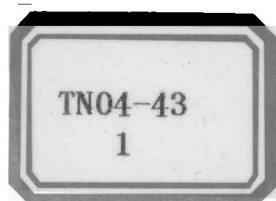


现代信息材料导论

XIANDAI XINXI CAILIAO DAOLUN

吕银祥 袁俊杰 邵则淮 编著





现代信息材料导论

吕银祥 袁俊杰 邵则淮 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

现代信息材料导论/吕银祥,袁俊杰,邵则淮编著.

—上海:华东理工大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-5628-2435-0

I. 现... II. ①吕... ②袁... ③邵... III. 电子材料—
高等学校—教材 IV. TN04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125171 号

现代信息材料导论

.....

编 著 / 吕银祥 袁俊杰 邵则淮

责任编辑 / 周永斌

责任校对 / 徐 群

封面设计 / 陆丽君

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 上海展强印刷有限公司

开 本 / 710 mm×1000 mm 1/16

印 张 / 13.75

字 数 / 269 千字

版 次 / 2008 年 9 月第 1 版

印 次 / 2008 年 9 月第 1 次

印 数 / 1—3050 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2435-0/TQ·133

定 价 / 28.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

前言

21 世纪的中国已经步入信息化时代。信息经济在国民经济中占据着主导地位,并构成社会信息化的物质基础。以计算机、微电子和通信技术为主的信息技术革命是社会信息化的动力源泉。信息技术在生产、科研、教育、医疗保健、企业和政府管理以及家庭中的广泛应用对经济和社会的发展产生了巨大而深远的影响,从根本上改变了人们的生活方式、行为方式和价值观念。

信息材料是在微电子技术、光电子技术、半导体技术以及功能材料学的基础上发展起来的一类新型材料,主要用于信息获取、存储、处理、传递和显示等设备的制造。信息材料已经开始从传统的硅基半导体转向有机半导体——有机信息材料。其标志主要有:

(1) 液晶 液晶电视机占据大面积平板电视机 80% 以上的市场份额,其中所有的笔记本电脑均配置液晶显示器。液晶材料在国内外都有很大的产值。

(2) 可擦写光盘 可擦写光盘的核心是附在聚碳酸酯基片上的有机材料,现在 CD-R、DVD-R 的应用已经非常广泛。

(3) 塑料电子学 塑料电子学被美国《科学》杂志评为 2000 年十大科学成就之一。随着柔性显示器、柔性晶体管、柔性太阳能电池、柔性线路板的进一步发展,将会出现可以卷起来装在口袋里的柔性计算机。

本书既反映了当代有机信息材料的发展状况,也体现了信息材

料未来的发展趋势。主要内容有:有机信息传输材料(塑料光纤),有机信息探测材料(有机传感器),有机信息处理材料(有机场效应晶体管),有机信息显示材料(液晶、有机电致发光),有机太阳能电池材料,有机信息存储材料(有机光盘、有机电存储),分子电子材料(分子导线、分子二极管、分子计算机等),有机电子封装材料等重要部分。

本书由吕银祥主编,其中第1、3、4、5、7、9、10、11章由吕银祥编写,第2、12章由袁俊杰编写,第6、8章由邵则淮编写。

感谢复旦大学材料科学系物理电子学教研室及分子电子学实验室所有同仁的支持。另外,限于作者水平,不当与不足之处,恳请指正。

编 者

2008年7月

内 容 提 要

全书共分 12 章,主要介绍了各种信息材料,包括有机信息传输材料,有机信息探测材料,有机信息处理材料,有机信息显示材料,有机太阳能电池材料,有机信息存储材料,分子电子材料,有机电子封装材料等内容,采用以点带面的方式,结合实际,选取重要的信息材料应用实例着手,详细介绍了它们的结构、功能、制备方式及应用,同时介绍了信息材料的发展状况及发展趋势。

