

## 内 容 简 介

高质量的平板显示器的核心是薄膜晶体管(thin film transistor ,TFT)矩阵的特性和制造技术。这本书主要介绍非晶硅(amorphous silicon , a-Si)TFT阵列大规模生产的制造技术。

全书共 13 章 ,从 TFT 元件的结构及特点 ,到 TFT 检查与修复 ,包括 TFT 阵列制作清洗工艺、成膜工艺、光刻工艺、不良解析和检查修复。本书从 TFT 阵列大规模制造的角度 ,第一次比较全面地介绍了 TFT-LCD 生产线的 TFT 阵列制造工艺技术、工艺参数、生产工艺技术管理、工艺材料规格、设备特性、品质控制、产品技术解析 ;书中还以工艺原理、设备参数控制、材料特性要求、生产工艺文件要求等大规模生产技术要素为核心 ,比较完整地介绍了现代化信息制造业的工艺流程与工艺管理。

本书可作为平板显示行业工程师、技术人员、管理人员的培训教材 ,也可供高等院校相关专业方向研究人员、研究生以及相关行业从业人员参考。

3ö°æËµÃ÷

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

推动科技出版事业  
提高学术水平

为「上海科技专著出版资金」题

徐匡迪

二〇〇〇年十月十日

# Đò

工业革命造就的工业社会,解决了人类肢体能力的延伸。人类进入信息社会,希望解决的是人类思想能力,即智力的延伸。计算机和网络技术的发展大大推动了社会信息化进程,而显示技术又为社会信息化提供了人机最主要的信息交换界面,其重要性越来越显现。社会的信息化推动了显示器件的平板化、便携化和节能化发展;反之,显示器件的日新月异发展又为社会信息化提供了必要条件。

液晶显示器件是大量现代科学技术成果的结晶,成为平板显示器件的主流,日益受到社会的青睐。本书系统介绍了液晶显示器件(TFT-LCD)的核心制造技术——TFT 阵列制造技术,这对该产业的研究和发展具有现实意义。我们产业界人士因从中受益而感谢作者谷至华先生的辛勤劳动。我相信教育界、科技界和经济界的其他人士也同样会从中受益。

愿我们的平板显示产业蓬勃发展!愿大家一起为平板显示产业的发展多作努力和贡献!

上海广电(集团)有限公司

顾培柱

2007年8月8日

# ±à Öß μÄ »°

平板显示作为继汽车和大规模集成电路之后第三个具有全球影响力的新兴产业正在迅速崛起,也是我国“十一五”和中长期科技发展的重点产业。国内 TFT-LCD 产业发展炙手可热。编写这本书的目的是抛砖引玉,希望有更多的人来关心 TFT 平板显示工业技术问题,通过技术交流提高产业的技术水平,希望国内关于 TFT-LCD 领域的生产技术的交流活跃起来。

本书主要介绍的是一些生产技术的问题,也是一个尝试。过去生产技术领域的交流比较少,一方面是有些忌讳;另一方面,可能是可以交流的东西也不多。但是随着我国制造业的发展,生产技术领域的交流会越来越重要。我相信一个健康的、有生命力的产业技术环境应该是开放的,交流促进发展。

由于编写的时间非常仓促,内容上免不了有这样那样的问题,希望读者指教。

本人在这里要特别感谢在 SVA-NEC 工作期间和申智渊博士、董承远博士、于涛博士,赵海锋、陈晟、张锋、王小凤、谢晓明、徐华伟、徐伟齐、张俊峰、田广彦、华勇、马哲国、吴宾宾、黄翔、谭智敏、茅建峰、王劼、陈刚、沈奇奇、储培鸣、周钰丹、谭莉、沈洵、宋志杨、陈宁、陈建军等技术人员的讨论,感谢朋友们为这本书的出版提供的宝贵支持。感谢复旦大学研究生杨雨婷同学为本书做了大量的文稿校对工作。

谷至华

2007 年 6 月

于复旦 上海

# 引 言

## 一、平板显示——人类智慧之窗

---

20 世纪的人类技术成果可以用“地球村”简单概括,主要解决人类的肢体能力的延伸。计算机技术、网络技术和平板显示技术的出现把人类带入了信息社会。人类技术革命的重点转向人类智能的延伸和共享。平板显示技术满足了信息社会的根本技术需求,继汽车和计算机产业之后成为第三个具有全球影响力的高新技术产业正在迅速崛起。平板显示决不仅仅是大屏幕数字化平板电视,平板显示技术的真正意义在于它将把人类带入移动和无纸办公时代,把人类由“地球村”时代带入“智能星球”时代,是实现人类智能延伸与共享的智慧之窗。

