

现代显示技术及产业国内外发展现状

杨 斌¹, 刘 栋¹, 刘红丽², 张永爱³

(1. 中华人民共和国科学技术部 高技术研究发展中心, 北京 100044)

(2. 天津大学化工学院, 天津 300350)

(3. 福州大学物理与信息工程学院, 福建 福州 350108)

摘 要: 现代显示技术是先进制造和新一代电子信息领域的标志性产业, 代表着一个国家或地区现代制造业的先进程度和水平。全球显示产业在现代显示技术领域发展形成了液晶显示、有机发光显示和激光投影显示等 3 个主流方向。同时, 围绕新技术发展, Micro-LED 显示、量子点发光显示、反射式显示和 3D 显示技术等成为新的显示技术和研发热点。未来, 交互式显示技术、全息显示技术、神经元显示技术和光场感知显示技术等未来显示技术, 将不断开创新的应用场景, 满足人们更高的视觉要求。对上述显示技术的国内外发展现状进行综述, 探讨我国在各种显示技术方面的优势、存在的问题及未来发展建议。

关键词: 现代显示技术; 显示产业; 新型显示技术; 未来显示技术; 发展现状

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2022)10-0819-09

引用格式: 杨斌, 刘栋, 刘红丽, 等. 现代显示技术及产业国内外发展现状[J]. 中国材料进展, 2022, 41(10): 819-827.

YANG B, LIU D, LIU H L, *et al.* Development Status of Modern Display Technology & Industry at Home and Abroad[J]. Materials China, 2022, 41(10): 819-827.

Development Status of Modern Display Technology & Industry at Home and Abroad

YANG Bin¹, LIU Dong¹, LIU Hongli², ZHANG Yongai³

(1. High-Tech Research & Development Center, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100044, China)

(2. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

(3. School of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Modern display technology is a landmark industry in the fields of advanced manufacturing and new generation of electronic information, which represents the advanced level of a country or region's modern manufacturing industry. The global display industry developed around the modern display technology, forms three mainstream directions of liquid crystal display, organic light emitting display, laser projection display. Meanwhile, around the development of new technologies, micro-LED display, quantum dot light-emitting display, reflective display and 3D display technology have become new display technologies and research & development hotspots. In the future, interactive display technology, holographic display technology, neuronal display technology, light field perception display technology and other future display technology will continuously create new application scenarios to meet people's higher visual requirements. In this paper, the development status of the display technologies at home and abroad is reviewed, and the advantages, existing problems and future development suggestions of the display technologies in China are discussed.

Key words: modern display technology; display industry; new display technology; future display technology; development status

收稿日期: 2021-08-04 修回日期: 2021-08-19

基金项目: 天津市科技发展战略研究计划项目(20ZLGCGX00050)

第一作者: 杨 斌, 男, 1968 年生, 高级工程师

通讯作者: 刘红丽, 女, 1988 年生, 副教授, 硕士生导师,

Email: liuhongli@tju.edu.cn

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.202108005

1 前 言

新型显示技术已发展成为新一代信息技术的先导性支柱产业, 是我国信息化、智能化时代战略性新兴产业重点发展的方向之一。随着“互联网+”、人工智能、可穿戴设备等信息技术的快速进步, 对于作为信息窗口的

显示器件提出了柔性、轻薄、省电、可折叠卷曲、超大尺寸等要求,从而出现了现代显示技术,如液晶显示(liquid crystal display, LCD)、有机发光二极管(organic light-emitting diode, OLED)显示和激光显示(laser display, LD)等显示技术^[1-4],利用这些显示技术所生产的产品在量产效率和产品多样性方面发生革命性转变,是从显示材料、器件、装备到制造技术等整个显示产业链的一次

全面的技术革命。

未来 15 年将是显示产业升级换代期,量子点发光二极管(quantum dot light emitting diodes, QLED)显示技术、Micro/Mini LED 显示技术、电子纸显示技术等新型显示技术将成为主流,反射式显示技术、光场显示技术、神经元显示技术等新兴显示技术也将有一定的市场。涉及整个显示产业链的显示技术全局图如图 1 所示。

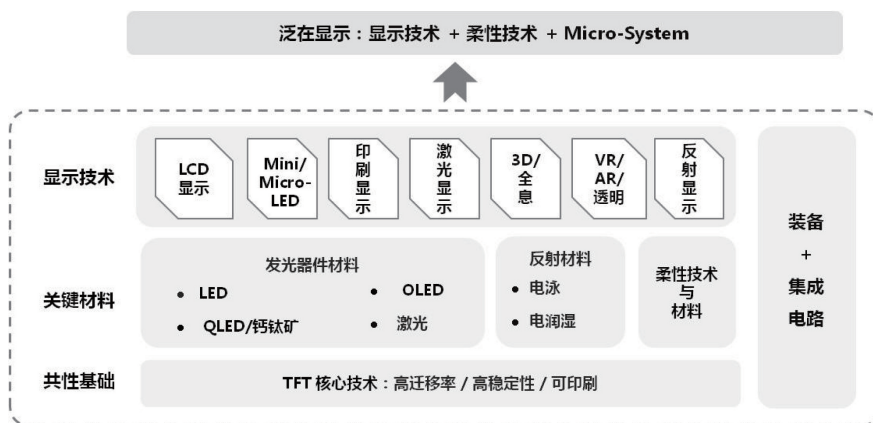


图 1 显示技术全局图

Fig. 1 Global diagram of the display technology

全球显示产业正加速向我国转移,新型显示产业已经成为我国后续发展的优势产业,产业投入近 9000 亿元人民币,每年产值增幅超过 10%,2018 年产值超过 3000 亿元人民币,拉动 GDP 规模超过 12000 亿元人民币。虽然我国显示产业的总体量得到了全球瞩目的跃升,在产业上游的玻璃基板、偏光片、液晶材料、薄膜材料等方面获得局部突破^[5],但同时,关键的上游材料和装备技术,仍然掌握在日本、韩国、美国、欧洲国家的企业手中,我国显示产业依然面临大而不强的局面^[6]。

