



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中 外 物 理 学 精 品 书 系

引 进 系 列 · 1

有机电致发光 ——从材料到器件

【日】城户淳二 著
肖立新 陈志坚 等译



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中 外 物 理 学 精 品 书 系

引 进 系 列 · 1

有机电致发光 ——从材料到器件

【日】城户淳二 著

翻译 肖立新 陈志坚 苏仕健
魏 斌 李廷希 李 崇
(排名不分先后)

审校 肖立新 陈志坚 龚旗煌



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

著作权合同登记号:图字 01-2011-2939 号

图书在版编目(CIP)数据

有机电致发光:从材料到器件/(日)城户淳二著;肖立新等译. —北京:北京大学出版社,2012.2

(中外物理学精品书系)

ISBN 978-7-301-20173-2

I. ①有… II. ①城… ②肖… III. ①电致发光-发光材料 ②电致发光-发光器件 IV. ①TB39 ②TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 018058 号

YUUKI EL NO SUBETE

Copyright © 2003 Junji Kido

Original Japanese edition published in 2003 by NIPPON JITSUGYO Publishing Co., Ltd.

Simplified Chinese Character rights arranged with NIPPON JITSUGYO Publishing Co., Ltd, through Owls Agency Inc., Tokyo.

中文简体版由北京大学出版社出版

书 名:有机电致发光——从材料到器件

著作责任者:[日]城户淳二 著 肖立新 陈志坚 等译

责任编辑:刘 啸

标准书号:ISBN 978-7-301-20173-2/O·0865

出版发行:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752038

出版部 62754962

电子邮箱:zpup@pup.pku.edu.cn

印 刷 者:北京中科印刷有限公司

经 销 者:新华书店

730 毫米×980 毫米 16 开本 10 印张 164 千字

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价:27.00 元

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

举报电话:010-62752024 电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

《中外物理学精品书系》

编委会

主任：王恩哥

副主任：夏建白

编委：（按姓氏笔画排序，标*号者为执行编委）

王力军	王孝群	王牧	王鼎盛	石兢
田光善	冯世平	邢定钰	朱邦芬	朱星
向涛	刘川*	许宁生	许京军	张酣*
张富春	陈志坚*	林海青	欧阳钟灿	周月梅*
郑春开*	赵光达	聂玉昕	徐仁新*	郭卫*
资剑	龚旗煌	崔田	阎守胜	谢心澄
解士杰	解思深	潘建伟		

秘书：陈小红

序 言

物理学是研究物质、能量以及它们之间相互作用的科学。她不仅是化学、生命、材料、信息、能源和环境等相关学科的基础,同时还是许多新兴学科和交叉学科的前沿。在科技发展日新月异和国际竞争日趋激烈的今天,物理学不仅囿于基础科学和技术应用研究的范畴,而且在社会发展与人类进步的历史进程中发挥着越来越关键的作用。

我们欣喜地看到,改革开放三十多年来,随着中国政治、经济、教育、文化等领域各项事业的持续稳定发展,我国物理学取得了跨越式的进步,做出了很多为世界瞩目的研究成果。今日的中国物理正在经历一个历史上少有的黄金时代。

在我国物理学科快速发展的背景下,近年来物理学相关书籍也呈现百花齐放的良好态势,在知识传承、学术交流、人才培养等方面发挥着无可替代的作用。从另一方面看,尽管国内各出版社相继推出了一些质量很高的物理教材和图书,但系统总结物理学各门类知识和发展,深入浅出地介绍其与现代科学技术之间的渊源,并针对不同层次的读者提供有价值的教材和研究参考,仍是我国科学传播与出版界面临的一个极富挑战性的课题。

为有力推动我国物理学研究、加快相关学科的建设与发展,特别是展现近年来中国物理学者的研究水平和成果,北京大学出版社在国家出版基金的支持下推出了《中外物理学精品书系》,试图对以上难题进行大胆的尝试和探索。该书系编委会集结了数十位来自内地和香港顶尖高校及科研院所的知名专家学者。他们都是目前该领域十分活跃的专家,

