



中国电子视像行业协会 组编

CVA

# OLED显示基础

OLED XIANSHI JICHU  
JI CHANYEHUA

# 及产业化

于军胜 田朝勇 编著



电子科技大学出版社



CVIA

中国电子视像行业协会 组编

# OLED显示基础

OLED XIANSHI JICHU  
JI CHANYEHUA

# 及产业化

于军胜 田朝勇 编著



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

OLED 显示基础及产业化 / 于军胜, 田朝勇编著. --

成都: 电子科技大学出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5647-2814-4

I. ①O… II. ①于… ②田… III. ①电致发光—发光器件 IV. ①TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 008911 号

## OLED 显示基础及产业化

于军胜 田朝勇 编著

出版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 李波翔

责任编辑: 徐波

主页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发行: 新华书店经销

印刷: 四川省东和印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15.25 字数 363 千字

版次: 2015 年 2 月第一版

印次: 2015 年 2 月第一次印刷

书号: ISBN 978-7-5647-2814-4

定价: 58.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

# 序

随着科学技术的飞速发展、显示技术的不断进步，OLED显示技术也得到了快速发展，它具有超轻、超薄、高亮度、大视角、低电压、低功耗、快响应、高清晰度、抗震、可弯曲、低成本、工艺简单、使用原材料少、发光效率高和温度范围宽等优点，被认为是最有发展前途的新一代显示技术。

为适应OLED技术和OLED产业高速发展的需要，指导理性消费、规范企业生产和市场宣传秩序，中国电子视像行业协会组织并邀请我国OLED领域的著名专家于军胜教授和田朝勇高级工程师共同撰写了《OLED显示基础及产业化》一书，此书是目前行业内唯一的一本系统性地介绍OLED显示技术基础知识及其产业化的专著。

本书从OLED技术知识、OLED关键技术、OLED显示、OLED照明、OLED产业现状及发展趋势、OLED市场现状及发展趋势及OLED的应用价值及发展可能性的分析几方面，深入浅出的进行了较为详细的阐述。

本书对从事OLED技术研究、相关产品开发和生产的有关工程人员和大专院校师生来说，是正确理解相关技术的重要参考书，同时也是面向我国广大消费者普及OLED技术知识，指导消费者选择和正确使用OLED电视机的指南。

希望本专著的出版，为普及OLED技术基础知识，引导理性消费，推进中国OLED产业化进程，规范和构建健康可持续发展的OLED产业生态链起到积极的推动作用。

中国电子视像行业协会



随着信息科学技术的飞速发展，以light-emitting diode (LED) 为代表的显示和照明器件，极大地改善了人们的生活、降低了能源的消耗。因而日本名古屋大学的赤崎勇，天野浩以及美国加州大学圣巴巴拉分校的中村修二，在2014年被授予诺贝尔物理学奖，以表彰他们在新型高效节能光源方面的贡献，即蓝色发光二极管(LED)；同时，与LED相对应的有机LED (organic LED, OLED) 的信息显示和固态照明器件，近年来也得到了长足发展，逐渐迈向大规模产业化。在此背景下，为了顺应平板显示行业的发展潮流、满足当前新型信息显示的技术需求，由中国电子视像行业协会组织并邀请我国OLED领域的著名专家于军胜、田朝勇撰写了该专著。在本书的编著过程中，中国电子视像行业协会本着科学严谨、求实负责的原则，认真履行了行业责任。

本专著力求做到全面、系统而又突出地阐述OLED基础知识和产业化相关技术，而对一些基础理论或平板显示领域的共性技术，比如TFT的工作原理、非晶硅(a-Si) TFT的制程工艺等，由于相关介绍书籍颇多，在此不再详细赘述，而只进行了概要性阐述，这样既节省篇幅，又便于读者轻松抓住OLED的技术重点。另一方面，由于OLED涉及技术领域非常广，本专著力求深入浅出、通俗易懂，但是对技术的论述力争准确、严谨，同时具有一定的技术前瞻性，能够反映OLED技术的发展趋势；本专著还注重对技术的对比分析，包括OLED与LCD以及各种主流的TFT技术等，有助于学术界和产业界的读者朋友对相关技术有更全面、深入的认识。

