

OLED 制作工艺及资料

一 OLED 是什么

OLED 的原文是 Organic Light Emitting Diode，中文意思就是“有机发光显示技术”。其原理是在两电极之间夹上有机发光层，当正负极电子在此有机材料中相遇时就会发光，其组件结构比目前流行的 TFT LCD 简单，生产成本只有 TFT LCD 的三到四成左右。除了生产成本便宜之外，OLED 还有许多优势，比如自身发光的特性，目前 LCD 都需要背光模块（在液晶后面加灯管），但 OLED 通电之后就会自己发光，可以省掉灯管的重量体积及耗电量（灯管耗电量几乎占整个液晶屏幕的一半），不仅让产品厚度只剩两厘米左右，操作电压更低到2至10伏特，加上 OLED 的反应时间（小于10ms）及色彩都比 TFT LCD 出色，更有可弯曲的特性，让它的应用范围极广。

OLED 是一种全新显示技术。它最大的特点是能自己发光——OLED 的正极是一个薄而透明的铟锡氧化物(ITO)，阴极为金属组合物，而将有机材料层(包括电洞传输层、发光层、电子传输层等)包夹在其中，形成一个“三明治”。接通电流，正极的电洞与阴极的电荷就会在发光层中结合，产生光亮。根据包夹在其中的有机材料的不同，会发出不同颜色的光。

二 同现在的 TFT-LCD 相比 OLED 具有的优势

- 1、OLED 器件的核心层厚度很薄，厚度可以小于1毫米，厚度为液晶的1/3；
- 2、OLED 器件为全固态机构，无真空、液体物质，抗震性好，可以适应巨大的加速度、振动等恶劣环境；
- 3、主动发光的特性让 OLED 几乎没有视角问题。OLED 的亮度为100000cd/平方米，而目前最好的笔记本的 TFT 亮度为350-400cd，因此，OLED 在很大的角度内观看，显示画面不失真；
- 4、OLED 器件单个像素的响应速度是液晶元件的1000倍，可以实现精彩的视频重放；
- 5、低温特性好，在零下40度能正常显示，而液晶在低温显示效果不好；
6. 对材料和工艺的要求比 LCD 减少约1/3，成本将会更低；

7. 发光转化效率高，且不需要处在光源，能耗比液晶低；
8. OLED 能够在不同材质的基板上制造，可以做成能弯曲的柔软显示器。

作为一种优秀的显示技术，OLED 显示屏的可视度和亮度都比较高，并且具有反应快、重量轻、厚度薄、构造简单等特点，因此，除了在传统数码应用领域向传统的 CRT 和 LCD 发起了强有力的挑战外，还可以凭借自己具有柔性设计的独特性能开辟新的市场，如电子纸、可折叠电视和笔记本电脑等。不过在现阶段，OLED 要想全面取代 LCD 还要假以时日，而且 TFT-LCD 技术也并非停滞不前，液晶面板厂家也花费了很大的力量来提高产品的可视角度、亮度、对比度、响应速度。所以，等到两者都在主流市场拼杀时，实力只怕也在伯仲之间。

三 OLED 的工艺介绍与应用

OLED(Organic light emitting diode)是继 TFT-LCD(Thin film transistor liquid crystal display)，新一代之平面显示器技术。其具备有构造简单、自发光不需背光源、对比度高、厚度薄、视角广、反应速度快、可用于挠曲性面板、使用温度范围广等优点。1987 年，美国 Kodak 公司邓青云(C.W. Tang)博士等人，将 OLED 组件及基本之材料确立[1]。1996 年，日本 Pioneer 公司成为第一家将此技术量产化之公司，并将 OLED 面板搭配于其所生产之车用音响显示器。近年来，由于其前景看好，日本、美国、欧洲、台湾及韩国之研发团队如雨后春笋般相继成立，导致了有机发光材料日益成熟，设备厂商蓬勃发展，以及相继工艺技术不断之演进。

然而，OLED 技术于原理及工艺上，与目前发展成熟之半导体、LCD、CD-R 甚或 LED 产业虽有相关，但却有其独特 know-how 之处；因此，OLED 量产化仍有许多瓶颈。台湾镓宝科技公司系由 1997 年开始研发 OLED 之相关技术，于 2000 年成功量产 OLED 面板，成为继日本东北先锋后，全世界第二家量产 OLED 之面板公司；而 2002 年，更陆续外销出货单彩(mono-color)及区域多彩(area-color)面板如图一所示，并提升良率及产量，一跃而成为世界上产量最大 OLED 面板供应商。



[图一：多彩及单彩 OLED 面板]

由于 OLED 工艺中，有机膜层之厚度将影响元件特性甚钜，一般而言，膜厚误差必须小于 5 纳米，为名副其实之纳米科技。举例来说，TFT-LCD 平面显示器之第三代基板尺寸，一般定义为 550mm x 650mm，在此尺寸之基板上，欲控制如此精准之膜厚，有其困难性，也因此限制了 OLED 在大面积基板之工艺，和大面积面板之应用。目前而言，OLED 之应用主要为较小之单色(mono-color)及区域多彩(area-color)显示器面板，如：手机主萤幕、手机副萤幕、游戏机显示器、车用音响萤幕及个人数位助理(PDA)显示器。由于 OLED 全彩化之量产工艺尚未臻至成熟，小尺寸之全彩 OLED 产品预计于 2002 年下半年以后才会陆续上市。由于 OLED 为自发光显示器，相较于同等级之全彩 LCD 显示器，其视觉表现极为优异，有机会直接切入全彩小尺寸高档产品，如：数码相机和掌上型 VCD(或 DVD)播放器，至于大型面板(13 吋以上)方面，虽有研发团队展示样品，但量产技术仍尚待开发。