2 现代显示技术国内外发展现状

2.1 液晶显示(LCD)技术

LCD 技术是利用电场改变液晶分子排列状态而调制外界背光源的一种非自发光型显示技术^[7,8]。LCD 技术起源于美国,但将其发扬光大的是日本,韩国凭借“反周期投资”后来居上。中国台湾地区 and 大陆地区承接产业转移,与日韩共同形成“三国四地”的产业格局。随着中国大陆企业 8.5 代及以上高世代的面板产能持续释放,韩国三星、LG 公司选择策略性地逐步退出 LCD 市场,台湾地区和日本企业已无力进一步扩张,该行业向中国大陆地区转移的趋势更加势不可挡^[9,10]。由于高世代产线的持续投产,可以预见未来几年产能过剩将是常态,未来能够度过“洗牌寒冬”的企业将大概率在中

国大陆和韩国产生,全球市场也就从“三国四地”向“中韩争雄”演变,在洗牌中剩下的企业有望分享行业集中度提升、周期性变弱带来的长期盈利红利。根据市场调研机构 IHS Markit 提供的数据及预测,2018 年全球显示面板出货总面积为 2.20 亿平方米,2026 年预计将达到 2.80 亿平方米。其中 TFT-LCD 仍是主力,2018 年出货面积为 2.14 亿平方米,2026 年预计将达 2.51 亿平方米。

近年来,中国大陆厂商持续进行 LCD 高世代线产能扩张,且该占比将持续扩大。2011 年中国大陆厂商高世代(G6 以上)LCD 产能占全球总产能的仅 1%左右,远远落后于韩国、日本和中国台湾等竞争对手,到 2017 年则超过韩国排名第一,占比达到 40%。据 IHS Markit 预测,到 2024 年,中国大陆地区 G6 以上 LCD 产能的全球占比将达到 68%。同时,我国有望凭借高世代产能形成对中国台湾地区、韩国、日本的低世代产能的打击,逐步挤占低世代产能厂商的市场份额。据 HIS Markit 统计,2019 年第一季度,随着高世代产能的释放,国内面板厂商对 60 英寸及更大尺寸 LCD 电视面板的市场份额达到了 33.9%,市场份额相较一年前的 3.6%增长了近 10 倍。我国平板显示产业规模已经超过韩国,将有超过 19 条 G8.5 代线(及以上)投入使用,其分布如表 1 所示,产业规模成为全球第一。

表 1 我国显示产业 G8.5 代线(及以上)分布

Table 1 Distribution of G8.5 generation production lines (and above) in China display industry

Company name	Company address	Production line	Capacity/(K/M)	Operation status
BOE	Beijing	G8.5 a-Si	140	Production stage
	Nanjing	G8.5 a-Si/Oxide	72	Production stage
	Hefei	G8.5 a-Si/OLED	120	Production stage
		G10.5 a-Si Q3'18 MP	120	Production stage
	Wuhan	G10.5 a-Si	120	Under construction
	Fuqing	G10.5 a-Si Q3'17 MP	150	Production stage
	Chongqing	G8.5 a-Si/Oxide	150	Production stage
SAMSUNG	Suzhou	G8.5 a-Si	110	Production stage
CSOT	Shenzhen	G8.5 a-Si	150	Production stage
		G8.5 a-Si/Oxide	140	Production stage
		G11 a-Si/Oxide	140	Production stage
		G11 a-Si/Oxid	140	Under construction
HKC	Chuzhou	G8.5 a-Si	120	Under construction
	Chongqing	G10.5 a-Si Q3'17 MP	60	Production stage
	Mianyang	G8.6	120	Under construction
PANDA	Nanjing	G8.5 a-Si/Oxide	72	Production stage
	Chengdu	G8.6	90	Production stage
LGD	Guangzhou	G8.5 a-Si	160	Production stage
FOXCONN	Guangzhou	G11 a-Si/Oxide	90	Under construction
IRICO	Xianyang	G8.6	90	Production stage

2.2 有机发光二极管(OLED)显示技术

OLED 技术是在电场驱动下通过电子和空穴的注入和复合而发光并实现显示的一种自发光型显示技术^[11]。各国将 OLED 作为 LCD 之后下一代的新型显示技术进行了广泛布局。以三星显示、LG 显示为代表的韩国企业率先于 2005 年和 2013 年实现小尺寸有源矩阵有机发光二极管(active-matrix organic light-emitting diode, AMOLED)、大尺寸 AMOLED 的产业化,并一度垄断了整个 AMOLED 显示面板产业^[12]。而直接影响 AMOLED 良率、寿命等的关键技术和装备及高附加值材料领域,因技术难度高,目前依旧被日本、美国、韩国等发达国家所垄断。

处于产业链上游的 OLED 材料约占整个 OLED 面板成本的 20%~30%,是影响 OLED 产业发展的关键核心因素。根据 UBI Research 数据, OLED 材料市场将在 2016~2021 年间保持 46% 的复合年增长率,最终达到 43 亿美元规模。OLED 材料作为技术壁垒较高的领域,目前主要被欧美、日韩厂商垄断,以有机发光材料为例,日韩厂商约占 80% 市场份额,这主要是由于国际几大材料巨头已对 OLED 材料专利及技术做了较为严密的系统性布

