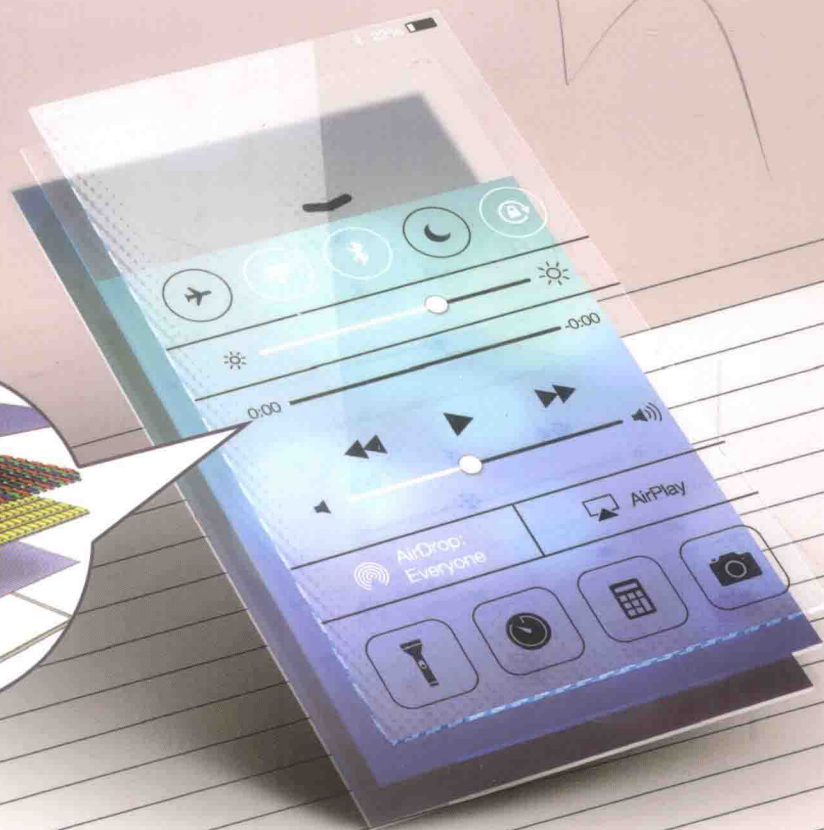
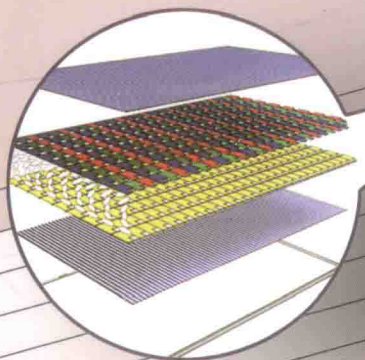


薄膜晶体管

物理、工艺与SPICE建模

Physics, Process Technology and SPICE Modeling
for Thin-Film Transistor

雷东 著



薄膜晶体管物理、工艺与 SPICE 建模

雷 东 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以显示面板设计和制造过程中的经验为依据,详细分析并阐述了 TFT 的器件物理、制造工艺以及 SPICE 建模的相关内容。全书分为 6 章。第 1 章阐述了 TFT 用于平板显示的技术原理,以及针对 TFT 进行 SPICE 建模前所需要掌握的基础知识。第 2 章、第 3 章内容主要是针对 a-Si TFT 进行的分析和阐述。其中,第 2 章分析了目前产业界常用的 a-Si TFT 的结构、相关的工艺过程、材料以及器件的物理性质。第 3 章则详细分析了 a-Si TFT 的 SPICE 模型,并对每个模型参数的物理意义及其在 TFT 特性曲线上的作用进行了分析。第 4 章、第 5 章分析了 LTPS TFT 的器件物理、工艺及 SPICE 模型。第 6 章针对目前新型的 IGZO 工艺进行了阐述,主要介绍了 IGZO 材料及器件的物理性质,以及业界广泛采用的 IGZO TFT 的结构和工艺过程。

本书适合平板显示领域从业人员阅读,希望能对他们专业知识和技术能力的进一步提升起到一定作用。

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

薄膜晶体管物理、工艺与 SPICE 建模 / 雷东著. —北京: 电子工业出版社, 2016.8

ISBN 978-7-121-29394-8

I. ①薄… II. ①雷… III. ①薄膜晶体管-研究 IV. ①TN321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 164067 号

责任编辑: 刘海艳

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

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: 10.25 字数: 262.4 千字

版 次: 2016 年 8 月第 1 版

印 次: 2016 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.00 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, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: lhy@phei.com.cn。

