

THIN-FILM TRANSISTORS

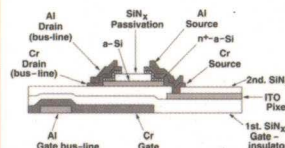
 CRC Press
Taylor & Francis Group

薄膜晶体管(TFT) 及其在平板显示中的应用


[美] Cherie R. Kagan 编
Paul Andry

廖燕平 王 军 译
李曙新 魏 斌 等审校

THIN-FILM TRANSISTORS



edited by
Cherie R. Kagan
Paul Andry

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

薄膜晶体管(TFT)及其在 平板显示中的应用

THIN-FILM TRANSISTORS

[美] Cherie R. Kagan 编
Paul Andry 编

廖燕平 王 军 译

李曙新 魏 斌 张建华 邵喜斌 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

在显示技术领域,以液晶显示(LCD)为代表的平板显示(FPD)已经取代传统的、体积笨重的CRT显示并占据主流地位,涵盖了从手机到大尺寸电视在内的各种显示应用领域。薄膜晶体管(TFT)已经成为电子平板显示行业的核心部件。本书阐述了基于氢化非晶硅和多晶硅的薄膜晶体管的发展、性质、制造工艺、图案化及器件性能,同时强调了基于有机、有机-无机杂化半导体材料的新的、替代性及潜在突破性的技术。

本书对我国读者了解国外 TFT 发展的背景、趋势和最新研究成果是十分有益的,是 TFT 相关的工程师、研究人员及相关专业教师和学生的非常有价值的参考书。

Thin-Film Transistors First Edition by Cherie R. Kagan and Paul Andry ISBN:0-8247-0959-4
Copyright ©2003 by CRC Press

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由电子工业出版社独家出版并限在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾)销售,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2007-4098

图书在版编目(CIP)数据

薄膜晶体管(TFT)及其在平板显示中的应用/(美)凯根(Kagan, C.R.), (美)安瑞(Andry, P.)编;廖燕平,王军译. —北京:电子工业出版社,2008.3

书名原文:Thin-Film Transistors

ISBN 978-7-121-06004-5

I. 膜… II. ①凯… ②安… ③廖… ④王… III. 薄膜晶体管-液晶显示器 IV. TN321
TN141.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017783 号

责任编辑:刘海艳(lhy@phei.com.cn)

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

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:780×980 1/16 印张:29.25 字数:556 千字

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:68.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

中文译著序

信息化时代的到来与信息显示技术的不断发展密不可分。在显示技术领域,以液晶显示(LCD)为代表的平板显示(FPD)已经取代传统的、体积笨重的 CRT 显示并占据主流地位,涵盖了从手机到大尺寸电视在内的各种显示应用领域。从各家研究、咨询机构及各大型企业发表的相关研究报告中的统计和预测数据,已经证实了这一点。

在 FPD 市场中,LCD 产品占据了绝对优势,在 2006 年就占有 80% 左右的市场份额,覆盖了包括大尺寸到中小尺寸的各类显示应用市场。其中 TFT LCD 在目前及未来相当长的一段时间内都将充当一个唱主角的角色。我国的学术与产业界也清楚地认识到这个趋势,并在这方面做出坚持不懈的努力。在科研方面,很早就有院校介入,而在产业方面相对滞后。全球第一条 TFT LCD 生产线建于 20 世纪 80 年代末,我国大陆地区引进第一条 TFT LCD 生产线是在 1998 年,两者相比落后了十多年。但近年来,我国大陆地区在 TFT 产业方面的投入明显加速,目前已经投产了三条 5 代生产线及数条更低世代生产线,更多的高世代生产线也正在规划中。2007 年上海天马微电子有限公司筹建的一条以技术创新为主、以中小尺寸显示器开发和生产为目标的 4.5 代生产线也正式投产了。这说明我国不但显示市场前景广阔,而且在 TFT LCD 技术方面也正奋起直追。

相关的权威专著的引入,将对我国平板显示领域的科研与产业的发展大有裨益。原著由多位国际著名专家撰写,详细地叙述了 TFT 器件(包括 a-Si:H TFT、p-Si TFT 和 OTFT)的物理原理、结构和制造工艺、关键材料特性和驱动特性,等等,而且采用的数据大部分源自国际权威文献和相关权威公司的研究成果,是全世界众多科研工作者辛勤劳动的结晶。本译著的出版,对我们了解国际上平板显示发展的背景、趋势和最新研究动态将是十分有益的。

