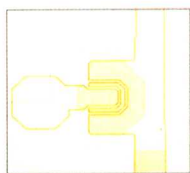


# 薄膜晶体管

## 液晶显示器件的

### 制造、测试与技术发展

王大巍 王刚 李俊峰 刘敬伟 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 薄膜晶体管液晶显示器件的 制造、测试与技术发展

王大巍 王 刚 编著  
李俊峰 刘敬伟



机械工业出版社

本书从产业人员的角度介绍了薄膜晶体管液晶显示器 (TFT-LCD) 的结构、制造工艺过程、性能及其测试方法以及在该领域的新技术发展。本书上篇为 TFT-LCD 技术基础, 包括 TFT-LCD 产品的各组成部件的结构、性能、制造方法, TFT-LCD 产品制造过程的阵列、成盒、模组三大主要工艺流程的基本过程、原理及设备, TFT-LCD 产品的主要性能指标要求及其测试方法。下篇为技术发展介绍, 包括阵列部分的低温多晶硅技术、模组部分的 LED 背光源技术以及研究领域比较热门的有机发光显示和柔性显示技术。

本书可作为光电子、电子工程、光学、材料等相关领域本科或硕士研究生拓展读本, 也可作为 TFT-LCD 领域相关厂商对员工的培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

薄膜晶体管液晶显示器件的制造、测试与技术发展/王大巍等编著.  
—北京:机械工业出版社, 2007.3

ISBN 978-7-111-20938-6

I. 薄... II. 王... III. 薄膜晶体管—液晶显示器—基本知识  
IV. TN321 TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 025323 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: 林春泉 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 冉晓华

责任校对: 申春香 封面设计: 陈沛 责任印制: 李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·340 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 7 111 20938 6

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379768

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

近年来,显示器件技术不断发展,液晶显示器件(LCD)逐渐地显露出其优势地位,特别是薄膜晶体管液晶显示器件(TFT-LCD),其应用领域不断地扩展,从手机、笔记本电脑、监视器到电视机,应用尺寸跨越了1.8~50in<sup>⊙</sup>的主要显示领域。TFT-LCD行业也在不断地发展和变化,TFT-LCD技术和最初的产品在欧洲和美国产生,但其大规模产业化应用由日本完成,1993年韩国开始介入TFT-LCD产业,并很快地获得了较强的竞争力,1998年中国的台湾地区开始加入该行业,到2005年在产业规模上几乎占据了半壁江山,但从产业整体布局来看,目前中国在该产业中的重要地位不断地显现,截止2005年底,中国大陆的TFT-LCD模组工厂的产能已占据全世界产能的60%以上,而且已经有3条五代TFT-LCD屏的生产线,即已开始跨入TFT-LCD的前端制程。因此对相关人才需求日益增加,但大学和研究机构对该产业的了解非常有限,特别是一直以来有关部门和研究领域认为LCD不可能成为显示领域的主导技术更加剧了该领域知识的缺乏,急需补充。本书的意图是从产业界的角度向读者介绍TFT-LCD产品的结构、原材料、制造工艺过程、性能指标及其测试方法以及在TFT-LCD领域新技术的发展趋势,力图以较少的篇幅为读者描绘TFT-LCD产品及其制造过程的全貌。

本书分为上下两篇,上篇为TFT-LCD产品与技术基础,以TFT-LCD的基础知识为主,让读者了解该产品的结构、制备过程及其性能要求。其中第1章主要介绍了TFT-LCD产品的工作原理和总体结构,并就主要零部件的结构、制造工艺、性能要求等做了详细的介绍。第2章按照TFT-LCD产品制备工艺的顺序介绍了阵列、成盒、模块三个工艺过程、相关原理及其设备。第3章介绍了TFT-LCD产品的主要性能指标要求及其测试方法。下篇为TFT-LCD领域新技术的进展,以简短的篇幅介绍了该领域几个主要的技术发展方向及其进展情况,其中第4章为低温多晶硅技术发展,第5章为TFT-LCD背光源技术发展,第6章涉及与TFT-LCD紧密相关的OLED和柔性显示技术发展。

本书的作者为京东方科技集团的科研工作人员,第1章和第3章由王大巍博士编写,第2章和第4章由王刚博士编写,第5章由刘敬伟博士编写,第6章由李俊峰博士编写。全书由王大巍博士统稿。

显示技术的发展速度越来越快,但这并不意味着TFT-LCD很快就会被取代,纵观技术发展历史,任何技术发展必然有一定的继承性,TFT-LCD产业是伴随着半导体产业技术的发展而发展起来的,未来技术的发展不可能脱离产业化发展的基础,一旦可以利用现有的工艺技术路线实现跨越式发展,产业界必然会选择该路线,而且可以最大限度利用现有的工艺技术和产品必然会取得优先发展的优势。目前OLED和TFT-LCD之间就存在上述关系,OLED可以看做TFT-LCD的衔接产品而不是替代产品,因此本书最后一章介绍了OLED技术,同时介绍了比较前沿的电子纸技术,供读者参考。

⊙ 非法定单位,1in=0.0254m。

在本书的编写过程中，TFT-LCD 产业正经历着新一轮的发展，也发生着新的变化。该产业在以前发展的过程中存在周期的波动，即市场的供需关系和相关企业的经营状况存在周期性变化，人们习惯称之为“液晶周期”。每次该产业处于低谷时，新需求的出现都能将其带入更繁荣的时期，首先是笔记本电脑，随后是桌面显示器，接下来必然是电视机。随着 TFT-LCD 产业及相关企业的壮大，“液晶周期”变得越来越不明显，周期越来越短，波动的起伏越来越小，说明该产业已经进入成熟期，企业无法凭借供需情况获得高额利润。但对于中国大陆地区来说，TFT-LCD 产业是我们刚刚进入的产业，有人会问，既然如此我们为什么要进入该产业？中国花了 20 年左右的时间建立了阴极射线管（CRT）电视机产业，成为最大的电视机制造基地，成就了一些电视机厂商，可是随着液晶电视机的的发展，原来从中国电视机市场消失的外国品牌又纷纷出现，如果我们不发展 TFT-LCD 产业，就是放弃了我们已经建立起来的电视机产业，这就是为什么我们一定要发展该产业，作为 TFT-LCD 产业的从业人员，我们希望通过编写本书来介绍其基础知识，为产业的发展尽一份力量。

