

TFT/LCD

薄膜晶体管寻址的液晶显示器

(日) Toshihisa Tsukada 著
薛建设 董友梅 周伟峰 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TFT/LCD 薄膜晶体管 寻址的液晶显示器

(日) Toshihisa Tsukada 著
薛建设 董友梅 周伟峰 译



机械工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

TFT/LCD 薄膜晶体管寻址的液晶显示器 / (日) Toshihisa Tsukada
著; 薛建设, 董友梅, 周伟峰译. —北京: 机械工
业出版社, 2012. 7

书名原文: TFT/LCD Liquid-Crystal Displays
Addressed by Thin-Film Transistors
ISBN 978 - 7 - 111 - 38872 - 2

I. ①T… II. ①塚…②薛…③董…④周… III. ①
薄膜晶体管-液晶显示器 IV. ①TN321②TN141. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 131578 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: 顾谦

版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽

封面设计: 陈沛 责任印制: 杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

140mm × 203mm · 5.625 印张 · 148 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 38872 - 2

定价: 29.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

本书是 20 世纪 90 年代由日本专家 Toshihisa Tsukada 编写的一本 TFT/LCD（薄膜晶体管寻址/液晶显示器）基础书籍，内容言简意赅、深入浅出，被日本和韩国许多业内人士作为液晶显示领域的启蒙类基础书籍。书中内容对于目前国内蓬勃发展的显示产业有很高的参考价值，特别是对高校师生有学习参考价值。本书是有关 TFT/LCD 技术的参考书，介绍了 TFT/LCD 的基本知识、操作原理和设计方法，薄膜晶体管原理，氢化非晶硅基础知识和液晶显示的基本知识。

本书可以作为相关专业高等院校师生的教学参考书，也可供相关领域的工程技术人员参考。

TFT/LCD Liquid-Crystal Displays Addressed by Thin-Film Transistor.
Copyright © 1996 by OPA (Overseas Publishers Association)
Amsterdam B. V.

Authorized translation from English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group LLC. All rights reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 Routledge 出版公司出版，并经其授权翻译出版。版权所有，侵权必究。

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售，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。

本书版权登记号：图字 01-2012-1674 号

译者的话

液晶显示器（LCD）技术在近十年有了飞速的发展，从屏幕的尺寸到显示的质量都取得了很大进步。经过不断的努力，LCD很多方面的性能都已经达到了传统CRT（阴极射线管）显示器的水平，取代CRT显示器势不可挡。随着LCD生产的不断扩大，各个生产厂商之间的竞争也日趋激烈。各厂商在不断提高产品性能的同时，也在不断努力降低产品的生产成本，从而提高市场的竞争力。

我国的TFT（薄膜晶体管寻址[⊖]）/LCD产业起步较晚，技术水平与日本、韩国的很多业内同行还有一定差距。尽管如此，随着京东方等国内厂商的相继崛起和政府的大力扶持，国内“缺屏少芯”的局面正在慢慢改善。

但由于在国内TFT/LCD产业还属于新兴产业，因此国内科研机构 and 高等院校对这个产业的技术相比我们东亚的近邻来说，还是比较陌生的。这就造成了产业界与学术界的脱节，缺少高校的支撑，我们蓬勃发展的国内企业很难得到足够的人才支持。从长远来看，仅仅依赖引进，如果不能通过持续自主创新，很难在科技进步日新月异的时代立足。

其中很重要的一个原因就是液晶技术是一项综合交叉学科，由于我们采用引进来的战略方针，国内这个行业的起点比较高，很多业内人士对这项技术的基础知识不能有一个完整、全面的认识。本书是一本很好的入门教材，讲解深入浅出、入木三分，非常适合作为刚入行的新人作为启蒙教材，也可助从业数年的业内同仁夯实基础、温故知新，从而开阔视野、推陈出新。在这里将

⊖ 国内一些杂志也将“寻址”译为“驱动”。

这本经典著作推荐给大家，希望能够给广大业内同仁带来帮助。本书也很适合作为从事 TFT/LCD 相关科研和教学的高校和科研院所的教材，如本书能够使我国在平板显示产业迅速壮大的同时，为建立充足的人才储备贡献出一些绵薄之力，吾心足矣。

