

News & Highlights

工程师突破超高分辨率显示屏技术瓶颈

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

凭借清晰的图像和鲜明的对比度，每英寸数百像素 (ppi) 的有机发光二极管 (OLED) 显示屏已成为大多数智能手机和许多高端电视机的首选屏幕技术[1]。但是在具体应用时，特别是对于升级改良后的虚拟现实 (VR)、增强现实 (AR) 和混合现实 (MR) 设备，需要具有比当前 OLED 显示屏更高的像素密度[2]。2020 年年底，美国斯坦福大学和韩国三星公司的研究人员描述了一种显示屏像素密度超过 10 000 ppi 的设计，创下 OLED 纪录[3]。这一发现将有助于各种基于 OLED 的新型电子产品的开发。然而，专家警告说，技术限制和来自其他类型显示屏的竞争可能会抑制这种超高分辨率 OLED 显示屏的实际使用。

2010年，苹果公司因推出 iPhone 4 而引起轰动，这款手机配备了像素密度为 326 ppi (是之前型号的4倍) 的液晶显示屏[4]。从那以后，制造商在显示屏上压缩了更多的像素。现在，大多数智能手机都配备可提供 400~500 ppi 像素密度的 OLED 显示屏[5]。同样，电视机显示屏的像素密度随着时间的推移也在增加，现在许多 OLED 电视机显示屏的像素密度根据尺寸可以达到 100~200 ppi [6]。可是对于手机和其他移动设备而言，增大像素密度是有代价的，电池的电量消耗会更快[7]。此外，人眼是否可以区分不同像素密度的手机显示屏仍然备受争议[8,9]。

然而，VR、AR 和 MR 设备需要更高的像素密度，这是毫无疑问的。它们要么像 VR 那样将用户置于计算机生成的世界中，要么在用户的真实世界中添加图像[10]。这些技术在 Pokemon Go 等游戏以及各种工业、

军事和教育应用中已经很常见，但视觉体验效果可能令人失望。例如，像素之间的间隙可能是可见的，从而产生所谓的纱窗效应[11]。标准 VR 头戴式设备的设计解释了为什么在此类设备中视觉缺陷更明显。头戴式设备的显示屏距离用户的眼睛只有几厘米 (而用户通常与手机显示屏之间的距离为 25~30 cm)，而且设备还包含放大镜[11]。研究人员估计，更平滑、更逼真的显示屏要求更亮，并且需要超过 5000 ppi 的像素密度[3]。台湾大学电气工程教授 Jiun-Haw Lee 说：“发现增加像素数量的新方法十分重要。”他并没有参与斯坦福大学与三星公司的研究。

为了提高 OLED 显示屏的分辨率，斯坦福大学和三星公司的研发团队不得不对当前技术的两个限制。大多数智能手机的 OLED 显示屏的制造过程包括通过精细的金属掩模 (一种拥有许多微孔的薄材料) 将发光有机化合物涂到表面上[12]。掩模可以在每个像素内精确定位红色、绿色和蓝色子像素，这些子像素以各种组合形式发光来产生不同的颜色[13]。在掩模上增加更多的孔可以提高像素密度，但越来越多的孔会导致图像质量变差。因此，大多数手机显示屏的像素密度仍保持在 400~500 ppi [12]。另一个限制适用于 OLED 电视。随着精细金属掩模尺寸变大，它们往往会下垂，因此制造商通常使用不同的工艺来制造大显示屏[12]。一台电视机显示屏上的子像素包括三层有机化合物，每一层都发出红光、绿光或蓝光[1]。这些层合在一起就会产生白光，白光通过滤光器阻挡某些特定波长的光，从而在显示屏上产生不同的颜色[1,12]。Lee 说，这种方法的缺点是效