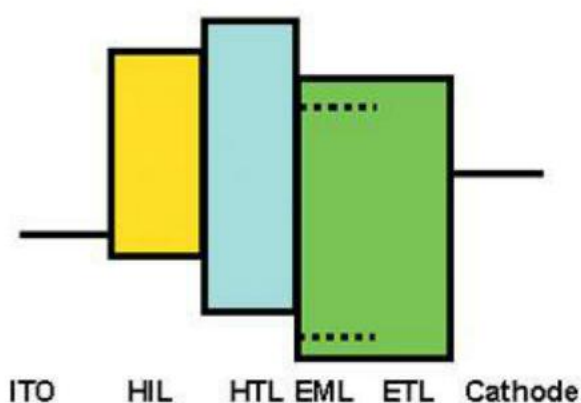
OLED 因发光材料的不同，一般可分小分子(通常称 OLED)及高分子(通常称 PLED)两种，技术的授权分别为美国的 Eastman Kodak(柯达)和英国的 CDT(Cambridge Display Technology)，台湾镓宝科技公司是少数同时发展 OLED 和 PLED 的公司。在本文中，主要介绍小分子 OLED，首先将会介绍 OLED 原理，其次介绍相关关键工艺，最后会介绍目前 OLED 技术发展之方向。

OLED 之原理

OLED 组件系由 n 型有机材料、p 型有机材料、阴极金属及阳极金属所构成。电子(空穴)由阴极(阳极)注入，经过 n 型(p 型)有机材料传导至发光层(一般为 n 型材料)，经由再结合而放光。一般而言，OLED 元件制作的玻璃基板上先溅镀 ITO 作为阳极，再以真空热蒸镀之方式，依序镀上 p 型和 n 型有机材料，及低功函数

之金属阴极。由于有机材料易与水气或氧气作用，产生暗点(Dark spot)而使元件不发亮。因此此元件于真空镀膜完毕后，必须于无水气及氧气之环境下进行封装工艺。

在阴极金属与阳极 ITO 之间，目前广为应用的元件结构一般而言可分为 5 层。如图二所示，从靠近 ITO 侧依序为：空穴注入层、空穴传输层、发光层、电子传输层、电子注入层。就 OLED 组件演进历史中，1987 年 Kodak 首次发表之 OLED 组件，系由两层有机材料所构成，分别为空穴传输层及电子传输层。其中空穴传输层为 p 型之有机材料，其特性为具有较高之空穴迁移率，且其最高占据之分子轨域(Highest occupied molecule orbital, HOMO)与 ITO 较接近，可使空穴由 ITO 注入有机层之能障降低。



[图二：OLED 结构图]

而至于电子传输层，系为 n 型之有机材料，其特性为具有较高之电子迁移率，当电子由电子传输层至空穴电子传输层介面时，由于电子传输层之最低非占据分子轨域(Lowest unoccupied molecule orbital, LUMO)较空穴传输层之 LUMO 高出甚多，电子不易跨越此一能障进入空穴传输层，遂被阻挡于此介面。此时空穴由空穴传输层传至介面附近与电子再结合而产生激子(Exciton)，而 Exciton 会以放光及非放光之形式进行能量释放。以一般萤光(Fluorescence)材料系统而言，由选择率(Selection rule)之计算仅得 25%之电子空穴对系以放光之形式做再结合，其余 75%之能量则以放热之形式散逸。近年来，正积极被开发磷光(Phosphorescence)材料成为新一代的 OLED 材料[2]，此类材料可打破选择率之限制，以提高内部量子效率至接近 100%。

在两层元件中, n 型有机材料 - 即电子传输层 - 亦同时被当作发光层, 其发光波长系由 HOMO 及 LUMO 之能量差所决定。然而, 好的电子传输层 - 即电子迁移率高之材料 - 并不一定为放光效率佳之材料, 因此目前一般之做法, 系将高萤光度的有机色料, 掺杂(Doped)于电子传输层中靠近空穴传输层之部分, 又称为发光层[3], 其体积比约为 1%至 3%。掺杂技术开发系用于增强原材料之萤光量子吸收率的重点技术, 一般所选择的材料为萤光量子吸收率高的染料(Dye)。由于有机染料之发展源自于 1970 至 1980 年代染料雷射, 因此材料系统齐全, 发光波长可涵盖整个可见光区。在 OLED 组件中掺杂之有机染料, 能带较差, 一般而言小于其宿主(Host)之能带, 以利 exciton 由 host 至掺杂物(Dopant)之能量转移。然而, 由于 dopant 能带较小, 而在电性上系扮演陷阱(trap)之角色, 因此, 掺杂层太厚将会使驱动电压上升; 但若太薄, 则能量由 host 转移至 dopant 之比例将会变差, 因此, 此层厚度必须最佳化。

阴极之金属材料, 传统上系使用低功函数之金属材料(或合金), 如镁合金, 以利电子由阴极注入至电子传输层, 此外一种普遍之做法, 系导入一层电子注入层, 其构成为一极薄之低功函数金属卤化物或氧化物, 如 LiF 或 Li₂O, 此可大幅降低阴极与电子传输层之能障[4], 降低驱动电压。

由于空穴传输层材料之 HOMO 值与 ITO 仍有差距, 此外 ITO 阳极在长时间操作后, 有可能释放出氧气, 并破坏有机层产生暗点。故在 ITO 及空穴传输层之间, 插入一空穴注入层, 其 HOMO 值恰介于 ITO 及空穴传输层之间, 有利于空穴注入 OLED 元件, 且其薄膜之特性可阻隔 ITO 中之氧气进入 OLED 元件, 以延长元件寿命[5]。

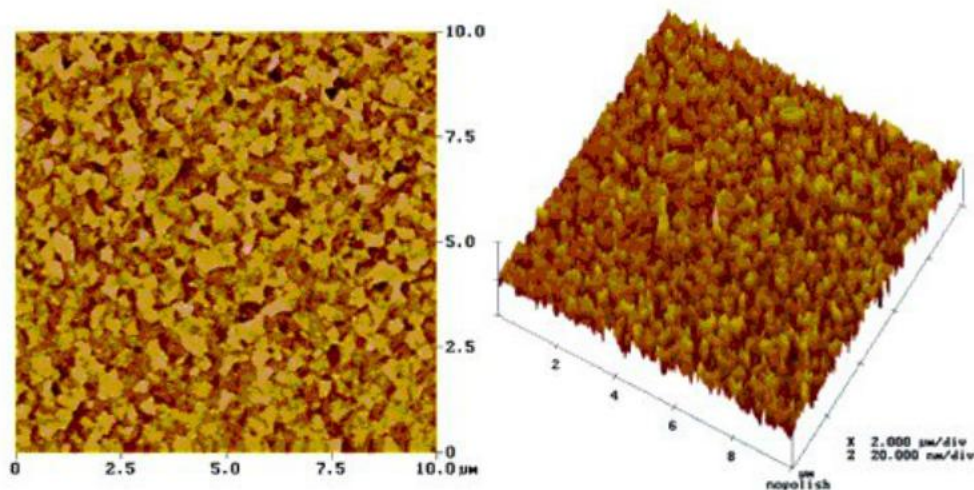
OLED 相关关键工艺[6]

