

用于 OLED 封装的 LED 固化

周锐

(Phoseon Technology/ 美国锋翔科技公司)

简介

有机发光二极管 (OLED) 器件正受到日益关注并被称为“显示器的未来”。OLED 显示器与 LCD 相比具有诸多优势, 包括更简单的结构以致更优异的功率, 更加轻薄, 更好的图像质量和更快的响应时间等。OLED 显示器最令人兴奋的特征之一是柔韧性, 这对于可弯曲/可折叠的显示设备至关重要, 也对该行业的客户极具吸引力。

尽管 OLED 有很多特性优势, 但该材料非常敏感, 即使极少量的大气湿气和氧气也极易将其氧化。因此, 保护 OLED 材料免受氧气和水的阻挡的密封层是非常重要的。如图 1 所示, 传统上使用盖板玻璃用于刚性玻璃基板 OLED 的封装。玻璃罩必须永久粘合在玻璃基板上以保护活性 OLED 层。这是通过在玻璃边缘上分配环氧树脂, 然后使用 UV LED 光源来固化环氧树脂并对两个玻璃表面进行边缘密封来实现的。

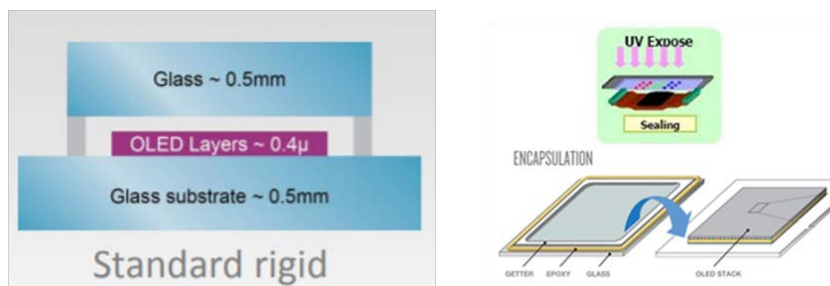


图 1 传统的 OLED 封装结构和边缘粘合工艺

为了实现显示器的灵活性, 底部和顶部玻璃板被柔性基板取代, 并且柔性薄膜封装 (TFE) 是必须的。TFE 技术使用薄膜涂层实现更轻, 更薄, 不易破碎的阻隔层, 进而实现灵活/可折叠的显示屏。阻隔层的厚度通常位于亚微米范围内以满足 WVTR <math><10^{-6}</math>g/m²/天的低渗透要求, 同时保留了阻隔层柔韧性。

TFE 由连续制造且交替共形的有机层和无机层组成, 以实现低渗水性和高柔韧性。极薄的无机层用作阻挡层, 有机层用作无机层之间的“去耦”层以改善渗透。另外, 整个结构由于有机/无机多层结构中的各个无机层可以保持更薄, 整个结构也更加坚固和柔韧。当有机层充当密封剂缓冲层以平滑基材时, 总体结构也更能抵抗碎裂和开裂。

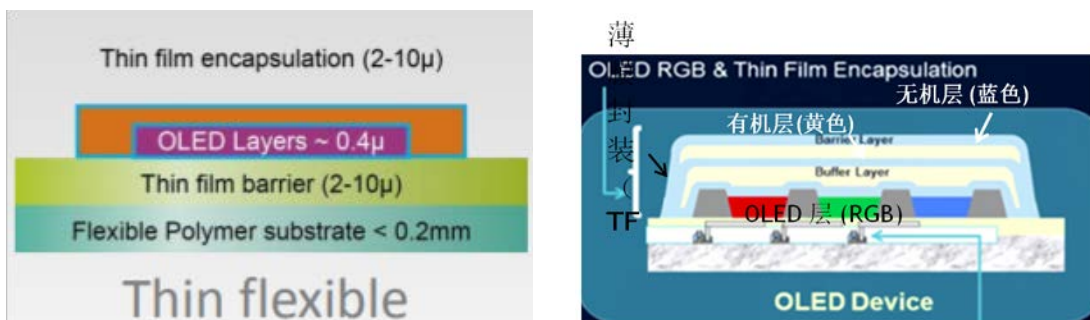


图 2 用于柔性 OLED 的薄膜封装

工艺

TFE 制造技术包括 1. Vitex 真空聚合物法; 2. 喷墨印刷 (有机) 配合溅射 (无机) 法; 3. 电浆增强化学气相沉积 (PECVD) / 原子层沉积 (ALD) 法等等。