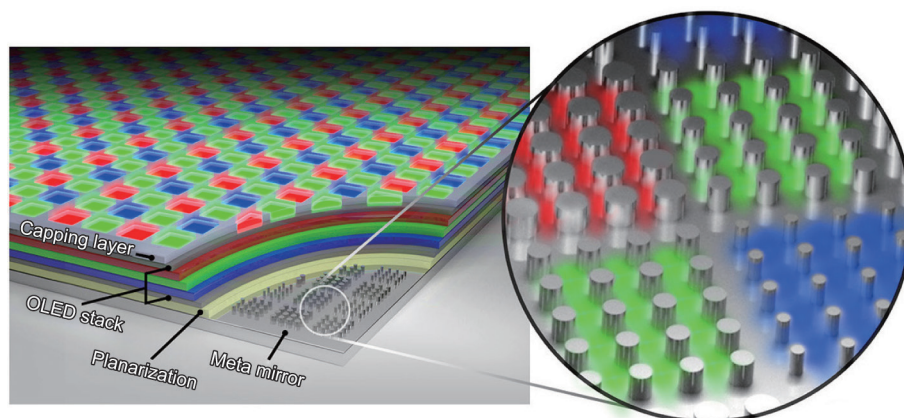


图1. 斯坦福大学和三星公司研究人员推出的新OLED设计，将发光层夹在两个反射面之间，即“元镜”（meta mirror）和覆盖层正下方的银镁阴极。“元镜”的表面布满了微小的柱子，这些柱子改变了反射光的传播距离。从纳米柱阵列中发出的光的颜色取决于它们的大小和密度（插图）。图片来源：Samsung Advanced Institute of Technology (public domain)。

率低、亮度有限，“它浪费了2/3的能量”，原因是滤光器阻挡了大部分发出的光。

斯坦福大学和三星公司研究人员的设计与OLED电视显示屏的核心相似，因为每个像素都包含了可产生红光、绿光和蓝光的多层有机化合物。然而，他们将这些层放置在两个镜子之间，其中一个镜子上布满了直径为80~120 nm的纳米柱阵列（图1）[12]。来自OLED层的白光在镜子之间反射，但也在纳米柱之间来回反射。这种设计会产生共振，放大某些波长。研究人员证明，他们可以通过改变纳米柱的大小和排列来调整光的颜色。例如，纳米柱密集的阵列发出红光，而稀疏的阵列则产生蓝光[5]。通过调整纳米柱阵列，研究人员可以生成所有波长的可见光[3]。

由于该团队没有使用精细的金属掩模，因此他们可以压缩更多像素——他们的计算表明该设计甚至可以使像素密度超过10 000 ppi [3]。由于不需要滤光器，使用该技术的设备应该会更高效、更明亮。研究人员说，他们的设计相比OLED装置的发光效率提高了一倍。该技术的另一个优点是，用纳米压印光刻技术可以制造带有纳米柱排列的镜子，该技术已经成为制造太阳能电池和其他产品的标准技术。美国中佛罗里达大学的光学研究员Tao Zhan说：“这项研究非常重要。”然而，他没有参与这项研究。他说，这项研究表明“你可以简化制造过程并显著增加像素密度”。

斯坦福大学和三星公司的研究人员分析了一个小型测试阵列，但没有构建全屏或将阵列连接到手机或其他设备。尽管如此，Lee表示，该团队证明纳米柱方法“是可行的”。他说，现在该小组可以开始尝试制造带有纳米柱排列镜子的显示屏，并确定它们适用于哪些产品。

但Lee提醒说，OLED有一些缺点，可能会降低其普及程度。这些设备可能会出现老化现象，图像会永久印在显示屏上[14]。老化对手机来说不是大问题，因为用户通常每隔几年就会购买新机型。然而，这对于VR、AR或MR设备来说将是一场灾难。此外，其他显示技术也在争夺市场份额。加拿大VueReal公司（位于加拿大安大略省滑铁卢市）已经销售了采用微型发光二极管（microLED）的显示屏，显示屏的像素密度可达30 000 ppi [5]。microLED显示屏中的每个像素都是一个微观的镓氮化物半导体，使用这种技术的大显示屏电视机才刚刚进入市场[15,16]。与OLED一样，microLED也可以产生清晰的图像，但它们老化的可能性更低[16]。然而，microLED也有几个缺点，即它更耗电、会产生大量热量且价格昂贵，因此哪种技术将点亮未来的显示屏尚不清楚[16]。

Lee补充说，试图开发更具细节、更生动、更逼真的VR、AR和MR产品的研究人员还面临其他设计挑战，包括如何提高数据传输速度。他说：“高分辨率是必不可少的，但这并不是唯一需要解决的问题。”

