具有很高的能量,当这些光子作用到被清洗物体表面时,由于大多数碳氢化合物对 185nm 波长的紫外光具有较强的吸收能力，并在吸收 185nm 波长的紫外光的能量后分解成离子、游离态原子、受激分子和中子，这就是所谓光敏作用。空气中的氧气分子在吸收了 185nm 波长的紫外光后也会产生臭氧和原子氧。臭氧对 254nm 波长的紫外光 同样具有强烈的吸收作用,臭氧又分解为原子氧和氧气。其中原子氧是极活泼的,在它作用下,物体表面上的碳和碳氢化合物的分解物可化合成可挥发的气体：二氧化碳和水蒸气等逸出表面，从而彻底清除了黏附在物体表面上的碳和有机污染物。清洗时，使基板治湿性向上。玻璃基板是以滚轮方式输送，上方装置低压水银灯产生紫外线照射。玻璃基板所累积紫外线能量愈多，其表面水接触愈小，成反比关系。一般 STN-LCD 制作过程中，需求的玻璃基板累积紫外线能量为 $300\text{nj}/\text{cm}^2(253.7\text{nm})$ 以上。而彩色

STN-LCD 及彩色滤光片制作过程中，要求的玻璃基板累积紫外线能量为 $600\text{nj}/\text{cm}^2(253.7\text{nm})$ 。在 TFT-LCD 制作过程中，除了低压水银灯产生臭氧清洗玻璃外，目前制程的主流是，使用 Excimer Lamp, 其 172nm 波长紫外线的高反应性质对玻璃的清洗效率更好。



紫外线光清洗应用中，在液晶显示器件、触摸屏、半导体硅芯片、集成电路、高精度印制电路板、光学器件、石英晶体、密封技术、带氧化膜的金属材料等生产过程中，增加紫外线光清洗方法最为合适。

主要材料：ITO 玻璃、光学玻璃、铬板、掩膜板、抛光石英晶体、硅芯片和 带有氧化膜的金属等进行精密清洗处理。可以去除污垢：有机性污垢、人体皮脂、化妆品油脂、树脂添加剂及聚酰亚胺、石蜡、松香、润滑油、残余的光刻胶等。

UV 光源在对 ITO 膜层还具有 UV 改质(紫外光表面质变)的特点，用在膜处理技术上，对于改善膜与膜之间的密接是非常有效的，如 ITO 膜与感光胶膜层，TOP 涂层与 PI 涂层等等。另在研究部门又可用来 UV 改性塑料材料产品，用于纳米技术研究，产品经此 UV 光照射发生化学反应，使产品表面性质改变。触摸屏、STN-LCD、彩色滤光片及 OLED 的制作过程中，有些制程设备相当雷同，差别在于制造工艺要求的不同。随着线路的精细化及产品的彩色比，对制造工艺的要求也不断地提升。

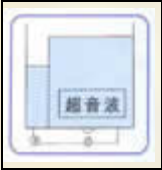
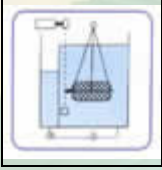
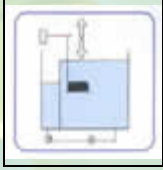
在用到 ITO FILM 的场合中，由于 ITO FILM 本身的材质特性，决定了它只能低温溅射沉积方式生产，所以里面的 ITO 成份中，含很多低价的锡锡氧化物。紫外线 UV 光源产生的臭氧，可以再次对 ITO 成份进一步氧化，形成电阻阻值更稳定，光学透过率更好的高价氧化物 ITO。这特点在大量使用 ITO FILM 的触摸屏生产中，效果特别明显，这也是有些低端触摸屏厂家在引入紫外线清洗后，电阻屏产品的线性功能品质和电容屏的稳定性品质会有意外提升的主要原因。

使用紫外线清洗时要注意以下几个方面：（1）污垢中的无机成分或处理后的灰分会残留在物体表面，因此需要采用相应的办法进一步清除，如加装真空除尘或与超声波干洗配套使用。（2）处理时，当清洗对象表面与照射光源距离稍远时，产生的臭氧会自动分解失去作用，一定要注意清洗表面与光源的距离，也就是注意平台或传送带上工件的高度或厚度。（3）这种处理方法要求紫外线能透过清洗对象表面，对有立体结构的清洗对象不太适合，只能清洗表面结构的物体。（4）由于需防止臭氧扩散对人体造成损害，需要在封闭装置中进行清洗。（5）由于臭氧是通过氧化反应去除污垢的，所以容易被氧化的表面不能用这种方法处理。

三、接触式清洗

接触式清法，就是把 ITO 膜放到溶液中，让溶液化学溶解和物理冲洗掉 ITO 膜表面的污渍。一般都称为湿法清洗。下面就是主要的湿法清洗方式。

	浸洗清洗 在清洗槽中加入清洗液,将被洗物浸渍其中的清洗方式。由于仅靠清洗液的化学作用清洗,所以洗涤能力弱,需要长时间。循环清洗液。		喷气 在清洗槽内安装喷气管(多个吸管),用汽体将清洗液喷射到被洗物上的清洗方式。
	喷流清洗 从槽的侧面将清洗液在液相中喷出,靠流的搅拌力(物理作用)促进清洗。洗涤能力比浸渍清洗强。		刷洗 在清洗腔室安装刷子、工件有专门的支承或夹具、在清洗剂浸渍或淋润的同时,主要靠刷子与工件的机械磨擦力进行清洗,作为初级清洗,效果直接。

	超声波清洗 在清洗槽内安装超超声波振子,产生超声波能量(数千个大气压的冲击波),将被洗物全部清洗的方式。		喷淋清洗 在清洗槽内安装喷淋管,在气相中将清洗液喷射到被清洗物上,压力不足 2kg/cm ²
	减压清洗 在清洗槽内产生负压,由于减压,洗涤剂能较好地渗透到被洗物的缝隙之间。若和超声波作用,清洗效果会大大增强。		喷雾清洗 在清洗槽内安装喷雾管,在气相中将洗涤剂喷附到被清洗物上的清洗方式。压力 2-20kg/cm ²
	旋转筒清洗 在槽内安装旋转装置,同时旋转筒体和拌被清洗物。多与喷流、超声波洗涤组合使用。		抛动清洗 在槽内安装抛动机构,装入被洗物,使之在洗涤槽内上下运动,多与喷流、超声波洗涤组合使用。

一般湿法清洗都会综合各种不同的方式,如超声波清洗工艺中,就可以综合超声波清洗、化学溶解浸洗清洗、喷淋清洗等等,同时对产品进行清洗,以达到更完美的效果。下面主要介绍一些 ITO 镀膜产品常用到的湿清洗中超声波清洗工艺的一些要点。

超声波清洗原理

超声波清洗技术的基本原理,大致可以认为是利用超声场产生的巨大作用力,在洗涤介质的配合下,促使物质发生一系列物理、化学变化以达到清洗目的的方法。

当高于音波(28~40KHz)的高频振动传给清洗介质后,液体介质在高频振动下产生近乎真空的空腔泡,空腔泡在相互间的碰撞、合并、消亡的过程中,可使液体局部瞬间产生几千大气压的压强,如此大的压强使得周围的物质发生一系列物理、化学变化。这种作用称为“空化作用”:

- A.空化作用可使物质分子的化池键断裂,引起各种物理变化(溶解、吸附、乳化、分散)和化学变化(氧化、还原、分解、化合)等;
- B.当空腔泡的固有频率和超声频率相等时,可产生共振,共振的空腔泡内聚集了大量的热能,这种热能足以使周围物质化学键断裂而引起物理、化学变化。
- C.当空腔泡形成时,两泡壁间因产生极大的电位差而引起放电,致使腔内气泡活化进而引起周围物质的活化,从而使物质发生物理、化学变化。

[1]、超声波清洗机的原理:

超声波清洗机是通过超声波发生器将高于 20KHz 频率的有震荡信号进行电功率放大后经超声波换能器(震头)的逆压电效应转换成高频机械振动能量通过清洗介质中的声辐射,使清洗液分子振动并产生无数微小气泡。气泡沿超声传播方向在负压区形成、生长,并在正压区迅速闭合而产生上千个大气压的瞬间高压而爆破,形成无数微观高压冲击波作用于被清洗工件表面。此即超声波清洗中的“空化效应”。超声波清洗机就是基于“空化效应”的基本原理工作的,也因此,超声清洗对具有内外结构复杂、微观不平表面、狭缝、小孔、拐角、死角、元件密集等特点的工件均具有卓越的洗净能力,是其他清洗方法无可比拟的。随着超声频率的提高,气泡数量增加而爆破冲击力减弱,设备因此,高频超声特别适用于小颗粒污垢的清洗而不破坏其工件表面。