局。相比之下,国产 OLED 材料起步晚,短期内较难突破国外专利壁垒^[13, 14]。日本 Idemitsu、韩国 SAMSUNG 和 LG Chemical、美国 Dow Chemical 和 UDC、德国 Merck 和 Novaled 等公司基本上垄断了全球 OLED 产业的材料市场,成为目前世界范围内 OLED 显示面板的主要供货商^[3, 15]。目前,具有自主知识产权的国产 OLED 材料还未能实现规模化的销售,市场份额较低。国内相关材料企业主要供应 OLED 材料的中间体和单体粗品,销往欧、美、日、韩等地的企业,各个企业的材料生产能力平均在每月百公斤级以上甚至吨级水平。

目前,以三星显示、LG 显示为首的韩国企业在 AMOLED 领域遥遥领先,2018 年,三星显示占有全球小尺寸 OLED 面板市场的 92% 份额,而 LG 显示垄断了大尺寸 OLED 电视面板市场。韩国本土配套企业在两大面板企业的带动下,在部分核心材料与设备领域实现了重大突破,例如韩国企业在聚酰亚胺(PI)成膜设备的全球市场份额达到了 95%。

由于技术等方面的差距,国内企业对 AMOLED 布局晚于韩国,目前主要集中在中小尺寸 AMOLED 领域,大

尺寸 AMOLED 尚在研发阶段。我国在 AMOLED 和产业生态链建设方面也进行了快速布局,产业核心竞争力不断增长,与国际先进差距逐渐缩小。华星光电技术有限公司、天马集团、上海和辉光电有限公司、京东方科技集团股份有限公司、维信诺科技股份有限公司等也纷纷投入巨资建设 G4.5~G6 柔性 OLED 生产线^[16],相继推出小尺寸柔性 OLED 显示屏,并实现量产出货,成功供货国内大型手机厂商,如华为、小米、Oppo、Vivo 等;并且京东方作为备用供应商,成功打入全球最大手机厂商——苹果的供应链。我国 AMOLED 产线分布如表 2 所示。

表 2 我国有源矩阵有机发光二极管 (active-matrix organic light-emitting diode, AMOLED) 产线分布

Table 2 Distribution of AMOLED production line in China			
Company name	Company address	Production line	Operation status
BOE	Ordos	G5.5-R	Production stage
	Chengdu	G6-F	Production stage
	Mianyang	G6-F	Production stage
	Chongqing	G6-F	Production stage
	Fuzhou	G6-F	Production stage
CSOT	Wuhan	G6-F	Production stage
Visionox	Kunshan	G5.5-R+F	Production stage
	Guan	G6-F	Production stage
	Hefei	G6-F	Production stage
	Guangzhou	G6-F	Under construction
	Bazhou	G6-F	Under construction
TRULY	Huzhou	G4.5-R	Under construction
	Meishan	G6-F	Production stage
EFO	Shanghai	G4.5-R	Production stage
	Shanghai	G6-R	Production stage
INCOFLEX	Xianyang	G6-F	Production stage
TIANMA	Shanghai	G5.5-R	Production stage
	Wuhan	G6-R+F	Production stage
	Xiamen	G6-F	Production stage

OLED 产线上国产材料的缺乏使我国在新型显示技术发展过程中缺乏话语权, OLED 面板企业很大程度受到国外材料公司的制衡。借助 OLED 显示产业快速发展的黄金期,国内主要骨干 OLED 材料企业也开始技术转型。国内 OLED 材料企业集聚区分布较为均衡,主要有华南地区的广州华睿光电材料有限公司、广东阿格蕾雅光电材料有限公司;华东地区的江苏三月光电科技有限公司、宁波卢米蓝新材料有限公司;华北地区的北京鼎材科技有限公司、石家庄诚志永华显示材料有限公司;

东北地区的吉林奥来德光电材料股份有限公司;西北地区的西安瑞联新材料股份有限公司、西安宝莱特光电科技有限公司及华中地区的江西冠能光电材料有限公司等。

总体来说,我国作为全球最大的 OLED 应用市场,对 OLED 需求相当可观,产业发展潜力巨大。随着国内面板厂商凭借资本优势持续发力,完成技术积累及产业链配套,不断提升产品良率、降低屏幕成本,我国 OLED 显示产业的前景值得期待。

2.3 激光显示(LD)技术

LD 技术,也称激光投影技术,是以红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色(或多基色)激光为光源的新型显示技术和产品,通过控制三基色激光强度比、总强度和强度空间分布即可实现彩色图像显示^[17, 18]。

激光光源是 LD 技术产业化的核心,随着半导体技术的发展,三基色半导体激光作为显示光源逐渐引起重视,各国均投入了大量资源开展三基色 LD 技术基础材料、器件、工艺与设备的研究。目前在三基色 LD 材料和器件方面,国外处于垄断地位。红光 LD 基于磷化铟(InP)材料体系,采用 InGaP/AlGaInP 量子阱结构,日本的索尼、日立、奥兰若和三菱等公司处于领先地位,单管功率可达 750 mW,使用寿命超过 2×10⁴ h,蝶形(transistor outline, TO)封装的红光 LD 单管器件价格低于 10dollar/W。蓝绿光 LD 基于 GaN 材料,采用(In)GaN/InGaIn 多量子阱体系,日本 Nichia 公司、德国欧司朗公司在 GaN 基蓝、绿光 LD 研究方面处于领先地位,蓝光 LD 单管输出功率已经达到了 4 W,绿光 LD 单管超过 1 W,均可以满足在 LD 领域应用的要求,预示着激光光源全半导体化的 LD 时代的来临。另外,国外十分重视超高清、大带宽、超高速图像处理芯片技术的研发,美国 TI 公司、日本的索尼公司在 LD 技术图像处理芯片方面均开展了长期研究,实现了 DMD 和 LCOS 等核心显示芯片产品开发,处于国际领先地位。