中国OLED产业联盟、OLED工艺技术国家地方联合工程实验室、显示科学与技术四川省重点实验室、四川平板显示行业协会及成员单位和国内外专家同行，在历次产业论坛和技术交流会中分享了大量的资料、信息，为本书的编写提供了丰富的素材，电子科技大学、四川虹视显示技术有限公司对本书的编写提供了大力支持，在此一并感谢！

同时，参与编著本书的还有四川虹视显示技术有限公司的郎丰伟、闫晓剑和电子科技大学、电子薄膜与集成器件国家重点实验室的博士生王煦、韩世蛟、祁一歌等，他们在资料收集、文字录入、文献出处和统稿校对方面做了大量的工作，他们对本书的完成付出了诸多辛勤的劳动。在此，我们对参与本书编写的各位专家和工作人员的奉献精神与专业能力表示由衷的钦佩，对他们的工作付出表示最诚挚的谢意！

本专著共分为7章，第1章OLED基础知识，由于军胜执笔；第2章OLED关键技术，其中包括OLED材料、制备工艺、TFT技术、驱动技术等，由于军胜、田朝勇执笔；第3章OLED显示，由于军胜、田朝勇执笔；第4章OLED照明，由于军胜执笔；第5章OLED产业现状及发展趋势、第6章OLED市场现状及发展趋势，由田朝勇执笔；第7章OLED的综合应用，由国内外相关OLED企业提供；全书的最后统稿，由于军胜确认完成。

由于著者水平有限，且OLED属于高新技术，尽管经过反复求证、推敲，错误及不妥之处仍在所难免，恳请广大读者和业界同仁批评、指正。

编者  
2014年12月

## 《OLED显示基础及产业化》

### 编委会

主 任 白为民

副主任 郝亚斌 冯晓曦 董秋红 彭健锋 刘棠枝 林敬德

总策划 郝亚斌

委 员 林元芳 彭 劲 周世玉 张利利 孙 赢



# M U L T U

## 目录

### 第1章 OLED基础知识

1.1 概述	1
1.2 OLED工作原理	4
1.3 OLED性能特点	7
1.4 OLED分类	9
参考文献	10

### 第2章 OLED关键技术

2.1 OLED材料	11
2.1.1 载流子传输材料	11
2.1.2 发光层材料	17
2.2 OLED制备工艺	38
2.2.1 ITO基板预处理工艺	39
2.2.2 成膜技术	39
2.2.3 阴极工艺	45
2.2.4 封装技术	47
2.3 TFT技术	55
2.3.1 非晶硅TFT技术	56
2.3.2 低温多晶硅TFT技术	56
2.3.3 氧化物TFT技术	62
2.3.4 有机TFT技术	63
2.3.5 TFT制备工艺流程	63
2.4 OLED驱动技术	69
2.4.1 OLED驱动技术分类	69
2.4.2 PMOLED驱动技术	71
2.4.3 AMOLED驱动技术	76

2.4.4 AMOLED驱动补偿技术	81
2.5 OLED技术演进	90
2.5.1 底发射与顶发射	90
2.5.2 透明OLED	92
2.5.3 倒置式IOLED结构	95
2.5.4 叠层结构	96
2.5.5 柔性OLED	98
2.5.6 微显示OLED	101
2.5.7 白光照明OLED	102
参考文献	105

### 第3章 OLED显示

3.1 OLED显示技术	110
3.1.1 OLED显示技术发展现状	110
3.1.2 OLED发展特点	111
3.1.3 未来研究发展方向	112
3.2 OLED显示分析	113
3.2.1 OLED显示优缺点	113
3.2.2 小分子OLED与聚合物OLED	114
3.2.3 OLED显示与TFT-LCD显示比较	115
3.2.4 OLED显示与LED显示比较	116
3.2.5 OLED显示与FED显示比较	119
3.2.6 OLED显示专利分析	120
3.3 OLED的彩色化	124



