

现代平板显示技术丛书



◎ 马群刚 著

非主动发光 平板显示技术

*Non-emissive
Flat panel display technology*



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

现代平板显示技术丛书

非主动发光平板显示技术

马群刚 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍液晶显示 (LCD)、电子纸 (ePaper) 和微显示投影 (MDP) 等非主动发光平板显示技术的原理、应用及发展趋势。首先从产业角度, 分别介绍了 LCD、ePaper 和 MDP 的行业概况, 以及非主动发光平板显示共通的 TFT 开关技术; 接着详细介绍了 LCD 技术、ePaper 技术和 MDP 技术; 最后以 LCD 为例介绍了平板显示技术在高品质、低功耗和低成本三个方面的发展趋势。

本书可供平板显示相关企业的从业人员及相关事业单位的工作人员阅读参考, 也可供光电、电子电路、材料等相关专业的大学及科研院所的学生、老师、研究人员学习参考。

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

非主动发光平板显示技术/马群刚著. —北京: 电子工业出版社, 2013. 9
(现代平板显示技术丛书)

ISBN 978-7-121-21267-3

I. ①非… II. ①马… III. ①平板显示器件 IV. ①TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 192041 号

责任编辑: 赵 娜

特约编辑: 王 纲

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 25.25 字数: 646 千字

印 次: 2013 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



前言

LCD 发展的历史很好地诠释了“技术人员配备越全面，产业发展越强大”的事实。从 20 世纪 60~80 年代，以 RCA 公司为代表的欧美技术人员引领着 LCD 技术的发展。这个时期的技术人员多为科研院所或少数企业研究机构的部分科学工作者。到了 90 年代，以夏普公司为代表的日本技术人员凭借当时在半导体集成电路领域积累的深厚实力，承接了发源自欧美的 LCD 产业，并快速做大做强。这个时期的技术人员广泛分布在东芝、日立、NEC、夏普等大量具有半导体技术基础的企业。从 2000 年至今，以三星为代表的韩国与中国台湾技术人员依靠当时在半导体集成电路领域积累的人力和财力一举超越日本企业。这个时期的技术人员不仅分布在 LCD 面板制造企业，还广泛分布在上下游配套企业。可见，要跟上显示产业的发展速度，需要整个产业界实现升级，而不能仅靠少数有经验的技术人员单独教授技术。

有鉴于此，作者把从业多年积累下来的资料进行了整理，期望能对国内显示产业的发展贡献绵薄之力。此书是《TFT-LCD 原理与设计》一书的延续与拓展，书中的部分内容，如液晶在电子纸（ePaper）、微显示投影（MDP）等领域的应用技术，是《TFT-LCD 原理与设计》原稿中为控制篇幅而删除的内容。在《TFT-LCD 原理与设计》一书于 2011 年 12 月出版后，承蒙读者及业界同仁的支持，第 1 次印刷的 3000 册在一年内即告售罄。说明显示领域很需要一批贴近产业实际的技术类书籍。在电子工业出版社的支持下，以之前未出版的内容为基础，经过补充与更新，撰写了此书。

非主动发光平板显示的特点是自身不发光，需要借助外界光源进行显示。显示面板的本质就是一个光阀，用来控制外界光透过面板的量。根据光阀处理光的方式不同，非主动发光平板显示主要存在液晶显示（LCD）、电子纸（ePaper）和微显示投影（MDP）三种具体实现形式。为了方便读者更全面地了解这些显示技术，第 1 章分别介绍了 LCD、ePaper 和 MDP 的产业概况。在这些非主动发光平板显示装置中，控制光阀工作的器件一般是薄膜晶体管 TFT，第 2 章重点介绍了四种具有量产价值的 TFT 技术。第 3~5 章分别介绍三种显示技术的原理：第 3 章所述的 LCD 是通过液晶光阀控制背光源进行显示的非主动发光平板显示技术；第 4 章所述的 ePaper 是粒子、液晶等光阀控制自然光进行显示的非主动发光平板

显示技术；第5章所述的MDP是液晶、微镜等光阀控制大功率光源（反射型的用前光源、透过型的用背光源），并在图像放大处理后投影进行显示的非主动发光平板显示技术。第6章以LCD为例介绍了平板显示技术的高品质、低功耗和低成本的发展方向。

在非主动发光平板显示中，发光的归光源，控光的归面板，两者各自发展，共同推动了产业的快速发展。目前，平板显示领域具有一定产业规模的基本上集中在LCD、ePaper和MDP等非主动发光平板显示产品上。所以，本书的定位以技术为主，追求对工程应用起到指导作用。本书的撰写得到了多位前辈、同仁以及同事的鼓励与支持。和辉光电的于涛博士参与撰写了2.4节，中电熊猫的焦峰科长参与撰写了3.1节和3.2节。此外，在与前辈、同仁及同事的讨论中，获得很多启发。特别感谢赵汉鼎秘书长、谷至华教授、高鸿锦教授、陈新华博士、宋晓龙博士、王骥审查员等前辈与同仁对书稿提出的建设性意见。特别感谢家人在撰写过程中给予的理解与支持，使我能够夜以继日、全身心投入到书稿的撰写中。

