

LED/OLED  
技术与应用丛书



# OLED

## 梦幻显示器 ——材料与器件

陈金鑫 黄孝文 著 周志敏 审校

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

LED/OLED  
技术与应用丛书



# OLED

## 梦幻显示器 ——材料与器件

陈金鑫 黄孝文 著 周志敏 审校

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

OLED梦幻显示器：材料与器件 / 陈金鑫, 黄孝文著  
— 北京：人民邮电出版社, 2011. 6  
(LED/OLED技术与应用丛书)  
ISBN 978-7-115-25178-7

I. ①O… II. ①陈… ②黄… III. ①电激发光—发光材料②电激发光—发光器件 IV. ①TB39②TN383

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第060302号

## 版权声明

本书中文简体版由(台湾)五南图书出版股份有限公司授权人民邮电出版社在大陆地区出版发行。

## 内 容 提 要

有机发光二极管(OLED)作为新一代显示与发光器件,具有诸多优越的性能和不可抗拒的魅力。本书结合OLED的发展趋势和应用情况,系统地介绍了有机材料的特性、电激发光组件的结构和原理、电荷注入与传递材料、荧光发光材料、磷光发光材料、提高OLED效率和延长其寿命的方法、OLED的组件设计、OLED显示器等内容。

本书内容新颖、实用,技术先进,适合从事OLED研究、开发、生产以及应用的工程技术人员阅读,也适合高等院校相关专业的师生参考。

LED/OLED 技术与应用丛书

### OLED 梦幻显示器——材料与器件

◆ 著 陈金鑫 黄孝文

审 校 周志敏

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 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 17.25

字数: 427千字

2011年6月第1版

印数: 1-3500册

2011年6月河北第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2010-6572号

ISBN 978-7-115-25178-7

定价: 55.00元

读者服务热线: (010)67170985 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

有机电发光 (EL) 是电能激发有机材料放光的现象, 早在 50 年前就被发现了, 但是, 由于缺乏在显示组件上应用的功能, 长久以来, 这种电发光现象一直都没有被广泛注意, 只是作为探讨有机分子结晶的电荷注入、传输及放光的基础被研究。不过, 自 1987 年有机发光二极管 (OLED) 诞生以后, 这种情况就发生了戏剧性的改变。简单地说, OLED 是一种利用多层有机薄膜结构产生电发光的器件, 它很容易制作, 而且只需要低的驱动电压, 这些主要的特征使得 OLED 在满足平面显示器的应用上显得非常突出。所以, 当 OLED 发明之后, 世界各国几乎同时立刻投入了大量的研发资源在平面显示技术的开发上。OLED 拥有的超越 LCD 的显示特性与品质, 极有可能成为下一代主流平面显示器。

由于各界多年来的投入与努力, OLED 在基础科学上的发展有了极大的进展, 特别是在几个关键组件显示特性的改良方面, 如发光效率、工作稳定度及光色。近年来, 有机电发光的急速发展, 使得 OLED 平面显示器已可在每单位瓦特流明度 (lm/W) 的发光功率上独占鳌头。在使用寿命上, OLED 也已达到符合便携式平面显示器应用需求的程度, 预计将被广泛运用到一些显示品质高的消费型电子产品中, 如平面电视。运用各种全彩图案及掺杂调变光色 (doping) 的技术, OLED 平面显示器的色幅度 (color gamut) 已达到 NTSC 的国际电视显示标准。这些重要的成就归功于许多跨领域的研发与合作, 包括材料化学 (如有机传输及发光材料)、OLED 组件结构的改良、界面能阶物理学、电极接触工程学 (contact engineering), 以及有关无晶型有机薄膜的电荷注入、传输、再结合与组件衰老机制的认知等基础科学。

众所周知, 文献上已载有许多关于 OLED 科技发展的研究报告及回顾论文, 而这本书无疑将会是 OLED 科技界又一本重要的文献, 因为它对目前最新的 OLED 技术与科学进行了详尽、完整的诠释与报导。此外, 这本书也将会成为所有有志从事 OLED 产学研的学生及研究员的参考书, 它不但深入浅出地介绍了 OLED 的基础知识, 而且也介绍了许多最新的技术进展与发展趋势, 特别是本书作者详细地叙述了有机电发光材料的演进及最新发展。

在此, 我要感谢中国台湾交大显示科技研究所陈金鑫 (Fred Chen) 教授及黄孝文博士为我们写了这么一本好书。在私交上, 陈教授是我在美国柯达研究实验室的老伙伴, 我们早在 OLED 刚发明的时候就在一起合作, 在 1989 年时, 又一起发现了由有机掺杂色素导致电激调变颜色的放光现象, 这就是目前广泛应用在 OLED 平面显示器上的掺杂型有机电发光技术。我特别高兴看到我的老朋友能够联合黄博士一起撰写这本中文的 OLED 巨作, 因为我们不但对研发 OLED 拥有极大的兴趣与热情, 同时我们也爱中国的传统与文化。(作者译)