本书上篇系从企业的角度介绍 TFT-LCD 的基础知识，可作为光电子、电子工程、光学、材料等相关领域本科或硕士研究生对产业认知的基础读本，同时也可作为 TFT-LCD 领域相关厂商对员工的培训参考教材。下篇主要介绍在产业界和研究领域都比较感兴趣的高新技术发展情况，可作为相关领域研究人员的参考读物，也可作为 TFT-LCD 领域相关从业人员的知识拓展读本。

在本书的编写过程中得到了很多人的帮助和支持，在此一并表示感谢。特别感谢京东方科技集团的同事李新国、王玉林在编写过程中提供的帮助，感谢董友梅老师的大力支持，感谢技术管理部同事的大力协助。同时对各位作者的妻子在本书编写过程中给予的支持表示感谢。

作者

2007 年 1 月于北京

# 目 录

## 前言

## 上篇 TFT-LCD 技术基础

<b>第 1 章 TFT-LCD 的结构及其产品应用</b> .....	1
1.1 液晶显示技术的发展历程 .....	1
1.2 TFT-LCD 的原理与结构介绍 .....	1
1.3 主要零组件介绍 .....	2
1.3.1 玻璃 .....	2
1.3.2 彩色滤光片 .....	8
1.3.3 偏振片 .....	12
1.3.4 驱动与控制 IC .....	15
1.3.5 背光源 .....	18
1.4 TFT-LCD 产品应用 .....	19
1.4.1 便携式移动产品 .....	19
1.4.2 桌面显示器 .....	20
1.4.3 电视机 .....	20
1.4.4 特殊工业、航空、医疗用途 .....	20
1.4.5 公共显示领域 .....	21
参考文献 .....	21
<b>第 2 章 TFT-LCD 制造工艺过程</b> .....	22
2.1 TFT-LCD 制备工艺流程综述 .....	22
2.2 TFT 阵列工艺及设备 .....	23
2.2.1 有源矩阵显示器件简介 .....	23
2.2.2 a-Si:H TFT 器件结构及工艺流程简介 .....	25
2.2.3 TFT 阵列工艺及设备 .....	31
2.3 成盒工艺 .....	70
2.3.1 LC CELL 的结构及 CELL 工艺流程综述 .....	70
2.3.2 主要成盒工艺介绍 .....	71
2.4 模块工艺流程 .....	79
2.4.1 模块的结构及工艺流程综述 .....	79
2.4.2 偏振片贴覆工程 .....	80
2.4.3 ACF 贴覆工艺 .....	81
2.4.4 TCP 和 PCB 连接工艺 .....	81
2.4.5 TFT-LCD 模块引线连接技术 .....	83
参考文献 .....	84
<b>第 3 章 TFT-LCD 产品性能及其测试方法</b> .....	86
3.1 产品性能测试基础 .....	86

3.2 分辨率 .....	88
3.3 亮度与亮度均匀性 .....	88
3.4 对比度及对比度均匀性 .....	89
3.4.1 对比度及对比度均匀性测量 .....	90
3.4.2 对比度的影响因素和提高方法 .....	90
3.5 响应时间 .....	91
3.5.1 响应时间介绍 .....	91
3.5.2 灰阶响应时间 .....	92
3.5.3 如何提高 TFT-LCD 的响应速度 .....	93
3.5.4 移动图像响应速度 .....	95
3.6 可视角度范围 .....	97
3.6.1 视角的测量方法 .....	98
3.6.2 宽视角技术 .....	99
3.7 色再现性 .....	104
3.7.1 定义 .....	104
3.7.2 色再现性测量方法 .....	106
3.8 功率消耗 .....	107
3.9 串扰 .....	108
3.10 闪烁 .....	109
3.11 视觉检查项目 .....	110
3.11.1 残像 .....	111
3.11.2 与显示图像信息不直接相关的视觉检查项目 .....	112
3.12 可靠性测试 .....	116
3.13 测试方法的标准化情况 .....	116
参考文献 .....	117

## 下篇 平板显示技术发展

引子 .....	119
<b>第 4 章 低温多晶硅技术</b> .....	121
4.1 p-Si TFT 技术简介 .....	121
4.1.1 像素驱动用 p-Si TFT 器件结构及其特点 .....	122
4.1.2 周边驱动 p-Si TFT 结构和特点 .....	123
4.1.3 p-Si TFT-LCD .....	123
4.2 p-Si 材料及其制备方法 .....	124
4.2.1 金属诱导法制备多晶硅薄膜 .....	125
4.2.2 激光退火制备多晶硅 .....	127
4.2.3 p-Si 的霍尔迁移率测量及测量原理 .....	133
4.3 p-Si TFT 及其器件特性 .....	135
4.3.1 多晶硅 TFT 的电学特性 .....	135
4.3.2 p-Si TFT-LCD 器件特性 .....	140
参考文献 .....	143
<b>第 5 章 LCD 背光技术发展</b> .....	146

5.1 LCD 背光技术 .....	146
5.1.1 背光源简介 .....	146
5.1.2 背光源产业状况 .....	147
5.1.3 背光源各结构和部件介绍 .....	149
5.1.4 背光源光学设计 .....	154
5.1.5 V-Cut 导光板的设计 .....	158
5.2 新型 LCD 背光源——LED 背光源 .....	159
5.2.1 冷阴极荧光管的缺点 .....	159
5.2.2 LED 简介 .....	160
5.2.3 LED 特性 .....	164
5.2.4 LED 驱动 .....	169
5.2.5 LED 背光设计案例 .....	176
5.2.6 基于 LED 背光技术发展的新型液晶显示技术 .....	187
参考文献 .....	194
<b>第 6 章 有机发光显示与柔性显示技术 .....</b>	<b>196</b>
6.1 有机发光二极管显示技术 .....	196
6.1.1 OLED 简介 .....	196
6.1.2 OLED 器件 .....	197
6.1.3 OLED 制备工艺 .....	199
6.1.4 OLED 像素及其驱动 .....	201
6.1.5 OLED 技术展望 .....	203
6.2 柔性显示技术 .....	203
6.2.1 柔性显示技术介绍 .....	203
6.2.2 电子纸显示技术 .....	204
参考文献 .....	208
<b>附录 缩略语中英文对照表 .....</b>	<b>209</b>