本书力求忠于原著，但许多专业名词的中译方法在国内不尽相同，本人采用业内流传较广且读者更易理解的方式翻译此类名词，如有不妥之处敬请批评指正。

本书能够出版，非常感谢京东方技术中心的周伟峰同志的细心校译，也很感谢机械工业出版社的各位领导和编辑的大力协助，最后还要感谢京东方公司的各位领导和同仁一直以来的关怀和鼓励。

译 者

2011 年 12 月 24 日夜于京东方技术中心

前 言

这是第一本全面描述薄膜晶体管寻址/液晶显示器 (TFT/LCD) 的书, 包括设计、制造、特性、材料和基本操作。由于涉及 TFT/LCD 的领域非常广泛, 因此本书所覆盖的内容也是在各学科间交叉的。两种所讨论的最重要材料是非晶硅半导体和液晶材料。TFT/LCD 独特的性质取决于这两种材料的结合。在本书中, 器件特性和材料问题是根据它们和显示技术的关系来描述的, 因此与 TFT/LCD 不直接有关, 但是在应用方面非常重要的主体内容就留给其他极好的书去讲述。在传统的书本里, 开头章节论述基础研究, 后面的章节强调应用。但是本书开始给出了 TFT/LCD 总揽, 包括它的设计、制造和特性, 接着随后描述了器件、材料和它们的基本原理。这样一种一开始就对所有主题做全面阐述的安排更便于读者对本书内容有全面的理解。

本书也有益于那些从事 TFT/LCD 研究和开发的读者。由于人机对话界面的显示质量对于消费类电子、计算机和通信工程领域特别重要, 因此本书也对于从事这方面工作的人特别有益。那些研究凝聚态物理、中间相化学和电子器件与系统的人也会从中发现对自己有用的有趣信息。

我在此感激那些来自日立公司的支持, 以及来自于中心实验室、日立研究实验室和日立公司茂原工作室的同事们的支持。特别感谢帮助我们准备手稿的 E. Kawamata。

T. Tsukada
Kokubunji 1994

目 录

译者的话

前言

第1章 引言	1
第1章参考文献	3
第2章 TFT/LCD	4
2.1 TFT/LCD 的结构	5
2.2 像素设计	11
2.3 设计分析	16
2.3.1 像素电容的充电	16
2.3.2 电压的偏移	21
2.3.3 栅线延迟	24
2.3.4 色度设计	28
2.4 TFT屏的制造	35
第2章参考文献	44
第3章 TFT	46
3.1 氢化非晶硅薄膜晶体管	48
3.2 TFT的特点	52
3.2.1 电流—电压特征	52
3.2.2 寄生效应	56
3.3 阈值电压漂移	60
3.4 有关工艺问题	67
3.4.1 铝栅极 TFT	70
3.4.2 自对位工艺	72
3.5 a-Si:H TFT的计算机模拟	74
第3章参考文献	84
第4章 氢化非晶硅	88
4.1 非晶半导体	88

4.2 a-Si:H 的态密度	94
4.3 电导率和载流子迁移率	97
4.4 a-Si:H 的吸收光谱	105
4.4.1 光学吸收	105
4.4.2 红外吸收	109
第4章参考文献	113
第5章 扭曲向列液晶盒	116
5.1 TN 液晶盒的阈值电压	119
5.2 TN 液晶盒的 C—V 特性	126
5.3 TN 液晶盒的光学性能	127
5.4 超扭曲向列 (STN) 液晶盒	139
第5章参考文献	141
第6章 液晶	144
6.1 介电常数和折射率	151
6.2 弹性常数	157
6.3 黏性	164
第6章参考文献	169
参考文献	170

第 1 章 引 言

TFT/LCD（薄膜晶体管寻址/液晶显示器）是一种平面显示器，其显示介质是液晶，并且每一个像素受薄膜晶体管的控制。TFT/LCD 在消费电子、计算机和通信系统方面开创了一个崭新的技术领域。TFT/LCD 市场的增长比预想快得多，不仅冲击了新的应用领域也侵占了传统的领域。

