

DOI: 10.19816/j.cnki.10-1594/TN.2021.03.004

Micro-LED技术和产业化研究进展

耿 怡

(中国电子信息产业发展研究院 北京 100846)

摘要: 基于 Micro-LED 技术发展趋势和新特点,从产线建设和战略合作等角度,对我国 Micro-LED 产业化进展进行了总结,指出发展面临的瓶颈主要有外延生长、巨量转移、有源背板驱动和彩色化等几大部分,这些部分之间存在不同又相互联系,各部分紧密合作,协同攻克技术瓶颈将是推动 Micro-LED 技术突破和产业化发展的重要手段。在超大尺寸应用领域和小尺寸应用领域,技术开发和系统集成创新仍然是重要的突破路径,在此过程中,材料和设备的进步也将为 Micro-LED 的大规模量产提供助力。

关键词: 新型显示; Micro-LED; 产业化

中图分类号: TN383⁺.1 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510

Research on Micro-LED technology and industry

GENG Yi

(China Center for Information Industry Development, Beijing 100846, China)

Abstract: This article analyzes the development trends and new features of Micro-LED technology. From the perspective of production line construction and strategic cooperation, the article summarized the progress of Micro-LED industrialization. It is pointed out that the bottlenecks facing development mainly include epitaxial growth, mass transfer, active backplane driving and colorization. These parts are different and interrelated with each other. Cooperation and collaboration overcoming of technical bottlenecks will be important to promote the technological breakthrough and industrialization of Micro-LED. Technology development and system integration innovation are key breakthrough paths in ultra-large-scale and small-scale applications. During this process, advances in materials and equipment will also help with the mass production of Micro-LED.

Keywords: display; Micro-LED; industrialize

0 引言

微型发光二极管显示技术(Micro-LED)是指将传统发光二极管芯片尺寸缩小到微米级别后组装成阵列经驱动形成显示效果的技术。目前,产业界对该技术的定义并不统一,对 Micro-LED 芯片尺寸、驱动方式的界定仍有争议。从现实效果来看,这种显示技术是自发光显示技术,相比现有的薄膜晶体管液晶显示技术(TFT-LCD),具有显示效果好,对比度

高的优点。对比现有的有机发光二极管显示技术(OLED),则具有亮度更高,功耗更低的优点,所以得到产业界的广泛关注^[1]。

另一方面, Micro-LED 虽然具有各种优点,但是由于其制造过程中仍然存在较多的技术难点,阻碍了其产业化的进程,目前还处于研发和试产阶段,显示链上下游企业均下大力气争相布局,从传统 LED 芯片企业到显示面板企业,从可穿戴产品制造设计企业到电视机品牌企业,都在积极将 Micro-LED 作

为下一阶段研发和投入的重点。

对于 Micro-LED 这样仍处于快速发展阶段的显示技术,工艺创新和产品创新是推动该技术成熟发展的重中之重。芯片均一性、巨量转移、有源背板驱动、全彩化等方面的技术开发和改进;高亮度、高对比度、高分辨率的应用场景的推广和示范,都将对 Micro-LED 的普及起到积极的促进作用。在此背景下,总结和分析技术进展和市场培育情况,对于产业发展具有重要意义。

1 Micro-LED 技术进展

1.1 技术发展趋势

Micro-LED 技术发展面临的瓶颈主要有外延生长、巨量转移、有源背板驱动和彩色化等几大部分。这些部分相互之间存在联系,各部分紧密合作,协同攻克技术瓶颈将是推动 Micro-LED 技术突破和产业化发展的重要手段。

LED 外延生长的衬底主要是 GaN,近年来,传统 GaN 基红绿蓝三色光效率得到显著提升,当芯片微小化后,其外延生长主要存在的难度是芯片发光波长均一性和芯片发光效率降低,为解决 GaAs 芯片发光效率低的问题,南昌大学江风益院士团队引入铟镓氮红光量子阱与黄光量子阱交替生长方法,制备了 InGaN 基橙-红光 LED,大幅提高了红光 LED 的发光效率^[2]。阿卜杜拉国王科技大学的 Zhuang 团队利用高铟(Indium)基 InGaN 获得了高性能 InGaN 红色 LED。不仅可以在高温环境下稳定工作而且具有明确的发光波长范围^[3]。

巨量转移是指通过某种高精度设备,将生长在外延基板上的巨量三色 Micro-LED 晶粒高速精准地转移到目标基板,并且在晶粒和驱动电路之间实现良好的电气和机械连接^[4-6]。巨量转移是 Micro-LED 走向大规模应用的瓶颈,产业化对这一过程要求极高,存在剥离、拾取、转移、键合几个关键步骤。目前,巨量转移的方法主要有自组装、滚轴转印、选择性释放及拾取放置等 4 大类,根据关键材料和作用力的不同,又可以分为流体自组装转移技术、磁性定向自组装转移技术、滚轴转印技术、激光剥离转移技术、化学剥离转移技术、聚二甲基硅氧烷(PDMS)印