[2]、空化泡的扩大以及爆裂(内爆)

气泡是在液体中施加高频(超声频率)、高强度的声波而产生的。因此,任何超声清洗系统都必须具备三个基本元件:盛放清洗液的槽、将电能转化为机械能的换能器以及产生高频电信号的超声波发生器。

[3]、换能器和发生器

超声清洗系统最重要的部分是换能器。现存两种换能器,一种是磁力换能器,由镍或镍合金制成;一种压电换能器,由锆钛酸铅或其他陶瓷制成。将压电材料放入电压变化的电场中时,它会发生变形,这就是所谓的‘压电效应’。相对来说,磁力换能器是用会在变化的磁场中发生变形的材料制成的。

无论使用何种换能器,通常最基本的因素为其产生的空化效应的强度。超声波和其它声波一样,是一系列的压力点,即一种压缩和膨胀交替的波。如果声能足够强,液体在波的膨胀阶段被推开,由此产生气泡;而在波的压缩阶段,这些气泡就在液体中瞬间爆裂或内爆,产生一种非常有效的冲击力,特别适用于清洗。这个过程被称做空化作用。

[4]、声波的压缩和膨胀

从理论上分析，爆裂的空化泡会产生超过 10,000 psi 的压力和 20,000 °F (11,000 °C) 的高温，并在其爆裂的瞬间冲击波会迅速向外辐射。单个空化泡所释放的能量很小，但每秒钟内有几百万的空化泡同时爆裂，累计起来的效果将是非常强烈的，产生的强大的冲击力将工件表面的污物剥落，这就是所有超声清洗的特点。如果超声能量足够大，空化现象会在清洗液各处产生，所以超声波能够有效清洗微小的裂缝和孔。空化作用也促进了化学反应并加速了表面膜的溶解。然而只有在某区域的液体压力低于该气泡内气体压力时才会在该区域产生空化现象，故由换能器产生的超声波振幅足够大时才能满足这一条件。产生空化所需的最小功率被称做空化临界点。不同的液体存在不同的空化临界点，故超声波能量必须超过该临界点才能达到清洗效果。也就是说，只有能量超过临界点才能产生空化泡，以便进行超声清洗。

[5]、频率的重要性

当工作频率很低（在人的听觉范围内）就会产生噪音。当频率低於 20kHz 时，工作噪音不仅变得很大，而且可能超出职业安全与保健法或其他条例所规定的安全噪音的限度。在需要高功率去除污垢而不用考虑工件表面损伤的应用中，通常选择从 20kHz 到 30kHz 范围内的较低清洗频率。该频率范围内的清洗频率常常被用于清洗大型、重型零件或高密度材料的工件。高频通常被用于清洗较小、较精密的零件，或清除微小颗粒。高频还被用于被工件表面不允许损伤的应用。使用高频可从几个方面改善清洗性能。随着频率的增加，空化泡的数量呈线形增加，从而产生更多更密集的冲击波使其能进入到更小的缝隙中。如果功率保持不变，空化泡变小，其释放的能量相应减少，这样有效地减小了对工件表面的损伤。高频的另一个优势在于减小了粘滞边界层（泊努里效应），使得超声波能够‘发现’极细小的微粒。

[6]、超声清洗的优越性

高精度：由于超声波的能量能够穿透细微的缝隙和小孔，故可以应用与任何零部件或装配件清洗。被清洗件为精密部件或装配件时，超声清洗往往成为能满足其特殊技术要求的唯一的清洗方式；快速：超声清洗相对常规清洗方法在工件除尘除垢方面要快得多。装配件无须拆卸即可清洗。超声清洗可节省劳动力的优点往往使其成为最经济的清洗方式；一致：无论被清洗件是大是小，简单还是复杂，单件还是批量或在自动流水线上，使用超声清洗都可以获得手工清洗无可比拟的均一的清洁度。

[7]、超声清洗工艺及清洗液的选择

超声场为清洗提供了巨大的能量，但还需化学洗剂作为介质。一般将化学洗剂分为两类，一类是有机溶剂，主要是根据相似相溶的化学原理，对有机物如：黏结剂（沥青、松香等）、保护性材料（沥青、树脂等）、磨边润滑油进行溶解。在光学洗净中，最初用三氯乙烯、芳香烃、氟里昂等作为清洗剂，这类物质虽然溶解性强，但有的易挥发，毒性大，有的对大气臭氧层有破坏作用，被逐步禁用。现国内多采用一些上述物质的改进产品或某些碳氢化合物做溶剂。目前使用较多的另一类清洗剂是以表面活性剂为主要成分的水基清洗剂，其清洗原理简单地说是由于表面活性剂的分子结构中同时含有亲油基的亲水基，具有极性和结构不对称的特点。正是这种特点使得它能极大降低水溶液的表面张力，使物体表面易于润湿，表面污物易于被溶解，分散在清洗液中而达到洗涤的目的。在购买清洗系统之前，应对被清洗件做如下应用分析：明确被洗件的材料构成、结构和数量，分析并明确要清除的污物，这些都是决定所要使用什么样的清洗方法，判断应用水性清洗液还是用溶剂的先决条件。最终的清洗工艺还需做清洗实验来验证。只有这样，才能提供合适的清洗系统、设计合理的清洗工序以及清洗液。

[8]、清洗液的选择

考虑到清洗液的物理特性对超声清洗的影响，其中蒸汽压、表面张力、黏度以及密度应为最显着的影响因素。温度能影响这些因素，所以它也会影响空化作用的效率。任何清洗系统必须使用清洗液。

选择清洗液时，应考虑以下三个因素：

- A. 清洗效率：选择最有效的清洗溶剂时，一定要做实验。如在现有的清洗工艺中引入超声，所使用的溶剂一般不必变更；
- B. 操作简单：所使用的液体应安全无毒、操作简单且使用寿命长；
- C. 成本：最廉价的清洗溶剂的使用成本并不一定最低。使用中必须考虑到溶剂的清洗效率、安全性、一定量的溶剂可清洗多少工件利用率最高等因素。当然，所选择的清洗溶剂必须达到清洗效果，并应与所清洗的工件材料相容。水为最普通的清洗液，故使用水基溶液的系统操作简便、使用成本低、应用广泛。然而对某些材料以及污垢等并不适用于水性溶液，那么还有许多溶剂可供选用。在一些光电行业中，比如触摸屏和平板显示器生产，产品表面的化学物质是有很严格的限制的，所以一般会用强碱 NaOH 溶液单独进行一次超声波清洗，或在水溶性表面活性剂化学清洗剂溶液中加入强碱 NaOH，以便让 ITO 膜表面的有机物质特别是油脂类污染物，被碱化学反应后溶解清除，或让它这些污染物更具有极性，更容易被水溶性清洗剂中的表面活性剂捕获，被带走清洗掉。碱的另一个作用是，清洗机器管路中不断积附的水溶性表面活性剂化学清洗剂中，表面活性剂所清洗下来的污染物凝胶类物质，这些东西如果长时间积附或漂浮于清洗机内，随着其本身体积、质量的不断积累，很容易重新依附在产品表面上而质量过太，不能被超声波清

洗下来。而强碱 NaOH 可以轻易的破坏这种凝胶物内部结构，让它溶解在溶液中被清洗机循环带走。

这也是一些厂家在实际生产中，没有充分了解和注意到 ITO 膜等氧化物镀膜产品表面特质和含表面活性剂清洗剂产品特性，往往只是单独使用清洗剂进行超声波清洗，清洗机在使用了三个月左右后，就会出现清洗效果显著下降的原因。为了解决这个问题，多少厂家就只好拆除清洗机的所有管路进行清洗机所有部位内壁大清洁，再用强氧化性的双氧水冲洗整个管路系统，这样操作后的结果是导致整个清洗机在一个星期左右，产品表面的黑点、白点污染物显著增加。原因是清洁过程中，机体内壁表面受物理和化学损伤，机体表面的锈迹，或塑胶机体中的塑胶成型时里面的石灰与石墨添加物跑到清洗剂中的缘故。这些比灰尘更细小的物质对机器频率段的超声波能量也不特别敏感，在附壁效应下，更易污染产品，而难以彻底清洗下来，只有靠一段时间内的补充液不断稀释循环排放掉。