邓青云

美国柯达公司

写于纽约州罗彻斯特市

# 序 1

《OLED: 有机电激发光材料与组件》自 2005 年年初完稿以来, 已经过了两个年头, 出版以后承蒙读者及各界同仁给予我们的支持与鼓励, 此书先后已印刷了 3 次共达 3000 册, 由此可见 OLED 平面显示技术给中国台湾产学研界所带来的期待与吸引。2007 年我们还将本书的初版授权给清华大学出版社用简体中文发行, 以满足祖国大陆广大读者的需求。

但是, 就如我在初版序中所讲的, OLED 平面显示技术的进展可以说是日新月异, 往往今年亮丽耀眼的成果到明年已是黄花落日, 面临淘汰的命运, 鉴于此, 我与孝文决定将这本初版的 OLED 图书加以全盘翻新。为了报导最新信息, 我们加入了近两年来国际信息显示学会(SID)及相关研讨会的论文, 包括一些重要的创新技术将于 5 月底发表在 SID 2007, Long Beach, CA 的年会里。在内容方面, 我们添加了几乎所有新兴 OLED 材料与组件的进展, 包括新颖材料的发明、组件构造的改良、发光效率与功率的提升、工作寿命的增长、高生产量的制程、高效率白光组件(WOLED)、激光 RGB 转印技术(LITI、RIST 及 LIPS)及未来的主动(AM)可挠曲式面板等。书中新增的参考文献有 100 多篇, 新增的图表有 50 多张; 为了控制篇幅与成本, 也更换、淘汰了部分不适用的文献、图表及报导。与初版一样, 我们要求台湾五南图书出版有限公司尽量用彩色印刷, 好让读者看到有色彩的图片示意, 这样不但会产生更大的吸引力, 书的解读效果也较好。

回顾这两年中国台湾的 OLED 产业, 可以说是经历了风风雨雨、大起大落, 从两年前的高峰激发态, 到如今跌翻谷底, 大半的能量和资金似乎已被耗尽。市面上能听到的无不是些负面的消息, 从光磊、东元、联宗、翰立的相继停产或停售, 到悠景的暴发财务危机与重起炉灶, 铄宝的减资重整, 还有友达的无限期暂停。现今在中国台湾台面上还有一点亮的, 好像只剩下奇晶了, 至于它还能撑多久, 有待我们的关心及关注。这些经历都给我们从事研发及推展 OLED 产业的朋友们带来无比的危机感。面临 LCD 无止境的庞大压力与杀价竞争, OLED 如何在这恶劣的大环境下脱困、东山再起, 进而发扬光大, 是我们大家必须面对的课题。

有趣的是, 世界各国投入在 OLED 上的研发能量却有增无减, 从 SID 的论文发表数量来看, OLED 与 LCD 已不相上下, 在 2006 年甚至还首度超越了 LCD。三星总裁 S.T.Kim 在 IMID 2006 的专题演讲中提到, 他们从 5 个国家里选了 1000 人来评估比较 AM-OLED 与 TFT-LCD 的整体显示品质, 结果经统计有 93% 的人觉得 AM-OLED 好(在第 1 章里我们会有详细的比较), 所以在三星 SDI, 他们称 OLED 为 21 世纪的终极显示器(the ultimate display)。所以, 我们要怎么样把这个信息传达给广大的消费大众及展示给显示市场, 同时, 还要好好掌握 OLED 最新的科技发展信息, 这是孝文与我在中国台湾多年来从事推展 OLED 的热忱, 也是我们重新写这本书的动机。我们相信一个完美的显示科技终会在不久的将来为大家所接受。因为韩国没有放弃, 日本在 OLED 的研发与创新上也从无间断(如 Sony 今年将率先销售 OLED 电视, 东芝一松下则表示在 2009 年以前量产大型 OLED 电视), 在欧美, 白光 OLED 应用在照明方面的研究已进行得如火如荼。



虽然中国台湾这几年经历了一些小挫折，但是，难道我们可以让这个完美无缺的梦幻显示器坐以待毙吗？

陈金鑫 黄孝文  
谨识于台湾新竹交通大学  
电子信息中心显示科技研究所  
2007年10月

## 序 2

本书作者经过多年的收集和整理，将有关最新的 OLED 科技知识及应用技术，包括基础理论、实用技术，甚至最新的前沿技术动态，以深入浅出的文字编写出来，在简介 OLED 显示技术的基础上，系统地讲述了 OLED 的基础知识、电荷注入与传递材料、荧光发光材料、磷光发光材料、OLED 的效率、OLED 的寿命、OLED 的组件设计、OLED 显示器等内容。本书是 OLED 有机电激发光平板显示技术领域的一本难得的教材，是从事 OLED 显示器、OLED 材料与器件研发和应用的工程技术人员的必备读物，也可供高等学校及研究生院相关专业的师生阅读参考。