章转移技术、静电力转移技术以及电磁力转移技术等多种技术。这些技术各具优缺点,从目前来看,部分方法在实验室可以达到 99.99% 的良率,但对于至少要达到 99.999 9% 良率的产业化要求,还需要进一步努力。

有源背板驱动是满足 Micro-LED 超高分辨率的重要条件。因此 Micro-LED 的背板驱动方式与传统的 LED 有很大不同,现有的印刷电路板(PCB)尺寸稳定性难以满足微型 LED 的工艺要求,随着 LED 芯片尺寸的下降,稳定性差和翘曲等问题日益严重^[7],并且伴随着成本大幅提升。硅基和玻璃基为有源背板驱动提供了更多选择方案,早在 2013 年,香港科技大学 Liu 等^[8]在硅基上组合形成全彩色有源矩阵 3-LEDos 微型显示器。在玻璃机上利用低温多晶硅(LTPS)技术,可以实现更大尺寸的全彩色有源驱动 Micro-LED,可以独立驱动每个像素,实现更精细的高动态对比显示效果,是一种极具潜力的驱动解决方案^[9]。

Micro-LED 彩色化的方案目前主要有两大类,一类是直接使用红绿蓝三色 LED 芯片,另一类则是通过蓝光 LED 芯片激发红绿量子点实现红绿蓝三种颜色的色彩转换。两种方法均存在不足,使用三色 LED 芯片可能存在芯片发光效率不均一,驱动电流大小不一致的问题;而使用蓝光激发红绿量子点,虽然成本较低,且更易实现高分辨率显示,但是存在色转换材料选择和光学串扰的问题^[10]。未来, Micro-LED 显示屏彩色化方案将会根据应用领域不同而采取不同方案。

1.2 技术发展新特点

产业融合成为新突破点。随着像素点微型化、显示效果高清化,传统的 LED 生产工艺和技术已无法满足 Micro-LED 的性能需求。研究院所和企业开始在泛半导体领域寻求新的工艺和平台。产业融合成为了技术发展新方向,将 Micro-LED 与新型显示、集成电路等产业融合,充分利用集成电路工业具备的成熟工艺、微纳制程和检测手段,吸收新型显示产业全尺寸化生产经验,必将快速提升 Micro-LED 产业化推进的速度。

专利重要性大幅提升。Micro-LED 重要性日益

凸显,各大企业开始重视专利申请和标准制定的情况,史敏娜等^[1]分析了2002~2020年全球范围内Micro-LED专利申请的情况,2002~2014年,Micro-LED专利申请量稳步提升,但总体数量较小;2017年是一个分水岭,申请量开始大幅提升。知识产权已成为高端产业的竞争新高地。美国等西方国家除了对我国LED及相关企业开展“337调查”之外,还通过地方法院诉讼来遏制我企业发展。

应用端积极推动技术发展。Micro-LED的出现有望重塑显示产业链供应链格局,相比于传统的LED企业、TFT-LCD或者OLED等显示面板企业,苹果、索尼、三星、LG、康佳等终端企业对新技术的研发和应用更加积极,不断加快核心关键技术储备和新产品研发进程。苹果公司除了收购Micro-LED技术公司LuxVue以外,还通过自身的行业影响力和供应链资源,与集成电路制造企业台积电和联电紧密合作,共同开发Micro-LED显示屏幕。

2 Micro-LED产业化进展

2.1 产线建设

随着市场对Micro-LED的认可度不断提升,Micro-LED产线建设的数量不断增多。然而,由于Micro-LED还处于产业化前期,所以很多Micro-LED实际上是Mini LED甚至是小间距LED为主导的产线。

产线的建设主要有3类企业组成。首先是传统的LED芯片和封装企业,如日亚、晶电等企业;其次是TFT-LCD和OLED等新型显示企业积极投入;此外,终端企业也在积极推进Micro-LED产业化进展。索尼公司早在2016年就推出Crystal LED显示屏,并在2021年推出模块化Micro-LED,主要面向电影拍摄等高端市场,由于可以灵活切换具有身临其境的背景画面,拍摄后期合成环节也随之减少,因此有望将电影制作时间减半,索尼除了自身积极利用之外,还在积极向美国奈飞(Netflix)推销。三星公司使用低温多晶硅(LTPS)薄膜晶体管生产了89、101和114英寸的Micro-LED电视,分辨率可达到4K(3840×2160),在巨量转移速度方面,三星可以一次传输多个LED芯片,将传输速度提升了1500倍。由于Micro-LED的晶体管和电路更为复杂,所以需要使用到

24道掩膜板,相比需要10~12道掩膜板的AMOLED更为复杂。目前,三星显示主要在天安工厂的A1产线上生产LTPS TFT-LCD。

2.2 战略合作

强强联手是攻克前瞻性技术最有利的手段,不仅可以降低前期研发风险,还可以通过合作开拓企业研究和经营领域,从而在前瞻性技术成熟之际抢得先机。美国公司SmartKem与Nanosys达成联合开发协议,利用双方在有机薄膜晶体管(OTFT)背板和电致发光量子点Nano LED技术的研究基础,共同开发低成本印刷Micro-LED和量子点Nano LED材料。美国社交网络巨头Facebook在改名为Meta之前,就开展了与Micro-LED初创企业英国的Plessey的业务合作,收购了该公司所有Micro-LED产品的许可授权,以期将Micro-LED技术与VR/AR结合,实现更接近现实的元宇宙(Metaverse)空间。