[9]、两种由清洗液不同而区分的清洗系统

水性系统：通常由敞口槽组成，工件浸没其中。而复杂的系统会由多个槽组成，并配备循环过滤系统、冲淋槽、干燥槽以及其它附件。

溶剂系统：多为超声波汽相除油脂清洗机，常配备废液连续回收装置。超声波汽相清除油脂过程是由溶剂蒸发槽和超声浸洗槽组成的集成式多槽系统完成的。在热的溶剂蒸汽和超声激荡共同作用下，油、脂、蜡以及其他溶于溶剂的污垢就被除去。经过一系列清洗工序后下料的工件发热、洁净、干燥。

[10]、清洗件处理

超声清洗的另一个考虑因素是清洗件的上、下料或者说是放置清洗件的工装的设计。清洗件在超声清洗槽内时，无论清洗件还是清洗件篮都不得触及槽底。清洗件总的横截面积不应超过超声槽横截面积的 70%。橡胶以及非刚化塑料会吸收超声波能量，故将此类材料用于工装时应谨慎。绝缘的清洗件也应引起特别注意。工装篮设计不当，或所盛工件太重，纵使最好的超声清洗系统的效率也会被大大降低。钩子、架子以及烧杯都可用来支持清洗件。

影响超声波清洗的因素

清洗介质：采用超声波清洗，一般有两类清洗剂即化学溶剂和水基清洗剂。清洗介质的化学作用可以加速超声波清洗效果，超声波清洗是物理作用，两种作用相结合，以对物件进行充分、彻底的清洗。

功率密度：超声波的功率密度越高，空化效果越强，速度越快，清洗效果越好，但对于精密的表面光洁度甚高的物件，采用长时间的高功率密度清洗会对物件表面产生空化、腐蚀。

超声频率：超声波频率越低，在液体中产生的空化越容易，产生的力度大，作用也越强，适用于工件粗、脏、初洗，频率高则超声波方向性强，适合于精细的物件清洗。

清洗温度：一般来说，超声波在 30℃~40℃时的空化效果最好，清洗剂则温度越高，作用越显著，通常实际应用超声波清洗时，采用 40℃~60℃的工作温度。

超声波清洗工艺

在以 ITO 膜为代表的光学镀膜产品冷加工中，超声波清洗是如何实现洗净目的的呢？一般来说，清洗工艺主要以干燥的方式命名，如 IPA 工艺，是指利用 IPA（异丙醇）蒸汽进行脱水干燥的清洗工艺，纯水工艺是指利用热纯水慢提拉或冷纯水甩干的方式进行干燥的清洗工艺。当然，还有其他的命名方式。经过不断的变化、发展，光学冷加工中的清洗工艺主要以 IPA 工艺和纯水工艺为主。

IPA 工艺包括四个流程：洗涤、漂洗、脱水、干燥。

因为洗涤过程分溶剂清洗和水基清洗，所以有不同的工艺：有先进行溶剂清洗、溶剂蒸汽干燥再进行水基清洗；也有先进行溶剂清洗，再用乳化剂溶解溶剂，再进行水基清洗的。显然，后者在流程上更流畅、紧凑，对设备要求也简单。经过洗涤后的清洗物品表面不会有结合牢固的污垢，仅可能有一些清洗剂和松散污垢的混合物。

我们知道，无机光学玻璃是一种过冷的熔融态物质，没有固定的分子结构，它的结构式可描述为二氧化硅和某些金属氧化物形成的网状结构。其骨架结构为键能很大的硅氧共价键，外围是键能小、易断裂的氧与金属离子形成的离子键。在洗涤时，由于超声场和化学洗剂的共同作用，某些硅氧键含量少或者外围键能特别小的材料易于在清洗过程中发生变化而导致洗涤效果不良。所以，选择性能温和的洗剂、合适的洗剂浓度、温度、超声功率、洗涤时间对保证清洗物品的清洗质量十分重要。

利用流水将洗涤后清洗物品表面的洗剂和污物溶解、排除的过程称为漂洗。影响漂洗效果的因素有以下几个：洗剂的漂清性能，漂洗水的纯度、温度以及流动性、超声波频率等。一般在 40KHz 时，在常温下，电导率为 0.1μs/m 的纯水可以保证漂洗的要求。

经过漂洗后的清洗物品表面的洁净度应和漂洗水洁净度一致。当它进入 IPA 后，虽然 IPA 能和纯水进行无限度的相混溶，但在超声波的作用下，这种混溶能进行得更快速、彻底，从而使得清洗物品表面的状态和混溶后 IPA 相同。这一过程称为脱水。所以影响脱水的主要因素是 IPA 的纯度、超声波频率、脱水时间。一般 IPA 的最低浓度要高于 97%。

脱水后的清洗物品进入 IPA 蒸汽槽干燥。蒸汽槽的结构大体如下：槽体下部为 IPA 液体，四周是高沸点油加热腔，上部是由若干圈冷凝管围绕成的冷凝区，冷凝管内是由冷水机提供的循环冷水，清洗物品由链条驱动的托架带动在干燥槽内运行。干燥的原理及过程如下：蒸汽槽 IPA 在高温油的加热下沸腾，蒸汽向上进入冷凝区，在冷凝区形成浓度、温度相对稳定的蒸汽区，脱水后表面附有液体 IPA 的清洗物品进入蒸汽区时，蒸汽区的蒸汽在低温的清洗物品表面冷凝液化，冲刷清洗物品表面，如同“淋浴”，当清洗物品表面温度和蒸汽温度相同时，已不再附有液态 IPA，而全转化为 IPA。此时，清洗物品在托架的带动下上升回到冷凝区，在这一过程中，由于温度的渐低，清洗物品表面 IPA 蒸汽冷凝液化，液化的 IPA 一部分在表面张力和重力的作用下离开清洗物品，一部分在夹具散热时挥发离开清洗物品表面，经以上过程后，清洗物品表面得到干燥。由此可见，影响干燥的因素很多：IPA 的纯度、干燥位置、链条的提升速度、冷水机的水温、冷凝行程的长短、干燥时间、夹具材料、形状的选用等等。

以上是 IPA 工艺的四个流程简介，纯水工艺由三个流程组成：洗涤、漂洗、干燥。洗涤和漂洗与 IPA 工艺相同，不再重复。区别在于干燥。干燥分两种情况，热纯

水慢提拉和冷纯水甩干。

电阻率大于 $15\text{M}\Omega\cdot\text{M}$ 纯水在某一高温下，表面张力能达到最大，漂洗后的清洗物品浸入其中，表面不被润湿，在倾斜慢提拉离开时，由于极大的表面张力。纯水迅速在表面收缩成球形离开清洗物品，脱水后的清洗物品在过滤的热风下而达到干燥。所以，水的纯度、温度、慢提拉速度、工件的倾斜度、热风的洁净度对干燥的影响非常大。

冷纯水甩干的工艺很简单：经过纯水漂洗后的清洗物品放入离心甩干机中，在工件取得平衡时，启动甩干机，利用离心分离的原理将清洗物品表面的纯水分离达到干燥，对要求不高的清洗物品能取得满意效果，且能节省 IPA 和场地。但对甩干机的平衡性能要求很高。

以上是对光学冷加工中超声波清洗工艺的一些简介，实现工艺的载体是设备，一台设计合理、性能稳定的超声波清洗机能充分发挥超声波清洗工艺的特长。其中清洗机有缸槽式组立清洗机，特点是由一系统清洗缸槽组成，产品用一定的篮具做为工装装载产品按清洗工艺步骤投入的清洗缸槽中进行清洗；有枝叶传动式清洗机，特点是产品直接放在传送滚轮上，自动送入清洗机里，经过不同功能段的设备动作进行清洗后再出来。

四、不同基材 ITO 镀膜产品的注意事项

在 ITO 镀膜产品中，有多种基材可以选择，最常用的是光学玻璃镀膜产品，俗称 ITO 膜，光学薄膜镀膜产品，俗称 ITO FILM。ITO FILM 是使用化学合成聚合物做为基材，它的密度比光学玻璃低很多。这些化学聚合物多数对超声波不但没有增幅作用，反而更多的是吸收和衰减超声波的能量。因些在湿法清洗过程中，超声波空穴里的微小气泡会吸附在 ITO FILM 表面，在附壁作用下，不但不能清洗产品表面，反而把溶液中的污染物带到产品表面，使产品表面污染更严重。所以，一般 ITO FILM 的清洗，更侧重于化学溶液冲洗、喷淋、蒸洗或非接触干清洗，这也是在超声波清洗机器机体材质选择上，要尽量避免低密度吸能材料的原因。