确保了整套丛书的权威性和前瞻性。

这套书系内容丰富,涵盖面广,可读性强,其中既有对我国传统物理学发展的梳理和总结,也有对正在蓬勃发展的物理学前沿的全面展示;既引进和介绍了世界物理学研究的发展动态,也面向国际主流领域传播中国物理的优秀专著。可以说,《中外物理学精品书系》力图完整呈现近现代世界和中国物理科学发展的全貌,是一部目前国内为数不多的兼具学术价值和阅读乐趣的经典物理丛书。

《中外物理学精品书系》另一个突出特点是,在把西方物理的精华要义“请进来”的同时,也将我国近现代物理的优秀成果“送出去”。物理学科在世界范围内的重要性不言而喻,引进和翻译世界物理的经典著作和前沿动态,可以满足当前国内物理教学和科研工作的迫切需求。另一方面,改革开放几十年来,我国的物理学研究取得了长足发展,一大批具有较高学术价值的著作相继问世。这套丛书首次将一些中国物理学者的优秀论著以英文版的形式直接推向国际相关研究的主流领域,使世界对中国物理学的过去和现状有更多的深入了解,不仅充分展示出中国物理学研究和积累的“硬实力”,也向世界主动传播我国科技文化领域不断创新的“软实力”,对全面提升中国科学、教育和文化领域的国际形象起到重要的促进作用。

值得一提的是,《中外物理学精品书系》还对中国近现代物理学科的经典著作进行了全面收录。20世纪以来,中国物理界诞生了很多经典作品,但当时大都分散出版,如今很多代表性的作品已经淹没在浩瀚的图书海洋中,读者们对这些论著也都是“只闻其声,未见其真”。该书系的编者们在这方面下了很大工夫,对中国物理学科不同时期、不同分支的经典著作进行了系统的整理和收录。这项工作具有非常重要的学术意义和社会价值,不仅可以很好地保护和传承我国物理学的经典文献,充分发挥其应有的传世育人的作用,更能使广大物理学人和青年学子亲身体会我国物理学研究的发展脉络和优良传统,真正领悟到老一辈科学家严谨求实、追求卓越、博大精深的治学之美。

温家宝总理在2006年中国科学技术大会上指出,“加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径,是我国跻身世界科技强

国的必要条件”。中国的发展在于创新,而基础研究正是一切创新的根本和源泉。我相信,这套《中外物理学精品书系》的出版,不仅可以使所有热爱和研究物理学的人们从中获取思维的启迪、智力的挑战和阅读的乐趣,也将进一步推动其他相关基础科学更好更快地发展,为我国今后的科技创新和社会进步做出应有的贡献。

《中外物理学精品书系》编委会 主任
中国科学院院士,北京大学教授

王恩哥

2010年5月于燕园

内 容 简 介

本书主要从材料、器件结构、器件物理等方面介绍了有机电致发光(有机 EL,也称做 OLED)的原理及物理机制,并对 OLED 器件的驱动(薄膜晶体管)机理,以及显示屏的构造、工作机制、制造方法等作了详细介绍.本书语言浅显易懂,图文并茂,并结合作者自己(日本有机电致发光器件国家项目的首席科学家)的研究工作,对有机电致发光的研究历史、首次白光的产生过程、有机电致发光器件的产业化应用前景,以及产业化过程中需要应对的专利策略等进行了深入而独特的介绍.

本书是物理、化学、材料、电子信息专业的高年级本科生、研究生,以及从事这方面工作(如 OLED 材料、装置、显示屏等)的研究者和制造商的一本非常有价值的参考书.

中译本序言

从 20 世纪 20~30 年代开始发展的固体物理学和固体化学,以 40 年代末晶体管的发明为标志,开辟了半导体科学技术这样一个蓬勃发展、影响巨大的领域.但它的主要研究对象是无机固体,典型的对象就是硅、锗、砷化镓、氮化镓及其合金等.这些无机固体的物理和化学研究的深入,带来的技术进步和对社会发展的影响是众所周知的.人们常常说信息时代,信息技术的基础就是硅的集成电路和各种半导体器件.

也是从 20 世纪 40 年代开始,一个研究有机固体的物理和化学的学科领域开始逐步成长.随着研究的深入,不仅揭示出有机固体和无机固体的许多不同,丰富了固体物理这个学科的内容,而且,类比于半导体科学技术,在信息技术、能源技术、生物技术等方面,具有重大应用潜力的有机固体应用领域正在不断涌现.有机电致发光这个领域就是其中突出的一个.

