

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

信息材料

姜复松

编著

化学工业出版社



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

信 息 材 料

姜复松 编著

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

信息材料/姜复松编著. —北京: 化学工业出版社,
2003. 1

(高新技术科普丛书)

ISBN 7-5025-4318-X

I. 信… II. 姜… III. 电子材料-普及读物
IV. TN04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 107316 号

高新技术科普丛书

信 息 材 料

姜复松 编著

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 王苏平

文字编辑: 林 媛

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 7¼ 字数 191 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4318-X/TQ·1661

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《高新技术科普丛书》编委会

主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，
中国工程院院士

委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士
闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，
中国科学院院士，中国工程院院士
袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，
中国科学院院士
朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士
孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士
张立德 中国科学院固体物理研究所研究员
徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师
冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的世纪，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的世纪，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重

要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

洛育祥

2000年9月

前 言

信息技术自古有之。中国古代四大发明中的指南针、造纸术和印刷术等三项，都属于信息技术之列。现代信息技术是以计算机与通信技术为核心，对各种信息进行收集、存储、处理、传递和显示的高技术群。本书所述的信息材料是指与现代信息技术相关的材料。

信息材料是信息技术的基础和先导。半导体材料的发展孕育了集成电路技术、计算机信息处理技术、半导体激光器技术和半导体传感器技术；光导纤维材料的发展促成了光纤通信技术；磁记录和光记录材料的发展推进了磁盘和光盘存储技术；液晶材料和其他有机、无机发光材料的发展产生了平板显示技术。由此可见，信息材料的发展对于信息技术的发展是至关重要的。

现代信息技术的发展日新月异，新产品不断涌现。Internet、移动通信、个人电脑、数字视频、电子商务和软件等相关信息产业已成为世界经济的龙头产业。当前，信息技术正在向数字化、网络化、高速化、大容量化、集成化和智能化方向发展。为了适应这种发展，急需研发各种新型信息材料。例如，记录两小时数字传输速率为 25MB/s 的高清晰度卫星数字广播至少需要 22~23GB 的记录容量，目前 4.7GB 的 DVD-RAM、DVD-RW 等光盘的记录容量显然是不够的，这就要求研发新型高速高密度信息存储材料；又如电子计算机在天气预报和大型结构工程方面需要处理大量二维和三维数据，但电子计算机的串行结构存在“瓶颈”效应、时钟歪斜和交叉干扰等固有限制，使其容量和运行速度受到限制。光计算具有并行处理及高速、大容量和无交叉干扰等特点。因此，将光互连、光调制和光开关等集成光学器件引入电子计算机和开发更多的集成光学功能器件以实现未来光子计算机的构想是突破电子计算机局限性

的有效途径，是信息处理技术的最重要发展方向之一。这就要求研发各种具有良好电光、声光以及非线性效应的各种光波导材料。同样，在光纤通信、平板显示和传感器等领域也迫切要求研发各种新的信息材料。因此，信息材料是一个在不断迅速扩大的庞大家族。

本书是一本介绍信息材料的高新技术科普读物。作者力图简明扼要地向读者介绍信息材料领域的最新研究成果。全书共分10章。第1章导论介绍信息材料的基本概念、发展历程和应用范围。第2章和第3章分别介绍对现代信息技术的发展至关重要的微电子芯片技术材料和半导体激光器材料。第4章至第8章按照信息材料的功能分类，分别介绍信息传感材料、信息存储材料、信息传输材料、信息显示材料和信息处理材料。第9章介绍信息材料产业的现状。第10章是对信息材料、技术和产业发展趋势的展望。读者可通过本书对信息材料有一全局的了解。

信息材料涉及的知识面非常广泛，笔者力图用简单通俗的语言将涉及各类信息材料的功能、机理和特性等方面的知识介绍给读者，但由于笔者水平有限和时间仓促，不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

在本书编写出版过程中，化学工业出版社王苏平编辑对本书章节的编排提出了宝贵的意见，华东理工大学郑涛、杨勇、闫茂林、刘娜等同学在资料收集和图表绘制方面做了大量的工作，在此一并致谢。

姜复松

2002年11月

内 容 提 要

本书是一本介绍信息材料的高新技术科普读物。本书主要内容包括信息材料的基本概念、发展历程和应用范围,微电子芯片技术材料和半导体激光器材料,信息传感材料、信息存储材料、信息传输材料、信息显示材料和信息处理材料。本书还介绍了信息材料产业的现状,以及对信息材料、技术和产业发展趋势的展望。本书内容全面,叙述简洁。可供政府部门领导、企事业单位管理人员、科技工作者和大专院校师生阅读参考。