五、结语

ITO 镀膜产品污染清洁，就是利用不同的清洗方式，把产品表面的污染物，按不同的性质，以化学分解溶融或物理剥离进行清除。一般有机污染物采用化学分解溶融的方式为主，无机污染物以物理剥离的方式为主。在化学分解溶融过程中，要注意化学物质不要损伤产品表面，在物理剥离过程中则要注意外来能量，不要破坏产品里面的物理结构。清洗工艺的主要载体是设备，如何根据不同的清洗对象进行设备合理设计与配置，避免设备本身的使用不当造成产品重复污染，也是产品污染清洁中的重要方面。

下面图片 ITO 镀膜产品综合利用不同清洗方式的典型例子，这是一条用于 ITO 膜生产平板显示器的自动生产线的不同部分，这条自动生产线中，把紫外线干清洗，超声波干清洗，超声波湿清洗等清洗工艺，按生产工序中不同段的工艺要求，有序的融合到整条自动线中去，产品在封闭的流水生产线内运行，杜绝了产品工序转序时在机器外面再次被外物污染的机会，以保证产品在进入每一道工序前，产品表面洁净能达到产品工艺要求。



触摸屏制造工艺实战与难点

编写：李星

[四]触摸屏市场的品质恶梦

深入了解过电阻式触摸屏市场的人，都不会忘记 2002 年底与 2003 年初，发生在“非典”之前的电阻式触摸屏品质“非典”。在原电子万年台历电阻式触摸屏应用的撬动下，大陆电阻式触摸屏厂也由零到开始，到出来了洋华、华意、冠星、凰泽、北泰等厂。当时国内的礼品与玩具市场中，盛行电阻式触摸屏替代按键的一种触摸屏按键电话，一下子订单猛增，把各厂的生产线撑得满满的，新的资本投资也蜂涌而至，在看似技术门槛很低的情况下，出了很多触摸屏厂。那一波电阻式触摸屏厂才确实的叫着山寨，拿着样品，很简单的破解出丝印先后顺序，就人工丝印或机器丝印，弄个丝印小作坊就开始生产了。甚至连 X 尾 X 利也兴冲冲的从日本引进一条二手电阻式触摸屏线 and 日本技术顾问，准备大展手脚，凭借出色的产能，一举垄断整个市场。然而由于技术上的不成熟，对材料特性的不了解，完全脱胎于丝印厂和按键开关厂的生产工艺的不规范，终于在电话机这个应用市场上得了“品质抽风症”，出现出厂三个月到六个月左右，整批产品“按键功能性失灵”品质异常，大家不得不还电阻式触摸屏技术缺失债。在大批量的退货与索赔下，电阻式触摸屏市场急转直下，又回到薄膜开关的市场中混饭吃，如果不是东莞成为“全球电脑加工厂”，在键盘薄膜线路大批量生产的影响下，说不定连薄膜开关电路厂，也要受到牵连。很多当年吃过亏的工厂，在前三年电阻式触摸屏市场疯狂捞钱的时候，仍没胆再次进入。

当年很多象 X 利这样的大厂在屡屡过不了自己和客户要求的“品质老化环境寿命测试”条件下，终止了对电阻式触摸屏的投入，甚至终止了电阻式触摸屏产品的研发。X 利立马把产线转为生产当时市场上技术更成熟的中小尺寸 STN 液晶显示屏产品，获取更大的利基，成就了独家企业在大陆研发自己的 TFT 液晶显示器生产线的传奇。相比当时坚持下来，仅凭国内山寨手机成功的台商 X 华，X 利好象走了一条更难的路，在后面的电阻式触摸屏市场上也因原来的良率与品质恐惧症，错过了 2006 年和 2007 年电阻式触摸屏

市场的快速积累，当看到胜 X 在电阻式触摸屏市场上成功后，才再次进入这一块市场，好象结果有点而令人叹息，但最终的发展后劲，按目前的情形来说，谁是真正的慧眼英雄，仍然不能下定论。但至少比 X 迪、X 东方、X 明等等那些产线要好得多，后面这些厂家，要么还没投产就关了，或是做到一半出师未捷身先死了。

然而多少受到当年电阻式触摸屏按键电话机市场的影响，展讯与联发科也把电阻式触摸屏驱动电路集成到自己的芯片中，这样一个无意的举动，象当年的电话机市场一样，瞬间成就了山寨手机的换代风潮，成功的引发了现在的电阻式触摸屏市场泡沫。

山寨手机市场上电阻式触摸屏为什么会成功，原因是当时的手机是按键与电阻式触摸屏共存，所以电阻式触摸屏是个可有可无的功能装饰。很多厂商对电阻式触摸屏仅 做出厂时的手工触摸笔校正与手工划线测试，不做什么品质可靠性测试。在出现少量因电阻式触摸屏失灵的退换货情况下，市场上也只要求三到六个月的品质保证期限。即使到了今天，绝大多数厂仍不签一年以上的品质保证协议。也就是说，电阻式触摸屏的品质可靠性，仍是市场上的幽灵，国内一百多家电阻式触摸屏生产厂家中，大多数工厂在电阻式触摸屏的关键技术上，仍是摸黑走夜路，谁碰到这只“鬼”，谁倒霉。随着苹果手机的去按键化影响，电阻式触摸屏的生产厂家中，会有更多的机会被这只“鬼”吸走生机。

如果说 2002 年底到 2003 初 那场品质恶梦，沾了“非典”的光，有一部分是因为对材料性能认识不彻底，材料厂商和生产工厂都有责任外，现在的品质危机仍然是对材料性能没有彻底了解所致。这也是现在很多所谓的“电阻屏技术高手”，身怀独特的“祖传秘籍”，让一些电阻式触摸屏工厂管理层“惊叹”不已的原因，从而也形成了大陆触摸屏工厂的独特生产工艺，比如说 原来应用在纤维线路板厂做阻蚀油墨或金属表面加工保护用的“可剥蓝胶”、“表面保护胶”工艺。

但是近七八年的实战积累，中国的电阻式触摸屏生产厂家并不是在技术上一无是处，多多少少也摸透了一些材料的本质，有一部分厂家开始出现比较低稳定的品质记录。在产品品质上，不怕良率低，也不怕成本高，最怕的是品质记录忽高忽低，那样的话，你不但没法进步，反而很容易出现致命的品质隐患。电阻式触摸屏的环境可靠性品质测试到目前为止， 业界没有统一的一个标准，很多执行的测试标准都是照搬液晶显示器或其他相关电子元器件的标准，所以很多生产厂家还没有掌握针对电阻式触摸屏功能特性的环境可靠性品质测试方法，只能在客诉与退货分析中一步一步分析，再在设计与生产中进行预防纠正。

从日本在上世纪九十年代初，大力在机械设备上应用电阻式触摸屏产品开始，电阻式触摸屏产品在日本市场技术上已经是十分成熟。但为什么一直没有集成到日本九十年代发展最迅猛的民用通讯产品和其它数码与游戏产品上，小的产品尺寸、窄边设计产品性能的不稳定与失效、透过率降低导致的能源消耗等等，直到现在，电阻式触摸屏产品在中国的小尺寸显示器产品市场上已经大行其道了，这个产品并没有在技术成熟的日本市场全面应用的主要原因。

信息爆炸带来的摩尔效应，产品升级换代速度加快，制造业中心往市场来不及及规范的中国大陆转移，都让欧、美、日等原工业国家跟不上节拍，这就造成了以台、韩厂商为材料技术扩散中转站，中国大陆胡吞海塞，山寨技术四处开花的二十一世纪中国电子消费品市场现象。

这种来不及完整消化的技术，基础材料和基础技术等研究开发环节的缺失，加上目不暇接的产品换代速度，造成了品质市场检验回馈不应期的消失。在品质实用主义泛滥的市场中，很多产品在来不及发现问题的时间就已淘汰，从市场消失了，也让科研技术人员失去了产品开发与品质研究的方向。很多东西都是快速仿抄、生产、出货、清仓，根本来不及进行正规的市场临床检验周期。这也是为什么中国产品会有基数大、换代快、品质低劣等印象的根本原因。