有机电致发光这个领域,在我们中国通常习惯用有机发光二极管(OLED)这样一种器件的名称来简称.20 世纪 80 年代末,在美国柯达公司工作的华裔科学家邓青云最先开拓了这个应用领域.现在,已经没有人会怀疑,至少在照明和显示这两个重要的技术领域,OLED 会占有重要的份额.特别是在平板显示这个领域,由于电脑、笔记本电脑、电视、手机、电子书等产业的发展,“大屏小屏人人有”这句话已经成为现实.平板显示从产业规模、应用广泛性等方面来说,已经像集成电路、光纤技术等一样,既是一个基础工业又是一个高新技术产业.对中国这样一个发展中的人口大国来说,就更是这样.

目前在平板显示产业中,占据主要位置的当然是液晶显示技术.对于这门在 20 世纪 80~90 年代发展成熟的产业,我国却因为一系列主观的失误而没能掌握其核心技术和自主研制其主要设备.于是,尽管平板显示产业在我国有很大的产能和很大的需求,甚至可以说我国具有世界上最大的产能和最大的需求,但实质上却总是“受制于人”,经济上几乎可以说是“无利可图”.因此,许多人现在都在关心“液晶后”的主要平板显示技术会是什么,关心在“液晶后”时代,我国能否摆脱目前的这种局面.从各个方面看,显然,在不久的将来,可以与液晶技术比拟,甚至超过液晶技术的首选就是 OLED 平板显示技术.所以,抓紧开展 OLED 平板显示技术的研究,开展相关技术的准备,以及开展与之联系的学科研究和储备,对我国的经济发展就有着十分紧迫的意义.考虑到目前世界经济局势,认识到我国面临的国际竞争,就更能理解其紧迫性.

在这样的背景下,译者们介绍的这本小书,就可以说是完全必要的和十分及时的.这本书的作者是一位在发展 OLED 技术上有杰出贡献的科学家,而且是日本在 OLED 技术上走向产业化的主要“领军人”之一.这本书内容全面、语言显浅、图文并茂、可读性很强.虽然是在 2003 年出版的,但多数内容都没有过时.其中许多关于发展产业的意见,尽管说的是日本的问题,但也是值得我们思考的.译者也都是在相关方面做过研究工作的学者.译文忠实流畅,也是一个突出的优点.

中科院院士 甘子钊

2011 年 11 月

原 版 前 言

“有机 EL”作为 21 世纪日本的新兴技术一跃而受到极大的关注. 虽然有些人对所谓“纳米技术”、“信息移动化技术”的含义或多或少有些了解, 但是一定还有很多人不知道究竟什么是有机 EL.

所谓的有机 EL(electroluminescence), 就是在玻璃、塑料等的表面涂上有机物, 并通上电流使有机物发出美丽的光的一种技术. 有机物被人们认定是绝缘体, 但是有些物质通上电流(导电性)却可以发光, 像萤火虫的发光一样. 这是由高超的人工技术产生出的在自然界真实存在着的“有机的光”.

那么, 有机 EL 可以应用在哪些地方呢? 我们日常使用的电视机、计算机、手机的显示屏还有家用电器的显示面板等, 现在还都是使用液晶, 有机 EL 比液晶要更加美丽、更加超薄, 不像液晶受视角的限制, 而且便宜. 最近常听到人们说与超薄的有机 EL 相比, 等离子显示器成了又重又厚的商品了.

实际上, 如果使用有机 EL, 能够实现比纸还薄的显示器——“电子纸”, 可以像薄膜那样卷起来随身携带, 想看的时候展开即可. 该技术现已有试制品, 相信不久的将来会作为商品大量上市.

不仅如此, 有机 EL 还能够用于照明, 这是继爱迪生之后的大革命. 白炽灯为“点光源”, 荧光灯是“线光源”, 而有机 EL 的照明是“面光源”, 用整个面发光. 在整个天花板上粘贴上有机 EL 照明设备的话就不会有影子, 而且很明亮. 汽车的车灯使用纸一样薄的有机 EL 照明设备, 可以有效地利用空间.