限于作者的水平，难免有不妥与谬误之处，恳请各位专家和读者批评指正。

马群刚

2013年7月18日



目 录

第 1 章 非主动发光 FPD 产业概况	1
1.1 LCD 产业概况	1
1.1.1 LCD 行业发展综述	1
1.1.2 日本的 LCD 产业概况	6
1.1.3 韩国的 LCD 产业概况	11
1.1.4 中国台湾的 LCD 产业概况	14
1.1.5 中国大陆的 LCD 产业概况	19
1.2 ePaper 产业概况	24
1.2.1 ePaper 行业发展综述	24
1.2.2 ePaper 研发动态	27
1.2.3 ePaper 产业动态	34
1.3 MDP 产业概况	37
1.3.1 MDP 行业发展综述	37
1.3.2 LCD 投影产业概况	42
1.3.3 DLP 投影产业概况	44
1.3.4 LCoS 投影产业概况	47
第 2 章 TFT 器件技术	51
2.1 TFT 器件概述	51
2.1.1 TFT 器件的发展与应用	51
2.1.2 TFT 开关的基本特性	55
2.1.3 TFT 开关特性的结构设计	58
2.2 a-Si TFT 技术	64
2.2.1 a-Si TFT 概要	64
2.2.2 a-Si 半导体特性	65
2.2.3 a-Si TFT 器件特性	71
2.2.4 a-Si TFT 工艺技术	75
2.3 LTPS TFT 技术	79
2.3.1 p-Si TFT 概要	79
2.3.2 激光退火 LTPS 技术	82

2.3.3	固相结晶 LTPS 技术	86
2.3.4	LTPS 半导体特性	90
2.3.5	LTPS TFT 器件特性	92
2.3.6	LTPS TFT 工艺技术	95
2.4	Oxide TFT 技术	98
2.4.1	Oxide TFT 概要	98
2.4.2	Oxide 半导体理论基础	102
2.4.3	基于 ZnO 的 Oxide 半导体	103
2.4.4	IGZO TFT 器件特性	107
2.4.5	IGZO TFT 可靠性	111
2.5	OTFT 技术	115
2.5.1	OTFT 概要	115
2.5.2	有机半导体特性	117
2.5.3	OTFT 器件特性	120
第 3 章	液晶显示 (LCD) 技术	127
3.1	LCD 显示基础	127
3.1.1	液晶的物理特性	127
3.1.2	液晶的电光效应	131
3.1.3	液晶理论基础	138
3.1.4	液晶的配向原理	140
3.2	液晶显示模式	142
3.2.1	DS 显示技术	142
3.2.2	GH 显示技术	143
3.2.3	PDLC 显示技术	146
3.2.4	TN 显示技术	150
3.2.5	STN 显示技术	153
3.2.6	VA 显示技术	156
3.2.7	IPS/FFS 显示技术	157
3.2.8	ECB 显示技术	160
3.2.9	BPLC 显示技术	163
3.3	LCD 产品技术	169
3.3.1	LCD 产品技术基础	169
3.3.2	LCD 显示屏技术	173
3.3.3	LCD 驱动技术	177
3.3.4	LCD 背光源技术	182
3.4	LCD 制造技术	186
3.4.1	阵列制造技术	186
3.4.2	CF 制造技术	188

3.4.3	成盒制造技术	190
3.4.4	模组制造技术	194
第4章	电子纸 (ePaper) 技术	200
4.1	ePaper 显示基础	200
4.1.1	ePaper 的概念及技术特点	200
4.1.2	ePaper 技术分类	202
4.1.3	ePaper 的应用与发展	205
4.2	粒子移动型 ePaper 技术	207
4.2.1	旋转球显示技术	207
4.2.2	微胶囊电泳显示技术	210
4.2.3	微杯电泳显示技术	215
4.2.4	横向电泳显示技术	219
4.2.5	电子粉流体显示技术	222
4.3	液晶型 ePaper 技术	225
4.3.1	表面稳定铁电液晶显示技术	225
4.3.2	胆甾相液晶显示技术	231
4.3.3	双稳态扭曲向列相液晶显示技术	235
4.3.4	双稳态向列液晶显示技术	237
4.3.5	顶点双稳显示技术	240
4.4	电色显示 ePaper 技术	244
4.4.1	电润湿显示技术	244
4.4.2	电流体显示技术	248
4.4.3	电致变色显示技术	251
4.5	其他 ePaper 技术	257
4.5.1	Mirasol 显示技术	258
4.5.2	光子晶体显示技术	261
第5章	微显示投影 (MDP) 技术	267
5.1	MDP 技术概述	267
5.1.1	背投的光学成像基础	267
5.1.2	前投的光学成像基础	270
5.1.3	MDP 光学引擎概述	272
5.1.4	MDP 技术参数概述	275
5.2	LCD 光学引擎技术	278
5.2.1	HTPS-LCD 面板技术	279
5.2.2	单片式 LCD 光学引擎技术	283
5.2.3	三片式 LCD 光学引擎技术	287
5.3	DLP 光学引擎技术	290
5.3.1	DMD 面板技术	290