国内的电阻式触摸屏产品也一样，基本上使用寿命一年后，还能达到出厂标准的产品可能不到三分之一。在标准的 ITO FILM 对 ITO 玻璃二层结构的四线式电阻触摸屏产品品质稍有改观的情形下，为了迎合苹果手机无键盘设计理念，又推出了四层结构的 TOUCH LENS 产品。

苹果在测试 IPHONE 手机之初，为了尽量消除窄边设计带来的品质不稳定性和使用安全考虑，它的投射电容式触摸屏，也是采用类似现在 TOUCH LENS 的四层软膜结构。但是经过一年多的测试，这种软膜结构根本无法保证产品的使用寿命，并在不断的挤压过程中，因触摸屏产品形变形成对显示器的光学干扰，影响 IPHONE 产品的使用性能，最终在产品定型前，换回以钢化玻璃为主体的结构。

电阻式的 TOUCH LENS 产品，本来可以部分消除窄边设计带来的功能不稳定性，适应去键盘产品的需求。但是由于 3G 终端产品的竞争，通讯产品由原来的低端慢慢进入高端，加上经济泡沫破灭的影响，图形化界面的使用，也增加了触摸屏的操作频率和延长了产品换代时间。原来三个月、六个月、或一年的品质保证，肯定在市场上渐渐行不通了，愈来愈多的终端客户要求提供三年或三年以上的品质保证期限。

电阻式触摸屏生产厂家又一次卡在了技术与品质上，为了逃出市场品质追踪，部分醒悟的企业慢慢把重心转移到使用寿命更长的电容屏产品开发上，另一部分企业则停止了电阻式产品的研发与生产，转向了其他行业。

而在这个时候，一种更取巧的电阻式触摸屏产品，TOUCH WINDOW 在某些有心人的推动下进行大陆市场，这种天生品质缺陷的产

品，将以更快速度的终结着大陆电阻式触摸屏市场，促使触摸屏市场由电阻式转向投射电容式。

触摸屏制造工艺实战与难点

整理：李星

〔五〕网印中的故障与对策

本篇原文由李勇成编写(pcbiso@163.net)，全面叙述了PCB线路板丝印中的故障与对策。同样适用于触摸屏生产使用，在此全文引用。大家若有疑惑，可与李勇成pcbiso@163.net联系。

网印过程中，会发生各样的故障，它既影响生产又影响网印质量。产生故障的原因很多，不但与操作人员的网印技术高低有关，而且也与印料、承印物的性能、网印方式、网版质量、刮板等有关。如果网印操作人员的技术不熟练，工作质量不高，则容易发生网印故障。同样，如果印料、网版、刮板、网印机、网印环境等不好，也会产生网印故障。

1.关于由印料方面的原因引起的故障

网印图象的质量和网印料的成膜状态受到印料自身性能的影响，网印过程中，因印料产生的故障有（1）堵孔，（2）印制板的反面被印料沾污，（3）粘接不良，（4）粘网，（5）针孔麻点，（6）印制导线成锯齿状，（7）网印图形上有丝网纹，（8）斑点，（9）叠印不良，（10）渗色铺墨，（11）网印的颜色不匀。以上这些问题不仅需在网印过程中进行不断的体验，而且还必须对网印成品进行各种物理、化学性能的检验，这是十分必要的。为了保证网印质量，应尽可能想办法避免网印不良现象的产生。为此，首先要加强网印工艺管理和控制，其次还必须对印料进行严格的质量关，印料的耐蚀性、耐弯曲性、耐溶剂性、耐光性、耐候性、粘度、粒度、粘接强度等性能决定或直接影响印制板的性能。所以必须根据网印条件和产品性能要求，经过预先试验验证，选择合适的印料，确定印料供货生产厂家并与之签订技术服务协议。

1.1 堵孔

网版上的印料将网版部分网孔堵塞，致使该部分的印料透过量较少或根本不能透过，造成印刷图形不良。

1.1.1 网版目数与使用的印料不匹配

使用的网版目数高、其开孔孔径小，而使用的印料粒度（细度）大在网印时印料中的大粒子颗粒将网孔堵塞造成故障而影响网印。印料中的大粒子主要是来自印料中的填料，如颜料，荧光剂等。使用金、银导电印料、碳质导电印料时，由于其粒度较大，应选用低网目的丝网制作网版。

1.1.2 网版上的印料干涸

印料中的溶剂在网印过程中，由于受环境影响而挥发造成印料发干。对于这种情况，应根据作业环境的温度，湿度条件，选择合适的印料稀释剂，以控制印料干燥速度达到防止因印料干涸造成堵塞网孔故障。

1.1.3 印料粘度大

印料粘度大，粘弹性强、流动性差、因而网印时印料透过性不好，易产生堵孔。一般来说，要降低粘度，向印料中添加助剂或稀释剂，进行充分搅拌后即可用。

对策：

- 1)认真仔细地清洗网版；
- 2)对印料重新进行体验，确认是否可以继续使用。

1.2 印制板反面被印料沾污

由于印制板上的印料涂膜尚未完全干燥，就把印制板堆叠放在一起，致使印料粘附在印制板的反面而造成沾污，例如：要使用氧化聚合型印料时，由于堆放在一起印制板的自身重，把印料涂层表面弄破，致使涂膜内层未完全固化的印料粘在印制板的反面而造成污染。

1.3 粘接不良

网印范围很广，可在各种材料上印刷。所以产生粘接不良的因素是很多的。

1. 3. 1 印制板方面的因素引起粘接不良

印制板的前处理对粘接强度影响很大，如果前处理不良将会导致粘接不良。前处理有多种方法、对于处理表面的好坏，往往不易用肉眼来检验，可用润湿法试验判定处理效果的好坏。

1. 3. 2 选用的印料与承印物不匹配

应根据承印物材料的性能和网印要求选用合适的印料。在流水作业之前，应对承印物材料的质量及表面处理情况进行试验，以确定选用的印料。

1.4 粘网

1. 4. 1 由于印料受压力及温度的影响产生粘网
1. 4. 2 由于网印条件的变化，印料印得过厚引起粘网。
1. 4. 3 橡胶刮板因受溶剂影响而膨胀，强度降低，网印时发生弯曲致使刮板角度减少，引起网印印料涂层过厚。
1. 4. 4 刮板长期使用造成磨损使其头部成圆弧状，使印料涂层过厚。
1. 4. 5 热塑性树脂为主要成份的印料，如果网印后叠放因受其自身重力影响或受热都易导致印料涂层发粘而产生粘网。

1.5 针孔和起泡

针孔现象是网印中最令人伤脑筋的问题。印制电路板在网印之后需进行下道工序加工，如蚀刻，这里绝对不允许有针孔的。产生针孔的原因有形形色色，针孔问题是质量管理中最重要的检验项目之一。

1. 5. 1 网版上的灰尘及杂物造成针孔

- (1) 在制网版涂布感光胶时，有灰尘混入而附着于网版上形成针孔。对网版进行认真检查，发现针孔及时修补。
- (2) 网印过程中，有灰尘或杂物附在网版堵塞网孔，从而造成网印后有针孔。为此，要擦拭网版。

1. 5. 2 印制板表面被污染

- (1) 印制板表面在进行清洁处理时，有清洗剂残留在其表面形成薄薄的膜，而引起印料不浸润，产生“进墨”造成针孔。
- (2) 搬运印制板不戴手套，直接用手触摸搬运，手上的油脂、手汗污染印制板表面，产生“进墨”引起针孔。

1. 5. 3 印料中有气泡

为了调整印料的粘度添加溶剂进行搅拌，印料产生气泡，此时，可静置一段时间，大部分气泡会自然消失，但由于印料的粘弹性，有些气泡不会自然消失，在网印时才会消失，但有些印料中的气泡必须使用消泡剂才能消失。消泡剂有快速的和慢速的，二种添加量一般为 0.1 ~ 1%，用量过多，不但起不到消泡作用反而会成为发泡剂。

1.6 网印导线成锯齿状

网印的导线成锯齿状。产生这种现象的原因在制作网版时，掩膜太薄，网版图象本身有缺口。要避免这种现象、制版掩膜要有适当的厚度和弹性，尺寸要求高的图象应选用高网目的聚酯丝，网印导线图形的方向要尽可能与刮板刮动的方向一致，若导线成垂直刮板运动方向则十分容易产生这种现象。另外，绷网时，丝网的丝线方向与网框成一定的角度，最佳角度为 22.5°。