# 上篇 TFT-LCD 技术基础

## 第 1 章 TFT-LCD 的结构及其产品应用

### 1.1 液晶显示技术的发展历程

自从 1888 年奥地利科学家 Reinitzer 发现液晶材料以后,不少研究人员致力于该类材料的应用,1964 年,美国人 Dr. Heilmeyer 发现了宾主型 LCD (液晶显示器, Liquid Crystal Display) 驱动方式。1971 年,瑞士人 Dr. Schadt 发现扭曲向列 (TN, Twisted Nematic) 型 LCD 驱动方式,1972 年,美国 Lockheed 公司生产了带有液晶显示屏的手表和掌上型计算机,20 世纪 80 年代开始,日本 Seiko、Casio、Matsushita 和 Mitsubishi 等公司先后成功开发了小型黑白和彩色液晶电视机产品,标志着 LCD 产品正式进入历史舞台。

最初商业化的液晶显示器多为扭曲向列 (TN) 型 LCD 或超扭曲向列 (STN, Super Twisted Nematic) 型 LCD,该类产品在尺寸增大和像素增加时驱动困难,研究人员又发现了薄膜晶体管 (TFT) 液晶显示驱动方式。欧美国家率先提出了薄膜晶体管液晶显示器 (TFT-LCD) 技术,但由于技术和制程不够成熟,直到 20 世纪 80 年代末期,日本厂商才完全掌握主要生产技术,并开始进行大规模的生产,形成了目前产值超过 3000 亿美元的产业,并且在以每年上百亿美元的速度递增。

TFT-LCD 产品的大量应用从笔记本电脑开始,1992 年,随着笔记本电脑对液晶显示器件产品需求的增加,TFT-LCD 作为液晶显示的主流技术地位确立。技术的进一步发展使 TFT-LCD 生产成本降低,促成了 2004 年计算机的桌面显示器从笨重的阴极射线管 (CRT, Cathode-Ray Tube) 向轻薄的 TFT-LCD 转变,并最终超过 CRT 的市场份额,进入 2006 年,液晶电视技术的成熟正将 TFT-LCD 技术带入一个更大的应用领域。

### 1.2 TFT-LCD 的原理与结构介绍

TFT-LCD 技术是用薄膜晶体管驱动液晶材料进行显示的技术。要理解该器件的工作原理,首先需要了解液晶材料的特性。液晶材料是在某一特定温度范围内,会同时具有液体和晶体特性的材料。液晶材料具有光学各向异性,在 20 世纪 60 年代中期,科学家发现通过施加外部电场可以改变通过液晶材料的光的性质,根据这一原理研制成功了液晶显示器件。

典型的 TFT-LCD 产品结构为三明治结构,在两片玻璃中间夹有液晶材料,其结构示意图如图 1-1 所示,从上到下典型 TFT-LCD 产品的结构包含上偏振片、彩色滤光片、液晶层、TFT 阵列基板、下偏振片和背光模组,其中在 TFT 阵列基板上连接有驱动 IC。

薄膜晶体管液晶显示器主要利用光的偏振性能实现图像和文字的显示。以不加电情况下为亮态，即常白状态为例，如图 1-1 中所示的上下两片偏振片的光学偏振方向相互垂直，即相位差为  $90^\circ$ 。来自背光源的非偏振光，经过第一片偏振片成为线偏振光，在某个像素位置如果没有电压，由于液晶的旋光特性，该线偏振光的偏振方向将旋转  $90^\circ$ ，正好与上面的偏振片的偏振方向相同，则该像素显示状态为亮。如果某个像素位置有电压，该像素区域的液晶的旋光特性将消失，通过的光线的偏振状态不变，因此光线无法通过上面的偏振片，则该像素显示状态为暗。这就是薄膜晶体管液晶显示器的基本显示原理，当然根据液晶显示模式的不同，显示原理略有差异，但基本原理一致。

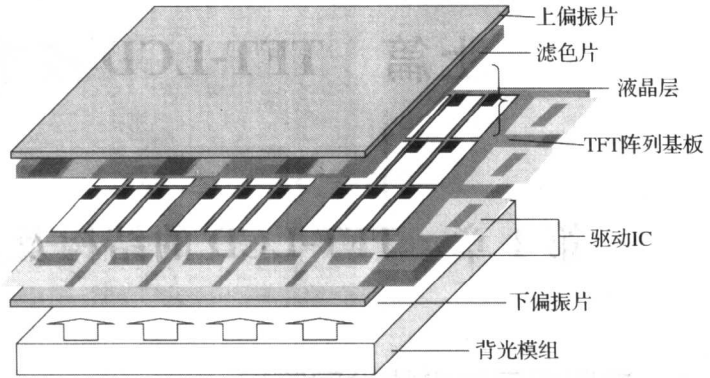


图 1-1 TFT-LCD 结构示意图

## 1.3 主要零组件介绍

### 1.3.1 玻璃

玻璃 (Glass) 是目前液晶显示器使用的主要基板材料，玻璃在液晶显示领域占有相当重要的地位，以性能和制造工艺的要求来看，用于液晶显示器的玻璃材料需要满足以下要求：