3.3.1 独立材料发光法	125
3.3.2 彩色滤光薄膜法	128
3.3.3 色转换法	129
3.3.4 微共振腔调色法	130
3.4 高解析度AMOLED	132
3.4.1 高解析度AMOLED的技术难点分析	133
3.4.2 高解析度AMOLED的像素图案与制备方法	134
3.4.3 高解析度AMOLED的像素驱动	139
3.5 AMOLED与TFT LCD显示技术的关系	142
3.5.1 AMOLED与TFT LCD的技术相同点	142
3.5.2 AMOLED与TFT LCD的技术差异	143
参考文献	150

## 第4章 OLED照明

4.1 OLED照明技术	151
4.2 照明特性描述	154
4.3 白光OLED的实现	158
4.3.1 单层发光层	159
4.3.2 多层发光层	161
4.3.3 激基缔合物和激基复合物	164
4.3.4 色转换法或下转化法	166
参考文献	168

## 第5章 OLED产业现状及发展趋势

5.1 全球OLED产业发展状况	169
5.1.1 全球OLED产业发展整体情况	170
5.1.2 国外OLED产业发展状况	172
5.1.3 我国OLED产业发展状况	179
5.2 OLED产业关键材料与设备发展状况	184
5.2.1 国外OLED关键材料与设备发展状况	184

5.2.2 国内OLED关键材料与设备发展状况	191
5.3 全球OLED产业发展趋势	194
5.3.1 全球OLED产业前景分析	195
5.3.2 全球OLED产业的产品发展趋势	195
5.3.3 全球OLED产业的技术发展趋势	198
参考文献	200

## 第6章 OLED市场现状及发展趋势

6.1 OLED应用领域	201
6.2 OLED显示市场现状及发展趋势	203
6.2.1 OLED显示市场的历史回顾	204
6.2.2 AMOLED市场需求的现状及趋势	205
6.2.3 AMOLED价格变化趋势	210
6.2.4 市场对AMOLED分辨率的需求变化趋势	212
6.3 OLED照明市场现状及发展趋势	213
6.3.1 产业发展与现状	214
6.3.2 OLED照明亟待解决的问题	220
6.3.3 OLED照明展望	222
参考文献	226

## 第7章 OLED的综合应用

7.1 OLED应用价值及发展可能性	227
7.1.1 OLED是“电视中的电视”	227
7.1.2 电视面板的终结者	228
7.1.3 OLED是下一代显示技术	229
7.2 中国OLED电视	230
7.2.1 创维OLED有机电视	231
7.2.2 发展前景	235

# 第1章

## OLED基础知识



### 1.1 概述

人类获取的信息70%以上来自于视觉，因而与视觉息息相关的信息显示技术在人们获取知识、改善生活质量方面扮演着重要角色。随着人类社会信息化程度的提高，物联网、云计算、大数据等信息不断地涌现，信息显示包括文字显示和图像显示的硬件设备—显示器，作为人机交互的载体，在信息显示技术的发展过程中始终都是重中之重。经过几十年的发展，信息显示装置从简单的指示灯、七段数码显示管，经历阴极射线管（cathode ray tube, CRT）显示器，发展到今天的户外全彩色大屏幕LED（light-emitting diode, LED）和室内超薄大屏幕的平板显示器。信息科学与技术的高速发展，使得对平板显示器件的要求越来越高，特别是高品质图像即高分辨率、高响应速度、宽视角、全彩色，一级便携性即超薄、超清、低功耗、重量轻，成为未来平板显示的发展方向。

回顾显示器的发展历程，作为早期的主流显示器，CRT具备高亮度、宽视角等优良性能，同时面临着难以克服的缺点，例如体积大、功耗大、无法用于便携小巧的移动电话、笔记本电脑等设备。20世纪80年代进入人们视野的液晶显示器（liquid crystal display, LCD），具有体积小、重量轻、薄型化、无辐射、抗干扰能力强等优势，目前在电视、掌上电脑、手机等平板显示器件中是绝对主流的显示屏。但是，LCD依然存在一些不可克服的缺陷，如视角窄、对比度较低、响应速度慢、温度特性差、无法自发光须采用背光源等问题都难以避免。近年来，薄膜晶体管LCD（thin film transistor LCD, TFT-LCD）的尺寸、视角和分辨率均取得了突破性进展，已经成为平板显示的主流器件。当