TFT/LCD 概念不是新的，而且还是相当古老的。早在 1966 年，Weimer¹ 就提出了 TFT 作为显示开关的可能性。更详细的概念在 1971 年由 Lechner 等人² 提出将二极管或者晶体管用作有源矩阵液晶显示器的开关。同液晶电容平行设置的存储电容也有提及。在这个讨论之前，Heilmeier 等人³ 提出了向列液晶可以作为平面显示材料。制备了包括透明前电极、反射后电极和中间向列液晶的“三明治”器件（反射式）。如果没有施加电场，这个器件呈现黑色，如果施加直流电压，液晶材料变成紊流态和散光态，这个器件呈现白色。这种现象称为动态散射，并用第一个反射模式和透射模式液晶显示装置来验证。同时制造出了一个 $3.5\text{in}^{\ominus} \times 4\text{in}$ 的字母数字式液晶显示装置，其对比度为 20:1。

Brody 等人⁴ 把 CdSeTFT 应用到有源矩阵液晶显示屏上。这种显示屏由 14000 个晶体管、存储电容和扭曲向列液晶（TN）显示元组成。虽然 TFT 是由 CdSe 而不是由 a-Si:H 制备的，但是其结构基本同于今天的 TFT/LCD 屏。TN 液晶元由 Schadt 和 Helfrich⁵ 第一次提出，具有低电压、低能耗和快速反应时间的特点。在 TN 液晶元中，当液晶由后基板旋转到前基板，其分子平均指

\ominus 1in = 0.0254m。——译者注

向扭曲 90° 。当光透过液晶元，光的偏振方向发生 90° 偏转。当前后偏振片平行时，无施加电压时光不能通过。当给液晶施加交流电压时，液晶分子的指向变得平行于基板。在这种状态，TN 模式变成光学惰性，线性偏振光通过此液晶元时偏振方向无任何改变。因此，光通过了前偏振片。TN 液晶元作为 TFT/LCD 显示介质在其发展中起着非常重要的作用。

氢化非晶硅 (a-Si:H) 在液晶技术中虽然发展较晚，但是对于 TFT/LCD 走向实用化过程产生了重大影响。自从第一次由 Dundee 研究组⁶ 报道，a-Si:H TFT 被认为是最适合 TFT/LCD 的器件。a-Si:H 的迁移率足够大，足以用来保证对液晶电容和存储电容充电。a-Si:H 放电电流结果达到足够低水平的规模，在一帧时间内，不会使像素电容放电，这是由于无掺杂 a-Si:H 高电阻率所致。a-Si:H 另一个很重要的特点就是能够大面积制备。大面积的均匀性和循环再生性能够相对容易得到。能够低温下制备也是很重要的，这样就能应用玻璃基板。而且能够获得 a-Si:H 和其他薄膜如金属、绝缘体和半导体之间良好的界面特性。正是由于这些特点，氢化非晶硅 TFT 比其他为数众多的制备 TFT/LCD 材料，获得了广泛的认同。

至于液晶，自从发现它以来，已有 100 多年的历史。在 1888 年奥地利植物学家 F. Reinitzer 就报告了他先前提纯的胆甾苯萘化合物（安息香酸盐）在温度范围 $145.5 \sim 178.5^\circ\text{C}$ 表现很强的双折射性质。他当时给德国物理学家 O. Lehmann 送来了这个样品，此样品在这个温度范围呈现出紊流特性。O. Lehmann 发现这种材料在 crossed Nikol 下观察时表现出光学各向异性，第一次创造出液晶这个名词。这次发现直到作为显示介质花费了很长时间（大概 80 年）。甚至此后大约过了 20 年的时间才开发出了实用的 TFT/LCD。但是，以前花费如此长时间研究和开发，我们目前正处于受益于这些结果的阶段，这些将在后面描述。