本书作者陈金鑫为美国俄克拉何马州立大学有机化学博士，先后任美国俄亥俄州立大学博士后研究员、哈佛大学博士后研究员、美国柯达公司职员，现为中国台湾大学显示科技研究所及电子信息中心教授及 OLED 材料与器件研究实验室主任。

本书第二作者黄孝文为中国台湾成功大学化学工程博士，现任中国台湾交通大学电子信息中心 OLED 材料与器件研究实验室博士后研究员。

周志敏

# 目 录

<b>第 1 章 有机发光二极管显示技术简介</b> .....	1
1.1 概述.....	1
1.2 应用与发展.....	2
1.3 终极显示的追求.....	4
1.4 厂商概况.....	5
参考文献.....	10
<b>第 2 章 有机发光二极管的基础知识</b> .....	12
2.1 有机发光二极管的发展.....	12
2.2 有机材料的特性.....	13
2.2.1 吸收和发射.....	13
2.2.2 电荷在有机分子间的传递.....	16
2.2.3 有机分子的能态.....	19
2.2.4 有机分子的能态和与电极界面的能态关系.....	21
2.3 电激发光组件的结构与原理.....	22
2.3.1 组件电流的限制.....	23
2.3.2 组件的结构.....	25
2.4 光电特性与测量.....	27
2.4.1 发光效率.....	28
2.4.2 发光颜色.....	30
参考文献.....	32
<b>第 3 章 电荷注入与传递材料</b> .....	34
3.1 阴极材料.....	34
3.1.1 惯用金属材料.....	34
3.1.2 金属合金.....	35
3.2 阳极材料.....	37
3.2.1 导电氧化物.....	37
3.2.2 阳极的表面处理.....	38
3.3 空穴注入材料 (HIM).....	38
3.4 空穴输送材料 (HTM).....	41
3.5 电子注入层材料 (EIM).....	43
3.5.1 碱金属化合物.....	43
3.5.2 电子注入机制.....	44



3.5.3	N 型掺杂层	46
3.6	电子输送材料 (ETM) /空穴阻隔材料 (HBM)	47
3.6.1	恶唑 (oxadiazole) 衍生物和其树状物 (dendrimer)	47
3.6.2	金属螯合物 (metalchelate)	49
3.6.3	其他唑类化合物 (azole-based material)	51
3.6.4	喹啉衍生物 (quinoline)	52
3.6.5	喹啉 (quinoxaline) 衍生物	53
3.6.6	二氮蒽 (anthrazoline) 衍生物	53
3.6.7	二氮菲 (phenanthroline) 衍生物	53
3.6.8	含硅的杂环化合物 (silole)	54
3.6.9	全氟化的-(phenylene)s 寡聚物	55
3.6.10	其他有潜力的 ETM	56
3.7	载子移动率	57
	参考文献	67
<b>第 4 章</b>	<b>荧光发光材料</b>	<b>74</b>
4.1	概述	74
4.2	红光材料	74
4.2.1	DCJTB 相关的红色掺杂物	75
4.2.2	多掺杂物系统	78
4.2.3	双主发光体掺杂系统	80
4.2.4	非掺杂型红光荧光材料	83
4.2.5	多环芳香族碳氢化合物 (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) 类材料	86
4.3	绿光材料	87
4.3.1	香豆素 (coumarins) 衍生物	87
4.3.2	喹吖啶酮 (quinacridone) 衍生物的绿光掺杂物	90
4.3.3	多环芳香族碳氢化合物 (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH)	92
4.3.4	1H-pyrazolo[3,4-b]quinoxaline 类的绿光荧光掺杂物	92
4.3.5	最新绿光荧光掺杂物信息	92
4.4	蓝光材料	94
4.4.1	蓝光主发光材料	94
4.4.2	天蓝光掺杂物	106
4.4.3	深蓝光掺杂物	109
4.4.4	深蓝光组件的改善	111
4.5	黄光材料	115
4.6	白光材料	117
	参考文献	120
<b>第 5 章</b>	<b>磷光发光材料</b>	<b>125</b>
5.1	三重态磷光	125