5.3.2	单片式 DLP 光学引擎技术	295
5.3.3	多片式 DLP 光学引擎技术	298
5.3.4	GLV 投影技术	299
5.4	LCoS 光学引擎技术	301
5.4.1	LCoS 面板技术	301
5.4.2	单片式 LCoS 光学引擎技术	304
5.4.3	三片式 LCoS 光学引擎技术	308
5.5	MDP 技术进展	312
5.5.1	屏幕的高性能化	312
5.5.2	背投的薄型化	315
5.5.3	前投的微型化	319
第 6 章	FPD (LCD) 技术的发展	325
6.1	FPD 技术发展概述	325
6.1.1	显示技术的发展	325
6.1.2	FPD 技术的发展	328
6.1.3	LCD 技术的发展	331
6.2	高品质 LCD 技术	334
6.2.1	高品质技术的发展	334
6.2.2	色彩管理技术	336
6.2.3	高精细技术	341
6.2.4	环境适应性技术	345
6.2.5	轻薄化技术	348
6.2.6	窄边框与大型化技术	352
6.3	节能环保 LCD 技术	355
6.3.1	节能环保技术的发展	356
6.3.2	高透光率技术	358
6.3.3	Z 反转驱动技术	364
6.3.4	场序列彩色显示技术	368
6.3.5	新型背光源技术	372
6.4	低成本 LCD 技术	375
6.4.1	低成本技术的发展	375
6.4.2	Mask 消减技术	379
6.4.3	驱动 IC 消减技术	383
6.4.4	背光源零组件消减技术	389
6.4.5	原材料回收再利用技术	391

第 1 章

非主动发光 FPD 产业概况

非主动发光^①平板显示 (Flat Panel Display, FPD) 作为一种需要借助外界光源进行显示的技术, 主要有液晶显示 (Liquid Crystal Display, LCD)、电子纸 (ePaper) 和微显示投影 (Micro-display Projection, MDP) 三大类。这三类显示技术的应用领域各有不同, 互为补充。其中, LCD 的应用几乎涵盖了整个平板显示领域, ePaper 主要应用于阅读, MDP 则主要应用于大屏幕显示。

1.1 LCD 产业概况

世界 LCD 产业主要集中在日本、韩国、中国台湾和中国大陆。LCD 产业的发展历程, 基本上代表了 FPD 产业的发展历程。

1.1.1 LCD 行业发展综述

2008 年以后, LCD 快速取代传统 CRT, 带动了 LCD 面板市场的快速增长, LCD 产业成为继半导体产业之后, 第二个年产值超过 1000 亿美元的 IT 产业。

1. LCD 产业发展概述

液晶从 1888 年被奥地利植物学家 F. Reinitzer 发现并由德国物理学家 O. Lehmann 验证, 到 1968 年由 RCA 公司开发出动态散射 (Dynamic Scattering, DS) 模式的 LCD 显示装置, 前后经历了 80 年。这个时期被称为液晶材料基础理论与应用研究阶段。随着 20 世纪 70 年代初期, 扭曲向列 (Twisted Nematic, TN) 液晶的发明, 使 LCD 得以实现产业化。LCD 产业化的标志是, 夏普和精工在 1973 年先后上市第一台使用 DS-LCD 技术的掌上计算器 EL-805^②, 以及第一款使用 TN-LCD 技术的数字显示电子表 06LC。其后的 LCD 产业化道路, 先后经历了如图 1-1 所示的四个发展阶段。

第一阶段为 1973—1990 年, 是产业化初期阶段。这是无源矩阵液晶显示 (Passive Matrix Liquid Crystal Display, PMLCD) 技术获得广泛应用的时期。日本厂商在获得 TN-LCD

^①电子显示器件可分主动发光型 (Emissive Display) 和非主动发光型 (Non-Emissive Display) 两大类。

^②EL-805 由于采用 DS 液晶, 存在工作温度范围小, 响应速度慢, 对比度低等问题。所以, 夏普转而发展 TN 液晶, 并于 1974 年确立了 TN 液晶的产业化技术。

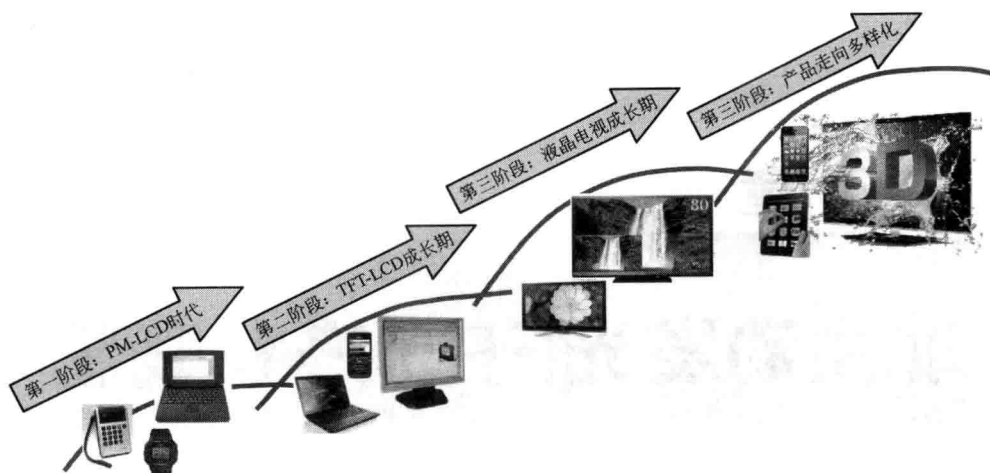


图 1-1 LCD 产业化发展阶段

技术后，将其广泛应用于计算器、电子表、掌上游戏机等电子产品中，为 LCD 技术奠定了产业基础。TN-LCD 的产品尺寸主要在 2 寸^①以下，为黑白显示。1984 年，T. Scheffer 等人发明了超扭曲向列（Super Twisted Nematic, STN）模式的 LCD 技术。STN-LCD 是一类（伪）彩色液晶显示屏，开始应用于掌上游戏机、笔记本电脑等电子产品，屏幕尺寸主要在 10.4 寸以下，分辨率在 640 × 480 左右。

