



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会  
光电信息科学与工程专业教学指导分委员会规划教材  
普通高等教育光电信息科学与工程专业应用型规划教材

# 光电显示 技术及应用

Optical-Electronic Display  
Technologies and Applications

文尚胜 主 编  
李 超 副主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会  
光电信息科学与工程专业教学指导分委员会规划教材  
普通高等教育光电信息科学与工程专业应用型规划教材

# 光电显示技术及应用

主 编 文尚胜  
副主编 李 超



机械工业出版社

本书系统地介绍了光电显示技术的概况、光电显示技术的发展历程及其技术基础、薄膜晶体管、背光源技术、触摸屏技术、液晶显示技术、OLED 显示技术、激光显示技术、投影显示技术、电影显示技术、LED 显示技术、3D 显示技术、其他新型显示技术，以及历史上使用过的显示技术。

本书可作为普通高等院校光电信息科学与工程、光学工程、应用物理、信息工程、通信工程、电子科学与技术等相关专业的本科生和研究生教材，也可供相关专业科技人员、工程技术人员参考。

(责任编辑邮箱: jinacmp@163.com)

## 图书在版编目(CIP)数据

光电显示技术及应用/文尚胜主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 12  
普通高等教育光电信息科学与工程专业应用型规划教材  
ISBN 978-7-111-61087-8

I. ①光… II. ①文… III. ①显示 - 光电子技术 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TN27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 230863 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吉玲 责任编辑: 吉玲 陈文龙 刘丽敏

责任校对: 刘志文 封面设计: 张静

责任印制: 张博

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 395 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-61087-8

定价: 42.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 普通高等教育光电信息科学与工程专业应用型规划教材 编审委员会

主任委员	郁道银	天津大学
副主任委员	付跃刚	长春理工大学
	刘缠牢	西安工业大学
	文尚胜	华南理工大学
	周自刚	西南科技大学
秘 书	吉 玲	机械工业出版社
委 员	毕卫红	燕山大学
	蔡怀宇	天津大学
	萧泽新	桂林电子科技大学
	刘 爽	电子科技大学
	吕 勇	北京信息科技大学
	黄一帆	北京理工大学
	顾济华	苏州大学
	张新亮	华中科技大学
	郑晓东	浙江大学
	贾宏志	上海理工大学
	江 洁	北京航空航天大学
	金锡哲	大连大学
	李振华	南京理工大学
	张 艳	中国计量学院
	姚日晖	华南理工大学
	张逸新	江南大学
	姚红兵	江苏大学
	彭 滢	上海理工大学
	马 宁	北京杏林睿光科技有限公司

# 前言

显示技术行业，已经成为电子信息产业的一大支柱。近年来，光电显示技术作为光电技术的重要组成部分得到了迅速的发展，应用范围也越来越广泛。21世纪以来，随着CRT显示技术和之后的等离子（PDP）显示技术先后淡出家电市场，众多其他显示技术迅速崛起。随着21世纪社会信息化程度的不断提高，液晶（LCD）显示技术和有机电致发光（OLED）显示技术等新型显示技术获得了长足的发展，同时，在移动终端显示、数码相机取景器、多媒体终端、机载和车载显示系统、特种装备显示等领域，众多不同显示技术有着不同的市场。在我国大踏步向四个现代化以及国家大力发展平板显示行业的大背景下，为了推动我国信息显示技术的发展，很多高校相继成立与光电显示技术相关的专业。随之而来的问题就是目前急需一本全面、系统的教材，深入浅出地为高校在校生介绍各种显示技术的工作原理和技术特点，因此，在华南理工大学文尚胜教授的积极倡导下编写了本书。

本书对21世纪以来迅速发展起来的光电显示技术做了系统、全面的讲述。全书根据显示技术的类型可分为五大部分，分别是平板显示技术、投影显示技术、LED显示技术、3D显示技术、其他显示技术和历史上使用过的显示技术，共13章。其中，第1章总体介绍显示技术基础；第2~6章为平板显示技术部分，介绍了液晶显示（LCD）、有机电致发光（OLED）、场致发射、触摸屏等显示技术；第7~9章为投影显示技术部分，介绍了激光显示技术、投影显示技术以及电影显示技术；第10章介绍了LED显示技术；第11章介绍了3D显示技术；第12章介绍了其他新型显示技术；第13章介绍了历史上使用过的显示技术。

全书在内容上具有以下特点：

1) 内容新颖。在介绍目前市场上主流显示技术的同时，对较为前沿的显示技术也进行了较为详细的介绍。

2) 内容浅显易懂。在本书的编写过程中，编者始终注重学生对于内容的理解，省去了大量晦涩难懂的理论推导，旨在通过浅显的理论描述结合具体案例勾勒出不同显示技术在学生脑海中的简单知识构架。

3) 内容全面。本书是目前显示技术领域内容较为全面的教科书，从已经淡出市场的CRT显示技术到一些新型显示技术，本书均进行了初步的介绍，同时还介绍了许多非主流的显示技术。