LD 技术当前处于产业引导期,全球市场正在持续增长,国际显示行业一致看好 LD 方向。韩国三星和 LG 等企业也开发了激光背投电视、超短焦投影电视多种 LD 产品,争取国际竞争中的发言权和参与权。在欧美,多家公司积极开发 LD 核心器件和产品,正在加紧 LD 技术的研发和产业化。如 Barco、Christie、Philips、Cinemec、Canica 和 Projection Design 等公司陆续开发出面向影院应用的高流明 LD 产品。2014 年 Barco 在 CinemaCon 上推出了光通量高达 60 000 lm 的激光投影机,实现了 4K(4096×2160)的分辨率;2019 年展示了基于 RGB 激光光源、TRP DMD、4K 分辨率、98.5% REC2020 色域的激光电影放映机等。2014 年 Christie 展示了使用六原色(6P)的

4K 分辨率的 3D 激光放映系统, 2019 年在 BIRTV 展示了 4K 分辨率、120 Hz 高帧率的 RGB 电影放映机^[19]。

随着半导体激光器的发展, 我国在 LD 领域得到了长足的发展, LD 市场快速增长, 形成了从 LD 材料、装备、工艺研发到应用的上下游产业链布局, 具有一定的基础^[20, 21]。我国 LD 的产线分布情况如表 3 所示。中国科学院半导体研究所 2002 年就开展了 GaN 激光器的研究, 并于 2004 年在国内首次实现蓝紫光 LD 激射; 中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所研制的小功率 GaN 蓝光激光器性能接近德国欧司朗公司的水平。深圳瑞波光电子有限公司是从事高端半导体激光器研发和生产的高科技企业, 拥有从半导体激光芯片外延设计、材料、制造工艺, 到芯片封装、表征测试等全套核心技术。中国科学院理化技术研究所、海信、长虹、TCL、光峰光电和中科极光等单位围绕整机设计、集成与产业化开发开展了长期布局, 使得我国在整机方面的研究成果和产业水平已达到世界领先水平。深圳光峰科技股份有限公司在 2007 年全球率先发明了先进的激光荧光粉显示技术 (advanced laser phosphor display technology, ALPDT), 该技术被国际同行视为下一代 LD 的发展方向, 并在全球范围内率先实现该技术的产业化, 确立了我国在 LD 领域的国际领先地位。海信公司从 2007 年开始在大屏幕上发力研发激光电视, 从 2K 到 4K, 从单色、双色到三色, 产品线已拓展到 80 英寸、88 英寸、100 英寸、120 英寸、150 英寸 5 个规格段, 通过丰富产品线快速放大激光电视的市场规模。海信激光电视在 85 英寸以上超大屏电视的国内市场份额已超过 50%。杭州中科极光科技有限公司自 2015 年 5 月成立以来, 一直致力于 LD 产业化推动工作, 研发出了超高清激光家庭影院、高性能激光数字影院和特种显示器等新一代 LD 系列产品^[22]。

表 3 我国激光显示产业分布

Table 3 Distribution of laser display industry in China

City	Company name
Beijing	HHT, Donview, Hualu, Appotronics, Tsinghua Institute of Optics and Electronics
Qingdao	Hisense
Wuxi	See Mile, INOVEL
Shanghai	Sheng Zhi, OPTOMA, San Xin, GLOVIEW AVIC
Taiwan	Coretronic, AELTA, FOXCONN, BenQ, Acer
Shenzhen	Laser Century, Appotronics, Takee, SINOLASER, AVANZA, Xiao Ming, IESTAR
Mianyang	Changhong
Xi'an	Focus Light, XBDT
Yuncheng	Huan Shuo

上述 3 种现代显示技术是目前显示产业发展的主流技术, 但是依然存在问题, 如 LCD 技术存在显示器亮度较低、可视角度较窄、画面均匀度差等问题; OLED 技术存在寿命较低、能耗高、生产成本较高的问题; LD 技术在亮度、色彩饱和度和可视角度等方面均需进一步改善。为解决上述问题, Micro-LED 显示技术、量子点发光显示技术、反射式显示和 3D 显示技术等成为新型显示技术和研发热点。

3 新型显示技术国内外发展现状

3.1 Mini / Micro-LED (μ LED) 技术

μ LED 技术是基于微米级半导体发光像元阵列的新型显示技术, 是显示技术与 LED 技术复合集成的综合性技术, 比现有的 OLED 技术亮度更高、发光效率更好, 但功耗更低^[23]。

μ LED 技术在十余年前引起人们的关注, 世界上多个研究团队发布成果并推动相关技术的发展。法国 CEA-LETI 研究中心推出了 iLED matrix, 采用量子点实现全彩显示, 像素点只有 10 μm , 侧重于虚拟现实 (virtual reality, VR)/增强现实 (Augmented reality, AR) 显示应用。X-celeprint 公司获得美国 John A. Rogers 教授独家授权 Micro-Transfer-Printing (μ TP) 技术, 专注于 μ LED 转印技术及设备解决方案的研发和销售。日本索尼公司在 2012 年发布的 55 英寸“Crystal LED Display”实现在明亮环境下约 3.5 倍的更高对比度、约 1.4 倍的更宽色域及约 10 倍的更快视频响应速度。2016 年索尼公司在原产品的基础上推出了“模块化拼接”的概念, 经多片模组拼接成大尺寸显示屏。2018 和 2019 年国际消费电子展 (CES) 上, 三星公司也成功推出大尺寸 Mini-LED (LED 尺寸在 60~100 μm 左右) 的显示墙样机和产品。我国的 TCL 和海信公司也推出相应的显示墙样机。同期, 国外一些科研机构 and 科研团队已开发出不同尺寸和阵列的 μ LED 显示器件^[24, 25]。

3.2 电子纸显示技术

电子纸显示是视觉效果接近纸张的被动显示技术, 属于反射式显示技术。目前国际上主流技术路径包括电泳电子纸 (electrophoretic display, EPD)^[26]、电润湿电子纸 (electrowetting display, EWD)^[27]、胆甾相液晶电子纸 (cholestric display)^[28] 等。电子纸技术后端产品种类包括电子书、移动终端显示、辅助显示屏及智能电子标签等。

