

纳米科学技术 概论

仇志余 © 总主编

刘祥萱©编著

Introduction to Nano-Science and Technology



机械工业出版社
China Machine Press



21世纪高等学校复合型人才培养系列教材

纳米科学技术 概论

Introduction to Nano-Science and Technology

仇志余 ◎ 总主编

刘祥萱◎编著



机械工业出版社
China Machine Press

纳米科学技术是 20 世纪 90 年代兴起的一门新兴交叉学科,受到世界各国的关注,并不断涌现新的研究成果。目前,纳米技术不仅是高新技术的代名词,而且是高等院校广泛开设的一门公共选修课。本书以作者 8 年来《纳米技术及应用》课程教案为蓝本,结合个人研究成果以及对纳米科学技术的认识,参考近年大量相关研究成果编写而成。本书抓住现有较为成熟和重要的科学理论和技术方法,以原子与分子等微观物质理论、材料性能学原理、微电子技术和分子生物学理论与技术为基础,力争从纳米科学技术的最终发展目标及发展推动力角度把握纳米科学技术的未来发展方向。

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

纳米科学技术概论/刘祥萱编著. —北京:机械工业出版社, 2008. 8
(21 世纪高等学校复合型人才培养系列教材)

ISBN 978-7-111-24783-8

I. 纳… II. 刘… III. 纳米材料—高等学校—教材 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112451 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘 斌 版式设计:刘永青

山西新华印业有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-24783-8

定价: 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线:(010)68326294

投稿热线:(010)88379007

总 序

• • • • • Foreword • • • • •

编写适合高等学校文理工科培养复合型人才需要,反映当前理论研究成果的非专业类系列教材,是一项意义深远、任务艰巨的工程。

长期以来,我国高等教育中文科教育与理工科教育相分离的状况改观不大。如理工科的学生不懂得经济及管理学基本常识,更不可能运用经济及管理学原理来提高工程绩效;经济、管理等文科专业的学生,不懂得如何运用理工科处理科学技术的手段和方法来促进经济管理的绩效等。如何将文科的“虚”和理工科的“实”有机结合起来,使学生不仅在理论上有所建树,而且具有较强的实际工作能力,即不仅会“说”,而且会“做”,“说”、“做”结合。这是 21 世纪对大学生提出的一个新要求,也是社会主义市场经济对高等教育工作者提出的一个新课题,更是我们编写该系列教材的初衷和目的。因此,为 21 世纪高等院校文理工科专业的本科生,提供一套强化多种能力、提高综合素质的系列教材已成为当务之急。

我国高等教育学科型的教学体系沿袭了几十年,进入 21 世纪后,在总结几十年办学得失并借鉴及汲取发达国家成功经验的基础上,提出了“能力本位”的教育思想。2006 年,教育部提出学理工的要学点文科知识,学文科的也要学点理工科知识,特别是 2007 年 4 月教育部又提出,在校大学生应该学习大学语文,这是注重和突出学生综合素质培养的体现,也是高等教育思想和观念上的一次飞跃。“21 世纪高等学校复合型人才培养系列教材”,就是在这方面所做的有益探索,力具特色,有所创新,提高学生分析问题、解决问题的综合能力。几年来,我们组织了几所高校多个学科的多位教授、副教授组成课题组,通过研讨、修改、主讲等多个循环,已经形成了《西方经济学通论》《企业经济学通论》《市场营销学通论》《会计学通论》《管理学通论》《实用法学通论》《劳动法通论》《经济法通论》《合同法通论》《现代科学技术通论》《纳米科学技术概论》等系列讲义,并计划逐步正式出版本系列教材。

本系列教材力具下列特点:

(1) **紧缺性**。就我们掌握的情况来看,供非专业使用的复合型人才培养系列教材,

目前不论是质量还是数量均不能满足需要。

(2) **创新性**。供非专业使用的复合型人才培养系列教材，不同于专业使用的教材，我们在编写本系列教材时，既按照教育部规定的教学基本要求，又考虑非专业学生的实际，力主创新。在内容选择上，充分考虑到理工科学生的优势，巧妙运用模型、公式等；在表述上，力求通俗易懂，通过浅显的语言，表达深奥的概念与理论，使读者更易理解、掌握必要的知识。

