

氮化镓基微间距 LED 显示技术现状分析与发展趋势

李春晓¹ 成卓² 刘召军³

1 河北工业大学电子信息工程学院, 中国天津

2. 深圳市创显光电, 中国深圳

3. 南方科技大学工学院电子与电气工程系, 中国深圳

微间距 LED 技术作为消费电子领域下一个时代的显示技术, 在当今信息化、智能化社会发展中起到了关键作用。微间距 LED 凭借着在对比度、分辨率、能耗、可视角度、反应时间、寿命等多方面的优势在众多新一代显示技术中脱颖而出。与此同时, 微间距 LED 也面临着巨大的技术挑战, 如制作成本极高, 价格昂贵, 难以大面积应用, 且柔韧显示与曲率存在技术瓶颈等, 微间距 LED 技术需进一步完善。

微间距 LED 以独立的红、绿和蓝子像素作为可控光源, 因此该显示屏具有高对比度、高速和宽视角的特点; 其次, 显示屏的清晰度与单位面积像素密度有关, 通过微间距 LED 微缩化和矩阵化技术的运用, 微间距 LED 可以在一个芯片上集成高密度微尺寸的微间距 LED 阵列, 这意味着其显示屏当中的每一个像素均可独立定址、单独驱动发光, 使得该显示屏具有十分可观的分辨率。并且由于其运用的自发光显示技术不受透过率的限制, 能耗较其他显示技术也相对更低, 发光材料选用无机半导体寿命更长, 性能更加稳定。



图 1 微间距 LED 大屏幕图像显示效果

作为颠覆信息化产业的新兴显示技术, 随着外界关注度的提升, 微间距 LED 的技术瓶颈日益凸显, 该显示屏依赖单晶

硅衬底, 增加了制造成本, 若大面积应用, 良率和成本等问题都需考虑在内, 即使更换衬底材料, 也需要足够的时间进行深入研究, 该技术起初正由于技术限制、成本昂贵而未得到研究领域的足够重视; 此外, 微间距 LED 屏卷曲度有待提升, 可贵的是当前业界显示屏弹性技术已取得一定突破。柔性屏幕的出现预示微间距 LED 显示屏在曲度技术的发展与研究上具有无限可能。弹性极高的柔性微间距 LED 屏幕具有延展性, 可以在安装固定中出现较大弧度弯曲, 却仍能保证图像的正常显示。目前所能呈现的形状主要有带状, 球体, 螺旋, 筒状等, 加以分辨率、对比度、亮度等方面优点的加持, 在展览、舞台设计, 及一些娱乐场所的市场应用中备受欢迎。



图 2 微间距 LED 创意造型屏-莫比乌斯环

在与柔性显示领域相关的创意屏设计中, 创显光电作为一家微间距 LED 制造企业曾展出具有可拼接性的微间距 LED 创意屏, 借助该显示屏的组装灵活度, 微间距



LED 屏可以拼接成立方体、圆弧、字母等多种外形。

图 3 创显光电于 PALM EXPO 中展示的微间距 LED 创意屏

虽然微间距 LED 技术如今已经取得了许多可观突破，但扩大市场范围、谋求长远发展依旧刻不容缓，探索产业融合可以帮助领域扩大影响范围，为微间距 LED 发展注入源源不断的新生活力，新兴产业无疑是最佳选择之一。作为元宇宙入口的 XR，虚拟现实技术受到越来越多来自各界的重视，广阔的市场前景吸引着各个领域的注意。近来创显光电开始向 XR 拓展市场，展会中，该企业将微间距 LED 显示技术与 XR 的虚拟现实场景进行融合，展示出一种于显示技术碰撞间产生的视觉效果。此外，体验者对技术融合成果的较高接受度也预示着微间距 LED 显示技术在未来与其他热门产业结合的可能。



图 4 XR 与微间距 LED 屏结合的虚拟现实展示

为使微间距 LED 技术持续发展，业界需提高微间距 LED 竞争优势，氮化镓基微间距 LED 在领域内备受关注；对于微间距 LED 性能提升来说，衬底材料的选择有着决定性的作用。

参数	蓝宝石 (Al ₂ O ₃)	硅 (Si)	氮化铝 (AlN)	碳化硅 (6H-SiC)	氮化镓 (GaN)
晶体结构	六方	金刚石型	六方	六方	六方
禁带宽度 (eV)	8.1-8.6	1.12	6.2	3.05	3.4
晶格常数 (nm)	a:0.476 c:1.298	a:0.543	a:0.311 c:0.498	a:0.308 c:1.512	a:0.31 c:0.51 9
热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /K)	9.03//c 轴 5.0⊥c 轴	3.59	5.3//c 轴 4.2⊥c 轴	4.68//c 轴 4.2⊥c 轴	3.17// c 轴 5.59⊥c 轴
热导率 (W/m·K)	25	150	320	490	130