如以上所述,有机 EL 带来了很大的冲击,再加上有机 EL 应用十分广泛,我们将 2003 年作为有机 EL 的新起点,定为“有机 EL 元年”。作为手机的显示屏,有机 EL 不断代替液晶频频上市。不仅是色彩、精细度、亮度等,其他性能与美观也远比液晶好,被称为“完美的显示器”。从美国曾经为防范日本的高清晰度技术,以国防理由限制其规格的历史来看,显示器技术实际上是国家的战略技术,而目前有机 EL 就是其中的最尖端技术。

在有机 EL 技术萌芽时,几乎只有日本独家研发,终于开发出日本最具原创性、最尖端的技术,预计 2010 年将开花结果。日本不仅仅在显示器,在其他领域中也有巨大的技术优势。在有机 EL 方面,目前日本领先其他国家和地区处于绝对领导地位,但韩国、中国台湾处于追赶趋势。面对这种局面,应该如何采取对策?

我于 2002 年秋季开始担任经济产业省的有机 EL 研究国家项目的首席科学家,与国内的大学、企业联合协作,正在采用秘密技术开展有机 EL 相关的几个大项目研究。关于这一点在本书中也有所说明,并认为这将关系到日本技术立国的成功与否。

本书写给与有机 EL 相关的材料、装置、显示屏等的制造商,以及照明、印刷等关联的各种企业,还有相关专业的学生等。从有机 EL 的组成结构、制造方法、材料的设计到日本企业的战略等关于有机 EL 的各个方面,尽量写得让初次接触有机 EL 的人们也能理解,尽可能让更多的人了解有机 EL。

在很多厂家的协助下,本书收集了最新的照片,也制作了大量的图表,并且为帮助读者进行理解,在页面下栏配有“城户注解”(编者注:中译本改为页下注)。

本书若能在读者对有机 EL 的理解方面起到一丝帮助的话,我将深感荣幸。

城户淳二

2003 年 1 月

目 录

第 1 章 有机 EL 时代来临	(1)
§ 1.1 下一代显示器的最具优势技术	(1)
§ 1.2 凌驾于液晶之上的有机 EL	(7)
第 2 章 有机 EL 的结构	(12)
§ 2.1 “有机、无机”和“小分子、高分子”	(12)
§ 2.2 1987 年的突破	(15)
§ 2.3 柯达、CDT 的创意	(17)
§ 2.4 多层结构	(19)
§ 2.5 探究“发光原理”	(22)
§ 2.6 “R+G+B”非“白”也	(30)
第 3 章 从器件的制备到封装	(36)
§ 3.1 OLED 整体的工艺流程	(36)
§ 3.2 从 ITO 到发光层的沉积	(36)
§ 3.3 真空蒸镀和掩膜板方法——小分子材料	(40)
§ 3.4 旋涂技术和喷墨打印工艺——高分子材料	(45)
§ 3.5 阴极隔离柱的想法	(48)
§ 3.6 参观成膜工艺的现场	(50)
§ 3.7 参观封装工艺的现场	(53)
§ 3.8 不用玻璃盖封装,直接采用薄膜封装	(55)
第 4 章 显示技术和市场	(58)
§ 4.1 两种驱动方法	(58)
§ 4.2 电视机是顶发射型显示	(64)
§ 4.3 全彩的原理	(65)
§ 4.4 挑战显示屏市场	(70)

第 5 章 照明世界将改变,电子纸将诞生	(78)
§ 5.1 照明世界将改变	(78)
§ 5.2 爱迪生之后最大的照明革命	(80)
§ 5.3 电子新闻报纸的冲击	(82)
第 6 章 有机 EL 材料是有机 EL 的根本	(88)
§ 6.1 有机 EL 材料是如何制备的	(88)
§ 6.2 有机 EL 器件的结构中各层的适用材料也有差异	(91)
§ 6.3 发光材料是有机 EL 的关键	(94)
§ 6.4 传输层、注入层材料的探索	(99)
§ 6.5 电极材料的探索	(102)
§ 6.6 基板是全部器件的基础	(104)
§ 6.7 是小分子好还是高分子好	(106)
第 7 章 有机 EL 领域应解决的课题是什么	(108)
§ 7.1 目标是长寿命化	(108)
§ 7.2 大型化的手段	(113)
§ 7.3 高效率化的方法	(115)
第 8 章 如何让日本在有机 EL 产业上取得优胜	(119)
§ 8.1 在有机 EL 产业上日本有没有胜算	(119)
§ 8.2 对柯达专利、CDT 专利的应对策略	(123)
§ 8.3 集中研发的国家项目	(128)
§ 8.4 有机 EL 产业集群是对企业的支持	(131)
§ 8.5 日韩企业经营者的不同	(133)
§ 8.6 应该更善于使用大学的智慧	(137)
§ 8.7 结尾: 体验新的胜利感觉	(138)
缩略语简表	(141)
主要公司和商企	(142)
译者后记	(143)