(3) **实用性**。本系列教材理论联系实际，从实际问题入手，交待解决实际问题的方法。在选择的内容、程序、技术、规范上下工夫，以求确保系列教材的实用价值。

(4) **先进性**。本系列教材的编写起点高，以目前国内外对该课题研究已达到的水平为起点，尽可能地广泛研究有关文献资料。对于有价值并且得到学术界普遍承认的成果，积极地消化、吸收并使其教材化。对于基本理论问题有新的概括和阐述；对于发展中的重要知识力求有自己明确的观点。力争教材不仅在学术上具有先进性，而且阐述上深入浅出。

(5) **科学性**。本系列教材尊重大学生的认知特点，例如《企业经济学通论》以企业运作的过程为线索，根据学科的知识结构和学生学习过程中的认知规律，突出企业经济学基本内容在实践中的应用，使整个内容贴近企业经济活动实践，努力缩短知识能力的内化过程，有利于学生在企业经济活动过程中基本理念的 formation，提高受教育者的企业经济素质。

“21 世纪高等学校复合型人才系列教材”，涉及多门学科，编写难度大，其内容、方法、结构也在不断探索、发展和完善，作为系统研究复合型人才系列教程的教材，不足之处在所难免。事实上，任何一门新兴学科的建立和建设都要经历一个过程，都要随着社会实践的发展不断趋于完善。在机械工业出版社和各位主编的大力支持下，本系列教材得以陆续出版发行，才为我们争得全国专家同仁的斧正与合作提供了机会，为此深表谢意。

仇志余

2008 年 7 月

前 言

• • • • • Preface • • • • •

纳米科学技术是 20 世纪 90 年代兴起的一门新兴交叉学科,受到世界各国的广泛关注,并不断涌现出新的研究成果。目前,纳米技术不仅已经成为高新技术的代名词,而且还是高等院校广泛开设的一门公共选修课。本书作者以 8 年来一直采用的《纳米技术及应用》课程教案为蓝本,结合个人研究成果以及对纳米科学技术的认识,参考近年大量相关研究成果编写而成。纳米科学技术涵盖了物理、化学、生物、电子、机械和材料等多个基础学科,由于纳米科技目前处于研究阶段,其理论和技术方面的研究尚未建立一个公认体系,因此编写出一本适用于各科专业学生共同使用的教材,难度较大。本书抓住现有较为成熟的重要科学理论和技术方法,以原子与分子等微观物质理论、材料性能学原理、微电子技术和分子生物学理论与技术为基础,建立起了包括纳米材料的制备、效应、性能、表征与应用,纳米电子与纳机电系统中的纳米器件、纳米加工、原子操纵、纳机电系统,纳米生命科学——基因与细胞的操纵与改性方法及在生物、医学领域中应用等相关内容在内的完整知识体系,力争从纳米科学技术的最终发展目标及发展推动力角度把握纳米科学技术的未来发展方向。

本书主要具有以下两个特点:

1. 主线内容清晰、注重循序渐进建立知识框架

本书以纳米材料、纳米电子、纳机电系统和纳米生命的科学技术为主线。为适合各专业学生的学习,一般先从发展史开始介绍,然后是原理和加工技术及其应用,这样相对缩小了知识点范围,能够使读者较快建立完整知识体系。

2. 从具体实际应用与研究的角度选择内容

注重基础理论及应用,力争从相关研究者的角度筛选内容。理论部分为建立材料功能的微观理论奠定基础;而纳米材料表征方法原理、纳米功能材料应用等内容对刚开始从事纳米材料研究人员则具有较高的参考价值。

第 1 章绪论部分为读者展示了纳米科技的内涵和发展历史、研究基础、研究目标等相关内容,特别是对纳米技术未来发展的预测,阐述了个人的一些观点。第 2 章,从原子中粒子的研究发现谈起,逐步建立微观物质的结构、运动特性等基本概念,运用量子理论、微观粒子作用力原理架起微观结构与宏观性质之间的桥梁。第 3 章,在介绍一般材料的分类与性能学的基础上,系统阐述了纳米材料结构、特殊性能、制备方法、表征方法、应用等内容。第 4 章,从半导体器件的原理和发展引入,介绍了集成电路、微机