参与本书编写的都是多年从事各类显示技术教学与研究的高校教师和科研人员，都经历了我国显示技术的兴起和发展，对于光电显示技术都有着深入的了解。具体编写分工如下：

前言（文尚胜、马丙戌）

第1章 显示技术基础（李超、陈宇、程宏斌）

第2章 薄膜晶体管（张炜、李佳育、姜春生、张磊）

第3章 背光源技术（文尚胜、马丙戌）

- 第4章 触摸屏技术 (唐根初、刘伟)
- 第5章 液晶显示技术 (翟爱平、王丹、李佳育、姜春生)
- 第6章 OLED 显示技术 (李战峰、邹建华、张磊)
- 第7章 激光显示技术 (陈长水)
- 第8章 投影显示技术 (周金运、刘海勇)
- 第9章 电影显示技术 (龚波、刘达、刘健南、崔晓宇、吴昊)
- 第10章 LED 显示技术 (陈宇、程宏斌、刘召军、罗啸、张珂)
- 第11章 3D 显示技术 (李超、时大鑫、康献斌、李书政)
- 第12章 其他新型显示技术 (陈军、李超、李倩、姚日晖、高丹鹏、杨伯儒)
- 第13章 历史上使用过的显示技术 (时大鑫、王丹)

由于编者的知识水平有限,书中谬误在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

编者

# 目 录 Contents

## 前 言

### 第 1 章 显示技术基础 ..... 1

#### 1.1 光电显示技术的定义和种类 ..... 1

##### 1.1.1 光电显示的定义 ..... 1

##### 1.1.2 光电显示技术的种类及其发展历史 ..... 2

#### 1.2 光电显示技术基础 ..... 4

##### 1.2.1 光学基础知识 ..... 4

##### 1.2.2 人眼视觉与生理学基础知识 ..... 6

##### 1.2.3 色度学基础 ..... 8

##### 1.2.4 显示器件的主要技术指标 ..... 11

##### 1.2.5 光电显示的未来展望 ..... 13

#### 本章小结 ..... 13

#### 本章习题 ..... 13

#### 参考文献 ..... 14

### 第 2 章 薄膜晶体管 ..... 15

#### 2.1 薄膜晶体管简介 ..... 15

##### 2.1.1 薄膜晶体管的发展历程 ..... 16

##### 2.1.2 薄膜晶体管的技术分类及比较 ..... 16

##### 2.1.3 薄膜晶体管的基本特性 ..... 18

#### 2.2 非晶硅薄膜晶体管 ..... 21

##### 2.2.1 非晶硅薄膜晶体管简介 ..... 21

##### 2.2.2 非晶硅薄膜晶体管的结构划分 ..... 21

##### 2.2.3 非晶硅薄膜晶体管的制备工艺 ..... 23

#### 2.3 低温多晶硅 (LTPS) 薄膜晶体管 ..... 27

##### 2.3.1 低温多晶硅薄膜晶体管简介 ..... 27

##### 2.3.2 低温多晶硅薄膜晶体管的制备工艺 ..... 28

##### 2.3.3 多晶成膜技术 ..... 29

##### 2.3.4 低温多晶硅离子注入技术及激活工艺 ..... 31

#### 2.4 铟镓锌氧 (IGZO) 薄膜晶体管 ..... 32

##### 2.4.1 氧化物薄膜晶体管简介 ..... 32

##### 2.4.2 有源层的分类 ..... 33

##### 2.4.3 铟镓锌氧 (IGZO) 薄膜晶体管的结构划分 ..... 34

##### 2.4.4 铟镓锌氧 (IGZO) 薄膜晶体管的制备 ..... 35

##### 2.4.5 氧化物 TFT 在显示面板中的应用 ..... 36

##### 2.4.6 主流薄膜晶体管显示面板的比较 ..... 37

#### 2.5 薄膜晶体管的应用 ..... 38

#### 本章小结 ..... 38

#### 本章习题 ..... 39

#### 参考文献 ..... 39

### 第 3 章 背光源技术 ..... 41

#### 3.1 背光源技术基础知识 ..... 41

##### 3.1.1 背光源的发展历程 ..... 42

##### 3.1.2 背光源的分类 ..... 42

#### 3.2 背光源的基本组件及其关键技术 ..... 45

##### 3.2.1 液晶显示器的光学系统 ..... 46

##### 3.2.2 背光源的基本光学组件及其关键技术 ..... 46

#### 3.3 背光源对显示效果的影响及其设计 ..... 50

##### 3.3.1 显示器背光源特性要求 ..... 50

##### 3.3.2 背光源对画面显示质量的影响 ..... 50

##### 3.3.3 背光源的光学设计 ..... 54

#### 本章小结 ..... 57

#### 本章习题 ..... 58

#### 参考文献 ..... 58

### 第 4 章 触摸屏技术 ..... 59

#### 4.1 概述 ..... 59

##### 4.1.1 触摸屏的发展历史 ..... 59

##### 4.1.2 触摸屏的分类 ..... 60

#### 4.2 电容式触摸屏原理 ..... 63

##### 4.2.1 电容式触摸屏测量原理 ..... 63

##### 4.2.2 电容式触摸屏算法解析 ..... 64

#### 4.3 电容式触摸屏结构 ..... 65

##### 4.3.1 外挂电容式触摸屏 ..... 65

##### 4.3.2 内嵌电容式触摸屏 ..... 66

#### 4.4 触摸屏的材料应用及发展趋势 ..... 69

4.4.1 光学透明胶 .....	69	6.4.2 OLED 照明 .....	118