第二阶段为 1991—2003 年，是薄膜晶体管液晶显示（Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD）产品的成长期。随着第一代 TFT-LCD 生产线的投产，TFT-LCD 显示屏在笔记本电脑、台式计算机、手机、掌上游戏机等电子产品中获得了广泛应用。进入 2000 年后，LCD 产品逐渐取代传统 CRT 显示器，开始成为市场主流。

第三阶段为 2004—2009 年，是大尺寸 TFT-LCD 产品的成长期。随着 2004 年，第六代 TFT-LCD 生产线的投产，26 寸以上的液晶电视，逐渐替代传统的 CRT 彩电。2009 年，TFT-LCD 生产线的规格发展到了第 10 代，出现了 84 寸的巨型液晶电视。

第四阶段从 2010 年至今，是 TFT-LCD 产品走向多样化和人性化的时期。这个时期，大尺寸 TFT-LCD 液晶电视继续发力，迫使 PDP（Plasma Display Panel，等离子显示板）、背投等大尺寸电视的市场逐渐萎缩，甚至退出大尺寸电视市场。同时，以智能手机和平板电脑为代表的新一代 TFT-LCD 显示屏开始发力，推动了 LCD 产业的发展。

在 LCD 的发展过程中，推动其产业化的一个关键动力是玻璃基板的大型化。根据玻璃基板尺寸规格的不同，定义出不同的 TFT-LCD 世代线。表 1-1 以各世代第一条 TFT-LCD 生产线的投产时间为序，整理了 LCD 产业的发展历程。玻璃基板尺寸越大，能在同一块玻璃上切割出越大或越多的 LCD 显示屏，可以有效降低生产成本。

表 1-1 世界 TFT-LCD 生产线的发展简表

代 数	第一家量产厂商	投产时间	玻璃基板尺寸	经济切割尺寸
1 代线	夏普奈良天理第 1 工厂	1991 年 10 月	320mm × 400mm	8 寸 4 片
2 代线	NEC 鹿儿岛工厂	1994 年 2 月	370mm × 470mm	10 寸 4 片

^①显示领域所指的寸作为英寸的简称，不同于中国传统的市寸。1 寸 = 25.4mm，1 市寸 = 1.31（英）寸。

续表

代 数	第一家量产厂商	投产时间	玻璃基板尺寸	经济切割尺寸
2.5 代线	夏普三重气町第1工厂	1994年8月	410mm × 520mm	11寸4片
3 代线	夏普三重第1工厂	1995年7月	550mm × 650mm	12寸6片
3.5 代线	LG 龟尾 P2 工厂	1997年11月	600mm × 720mm	14寸6片
3.75 代	日立茂原工厂	1997年10月	650mm × 830mm	15寸6片
4 代线	夏普三重气町第2工厂	2000年9月	680mm × 880mm	17寸6片
4.5 代线	三星天安工厂	2000年10月	730mm × 920mm	18寸4片
5 代线	LG 龟尾 P4 工厂	2002年5月	1000mm × 1200mm	27寸6片
6 代线	夏普三重龟山第1工厂	2004年1月	1500mm × 1850mm	37寸6片
7 代线	三星牙山工厂	2005年4月	1870mm × 2200mm	40寸8片
7.5 代线	LG 坡州工厂	2006年1月	1950mm × 2250mm	47寸6片
8 代线	夏普三重龟山第2工厂	2006年8月	2160mm × 2460mm	52寸6片
8.5 代线	三星牙山工厂	2007年8月	2200mm × 2500mm	55寸6片
10 代线	夏普堺市工厂	2009年10月	2880mm × 3130mm	65寸6片

2. LCD 产业周期

LCD 产业具有资本密集、技术密集的特点。最早的 LCD 产业化尝试，是在世界第一大经济体的美国。LCD 真正的产业化，是在当时世界第二大经济体的日本。之后，LCD 产业重心从日本依次向韩国、中国（中国台湾和中国大陆）转移。20 世纪 90 年代，LCD 在亚洲四大 NIEs（Newly Industrial Economics，新兴工业经济体）中的韩国和中国台湾，得到了快速发展。2004 年后，LCD 产业在世界第二大经济体的中国大陆，获得蓬勃发展。

