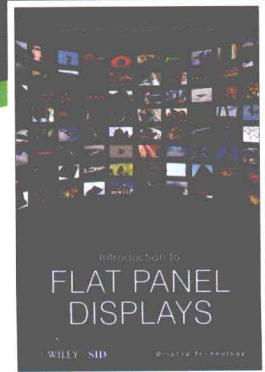


平板显示技术丛书

WILEY



# 平板显示概论

Introduction to flat panel displays

本书主要介绍了包括液晶显示、有机发光器件和场发射显示等平板显示技术的工作原理、寻址方法、系统性能和所涉及的科学原理。

[中国台湾]李君浩 ( Jiun-Haw Lee )

[中国台湾]刘南洲 ( David N.Liu ) 著

刘纯亮 张小宁 梁志虎 译

[美 国]吴诗聪 ( Shin-Tson Wu )

平板显示技术丛书

# 平板显示概论

**Introduction to Flat Panel Displays**

[中国台湾] 李君浩 (Jiun-Haw Lee)

[中国台湾] 刘南洲 (David N. Liu) 著

[美 国] 吴诗聪 (Shin-Tson Wu)

刘纯亮 张小宁 梁志虎 译

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书主要介绍平板显示的工作原理、工艺技术、应用领域、寻址方法、系统性能和所涉及的科学原理，涵盖了液晶显示、等离子体显示、发光二极管、有机发光器件和场发射显示等平板显示技术，对它们的基本原理、实际技术问题、最新研究进展以及不同技术的比较进行了系统叙述。

本书可作为电子科学与技术、光电科学与工程、材料科学与工程等专业本科生和研究生的教科书，也可作为平板显示领域的科研人员和工程技术人员的参考书。

Introduction to flat panel displays, Jiun-Haw Lee, David N. Liu, Shin-Tson Wu

ISBN: 978-0-470-51693-5

©2008 John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. This translation published under license.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

No part of this book may be reproduced in form without the written permission of John Wiley & Sons, Ltd.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Ltd. 授予电子工业出版社。未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封底贴有 John Wiley & Sons, Ltd. 防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2010-0933

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

平板显示概论 / 李君浩, 刘南洲, (美) 吴诗聪著; 刘纯亮, 张小宁, 梁志虎译. —北京: 电子工业出版社, 2013.4

书名原文: Introduction to flat panel displays

ISBN 978-7-121-19693-5

I. ①平… II. ①李… ②刘… ③吴… ④刘… ⑤张… ⑥梁… III. ①平板显示器件—高等学校—教材  
IV. ①TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 037251 号

责任编辑: 董亚峰 特约编辑: 王 纲

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 18.75 字数: 480 千字

印 次: 2013 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

## 丛书主编前言

国际信息显示协会（the Society for Information Display, SID）章程第 2 章指出了 SID 的目的：促进信息显示及其相关技术和理论的科学、作品及教育的进步……该丛书起始于 11 年前，旨在推进上述目的的实施。当时以印刷的形式汇集了会议论文和同行评议的期刊论文，提供了一系列书籍以满足在显示领域工作的科技人员和工程师的需求。2006 年，我们出版了由杨登科和吴诗聪编著的“液晶显示器件基础”（Fundamentals of Liquid Crystal Devices）一书。该书主要作为研究生教材，扩大了读者群。

本书进一步扩大了读者范围，主要叙述平板显示的工作原理、工艺技术、应用领域、寻址方法、系统性能和所涉及的科学原理。尽管过去已经出版了一些有关平板显示的书籍，但该书是第一本从科学原理出发、详尽介绍平板显示的教科书。由于该书以单卷的形式为涵盖整个平板显示技术领域的工程师和科技人员提供了极有价值的资料，其读者群和应用范围远超过了研究生课程。

在丛书主编前言中，我通常会提供一本书的内容概要。但该书的作者已经详尽完成了该项工作，我这里再介绍就显得多余了。我唯一能做的事情，就是感谢作者为撰写该书所付出的努力，并全力把该书推荐给现有的和正在扩大的读者群。