氧化铟锡(ITO)基板前处理

(1)ITO 表面平整度

ITO 目前已广泛应用在商业化的显示器面板制造, 其具有高透射率、低电阻率及高功函数等优点。一般而言, 利用射频溅镀法(RF sputtering)所制造的 ITO, 易受工艺控制因素不良而导致表面不平整, 进而产生表面的尖端物质或突起物。另外高温锻烧及再结晶的过程亦会产生表面约 10 ~ 30nm 的突起层。这些不平整层的细粒之间所形成的路径会提供空穴直接射向阴极的机会, 而这些错综复杂的路径会使漏电流增加。一般有三个方法可以解决这表面层的影响: 一是增加空穴注入层及空穴传输层的厚度以降低漏电流, 此方法多用于

PLED 及空穴层较厚的 OLED(~200nm)。二是将 ITO 玻璃再处理,使表面光滑。三是使用其他镀膜方法使表面平整度更好(如图三所示)。



[图三 : ITO 表面之原子力显微镜照片]

(2) ITO 功函数的增加

当空穴由 ITO 注入 HIL 时,过大的位能差会产生萧基能障,使得空穴不易注入,因此如何降低 ITO / HIL 界面的位能差则成为 ITO 前处理的重点。一般我们使用 O₂-Plasma 方式增加 ITO 中氧原子的饱和度,以达到增加功函数之目的。ITO 经 O₂-Plasma 处理后功函数可由原先之 4.8eV 提升至 5.2eV,与 HIL 的功函数已非常接近。

加入辅助电极

由于 OLED 为电流驱动元件,当外部线路过长或过细时,于外部电路将会造成严重之电压梯度(voltage drop),使真正落于 OLED 元件之电压下降,导致面板发光强度减少。由于 ITO 电阻过大(10 ohm / square),易造成不必要之外部功率消耗,增加一辅助电极以降低电压梯度成了增加发光效率、减少驱动电压的快捷方式。铬(Cr : Chromium)金属是最常被用作辅助电极的材料,它具有对环境因数稳定性佳及对蚀刻液有较大的选择性等优点。然而它的电阻值在膜层为 100nm 时为 2 ohm / square,在某些应用时仍属过大,因此在相同厚度时拥有较低电阻值的铝(Al : Aluminum)金属(0.2 ohm / square)则成为辅助电极另一较佳选择。但是,

铝金属的高活性也使其有信赖性方面之问题；因此，多叠层之辅助金属则被提出，如：Cr / Al / Cr 或 Mo / Al / Mo，然而此类工艺增加复杂度及成本，故辅助电极材料的选择成为 OLED 工艺中的重点之一。

阴极工艺

在高解析的 OLED 面板中，将细微的阴极与阴极之间隔离，一般所用的方法为蘑菇构型法(Mushroom structure approach)，此工艺类似印刷技术的负光阻显影技术。在负光阻显影过程中，许多工艺上的变异因数会影响阴极的品质及良率。例如，体电阻、介电常数、高解析度、高 Tg、低临界维度(CD)的损失以及与 ITO 或其他有机层适当的黏着介面等。

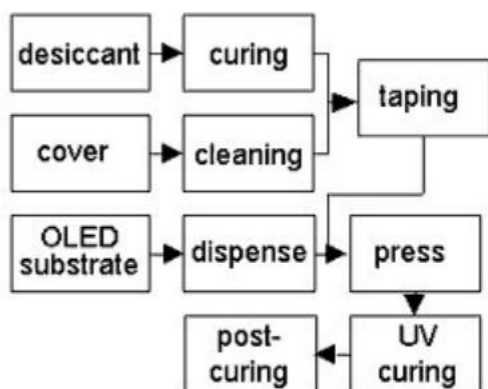
封装

(1)吸水材料

一般 OLED 的生命周期易受周围水气与氧气所影响而降低。水气来源主要分为两种：一是经由外在环境渗透进入元件内，另一种是在 OLED 工艺中被每一层物质所吸收的水气。为了减少水气进入元件或排除由工艺中所吸附的水气，一般最常使用的物质为吸水材(Desiccant)。Desiccant 可以利用化学吸附或物理吸附的方式捕捉自由移动的水分子，以达到去除元件内水气的目的。

(2)工艺及设备开发

封装工艺之流程如图四所示，为了将 Desiccant 置于盖板及顺利将盖板与基板黏合，需在真空环境或将腔体充入不活泼气体下进行，例如氮气。值得注意的是，如何让盖板与基板这两部分工艺衔接更有效率、减少封装工艺成本以及减少封装时间以达最佳量产速率，已俨然成为封装工艺及设备技术发展的 3 大主要目标。



[图四：传统之 OLED 封装流程]

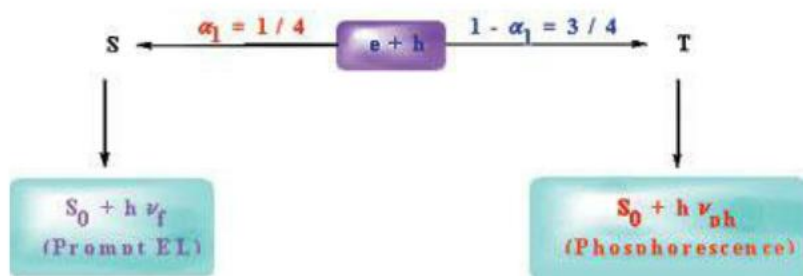
目前 OLED 技术发展之方向

OLED 产品目前由于技术及设备之限制,其量产品仅限于单色或区域多彩之小尺寸产品(如 PDA 或手机面板),由于 OLED 面板具备前述诸多优点,其显示特性较同一等级之 LCD 优异许多,一般认为适合切入之产品,系为较高档之显示器,其中一个重要之技术瓶颈即为全彩化。全彩工艺一般而言,系使用精细之遮罩,分别将红蓝绿不同颜色之发光材料,蒸镀于不同之位置,此技术之困难点在于发光材料之选择及精细遮罩之工艺。由于有机发光材料之振动模态(vibration mode)及转动模态(rotation mode)甚多,导致其发光之半波全宽甚大,亦即显示器色饱和度较差。在有机材料方面,另一重要之课题为生命期(lifetime)。由于红绿蓝 3 色之 lifetime 不尽相同,在使用一段时间后,会产生色彩偏移之状况。此外,在精细遮罩部分,由于对位元精准度之要求甚高,一般而言精细遮罩系以金属制成,然而由于精细度之限制,精细遮罩之厚度最厚仅可与次像素之尺寸相当,目前精细遮罩之厚度最薄约为 0.05mm,亦即显示器之解析度只可达约 150ppi,而当精细遮罩之厚度仅有 0.05mm 时,在整个基板上(400mm x 400mm 或 370mm x 470mm)如何保持其平坦度及精准度为一技术上极欲克服之问题。