时值 2008 中国平板显示(FPD)学术会议召开之即,深圳天马微电子股份有限公司和上海大学新型显示技术及应用集成教育部重点实验室联合翻译的本书,为相关的

研究人员、工程师及相关专业的教师和学生提供了一本有关 TFT 技术发展与应用
有价值的参考书。

深圳天马微电子股份有限公司

上海天马微电子股份有限公司

译者序

液晶显示器,尤其是薄膜晶体管寻址的液晶显示器,在短短的数年里已经渗透到我们生活中的各个方面,如电视、计算机、通信和仪表等。它具有如此大的魅力而迅猛发展,其中的奥妙是什么呢?幸运的是,美国的 Cherie R. Kagan 和 Paul Andry 给我们带来的 *THIN-FILM TRANSISTORS* 一书,将有助于我们了解并进一步探索其中的奥妙。本书在内容上可以分成两部分:前半部分(第 1~5 章)主要叙述了以氢化非晶硅或多晶硅为有源层的薄膜晶体管技术与应用;后半部分(第 6~10 章)主要叙述了以有机物或有机-无机杂化物为有源层的新型薄膜晶体管的发展与应用。作者在前言中已经详细地叙述了各章节的主要内容,这里不再赘述。

本书的前半部分由深圳天马微电子股份有限公司、上海大学的廖燕平博士翻译,后半部分由上海大学王军研究员翻译。为了使本书尽快与读者见面,上海大学理学院的邢菲菲博士,新型显示技术及应用集成教育部重点实验室的朱文清副教授,王书方、李春亚、袁方、李博、洪飞、郭新安等研究生,以及曹进博士、李晓峰和张浩工程师等人也参加了翻译或整理工作。参加本书审校工作的有深圳天马微电子股份有限公司的李曙新总工、上海大学的魏斌教授和张建华教授及京东方科技集团股份有限公司的邵喜斌研究员。

本书顺利出版,感谢上海大学的张志林教授在翻译过程中的指导和帮助;感谢深圳天马微电子股份有限公司和上海市经委(上海市平板显示人才培养和学科建设专项:06-人培-003;上海市引进技术的吸收和创新计划电子信息专项:06-49)的资助;最后,感谢电子工业出版社为本书出版所做的大量工作。

本书虽经再三校对,力求完美,但由于译者才疏学浅,疏漏之处在所难免,不妥之处,希望广大读者不吝指正。另外,本书的术语力求和国内出版刊物上的一致,但仍然有少量的尚无统一的译法,因此采用了直译法。