数字化家庭、数字化通讯、数字化教育、数字化医院、数字化图书馆、数字化办公、数字化城市、数字化国家,被简化为同样的 0 和 1 的声音、影像、数据、图表、文字等数字化信息流,通过计算机网络在我们星球的空间传递、交流。汹涌澎湃的信息化浪潮席卷人类社会的各个角落,经济合作、技术合作、资源共享、智力共享打破了语言、时间和地域的限制,人类开始进入智力延伸的“智能星球”的信息社会。在未来的 100 年甚至更长的历史时间内平板显示技术是信息社会的基础产业,是信息技术的核心器件,平板显示的应用如图 0.1 所示。发展平板显示技术决不是权宜之计,这是一个新的技术时代的开始,大量的工作现在刚刚开始。

在众多平板显示器的激烈竞争中,液晶显示器(liquid crystal display, LCD)能够脱颖而出,成为新一代的主流显示器绝不是偶然的,这是人类科技发展和思维模式发展的必然。

液晶显示器避开了平板显示器最困难的发光材料问题。人们巧妙地利用了液晶作为光阀的优良特性,把构建性能卓越的发光显示器件分解成两个部分,即光源和对光源的控制,这样问题就简单多了。

作为光源,无论是从发光效率、显色性,还是寿命,人类都已经取得了非常辉煌的成就,而且这方面的工作还在不断地深入。人们在发光材料方面取得的最新成果都会为液晶显示器提供新的光源,如有机薄膜电致发光背光源、场序列发



图 0.1 平板显示器的应用

光二极管背光源等。随着材料科学的进步,不断会有更新、更好的光源出现。

在光源的控制研究方面,人们把半导体大规模集成电路的技术和工艺移植过来,研制成功了薄膜晶体管的生产工艺,实现了对单元液晶光阀像素点的矩阵寻址控制,解决了液晶显示器的光阀和控制器的配合问题,液晶显示器的优势凸显,使有源驱动的液晶显示器脱颖而出。新型材料的研究为液晶显示器的技术升级和应用领域扩展提供了广阔的空间。有源驱动的液晶显示器结构科学、合理,发展空间十分广阔。

## 二、薄膜晶体管的技术特点

薄膜晶体管液晶显示器(thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)是以液晶为介质、以薄膜晶体管为控制元件的集大规模半导体集成电路技术和平板光源技术于一体的光电子产品。

### 1. TFT-LCD 的主要优点

(1) TFT-LCD 产品使用特性好,具有固体化、平板化、低功耗、规格型号系列

化,品种多样,使用方便灵活,维修、更新、升级容易,使用寿命长等许多优点。其显示范围、显示质量以及显示方式覆盖面广。

(2) 环保特性好,无辐射,无闪烁,对使用者的健康无损害,超薄的平板结构节省原材料,节约空间。特别是 TFT-LCD 电子书刊将把人类带入无纸信息时代,引发人类学习、传播和记载文明方式的革命,消除造纸工业对森林和对环境的破坏。

(3) 适用范围广,从  $-30$  到  $+80$  的温度范围内都可以正常使用。既可以作移动显示终端、台式显示终端,又可以作挂壁式电视,还可以作大屏幕投影电视,是性能优良的全尺寸数字化信息终端。