除了全彩化以外,高解析度亦为高档显示器所必备之基本要求,愈达到 320 x 240 (QVGA), 640 x 480(VGA)或以上之解析度必须使用主动式驱动;又由于 OLED 元件系为电流驱动元件,一般而言必须使用低温多晶硅技术(low temperature poly silicon, LTPSi)技术以提供足够大之电流值,目前 LTPSi 技术在 LCD 的应用虽已蓬勃发展,然而大面积 LTPSi 面板之量产化,仍有其技术瓶颈。因此,目前以 LTPSi 技术搭配 OLED 做小尺寸之高档,高解析度之显示器可形成一独特之利基市场。

OLED 应用于平面显示器领域,不可避免须与 LCD 相比较。虽然 OLED 有前述许多优点,然而作为小尺寸面板应用,多半属于移动式之资讯产品,如手机萤幕,因此待机时间 - 即功率消耗为一重点考量,虽然与一般需背光或前光之 LCD 显示器相比,OLED 具备较低之功率消耗。然而,与目前市面一般之反射式 LCD 手机萤幕相比,由于 OLED 必须发光方能显示,而反射式 LCD 却只需反射外界光源即可显示;尤其在户外或强光下使用时,OLED 面板必须发更强的光以维持一定之对比度,而反射型 LCD 则较无此问题。此外,LCD 元件基本上系一电容,因此耗电甚低,故高对比度低功率消耗为 OLED 显示器一重要之课题。

就原理言，OLED 系与 LED 类似，然而驱动电压相差甚多。LED 之工作电压约为 3 伏特上下，而一般被动矩阵 OLED 之工作电压则为 8 伏特以上。此外，LED 之磊晶厚度为 mm 等级，而 OLED 元件之厚度仅为数百 nm。因此，OLED 组件之操作电场强度甚大于 LED，其主要原因即为 OLED 之低导电度，由于有机材料之电子及空穴迁移律，一般而言，仅为磊晶半导体之百万分之一倍，加上能隙较大，导致载子浓度甚低。因此，如何降低 OLED 元件之驱动电压，以提升电光转换效率遂成为一重要之研究方向。



[图五：OLED 电子空穴对之能量转移]

除了降低驱动电压以外，前文有叙述以目前之萤光材料系统，exciton 由于选择率的限制，只能经由一重项(singlet state)放光，亦即仅有 25%之电能可转换成光能，导致最大之内部量子效率为 25%。有鉴于此，目前有许多研究正朝向磷光材料系统之开发，以提升内部量子效率，由于磷光发光材料其原理为使用如铱(Iridium)、铕(Europium)及铂(Platinum)等过渡重金属元素为基底之有机材料，藉由其半满或空轨域，可进行能量转移至周遭之有机配位基，使 exciton 经由内部系统转换(internal system crossing)至三重项 triplet state 发光，因此其内部量子效率可大幅提升(如图五所示)。其问题点在于：由于相较于萤光发光材料而言，磷光发光之载子生命期为较长，因此当注入电流增加时较易发生 exciton 堆积，使发光效率下降。此外，由于能量转移之机制有异于一般萤光材料，OLED 元件之设计是一重要之课题。此外，发光材料之开发亦为此技术不可或缺之要素。

四 OLED 的结构、原理

OLED 的基本结构是由一薄而透明具半导体特性之铟锡氧化物(ITO)，与电力之正极相连，再加上另一个金属阴极，包成如三明治的结构。整个结构层中包括了：电洞传输层(HTL)、发光层(EL)与电子传输层(ETL)。当电力供应至适当电压时，正极电洞与阴极电荷就会在发光层中结合，产生光亮，依其配方不同产生红、绿和蓝 RGB 三原色，构成基本色彩。OLED 的特性是自己发光，不像 TFT LCD 需要背光，因此可视度和亮度均高，其次是电压需求低且省电效率高，加上反应快、重量轻、厚度薄，构造简单，成本低等，被视为 21 世纪最具前途的产品之一。

有机发光二极体的发光原理和无机发光二极体相似。当元件受到直流电 (Direct Current ; DC) 所衍生的顺向偏压时，外加之电压能量将驱动电子 (Electron) 与电洞 (Hole) 分别由阴极与阳极注入元件，当两者在传导中相遇、结合，即形成所谓的电子-电洞复合 (Electron-Hole Capture)。而当化学分子受到外来能量激发後，若电子自旋 (Electron Spin) 和基态电子成对，则为单重态 (Singlet)，其所释放的光为所谓的萤光 (Fluorescence)；反之，若激发态电子和基态电子自旋不成对且平行，则称为三重态 (Triplet)，其所释放的光为所谓的磷光 (Phosphorescence)。

当电子的状态位置由激态高能阶回到稳态低能阶时，其能量将分别以光子(Light Emission)或热能(Heat Dissipation) 的方式放出，其中光子的部分可被利用当作显示功能；然有机萤光材料在室温下并无法观测到三重态的磷光，故 PM-OLED 元件发光效率之理论极限值仅25%。

PM-OLED 发光原理是利用材料能阶差，将释放出来的能量转换成光子，所以我们可以选择适当的材料当作发光层或是在发光层中掺杂染料以得到我们所需要的发光颜色。此外，一般电子与电洞的结合反应均在数十纳秒 (ns) 内，故 PM-OLED 的应答速度非常快。