5.1.1 发光原理	125
5.1.2 电激发磷光的发光机制	126
5.2 主发光体材料	127
5.3 红色磷光掺杂材料	131
5.4 绿色磷光掺杂材料	136
5.5 蓝色磷光掺杂材料	140
5.6 树状物磷光发光体	142
5.7 空穴/激子阻挡层材料	145
5.8 磷光组件的稳定度	147
参考文献	148
<b>第 6 章 有机发光二极管的效率</b>	<b>153</b>
6.1 影响有机发光二极管效率的参数	153
6.2 增进载子平衡的方法	157
6.2.1 增进电子注入效率	157
6.2.2 良好的电子传输材料	158
6.2.3 组件结构的改善	159
6.3 提高出光率的方法	161
6.3.1 减少不发光模式	161
6.3.2 减少全反射	161
6.3.3 减少波导效应	163
参考文献	165
<b>第 7 章 OLED 的寿命</b>	<b>167</b>
7.1 简介	167
7.2 非本质劣化因素	167
7.2.1 基板的平整度	168
7.2.2 微小颗粒的污染	168
7.2.3 有机层与电极层间的分层 (delamination)	169
7.2.4 金属层的表面微小孔隙 (pinhole)	170
7.3 本质劣化因素	172
7.3.1 有机膜的稳定性	173
7.3.2 阳极与有机层的接触面	175
7.3.3 激发态的稳定性	175
7.3.4 可移动的离子杂质	177
7.3.5 铟的迁移机制	178
7.3.6 不稳定的阳离子	179
7.3.7 正电荷累积的机制	180
7.3.8 再结合区的宽窄	181
7.4 平面显示器寿命	182

参考文献	182
<b>第 8 章 OLED 的组件设计</b>	<b>185</b>
8.1 穿透式与上发光 OLED 的结构	185
8.1.1 透明阴极的发展介绍	186
8.1.2 上发光组件的阳极	188
8.1.3 无电浆破坏的溅镀系统	189
8.1.4 微共振腔效应	190
8.1.5 阴极覆盖层	193
8.2 串联式 OLED 的结构	194
8.3 可挠曲式 OLED 的结构	196
8.3.1 基板	197
8.3.2 主动矩阵式驱动技术	199
8.4 p-i-n OLED 的结构	201
8.5 倒置式 IOLED 的结构	202
8.6 白光 OLED 的结构	203
8.6.1 多重发光层 (multiple emissive layer)	204
8.6.2 多掺杂发光层 (multiple dopants emissive ayer)	208
8.6.3 利用活化双体和活化错合物发射的 WOLED	210
8.6.4 其他 WOLED 的结构	211
参考文献	212
<b>第 9 章 OLED 显示器</b>	<b>217</b>
9.1 前言	217
9.2 OLED 全彩化技术	217
9.2.1 红、蓝、绿像素并置法 (side-by-side pixelation)	217
9.2.2 色转换法 (color conversion method, CCM)	219
9.2.3 彩色滤光片法	220
9.2.4 微共振腔调色法	221
9.2.5 多层堆栈法	222
9.3 驱动方式	223
9.3.1 被动矩阵驱动方式	223
9.3.2 主动矩阵驱动方式	225
9.4 灰阶	230
9.4.1 模拟驱动: 电压编程与电流编程	231
9.4.2 数字驱动	232
9.5 对比	233
9.6 面板功率损耗	235
9.6.1 功率效率的增进	235
9.6.2 显示画面的设计	236

---

9.6.3 显示模块的设计 .....	236
9.7 OLED 制程 .....	238
9.7.1 真空蒸镀设备 .....	240
9.7.2 其他镀膜技术 .....	244
9.7.3 封装材料与设备 .....	251
参考文献 .....	256
附录 名词术语中英文对照 .....	260

# 第 1 章 有机发光二极管显示技术简介

## 1.1 概述

进入了 21 世纪后，人们需要性能更好、更能符合未来生活需求的新一代平面显示器，来迎接这个“4C”（即计算机 computer、通信 communication、消费性电子器材 consumer electronics、汽车电子 car electronics）及“3G”（即第三代移动通信）时代的来临，如图 1-1 所示。未来的趋势是要在轻巧的载体上传输大量的信息和图像，现今的平面显示器显然已不能满足需求。

