

革命性的新型光刻图案 AMOLED 显示屏带来技术进步

盐见直树、平田典之、武田敦、木村博之、福田嘉一、川村真一、山本隆信、石田有香

naoki.shiomi.aw@j-display.com

Japan Display Inc., 3300 Hayano, Mobara-shi, Chiba, Japan Keywords

: OLED、光刻、精细金属掩模、蒸发、顶部发射

摘要

eLEAP 是一种 OLED 显示器，在其 RGB 子像素图案化过程中使用光刻技术，由日本显示器公司 (JDI) 开发。JDI 将此商标注册为 "eLEAP"。在当今的显示器产品中采用 eLEAP，将带来各种无与伦比的价值。本文将介绍 eLEAP 的价值主张。

1 背景和引言

自蒸发式 RGB-OLED 显示屏开始应用于智能手机和智能手表产品以来，精细金属掩模 (FMM) 一直被广泛用于分离相邻的子像素[1]。与白光 OLED 技术相比，直接图案化的 RGB OLED 显示器往往能显示出更好的光学和电气特性，因为与白光 OLED 显示器不同，直接图案化的 RGB OLED 显示器不需要滤色片来吸收大部分出射光分量[2]。然而，将 FMM 用于 OLED 显示屏的大规模生产并非易事。最大的挑战之一是如何将掩模孔位置固定在所需的 TFT 基底面上。以 326ppi 显示屏为例，一个像素尺寸为 78um，相邻子像素到子像素发射区域之间的距离为 17~25um，由于当今的 FMM 像素位置精度，这被认为是一种典型的设计。要缩小这个距离并不容易，因为 FMM 的光圈位置很容易受 FMM 相关过程的影响而发生偏移，如 FMM 焊条拉伸焊接、光罩组装、运输、热膨胀、重力下垂、磁力、重复光罩清洁等。在量产规模的母镜上控制良好的光圈位置需要大量的工艺知识。当需要更高的孔径比或更大的屏幕尺寸设计时，FMM 将成为主要挑战。

日本显示器公司 (JDI) 开发出一种无需蒸发金属掩模的新型 OLED 显示器，名为 eLEAP。eLEAP 的子像素是

通过精密光刻工艺图案化的，这就是为什么子像素与子像素之间的距离可以小于 16um 的原因，而 FMM 通常无法大规模生产。这种精密的亚像素图案化特性是 eLEAP 的独特之处。本文将介绍 eLEAP 的这些优势。

2 技术优势

2.1 光圈比

图 1 显示了传统 FMM OLED 显示器与 eLEAP 之间子像素到子像素距离的差异。当像素孔径比更大时，一个优势是可以抑制 OLED 设备的效率衰减，也就是使用寿命。由于发射区域更大，因此可以降低预期亮度的电流密度，这意味着可以减弱施加到像素上的电流应力。电流应力减弱可延长使用寿命。另一个优势是，当 OLED 设备在较低电流密度区域的滚降曲线达到峰值效率时，可能会降低功耗。较大的孔径比允许显示器使用发光效率较高的电流密度区域。

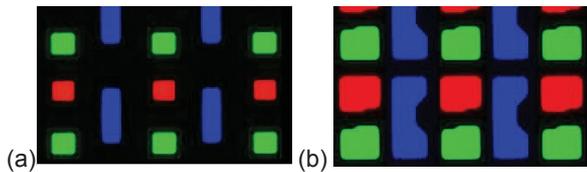


图 1 (a) FMM OLED 的像素 (b) eLEAP 的像素。

2.2 垂直结构

2.2.1 共用层

在垂直 OLED 设备堆叠方面，传统的 FMM OLED 显示器与 eLEAP 有所不同。蒸发式 OLED 显示器的垂直堆叠有许多功能层。为了大规模生产 RGB OLED 显示器，显示器供应商不会在每个层上都使用 FMM，而是只在绝对必要的层上使用 FMM，如发射层和光学距离调整层。对于不使用 FMM 的层，则使用普通金属掩膜 (CMM)。CMM 开口几乎覆盖整个显示区域，而且不需要精确对准。换句话说，传统的 RGB 直接图案化 OLED 显示器在 R、G 和 B 子像素之间有许多共用层。另一方面，eLEAP 采用光刻图案化工艺蚀刻掉 R、G 和 B 子像素之间的所有蒸发材料，因此 eLEAP 没有共用层。

图 2 显示了传统 FMM OLED 显示器与 eLEAP 结构差异的概念。图 2 显示了传统 FMM OLED 显示器与 eLEAP 之间结构差异的概念。eLEAP 可用于单层叠加 OLED 器件和串联叠加 OLED 器件配置。由于阴极也是分离的，eLEAP 可应用于需要一定透光率的产品设计，如显示屏下摄像头和环境光传感器。