Anthony C Lowe  
丛书主编  
Braishfield, UK

## 致 谢

李君浩对他在台湾大学电机工程学系光电工程研究所的同事所提供的许多有益讨论表示感谢，他们是：陈奕君 (I-Chun Cheng)，吴志毅 (Chih-I Wu)，黄建璋 (Jian-Jang Huang)，吴育任 (Yuh-Renn Wu)，林晃巖 (Hoang-Yan Lin) 和黄鼎伟 (Ding-Wei Huang)。非常感谢台湾工业技术研究院的林家兴 (Jia-Xing Lin) 提供了有关 TFT 技术的有用资料。李博士还要感谢他在台湾大学的学生和中佛罗里达大学的 Zhibing Ge 先生，他们帮助整理了插图、参考文献、习题和例题，以及从读者的角度提供了有价值的注解和评论。

刘南洲感谢他在台湾工业技术研究院和友达光电的同事所提供的有益讨论，以及 Ted Knoy 的专业校对。刘博士特别要感谢他的妻子 Janice 在撰写书稿期间所给予的支持。

吴诗聪对他在中佛罗里达大学课题组现在和以前的成员所提供的许多技术贡献表示深切的谢意。感谢台湾奇美光电提供的基金支持。吴博士感谢他的妻子 Cho-Yan 在撰写书稿期间所给予的精神支持。

## 作者简介

### 李君浩 (Jiun-Haw Lee)

李君浩分别于 1994、1995 和 2000 年获得台湾大学电机工程学士、硕士和博士学位。2000—2003 年，他担任镓宝科技 (RiTdisplay Corporation) 经理。2003 年加入台湾大学电机工程学系光电工程学研究所，现任教授。他的研究领域包括有机发光器件、显示技术和固态发光。

李博士为 IEEE、OSA、MRS 和 SPIE 的会员。他分别于 2005 和 2006 年获得潘文渊文教基金会考察研究奖和柯林奖。他已经发表了 40 多篇期刊论文和 100 多篇会议论文，拥有 20 项专利。

### 刘南洲 (David N. Liu)

自从 2006 年以来，刘南洲一直担任台湾工业技术研究院 (ITRI) 显示技术中心 (DTC) 战略规划部主任。1983—1996 年，他在台湾工业技术研究院电子所 (ERSO) 和美国贝尔通信研究实验室 (Bellcore) 从事 IC 和场发射显示研究。1996—2002 年，他在宏碁 (Acer Peripheral Inc.) 和友达光电 (AUO) 从事等离子体显示研究与开发工作。离开友达后，他担任台湾工业技术研究院电子所平板显示技术部主管直到 2006 年。

刘博士于 1992 年获美国新泽西理工学院电机工程博士学位。他拥有超过 45 项专利，发表了 18 篇论文，并撰写了 “Semiconductor Manufacturing Handbook (McGraw-Hill, 2005)” 一书中的一章。他到场发射显示、等离子体显示和平板显示研发方面，获得了台湾工业技术研究院、台湾光电科技产业协进会 (PIDA)、台湾科技工业园和台湾经济主管部门 (MOEA) 的许多奖励。他于 2006 年获得了 MOEA 杰出项目领导人奖。

### 吴诗聪 (Shin-Tson Wu)

吴诗聪是美国佛罗里达大学 (UCF) 光学与光子学学院 PREP 教授。在 2001 年加入 UCF 前，吴博士在美国休斯研究所 (Hughes Research Laboratories) 工作了 18 年。他在美国南加州大学获得了物理学博士学位，在台湾大学获得了物理学学士学位。

吴教授与合作者合著出版了 4 本著作：Fundamentals of Liquid Crystal Devices (Wiley, 2006), Introduction to Microdisplays (Wiley, 2006), Reflective Liquid Crystal Displays (Wiley, 2001) 和 Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals (World Scientific, 1993), 撰写了 6 本书的部分章节，发表了 300 多篇期刊论文，拥有 75 项专利。

吴教授是 IEEE、OSA、SID 和 SPIE 的会员。他获得的奖励有 SPIE G.G. Stokes 奖、SID Jan Rajchman 奖、SID 特别贡献奖、SID 杰出论文奖、休斯团队成就奖、休斯研究所优秀论文奖、UCF 杰出研究奖和 UCF 科研激励奖。他是“Journal of Display Technology (IEEE/OSA)” 期刊的创始主编。

