

国家重点图书

沈绪榜 编著

# 工业发展的面包

—— 芯片



清华大学出版社  
暨南大学出版社

沈绪榜 编著

# 工业发展的面包

—— 芯片



清华大学出版社



暨南大学出版社

# (京)新登字 158 号

## 图书在版编目(CIP)数据

工业发展的面包——芯片/沈绪榜编著. —北京:清华大学出版社;  
广州:暨南大学出版社, 2002

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-04881-9

I. 工… II. 沈… III. 芯片—普及读物 IV. TN43-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 079823 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河, 邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 宋成斌

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7.375 字数: 141 千字

版 次: 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04881-9/G·223

印 数: 0001~5000

定 价: 15.00 元

## 《院士科普书系》编委会(第二届)

**编委会名誉主任** 周光召 宋 健 朱光亚

**编委会主任** 路甬祥

**编委会委员** (两院各学部主任、副主任)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 陈佳洱 | 杨 乐 | 闵乃本 | 陈建生 | 周 恒 |
| 王佛松 | 白春礼 | 刘元方 | 朱道本 | 何鸣元 |
| 梁栋材 | 卢永根 | 陈可冀 | 匡廷云 | 朱作言 |
| 孙 枢 | 安芷生 | 李廷栋 | 汪品先 | 陈 颢 |
| 王大中 | 戴汝为 | 周炳琨 | 刘广均 | 杨叔子 |
| 钟万勰 | 关 桥 | 吴有生 | 刘大响 | 顾国彪 |
| 陆建勋 | 龚惠兴 | 吴 澄 | 李大东 | 汪旭光 |
| 陆钟武 | 王思敬 | 朱建士 | 郑健超 | 胡见义 |
| 陈厚群 | 陈肇元 | 崔俊芝 | 张锦秋 | 刘鸿亮 |
| 方智远 | 旭日干 | 周国泰 | 王正国 | 赵 铠 |
| 钟南山 | 桑国卫 |     |     |     |

**编委会执行委员** 郭传杰 常 平 钱文藻 罗荣兴

**编委会办公室主任** 罗荣兴(科学时报社)

**副主任** 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

**总 策 划** 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

**总 责 任 编 辑** 周继武 蔡鸿程 宋成斌

# 提高全民族的科学素质

## ——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

15 世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

---

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用 50 年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

---

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

江泽民

1999年12月23日

## 人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰

的大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长  
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

## 本书前言

1957年10月4日,苏联的第一颗人造地球卫星飞向深邃的太空,开创了人类征服宇宙的新纪元。

也许是命运的巧合,同年同月同日,我从北京大学数学力学系毕业,分配到中国科学院计算所,开始了我的科学研究生涯。那天当我从广播里听到了苏联第一颗人造地球卫星发射成功这一科学上划时代成就的消息时,不禁心潮澎湃,热血沸腾。人类能将人造地球卫星送上天,真是太奇妙了!出于年轻人的好奇心,我多想立刻知道卫星是个什么样儿,是用什么特殊材料制成的,又是什么魔力把它送上天的?这一连串的谜使我燃起破译的渴望,我多么想立刻揭开有关卫星上天的神秘面纱,多么希望能亲眼目睹人造卫星射向浩瀚深邃的宇宙!带着这样美好的遐想和求知的渴望,我踏上了工作岗位,开始了上下求索的漫漫之路。在研制工作中,我与芯片结下了不解之缘。受约我撰写了这本小册子。书小内容多,加之芯片业发展迅猛,故撰改难度大,尽管自1999年第1稿后三易其稿,但仍难令人满意。仅就书名而言,就几经更改。现取名《工业发展的面包——芯片》,出自以下考虑。

1947年12月23日,这是一个值得人类永远纪念的日子。就在这一天,20世纪最有影响的创造发明之一,世界上的第一只晶体管研制成功了,从此拉开了人类社会步入电子

时代的序幕。为了实现进一步的小型化,人类又大约经历了 10 来个春秋的艰苦探索,终于形成了集成电路的概念,并于 1958 年研制出了世界上的第一块平面集成电路芯片,标志着一个崭新的芯片世界的到来。

最初的小规模集成电路芯片,只能实现逻辑门与触发器之类的基本电路单元的功能。然而,人类无止境创新能力使芯片的集成度一直按照摩尔的预言,以每 18 个月提高一倍的惊人速度上升着。芯片上能实现的功能迅速地从基本电路单元的功能,上升到以处理器与存储器为代表的模块的功能,而现在集成电路芯片则与各个科学技术领域的电子设备已经是密不可分,各种电子设备都面临着价廉物美的挑战,都要采用集成电路芯片技术来提高自身的性能和降低成本。芯片集成度的提高已经达到不能用微处理器与存储器等词汇来描述单个芯片所能实现的功能,已经进入了所谓系统芯片(system on chip)的新阶段。集成电路芯片本身的价值体现,也开始作为系统的组成部分走向系统的本身。