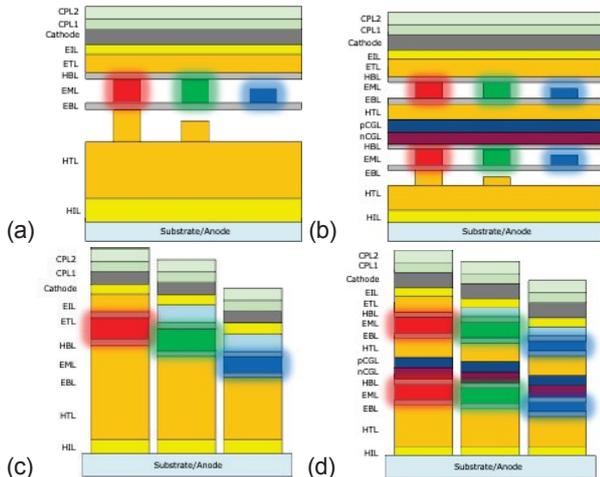


图 2 (a) FMM OLED 的单叠层装置 (b) FMM OLED 的串联叠层装置 (c) eLEAP 的单叠层装置 (d) eLEAP 的串联叠层装置。所有图均为简化图，未按比例绘制。

2.2.2 侧漏

众所周知，侧漏是 OLED 显示屏的问题所在，它会导致色彩和伽玛值不稳定，原因是电气泄漏穿过了共用层。如图 3 (a) 所示，传统的 FMM OLED 显示屏的主要色坐标会根据亮度水平发生偏移。当 RGB 器件之间的开启电压不完全一致，以及存在高导电共用层（如掺 p 的 HIL 和 CGL）时，这种颜色偏移会更加明显。在低亮度范围内，这种横向泄漏现象会更加明显。

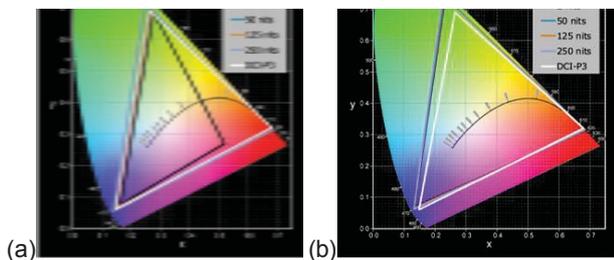


图 3 (a) 传统 FMM OLED 显示器在不同亮度水平下的三原色 (b) eLEAP 在不同亮度水平下的三原色。

2.2.3p 掺杂浓度

当横向泄漏不是问题时，HIL 中的 p 掺杂浓度对光学性能的敏感度较低。为了缓解 OLED 在显示面板连续工作时驱动电压的增加，添加额外的 p 掺杂剂可能是一个很好的解决方案。

2.2.4 生长黑斑

当封装结构因任何原因损坏时，湿气就会从 OLED 显示屏的顶部渗入，并到达阴极/EIL 电极。这就造成了 OLED 声名狼藉的暗斑问题。更糟糕的是，随着湿气的渗入和扩散，暗斑会越来越大。在 eLEAP 的情况下，暗点将停留在一个子像素上，而且只会变成一个暗点。

2.2.5 材料选择

从概念上讲，eLEAP 更适合为每个 RGB 层分别选择不同的 OLED 材料，因为没有一层是共用的。图 2 (a) 和 (c) 都是单层 OLED 器件的例子。在 (a) FMM OLED 的情况下，由于蓝色发光效率在红、绿、蓝中最低，因此选择了普通层材料，以获得蓝色器件的最佳性能。换句话说，红色和绿色器件别无选择，只能使用最初为蓝色器件选择的普通层材料。在 (c) eLEAP 的情况下，每个颜色层都是按顺序单独蒸发的。如果生产线上有足够的蒸发源和蒸发室，材料选择就不会受到限制。在这种情况下，红色和蓝色设备无需再使用相同的通用层材料。这种材料选择适应性将有利于有机发光二极管器件的设计，显示器制造商可以分别微调红、绿、蓝器件的性能，以平衡效率、电压、寿命、可靠性等。

2.3 适应性强的形状

图 4 显示了 FMM 的基本结构概念。图 5 显示了简化的 eLEAP 制造流程。FMM 由金属条组成，也称为 FMM-棒、英华棒或掩膜棒。为了稳定掩膜开孔位置，特别是在较高温度下，金属条在施加拉伸应力的情况下进行焊接。FMM-stick 的宽度通常大于显示屏的有效区域。换句话说，显示屏尺寸受到 FMM 棒宽度的限制。此外，非对称的显示屏有效区域形状通常不适合在金属带焊接过程中均匀施加拉力。eLEAP 不需要 FMM，也不需要 FMM 棒，这意味着 eLEAP 不受面板尺寸和形状的限制。