# 前 言

平板显示 (FPD) 在我们日常生活中随处可见, 仅举数例: 移动电话、笔记本电脑、台式计算机、电视机、交通指示灯、电子标牌。已经开发出的几种平板显示技术有液晶显示 (LCD)、等离子体显示 (PDP)、发光二极管 (LED)、有机发光器件 (OLED) 和场发射显示 (FED)。由于每种显示技术有其独特的性能和应用, 这些技术是共存的。

然而, 由于显示材料和工作机理的差异, 目前尚无一本教科书能够涵盖如此宽泛的显示技术的基础物理。已有的书籍专注于特定的显示技术, 或者有些书的章节介绍了不同的显示技术。本书可作为高年级本科生和研究生的教科书, 他们的专业背景比较宽泛, 如电机工程、电子学、材料科学、应用物理和光学工程。本书也可作为在显示工业工作的工程师和科技人员的参考书。本书素材及其内容编排来自“显示技术概论”课程。自从 2003 年以来, 该课程由台湾大学电机工程学系光电工程研究所李君浩讲授。

本书对薄膜晶体管 (TFT)、LCD、PDP、LED、OLED 和 FED 的基本工作原理和相关物理知识逐章予以介绍。LCD 属于非发光型显示。从电学角度看, 每个像素是一个 TFT 驱动的光开关。为了减少电容的漏电流, 液晶材料应该具有高电阻特性。但是, 为了得到高对比度, 大多数直视式 TFT LCD 需要两个吸收型光学偏振片。这些偏振片不但降低了光透过效率, 而且限制了 LCD 的视角。因此, 对于宽视角 LCD, 相位补偿薄膜是必需的。相反, PDP 属于发光型显示。PDP 可以看做单个基板上的百万只微型荧光灯。LED 和 OLED 是分别由结晶半导体和非晶有机材料构成的电致发光器件。与同样是有机化合物的液晶材料相比, OLED 材料应当具有低电阻特性以降低欧姆损耗。FED 是一种平面型阴极射线管, 它具有这种成熟技术的所有优点。

在本书中, 不同显示技术的基本物理和实际技术问题 (如材料要求、器件结构、加工方法和驱动技术) 均会予以讲述。各种显示技术处于不同的发展阶段, 有些会比其他的更成熟一些。一般而言, 它们一直处于快速发展之中, 要紧跟上技术的发展是比较困难的。因此, 在这本概论性教科书中, 我们重点强调基本科学问题, 并突出每种显示技术的关键技术进展。

本书的另一个目的是为交叉学科领域的读者提供背景知识, 以激励他们的新思想。由于显示技术涵盖非常广泛的科学知识, 来自任何方面的技术突破都可能导致该产业的显著进步。有时, 不同显示技术之间不但存在竞争, 也存在合作。例如, 从显示应用而言, LCD 和 LED 是完全不同的技术。但是, LED 也可用做 LCD 的背光源。得到的结果是, LCD 的色域扩大, 动态对比度增强, 功耗降低。读完本书后, 期待读者能够从科学、技术和工程的角度对显示技术有一个整体的印象。不同的显示技术适合不同的尺寸 (分布范围从对角线小于 1 英寸到大于 100 英寸) 和应用 (如户外、室内和移动显示)。另外, 本书也可作为读者迈向从事更先进的研究与开发工作的入门台阶。



本书的内容安排如下。第 1 章作为开发一种显示应用和评判其性能的导引，介绍了显示技术的分类和性能指标。同时还讲述了不同显示技术（LCD、PDP、LED、OLED 和 FED）的应用。显示是用于产生或者再现彩色图像。第 2 章我们从科学的角度介绍了彩色形成的过程。以此为基础，可以应用彩色科学的背景知识在工程上实现彩色显示。第 3 章讲述了以半导体材料为基础的 TFT，它用于驱动 LCD 和 OLED。由于是概论性教科书，本章首先介绍了基本的半导体物理，这些知识对第 6 章也是有用的。重点讲述了非晶硅和多晶硅的材料基础。然后，介绍了 TFT 的器件结构及其性能。最后，讲述了用于 LCD 和 OLED 的驱动技术和电路。另外，还简要介绍了诸如有机和氧化物 TFT 等新兴 TFT 技术。