如图 3 所示，Vitex 工艺由 Al_2O_3 和聚丙烯酸酯层交替组成柔性封装层组成。在通过等离子体将无机 Al_2O_3 层溅射到显示器上的同时，有机聚丙烯酸酯层通过闪蒸单体沉积，然后通过 UV 固化。重复交替此过程以形成多层结构。尽管这种封装解决方案对于柔性器件表现出优异的性能，但其复杂性对制造工艺提出了诸多挑战。

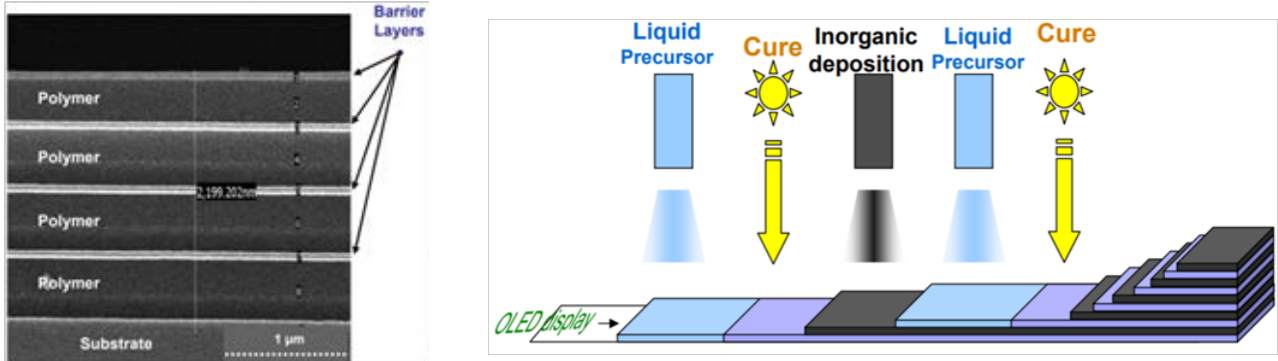


图 3 在 Vitex 工艺中对无机沉积进行固化

基于喷墨打印的 OLED 封装在工艺优化和精度方面开始取代基于化学气相沉积 (CVD) 的 OLED 封装，由此生成更优异的性能和生产率。据称，基于喷墨印刷技术的 TFE 有机夹层具有非常高的均匀性，消除了对眼睛不均匀的显示 (所谓的“mura”)。另外，由于印刷和后印刷处理均在极低的 H_2O 和 O_2 环境下进行，通过印刷工艺添加的颗粒更少，并且有机层顶部的平面化得到显著改善以确保第二无机层的质量。如图 4 所示，在通过喷墨喷嘴施加液体有机层之后，进行 UV 固化步骤以形成交联。