(4) 制造技术的自动化程度高,大规模工业化生产特性好,TFT-LCD 产业技术成熟,大规模生产的成品率达到了 95% 以上。

(5) 液晶平板显示器结构科学合理,如图 0.2 所示。随着材料科学、光源技术和半导体工艺技术同步发展,向集成化、智能化、经济化发展的空间非常广阔,潜力很大。

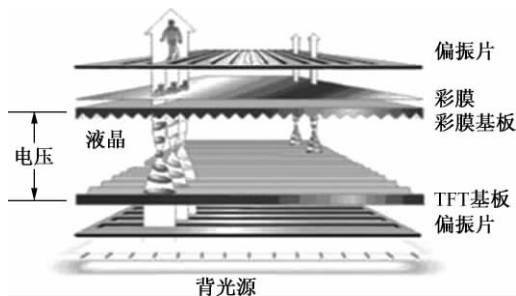


图 0.2 TFT-LCD 的结构

通常的半导体大规模集成电路 (large-scale integration, LSI) 工艺技术是通过掺杂、扩散、光刻等工艺在单晶片上形成电路。是一种“体”技术。在大规模半导体集成电路技术的发展中,除了提高集成度以外,最重要的发展方向就是新材料和新工艺的研究,扩大其应用领域。LSI 通常是在硅单晶片上制作的,由于人类制造单晶能力的限制,半导体单晶片面积不可能做得太大,而且成本昂贵,大规模半导体集成电路的应用是有一定的局限性的。

为了扩大 LSI 技术的应用领域并降低成本,国际上从 20 世纪 70 年代开始研究薄膜晶体管 (thin film transistor, TFT) 技术。

TFT 技术是采用新材料和新工艺的大规模半导体集成电路技术,是高质量平板显示器的基础。TFT 技术是在玻璃或塑料等非单晶基板上(当然也可以在

单晶片上)制作大规模半导体集成电路,通过溅射、化学沉积等成膜工艺形成制造电路必需的各种膜,通过对膜的加工制造电路。采用非单晶基板大幅度地降低了成本,是传统大规模集成电路向大面积、多功能、低成本方向的延伸,为器件和电路的一体化打开了通道。

在大面积的玻璃或塑料基板上制造控制液晶(liquid crystal, LC)或有机电致发光(organic electroluminescence, OEL)像素元开关性能的 TFT 对生产环境、原材料纯度、生产设备和生产技术的严格要求开创了现代信息制造业的产业时代,是现代大生产的顶尖技术。

## 2. TFT-LCD 的主要特点

(1) 大面积。第 8 代生产线的基板面积可以做到  $2\,400\text{ mm} \times 2\,800\text{ mm}$ , 是 12 in 半导体单晶片的 92 倍。图 0.3 所示是日本夏普公司龟山 2006 年 8 月开始量产的世界上第 1 条第 8 代 TFT-LCD 生产线的玻璃基板。基板尺寸是  $2\,160\text{ mm} \times 2\,460\text{ mm}$ , 每块基板可以制造 8 个 46 in 的液晶电视模块。人们甚至开始考虑建设更大规模的、玻璃基板为  $2\,880\text{ mm} \times 5\,080\text{ mm}$  的第 10 代 TFT-LCD 生产线。

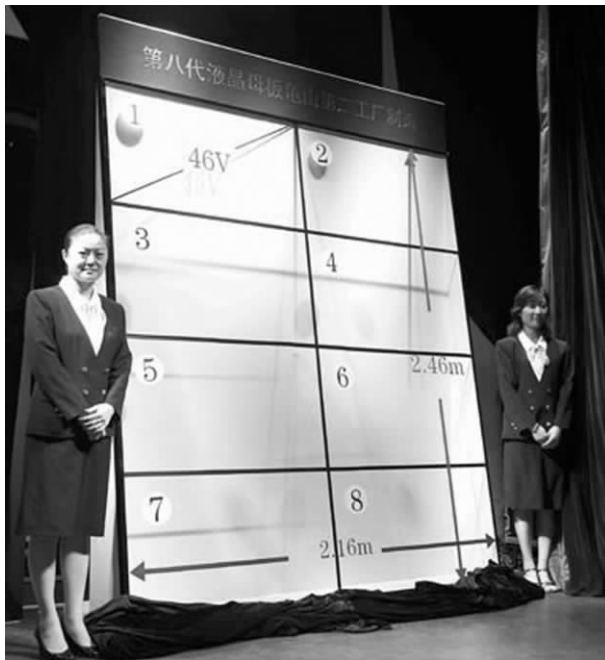


图 0.3 第 8 代 TFT-LCD 生产线的玻璃基板

(2) 大规模生产特性好,工业自动化程度高。一条月产能 10 万块玻璃基板的第 8 代 TFT-LCD 生产线,理论上一年可以制造 960 万台 46 in 的液晶电视模块,这是传统制造业无法比拟的。

(3) 高集成度,功能强大。可以实现驱动电路集成(chip on glass, COG)、系统集成(system on glass, SOG),甚至可以直接将驱动和中央处理器(central processing unit, CPU)集成在玻璃基板上。

