



技·术·与·应·用·丛·书

# OLED

## 驱动电源 设计与应用

■ 周志敏 纪爱华 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



LED/OLED

技·术·与·应·用·丛·书

# OLED

## 驱动电源 设计与应用

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

OLED驱动电源设计与应用 / 周志敏, 纪爱华编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2010.10

(LED/OLED技术与应用丛书)

ISBN 978-7-115-23743-9

I. ①0… II. ①周… ②纪… III. ①发光二极管—电源电路—电路设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第157527号

## 内 容 提 要

本书结合国内外 OLED 技术的发展动态, 全面系统地介绍了 OLED 在显示与照明领域的最新发展和应用技术, 主要内容包括 OLED 的技术特点、发光材料、发光原理、基本结构、彩色化技术、驱动方式、偏置电源、常用 OLED 驱动与电源集成电路及其应用电路, 重点介绍了 OLED 在显示及照明领域的应用技术。书中所提供的解决方案和电路具有较大的参考价值, 附录中所给出的名词术语解释及中英文对照有助于读者理解本书内容。

本书题材新颖, 内容丰富, 具有较高的实用价值, 可供电信、信息、航天、汽车、国防、照明及家电等领域从事 OLED 开发、设计和应用的工程技术人员阅读, 也可供高等学院相关专业的师生参考。

LED/OLED 技术与应用丛书

## OLED 驱动电源设计与应用

◆ 编 著 周志敏 纪爱华

责任编辑 刘 朋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市潮河印业有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15.25

字数: 379 千字

2010 年 10 月第 1 版

印数: 1—4 000 册

2010 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23743-9

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

# 前 言

OLED 是英文 Organic Light Emitting Diode 的缩写，意为有机发光二极管。OLED 的发光原理早在 1936 年就被人们所发现，但直到 1987 年柯达公司推出了 OLED 器件之后，它才作为一种可商业化和性能优异的平板显示技术和照明光源而引起人们的重视。OLED 现已成为具有广阔发展前景和重大影响力的一项高新技术。近年来随着信息化进程的加快，人们对高动态信息、图像显示和新型节能照明光源的需求与日俱增，OLED 产品的开发、研制、生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

与 LCD 相比，OLED 具有超轻、超薄（厚度可小于 1mm）、亮度高、可视角度大（可达 170°）、由于像素本身发光而不需要背光源、功耗低、响应速度快（约为 LCD 的 1 000 倍）、清晰度高、发热量低、抗震性能优异、制造成本低、可弯曲等优点，被称为继 CRT、LCD、PDP 之后的第三代显示技术。OLED 代表了未来显示技术的发展方向。目前，随着 OLED 技术的广泛应用及潜在市场的开发，OLED 显示出了强大的发展势头。

与其他照明光源相比，OLED 属于扩散式发光面光源，它发出的光线较为柔和，且兼具轻薄外观，更容易实现白光，可做成任意形状的光源。若采用可挠式基板，则可变化成不同形状，故能开拓其他照明技术尚未能进入的应用领域。OLED 是继 LED 之后的新一代固态光源，由于 OLED 光源具有不同于传统照明的全新特点，它将带动照明设计、照明灯具等有关领域的创新和发展。

本书在系统地介绍 OLED 发展、产业化进程及基本知识的基础上，重点介绍了 OLED 驱动技术、偏置电源设计与应用技术。本书尽量做到有针对性和实用性，力求使得从事 OLED 驱动电源开发、设计和应用的技术人员从中获益，使读者全面系统地了解 and 掌握 OLED 驱动电源的设计和应用技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪达奇、纪达安、纪和平等。在本书写作过程中，在资料的收集和技术信息交流上都得到了国内外专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 OLED 的技术特点及发展历程	1
1.1.1 OLED 的定义及技术特点	1
1.1.2 OLED 技术及产品发展历程	7
1.2 OLED 技术及产业发展状况	11
1.2.1 OLED 技术发展现状和面临的问题	11
1.2.2 我国 OLED 产业发展现状	16
第 2 章 OLED 基础知识	24
2.1 OLED 材料	24
2.1.1 有机发光材料	24
2.1.2 OLED 两大技术阵营	29
2.2 OLED 的发光原理和结构	32
2.2.1 OLED 的发光原理	32
2.2.2 OLED 的结构	34
2.3 OLED 的分类及彩色化	40
2.3.1 OLED 的分类	40
2.3.2 OLED 彩色化技术	47
2.4 OLED 技术发展动态及趋势	55
2.4.1 OLED 技术发展动态	55
2.4.2 OLED 的研发热点及发展趋势	59
第 3 章 OLED 的驱动方式及偏置电源	70
3.1 OLED 的驱动方式	70
3.1.1 OLED 驱动方式的分类	70
3.1.2 PM-OLED 与 AM-OLED 的电路原理	71
3.1.3 PM-OLED 与 AM-OLED 的比较	73
3.1.4 PM-OLED 的结构和发展方向	75
3.1.5 AM-OLED 的结构和发展方向	77
3.2 OLED 驱动技术与偏置电源	80
3.2.1 OLED 驱动技术	80