(1) 耐热性 主要是应变点和热膨胀系数要求，在 TFT-LCD 制造过程中需要经过多次升温、降温的过程，要求玻璃基板在最高加工温度下不能出现粘滞和流动现象，因此玻璃的应变点温度必须高于器件的最高加工温度，一般非晶硅 TFT-LCD 器件的最高加工温度在  $300^\circ\text{C}$ ，而特殊应用的低温多晶硅 TFT-LCD 器件的最高加工温度在  $600^\circ\text{C}$ 。在制造过程中的反复快速升温、降温，必然引起玻璃材料的结构松弛，发生尺寸变化，使得在其上加工的电子线路发生偏差。虽然可以在光刻制版的过程中考虑玻璃的尺寸变化进行补偿，但仍然要求玻璃的收缩变化在一定的范围内。因为在玻璃基板上需要沉积多种材料，形成 TFT 电路和像素，玻璃的热膨胀系数必须与其上的材料相匹配，由于金属材料的热膨胀的容限较大，主要考虑与硅材料的匹配。

(2) 表面尺寸精度 液晶显示屏的盒厚（液晶层的厚度，即两片玻璃基板之间的距离）在几个微米的范围内，表面微小的不平整将影响液晶的填充，进而影响附近的电场和像素显示，使画面的亮度和色度不均匀，影响画面的质量。另外在液晶显示器制造过程中要经过多次曝光光刻过程，如果玻璃基板表面不平整，将影响曝光光源在整个平面的聚焦，进而影响曝光质量和产品性能。

(3) 表面和内部质量 玻璃的表面应无任何划伤和污点，以免影响电路制备；为避免影

响画面质量，内部缺陷或包裹体的面积应小于单个子像素的 25%。

(4) 化学稳定性 TFT-LCD 制造过程中要经历多次化学处理，玻璃基板需要耐相关化学品的腐蚀，包括刻蚀液、显影液、清洗液等，各种化学处理过程使用的液体配方不同，但大体上要求耐酸（HCl、HF、HNO<sub>3</sub>）、碱（NaOH）、盐（NaCO<sub>3</sub>）和去离子水腐蚀。

(5) 碱含量的限制 因为碱金属离子，特别是钠离子的迁移速度高，进入器件的电路层中（TFT 结构中）将严重影响器件的性能，因此在 TFT-LCD 用基板玻璃中应严格控制碱含量，一般要求使用无碱玻璃。

(6) 密度 对于笔记本电脑等移动产品，消费者比较关注重量，因此低密度玻璃基板也是一种发展趋势。

目前广泛应用的玻璃基板，其主要厚度有几个规格从 1.1~0.63mm，且有更薄（如 0.4mm）的产品供应。基本上，一片 TFT-LCD 屏需使用两片玻璃基板，分别作为 TFT 玻璃基板及彩色滤光片基板使用。

超薄平板玻璃基材的特性主要取决于玻璃的组成，而玻璃的组成则影响玻璃的热膨胀、黏度（应变、退火、玻璃态转化、软化和加工点）、耐化学腐蚀性、光学透过吸收及在各种频率与温度下的电气特性。

产品质量除受材料组成影响外，也取决于生产制程。玻璃基板的制程主要包括进料、薄板成型及后段加工三部分。进料主要是在高温的熔炉中将玻璃原料熔融成低黏度且均匀的玻璃熔体，此时不但要考虑玻璃各项的物理与化学特性，还需考虑在不改变化学组成的条件下，选取最佳原料配方，以便有效地降低玻璃熔融温度，使玻璃易于澄清，同时达到玻璃特定性能，符合实际应用的需求。薄板成型技术则要考虑尺寸精度、表面性质和是否需要进一步加工研磨，以达到特殊的物理、化学特性要求。后段加工包括玻璃的分割、研磨、洗净及热处理等制程。

LCD 用玻璃基板制造方法主要有三种，分别为浮法（Float Technology）、狭缝下拉法（Slot Down Draw Technology）及溢流下拉法（Overflow Fusion Technology）。其中浮法可生产适合各种平板显示器使用的玻璃基板，而溢流下拉法目前则仅应用于生产 TFT-LCD 用玻璃基板。

(1) 浮法 该法为目前最著名的平板玻璃制造技术，系将熔炉中熔融的玻璃液输送至液态锡床，因此时玻璃的黏度较低，可利用挡板或拉杆来控制玻璃的厚度，随着流过锡床距离的增加，玻璃液便渐渐地固化成平板玻璃，再利用导轮将固化后的玻璃平板引出，再经退火、切割等后段加工工序加工而成。

以浮法生产超薄平板玻璃时，应严格控制玻璃进料量，先将进入锡床的玻璃带冷却至一定温度，使玻璃带的黏度达到规定值，再利用边缘滚轮拉住浮于液态锡上的玻璃液，并向外展拉，再将玻璃带加热，配合输送带滚轮施加外力拉引。以浮法技术控制超薄平板玻璃的工艺过程如图 1-2 所示。

浮法技术采用水平引出的方式，因此比较容易利用拉长水平方向的生产线的方式来达到退火的要求。浮法技术的另一特点是其单台熔炉的生产量比较大，因此该方法在成本上具有一定优势。但由于采用锡床水平拉制，很难在玻璃成型过程中保证表面质量，需要后续的研磨工序，产品质量不及溢流下拉法。

(2) 狭缝下拉法 就平面显示器所需的特殊超薄平板玻璃而言，也有采用狭缝下拉法生

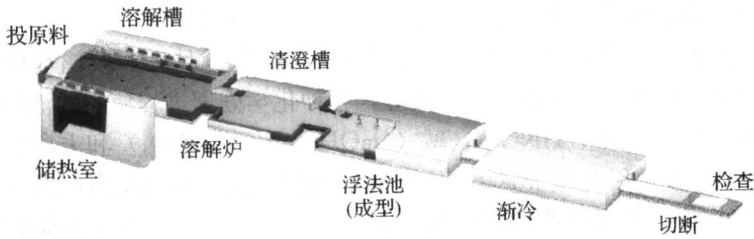


图 1-2 浮法制造平板玻璃工艺过程示意图

产的，该法系以低黏度的均质玻璃液导入铂合金所制成的狭缝漏板（Slot Bushing）槽中，利用重力和下拉的力量及模具开孔的大小来控制玻璃的厚度，其中温度和狭缝尺寸大小共同决定玻璃产量，而狭缝尺寸大小和下引速度则共同决定玻璃厚度，温度分布则决定玻璃的翘曲。以狭缝下拉法拉制超薄平板玻璃示意图如图 1-3 所示。

