

Mini LED 背光显示屏技术及发展前景

朱东艳 刘彤 刘孟义 刘玉安 张红涛
(北京京东方显示技术有限公司 北京市 100176)

摘要: 本文主要介绍 Mini LED 背光源显示屏及其在 LCD 模组产品中的技术优势及难点, 并指出了其在显示行业的应用现状与前景。随着 LCD 行业的不断发展, 人们对显示质量的要求越来越高, Mini LED 因其独特的设计特点, 在显示领域具有极高的应用前景。相较于传统 LED 产品, Mini LED 背光源显示屏具有高动态对比度、高色域等优势, 产品可以满足消费者对 LCD 显示屏优秀画面品质的需求。

关键词: Mini LED; LCD 显示屏; 液晶显示技术; LCD 模组

1 Mini LED 介绍

Mini LED 又称次毫米发光二极管, 最早由我国台湾公司晶元光电提出, 是指晶粒(芯片)尺寸在 50-200 μm 的 LED。Mini LED 晶粒尺寸与点间距介于传统小间距 LED 和 Micro LED 之间, 应用方向包括 Mini LED 直显和 Mini LED 背光的显示屏。与传统 LED 相比, Mini LED 在更小范围内实现区域调光、改善低亮度下灰阶显示效果等方面都有优异的表现, 工艺难度又没有 Micro LED 那么大, 制作成品相对容易, 因此 Mini LED 有望成为 LCD 升级的主导产品, 与 OLED 在消费市场一较高下。其在 Mobile、TPC、NB、MNT、TV、拼接、车载等多个领域拥有广泛前景, 部分产品类型如图 1 所示, 由于 Mini LED 众多优点, 未来显示市场需求空间巨大。

2 Mini LED 产品现状探究及前景分析

2.1 Mini LED 背光显示屏优势

背光源显示是液晶显示技术的关键技术之一, 先进的背光技术能推动液晶显示效果持续提升。背光源对液晶显示的亮度、对比度和色彩表现力起到关键作用。当前, Mini LED 背光液晶面板是日益饱和的液晶面板市场的一剂强心剂, 能在很大程度上延长传统 LED 背光液晶面板的生命周期。与传统 LED 产品相比 Mini LED 背光产品比传统 LED 背光产品性能更优良, 可实现 HDR 1000、高动态对比度、高色域、画面显示效果更等优点, HDR 显示效果提升对比如图 2 所示, 亮度显示效果提升对比如图 3 所示, 各大 LCD 厂已经着手在 VR、Pad、笔记本、显示器、电视、拼接模组上使用 Mini LED 背光设计。

传统 LED 背光液晶面板有两种背光方式: 一种是侧入式背光, 在液晶面板侧面封装传统 LED 背光模组, 通过导光板折射的光线透过液晶面板层得以显示。侧入式背光的 LED 灯珠通常是几十颗, 光线不均匀, 无法实现区域调光, 其优点是面板较薄。另一种是 LED 直下式背光, 将 LED 背