3.2.2	OLED 偏置电源 .....	87
3.3	OLED 显示器电源电路 .....	91
3.3.1	OLED 显示器电源电路的结构 .....	91
3.3.2	手持设备中 OLED 显示器的电源设计 .....	93
3.3.3	便携式电子设备 OLED 的电源解决方案 .....	97
3.3.4	基于 FAN5099 和 FAN2108 的 14.1 英寸 AM-OLED 电源解决方案 .....	102
3.4	OLED 电源电路的设计 .....	105
3.4.1	基于 MAX668/MAX669 的 OLED 电源电路设计 .....	105
3.4.2	基于 MAX8570 的 OLED 电源电路设计 .....	109
3.4.3	基于 LM3509 的白光 LED/OLED 电源电路设计 .....	113
3.4.4	基于 MAX629 的 OLED 电源电路设计 .....	118
3.4.5	基于 MAX1524 的 OLED 电源电路设计 .....	122
3.4.6	基于 LT1930 的 OLED 电源电路设计 .....	126
3.4.7	基于 LT1615/LT1613 的 OLED 电源电路设计 .....	128
<b>第 4 章</b>	<b>OLED 驱动与电源集成电路</b> .....	<b>132</b>
4.1	OLED 驱动集成电路 .....	132
4.1.1	OLED 驱动集成电路 SSD1329 .....	132
4.1.2	OLED 驱动集成电路 SSD1303/SSD1332 .....	136
4.1.3	OLED 驱动集成电路 SSD1339/SSD1338/SSD1351A .....	140
4.1.4	OLED 驱动集成电路 PT6807/PT6808 .....	142
4.2	OLED 电源集成电路 .....	143
4.2.1	LT 系列 OLED 电源集成电路 .....	143
4.2.2	LTC 系列 OLED 电源集成电路 .....	154
4.2.3	MAX 系列 OLED 电源集成电路 .....	157
4.2.4	TPS 系列 OLED 电源集成电路 .....	163
4.2.5	其他系列 OLED 电源集成电路 .....	168
<b>第 5 章</b>	<b>OLED 应用技术</b> .....	<b>181</b>
5.1	OLED 显示技术 .....	181
5.1.1	OLED 显示器及应用领域 .....	181
5.1.2	OLED 手机显示面板与大尺寸 OLED 显示器 .....	192
5.2	OLED 照明技术及应用 .....	199
5.2.1	OLED 高效节能固态光源 .....	199
5.2.2	白光 OLED 器件 .....	204
5.2.3	OLED 照明技术 .....	213
5.2.4	OLED 照明技术的现状及发展趋势 .....	218

---

附录	225
附录 A 显示器名词解释	225
附录 B 发光材料名词解释	225
附录 C 有机化学名词解释	227
附录 D 显示技术中的英文缩写	229
附录 E OLED 技术术语中英文对照	232
参考文献	236

# 第 1 章 概 述

## 1.1 OLED 的技术特点及发展历程

### 1.1.1 OLED 的定义及技术特点

#### 1. OLED 的定义

OLED 是“有机发光二极管”的英文 (Organic Light Emitting Diode) 的缩写,是指有机半导体材料和有机发光材料在电场的驱动下,通过载流子注入和复合导致发光的技术。OLED 的发光原理是用 ITO 玻璃透明电极和金属电极分别作为器件的阳极和阴极,在一定正向电压驱动下,电子和空穴分别从阴极和阳极注入电子和空穴传输层,然后分别迁移到发光层,相遇形成激子使发光分子激发,经过辐射后发出可见光。辐射光可从 ITO 一侧观察到,金属电极膜同时也起了反射层的作用。根据这种发光原理制成的显示器被称为有机发光显示器,也叫 OLED 显示器。

OLED 与普通 LED 一样,也是固体半导体发光器件,由数块薄层的有机材料叠加在一起而制成,其发光形式与 LED 类似,厚度为 100~500nm。OLED 在显示器领域,无论是小尺寸便携式产品应用还是大尺寸 TV 显示器,已对目前主流的 LCD 显示器形成不小威胁。如今照明厂商进一步发挥 OLED 透明、轻薄、可挠等特性,开发出多样化 OLED 新兴照明应用技术, OLED 在照明领域的应用将彻底改变照明在建筑传统意义上的概念,出现真正意义上的 BIL (Building Integrated Lighting, 建筑物综合照明),这十分类似于太阳能中的 BIPV (Building Integrated Photovoltaics, 建筑物一体化的太阳能光伏组件) 的概念。

LED 和 OLED 的发光原理很接近,都是利用电子、空穴在发光区再结合时使得电子释出能量,此能量会以光子的形式被释放出去而产生光。但是,两者的结构却相差很大, OLED 由电子传输层、空穴传输层和发光材料层构成。OLED 虽然跟 LED 只差一个英文字母,但是它的结构比较像 LCD,两侧有玻璃基板,中间有发光材料,而且发光材料是有机材质而非半导体, OLED 的电极至少有一边必须是可透光的。OLED 技术依其所使用的有机薄膜材料的不同,可分为小分子 OLED (Small Molecule OLED, SM-OLED) 和高分子 LED (Polyme Light Emitting Diode, P-LED)。

OLED 具有轻薄和柔韧的特点,能够像纸一样,可卷曲、可折叠。OLED 显示器不像 LCD 那样需使用 CCFL 或 LED 提供背光照明,它通电后自身能发光显示。OLED 又是除 LED 之外的另一种固态电光源,可以做成任意形状的面光源,为照明设计引入了全新的理念和方法。

#### 2. OLED 的技术特点

OLED 作为一种新型发光技术,用于显示领域具有类似于 CRT 性能的显示潜力。OLED 显示器还具有其他一些平板显示器 (Flan Panel Display, FPD) 所无法比拟的优势,它的主要技术特点是自发光、全彩色显示、高亮度、高对比度、低电压、低功耗、轻薄 (体积与重量



仅为 LCD 的 1/3)、高发光效率、快速响应、宽视角、单片结构、加工工艺简单及低成本等。

### (1) OLED 与 LED 的比较

① 类似于 LED, OLED 是一种固态半导体发光器件。与 LED 的晶体层相比, OLED 的有机塑料层更薄、更轻,而且更柔韧性更好。

② OLED 的发光层比较轻,因此,它的基层可使用富于柔韧性的材料,如 OLED 的基层可为塑料材质,而 LED 则使用玻璃基层。

③ OLED 比 LED 更亮。OLED 的有机层要比 LED 中与之对应的无机晶体层薄得多,因而 OLED 的导电层和发射层可以采用多层结构。此外,LED 需要用玻璃作为支撑物,而玻璃会吸收一部分光线。OLED 则无需使用玻璃。

