

# 中国新型显示技术发展之路

欧阳钟灿

中国科学院理论物理研究所, 北京 100190

**摘要** 中国新型显示技术快速发展, 显示产业升级跃迁, 功能丰富的显示屏不断涌现, 持续为数字生活增色添彩, 为中国数字经济作出杰出的贡献。概述了国内外显示技术发展情况、最新研究成果、未来发展方向, 以及缺少自主的核心显示材料、产业配套对外依赖严重、新布局产线量产工艺有待提高等问题, 并对此提出建议, 以确保中国显示产业的优势地位。

**关键词** 新型显示技术; 数字经济; 自主可控的产业生态系统

## 1 显示技术发展历程及未来方向

2022年1月16日出版的第2期《求是》杂志发表习近平总书记重要文章《不断做强做优做大我国数字经济》, 文章指出: “要聚焦集成电路、新型显示、通信设备、智能硬件等重点领域, 加快锻造长板、补齐短板, 培育一批具有国际竞争力的大企业和具有产业链控制力的生态主导型企业, 构建自主可控产业生态。”在人类认知世界的过程中, 获取信息最主要的途径是视觉, 显示技术让人类通过视觉获取的信息更加丰富多彩。作为信息产业重要构成部分, 显示技术在信息技术的发展过程中一直起着十分重要的作用。人们对显示设备画质、外观、交互体验、应用场景等要求也越来越高, 使得显示技术向高画质、低碳环保、功能集成、形态丰富、应用广泛等方面不断演进。

1897年, 物理学家卡尔·费迪南德·布劳恩(Karl Ferdinand Braun)发明了阴极射线管(CRT), 这是世界上最早的电子显示器。1939年, 第1台黑白电视机诞生, 从此人们不仅可以“闻其声”, 也能“见其人”。随着技术成熟, CRT被广泛应用于电视机和计算机的显示器, 且屏幕越来越大, 显示效果越来越好, 但存在笨重、尺寸受限、不能移动等缺点。

液晶的发明开辟出显示技术新领域。1888年, 奥地利植物学家发现了一种随温度变化而在固液之间转换的中间态, 这种物质具有液体的流动性, 同时在光学上表现出晶体的各向异性, 被称为“液晶”。2012年有世界工程技术诺贝尔奖之谓的德瑞珀奖分别授予为液晶显示(LCD)作出开创性贡献的4位科学家。1968年, 美国科学家Heilmeier发明了动态散射模式液晶显示(DSM-LCD), 主要用于手表、计算器、传呼机; 1971年, 德国科学家

收稿日期: 2023-07-20; 修回日期: 2023-09-09

作者简介: 欧阳钟灿, 中国科学院院士, 研究员, 研究方向为生物物理中生物膜液晶模型理论、液晶物理及应用基础理论等, 电子信箱: oy@itp.ac.cn

引用格式: 欧阳钟灿. 中国新型显示技术发展之路[J]. 科技导报, 2023, 41(19): 92-95; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.19.010

Helfrich与瑞士科学家Schadt发明了扭曲向列(TN)模式液晶显示,应用于手机、电视、电脑、平板显示;为扩大显示面积,匈牙利科学家Brody随后发明了有源矩阵(AM)薄膜晶体管(TFT)驱动LCD,开启了现代TFT液晶显示大门。TFT-LCD(薄膜晶体管液晶显示)应用广泛,是目前最成熟、产业链最完整的主流显示技术。其显示原理是利用电压控制液晶分子的排列,进而改变光的偏振性能,实现图像和文字的显示。典型结构类似三明治,在2片玻璃中间夹着液晶材料,其中包含上偏振片、彩色滤光片、液晶层、TFT阵列基板、下偏振片和背光模组6个部分。这项技术发展迅速,并在对比度、分辨率、刷新率、色域等方面取得巨大突破,多项显示参数接近人眼视觉极限,已经广泛应用于智能手机、平板电脑、笔记本电脑、显示器、电视等电子产品。近年来,在Mini LED(次毫米发光二极管显示)背光技术加持下,液晶产品的色域更广、亮度和对比度更高,未来可在车载、家居、教育、医疗等各类应用场景中大显身手。

半导体电荷耦合元件数码相机的发明“困灭”了彩色胶片照相,1880年创立的以彩色照相闻名的柯达公司2012年破产,幸运的是,1987年该公司邓青云博士发明了OLED(有机发光二极管显示),被誉为“OLED之父”,从此,OLED技术正式登上舞台。这是一种具有多层有机薄膜结构的自发光器件,相比于液晶,其最大的特点在于自发光,无需背光源,该特点带来了许多优点:自发光带来的色域控制、视角控制都优于LCD;由于不需对光路进行偏振,因此发光效率也显著提高,响应时间快,色域更高,对比度高;去除了背光源,有效减薄厚度、降低质量;而且现在的技术可以将电路板涂布在柔性薄膜上,将整个OLED显示屏柔性化,这是LCD所不能做到的。这些性能的优势可以满足许多新兴的消费需求,使得OLED成为发展迅猛的新一代显示技术。由于OLED除拥有出色的画质和设计优势外,还可以实现卷曲、透明、折叠、极致轻薄的外观设计,目前已成功应用于折叠手机,实现外折、内折等多种形态。这项技术能集成屏下指纹识别、屏下人脸识别、屏下摄像等功能,实现了真正的“全面