当前 EPD 技术依然占据反射式显示屏幕的绝大部分市场, 主要被元太科技 (E-ink) 公司把控乃至垄断, 国内奥翼电子也已宣布其 EPD 技术量产, 加入了竞争。在 EWD 技术方面, 美国亚马逊、德国 ADT、荷兰 Etulipa 以及国内深圳市国华光电科技有限公司、台湾工业技术

研究院等属于 EWD 产业化第一梯队的公司,已经基本完成产业布局。EWD 技术将带来电子纸技术视频化的革命性突破,将带来电子纸屏幕市场乃至应用市场的变革。2017 年,总部位于美国加利福尼亚州的 CLEARink Display 公司也发布了全彩视频化显示电子纸样机,能以每秒 30 帧的速度播放全彩视频,该公司也在加速产业化步伐。2018 年,Plastic Logic 公司在电子纸像素密度提升上取得突破,其发布的 10.8 英寸显示屏上达到了 500 ppi 的分辨率。

3.3 量子点显示技术

量子点显示技术是基于发光量子 (quantum dot, QD) 材料可产生红、绿、蓝光之三原色的技术^[29, 30]。量子点材料和量子点显示技术领域目前是美、中、韩三强竞争的格局。在美国, Columbia、MIT、Berkley 大学发明了金属有机前体的制备工艺,衍生出了 QD Version 和 Nanosys 这两家在量子点行业有影响力的创新企业^[31]。世界上第一款 QLED 电视是 2015 年 3 月 TCL 公司在第 14 届中国家用电器博览会上发布的 Q55H9700, 当时该款产品受到了诸多高端用户群体的喜爱,随后三星公司亦推出量子点电视。

量子点显示产业链从上游到下游依次为上游量子点材料和阻隔膜、中游量子点膜和下游量子点电视。量子点材料和阻隔膜供应商负责量子点材料和阻隔膜的设计和生 产,代表性公司有 Nanosys 和 3M;量子点膜公司完成量子点光学膜的涂布和复合工艺,代表性公司是 3M、激智科技;终端电视厂(代工厂)负责量子点电视的设计、生产和销售,代表性公司是三星、TCL 和海信。国内中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所也已成功实现喷墨打印制备电致发光量子点器件,成品粗糙度低于 2.2 nm,达到了旋涂工艺的精度,在低于 9 V 的电压驱动下,发光亮度超过 4000 cd/m²。纳晶科技股份有限公司在量子点的产业化应用上实现了量子点放大生产与量子点背光源产业的全覆盖,与美国 Nanosys 和 QD Vision 一起引领了全球量子点背光源产业化。河南大学、TCL 研究院、苏州星烁纳米科技有限公司均聚焦于可用于 QLED 应用的梯度合金系列量子点,他们开发的这一类量子点具有发光效率高、制造成本低、发射光谱半峰宽窄、重金属属含量低等特点^[32]。

3.4 3D/全息显示技术

3D 显示技术,也被称为三维显示或立体显示,是一种新型显示技术,是指利用双目视差的原理,使人的左右眼接收到不同的画面并将两幅画面重叠后即可实现观看时的立体效果。在 3D 显示领域新型技术层出不穷,例如虚拟现实(VR)/增强现实(AR)^[33]、裸眼 3D、3D 全息

投影等技术^[34, 35]。部分企业已成功运用这些技术生产出 AR 眼镜、裸眼 3D 显示器^[36]、3D 智能手机等热门产品,迎合了当下的市场消费热点。从全球市场的竞争格局来看,欧美主导 3D 显示内容市场、日韩主导 3D 显示终端市场的产业格局基本形成。欧美凭借先进的 3D 内容摄录系统、专业的内容制作团队、发达的媒体应用市场,在内容制作方面具有明显竞争优势。日韩在 3D 显示终端方面优势突出,产业链相对完整,尤其在 3D 立体平板显示技术方面拥有全球竞争力。

日本、韩国等开展了基于投影的多视点 3D 显示技术研究,提高了分辨率;美国、荷兰和我国台湾等对基于液晶阵列和柱镜光栅的 3D 显示技术进行了研究和开发,但是容易引起眼睛视觉疲劳^[37]。我国的裸眼 3D 技术成熟度较高,康得新、深圳天马微电子和奥拓电子等少数几家行业龙头企业引领着裸眼 3D 显示技术的发展方向。中国科学院自动化研究所、北京理工大学、北京邮电大学开发了体三维显示技术,南京航空航天大学开发了用于海洋馆的 3D 液晶显示器。苏州大学信息光学工程研究所从事 3D 激光全打印机等方面的产业化工作,在全息防伪技术上处于国内领先水平^[38]。

4 未来显示技术展望

随着科学技术的不断发展,未来的显示科技将渗透到我们生活的方方面面,结合人工智能、5G、AR/VR、物联网和移动互联网等前沿技术,将出现多种未来显示技术,并深入改变人们的生活。未来,交互式显示界面将在人们生活中无处不在^[39],例如智慧家庭新品“智能魔镜”,通过在传统的镜子内嵌入显示屏、传感器与操作系统,除了镜面显示还增加了人镜互动的功能,可实现音乐选播、新闻播放、家电智能控制;它还具备健康检测功能,可以通过连接体重秤、血压仪、牙刷、水杯等产品,将实时监测结果反馈到镜面上。2019 年 7 月 8 日,海信发布了全球首台叠屏电视^[40],被认为是目前最具性价比、最成熟的顶级显示技术方案。叠屏电视是由上下两块液晶面板组成的叠屏显示方案,一面控色,一面调光,实现了对比度、色阶及视角的三大突破,叠屏电视更像是以上所有未来显示技术没有成熟之前的最优选择,但它毕竟还是一台液晶电视。全息投影是一种更为震撼的商用领域的未来显示技术,其实现真实的三维图像的记录和再现,突破了传统声、光、电局限,空间成像色彩鲜艳,对比度、清晰度都非常高,空间感、透视感很强。它不仅可以产生立体的空中幻像,还可以使幻像与表演者产生互动,一起完成表演,产生令人震撼的演出效果^[41]。利用光场技术,可以让 VR/AR 头戴式显示设