译者于上海大学

2008 年 2 月

合 作 者

美国新泽西州莫雷山朗迅科技贝尔实验室, 鲍哲南

英国剑桥大学卡文迪许实验室, Lukas Buergi

美国纽约约克敦高地 IBM T.J. 沃森研究中心, Christos D. Dimitrakopoulos

美国得克萨斯州奥斯汀得克萨斯大学(奥斯汀)微电子研究中心, Ananth Dodabalapur

英国剑桥大学和塑料逻辑公司卡文迪许实验室, Richard Friend

法国 Thiais 分子材料实验室, Francis Garnier

美国宾夕法尼亚州伯利恒 Lehigh 大学, M. K. Hatalis

美国纽约 Junction Hopewell eMagin 公司, Webster E. Howard

韩国首尔庆熙大学, Jin Jang

美国纽约约克敦高地 IBM T.J. 沃森研究中心, Cherie R. Kagan

美国密歇根州安阿伯密歇根大学, Jerzy Kanicki*

美国新泽西州莫雷山朗迅科技贝尔实验室, Howard E. Katz

英国剑桥大学卡文迪许实验室, Tokeo Kawase

美国纽约约克敦高地 IBM T.J. 沃森研究中心, Frank R. Libsch

美国密歇根州安阿伯密歇根大学, Sandrine Martin

美国纽约约克敦高地 IBM T.J. 沃森研究中心, David B. Mitzi

美国新泽西州莫雷山朗迅科技贝尔实验室, John A. Rogers

英国剑桥大学和塑料逻辑公司, 卡文迪许实验室, Henning Sirringhaus

美国华盛顿州美国夏普实验室, A. T. Voutsas

* CPOS: 美国加利福尼亚州 Santa Barbare 加利福尼亚大学

前 言

随着薄膜晶体管(Thin Film Transistor, TFT)应用范围的逐渐扩大,尤其是在移动计算和通信器件领域应用的普及,一本能够系统地阐述 TFT 器件的基本物理原理、工作原理、结构和特性的书显得十分必要。幸运的是,这本书的出版能够满足上述的要求。本书描述了 TFT 中关键材料的过去、目前及将来可能的发展,同时描述了重要的、或期望的材料特性。特别是,该书概述了 TFT 在有源矩阵液晶显示(TFT 的最显著应用)的电学要求后,展现了 TFT 在逐渐渗透到日常生活中的计算和通信器件领域应用的前景。

本书主要分成两部分。第 1 章~第 5 章主要介绍了基于氢化非晶硅和多晶硅的 TFT 的发展、材料、器件制造和特性,其中,包括氢化非晶硅 TFT 在有源矩阵液晶显示应用中的详细叙述。第 6 章~第 10 章叙述了基于有机和有机-无机杂化半导体材料的新的、可选择性并有突破潜力的技术。这些材料也许能以低成本、低温工艺在多种衬底上沉积,包括可能实现柔性电子显示的塑料衬底。已开展基于有机和有机-无机杂化材料的 TFT 特性、工艺、图案化和器件特性的研究。

第 1 章从历史的观点叙述了 TFT 发展的主要阶段:从 20 世纪 30 年代的第一个相关专利的发表到目前的发展状况。该章描述了早期通过化合物半导体制备的晶体管特性,以及 Shockley 和其他学者的开拓性研究工作。他们开创了 TFT 的研究,并通过对元素半导体表面态的详细研究,最终促成了点接触型晶体管和结型场效应晶体管(JFET)的发展。对 20 世纪 50 年代的 JFET 分析,建立了一个沿用至今的器件工作模型——逐次沟道近似。然后,在 20 世纪 60 年代,TFT 作为低成本逻辑器件备选方案的再度兴起,并再一次采用了多晶态的化合物半导体,如 CdS 和 CdSe。然而,CMOS 器件的出现,推迟了 TFT 器件实质性地快速发展,并且这种状况一直持续到 20 世纪 70 年代。本章还概述了在氢化非晶硅和多晶硅材料和器件制备工艺方面所取得的重大突破,以及随着有源矩阵液晶显示技术的出现,最终实现了 TFT 的普遍应用。

第 2 章讨论了目前普遍认同的材料——氢化非晶硅($a\text{-Si:H}$)的 TFT 的制备和性质。在线性区和饱和区,应用逐次沟道近似模型,比较和对比了几种常用 TFT 结构的重要电学特性和提取的器件参数,并叙述了每种结构的最重要方面,包括器件几何结构、工艺流程和光刻次数。本章讨论了用于制造高电学性能的半导体层和栅绝缘层材料的关键设备——等离子体增强化学气相沉积(PECVD)的工艺参数,包括衬底温度、

气体压力、气体流量、气体混合比及 RF 功率。a-Si:H TFT 的电学性能与薄膜界面和薄膜体特性有关,包括粗糙度、应力、化学计量比、刻蚀速率、氢含量、杂质浓度、光学常数和电导率。最后,本章还叙述了以塑料为衬底的 a-Si:H TFT 的制造工艺问题,尤其是 PECVD 系统在低温下沉积薄膜所面临的挑战,如特制衬底的耐热性、无机气体阻挡层的使用、应力的消除或缓解等。