(4) 低电压驱动,可以直接和各种接口电路配套,使用安全,方便。

TFT 工艺技术是平板显示产业的基础,无论是 TFT-LCD 还是有机电致发光,甚至无机电致发光,TFT 是高亮度、高对比度、高清晰度平板显示的技术基础。开展新型 TFT 材料和器件研究是平板显示器产业发展的基础建设。电脑-电视-电信三电一体化最后都要归总到平板显示器的麾下。TFT-LCD 不再是传统意义上的简单的显示器,它代表了一个新的技术时代。

# 第一章

---

## TFT-LCD 生产线建设

---

### 1.1 TFT-LCD 项目准备工作

---

TFT-LCD 在我国是一个全新的产业,首先简单介绍一下 TFT-LCD 生产线建设的简单运作程序,尤其是工程项目前期工作。

编制项目建议书和项目可行性研究报告。项目建设单位提出项目建议书,项目建议书的主要内容如表 1.1 所示,首先是一个简短的项目说明,然后是项目提出的背景及建设的必要性、项目主要技术经济指标、产品的市场调研情况、项目建设单位的基本情况,如果是合资建设,还要说明合资公司各组成单位的情况,如合资企业的股份比例、经营范围、合资企业经营期限等。

建议书还要包括项目技术水平、技术来源、技术路线、基本工艺流程、技术费用、生产设备组成及选型原则、设备清单、设备采购方式等。

建议书要说明项目建设地点及外部配套条件,如厂址选择及场地基本情况,土地征用,主要原材料、配套件需求及供应方案,能源、动力需求及外部供应方案,交通运输情况等。

建议书要包括工程建设方案,如设计指导思想、项目组成、基本技术参数、总平面规划方案、建筑设计方案、通风、空调、净化设计方案、给排水设计方案、气体动力设计方案、电气设计方案、公用设施主要设备清单等。

建议书还要说明投资估算和资金来源、项目预期进度、经济运行预测、环境保护和安全保障等。

项目建议书报经政府相关部门获得认可,即可以编制项目可行性研究报告。

项目可行性研究报告的内容与项目建议书大体相近,但是要进一步说明项目的建设 and 具体规划与实施计划、组织机构、产品成本和费用的测算、盈利性分析、资产负债的分析、贷款偿还期分析、现金流量及投资回收期的分析、不确定性分析、综合经济评价,要提供建设投资估算表、投资计划与资金筹措表、现金流

表 1.1 TFT-LCD 生产线建设项目建议书的主要内容

TFT-LCD 生产线建设项目建议书目录	(一) 建设项目总投资
说明部分	(二) 资金筹措
一、申办项目名称及申办单位概况	十二、初步经济效益分析
(一) 申办项目名称	(一) 销售收入
(二) 申办单位概况	(二) 税金
二、项目建设的必要性及申办理由	(三) 盈利性分析
三、市场预测	(四) 敏感性分析
(一) 国际市场	十三、结论
(二) 国内市场	附表
四、产品方向、拟建规模及建设内容	附表一 投资估算表
(一) 产品方向	附表二 现金流量表(全部投资)
(二) 拟建规模	附表三 损益表
(三) 产品简介	附表四 总成本表
(四) 工艺流程	附表五 流动资金估算表
(五) 建设内容	附表六 资产负债表
五、生产技术和设备	附表七 销售收入计算表
(一) 生产技术	附表八 贷款偿还期测算表
(二) 生产设备	附表九 外汇平衡表
六、主要原辅材料 水、电、气供应	附表十 敏感性分析表
(一) 原辅材料品种及其来源	附件
(二) 动力供应	附件一 阵列生产线设备清单
七、合资公司基本组织机构	附件二 制屏生产线设备清单
(一) 组织机构	附件三 模块生产线设备清单
(二) 劳动定员	附件四 银行承诺生产线项目贷款的意向函
(三) 人员培训	附件五 :×××公司与×××合作意向书
八、厂址选择	附件六 :×××公司与××基金公司的合作意向书
九、项目实施进度的建议	附件七 :×××公司与×××技术合作会谈备忘录
十、环保、消防	附件八 股权转让协议及资金进账单
(一) 环境保护	附件九 :TFT-LCD 项目土地使用证
(二) 消防	
十一、投资估算和资金筹措	