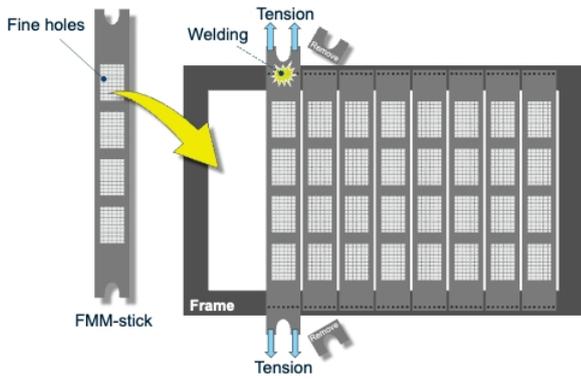


图 4 精细金属掩膜 (FMM) 结构。

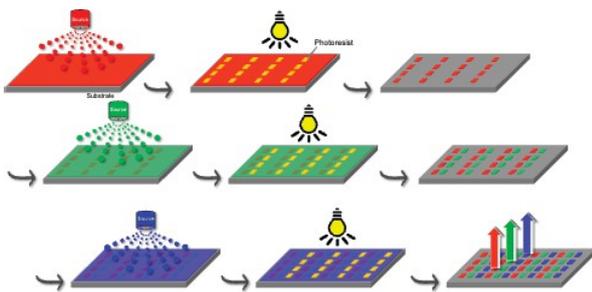


图 5 eLEAP 的简化流程。

2.4 环境友好

当 FMM 上沾有蒸发的 OLED 材料时，累积的掩膜厚度会产生蒸发阴影，并使蒸发薄膜边缘轮廓恶化。此外，FMM 与基板反复接触会产生颗粒，导致外观和可靠性问题。为了稳定制造良率，显示器供应商需要在 OLED 量产过程中频繁进行金属掩膜清洗，以刷新 FMM。一般来说，FMM 清洁槽包括一系列大型化学溶剂槽，然后是一系列大型冲洗槽，最后是干燥室。eLEAP 不需要 FMM，它将取消所有 FMM 清洁槽，预计可显著减少二氧化碳排放。

3 讨论

3.1 显示产品类别

虽然我们已经提到了 eLEAP 的技术优势，但我们也明白，每种显示产品都有不同的要求和重点。在本节中，我们将回顾 eLEAP 如何为所述的每个产品细分市场做出贡献。

3.1.1 电视和标识

在电视和标牌产品领域，许多显示技术，例如 QLED、QD-OLED、串联白光 OLED、喷墨解决方案 OLED、LCD、平铺 LED、投影仪都被认为是可量产的。当

eLEAP 进入这一领域时，它将成为世界上第一个顶部发射 RGB 直接图案化蒸发 OLED 显示屏 [3-5]。可期待的技术进步有1)

2) 由于顶部发射 RGB OLED 的发光效率更高，因此显示更亮和/或耐烧损；以及 3) 由于其子像素独立封装结构，因此可靠性更高。

3.1.2 汽车

在汽车产品领域，LCD 是当今的主要技术，而串联式 OLED 正在扩大其市场份额[6]。当 eLEAP 应用于汽车领域时，可期待的技术进步有：1) 无 FMM 工艺带来的适应性形状，特别是针对柱对柱超薄型 OLED 显示屏；2) 串联友好工艺和更大的开孔设计能力带来的烧损容限。在汽车应用中，由于其存储和操作条件可能极为苛刻，因此良好的烧损容限或长使用寿命 OLED 显示屏尤为重要。此外，现有的串联式 OLED 制造需要许多金属掩膜，导致大量二氧化碳排放。

3.1.3 平板电脑和笔记本电脑

在平板电脑和笔记本电脑产品领域，LCD 是主要的应用技术，并在不断发展。与此同时，针对这一细分市场的蒸发 RGB OLED 显示屏的发展势头强劲，采用 OLED 显示屏的 IT 产品数量正在迅速增长。为了以合理的成本批量生产 IT 尺寸的 RGB OLED 显示屏，需要更大的母玻璃工艺，如第 8 代或更大。当 eLEAP 进入这一细分市场时，预期的技术进步将是现有的 6 代工艺更顺利地过渡到即将到来的 8 代工艺，由于无 FMM 设计，每块母玻璃面板的利用率更高，由于更大的孔径比，烧损容差更好，边框设计也略微纤薄。关于边框尺寸；在 OLED 蒸发过程中使用普通金属掩膜时，TFT 玻璃需要在边框区域留出普通金属掩膜的错位余量。之所以需要错位余量，是为了确保边界区域的阴极接触，并使封装设计更加坚固。如果在制造过程中不使用普通金属掩膜，就可以消除错位余量，从而使边框更加纤薄。