狭缝下拉法必须要在垂直的方向上进行退火，如果将其转向水平方向，则可能会增加玻璃表面与滚轮的接触及因水平输送产生翘曲，将导致不良率大增。所以熔炉的建造必须采用挑高的设计，同时必须精确地计算退火所需要的高度，因此工程的难度将大幅增加，同时也将增加建厂成本。另外，因金属铂无法承受较高的机械应力，一般大多采用铂合金制成的模具，不过因其在承受外力时流孔常会变形，导致厚度不均匀及表面平坦度无法符合规格需求，这是其工艺上的难点。

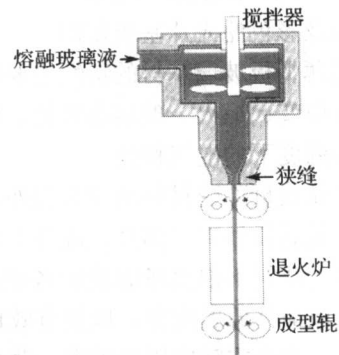


图 1-3 狭缝下拉法制造平板玻璃示意图

(3) 溢流下拉法 该方法的主要过程为：将原材料熔化、均匀化后注入溢流槽中，当玻璃液均匀地充满整个溢流槽后，将从槽体的两侧均匀流下，并在槽体的末端融合，在融合的玻璃上施加下拉力，即可实现连续生产并控制玻璃的厚度（见图 1-4）。由于该方法中玻璃的成型是在空气中完成的，基本不接触其他杂质，因此可获得表面光滑的玻璃基板，而不需要后期的研磨。

溢流下拉技术可以生产出具有双原始玻璃表面的超薄玻璃基板，相较于浮法（仅能生产出单原始玻璃表面）及流孔下拉法（无法生产出原始玻璃表面），可免除研磨或抛光等后续加工制程。同时，在平面显示器制造过程中，不需注意玻璃两个表面（原始表面和与液态锡接触的表面）的性质差异，或者因研磨所造成的玻璃表面性质差异等。因此，溢流下拉技术已成为超薄平板玻璃成型的主流技术。表 1-1 是三种制造方法的比较对照表。

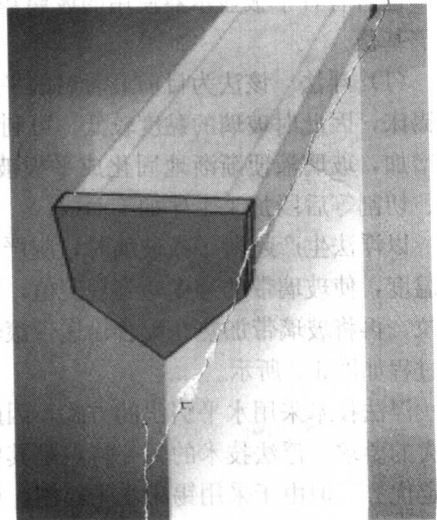


图 1-4 溢流下拉法制造平板玻璃示意图

表 1-1 玻璃基板制造方法比较

	浮 法	狭缝下拉法	溢流下拉法
成分	钠钙硅玻璃	钠钙硅玻璃/钡硼硅低碱玻璃/铝硅酸盐无碱玻璃	钡硼硅低碱玻璃/铝硅酸盐无碱玻璃
典型产量/(t/日)	400~700	5~20	5~20
建厂所需空间	占地广阔	所需面积较小, 需挑高	所需面积较小, 需挑高
投资金额	大	中间	大
建造时间/月	18~24	15~18	15~18
拉出的方向	水平	垂直向下	垂直向下
成型的介质	液态锡	铂铑合金流孔漏板	溢流槽
成型原理	利用液态锡与玻璃液密度的差异	重力	重力
厚度控制	熔炉的引出量、导杆施力的大小和水平方向玻璃平板的拉出速率	熔炉的引出量、流孔开口的大小和下拉的速率	玻璃膏的溢流量和下拉的速率
厚度范围/mm	0.5~25	0.03~1.1	0.5~2.5
面积大小	大面积	中小面积	中大面积
后续加工要求	居中	最高	最低
代表厂商	Asahi	NEG	Corning、NHT

LCD用的玻璃基板依照所含的碱含量可分成钠石灰玻璃、低碱玻璃、无碱玻璃三种, 钠石灰玻璃及低碱玻璃主要用于 TN/STN LCD, 主要厂商有日本 NHT、Asahi 等, 商业制程以浮法为主。用于 TFT-LCD 的玻璃均为无碱玻璃, 无碱玻璃以无碱硅酸铝玻璃 (Alumino Silicate Glass, 主要成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  及  $\text{BaO}$  等) 为主, 其碱金属总含量在 1% 以下。

因为性能要求较高, 且尺寸不断地增大, 在世界范围内可以大量供应 TFT-LCD 用基板玻璃的厂商非常有限, 只有美国康宁 (Corning), 日本旭硝子 (Asahi)、板硝子 (NHT) 和电气硝子 (NEG) 几家。表 1-2 是各家产品主要性能对比。

表 1-2 各玻璃厂商产品主要性能对比

生产厂商	玻璃代码	密度/( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	热膨胀系数/( $\times 10^{-7}/\text{C}$ )	应变点/ $^{\circ}\text{C}$
Corning	7059	2.76	46	593
	1737	2.54	38	667
	EAGLE 2000	2.37	32	667
Asahi	AN635	2.77	48	635
	AN 100	2.51	38	670
NEG	OA-2	2.70	47	650
	OA-10	2.5	38	650
NHT	NA-45	2.70	46	610
	NA-35	2.5	37	650