第 4 章首先讲述了基本液晶化合物结构、混合物配方及物理性质，然后扩展到对器件结构和显示特性的讨论。介绍了三种类型 LCD 器件：透射式、反射式和透反式。大多数现代 LCD 采用透射式。但是，透射式 LCD 所显示的图像在直射阳光下会出现冲蚀现象。相反，反射式 LCD 可在阳光下很好地工作，但在黑暗环境下看不到图像。在保持较好的阳光下可读能力的同时，又具备透射式显示的良好图像质量，人们开发出了透反式 LCD。

第 5 章对 PDP 基础进行了总体介绍。首先讨论了气体放电物理，包括气体放电中的各种反应和  $I-V$  特性。讲述了 DC PDP 和 AC PDP 面板，以及表面放电和垂直放电方式。同时，还讲述了 PDP 面板的工艺技术和有用的工艺方法。最后，结合放电单元工作过程和驱动机理，讨论了 PDP 的系统技术。

第 6 章讨论了半导体 LED。首先介绍了材料体系，它决定了器件的发光波长。然后，讨论了 LED 的电学性能、典型的 P-N 结和相应的光学特性。介绍了 LED 的加工工艺，它会显著影响器件的电学、光学和热学特性。最后，讲述了 LED 在显示中的应用。

第 7 章讲述了 OLED，它在加工工艺和工作原理上分别与 LCD 和 LED 有类似之处。该章从有机材料开始讨论，介绍了有机材料中的光物理过程，然后讲述了有机材料中的电注入和传输，接着讨论 OLED 器件的结构和加工工艺。OLED 的一个严重缺点是寿命较短，对该问题也进行了讨论。

第 8 章对 FED 基础进行了总体介绍。首先讨论了场发射物理，包括场增强和真空问题。介绍了 FED 结构、显示原理和各种电子发射源。对低压和高压荧光粉的优缺点进行了比较。同时，还讲述了 FED 的面板工艺技术和有用的工艺方法。最后，讨论了 FED 的系统技术。

李君浩，中国台湾  
刘南洲，中国台湾  
吴诗聪，佛罗里达，美国

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 平板显示 .....	1
1.2 发光型和非发光型显示 .....	3
1.3 显示性能指标 .....	3
1.3.1 物理参量 .....	4
1.3.2 亮度和彩色 .....	5
1.3.3 对比度 .....	6
1.3.4 空间和时间特性 .....	6
1.3.5 发光效率和功耗 .....	7
1.3.6 柔性显示 .....	7
1.4 平板显示应用 .....	8
1.4.1 液晶显示 .....	8
1.4.2 发光二极管 .....	9
1.4.3 等离子体显示 .....	9
1.4.4 有机发光器件 .....	10
1.4.5 场发射显示 .....	11
参考文献 .....	11
<b>第 2 章 彩色科学与工程</b> .....	14
2.1 引言 .....	14
2.2 人眼 .....	15
2.3 色度学 .....	18
2.3.1 三基色空间 .....	18
2.3.2 CIE 1931 色度表征 .....	19
2.3.3 CIE 1976 均匀彩色系统 .....	23
2.3.4 彩色饱和度和色域 .....	25
2.3.5 光源 .....	26
2.3.6 光度学 .....	29
2.4 彩色的产生与再现 .....	31
习题 .....	32
参考文献 .....	33