现代 LCD 技术的研究起源于美国。涉足过 LCD 的美国大企业包括 RCA、西屋电气、IBM、罗克韦尔、摩托罗拉、AT&T、通用电气、休斯飞机、雷神公司、施乐和惠普等。这些公司除 IBM（日本）外，都在 20 世纪 70 年代先后放弃了 LCD 技术的开发，最后只剩下少量军工 LCD 生产线得以幸存。美国从而错过了这个拥有千亿美元市场的制造业。美国 RCA 公司于 1968 年开发的 DS-LCD，是世界上最早面世的 LCD 器件。由于 DS-LCD 存在响应速度慢、对比度低等问题，难以产业化。1970 年年底，在瑞士罗氏（Roche）公司，从 RCA 公司出走的 W. Helfrich 和 M. Schadt 申请了 TN-LCD 专利^①，从而叩响了 LCD 产业化的大门。

首先推开 LCD 产业化大门的是日本。1972 年年初，夏普买下 RCA 公司的 LCD 技术，并于次年推出了第一款采用 DS-LCD 面板的计算器 EL-805。精工从美国人 J. Ferguson 手中买下了 TN-LCD 技术，并于 1973 年 10 月，推出了第一款 LCD 数字显示电子表（06LC 型）。随后，日本 Casio、NEC、东芝、松下、日立、富士通、三菱等厂商迅速加入了 LCD 产品的研发行列。1989 年，日本股市泡沫崩溃，精工管理层放弃了对 TFT-LCD 生产设备进行投资。相反，夏普管理层力排众议，支持 TFT-LCD 技术研发，并在 1991 年建成了世界上第一条 TFT-LCD 生产线^②。同时跟进的还有 NEC，以及东芝与 IBM 合资的 DTI 公司。到 1998 年，夏普以 2280 亿日元（15.7 亿美元）的营业额稳居行业第一，NEC 以 1300 亿日元排名

^①W. Helfrich 和 M. Schadt 在 1970 年 12 月 4 日申请 TN 液晶专利后，又于 1971 年 2 月在《Applied Physics Letters》上发表了论文。1971 年 4 月，美国 Kent 州立大学的 J. Ferguson 在美国提交了 TN 液晶专利。由于美国采取先发明原则，因而之后与 Roche 公司之间发生了激烈的专利权纠纷。争夺的结果是，J. Ferguson 将全球专利权转让给了罗氏公司。

^②TFT-LCD 产业化后，LCD 主要指 TFT-LCD。

第二，东芝（DTI）以 1000 亿日元排名第三。这是日本液晶产业发展历史上的巅峰时期。

把日本从 LCD 产业的巅峰上拉下来的是韩国。1997 年亚洲金融危机爆发后，三星和 LG 采取了反周期投资战略，建设了大尺寸 TFT-LCD 生产线。1998 年，三星和 LG 建成了 3.5 代线，领先于当时只有 3 代线的日本企业。1999 年，三星和 LG 在全球 LCD 市场的份额分别名列第一和第二。2002 年，LG 建成了世界第一条 5 代线，使 LG 的市场份额在 2002 年 10 月首次超过三星，位列世界第一。然后，三星连续建成两条 5 代线，到 2003 年 12 月再次小幅超过 LG。当 LG 于 2004 年建成 6 代线后，三星直接跳过 6 代线，于 2005 年和 2006 年连续建成两条 7 代线。随着 6 代线、7 代线等高世代线的建成，韩国企业成为推动 TFT-LCD 进入电视应用阶段的主角。这个阶段的日本企业，只有夏普勉强跟进。当 LG 在 2002 年建成世界第一条 5 代线后，夏普于 2004 年建成世界第一条 6 代线；三星在 2005 年建成世界第一条 7 代线后，夏普于 2007 年建成世界第一条 8 代线；三星于 2007 年建成世界第一条 8.5 代线后，夏普在 2009 年建成世界第一条 10 代线。虽然夏普在后来的高世代建线中，保持技术领先态势，但每一代 TFT-LCD 生产线的产能比较小，不具备规模优势。

中国 LCD 的发展先从台湾后到大陆，产能直逼韩国。在 1997 年亚洲金融危机后，中华映管、友达、奇美、瀚宇彩晶等中国台湾企业在日本企业的扶持下也逆势成长。在 2001 年的第四次液晶产业衰退期，广辉、群创、统宝等中国台湾企业和上广电 NEC、京东方、龙腾光电等中国大陆企业进场。在 2008 年全球金融危机爆发后，京东方逆势成长，同时华星光电、中电熊猫等中国大陆企业陆续进场。大量中国大陆企业的进场，使中国的 LCD 产业快速成长。截至 2012 年，中国 LCD 产能已占全球产能的 40% 左右^①，随着新的高世代 TFT-LCD 生产线的开工投产，这个比例还会进一步提高。

根据 TFT-LCD 的产能分布，LCD 的产业重心，大约以 10 年为周期，从日本依次向韩国、中国转移。随着产能规模的周期性区域转移，LCD 的价格也存在明显的周期波动，称之为液晶周期。液晶周期一般是指由 LCD 市场供给和需求的不断变化所引起的面板价格涨跌局面的循环出现。供大于求，则产业景气度下降；供小于求，则产业景气度上升。如图 1-2 所示，在 TFT-LCD 成长的早期，面板的价格波动幅度很大；后来受到 2008 年全球金融危机的影响，加上中国大陆高世代 TFT-LCD 生产线陆续开工投产，面板的价格一路下滑。其中，虽然有智能手机与平板电脑的价格提升，但难以抵消液晶电视价格的大跌。

