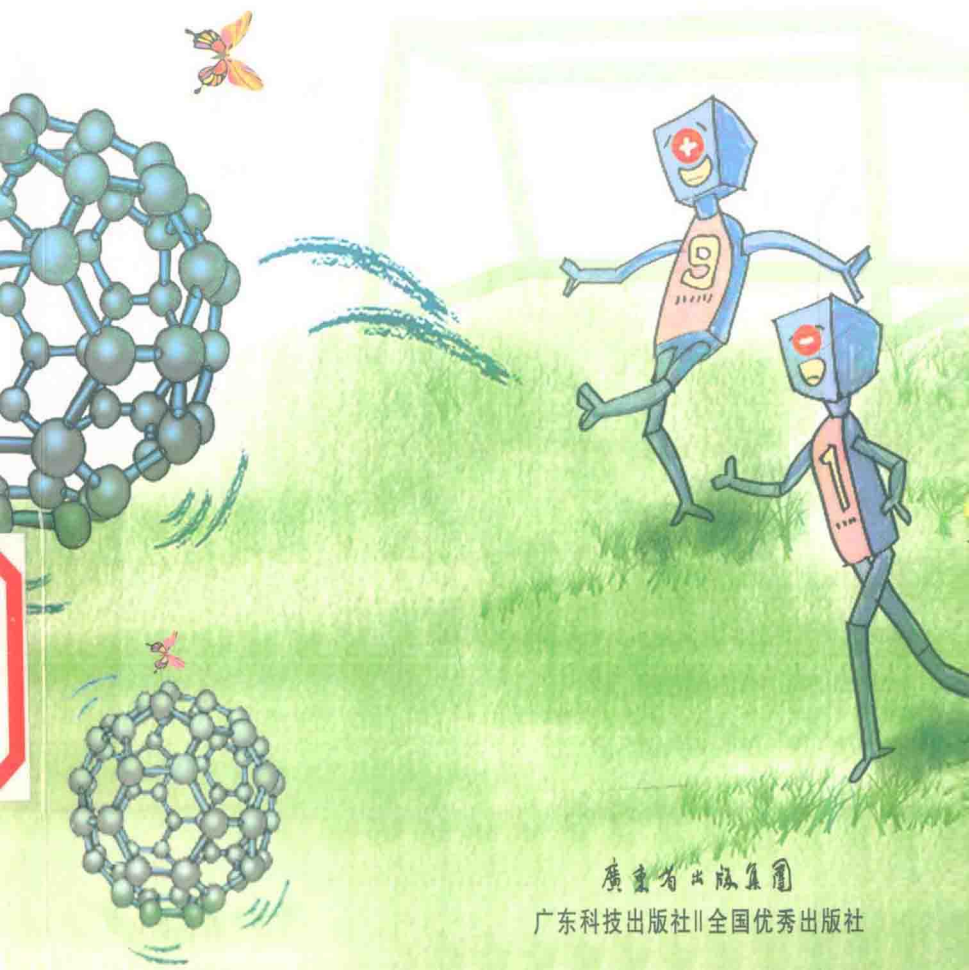




主编 任 山

# 风起于毫微之末

——纳米技术的奥秘与应用



广东省出版集团

广东科技出版社||全国优秀出版社

高新技术科普丛书（第2辑）

主编 任 山

# 风起于毫微之末

——纳米技术的奥秘与应用



广东省出版集团  
广东科技出版社  
· 广州 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

风起于毫微之末：纳米技术的奥秘与应用 / 任山主编. —广州：广东科技出版社，2013. 10

(高新技术科普丛书. 第2辑)

ISBN 978-7-5359-6325-3

I. ①风… II. ①任… III. ①纳米技术—普及读物  
IV. ①TB303-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 223198 号

责任编辑：夏 丰 严 旻

美术总监：林少娟

版式设计：黄海波 (阳光设计工作室)

责任校对：冯思婧

责任印制：任建强

## 风起于毫微之末

——纳米技术的奥秘与应用

Fengqiyu Haoweizhimo

——Nami Jishu De Aomi Yu Yingyong



出版发行：广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮政编码：510075)

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

E-mail: [gdkjyxb@gdstp.com.cn](mailto:gdkjyxb@gdstp.com.cn) (营销中心)

E-mail: [gdkjzbb@gdstp.com.cn](mailto:gdkjzbb@gdstp.com.cn) (总编办)