电系统和纳米加工技术, 阐述纳米电子学中部分纳米器件构造及原理。第5章纳米生命科学——生物与医学, 在建立生物大分子的结构、功能概念的基础上, 主要介绍当前迅速发展的基因重组技术、干细胞技术及其在生物、医学方面的应用, 并对生物机器人的研究与发展进行了简单的介绍。本书的核心部分——第3、4、5章, 这些内容不仅是纳米科学技术的基础, 而且是本科学生应当具备的科学技术方面的基本概念和基础知识, 对提高学生的科学素养, 建立完整的科学体系框架很有帮助。本书可以作为理工科本科和研究生教材, 在学习过大学物理课程后的电子、机械、物理、生物、化学、化工、环境、材料等专业的学生均可使用。

本书历时3年半完成, 今天看来, 本书整体内容设计尚不尽合理。而且由于涉及知识面较广, 错误和不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

最后, 向在编写本书期间, 在生活、工作上给予我帮助的父母家人、朋友、同事及学生表示衷心的感谢。

刘祥莹

2008年7月

教学建议

• • • • • Suggestion • • • • •

教学目的

本课程教学的目的在于使学生能够认识到人类科学技术正在进入到一个新的时代——纳米时代，纳米科学技术的出现标志着人类认识和改造自然的能力已经延伸到原子、分子水平。纳米科学技术具有多学科交叉性质，它的内容包括纳米材料学、纳米电子学、纳米生物学、纳米机械学、纳米加工学。具体来说，本课程主要介绍纳米材料的制备、特殊效应、性能、表征与应用，微/纳米器件原理与加工、原子操纵与微/纳机电系统，基因重组、干细胞技术及在生物、医学领域中的应用等相关内容。了解纳米科学技术发展动态及未来发展中的地位和作用，开拓学生科技视野，提高科研素质和能力，为学生毕业后从事纳米科学技术方面的工作打下良好的基础。

前期需要掌握的知识

大学物理、大学化学。

课时分布建议

教学内容	章节选用建议		学习要点	课时安排	
	本科	研究生		本科	研究生
第1章 绪论	全部讲授	全部讲授	(1)掌握纳米科学技术、纳米尺度等基本概念 (2)了解纳米科学技术的主要分支、重要研究成果及发展史 (3)理解纳米科学技术在未来科技发展中的重要地位	4	2
第2章 原子到纳米尺度物质的结构与运动	讲授：2.1.3、2.2.1、2.2.2、2.2.4、2.3.1、2.5.1、2.5.2、2.5.4、2.5.5 自学：2.1.1、2.1.2、2.2.3、2.4.1、2.4.2、2.4.3、2.4.4	讲授：2.1.3、2.1.4、2.2.1、2.2.2、2.2.4、2.3、2.4.1、2.4.2、2.5 自学：2.1.2、2.2.3、2.4.2、2.4.3、2.4.4	(1)了解原子、分子和晶体结构及其结构参数 (2)了解微观粒子运动的统计等特性 (3)掌握微观粒子运动的量子效应和隧穿效应 (4)了解电子云的产生与离子极化等概念 (5)了解原子核外电子的排布、化学键与分子间作用力对物质性能的影响 (6)掌握分子识别与自组装、固体表面吸附作用等概念	6	8

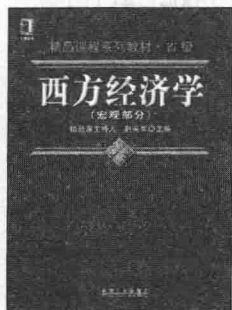
(续)