本书适用于材料类专业本科学学生作为教材,也可供从事信息材料研究者作为参考书。

目录

CONTENTS

第1章 绪论

1.1 有机信息探测材料——有机传感器	2
1.2 有机信息传输材料——塑料光纤	4
1.3 有机信息处理材料	6
1.3.1 有机薄膜晶体管	6
1.3.2 分子电子材料	7
1.4 有机信息显示材料	11
1.4.1 液晶显示	11
1.4.2 有机电致发光二极管材料	13
1.5 有机信息存储材料	15
1.5.1 有机光存储	15
1.5.2 有机电存储	16
1.6 其他先进信息材料	17
1.6.1 有机太阳能电池材料	17
1.6.2 有机电子封装材料	18
1.7 有机电子产业展望	19

第2章 导电高分子材料

2.1 导电高分子材料	24
2.2 导电高分子材料的导电机理	28
2.3 掺杂率对导电高分子材料导电能力的 影响	29
2.4 导电高分子的应用	30

第3章 有机传感器及探测器材料

3.1 有机传感器材料	37
-------------------	----

3.1.1 聚合物生物传感器	38
3.1.2 聚合物离子传感器	39
3.1.3 聚合物气敏传感器	40
3.1.4 聚合物湿敏传感器	41
3.1.5 其他新型有机传感器	41
3.2 有机探测器材料	43
3.3 有机传感器及探测器的应用	46

第4章 塑料光纤

4.1 塑料光纤的发展历程	50
4.2 塑料光纤材料	51
4.3 塑料光纤的制备	54
4.4 塑料光纤的类型	55
4.5 塑料光纤的优缺点	56
4.6 塑料光纤传感器	57
4.6.1 什么是光纤传感器?	57
4.6.2 塑料光纤传感器	58
4.6.3 塑料光纤传感器应用领域	58
4.7 塑料光纤应用展望	59

第5章 有机薄膜晶体管材料

5.1 晶体管的发展历史	61
5.2 有机薄膜晶体管(OTFT)材料	63
5.2.1 小分子晶体管材料	63
5.2.2 聚合物薄膜晶体管材料	65
5.3 有机薄膜晶体管的制备	66
5.4 有机薄膜晶体管的应用	68

第6章 液晶显示材料

6.1 液晶材料	75
6.2 含氟液晶材料及其制备	80
6.3 液晶混合物	81
6.3.1 液晶混合物的性质	82
6.3.2 液晶混合物的配制	84

6.4 液晶显示原理	85
6.4.1 偏振片透光原理	85
6.4.2 液晶显示器结构	86
6.5 薄膜液晶显示器(TFT-LCD)的制造 流程	88
6.6 液晶材料国内外发展情况	92

第7章 有机电致发光材料

7.1 OLED 基本结构和发光机理	97
7.2 OLED 常用材料	99
7.2.1 电极材料	99
7.2.2 载流子传输材料	100
7.2.3 发光材料	104
7.3 OLED 器件制作关键步骤	111
7.3.1 ITO 的洗净及表面处理	111
7.3.2 有机薄膜蒸镀工艺	111
7.3.3 金属电极的制作工艺	112
7.3.4 OLED 器件防老化处理	113
7.4 高分子发光材料及器件(PLED)	113
7.5 OLED 与 PLED 的比较	116
7.6 树状发光材料	117
7.7 OLED 技术及应用展望	119

第8章 有机太阳能电池材料

8.1 染料敏化太阳能电池的基本结构及工作 原理	125
8.2 染料敏化剂	127
8.2.1 染料敏化剂的特点	127
8.2.2 敏化剂的种类	128
8.3 染料敏化太阳能电池的手工制作	135
8.4 染料敏化纳米晶太阳电池的应用	136

第9章 有机光存储材料

9.1 CD-R 染料的读写机理	142
------------------------	-----

9.1.1 一次性写入,多次读出式	142
9.1.2 可读写式	143
9.2 染料的性质和种类	144
9.3 光盘生产流程	150
9.4 光存储技术进展	151
9.4.1 新一代光存储技术	151
9.4.2 光存储发展的关键技术	153
9.4.3 光盘研发进展	154

