

国家自然科学基金科普项目
《信息世界与人类》科普丛书



走进信息材料的微观世界

ZOUJIN XINXI CAILIAO DE WEIGUAN SHIJIE

(第二版)

——微电子与固体电子技术

陈 艾 陈 勇 高敏三 等编著

翻开人类发展的历史，人们不难看出社会的进程是与材料的使用和进步息息相关、互为依托的，材料科学与技术推动了人类文明发展链条的运转，并成为其支撑点，乃至成为人类文明的“里程碑”，从而被誉为“宇宙文明之母”和“未来最令人兴奋的学科”。



电子科技大学出版社

国家自然科学基金科普项目
《信息世界与人类》科普丛书

走进信息材料的微观世界

——微电子与固体电子技术

(第二版)

陈 艾 陈 勇 高敏三 等编著

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

走进信息材料的微观世界: 微电子与固体电子技术

/ 陈艾等编著. -- 2版. -- 成都: 电子科技大学出版社,
2011.9

(《信息世界与人类》科普丛书)

国家自然科学基金科普项目

ISBN 978-7-5647-0981-5

I. ①走… II. ①陈… III. ①微电子技术—普及读物

IV. ①TN4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第197667号

国家自然科学基金科普项目

《信息世界与人类》科普丛书

走进信息材料的微观世界——微电子与固体电子技术

(第二版)

陈艾 陈勇 高敏三等编著

出版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦
邮编: 610051)

责任编辑: 万晓桐

发行: 新华书店经销

印刷: 郫县犀浦印刷厂

成品尺寸: 146mm×208mm 印张 9.25 字数 238千字

版次: 2011年9月第二版

印次: 2014年5月第三次印刷

书号: ISBN 978-7-5647-0981-5

定价: 19.80元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话:(028) 83202323, 83256027。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

《信息世界与人类》科普丛书编委会

编委会主任 刘乃琦

编委会副主任 张孝澄

顾	问	查有梁	王孝达	王明东	彭 毅
编	委	龚耀寰	陈 艾	刘乃琦	张孝澄
		陈尚勤	廖昌明	张 钜	郝玉洁
		郭建东	谌黔燕	耿 技	许春香
		陈伟鑫	杨 益	陈 勇	高敏三
		李 军	熊万安	荆玉兰	郭建新
美术设计		张孝澄	李泰峰	石 巍	辜守义

序

很高兴看到有这么一套科普丛书出版，它们讲的是电子信息技术领域中的故事。通过这些故事和技术的展示，为青年读者和所有热爱科学的人们讲述了在现代社会中电子信息技术与人类生活的关系，讲述了科学技术是如何在影响和改变世界的过去、现在和将来。在构建和谐社会的进程中，科学技术和人文精神都是社会必要的因子。这套科普丛书的问世，其作用和意义是显然的。

这套丛书是由国家自然科学基金所支持的一个科普项目，丛书的主编、副主编和编委，都是电子科技大学（原成都电讯工程学院）的教师和教授。他们有的已经退休，有的还在院系领导岗位上和教学科研领域中辛勤工作，而且，他们都对科学技术的普及工作有极高的热忱，积极参加各类科普工作和活动。退休的同志以老科协为基地，活跃在各个科普领域，他们已经和正在做出新的贡献，还在继续发出光和热。

纵观国际一流的科技尖子人才、科学大师、科技领军人物，从整体上看，我国这类人物还不够多，我们的人才培养和科学普及的工作更是任重道远。胡锦涛同志在两院院士大会上提出六项要求，包括要终身学习和培养年轻人才。我们正在建设创新型国家，时不我待，要努力、努力、再努力。广大读者同志会从这套精致的科普作品中获得启迪，与我们一道进入信息世界，思索和解决电子信息领域与人类生活中的问题。不断地前进，与我们的老师、编委们一起前进。