经 销：广东新华发行集团股份有限公司

印 刷：广州汉鼎印务有限公司

(广州天河区棠下高沙工业区广棠路 21-23 号 邮政编码：510620)

规 格：889mm×1194mm 1/32 印张 5 字数 120 千

版 次：2013 年 10 月第 1 版

2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价：23.80 元

如发现因印装质量问题影响阅读，请与承印厂联系调换。

## 《高新技术科普丛书》（第2辑）编委会

|      |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 顾 问： | 王 东 | 钟南山 | 张景中 |     |     |
| 主 任： | 马 曙 | 周兆炎 |     |     |     |
| 副主任： | 吴奇泽 | 冼炽彬 |     |     |     |
| 编 委： | 汤少明 | 刘板盛 | 王甲东 | 区益善 | 吴伯衡 |
|      | 朱延彬 | 陈继跃 | 李振坤 | 姚国成 | 许家强 |
|      | 区穗陶 | 翟 兵 | 潘敏强 | 汪华侨 | 张振弘 |
|      | 黄颖黔 | 陈典松 | 李向阳 | 陈发传 | 胡清泉 |
|      | 林晓燕 | 冯 广 | 胡建国 | 贾槟蔓 | 邓院昌 |
|      | 姜 胜 | 任 山 | 王永华 | 顾为望 |     |

本套丛书由广州市科技和信息化局、广州市科技进步基金会资助创作和出版

精彩绝伦的广州亚运会开幕式，流光溢彩、美轮美奂的广州灯光夜景，令广州一夜成名，也充分展示了广州在高新技术发展中取得的成就。这种高新科技与艺术的完美结合，在受到世界各国传媒和亚运会来宾的热烈赞扬的同时，也使广州人民倍感自豪，并唤起了公众科技创新的意识和对科技创新的关注。

广州，这座南中国最具活力的现代化城市，诞生了中国第一家免费电子邮箱；拥有全国城市中位列第一的网民数量；广州的装备制造、生物医药、电子信息等高新技术产业发展迅猛，将这些高新技术知识普及给公众，以提高公众的科学素养，具有现实和深远的意义，也是我们科学工作者责无旁贷的历史使命。为此，广州市科技和信息化局与广州市科技进步基金会资助推出《高新技术科普丛书》。这又是广州一件有重大意义的科普盛事，这将为人们提供打开科学大门、了解高新技术的“金钥匙”。

丛书内容包括生物医学、电子信息以及新能源、新材料等板块，有《量体裁药不是梦——从基因到个体化用药》《网事真不如烟——互联网的现在与未来》《上天入地觅“新能”——新能源和可再生能源》《探“显”之旅——近代平板显示技术》《七彩霓裳新光源——LED与现代生活》以及关于干细胞、生物导弹、分子诊断、基因药物、软件、物联网、数字家庭、新材料、电动汽车等多方面的图书。以后还要按照高新技术的新发展，继续编创出版新的高新技术科普图书。

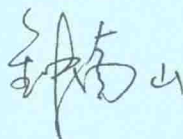
我长期从事医学科研和临床医学工作，深深了解生物医学对于今后医学发展的划时代意义，深知医学是与人文科学联系最密切的一门学科。因此，在宣传高新科技知识的同时，要注意与人文思想相结合。传播科学知识，不能视为单纯的自然科学，必须融汇人文科学的知识。这些科普图书正是秉持这样的理念，把人文科学融汇于全书的字里行间，让读者爱不释手。

丛书采用了吸收新闻元素、流行元素并予以创新的写法，充分体现了海纳百川、兼收并蓄的岭南文化特色。并按照当今“读图时代”的理念，加插了大量故事化、生活化的生动活泼的插图，把复杂的科技原理变成浅显易懂的图解，使整套丛书集科学性、通俗性、趣味性、艺术性于一体，美不胜收。

我一向认为，科技知识深奥广博，又与千家万户息息相关。因此科普工作与科研工作一样重要，唯有用科研的精神和态度来对待科普创作，才有可能出精品。用准确生动、深入浅出的形式，把深奥的科技知识和精邃的科学方法向大众传播，使大众读得懂、喜欢读，并有所感悟，这是我本人多年来一直最想做的事情之一。

我欣喜地看到，广东省科普作家协会的专家们与来自广州地区研发单位的作者们一道，在这方面成功地开创了一条科普创作新路。我衷心祝愿广州市的科普工作和科普创作不断取得更大的成就！