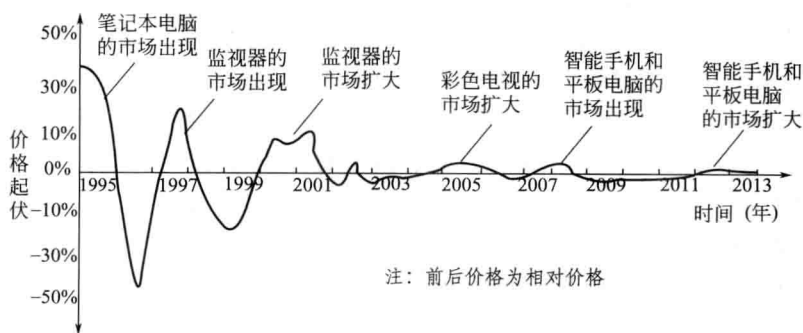


图 1-2 液晶周期

^①根据 Display Search 统计，2012 年，世界液晶面板产能分布如下：韩国 52.8%，中国台湾 31.5%，日本 5.8%，中国大陆 9%，其他 0.9%。

3. LCD 产业现状

各世代 TFT-LCD 生产线，技术原理相似，在工艺流程上并没有太大区别，只是随着玻璃基板尺寸增大，工艺难度、设备投资也成倍增加。一般，把 G4.5 以下的 TFT-LCD 生产线统称为低世代线，把 G5 称为中世代线，把 G6 以上的 TFT-LCD 生产线统称为高世代线。低世代线的投资额只有几十亿元，而高世代线的投资额暴增至数百亿元。由于需要建设大面积无尘洁净车间，购置大量自动化精密机械，LCD 面板厂也就成了世界上最昂贵的工厂。

低世代 TFT-LCD 生产线由于投资小、门槛低，有大批企业进入，分布广。如图 1-3 所示，全球共有大约 71 条低世代 TFT-LCD 生产线，其中日本 34 条、韩国 9 条、中国 28 条（中国台湾 18 条 + 中国大陆 10 条）。低世代线主要用于切割手持终端、移动终端等中小尺寸产品。不过，其中的大部分低世代线已经关停。

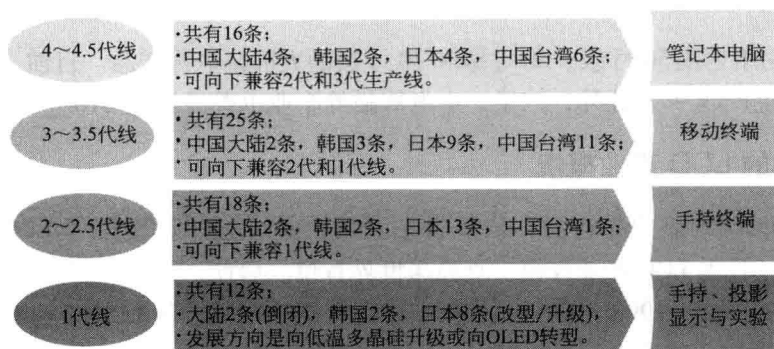


图 1-3 低世代 TFT-LCD 生产线分布情况

G5 主要用于切割 15 寸、17 寸、19 寸、22 寸等显示器产品。如表 1-2 所示，全球共有 15 条 G5 生产线，包括韩国的三星、LG，中国台湾的群创、友达、瀚宇彩晶，中国大陆的京东方、中航光电、龙腾光电和深超光电。目前，大部分 G5 生产线进行了改造，用于生产智能手机、平板电脑等中小尺寸产品。

表 1-2 全球 G5 生产线产能分布

厂 家	三星	LG	群创	友达	瀚宇彩晶	京东方	中航光电	龙腾光电	深超光电
生产线(条)	2	2	3	3	1	1	1	1	1
产能(万片)	24	19	58.5	31	13	10.5	8.5	11	12

G6 主要用于切割 18.5 寸、21.5 寸、26 寸、32 寸、37 寸等显示器与电视产品。如表 1-3 所示，全球 G6 厂家有夏普、LG、群创、友达、中华映管、京东方、中电熊猫等。目前，许多 G6 生产线进行了改造，用于生产智能手机、平板电脑等中小尺寸产品。

表 1-3 全球 G6 生产线产能分布

厂 家	夏普	LG	群创	友达	中华映管	京东方	中电熊猫	JDI
生产线(条)	1	1	2	2	1	1	1	1
产能(万片)	2	12	20.5	21	11	9	9	9

G7 和 G7.5 主要用于切割 36 寸、40 寸等电视产品。如表 1-4 所示，全球拥有 G7 和 G7.5 生产线的厂家主要是三星、LG、群创和友达。

表 1-4 全球 G7/G7.5 生产线产能分布

厂 家	三星	LG	群创	友达
生产线(条)	2	1	1	2
产能(万片)	16.5	12	10	13.5

G8 和 G8.5 主要用于切割 32 寸、46 寸、50 寸、55 寸等电视产品。如表 1-5 所示，全球拥有 G8 和 G8.5 生产线的厂家有夏普、三星、LG、群创、友达、京东方、华星光电等。

表 1-5 全球 G8/G8.5 生产线产能分布

厂 家	夏普	LG	群创	友达	三星	京东方	华星光电	松下
生产线(条)	1	1	1	1	3	1	1	1
产能(万片)	9	22	6	8.5	18	9	12	9