序 言

目前，平板显示技术是信息产业中最为活跃的技术领域之一。从近年来面板厂在中国内地乃至全球范围内的扩张速度便可感知一二。

平板显示技术中，最具代表性、应用最为广泛的当属 TFT-LCD 和 TFT-OLED 技术。从电视机，到各种移动显示终端，再到可穿戴式显示设备，无不体现着这一技术广阔的市场。TFT 作为像素驱动以及构成周边电路的核心半导体器件，其结构、制造工艺及器件特性对整个显示面板的质量和良率有着十分关键的影响。除此之外，对于面板设计人员来讲，基于器件特性所建立的 TFT 模型的准确性和可靠性以及模型的仿真结果，将在很大程度上决定所设计产品的质量。所以，从事面板相关行业的工程技术人员，对以上内容的深入理解和科学运用，已变得十分重要。

本书是作者在平板显示领域多年的从业经验基础之上完成的。书中有针对性地阐述了目前平板显示领域主要用到的 a-Si TFT、LTPS TFT 和 IGZO TFT 的物理特性、工艺原理及 SPICE 模型，并针对 TFT 的 RPI 模型中的每个模型参数在器件特性曲线上的作用区域和作用效果，做了基于器件物理层面的详细分析。

本书基本概念和原理描述深入浅出、通俗易懂，能够帮助从事相关领域的工程师和研究者快速、有效地掌握 TFT 建模技术，并运用到实践中去。这一类型的专业书籍在平板显示领域并不多见。本书的出版，将对平板显示领域从业人员的专业知识和技术能力的进一步提升做出很好的贡献。这也是作者本人所期望看到的。

张盛东 教授

北京大学信息工程学院执行院长

深圳 TFT 与先进显示重点实验室主任

北京大学有源显示研究中心副主任

2016 年 6 月

前 言

信息数据的可视化、图像化交互，使信息交流变得生动、有效。高分辨率、高质量的显示器对于图像信息的传递至关重要。因此，平板显示（FPD）领域的科学家和工程师们，在不断地改善平板显示器的设计和生产过程中各环节的品质，以实现更高的分辨率和更好的图像显示质量。

薄膜晶体管（TFT）作为驱动像素的基本半导体器件单元，对整个显示产品的质量以及产品的良率十分关键。在面板的设计过程中，要对相关的器件和电路进行 SPICE 仿真，以确认产品设计的合理性和可靠性。因此，TFT 器件 SPICE 建模的准确性，直接决定着面板设计过程中相关仿真的准确性和可靠性。在面板制造过程中，TFT 的结构以及工艺过程的优劣，直接决定着 TFT 器件特性的好坏，从而影响面板制造的良品率。从事相关工作的工程师和研究人员，有必要深入了解 TFT 制造过程中的每一个工艺环节，以及所涉及的各种材料的物理和化学性质。

本书以显示面板设计和制造过程中的经验为依据，详细分析并阐述了 TFT 的器件物理、制造工艺以及 SPICE 建模的相关内容。全书分为 6 章。第 1 章阐述了 TFT 用于平板显示的技术原理，以及针对 TFT 进行 SPICE 建模前，所需要掌握的基础知识。第 2 章、第 3 章主要是针对 a-Si TFT 进行的分析和阐述。其中，第 2 章分析了目前产业界常用的 a-Si TFT 的结构，相关的工艺过程，材料以及器件的物理性质。第 3 章则详细分析了 a-Si TFT 的 SPICE 模型，并对每一个模型参数的物理意义及其在 TFT 特性曲线上的作用进行了分析。第 4 章、第 5 章分析了 LTPS TFT 的器件物理、工艺以及 SPICE 模型。第 6 章针对目前新型的 IGZO 工艺进行了阐述，主要介绍了 IGZO 材料及器件的物理性质，以及业界广泛采用的 IGZO TFT 的结构和工艺过程。

在本书的撰写和出版过程中，北京大学信息工程学院的张盛东教授审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见，并为本书作序。张盛东老师在 TFT 先进显示技术领域有着长期的学术研究和产业化经验，张老师的指导增加了本书在技术上的深度与广度。此外，作者还要借此机会向 Silvaco 韩国公司的技术总监 Won seok Lee 先生表示感谢，感谢他能够花费宝贵的时间和我进行技术上的许多交流和讨论，并分享了不少韩国 TFT 显示产业领域的珍贵经验。本书的写作初衷，得到了香港 Vendorchain 国际有限公司罗晶先生的鼓励和大力支持。作者在这里向三位前辈表示衷心的感谢。最后，向所有支持和关心本书出版的同人们说一声“谢谢”。