中国工程院院士



## 让高新科学技术星火燎原

21 世纪第二个十年伊始，广州就迎来喜事连连。广州亚运会成功举办，这是亚洲体育界的盛事；《高新技术科普丛书》面世，这是广州科普界的喜事。

改革开放 30 多年来，广州在经济、科技、文化等各方面都取得了惊人的飞跃发展，城市面貌也变得越来越美。手机、电脑、互联网、液晶电视大屏幕、风光互补路灯等高新技术产品遍布广州，让广大人民群众的生活变得越来越美好，学习和工作越来越方便；同时，也激发了人们，特别是青少年对科学的向往和对高新技术的好奇心。所有这些都使广州形成了关注科技进步的社会氛围。

然而，如果仅限于以上对高新技术产品的感性认识，那还是远远不够的。广州要在 21 世纪继续保持和发挥全国领先的作用，最重要的是要培养出在科学领域敢于突破、敢于独创的领军人才，以及在高新技术研究开发领域勇于创新的尖端人才。

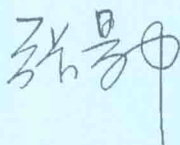
那么，怎样才能培养出拔尖的优秀人才呢？我想，著名科学家爱因斯坦在他的“自传”里写的一段话就很有启发意义：“在 12 ~ 16 岁的时候，我熟悉了基础数学，包括微积分原理。这时，我幸运地接触到一些书，它们在逻辑严密性方面并不太严格，但是能够简单明了地突出基本思想。”他还明确地点出了其中的一本书：

“我还幸运地从一部卓越的通俗读物（伯恩斯坦的《自然科学通俗读本》）中知道了整个自然领域里的主要成果和方法，这部著作几乎完全局限于定性的叙述，这是一部我聚精会神地阅读了的著作。”——实际上，除了爱因斯坦以外，有许多著名科学家（以至社会科学家、文学家等），也都曾满怀感激地回忆过令他们的人生轨迹指向杰出和伟大的科普图书。

由此可见，广州市科技和信息化局与广州市科技进步基金会，联袂组织奋斗在科研与开发一线的科技人员创作本专业的科普图书，并邀请广东科普作家指导创作，这对广州今后的科技创新和人才培养，是一件具有深远战略意义的大事。

这套丛书的内容涵盖电子信息、新能源、新材料以及生物医学等领域，这些学科及其产业，都是近年来广州重点发展并取得较大成就的高新科技亮点。因此这套丛书不仅将普及科学知识，宣传广州高新技术研究和开发的成就，同时也将激励科技人员去抢占更高的科技制高点，为广州今后的科技、经济、社会全面发展作出更大贡献，并进一步推动广州的科技普及和科普创作事业发展，在全社会营造出有利于科技创新的良好氛围，促进优秀科技人才的茁壮成长，为广州在 21 世纪再创高科技辉煌打下坚实的基础！

中国科学院院士





## 前言

“材料”，一个我们非常熟悉的词。每个人对它都有自己的理解。对于一名工人来说，材料代表的可能是砖瓦、水泥；对于一名医生来说，材料代表的可能是针管、药剂；对于一名学生来说，材料代表的可能是书本纸笔……而对于整个人类来说，材料代表的就不那么简单。它是我们物质文明的基石、社会发展的载体，所有现代人类生存依赖的机器设备、交通工具、房屋、电脑、手机等都由各种各样的材料构成。纵观人类发展历史，无不深深地烙下人类利用和制备材料的印记：应用天然原始材料为主的旧石器时代，开始对天然材料进行煅烧等初步加工的新石器时代，冶炼和加工兴盛的青铜时代和铁器时代，以及上世纪的钢铁时代和硅半导体时代。这一个个时代见证着材料发展带给人类社会的巨大进步，也展示着人类因为材料制备和应用而迸发的无穷智慧。直到今天，新材料的开发探索 and 材料技术的发展突破依旧是引领人类社会不断向前进步的核心动力之一。一个个高新科技的发展不断催生了新的材料领域，而新材料的出现又可能促进一个新的应用领域产生。在这些新领域当中，纳米材料成为当今当之无愧的宠儿，应运而生的纳米技术也注定会为这个时代留下浓墨重彩的一笔。

另一方面，在人类历史上留下过重要印记的材料，多数是以这些材料的成分或名称来命名定义，而纳米材料却挂上了一个长度单位“纳米”这个名号。纳米，一米的十亿分之一，相当于4个原子大小，在普通人看起来小得难以想象。不过，就是这么一个微小却