4.4.2 透明导电材料 .....	69	6.4.3 OLED 综合应用 .....	119
4.4.3 保护盖板 .....	70	本章小结 .....	120
本章小结 .....	72	本章习题 .....	120
本章习题 .....	72	参考文献 .....	121
参考文献 .....	72	<b>第7章 激光显示技术</b> .....	122
<b>第5章 液晶显示技术</b> .....	74	7.1 激光显示相关技术基础 .....	122
5.1 液晶及其物理性质 .....	74	7.1.1 激光显示系统中的激光器 .....	122
5.1.1 液晶的基本知识 .....	74	7.1.2 激光显示系统中的光调制器 .....	123
5.1.2 液晶的物理性质 .....	75	7.1.3 激光显示系统中的二维扫描器和 光偏转器 .....	124
5.2 液晶显示器件的发展历程 .....	79	7.2 激光显示的分类和特点 .....	125
5.3 LCD 的制备工艺和技术 .....	80	7.2.1 激光显示的分类 .....	125
5.3.1 LCD 的显示原理及其主要构造 .....	80	7.2.2 激光显示的特点 .....	127
5.3.2 液晶的彩色显示 .....	82	7.3 激光显示原理 .....	127
5.3.3 LCD 的基本制作流程 .....	83	7.3.1 基本原理 .....	127
5.4 LCD 的驱动 .....	87	7.3.2 背投式激光显示技术 .....	129
5.4.1 静态驱动 .....	87	7.3.3 前投式激光显示技术 .....	129
5.4.2 无源矩阵电极驱动 .....	88	7.3.4 激光全息显示技术 .....	130
5.4.3 有源矩阵电极驱动 .....	89	7.4 激光显示的现状和发展 .....	130
5.5 液晶显示技术的新进展 .....	91	本章小结 .....	131
5.5.1 量子点显示技术 .....	91	本章习题 .....	131
5.5.2 低反射液晶显示技术 .....	91	参考文献 .....	131
5.5.3 曲面液晶显示技术 .....	92	<b>第8章 投影显示技术</b> .....	133
5.5.4 LCD 的宽视角技术 .....	95	8.1 投影显示技术的分类 .....	133
5.6 LCD 的发展方向 .....	96	8.1.1 CRT 投影显示 .....	133
本章小结 .....	98	8.1.2 LCD 投影显示 .....	134
本章习题 .....	98	8.1.3 LCoS (硅基液晶) 投影显示 .....	135
参考文献 .....	98	8.1.4 DLP (数字光处理) 投影显示 .....	136
<b>第6章 OLED 显示技术</b> .....	100	8.2 DLP 投影显示系统的结构 .....	137
6.1 OLED 基础知识 .....	100	8.3 DLP 投影机的关键部位 .....	138
6.1.1 概述 .....	100	8.3.1 核心器件 DMD 的结构和工作 原理 .....	138
6.1.2 OLED 的基本结构和工作原理 .....	101	8.3.2 照明部件 .....	139
6.1.3 OLED 的性能特点 .....	102	8.3.3 投影镜头 .....	142
6.1.4 OLED 的分类 .....	103	8.4 DLP 投影显示技术指标及其测试 方法 .....	143
6.2 OLED 的关键技术 .....	103	8.4.1 测试的环境和条件要求 .....	143
6.2.1 OLED 材料 .....	103	8.4.2 光输出 .....	144
6.2.2 OLED 的制备工艺 .....	106	8.4.3 照度均匀性 .....	145
6.2.3 OLED 的驱动技术 .....	107	8.4.4 色度不均匀性 .....	145
6.3 OLED 显示 .....	110	8.4.5 对比度 .....	145
6.3.1 OLED 显示技术的发展历史 .....	110	本章小结 .....	146
6.3.2 OLED 与 LCD 显示技术对比 .....	110	本章习题 .....	146
6.3.3 OLED 的彩色化 .....	114		
6.4 OLED 产业化 .....	117		
6.4.1 OLED 的产业现状及发展趋势 .....	117		