④ OLED 是一种变形了的 LED,采用含碳元素的有机发光层代替 LED 中不含碳元素的无机管芯。虽然 OLED 与 LED 的发光机理基本相同,但 LED 芯片呈分离的点阵分布,而 OLED 仅是片状材料的“三明治”结构。

⑤ OLED 器件不像 LED 那样要在基板上长晶,它为塑胶材质,容易制造。OLED 电极间的有机层是非晶薄膜,很容易实现大面积、超薄型显示,因此可以将其制作成大面积薄片状。OLED 的发光单元可以小至数十纳米,显示色彩也更为丰富。

⑥ OLED 为平面发光光源,具有轻薄和柔韧的特点,可以像窗帘一样卷起,做成任意形状。与 LED 一样, OLED 同样具有高效节能、环保、安全等优势。与传统的白炽灯相比, OLED 除了发光时不会变热,通过散热所损耗的能量更少。在未来照明中, OLED 和 LED 各自充当着不同的角色,LED 更倾向为点光源,在聚光和投光应用领域更具优势,而 OLED 则是一种软片式面光源,可以发射出更多的发散光线。

⑦ 虽然目前 LED 已发展为重要的现代媒体发布手段和平板显示器的主流产品之一,但 OLED 更适用于平板显示器。OLED 可以任意弯曲、转变角度或者覆盖整个墙壁,使之成为一个可编程控制的显示幕墙。OLED 还可以制成导电纤维织物,如发光的衣物、帷幕等。

### (2) OLED 与 LCD 的比较

OLED 显示器之所以受到人们的青睐,是因为其与以 LCD 为代表的第 2 代显示器相比具有以下主要特点和优势。

① 功耗低。OLED 显示器无需背光照明,其驱动器功耗小,2.4 英寸 AM-OLED 模块的功耗仅为 440mW,而 2.4 英寸多晶硅 LCD 模块的功耗则为 605mW。节能意味着可延长更换电池的时间(或可用更小的电池工作同样长的时间),这对于移动电话、掌上电脑(PDA)及其他便携式产品来说显得更为重要。

② 自发光。OLED 采用有机发光材料,自己就可以发光,亮度高,发光转化效率高(16~38lm/W)。OLED 显示器不需要背光源、滤光镜与偏振镜。OLED 的亮度为 100~14 000cd/m<sup>2</sup>,而目前最好的笔记本电脑的 TFT 显示屏的亮度为 350~400cd/m<sup>2</sup>。OLED 显示器的对比度高,色彩鲜艳,色彩还原性好,色彩效果更加丰富。OLED 显示器的亮度范围远远超过人眼的观察范围,因此,显示屏的亮度可以在保持影像对比度、阴影和高光不变的情况下进行调整。

③ 可视角度。由于 OLED 和 LCD 的发光源不同(前者是放射物质,后者是映像物质),所以 OLED 显示器拥有非常大的可视角度,其视角上下、左右一般可以达到 160°以上,无视角范围限制,而传统的 LCD 则存在视角小的问题。由于 OLED 显示器具有主动发光特性,属于发射型设计,所以视域范围也要宽很多。

④ 响应时间。目前 LCD 屏幕的主要缺点表现在响应时间较长,对于一些游戏等快速画面的显示会出现拖尾现象,而 OLED 显示器可彻底解决这个问题,这主要归功于 OLED 器件单个像素的响应速度得到了显著提升。OLED 器件主要依靠电压来调整,单个像素的响应速度仅为  $10\mu\text{s}$  左右,比 LCD 快上千倍,两者相差悬殊。OLED 完全可以实现高清晰的视频回放和 3D 游戏显示,甚至能与 CRT 的响应速度相媲美,播放快速运动画面时人眼不会察觉到拖尾现象。这在显示活动图像时显得至关重要,能支持多媒体应用。这使其能够彻底摆脱 LCD 的延迟问题,更快、更平滑地显示画面,更适用于显示高速运动的图像,可应用于电视机和游戏机等音像产品中。

⑤ 适应性强。由于 OLED 器件为全固态机构,且无真空、液体物质,所以抗震性能良好,可以适应巨大的加速度、振动等恶劣环境。OLED 的低温特性好,在  $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$  的温度范围内都可正常工作,从而使 OLED 的应用范围可以更加广泛,尤其适用于军事、航天领域。

⑥ OLED 采用低电压直流驱动,功耗低,驱动电压仅需  $2\sim 10\text{V}$ ,而且安全,噪声低,适用于便携式移动显示终端,并可与太阳能电池、集成电路等相匹配。

⑦ 显示能力强。理论上, OLED 显示器是可以显示无数种颜色的,而且由于没有背光灯的影响,所以,当像素在显示黑色时也可以达到全黑效果,在对比度上有一定优势。OLED 显示器技术拥有出色的色彩还原能力、高清晰度、高分辨率,可全彩化,色彩丰富,暗视与亮视画质皆优良。OLED 显示器在亮度和色彩方面具有明显的优势。

⑧ 成本低。OLED 对材料和工艺的要求都比 LCD 低,它是人造的超薄有机薄膜层。这并不要求在真空环境下完成,也不需要成本高的半导体制造处理技术,所以它的制造成本低。OLED 若实现量产,其成本要比 LCD 至少节省 20%,因为在制造工艺上,与 LCD 复杂和精密的结构相比, OLED 所需材料很少,它只有一个底层,制造工艺也相对简单,只需要 86 道工序,而 LCD 却需要 200 道以上工序,它对材料和工艺的要求都比 LCD 减少约  $1/3$ 。在重量方面, OLED 要比 LCD 轻,这也是将来在显示屏生产中现有的 LCD 技术会被 OLED 技术所取代的原因。