P.S. : PM-OLED 的典型结构。典型的 PM-OLED 由玻璃基板、ITO (indium tin oxide ; 铟锡氧化物) 阳极 (Anode)、有机发光层 (Emitting Material Layer) 与阴极 (Cathode) 等所组成，其中，薄而透明的 ITO 阳极与金属阴极如同三明治般地将有机发光层包夹其中，当电压注入阳极的电洞 (Hole) 与阴极来的电子 (Electron) 在有机发光层结合时，激发有机材料而发光。

而目前发光效率较佳、普遍被使用的多层 PM-OLED 结构，除玻璃基板、阴阳电极与有机发光层外，尚需制作电洞注入层 (Hole Inject Layer ; HIL)、电洞传输层 (Hole Transport Layer ; HTL)、电子传输层 (Electron Transport Layer ; ETL) 与电子注入层 (Electron Inject Layer ; EIL) 等结构，且各传输层与电

极之间需设置绝缘层，因此热蒸镀 (Evaporate) 加工难度相对提高，制作过程亦变得复杂。

由于有机材料及金属对氧气及水气相当敏感，制作完成後，需经过封装保护处理。PM-OLED 虽需由数层有机薄膜组成，然有机薄膜层厚度约仅 $1,000 \sim 1,500\text{\AA}$ ($0.10 \sim 0.15 \mu\text{m}$)，整个显示板 (Panel) 在封装加干燥剂 (Desiccant) 後总厚度不及 $200\mu\text{m}$ (2mm)，具轻薄之优势。

五 有机发光材料的选用

有机材料的特性深深地影响元件之光电特性表现。在阳极材料的选择上，材料本身必需是具高功函数 (High work function) 与可透光性，所以具有 $4.5\text{eV} \sim 5.3\text{eV}$ 的高功函数、性质稳定且透光的 ITO 透明导电膜，便被广泛应用于阳极。在阴极部分，为了增加元件的发光效率，电子与电洞的注入通常需要低功函数 (Low work function) 的 Ag、Al、Ca、In、Li 与 Mg 等金属，或低功函数的复合金属来制作阴极 (例如：Mg-Ag 镁银)。

适合传递电子的有机材料不一定适合传递电洞，所以有机发光二极管的电子传输层和电洞传输层必须选用不同的有机材料。目前最常被用来制作电子传输层的材料必须制膜安定性高、热稳定且电子传输性佳，一般通常采用萤光染料化合物。如 Alq、Znq、Gaq、Bebq、Balq、DPVBi、ZnSPB、PBD、OXD、BBOT 等。而电洞传输层的材料属于一种芳香胺萤光化合物，如 TPD、TDATA 等有机材料。

有机发光层的材料须具备固态下有较强萤光、载子传输性能好、热稳定性和化学稳定性佳、量子效率高且能够真空蒸镀的特性，一般有机发光层的材料使用通常与电子传输层或电洞传输层所采用的材料相同，例如 Alq 被广泛用于绿光，Balq 和 DPVBi 则被广泛应用于蓝光。

一般而言，OLED 可按发光材料分为两种：小分子 OLED 和高分子 OLED (也可称为 PLED)。小分子 OLED 和高分子 OLED 的差异主要表现在器件的制备工艺不同：小分子器件主要采用真空热蒸发工艺，高分子器件则采用旋转涂覆或喷涂印刷工艺。小分子材料厂商主要有：Eastman、Kodak、出光兴产、东洋 INK 制造、三菱化学等；高分子材料厂商主要有：CDT、Covin、Dow Chemical、住友化学等。目前国际上与 OLED 有关的专利已经超过1400份，其中最基本的专利有三项。小分子 OLED 的基本专利由美国 Kodak 公司拥有，高分子 OLED 的专利由英国的 CDT (Cambridge Display Technology) 和美国的 Uniax 公司拥有。

六 OLED 关键工艺

1、氧化铟锡(ITO)基板前处理

(1) ITO 表面平整度：ITO 目前已广泛应用在商业化的显示器面板制造，其具有高透射率、低电阻率及高功函数等优点。一般而言，利用射频溅镀法(RF sputtering)所制造的 ITO，易受工艺控制因素不良而导致表面不平整，进而产生表面的尖端物质或突起物。另外高温锻烧及再结晶的过程亦会产生表面约10 ~ 30nm 的突起层。这些不平整层的细粒之间所形成的路径会提供空穴直接射向阴极的机会，而这些错综复杂的路径会使漏电流增加。一般有三个方法可以解决这表面层的影响？U 一是增加空穴注入层及空穴传输层的厚度以降低漏电流，此方法多用于 PLED 及空穴层较厚的 OLED(~200nm)。二是将 ITO 玻璃再处理，使表面光滑。三是使用其它镀膜方法使表面平整度更好。

(2) ITO 功函数的增加：当空穴由 ITO 注入 HIL 时，过大的位能差会产生萧基能障，使得空穴不易注入，因此如何降低 ITO / HIL 接口的位能差则成为 ITO 前处理的重点。一般我们使用 O₂-Plasma 方式增加 ITO 中氧原子的饱和度，以达到增加功函数之目的。ITO 经 O₂-Plasma 处理后功函数可由原先之4.8eV 提升至 5.2eV，与 HIL 的功函数已非常接近。

加入辅助电极，由于 OLED 为电流驱动组件，当外部线路过长或过细时，于外部电路将会造成严重之电压梯度，使真正落于 OLED 组件之电压下降，导致面板发光强度减少。由于 ITO 电阻过大(10 ohm / square)，易造成不必要之外部功率消耗，增加一辅助电极以降低电压梯度成了增加发光效率、减少驱动电压的快捷方式。铬(Cr：Chromium)金属是最常被用作辅助电极的材料，它具有对环境因子稳定性佳及对蚀刻液有较大的选择性等优点。然而它的电阻值在膜层为100nm 时为2 ohm / square，在某些应用时仍属过大，因此在相同厚度时拥有较低电阻值的铝(Al：Aluminum)金属(0.2 ohm / square)则成为辅助电极另一较佳选择。但是，铝金属的高活性也使其有信赖性方面之问题因此，多叠层之辅助金属则被提出，如：Cr / Al / Cr 或 Mo / Al / Mo，然而此类工艺增加复杂度及成本，故辅助电极材料的选择成为 OLED 工艺中的重点之一。