时，与LCD可以竞争的平板显示器是等离子显示（plasma display panel, PDP），并且占据了一定的市场份额。尽管有MgO介电层的保护，等离子体对荧光粉的持续轰击，长时间仍使得荧光粉发光能力衰减，并且在屏幕上残留之前显示图案的“灼烧”的浅像。此外，PDP器件必须采用障壁结构，使其只适用于尺寸较大、清晰度较低的显示器。PDP像素上的高压要靠驱动电路提供，对某一特定像素获得高亮度需要高的瞬时电压，这对集成电路是致命的。因而，PDP只适用于大尺寸显示器。最近，由于全球显示产业的布局和产业链的断裂，PDP显示器已经退出了平板显示的历史舞台。

另一方面，作为发光机理迥异的电致发光（electroluminescence, EL），是发光材料在电场作用下而产生光的现象，是一个将电能直接转化为光能的发光过程。用于制备EL器件的材料，无机化合物半导体材料研究较多且率先达到实用水平。p-n结无机半导体电致发光的LED实现了红光到黄光的发射，发光效率超过白炽灯，同时，具备驱动电压低、使用寿命长、效率高、稳定性强等诸多优点，近20多年里得到了广泛应用。但是，LED显示屏的各个发光点的发光颜色不易调节、大面积显示的散热等问题，限制了其进一步向高分辨率方向的发展。与无机LED相对应，以有机半导体为功能材料的有机电致发光二极管（organic light-emitting diode, OLED），作为新一代平板显示技术应运而生，从平板显示到固态照明器件，伴随着广泛的应用前景和技术上的突飞猛进，OLED已经逐渐迈入产业化进程。

与其他平板显示技术相比，OLED具备诸多优势，如材料选择范围广、发光亮度和效率高、可以实现蓝光到红光光谱区域的全彩色显示、视角宽、响应速度快、驱动电压低、制作过程相对简单



手机



笔记本



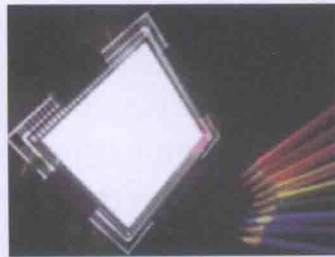
电脑电视



室内照明



壁纸



车灯

图1-1-1 OLED的多样化用途



因而成本低,同时最具特色的是其可实现柔性显示。OLED能够满足当今信息化时代对显示设备更高性能和更大信息容量的要求:可用于室内和户外照明;可作为壁纸用于室内装饰;可制成光电耦合器件,用于光通信,作为集成电路上芯片与芯片间的单片光源;可制成可折叠的“电子报纸”;可用于全彩色超薄大屏电视机,也可用于手机、平板电脑等小巧的便携设备;其全固态结构适用于航天器的数字图像处理设备的显示。图1-1-1展示了OLED的多样化用途。早期OLED产品存在稳定性差、容易老化等缺陷,通过提高材料稳定性、改善器件结构、改良封装技术等措施,已经达到商品实用化标准。近年来,OLED平板显示实用化进程取得突破性进展,使人们对其产业化发展倍添信心。在发光效率方面,OLED平板显示已经超过PDP和TFT-LCD水平;在器件彩色化方面,开发出三基色法、白光加滤光膜方法、蓝光能量转换法等多种技术方案,多家公司已推出全彩色OLED平板显示器的原型机甚至成熟的产品。在发光亮度方面,OLED已经超过 $100\ 000\ \text{cd/m}^2$ 。OLED短短十多年的发展堪比LED三十多年的历程,产业化势头异常迅猛。