美国康宁 (Corning) 公司从 20 世纪 80 年代初开始研制并生产 LCD 用玻璃材料, 随着 LCD 产品应用领域的扩展和生产线上玻璃尺寸的增加, Corning 公司的产品也在不断地改进, 目前 Corning 公司在 TFT-LCD 用基板玻璃方面的市场占有率最高, 产品质量最好。

1996 年以前, 无碱玻璃是以 Corning 公司的 7059 系列为代表性产品, 主要应用在非晶硅 TFT-LCD 上。少数对响应速度要求高的 TFT-LCD 产品, 则利用高价位的石英玻璃作为基板材料。1996 年, 俄罗斯、日本、德国和中国等玻璃产业有一定基础的国家, 在巨大的市场潜力诱惑下, 相继进行 7059 系列无碱玻璃的研究开发。Corning 公司在 1996 年全面停产 7059 系列玻璃, 代之以耐温性更佳、硬度更高的 1737 系列玻璃, 迫使全球 TFT-LCD 的制造商在无可选择的情况下, 接受了价格较低而性能更佳的 1737 系列玻璃。中国和俄罗斯的玻璃制造商在美国康宁 1737 系列玻璃上市之后, 相继退出市场。而日本开发的 7059 系列玻璃, 如 OA2、NA45、AN635 等无碱玻璃, 受益于日本国内 TFT-LCD 产业的需求, 占有了一定的市场份额。德国老牌玻璃制造商肖特 (Schott) 则直到 2005 年才在市场中找到了一定的缝隙。上述情况的发生主要是由于 TFT-LCD 用无碱玻璃有特殊成分配方, 且在热稳定性、机械、电学、光学、化学和外观尺寸、表面平整度等方面均有极为严格的标准规范, 因此其生产线调整、学习时间较长, 新厂商欲跨入该产业的技术门槛较高。

美国 Corning 公司在拥有世界最大的市场占有率下, 不断地利用新技术主导 TFT-LCD 玻璃基板的发展, 每当竞争者推出可替代其现有规格的产品时, 为了保障市场占有率, 该公司即生产更高性能的玻璃基板, 以取代原有规格的产品。对玻璃基板的使用者而言, 即使 TFT-LCD 制程并未改变, 只是受到 Corning 公司策略性的影响, 也不得不跟进搭配使用新玻璃。1996 年起, TFT-LCD 的主流玻璃基板已由膨胀系数为  $45 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  的无碱玻璃, 演变为膨胀系数为  $37 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  的高铝系无碱玻璃。另外, 2000 年 Corning 公司推出密度约为  $2.37\text{g}/\text{cm}^3$  的新产品——EAGLE2000, 除密度降低以外, 尺寸稳定性和耐化学腐蚀性能更佳。

下面以 EAGLE 2000 为例介绍 TFT-LCD 用玻璃的性能水平和特点。

在机械性能方面:  $20^{\circ}\text{C}$  时测量 EAGLE 2000 的密度为  $2.37\text{g}/\text{cm}^3$ , 杨氏模量  $70.9\text{GPa}$ , 剪切模量  $28.9\text{GPa}$ , 泊松比 0.23。从表 1-2 的对比可知, EAGLE2000 显示器玻璃基板拥有最低的密度 ( $2.37\text{g}/\text{cm}^3$ ), 是目前市场上最轻的 LCD 玻璃基板, 大大方便了显示器制程中玻璃的搬运。EAGLE2000 玻璃基板可提供  $0.5\text{mm}$ 、 $0.63\text{mm}$  以及  $0.7\text{mm}$  三种厚度的产品。使用更薄的玻璃基板具有一个重要的优势: 可大幅减少笔记型电脑、手机等移动产品的重量, 让这些便携式产品享有轻巧、便利的优点。

在热膨胀性能方面:  $0\sim 300^{\circ}\text{C}$  时测量 EAGLE 2000 的热膨胀系数为  $31.8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ,  $0\sim 670^{\circ}\text{C}$  时测量的热膨胀系数为  $36.6 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。从表 1-2 的对比可知, EAGLE2000 玻璃基板还拥有极低的热膨胀系数, 因此具有以下优点:

- 1) 改善玻璃的热稳定性, 这种玻璃在薄膜晶体管 (TFT) 制程中不至于因为温度的微小变化而变形, 使晶体管制程中的多层薄膜更容易对准。

- 2) 降低因为温度突然下降而使玻璃破裂的风险。使玻璃能在 TFT 制程中以更快的速度加热及冷却, 进而提高产能。

- 3) 提高显示器的分辨率。玻璃本身的尺寸稳定性更好, TFT 与彩色滤光片之间更能精密配合, 因而得以设计出像素更小的显示器。

4) 与玻璃上芯片集成 (Chip On Glass, COG) 玻璃制程的相容性。COG 工艺可将各种相关的集成电路直接黏结在玻璃基板上, 制造出更坚固耐用的显示器。

在上述 (3)、(4) 两项指标中, 与其他产品相比, EAGLE2000 的性能指标处于领先水平, 在粘度、电学、光学特性方面, 各厂商的产品水平相当, 因此 EAGLE2000 的性能可作为参考。EAGLE2000 应变点 ( $10^{14.5}$  泊) 为  $666^{\circ}\text{C}$ , 退火点 ( $10^{13}$  泊) 为  $722^{\circ}\text{C}$ , 软化点 ( $10^{7.6}$  泊) 为  $985^{\circ}\text{C}$ , 加工工艺点 ( $10^4$  泊) 为  $1321^{\circ}\text{C}$ 。图 1-5 为 EAGLE2000 的介电常数和可见光透过率, 这是所有产品的典型要求性能。