量表 损益表 资金来源与运用表 资产负债表 流动资金估算表 折旧费用计算表 无形资产及递延资产摊销费用计算表 其他费用计算表 总成本费用计算表 销售收入计算表 贷款偿还期测算表 敏感性分析表等企业运营的财务情况预测的数据。

可行性研究报告中对生产过程环境保护和安全要有详细的说明,如主要污染物种类和排放量,污染的防治措施,消防给水及灭火措施,职业安全卫生,安全生产防护措施,节能、节水措施等。

项目可行性研究报告还要提供企业法人营业执照、资金筹措方式及银行贷

款意向书,如果是合资,企业还要提供股东各方签订的合资意向书、关于设立合资公司谅解备忘录、合资公司章程谅解备忘录等文件。

如果是引进技术或技术转让,还要提供技术转让谅解备忘录、技术转让合同等文件。

可行性研究还要提供工厂区域位置图,厂区总平面规划图,工艺区划图,设备清单,主管部门土地预审意见,主管部门对建设项目市政能源用量的配套意见函,环评批复。

项目可行性研究报告要对项目的可行性提出明确的结论性意见。

上报项目可行性研究报告还要提供投资意向书(项目优惠政策文件、资金配套证明),建设项目选址意见书(含规划选址条件及规划设计要求),环境影响评价报告书(或报告表、登记表)等文件。

项目建设申请报批的基本程序如下:

- (1) 编制项目申请报告;
- (2) 逐级上报审批(所有附件齐备且获得环评批复意见);
- (3) 国家发展改革委员会受理并委托评估机构召开专家评审会进行评估;
- (4) 评估机构出具评估报告;
- (5) 上报根据评估意见修改后的项目申请报告;
- (6) 行业主管部门签署意见;
- (7) 国家发展改革委员会行政审议,对项目申请报告提出正式批复意见。

项目可行性研究报告及相关的项目申请报告得到国家发展改革委员会同意建设的正式批准后,项目就可以启动了。

## 1.2 投资估算

国内建设一条月产能为6万块玻璃基板的第5代TFT-LCD生产线的投资大约在10亿美元,其中设备购置费占70%,预备费用占8.9%,建筑工程费占8%,技术费用占5.5%,开办费用占3.4%,财务费用占2.1%,其他费用占2.1%。固定资产占总投资的81%,无形资产占总投资的5.5%,材料费用及其他费用占总投资的13.5%。日本夏普龟山世界上第1条第8代TFT-LCD生产线的总投资为35亿美元,大量资金用于太阳能利用、燃料电池应用和“三废”(废水、废气、废渣)处理等环保项目,其中用于工厂污水处理的资金高达1亿美元。国内投资TFT-LCD产业,费用主要花在设备和技术上的引进。

建设一条月投片 6 万块  $1\,500\text{ mm} \times 1\,850\text{ mm}$  玻璃基板的第 6 代 TFT-LCD 生产线(不含彩膜生产线),按 2006 年的预算大概需要 13 亿美元,第 6 代 TFT-LCD 生产线的产能是第五代生产线的 194%,投资是第 5 代生产线的 133%。生产线规模越大,投资效益越好,这也是为什么 TFT-LCD 生产线越建越大的原因所在。

### 1.3 厂房建设

TFT-LCD 的生产是在半导体制造工艺基础上发展起来的,在玻璃基板上制作形成器件必需的各种薄膜,通过光刻技术形成薄膜晶体管器件,其生产工艺与集成电路的生产非常相似。生产的规模及生产流程决定了工厂建设规模及工厂的布置。

TFT-LCD 的厂房主要由阵列(Array)、彩膜(Color Film, CF)、制屏(Cell)、模块(Module)4 个工艺车间和动力车间、特气站、供气站、特药站、材料仓库、产品库、“三废”处理厂、水站、实验室、办公楼等组成。

对厂房建设具有决定性的影响因素是玻璃基板尺寸、月投片量、工艺流程(5 次光刻或 4 次光刻)、生产节拍、生产运输方式(垂直运输或水平运输)等。其中玻璃基板尺寸是最重要的因素,它确定了厂房的规模和其他配套设施的规模。