<b>第 3 章 薄膜晶体管</b> .....	34
3.1 引言.....	34
3.2 结晶半导体材料的基本概念.....	34
3.2.1 结晶半导体能带结构.....	35
3.2.2 本征和非本征半导体.....	40
3.3 无序半导体.....	42
3.3.1 非晶硅.....	43
3.3.2 多晶硅.....	45
3.4 薄膜晶体管特性.....	47
3.5 无源矩阵和有源矩阵的驱动方法.....	51
3.6 非硅薄膜晶体管.....	57
习题.....	59
参考文献.....	60
<b>第 4 章 液晶显示</b> .....	63
4.1 引言.....	63
4.2 透射式薄膜晶体管液晶显示.....	64
4.3 液晶材料.....	66
4.3.1 相变温度.....	66
4.3.2 共熔混合物.....	67
4.3.3 介电常数.....	69
4.3.4 弹性常数.....	71
4.3.5 转动黏度.....	72
4.3.6 光学性质.....	72
4.3.7 折射率.....	73
4.4 液晶取向.....	76
4.5 水平取向液晶盒.....	77
4.5.1 相位延迟效应.....	79
4.5.2 透过率与电压的关系.....	79
4.6 扭曲向列液晶盒.....	80
4.6.1 光学透过率.....	81
4.6.2 视角.....	83
4.6.3 具有相位补偿膜的 TN 液晶盒.....	84
4.7 面内开关液晶盒.....	85
4.7.1 器件结构.....	86
4.7.2 透过率与电压的关系.....	86
4.7.3 视角.....	87

4.7.4	相位补偿膜	88
4.8	边缘场开关液晶盒	89
4.9	垂直取向液晶盒	90
4.9.1	透过率与电压的关系	90
4.9.2	响应时间	91
4.9.3	过驱动和下冲电压方法	93
4.9.4	多畴垂直取向液晶盒	94
4.10	光学补偿弯曲液晶盒	96
4.10.1	透过率与电压的关系	96
4.10.2	OCB 补偿膜	97
4.10.3	无偏压弯曲液晶盒	98
4.11	透反式液晶显示	99
4.11.1	引言	99
4.11.2	双盒度透反式液晶显示	102
4.11.3	单盒厚透反式液晶显示	104
4.12	未来发展方向	109
	习题	109
	参考文献	111
<b>第 5 章</b>	<b>等离子体显示</b>	<b>120</b>
5.1	引言	120
5.2	气体放电物理	121
5.2.1	$I-V$ 特性	122
5.2.2	潘宁电离和巴邢曲线	122
5.2.3	引火机制	123
5.3	等离子体显示面板	123
5.3.1	DC PDP	123
5.3.2	AC PDP	124
5.3.3	面板制造工艺	126
5.4	前基板技术	128
5.4.1	基板玻璃	129
5.4.2	维持电极	129
5.4.3	介质层	130
5.4.4	介质保护层	131
5.5	后基板技术	131
5.5.1	基板玻璃	132
5.5.2	寻址电极	132

5.5.3	介质层	133
5.5.4	障壁	133
5.5.5	荧光粉层	135
5.6	封装与老练技术	137
5.6.1	封接层形成和面板对位	137
5.6.2	封接、排气和充气	138
5.6.3	老练	139
5.7	驱动系统技术	140
5.7.1	单元工作机理	140
5.7.2	驱动	141
5.7.3	能量恢复	142
5.7.4	PDP 相关问题	143
	习题	144
	参考文献	144
<b>第 6 章</b>	<b>发光二极管</b>	<b>150</b>
6.1	引言	150
6.2	材料体系	153
6.2.1	用于红光和黄光 LED 的 AlGaAs 和 AlGaInP 材料体系	155
6.2.2	用于绿光、蓝光和紫外 LED 的 GaN 材料体系	156
6.2.3	白光 LED	158
6.3	二极管特性	161
6.3.1	P 型层和 N 型层	162
6.3.2	耗尽区	163
6.3.3	$J$ - $V$ 特性	166
6.3.4	异质结结构	167
6.3.5	量子阱、量子线和量子点结构	168
6.4	发光特性	169
6.4.1	复合模型	170
6.4.2	$L$ - $J$ 特性	171
6.4.3	光谱特性	173
6.5	器件制作	175
6.5.1	外延	176
6.5.2	工艺流程和器件结构设计	178
6.5.3	出光效率改善	180
6.5.4	封装	183
6.6	应用	183