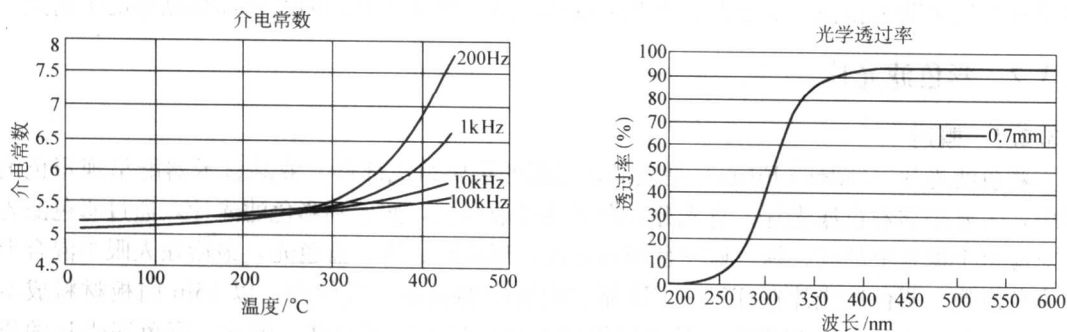


图 1-5 TFT-LCD 用玻璃的介电常数和可见光透过率要求

注: 该图取自参考文献 [1-1]。

Corning 公司在 TFT-LCD 玻璃领域的另外一项创新是其包装运输方法 Dense Pak 技术。因为玻璃基板的尺寸越来越大, 其包装运输的困难也不断地增加。传统的包装方法中, 为防止玻璃的相互碰撞造成损失, 在装箱时两片玻璃之间必须留出相当的空间, 一般一箱可容纳 20 片, Corning 公司通过在两片玻璃中间使用超薄保护层, 使得同样规格的箱子中可以容纳 500 片玻璃 (见图 1-6), 大大降低了运输成本, 提高了运输效率。

TFT-LCD 用玻璃基板技术不断地发展, 其趋势主要表现在以下几方面:

**尺寸大型化:** TFT-LCD 产业发展至今, 玻璃基板的尺寸不断地加大, 且变化速度逐渐加快。每隔两年即出现新的高世代生产线, 目前投入生产的七代线玻璃尺寸在长宽两个方向均已超过人的平均身高, 可见其在加工制备方面难度的增加, 但各厂商在丰厚利润的驱动下, 还在不断地开发更大尺寸的玻璃生产技术。

**轻型化、薄型化:** TFT-LCD 产品在不断地取代 CRT 产品的过程中主要依靠其可提供轻薄产品, 主要的指标要求为密度和产品厚度。上面提到, 玻璃的密度已经从  $2.75 \text{ g/cm}^3$  的最初水平不断下降, 达到了目前的  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , 而 Corning 公司产品已达到了  $2.37 \text{ g/cm}^3$ 。

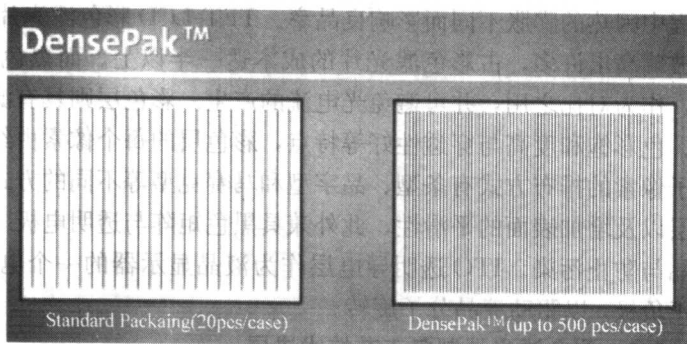


图 1-6 Dense Pak 技术与传统包装技术比较

注: 该图取自参考文献 [1-1]。

随着技术的发展,玻璃的密度必然会进一步下降。在厚度方面,目前市场上主流的玻璃基板厚度为 0.63mm,主要应用在大尺寸的监视器、电视机等产品上;也有厚度为 0.5mm 和 0.4mm 的产品,主要应用在手机等移动产品上。玻璃基板的厚度从 0.7mm 变化到 0.4mm 时,因为受到物理特性的影响,玻璃基板中间的凹陷程度会加大,随着玻璃基板尺寸的增大,情况将会更严重。这会影 响 TFT 阵列制备过程中尺寸精度,给工艺加工带来困难。另外, TFT-LCD 生产线上的机械手臂在抓取玻璃时,玻璃容易破碎,上述两个原因会导致生产线良品率下降。因此一般情况下对于便携产品(手机、笔记本电脑、PDA 等),厂商仍在以追求更轻更薄为目标,对于监视器和电视机产品,则要研究轻薄要求和良品率的平衡点。

### 1.3.2 彩色滤光片

#### 1.3.2.1 概述

彩色滤光片(Colour Filter)是液晶显示器的重要组成部分,液晶显示器能呈现彩色的影像,主要是靠彩色滤光片。背光源的白光透过液晶层,照射到彩色滤光片,通过彩色滤光片对应每个像素上的红、绿、蓝三色颜料光阻,形成红、绿、蓝色光,最后在人眼中混合形成彩色影像。彩色滤光片在 TFT-LCD 显示面板中的成本比重较大,以 15in 面板材料成本来看,彩色滤光片占 24%左右,是占面板成本比重最大的零组件。因此,彩色滤光片的质量及其技术发展对液晶显示器的质量至关重要。

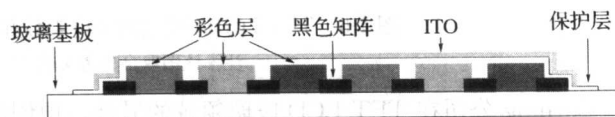


图 1-7 彩色滤光片的结构示意图

彩色滤光片(Colour Filter)基本结构如图 1-7 所示,它是由玻璃基板(Glass Substrate)、黑色矩阵

(Black Matrix)、彩色层(Color Layer)、保护层(Over Coat)及 ITO 导电膜所组成的。其中玻璃为彩色滤光片的载体,一般 LCD 面板制造商会要求使用相同型号的玻璃,以避免在制程中因热的膨胀不同而影响良品率。TFT-LCD 彩色滤光片所使用的无碱玻璃,单价较一般玻璃高出许多,占彩色滤光片的成本达一半以上。而黑色矩阵主要目的在区隔各种颜色层,作为对比之用,并可避免光电流的产生。彩色层则具有滤光的功能,一般需具备耐热性佳、色彩饱和度高与穿透性好等特点,彩色层的每个像素由红、绿、蓝三个子像素构成,三个子像素的排布方式有条型、品字型和马赛克型等不同的方式。保护层主要的功能是保护彩色层以及增加表面的平滑性,此外兼具黑色矩阵与透明电极(ITO)层的绝缘层,以及隔离液晶与防止污染。ITO 透明导电层作为液晶显示器的一个电极,与阵列基板的对应电极构成正负极,以驱动液晶分子旋转。