对策：

- A制作高质量的网版图象，网版导线的边必须挺括。
- B印制板对印料的吸附性要好。
- C印料触变性要好
- D网版与印制板之间的距离及刮板刀口的角度要适当。
- E丝网张力、网距印压要适当。

1.7 网印图形上有丝网布纹

网印图形上有丝网布纹，主要是选用的丝网目过低，印料触变性不好及印料干燥固化速度过快。为此，可选用高网目的丝网制作网版，使用触变性能良好，干燥慢印料。

1.8 斑点

网印图形出现斑点状现象而影响顺利网印。产生这种现象的原因有：

1. 8. 1 网印速度和印料的干燥过慢
1. 8. 2 印料固体含量过低
1. 8. 3 印料的触变性过大
1. 8. 4 静电的影响
1. 8. 5 印料中的颜料分散不均匀，颜料粒子之间相互吸引凝聚而引起彩色斑点。

对策：

- (1) 改进印料的流动性，(2) 使用挥发速度快溶剂，(3) 选用高粘度印料，(4) 尽可能减小静电影响，可采用除静电装置。

1.9 网印图形的颜色不均匀

造成网印颜色不均匀的原因是多种多样的，仅就印料方面而言，印料中的着色剂 分散不均匀，印料细度大，网印渗墨等。要防止这类故障，网印前过滤印料，并对印料要进行充分的搅拌。

2.网版方面的故障

网版方面的故障，有制网版时产生的问题，也有网印过程中网版产生的问题，本文仅就网印过程中网版出现的故障原因及对策加

以叙述。

2. 1 堵孔

初次使用的新网版时印料过不良，主要是制版质量问题，可能由于网版图形上有掩膜余胶，可用溶剂擦洗网版去除余胶，如果仍不能使用，只有重新做网版。若开始网印时网版透过印料性能良好，而网印过程中逐渐出现印料涂层变薄，麻点，完全网印不出印料。产生这种情况的原因可能有：印料干燥过快，在网版干涸堵孔，印速过快，刮板硬度过高等。对此，应选用挥发性慢的溶剂调印料，用柔软的布蘸上溶剂轻轻擦洗网版，网印完毕后，必须用溶剂把网版清洗干净，否则残留印料干涸会堵塞网孔。

2. 2 网版漏墨

网印时，网版上的印料滴漏到印制板上。产生这种故障的原因有：印制板表面或印料中有尘埃、杂物、网印时因刮板压力、尘埃或杂物使网版破损；另外还可能由于制版时，网版掩膜胶曝光不足，造成网版掩膜固化不完全，网印时脱落形成小孔，导致漏墨。对此，可用胶纸或胶带贴在网版小孔上，也可用制网版胶修补。

2. 3 网版的破损和精度下降

网版经长时间的使用，因受到板刮的磨损和印压影响，即使是质量十分良好的网版，其精度也会逐渐降低或破损。这是网版的寿命所决定的。网版的耐印次数（或寿命的长短）与制版掩膜方式有密切关系，直接法制网版的寿命要比间接法制网版寿命长些。正常条件下，直接法网版可耐印 2~3 万次。一般来说大批量生产采用直接法制网版。直接法制版采用固化后耐水耐溶剂性良好的水溶性感光树脂乳剂。雨季由于空气潮湿，容易影响直接法制版质量及使用寿命。间接法网版的破损不是一下使掩膜与丝网剥离，而是一点一点的因受侵蚀从丝网上剥离下来。采用直接间接法制网版，掩膜厚度均匀且厚度可以设定，因而图象边缘清晰，但在加热过程中菲林膜与丝网边缘收缩不一致，对策是在四周涂上直接法制版用感光胶；覆贴菲林膜时如果有灰尘夹在丝网与感光膜中间，会造成局部感光膜与丝网粘附不良，影响网印质量和寿命，对策是在贴菲林膜之前，用防静电布擦拭膜片。

2. 4 印压过大造成的故障

网印时，加于刮板的力产生印压，其目的是使网版与印制板成线接触，刮板刮动印料透过丝网形成图象。印压大小，取决于网版张力、刮板长短、网版与印制板之间的距离（网距）。刮板压力大，不仅会使印料透过量大，印压过大，引起刮板弯曲变形，反而会使印料透过量减少，甚至使网版与印制板不是线接触而成为面接触，不仅不能网印出清晰图象，而且还会引起刮板磨损及网版掩膜脱落、丝网拉长、图象变形。

3. 印制板方面引起的有关故障

3. 1 粘接不良

粘接不良不仅有印料方面的因素，也有印制板方面引起的因素。印制板表面处理不良，是引起粘接不良的重要原因，必须根据各种材料的特性，采取不同处理方法。

3. 2 图象印刷位置不精确

即使网版尺寸、网印机等方面都不存在什么问题，但印制板材料形状不一致，材料收缩过大且不一致等都会造成故障。当承印材料是挠性材料，如塑料薄膜时，网印场所温度、的变化都能引起其尺寸的变化，影响网印精度，网印时都必须考虑，尽可能预先计算给予补正。采取相应措施。

3. 3 精密图形的印刷

网印中，印制电路板，厚膜IC，电阻等的印刷，要求网印精度很高，因而对网框结构，绷网、制网版、印料、网印机、网印环境的温湿度、洁净度以及承印材料自身的性能、表面处理都有十分严格的要求。

4. 手工网印一般故障与对策

1)网印前应首先对印制板材料的性质作进一步了解并加以确认。

2)网印前对网版进行认真地检查。

3)网印结束后必须把网版用溶剂清洗干净，不能留有一点印料，否则将会引起堵孔。

4)不是在万不得已的情况下，不要用树脂胶带贴网版，因为用树脂胶带贴网会引起网版收缩，从而导致图形尺寸产生误差。

5)如果不得已贴胶带，尽量不要把胶带贴在图形附近，如果胶带贴得离图形太近的话，网印时易产生斑点。

6)在网印过程中，要经常注意观察印料状态的变化，如果有异物混入印料，应将异物去除后再印刷。

7)刮板受溶剂影响容易发生变化形，所以网印束之后，必须把刮板清洗干净，另下最好有几块刮板能轮换使用，这样不仅可以延长其使用寿命，还可以有较好的网印性。

8)网印时，对刮板进行仔细检查，如果刮板有磨损或缺口，应对刮板进行研磨。

5. 机械网印常见故障及原因对策

5. 1 原因和对策:

- 1)刮板刀口有缺口——磨刮板。
- 2)刮板压力太小——加大刮板压力。
- 3)网版与印制板之间的间距太大——调整网距。
- 4)网框翘曲造成刮板压力不均匀——调换网框，重新绷网、制网版。
- 5)印料粘度过大——调配印料并在调配后稳定一段时间之后再使用。
- 6)制网版掩膜太厚，透过印料量少，网印导线太细——制网版时要控制掩膜厚度（直接法）。
- 7)网印速度太快——适当调慢网印速度。
- 8)选用印料不当、丝网目数过高——更换印料，选用目数稍低的丝网制网版。
- 9)推回印料不均匀——调整刮墨刀。

5. 2 渗墨

- 1)刮板刀口变圆——磨锐刮板刀口。
- 2)刮板网印角度太小——适当调大刮板网印角度。
- 3)印料粘度太低——换用粘度大的印料。
- 4)溶剂与印料混合不良——对印料进行充分搅拌之后再进行网印。
- 5)用溶剂擦拭网版，溶剂未完全挥发就进行网印——擦洗网版后，待溶剂挥发后再进行网印。
- 6)丝网目数太低——选用高网目的丝网制网版。

5. 3 网印图形不良，出现斑点，印料涂层不均匀

- 1)印料的触变性不好——按资料调配印料或换用新印料。
- 2)印后网版起网慢——调整印料粘度，增大绷网张力，增强起风的弹力。
- 3)网版图形距离网框边缘太近——换用大的网框制网版，把较小的图形制作于网版中心。
- 4)静电引起的印料成象不良——消除静电。
- 5)刮板角度过小——调整刮板角度。
- 6)网印速度不均匀——调整刮板速度或修理网印机。