我国企业依托现有的产业基础,也在积极开展合作。产业链上下游企业纷纷在LED、巨量转移、彩色化、检测、修复等关键技术开展技术合作,加快推进Micro-LED显示产品的研发和大规模量产,同时开展可穿戴显示、高清移动显示、车载显示、高清大尺寸显示、超大尺寸拼接商用显示样机的研发及试产工作。

3 结论

凭借自发光、高亮度、低功耗、高稳定性等优势,Micro-LED显示技术未来的市场将以高端产品为主,因此也对显示效果和功能加成具有更高的要求。在Micro-LED的技术和产业化进展过程中,关键技术发展和突破的路径相对清晰,但技术难点的突破仍然存在诸多障碍。

对于超大尺寸领域,电视及家庭影院将是主要的应用场景,如何降低现有技术的成本空间和产业化推进是亟待解决的课题,一方面,企业通过上下游产业链协同合作,优化供应链环节降低成本,另一方面,企业也通过开发新技术,优化生产工艺和流程,通过良率提升为产品价格谋求更大的下降空间。

对于小尺寸应用领域,以虚拟现实AR产品为代表,如何高效利用Micro-LED技术成为该类产品发

展的重心。虽然目前已有多个品牌发布了搭载 Micro-LED 显示屏幕的增强现实(AR)产品,但是真正利用 Micro-LED 的技术特点,将 5G 通信、边缘计算、沉浸式体验结合在一起的产品尝试仍不多见,小尺寸 Micro-LED 在系统集成方面的优势仍未得到真正发挥。

在材料和设备领域, Micro-LED 芯片制备技术相对成熟,随着量产技术的成熟,将对 Micro-LED 用基板、光学介质等材料提出新的要求,同时也会带来对新设备、新工艺的需求。新材料、新设备的加入不仅可以降低制造成本,更重要的是提升生产效率,为 Micro-LED 的大规模量产提供重要助力。

参考文献

- [1] KHALED A. Heuristics of OLED and Micro-LED efficiencies[J]. SID 2021 Digest, 2021, 61-1: 864-867.
- [2] ZHANG S N, ZHANG J, GAO J D, et al. Efficient emission of InGaN-based light-emitting diodes: Toward orange and red[J]. Photonics Research, 2020, 8(11): 1671-1675.
- [3] ZHUANG Z, LIDA D, OHKAWA K. Effects of size on the electrical and optical properties of InGaN-based red light-emitting diodes[J]. Applied Physics Letters, 2020, 116(17): 173501.
- [4] 曹文贤. Micro-LED 巨量转移技术的研究进展[J]. 电视技术, 2021., 45(9): 107-114.
CAO W X. Recent progress of Micro-LED mass transfer method[J]. Video Engineering, 2021, 45(9): 107-114.
- [5] LIU X, TONG C, LUO X, et al. Study of mass transfer for Micro-LED manufacturing[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2019, 50(S1): 775-778.
- [6] 陈佳昕, 李梦梅, 郭伟玲. Micro-LED 微显示芯片制备技术[J]. 照明工程学报, 2021, 32(1): 12-18.
CHEN J X, LI M M, GUO W L. Micro-LED Micro display chip manufacturing technology[J]. Journal of Illuminating Engineering, 2021, 32(1): 12-18.
- [7] 季洪雷, 张萍萍, 陈乃军, 等. Micro-LED 显示的发展现状与技术挑战[J]. 液晶与显示, 2021, 36(68): 1101-1112.
JI H L, ZHANG P P, CHEN N J, et al. Micro-LED display: Recent progress and future challenges[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2021, 36(68): 1101-1112.
- [8] LIU Z J, CHONG W C, WONG K M, et al. A novel BLU-free full-color LED projector using LED on silicon micro-displays[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2013, 25(23): 2267-2270.
- [9] 韩洪松, 齐爱想, 刘俊国, 等. Micro-LED 在机载上的应用[J]. 液晶与显示, 2021, 36(3): 439-447.
HAN H S, QI AI X, LIU J G, et al. Application of Micro-LED technology in airborne display[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2021, 36(3): 439-447.
- [10] 胡伟频, 卜倩倩, 孙晓, 等. 微米级 LED 显示应用浅析[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(4): 5-8.
HU W P, BU Q Q, SU X, et al. Analysis of Micro-LED display application[J]. Electronic Component and Information Technology, 2020, 4(4): 5-8.
- [11] 史敏娜, 郭学军, 梁明明, 等. 微型发光二极管(Micro-LED)显示技术的专利分析[J]. 科技视界, 2021(34): 162-163.
SHI M N, GUO X J, LIANG M M, et al. Patent analysis of Micro-LED display technology[J]. Science & Technology Vision, 2021(34): 162-163.