人类正站在用单个芯片实现系统集成的高度上,开发着现代的芯片制造技术、芯片设计与芯片应用技术,以满足人类对产品的日益迫切的微型化、数字化与智能化的自然要求。把芯片作为各种科学技术发展的媒介,来研究我们周围的一切现象,已经是现代科学技术与国民经济发展的一个重要特点。据统计 1996 年全球就已拥有 3500 亿块芯片,其中微处理器芯片就有 150 亿块。这就是说,地球上的每个人平均早已拥有两块以上的微处理器芯片。据说在日本每个家庭平均拥有约 100 块芯片。从这些数目就可以看出人类对芯片的依赖关系。人们估计,到 21 世纪初,你接触到的每



一样东西里都将装有芯片。

无所不在的芯片有力地说明了：芯片真有写不完的无限深厚的技术内涵，芯片也真有道不尽的无限广泛的应用前景。只要仔细考查一下芯片是怎样实现微型化，而给人类带来一个无限小的产品世界的；只要仔细分析一下芯片是怎样完成数字化，而奠定信息社会的数字化基础的；只要仔细研究一下芯片是怎样支持智能化，而架设着人类渴望的人工智能大厦的，我们就会清楚地看到而且会不难相信：现代工业的发展是绝对离不开芯片的，正如人类的生存绝对离不开粮食那样，芯片成了工业发展的面包。

在成书过程中，既受到了许多同行的支持，也得到了出版界的帮助。特别值得提出的是，张朝阳同志以其文字功力为本书增色。在此一并表示感谢。

沈绪榜

2001 年 11 月



# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>1 奔腾的心——从电脑芯片谈起</b>    | 1  |
| 1.1 给你一颗奔腾的“芯”            | 2  |
| 1.2 芯片与信息战                | 4  |
| 1.3 芯片世界导论                | 6  |
| <b>2 回望过去的脚步——芯片的发展由来</b> | 15 |
| 2.1 巴贝奇的幻想                | 17 |
| 2.2 电子管的实现                | 19 |
| 2.3 数学家的贡献                | 21 |
| 2.4 晶体管的魅力                | 30 |
| 2.5 集成化的竞赛                | 31 |
| 2.6 无心插柳柳成荫的英特尔           | 36 |
| <b>3 浓缩就是精华——芯片的功能应用</b>  | 40 |
| 3.1 小芯片改变大世界              | 41 |
| 3.2 芯片是怎样感知的              | 47 |
| 3.3 芯片是怎样变换的              | 57 |
| 3.4 芯片是怎样计算的              | 65 |
| 3.5 芯片是怎样推理的              | 77 |
| 3.6 芯片是怎样学习的              | 86 |
| 3.7 芯片是怎样记忆的              | 94 |

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 3.8 | 芯片是怎样集成的 .....          | 100 |
| 4   | 厚积而薄发——芯片的设计、生产过程 ..... | 113 |
| 4.1 | 芯片设计相同与不同 .....         | 114 |
| 4.2 | 符号的作用 .....             | 117 |
| 4.3 | 芯片的生产过程 .....           | 120 |
| 5   | 挑战极限——芯片的发展极限 .....     | 125 |
| 5.1 | 物理极限 .....              | 126 |
| 5.2 | “薄”的极限 .....            | 127 |
| 5.3 | “窄”的极限 .....            | 128 |
| 5.4 | “浅”的极限 .....            | 132 |
| 5.5 | “细”的极限 .....            | 136 |
| 6   | 曙光在前头——芯片的新技术 .....     | 138 |
| 6.1 | 纳米技术探索 .....            | 139 |
| 6.2 | 三个关键问题 .....            | 144 |
| 6.3 | 生物技术探索 .....            | 148 |
| 7   | 而今迈步从头越——芯片的发展展望 .....  | 156 |
| 7.1 | 如何选择应用 .....            | 157 |
| 7.2 | 电脑挑战人脑 .....            | 159 |
| 7.3 | 生物化学之谜 .....            | 163 |
| 7.4 | 如何增进健康 .....            | 166 |



|      |              |     |
|------|--------------|-----|
| 7.5  | 如何保护环境 ..... | 177 |
| 7.6  | 如何智能控制 ..... | 181 |
| 7.7  | 如何识别语音 ..... | 187 |
| 7.8  | 如何理解图像 ..... | 191 |
| 7.9  | 如何计算情感 ..... | 201 |
| 7.10 | 如何进行思维 ..... | 203 |