第 3 章以 a-Si:H TFT 的数值模拟开始。该模拟虽然最初只用于 a-Si:H 的深隙态密度和带尾态密度的分析,但是,也可用于任何 TFT 模型的模拟。该方法包含用来产生器件中的静电势和载流子费米势的基本方程式,也因此包含器件工作期间的电流密度和电场。用新材料制造 TFT 的研究学者经常试图只量化参数,如迁移率和电流开关比。但是,从器件电学特性中提取有用的电学参数,不但必须考虑潜在的半导体材料性质,还必须考虑器件几何结构影响的边界条件,尤其是源漏接触特性。一个重要的,也是经常易忽略的考虑就是源漏接触电阻的影响。对于电极相交叠的 TFT 结构(即交叠型和反交叠型结构),该接触电阻一般既不能忽略,也不一定是线性的。如果模拟结果与 TFT 在线性区和饱和区的测试结果相一致,则表明探测到了半导体的真实本性,由此,能精确地测量出迁移率、亚阈值摆幅、阈值电压、接触电阻和其他性质,以及这些性质中的每一项与温度、半导体厚度和施加的栅压偏应力的关系。这些参数的精确确定,不但阐明了组成器件的材料的体电子态和界面电子态,而且也暗示了制备这些材料的主要工艺步骤的可行性,以及为将来在商业上的应用(大规模生产)提供依据。接着,本章描述了 TFT 的先进结构和制造工艺,并且阐明了只有两者相结合,才能实现高性能的 TFT。最后,本章叙述了偏应力诱发 a-Si:H/SiN_x TFT 不稳定性的基本机制、相关的实验方法(通过这些方法,或许能辨别出这些不同的机制),以及一个提取的阈值电压漂移作为栅压、温度和时间偏应力函数的简单模型。

第 4 章的内容包括多晶硅(p-Si)TFT 的制备和性质。p-Si TFT 的发展动力主要是可能实现周边驱动电路集成以及更低功耗运行。从集成周边驱动电路和像素开关的 TFT 的要求开始,描述了 p-Si 薄膜制备的关键领域,包括硅薄膜沉积、再晶化、栅绝缘层形成、掺杂和激活。概述了各种晶化方法的优点和缺点,包括固相晶化、快速热退火和金属诱导晶化。详细地介绍了先进的低温晶化技术,即著名的准分子激光退火方法。在要求更高迁移率的 p-Si TFT 的产品中,该方法及其延伸正显得越来越重要。按照明确的技术要求,如高产率、高电学均匀性和 p-Si 薄膜优良的重复性,评价了控制晶粒尺寸及由此导致的迁移率的主要因素。由于同时要求高界面质量和高绝缘层体特性,因此,讨论了栅绝缘层的形成(与工艺温度相匹配),尤其是薄膜产率和其 TFT

性能之间的“交换”关系。本章最后还总结了一个有代表性的、用于 LCD 的低温 p-Si TFT 阵列的 8 次掩模制造工艺流程。

第 5 章描述了在有源矩阵液晶显示中作为像素电子开关元件的 TFT 的应用。第一,讨论了 LCD 面板上液晶工作的基本原理和无源矩阵寻址的局限性,从而促进了有源矩阵液晶显示的广泛应用。第二,从阵列设计角度出发(不考虑作为有源层的半导体材料),概述了计算机模拟这种方法,对执行一个简单的基于物理上的参数分析,来确定阵列设计的功能依赖性、性能局限性及其 TFT 在显示中的最低要求。基于设计方面的要求,按照电流开关比、像素充电时间及基于特定阵列设计的像素充电误差(即馈入电压),概括了 TFT 的动态要求。第三,讨论了 TFT 的非线性接触电阻和寄生电容的影响,以及在有源矩阵液晶显示中导致闪烁的一些因数。第四,叙述了电过应力和静电放电的解决方案,作为改善有源矩阵产率的手段,也因此降低 TFT 面板生产的总成本。第五,概述了有源矩阵阵列测试的要求并比较了各种测试方案。为了改进面板测试,也讨论了 TFT 在集成周边驱动电路和嵌入式多路转换电路方面的最近商业应用。举例说明了有源矩阵寻址方案,包括使扫描线延迟和垂直串扰最小化的方法。最后,作者对目前使用的通用驱动器芯片的规格做了简短的评述,然后,概述了系统级电子学上的要求,尤其是与目前设计及驱动最新的、高分辨率的、大面积显示相关的一些挑战。

第 6 章介绍了有机薄膜晶体管。对于有机半导体中电荷传输的物理机制的理解,以及在材料纯度和功能化合控制方面的进展,使有机晶体管的场效应迁移率和电流调制方面已经能与非晶硅相当了。本章强调了基于小分子(如并五苯和酞菁铜)、短链寡聚物(双己基六噻吩)聚合物(区域规整的聚噻吩)的最好的有机半导体。描述了分子结构及在具有半导体行为的有机固体中电荷传输的物理机制,给出了重要的材料性质及有机晶体管中载流子迁移率和薄膜形态的关联性。本章还列出了在材料体系及器件构建和模型化方面的研究进展。