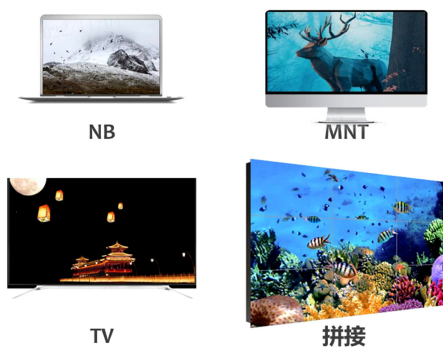


图 1: Mini LED 产品展示

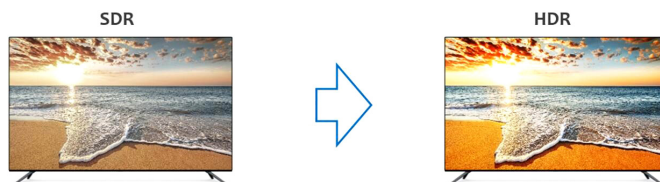


图 2: HDR 显示效果提升对比图



图 3: 亮度显示效果提升对比图

光板配置在液晶层下, LED 灯珠可均匀分布在液晶层背面, 背光板可进行区域分割, 各区域单独控制光线明暗, 从而提高对比度, 实现 HDR (高动态亮度范围) 显示, 获得更好的显示效果, 其缺点是面板较厚, 分区数量有限。Mini LED 背光则是将传统 LED 芯片缩小, 背光源灯珠由原来的几十颗、几百颗变成数千颗、数万颗, 分区数量也能从几十、几百个增加到几千、几万个, 每个区域对应多个像素点, 结合区域调光技术, 对背光源进行更加精细化的亮暗控制。在不

表 1: LED 产品对比

	传统 LED	Mini LED	Micro LED
尺寸	1-3 mm	50-200 μ m	100 μ m 以下
定义	发光二极管	次毫米发光二极管 最早晶电提出	全新显示技术 LED 薄膜化、微小化、矩阵化 实现每个 LED 单元单独驱动发光（相当于子像素）
设计	侧光	直下	直下
使用数量	几十颗	几千颗以上	4K 屏: 2488 万颗 LED
优势	成本低, 成熟的技术和供应链	可做异型切割; 可搭配软性基板制作曲面背光产品; 精细化局部调光设计; 搭配 QD/KSF 提升色域; 节能; 对比度高	高光效, 高亮度, 高可靠性, 对比度高, 反应时间快, 自发光, 轻薄, 节能, 无不同角度的偏色, 寿命高
劣势 & 技术难点	对比度低, 功耗高, 无法柔性显示	成本高, 无法制作柔性	LED 巨量转移技术难题
应用	照明, 显示背光	HDR, 异型显示器背光源, 高阶电视产品等	穿戴, 手机, 车载, AR, 显示屏