参考文献	146	测量的主要因素	181
<b>第9章 电影显示技术</b>	147	10.5.3 LED 显示屏光学特性的实验室综合测量方案	183
9.1 数字影院	147	10.6 Micro-LED 显示技术	183
9.1.1 数字影院的定义和技术演进	147	10.6.1 Micro-LED 显示的历史及现状	183
9.1.2 数字影院技术标准体系	148	10.6.2 Micro-LED 显示的设计原理与制备技术	185
9.2 数字电影放映机	149	10.6.3 Micro-LED 显示的结果及分析	189
9.3 巨幕电影	150	10.6.4 Micro-LED 显示的应用及发展	190
9.4 中国巨幕	151	本章小结	191
9.5 IMAX 巨幕	153	本章习题	192
9.6 数字电影放映检测评估与认证	154	参考文献	192
9.6.1 我国数字电影放映检测认证	154	<b>第11章 3D 显示技术</b>	194
9.6.2 THX 认证	155	11.1 3D 显示技术的定义和种类	194
本章小结	156	11.1.1 3D 显示技术的定义	194
本章习题	156	11.1.2 3D 显示技术的种类	194
参考文献	156	11.2 基于双图像的3D 显示技术	195
<b>第10章 LED 显示技术</b>	158	11.2.1 双色型3D 显示	195
10.1 LED 显示的基础知识	158	11.2.2 电子快门型3D 显示	196
10.1.1 概述	158	11.2.3 偏振型3D 显示	196
10.1.2 LED 显示的发展历程	159	11.2.4 裸眼型3D 显示	197
10.1.3 LED 的工作原理	160	11.2.5 多视点裸眼3D 显示	197
10.1.4 LED 显示的国内外现状和发展方向	162	11.3 LED 3D 显示技术	200
10.2 LED 显示系统的基本组成及其显示控制方法	163	11.3.1 简述	200
10.2.1 显示系统的基本组成	163	11.3.2 电子快门型 LED 3D 显示	200
10.2.2 显示控制的原理和方法	165	11.3.3 偏振型 LED 3D 显示	201
10.2.3 显示控制的关键技术	171	11.3.4 裸眼型 LED 3D 显示	202
10.3 LED 显示屏的分类	173	11.4 真三维(3D) 显示技术	202
10.3.1 按照像素间距分类	173	11.5 全息显示技术	203
10.3.2 按照封装方式分类	173	11.5.1 基于全息功能屏的3D 光场显示技术	205
10.3.3 按照应用场合分类	174	11.5.2 基于 MEMS 光束扫描的 LHE 裸眼3D	206
10.3.4 按照使用的 LED 灯的类型分类	174	11.6 其他裸眼型显示技术	207
10.4 LED 小间距显示的进展	175	11.7 视觉健康与3D 眩晕综合症	208
10.4.1 LED 小间距显示的封装	176	本章小结	209
10.4.2 LED 小间距显示的 SMD 类型	176	本章习题	209
10.4.3 LED 小间距显示的 COB 类型	177	参考文献	209
10.4.4 COB 小间距 LED 显示的关键技术	178	<b>第12章 其他新型显示技术</b>	211
10.4.5 LED 小间距 COB 显示的进展	179	12.1 VR/AR/MR/CR 技术	211
10.5 LED 显示系统的检测方法	180	12.1.1 虚拟现实(VR) 技术	212
10.5.1 表征光学性能的关键技术指标	180		
10.5.2 现有亮度测量设备及影响亮度			

12.1.2 增强现实 (AR) 技术 .....	213	12.5.1 电子纸显示的特性 .....	227
12.1.3 混合现实 (MR) 技术 .....	213	12.5.2 电泳显示技术 .....	228
12.1.4 各种“R”的关系 .....	214	12.5.3 电泳显示的色彩化 .....	229
12.1.5 VR/AR 技术的应用 .....	215	12.5.4 电子纸的测量 .....	230
12.2 量子点显示技术 .....	216	本章小结 .....	230
12.2.1 量子点材料的发展 .....	216	本章习题 .....	231
12.2.2 量子点材料的概述 .....	216	参考文献 .....	231
12.2.3 量子点背光技术的应用及 优势 .....	217	<b>第 13 章 历史上使用过的显示技术</b> .....	233
12.3 可穿戴显示技术 .....	218	13.1 概述 .....	233
12.3.1 头戴式显示设备的结构 .....	218	13.2 阴极射线管 (CRT) 显示技术 .....	233
12.3.2 头戴式显示设备的性能评价 .....	220	13.2.1 CRT 显示器的结构与工作 原理 .....	233
12.3.3 谷歌眼镜 .....	221	13.2.2 彩色显像管的分类与特点 .....	235
12.3.4 谷歌头戴显示器 .....	221	13.2.3 CRT 显示器的特点 .....	237
12.3.5 苹果智能手表 .....	221	13.3 PDP 显示技术 .....	238
12.4 场致发射显示技术 .....	221	13.3.1 等离子显示的基本原理 .....	239
12.4.1 场致发射显示器件的基本 原理 .....	222	13.3.2 等离子显示器 .....	240
12.4.2 场致发射显示器件的结构及 工艺 .....	223	13.4 其他大屏幕显示技术 .....	245
12.4.3 阴极基板技术 .....	224	本章小结 .....	248
12.5 电子纸显示技术 .....	227	本章习题 .....	248
		参考文献 .....	248

### 导读

光电子学是对于可以发光、检测和产生光控的电子设备进行研究和应用的科学，包括可见光和不可见光（如 $\gamma$ 射线、 $\alpha$ 射线、X射线、紫外线、红外线等）。光电器件是电到光或光到电的转换器，以及在相应操作中使用此类设备的器件。

光电显示技术是整个光电子学中的一个重要部分，是人们对于信息表达的一个最重要的手段。光电显示是使用器件或系统给人眼对于世间万物的表格、曲线、图形、图像以及其他信息予以最充分的表达，根据心理学的描述，在人们所有感觉器官所感知的信息中，绝大部分来自视觉感知，视觉信息感知量占人们信息总感知量的比例在生理学中说法不一，但是普遍认为不低于60%，按照信息论的计算结果甚至超过90%，这就说明了光电显示技术是可以对信息进行表达的所有技术中最重要的技术。

作为电子信息产业的重要组成部分，光电显示技术已经覆盖科技、国防、工业、农业和教育等各个领域，与人类的日常生活息息相关。人们对于电子显示技术和器件提出了越来越高的要求，光电显示技术本身的发展也是日新月异，各种新技术不断涌现。本书将通过各个章节的具体描述，向读者介绍各种光电显示技术及相应光电显示器件的特性和应用。

