

# 微显示器件的研究进展

梁静秋

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 微小显示和虚拟显示研究得比较多的显示器件有微 CRT、LCD、OLED、微 LED、LCOS、MEMS 等, 由于原理不同, 每一种微显示器工作的场合和环境也不同, 各种器件各有用武之地。LED 型微显示器件作为一种全固体的主动发光器件, 拥有许多优点: 工作电压低、发光效率较高、响应速度快、性能稳定可靠、工作温度范围宽等。在同一芯片上集成 LED 阵列技术可以很好地满足应用需求。

**关键词:** 微显示器件; CRT; LCD; OLED; LCOS; MEMS

**中图分类号:** TN873

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/OMEI 20102712.0021

## Research Advances in Micro-LED Display Devices

LIANG Jing-qiu

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Recently, several kinds of micro displays are studied, such as micro-CRT, LCD, OLED, micro-LED, LCOS, MEMS. Each kind of micro displays can be used in different work environment based on their individual merits. Among these micro display devices, the micro-LED as a kind of all-solid state active radiation component, performs many merits such as low work voltage, high luminous efficiency, fast response speed, reliable performance, wide operating temperature scope and so on. The traditional micro-LED display is restrained in the pedestal manufacturing craft, which is difficult to achieve the miniaturization in pixel and resolution. Integrating LED array on a single chip can meet application requirements.

**Keywords:** microdisplay device; CRT; LCD; OLED; LCOS; MEMS

\*基金项目: 吉林省科技发展项目 (批准号: 20100351) 资助项目.

## 1 引言

科技的飞速发展促使人们不断地探究新的途径和方法,把浩如烟海的信息转变为视觉信息再传播开来。这种将各种信息转化为视觉信息的过程就是显示,其转化技术即称为显示技术。显示技术的核心之一就是直接显示图文信息的显示器件。目前,大尺寸的显示器件主要有阴极射线管 CRT、液晶 LCD,等离子体 PDP,发光二极管 LED 大屏幕、投影电视等等。日益发展的还有激光电视、有机 LED 显示、场发射显示技术。显示技术成为与人们生活不可分离的重要技术之一,也成为人们接受信息的一个极重要的途径和手段。显示方式也从平面发展到三维,带给人们的视觉更为生动和具有高度临场感。随着技术进步、人们生活的流动性、对信息接收的实时性、便携性、方便性等需求,迫切需要一种能够帮助人们实时获得信息的新技术。这种显示追求的目标是清晰、准确、实时、直观、方便、节能、携带信息量大、传递速度快<sup>[1]</sup>。近十几年来,各种无线产品及便携式移动通信迅速崛起,这些产业的发展又进一步迫切需要发展高亮度、高清晰度、低功耗且小体积的显示终端来实现信息的实时显示。微显示技术应运而生,并且在短短十几年内有了突飞猛进的发展。微显示器件的最大特点就是小至可以放入掌心或嵌入眼镜,而且清晰度很高,恰好满足当代显示器件微型化的要求。一些研究者甚至研发可嵌入眼睛的微型显示器件。

目前,微显示器件已经凭借其独特的优势和巨大的市场应用前景成为关注的热点。诸多国际大公司都对该领域倾注了极大的热情,不断加大研究力度。研究的微显示器件种类有很多。但由于不同的场合和环境对微显示器件的要求不尽相同,不同类型的微显示器件各有用武之地<sup>[2]</sup>。本文综述比较了几种主要的微显示器件。

## 2 微显示器件的分类及特点

由于微显示器件是一种新型的显示器件,界内

并没有对它进行明确定义。通常,按照尺寸划分,将显示面板的对角线尺寸介于 0.7~3 in 的器件定义为微显示器件<sup>[3]</sup>。其特点是体积小,功耗较低,分辨率高。由于原理不同,每一种微显示器件工作的场合和环境也不尽相同。目前,微显示器件的研究领域呈现一片百家争鸣的繁荣景象,研究得比较多的主要有 CRT、OLED、LED、LCOS、LCD 等类型。微显示器有许多不同的分类方法,按光电性能可以将其分为主动发光型和光调制型。