References

- [1] Morrison G. Phone OLED vs TV OLED: what's the difference? [Internet]. San Francisco: CNET; 2018 Jan 5 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.cnet.com/news/phone-oled-vs-tv-oled-whats-the-difference/>.
- [2] Hruska J. Samsung, Stanford built a 10 000 ppi display that could revolutionize VR, AR [Internet]. New York City: ExtremeTech; 2020 Oct 28 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.extremetech.com/extreme/316681-samsung-stanford-built-a-10000-ppi-display-that-could-revolutionize-vr-ar>.
- [3] Joo WJ, Kyoung J, Esfandyarpour M, Lee SH, Koo H, Song S, et al. Metasurface-driven OLED displays beyond 10000 pixels per inch. *Science* 2020;370(6515):459-63.
- [4] Analyst challenges Apple's iPhone 4 'retina display' claims [Internet]. New York City: PCMag; 2010 Jun 9 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.pcmag.com/archive/analyst-challenges-apples-iphone-4-retina-display-claims-251638>.

- [5] Choi CQ. Researchers pack 10000 metasurface pixels per inch in new OLED display [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Oct 23 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/consumer-electronics/audiovideo/metasurface-oled-display>.
- [6] Leprince-Ringuet D. This new OLED material could pack 10000 pixels per inch in future screens [Internet]. San Francisco: ZDNet; 2020 Oct 27 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.zdnet.com/article/this-new-oled-material-could-pack-10000-pixels-per-inch-in-future-screens/>.
- [7] Horaczek S. Smartphone screens are getting an upgrade—here are the Specs to know about [Internet]. New York City: Popular Science; 2020 Apr 15 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.popsci.com/story/technology/smartphone-screen-specs-explained/>.
- [8] Simon M. Sorry Android fans, Apple is right: 1080p is all we need for smartphone screens [Internet]. San Francisco: PCWorld; 2020 Nov 17 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.pcworld.com/article/3597391/sorry-android-fans-apple-is-right-1080p-is-all-we-need-for-smartphone-screens.html>.
- [9] Chen BX. iPhone 4's 'retina' display claims are false marketing [Internet]. San Francisco: Wired; 2010 Jun 9 [cited 2021 Apr 19] Available from: <https://www.wired.com/2010/06/iphone-4-retina/>.
- [10] Haslam K. What will Apple's AR/VR glasses do? [Internet]. London: Macworld UK; 2021 Mar 31 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.macworld.co.uk/feature/what-apples-ar-vr-glasses-do-3803232/>.
- [11] Horaczek S. Stanford researchers may have found the key to better VR headsets in solar panels [Internet]. New York City: Popular Science; 2020 Oct 26 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.popsci.com/story/technology/vr-headset-display-tech-solar-panels/>.
- [12] Wills S. Meta-mirror OLEDs smash through pixel-density limits [Internet]. Washington, DC: The Optical Society; 2020 Oct 26 [cited 2021 Apr 19]. Available from: https://www.osa-opn.org/home/newsroom/2020/october/meta-mirror_oleds_smash_through_pixel-density_limit/.
- [13] Fröbel M, Fries F, Schwab T, Lenk S, Leo K, Gather MC, et al. Three-terminal RGB full-color OLED pixels for ultrahigh density displays. *Sci Rep* 2018;8:9684.
- [14] Morrison G, Katzmaier D. OLED screen burn-in: what you need to know in 2021 [Internet]. San Francisco: CNET; 2021 Mar 16 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.cnet.com/how-to/oled-screen-burn-in-what-you-need-to-know-in-2021/>.
- [15] Moore SK. Large-area microLED display startup makes gallium–nitride transistors too [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Feb 5 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/optoelectronics/microled-display-startup-makes-galliumnitride-transistors>.
- [16] Morrison G. MicroLED could replace OLED as the next ultimate TV tech. Here's how it works [Internet]. San Francisco: CNET; 2021 Jan 19 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.cnet.com/how-to/microled-could-replace-oled-as-the-next-ultimate-tv-tech-heres-how-it-works/>.