## 1.1 光电显示技术的定义和种类

### 1.1.1 光电显示的定义

顾名思义，以电力作为能源，使得器件、部件发光，产生图片、图像供人们观看或表达信息的集合就叫作光电显示，简而言之，就是以电力作为能源、根据控制做出对于信息的表示。对于这个十分简单的词汇，各种词典有着各种不同的定义，比如：显示即表示；显示是可以提请他人注意的东西；显示是推销的中间手段等。为了区别于这些解释，有时又强调了“光电显示”是一种将一定的电子文件通过特定的传输设备显示到屏幕上使观察者感知的工具，在强调了电子显示或者光电显示的词语之后，为了区别“显示”和“指示”，一般认为应当明确显示是可以编程的。但是，任何定义都可能会有其不足，以上的提法是为了区别于某些电招牌。光电显示器包含的范围如此广大，广义上来说，早期的电磁翻板实际上也应属于光电显示技术的范畴内，只不过那个光是使用了其他光源的反射而已，由于其原理简单且早已淘汰，故这里不专门介绍；在新型显示技术层出不穷之际，无论是按照结构或显示原理，还是按照显示用途来分类，都有不到之处，所以我们的学习需要就事物的本质深入进

行，而不是就其词语进行繁复解释。

### 1.1.2 光电显示技术的种类及其发展历史

用于实用型的最小尺寸 CRT 是日本 SONY 公司制造的用于便携式显示器的 4in (1in = 2.54mm) 显像管，最大尺寸的则为日本 SONY 公司的 45in 柱面电视显像管，而另一方面，日本三菱电机公司则曾对于 37in 和 42in CRT 电视机进行了大规模生产，美国康宁公司也建成了数条 42in 显像管生产线。1989 年 4 月份北京第 11 届亚运会大屏幕考察团到日本考察时，三菱公司已经生产了 2 万个 42in CRT 并售于各个电视机厂家生产电视机，当时，SONY 刚开始生产了 15 个 45in 柱面 CRT，这是当时最大尺寸的 CRT。

自 CRT 发明以来，各种显示器件以及相应显示技术层出不穷，下面就有一定影响的显示技术予以略叙：

液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 是除 CRT 外的另一种应用最广、目前仍在大量应用，而且从目前看来生命力十分强劲的显示器。1888 年，德国人 Friedrich Reinitzer 首次发现了从胡萝卜中提取的胆固醇具有液态晶体性质，此后很多科学家对于液态晶体的性质进行了广泛的研究，1962 年，美国 RCA 公司的 Richard Williams 发现液晶有一些有趣的电光特性，他在一层薄薄的条状液晶材料上施加电压，首次发现了电光效应。1970 年 12 月 4 日，瑞士科学家 Hoffmann - LaRoche 发现液晶的扭曲向列效应，并很快市场上出现了根据他的发现原理制造的液晶显示数字手表；1972 年，第一个主动矩阵液晶显示器面板在美国宾州匹茨堡市制造成功；1983 年，瑞士 Brown、Boveri 和 Cie 公司研究人员发明了无源矩阵寻址液晶显示器，并申请了超级扭曲向列液晶 (STN) 结构发明专利，揭开了现代液晶显示持续发展新的一页。液晶显示技术的发展十分迅猛，应用范围十分广大，目前，液晶显示器已经做到了超高清晰度 (UHD) 显示，在某些特殊显示场合其清晰度甚至可以更高；可以量产的显示尺寸小到手表显示，大的电视显示已经达到了 110in，弧形屏也已问世，已经在各个应用领域的市场上替代了传统的 CRT 显示。

发光二极管 (Light - Emitting Diode, LED) 显示是近年来得到迅猛发展的另一项显示技术，由于 LED 主要是用于矩阵式显示，大量的 LED 组合在一起，在大屏幕显示方面起到了其他显示技术无法起到的作用，特别是室外广告，LED 显示技术在目前以及可以预见到的将来均是不可替代的技术。电致发光现象是英国马可尼实验室 H. J. Round 于 1907 年发现的，苏联发明家 Oleg Losev 于 1927 年报告发明了世界第一个 LED，最初的 LED 被企图用来替代白炽灯、霓虹灯指标，并在七段显示，用在昂贵设备（如实验室和电子测试设备）的指示，而后在电视、收音机、电话、计算器以及作为手表的数字显示，直至 1968 年，美国 Monsanto Company 公司率先组织大规模生产可见光 LED，利用磷砷化镓在 1968 年生产出红色的 LED，后来相继又发明了绿色和蓝色的 LED，继而由中村修二在 1993 年的发明对于蓝色和绿色 LED 的亮度进行了大幅度提高，使得 LED 大屏幕显示得到了迅猛发展。在一些大型活动中，LED 大屏幕的显示面积已达数千平方米，在小间距方面，已经做到像素间距 1mm 左右，进一步，LED 立体大屏幕也得到了发展，按照发光亮度和实际耗电的关系计算，LED 显示是最节能的显示装置。

有机发光二极管 (Organic Light - Emitting Diode, OLED) 显示也在近年来得到了迅速发展。20 世纪 50 年代初，André Bernanose 和他的同事在法国南希大学有机材料中首度观测到