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 信息材料的基本概念	1
1.2 信息材料的发展历程	8
1.3 信息材料的应用范围	20
第 2 章 微电子芯片技术材料	25
2.1 半导体和集成电路原理	25
2.2 元素半导体材料	34
2.3 化合物半导体材料	37
2.4 固熔体半导体材料	39
2.5 超晶格半导体材料	41
2.6 集成电路互连材料	43
2.7 钝化层材料	44
2.8 化学机械抛光材料	44
2.9 封装材料	45
2.10 积层多层板 (BUM) 材料	46
第 3 章 半导体激光器材料	47
3.1 半导体激光器原理	47
3.2 蓝光半导体激光器材料	50
3.3 蓝绿光半导体激光器材料	51
3.4 红光半导体激光器材料	52
3.5 近红外短波长半导体激光器材料	53
3.6 近红外长波长半导体激光器材料	55
3.7 中红外波段 ($2\sim 3\mu\text{m}$) 半导体激光器材料	56
3.8 中远红外波段 ($4\sim 17\mu\text{m}$) 半导体激光器材料	57
第 4 章 信息传感材料	60
4.1 力敏传感材料	60
4.2 热敏传感材料	62

4.3	光学传感材料	65
4.4	CCD 芯片材料	68
4.5	磁敏传感材料	72
4.6	气敏材料	73
4.7	湿敏材料	75
4.8	压敏材料	76
4.9	生物传感材料	77
4.10	光纤传感材料	79
第 5 章	信息存储材料	81
5.1	半导体存储器材料	81
5.2	磁存储材料	85
5.3	无机光盘存储材料	87
5.4	有机光盘存储材料	103
5.5	超高密度光存储材料	107
5.6	铁电存储材料	114
第 6 章	信息传输材料	116
6.1	微波通信材料	116
6.2	GSM 数字蜂窝移动通信材料	122
6.3	光纤通信材料	127
第 7 章	信息显示材料	139
7.1	液晶显示材料	139
7.2	等离子体显示材料	144
7.3	阴极射线管显示材料	145
7.4	场发射显示材料	146
7.5	真空荧光显示材料	147
7.6	无机电致发光显示材料	148
7.7	有机电致发光显示材料	151
第 8 章	信息处理材料	158
8.1	微电子信息处理材料	158
8.2	光电子信息处理材料	162
8.3	集成光路材料	169
8.4	光电子集成回路材料	173
第 9 章	信息材料产业	175

9.1 微电子信息材料产业	175
9.2 光电子信息材料产业	181
第 10 章 展望	189
10.1 信息材料的发展趋势	189
10.2 信息技术的发展趋势	193
10.3 信息产业的发展趋势	199
参考文献	209

第 1 章 导 论

1.1 信息材料的基本概念

现代信息技术是以微电子学和光电子学为基础，以计算机与通信技术为核心，对各种信息进行收集、存储、处理、传递和显示的高技术群。本书所述的信息材料就是指与现代信息技术相关的、用于信息的收集、存储、处理、传递和显示的材料。

人体本身也具有对信息进行收集、存储、处理、传递和显示的各种功能。例如，我们的眼睛具有视觉功能，可以用来观察周围的事物，并能分辨色彩，因此我们能够欣赏风景，陶醉于大自然的鬼斧神工；我们的耳朵具有听觉功能，能够欣赏音乐，因此才会有那么多的音乐发烧友；我们的鼻子具有嗅觉功能，能够感知并识别各种气味，因此我们才能分辨香臭，并有书香铜臭之说；我们的舌头有味觉功能，能够分辨酸甜苦辣，因此才会有那么多美食家；我们的皮肤具有触觉功能，因此我们才会有冷暖痛痒的感觉。也就是说，我们人体的眼睛、耳朵、鼻子、舌头、皮肤能够感知、接收和收集周围的各种信息。我们的各种神经细胞具有传递信息的能力，把我们的眼睛、耳朵、鼻子、舌头、皮肤收集到的信息传递给我们的大脑；我们的大脑具有分析、判断、处理、存储信息和通过人体神经网络向我们的四肢传递信息、发布命令的功能，因此我们才能记住往事、积累知识，我们的四肢才会对感知的信息迅速做出反应等；我们脸部喜怒哀乐的表情，我们明亮或暗淡的眼神，我们的脸红或脸色发白，都是我们内心世界的显示。因此，我们人体本身就是集收集、存储、处理、传递和显示信息功能之大成的一个信息系统。