第10章 有机电存储材料

10.1 有机电存储器的特性	158
10.2 有机电存储材料类型	158
10.2.1 小分子电存储材料	158
10.2.2 聚合物电双稳材料	164
10.2.3 基于扫描探针技术(SPM)的有机电存储材料	167
10.3 有机电存储的应用	171

第11章 分子电子材料

11.1 分子器件原理	175
11.2 分子导线	175
11.3 分子开关	179
11.4 分子整流器	182
11.5 分子存储器	187
11.6 分子计算机	190
11.7 分子电子学展望	192

第12章 先进电子封装材料及有机显示器件的封装

12.1 CPU 芯片的主要封装技术	195
12.2 环氧树脂电子封装材料	198
12.3 环氧树脂的发展方向	203
12.4 先进电子封装材料	204
12.5 有机显示器件的封装	207

第1章 | 绪论

信息,又称讯息资讯,是一种消息,通常以文字、声音或图像的形式来表现,是数据按有意义的关联排列的结果。信息就是指以声音、语言、文字、图像、动画、气味等方式所表示的实际内容。信息是客观事物状态和运动特征的一种普遍形式,客观世界中大量地存在、产生和传递着以这些方式表示出来的各种各样的信息。

与信息处理相关的行为和活动主要有:

信息收集——感知、测量、识别、获取、输入等;

信息加工——分类、计算、分析、综合、转换、检索、管理等;

信息存储;

信息传递;

信息使用——控制、显示等。

信息处理系统是用于辅助人们进行信息获取、传递、存储、加工处理、控制及显示的综合使用各种信息技术的系统,如图 1.1 所示。

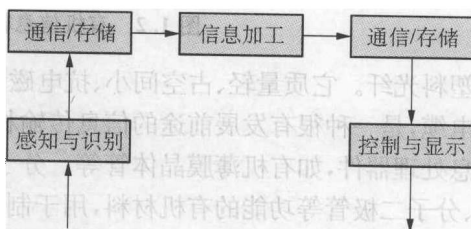


图 1.1 信息处理系统结构

电子信息材料是指在微电子、光电子技术和新型元器件基础产品领

域中所用的材料,主要包括以单晶硅为代表的半导体微电子材料;以激光晶体为代表的光电子材料;以介质陶瓷和热敏陶瓷为代表的电子陶瓷材料;以钕铁硼(NdFeB)永磁材料为代表的磁性材料;光纤通信材料;以磁存储和光盘存储为主的数据存储材料;压电晶体与薄膜材料;以储氢材料和锂离子嵌入材料为代表的绿色电池材料等。这些基础材料及其产品支撑着通信、计算机、信息家电与网络技术现代信息产业的发展。电子信息材料的总体发展趋势是朝着大尺寸、高均匀性、高完整性以及薄膜化、多功能化和集成化的方向发展。当前的研究热点和技术前沿包括柔性晶体管、光子晶体、第三代半导体材料(SiC、GaN、ZnSe等宽带半导体材料)、有机显示材料以及各种纳米电子材料等^[1-3]。

有机信息材料属于有机功能材料,是为实现信息探测、传输、处理、显示、存储等功能使用的材料。按功能分,有机信息材料主要有以下几类:(1)有机信息探测材料,主要包括对电、磁、光、声、热辐射和压力变化或化学物质敏感的材料,该材料可用来制成传感器。(2)有机信息传输材料,主要是聚合物光导纤维,简