限于作者水平有限，书中若有不妥之处，还请各位同行多多批评指正。

雷 东

2016 年 6 月

目 录

第 1 章 薄膜晶体管 (TFT) 用于平板显示	1
1.1 TFT 用于液晶平板显示	1
1.1.1 LCD 显示技术原理	1
1.1.2 矩阵显示	6
1.1.3 AMLCD 显示技术对 TFT 特性的要求	9
1.2 TFT 用于 OLED 平板显示	11
1.2.1 有机发光二极管 (OLED)	11
1.2.2 OLED 显示	13
1.2.3 AMOLED 显示对 TFT 特性的要求	15
1.3 TFT 的 SPICE 建模与仿真	16
1.3.1 SPICE 仿真与建模	16
1.3.2 TFT 的 SPICE 建模	18
1.3.3 模型的质量验证	24
参考文献	25
第 2 章 a-Si:H TFT 的结构、工艺与器件物理	26
2.1 平板显示用 a-Si:H TFT 的结构与工艺	26
2.1.1 平板显示用 a-Si TFT 的常见结构	26
2.1.2 栅极 (Gate) 金属	27
2.1.3 a-SiN _x :H 薄膜	27
2.1.4 a-Si:H 薄膜	30
2.1.5 n ⁺ a-Si:H 薄膜	36
2.1.6 源漏 (S/D) 极金属	37
2.1.7 钝化层	37
2.2 a-Si:H TFT 器件的电学特性	38
2.2.1 栅极 (Gate) 正向偏置	38
2.2.2 a-Si:H TFT 的漏电流	44
参考文献	45
第 3 章 a-Si:H TFT 的 SPICE 模型	47
3.1 DC 模型	47
3.1.1 a-Si:H TFT 开启前	47
3.1.2 a-Si:H TFT 开启后	53
3.1.3 漏电流区	63
3.1.4 DC 温度模型	65
3.2 AC 模型	66

参考文献	68
第 4 章 低温多晶硅 (LTPS) TFT 的结构、工艺与器件物理	70
4.1 缓冲层以及 a-Si 层	71
4.1.1 薄膜的沉积	71
4.1.2 去氢	72
4.2 LTPS 层	74
4.2.1 准分子激光退火 (ELA)	74
4.2.2 LTPS 薄膜的表面	77
4.3 LTPS 薄膜的电学特性	78
4.3.1 晶界简介	78
4.3.2 晶界势垒	80
4.3.3 载流子的运输	82
4.4 传统的固相结晶技术 (SPC)	84
4.5 金属诱导结晶 (MIC)	85
4.6 TFT 沟道与 N-TFT 源/漏的形成	86
4.7 栅绝缘 (GI) 层	87
4.8 p 型 TFT 源/漏与 n 型 TFT LDD 的形成	90
4.8.1 轻掺杂漏极 (Lightly Doped Drain, LDD)	90
4.8.2 注入离子的活化	91
4.9 层间介质层 (Interlayer Dielectric Film, ILD)	92
4.10 信号线 (Data line)	92
4.11 LTPS TFT 器件的电学性质	93
4.11.1 栅极正向偏置	93
4.11.2 LTPS TFT 的漏电流	98
参考文献	99
第 5 章 LTPS TFT 的 SPICE 模型	102
5.1 DC 模型	102
5.1.1 TFT 有效开启电压的表达式	102
5.1.2 亚阈值区	107
5.1.3 输出电流	110
5.1.4 迁移率模型	112
5.1.5 漏电流模型	117
5.1.6 Kink 效应	122
5.1.7 沟道长度调制效应	125
5.1.8 方程的统一	126
5.1.9 DC 温度模型	131
5.2 AC 模型	132
参考文献	135

第 6 章 IGZO TFT 的结构、工艺与器件物理	136
6.1 IGZO 工艺概述	136
6.2 平板显示用 IGZO TFT 的结构	137
6.2.1 栅极 (Gate) 金属	137
6.2.2 栅绝缘层 (GI)	138
6.2.3 IGZO 薄膜材料	139
6.2.4 刻蚀阻挡层 (ESL)	149
6.2.5 S/D 金属	150
6.3 IGZO TFT 的电学特性	150
6.3.1 栅极正向偏置	150
6.3.2 IGZO TFT 的漏电流	152
参考文献	152

第1章 薄膜晶体管 (TFT)

用于平板显示



1.1 TFT 用于液晶平板显示



1.1.1 LCD 显示技术原理

1. 液晶及其形变

液晶是介于固态晶体与液态流体之间的一种中间态物质。液晶分子具有取向有序性，但又可以像液体一样流动。液晶分子通常为棒状或盘状的高分子。液晶显示器中，常用的液晶材料为向列相或近晶相，其中向列相液晶的应用最广。

图 1-1 所示为近晶相液晶和向列相液晶中液晶分子的排列方式。近晶相液晶分子分层排列。每一层中，液晶分子取向有序，在垂直于各层分界面的方向，液晶分子的位置有序。层内分子间的结合力强，层间的结合力弱。所以，这种液晶相，具有相对较大的黏度。而向列相液晶，分子排列的特点为取向有序，但位置无序。向列相液晶材料中，分子之间的短程结合力较弱。因此，向列相液晶的黏度较小，具有较强的流动性。此外，向列相液晶分子具有单轴晶体的光学性质。这些特点使其成为液晶显示用的主要液晶材料。通常把液晶分子取向的，择优方向的单位矢量称为液晶的指向矢 n ，如图 1-1 所示。