备模拟出人眼感知光线和聚焦的方式，对人眼注视点所在的区域进行动态聚焦，以呈现出更自然的观感。光场显示技术用于 AR/VR 的优势在于，它能够更逼真地表现出真实环境中光线的活动，以及人眼感知的方式^[42]。除此之外，还有神经元显示技术^[43]，可以同时记录遍及大脑整个皮层的神经元的活动，“照亮”整个大脑；透明显示^[44]，显示屏的能见度较高，能够呈现出鲜艳亮丽的影像效果，让产品的影像更加亮眼，超强的色彩能为用户打造极佳的视觉体验。

5 我国现代显示产业存在的问题

虽然我国显示产业的总体量得到了全球瞩目的跃升，在产业上游的玻璃基板、偏光片、液晶材料、薄膜材料等方面获得局部突破，但另一方面，我国显示产业依然面临大而不强的局面。由于技术起步较晚和长期以来跟随发展的模式，我国显示产业创新积累、人才储备和基地平台不足，产业链布局集中在中下游，关键的上游材料和核心装备技术被日本、韩国、美国、欧洲的国外显示巨头牢牢把控，产业安全无法自主可控，在国际贸易保护主义抬头的形势下，我国显示产业的安全时刻面临威胁。

技术起步较晚，创新积累不足。目前我国投入最多、规模最大的显示产业是液晶显示(TFT-LCD)，但该产业起步较晚，仍然未跳出“欧美原创、日本产业化、韩国/中国台湾及中国内地的产业转移”模式。在关键显示材料(例如液晶、光刻胶)、关键量产装备(例如曝光机、溅射镀膜)、核心技术及专利上虽然努力追赶，但国外厂商已经形成较强的专利布局和产业链分工，国内材料及设备厂商在整个产业链中仍然受制于人，产业链中的利润空间依然被国际巨头公司把控。在新型显示领域，我们不能重蹈覆辙，而应该进行前瞻性布局，主要瞄准新型显示关键材料和核心装备这两个关键环节，突破关键材料和核心装备技术，从而摆脱跟随发展模式，掌握发展主动权，实现跨越式发展。

新技术开发投资分散，各自为政。国外显示巨头在显示领域经过多年的领先发展，具备了坚实的新型显示技术产业发展基础，而我国虽在新型显示领域取得一定成果，但发展基础较为薄弱，投资分散，各自依靠自身有限的人力、财力、资源组织技术攻坚，造成了大量的重复投资与资源浪费，且不能取得理想的成效。

面临国际竞争与技术壁垒，形势严峻。由于显示产业的巨大市场规模，以及其在信息电子产业举足轻重的作用，为保障未来产业竞争中的优势，国际上各大面板

厂商都将新一代的显示技术列入各自的发展战略，积极开展研究布局，各国政府也大力推出政策予以支持。与此同时，各大面板厂商还根据自身需要，抱团组成利益集团，形成技术壁垒。

关键材料、核心装备面临瓶颈期。经过 10 多年的发展，我国显示产业规模已在全球举足轻重，但全产业链发展极不均衡，关键材料对外依存度较高，接近 85%，面临瓶颈期风险；新型显示关键发光材料市场占有率仅约 5%，其中具有完全自主知识产权的几乎为零。新型显示材料领域是日韩欧美的天下，各类材料主要供应商如表 4 所示。

表 4 现代显示技术关键发光材料主要国外供应商

Table 4 Major foreign suppliers of key luminescent materials for modern display technology

Materials classification	Major foreign suppliers
Steam-plated OLED materials	UDC (America), Dow (America), Idemitsu (Japan), Merck (Germany), SDI (Korea), LG Chem (Korea), SFC (Korea), DS Neolux (Korea)
Printed OLED materials	DOWDUPONT (America), LG Chem (Korea), Sumitomo Chemical (Japan), Merck (Germany)
Printed QLED materials	Photoluminescence: SKC (Korea), Hitachi (Japan), SAMSUNG (Korea), Vizio (America); Electroluminescence: Nanosys (America), Nano-Photonica (America), SAMSUNG (Korea), Nanoco (UK)
Mini/Micro-LED materials	CEA-LETI (France), Sony (Japan), LuxVue Technology (America), SAMSUNG (Korea)
Laser display materials	Tricolor LD materials and devices: Sony (Japan), Hitachi (Japan), Oclaro (America), Mitsubishi (Japan), Nichia (Japan), OSRAM (Germany); Display chips: TI (America), Sony (Japan); Ultra-short focal lens materials: Ricoh (Japan), Minolta (Japan); Screen materials: DNP (Japan)

显示产业的制造装备方面更是严重依赖进口，我国装备领域基础薄弱，如表 5 所示，无论在 LCD 还是 OLED 领域，主要集中在外围辅助、测试、低精度装备，在核心高、精、尖的装备领域还非常欠缺。

人才团队与基地平台不足。显示产业的竞争依赖于技术的竞争，技术的竞争归根到底是人才的竞争。我国 LCD 显示产业在发展的中前期，为从国外获得转移技术付出了高额的代价。因此，专业人才的缺乏和开发平台的不足也是制约我国显示技术和产业可持续发展的重要因素之一。