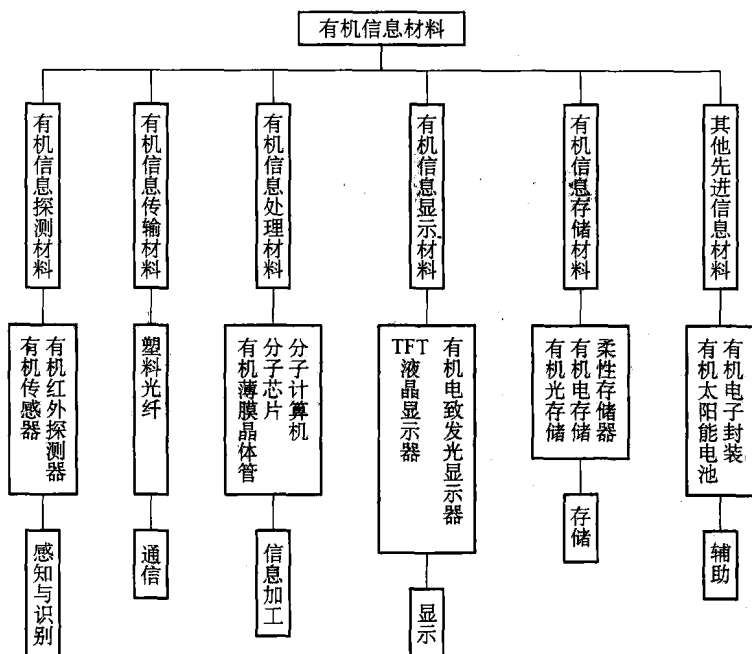


图 1.2 有机信息材料功能分类图

称塑料光纤。它质量轻、占空间小、抗电磁干扰、通信保密性强,可以制成光缆以取代电缆,是一种很有发展前途的信息传输材料。(3)有机信息处理材料,用于制造信息处理器件,如有机薄膜晶体管等。分子电子材料,包括具有分子开关、分子导线、分子二极管等功能的有机材料,用于制造分子电路及分子计算机芯片。(4)有机信息显示材料,包括用于平板显示的 TFT 液晶材料、有机电致发光二极管材料等。(5)有机信息存储材料,包括有机光存储材料,用于制作光盘;有机电存储材料,用于动态随机存取存储器。(6)其他先进信息材料,包括有机信息能源材料,主要是有机太阳能电池材料,太阳能电池(Solar Cell)是将太阳光能直接转变为电能的装置;有机电子封装材料,用于集成电路以及柔性显示器的封装。

1.1 有机信息探测材料——有机传感器

国家标准 GB7665—87 对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。该环节是实现自动检测和自动控制的首要环节。

有机高分子传感器是用有机高分子材料作为敏感材料的传感器。有机高分子材料是 20 世纪 60 年代发展起来的新型材料,这类材料分别具有电学、光学、热学、机械、化学和生物学等特性,扩大了传感器技术的应用领域。在电子功能

高分子材料方面以力敏、热敏、光敏等元件发展最为迅速。例如,聚偏氟乙烯及其共聚物系列材料具有优良的抗辐射性、电绝缘性、化学稳定性、热稳定性,经过拉伸、极化、镀电极等处理后加工成薄膜,表现出强压电效应、电致伸缩效应和热释电效应,在传感器方面的应用前景颇引人注目。又如三甘氨酸硫酸盐有机热释电晶体薄膜有很高的热释电系数,是一种非接触式的新型热电敏感材料,可将热辐射直接转换成电信号。这种传感器响应频率高、速度快、频带宽,不受辐射波长限制,在气体分析、遥测、遥感等方面有独特优越性。目前,人们已研制出立体声耳机、传声器、高频扬声器、加速度计、水听器、声呐探测器、海洋监测装置、海岸警戒装置、水下声成像、超声无损探伤、声表面波、延迟线、无触点开关、键盘开关、光纤开关、红外探测器、入侵报警器和印刷传感器等产品。在医疗器械中则有心音计、胎音计、脉搏计、人体组织的超声断层实时显像设备、A型超声扫描设备、血流量检测器、假肢传感器、盲人触觉传感器等产品。