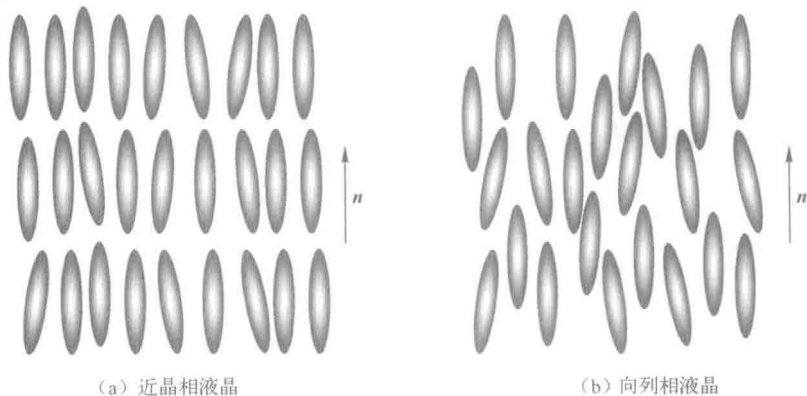


图 1-1 近晶相液晶与向列相液晶材料中液晶分子的排列方式



液晶分子在外电场的作用下会发生极化，如图 1-2 所示。需要说明的是，在液晶分子的长轴方向和短轴方向都要产生极化。液晶分子在靠近正电极的一端极化出负电荷，在另一端极化出正电荷，类似于两个偶极子，长轴方向一个，短轴方向一个。

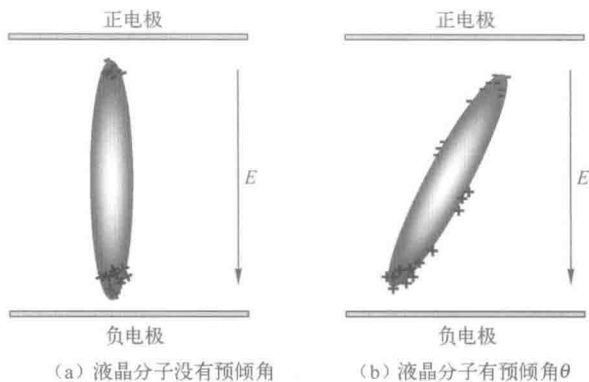


图 1-2 液晶分子在电场下的极化

偶极矩可以表示为

$$p = ql \tag{1.1}$$

式中， q 为偶极子一端具有的电荷电量； l 为正负电荷中心间的距离，方向从负电荷指向正电荷。

偶极子在均匀电场 E 中将受到力矩作用：

$$\tau = p \times E = ql \times E \tag{1.2}$$

通常用极化强度来表征电介质的极化程度，定义为单位体积中分子电偶极矩的矢量和：

$$P = \frac{\sum p}{\Delta V} \tag{1.3}$$

电介质的极化强度与电场强度的关系为

$$P = \chi_e \epsilon_0 E = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) E \tag{1.4}$$

其中， χ_e 为电介质的电极化率。它与电介质的相对介电常数之间的关系为

$$\chi_e = \epsilon_r - 1 \tag{1.5}$$

把液晶看作连续介质时，液晶在如图 1-2 所示的外电场作用下的力矩为

$$\tau = P \times E = |P| |E| \sin \theta \tag{1.6}$$

式中， θ 为 P 与 E 之间的夹角。对于像图 1-2 (a) 中所示的情形，极化主要发生在长轴方向，因此力矩为零。所以要想使液晶分子在外电场作用下发生旋转，液晶分子必须要有一个预倾角。

在图 1-2 (b) 中，长轴方向的 P 与 E 之间存在夹角 θ 。短轴方向的 P 与 E 之间的夹角为 $\pi/2 - \theta$ 。于是，长轴方向的极化，使液晶分子产生逆时针方向的转动。转动力



矩为

$$\tau_{\parallel} = P_{\parallel} \times E = |P_{\parallel} \parallel E| \sin \theta = \frac{1}{2} \varepsilon_0 (\varepsilon_{\parallel} - 1) E^2 \sin 2\theta \quad (1.7)$$

式中, 带有“ \parallel ”下标的符号为液晶分子在长轴方向的物理量。

在液晶的短轴方向,

$$\tau_{\perp} = P_{\perp} \times E = |P_{\perp} \parallel E| \cos \theta = \frac{1}{2} \varepsilon_0 (\varepsilon_{\perp} - 1) E^2 \sin 2\theta \quad (1.8)$$

短轴方向的力矩对液晶分子的作用与长轴方向力矩的作用相反。所以, 总的力矩对液晶分子的转动的作用效果为

$$\tau = |\tau_{\parallel}| - |\tau_{\perp}| = \frac{1}{2} \varepsilon_0 (\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}) E^2 \sin 2\theta \quad (1.9)$$

在这个力矩的作用下, 液晶分子随外电场的改变而发生转动。利用液晶分子所具有的双折射功能, 从而控制来自背光源的光线通过或不通过, 或部分通过显示屏幕进入人眼, 实现屏幕从亮到暗或者从暗到亮的变化, 形成灰阶。