教学内容	章节选用建议		学习要点	课时安排	
	本科	研究生		本科	研究生
第3章 纳米材料的结构、制备与性能	讲授: 3.1.1、3.3.2、3.3.3、3.2、3.3、3.4.1、3.5.1、3.5.3、3.6 自学: 3.1.5、3.1.7、3.5.2、3.5.3	全部讲授	(1)了解材料的分类及基本性能 (2)掌握纳米材料的分类方法,了解小尺寸效应、表现效应等 (3)了解纳米材料的气相、液相及固相制备方法 (4)了解纳米材料测试仪器和测定原理 (5)了解碳纳米管、纳米陶瓷与纳米金属的结构与制备方法 (6)了解纳米功能材料的性能及应用	14	18
第4章 微/纳米电子与机电系统	全部讲授	讲授: 原理部分 自学: 发展过程	(1)了解半导体器件和集成电路的发展过程 (2)集成电路的加工过程、纳米光刻、纳米压印技术及原子操纵方法 (3)掌握 MOS 场效应晶体管的工作原理、库仑阻塞效应与单电子晶体管 (4)微机电系统的组成及加工技术 (5)微机电系统的分类及应用	6	4
第5章 纳米生命科学: 生物与医学	讲授: 5.2、5.3、5.4 自学: 5.1	讲授: 原理部分 自学: 发展过程	(1)了解生物大分子 DNA、RNA 和蛋白质的结构和功能 (2)了解基因论、人类基因组计划以及生物芯片技术的产生与发展 (3)了解基因表达、基因突变、基因多态性等概念,基因芯片的工作原理和制作方法 (4)了解基因重组技术的基本步骤及在基因制药、基因治疗及转基因动植物领域中的应用 (5)掌握干细胞的分类与生物克隆 (6)了解为纳米技术在医学领域中的应用	6	4
课时总计				30~40	30~40

说明:

- ① 本书可以作为“纳米科学技术及应用”及“纳米材料与纳米科学技术”等相关课程的教材,其中“纳米科学技术及应用”可参考本科章节的选择,“纳米材料与纳米技术”可参考研究生章节的选择。
- ② 类似于“纳米科学技术及应用”的课程在课时安排上,对于电子、机械、生物等专业,第2章和3.1节内容还可进一步删减,补充部分最新成果介绍,教学学时不少于30个;对于化学化工、物理、材料、环境等专业,按照上表中所列章节选择学习内容,补充部分最新成果介绍,教学学时为40个。

华章系列教材·精品课



西方经济学 (宏观)
书号: 7-111-18956
作者: 赵英军
定价: 22.00



西方经济学 (宏观)
书号: 7-111-19108
作者: 赵英军
定价: 25.00

高等院校精品课系列教材

书号	书名	作者	定价
7-111-22341	现代管理学 (十一五规划教材)	张英奎 孙军	30.00
7-111-20493	统计学	李金昌	35.00
7-111-20910	货币银行学	钱水土	32.00
7-111-20675	战略管理: 思维与要径	黄旭	38.00
7-111-21568	国际贸易实务	胡丹婷	35.00
7-111-21804	电子商务系统设计与实现	厉小军	35.00
7-111-21720	统计学	郑珍远	32.00
7-111-22033	组织行为学	周菲	35.00
	电子商务概论	石鉴	即将出版
	计量经济学	赵卫亚	即将出版
	国际经济学	赵英军	即将出版
	电子商务概论	张宽海	即将出版
7-111-23293	证券投资学原理	韩德宗 朱晋	36.00
7-111-22171	会计信息系统	韩庆兰	34.00
	技术经济学	孙薇	即将出版
7-111-19084	产业经济学: 教程与案例	甘春晖	42.00
7-111-19777	管理学	罗珉	34.00
7-111-18956	西方经济学 (宏观)	赵英军	22.00
7-111-19108	西方经济学 (微观)	赵英军	25.00

教师服务登记表

尊敬的老师：

您好！感谢您购买我们出版的 _____ 教材。

机械工业出版社华章公司本着为服务高等教育的出版原则，为进一步加强与高校教师的联系与沟通，更好地为高校教师服务，特制此表，请您填妥后发回给我们，我们将定期向您寄送华章公司最新的图书出版信息。为您的教材、论著或译著的出版提供可能的帮助。欢迎您对我们的教材和服务提出宝贵的意见，感谢您的大力支持与帮助！