第 1 章 有机 EL 时代来临

§ 1.1 下一代显示器的最具优势技术

有机 EL(electroluminescence,电致发光)^①,表示有机 EL 元器件或者有机 EL 显示器,它是下一代平板显示器的最具优势技术。

显示器有很多种.首先是电视机(大型和中小型),占据了显示器市场的 30%.电脑用显示器(笔记本、台式机)占领市场份额更多,有 50%.然后是手机、PDA(掌上电脑)、数码相机等的显示器和车载用的显示器占据了剩余的市场。

作为第一代显示器,最先面世的是显像管(阴极射线管,CRT)电视.显像管电视的显像能力虽然高,但是随着屏幕的变大,整体成比例地向宽厚发展,变得很重.整体的厚度是最大的缺点.另外也很耗电.电脑用的 CRT 也是同样的显像管显示器。

打破这一僵局的是“液晶显示器”。液晶最大的特点就是薄和平面.刚开始,液晶显示器用在电子计算器上,后来随着液晶技术的改良而广泛应用于家电产品的显示屏、电脑显示器中,并打开了绝对不可能运用 CRT 的笔记本电脑的新市场,同时也成为手机、PDA、数码相机用显示器不可或缺的部件.随后液晶电视也被开发出来.作为第二代显示器,液晶最大的贡献大概就在于使“轻薄平板显示器”成为可能。

然而,液晶的薄的优点只是作为对抗 CRT 的武器,实际上液晶作为显示器的基本能力在后来的实践中可以看出并不高.从上面、下面或者侧面看会有颜色变化或颠倒,不能适应高速的动态画面等等缺陷所达到的程度有些令人意想不到,这也是液晶的不足。

1.1.1 “超越液晶的技术”来临

克服液晶缺陷并有望取代液晶的技术包括有机 EL、等离子显示器(PDP:

^① 有机 EL(electroluminescence):在有机物中通电流使其发光的技术.EL 是 electroluminescence 的缩写,不是 electro luminescence.

plasma display panel)、场发射显示器(FED; field emission display)^①等新一代平板显示器的候补者。然而为什么其中的“有机 EL”才是下一代的最具优势的技术呢?原因从表 1.1 和图 1.1 中显而易见。

表 1.1 2010 年各种显示器需求预测

显示器 \ 用途	电视用				个人电脑用				移动电话, PDA, 数码相机等		汽车用显示面板		总需求 (万亿日元)	
	中小型 (<29 英寸)		大型 (>30 英寸)		笔记本		台式机						2000 年	2010 年
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
需求规模 (万亿日元)	1.2	2.5	0.3	1.5	1.1	2.2	1.5	3.4	1.0	2.0	0.1	0.3	5.1	11.9
阴极射线管	◎→○	○→—	—→—	—→—	◎→△	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	2.3	1.1~2.0
液晶(LCD)	△→○	—→△	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	◎→◎	2.7	2.8~6.0
等离子 (PDP)	—→—	○→○	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	0.1	0.2~0.6
有机 EL	—→○	—→△ (注 1)	—→◎	—→◎	△→◎	—→◎	—→◎	—→◎	—→◎	—→◎	—→◎	—→◎	—	2.5~5.7
FED	—→△	—→◎	—→—	—→—	—→△	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—→—	—	0.5~2.4