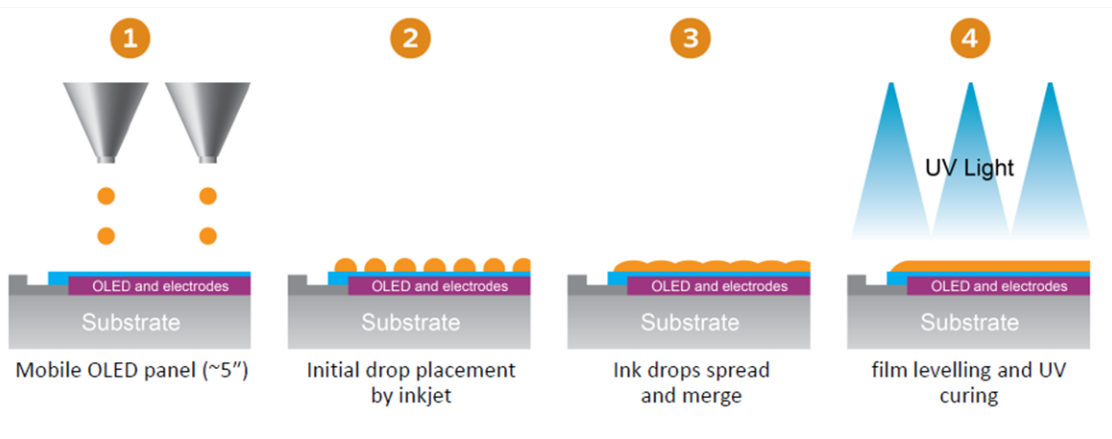


图 4 喷墨印刷薄膜封装 (TFE) 工艺中液体有机层的固化

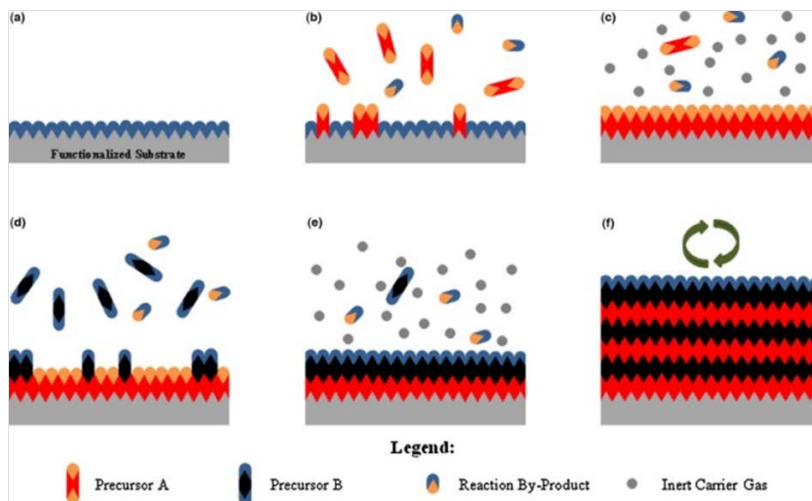


图 5 原子层沉积法 (ALD) 薄膜封装 (TFE) 工艺

原子层沉积 (ALD) 工艺已经被开发用于生产具有厚度控制的超薄保形膜。这是一个连续的自行终止的化学气象沉 (CVD) 工艺, 可成行高质量的涂层。它通常由气态化学的交替脉冲与基材顺序反应形成。在每个气体表面反应(半反应)期间, 在指定时间内, 前体在真空下由脉冲打入反应室中, 以允许其与基板表面完全反应。随后, 用惰性载气吹扫反应室以除去任何未反应的前体或反应副产物。该过程循环直到达到适当的薄膜厚度。

ALD 工艺具有许多有前景的特征, 但其沉积速率较慢。在这个过程中不需要 UV LED 固化。

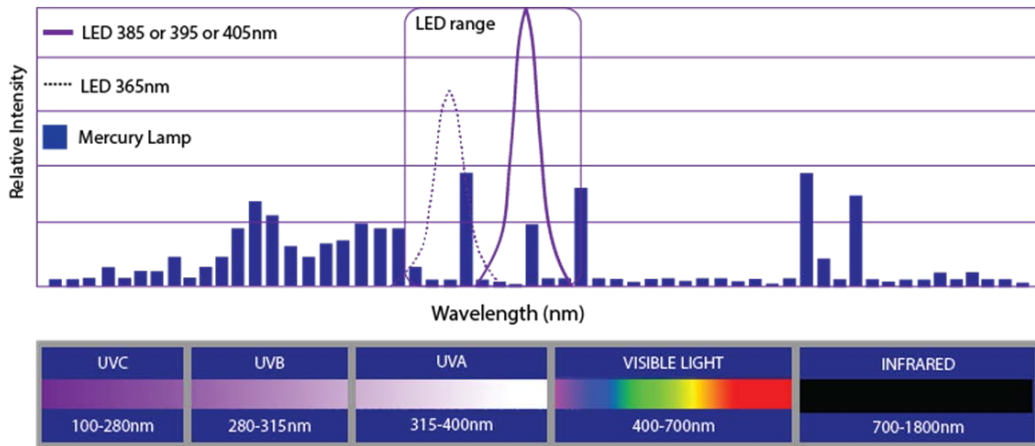


图 6 UV LED 光源与汞灯比较：UV LED = 窄幅高功率 UVA 输出

UV LED 光源固化

由于薄膜封装 (TFE) 工艺是一个连续的多层制造工艺, 较长的 TAKT 时间是提高产量的主要障碍, 因此缩短工艺时间成为一个衡量工艺成功重要考虑因素。另外, 提高工艺产量对于实现制造规模极为重要。所有这些技术和商业因素都促使该行业转向固态 UV LED 光源以固化 TFE 有机层。

首先, 窄幅的 LED 光源不包含由微波激发的汞源产生的大量可见光和红外辐射, 这消除了可能对衬底有害的大量热量。另外, 当为了获得更高的产量需要更高的紫外线功率时, 汞灯泡温度持续升高。所产生的撞击在衬底或器件上的红外辐射导致衬底退化并加速器件损坏。用 UV LED 系统代替汞源系统可以提高有机层产量, 实现更可靠的系统; 这最终转化为成本较低的资本设备。