2000年,富士胶片开发了一种高感度数码相机传感器基本技术,可使感光度提高3倍^[4]。该技术与一般数码相机上使用的 Charge Coupled Device (CCD, 电荷耦合器件,一种半导体成像器件)不同,它采用了在半导体元件上纵向铺设特殊有机材料的构造,从而获得比现有 CCD 的感光度提高3倍的能力。改变 CCD 像素布局的超级 CCD 逐步站稳脚跟之后,采用叠层排列有机感光材料的新技术让人眼前一亮。

从结构上分析(如图1.3所示),这种技术更接近传统胶片,充分利用了光线,不仅能提高敏感度,还可以有效增加清晰度。但在有机材料带来高性能的同时,也带来了产品寿命短的隐忧,影响了产品化的周期。

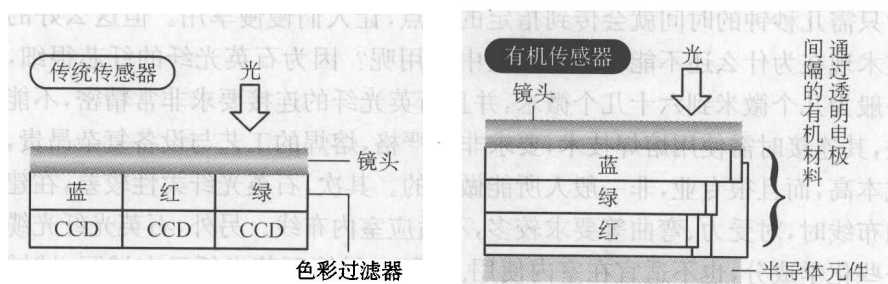


图 1.3 数码相机中有机传感器与传统传感器的比较

传感器是数码相机感知光线并把图像转换成数字信号的“心脏”。在摄影过程中传感器需要分别捕捉“红”、“蓝”和“绿”光线三原色。目前的 CCD 传感器均采用横向排列方式来捕捉“红”、“蓝”和“绿”光线,完成彩色照片的拍摄。而新开发的 CCD 传感器把能感受“红”、“蓝”和“绿”光线的有机材料作纵向式的重叠排列。各有机材料之间夹有透明电极,光线进入引起电极间电子流动产生电流,电流转成信号完成摄影过程。新传感器通过有机材料的层叠化提高了其感光度,

与传统传感器相比,配有新传感器的相机在昏暗的场所也能拍出清晰的照片。

此外,相关公司还试制了绿感光的半导体芯片,虽然只是搭载了与绿色起反应的有机材料,但是经实际拍摄,拍出了非常漂亮而且充满立体感的黑白影像,现在正在赶制红色和蓝色的半导体元件,相信该技术“能使银盐胶片的优点在数码相机上予以体现”。

1.2 有机信息传输材料——塑料光纤^[5]

光纤是一条玻璃或塑胶纤维,是一种将讯息从一端传送到另一端的传输媒介。通常“光纤”与“光缆”两个名词会被混淆。多数“光纤”在使用前必须由几层保护结构包覆,包覆后的缆线即被称为“光缆”。光缆分为:光纤,缓冲层及披覆。光纤外层的保护结构可防止周遭环境对光纤的伤害,如水、火、电击等。光纤和同轴电缆相似,只是没有网状屏蔽层,中心是光传播的玻璃芯。在多模光纤中,芯的直径是 $15\sim 50\ \mu\text{m}$,大致与人的头发的粗细相当,而单模光纤芯的直径为 $8\sim 10\ \mu\text{m}$ 。芯外面包围着一层折射率比芯低的玻璃封套,以使光纤保持在芯内。再外面的是一层薄的塑料外套,用来保护封套。光纤通常被扎成束,外面有外壳保护。纤芯通常是由石英玻璃制成的横截面积很小的双层同心圆柱体,它质地脆,易断裂,因此需要外加一保护层。