20世纪60年代,有机EL现象的发现及相关研究的开展就已经开始了。1963年,美国New York大学的Pope等首先发现有机材料单晶蒽的EL现象<sup>[1]</sup>,当时的单晶蒽厚度达到 $20\ \mu\text{m}$ ,驱动电压更高达400 V,因而未引起人们的关注。1982年,Vincett等制备了 $0.6\ \mu\text{m}$ 的蒽薄膜,将驱动电压降到30 V以下<sup>[2]</sup>,但是,器件的量子效率仍然很低,不到1%。1987年,Kodak公司的C. W. Tang等报道了基于荧光效率高、电子传输性能良好的8-羟基喹啉铝和空穴传输性能良好的芳香族二胺两种有机半导体材料,通过真空热蒸镀制备了器件结构为三明治型的OLED<sup>[3]</sup>。这种高亮度、高量子效率的器件引起了科研人员的广泛关注和产业界的极大兴趣,促使有机EL材料的研究开发进入一个崭新的时代。1990年,英国学者Friend教授等报道了低电压下高分子聚合物材料EL现象,开启了基于聚合物材料的平板显示新领域<sup>[4]</sup>。1992年,诺贝尔化学奖得主Heeger等率先发明了基于塑料衬底的柔性器件,展现出了OLED平板显示器独一无二的魅力<sup>[5]</sup>。1997年,美国学者Forrest教授等发现磷光EL现象,三线态激子的有效利用将OLED内量子效率从荧光材料25%的极限提高到100%<sup>[6]</sup>。1998年,日本学者Kido教授等实现了白光EL,使OLED可用于普通的白光照明光源<sup>[7]</sup>。1998年,Hebner等发明了喷墨打印法制备OLED技术<sup>[8]</sup>,将OLED从科学研究的小批量制备逐渐引领到商业化大规模生产。目前,基于红、绿、蓝三基色磷光染料的OLED外量子效率均超过20%,磷光OLED全彩色平板显示和白光照明光源技术已经实现。目前,中国的多所高校和研究所也开展了相关学术研究工作,清华大学、吉林大学、华南理工大学、电子科技大学、北京大学、北京交通大学、香港大学、香港科技大学、南京工业大学、太原理工大学、中科院长春应化所、中科院化学所等结合各自所长,各有侧重地取得了一些有标志性的研究成果,培养了一批研究和开发人才,为我国在OLED领域与世界发达国家的同台竞争打下了坚实的基础。

OLED在国际著名公司的受重视程度以及产品化进程,与高校、研究所的科学研究几乎并驾齐驱。1997年,OLED作为平板显示器件领域中的新面孔,已经实现商业化。Kodak、Sanyo、Philips、

Epson、Samsung、HP、Dupont、CDT、SONY、Pioneer、TDK等公司致力于OLED显示器相关的材料、原件、设备等的研发和制造。日本Pioneer公司推出了世界第一个商品化的OLED平板显示产品—汽车音响显示屏。1998年，Idemitsu Kosan和NEC都推出分辨率为 $320 \times 240$ 的彩色有源矩阵驱动OLED显示器。2001年，CDT、Epson、TDK三家公司联合研制出13.2英寸的P-TFT驱动的彩色OLED显示屏；同年，SONY公司展示了13英寸全彩色OLED显示屏；Samsung研制出15.1英寸的全彩色有源矩阵驱动的OLED原型机；LG开发出OLED显示屏用于1.8和1.9英寸折叠式手机。2002年，Kodak和Sanyo组建的SK Display公司已生产出15英寸显示器，性能可媲美TFT-LCD电视。2003年，中国台湾IDTECH展出了20英寸全彩色OLED显示器，分辨率提高到 $1280 \times 768$ 。2004年，Epson展出通过喷墨打印实现的40英寸全彩色OLED显示器，将OLED平板显示首次引入大尺寸屏幕领域。显示屏厚度2.1mm，展示出OLED的超薄特性，寿命1000~2000 h，距离OLED屏电视机寿命基本要求的100 000 h还有一定距离。2005年，Samsung和LG联合开发的40英寸OLED原型机，分辨率进一步提高到 $1920 \times 1200$ ，对比度5000:1，亮度达到 $1000 \text{ cd/m}^2$ 。同年，OLED被美国CNN（有线电视新闻网）列为最近25年对人类最具影响力的25大创新技术之一。2006年，OLED又被市场研究公司Gartner列为十大战略技术的第三名。2007年，SONY开始售卖11英寸OLED电视；同年，美国GE公司成功研发出“2×2” OLED平板光源，将OLED平板照明设备的产业化提上日程，该项目得到了美国能源部的支持。此外，Motorola、OLED-T、CDT、Philips等公司都在从事OLED平板光源的研发和生产。在中国大陆和台湾地区，从事OLED产业化的公司主要有维信诺、四川虹视、京东方、和辉光电、新视界、天马、信利光电、友达等一批显示企业。