(注 1) 有机 EL 的发光效率已大幅度增加,若能够实现被动驱动方式,或实现以有机半导体驱动的大型显示器时,记号改为○。^②

(注 2) 液晶与有机 EL 在 2010 年间,将竞争 7.1 万亿~9.9 万亿日元的市场,由于有机 EL 的性能逐渐提升,它们的市场份额将大幅度改变。

资料来源:日本经济产业省技术调查室《技术调查报告(第 1 号)》

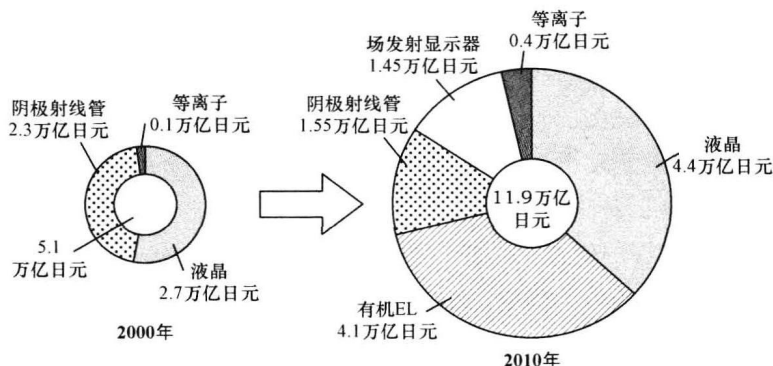


图 1.1 2010 年日本有机 EL 分布情况预测

2010 年数值使用日本经济产业预测值的中间值

① PDP: plasma display panel. 与液晶显示器在两块板间填充液晶相对应, PDP 以在同样的两块板间填充气体为特色。有机 EL 只需要一张基板就可以。

FED: field emission display. 和阴极射线管原理相同, 也需要两块基板。

② 发光效率大幅度地提高, 非晶硅 TFT(薄膜晶体管)驱动的有机 EL 显示屏将会成为可能, 大小到 40 英寸(1 in=2.54 cm)没有问题。从△变为○。

出自经济产业省的这份图表对 2000 年和 2010 年(预测)市场做了比较。这是对整个世界市场而不仅仅是日本市场的比较。其实,日本、韩国和中国台湾拥有世界显示器市场的大半占有率,比起日本国内相对狭窄的市场范围而言,此表更具有现实意义。

显像管(CRT)在 2010 年除了中小型电视机以外已经变得几乎没有用武之地。液晶的市场份额虽然从 2000 年的 2.7 万亿日元增长到 2010 年的 4.4 万亿日元(取 2010 年预测值的中间值,下同),但从整个市场的扩大来看(5.1 万亿到 11.9 万亿日元),占有率反而有了很大下降。

是什么作为下一代显示器并代替液晶的呢?

首先,从表 1.2 中可以看出,最近频繁出现在“大型电视”的广告中的 PDP,实际上只能适用于电视,甚至只是大型电视,要使它中小型化非常困难,而且由于发光器件寿命^①短,容易产生烧蚀。因此,2010 年它的预计需求量仅为 4000 亿日元。另外,PDP 的制造工程和液晶一样极其复杂,很难降低成本。2002 年 12 月,日本 5 家 PDP 的大型企业为了达到减少成本的目的发布过共同开发的声明。但从后来竟然有被 FED 超过的预测来看,降低成本确实很难。

表 1.2 显示技术性能比较

显示器	现状(实用化阶段)	未来发展
阴极射线管 (CRT)	• TV 主流使用 • 大量生产	• 低成本高画质 • 耐久性好 • 无法成为较薄的产品 • 发展前途有限
液晶(LCD)	• 笔记本 PC、移动电话等 • 大量生产	• 以中小型为中心,市场地位将持续一段时间 • 耗电量比阴极射线管(CRT)低 • 耐久性好 • 存在亮度与显示速度等问题
等离子显示 (PDP)	• 薄型、大屏幕 TV 产品化已完成	• 大屏幕薄型展示用监视器或大型 TV 相当普及 • 耗电量高,生产成本低 • 像素高精细化困难

^① 器件的寿命:一般将连续驱动条件下器件的亮度减半时的时间称做寿命。对动画来说基本没有问题,但是对计算机用显示屏等需要长时间显示同样的文字的场合就是一个大问题。