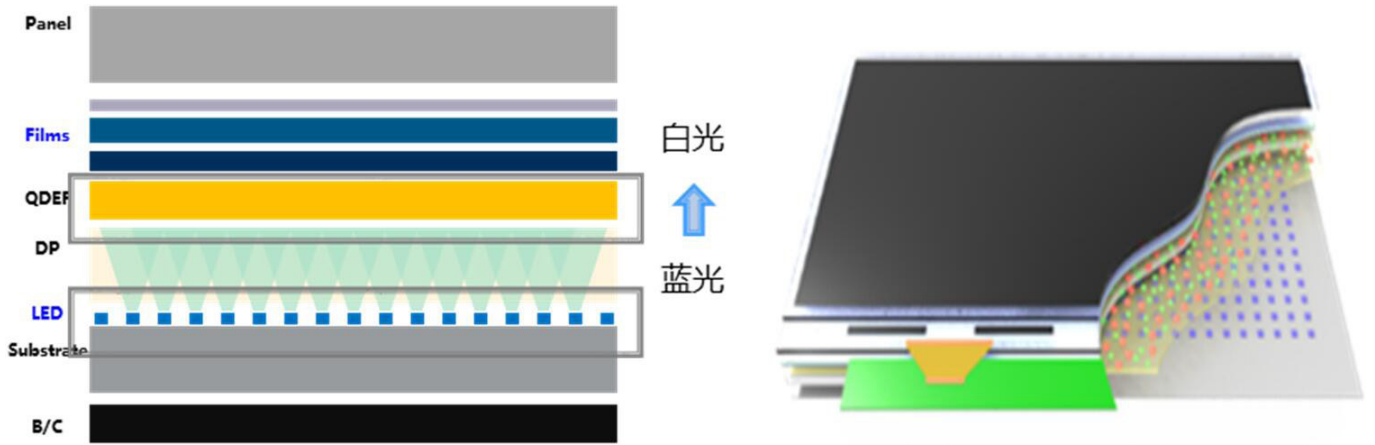


图 4: Mini LED 背光显示屏结构

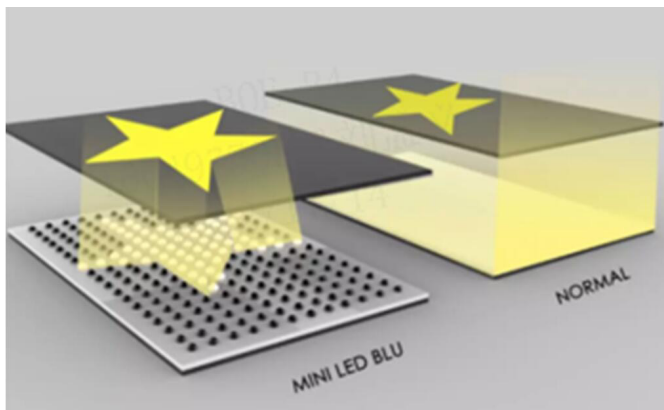


图 5: Mini LED 同传统 LED 产品显示区别示意图

牺牲亮度的情况下, Mini LED 背光 LCD 面板可以实现超过 1000000:1 的对比度和更高的分辨率, 在画面显示效果上可与 OLED 面板直接竞争。

不同类型 LED 对比如表 1 所示。

2.2 Mini LED 背光显示屏问题及解决

与传统 LED 相比, Mini LED 背光显示屏结构设计上存在很大差异, Mini LED 多为蓝光 LED, 所以需要搭配量子点膜等能将蓝光转换为白光的膜材一起使用, 同时与传统 LED 大多为侧光式相比, Mini LED 为直下式设计, 其设计图示如图 4 所示, 与传统 LED 产品相比, 其设计特点如图 5 所示。

因为直下式设计, 而且一般一个模组产品 Mini LED 数量在数千至数万颗, 视觉上 Mini LED 产品会有密集的亮点也称灯影, 如何避免灯影是 Mini LED 背光产品面临的一个问题。为了避免此问题, 需要在膜材及扩散板堆叠结构等方面考虑强化遮盖设计。根据产品特点一般通过如下几种方案解决灯影的问题:

- (1) 高雾度的扩散板和扩散膜;
- (2) 增加混光的 OD;
- (3) 使用匀光膜。

Mini LED 的蓝光通过量子点膜等激发产生红绿光后混光不充分容易产生色 mura, 视觉表现一般为黄圈 mura, 在

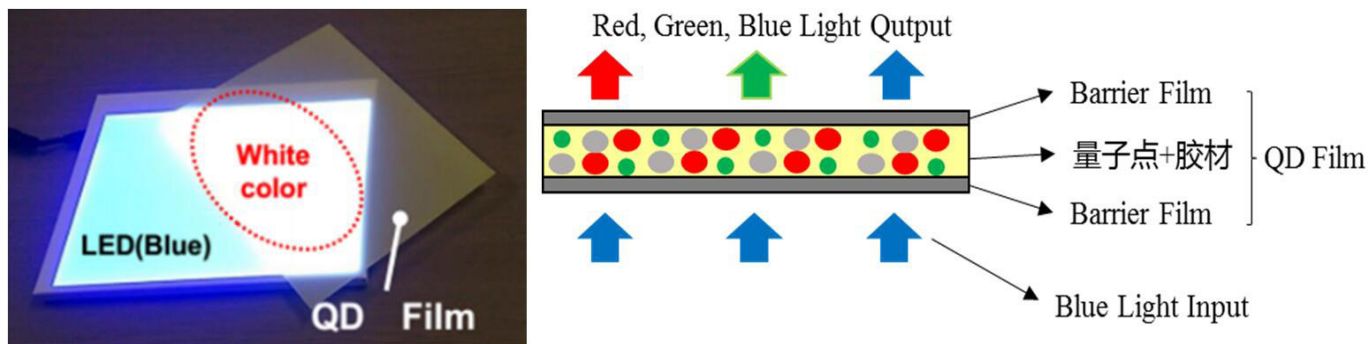


图 6: 量子点膜工作原理

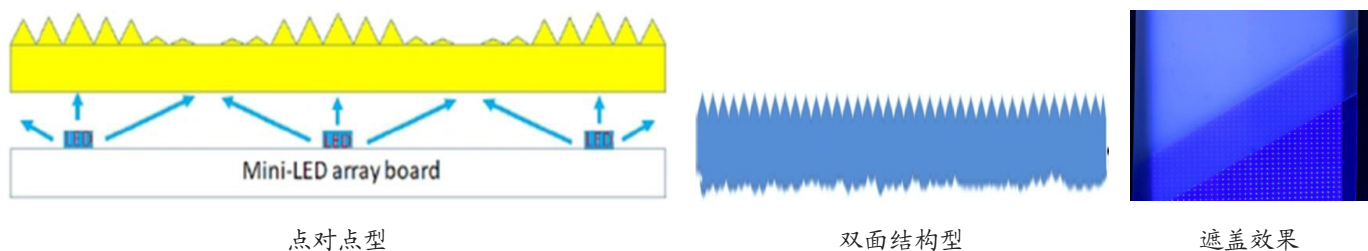


图 7: 匀光膜结构示意图

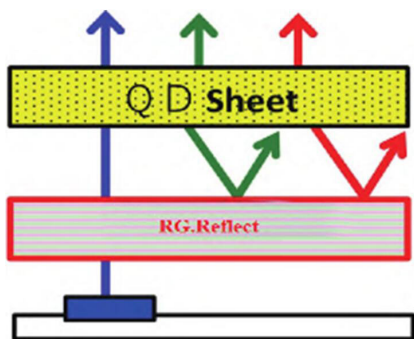


图 8: 红绿反射膜工作原理示意



图 9: LED 芯片和封装示意图

量子膜下增加一张红绿反射膜对改善此问题有一定效果。

与传统膜材不同，量子点膜将红绿量子点材料封装在阻隔膜中，放置在背光膜材的最下层，与底下蓝光 Mini LED 光源相接触，Mini LED 的蓝光激发量子点产生纯正的红光和绿光，与蓝光混合产生高质量的白光，其原理如图 6 所示。

匀光膜作用类似扩散膜，但比扩散膜的遮盖作用更强，用于 Mini LED 背光的主要作用是改善密集点问题。根据匀光膜的结构有点对点微结构匀光膜、双面微结构匀光膜等结构，如图 7 所示，需要根据 Mini LED 的设计及与 Mini LED 灯板搭配后的实际效果选取合适的匀光膜及进行相关设计，

匀光膜

具有高透光性高遮盖性的双重特点。

红绿反射膜对蓝光具有高透率，对红绿光具有高反射率，可将量子膜反射回的红绿光再次反射，通过多次反射使混光更加均匀，达到改善黄圈 mura 的目的，其原理示意如图 8 所示。

中大尺寸 Mini LED 背光结构大多需要多块灯板拼接而成，由此带来灯板拼缝问题，通常解决方案是在灯板上贴附反射片，但整片贴附反射片成本升高较多，在亮度满足的情况下可以仅在灯板拼缝处贴附反射条，减少反射膜材用量，降低成本同时确保品质，同时作业效率也大幅提升。如果工艺上能够精准控制，也可通过使用组装治具精确控制拼缝间隙，取消反射条贴附。

采用 Mini LED 的背光结构，如四周量子点激发不充分，可能会出现视觉蓝框，通过边缘贴附丝印黄色荧光油墨的反射片中中和掉多余的蓝光，可校正颜色。同时受到 Mini LED 单体发光角度及 OD 距离限制，到达背光源四周四角的光能不充足，容易出现四边暗框及暗角，通过改善 Mini LED 发光角度、边缘 LED 排布以及距离边缘的距离尽量避免此问题，如果模组的厚度允许，也可以增大混光的 OD。

为了改善 Mini LED 背光产品视觉效果，也可以采取 Demura 技术，此技术可能导致产品亮度损失较大，从而导致产品功耗增加，同时 Demura 功能 IC 也会导致成本增加。