5. 4 网印图形有针孔

- 1)制网版时，网版掩膜涂布不均匀，网版图形有针孔——用丝网胶修补网版。
 - 2)印料内混入杂质堵塞网孔——擦洗网版。
 - 3)空气中的灰尘附着于网版图形上——擦洗网版去除灰尘。
 - 4)印制板的表面未洗干净，有灰尘附着于网版——清洗网版，印制板表面充分清洗。
- 擦拭网版时，不小心将网版擦伤成小针孔——修补网版，擦网要用柔软的布轻轻擦拭。

5. 5 网版寿命短

- 1)印制板表面凸凹不平或有毛刺，在网印过程中，网版与之接触，使网版图形变形或产生小孔——进行表面处理。
- 2)网版张力大小不适当——调整张力（自张式），固定式绷网必须重新绷网制版。
- 3)制网版乳剂选择不当——根据网印条件，选用合适的制网版乳剂。

5. 6 网印机操作注意事项

- 1)不论滴在网印机任何部位的印料都必须立即擦拭干净。
- 2)网印机的活动部位必须每天加油润滑。
- 3)调机后，螺丝必须拧紧。
- 4)网印机安装必须保持水平
- 5)吸盘在网印中十分重要，务必不要碰伤。
- 6)不允许把溶剂搞到吸盘上。
- 7)必须每月对真空泵除尘器进行一次清理，以保证吸力及延长泵的使用寿命。
- 8)操作工必须掌握网印机的使用规则。

6. 静电在网印中引起的故障

6. 1 故障

- 1)静电吸附灰尘、影响印料的正常使用性能，引起堵网孔，造成网印图形有针孔、麻点。
- 2)静电放电产生火花，容易引起火灾，特别是易燃溶剂场合中，对此要特别注意。
- 3)一般情况下，静电对人体不会产生电击危害，但经常受到静电电击会对操作不员的心理、情绪产生不良影响。

6. 2 对策

- 1)控制网印场地的空气湿度，一般可控在温度 20℃左右，相对湿度 60% 。
- 2)向擦拭承印物表面的酒精中加入少量静电防止剂。
- 3)降低刮板对丝网的摩擦压力或者降低网印速度。
- 4)尽量减小对承印物的磨擦、压力、冲击。
- 5)利用红外线、紫外线等的离子作用防止静电。
- 6)利用高压电流的电晕放电离子作用防止静电。
- 7)网印机装置接地线、或安装防静电装置。

7. 印料与网印的关系

7. 1.影响网印品质的因素

7.1.1 印料的性质：粘度、细度及流动性

7.1.2 网版状态：网目、张力及感光胶

7.1.3 网印条件：印压、刮刀硬度、角度、网印速度

7.1.4 网印环境：室内的温度、湿度、洁净度，如果采用液态感光型印料，（还应在黄光区内操作）。

7.2.印料的粘度与网印性

印料由合成树脂、颜料、填料、溶剂等配合而成，其粘度会受温度的影响，温度升时粘度下降。

如果网印室的温度、湿度昼夜保持恒定（一般为 $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $55\pm \% \text{RH}$ ），且网版及网印条件保持规格化则印出的质量一定稳定。当室温低时，粘度较高，为了降低粘度而加入稀释剂，结果虽然粘度降低了，但涂层性能也受影响，若必须加入稀释剂时，应充分混合搅拌后，静置短一段时间后，再开始网印较佳。

理想的印料，为温度上升时粘度适度下降。在室温保持下，印料的粘度调整到多少最适宜呢？这个数很难定出，因为它与网版的网目、印压、网距等设定有关。

7.3.印料的流动性及网印性

印料中固体物的粒径及结块的大小决定所选网布的网目数，使印料有良好的流动性。为了良好的网印性，丝网的开度大小应为印料中粒子平均大小的 3~5 倍，就聚酯网布而言，若用 305 目网布印刷，其网目的开度为 $48.3\mu\text{m}$ ，则印料的平均粒径应在 $10\mu\text{m}$ 以下，印料的粒径可以使用细度计进行检验。

7.4.印料流动性及网印性

印料生产后贮存一段时间，会产生颜料粒子结块，或是整平剂等助剂浮到表面上来，因此印料使用前，必先加以充分搅拌，但大部分印料皆为触变性流体，当搅拌之后触变流体的分子引力被切断，必须经过一段时间才能回复，所以印料搅拌后，最好静置 30min 才开始使用。

所谓触变性是非牛顿流体的一项特性，其物理意义为在一定的剪切速率下，粘度随着时间的增加而减少。

粘度的定义代表了印料的流动性，通常可用粘度计测定，触变指数可用 TI 表示，其意义为低转速的粘度值对高转速的粘度值的比值。TI 值愈大表示印料的触变性愈大，TI 值愈小则触变性愈小。

印料的 TI 值大印压轻而导线分辨率好，但表面整平性差，易有网目的痕迹留在上面；TI 值小则导线分辨率差，但整平性好，由此应选择合适的 TI 范围。

实际上工业的 TI 值指的只是粘度指数，并未显示出触变性的精华，也就未将时间因素考虑进去，事实上网印时触变性大的印料在网印后因粘度未回复，会慢慢流动，到达平衡稳定时，其所印导线的边缘，会比触变小的印料更能保持垂度，但是触变性太大时，因回复原有粘度所需时间太长反而降低了分辨率，甚至造成渗展现象。

(原文由李勇成编写pcbiso@163.net编写)

触摸屏制造工艺实战与难点

编写：李星

【六】牛顿环（彩虹）的前世今生

在电阻式触摸屏和液晶显示器的生产加工过程中，牛顿环（有些厂家也叫彩虹纹，或干脆叫彩虹）就象一个漂荡在工场的幽灵，一不小心，它就时不时的在生产与客户使用过程中出现，弄得不少在工场做现场管理的工艺技术人员神魂颠倒。不是因为这彩虹太美丽，而是这美丽的品质杀手，在目前的行业中，太容易闯祸，让别人一眼精艳的挑出毛病来。

在显示器模组中，牛顿环出现的区域，因为光线干涉的原故，会造成色彩叠加因而导致最终显现的色彩不正，另一方面，也降低了该区域的显示对比度，所以都是作为致命的主要缺陷列置。

一、 牛顿环的产生机理

我们知道，不管是电阻式触摸屏，还是液晶显示器，支撑主体都是两块 ITO 玻璃或一块 ITO 玻璃，一块 ITO FILM，如果有一面材料产生形变，材料 ITO 内表面产生一个曲率半径的曲面，跟平常物理光学里讲的产生牛顿环的凸透镜与平面镜内表面的效果是一样的，牛顿环同样是体现了光线在相对的两个表面因反射光线与入射光线光程差与波长间的关系。它同样的，会因为光程差的增大，也就是两表面间的距离增加，牛顿环的间距也会增大。

在实际生产过程中，不管电阻式触摸屏也好，液晶显示器也好，都会把外框支撑处的间隙距离做得比中间的稍微大一些，如果工艺中参数稍有差异，那么这种距离差就没法消除，这样就让两个表面的产生一定的中间向内凹陷，这样光线在两个表面间的光程差就会产生不一样，在入射光与反射光的互相干涉过程中，就会按不同的光程差区域选择出不同的波长出来，显现出对应波长的颜色。

二、 实际生产中牛顿环产生的地方与原因

在液晶显示器模块中，有三种地方最容易产生牛顿环：

1、 液晶显示器内部产生的彩虹。

液晶显示器的盒厚一般都在 10 微米以下，如果里面的空间粒子数量不够，或分布不均匀，或是外框与内部支撑的空间粒子直径搭配不适合工场设计的工艺，都会产生彩虹缺陷。另一个主要的产生原因是，成盒过程中，盒内被超过空间粒子直径的外物所污染，这也是液晶显示器工场对于洁净环境管控十分严厉的缘故。

2、 液晶显示器与电阻式触摸屏之间的水波纹（也叫水纹）

这种水波纹，同样是牛顿环中的一种，特别是电阻式触摸屏动作时，加在电阻式触摸屏上的外界压力引起电阻式触摸屏下表面弯曲变形时，会随着力度的变化，牛顿环的色彩半径也会移动、生成或消失，就跟水面投进石子产生的水波纹一样，所以这种牛顿环也叫水波纹或水纹，表现出来是会随动作地点和动作压力的变化而变化。

3、 电阻式触摸屏内部的牛顿环（也叫彩虹纹）

电阻式触摸屏在生产过程中，为了产生一个触动区域的变形量，外框的高度一般要比里面的支撑点高出很多，如果印制水性粘胶做外框的话，一般高度在 50~70 微米左右；如果是使用 PET 基材双面胶，一般也在 50 微米以上，而里面的支撑点，一般不到 25 微米，如果使用直径 30~45 微米的 DOT，支撑点最后的成型高度也只有 15~25 微米左右。