### 2.1 主动发光型微显示器件

主动发光型微显示器件是指器件不依赖外来光源,利用自身发光来实现图像的显示,如图 1 所示。CRT、OLED、LED 微显示器件都属于这一类型。



图1 主动发光型微显示器件示意图

#### 2.1.1 CRT 微显示器件

微型 CRT (Cathode ray tubes) 显示器件是从传统的 CRT 技术发展起来的。它继承了 CRT 技术的高性价比优势,通过新技术的引进在体积与功耗等方面有了很大的改善。1991 年,法国 LETI 电子研究所研发出了一种冷阴极 CRT 技术——微真空电子阵列技术 (FEA),使 CRT 的厚度降低到与 LCD 同等程度,同时提高了 CRT 的发光亮度,缩短了响应时间。利用冷阴极电子阵列源替代阴极射线管 (CRT) 中的热电子源,压缩庞大的电子枪空间;采用交叉矩阵寻址替代 CRT 中电子束扫描寻址,节省电子束偏转空间,

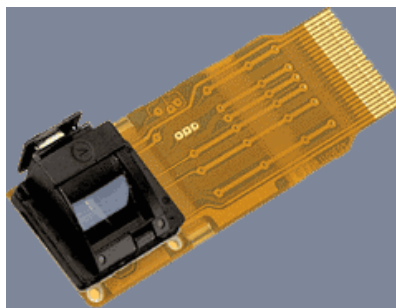


图2 微型CRT显示器样品

从而使 CRT 达到微型化的目的。但是此项技术的制作工艺相对较复杂,限制了大规模的应用。目前,由于某些技术难题及批量生产方面的困难,CRT 技术在微型化方面落后于其他显示技术。图 2 是微型 CRT 显示器的示意图,图中的黑色部分即是其核心的显示结构。

### 2.1.2 LED 微显示器件

LED (Light emitting diode) 微显示器件是一种无机电致发光的全固体显示器件。它是利用 p-n 结自由载流子复合发光的原理制成的,其核心器件厚度仅为几百微米,在微型化方面潜力巨大。采用微细加工技术,可以将像素的大小控制在十几个微米左右,分辨率很高。由于它是自发光显示器件,在亮度及对比度方面性能优良。此外,它的抗冲击性能出色,工作温度范围宽,特别适用于野外工作环境,尤其在军事领域应用前景广阔。

### 2.1.3 OLED 微显示器件

OLED (Organic light emitting diode) 型微显示器是一种有机电致发光的全固体显示器件,同样是一种非常有前景的微显示器。

图 3 是 OLED 的结构示意图,在超薄有机层内为基本的 OLED 单元。电流在夹于两个电极之中的超薄(厚度仅为 1~2 mm)有机发光材料层里流动。有机层包含了发光层和电流传输层。当加上电压(2~10 V)后,注入的正负电荷在发光层中复合,并产生光<sup>[4]</sup>。OLED 技术拥有出色的色彩还原能力、高清晰度以及低成本等优点。

有机电致发光器件最早是由 Destriau 在 1936 年研制的,到了 20 世纪 90 年代才由 Kodak 公司研究出了具有实用价值的低电压驱动的有机发光层。目