#### 1.3.2.2 彩色滤光片制备工艺技术进展

彩色滤光片的制备工艺一直以涂布光刻为主<sup>[1-2,1-3]</sup>,在玻璃基板尺寸较小的生产线上,制备工艺基本以中央滴下(Center Dispense)加旋转涂布为主,如图 1-8a 所示。因为旋转的速度很快,在玻璃基板尺寸增大的情况下,设备的制造以及薄膜涂布均匀性控制将非常困难,因此在高世代生产线上,厂商将其改为狭缝(slit)加旋转涂布工艺,其工艺过程如图 1-8b 所示。随着玻璃基板尺寸的继续增加,工艺发展逐渐转向无旋转涂布(spinless)方式<sup>[1-4]</sup>,如图 1-8c 所示。

涂布方式的改变,不仅仅是出于工艺简化的需要,它同时可以降低光阻材料的损耗,图



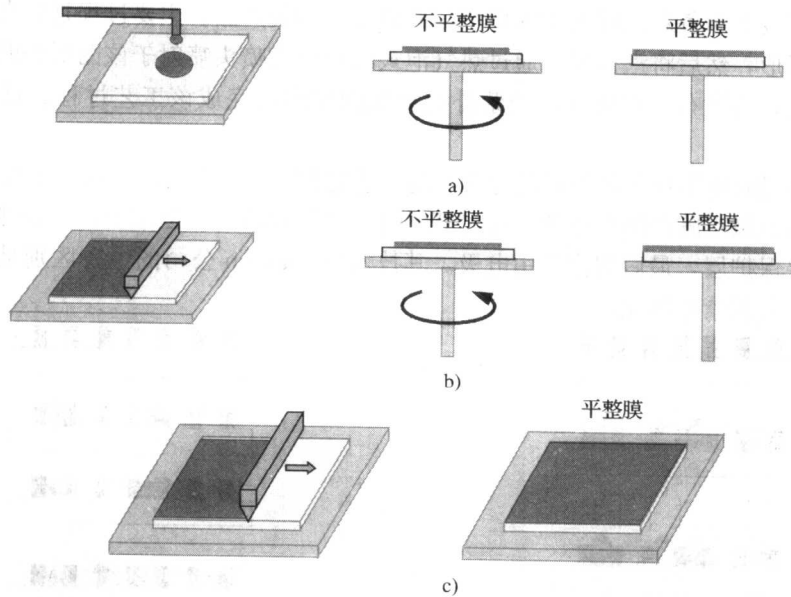


图 1-8 彩色滤光片制备工艺技术进展

a) 中央滴下+旋转涂布工艺示意 b) 狭缝+旋转涂布工艺示意 c) 无旋转涂布工艺示意

1-9 为各种工艺下光阻材料的损耗量比较。从光阻材料的消耗量上看,狭缝+旋转涂布方式是中央滴下方式的 1/2,无旋转涂布是狭缝+旋转涂布的 1/5。另外,无旋转涂布的设备尺寸及其占地面积大大缩小,节省了初期的投入。

无论涂布方式如何改变,其后续过程均须经过三次光刻制程,才能形成红、绿、蓝三色滤光层,这样将会有大量光阻材料的浪费,而且过多的工艺过程会降低产品的良品率,增加成本。为了进一步简化工艺过程,降低材料的消耗,提高产品质量,研究人员正致力于开发喷墨打印技术<sup>[1-5]</sup>。

因为喷墨打印技术具有

明显的技术优势,很多厂商都在致力于其关键技术的开发,产生了大量的专利,同时也在不断地推动该项技术的发展,特别是 Epson 公司应用该技术制作了 40in PLED 电视产品,给研究领域和产业界带来较大的震撼。但该技术要应用于彩色滤光片的生产,还需要在几方面关键技术上进行完善。涉及喷墨打印的关键技术有以下四个方面:喷墨打印头的设计与制造;三色墨水的开发;喷墨打印系统的开发和彩色滤光片喷墨打印制备工艺的研究。

Cannon 公司最早在专利 US Patent 5,552,192<sup>[1-6]</sup>和 US Patent 6,399,257<sup>[1-7]</sup>中提出了

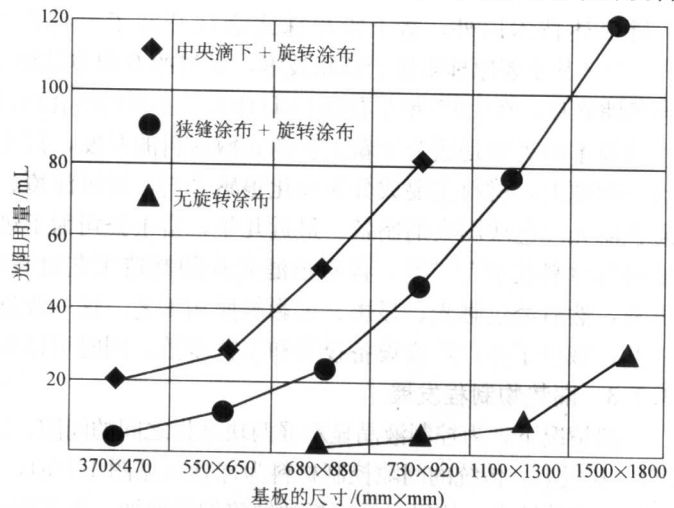


图 1-9 各种工艺下光阻材料消耗量的比较