中国科学院院士

林干

引 言

当今世界，科学技术突飞猛进，在很多领域，人们的梦想已然成真。想象与创新的思维不断推动着科学技术的进步，科学技术的进步又促进着人类社会的发展。其中，电子与信息技术的发展及其日益广泛的应用，正在改变着人类的生活方式。在信息领域，中国正面临着一场挑战，一场文化观念、传统意识、技术创新的挑战。中国要进入信息时代，首先是她的十余亿的人口要进入信息时代，人的观念的更新、思维的更新和生活方式的更新，使科学普及尤显其重要。

《信息世界与人类》这套由国家自然科学基金支持的信息技术科普丛书，是由电子科技大学的众多教授和科技工作者完成的一项重要的、具有创新性、探索性意义的工作，是他们在教学和科研工作基础上进行的又一项具有重要社会意义的工作，即科学技术的普及工作。

科技以人为本，人的创新思维的建立，人的观念的转变，人的科技知识的启蒙、构建和积累都离不开教育。信息时代教育的理念是：教育（Education）和学习（Learning）并重。当今时代，科学技术迅猛发展，知识更新周期急剧缩短。不论是对青少年的科学普及教育，还是成人群体的知识提升，都必须不断地普及、更新知识，才能适应新的社会环境，适应信息时代的发展，也才能造就信息社会中合格的公民。21世纪人的文化素质与国家和社会倡导的系统的、早期的、持续的科学普及教育紧密相关。科学普及是传播科学知识、弘扬科学精神、提高全民科学素质、建立良好社会风尚、构建和谐社会与和谐世界的重要举措。本套科普丛书的写作目的即在于此。

本套科普丛书的内容围绕“信息世界与人类”这个主题，阐

述了当今和未来的电子信息技术，重点突出现代技术、人类与社会的关系。内容分别涉及信息技术、计算机技术、通信技术、电子工程、微电子技术、网络技术、微波与激光、信息安全技术等领域。读者对象是具有一定阅读基础的、有兴趣了解和学习现代电子信息技术知识的非专业读者。通过在我们身边发生的种种与上述领域有关的故事，揭示这些高科技给人类思维和生活带来的变化和影响，也让读者通过这一个个的小故事了解和学习现代电子信息技术知识，引起对这些领域的注意和兴趣，引导读者进一步地学习、探索、思考和创新。

对现代电子信息技术进行科学性、趣味性和时代性的介绍，是本丛书撰写的要求。我们想尽可能地突出“现代”电子信息技术和“人”与“社会”的关系，然而，科普书籍的写作与技术专著写作是大不相同的，电子科技大学的教授和专家们对专业书籍的写作十分得心应手、游刃有余，但对待科普作品，他们反复斟酌、几易其稿，力求保持科学、技术与文学的和谐。本丛书的问世，对他们的科普情结也是一种深厚的回报。

本丛书有以下四个写作特点，也是各个分册对内容组织的编写原则：

1) 科学的电子信息技术：突出电子信息的科学性，着重体现科学技术的原理，在循序渐进的基础上，整体渗透地讲解电子信息技术，体现科普作品写作的逻辑性和科学性。

2) 应用的电子信息技术：突出电子信息技术的应用性，从日常应用的角度引入电子信息技术，突出电子信息技术与人们日常生活的关系，以及它对人们生活的影响，体现科普作品的应用性和普及性。

3) 有趣的电子信息技术：突出电子信息的趣味性，通过生动形象的语言和故事，阐述电子信息技术的重要原理和发展过程，培养读者对电子信息的兴趣，体现科普作品的艺术性和趣味性。

4) 发展的电子信息技术: 突出电子信息技术的发展性, 从电子信息技术的发展趋势出发, 探讨电子信息技术对社会发展的影响和电子技术发展的未来发展前景, 体现科普作品的社会性和时代性。

本丛书共有九分册, 分别为:

- 《生活在信息时代》——信息技术发展
- 《人类与电脑》——计算机文化
- 《电子让人们梦想成真》——现代电子技术
- 《人类社会的神经系统》——现代通信技术
- 《纵横于天地之间》——互联网络技术
- 《微波·激光的神奇应用》——现代电子与光子技术
- 《走进信息材料的微观世界》——微电子与固体电子技术
- 《探索安全的秘密》——信息安全技术
- 《信息时代的信息对抗》——电子战与信息战

《生活在信息时代》把我们带入了一个五彩缤纷的信息社会。从信息、信息技术、信息系统和信息社会等方面着手, 解答了什么是信息、“信息爆炸”、“信息高速公路”、“信息孤岛”、“金字工程”问题。讨论了信息与人、信息与社会发展的关系, 以及第三次浪潮对我们产生了什么样的冲击等一个一个与我们的生活息息相关的问题, 引导读者在信息的海洋中游历。

《人类与电脑》把计算机作为一种文化来诠释。今天, 计算机文化已经同其他文化一样深深地影响着人类的思维、生产和生活, 影响着人类社会的未来。人类是怎样发明计算机的? 计算机与电脑有区别吗? 计算与智能有什么样的关系? 计算机有着一副什么样的躯体(计算机硬件组成)? 它有灵魂(计算机软件系统)吗? 我们应该怎样和计算机打交道? 未来的计算机又会是怎样的呢? 本书将带给你满意的答案。

《电子让人们梦想成真》讲述了人们是如何把对电子世界的幻想变为现实的。幻想, 是人类进步的动力! 千里眼、顺风耳,

这些千百年来人类梦寐以求的幻想，终于在进入 20 世纪电子时代后成为了现实。现代电子技术在把人类的许多幻想变为了现实的同时，又打开了更大的人类幻想空间，本书通过对许多梦想成真的故事的讲述，揭示了电子世界的种种奥秘。

《人类社会的神经系统》把现代通信技术通过从古到今的讲述展示在读者面前。人们知道古人用灯光、旗鼓、烽火等简单方式来传送信息，现代人则将语言、文字、图像、数据、符号等各种信息通过不同的手段进行传输和交换。通信是随着人类进步而不断发展的，它也不断推动着人类社会的发展和进步。当各类信息网络扩展到世界每个角落时，整个世界就更为紧密地联系在一起。人们惊叹：“世界越来越小！”人们感慨：“全球距离越来越短！”人们感觉：“时间和空间变小了！”你是不是也有同样的感觉呢？

《纵横于天地之间》告诉你：不管你是谁，只要生活在当前的时代，你一定知道电话，知道电脑，知道上网……知道许许多多关于电子、关于计算机、关于网络的话题，这就是网络时代。网络的话题可多了：它是怎么来的？什么是“蜘蛛网”？网络的过去和现在，上网的方法，如何使用网络，互联网的安全，网络有“陷阱”吗？网络有“瘾”吗？网络文化和未来又是怎样的？到书中去找答案吧！

《微波·激光的神奇应用》讲述了现代电子与光子技术。光与波是我们从中学的物理课本中就已经了解到的知识，那么，激光和微波又是什么样的光和波呢？你用过微波炉和激光盘吗？那些伴随卡拉 OK 而诞生、普及的激光视听设备 CD、VCD、DVD 也已经悄然地进入了人们的家庭，提高了人们精神文化生活质量。

“告别铅与火、迎来光与电”的技术革命再次改变了印刷业，“光梳”技术完成了超精密光谱学测量……有人预言：“未来光子会取代电子而成为时代的主角，人类将进入一个崭新的光子时代。”这是多么激动人心的事情，让我们一起来了解“光”的神奇，展望