第 1 章参考文献

1. Weimer, P.K. (1966). Thin film transistors. In *Field Effect Transistors*, edited by J.T. Wallmark and H. Johnson. New Jersey: Prentice Hall.
2. Lechner, B.J., Marlowe, F.J., Nester, E.O., and Tufts, J. (1971). liquid-crystal matrix displays. *Proc. IEEE*, 59, 1566-1579.
3. Heilmeyer, G.H., Zaroni, L.A., and Barton, L.A. (1968). Dynamic scattering: a new electrooptic effect in certain classes of nematic liquid-crystals. *Proc. IEEE*, 56, 1162-1171.
4. Brody, T.P., Asars, J.A., and Dixon, G.D. (1973). A 6 × 6 inch 20 lines-per-inch liquid-crystal display panel. *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-20, 995-1001.
5. Schadt, M. and Helfrich, W. (1971). Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid-crystal. *Applied Physics Letters*, 18, 127-128.
6. LeComber, P.G., Spear, W.E., and Gaith, A. (1979). Amorphous-silicon field-effect device and possible application. *Electronics Letters*, 15, 179-181.

第 2 章 TFT/LCD

TFT/LCD 是一种应用广泛的平面显示屏。它主要的应用领域包括消费电子、计算机和通信终端，但是 TFT/LCD 应用到这些产品上也是最近才发生的事。大约 40 年来，阴极射线管 (CRT) 占据显示世界的统治地位。CRT 最大的成功应用就是黑白和彩色电视机。随着计算机行业的发展，计算机终端显示系统也为 CRT 提供了一个巨大的市场。结果，“显示”一词等同于 CRT。

但是现在形势变化很快，晶体管和集成电路的发展使得计算机的体积大大减小。这是由于微处理器、半导体存储器以及其他器件性能的提高，结果大型计算机就让步于微机、工作站和个人计算机。这种发展促进了平面显示时代的到来，包括 TFT/LCD。这些显示模式不仅避免了 CRT 显示屏的曲面问题，而且还具有重量轻、耗能少的特点。这些特点使它们成为现代电子系统的理想显示方式。

TFT/LCD 一般由屏的对角线长度和分辨率来表征。图 2-1 给出了显示面积和像素（显示单元）数对应关系。图中的数字例子对应于实际视频数据终端。在计算机显示屏中，每一个像素一般由三种颜色条组成（一个红的，一个绿的，一个蓝的）。图 2-1 表示了这种结构的相对大小，并且假定像素是方形的。640（行） \times 480（列）的分辨率对应于 VGA（Video-Graphic-Array，视频图像阵列）显示器。如果一个像素的面积为 0.33mm^2 对应于 VGA 显示器的对角线长度应该为 26.4cm 或者 10.4in。在分辨率为 1280（行） \times 1024（列）的屏中，像素的数量超过 100 万，有超过 300 万的 RGB 点或者称之为亚像素。因此在这块屏上要制造大约 300 万个 TFT 与之对应。

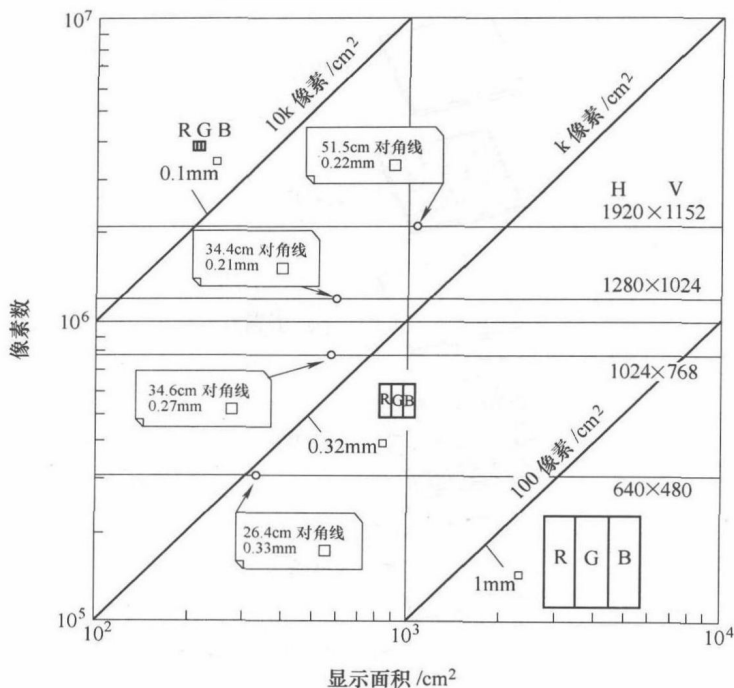


图 2-1 显示面积和像素（显示单元）数对应关系（行和列的像素数目在图中用 H 和 V 表示，这与计算机显示终端相对应。对应每一种分辨率，都假设基板尺寸为 460mm × 360mm，以此为例说明制备的显示屏大小和像素尺寸）