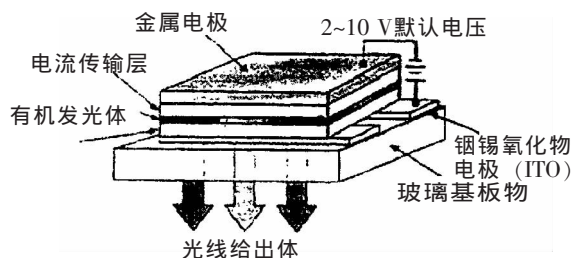


图3 OLED结构示意图

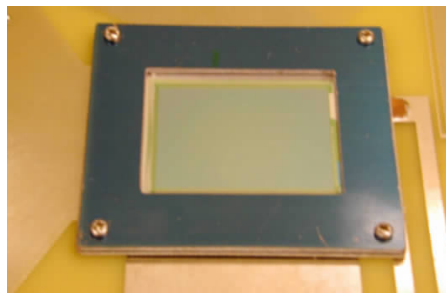


图4 OLED型显示器件样品

前, OLED 的制备技术主要有 Eastman-Kodak 公司的小分子 OLED 制备技术及 CDTC 发展的 LEP 技术等<sup>[5]</sup>。有机电致发光显示器件同 LED 型微显示器件一样具有许多优良的性能:亮度高、对比度高、视角宽、响应速度快及工作温度范围宽等。OLED 显示器件核心部分为有机材料,可以实现柔性显示,并且没有图像失真现象,这是其他显示器件所没有的优势。OLED 型微显示器是当前各方研究的热点,并且已有产品面世。

## 2.2 光调制型微显示器件

光调制型微显示器件是指器件本身不发光,通过调制外光源来实现图像的显示。按照光源的调制模式又可分为透射型和反射型两大类。

### 2.2.1 透射型微显示器件

透射型微显示器件的外光源置于显示屏之后,通过屏控制光线的通过,实现图像的显示,如图 5 所示。LCD (Liquid crystal display) 型微显示器件就属于这一类型。

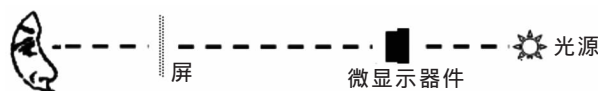


图5 透射型微显示器件示意图

LCD 型微显示器利用液晶态物质在电场作用下的光电效应原理实现图像显示。液晶态物质是既有液体的流动性、又具有晶体光电性质的一种有机化合物,在电场作用下液晶分子空间排列实现有序变化,可以控制光的通过。LCD 微显示器是目前研究相对比较成熟的显示技术,也是市场化最好的一种微显示器,占据了微显示器的大部分市场,广泛地



图6 液晶型的微显示器件在手机中的应用

应用于各个领域。

### 2.2.2 反射型微显示器件

反射型微显示器件的工作原理是：外光源照射到显示屏，屏在外部电路的控制下对光线有选择地反射，实现图像显示，如图7所示。反射型微显示器主要有 LCOS (Liquid crystal on silicon) 型和 MEMS (Micro electro mechanical systems) 型两种。

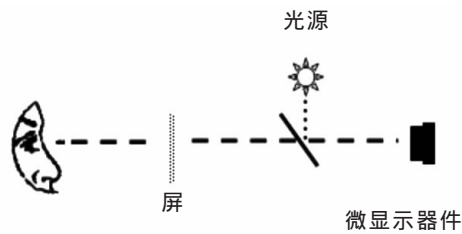


图7 反射型微显示器件示意图

#### 2.2.2.1 LCOS 微显示器件

LCOS 是硅基 CMOS 半导体集成电路技术与液晶显示技术相结合的新型显示技术，其面板结构如图8所示。

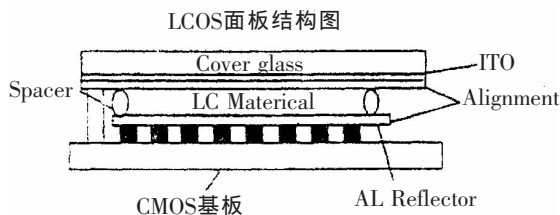


图8 LCOS 面板结构图

世界上第一台 LCOS 型微显示器样机诞生于 1997 年，而其核心部件 LCOS 空间光调制器的研究则从 20 世纪 80 年代就开始了<sup>[6]</sup>。LCOS 是利用半导体制造工艺在硅片上制作驱动面板；在电晶体上通过

研磨技术磨平，并镀上铝当作反射镜，形成 CMOS 基板；然后将 CMOS 基板与含有透明电极的上玻璃基板贴合，再注入液晶封装而成。LCOS 型的微显示器像素元的尺寸可做到十几个微米，光利用效率可达 40% 以上，显示开口率在 90% 以上，在显示效果方面可以得到 8 位以上灰度级、宽达 160° 的可视角以及大于 100:1 的对比度。此种类型显示芯片的大小仅为 200~300 mm<sup>2</sup> 左右，其重量不足 1 g，可以在 0~60 °C 的温度范围内工作。LCOS 型微显示器具有高分辨率、高开口率、高亮度、轻薄及寿命长等优点，可广泛应用于投影及移动终端显示系统，特别是在军事领域中的头盔观察系统及其他特殊领域中非常有前景，是一种非常有前途的应用技术，因此，一时之间集中了众多科研院校及各大科技公司的研究力量，使 LCOS 技术有了长足的发展<sup>[7-9]</sup>。图 9 为南开大学研发的 LCOS 微型显示器<sup>[10]</sup>。