加上电阻式触摸屏的操作面，同样是为了产生一个触动区域的变形量，一般都是 ITO FILM，材质是柔性的。这样，如果生产过程中工艺参数控制不精确，不用动作操作，处于产品靠中间部分的 ITO FILM，自己都会塌陷，贴在支撑点上，产生曲面变形，这样，入射光线与两个 ITO 内表面的反面光线产生干涉，便形成了牛顿环。

三、 如何测算预防牛顿环产生的设计参数

在实际生产中，如何有效的防止牛顿环的产生，同样可以根据牛顿环的光学规律进行预防。

在我们开始设计产品这初，可以根据产品外形尺寸，计算出内外框的高度数值是多少时，牛顿环的暗环内环半径，会落在产品尺寸以外，这样就可以优化出自己的设计参数。（如何计算及原理公式，可参考附件《等厚干涉实验》）。

当然，上面这种方法只是理论上的验证，实际上，如果真正的按照计算数据，我们就无法做出客户需求的产品了，不过这种计算，可以指导我们在生产中，如何尽量靠近理论数值。

有人会说，那计算出来的不一定准确，生产中又不能避免，就没有更好的办法了吗？有，还是参考附件《等厚干涉实验》的方法，用显微镜或千分尺来测出你的上膜往下变形偏移多少时，牛顿环就出现了，再算出你的牛顿环出现时最小的中间空间粒子或支撑点的厚度，如果与压力计一起配合，还能测出产品出现牛顿环时，所受的压力是多少。

所以，有时想想办法，事情总是很简单的，关键是，不要把自己搞不清的问题神化，再以讹传讹。另外这个行业刚刚经历大爆发，其中多数的技术人员或管理人员都是原来二、三个老厂里的员工，所受的文化素质、技术素质和职业道德素质有多少，大家心知肚明，说不定老板本身就有这方面的缺陷，还能指望你的手下吗？题外话了。反正，任何的问题，都有办法解决，没有什么的行业难题，大家都是这样之类的东西，有可能大家都是这样，也就是原来那二、三家厂是这样，不代表整个行业是这样，至少日本厂的问题与台资厂的问题和大陆厂的问题，就完全不一样。问题的出现，先从试验方法上论证，再从实验数据上验证，再从工艺参数上调整。

四、如何从工艺上预防牛顿环的产生

1、液晶显示器的彩虹

彩虹缺陷可以很快的用显微镜找到根源，如果是点状的，可以在显微镜下看到三种情况：空间粒子数量少，空间粒子聚集结团，盒内异物。这样的缺陷，就按观察到的现象，可以马上从调整前面空间粒子撒布机的参数，空间粒子撒布段与组合段的环境洁净维护两方面进行预防。

如果是整个液晶显示器都是彩虹，那要么是外框和盒内部空间粒子搭配错误，要么是盒内空间粒子数量不够或没有。这样的缺陷，可能检查前面空间粒子撒布的工艺材料参数，粒子检测数据上，调整参数进行预防。

如果是盒外框附近出现彩虹，要么是外框封装材料受异物污染，可以从显微镜里看到，要么是成盒受力不均引起，需要检查成盒设备并进行维护。成盒设备出现故障，或成盒过程中夹有异物引起彩虹，都会在相邻的另外几片产品相同位置产生牛顿环，也就是说会有规律性。

2、电阻式触摸屏与液晶显示器间的水波纹

要防止水波纹的产生，一是增加电阻式触摸屏的强度，比如说原来是用 PC 基材的换成受力更大的压加力或玻璃材质，或者是由原来薄的基材，换成厚的基材。这也是为什么尺寸超过一定的电阻式触摸屏产品就要用 2MM 厚度的玻璃或强化玻璃的原因之一。所有的设计参数变化，都是有道理的，并不是从外面瞎抄就能抄到的，如果不明原理瞎抄，要么浪费你的材料和品质成本，要么无法避免自己潜在的品质缺陷与产品良品率。

其次是在满足客户要求的情况下，电阻式触摸屏与液晶显示器之间的组装双面胶选用更厚的厚度，让牛顿环的暗环移到产品尺寸之外。或者在电阻式触摸屏与液晶显示器的组装面也印制上支撑点，把外来压力通过支撑点转移到液晶显示器和主板外壳上，减少电阻式触摸屏的变形量，预防牛顿环，也就是水波纹的产生。

如果能够满足产品的显示需求，在能接受显示效果的条件，也可以把电阻式触摸屏与液晶显示器组合面液晶显示器上的偏光片换成防眩偏光片。注意，防眩偏光片的近观显示效果比普通偏光片显示效果要差很多，特别是 QVGA 以上液晶显示器，如果更换后，显示图案的精细度、反应速度和对比度，都会明显下降，所以一定要最终客户确定显示效果后才能更换。

3、电阻式触摸屏的牛顿环

电阻式触摸屏的牛顿环预防起来确实要比较麻烦，因为多数电阻式触摸屏的操作面，采用了柔性的 ITO FILM 基材。

预防电阻式触摸屏的牛顿环，首先要在 ITO FILM 调质处理过程中，选择好适合自己的工装治具和设备的调质处理参数，让 ITO FILM 各部分同步收缩，不产生因收缩不均匀产生的不平整，或把装载治具上的不平整转移到 ITO FILM 上。这种因 ITO FILM 调质处理没做好而产生的牛顿环，有个很明显的点，如果是组合再分粒的产品，组合好后看不到牛顿环，但在产品分粒后 48 小时左右就会出现。

支撑点的高度控制，也是预防牛顿环的主要方式，通过上面的计算，可以看出，支撑点的高度超过一定的数值，就会很难形成了，或都是间距很大，被淡化了，所以我们一定要保证一定的支撑点高度。

支撑点的高度肯定与支撑点附着面积有一定的关系，在同样的条件下，高度越高，支撑点附着面积也越大，对于一些精细画质的液晶显示器来说，像素大小可能只有 60 到 90 微米，如果一个支撑点大小超过像素大小的一半以后，那么这个像素就会产生显示畸变，在一定的距离上观察，能把整个支撑点布局从显示画面上显现出来。为了解决这一问题，日本厂家在窄边设计的小尺寸产品中，使用模具或加垫片组合的方式，让产品填充空气，人为的增加产品内表面间的距离，即避免了牛顿环的出现，也不用为外框设计十分复杂又难制作的通气通道，同时也可以设计出附着面积很小的支撑点来。

充气方式的缺陷是，不能用温差变化剧烈的环境里或大尺寸产品中。特别是印制水性粘胶的产品，由于又是窄边设计，又难以操作，造成粘结力不足。在温度剧烈变化后，很容易造成漏气，漏气后，避免牛顿环作用就没了。很多厂商的产品在出厂前放在自己恒温仓库没有问题，拿到客户的普通仓库放置一个星期，或干脆只是经过了汽车运输，产品就出现的牛顿环现象，就是这个原因。所以充气并不是对付牛顿环一招鲜的祖传秘方，如果不考虑产品的使用条件与环境，再加上其他的辅助工艺配合的话，起不到真正的作用。

电阻式触摸屏敏感区的牛顿环，同样是各个工艺材料厚度的组合以及 FPC 热压温度压力参数不合适产生的，基本上可以调整 FPC 材料厚度和热压参数就可以解决。

至于一些观看距离比较远的大尺寸显示器产品，因为像素尺寸也比较大，完全可以用 50 到 60 微米大小的支撑点，除非是支撑点印制不均匀或支撑点高度塌陷，一般不会出现牛顿环现象了。

五、结语

xinglcd@126.com 李星

牛顿环，无非就是平行入射光与反射光互相干涉产生的，这种干涉只在一定的光程差内才会显现出来。要避免牛顿环的产生，一种方法是打乱光线传播方向，比如说在电阻式触摸屏上，使用雾面 ITO FILM；在液晶显示器上使用防眩偏光片等；另一种方法是保证内表面的平行度，让内表的曲率半径够大，让牛顿环的暗环区扩大到产品之外；还有就是加大两表面的光程差，让牛顿环的暗环区落在产品尺寸外或加大牛顿环相邻环的距离，淡化牛顿环。只要根据牛顿环的产生机理，在生产过程中加以控制，牛顿环并不是一个品质幽灵。

