

ITO薄膜

ITO薄膜概述

掺锡氧化铟 (IndiumTinOxide)，一般简称为ITO。ITO薄膜是一种n型半导体材料，具有高的导电率、高的可见光透过率、高的机械硬度和良好的化学稳定性。因此，它是液晶显示器 (LCD)、等离子显示器 (PDP)、电致发光显示器 (EL/OLED)、触摸屏 (TouchPanel)、太阳能电池以及其他电子仪表的透明电极最常用的薄膜材料。

ITO薄膜发展

真正进行ITO薄膜的研究工作还是19世纪末，当时是在光电导的材料上获得很薄的金属薄膜。关于透明导电材料的研究进入一个新的时期还是应该在第二次世界大战期间，主要应用于飞机的除冰窗户玻璃。在1950年，第二种透明半导体氧化物 In_2O_3 首次被制成，特别是在 In_2O_3 里掺入锡以后，使这种材料在透明导电薄膜方面得到了普遍的应用，并具有广阔的应用前景。

ITO薄膜的基本性能

一、ITO薄膜的基本性能ITO ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2=9:1$) 的微观结构， 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 1020 至 1021cm^{-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。ITO是一种宽能带薄膜材料，其带隙为 $3.5\text{--}4.3\text{eV}$ 。紫外光区产生禁带的励起吸收阈值为 3.75eV ，相当于 330nm 的波长，因此紫外光区ITO薄膜的光穿透率极低。同时近红外区由于载流子的等离子体振动现象而产生反射，所以近红外区ITO薄膜的光透过率也是很低的，但可见光区ITO薄膜的透过率非常好，由于材料本身特定的物理化学性能，ITO薄膜具有良好的导电性和可见光区较高的光透过率。

二、影响ITO薄膜导电性能的几个因素ITO薄膜的面电阻 (R)、膜厚 (d) 和电阻率 (ρ) 三者之间是相互关联的，这三者之间的计算公式是： $R = \rho / d$ 。由公式可以看出，为了获得不同面电阻 (R) 的ITO薄膜，实际上就是要获得不同的膜厚和电阻率。

一般来讲，制备ITO薄膜时要得到不同的膜层厚度比较容易，可以通过调节薄膜沉积时的沉积速率和沉积的时间来制取所需要膜层的厚度，并通过相应的工艺方法和手段能进行精确的膜层厚度和均匀性控制。

而ITO薄膜的电阻率 (ρ) 的大小则是ITO薄膜制备工艺的关键，电阻率 (ρ) 也是衡量ITO薄膜性能的一项重要指标。公式 $\rho = m / ne_2T$ 给出了影响薄膜电阻率 (ρ) 的几种主要因素， n 、 T 分别表示载流子浓度和载流子迁移率。当 n 、 T 越大，薄膜的电阻率 (ρ) 就越小，反之亦然。而载流子浓度 (n) 与ITO薄膜材料的组成有关，即组成ITO薄膜本身的锡含量和氧含量有关，为了得到较高的载流子浓度 (n) 可以通过调节ITO沉积材料的锡含量和氧含量来实现；而载流子迁移率 (T) 则与ITO薄膜的结晶状态、晶体结构和薄膜的缺陷密度有关，为了得到较高的载流子迁移率 (T)，可以合理的调节薄膜沉积时的沉积温度、溅射电压和成膜的条件等因素。

所以从ITO薄膜的制备工艺上来讲，ITO薄膜的电阻率不仅与ITO薄膜材料的组成 (包括锡含量和氧含量) 有关，同时与制备ITO薄膜时的工艺条件 (包括沉积时的基片温度、溅射电压等) 有关。大量的科技文献和实验分析了ITO薄膜的电阻率与ITO材料中的Sn、O₂元素的含量，以及ITO薄膜制备时的基片温度等工艺条件之间的关系。

三、通过低溅射电压制备ITO薄膜的工艺和方法

1、低电压溅射制备ITO薄膜由于ITO薄膜本身含有氧元素，磁控溅射制备ITO薄膜的过程中，会产生大量的氧负离子，氧负离子在电场的作用下以一定的粒子能量会轰击到所沉积的ITO薄膜表面，使ITO薄膜的结晶结构和晶体状态造成结构缺陷。溅射的电压越大，氧负离子轰击膜层表面的能量也越大，那么造成这种结构缺陷的几率就越大，产生晶体结构缺陷也越严重，从而导致了ITO薄膜的电阻率上升，一般情况下，磁控溅射沉积ITO薄膜时的溅射电压在 -40 至 0V 左右，如果使用一定的工艺方法将溅射电压降到 -200V 以下，那么所沉积的ITO薄膜电阻率将降低 50% 以上，这样不仅提高了ITO薄膜的产品质量，同时也降低了产品的生产成本。

2、两种在直流磁控溅射制备ITO薄膜时，降低薄膜溅射电压的有效途径磁场强度对溅射电压的影响当磁场强度为 300G 时，溅射电压约为 -350V ；但当磁场强度升高到 1000G 时，溅射电压下降至 -250V 左右。一般情况下，磁场强度越高