Mini LED 背光显示屏使用分区控制技术时，单位分区的光扩散影响周边会出现光晕现象。一般光晕影响区域越小

越好，如果光晕区过大会影响 Mini LED 背光显示屏高动态对比度的效果。但如果将 Mini LED 背光的光晕做到极小，在区域调光中可能出现类似马赛克的现象，反而影响显示效果。所以如何对光晕区进行调整，达到理想的区域调光效果，是 Mini LED 背光显示屏应用面临的一个重要课题。随着 Mini LED 背光混光距离变化，产生光晕的效果也不同，所以光晕与混光距离以及分区数量都存在密切的关系。如何设计调整出合理的光晕区，也是影响 Mini LED 背光显示屏在终端应用效果及感受的关键所在。

由于使用 LED 数量较多，随着所使用 LED 数量的增加，散热问题也随之出现。所以在产品设计上，如何降低温度以及改善散热是面临的又一个技术问题。一般可以通过涂覆散热材料，增加反射膜，满足亮度的前提下降低电流来降低温度。

2.3 Mini LED 产业链介绍

根据 Mini LED 背光显示屏的设计特点，Mini LED 显示屏产业链涉及 LED 芯片、封装、与 Mini LED 搭配使用的量子点膜、匀光膜、红绿反射膜、显示屏厂和终端应用品牌厂商等。芯片、面板、整机端近几年都在积蓄力量，2020 年 11 月 25 日，由京东方、群创、华星、维信诺、天马、友达、海信、海尔、康佳、长虹、创维、小米、华为、TCL、LG、索尼、三星、华灿、三安、利亚德、希达、雷曼、洲明、利晶微、奥拓、晶台、国星光电、集创北方、显芯科技等产业链上下游企业共同成立中国视像行业协会 Mini/Micro LED 显示产业分会（CMMA）。膜片厂商 3M 公司和 Nanosys 公司联合开发的量子点膜技术也成为了当下 Mini LED 背光显示屏使用的膜材的主流发展方向。目前国内外多家公司都在积极进行相关膜材的开发，国内以纳晶和激智为代表。

在产业链环节，LED 芯片厂商、封装厂商、面板厂商都涉足 Mini LED 生产，TFT 驱动基板、液晶面板等生产设备可继续用于 Mini LED 背光液晶面板生产，技术创新的环节主要在 LED 芯片和封装，Mini LED 一般采用倒装芯片的结构，以 COB 方式将芯片直接表贴在基板，其差异如图 9 所示。因此无论是相比未来的 Micro LED 或是相比传统 LCD 面板，Mini LED 背光产品的技术、资源和资本的整合难度都要小得多，遇到的产业阻力较小，是改良液晶面板产品的最优选择。

Mini LED 背光面板替代效应逐渐显现。在中大尺寸面板市场，超高清显示需求增强，传统液晶面板已不能满足消费者在 5G 普及环境下对超高清显示的强烈需求。在供给端，液晶面板产量供过于求，全球生产厂商目前也已基本停止对液晶面板产线的投资，市场需要性能更好的升级产品。

OLED 作为液晶面板的升级产品，在中小尺寸应用领域有较强优势，但在中大尺寸领域，例如电视、广告屏、显示器等，由于寿命原因目前还未形成较强的液晶产品升级替代情况。在小尺寸领域，OLED 是智能手机屏升级主流，替换 LCD 屏趋势明显，Mini LED 背光的手机屏较难成为其对手。在大尺寸领域，面板主要需求之一电视市场，韩国 LG 厂商的白光 OLED 电视正不断占据高端 LCD 电视市场，三星和 TCL 推出 Mini LED 背光液晶电视与之抗衡。在三星等终端大厂的力推下，Mini LED 背光面板将加速向传统 LED 背光液晶面板市场渗透，逐步占据传统 LED 背光液晶电视高端市场。