石英(玻璃)光纤以其大容量、高速度、低损耗在城域网及城域网的干线中已被大量使用,成为远距离传输信息的最佳选择,其成熟的吉比特($1\ \text{GB}=1\ 024\ \text{MB}$,家里的互联网下载速度一般是 $3\sim 5\ \text{MB}$)级别技术已经得到广泛应用。这种传输技术在瞬间内能将大量的文字、声音和图像信息传送到远方,例如,一部DVD大片只需几秒钟的时间就会传到指定的地点,让人们慢慢享用。但这么好的传输技术现在为什么还不能在普通家庭中使用呢?因为石英光纤的纤芯很细,直径一般为几个微米到六十几个微米,并且石英光纤的连接要求非常精密,不能有偏差,其连接时需使用熔焊技术,要求非常严格,熔焊的工艺与设备复杂昂贵,不仅成本高,而且很专业,非一般人所能做到的。其次,石英光纤柔性较差,在建筑物内布线时,对受力、弯曲等要求较多,不适应室内布线。另外,石英光纤光缆中的一些化学成分,也不适宜在室内使用。所以,尽管石英光纤已在城际、城域网中大量使用,但在密集型用户的局域网接入中,遇到了很大的困难,从而导致了所谓“最后一公里”问题的出现——具有高速吉比特通信性能的石英光纤网络,在到达“路边”、“街边”甚至小区的“楼边”后,却不能到达局域网中的千家万户,享受不到吉比特级别的通信资源,致使我们现在的互联网电脑上传及下载的速度仍然在 $10\ \text{MB}$ 以下而不能进一步提高。在解决“最后一公里”的问题上,能不能找到一种既有石英光纤的优点,可利用“时分复用”及“波分复用”技术而达到大容量、高带宽的目的,又能像双绞线网络电缆那样方便、便宜且易安装的传输介质呢?这就是通信用塑料光纤。

塑料光纤的概念对于我们来说并不生疏,日常生活中也能见到,如每年用于圣诞树上五颜六色的照明用塑料光纤,就是其中的一种,它不同于通信用塑料光纤,一般由单一折射率的材料制成,直径由零点几毫米到十几毫米。通信用塑料光纤是由两种或两种以上折射率材料制成,从光纤的剖面看似两个(或两个以上)同心圆,里面含轴心的圆称为纤芯,而外层的环状物称为包层,包层厚度一般为 $10\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 。光纤的直径(含包层)一般为 $0.25\sim 1\text{ mm}$,比石英光纤粗很多。通信用塑料光纤的纤芯材料折射率大于包层材料的折射率,当两者的比值达到一定的数值时,根据折射原理,光纤内沿光纤轴向传输的光将会被外部的包层全反射回纤芯,而不会“漏”到外面,使光信号在传输过程中损失最小,达到传递光信号的目的。光纤外层只有一个包层结构的塑料光纤称为突变型或阶跃型光纤,如果有两个或两个以上包层结构的称为多阶型或梯度型光纤。另有一种结构的是纤芯材料的折射率由光纤轴心向外连续变化的,越靠近轴心的折射率越高,我们把这种光纤称为渐变型光纤,这种结构的光纤外层也有包层。

塑料光纤的研制是近二十年来的事情,国外最早是美国杜邦公司在 20 世纪 70 年代开始研究。20 世纪 80 年代,日本三菱公司开发出可用于通信领域的 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)通信用塑料光纤,其光信号损耗参数(衰减系数)已经小于 200 dB/km(这是一个非常重要的参数,塑料通信光纤的损耗参数一般不能大于 200 dB/km)。而进入 90 年代,日本的公司又开发出含氟的渐变型通信