6.6.1	交通灯、电子招牌和巨型显示	184
6.6.2	LCD 背光源	185
6.6.3	普通照明	188
习题		188
参考文献		189
<b>第 7 章</b>	<b>有机发光器件</b>	<b>192</b>
7.1	引言	192
7.2	有机材料中的能态	193
7.3	光物理过程	194
7.3.1	弗兰克-康登原理	195
7.3.2	荧光和磷光	197
7.3.3	雅布伦斯基图	198
7.3.4	分子间过程	199
7.3.5	量子产额计算	202
7.4	载流子注入、传输和复合	204
7.4.1	理查森-肖特基热电子发射	206
7.4.2	SCLC、TCLC 和 PF 迁移率	207
7.4.3	电荷复合	209
7.4.4	电磁波辐射	209
7.5	结构、制作和表征	211
7.5.1	器件结构	212
7.5.2	聚合物 OLED	220
7.5.3	器件制作	221
7.5.4	电学和光学特性	227
7.5.5	退化机制	230
7.6	内量子效率改善	235
7.6.1	磷光 OLED	235
7.6.2	串列结构	237
7.6.3	白光 OLED	239
7.7	引出效率改善	241
习题		242
参考文献		243
<b>第 8 章</b>	<b>场发射显示</b>	<b>253</b>
8.1	引言	253
8.2	场发射的物理基础	253
8.2.1	功函数和场增强	253

8.2.2 真空机制.....	256
8.3 FED 的结构和显示机理.....	257
8.4 发射体.....	258
8.4.1 Spindt 型发射体.....	259
8.4.2 CNT 发射体.....	261
8.4.3 表面传导电子发射.....	263
8.5 面板工艺.....	264
8.6 场发射阵列基板技术.....	267
8.7 荧光粉基板技术.....	268
8.8 封装和老练.....	270
8.8.1 支撑柱.....	270
8.8.2 封接层制备和基板对位.....	271
8.8.3 封接.....	272
8.8.4 排气和封断.....	272
8.8.5 老练.....	273
8.9 驱动电路系统技术.....	273
习题.....	274
参考文献.....	275
<b>索引</b> .....	<b>281</b>

# 第1章 绪 论

## 1.1 平板显示

显示是一种包含刺激人类视觉系统信息的界面，这些信息可以是图片、动画、电影以及文本。人们可以认为显示的功能就是产生或再现彩色和图像。像一幅油画或者一本书那样，使用墨水在纸上写字、绘画或者印刷就是一种传统的显示。然而，这种传统显示的内容是静态的、不可擦除的。另外，在阅读或看图片的时候需要人工光源或自然光。目前，有许多电子显示利用电信号在显示面板上产生可被人眼感知的图像。这些显示通常被分为发光型和非发光型两类。对于发光型显示，显示面板上一幅图像的每个像素均可发光。相反，非发光型显示则利用光的吸收、反射、折射和散射等方式调制光，从而实现彩色和图像的显示。对于非发光型显示，需要一个光源。因此，非发光型显示可分为透射型和反射型。用于家庭娱乐的一种最成功的显示技术就是阴极射线管（CRT）显示，它被广泛应用于电视机（TV）中。CRT 已经成为了一种成熟的技术，它具有自发光、宽视角、快速响应、色彩饱和度好、长寿命和图像质量佳等优点。但是，CRT 的主要缺点是体积大。CRT 的厚度与它的长度和宽度基本相当。例如，对于幅型比为 4:3 的 19 英寸 CRT 监视器，长度和宽度分别为 38.6cm 和 30.0cm，厚度大约为 40cm。因此，CRT 显得比较笨重，巨大的体积和质量限制了它的应用。

本书主要介绍各种类型的平板显示（FPD）。从名称上看，这些显示器都有一个共同的特点，就是厚度很薄，仅有几厘米或者更薄。例如，作为目前主流显示技术的液晶显示（LCD），其对角线尺寸从小于 1 英寸（微显示）到超过 100 英寸。LCD 通常采用薄膜晶体管（TFT）驱动。液晶（LC）是一种自身不发光的光学调制器。因此，透射式 LCD 需要一个背光模块。大多数 LCD 通常采用两个正交的偏振片来获得高对比度。除非采用偏振转换方式，否则，两个偏振片的使用会将光的最大透过率限制在 35%~40% 之间。另外，当以斜视角度观看时，两个正交偏振片的光轴将不再相互垂直。液晶是一种双折射介质，它的电光效应取决于入射光的方向。因此，LCD 的视角是一个重要问题。大多数宽视角 LCD 都需要多个光学相位补偿薄膜，一方面用于补偿正交的偏振片，另一方面用于补偿双折射 LC。薄膜补偿的透射式 LCD 具有高对比度、高分辨率、图像清晰、色彩饱和度好和宽视角等优点。然而，在阳光直射下，显示的图像会被冲蚀。例如，在室外环境下使用笔记本电脑，显示的图像就不容易被看清楚。这是由于 LCD 屏表面反射阳光的亮度远高于其背光系统透射光的亮度，使其信噪比降低。涂覆宽