2.1 TFT/LCD 的结构

图 2-2 给出了 TFT/LCD 的一般结构。液晶注入在两个玻璃基板之间，即 TFT 阵列板和彩膜基板之间。彩膜基板也叫公共电极基板。透明的公共电极是由 ITO（Indium and Tin Oxide，铟锡氧化物）半导体制备的，沉积在彩膜的上面。为了获得良好的显示质量，必须精确控制盒厚（比如两个玻璃基板之间的距离）到一个特定的值，例如 $5\mu\text{m}$ 。这个盒厚在整个显示区域上必须是均匀的，并且每次制备的盒厚都要是一致的。因此就必须要有例如塑料小珠之类的透明隔垫物放在玻璃基板的表面。

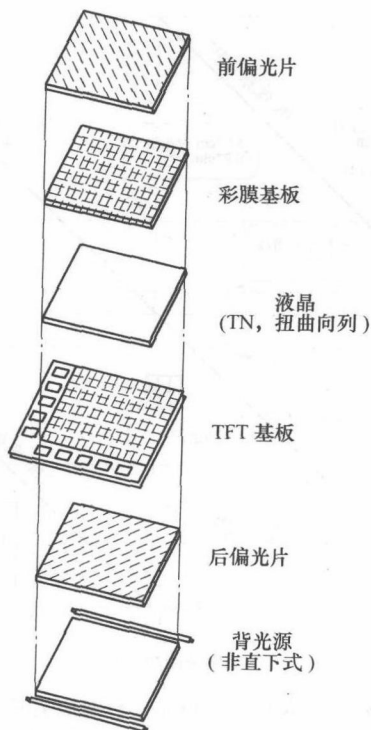


图 2-2 TFT/LCD 的一般结构 (TFT 和彩膜基板是两个相互平行的玻璃基板, 液晶注入在它们中间。这里显示的是对应于常白模式的相互交叉的偏光片系统)

液晶分子的指向在彩膜基板和 TFT 基板之间旋转 90° 的液晶盒是扭曲向列型 (参看第 5 章)。图 2-2 表示了交叉偏振片系统, 其中后偏振片起背光起偏器的作用, 前偏振片起检偏器的作用。此系统中, 如果在液晶盒上没有施加电压, 光就会通过检偏器, 如果施加的电压足够高, 使液晶分子垂直排列, 光的传播就受到阻止。液晶分子被锚定在玻璃基板的表面, 以便它的分子指向合适的方向。为了固定锚定方向在玻璃基板表面涂敷一层有机薄膜如聚酰亚胺薄膜, 而且薄膜表面要沿一定方向用纤维进行摩擦。相对于玻璃基板表面液晶分子要倾斜几度。这个倾斜角度称为预

倾角，在决定 TFT/LCD 的光电性质方面起很重要的作用，这部分将在后面论述。

TFT 基板包括 TFT 阵列和连接驱动阵列的周边电路，大规模集成电路（LSI）就和周边电路封装在一起驱动 TFT 屏。驱动 LSI 本质就是水平和垂直线的扫描信号发生器。这些大规模集成电路用 TAB（Tape Automated Bonding，柔性电路板）连接带直接连接在玻璃基板上。它们给显示屏的每一个像素提供视频信号，这些信号通过信号处理器和控制器传递到屏。TFT/LCD 的模块和控制示意如图 2-3 所示。