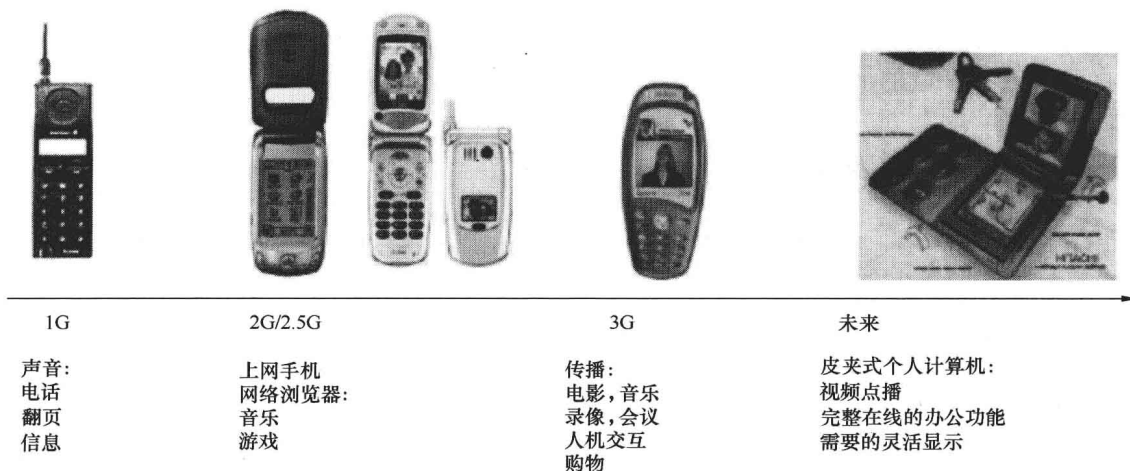


图 1-1 各代移动通信的演进

近年来，有机发光二极管（organic light emitting diode, OLED）成为国内外非常热门的新兴平面显示器产品，这是因为 OLED 显示器具有自发光、广视角（达  $175^\circ$  以上）、短反应时间（ $1\mu\text{s}$ ）、高发光效率、广色域、低工作电压（ $3\sim 10\text{V}$ ）、面板薄（厚度可小于  $1\text{mm}$ ）、可制作大尺寸与可挠曲的面板及制程简单等特性，而且它还具有低成本的潜力（预计比 TFT-LCD 便宜 20%）。OLED 被喻为 21 世纪的明星平面显示产品。在 2006 年韩国大丘举办的国际信息显示年会（IMID）上，三星总裁 S.T.Kim 在他的 keynote 演讲中，首次称 OLED 为未来的终极显示器（the ultimate display）<sup>[1]</sup>。表 1-1 所示为 OLED 与其他各种显示器的特性比较，OLED 的优势显而易见。与其他技术相比，OLED 尚显年轻，但是随着技术越来越成熟，其今后有可能得到迅速发展，前途不可限量。

表 1-1 各种显示器与 OLED 的特性比较

	CRT	LCD	OLED	LED	PDP	VFD
电压特性	X	◎	◎	◎	X	△
发光亮度	○	○	◎	△	△	○

续表

	CRT	LCD	OLED	LED	PDP	VFD
发光效率	○	○	◎	△	△	○
器件寿命	◎	○	○	◎	△	△
器件重量	X	◎	◎	△	○	△
器件厚度	X	◎	◎	△	○	△
应答速度	◎	△	◎	◎	○	○
视角	◎	△	◎	X	△	○
色彩	◎	○	◎	△	○	○
生产性能	○	○	○	○	△	△
成本	◎	○	○	○	X	△

注：◎，非常好；○，好；△，普通；X，需要改善；CRT，阴极射线管显示器；LCD，液晶显示器；LED，发光二极管显示器；VFD，真空荧光显示器；PDP，等离子显示器。

LCD 技术为现今平面显示的主流，与 LCD 比较，OLED 的温度适应性更佳，LCD 在低温下（如在南、北极地区）的响应速度会大幅下降，甚至不能工作，而 OLED 的工作温度范围为 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ ，可以满足世界各地消费类产品的需求。虽然 OLED 显示器的先天优点比 LCD 好，但由于 LCD 技术成熟度高，其各种特性也在不断改进。