Mini LED 背光产品商业化需要经历考验，关键是成本价格。Mini LED 背光占 Mini LED 背光显示屏成本 60% 以上，另外 LCD 占显示器成本 15%~20%，打件部分占比 15%~20%，因此 Mini LED 背光是成本控制的关键。其中，Mini LED 芯片的成本占比接近 Mini LED 背光模组的一半。随着芯片数量增加，成本还会继续上升。此外，为提高性能更多的局部调光区域需要更多数量的 LED，从而增加了控制 IC 的数量，也导致了成本增加，这也是 mini LED 现存的一个主要挑战。由此可见，降低 Mini LED 背光成本，包括 Mini LED 芯片成本、打件成本，如何平衡 Mini LED 背光显示屏的成本及性能，是目前消费市场能否接受 Mini LED 背光显示屏的关键。

2.4 Mini LED 背光显示产品发展

2021 年被称为 Mini LED 商业化应用元年。OLED 在大尺寸产品应用方面良率低，成本高，尚未完全成熟，相比较而言，Mini LED 技术工艺上已经比较成熟。同时 Mini LED 背光显示屏画面品质上也有了很大提升，因此成为很多消费电子厂商高端产品升级的首选，逐步大量商业化应用。据 Trend Force 公布的统计数据显示，2021 年 Mini LED 背光显示屏电视整体出货量已经超过了 210 万台，2022 年出货量将会翻倍，预计达到 450 万台。群智咨询机构预测 Mini LED 背光显示屏电视市场规模到 2025 年预计达到 900 万台。Omdia 预测，Mini LED 背光显示屏电视的出货量到 2025 年将达到 2500 万台，占整个电视机市场的 10%。不管是哪个机构的统计数据，Mini LED 背光显示屏电视规模近几年加速增长是不可否认的事实，大尺寸电视使用 Mini LED 背光显示屏增加的趋势已经显现。

随着 Mini LED 产品在市场上密集发布，越来越多的终端品牌厂商参与到 Mini LED 产业链，加速导入搭载 Mini LED 背光液晶显示屏的消费电子产品，Mini LED 背光显示屏产品在高端液晶显示屏市场逐渐占据重要席位。小尺寸

可穿戴设备、VR、TPC，中尺寸笔记本、电脑显示器和大尺寸电视、拼接产品均有 Mini LED 背光显示产品渗透。例如，苹果在 2019 年 6 月发布了采用 Mini LED 背光的显示器 Pro Display XDR，首次采用 Mini LED 显示背光产品，并在 2021 年 4 月推出配备 Mini LED 背光显示的 iPad Pro 平板电脑。联想也与京东方合作在 2020 年底推出了采用 Mini LED 背光的高端显示器，实现 DCI-P3 100% 色域，HDR 功能等，成为行业的新航标。2021 年，三星、TCL、海信、创维、华为等整机品牌厂相继推出了搭载 Mini LED 背光显示屏的液晶电视。TCL 2019 年~2022 年连续 4 年推出 Mini LED 背光显示屏电视新产品，在 2021 年 1 月 CES 上，TCL 发布 4K Mini LED C825 电视，以超高色域和更精准的动态光线设计，实现极致的 HDR 显示效果。2021 年 3 月，TCL 首发的 85 英寸 X12 8K Mini LED 星曜智屏新品，产品售价高达 99999 元。三星在 CES 上也发布了 65 英寸~85 英寸量子点 Mini LED 背光的 NEO QLED 8K 系列旗舰产品。同样是在 CES 上，海信发布旗舰 9 系列产品，亮度规格超过 3000nits 以上；2021 年 2 月和 9 月创维推出了两款 Mini LED 电视 Q70 鸣丽电视和 Q72 鸣丽电视。2021 年 7 月，华为发布首款 Mini LED 智慧屏 V75 Super。在 2022 CES 展上，TCL、海信、LG、索尼、三星再次带来了多款 Mini LED 背光显示屏电视新产品，包括 TCL 的 85 英寸 X925 Pro 采用第三代 Mini LED OD Zero 技术，索尼 X95K 4K Mini LED 电视和 Z9K 8K Mini LED 电视，三星更高亮度级别的 Neo QLED 4K 和 8K 系列，LG 的 8K QNED Mini LED 背光显示屏系列电视，海信的 ULED 电视 U9H 和 U8H 采用 Mini LED 技术等。