图9 南开大学自主研发的 LCOS 微型显示器

#### 2.2.2.2 MEMS 微显示器件

MEMS (Micro electro mechanical systems) 型微显示器是利用微细加工及半导体集成电路技术，在单晶硅片上制作的一种机电结合的显示系统。它主要由集成的电路控制矩阵和微型铝薄膜反射镜面矩阵构成，利用集成电路控制反射镜矩阵元在一定角度内旋转，对进入显示系统的光线有选择地反射以实现图像显示。MEMS 型微显示器的最大优点是全数字视频输入及数字图像输出，能精确地再现原始的视频图像。它的响应时间可达到微秒至纳秒量级，并且对外光源的利用率高。最具代表性的 MEMS 型



的微显示器件是由德州仪器推出的 DLP 显示芯片。2010 年,德州仪器公司研发出来 4 K 高清 (4 096 × 2 160 的能力) 分辨率和 2 500 :1 对比度的一种新 DLP 影院增强 4 K 显示芯片,预计将在 2011 年开始使用在投影机上<sup>[11]</sup>。



图 10 DLP 影院增强 4 K 显示芯片

2.3 几种微显示器件的性能对比

综上所述,这几种微显示器件各有独特的优势,也各有发展空间,不能简单地相互代替。表 1 列出了它们的主要性能对比<sup>[12]</sup>。

表1 几种微显示器件的主要性能对比

	CRT	LED	OLED	LCD	LCOS
电压特性	×	★	★	★	★
发光亮度	★	★	★	×	×
发光效率	☆	☆	★	△	△
器件寿命	★	★	△	☆	☆
器件重量	×	△	☆	★	★
器件厚度	×	☆	☆	★	☆
反应速度	★	★	★	△	△
视角特性	★	△	★	△	△
色彩度	★	△	★	☆	☆
量产性	☆	☆	☆	☆	☆
性价比	★	☆	☆	☆	△

注: ★非常好; ☆好; △普通; ×差

3 LED 微显示器件的研究进展

LED 微显示器件作为一种全固体的主动发光器件,拥有许多优点:工作电压低、发光效率较高、响应速度快、性能稳定可靠、工作温度范围宽等。

其器件的核心部分为半导体材料,厚度仅为几百微米。采用半导体微细加工技术,可以将像素的大小控制在微米量级左右,在分辨率方面潜力巨大。由于它是自发光显示器件,发光亮度可达到 1 000 cd/m,而在对比度方面,暗点部分不参与发光,可以得到 900:1 以上的高对比度。LED 型显示器制作材料为半导体材料,成本低廉,有着广泛的应用。特别是作为全固体显示器件,其工作温度范围宽,抗冲击性能出色,尤其适合野外工作环境,在军事领域前景更为人们所看好。

除了作为独立的显示器应用外,作为集成阵列器件的 LED 型显示器还可以作为背光源应用到 LCD 等调制型显示器件中。对于调制型显示器件,背光源的好坏直接决定了显示的亮度、颜色、功耗等主要指标。此外,作为集成的阵列器件,还可以应用到 LED 打印机和扫描仪等器件中。

制作 LED 微显示器件的常规方法是将分立的 LED 芯片按照设计要求排列在基座上。由于单个 LED 芯片的尺寸是一定的,而且相邻芯片之间存在一定的间距,这种方法制作的器件的分辨率有一定的限制,整个器件的出光均匀性也受到很大的影响。