的电致发光,1960年,Martin Pope和一些他在纽约大学的同事们开发了欧姆暗注到有机晶体的电极触点,这些触点是所有现代 OLED 器件电荷注入的基础。美国华裔化学家、罗切斯特大学邓青云教授和美国柯达公司 Steven Van Slyke 在 1987 年报告制成了第一个 OLED 器件,他们的发明直接导致了以后对于 OLED 的研究和发展。OLED 的主要优点是主动发光、视角范围大、对比度高、响应速度快、图像稳定、亮度高、色彩丰富、分辨率高。

其他显示技术还有等离子显示技术、投影显示技术、场致发光技术、电致发光技术、激光显示技术、电子纸显示技术、量子点技术、电泳和铁电陶瓷技术等,与光电显示技术直接相关的技术有背光源技术和触摸屏技术等。

由于显示技术类型繁多,分类可以有多种方法,简述如下:

#### (1) 按照发光形式分类

1) 直观主动型: CRT、PDP、场致发光(FED)、电致发光(ELD)、真空荧光管(VFD)、发光二极管(LED)和有机发光二极管(OLED)等。

2) 直观被动型: 液晶(LCD)、电泳显示(EPD)、电致发光显示(ECD)、铁电陶瓷(PLZT)和电子纸显示等。

3) 投影正投型: CRT、LCD/LVP、DMD 和激光。

4) 投影背投型: CRT、LCD/LVP 和 DMD。

5) 其他类型: 可穿戴型、头盔式显示器、VR(虚拟现实)、AR(增强现实)和 MR(混合现实)等。

#### (2) 按照控制系统分类

有些资料将 LED 大屏幕显示也归属于平板型,但是 LED 大屏幕显示技术属于矩阵式(也叫作阵列式)显示技术,在矩阵式显示技术中,不仅发光是由很多发光器件组成的矩阵完成,且驱动装置或器件、部件往往也是矩阵式的,这是和由单一发光器件组成的显示器的一个重要区别,严格说来,LED 大屏幕显示是一个系统而不是一个单独的显示器件,其某些测量参数(如发光亮度、色度的一致性参数)在单一发光器件中是没有的。

在历史上,两项曾经是主要显示技术的 CRT 和 PDP 先后被淘汰了,CRT 的优点是造价低、驱动电路简单,这是之所以 CRT 可以占据市场 100 年的主要原因。但是随着平板显示器的发展,CRT 的性价比逐渐被平板显示器所赶超,特别是 CRT 的体积大、重量也很大,而且 CRT 不属于数字显示,而这都是不可克服的缺点,也是 CRT 遭到淘汰的主要原因。

PDP 的淘汰是另一个例子,它的技术档次虽然也很高,但由于生产流程中不可以采用大规模光刻工艺,成本和价格始终居高不下。日本松下公司 152in 的大型 PDP 的显示面积大约为  $7\text{m}^2$ ,有一个大型双人床那么大,问世之后,很多人都拍手叫好,称在大型显示器中肯定有其一席之地。但是其生产线是巨大投资来建成的,即使是大量销售,每套卖 100 万美金,也要几十年方可收回投资。造价高而使得市场的接受能力大大降低,那么是不是可以降低造价来增大产量呢?如果降低销售价格,则永远不会收回投资,而很可能变成一个巨大的赔钱黑洞,这是一个被套住了的死结。而实际上松下公司在 2011 年拿出样机,但在后来的 3 年仅仅卖掉了 36 台,这个实际情况直接造成了松下公司不得不终止 152in PDP 项目的事实。在参数指标上已无突出优势、价格又毫无竞争力,被市场所淘汰就在情理之中了。

以上是一些主要的显示技术发展的简述,另一方面,即使在显示技术发展的初期,人们也没有忽略一个事实,即人眼所见世间万象均是由三维组成的:水平、垂直和深度,普通的

平面显示无法将景物的第三维（即深度轴）给显示出来。1908年，法国科学家 Gabriel Lippmann 发明了使用复眼透镜光栅的三维集成成像技术，这是最早的立体显示技术，但是这种三维成像技术的总体效果并不很好，以及系统较为复杂，没有得到发展。但自那以后，科学家们从未间断过努力研发全息显示、真三维、体三维等技术，这些显示技术是无需佩戴 3D 眼镜的，此外，还有若干种双图像型立体显示技术，如双色型、电子快门型、偏振型和裸眼型双图像显示技术。在以上所有立体显示技术中，至今为止唯有偏振型双图像显示技术得到了大规模应用，一个典型应用就是电影院的投影机立体显示。在后面章节中，将对各种真三维技术进行基本叙述，对于常见的双图像型 3D 显示技术进行较为详细的叙述。表 1-1 为各主要类型显示器的主要特点。