屏”显示效果及更多功能融合。除了手机,OLED在可穿戴设备、智能车载、平板电脑、笔记本电脑、电视等领域也逐渐成为产品创新的关键点。

随着科技的进步,半导体显示技术不断升级,新型显示技术不断涌现。显示技术呈现以LCD、柔性AMOLED显示为主,Mirco LED(微米量级发光二极管显示,简称MLED)、量子点显示(QLED)、光场显示等前瞻技术百花齐放的局面。例如,近年来兴起的Micro LED技术具有芯片尺寸小、自发光等特点,具有OLED显示的优点,在亮度、对比度、响应速度、功耗、寿命和柔性等方面表现优异,而且寿命更长,热稳定性更好。但是现阶段还有许多技术瓶颈待突破,如外延生长均匀性不好、LED芯片效率低、巨量转移良率低且用时长等。量子点显示是基于纳米级量子点材料的发光特性而形成的一种新型显示技术。此外,光场显示、激光全息显示等变革性技术将推动3D显示技术的颠覆,目前全球还处于产业化应用前的研发阶段。而随着2023年苹果公司Vision Pro的发布,新型微显示技术也将成为产业布局重点。

此外,随着物联网技术的兴起,显示也将突破传统应用场景,实现更多应用创新。例如,在精彩绝伦的北京冬奥会开幕式上,中国显示企业为全世界呈现了一场融合数字科技与美学创新的视觉盛宴。巨型“雪花”形主火炬台和前所未有的8K超高清地面显示系统,极富科技感、立体感、动态感和唯美感,为观众打造出梦幻般的冰雪世界,也让中国最新显示科技创新成果惊艳亮相在世界眼前。未来,在5G、大数据、物联网、AIGC(生成式人工智能)等新兴技术的带动下,显示技术和产业也将在更多场景为人们提供更舒适、更便捷的视觉信息获取方式,显示将无处不在<sup>[1]</sup>。

## 2 显示产业发展变迁

综观全球新型显示技术发展态势,中国显示产业经过多年发展,已经成为全球重要一极,不同的显示技术路线均有突破:LCD产业从“缺芯少屏”走向全球领先,已经取得绝对优势地位;柔性OLED

技术正快速追赶,核心竞争力与日俱增;MLED、QLED(量子点发光二极管的结构与OLED技术非常相似,主要区别在于QLED的发光中心由量子点构成)等前瞻显示技术与国外基本同处第一梯队<sup>[2]</sup>。

LCD技术兴起于欧美,产业化于日本;20世纪90年代,技术/产业迁移至韩国和中国台湾地区;21世纪初,在中国大陆兴盛发展。2003年,中国显示企业的代表京东方科技集团股份有限公司(京东方)以3.8亿美元收购了韩国现代电子的液晶业务,随后开启了“逆袭”的20年。中国显示产业经过20多年的探索和发展,总结出“引进、消化、吸收、自主创新”的发展经验,现已成为全球液晶显示技术的引领者。中国显示行业发展经过了3个阶段,即:探索阶段、突破阶段、引领阶段。

1) 探索阶段。20世纪末,中国显示产业艰难起步,规模小、研发资源分散、研究基础薄弱。在产业化方面主要以引进日韩旧产线、合资建厂为主,产业链建设不完善,人才短缺,技术创新能力不强。2003年1月,北京京东方收购了韩国现代电子的液晶业务,同年9月在北京亦庄经济技术开发区,投资建设一条5代线,于2005年5月量产,结束了中国无自主液晶屏的时代。在新技术研发方面,清华大学早在1996年就成立了OLED项目组,以京东方、华星光电、天马微电子等代表的企业在布局LCD产线的同时都在加紧部署OLED产业。

2) 突破阶段。中国显示产业初步形成规模化发展,产线越来越多,基板尺寸越来越大,技术越来越先进,应用越来越广泛,同时培育了京东方、华星光电、天马微电子、维信诺、惠科等企业,解决了中国显示产业“少屏”的问题。随着多条G8.5/G8.6及G10.5代线的先后量产,LCD产能保持高位增长。2017年中国大陆地区液晶面板无论是营收还是出货面积均已居全球第1位。与此同时,中国大陆显示面板企业积极布局AMOLED(有源矩阵有机发光二极管显示)产业化。三星公司于2010年在全球首次推出Super AMOLED,并将其配置在三星Galaxy S系列智能手机上,在全球掀起了AMOLED的热潮,中国大陆企业紧跟发展潮流,天马微电子于2013年在上海投资建设第5.5代AMOLED生产