表 5 我国显示领域装备国产情况
Table 5 China's domestic equipments in the display field

Fields		Types	Domestic types	Number of imported types	Proportion of localization
LCD industrial equipment	All equipments	27	11	16	41%
	Key equipments	11	Few	11	<10%
OLED industrial equipment	All equipments	55	17	38	31%
	Key equipments	13	Few	13	<10%

6 显示技术领域补短板、建优势和破解核心关键技术问题的对策建议

根据以上分析可知，我国显示技术与产业的短板是：人才、团队不足，平台基地分散，创新创业创造尚未密切融合。核心关键技术问题是：核心材料、关键装备、知识产权受制于人。为了在显示产业补短板、建优势，破解核心关键技术问题，建议从以下几个方面进行战略布局：

重点开发印刷与柔性 OLED/QLED、 μ LED 显示、激光显示技术，发展 VR/AR 显示等热点技术和产品；开发发光与显示材料、基板盖板玻璃、柔性基板材料，研发蒸镀溅射和化学成膜设备、喷墨打印与封装等关键装备，提高材料和装备的国产化率；支持光场显示、人工智能显示、神经元显示等新概念显示技术，研究核心材料和原型器件，获取基础专利。

建立材料和装备技术验证认证、基础设施/仪器设备/知识产权的开放共享的运行管理机制，以及技术创新的利益共同体、产品产业和品牌创造的命运共同体；重点建设在印刷与柔性显示^[45, 46]、激光显示、 μ LED 显示等优势显示技术方面的新型显示研发平台，抢占新型显示技术制高点。

调整专业和学科布局，改革教学教育课程体系和培养方案，扩大本/硕/博培养数量和博士后队伍；通过改革创新人才考核评价和奖励机制体制，建立健全科技创新人才、工程技术人才、经营管理人才和科技金融人才的高层次人才生态链，打造新型显示产业创新创业创造人才团队。

顺应 OLED 显示和柔性显示产业崛起的趋势，出台金融与税费政策，支持面板企业将 LCD 产线改造成 OLED 产线，将刚性 OLED 产线改造升级为刚柔融合或柔性 OLED 产线。

参考文献 References

[1] 刘沙. 家庭科技[J], 2015(11): 58.
LIU S. Science and Technology of Family[J], 2015(11): 58.
[2] 三星垄断 iPhone 屏幕局面被打破，它将成为苹果第二个屏幕供应

商[EB/OL]. (2018-11-14)[2021-08-04]. https://www.sohu.com/a/275367586_369297.
Samsung's iPhone Screen Monopoly is Broken, and It Will Become Apple's Second Screen Supplier[EB/OL]. (2018-11-14)[2021-08-04]. https://www.sohu.com/a/275367586_369297.
[3] 邱勇. 前沿科学[J], 2010, 4(3): 8-14.
QIU Y. Frontier Science[J], 2010, 4(3): 8-14.
[4] 乔冰. 化学工业[J], 2019, 37(1): 39-49.
QIAO B. Chemical Industry[J], 2019, 37(1): 39-49.
[5] 周淑千, 陈铁兵. 新材料产业[J], 2020, 4: 16-19.
ZHOU S Q, CHEN T B. Advanced Materials Industry[J], 2020, 4: 16-19.
[6] 洪震. 照明工程学报[J], 2021, 32(1): 4-5.
HONG Z. China Illuminating Engineering Journal[J], 2021, 32(1): 4-5.
[7] 廖燕平, 宋志勇, 邵喜斌, 等. 薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016: 146-147.
LIAO Y P, SONG Z Y, SHAO X B, et al. Thin Film Transistor Liquid Crystal Display[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016: 146-147.
[8] 姜明宵, 胡伟频, 王纯, 等. 光电子技术[J], 2021, 41(2): 94-98.
JIANG M X, HU W P, WANG C, et al. Optoelectronic Technology [J], 2021, 41(2): 94-98.
[9] 李璐, 胡荣, 陈善勇, 等. 有机光电功能材料与器件[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
LI L, HU R, CHEN S Y, et al. Organic Photoelectric Functional Materials and Devices[M]. Beijing: Science Press, 2018.
[10] 卢松. 科技经济导刊[J], 2021, 29(7): 93-94.
LU S. Technology and Economic Guide[J], 2021, 29(7): 93-94.
[11] TANG C W, VANSLYKE S A. Applied Physics Letters[J], 1987, 51(12): 913-915.
[12] 张军杰, 杨铸. 现代显示[J], 2010(6): 25-30.
ZHANG J J, YANG Z. Advanced Display[J], 2010(6): 25-30.
[13] 段珂瑜. 电子元件与材料[J], 2013, 32(8): 68-71.
DUAN K Y. Electronic Components and Materials [J], 2013, 32 (8): 68-71.
[14] 田立新, 文尚胜. 现代电子技术[J], 2014, 37(19): 153-156.
TIAN L X, WEN S S. Modern Electronics Technique[J], 2014, 37 (19): 153-156.