⑨ 体积小。由于 OLED 本身就会发光,不需要背光灯以及外部的光源,所以,它比现有的 LCD 轻便。OLED 使用塑料、聚酯薄膜或胶片作为基板, OLED 显示器可以做得很薄、很纤细。一般一块 OLED 面板的厚度为  $1\sim 2\text{mm}$ ,仅为普通彩色 LCD 的  $1/3$ ,利用它可以轻易制造出厚度为  $3\sim 4\text{mm}$  的显示器。这种显示器可以薄如一张纸贴在墙壁上使用,也可用于制作电子报纸,或被嵌在衣物上。OLED 易于实现薄型化,且电容小,重量轻,便于携带,是实现壁挂式、可卷可折式电视的最理想的技术。OLED 的生产更近似于精细化工产品,因此,可以在塑料、树脂等不同的材料上生产。如果将有机层蒸镀或涂布在塑料基衬上,就可以实现软屏。最新的技术可以使 OLED 显示器折叠弯曲,甚至可以卷起来,其产品的应用范围可进一步扩展。

⑩ 平面大尺寸。OLED 显示器可制成较大的尺寸。OLED 为塑胶材质,因此,可以将其制作成大面积薄片状结构。而想要使用如此之多的晶体并把它们铺平,则要困难得多。

在制造上, OLED 采用有机材料,可以通过有机合成方法获得,与无机材料相比,不仅不耗费自然资源,而且还可以通过合成新的性能更好的有机材料,使 OLED 的性能不断地提高。此外,有机化合物种类繁多,结构多种多样,可以通过有机合成手段设计和合成出满足各种色彩和工艺要求的制造 OLED 的材料。

OLED 因为只有一层玻璃底板,所有的薄膜都可以蒸发或喷涂上去,而 LCD 则需要两层

玻璃板，因为在它们中间需要填充液晶物质，所以 OLED 的工艺流程要比 LCD 简单得多。OLED 和 LCD 结构的比较如图 1-1 所示。

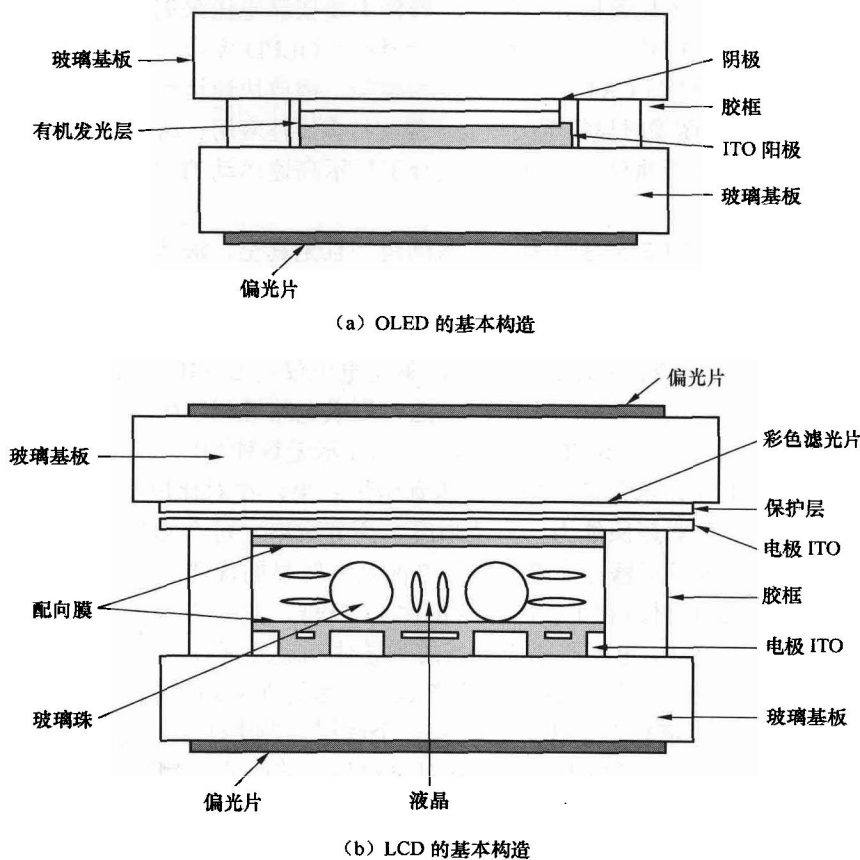


图 1-1 OLED 和 LCD 结构的比较

同时，由于 OLED 还可以在不同材质的基板上制造，故在外形设计上可以做出各种各样的弯曲形状的柔软显示设备来满足各种需要。此外，OLED 单个像素的尺寸可以相当小，并且还有很大的发展潜力，特别适合应用在今后高速发展的微显示设备中。

从 OLED 器件的结构、制作工艺、材料开发等多方面来考虑，与现在实际应用及正在开发的各种显示器件相比，可以说 OLED 是一种理想的显示技术。但现阶段 OLED 在使用寿命方面仍有待改善，生产技术也还远远没有成熟。OLED 与 LCD 特性的比较见表 1-1。

表 1-1

OLED 与 LCD 特性的比较

比较项目	OLED	LCD
发光方式	自发光	需要背光源
耗电量	比 LCD 面板低，约为 TFT-LCD 的 3/2	背光源面板耗电量大
面板厚度	1~1.8mm	含背光源时为 5mm
面板重量	应用在手机显示器中，会比 LCD 面板轻	应用在手机显示器中，重量在 10g 以下
反应时间	10 $\mu$ s	40 $\mu$ s

续表

比较项目	OLED	LCD
视角广度	大于 160°	大于 120°
对比	大于 100:1	大于 100:1
光电效率	10lm/W	4~8lm/W
操作温度	-40~60℃	0~50℃