OLED的科研和产业化在高速发展的同时，也暴露出一些长期存在、亟待解决的顽疾。其中，解决OLED寿命短、发光效率低的问题，是能否实现OLED显示器产业化的关键。欲提高器件效率，首先要设计、合成高效率的材料；寿命短是由器件稳定性差、性能衰减快造成的，欲提高OLED器件寿命，首先要找到高性能的封装材料和切实可行的封装方法。在有效地解决以上两个问题的基础上，方可进一步完善OLED显示的彩色化、高分辨率、有源驱动技术，乃至柔性封装和柔性显示，最终实现低成本、高性能的OLED显示器件。



## 1.2 OLED工作原理



OLED是双注入型发光器件，将电能直接转化为有机半导体材料分子的光能。影响OLED电致发光过程的物理机制，集中在有机半导体的能带结构、载流子注入和传输、载流子复合形成激子、激子辐射退激发、激子能量传递等方面。

OLED发光过程如下：在ITO阳极接正极、金属阴极接负极产生的正向电压驱动下，聚集在电极上的大量载流子越过电极和器件内部界面间的势垒进入器件内部。其中，空穴由阳极注入，电子由阴极注入。空穴在最高被占有分子轨道（highest occupied molecular orbital, HOMO）上跳跃传输，电子在最低未被占有分子轨道（lowest unoccupied molecular orbital, LUMO）上跳跃传输，在发光层位于间距很近分子上或同一分子上的电子和空穴在库仑力作用下靠近，最后相互俘获成为处于束缚能级的电子空穴对即激子，激子辐射退激发发出光子<sup>[9]</sup>。综上所述，OLED发光大致包括以5个基本的物理过程<sup>[10,11]</sup>：

(1) 载流子注入：在外加电场作用下，电子和空穴分别从阴极和阳极注入有机功能层。具体过程为电子从阴极的费米能级跃迁到有机功能层的LUMO能级，空穴从阳极的费米能级跃迁到有机功能层的HOMO能级；

(2) 载流子传输：电子依次在电子注入层和电子传输层的LUMO能级上传输，最终注入发光层；空穴依次在空穴注入层和空穴传输层的HOMO能级上传输，跃迁注入发光层。在有机功能层的界面，载流子通过跃迁或者隧穿越过界面势垒，从上一个有机功能层注入下一个有机功能层。在有机功能层内部，由于电子云的重叠，载流子在相邻有机分子上跳跃迁移；

(3) 载流子俘获形成激子：电子和空穴注入发光层后，在同一个分子或者相邻分子上由于库仑力的作用束缚在一起，形成电子空穴对即激子。激子是电子和空穴的束缚态，能量低于发光材料的LUMO与HOMO能级差；