重量级的头衔，却赋予了达到这个尺寸范围的材料各种超乎寻常的能力。那些历史上千年不朽的古董彩釉、自然中超乎寻常的生物能力都暗藏着纳米的身影；传说中让人消失的隐形衣、薄如蝉翼的电脑和手机、杀灭病毒的微小机器人也因为纳米技术的发展而不再是遥不可及的传说。而这些，仅仅是纳米材料与技术神奇面貌的冰山一角，可以说，纳米材料与技术对人类社会的影响力绝不亚于历史上任何一种改变了人类生产与生活方式的重要材料，自纳米材料与技术的兴盛开始，我们的社会将变得丰富繁荣，我们的生活注定会变得多姿多彩。

随着纳米材料与技术的优势日益为人们所熟知，对于它的探寻也会越来越多。纳米材料究竟有多小？为什么纳米材料有如此多神奇的性能？哪些材料是纳米材料？纳米材料都是非常小的粉末吗？纳米材料如何应用在我们生活中有么？我们用什么手段获得、制造、观察纳米材料？纳米材料有什么应用？我们期待这些问题在读者耐心阅读完本书之后，都会找到满意的答案。

本书共分为7个部分，第一部分介绍纳米材料的基本特性，第二部分介绍形形色色的纳米材料，第三部分介绍用纳米材料及技术组装的纳米器件，第四部分介绍观察、制备纳米材料的技术，第五部分介绍纳米技术在能源与环境保护中的应用，第六部分介绍纳米技术在医学上的应用，第七部分介绍纳米技术未来的展望以及国内外针对纳米技术发展制定的战略和政策。



# CONTENTS

## 目录



### 一 尺寸为什么如此重要——什么是纳米科学和技术

- 1 毫微之末是纳米 /3  
纳米有多长 /3  
构建在纳米结构上的生物世界 /4
- 2 纳米科学技术发展的开拓者 /5  
古人创造的纳米材料 /5  
世界著名科学家对纳米科技的研究 /7  
诺贝尔奖获得者费曼的预言 /7
- 3 神奇的纳米效应 /10  
被关在纳米笼子里的电子——量子效应 /11  
从量变到质变——表面原子数量比例的增加导致的表面效应 /14  
突破人体屏障——纳米尺寸对生物的影响 /16



### 二 无所不能的纳米材料

- 1 自然界中的纳米材料 /19  
莲（荷）叶表面的秘密 /19  
飞檐走壁的秘密 /21  
没有色素的多彩蝴蝶翅膀 /22  
向自然界学习纳米技术 /24

- 2 纳米材料穿越到古代 —— 古人也有纳米材料 /25  
中国古铜镜为何经历两千年仍光亮如新 /25  
几千年的古代颜料仍然光彩夺目 /26
- 3 丑小鸭变白天鹅 —— 从木炭到石墨烯的故事 /27  
纳米级的足球赛 —— 巴基球的发现 /27  
巴基球独特的性能 /29  
坐着云梯逛月球 —— 碳纳米管的神奇之处 /30  
世界上最薄的纸 —— 石墨烯 /34
- 4 纳米材料的工业应用 /36  
轻于鸿毛、坚如磐石 —— 纳米二氧化硅多孔气凝胶 /36  
纳米隐身材料与雷达的较量 /39  
可见光隐身 /41  
微波雷达隐身材料 /41  
多功能隐身材料 /42



### 三 多彩缤纷的纳米世界——纳米器件与系统

- 1 头发丝上的电子王国 —— 单电子晶体管 /45  
纳米材料将可能解除“摩尔定律”失效之危 /45  
电子的独木桥 —— 单电子晶体管 /47  
小个头大容量 —— 纳米存储器 /48  
量子计算机 /50
- 2 世界的一举一动都在我们手掌中 —— 纳米传感器 /53  
纳米气体传感器 /54  
纳米光电探测器 /55  
纳米生物传感器 /57  
其他类型的纳米传感器 /59

- 3 于细微处见神奇 —— 智能机器人和纳米系统 /60  
    医用纳米机器人 /62  
    军用纳米机器人 /63

## 四 纳米世界的“眼”、“手”和工具

- 1 纳米世界的“眼” —— 探测微观的显微镜 /67  
    逐渐清晰的奥妙世界 —— 人类探测微观发展简介 /67  
    以小见大的神奇手段 —— 电子显微镜 /69
- 2 纳米世界下的“手” —— 操控原子的新型显微镜 /76  
    拨动纳米世界的“手指” —— 扫描探针显微镜 /76  
    触得到的现在，看得到的未来 /81
- 3 纳米世界的工具 —— 纳米结构的构建方法 /82  
    从上至下、从下至上 —— 新型纳米制造技术 /82  
    纳米自组装 —— 来自自然的启示 /84  
    分子组装技术 —— 自我复制 /87  
    自然界是最聪明的纳米设计师和建筑大师 —— 大自然给我们的启示