表 1-1 各主要类型显示器的主要特点

名称	显示内容	特点	缺点	主要用途	现状与预测
CRT	图像、图形、文字、符号	发明最早，系统简单，可做模拟显示，应用时间最长	体积笨重，聚焦特性差，做数字显示时整体性能逊于液晶等	电视机、计算机显示器、示波器、雷达等	曾经有最广泛的应用，目前已淘汰
液晶 (LCD)	图像、图形、文字、符号	显示面积可大可小，整体性能优于 CRT	动态响应劣于 CRT、LED 和 PDP	手机、电视机、计算机显示器、平板显示器、示波器、雷达等	应用范围广，发展势头强劲
等离子 (PDP)	图像、图形、文字、符号	显示面积比较大、反应快、亮度高	有烧伤现象，不能使用大规模光刻工艺，生产成本高	电视机、计算机显示器	曾经得到应用，现已淘汰
OLED	图像、图形、文字、符号	对比度高，小型的 OLED 可弯曲	TFT 变异性较高	手机、电视机、计算机显示器、平板显示器等	发展势头强劲
投影	图像、图形、文字、符号	设备尺寸小，显示面积大，微型投影也已开始应用	有散焦和失会聚现象，当显示面积较大时尤其严重	会堂、报告厅、电视机和其他显示器	应用范围广
LED	显示矩阵可做任何显示	显示面积大、反应快、亮度高，室内外应用均可	控制系统较为复杂，制造、安装周期长，属于工程性显示系统	室内外大屏幕显示，大尺寸电视机	应用范围广，发展势头强劲

## 1.2 光电显示技术基础

### 1.2.1 光学基础知识

#### 1. 几何光学的基本定律

几何光学以光线模型为基础，用几何方法研究光在各向同性均匀介质中的传播规律及光学系统的成像特性，以它为标准，评定光学系统的成像质量。

几何光学理论把光的传播归结为 4 个基本定律：光的直线传播定律，光的独立传播定

律,光的折射定律和光的反射定律。

折射率是描述光在介质中传播速度减慢程度的物理量,其数值  $n$  等于光在真空中的传播速度  $c$  与光在介质中的传播速度  $v$  的比值,即

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-1)$$

### (1) 光的直线传播定律

几何光学认为,在各向同性均匀介质中,光沿着直线传播,这就是光的直线传播定律。

### (2) 光的独立传播定律

各光束在传播过程中,光线在空间某点相遇时,彼此互不影响,这就是光的独立传播定律。

### (3) 光的折射定律和反射定律

如图 1-1 所示,当光束通过两各向同性均匀介质的光滑分界面时会发生折射和反射。当光传播到分界面时,一部分返回原介质,另一部分进入新介质。前者称为光的反射,后者称为光的折射,其传播规律遵循反射和折射定律。

1) 反射定律:反射光线与入射光线在同一平面内;反射光线与入射光线分别位于法线的两侧,反射角等于入射角。

$$-I'' = I \quad (1-2)$$

2) 折射定律 (Snell 定律):折射光线与入射光线在同一平面内;入射角与折射角的正弦之比等于后一种介质与前一种介质的折射率之比。

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{n'}{n} \quad (1-3)$$

3) 全反射:式 (1-3) 中,当  $n > n'$ , 且  $\sin I \geq \frac{n'}{n}$  时,界面会将入射光线全部反射回去,而无折射现象,这种现象称为光的全反射,而把  $\sin I = \frac{n'}{n}$  时的人射角称为全反射的临界角。

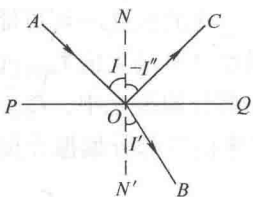


图 1-1 光的折射与反射

## 2. 波动光学的基本定律

现代物理认为,光是一种具有波粒二象性的物质,即光既具有“波动性”也具有“粒子性”。波动光学以光的电磁波特性和为基础,研究光的传播、干涉、衍射和偏振等性质及应用。

### (1) 光的干涉

若若干个相干光波相遇时产生的发光强度分布不等于由各个成员波单独造成的发光强度分布之和,而出现明暗相间的现象,这种现象称为光的干涉。两列光波的频率相同、相位差恒定、振动方向一致的相干光源,才能产生光的干涉。

由两个普通独立光源发出的光,不可能具有相同的频率,更不可能存在固定的相位差,因此,不能产生干涉现象。借助一定的光学装置将一个光源发出的光波分为若干个波,由于这些波来自同一波源,它们之间的相位差不变。同时,各个波的振动方向亦与源波一致,当光源发出单一频率的光时,会出现干涉现象,当光源发出许多频率成分的光时,每一单频成分(对应于一定的颜色)会产生相应的一组条纹,这些条纹交叠起来就呈现彩色条纹。

## (2) 光的衍射

光在传播过程中，遇到障碍物或小孔时，光将偏离直线传播的途径而绕到障碍物后面传播的现象，叫作光的衍射。衍射屏可以是反射物或透射物，如圆孔、矩孔、单缝等一类中间开孔型的，或小球、细丝、墨点、颗粒等一类中间阻挡型的。

依据光源、衍射屏（障碍物）及接收屏相对位置的不同，常将衍射分为两类，即菲涅尔衍射与夫琅和费衍射。

## (3) 光的偏振

光的电场方向，就叫作光的偏振方向，任何单一光振动，都有一定的偏振方向，所以任何光都是偏振光。自然光是各个方向偏振光的混合，整体上不体现偏振现象。

当自然光经过一个线偏振片（只允许某个方向振动的光通过）后，就变成了线偏振光。

光波包含一切可能方向的横振动，但不同方向上的强度不等，在两个互相垂直的方向上强度具有最大值  $I_{MAX}$ （振动占优势），与其垂直方向振幅  $I_{MIN}$  最小，这种光称为部分偏振光。在部分偏振光中， $I_{MAX}$  和  $I_{MIN}$  相差越大，说明该部分偏振光的偏振程度越高。通常用偏振度  $P$  来衡量部分偏振光偏振程度的大小，它的定义为

$$P = \frac{I_{MAX} + I_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}} \quad (1-4)$$