小分子和短链寡聚物是典型的不溶材料,但是,通过真空蒸发沉积的薄膜是有序和取向的。第 7 章给出了一个模型体系来研究有机半导体中分子间的电荷传输,获得了最高的场效应迁移率约为 $1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 的有机 TFT。该章回顾了用于生长有机材料的真空技术及 n 型、p 型小分子有机半导体的研究进展。主要内容关注于栅并五苯的薄膜沉积、器件结构及性质上。并五苯是当前研究最热的有机半导体。并五苯晶体管器件结构的工程化能够提高器件性能,如高介电常数的栅绝缘层能够实现低电压工作,以及表面修饰能够提高并五苯薄膜形态从而提高器件迁移率。

第 8 章开始深入地介绍了有机分子、寡聚物和聚合物的灵活性,以及如何被用来

定制 n 型和 p 型有机晶体管的器件性质。通过独特的方式来沉积有机半导体推动了有机晶体管的探索性研究,这些独特的方式通过低成本、低温加工可以降低电子电路和显示器的成本,以及能够实现柔性电子产品的应用。有机半导体的电路集成需要发展低成本、低温图案化加工工艺。该章也介绍了采用优良的加工技术,如丝网印刷、毛细管的微模塑、微接触打印及近场光刻技术来构建有机晶体管。这些材料和技术的整合使得能够形成光电显示演示器和“电子纸”中的有机晶体管基板。同时也给出了低成本、低体积的工艺,如卷盘-卷盘技术的发展前景很好,它们可以用来制造成本非常低的逻辑器件和显示器。最后,该章也介绍了采用有机 TFT 的大面积集成来实现逻辑器件,如反相器和环形振荡器的构建。

溶液沉积的成本最低,因此是大多数晶体管最期望的材料沉积路线,尤其是对于大面积的应用。由于它们可以进行有机分子的侧链修饰,并它们和小分子和短链寡聚物相比是更好的成膜材料,因此,有机聚合物是典型的可溶性材料。第 9 章给出了聚合物 TFT 的制备、喷墨打印技术及器件性质和物理机制。通过设计和合成结构规整性的分子体系及应用表面模板来提高聚合物薄膜的有序性,能够提高聚合物晶体管场效应迁移率。尽管聚合物晶体管的性能已经提高,但仍然没有小分子 TFT 好,本章介绍的喷墨打印整个电路的灵活性提供了构建低成本电子产品的技术优势,例如无线电射频标签和显示器。

第 10 章介绍了采用有机-无机杂化材料作为 TFT 半导体沟道材料的技术。有机-无机杂化材料是分子水平的复合物,具有无机半导体的高载流子迁移率性质,但是也可以通过常用于有机材料的低成本、低温技术进行沉积。该章介绍了已知的一类杂化材料——钙钛矿体系的化学灵活性、晶体结构及相关的物理性质,能够通过溶液或者气相形成多晶薄膜来沉积杂化材料。到目前为止,溶液沉积的有机-无机 TFT 的迁移率已经能够和这些非晶硅或最好的真空沉积的有机晶体管相比较了。该章给出了图案化这些材料的简单方法,以及应用微接触打印的分子模板,使半导体沉积局限于晶体管的沟道区,从而实现器件制备的途径。

Cherie R. Kagan

Paul Audry

目 录

第 1 章 薄膜晶体管的发展历程	1
1.1 引言	1
1.2 20 世纪 30 年代	1
1.3 20 世纪 40 年代	3
1.4 20 世纪 50 年代	4
1.5 20 世纪 60 年代	5
1.6 20 世纪 70 年代	10
1.7 20 世纪 80 年代	14
1.8 20 世纪 90 年代	22
1.9 总结	25
参考文献	26
第 2 章 氢化非晶硅薄膜晶体的制备与性能	30
2.1 氢化非晶硅薄膜晶体管简介	30
2.2 氢化非晶硅薄膜晶体管的基本特性	31
2.2.1 线性区	31
2.2.2 饱和区	33
2.3 氢化非晶硅薄膜晶体管的结构划分	38
2.3.1 反交叠型氢化非晶硅薄膜晶体管的结构	38
2.3.2 交叠型氢化非晶硅薄膜晶体管的结构	42
2.3.3 短沟道氢化非晶硅薄膜晶体管的结构	43
2.3.4 共面型氢化非晶硅薄膜晶体管的结构	43
2.3.5 高电压氢化非晶硅薄膜晶体管的结构	45
2.4 用于高性能 a-Si:H TFT 中的 PECVD 材料制备	46
2.4.1 用 PECVD 沉积 a-Si:H 薄膜	46
2.4.2 用 PECVD 沉积 SiN _x 薄膜	48
2.4.3 用 PECVD 沉积 n ⁺ a-Si:H 薄膜	49
2.4.4 界面特性的改善	50