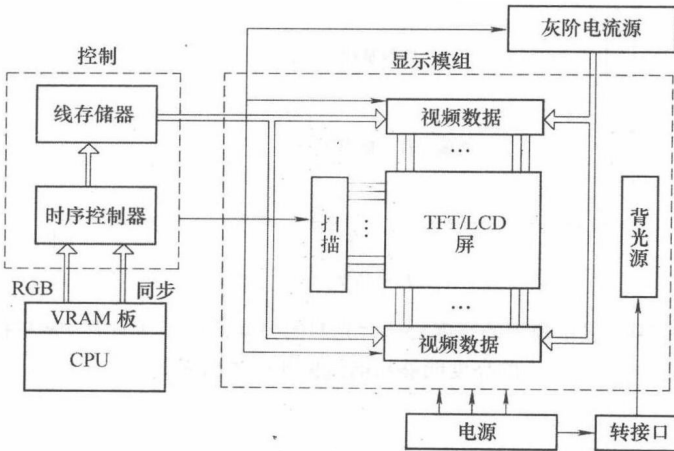


图 2-3 显示系统的示意图（控制器、电源和其他电路组合在一起进行显示）

背光系统可以是直下式的，也可以是非直下式的。对于直下式的光源，一个或多个荧光灯设置在背偏振片下面。对于非直下式光源，需要导光板传导置于侧面的灯光。如图 2-4 所示，背光照通过显示模块时发生衰减。偏光片和彩膜的最大透光率分别为 $1/2$ 、 $1/3$ ，结合起来的透光率为 $1/6$ 。像素的开口率进一步使这个数值减小。如果开口率是 50%，那么综合起来的透光率是 8%。但是这仅仅是透光率的上限，在实际系统中，综合透光率为 3% ~ 6%。图 2-5 展示了一个实际背光源的光谱。三波长型光

源通常用作背光源。

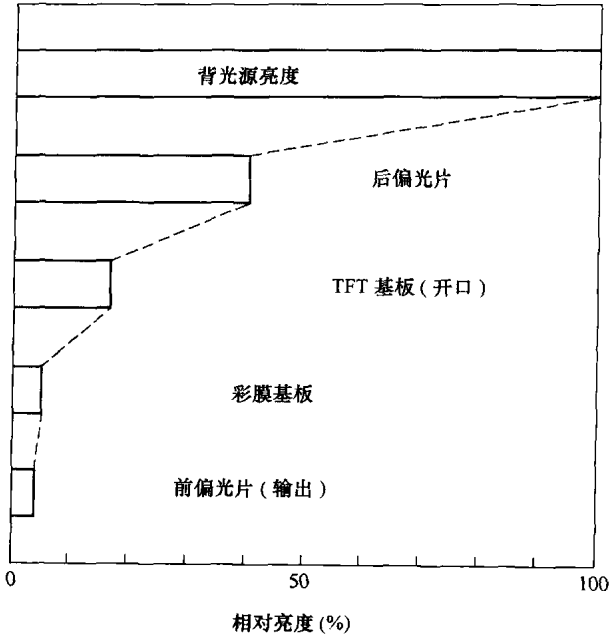


图 2-4 显示模组的亮度要比背光源的亮度低很多（只有 5% 左右的亮度能够从前偏振片中透出来）

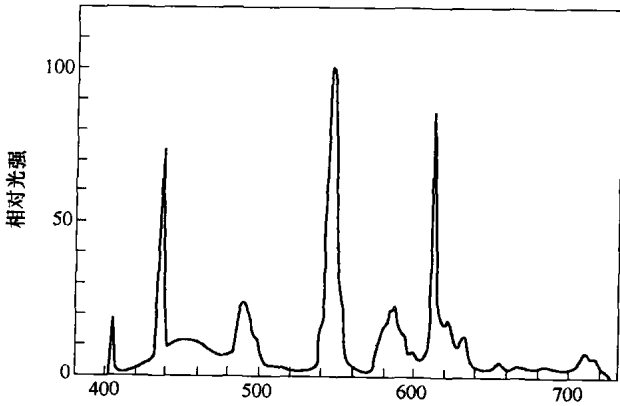


图 2-5 一个背光源照明光谱的例子（设计 R、G 和 B 的三个波长以获得显示屏显示的最好显示质量）