### (3) SM-OLED 与 P-LED 的比较

SM-OLED 与 P-LED 在材料、制程、设备、器件特性、专利授权等方面的比较如下。

① 材料方面。SM-OLED 与 P-LED 材料有共同的特性，都含有共轭化学结构，具有较高的荧光效率 (Fluorescence Efficiency)，唯有两者的分子量差异相当大，小分子材料的分子量一般为数百，而高分子材料则在数万至数百万之间。就材料的取得而言，小分子材料的合成与纯化都比高分子材料简单，对材料量产与纯度的要求较易满足。相对而言，小分子材料的特性比高分子材料容易掌握，但热稳定性与机械性质却是高分子材料较佳。

② 设备方面。材料特性的差异将导致器件制程设备不同，小分子采用加热蒸镀 (Thermal Evaporation) 的方式来蒸镀多层有机膜材料，为了避免不同材料间的相互污染，故需使用多腔体的真空设备，因此设备的成本较高。P-LED 是采用溶液旋转涂布 (spin-coating) 方式来涂膜的，与 CD-R 的制程相似，设备成本较低，而且 P-LED 可应用滚筒 (roller) 或屏幕 (screen) 方式涂膜，较利于大尺寸显示器的发展。

③ 制程方面。P-LED 虽然通过采用溶液旋转涂布方式可快速上膜，但其在涂膜后仍需经过烘烤以去除溶剂，因此其成膜时间并不会比 SM-OLED 短，这将影响量产制程的产量。目前已有多家 SM-OLED 大厂制作出了全彩显示器原型，而 P-LED 却仍受限于红、绿、蓝三像素独立定位困难的瓶颈，至今迟迟无法推出全彩的 P-LED 显示器，目前以喷墨定位方式是较可行的解决方案。

④ 器件特性方面。发展至今，两种器件的发光效率皆可高于 15 lm/W，P-LED 甚至可超过 20 lm/W，且它可在较高的电流密度与温度下工作。

⑤ 专利授权方面。目前剑桥显示技术 (CDT) 公司希望能加速 P-LED 的商业化，对 P-LED 技术转移与专利授权的态度转趋积极，相对于柯达公司开放得多。

### (4) OLED 存在的主要问题

OLED 相对于目前主流的 LCD 有一些无法比拟的优势，当然目前的 OLED 还存在一些缺点。虽然 OLED 的发展历程已有 20 年，但其真正规模生产只是近期短短几年的事情。OLED 的生产技术目前尚未成熟，欲全面挑战 LED 和 LCD，显然还需要一段时间。目前 OLED 所存在的主要问题有以下几个。

① 生产效率和生产成品率低，生产成本居高不下，制造过程成本高，失去了成本比较低的优势。

② 寿命还不够长。目前 OLED 的实际寿命仅约为 10 000h，在使用 1 000h 之后，OLED 的参数开始劣化，超过半衰期 5 000h 之后，64 灰阶面板的亮度则开始下降。OLED 对更新频率比较快的手机类产品的影响不大，但对于汽车仪表和寿命至少是 15 000h 的电视机来说，目前 OLED 的寿命是不能满足要求的。OLED 的使用寿命仍不及 LCD，如果要应用在电视机上，寿命必须达到 10 000h 以上，而现在的 OLED 的使用寿命刚好跨过这个门槛。红与绿 OLED

薄膜虽寿命长(10 000~40 000h),但蓝有机物目前寿命短(只有约1 000h)。

③ 不能实现大尺寸屏幕的量产,目前成本较高。目前 OLED 只适用于便携式数码类产品,超过 90%的 OLED 产品仅限于应用在手机和 MP3 等小尺寸面板产品上。虽然高分子 OLED 投资较小,有利于大尺寸显示面板的开发,但在材料、生产设备和良品率的控制等方面有些技术瓶颈仍有待于解决。因此,在大尺寸显示应用方面, OLED 欲挑战技术十分成熟的 LCD,面临诸多困难。

④ 存在色彩纯度不够的问题,不容易显示出鲜艳、浓郁的色彩。OLED 出现各种色彩不均匀的原因是红、绿、蓝这 3 个像素需要不同的驱动电压,导致色彩平衡性较差,精细度有待加强。每种彩色的老炼时间并不一致,色域尚未满足欧洲广播联盟(EBU)制定的规范。

⑤ PM-OLED(Passive Matrix,被动矩阵)的分辨率较低,高分辨率彩色图像显示需采用 AM-OLED(Active Matrix,主动矩阵)。

### (5) OLED 面临的挑战

OLED 当前面临的挑战如下。

- ① OLED 目前仅局限于小屏幕显示。
- ② 由于受蒸镀设备的限制,故 OLED 的生产效率较低,目前成品率尚低。
- ③ 化学工业界对投资研发 OLED 新型材料的力度不大。
- ④ 不易获得发光效率大于 10lm/W(白光)的材料。
- ⑤ 目前制成 TFT-OLED 屏的成本还很高。

### 3. 技术突破

现在有关 OLED 技术主要基于以下三大专利。

- ① 柯达公司的以小分子为对象的器件基本结构专利。
- ② 针对高分子材料材料专利。
- ③ 实现高效率发光的三线态发光材料专利。

其中第 1 项和第 3 项由美国企业控制,第 2 项由英国控制,而与 OLED 应用及产业技术相关的绝大多数专利则由日本企业所控制。OLED 技术的发展方向是从小尺寸、低分辨率的 PM-OLED 向大尺寸、高分辨率的 AM-OLED 发展,同时研究柔性 OLED 显示器及白光 OLED 照明等。虽然 OLED 技术相对于 LCD 有多方面的优势,但它要想真正实现产业化,还必须突破以下技术瓶颈。