随着半导体科学技术的发展、材料生长和器件工艺水平的不断完善,各种颜色的超高亮度 LED 不断地取得突破性的进展,超高亮度外延片和芯片的生产、封装关键技术也相继突破,成本呈现不断下降的趋势。越来越多的研究人员将研究热点转移到直接在外延片表面集成高密度的 LED 阵列,进而制作更高分辨率、更小体积的 LED 微显示器件。

早在 1998 年,德国亚琛工业大学的研究小组就采用湿法腐蚀方法对在 AlGaInP-LED 外延片上制作多个 LED 进行了初步研究<sup>[13]</sup>。2001 年,美国堪萨斯州立大学的研究小组利用 LED 阵列技术研制出 InGaN/GaN 量子阱结构,制作出像素直径为 12 μm 的 10×10 蓝色 LED 阵列<sup>[14]</sup>。2004 年,英国斯特拉思克莱德大学的研究小组采用干法刻蚀工艺制作出蓝色 GaN-LED 阵列<sup>[15]</sup>(如图 11 所示)。在国内,中科院长春光机所

采用高亮度的 AlGaInP 橙色发光芯片, 利用 MEMS 三维微细加工技术与半导体封装工艺开展了超高亮度微显示器件的研究工作<sup>[16-19]</sup>。

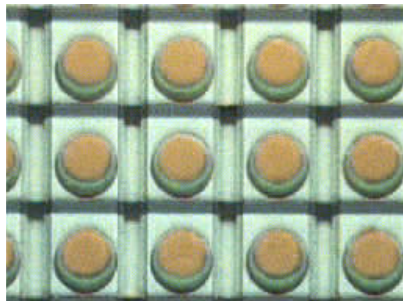


图 11 采用干法刻蚀工艺制作出的蓝色 GaN-LED 阵列

将阵列技术应用于 LED 器件的制作意味着可以在更小的面积上集成更多的发光像素, 并且可以采用成熟的阵列寻址方式驱动器件工作, 从而加快了 LED 微显示器件的发展进程。

2010 年, 英国帝国大学 Nir Grossman 等研制出  $64 \times 64$  GaN 微型 LED 阵列, 用于二维神经细胞的刺激模拟<sup>[20]</sup>。2009 年, 伊利诺大学 (University of Illinois) 发布新闻称开发了一项 LED 新工艺, 研究团队由伊利诺材料科学暨工程学系教授 John Rogers 与西北大学 (Northwestern University)、新加坡高性能运算研究所 (Institute of High Performance Computing) 及北京清华大学的专家们所组成。这种新技术可制造出小颗、超薄的无机 LED, 不论亮度或持久度都比传统 LED 要高<sup>[21]</sup>。这项新技术制造出的可延展微型 LED 显示器结合了无机 LED 与有机 LED 的优点, 明亮持久且轻薄, 并能应用在弯曲表面。Rogers 教授称这项技术或许能创造出可卷起来的电视屏幕, 或是可顺

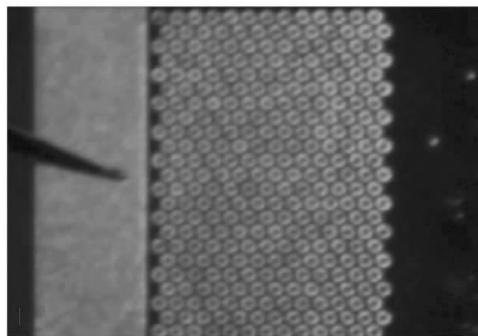


图12 英国斯特拉思克莱德大学研究的GaN-LED阵列

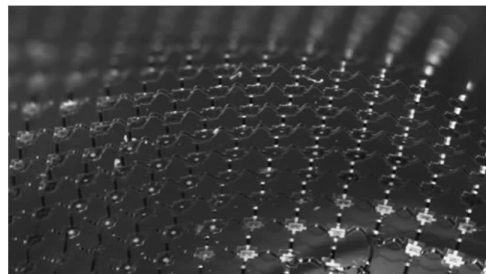


图13 应用在弯曲表面的LED阵列

应汽车结构的煞车灯, 或制作可像毯子一样将病人裹起来的健康监控器或成像仪器。

## 4 结束语

21 世纪的显示技术将是尺寸大平板显示和微小显示器件流行的时代, 以适应人们的需求。目前, 微小显示向更高的亮度、更高的耐气候性、更高的发光均匀性、更高的可靠性、全色化、多媒体方向发展, 系统的运行、操作与维护也向集成化、网络化、智能化方向发展, 成为人们获取视觉信息的又一重要技术, 不仅具有巨大的经济效益, 也会产生巨大的社会效益。