带抗反射薄膜无疑有助于提高 LCD 在阳光下的可阅读性。

另一种提高 LCD 在阳光下可阅读性的方法是采用反射式 LCD<sup>[1]</sup>。反射式 LCD 利用环境光实现图像显示，不需要背光系统，因此，质量可得到减轻。液晶手表就是其中的一个例子。大多数反射式 LCD 在对比度、色彩饱和度和视角方面显示效果不如透射式 LCD。另外，反射式 LCD 不能在暗环境中使用，因此，其应用范围相当有限。

为了克服 LCD 在阳光下的可阅读性问题，并保持高的图像质量，人们已经开发出了一种混合式显示，称为透反式液晶显示 (TR-LCD)<sup>[2]</sup>。在 TR-LCD 中，每个像素被分成两个子像素：透射部分 (T) 和反射部分 (R)。T 和 R 的面积比可以根据实际应用进行调整。例如，如果显示器大多数情况下在户外使用，那么就可以将面积比设计为 80% 的反射和 20% 的透射。相反，如果显示器经常在室内使用，则可将面积比设计为 80% 的透射和 20% 的反射。在 TR-LCD 家族里，还有其他一些结构：双盒厚和单盒厚，双 TFT 和单 TFT。这些方法都试图解决子像素 T 和 R 之间的光学路径长度不一致的问题。在透射模式中，背光单元的光只穿过 LC 一次，但在反射模式中，环境光要穿过 LC 两次。为了平衡光学路径长度，可以使子像素 T 的盒厚为子像素 R 的两倍，这就是所谓的双盒厚方式。单盒厚方式则是整个 T 和 R 区域具有一致的盒厚。人们已经提出了多种方法来平衡不同的光学路径长度，例如，双 TFT、双场（对于 T 区使用强场，对于 R 区使用弱场）和双取向。目前，绝大多数 TR-LCD 基于如下两个原因选择双盒厚方式：

- ① T 和 R 区域都能达到最大的光效率；
- ② 盒厚电压-透射率 (V-T) 关系和电压-反射率 (V-R) 之间的伽马曲线匹配很完美。

然而，双盒厚方式具有两点缺陷：首先，由于 T 区的盒厚大约是 R 区的两倍，所以，它的响应时间比 R 区长；其次，视角相对偏窄，尤其在采用同样液晶盒的情况下更为明显。为了增大视角，应该采用一种特殊的杆状液晶聚合物补偿膜。第 4 章将详细讲述各种类型的 LCD。

等离子体显示 (PDP) 是一种发光型显示，可看做面板上很多微型荧光灯的阵列。作为一种发光型显示，PDP 具有更好的显示性能，例如，色彩饱和度好、宽视角。由于制造工艺的限制，PDP 的像素尺寸不能够太小。对于有限像素尺寸而言，可通过增大面板尺寸来增加视频显示内容。PDP 更适合大屏幕显示。2008 年，松下展示了像素数为 4096×2160 的 150 英寸 PDP 电视，其分辨率比目前全高清晰度电视 (HDTV) 高 4 倍以上。

发光二极管 (LED) 和有机发光显示 (OLED) 是分别采用半导体和有机材料的电致发光器件。电子和空穴在发光材料中复合，材料的带隙决定了发射光的波长。

场发射显示 (FED) 利用尖端阴极产生电子。这些电子轰击荧光粉，发出红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三色光。场发射显示很像是平板式 CRT。由于 CRT 中已开发出成熟的技术，FED 除了具有 CRT 的所有优点之外，还具有更薄的面板厚度。