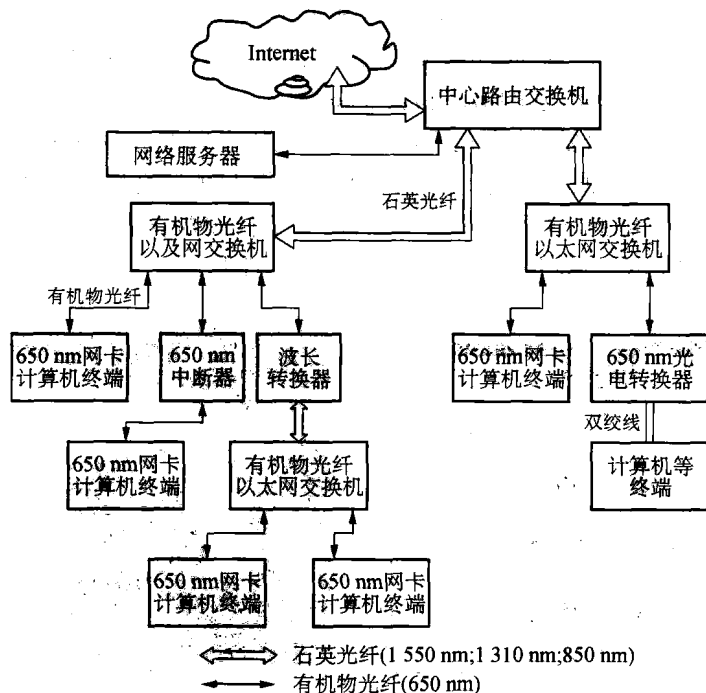


图 1.4 石英光纤与有机物光纤的应用示意图

用塑料光纤,其衰减系数已降至 60 dB/km。2000 年日本 ASAHI GLASS 公司开发出的氟化梯度型通信用塑料光纤,其衰减系数已降至 41 dB/km,而且它的带宽(另一个重要的参数)也达到 100 MB 以上,成为良好的多媒体信息传输媒介。如图 1.4 所示为石英光纤与有机物光纤的应用示意图。

1.3 有机信息处理材料

1.3.1 有机薄膜晶体管

薄膜晶体管(Thin Film Transistor, TFT)又称场效应管^[6]。由载流子参与导电,也称为单极型晶体管。它属于电压控制型半导体器件,具有输入电阻高($10^8 \sim 10^9 \Omega$)、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点,现已成为双极型晶体管和功率晶体管的强大竞争者。场效应管可应用于放大器,由于场效应管放大器的输入阻抗很高,因此耦合电容容量较小,不必使用电解电容器。

有机薄膜晶体管(Organic Thin Film Transistor, OTFT)的基本结构和功能与传统的薄膜晶体管(TFT)基本相同(图 1.5)^[7],不同的是它采用了有机半导体作为工作物质。与现有的非晶硅或多晶硅 TFT 相比,OTFT 具有以下特点:加工温度低,一般在 180℃ 以下,不仅能耗显著降低,而且适用于柔性基板;工艺过程大大简化,成本大幅度降低,气相沉积和印刷打印两种方法都适合大面积加工;材料来源广泛,同时环境友好,发展潜力大。这些特点符合社会发展和技术进步的趋势,因此,它的出现和进展在国际上引起广泛关注,很多大公司和研发机构竞相投入研发,特别是在欧洲已形成研发联盟。OTFT 的性能(载流子迁移率)以平均每两年提高十倍的速度在发展,目前综合性能已经达到了商业上广泛使用的非晶硅 TFT 水平。可以说,有机薄膜晶体管将成为新一代平板显示的核心技术^[8]。图 1.6 为基于 OTFT 的柔性芯片。