“光”明的未来吧。

《走进信息材料的微观世界》把微电子与固体电子技术展示在读者面前。翻开人类发展的历史，人们不难看出社会的进程是与材料的使用和进步息息相关、互为依托的，材料科学与技术推动了人类文明发展链的运转，并成为其支撑点，乃至成为人类文明的“里程碑”，从而被誉为“宇宙文明之母”和“未来最令人兴奋的学科”。令人兴奋的地方在哪里呢？那些纳米、巨磁阻、超导、磁悬浮、核磁共振、磁光盘、快离子导体等知识，也许正是你想知道的。

《探索安全的秘密》揭开了当今信息安全技术的秘密。也许你不能想象，在微小的电子信息世界里，数据和信息都危机四伏。计算机会感染病毒，网络上会有垃圾，信息会被偷窃，数据会被破坏……谁是这一切的罪魁祸首呢？黑客与红客，“警察”与“小偷”，攻击与防御……好像有一场世界大战在等着你。想知道克敌制胜的法宝，想成为安全的高手吗？本书会给你许多好的建议。

《信息时代的信息对抗》把现代电子战与信息战的技术与秘密揭示在读者面前。自有人类历史以来，在人类的政治、军事、经济、社会生活的各个领域都存在信息竞争和信息对抗，这种竞争和对抗在军事领域表现得非常突出。战争中的信息对抗包含三个方面：信息侦查、信息进攻和信息防卫。现代战争中，电子战和信息战始终占据着极为重要的地位，谁掌握了制信息权和制电子权，谁就掌握了克敌制胜的关键。军事爱好者可以从本分册中了解信息对抗、信息战和电子战的概念，了解自动化指挥系统、通信和通信对抗、雷达和雷达对抗、卫星和太空对抗等等奥秘。

本丛书将带你走进电子信息的世界，去发现这个数字化世界之谜。数字化“化”出了千千万万奇妙无比的景象、景色和景观，化成了万万千千玄妙缤纷的图形、图像和图片。数字化的过程是一种进化、变化、演化和催化。电子技术、微芯片技术、计算机技术、通信技术的发展不断改变着我们这个世界，使社会在进步

过程中变化，而我们的生活也在不知不觉中悄悄地融化在数字世界中了。

不过，本丛书也不能覆盖电子信息技术各个方面，科学技术正在一日千里地飞速发展，在回首之时，有的技术已经进了博物馆，有的技术也正在或即将被新的技术所替代或者融合，但它们是整个信息世界成长的见证，是信息社会发展的里程，是伴随人类生活的记忆。信息世界与人类就这样相辅相成、相互促进和发展着。

本丛书的问世得到了电子科技大学领导的大力支持，得到了电子科技大学老科技工作者协会的大力支持，得到了四川省科技协会和四川省科普作家协会的关注、关心和支持。也得到了电子科技大学出版社的编辑、美工和相关工作人员的大力支持，他们为本书的出版发行付出了辛勤的劳动。这个科普项目的实施也将会推动西部地区的科学普及工作，促进西部地区科技普及人才的成长，影响其他行业和技术的普及工作，为西部地区的经济发展、信息技术推广和信息知识的普及贡献力量。

信息社会的未来绚丽多彩，我们是等待未来到来还是积极投身到创造未来的实践中去呢？是享受未来数字化的果实还是亲身去规划未来，去播种、耕耘和收获未来呢？读者朋友，跟我们一道进入这个迷人的世界，去实现自己的理想吧！

阅读本丛书，也就进入了一个梦，怎么使自己的梦想成真，去学习、获取、更新自己的知识，做一个数字化的人，圆一个数字化的梦。

阅读该丛书，你一定会有收获的！

丛书编委会

前 言

翻开人类发展的历史，人们不难看出社会的进程是与材料的使用和进步息息相关、互为依托的：新材料的出现提高了生产力，把人类支配自然的能力提高到一个新的水平，而处于新生产水平的社会，则又自然地 toward 材料提出了更高层次的要求，从而使人类文明始终伴随着材料的进步，永无止境地向前发展。可以毫不夸张地说：材料科学与技术推动了人类文明发展链的运转，并成为其支撑点，乃至成为人类文明的“里程碑”，从而被誉之为“宇宙文明之母”和“未来最令人兴奋的学科”。