- [15] BURROUGHS J H, BRADLEY D D C, BROWN A R, *et al.* Nature[J], 1990, 347: 539-541.
- [16] 张东东, 赵炎, 段炼, 等. 中国材料进展[J], 2014, 33(12): 703-711.
ZHANG D D, ZHAO Y, DUAN L, *et al.* Materials China[J], 2014, 33(12): 703-711.
- [17] CHELLAPPAN K V, ERDEN E, UREY H. Applied Optics[J], 2010, 49(25): F79-F98.
- [18] 许祖彦. 中国工程科学[J], 1999, 1(2): 72-77.
XU Z Y. Strategic Study of CAE[J], 1999, 1(2): 72-77.
- [19] 高伟男, 许祖彦, 毕勇, 等. 中国工程科学[J], 2020, 22(3): 85-91.
GAO W N, XU Z Y, BI Y, *et al.* Strategic Study of CAE[J], 2020, 22(3): 85-91.
- [20] 江洪, 叶茂, 章日辉, 等. 科学观察[J], 2021, 16(1): 63-72.
JIANG H, YE M, ZHANG R H, *et al.* Science Focus[J], 2021, 16(1): 63-72.
- [21] 胡思思, 叶茂, 刘美蓉. 未来与发展[J], 2018, 42(12): 16-22.
HU S S, YE M, LIU M R. Future and Development[J], 2018, 42(12): 16-22.
- [22] 高伟男, 毕勇, 刘新厚, 等. 中国工程科学[J], 2020, 22(5): 44-50.
GAO W N, BI Y, LIU X H, *et al.* Strategic Study of CAE[J], 2020, 22(5): 44-50.
- [23] LEE V W, TWU N, KYMISSIS I. Information Display[J], 2016, 32(6): 16-23.
- [24] TSUBOI Y, URAKAMI N, HASHIMOTO Y. Coatings[J], 2020, 10(10): 985.
- [25] LEE H E, SHIN J H, PARK J H, *et al.* Advanced Functional Materials[J], 2019, 29(24): 1808075.
- [26] COMISKEY B, ALBERT J D, YOSHIKAWA H, *et al.* Nature[J], 1998, 394: 253-255.
- [27] HAYES R A, FEENSTRA B J. Nature[J], 2003, 425: 383-385.
- [28] FINKELMANN H, KIM S T, MUNOZ A, *et al.* Advanced Materials[J], 2001, 13(14): 1069-1072.
- [29] 王好伟, 陈卓, 冯靖雯, 等. 微纳电子与智能制造[J], 2020, 2(2): 15-25.
WANG H W, CHEN Z, FENG J W, *et al.* Micro/Nano Electronics and Intelligent Manufacturing[J], 2020, 2(2): 15-25.
- [30] WOOD V, BULOVIĆ V. Nano Reviews[J], 2010, 1(1): 5202.
- [31] 史冬梅, 杨斌. 科技中国[J], 2017(12): 8-10.
SHI D M, YANG B. Scitech in China[J], 2017(12): 8-10.
- [32] YU P, SHAN Y L, CAO S, *et al.* ACS Energy Letter[J], 2021, 6(8): 2697-2703.
- [33] 万磊. 艺术科技[J], 2016, 29(11): 97.
WAN L. Art Science and Technology[J], 2016, 29(11): 97.
- [34] 王永, 孙可, 孙士祥. 现代显示[J], 2012(2): 26-29.
WANG Y, SUN K, SUN S X. Advanced Display[J], 2012(2): 26-29.
- [35] 谢伟杰. 现代商贸工业[J], 2019, 40(10): 195-196.
- XIE W J. Modern Business Trade Industry[J], 2019, 40(10): 195-196.
- [36] 黄火梅, 金佳斌, 袁心怡, 等. 科技经济导刊[J], 2021, 29(19): 30-31.
HUANG H M, JIN J B, YUAN X Y, *et al.* Technology and Economic Guide[J], 2021, 29(19): 30-31.
- [37] 桑新柱, 于迅博, 陈铎, 等. 激光与光电子学进展[J], 2017, 54(5): 78-89.
SANG X Z, YU X B, CHEN D, *et al.* Laser & Optoelectronics Progress[J], 2017, 54(5): 78-89.
- [38] 冷俊敏, 桑新柱, 徐大雄. 中国印刷与包装研究[J], 2014, 6(5): 1-14.
LENG J M, SANG X Z, XU D X, *et al.* China Printing and Packaging Study[J], 2014, 6(5): 1-14.
- [39] 未来显示科技触手可及 交互式显示界面无处不在[EB/OL]. (2018-06-25)[2021-08-04]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1604169197337516983&wfr=spider&for=pc>.
The Future of Display Technology Is At Your Fingertips and Interactive Display Interfaces Are Everywhere[EB/OL]. (2018-06-25)[2021-08-04]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1604169197337516983&wfr=spider&for=pc>.
- [40] 太平洋电脑网. 开启液晶2.0时代! 海信全球首款叠屏电视 U9E 评测. [R/OL](2019-07-30)[2022-10-26]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1639748981220606924&wfr=spider&for=pc>
PConline. Open the LCD 2.0 era! Review of Hisense's world's first folding TV U9E. [R/OL](2019-07-30)[2022-10-26]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1639748981220606924&wfr=spider&for=pc>
- [41] 万维家电网. 一文看懂六种未来显示技术, 你更期待谁? [EB/OL]. (2019-07-18)[2021-08-04]. https://www.sohu.com/a/327711709_102672.
www.ea3w.com. Which of The Six Future Display Technologies Are You Looking Forward To? [EB/OL]. (2019-07-18)[2021-08-04]. https://www.sohu.com/a/327711709_102672.
- [42] 颠覆 AR/VR 显示? CREAL 光场技术现场体验[EB/OL]. (2020-01-10)[2021-08-04]. http://www.360doc.com/content/20/0110/23/32196507_885511225.shtml.
Subversion of AR/VR Displays? CREAL Light Field Technology Live Experience[EB/OL]. (2020-01-10)[2021-08-04]. http://www.360doc.com/content/20/0110/23/32196507_885511225.shtml.
- [43] REARDON S. Nature[J], 2017, 543: 14-15.
- [44] LEE H E, KIM S, KO J, *et al.* Advanced Functional Materials[J], 2016, 26(34): 6319.
- [45] 文宏福, 钟锦耀, 符晓, 等. 数字印刷[J], 2021, 1: 1-11.
WEN H F, ZHONG J Y, FU X, *et al.* Digital Printing[J], 2021, 1: 1-11.
- [46] 刘迪萱, 钟锦耀, 唐彪, 等. 液晶与显示[J], 2021, 36(2): 217-228.
LIU D X, ZHONG J Y, TANG B, *et al.* Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays[J], 2021, 36(2): 217-228.