2.5	塑料衬底上的氢化非晶硅薄膜晶体管	52
2.5.1	低温沉积	52
2.5.2	塑料衬底上的气体阻挡层	54
2.5.3	应力影响	55
	参考文献	57
第3章	氢化非晶硅薄膜晶体管	62
3.1	前言	62
3.2	氢化非晶硅薄膜晶体管的数值模拟	63
3.2.1	模拟氢化非晶硅薄膜晶体管的模型	64
3.2.2	氢化非晶硅薄膜晶体管的温度影响	70
3.2.3	光照下的氢化非晶硅薄膜晶体管的特性	71
3.3	氢化非晶硅薄膜晶体管的特性	74
3.3.1	薄膜晶体管特性的标准化	74
3.3.2	氢化非晶硅薄膜晶体管电学参数的提取	74
3.3.3	氢化非晶硅薄膜晶体管的源漏串联电阻	77
3.3.4	栅极化的四探针氢化非晶硅薄膜晶体管	83
3.3.5	氢化非晶硅薄膜厚度的影响	87
3.3.6	光照下氢化非晶硅薄膜晶体管的特性	91
3.4	先进的氢化非晶硅薄膜晶体管结构	94
3.4.1	高性能的背沟道刻蚀型氢化非晶硅薄膜晶体管	94
3.4.2	栅平面化的氢化非晶硅薄膜晶体管	96
3.4.3	总线掩埋的氢化非晶硅薄膜晶体管	100
3.4.4	全自对准氢化非晶硅薄膜晶体管	103
3.4.5	顶栅氢化非晶硅薄膜晶体管	105
3.5	氢化非晶硅薄膜晶体管电学性能的不稳定性	108
3.6	结论	117
	参考文献	117
第4章	多晶硅薄膜晶体管	123
4.1	引言	123
4.2	AMLCD 和 LTPS TFT LCD 概述	124
4.2.1	集成周边驱动电路的 LTPS TFT 的要求	126

4.2.2	有源矩阵寻址的薄膜晶体管的要求	130
4.3	硅薄膜沉积方法	132
4.4	非晶硅晶化	140
4.4.1	固相晶化	140
4.4.2	准分子激光晶化(Excimer Laser Crystallization, ELC)	150
4.4.3	晶化技术的发展趋势	159
4.5	栅绝缘层形成	161
4.6	掺杂与激活	166
4.7	典型的多晶硅薄膜晶体管的制造工艺流程	175
	参考文献	179
第5章	薄膜晶体管在有源矩阵液晶显示中的应用	186
5.1	有源矩阵的设计与制造	186
5.1.1	AMLCD中TFT和阵列要求	190
5.1.2	存储电容结构	223
5.1.3	电过应力(EOS)与静电放电(ESD)保护	226
5.1.4	阵列测试	231
5.1.5	TFT阵列中的缺陷与修复	239
5.2	显示系统问题	243
5.2.1	TFT有源矩阵驱动方案	243
5.2.2	显示驱动芯片	258
5.2.3	集成驱动器和功能	260
5.2.4	系统电子的要求	260
5.3	先进的高分辨率、高性能和大面积的AMLCD	261
	参考文献	268
第6章	基于有机材料的薄膜晶体管	274
6.1	背景介绍	274
6.2	基本原理和工作模式	276
6.3	有机半导体的范围和局限	281
6.4	器件材料和结果	282
6.4.1	电化学聚合的聚噻吩	283
6.4.2	真空沉积的低聚噻吩并五苯及其他小分子	283