一条玻璃基板的尺寸为  $1\,100\text{ mm} \times 1\,300\text{ mm}$ ,月投片量为 60 000 块玻璃基板,采用 5 次光刻或 4 次光刻工艺流程、水平运输生产的第 5 代 TFT-LCD 生产线的占地面积大约在  $250\,000 \sim 300\,000\text{ m}^2$  之间。一条玻璃基板尺寸为  $1\,500\text{ mm} \times 1\,850\text{ mm}$  的第 6 代 TFT-LCD 生产线的占地面积大约在  $300\,000 \sim 350\,000\text{ m}^2$  之间。

TFT 厂房主要由主厂房和配套设施组成,包括水站,电站,气站,物资供应站,三废处理中心,以及其他辅助设施,如图 1.1 所示。一条玻璃基板为  $720\text{ mm} \times 930\text{ mm}$  的第 4 代 TFT-LCD 生产线一年的动力消耗见表 1.2。

电站包括动力供电系统、市电系统和通信系统、网络系统。动力供电系统必须是双路供电,保证生产线能够不间断地连续工作,厂房内还要有备用电源,以防万一。任何一次停电都会造成巨大的经济损失。一年需要用电大约 2.3 亿度。现在,在新厂房设计中应该考虑充分利用太阳能电池和燃料电池,如果太阳能和燃料电池的发电量能够达到全部电量的 10%,将有效地减轻由于消耗大量

热电能对环境造成的污染。

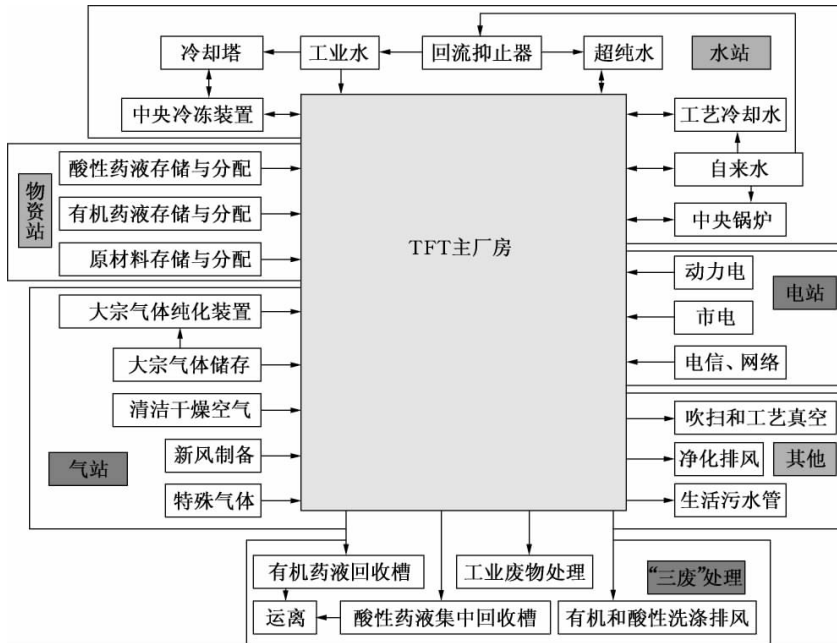


图 1.1 TFT 厂房支持系统

表 1.2 第 4 代 TFT-LCD 生产线的动力消耗

动力名称	单 位	最大使用量
电 力	kW	26 000
纯 水	$t \cdot h^{-1}$	230
全厂用水量	$t \cdot d^{-1}$	9 000
压缩空气	$m^3 \cdot h^{-1}$	15 000
高纯氢气	$m^3 \cdot h$	32
高纯氧气	$m^3 \cdot h$	50
氮 气	$m^3 \cdot h$	1 900
高纯氮气	$m^3 \cdot h$	400
真 空	$m^3 \cdot h$	1 500
最大耗蒸气量	$t \cdot h^{-1}$	12
天然气耗量	$m^3 \cdot h$	1 200

气站包括工艺气体和动力气体。TFT 制造用工艺气体要求的纯度都非常高,且有些是剧毒,有些是易燃易爆气体。这些气体统称为特气,需要专用储存场所和严格的安全保障条件。动力气体用量巨大,见表 1.2。一条第 4 代的 TFT

生产线仅压缩空气,每 1 h 就需要 15 000 m<sup>3</sup>,一般都需要专门的气站供应。一年天然气消耗量大约 10 000 000 m<sup>3</sup>。

水站包括自来水供应系统、工业用水系统和纯水制备供应系统。一条第 4 代的 TFT 生产线一年的用水量大约 3 000 000 t,为了防止意外,最好配置深井供水系统。