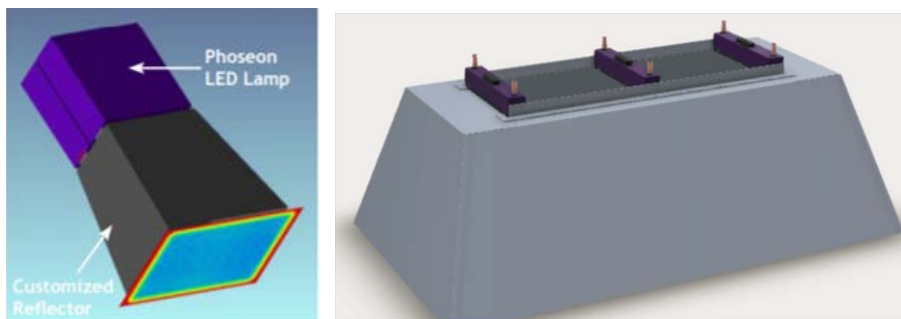


图 7 区域固化 LED 系统设计

如前所述, 薄膜封装 (TFE) 工艺对 TAKT 时间的缩短和 OLED 生产量的提高至关重要。与 LED 扫描方法相比, 面固化到整个基板区域运行速度更快, 因为此方法无需扫描方式时光源的移动时间, 因此受到诸多设备供应商的青睐。然而, 要在整个大面积基板上实现高均匀性是一个很大的挑战。图 7 中 Phoseon 的解决方案包括光源和配套的个定制的反射器。该方案实现了 1400mmx800mm 区域内 90% 以上的辐照均匀度且整个固化过程可以在几十秒钟内完成。

对于一些其他应用而言当较小的外形尺寸设计是首要任务时, 移动 LED 辐照系统并采用在基板上扫描的方法更为合适。如图 8 所示, Phoseon 设计了一种多光源一体固化解方案, 可以形成更宽的均匀覆盖范围。光源系统以指定的速度沿着基板行进以完成固化过程。该解决方案沿衬底宽度实现了 90% 以上的辐照均匀度, 总面积覆盖范围超过 1000mmx1500mm。该系统的总高度小于 200mm, 以满足严格的空限制。

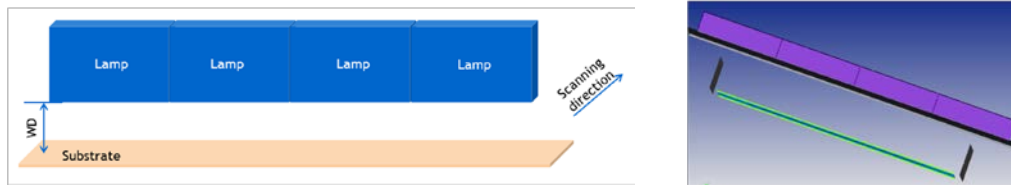


图 8 扫描固化系统设计

总结

LED 光源用于 OLED 封装固化有下列优势：

- 优异的辐照均匀度以改善固化质量
- 低温固化以最大限度减少对材料和设备的损害
- 设计紧凑，减少了固化站的复杂性和成本
- 窄波段 UVA 输出对敏感 OLED 材料无害，可提高工艺良率
- 大面积覆盖，满足高吞吐量要求

词汇表

有机发光二极管 (OLEDs) - 有机发光二极管是一种 LED，其发射电致发光层是响应于电流而发光的有机化合物膜。OLED 不需要背光，因此比 LCD 显示器更薄更高效。

TFE -- 薄膜封装技术是在 OLED 顶部应用共形阻挡层以防止水蒸气和氧气渗透到器件中的技术。

TAKT 时间 - TAKT 是管弦乐队指挥用来调节音乐节奏的指挥棒。它是指从一个单位的生产开始到下一个生产的平均时间。

WVTR - 以每天每平方米 g/m² 为单位测量水蒸气通过基材的量子度

PECVD - 电浆增强化学气相沉积

ALD - 原子层沉积

参考文献

- [1] Lalgudi Visweswaran, Bhadrinarayana, Encapsulation of Organic Light Emitting Diodes, Princeton University, ProQuest Dissertations Publishing, 2014. 3665325.
- [2] The OLED Handbook, A Guide to OLED Technology, Industry & Market, Ron Mertens, OLED-INFO, 2017, Page 7-8
- [3] Jin-Seong Park, 2011, 26(3):034001, Semiconductor Science and Technology, Thin film encapsulation for flexible AM-OLED: a review
- [4] Duan Yu, Optics Communications, 2016, Volume 365, Page 43-38, Recent progress on thin-film encapsulation technologies for organic electronic devices
- [5] OLED Fundamentals: Materials, Devices and Processing of Organic Light Emitting Diode, Daniel J. Gaspar, CRC Press, 2015, Page 25-34
- [6] Jeff Hebb, Inkjet Printing for Manufacturing of Flexible and Large-size OLEDs, 2017