然而，虽然我们人体具有这些功能，但我们的这些功能并不十

分强大，我们的视力、听力、嗅觉、味觉和触觉并不十分灵敏。但值得自豪的是，我们人类的大脑非常发达，具有很强的学习和创造能力，能够创造发明各种器件来弥补人体的不足。事实上，现代信息技术对信息的收集、存储、处理、传递和显示的各项功能在很多方面已经远远超过人体自身的功能，它们大大增强了人体收集、存储、处理、传递和显示信息的各种能力。

现代信息技术对各种信息的收集、存储、处理、传递和显示是通过各种信息功能器件来实现的，而这些信息功能器件又是以各种信息材料为主构成的。不同的信息功能器件具有不同的信息功能，因此，构成这些器件的信息材料也各不相同。

具有信息收集功能的器件主要是一些传感器和探测器，例如对力学量的变化有传感作用的器件有金属型力敏传感应变器和半导体应变计等；对温度变化有传感作用的器件有热敏电阻；对光有传感作用的器件有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电探测器、红外探测器和 CCD 探测器等；对磁场变化有传感作用的器件有磁敏电阻、磁敏二极管、磁敏三极管等；对气体种类和含量有传感作用的器件有气敏传感器；对湿度变化有传感作用的器件有湿敏传感器；对生物材料种类和含量有传感作用的器件有各种生物传感器如酶传感器、免疫传感器、DNA 芯片等。

上述信息传感和探测器件都是用以信息传感材料为主的材料制成的，例如，用来制作力敏传感器的信息传感材料有金属应变电阻材料和半导体压阻材料等；用来制作热敏传感器的信息传感材料有正温度系数和负温度系数（NTC）热敏材料等；用来制作光敏传感器和探测器的信息传感材料有光敏电阻材料、光电导型和光伏型半导体光电探测器材料；用来制作磁敏传感器的信息传感材料有半导体磁敏电阻材料和强磁性薄膜磁敏电阻材料；用来制作气敏传感器的信息传感材料有 n 型或 p 型金属氧化物半导体气敏材料、金属氧化物气敏材料和高分子气敏材料；用来制作湿敏传感器的信息传感材料有陶瓷湿敏材料和高分子湿敏材料；用来制作生物传感器的信息传感材料有生物酶、动植物组织、微生物、抗体、抗原和单链

核酸。

信息传感材料中还包括各种光纤传感材料, 光纤传感材料是指相位、极化、波长、幅度、模功率分布、光程等光学参数会随着被测环境或物体的物理量或化学量的变化而变化的一类光纤材料。按照材质分类可分为全石英光纤材料、掺杂石英光纤材料、微晶玻璃光纤材料等。按照用途分类主要可分为用于电场、磁场测量的光纤传感材料, 用于压力、弯曲和旋转测量的光纤传感材料, 用于温度测量的光纤传感材料和用于有害气体、液体测量的光纤传感材料等。

具有信息存储功能的器件主要是一些存储器, 例如固定只读存储器 (ROM)、可编程只读存储器 (PROM)、紫外光改写的只读存储器 (UVEPROM)、电可改写只读存储器 (E^2 PROM)、闪烁只读存储器 (Flash ROM)、静态随机存储器 (SRAM) 和动态随机存储器 (DRAM) 等半导体存储器; 铁电随机存取存储器 (FRAM) 和高容量动态随机存取存储器 (DRAM) 等铁电存储器; 磁带、硬磁盘、软磁盘等磁存储器; CD-A、VCD、CD-ROM、CD-R、CD-RW、相变光盘 (PD)、磁光盘 (MO)、微型磁光盘 (MD)、DVD、DVD-R、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-RW、DVD+RW、蓝光盘等光盘存储器以及光子选通光谱烧孔存储器、全息存储器、近场扫描光纤存储器 (NSOM)、超分辨近场光学存储器 (Super-RENS)、基于扫描隧道显微镜和原子力显微镜探针技术的纳米存储器等。

相应地, 用来制作这些信息存储器件的信息存储材料主要有半导体存储材料、铁电存储材料、磁存储材料、有机光存储染料、磁光存储材料、相变存储材料、光谱烧孔材料、光折变晶体和光折变聚合物材料、分子存储材料、纳米存储材料等。

具有信息处理功能的器件分为微电子信息处理器件和光信息处理器件两大类。微电子信息处理器件主要是指可用来制作对电信号具有检波、倍频、混频、限幅、开关、放大功能的各种信息处理电路的场效应晶体管、双极型晶体管、点接触晶体二极管、肖特基势