需要说明的是, 有些液晶分子长轴的极化能力比短轴的极化能力强, 表现为 $\varepsilon_{\parallel} > \varepsilon_{\perp}$, 进而有 $|\tau_{\parallel}| - |\tau_{\perp}| > 0$ 。这种类型的液晶称为正型液晶。负型液晶的特性正好相反。在实际的液晶显示产品中, 要根据产品的应用, 合理选择液晶的类型, 从而合理控制液晶在电场下的偏转, 实现光线的有效调控。

图 1-3 所示为向列相液晶在电场作用下的三种形变。



图 1-3 向列相液晶分子的基本形变

在常用的液晶显示产品中, 液晶在电场下的运动形变通常是上述三种形变中的一种。

2. TN 模式

TN 是扭曲向列相液晶 Twisted Nematic 的首字母缩写。这表明, 这种显示模式采用向列相液晶, 液晶在电场作用下的形变方式为扭曲形变, 如图 1-4 所示。

在上下两电极的表面存在液晶配向膜。在配向膜的表面存在固定取向的沟槽, 与之接触的液晶分子在沟槽的作用下沿配向膜所设定的方向取向。在 TN 模式中, 上下配向膜的配向方向之间的夹角为 90° , 这使得位于上下两电极间的液晶分子的排列发生扭转,



如图 1-4 (a) 中所示。在电极的上下外侧各有一块偏振片，只能通过线偏振光。偏振片的偏振方向与两侧配向方向平行。当背光源中的自然光通过位于下部的偏振片时，只有振动方向与下偏振片的振动方向一致的光通过。如果光线直接传播到上偏振片，因为上偏振片要求通过的光的偏振方向与此偏振方向垂直，所以光线不能透过上偏振片。由于 TN 液晶分子的旋光作用，使得通过下偏振片的线偏振光在到达上偏振片时，振动方向与上偏振片所规定的偏振方向一致，从而使光线通过上偏振片，到达屏幕表面，最终进入人眼。此时，屏幕表现为亮态。

当在两电极间加载有电压的时候，其中的液晶分子因为极化和力矩的作用，最终，长轴垂直电极平面排列。长轴为 TN 液晶分子的主光轴，光线沿主光轴传播不发生双折射。也就是说，在这种情况下，通过下极板的线偏振光在到达上极板时偏振状态没有发生变化，此时，屏幕表现为暗态，如图 1-4 (b) 所示。

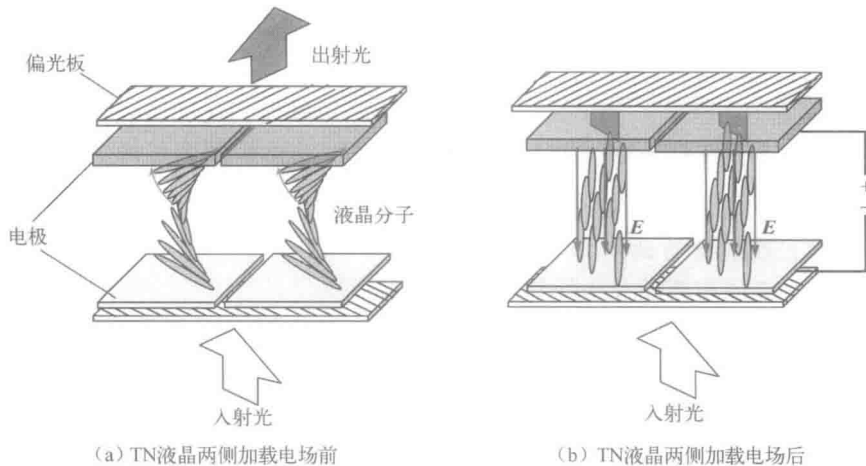


图 1-4 TN 液晶显示模式

位于上述两种极端情况之间的屏幕的状态，就是显示器在显示各种画面时，所要求的不同的灰阶。

上述方式显示的屏幕为常白模式，即在没有偏压的时候，屏幕处于亮态，在 TN 液晶两侧加载有电压后，屏幕处于暗态。与之对应的是常黑模式。在上面的例子中，使上下偏振片的振动方向平行时，屏幕就变成了常黑模式。

3. IPS 模式

IPS 是 In-Plain Switching 的首字母缩写。在这种显示模式中，液晶分子的长轴平行于基板排列，而控制液晶分子转动的电极均位于下基板，如图 1-5 所示。

上下两侧的偏振片所允许通过的光的偏振方向垂直。下偏振片的振动方向与液晶长轴方向平行。如图 1-5 (b) 所示，在未加载电压时，液晶的长轴方向与下偏振片的振动方向一致，通过下偏振片的线偏振光在经过液晶层后，偏振状态没有发生任何变化，在到达上偏振片后被吸收，屏幕处于暗态。在加载电压后，在平面内的正负电极之间形成横向电场。IPS 模式采用的正型液晶在电场作用下，在长轴方向发生极化。