1991 年美国“国家关键技术报告”指出：材料科学的发展水平可以明显地为国家国防力量的发展提供基础，为整个高性能产品提高竞争能力，而且是各种高新技术成果转化为实用产品和商品化的关键所在。因此，把材料工程列为六大关键技术的首位。报告还指出：材料这一技术群与 70% 的新兴技术有着十分密切的关联。当前，各种新材料市场规模已超过每年 4 000 亿美元。

近年来材料科学及工程发展的趋势表明，信息材料是其中最活跃的部分，不仅出现了大量高性能的亮点，同时也使传统材料的生产发生了“革命性”的变化。其主要特征在于：

首先，深化至微观层次是材料研究发展重要的内涵。20 世纪 60 年代以前的新材料还主要是块体（三维）材料，20 世纪 70 年代的标志在于对表面、界面（二维）材料的开发，20 世纪 80 年代提出了原子层次尺度的加工，出现了诸如超大规模集成电路、超晶格、超导体、功能梯度材料以及 C_{60} ，多孔硅等新材料技术。20 世纪 90 年代后期以来，则进入了纳米（零维）晶体、量子器件等的研发阶段，它们在结构上更加复杂、信息含量更大、性能



逐渐趋于极限化。今后的发展方向将是对于单个原子的观察和操作，即实现一次仅一个或几个原子层的加工技术。

其次，复合化是材料科学的重要发展趋势。多种材料的交叉、融合及复合是发展新材料的一种重要手段。即利用多种基体与改性添加体的多层次复合及非线性复合效应，创造出全新性能的材料；而材料的复合化还是进入智能材料的可能途径。可以预言，未来复合材料的应用将引起材料结构设计的革命。

此外，理论分析-计算机模拟-高新实验技术的结合是未来发展新材料的重要研究方法。钱学森教授曾认为：流行的观念太落后，“炒菜”的方法太粗糙，材料科学本身也要现代化。他还指出：“现在材料科学已经发展到一旦有了设计就能把材料造出来……可以让工程设计人员、力学工作者和材料工作者一道，再加上电子计算机，把一项工程一直设计到细观或微观的水平。”近年计算材料学一经出现，便深受世界各国科技界的普遍重视。

最后，还应该强调的是，“研发-生产-应用”三位一体化是最终的要求。人们清楚地注意到，美国科学家纷纷获得了诺贝尔奖项，但日本产品却能迅速地转变成商品，占领市场，并产生了巨大的经济效益。比如，美国人发明了半导体激光器，但日本却很快便发展成为低成本激光光盘的产业大国，这是何等令人震惊的反差！我国有一支近百万人的新材料研究队伍、近 300 多个研究单位、1000 多个生产工厂、150 多个有关大学专业的毕业生数量与美国相近，总投资估计超过 50 亿元，在不少领域也取得了举世瞩目的成绩。但“成果一大片，商品看不见”的现状却十分突出，大大影响了我国工业特别是高技术产业的发展。

鉴于材料乃至信息材料的数量无比浩瀚，类型特别繁复，这本小册子实在无法逐一涉及、面面俱到、包罗万象。本书只望从一般已为人们所认可的分类：电介质材料、半导体材料及磁性材料为线索，并以作者比较熟悉的内容为主，进行一些有选择的简

要的叙述，其中涉及了诸如纳米材料、智能材料、纳米电子器件、超大规模集成电路、巨磁阻效应、磁悬浮技术、核磁共振成像、磁光记录以及快离子导体材料等为人们关注的、较新的内容。

由于本丛书是一类科普性读物，主要读者对象为中学生、非本专业技术人员及有关管理干部，故内容及文字力求浅显易懂，生动活泼、尽量引起读者的兴趣，以引导读者走进电子技术的大门。