物资站主要提供 TFT 制造必需的材料和化学药品。材料和化学药品必须分开放置。TFT 用化学药品许多具有腐蚀性,应按化学危险品的有关规定来使用和存放。

“三废”处理必须严格按照国家标准执行,“三废”治理不达标,生产线就不能投入运行。从环保和节约资源的角度,废水应该 100% 的回收再生,这样一条第 5 代生产线每年不仅可以减少 500 万吨废水的污染,还可以节约 500 万吨水资源。日本主要 TFT-LCD 制造公司不仅实现了废水的 100% 循环利用,而且还实现了 TFT-LCD 制造过程中产生的废物,如污泥、浓缩盐、废酸、废油、玻璃、金属等物品 100% 的回收,基本达到了对环境的零污染。

其他辅助设施包括净化系统、生活设施等。

## 1.4 净化系统

按照工艺要求,TFT-LCD 生产线必须有合格的净化条件。阵列车间核心部位的净化度标准等级要达到 2 级,黄灯区要达到 3~4 级;阵列其他部分的净化级别为 5 级。制屏车间的净化等级为 5 级,模块车间净化级别为 5~6 级。表 1.3 所示是《中华人民共和国国家标准洁净厂房设计规范 GB 50073-2001》规定的净化标准。

表 1.3 国家标准洁净厂房净化度标准等级

净化等级 (N)	大于或等于表中粒径的最大浓度限值 (pc · m <sup>-3</sup> *)					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5 μm
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1 000	237	102	35	8	
4	10 000	2 370	1 020	352	83	
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7				352 000	83 200	2 930
8				3 520 000	832 000	29 300
9				35 200 000	8 320 000	293 000

\* pc · m<sup>-3</sup>:每立方米体积空间允许的粒子数。例如,在 1 级净化区中,直径为 0.1 μm 以下的灰尘

粒子的数量不能超过 10 个  $0.2 \mu\text{m}$  以下的灰尘颗粒不能超过 2 个。

不同等级的净化区域以及洁净区与非洁净区之间要保持一定的压差,一般压差应大于等于 5 Pa,净化区与室外的压差,应大于等于 10 Pa。TFT 制造车间的空气洁净度等级要求为 2~4 级,应采用垂直单向流净化方式;TFT-LCD 制屏和模块车间的空气洁净度要求为 5~6 级,可以采用垂直单向流或水平单向流。图 1.2 所示是垂直单向流净化方式的净化原理示意。

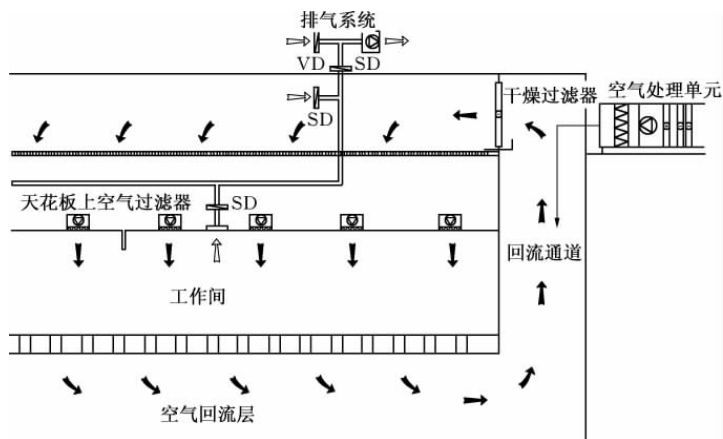
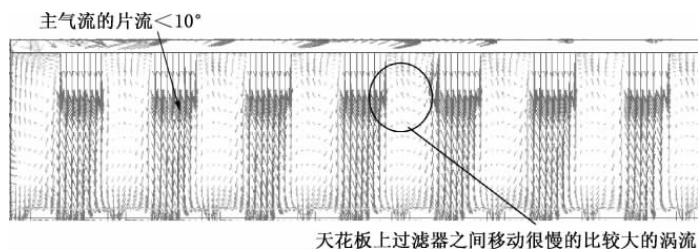


图 1.2 净化间净化系统示意

图 1.3 所示是垂直单向流净化方式净化间气流分布示意。图(a)所示是不



(a) 无扩散装置的分立式过滤的净化间气流分布