2、阴极工艺

在高解析的 OLED 面板中，将细微的阴极与阴极之间隔离，一般所用的方法为蘑菇构型法(Mushroom structure approach)，此工艺类似印刷技术的负光阻显影技术。在负光阻显影过程中，许多工艺上的变异因子会影响阴极的品质及良率。例如，体电阻、介电常数、高分辨率、高 T_g、低临界维度(CD)的损失以及与 ITO 或其它有机层适当的黏着接口等。

3、封装

(1) 吸水材料：一般 OLED 的生命周期易受周围水气与氧气所影响而降低。水气来源主要分为两种：一是经由外在环境渗透进入组件内，另一种是在 OLED 工艺中被每一层物质所吸收的水气。为了减少水气进入组件或排除由工艺中所吸附的水气，一般最常使用的物质为吸水材(Desiccant)。Desiccant 可以利用化学吸附或物理吸附的方式捕捉自由移动的水分子，以达到去除组件内水气的目的。

(2) 工艺及设备开发：封装工艺之流程如图四所示，为了将 Desiccant 置于盖板及顺利将盖板与基板黏合，需在真空环境或将腔体充入不活泼气体下进行，例如氮气。值得注意的是，如何让盖板与基板这两部分工艺衔接更有效率、减少封装工艺成本以及减少封装时间以达最佳量产速率，已俨然成为封装工艺及设备技术发展的3大主要目标。

七 OLED 的形色化技术

显示器全彩色是检验显示器是否在市场上具有竞争力的重要标志，因此许多全彩色化技术也应用到了 OLED 显示器上，按面板的类型通常有下面三种:RGB 像素独立发光，光色转换(Color Conversion)和彩色滤光膜(Color Filter)。

1、RGB 像素独立发光

利用发光材料独立发光是目前采用最多的彩色模式。它是利用精密的金属荫罩与 CCD 像素对位技术，首先制备红、绿、蓝三基色发光中心，然后调节三种颜色组合的混色比，产生真彩色，使三色 OLED 元件独立发光构成一个像素。该项技术的关键在于提高发光材料的色纯度和发光效率，同时金属荫罩刻蚀技术也至关重要。

目前，有机小分子发光材料 AlQ3 是很好的绿光发光小分子材料，它的绿光色纯度，发光效率和稳定性都很好。但 OLED 最好的红光发光小分子材料的发光效率只有 31m/W，寿命 1 万小时，蓝色发光小分子材料的发展也是很慢和很困难的。有机小分子发光材料面临的瓶颈在于红色和蓝色材料的纯度、效率与寿命。但人们通过给主体发光材料掺杂，已得到了色纯度、发光效率和稳定性都比较好的蓝光和红光。

高分子发光材料的优点是可以通过化学修饰调节其发光波长，现已得到了从蓝到绿到红的覆盖整个可见光范围的各种颜色，但其寿命只有小分子发光材料的十分之一，所以对高分子聚合物，发光材料的发光效率和寿命都有待提高。不断地开发出性能优良的发光材料应该是材料开发工作者的一项艰巨而长期的课题。

随着 OLED 显示器的彩色化、高分辨率和大面积化，金属荫罩刻蚀技术直接影响着显示板画面的质量，所以对金属荫罩图形尺寸精度及定位精度提出了更加苛刻的要求。

2、光色转换

光色转换是以蓝光 OLED 结合光色转换膜阵列，首先制备发蓝光 OLED 的器件，然后利用其蓝光激发光色转换材料得到红光和绿光，从而获得全彩色。该项技术的关键在于提高光色转换材料的色纯度及效率。这种技术不需要金属荫罩对位技术，只需蒸镀蓝光 OLED 元件，是未来大尺寸全彩色 OLED 显示器极具潜力的全彩色化技术之一。但它的缺点是光色转换材料容易吸收环境中的蓝光，造成图像对比度下降，同时光导也会造成画面质量降低的问题。目前掌握此技术的日本出光兴产公司已生产出10英寸的 OLED 显示器。

3、彩色滤光膜

此种技术是利用白光 OLED 结合彩色滤光膜，首先制备发白光 OLED 的器件，然后通过彩色滤光膜得到三基色，再组合三基色实现彩色显示。该项技术的关键在于获得高效率和高纯度的白光。它的制作过程不需要金属荫罩对位技术，可采用成熟的液晶显示器 LCD 的彩色滤光膜制作技术。所以是未来大尺寸全彩色 OLED 显示器具有潜力的全彩色化技术之一，但采用此技术使透过彩色滤光膜所造成光损失高达三分之二。目前日本 TDK 公司和美国 Kodak 公司采用这种方法制作 OLED 显示器。

RGB 像素独立发光，光色转换和彩色滤光膜三种制造 OLED 显示器全彩色化技术，各有优缺点。可根据工艺结构及有机材料决定。

八 OLED 的驱动方式

OLED 的驱动方式分为主动式驱动(有源驱动)和被动式驱动(无源驱动)。

1、无源驱动 (PM OLED)

其分为静态驱动电路和动态驱动电路。

(1) 静态驱动方式：在静态驱动的有机发光显示器件上，一般各有机电致发光像素的阴极是连在一起引出的，各像素的阳极是分立引出的，这就是共阴的连接方式。若要一个像素发光只要让恒流源的电压与阴极的电压之差大于像素发光值的前提下，像素将在恒流源的驱动下发光，若要一个像素不发光就将它的阳极接在一个负电压上，就可将它反向截止。但是在图像变化比较多时可能出现交叉效应，为了避免我们必须采用交流的形式。静态驱动电路一般用于段式显示屏的驱动上。

(2) 动态驱动方式：在动态驱动的有机发光显示器件上人们把像素的两个电极做成了矩阵型结构，即水平一组显示像素的同一性质的电极是共用的，纵向一组显示像素的相同性质的另一电极是共用的。如果像素可分为 N 行和 M 列，就可有 N 个行电极和 M 个列电极。行和列分别对应发光像素的两个电极。即阴极和阳极。在实际电路驱动的过程中，要逐行点亮或者要逐列点亮像素，通常采用逐行扫描的方式，行扫描，列电极为数据电极。实现方式是：循环地给每行电极施加脉冲，同时所有列电极给出该行像素的驱动电流脉冲，从而实现一行所有像素的显示。该行不再同一行或同一列的像素就加上反向电压使其不显示，以避免“交叉效应”，这种扫描是逐行顺序进行的，扫描所有行所需时间叫做帧周期。