个人资料（请用正楷完整填写）

教师姓名	☐ 先生 ☐ 女士		出生年月	职务	职称： ☐ 教授 ☐ 副教授 ☐ 讲师 ☐ 助教 ☐ 其他	
学校	学院			系别		
联系电话	办公： 宅电： 移动：			联系地址及邮编		
				E-mail		
学历		毕业院校	国外进修及讲学经历			
研究领域						
主讲课程		现用教材名		作者及出版社	共同授课教师	教材满意度
课程： ☐ 专 ☐ 本 ☐ 研 ☐ MBA 人数： 学期： ☐ 春 ☐ 秋						☐ 满意 ☐ 一般 ☐ 不满意 ☐ 希望更换
课程： ☐ 专 ☐ 本 ☐ 研 ☐ MBA 人数： 学期： ☐ 春 ☐ 秋						☐ 满意 ☐ 一般 ☐ 不满意 ☐ 希望更换
样书申请						
已出版著作			已出版译作			
是否愿意从事翻译/著作工作 ☐ 是 ☐ 否			方向			
意见和建议						

填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回：（如方便请赐名片）

地 址：北京市西城区百万庄南街1号 华章公司营销中心 邮编：100037

电 话：(010) 68353079 88378995 传真：(010) 68995260

E-mail: hzedu@hzbook.com marketing@hzbook.com 图书详情可登录<http://www.hzbook.com>网站查询

目 录

Contents

总 序	
前 言	
教学建议	
第1章 绪论	1
1.1 纳米科学技术的基本内涵	1
1.2 纳米科学技术的产生与发展	6
1.3 纳米技术对未来的影响	11
第2章 原子到纳米尺度物质的结构与运动	16
2.1 原子、分子及晶体结构	16
2.2 微观粒子的运动特性	29
2.3 典型量子力学体系的处理	40
2.4 电子构型与原子云	57
2.5 化学键与分子间作用力	63
第3章 纳米材料的结构、制备与性能	79
3.1 材料的分类与性能	79
3.2 纳米材料的分类与特性	103
3.3 纳米材料的制备方法	115
3.4 纳米材料的表征方法	129
3.5 重要的纳米材料	142
3.6 纳米材料的应用	151
第4章 微/纳米电子与机电系统	167
4.1 半导体器件与集成电路	167
4.2 纳电子器件与纳米加工	175
4.3 微/纳机电系统	185
第5章 纳米生命科学：生物与医学	194
5.1 细胞、生物大分子结构与功能	195
5.2 基因组计划与生物芯片	208
5.3 基因重组技术及应用	219
5.4 干细胞与克隆技术	227
5.5 微/纳米生物医学技术及应用	234
参考文献	243

第 1 章

CHAPTER

绪 论



导 读

我国著名科学家钱学森曾经说过：“纳米和纳米以下的结构是下一阶段科技发展的一个重点，将引起 21 世纪又一次产业革命。”美国 IBM 公司的首席科学家也曾预言“纳米科学技术将成为 21 世纪信息革命的核心。”

目前“纳米”这个名词不仅在学术论文中经常出现，而且在报纸、电视、广告中也经常出现，可以说“纳米”已成为高新科技的代名词。

1.1 纳米科学技术的基本内涵

人类对客观物质世界的认识，是从我们周围的、可以用肉眼直接观察到的宏观体系开始，进而借助仪器，并通过科学假说、推理和验证，将眼光聚焦到物质尺度逐步减小或增大的两个新的领域范围——微观世界和宇宙天体。按物质的大小尺度可以将物质世界粗略地划分为微观、宏观和宇观，而且这三种尺度的物质运动分别遵循量子力学、经典力学和广义相对论三种不同的物理原理(见表 1-1)。在宏观与微观领域之间，存在着一个介于宏观和微观的过渡尺度，即所谓的介观领域，纳米就属于这个领域，纳米尺度的物质将体现从宏观到微观转变的物理特性。

表 1-1 物质大小的层次

(单位: m)

层次	典型尺度	过渡尺度	理论
宇观	10^{21}	3×10^{11}	广义相对论
宏观	10^2		经典力学
微观	10^{-17}	3×10^{-8}	量子力学

1.1.1 纳米尺度

纳米是一个长度单位，纳米又称毫微米，单位为 nm 或 $m\mu$ 。与我们常用的长度单位米的关系是： $1\text{ m} = 10^3\text{ mm} = 10^6\mu\text{m} = 10^9\text{ nm}$ ，即 1 纳米等于十亿分之一米。可以看出，纳米是