① 研发用于 AM-OLED 的低温多晶硅 TFT 技术,尤其是解决结晶化技术、TFT 亮度补偿技术及 TFT 基板制程工艺等问题。

② 提高 OLED 的亮度。目前 OLED 显示器的实际亮度远未达到其理论值,需研究新的器件结构,如在阴极和阳极内侧加缓冲层,选用逸出功低且大气稳定性好的阴极材料,开发逸出功大且透光性好的阳极材料,研究能级结构对发光更有效的有机材料等;还要求透明电极 ITO 的面板阻抗小,但更小阻抗的 ITO 基板的开发生产目前比较困难,因此将影响 OLED 亮度的进一步提高。

③ 进行新的高效有机材料的研究。OLED 技术发展的另一个重要方面是研究低驱动电压、高发光效率的新型有机发光材料,进行荧光材料的改良及磷光材料研究。

④ 改善生产工艺,提高成品率,降低成本,确保市场竞争力。和目前的 LCD 电视机相比, OLED 电视机面临的最大问题就是制造成本高。受到制造工艺的制约,面积越大的 OLED 面板的成本也越大,尽管 2.4 英寸、2.8 英寸的 OLED 面板的价格相对于 LCD 面板不会高出

太多,但若屏幕尺寸增加到了 11 英寸、14 英寸、31 英寸甚至是 40 英寸, OLED 面板的成本就要远远高于 LCD 面板。

⑤ 有机膜的不均匀性将导致发光亮度和色彩的不均匀性,显示面板尺寸增大则意味着显示器件必须有很高的瞬间亮度和较高的发光效率,并在高亮度下有良好的稳定性。目前很多 OLED 还都是单色,从单色显示到全彩显示, OLED 需要将 3 种不同的发光材料分别镀在同一像素的非常接近的 3 个小区域上,这也是一大技术难题。

LCD 面板普遍存在色彩饱和度不高问题,但可通过对背光源的改进,如在 CCFL 背光源中加入磷粉等特殊物质,或更换为三色 LED 背光源,从而大大提升 LCD 电视机或 LCD 显示器的色域,并且逐渐解决 LCD 面板在色域方面的问题。但由于 OLED 不存在背光源,因此,若要改善 OLED 的色彩效果,只能通过其他手段来进行,这一弱势依然在困扰各大 OLED 厂商。

⑥ 延长器件的寿命和提高稳定性。OLED 的寿命与 CRT、LCD 相比仍有较大的差距,因此,提高器件的发光效率,减小发热对器件寿命的影响,同时改进制备工艺,加强对基底材料的超净处理并减少氧、水汽对器件的侵蚀以延长器件寿命和提高稳定性是 OLED 技术发展需要解决的重要问题。OLED 面板目前的使用寿命与其理想值(30 000h)还差得很远,目前用于手机显示屏的 OLED 的寿命也只在 10 000h 左右。

## 1.1.2 OLED 技术及产品发展历程

### 1. OLED 技术的发展历程

有机电致发光现象及相应的研究早在 20 世纪 60 年代就已开始了。1963 年美国纽约大学的 Pope 发表了世界上第一篇关于 OLED 的文献,他当时将数百伏的电压通过蒽(Anthracene)晶体时观察到了发光的现象,揭开了有机发光器件研究的序幕,但由于过高的电压与不佳的发光效率, OLED 在当时并未受到重视。

1970 年, D.F.Williams 等人在 100V 驱动电压下得到了量子效率达 5% 的有机 EL 器件。

1979 年,柯达公司的邓青云博士发现一块做实验用的有机蓄电池在发光,从而开始了对 OLED 的研究,这就是后来被誉为继 LCD 之后的下一代平面显示器的 OLED 技术的起源。

1982 年, Vincett 等用真空蒸镀法制成了 50nm 厚的蒽薄膜,进一步将电压降至 30V 就能观察到蓝色荧光,但其外量子效率只有 0.03% 左右,这主要是由于电子的注入效率太低以及蒽的成膜性不好,存在易击穿缺点。

1987 年,美国柯达公司的 C.W.Tang 及其合作者采用新结构和新材料,首次将空穴传输层引入到了有机薄膜发光器件中,制备了具有双层结构的器件,通过在类似于传统 PN 二极管的器件中用它来代替无机的半导体,用较低的驱动电压产生了电激发光。该研究采用超薄膜技术及空穴传输效果更好的 TPD 作为传输层,使有机电致发光获得了历史性突破。当时使用的组件结构为 ITO、Diamine、Alq<sub>3</sub>、Mg:Ag,具有 1% 的外部量子效率,在低于 10V 的工作电压下有超过 100cd/m<sup>2</sup> 的亮度,效率超过 1.5lm/W。这种器件具有轻薄、低驱动电压、自主发光、宽视角、快速响应等优点,使有机电致发光的研究开始了一个新的阶段。这种器件的基本原理是:在外电压驱动下,由电极注入的电子和空穴分别经过电子传输层和空穴传输层进入发光层复合而释放出能量,并将能量传递给有机发光物质的分子,使其受到激发,从基态跃迁到激发态,受激分子从激发态回到基态时辐射跃迁而产生发光现象。

1988—1989年, C.Adachi 和 W.Tokito 等研制成功了3层薄膜结构的 OLED, 这种 OLED 可发出鲜亮的红光。1989年 C.W.Tang 等对发光层进行 DCM1、DCM2 掺杂, 使掺杂  $Alq_3$  的荧光产生率高达 40%, 是未掺杂的 3~5 倍, 在低于 10V 的驱动电压下, 内量子效率(发射光子数与注入电子数之比)约为 2.5%。

1990年, 英国剑桥大学的 Burroughes、Friend 等人发现导电高分子材料 PPV 具有良好的电致发光性能, 并成功地以涂布方式将高分子材料应用在 OLED 上, 制成聚合物 OLED 器件, 即 Polymer LED, 亦称为 P-LED。由于聚合物材料的热稳定性、柔韧性和机械加工性能都比有机小分子材料优越, 并且器件的制作工艺更加简单, 因而聚合物正逐渐成为有机发光领域新的研究热点, 开创了聚合物在有机发光领域的应用。这项研究进一步促进了有机发光显示器件的研究, 应用更加广泛、性能更加优越的器件不断涌现。