据 LED inside 数据显示，预计到 2023 年整体 mini LED 产值超过 10 亿美元，尤其大尺寸电视将成为 Mini LED 背光显示屏未来应用的主流产品。未来在一些高端领域，例如：电竞显示器、笔记本显示屏、可穿戴设备、VR 等相关装置中，Mini LED 都能发挥很大的作用。

2022 年 10 月 13 日，由中国电子视像行业协会 Mini/Micro LED 显示产业分会（CMMA）主导，汇聚中国显示产业精英，由京东方、TCL、利亚德、阿尔泰、利晶微、兆驰半导体、瑞丰、芯能、显芯、精测、广晟德、晶台、万象智库等联合编撰的《2022 Mini/Micro LED 显示产业白皮书》在深圳正式发布。白皮书的发布，将有力的促进我国 Mini/Micro LED 显示产业的发展，通过统一规范，将众多处于相互竞争的上下游企业聚拢一起，强强联手，聚成一个拳头，对 Mini LED 产业建设起到迅速的推动作用。

3 结束语

Mini LED 背光显示屏未来应用前景广阔，市场增速惊

人，行业发展趋势持续向好，表现亮眼，未来三四年将是 Mini LED 背光显示屏产品爆发式增长期。发展 Mini LED 产业，对新型 LCD 显示屏产业是一次良好机遇，发力 Mini LED 显示，基于现有的面板产业基础，有利于新型 LCD 显示继续在显示技术中占据席位。这场由消费终端拉动的产业合作和技术升级正在赋予 Mini LED 背光显示产业新的前景，未来高端显示技术市场主导权正越来越向 Mini LED 转移。

参考文献

- [1] 朋朝明, 张广谱. 8K 超清超亮全色域 Mini LED 智能电视技术研究 [J]. 电子产品世界, 2021.
- [2] 嘉俊, 尤宇财, 王海波, 卓宁泽. Mini LED 背光源在液晶显示面板上的照度均匀性 [J]. 半导体光电, 2021.
- [3] Mini LED 引领显示新潮流巨头加码争未来 [J]. 股市动态分析, 2019(49).
- [4] 迎九. Mini/MicroLED 技术市场展望一访 Rohinni 首席执行官 Matt Gerber [J]. 电子产品世界, 2020.
- [5] 闵杰. 市场风生水起 Mini LED 受拥趸 [J]. 中国电子报, 2021.
- [6] 薛治天, 吕国强, 杜刚. 全彩 Mini-LED 商业大屏显示的彩色管理 [J]. 液晶与显示, 2021.
- [7] 郭黎明, 朋朝明, 陈伟雄, 邹文聪. Mini LED 电视背光技术浅析与显示标准介绍 [J]. 电子产品世界, 2022.
- [8] 于璇. Mini LED 电视或将迎来较大发展 [J]. 电器, 2021.
- [9] 邓雅静. 占据天时地利, Mini LED 电视市场规模加速扩容 [J]. 电器, 2022.

作者简介

朱东艳 (1977-), 女, 北京市人。硕士研究生, 现就职于北京京东方显示技术有限公司。研究方向为显示技术新产品开发信赖性认证及前置管理。

刘彤 (1995-), 男, 河北省保定市人。大学本科学历, 现就职于北京京东方显示技术有限公司。研究方向为显示事业产品认证及原材品质管控与供应商管理。

刘孟义 (1993-), 男, 河北省定州市人。大学本科学历, 现就职于北京京东方显示技术有限公司。研究方向为显示事业新品开发认证及光学电学特性。

刘玉安 (1988-), 男, 黑龙江省望奎县人。大学本科学历, 现就职于北京京东方显示技术有限公司。研究方向为显示事业产品认证。

张红涛 (1984-), 男, 河北省邢台市人。大学本科学历, 现就职于北京京东方显示技术有限公司。研究方向为显示事业产品认证及信赖性研究。