垒二极管、隧道二极管、变容二极管、雪崩二极管、体效应二极管等和以这些晶体管（包括二极管）为基本细胞的各种模拟集成电路、数字集成电路和微波集成电路。光信息处理器件主要是指用来对激光的相位、频率、偏振态和强度进行调制或对激光进行倍频、混频、光参量放大及光参量振荡等变频处理的器件，例如电光相位（频率）调制器、电光强度调制器、光开关、空间光调制器、声光调制器、磁光调制器、光倍频器、光参量振荡器、光参量放大器等。

用来制作微电子信息处理器件的信息材料主要有硅、锗等半导体材料和 GaAs 系列、InP 系列等半导体材料，二氧化硅等氧化物材料，微波铁氧体材料，铝、铜等金属电极、引线材料等。用来制作光信息处理器件的信息材料主要有电光调制材料，声光调制材料，磁光调制材料，非线性光学材料，GaAs 系列、InP 系列、GaN 系列等半导体激光器材料，二氧化硅等氧化物材料，LiNbO₃、PMMA 等波导材料等。

具有信息传输功能的器件主要是指用于光通信、微波通信、移动电话通信的一些器件，如用于光纤通信系统的光纤光缆、光纤连接器、光纤分路器、光发射机（包括半导体激光器）、光隔离器、波分复用器、光开关、光衰减器、光纤偏振态控制器、光中继器、光接收机等；用于微波通信系统的 Ka(35GHz)和 V(60GHz)频段战术通信用 GaAs MMIC 芯片、地面终端、手持式终端、星载和机载有源阵天线、手持式或手表式全球定位系统（GPS）接收机等器件；用于 GSM 蜂窝移动电话系统的移动通信手机（主要包括射频收发集成电路、逻辑/音频集成电路、用户身份识别模块 SIM 卡、数据交换接口 SIM-ME）、基站子系统 BSS（主要包括无线调制解调器、编码变速器/速率适配单元）和网络交换子系统 NSS（主要包括移动交换中心 MSC 以及归属位置寄存器、访问者位置寄存器和认证鉴别中心三个数据库）等器件。

用于光通信的信息材料主要是各种光纤材料、半导体激光器材料（用于提供传输信息用的载体——激光）、光耦合材料、光波导

材料、电光材料、掺铒光纤放大器材料、半导体光电探测器材料等；用于微波通信的信息传输材料主要是微波相控阵天线材料、旋磁微波铁氧体材料和 Si 或 GaAs 微波收发集成电路材料；用于 GSM 蜂窝移动电话系统的信息传输材料主要是用于手机的天线材料、Si 基收发集成电路材料，用于基站子系统 BSS 和网络交换子系统 NSS 各种 Si 基或 GaAs 基集成电路的材料等。

具有信息显示功能的器件主要是指阴极射线管和液晶显示 (LCD)、等离子体显示、电致发光显示、场发射显示、真空荧光显示 (VFD) 等各种平板显示器。其中液晶显示器可细分为扭曲向列型液晶显示 (TN-LCD)、超扭曲向列型液晶显示 (STN-LCD)、薄膜晶体管液晶显示 (TFT-LCD) 等；电致发光显示则可细分为交流薄膜电致发光显示、交流粉末电致发光显示、发光二极管 (LED) 和有机电致发光显示 (OLED)。

用于上述显示器件的信息材料，因显示原理不同，也有很多种。例如用于液晶显示的是各种液晶的混合物及用来制作 TFT-LCD 中的薄膜晶体管的非晶硅、多晶硅和 CdSe 等半导体材料；用于等离子体显示的主要是能在真空中被紫外光高效激发的红、绿、蓝三基色荧光粉和用于放电辐射紫外光的 He : Xe 或 Ar : Hg 混合气体；用于交流粉末电致发光显示的是掺 Cu、Al、Mn 的 ZnS 基质发光粉；用于交流薄膜电致发光显示的有掺 Mn 或稀土元素的 II-VI 族化合物半导体、氧化物和氟化物基质发光材料；用于 LED 的有以 GaP 为衬底的 GaP 系列半导体发光层材料和分别以 Al_2O_3 、ZnSe、SiC 为衬底的 InGa 系列、ZnSe 系列和 SiC 发光层材料。用于 OLED 的有机分子电致发光材料主要可分为低分子系和高分子系两大类。低分子系主要有电子传输发光材料、空穴传输发光材料、双极性发光材料和掺杂发光材料等；高分子系主要有 PPV 等 π 共轭聚合物和掺入低分子发色团的 PVK 聚合物等。

通过以上的介绍，我们对信息材料有了比较具体的了解。信息材料本身并不具备收集、存储、处理、传递和显示信息的功能，但以信息材料为主构成的某些器件却具有这些功能。有些信息材料如