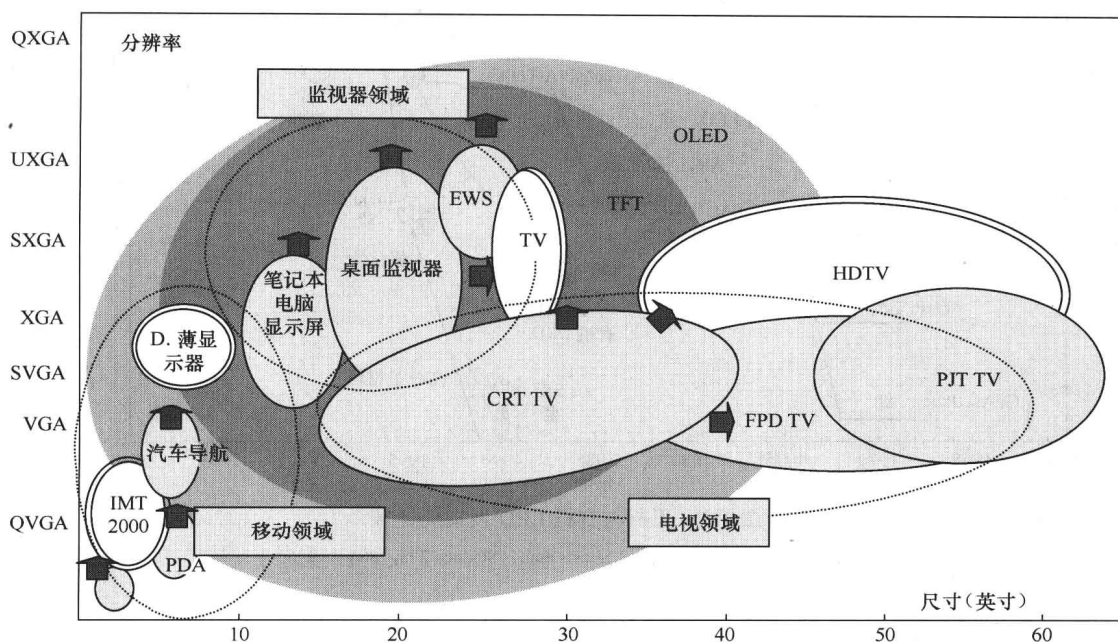
## 1.2 应用与发展

OLED 的发光属于电致发光 (electro luminescence, EL)。由于在应用上的重要性，电致发光现象一直都是令人极感兴趣的一门科学<sup>[1]</sup>，它曾经被誉为是一种可以产生冷光的发光方式。通常电致发光器件可以被分为两类，一类是用周期表中的 III-V 元素（如 ZnS）做成的薄膜式电致发光板 (thin-film electro luminescence panel, TFEL)，TFEL 是高电压、小电流的雪崩器件 (avalanche device)，它的光是由一种高电场激发的过程所产生的。另一类是利用无机的 P 和 N 型半导体制作的发光二极管 (LED)。LED 是一种低电压、大电流的注入器件 (injection device)，它的光是由被注入的电荷在界面重新结合所产生的。这两种器件都发展得较早，各种颜色已被研发出来，并且多半已可应用在光电及显示的电子器材上，包括仪器面板、电子板、广告板等。虽然它们的研究已经持续了几十年，但是这些技术还有一些主要缺陷，譬如 LED 需要在单晶体的基板上成长，而且为了要展现高画质、高分辨率，每一像素的间距要越短越好，而 LED 模块之间的接续处会造成像素的间距不一，近距离观赏时，显示屏整体画面会产生块状切割的图像。高亮度蓝光 LED 发明得较晚，直到 1993 年秋季，日亚化学工业公司才宣布他们成功地用 GaN 化合物半导体制作出了 1cd (烛光) 的蓝光 LED，外部量子效率为 0.22%。直到最近，一般蓝光 LED 的外部量子效率才进步到 30%，超高亮度蓝光 LED 的外部量子效率可达 60% 以上<sup>[3]</sup>。TFEL 的暂时反应 (temporal response) 很慢，所以需要几百伏的交流电压；而且它的颜色方面也是大问题，因为蓝光发光体的效率很低。最终限制这两种技术发展的一大原因是它们不能用来制造高分辨率的全彩显示板。

反观有机电致发光最早是在 1963 年由 Pope 教授所发现的，当时他将数百伏的偏压施加于蒽 (anthracene) 晶体上，观察到发光现象，这是最早的文献报道。由于过高的电压与不佳的发光效率，该现象在当时并未受到重视。一直到 1987 年，美国柯达公司的邓青云博士 (Ching W. Tang) 及 Steve Van Slyke 发布以真空蒸镀法制成多层式结构的 OLED 器件<sup>[4]</sup>，可使空穴与



电子局限在电子传输层与空穴传输层的界面附近再结合,大幅提高了器件的性能,其低工作电压与高亮度的商业应用潜力吸引了全球的目光,从此开启了 OLED 风起云涌的时代。1990 年,英国剑桥大学的 J.Burroughes 及 Richard Friend 等人<sup>[5]</sup>成功地开发出以旋转涂布 (Spin Coating) 方式将高分子应用在 OLED 上,即高分子发光二极管(也称为 PLED),对 OLED 的发展起到了推波助澜的作用,使得 OLED 的未来发展空间与市场更广阔。由于小分子材料发明得较早,而且最早被应用到 OLED 平面显示器上,所以目前一般 OLED 多半是指小分子型。OLED 显示技术理论上可以满足各种显示尺寸的应用。图 1-2 所示是韩国三星公司在 2004 年的 IMID 研讨会上做的大胆预测有关显示器尺寸与分辨率的关系图,其中应用项目包括中小面板的手机、PDA 和笔记本电脑,大尺寸面板的电视机、监视器等。通过与其他技术比较可以发现, OLED 显示技术是唯一可以涵盖如此大范围应用领域的显示技术。



注：QXGA 的分辨率是  $2048 \times 1536$  像素，UXGA 的分辨率是  $1600 \times 1200$  像素，SXGA 的分辨率是  $1280 \times 1024$  像素或  $1400 \times 1050$  像素，XGA 的分辨率是  $1024 \times 768$  像素，SVGA 的分辨率是  $800 \times 600$  像素，VGA 的分辨率是  $640 \times 480$  像素，QVGA 的分辨率是  $240 \times 320$  像素。

图 1-2 各显示技术应用的领域

(资料来源：Sumsung SDI, IMID#2004)