一个很小的长度单位,人类不仅不能用肉眼分辨,即使使用光学显微镜(理论最小分辨 $0.2\mu\text{m}$,实际最小分辨 $0.8\mu\text{m}$)也望尘莫及,而必须使用电子显微镜放大几万倍甚至十几万倍才能看得见单个纳米尺度微粒的大小和形貌。表1-2是一些典型物质的尺度。

表1-2 典型物质的尺度 (单位: nm)

名 称	尺 度	名 称	尺 度
氢原子	0.08	DNA	20
非金属原子	0.1 ~ 0.2	蛋白质分子	数十
金属原子	0.3 ~ 0.4	病毒	几百
C_{60}	0.7		

纳米尺度是指 $1\sim 100\text{nm}$ 的范围,在这一尺度下包含了哪些类型的物质呢?

组成物质的最小单位是原子,自然界最小的原子—氢原子的直径只有 0.08nm 。一般金属原子的直径为 $0.3\sim 0.4\text{nm}$,由于非金属原子核对最外层电子的吸引力较强,因而非金属原子的直径较金属原子小,一般为 $0.1\sim 0.2\text{nm}$ 。因此, 1nm 大体上相当于数个金属原子的直径之和。由几个到几百个原子组成或粒径小于 1nm 的原子集合体称为“原子簇”或“团簇”(cluster)。当前能大量制备的团簇有 C_{60} ,它是由60个碳原子组成的足球结构的中空球形分子,由32面体构成, C_{60} 的直径为 0.7nm (见图2-15)。可见,纳米尺度大于原子簇,即指含有几十到几千万个原子组成的物质,这些物质可以是有机物、也可以是无机物(如纳米Ni颗粒、纳米 TiO_2 颗粒)等。由于原子簇可以用于构建纳米尺度的结构,因此原子簇也是纳米科学技术研究的对象。此外,生物大分子DNA和蛋白质也都在纳米尺度的范畴内。

20世纪80年代发明的扫描隧道显微镜(STM)不仅可以测到纳米尺度下物质的形态,而且可以观察到原子和电子状态(见图1-1)。纳米尺度是人类深入认识微观世界的桥梁,也是我们认识微观世界的必经之路。图1-1 扫描隧道显微镜下的原子图1-2显示的是手上一块 1cm^2 皮肤和一个白细胞,顺次逐步放大10倍时视图所发生的变化。它展示出人们的视野从宏观进入到纳米尺度时,所观测到物质的不同形貌,当进入到纳米尺度时,我们可以观测到DNA分子的双螺旋结构。

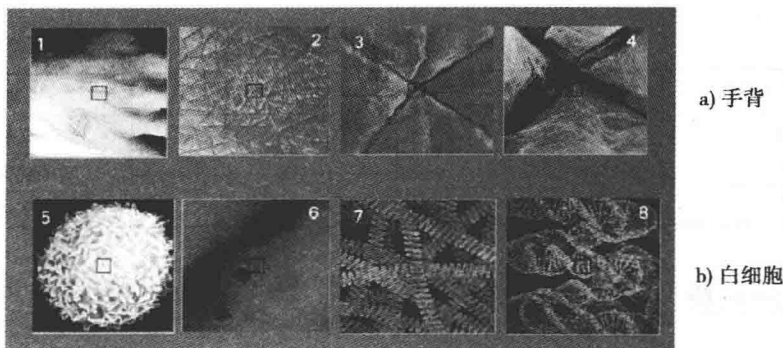
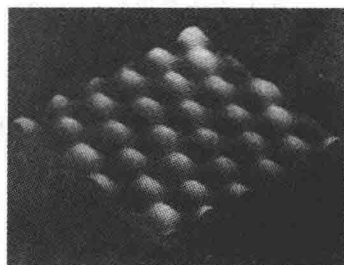


图1-2 手背上的纳米科学技术

1.1.2 纳米科学技术的研究范畴

纳米科学技术主要研究哪些方面的内容? 这要从纳米科学技术的基本定义谈起。

1. 纳米科学技术的定义

纳米科学技术(nano-ST)是20世纪90年代初诞生并正在崛起的新科技。在纳米科学技术的不同发展阶段,人们分别从加工、材料、仿生制造、纳米器件等角度给出以下几种定义:

(1)把纳米技术定位为微加工技术的极限,也就是通过纳米精度的“加工”,人工形成纳米大小结构的技术。

(2)在材料领域,把纳米颗粒制备技术及由此引起材料性能的改变称为纳米技术。

(3)由原子、分子构建特殊的结构,制造具有所需功能的分子装置。

(4)仿制生物体系的纳米结构,利用生物的自识别、自组织、自复制的功能制造特定的纳米结构。

(5)纳米科学是研究至少一维尺度在1~100nm的分子和组织的基本原理,即纳米结构的原理;而纳米技术是将这些纳米结构应用于有用的纳米器件的技术。

(6)纳米是尺度范畴的一个奇特点,纳米结构是人类制造最小器件和生物的最大分子的汇合点。纳米尺度科学和工程是建立在孤立的原子和分子与块状材料之间尺度的体系,新的物理的、化学的和生物的性能探索,从而获得最基本原理的认识,并产生相应的技术进步。

纳米科学技术研究的对象包括材料、结构、器件乃至装置,研究的角度涉及了材料、电子、机械、生物等多领域。美国国家纳米计划网站给出纳米科学技术的定义是:①在1~100nm尺度下,对原子、分子和大分子的研究和技术进展;②由于纳米尺度效应,使纳米结构、装置和系统具有特殊的性能或功能可以被加以应用;③在原子水平上的操纵与控制。

纳米科学与技术研究的对象是纳米尺度下的物质,包括纳米尺度的分子、纳米材料、纳米器件,研究内容既包含了物理理论、结构分析、制备方法、测试技术等基础性和应用基础性的问题,同时还包含了加工制造新材料、微小机械装置和电子元器件等技术方面的问题。纳米科学技术的最终目标是实现原子、分子的直接操纵或安排,即在原子和分子水平上改造自然。纳米科学技术的特点是利用纳米尺度效应赋予材料、器件新的功能。

因此本书给出的纳米科学技术的基本定义是:以纳米尺度(1~100nm之间)的物质或结构为研究对象,研究它们的特性和相互作用原理,利用它们制造新型材料、微小器件、装置,纳米科学技术是与此相关的研究、制造和应用方面科学技术的总和。

2. 纳米科学技术的总体框架

纳米科学技术是以纳米尺度的物质为研究对象,它不是某一个学科(如物理、化学或电子学)单独完成的科学课题,而是通过全方位、多学科的综合研究共同完成。如图1-3所示,纳米科学技术是以纳米尺度的物质,如化学分子、生物大分子和纳米材料为出发点,构建纳米器件和纳米机电装置,分别以这些纳米结构为研究对象,形成纳米科学技术的主要分支:纳米化学、纳米机械学、纳米材料学、纳米电子学、纳米生物学。纳米科学的核

心是以纳米尺度各种结构——纳米材料、纳米器件、纳米机电装置等为研究对象,研究基本的构造、功能和作用原理;而纳米技术的核心是研究纳米尺度各种结构的测量、加工与制造技术。纳米技术生产出的纳米材料、纳米器件、纳机电系统(NEMS)等产品,在微电子、计算机、能源与环境、医疗与药品、航空航天、军事等的产业和领域的广泛应用,使纳米技术研究体系进一步的延伸。因此,纳米科学、纳米技术及应用构成了纳米科学技术的总体框架。