表 1 几种衬底材料的物理参数

当前 GaN 基蓝绿光微间距 LED 主要以蓝宝石、硅、GaN 等材料作为衬底，每种衬底都有各自优劣之处；蓝宝石作为最常用的衬底材料，优点是化学性质稳定，且成本低，有条件实现大面积应用，但蓝宝石与 GaN 之间严重的晶格失配和热膨胀失配与蓝宝石这种材料本身热导率低、不导电的特殊性质使得其在衬底材料的使用中拥有一定的局限性；而材料硅导电导热性能良好，使得微间距 LED 拥有更可观的性能和寿命，但硅与 GaN 间的晶格失配与热应力失配容易造成外延层的缺陷，且硅的材料吸收可见光，降低了微间距 LED 外量子效率。作为 GaN 基微间距 LED 最理想的衬底材料，GaN 单晶的制备却十分困难，制作成本高，尺寸有限，且衬底厚度与尺寸对波长均匀性也会产生影响，而为了保证微间距 LED 的高分辨率显示效果，生产衬底时就有必要将如何保证波长均匀性即降低波长变化标准差的因素考虑在内，微间距 LED 在衬底材料的选取与制备上还有很长的一段路要走。

就微间距 LED 显示领域而言，显示屏技术研发和市场应用大致朝向以下几点发展：

小体积，高储量。计算机从 30 吨的重量，170 平方米的占地面积，发展至如今可随时随地手持办公，电视笨重的箱体也逐渐缩小体积，“外观改变”是每一种电子产品逃不开的技术难题，微间距 LED 也不例外，当前显示屏技术不断追求极致的轻薄，沉重的设备无论在制造、运输、组装拆卸以及对承载物的要求上都会增加原本就十分昂贵的成本，各团队通过不断试验与探索，寻找更合适的材料，研发更先进的组装部件，微间距 LED 正在变得越来越“小”，越来越触手可及，或许有一天，显示屏能够以一张纸的形态出现在我们眼前。

低耗能，长寿命。虽然微间距 LED 本身就作为节能产品被推广，但由于目前大型显示屏更多出现在广告宣传、馆内展览、舞台设计等场地，为达到使用者目

的,经常需要长时间高亮度播放,十分考验设备耐久度,耗电量问题也与节能减排理念相悖。户外微间距LED的多雨季防潮与高温天气的散热工作也是不可忽略的问题,不只是减少设备寿命损耗,更是因为大型显示屏一般出现在人流量大、人口密集的场所,安全系数也是重要指标之一。实现根源上的节能和耐久,必然是微间距LED未来最主要的发展趋势之一。

低成本,多联合。微间距LED成本问题一直作为技术瓶颈存在于业界,突破瓶颈是所有技术人员的共同期望,也是产业必然的发展趋势。每平米显示屏的价格常常上千上万,难以拓展基层用户,若要发掘用户消费潜力,降低成本十分有必要。同时微间距LED与其他产业的联合应用也是扩大用户范畴的策略之一,单依靠自身的显示技术得到的市场有限,需要通过和其他新兴产业或应用市场广泛的产业融合才能达到自身技术本应拥有的市场预期。微间距LED在今后的应用拓展中或许会更多地朝着商业市场与民用领域的方向开拓。

参考文献

- [1] Gewei Yan, Jiayi Li, Zengxiang Lu. , Zhaojun Liu. Volumetric Three-Dimensional Display Technology. *ICDT 2020 Technical Summary*. 2020.
- [2] Fulong Jiang, Feifan Xu, Zhaojun Liu, Bin Liu, Youdou Zheng. Development of GaN-Based Micro-LED Display Technology. *Journal of Synthetic Crystals*. 2020, 49(11).
- [3] Pengfei Tian, Erdan Gu, Ran Liu, Lirong Zheng. The Research Status of GaN-Based Micro-LED. *Experts Forum*. 2018.
- [4] Jianpeng Tai, Weiling Guo. Research Progress of Micro-LED Display Technology. *Zhao Ming Gong Cheng Xue Bao*. 2019, 30(1).
- [5] Weihan Lin, Meihui Yang. Analysis of Miniled Display and Micro-LED Display. *Wan Fang Shu Ju*. 2019.
- [6] Honglei Ji, Pingping Zhang, Naijun Chen, Daiqing Wang, Yan Zhang, Ziyi Ge. Micro-LED display: Recent progress and future challenges. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*. 2021, 36(8)
- [7] Xiaobai Li. Development of GaN-Based solid-state devices *Semiconductor Technology*. 2001, 26(5).
- [8] Bixian Peng, Haisheng Qian, Jun Yue, Lijuan Chen, Chongchen Wang, Lijuan Zhang. The Research Progress in Synthesis and Application of Gallium Nitride-Based Materials. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*. 2005, 22(5).
- [9] "The Development and Bottleneck of Micro-LED" Accessed on: Jun. 02. 2016. [Online]. Available: https://www.elecfans.com/led/oled/421645_2.html.
- [10] "New Progress of Micro-LED" Accessed on: Aug. 09. 2021. [Online]. Available: <http://www.cali-light.com/index.php/index/index/newsart/id/23776.html>.
- [11] "The Relative Merits of LED" Accessed on: May. 10. 2022 [Online]. Available: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1732424157201150083&wfr=spider&for=pc>
- [12] "The Difference of Substrate Material in LED" Accessed on: Mar. 17. 2022. [Online]. Available. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1727503985786272876&wfr=spider&for=pc>
- [13] "The Future Development Trend of LED Display" Accessed on: Mar. 24. 2022. [Online]. Available. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1728149643094034705&wfr=spider&for=pc>