在一帧中每一行的选择时间是均等的。假设一帧的扫描行数为 N，扫描一帧的时间为 1，那么一行所占有的选择时间为帧时间的 $1/N$ 该值被称为占空比系数。在同等电流下，扫描行数增多将使占空比下降，从而引起有机电致发光像素上的电流注入在一帧中的有效下降，降低了显示质量。因此随着显示像素的增多，为了保证显示质量，就需要适度地提高驱动电流或采用双屏电极机构以提高占空比系数。

除了由于电极的公用形成交叉效应外，有机电致发光显示屏中正负电荷载流子复合形成发光的机理使任何两个发光像素，只要组成它们结构的任何一种功能膜是直接连接在一起的，那两个发光像素之间就可能有相互串扰的现象，即一个像素发光，另一个像素也可能发出微弱的光。这种现象主要是因为有机功能薄膜厚度均匀性差，薄膜的横向绝缘性差造成的。从驱动的角度，为了减缓这种不利的串扰，采取反向截止法也是一行之有效的方法。

带灰度控制的显示：显示器的灰度等级是指黑白图像由黑色到白色之间的亮度层次。灰度等级越多，图像从黑到白的层次就越丰富，细节也就越清晰。灰度对于图像显示和彩色化都是一个非常重要的指标。一般用于有灰度显示的屏多为点阵显示屏，其驱动也多为动态驱动，实现灰度控制的几种方法有：控制法、空间灰度调制、时间灰度调制。

2、有源驱动 (AM OLED)

有源驱动每个像素配备具有开关功能的低温多晶硅薄膜晶体管 (Low Temperature Poly-Si Thin Film Transistor, LTP-Si TFT)，而且每个像素配备一个电荷存储电容，外围驱动电路和显示阵列整个系统集成在同一玻璃基板上。与 LCD 相同的 TFT 结构，无法用于 OLED。这是因为 LCD 采用电压驱动，而 OLED 却依赖电流驱动，其亮度与电流量成正比，因此除了进行 ON/OFF 切换动作的选址 TFT 之外，还需要能让足够电

流通过的导通阻抗较低的小型驱动 TFT。

有源驱动属于静态驱动方式，具有存储效应，可进行100%负载驱动，这种驱动不受扫描电极数的限制，可以对各像素独立进行选择性调节。

有源驱动无占空比问题，驱动不受扫描电极数的限制，易于实现高亮度和高分辨率。

有源驱动由于可以对亮度的红色和蓝色像素独立进行灰度调节驱动，这更有利于 OLED 彩色化实现。

有源矩阵的驱动电路藏于显示屏内，更易于实现集成度和小型化。另外由于解决了外围驱动电路与屏的连接问题，这在一定程度上提高了成品率和可靠性。

3、主动式与被动式两者比较

被动式 主动式

瞬间高高密度发光（动态驱动/有选择性） 连续发光（稳态驱动）

面板外附加 IC 芯片 TFT 驱动电路设计/内藏薄膜型驱动 IC

线逐步式扫描 线逐步式抹写数据

阶调控制容易 在 TFT 基板上形成有机 EL 画像素

低成本/高电压驱动 低电压驱动/低耗电能/高成本

设计变更容易、交货期短（制造简单） 发光组件寿命长（制程复杂）

简单式矩阵驱动+OLED LTPS TFT+OLED

九 OLED 的优缺点

1、OLED 的优点

- 1、厚度可以小于1毫米，仅为 LCD 屏幕的1/3，并且重量也更轻；
- 2、固态机构，没有液体物质，因此抗震性能更好，不怕摔；
- 3、几乎没有可视角度的问题，即使在很大的视角下观看，画面仍然不失真；
- 4、响应时间是 LCD 的千分之一，显示运动画面绝对不会有拖影的现象；
- 5、低温特性好，在零下40度时仍能正常显示，而 LCD 则无法做到；
- 6、制造工艺简单，成本更低；
- 7、发光效率更高，能耗比 LCD 要低；

8、能够在不同材质的基板上制造，可以做能弯曲的柔软显示器。

2、OLED 的缺点

1、寿命通常只有5000小时，要低于 LCD 至少1万小时的寿命；

2、不能实现大尺寸屏幕的量产，因此目前只适用于便携类的数码类产品；

3、存在色彩纯度不够的问题，不容易显示出鲜艳、浓郁的色彩。

十 OLED 的应用

1、OLED 在头戴显示器领域的应用

以视频眼镜和随身影院为重要载体的头戴式显示器得到了越来越广泛的应用和发展。其在数字士兵、虚拟现实、虚拟现实游戏、3G 与视频眼镜融合、超便携多媒体设备与视频眼镜融合方面有卓越的优势。

与 LCD 和 LCOS 相比，OLED 在头戴显示器的应用有非常大的优势：清晰鲜亮的全彩显示、超低的功耗等，是头戴式显示器发展的一大推动力。

率先把 OLED 应用在视频眼镜上的是美国的 eMagin。无论是对于民用消费领域还是工业应用乃至军事用途都提供了一个极佳的近眼应用解决途径。随之，采用欧洲的超微 OLED 显示屏的视频眼镜被推上市场。在国内，iTheater（爱视代）凭雄厚的研发实力率先推出世界首款高分子超微 OLED 显示屏的视频眼镜；凭借其全知识产权的背景顺利打入国内军事领域，为中国数字士兵的建设出一份力。

2、OLED 在 MP3 领域的应用

MP3 作为一款数字随身听已经在市场上日益成为时尚娱乐的主角，对于它的功能、容量、价格等等都得到了人们广泛的关注，也是各厂家目光的焦点所在，可是对于作为 MP3 的眼睛的屏幕却很少有人涉及。

除了影音随身看产品之外，不论 Flash 型还是 HDD 型的 MP3，大多采用黑白单色 LCD 面板，仅仅停留在能够聆听音乐的简单要求上。但现今的 MP3 除了这种最基本的功能外，更多的立足于人们对于个性、时尚追求的心理，表达的是一种生活的观念。所以在面板的设计上，出现了多彩背光设计，就是经常听到的“7 色背光”的产品。在此基础上进一步发展，已经有用到区域彩色 OLED 面板（如：黄、蓝双色等区域各 16 色阶）的产品，有代表性的有 BenQ 的 Joybee180、iRiver N10 等。

