

院士科普书系

光子学技术

——信息化时代的支撑技术

国家重点图书

王启明 魏光辉 高以智 编著

光子学技术

——信息化时代的支撑技术



清华大学出版社
暨南大学出版社

N49
L-936C

王启明 魏光辉 高以智 编著

光子学技术

—— 信息化时代的支撑技术



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

光子学技术——信息化时代的支撑技术/王启明,魏光辉,高以智
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 7-302-05325-1

I. 光… II. ①王… ②魏… ③高… III. 光子—研究
IV. O572.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013534 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](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](http://www.jnu.edu.cn)

责任编辑: 蔡鸿程

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:** 8.625 **字数:** 168 千字

版 次: 2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05325-1/G·259

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

BBP 69/01

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,而未能在我国出现,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

人类正在步入信息化时代,通信及其网络化联结着千家万户,人们随时随地都可享受与亲人、朋友交谈议论、互通信息的便利。大洋彼岸,近在咫尺,地球宛如一个村庄,其神妙之至超过了《封神榜》小说中“千里眼”“顺风耳”的幻想。计算机不再只是代替人工进行运算的先进工具,各种巧妙软件的开发与应用,使它具备了解决深奥科技问题和处理繁杂事务的高超能力,人们已习惯称之为“电脑”,这更能确切反映它的功能内涵。电脑虽然是人制造的,但它过人的处理速度和精确的判断能力都超越了常人的本领,成为当今人类社会生产活动与日常生活中不可缺少的亲密伙伴。

计算机与通信的网络化发展,将深刻地改变人类社会的面貌,使人类的活动超越疆域的局限,愈加强烈地体现丰富多彩的多样化社会的全球性。信息——通过网络传播、交换与处理的信息,作为社会机体的灵魂,正渗透到社会细胞的每个角落和部位,发挥着瞬息万变的调节功能。信息将成为商品,并创造出丰硕的社会财富,因此,信息产业的建设与发展正受到社会的高度重视。社会宛如远航于信息海洋的一叶小舟,古人一句警言:“水能载舟,亦能覆舟”,对此同样适用。信息的安全性和可靠性问题至关重要,不

可掉以轻心。

信息化时代的到来,首先应归功于电子学技术的发展。电子作为信息的载体,已做出了巨大的贡献。然而,随着社会科技与文明生活的高度发达,人们对信息的需求正呈现爆炸般的增长。无论是信息传输的容量、处理的速度、提取交换的实时性和灵活性,还是信息传输与享有中的安全性,电子技术都受到电子载体固有特性的局限,其运作能力已表露出局限性。人们热切期望寻求一种具有更高运作能力,可以替代电子的信息载体。无独有偶,不荷电性的光子就是理想的选择,光子学技术因此应运而生,人们对其寄以深切的厚望。光子学技术与电子学技术无疑将成为信息高科技的两大支柱。虽然人们对光的感知远早于对电子的认识,然而作为一门学科,光子学技术的提出与发展却是近半个世纪(尤其是近 20 年)来的事。人们对光子学的认识远比对电子学的认识要肤浅,这无疑会阻碍光子学技术巨大潜力在未来信息化社会中的充分利用与发挥。有鉴于此,在世纪之交,很有必要让更多的人进一步熟悉光子学的内涵与发展,唤起全社会对它更多的重视、更大的支持和更充分的运用。一本既有趣味性又有知识性和科学性的普及读物,也许能起到解渴的作用,这便是作者编著本书的动机。

本书共分 10 章,以光子学技术的应用为主线条,同时也以相当的篇幅对光子学的发展史、光子学器件及其物理基础加以深入浅出的介绍,使读者通览全书后,对光子学技术的物理基础、科技内涵与应用发展有系统准确的了解。期望它



能对热心求索的读者起到铺路与导引的作用。

本书撰写时间比较匆促,作者对光子学的理解深度和文字表达水平有限,书中疏误不当之处,在所难免,敬请读者不吝批评指正。

王启明

2001 年 12 月



目 录

1 时代的呼唤——光子学的诞生与发展	1
1.1 光子学与电子学的渊源	1
1.2 光子学——研究光信息载体的科学	5
1.3 光子学引人注目的成就	10
1.4 未来世界高科技竞争的焦点	18
 2 光子学器件的物理基础	 21
2.1 量子阱能带工程及其运用 ——新一代光子器件诞生的摇篮	 22
2.2 光在介质中的传输	29
2.3 光调制的物理基础	34
2.4 粒子系统中的光跃迁	39
2.5 介质的光学非线性特性	45
 3 光子学器件	 56
3.1 固体光子源	57
3.2 半导体光子源	63
3.3 光子探测器	71

3.4	无源光子器件	78
3.5	光子集成回路	85
4	光纤传感在信息灵敏获取中的应用	91
4.1	光纤传感器的发展	91
4.2	光强调制型光纤传感器	95
4.3	相位调制型光纤传感器	97
4.4	偏振态调制型光纤传感器	100
4.5	波长调制型光纤传感器	102
4.6	传光型光纤传感器	103
5	光子学技术在信息传输中的应用	108
5.1	光通信的发展及优点	108
5.2	光纤通信的基本构成	114
5.3	光波加载信息的方法	115
5.4	信号调制的方式	118
5.5	光信号传输损耗的补偿	123
5.6	多路复用光通信	124
5.7	光纤色散对光通信的影响及其克服方法	130
5.8	光孤子通信	135
6	光子学技术在高密度传输网络中的应用	140
6.1	高速宽带光网络	140
6.2	光交换与光互联系统	150

7	光子学技术在高速信息处理中的应用	164
7.1	光互联及其在高速计算机及神经网络中的应用	168
7.2	光信息处理及其应用	172
8	光子学技术在信息存储与显示中的应用	183
8.1	光盘存储	185
8.2	全息存储技术	198
8.3	光显示技术	202
9	光子学技术在生物工程与医学中的应用	211
9.1	光子镊子和光子扳手	212
9.2	光子荧光诊断	215
9.3	激光手术与理疗	217
9.4	激光育种	219
10	光子学技术在军事上的应用	221
10.1	激光雷达	221
10.2	激光制导	241
10.3	激光武器与光子对抗	245
	参考文献	251
	后记	252