本丛书由国家自然科学基金委资助，是在电子科技大学老科技工作者协会的大力支持，电子科技大学出版社的通力合作下完成的。其中还得到本丛书顾问查有梁教授、王孝达教授等的指导，在此谨向相关单位及同志表示衷心的感谢。

本书第三、四、八章由陈艾教授编写，第一、二章由陈勇副教授编写，第五、六、七章由高敏三副教授编写，全书由陈艾教授统稿。由于作者水平及时间所限，不妥乃至谬误之处在所难免，恳请读者不吝赐正。

编者

目 录

第一章 硅谷引发的半导体革命	1
一、什么是半导体	1
二、真空管及其终结者	9
三、肖克莱、巴丁和布拉顿的发现	12
四、晶体管之父威廉·肖克莱与硅谷的故事	19
五、半导体二极管	24
六、双极型晶体管 (BJT)	28
七、绝缘栅场效应晶体管	29
八、晶体管的未来——纳米器件	30
第二章 点石成金的集成电路技术	34
一、从晶体管到集成电路	34
二、又一位诺贝尔奖获得者的故事	36
三、集成电路平面工艺——“仙童”的发明	39
四、集成电路是怎样加工而成的	42
五、淀积工艺	45
六、钝化工艺	46
七、光刻工艺	46
八、神奇的预言家——戈登·摩尔和“摩尔定律”	49
九、摩尔定律的背后	59
十、芯片能植入人脑吗？——摩尔设想	64



第三章 纳米材料：小尺寸中的大世界	72
一、一个具有空前震撼力的创举	72
二、人类的第三度智慧空间与纳米世界	78
三、纳米材料的精髓——神奇而有趣的纳米效应	80
四、低维纳米结构完美定律与分形概念	85
五、魅力无穷的纳米材料之王——碳纳米材料家族：富勒烯	90
六、鬼斧神工与火眼金睛：纳米材料的研究与纳米结构的操 纵	100
七、从匕射（Beeser）谈起：纳米材料应用面面观	106
第四章 从敏感、灵巧到智能材料	122
一、坏事变成好事——从追求材料性能的稳定到利用材料性 能的变化	122
二、从传感、灵巧到智能材料	124
三、智能材料的雏形——从恒温驱蚊器谈起	127
四、自动调光、控温的电子窗帘——灵巧窗	129
五、永不忘本的材料——形状记忆合金	132
六、既是固体又是液体：电流变体	136
七、巧妙地实现力与电的可逆转变：压电材料	140
八、由智能材料的蓝本——“细胞”引发的仿生智能膜材	145
九、生物与生命活动是智能材料的追求——智能分子体系仿 生材料工程	149

第五章 磁现象、生命与现代磁医疗技术	157
一、生命的“保护伞”：从指南针的奥秘谈起	157
二、维持生命现象的又一要素：地磁场	160
三、信鸽与候鸟擅长导向之谜	165
四、人第六感外的另一种感觉：磁觉与人体磁场	167
五、古今“磁疗”	170
六、核磁共振成像与现代医学	172
七、核磁共振：获得诺贝尔奖次数最多的一个学科	181
第六章 磁特性及磁性材料揭秘	187
一、居里夫妇对磁学的贡献	189
二、磁特性与材料微观机构的奥妙	191
三、神奇的磁滞回线和磁特性	198
四、软磁材料、片式电感与当代通信	202
五、永磁，一颗永远跳动的心	207
六、微波技术的一大突破	210
七、奇异的磁性液体	213
八、奔向 21 世纪的磁悬浮列车	217
第七章 信息爆炸与“磁电子技术”崛起	223
一、信息的磁记录是怎样进行的	223
二、什么是磁头？磁头演变三部曲	225
三、纳米走进硬盘——量子磁盘（QMD）的诞生	231
四、垂直记录技术揭秘	235
五、磁光记录与磁光存储怎样才能实现	240
六、巨磁电阻 GMR 效应、磁电子学和磁电子器件	244