G10 主要用于切割 50 寸级、60 寸级和 70 寸级的大屏幕电视产品。目前，全球只有夏普一家拥有 G10 生产线^①。此外，三星、中电熊猫等企业也曾规划过 G10 生产线。

1.1.2 日本的 LCD 产业概况

日本作为 LCD 产业的先行者，依靠自主开发产业化技术，掌握了 LCD 的核心技术。1973—1998 年，日本 LCD 产业规模一直稳居世界首位。后期，因为没有资金持续集中投入，丧失了领先地位。加上 1999 年之后，韩国、中国台湾与中国大陆 LCD 企业的陆续崛起，日本 LCD 产业规模在全球的比例不断缩小。目前，日本的 LCD 产业发展策略已由“规模扩张战略”转为“知识产权战略”。

1. 日本 LCD 产业的崛起

世界 LCD 产业的崛起就是日本 LCD 产业的崛起。日本一度被誉为 LCD 王国，在全球 LCD 市场居统治地位。日本是最早从美国获得 LCD 技术的国家，并仅用 2~3 年时间将其商品化。

1970 年之后，日本掌握了 TN-LCD 的大生产技术。LCD 开始广泛用于手表、计算器、电子游戏机，以及火车、公共汽车、航空港和加油站中的显示屏。

1990 年左右，日本掌握了 STN-LCD 的大生产技术，使 PMLCD 进入中档液晶产品行列。在短短的三年中，日本的 LCD 销售额就由 1990 年的 1825 亿日元，增长到 1993 年的 4021 亿日元。

1993 年左右，日本又掌握了 TFT-LCD 的大生产技术。在 1995—1996 年液晶产业的第二次衰退周期中，日立、富士通、卡西欧、三菱等厂商纷纷进场，使日本的 LCD 销售额猛增到 1997 年的 8892 亿日元。1997 年，LCD 销售额超过 100 亿日元的日本企业有：夏普、东芝、NEC、日立、精工爱普生、松下、Optrex、鸟取三洋、卡西欧、星电、三菱、富士通、西铁城、精工电子、京陶、三洋电机等。其中，夏普、东芝、NEC、日立、松下、精工爱普生、三菱、富士通、星电、卡西欧等企业，仅 TFT-LCD 的销售额就超过了 100 亿日元。此后，LCD 产业成为 TFT-LCD 产业的简化用词。

^①第 10 代 TFT-LCD 生产线在 2009 年投产时，称为夏普显示器产品公司 (Sharp Display Products, SDP)。夏普占股 93%，索尼占股 7%。2012 年，鸿海入股 10 代线后，SDP 变成了 Sakai Display Product (堺显示产品公司)。通过本次注资，夏普 10 代线股权结构变为夏普 46.5%、鸿海 46.5%、索尼 7%。

第1章 非主动发光 FPD 产业概况

日本企业引领世界 LCD 产业的发展整整 25 年，先后经历了 1973—1991 年的 PMLCD 时代，以及 1991—1998 年的 TFT-LCD 时代。大量日本企业参与了 LCD 技术的开发，推动了 LCD 产业化发展。表 1-6 整理了这 25 年中，日本企业在 LCD 技术及 LCD 产业化发展道路上的重要事件。

表 1-6 日本领先 LCD 技术发展简表

年份(月)	机 构	事 件
1973 年(1)	东芝和东京辰野	加油站电子计量机用大型 LCD 的实用化发布
1973 年(6)	夏普	搭载 DS-LCD 显示屏的电子计算机量产
1973 年(9)	精工	搭载 TN-LCD 的电子表发布
1976 年	夏普	搭载 TN-LCD 显示屏的电子计算机量产
1979 年(6)	松下电器产业	MOSFET 驱动的 2.4 寸(240×240 像素)黑白液晶电视试制
1981 年	日立制作所	AM-LCD 用 p-Si TFT 开发
1982 年	夏普	Te TFT 驱动 AM-LCD 开发
1982(12)	服部時計	搭载 1.2 寸 MOSFET-LCD 黑白显示屏的手表发布
1983 年(5)	諏访精工舍	2.1 寸彩色 p-Si TFT-LCD 试制
1983 年(6)	卡西欧	2.7 寸 PM-LCD 黑白液晶电视销售
1983 年(10)	三洋电机	5 寸 a-Si TFT-LCD 彩色液晶电视开发
1984 年(7)	諏访精工舍	2 寸 p-Si TFT-LCD 彩色液晶电视销售
1985 年(3)	精工电子	使用铁电液晶的黑白 PM-LCD(640×400 像素)试制
1985 年(10)	东芝	10 寸彩色 a-Si TFT-LCD(640×480 像素)试制
1986 年(4)	三洋电机	搭载使用 STN 液晶的 PM-LCD 的打字机销售
1986 年(9)	东芝	使用铁电液晶的彩色 PM-LCD(639×400 像素)试制
1986 年	精工电子	MSI 驱动 AM-LCD(640×400 像素)试制
1987 年(2)	日立制作所	6 寸 a-Si TFT-LCD 彩色电视销售
1987 年(5)	精工爱普生	3.3 寸 MIM 驱动 AM-LCD 彩色电视销售
1987 年(10)	日本 IBM	搭载使用 D-STN 黑白 PM-LCD 的个人计算机销售
1988 年(5)	夏普	使用 D-STN 的彩色 PM-LCD 试制
1988 年(9)	精工爱普生	使用 F-STN 的黑白 PM-LCD 销售
1988 年	夏普	使用 a-Si TFT-LCD 芯片的 110 寸高清晰彩色投影机开发
1989 年	日电和苹果	搭载黑白 a-Si TFT-LCD 的个人计算机实用化
1990 年	东芝	搭载 MIM 驱动 AM-LCD 的 EWS 实用化
1991 年	夏普、NEC、DTI	第一代 TFT-LCD 生产线量产
1992 年	夏普	全球最大的 17 寸 TFT-LCD 销售
1994 年	夏普	世界最大的 21 寸彩色 TFT-LCD 开发
1995 年	夏普	世界最大的 28 寸直视型 TFT-LCD 开发
1996 年	日立制作所、NEC、日电	IPS 彩色 TFT-LCD 实用化(1995 年发布)
1996 年	夏普	CPA 技术开发成功,世界最大的 40 寸 TFT-LCD 上市
1996 年	索尼	第一台家用液晶电视上市
1998 年	富士通	MVA 彩色 TFT-LCD 实用化
1999 年	夏普	全球第一款 20 寸液晶电视上市