## 五 纳米技术在能源及环境保护中的应用

- 1 取之不尽、用之不竭 —— 太阳能的应用 /94  
    纳米森林 —— 纳米线阵列提高太阳能的吸收 /94  
    人造“树叶” —— 阳光 + 水 = 氢，未来的生态能源 /96  
    太阳能储热器 /98
- 2 举手投足都发电 —— 纳米发电机 /100  
    神奇的发电原理 —— 压电效应 /101  
    纳米发电机的构造 /102

- 3 随时携带的能源 —— 电池中的应用 /104  
    随用随充 —— 超级电容器 /104  
    光和水 —— 燃料电池 /106  
    更安全、更高效的锂离子电池 /108
- 4 更清洁的水和空气 /109  
    水是生命之源 —— 水的净化 /111  
    人类离不开海洋 —— 海水的淡化 /112  
    那天我们不再关注 PM2.5 —— 纳米空气清洁技术 /114

## 六 医学界的新兵——纳米医学

- 1 纳米医学全天候守护人体健康 /120  
    纳米医学是什么 /120  
    肿瘤早期诊断的专家 —— 纳米分子影像技术 /121  
    跟踪细胞的私家侦探 —— 多功能纳米微粒 /125  
    分子诊断的新方法 —— 金纳米颗粒 /127
- 2 纳米技术治疗疾病显身手 /129  
    肿瘤细胞内的炸弹 —— 纳米分子探针 /129  
    定向着陆的直升机 —— 纳米药物 /131  
    安全防范 —— 纳米毒性 /133
- 3 创伤修复的法宝 —— 纳米移植材料 /135  
    人体组织器官的最好替身 —— 纳米组织工程材料 /135  
    未来的器官 —— 与干细胞并肩作战的纳米材料 /137

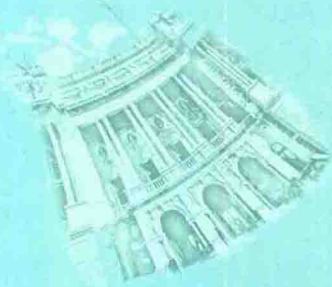


## 七 未来的纳米世界——你准备好了吗

- 1 纳米技术是把双刃剑 /140  
纳米技术使我们的生活更美好 /140  
纳米技术是人类遭遇的又一个“潘多拉魔盒”吗 /142
- 2 世界各国抢占纳米科技研发的制高点 /144  
美、日、德、法等国的纳米科技发展规划 /144  
中国要紧紧抓住纳米科技发展的难得机遇 /145  
广州市纳米科技发展规划描绘未来美好蓝图 /146



# 一 尺寸为什么如此重要 ——什么是纳米科学和技术





## 小故事

## 杨振宁教授对纳米科技高瞻远瞩的预见

1992年，诺贝尔物理学奖获得者杨振宁教授访问广州，为中山大学的青年科学家颁奖。会间，有《广东科技报》的记者请杨教授谈谈物理学发展的方向，杨教授说：“当前，物理学发展的分支越来越多，如20世纪发展起来的通信、电子学等，都对人类生活作出极大的贡献。如果说，19世纪末以前物理学研究的是宏观物理，20世纪初以来是研究从分子到比原子更小的微观物理。那么，现在新的趋势是在宏观物理到微观物理之间，研究从10个原子到1000个原子之间的‘介观物理’，这个领域的研究发展得非常快，对于21世纪的人类生活将产生很大的影响，国内学者要密切关注这个领域研究发展的动态，并且抓住这个有利的时机，赶上世界水平，这对中国21世纪在科技和经济的发展至关重要！”

杨振宁教授所说的“从10个原子到1000个原子之间的介观物理”，是指从1纳米到100纳米之间的纳米科学技术。当时，第一届国际纳米科学技术会议刚召开不久，杨教授敏锐地看到了纳米科技研究对21世纪我国科技、经济发展的重要性，的确是这位杰出的物理学家高瞻远瞩的预见。