6.4.3	六噻吩和并五苯的单晶	290
6.4.4	溶液加工的聚烷基噻吩	290
6.4.5	基于印刷技术的全有机器件	292
6.4.6	n型半导体	293
6.4.7	绝缘层对载流子迁移率的影响	294
6.5	结论	294
	参考文献	295
第7章	基于小分子的真空沉积有机薄膜场效应晶体管	300
7.1	背景介绍	300
7.2	利用有机分子真空升华制备 OTFT 的方法	303
7.3	小分子有机半导体电荷传输机制	304
7.4	有机晶体管的操作和模拟	306
7.5	有机晶体管的性能	310
7.5.1	p型 OTFT 的性能	310
7.5.2	形态学与电学性质的关系	313
7.5.3	迁移率对栅电压的依赖	315
7.5.4	器件构型对并五苯晶体管性能的影响	319
7.5.5	n型 OTFT 性能的进展	321
7.6	结论及展望	328
	参考文献	329
第8章	有机晶体管:材料、图案化技术及其应用	337
8.1	简介	337
8.2	有机半导体	339
8.2.1	线性稠环	341
8.2.2	二维稠环化合物	343
8.2.3	聚合半导体	345
8.3	夹层电介质	347
8.4	图案化技术	349
8.4.1	丝网印刷	349
8.4.2	微胶束模型	352
8.4.3	微接触印刷	354

8.4.4	近场光刻	356
8.5	塑料薄膜晶体管在柔性显示和逻辑电路中的应用	358
8.5.1	电子纸张显示器	358
8.5.2	逻辑电路	365
8.6	结论	372
	致谢	372
	参考文献	373
第 9 章	基于溶解加工和直接印刷技术构建的聚合物晶体管电路	379
9.1	背景介绍	379
9.2	历史的观点	379
9.3	器件物理学	382
9.4	经过聚合物自组织增加迁移率	390
9.5	聚合物晶体管电路的直接喷墨印刷	398
9.6	应用	405
9.6.1	有源矩阵显示器	406
9.6.2	识别标签	409
9.6.3	全聚合物光电子集成电路	409
9.7	结论	412
	参考文献	413
第 10 章	基于有机-无机杂化材料的薄膜晶体管	419
10.1	背景介绍	419
10.2	钙钛矿结构的杂化物	422
10.3	薄膜沉积和图案化	427
10.3.1	溶液加工	427
10.3.2	插入反应	428
10.3.3	热蒸发	431
10.3.4	图案化	434
10.4	薄膜晶体管	436
10.5	结论	445
	参考文献	446

第 1 章 薄膜晶体管的发展历程

美国纽约 Hopewell Junction eMagin 公司 Webster E. Howard

1.1 引言

薄膜晶体管 (Thin Film Transistor, TFT) 在过去的十年里已经成为电子平板显示行业的核心部件。这正如早些时候, 硅芯片被称为电子计算机行业的核心部件一样。如今, 数十家大公司每年都生产出几百万台显示器, 每台显示器都集成了数百万个 TFT 器件。

我们可以通过从早期半导体物理科学, 到持续了近 70 年的半导体技术的进步与发展的有趣传奇, 来认识上述观点。也正是在那个时候, 首次根据材料的电子结构来分类, 因此, 人们对半导体的理解, 不再仅仅认为半导体是一种电导率介于金属和绝缘体之间的材料, 而且也认为它是一种由无数的、内部具有少数移动电荷的小单元组成的材料, 并且是电导率明显依赖于温度变化的结晶性材料。

回顾过去, 我们能够发现 TFT 器件的概念及其重要的潜在应用明显早于“晶体管”器件。实际上, 多年来 TFT 的发展一直被最初的双极结型晶体管 (Bipolar Junction Transistor) 及技术上与它类似的器件——金属氧化物半导体场效应晶体管 (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET) 的惊人发展所掩盖。

在本章里, 将按年代回顾 TFT 在材料和结构方面的发展历程, 一直到今天被广泛采用的形式。

1.2 20 世纪 30 年代

大部分作者都认可是 Lilienfeld^[1] 在 1934 年申请的专利中首次描述了场效应器件的发明。他提供的具体实例如图 1.1 所示。该实例中的器件包含了恰当的例证材料, 即半导体有源层 (Cu_2S)、绝缘层 (Al_2O_3) 和金属栅极 (Al)。他对发明所做的描述及用词有些问题, 即他没有正确地理解半导体材料的特性, 而且还特别指出有源层应该比衬底 (栅极) 具有“高得多的电导率”。尽管他所宣称的与他的例子实际情况