## 3. 光度学基础知识

### (1) 光通量

光通量是光源在单位时间内发出的光亮，等于辐射功率（俗称辐射通量）能够被人眼视觉所感受的有效当量。光通量符号为  $\Phi$ ，单位为流明（lm）。

### (2) 照度

照度指接收面上单位面积  $ds$  上接收的光通量  $d\Phi$ ，照度符号为  $E$ ，单位为勒克斯（lx）。

$$E = \frac{d\Phi}{ds} \quad (1-5)$$

### (3) 发光强度

发光强度指光源的某一方向上，单位立体角  $d\Omega$  内发出的光通量  $d\Phi$ ，发光强度符号为  $I$ ，单位为坎德拉（cd）。

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1-6)$$

### (4) 光亮度

如图 1-2 所示，光亮度指光源的某一方向上，单位投影面积  $\cos\theta ds$  上的发光强度  $dI$ 。光亮度符号为  $L$ ，单位为坎德拉每平方米（ $cd/m^2$ ），曾经使用 nit（尼特），有些国家至今仍在使用 nit 作为光亮度单位。显示器光亮度的单位与此相同。

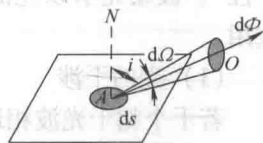


图 1-2 光亮度

$$L = \frac{dI}{\cos\theta ds} \quad (1-7)$$

## 1.2.2 人眼视觉与生理学基础知识

人眼视觉系统是中枢神经系统的一部分，使整个有机体能够处理视觉细节。它会检测并



解释从可见光来构建表示对周围环境的信息。视觉系统进行了大量复杂的任务，包括对光的接收和形成的单眼的陈述，从两个二维投影，对双目感知的积累、识别和分类的视觉对象，评估对于物象的距离和物象之间的距离，物象的相对运动，指导身体的运动及动作等。

人眼可分为感光细胞（视锥细胞和视杆细胞）的视网膜和折光系统（角膜、房水、晶状体和玻璃体）两部分。其适宜刺激是波长为380~780nm的电磁波，即可见光部分。该部分的光通过折光系统在视网膜上成像，经视神经传到大脑视觉中枢，我们就可以分辨所看到物体的色泽和分辨其亮度。因而可以看清视觉范围内的发光或反光物体的轮廓、形状、大小、颜色、远近和表面细节等情况。人眼的视觉过程如图1-3所示，感光细胞如图1-4所示。

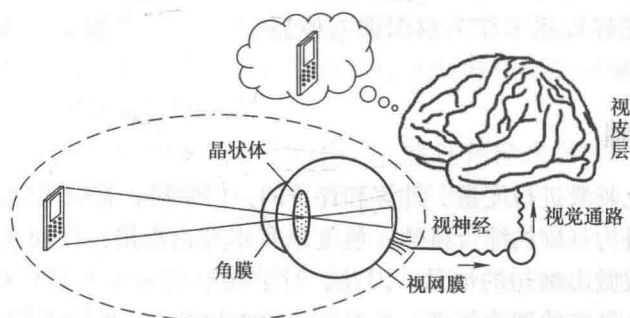


图1-3 人眼的视觉过程

当观察物体的自发光或者反射光亮度较高时，视锥细胞起主要作用，相反，亮度较低时视杆细胞起主要作用。前者可以分辨颜色和物体的细节，后者只在较暗条件下起作用，适宜于微光视觉，但不能分辨颜色和细节。

人眼是一个光学系统，但它不是普通意义上的光学系统，还受到神经系统的调节。人眼观察图像时具有以下几个方面的反应及特性：

1) 从空间频率域来看，人眼是一个低通型线性系统，分辨景物的能力是有限的。由于瞳孔有一定的几何尺寸和一定的光学像差，视觉细胞有一定的大小，所以人眼的分辨率不可能是无穷的，对于太低频率会感到强烈的闪烁感，对于过高的频率不敏感。

2) 人眼对亮度的响应具有对数非线性性质，以达到其亮度的动态范围。由于人眼对亮度响应的这种非线性，在平均亮度大的区域，人眼对灰度误差不敏感。

3) 人眼对亮度信号的空间分辨率大于对色度信号的空间分辨率。

4) 由于人眼受神经系统的调节，从空间频率的角度来说，人眼又具有带通性线性系统的特性。由信号分析的理论可知，人眼视觉系统对信号进行加权求和运算，相当于使信号通过一个带通滤波器。

5) 图像的边缘信息对视觉很重要，特别是边缘的位置信息。人眼容易感觉到边缘的位

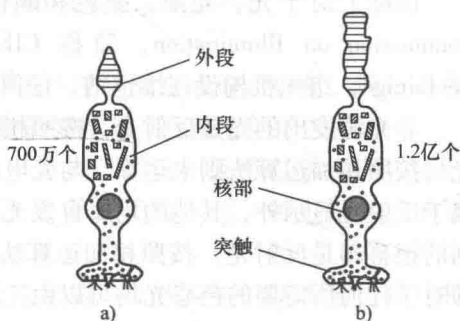


图1-4 感光细胞

a) 视锥细胞 b) 视杆细胞