经过 1997 年年底到 1998 年的亚洲金融危机后，财务负担加重的日本企业除夏普、日立和鸟取三洋继续对 3.5 代线和 4 代线投资外，其他日本企业的投资都处于搁浅状态。各家企业在经历分分合合后，最后大多退出了 LCD 产业。

目前，在日本坚持从事 LCD 事业，并具有一定规模的 LCD 公司基本只有夏普、JDI 和 Panasonic 三家。

2. 夏普

夏普于 1973 年最早实现 LCD 的产业化应用，于 1991 年最早实现第 1 代 TFT-LCD 生产线的量产，之后在 LCD 产业界一直引领 LCD 产业的发展。夏普的 TFT-LCD 生产线布局情况如表 1-7 所示。

表 1-7 夏普 TFT-LCD 生产线布局

厂 区	生 产 线	厂 址	基板规格(世代)	投产时间	设计产能	备注
夏普株式会社	天理工厂 NF1	奈良县 天理市	320mm × 400mm(G1)	1991 年 Q3	30K	出售给 Wintek 公司
			650mm × 720mm(G3)	2002 年 10 月	—	进行了 LTPS 改造
	天理工厂 NF3 α		360mm × 465mm(G2)	1994 年 5 月	20K	—
	天理工厂 NF3B		370mm × 470mm(G2)	1994 年 6 月	25K	进行了 LTPS 改造
夏普三重株式会社	三重工厂第 1-A	三重县	400mm × 505mm(G2)	1995 年 7 月	52K	—
	三重工厂第 1-B		550mm × 650mm(G3)	1995 年 7 月	43K	—
	三重工厂 2-1		680mm × 880mm(G4)	2000 年 8 月	55K	—
	三重工厂 2-2		680mm × 880mm(G4)	2005 年 6 月	55K	—
	三重工厂 3		730mm × 920mm(G4.5)	2003 年 6 月	—	进行了 LTPS 改造
夏普株式会社	龟山第 1 工厂	三重县 龟山市	1500mm × 1800mm(G6)	2012 年 Q2	20K	旧线已售,原址建新线
	龟山第 2 工厂		2160mm × 2460mm(G8)	2006 年 10 月	90K	—
堺显示产品株式会社	堺工厂	大阪府 堺市	2880mm × 3130mm(G10)	2009 年 10 月	90K	世界唯一 10 代线
夏普米子株式会社	米子工厂	鸟取县 米子市	300mm × 400mm(G1)	1994 年 3 月	8K	已关停
			405mm × 515mm(G2)	1996 年 6 月	35K	原富士通工厂

1991 年，在奈良县天理市的第 1 代 TFT-LCD 生产线（320mm × 400mm）投产。月产能为 30K。2002 年，胜华科技购买了这条线，引入中国台湾后一直未量产。

1994 年，在奈良县天理市的第 2 代 TFT-LCD 生产线（360mm × 465mm）投产。月产能在扩产后达到 30K。

1995 年，在三重县多气町的三重第 1 工厂内，先后建成了第 2 代 TFT-LCD 生产线（400mm × 500mm）和第 3 代 TFT-LCD 生产线（550mm × 650mm）。合计产能为 50K。

1998 年，在三重县多气町的三重第 2 工厂内，建成了第 3 代 TFT-LCD 生产线（550mm × 650mm）。产能为 50K。

2004 年，在三重县龟山第 1 工厂的第 6 代 TFT-LCD 生产线（1500mm × 1800mm）投产。产能为 60K，主要生产 26 寸、32 寸和 37 寸，以及少量的 65 寸液晶电视面板。2009 年，生产线相关设备出售给中电熊猫。2012 年，在苹果公司的投资下，夏普在原址建起了新的第 6 代 TFT-LCD 生产线。这条新的生产线融合了 IGZO 技术和 LTPS 技术。

2005 年 4 月，夏普收购了富士通子公司富士通显示技术公司（Fujitsu Display Technolo-