极化产生的偶极矩与电场之间存在夹角时, 液晶分子会在电场的驱动下发生转动。长轴与上下偏振片的偏振方向均形成一定的夹角。由于液晶分子的双折射效应, 使得垂直光线传播方向的两个偏振状态之间形成相位差, 从而使部分光线通过上偏振片, 屏幕呈亮态, 如图 1-5 (a) 所示。

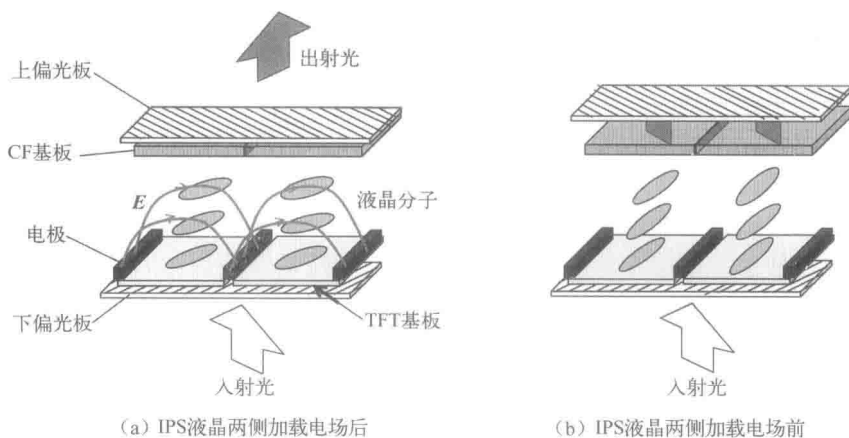


图 1-5 IPS 液晶显示模式

4. FFS 模式

FFS 模式是 IPS 模式的一种变种。不同之处在于: 在 IPS 模式中, 正负电极位于同一侧基板的同一平面内。而 FFS 模式中, 电极虽然仍在基板的同一侧, 但是分布于不同的平面内。而且作为 COM 电极的这一层薄膜铺满整个像素平面, 不刻花样, 如图 1-6 所示。

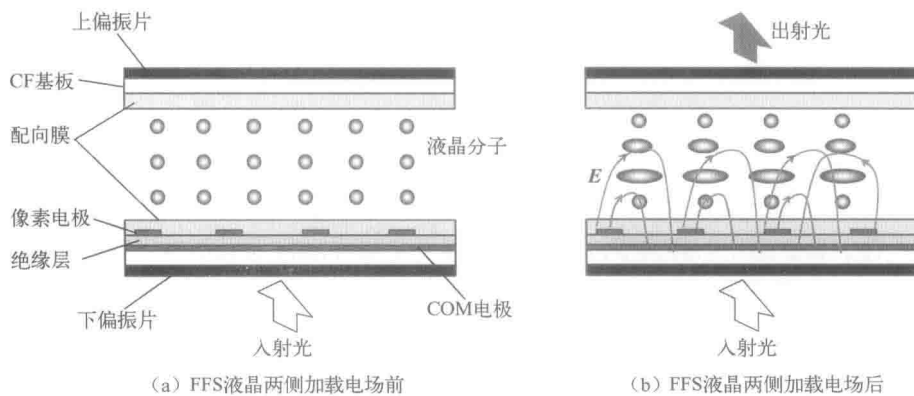


图 1-6 FFS 液晶显示模式

这样做的目的是使得显示器相对 IPS 模式具有更大的视角和更高的光透过率。

5. VA 模式

VA 是 Vertical Alignment 的首字母缩写。这说明这种显示模式中液晶分子是垂直配向, 如图 1-7 所示。



VA 显示产品一般选用常黑模式，且通常选择负型液晶。加载电压的两个电极位于液晶盒的上下两侧。上下偏振片的偏振方向相互垂直。在没有加载电压时，液晶初始取向为，长轴与上下电极所在的平面垂直。通过下偏振片的线偏振光沿着液晶分子的主光轴传播，不发生双折射，光线在通过液晶层到达上偏振片时，被上偏振片吸收，屏幕呈暗态，如图 1-7 (a) 所示。

如图 1-7 (b) 所示，在电极两端加载电压后，负型液晶的短轴方向发生极化。可以看出，当液晶分子的长轴与上下电极所在的平面垂直的时候，液晶极化偶极矩与电场方向垂直，作用在液晶分子上的力矩为零。所以，VA 模式同样需要通过配向膜，使得液晶分子在初始状态下就存在一个预倾角。VA 显示产品中，针对 VA 液晶配向的各种方法，构成了 VA 显示技术中各种新型的技术，内容十分丰富。有兴趣的读者可以阅读专门的关于液晶显示原理与技术方面的专著。这里只对各种显示技术做概括性的介绍，以方便读者比较深入地理解 TFT 在液晶显示中的重要作用。