显示应用的多元化,除了利用硬质基板外,可挠曲式(flexible)有机发光二极管(FOLED)也是目前欧、美、日等国家和地区先进的实验室最热门的研究课题之一。利用有机材料本身良好的可挠曲性,将其制作在耐撞击、不易破碎、轻薄、便携、低价的可挠曲型塑料基板上,以具备未来便携式平面显示器所需的轻、薄、小、彩、省、美的多元化特性。许多公司都曾提出这样的概念,如 IBM 发展的可戴式计算机(wearable computer), Olympus 宣传的可穿式电视(wearable TV monitor), Eye-Trek、日本东北先锋(Pioneer)发布的穿着式可挠曲显示器等。美国 UDC 公司所预测的 OLED 技术发展进程指出,FOLED 是 OLED 技术未来发展的趋势归属也是其独特的应用(killer application),未来可卷收型(display on a roll)及窗帘型的显示屏都将不再是梦想。

如图 1-3 所示, 如果以发光功率效率 (lm/W) 的演进图来看, OLED 技术有如睡醒的雄师, 在十年内发展迅速, 绿光器件的发光效率高达到 110lm/W, 2007 年更是提高到了 133lm/W, 外部量子效率为 30%<sup>[6]</sup>, 可与无机 LED 相抗衡。白光器件的发光效率也在 2006 年突破 60lm/W (在 1000cd/m<sup>2</sup> 下), 并有机会成为照明光源。日本的东北先锋和东北器件从 2006 年开始量产小尺寸的 OLED 背光源, 全球最大的液晶薄膜制造商柯尼卡美乐达 (Konica Minolta) 也于 2007 年宣布, 将与通用公司 (GE) 合作, 开发薄型可折叠照明产品。

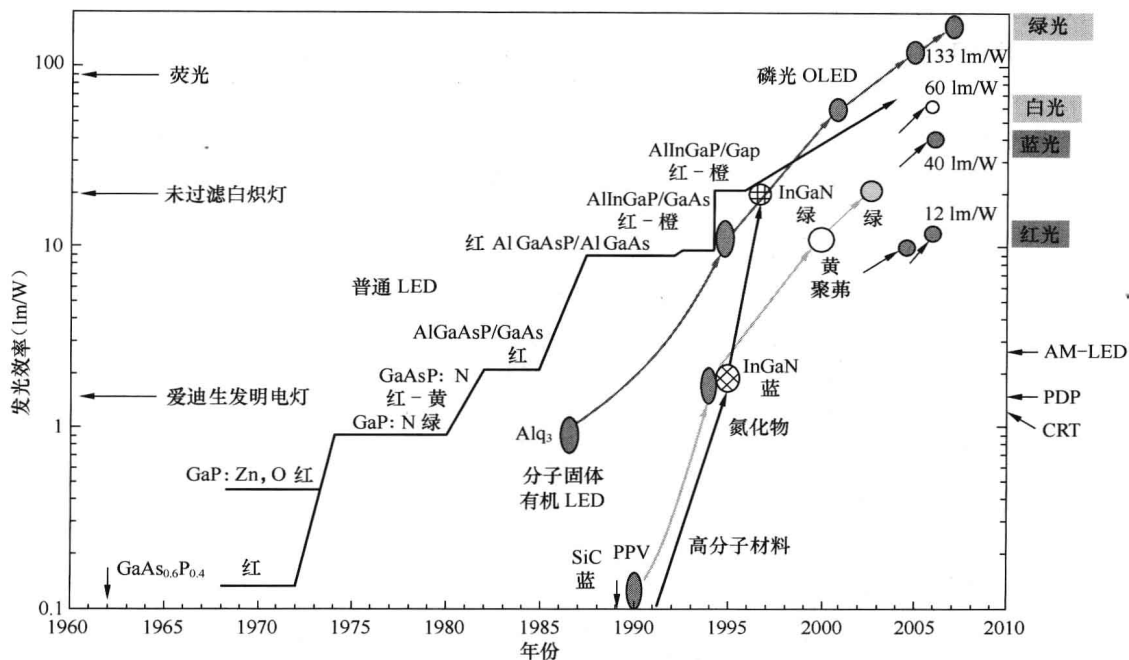


图 1-3 无机与有机 LED 发展的比较

[资料来源: Updated from J.R.Sheats et al., Science 273, 884 (1996) ]

### 1.3 终极显示的追求

我们正在见证一个显示器世代交替的历史, 平面显示器以一定的速度渐渐取代 CRT, 未来进入高分辨率 (Full HD) 和数字广播 (digital broadcasting) 时代后更会加速平面显示器的成长。观察现在 LCD 与 PDP 的发展与竞争模式, 可以看出增加产量规模和大尺寸基板投资越来越成为发展方向, 并且通过努力降低成本来增强竞争力, 这也是 OLED 现在看来处于劣势的原因之一。但三星总裁 Kim 认为未来的竞争会不一样, 尤其是中小尺寸产品, 谁会在未来的竞争中胜出, 取决于谁了解顾客的需求。他进一步表示未来重点不在于尺寸或价格, 顾客会选择可以展现生命力的显示器, 就如同在现实中感知一个物体一样, 而主动 (active matrix, AM) OLED 则具有终极显示器的特质, 包括高色域, 现有产品已达到 NTSC 的 100%; 低功率消耗, 播放动画的功率消耗大约只有 TFTLCD 的 1/3; 广视角, 与 CRT 一样; 高对比度, 现有产品暗室对比达 10000:1 以上, 在户外依然清晰; 体积小, 器件结构简单, 面板厚度不到 0.8mm; 反应速度快, 不受温度影响, 动画播放流畅, 产品寿命可达到 30000h, 如图 1-4 所示。三星从韩国、中国、英国、德国、意大利 5 个国家里选了 1000 人来评估比较