## 参考文献

- [1] 李维諲, 郭强, 周云仙. 液晶显示应用手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 1.
- [2] 金霞. LED 微显示器件的设计和隔离沟槽的制作研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士学位论文, 2006.
- [3] Hiap L. Microdisplay opportunity: small size, low power, big image, bright future[J]. *SPIE*, 1998, 3560: 1-3.
- [4] 陈忠国. 微型显示器件与头戴显示器[J]. 光电技术, 2003, 44(4): 1-4.
- [5] 邵作叶, 郑喜凤, 陈宇. 平板显示器中的 OLED[J]. 液晶与显示, 2005, 20(1): 52-56

- [6] 姚文华, 汪光裕. 有机电致发光显示器件基本原理与进展[J]. 激光与光电子学进展, 2003, 40(12): 31-37.
- [7] 宋玉龙. 一种新型 LCoS 低功耗帧存储像素电路设计[J]. 液晶与显示, 2010, 25(3): 401-406.
- [8] 范伟, 代永平, 张志东. 硅基液晶(LCOS)与反射显示模式的关态特性[J]. 现代显示, 2010(8): 16-18.
- [9] 李鹏飞, 许金凯, 程少园, 等. LCOS 人眼像差校正仪的系统控制实现[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(3): 525-529.
- [10] 代永平, 华强, 耿卫东, 等. 1.6 cm SVGA LCoS 微型显示器的研制[J]. 光电子技术, 2003, 23(9): 145-148.
- [11] 德州仪器推出新的 DLP 4K 显示芯片[EB/OL]. [2010-09-01]. <http://user.pjtime.com/search/search.asp?condition=6>
- [12] 费民权. OLED: 显示器件的未来[J]. 显示器件技术, 2004(1): 1-8.
- [13] Schineller B, Junas Y, Heuken M, *et al.* Investigation of process technologies for the fabrication of AlGaInP mesa ultra high brightness light emitting diode[J]. *Materials Science and Engineering B*, 1998, 51: 34-38.
- [14] Robinson K. Blue LEDs open door to microdisplays[J]. *Photonics Spectra*, 2001, 35(5): 43-44.
- [15] Choi H W, Jeon C W, Dawson M D. Fabrication of matrix-addressable micro-LED arrays based on a novel etch technique[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2004, 268(3-4): 527-530.
- [16] 李佳, 梁静秋, 金霞, 等. GaAs-LED 阵列器件隔离沟槽的制备研究[J]. 光电子技术, 2006, 26(4): 192-195.
- [17] 梁静秋, 李佳, 王维彪. LED 阵列的设计和制作工艺研究[J]. 液晶与显示, 2006, 21(6): 604-608.
- [18] 金霞, 梁静秋, 李佳, 等. 发光二极管阵列中上隔离沟槽的设计与制备[J]. 微细加工技术, 2005(4): 76-80.
- [19] Jin Xia, Liang Jingqiu, Wang Weibiao, *et al.* Study on the fabrication of orange micro-LED arrays for display [J]. *SPIE*, 2005, 6030: 60300U-1-60300U-7.
- [20] Grossman N, Poher V, Grubb M S, *et al.* Multi-site optical excitation using ChR2 and micro-LED array[J]. *J. Neural Eng.*, 2010, 7: 016004: 1-13.
- [21] Park Sang-Il, Xiong Yujie, Kim Rak-Hwan, *et al.* Printed assemblies of inorganic light-emitting diodes for deformable and semitransparent displays[J]. *Science*, 2009, 325: 977-981.

作者简介: 梁静秋 (1962-), 女, 吉林长春人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事微光机电系统与光通信等方面的研究。E-mail: liangjq@ciomp.ac.cn