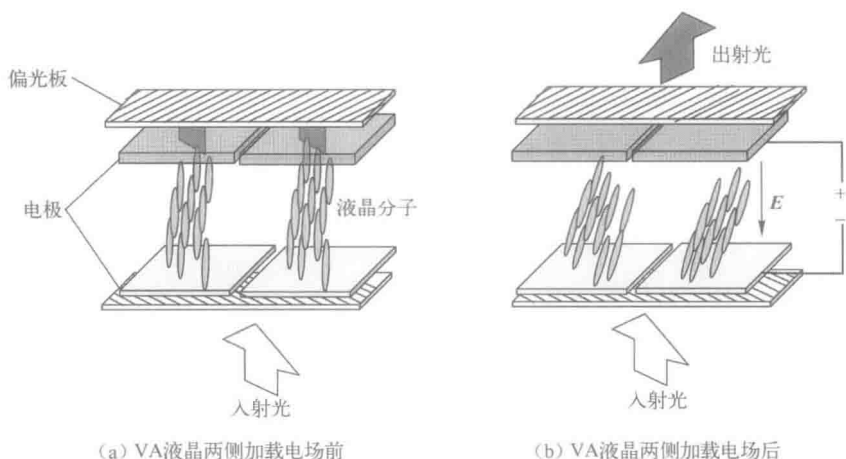


图 1-7 VA 液晶显示模式



1.1.2 矩阵显示

用矩阵表示显示器中的像素单元，其中的每一个矩阵元代表显示器中的一个像素单元。假如用 1 表示这个像素单元开启，即处于显示状态；用 0 表示这个像素单元处于非显示的关闭状态。如果要在屏幕的某一位置显示一个 F 形状的画面，这一过程如图 1-8 所示。

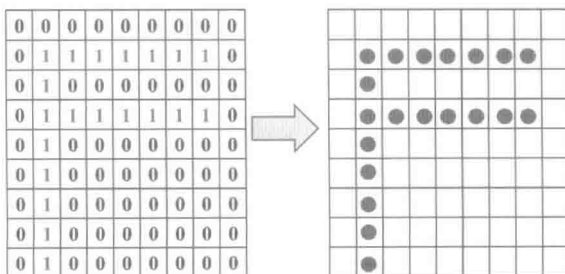


图 1-8 矩阵显示示意图



1. 被动矩阵液晶显示 (PMLCD)

被动矩阵液晶显示 (PMLCD) 技术也叫无源矩阵显示, 通常采用 TN 模式。在液晶盒的上下玻璃基板内表面沉积有带状的透明电极。上下基板上的电极互相垂直, 交叉处形成像素。如图 1-9 所示, 其中, y_1 到 y_6 连接扫描电极, x_1 到 x_7 连接信号端。在具体的画面显示过程中, 自上而下选通每一行, 在每选通一行时, 通过信号端在这一行对应的位置上写入与画面相关的电压信号。如图 1-8 中显示画面 F 的过程中, 1 帧可以叙述如下。

- (1) 选通第一行 y_1 扫描线, 同时对 $x_2 \sim x_7$ 输入相应的信号电压;
 - (2) 选通第二行 y_2 扫描线, 同时对 x_2 输入相应的信号电压;
 - (3) 选通第三行 y_3 扫描线, 同时对 $x_2 \sim x_7$ 输入相应的信号电压;
 - (4) 选通第四行 y_4 扫描线, 同时对 x_2 输入相应的信号电压;
 - (5) 选通第五行 y_5 扫描线, 同时对 x_2 输入相应的信号电压;
 - (6) 选通第六行 y_6 扫描线, 同时对 x_2 输入相应的信号电压;
- 1 帧结束后, 不断重复 (1) ~ (6) 的过程, 就能得到完整的图形。

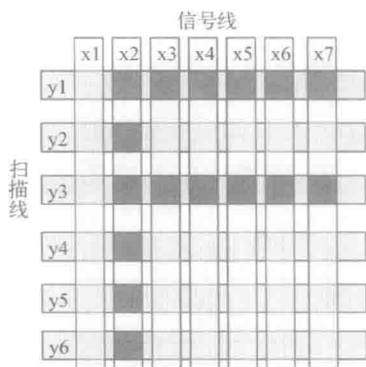


图 1-9 被动矩阵显示示例

因此, 被动矩阵显示屏中, 每一个像素单元的等效电路如图 1-10 所示。

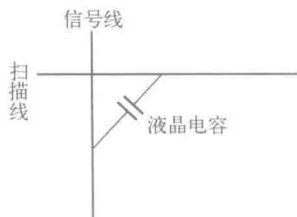


图 1-10 被动矩阵显示器中像素单元的等效电路

而像素阵列可以等效为如图 1-11 所示的电路。

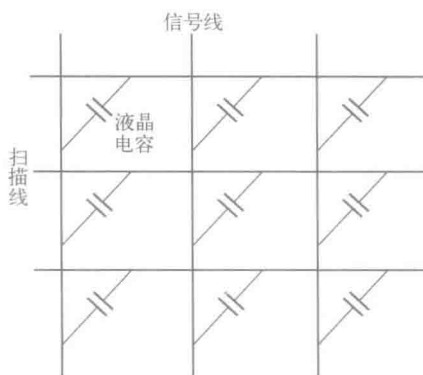


图 1-11 被动矩阵显示器中像素阵列的等效电路

在被动矩阵显示器中，当在被选像素上加载电压的时候，这个电压会对被选像素周围临近的像素产生比较大的影响，最终会导致显示画面发生串扰。电压越高，影响越大。屏幕的分辨率越高，串扰现象也会越严重。被动显示屏生产成本相对较低，所以，通常应用在一些对显示画面要求较低，相对廉价的显示设备上。