AM-OLED 与 TFT-LCD 的整体显示品质，结果有 93%的人觉得 AM-OLED 较好，也给予其较高的价格评价。

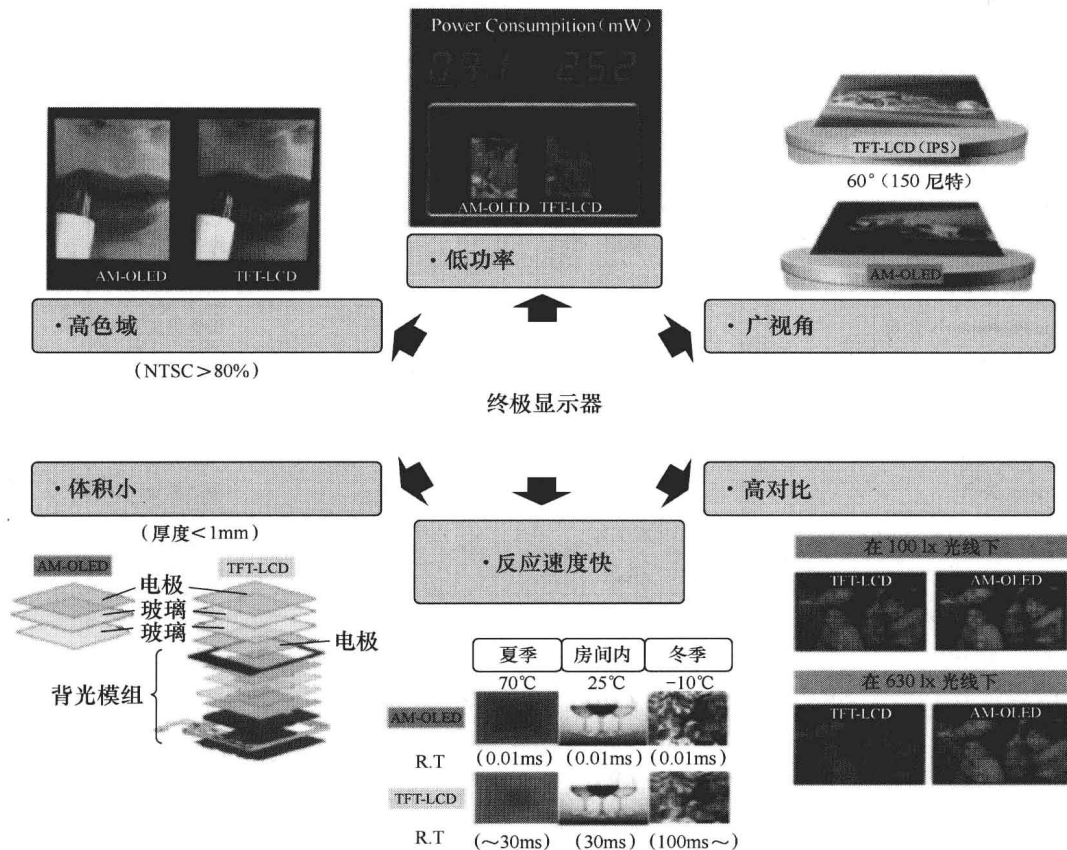


图 1-4 终极显示器应具备的特质

(资料来源: Updated from S.T.Kim, keynote speech, IMID/IDMC 2006)

## 1.4 厂商概况

从 1987 年美国柯达公司发布具有实用潜力的 OLED 器件以来，许多厂商已经加入到此技术研发的行列中。表 1-2 所示为亚洲和欧美各国投入小分子和高分子 OLED 研发或量产的代表公司，以及主要的专利所有公司。可以看出从材料的供应、设备的提供到显示器面板模块及驱动 IC 的设计与开发，日本似乎已经形成一条上、中、下游的供应链，这是因为日本拥有追求新技术的传统和长久累积下来的开发资源。由于产业快速变化，近来一些 OLED 制造商与研究团体为了降低风险，选择了停止甚至无预期地关闭相关投资。

表 1-2 投入小分子和高分子 OLED 开发的公司

公司企业名	位置	材料	专长
道化学 (Dow Chemical)	美国	高分子	材料供货商
H.W.Sands 公司	美国	小分子	材料供货商