3.1.4 智能手机和智能手表

在智能手机和智能手表产品领域，许多尖端显示技术被应用到产品中。主要技术是用于大众市场的 LCD 和用于高端市场的 RGB OLED。Micro LED 正处于走向量产的密集开发阶段。当 eLEAP 进入这一细分市场时，它将提供更好的户外可视性，可选择

由于其使用寿命长或烧损容限小，可使显示屏更亮。此外，考虑到这一细分市场的产品开发周期较快，eLEAP 的无 FMM 工艺可以加快设计变更，缩短设计反馈周期，因为 FMM 制作周期通常需要数月，尤其是对于新设计而言。

3.1.5 虚拟现实

在 VR 产品领域，LCoS、OLEDoS 和微型 LED 等硅背板基板显示器被用于制造超高 ppi 产品 [7-8]。然而，更多面向消费者的产品使用玻璃背板基底的显示器，如 LCD 和 OLED。每种技术都面临不同的挑战。就硅基板而言，由于步进曝光镜头场角的限制，最大显示尺寸约为 1.4 英寸对角线。当需要更大尺寸的显示屏时，拼接等花哨的技术是必要的，但在这种极高 ppi 的产品类别中，拼接技术还不够成熟。另一个挑战是成本，硅晶片比玻璃基板小，在成本方面很难与玻璃显示器竞争。就玻璃基板而言，VR 液晶显示器的主要挑战是对比度，而 VR OLED 的主要挑战是 ppi。在 VR 应用中，较低的 ppi 尤为重要，因为它会导致“屏门效应”，大大降低用户的沉浸感。当玻璃基板 eLEAP 进入 VR 领域时，与传统的玻璃 OLED 相比，它能带来更高的对比度和更高的 ppi，而且成本范围合理。就 ppi 而言，OLED 蒸发工艺将不再是限制性工艺，而 TFT 将成为下一个挑战。

3.2 技术成熟度

eLEAP 由 JDI 开发。图 6 显示了 14.0 英寸矩形 eLEAP 原型样品的外观。过去，JDI 曾报道过 1.4 英寸圆形设计的 eLEAP，并验证了技术概念。现在，14.0 英寸的 eLEAP 进一步证明了其技术的成熟性和可调整性。eLEAP 现在被认为是一种可大规模生产的技术，有史以来第一个 eLEAP 大规模生产设备现已安装在 JDI 的制造生

图 6 14 英寸 eLEAP 原型图片。



4 结论

正如本文所述，eLEAP 可为 OLED 显示产品带来非凡的价值。eLEAP 样品可用于演示和评估，JDI 欢迎合作和商业用途讨论。

参考资料

- [1] C.Kim, K. Kim, O. Kwon, J. Jung, J. K. Park, D. H. Kim, K. Jung, "Fine metal mask material and manufacturing process for high-resolution active-matrix organic light-emitting diode displays," *Journal of the Society for Information Display*, 28, 668 (2020).
- [2] K.O. Cheon, J. Shinar, "明亮的白色小型基于红色发光客主层和蓝色发光 4,4'-双(2,2'-二苯基乙烯基)-1,1'-联苯的分子有机发光器件", 《应用物理快报》, 81, 1738 (2002)。应用物理快报》, 81, 1738 (2002 年)。
- [3] T.Shimoda, K. Morii, "Film Formation by Inkjet. 喷墨液滴的行为", 《材料阶段》, 1, 40 (2001 年)。
- [4] Y.Li, Z. Chen, D. Li, Y. Zhang, T. Wang, J. Feng, S. Lu, B. Fang, X. Li, X. Xu, "Development of High Efficiency QLED Technology for Display Applications," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 53, 61 (2022).
- [5] J.Burschka, C.S. Choi, N. Greinert, E. Kossoy, T. Suzuki, A. Yamamoto, I. Koehler, "Challenges in QD-OLED Display Technology," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 53, 295 (2022).
- [6] T.Kim, K. Song, J. Kim, J. Park, H. Choi, K. Kim, C-W.Han, H. Choi, I. Kang, "High Performance OLED and Its Application," *Proc. IDW '18*, 649 (2018)。
- [7] U.Vogel, P. Wartenberg, B. Richter, S. Brenner, K. Fehse and M. Schober, "OLED-on-Silicon Microdisplays: 技术、器件、应用", 第 48 届欧洲固态器件研究会议 (ESSDERC), 德国德累斯顿, 90 (2018)。
- [8] S.Banna, "MicroLED Technology for AR/VR Displays (Conference Presentation)," *Proc. SPIE 11310, Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality* (2020).