线,维信诺于2014年建成中国大陆第一条专业5.5代AMOLED大规模生产线。

3) 引领阶段。中国显示企业在LCD领域不断攻克关键核心技术,实现了从无到有、从有到大、从大到强,打破了日本、韩国以及中国台湾地区面板制造业长期的“铁三角”格局,形成“三国四地”新格局。根据集微咨询(JW Insights)统计,2022年,中国大陆地区LCD面板产能全球占比超过62%,稳居全球第1位。

2017年,国内首条,也是世界第2条的第6代柔性AMOLED生产线在成都京东方实现量产。该生产线应用全球最先进的蒸镀工艺,并采用柔性封装技术,可实现显示屏弯曲和折叠。此生产线的成功量产不仅开启了中国柔性显示新纪元,也预示着中国企业开始在新型显示时代全面发展。京东方、华星光电、天马微电子、维信诺等显示器企业,相继增设OLED生产线,中国OLED产能成为全球第2,且产能占比持续增加,OLED显示屏重要性不断加强。据统计,京东方、天马微电子、华星光电、维信诺等2023年第2季度的柔性OLED面板市场份额预计达到50.2%。

近20年来,以京东方为首的显示面板企业带领中国大陆显示产业迅速发展,产业链逐步完善,技术能力不断提升,如今中国大陆显示产业已经进入全球第一阵营,处于领先地位<sup>[3]</sup>。

### 3 存在的问题及建议

中国显示技术经过不断“引进、消化、吸收、自主创新”,在LCD领域取得不错的发展,但仍然存在不少挑战。

1) 缺少自主的核心显示材料。以OLED材料为例,目前量产性还不够成熟,特别是OLED蓝光材料寿命制约了OLED产业的发展进程。OLED材料还没有定型,还在不断改变,这也是世界性问题,因此OLED研究人员至今还未曾获德瑞珀奖,所以国内学术界、产业界要关注OLED材料,加强研发投入,找出能够工业不娇嫩的OLED材料。

2) 产业配套对外依赖严重。国内仍未掌握

AMOLED 关键设备及系统化技术, 仅能提供少数后道检测和辅助设备。曝光机、蒸镀机、激光退火设备及备件完全由日本、美国等国的企业掌握。

3) 新布局产线量产工艺待提高。目前掌握 AMOLED 产线量产工艺的企业是韩国的三星, 其 OLED 产线均在 2008 年左右开始进入量产, 中国 OLED 产业量产进程起步较晚, 直到 2014 年才有产线点亮, 与韩国企业 OLED 量产化进程存在近 10 年的差距。因此存在新技术研发储备不足, 新工艺掌握仍有欠缺, 新产品量产进程滞后等问题<sup>[4]</sup>。

目前, 新显示技术, 例如 MLED、QLED、光场显示、微显示等技术, 在全球范围内都处于产业化应用前的研发阶段, 中国应抓住时机进行基础技术研究, 抢占产业发展先机, 争取后来居上。加大研发投入, 注重具有自主知识产权的新生产工艺技术、关键上游材料和设备的开发。加快学习掌握新型生产工艺技术, 提升良率, 加速新品开发, 积极拓展新应用场景。

中国显示产业已跻身世界一流, 从“跟跑”“并跑”到实现了“领跑”。“跟跑”是有方向的, 但是“领跑”, 该往哪个方向跑, 对中国显示企业的创新实力

和未来趋势的判断力提出了更高的要求。面向未来, 建议持续强化“政产学研用”, 重视技术源头创新, 加快新型显示技术自主创新, 关注基础原创性研究, 强化企业与高校、科研院所科研合作, 促进技术成果向产业转化。并需要充分发挥龙头企业“创新链主”作用, 全方位打造中国显示上中下游产业生态链, 促进显示产业链协调发展, 确保中国显示产业的优势地位。

### 参考文献 (References)

- [1] 欧阳钟灿. 新型显示技术在崛起[N]. 人民日报, 2022-09-13(20).
- [2] 欧阳钟灿. 攻克“缺芯少屏”难关 推动新型显示产业高质量发展[J]. 中国网信, 2023, 1: 30-33.
- [3] 欧阳钟灿. 中国科学院院士欧阳钟灿: 显示产业高水平自立自强助力新型工业化建设[N]. 中国电子报, 2023-05-16(1).
- [4] 李文峰. 中国科学院院士欧阳钟灿: “中国屏”上寄深情 [EB/OL]. (2021-07-07) [2023-07-20]. [https://www.ccdi.gov.cn/yaowen/202107/t20210706\\_245587.html](https://www.ccdi.gov.cn/yaowen/202107/t20210706_245587.html).

## Development pathway of new display technologies in China

OUYANG Zhongcan

Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** The rapid development of new display technologies, the upgrading and leap of the display industry, and the continuous emergence of multi-functional displays add color to digital life continually and make outstanding contributions to China's digital economy. This article provides an overview of the development status, latest research achievements, future development directions of display technology both domestically and internationally, as well as issues such as the lack of independent core display materials, severe dependence on foreign industrial support, and the need to improve the mass production process of new generation production factories. Suggestions are also proposed to ensure the advantageous position of China's display industry.

**Keywords** new display technology; digital economy; independent and controllable industrial ecosystem ●



(责任编辑 王微)