OLED（Organic Light Emitting Display），即有机发光显示屏，在 MP3 屏幕的应用领域属于新崛起的种类，被誉为“梦幻显示屏”。它无需背光灯，而是“主动发光”。以 BenQ Joybee180 的 OLED 液晶屏

为例，它摒弃了传统 LCD 的缺点，每个像素都可自行发光，不管在什么角度什么光线下都可以比传统 LCD 显示更加清晰的画面，而且环境越黑屏幕越亮，犹如夜间的莹彩精灵。

MP3的消费者多为年轻族群，对他们而言 MP3除了基本功用之外，还带有一点点炫耀的色彩。在夜晚寂静的街边，边走边听着音乐，看着 OLED 屏幕跳动的蓝光，音符的跳动伴着脚步的跳动和心情的起伏，定有一种别样的感觉。或是在朋友欢聚的 Party 上，OLED 蓝光的闪烁熠熠生辉，定能让你成为聚会的主角。

除了带来全新的视觉感受之外，OLED 还有很多 LCD 面板无法比拟的优点。比如可以使 MP3做得更轻更薄，可视角度更大，并且能够显著节省电能。不过 OLED 的应用还要搭配 MP3的整体设计，才能展现出它的魅力。目前刚刚上市的 BenQ Joybee180可以说是液晶屏的应用与整体设计相结合的典范。Joybee180的造型时尚、简约、大方，整款机器呈正方形，看上去像一个精致小巧的手提袋，精华部分又好似一款华丽精美的手表。而且，运用表带的流行元素取代传统的佩戴方法，提供一系列不同的面板，可依服饰的不同进行替换，改变以往一成不变的搭配方案，秀出你的时尚搭配，秀出你的独特心情。

OLED 应用于 MP3产品上不仅增加了产品绚丽的美感，而且也能为图文资讯的表达锦上添花，无疑将成为 MP3显示面板的主流。

十一 中国大陆 OLED 产业化进程

1、研发单位

清华大学、华南理工、北京大学、吉林大学、上海大学、香港城市大学，长春光机所、北京化学所等高校、研究所、以及北京新东方、上海广电电子、中国普天集团、长春竺宝科技、杭州东方通信等企业约40多家。

2、产业化

北京维信诺科技有限公司，清华大学技术入股，建有中国大陆第一条 OLED 试生产线，与清华一起申请了30多项国内外 OLED 专利。开发了128*64、132*64、16*1等 OLED 产品。并研制成功了64(RGB)*64、96(RGB)*64、160(RGB)*128彩色 OLED，96*64多色及240单色 OLED 样品，并在2008年进入规模化生产。2005年11月开始在昆山筹备建立中国大陆第一条 OLED 大规模生产线。

上海航天欧德(上海大学),与杭州士兰微电子合作,最近成功开发出具有自主知识产权的国内第一款 OLED 专用驱动 IC 芯片。其包括一颗80行驱动(SC1680)和一颗80列驱动(SC16805)采用 QFP 封装，用于手机屏的

TAB 和 COF 用驱动 IC 也已开发出样品。

汕尾信利半导体（技术:韩国 Viatron，设备:日本 Evatach），该公司的 OLED 生产线是中国大陆第一条具有规模生产能力的生产线。

3、驱动 IC

深圳先科显示(香港城市大学、晶门科技)。香港晶门科技发布一款新的带有控制器的 OLED 彩色驱动 IC-SSD1332。其是一款集成控制器及内建 DC/DC 电压转换器的单芯片96*64，65K 色的 OLED 驱动芯片，可用于手机及其它移动终端。

十二 OLED 市场前景

1、2013年全球 OLED 电视机市场将达14亿美元

据市场研究公司 iSuppli 最新发表的研究报告称，2013年全球 OLED（有机发光二极管）电视机出货量将从2007年的3000万台增长到280万台，复合年增长率为212.3%。从全球销售收入看，2013年全球 OLED 电视机的销售收入将从2007年的200万美元增长到14亿美元，复合年增长率为206.8%。

iSuppli 称，OLED 显示技术要对市场产生真正的影响还需要克服一些挑战。首先，AMOLED 显示屏制造工艺还不充分。随着显示屏尺寸的加大，成品率损失和制造损失也越来越大。此外，OLED 显示屏材料的使用寿命仍需要提高。AMOLED 供应商不能保证产量。不过，OLED 电视机也有许多优点。OLED 电视不需要背光，因此比其它技术更省电和更多做的更薄。OLED 电视响应时间非常快，在观看电视的时候没有移动模糊的现象。此外，OLED 电视比其它技术的色彩更丰富。

索尼在2007年12月在日本市场推出了售价1800美元的11英寸 OLED 电视机，首先进入了这个市场。包括东芝和松下在内的一些厂商预计将在2009年进入这个市场。

2、商品化过程

1997年 Pioneer 发表了配备解析度为256x64的单色 PM-OLED 面板的车用音响；1999年 Tohoku Pioneer 成功开发出5.2吋、解析度为320x240 pixels、256色的全彩（Full color）PM-OLED 面板；2000年 Motorola 行动电话「Timeport」采用 Tohoku Pioneer 之1.8吋多彩（Area color）PM-OLED 面板；2001年 Samsung 推出搭载全彩 PM-OLED 面板之行动电话；2002年 Fujitsu 行动电话 F505i 次萤幕搭配 Tohoku Pioneer 之1.0吋全彩 PM-OLED 面板，自此 PM-OLED 在行动电话次萤幕的应用随之大量兴起。

3、P-OLED 微显示器即将投入商用

研发暨生产金氏记录最小 P-OLED 屏幕的 MicroEmissive Displays (MED) 公司，将于今年中由日本数位相机厂 NHJ 推出首宗消费电子产品，结合录音拨放 MP3和高解析度数位相机，MED 的 ME3203为低功耗1/4 VGA 解析度 (320 x RGB x 240) P-OLED 微显示器 (Microdisplay)，将用在新产品的电子观景窗和目镜上。据了解，这种全球新产品是由台湾某数位相机厂设计研发出来。

MED 策略长安德伍 (Ian Underwood) 表示，针对微显示器的技术商业化，MED 已投入五年的时间，目前已臻成熟，且做到世界级的独特技术层级。