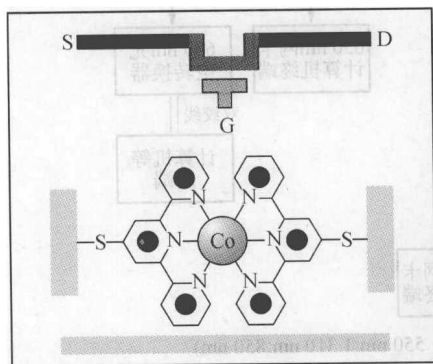


图 1.5 有机薄膜晶体管的结构

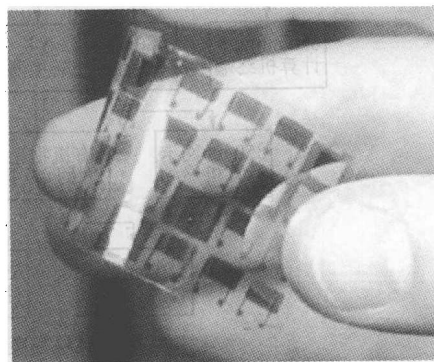


图 1.6 基于 OTFT 的柔性芯片

在有机薄膜晶体管发展的初期,提高有机半导体的载流子迁移率是研发的主要目标,代表性的高迁移率有机半导体主要有聚噻吩、六噻吩、并五苯、并四苯和酞菁铜等,其中并五苯多晶薄膜的载流子迁移率超过 $1.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。众多的研究机构围绕并五苯展开了系统而深入的研究,成果瞩目。这个阶段的有机电子学一般也被称为并五苯电子学。并五苯是一类荧光颜料,最早由法国国家科学院的 Garnier 小组在 1991 年筛选出来作为 OTFT 的半导体材料,但是其载流子迁移率和开关电流比很低。美国宾州大学的 Jackson 小组随后对并五苯薄膜晶体管进行了深入的研究,取得可喜的成果:发展出高载流子迁移率并五苯多晶薄膜的制备方法和改善接触电阻的电极修饰方法;采用多级环型振荡器证明有机半导体的动态特性能够满足平板显示的需要;有机薄膜晶体管液晶显示器(OTFT-LCD)和有机薄膜晶体管有机电致发光显示器(OTFT-OLED)样机展现出了 OTFT 的美好应用前景。但是,并五苯由于其特殊的分子结构,一方面在光照或水氧存在的环境下其化学稳定性不够好,另一方面它也容易升华挥发致使其欠缺物理稳定性,这些不稳定的因素限制了它的进一步实际应用。

化学和物理稳定性比较好的代表性材料是酞菁铜、酞菁锌、酞菁铁、酞菁铂、酞菁镍、酞菁锡和自由酞菁等,由美国贝尔实验室的鲍哲南最早在 1996 年筛选出来,但是它们的载流子迁移率低于 $0.02 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,只是并五苯的 1%。因此,寻找到物理和化学性质稳定的高载流子迁移率有机半导体成为 OTFT 实用化的一个关键所在。

1.3.2 分子电子材料

300 多年前,德国大数学家、哲学家莱布尼兹曾经就感慨道:“让一些杰出人才像奴隶般地把时间浪费在繁复的计算上是不值得的。”于是,他开始研究计算用的机器,由于科学整体水平的限制,早期的计算机是机械齿轮式的,通过手摇做一些简单的计算,运算速度很慢。尔后,电子技术突飞猛进的发展给计算机的进步带来了新的契机。1946 年,世界上第一台电子数字计算机“ENIAC”(爱尼卡)在美国宾夕法尼亚大学问世。其总质量达 30 多吨,占地 150 多平方米,耗电 140 kW。它由 18 000 个电子管组成,每秒运算 5 000 次,存储量只有 20 个十位(十进制),而且需要经常更换电子管。这个 60 年前被视为“一代天骄”的庞然大物,其功能还不如今天一张扑克牌大小的微型计算机。

现在最大规模的集成电路,指甲大小的芯片上的晶体管数目已达 550 万个。一般认为,单晶硅片上生产大规模集成器件的技术已接近极限。如何才能使计算机进一步发展呢?作为计算机发展的目标,除了运算能力要进一步大型化、高速化之外,还要能够进行思维,即模拟人工智能。从计算机发展的历史不难看出,新材料的出现,往往可以导致计算机的升级换代,因此,在制作材料上必须获