2. 主动矩阵液晶显示 (AMLCD)

主动矩阵液晶显示 (AMLCD) 是有源矩阵显示的一种。每一个亚像素 (RGB 中的一个) 单元通过一个 TFT 控制。其等效电路如图 1-12 所示。

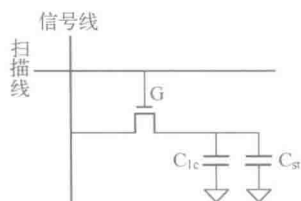


图 1-12 AMLCD 亚像素等效电路

其中， C_{lc} 为液晶电容； C_{st} 为存储电容。因为 TFT 和液晶电容在画面保持的过程中会有漏电流， C_{st} 的作用是使得当前显示的画面能够保持到下一个信号进来前。

AMLCD 显示阵列则可以等效为图 1-13 中所示的阵列。

在显示过程中，扫描线从 $G1 \sim Gm$ 中的每一行依次打开。打开每一行时，通过信号线在对应的亚像素中输入与显示画面相关的电压信号。图 1-14 所示为 1 帧过程中，扫描信号的加载方式。

这种主动矩阵显示技术，使得每一个亚像素都可以被独立地控制，从而实现高质量的画面显示。

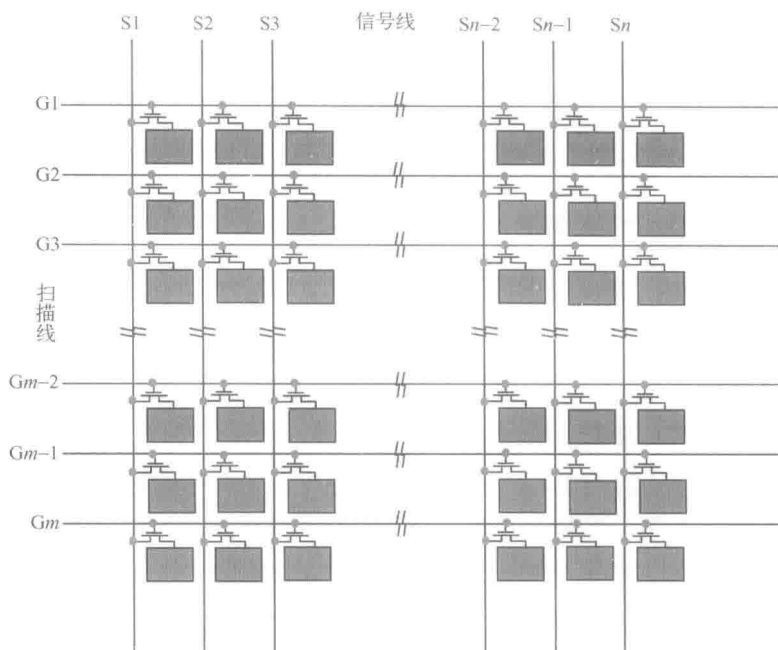


图 1-13 AMLCD 中像素阵列的等效电路

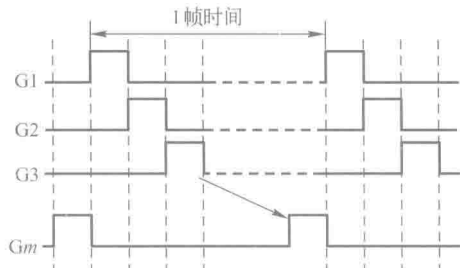


图 1-14 TFT 栅极的扫描信号时序示意图

1.1.3 AMLCD 显示技术对 TFT 特性的要求

TFT 作为控制液晶电容的开关器件，其开关速度、充电能力和漏电流的大小对 AMLCD 的影响很大。

开关速度由 TFT 的跨导 (g_m) 决定，反映 TFT 的栅极电压对器件开关特性的容性调控能力。载流子迁移率的增大会提高 TFT 的开关速度。跨导通常定义为

$$g_m = \mu_{FE} \frac{W}{L} C_i V_{ds} \quad (1.10)$$

式中， μ_{FE} 为载流子在电场作用下的有效迁移率； C_i 为 TFT 栅绝缘层的电容； V_{ds} 为漏极电压与源极电压差； W/L 为 TFT 沟道的宽长比。

TFT 的充电能力表现为器件开态电流的大小。TFT 在开启后的电流可近似如下。