从 1987 年柯达公司和 1990 年英国剑桥大学先后对 OLED 及 P-LED 的技术发表研究成果至今, OLED 技术在短短的 20 年内已有相当大的进展, 尤其在发光效率的提升方面进展更是快速, 如 OLED 绿光组件的发光效率从 1987 年的  $1.5lm/W$  提高到  $16lm/W$ , P-LED 组件的效率从 1990 年的小于  $0.11lm/W$  (黄绿光组件) 提高到  $20lm/W$  以上 (绿光组件)。有机电致发光技术发展得这么迅速主要是因为有众多的厂商投入研究开发, 另外就是制程比 LED 容易 (有机电致发光组件不需要长晶制程, 也没有晶粒制作的程序, 而是一个大面积的涂布制程, 不像 LED 有许多复杂的制程)。

1992年, Heeger 等人第一次用塑料作为衬底制备柔性显示器, 将有机电致发光显示器最为创新的一面展现在人们的面前。他采用聚苯胺 (PANI) 或聚苯胺类的混合物作为导电材料, 通过溶液旋涂的方法在柔性透明衬底材料 [聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)] 上形成导电膜, 并以此作为发光器件的电极制备高分子柔性 OLED 显示器件。

1994年, J.Kido 等人利用稀土配合物研制出发纯正红光的 OLED, 亮度达  $460cd/m^2$ 。在实验中, 他们在 ITO 透明膜上蒸镀 TPD 膜作为空穴传输层, 然后按 1:3 的比例  $\{n[Eu(DBM)3(Phen)]:n(PBD)\}$  蒸镀掺杂膜作为发光层, 再蒸镀  $Alq_3$  作为电子传输层, 最后蒸发镁铝合金作为阴极。对其电致发光光谱的研究表明, 这种器件的发光光谱位于  $614nm$ , 半高宽度仅为  $20nm$ , 是稀土金属铕  $Eu^{3+}$  的特征光谱, 与器件的结构无关。

1997年, Forrest 等人发现了磷光电致发光现象, 突破了有机电子发光量子效率低于 25% 的限制, 使有机平板显示器件的研究进入一个新时期。

1998年 M.A.Baldo 等人发现使用一般有机材料或采用荧光染料掺杂制备的有机发光器件由于受自旋守恒的量子力学跃迁规律的约束, 其内量子效率最大仅为 25%。因为一对电子、空穴相互束缚而产生的激子 (exciton) 有一个自旋为零 ( $S=0$ ) 的单线态, 同时相伴有 3 个自旋为 1 ( $S=1$ ) 的三线态, 而有机半导体的基态为自旋为零的单线态, 按照量子力学跃迁规律, 三线态的激子向单线态的基态跃迁被禁止, 三线态的激子只能被热耗损掉, 不能发射光子, 对发光没有贡献, 只有单线态的激子能向基态跃迁发射光子。M.A.Baldo 采用磷光染料八乙基卟吩铂 (PtOEP), 对有机发光层材料进行掺杂, 制备出的 OLED 的发光效率达 4%, 内量子效率达 23%, 且发光效率随掺杂浓度的增大而增大。

1999年 D.F.O'Brien、M.A.Baldo 等人在研究激子传输规律之后, 提出用 BCP (一种传输电子的有机导电聚合物) 制作空穴阻挡层, 用磷光染料 PtOEP 掺杂, 制备出的 OLED 的发光效率达 5.6%, 内量子效率达 32%。2000年 8 月, 该研究小组又用二苯基吡啶铱  $[Ir(ppy)_3]$  掺

杂 TAZ 或 CBP (都是电子传输材料), 制备出的有机发光器件的发光效率高达  $(15.4 \pm 0.2)\%$ , 发光效率为  $(40 \pm 2) \text{ lm/W}$ , 在低亮度条件下内量子效率接近 100%。

现在, OLED 的产品已从实验室走向了市场。1997—1999 年, OLED 显示器的唯一市场是用在车载显示器上, 2000 年以后产品的应用范围逐渐扩大到手机显示屏。OLED 在手机上的应用又极大地推动了其技术的进一步发展和应用范围的迅速扩大, 对现有的 LCD、LED 和 VFD 提出强有力的挑战。

现在, OLED 的主要应用领域是平板显示器, 在中小尺寸显示面板上与 LCD 已有竞争力, 并且在手机、MP3、MP4、个人数字助理 (PDA)、数码相机及音响显示面板等小尺寸产品中占据了半壁江山。OLED 是继 CRT、PDP、LCD 等之后的新一代显示器, 很有可能成为平板显示器的未来之星。

除了显示应用外, 由于 OLED 为平面发光光源, 而且可在轻薄、可挠性的基材上形成阵列结构, 故也非常适合用作照明光源。OLED 是一种软片, 如同一张纸一样, 可以发射出更多的发射光线。而 LED 近似于点光源, 只是在投光和聚光应用中更加具有优势。因此, OLED 是除 LED 之外的另一种有潜力的、被人们看好的固态照明光源。

## 2. OLED 产品的发展历程

目前, OLED 的研究已不限于学术界, 几乎所有的国际著名的电子公司及化学公司都投入巨大的人力与资金进入这一研究领域, 呈现研究、开发与产业化齐头并进的局面。在国家层面, 各国对 OLED 的研究都非常重视, 如美国的政府机构 DARPA 组织了塑基全色发光大屏幕显示器 (军用目的) 的重大项目; 欧共体早已成立了相关专业组织 EuroLED, 协作分工, 联合开发有机物、高分子电致发光材料与器件。