(4) 激子迁移：由于电子和空穴传输的不平衡，激子的主要形成区域通常不会覆盖整个发光层，因而会由于浓度梯度产生扩散迁移；

(5) 激子辐射退激发发出光子：激子辐射复合发出光子释放光能。

有机电致发光过程的示意图，如图1-2-1所示。限制载流子的注入和传输，宏观表现为限制电

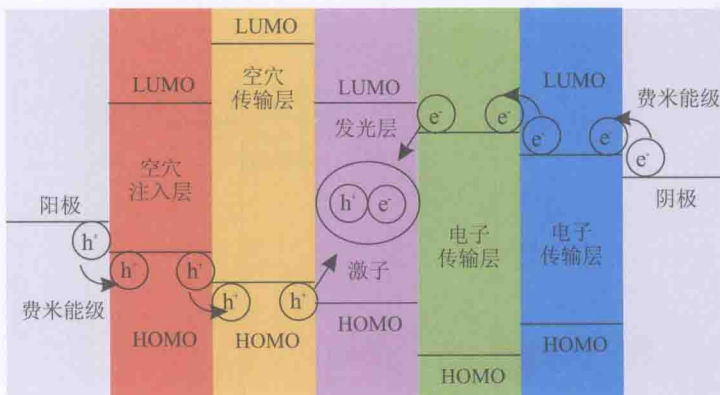


图1-2-1 电致发光过程的示意图



流，分为注入限制电流和体限制电流两类。当载流子迁移率较高时，载流子自电极注入能力的强弱是电流大小的主要限制因素，称为注入限制电流；随着外加电压（即器件的外加电场强度）增大，这种限制作用会逐渐减弱。在高外加电压下，电流限制因素从注入限制逐步过渡到体限制，即载流子在有机功能层内部的传输受到空间电荷或者陷阱的限制作用。载流子从电极注入，包括隧穿注入、热电子发射注入以及两者叠加的热电子场发射注入，具体如下。

**隧穿注入：**该注入模型建立是在载流子注入与电场强度有关而与温度无关的条件下。根据有机半导体理论，器件无外加电压的情况下，电子不能从阴极跃迁到有机功能层的LUMO能级。施加偏压后，LUMO能级发生倾斜，分布在阴极费米能级上的电子有一定几率通过隧穿效应穿过一个较窄的三角形势垒区，并跃迁到有机功能层的LUMO能级上。由于外加电场强度越大，需要隧穿的势垒区越窄，电子隧穿的几率越大。因而，电场强度决定注入效率，隧穿注入模型如图1-2-2所示。

**热电子发射和热电子场发射注入：**当温度比较低时，电子注入主要通过隧穿效应；当温度比较高时，热电子发射注入是电子注入的主要机制。在中等温度下，阴极中的大量电子的能量处于阴极费米能级以上，但大多数电子能量不足以超过有机功能层的LUMO能级，因此，电子通过热电子发射注入LUMO能级的数量有限，大多数还是依靠隧穿效应注入。但是，在高的温度下，高能电子的隧穿势垒区更窄，使得隧穿几率更大，因而电子的注入得益于温度和电场的共同作用，称为热电子场发射注入。

如果电子和空穴在发光层复合形成激子的效率较低，将造成一种载流子穿过发光层甚至到达对面电极，器件的发光效率将大幅度降低。为了提高复合效率得到高效率的OLED器件，要求避免一种载流子（空穴和电子）过剩，需要提高载流子的注入、传输平衡。针对电子和空穴，选择能级匹配的材料，可以有效、均衡地平滑载流子注入势垒；选择高迁移率的材料，可以保证载流子快速且平衡的传输。综合这两个因素，能够有效降低OLED器件的驱动电压，同时增加载流子的复合几率，进而提高器件的发光效率。