、溅射电压越低，但磁场强度为1000G以上时，磁场强度对溅射电压的影响就不明显了。因此为了降低ITO薄膜的溅射电压，可以通过合理的增强溅射阴极的磁场强度来实现。RF+DC电源使用对溅射电压的影响为了有效的降低磁控溅射的电压，以达到降低ITO薄膜电阻率的目的，可以采用了一套特殊的溅射阴极结构和溅射直流电源，同时将一套3KW的射频电源合理的匹配叠装在一套6KW的直流电源上，在不同的直流溅射功率和射频功率下进行降低ITO薄膜溅射电压的工艺研究。当磁场强度为1000G，直流电源的功率为1200W时，通过改变射频电源的功率，经大量的工艺实验得出：“当射频功率为600W时，ITO靶的溅射电压可以降低到-110V”的结论。因此，RF+DC新型电源的应用和特殊溅射阴极结构的设计也能有效的降低ITO薄膜的溅射电压，从而达到降低薄膜电阻率的目的。

3、降低ITO薄膜电阻率的新沉积方法-HDAP法HDAP法是利用高密度的电弧等离子体（HDAP）放电轰击ITO靶材，使ITO材料蒸发，沉积到基体材料上形成ITO薄膜。由于高能量电弧离子的作用导致ITO粒子中的In、Sn达到完全离子化，从而增强沉积时的反应活性，达到减少晶体结构缺陷，降低电阻率的目的。

利用同样成分的ITO材料，其它工艺条件保持一样，并在同样的基片温度下，分别进行“DC磁控溅射”、“DC+RF磁控溅射”、“HDAP法制备ITO薄膜”的实验。

实验结果可以看出，利用HDAP法能获得电阻率较低的ITO薄膜，尤其是在基片温度不能太高的材料上制备ITO薄膜时，使用HDAP法制备ITO薄膜可以得到较理想的ITO薄膜。基片温度到350℃左右时，这三种沉积方法对ITO薄膜电阻率的影响较小。

通过扫描电镜对磁控溅射和HDAP法制备的ITO薄膜进行了微观分析。很明显HDAP法制备的ITO薄膜表面平坦、均匀。HDAP法制备ITO薄膜主要是针对基体材料不能加热，同时又要求ITO薄膜的电阻率较低的制成比较适用。

ITO薄膜的主要应用

随着显示器件行业的飞速发展，对ITO薄膜的产品性能特性提出了新的要求。同时ITO薄膜制备技术的深入发展，使显示器件的需要变成可能。不同性能的ITO薄膜可以在不同显示器件中的应用。

ITO薄膜制成设备在国内的发展

在国内，ITO薄膜设备的制造和发展是20世纪80年代开始的，主要是一些单体式的真空镀膜设备，由于ITO工艺和制成方法的限制，因此产品品质较差、产量较小，当时的产品主要用作普通的透明电极和太阳能电池等方面。

20世纪90年代初，随着LCD器件的飞速发展，对ITO薄膜产品的需求量也是急剧的增加，国内部分厂家纷纷开始从国外引进一系列整厂ITO镀膜生产线，但由于进口设备的价格昂贵，技术服务不方便等因素，使许多厂商还是望而却步。

80年代末，中国诞生了第一条TN-LCD用ITO连续镀膜生产线。该生产线采用的工艺路线是将铟锡合金材料利用直流磁控溅射的原理沉积到基片的表面，并进行高温氧化处理，将铟锡合金薄膜转换成所需的ITO薄膜。这种生产线的特点是设备的产能较低，质量较差，工艺调节复杂。

90年代中期，随着国内LCD产业的发展，对ITO产品的需求量增大的同时，对产品的质量有了新的要求，因此出现了第二代ITO镀膜生产线。该生产线不仅产量比第一代生产线有了大幅度的提升，同时由于直接采用ITO陶瓷靶材沉积ITO薄膜，并兼容了射频磁控溅射沉积SiO₂薄膜的工艺，使该生产线无论从产品的质量上、还是工艺可控性等方面与第一代生产线相比均有了质的飞跃。

99年，有效的解决了射频磁控溅射沉积SiO₂薄膜的沉积速率慢影响生产线的产能和设备的利用率等一系列问题，同时出现了第三代大型高档ITO薄膜生产线。该生产线成功应用了中频反应溅射SiO₂薄膜的工艺、采用全分子泵无油真空系统、独立的全自动小车回架机构。该生产线具备生产中高档STN-LCD用ITO薄膜材料的能力。

随着反射式LCD、增透式LCD、LCOS图影机背投电视等显示器件的发展，对ITO薄膜产品提出了更高的要求，SiO₂/ITO两层膜结构的ITO薄膜材料满足不了使用的需要，而必须采用多层复合膜系已达到产品的高反射性、或高透射率等光学性能要求。积累多年的设计开发经验，国内生产企业推出了第四代大型多层薄膜生产线。该生产线由15个真空室组成，采用全分子泵无油真空系统、使用了RF/MF/DC三种磁控溅射工艺、通过PEM/PCV进行工艺气体的控制。该生产线具有连续沉积五层薄膜的能力。

随着PDA、电子书等触摸式输入电子产品的悄然兴起，相应材料的制成设备也应运而生。由于触摸式产品工作原理的特殊性，其所需的ITO薄膜必须是在柔性材料（PET）上制成的，薄膜的沉积温度不能太高（小于120℃），同时要求ITO膜层较薄、面电阻高而且均匀，所以对ITO薄膜的沉积工艺提出了严格的要求。

随着有机电致发光显示器（OLED）以及其它显示器件的发展，对ITO薄膜的制成工艺和设备将会有更新、更高的要求，同时也有力的推动了ITO薄膜制成设备的发展。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/baike/2389.html>