在产品开发层面, OLED 真正的实用开发研究源于 1987 年美国柯达公司的基本专利发表之后, 1997 年日本先锋公司率先把分辨率为  $256 \times 64$  的 PM-OLED 面板作为汽车音响面板推向市场, 最早实现了 OLED 的商品化。随后各国厂商陆续投入开发与量产 OLED, 其显示方式也逐渐从单色面板、区彩面板发展到全彩面板, 而其驱动方式也从被动矩阵发展至主动矩阵。

1999 年, 日本先锋公司成功开发出 5.2 英寸、分辨率为  $320 \times 240$ 、256 色的全彩 PM-OLED 面板。

1999 年, 美国柯达公司与日本三洋公司合作开发出世界上第一台主动驱动的全彩 2.4 英寸 OLED 显示屏, 不到一年又生产出主动驱动的 5.5 英寸 OLED 显示屏。

2000 年, 摩托罗拉公司的手机采用日本先锋公司的 1.8 英寸多彩 PM-OLED 面板并实现商品化。

2000 年, 美国施乐公司与 3M 公司合作推出一种可随身携带的纸状 OLED 电子显示器。

2001 年 2 月, 日本索尼公司推出分辨率为  $800 \times 600$  的 13 英寸主动式 OLED 显示器。

2001 年, 三星公司推出搭载全彩 PM-OLED 面板的手机。

2001 年 4 月, 美国 eMagin 公司针对手机推出了真彩色有机 EL 微型显示屏, 其分辨率为  $800 \times 600$ , 也可以在 16:9 的宽屏幕模式下显示  $852 \times 480$  分辨率的图像, 能够显示 166 万种以上的颜色。

2001 年 12 月, 铼宝公司推出了使用自产的单色 OLED 显示屏的手机产品。

2002 年 9 月, 三星公司开始批量推出采用 256 色 OLED 副屏的手机。



2002 年, 富士通在 F505i 手机次屏幕上配置日本先锋公司生产的 1.0 英寸全彩 PM-OLED 面板, 自此 PM-OLED 在手机次屏上的应用随之大量兴起。

2002 年, 东芝公司在 SID (Society for Information Display) 展会上发布了采用聚合物发光层的 17.1 英寸全彩 OLED 显示器, OLED 面板尺寸得到突破。

2002 年 10 月, 韩国 SK 公司宣布生产出了 15 英寸 AM-OLED 显示器, 其性能可与商品化的 TFT-LCD 电视机媲美。

2003 年, 柯达公司推出第一部使用 OLED 显示器的数码相机。

2003 年 3 月, 北京维信诺公司和清华大学成功开发出 4.82 英寸 OLED 显示屏, 首次填补了国内 2 英寸以上 OLED 显示屏的空白, 这对我国显示行业能够参与即将开始的第三代显示产品的市场竞争具有重大意义。

2003 年 4 月, 三洋公司的新款手机采用 OLED 主面板, 此主动驱动全彩 OLED 面板手机为全球第一部, 也是继 NEC 与 NTT 合作推出的 FOMAN2001 手机后全球首个量产的全彩主动驱动式 OLED 面板手机。

2003 年 5 月, 奇美公司在 SID 展会上展出了使用非晶硅 TFT 底板的 20 英寸 OLED 面板。

2004 年, 三星公司成功开发出了 14.1 英寸、分辨率为  $1\ 280 \times 768$  的 WXGA 面板。

2004 年 5 月, 日本精工爱普生公司使用喷墨打印技术制备了当时世界上第一台大尺寸(40 英寸)全彩高分子 OLED 原型机, 显示屏厚度仅为 2.1mm。

2004 年 9 月, 索尼公司在 CLIEPEG-VZ90 型个人娱乐装置上采用 OLED 屏幕。

2004 年 9 月, 索尼公司在市场上推出了少量搭配 3.8 英寸 AM-OLED 面板的 PDA, 其高超的技术、精美的制作、绚丽的色彩引起了广泛的关注。

2005 年 1 月, 三星公司开发成功了 21 英寸高清晰度  $1\ 920 \times 1\ 080$  的 OLED 面板, 后来又推出了 40 英寸面板。这款面板由三星公司第四代产品生产线生产, 母版玻璃尺寸为  $730\text{mm} \times 920\text{mm}$ 。由于采取了新的封装技术, 面板厚度仅为 1mm, 而且在亮度为  $1\ 000\text{cd}/\text{m}^2$  的条件下, 寿命可维持 10 000h。

2007 年, 日本索尼公司推出了 11 英寸的 OLED 彩色电视机, 率先实现 OLED 在电视领域的应用, 其优良的画质特征彰显了 OLED 在大尺寸显示领域的广阔应用前景。

整体上讲, OLED 的产业化目前已经开始, 其中单色、多色和彩色器件已经达到批量生产水平, 大尺寸全彩器件尚处于研究开发阶段。OLED 的应用大致可以分为以下 3 个阶段。

① 1997—2001 年为 OLED 的试验阶段。在这段时期 OLED 开始走出实验室, 主要应用于汽车音响面板、PDA 及手机方面。但产品很有限, 产品规格少, 均为无源驱动、单色或区域彩色, 在很大程度上带有试验和试销的性质。

② 2002—2005 年为 OLED 的成长阶段。在这段时期人们开始逐渐接触到更多带有 OLED 的产品, 例如车载显示器、PDA、手机、数码相机、头戴显示器等, 但主要以 10 英寸以下的小面板为主, 10 英寸以上的面板也开始投入使用。

③ 2005 年以后, OLED 开始走向一个成熟化的阶段。在 2008 年后这种成熟化加速, 包括技术、市场都在突飞猛进。大尺寸及使用寿命将成为今后 OLED 技术的主要突破方向。

### 3. OLED 制备工艺简介

OLED 显示器件的制备工艺包括 ITO 玻璃清洗、光刻、再清洗、前处理、真空蒸镀有机