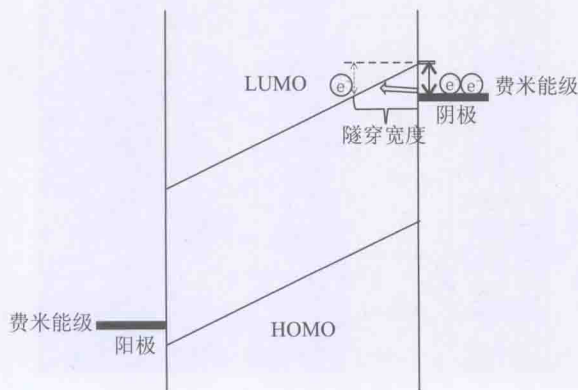


图1-2-2 隧穿注入模型

能量转移,是指处于激发态的分子能量向处于基态的分子转移,包括 Förster 和 Dexter 能量传递两种。发生 Förster 能量转移时,一个处于激发态的分子(给体, donor)发出光子跃迁到基态,另一个处于基态的分子(受体, acceptor)吸收光子跃迁到激发态。给体的退激发和受体的被激发是同时发生的,其发生的几率正比于分子的发光光谱和受体分子的吸收光谱的交叠程度,并且与给体和受体分子间距离密切相关;由于给体与受体之间存在偶极耦合作用,相比独立的分子间的光子发射和吸收过程,发生几率要大得多。为了提高能量传递效率,在器件制备过程中常采用给体材料中掺杂受体材料的方法。Förster 能量转移是以光子的发射和吸收为中介,所以发生 Förster 能量转移的分子间距较长达到5-10 nm。考虑到吸收光子会直接形成单线态激子,单线态激子辐射退激发不存在自旋禁阻,金属配合物的三线态激子辐射退激发由于较强的自旋-轨道耦合效应变为局部允许,所以存在单线态激子的 Förster 能量转移,以及三线态激子到单线态激子的 Förster 能量转移,如图1-2-3所示。

与 Förster 能量转移不同, Dexter 能量转移不是靠偶极耦合的方式,而是载流子在两分子之间直接能量的交换。当一个处于激发态的分子和另一个处于基态的分子离得很近,以至于电子云彼此交叠时,处于激发态的分子上的电子和空穴就能直接迁移到处于基态的分子上,在完成载流子迁移的同时完成能量的转移。由于需要电子云的交叠, Dexter 能量转移在紧邻的分子间才能完成。因而,发生 Dexter 能量转移的分子间距只有1-2 nm。图1-2-4是 Dexter 能量转移示意图,由于电子在迁移过程中自旋量子数不变,故存在单线态激子的 Dexter 能量转移和三线态激子的 Dexter 能量转移。

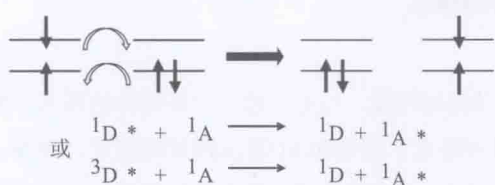


图1-2-3 Förster 能量转移示意图,  
D表示给体, A表示受体

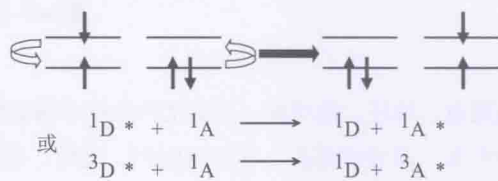


图1-2-4 Dexter 能量转移示意图

## 1.3 OLED性能特点

相比传统的CRT、LCD和PDP等显示器件, OLED几乎兼顾了已有显示器的所有优点,同时具有自己独特的优势。既有高亮度、高对比度、高清晰度、宽视角、宽色域等来实现高品质图像,又具



图1-3-1 OLED性能展示

备超薄、超轻、低功耗、宽温度特性等来满足便携式设备的轻便、省电、适于户外操作的需求；而自发光、发光效率高、反应时间短、透明、柔性等诸多特点，更是OLED显示独具的特点。因而，OLED在平板显示行业被称为“梦幻般的显示技术”。此外，OLED采用有机半导体材料，由于有机功能材料的分子设计、性能修饰的空间广阔，因而OLED材料的选择范围宽；OLED的驱动只需要2~12 V的直流电压，是其另一优势；全固化结构的主动发光，使其适用于温差范围大、冲击振动强的特殊领域；制程相对简单，尤其是喷墨打印等湿法制备技术的引入，使OLED显示屏通过低投入生产线的大规模、大面积生产得以实现；OLED容易与其他产品集成，具备优良的性价比。图1-3-1展示了OLED的性能特色。

具体而言，OLED作为一种新型发光技术，与目前占据绝对市场份额的LCD相比具有以下优势：

- (1) 主动发光，无需背光源，利于实现器件的低功耗、超薄、柔性等优势；
- (2) 低功耗，例如2.4英寸的有源OLED功耗为440 mW，而同尺寸多晶硅LCD的功耗达到605 mW，OLED能够有效地提高移动电话、平板电脑等便携设备在户外的待机和使用时间；
- (3) 响应速度快，能及时捕捉到动态画面的每一个细节，无拖尾现象；
- (4) 超薄加超轻，尤其是基于聚合物基板的OLED柔性器件，充分展现其便携性；