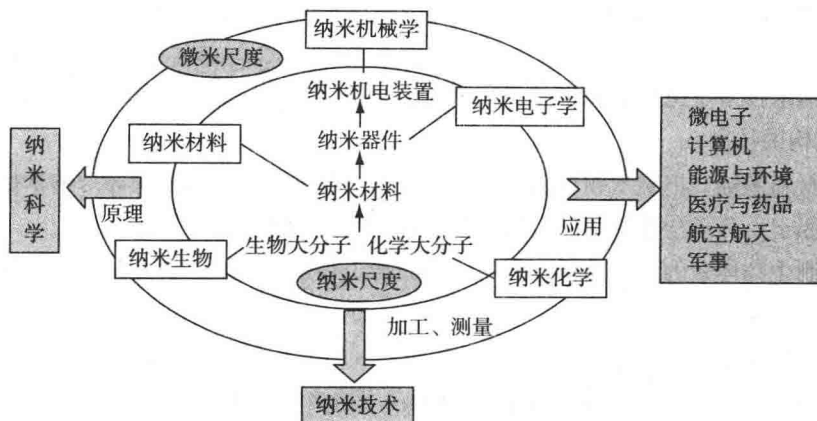


图 1-3 纳米科学技术总框架及分支

目前一般认为纳米科学技术的分支包括:纳米物理学、纳米化学、纳米材料学、纳米电子学、纳米机械学、纳米生物学、纳米测量学。目前纳米科学技术的这些分支尚无明确定义,这里给出的是它们所研究的主要内容。

(1) 纳米物理学。纳米物理学是纳米科学技术的理论基础。纳米物理学主要是研究纳米尺度物质、纳米结构、纳米材料和纳米器件所具有的特殊物理效应的理论,用物理理论(如量子力学、量子统计学、介观物理等)说明和预测具有纳米尺度的物质和结构的物理性质。

(2) 纳米化学。化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性能、反应和应用的学科。纳米化学是以纳米尺寸的分子为研究对象,采用化学合成的方法合成纳米材料、原子团簇和纳米结构等,以合成过程的反应控制条件为主要研究内容,并逐步延伸到原子团簇和纳米尺度物质特殊的化学性质、化学反应性质和催化作用等内容。

(3) 纳米材料学。以纳米材料为研究对象,主要包括纳米材料的制备、特性与应用研究。利用物理、化学和生物学等方法,以及分子组装、模板法等新技术合成材料,研制具有纳米结构的功能材料和智能材料。纳米材料学是纳米科学技术的应用基础,在纳米材料的基础上可建造出纳米器件与纳机电系统。

(4) 纳米电子学。纳米电子学主要研究纳米电子器件的制造、开发及理论。它的研究将伴随半导体材料的深入研究和纳米加工技术的发展而进行。纳米电子学是纳米技术的主要的推动力之一,实现纳米电子学的目标的方法之一是改进现有的集成电路加工技术,将集成电路的几何结构再缩小 10~100 倍。实现纳米电子学目标的方法之二是用纳米结构材料制备和开发纳米电子器件,如单电子晶体管、单电子存储器等。

(5) 纳米机械学。纳米机械学是研究纳米尺度机械的系统设计和制造的学科。研究涉及纳米机械材料、机械设计和加工、集成技术、装配技术、能源、控制等多学科多领域的内容。纳米机械学与微电子学、集成电路及功能材料密切相关,并以纳米电子技术,尤其是加工技术作为技术基础。原子、分子操纵技术、纳米加工技术、分子自组装技术等新科技已提供实现纳米机械的可能性。在一些实验室中,科学家们已经开始进行诸如纳米齿轮、纳米电池、纳米探针、分子泵、分子马达等纳米机械雏形的探索。

(6) 纳米生物学。纳米生物学是以生物大分子为研究对象。研究主要包括两个方面,一是利用纳米科学技术研究 DNA、蛋白质等生物大分子;另一个方面是利用生物大分子制造分子器件和分子机器。生物学发展到今天,早已走入分子生物学,通过基因改造生物特性,这与纳米科学技术的基本思路完全一致,即从下至上,从微观世界改造宏观世界。

(7) 纳米测量学。纳米测量学是建立纳米尺度下材料与结构的观察、分析表征的仪器和方法。宾宁(Binning)和罗雷尔(Rohrer)成功研制扫描隧道显微镜之后,1986年,两人又发明了原子力显微镜(AFM)。近年还出现了磁力显微镜、电容显微镜等新型检测技术,为纳米尺度下研究材料表面、器件的结构和操纵原子提供了手段,并带动了纳米科学技术的深入发展。

迄今为止,一直纵向进行的化学、物理等学科研究,从纳米的角度看,它们有一个共同的目标,纳米给了它们统一、融合的契机。可以说,纳米科学技术涉及基础科学的各个领域,同时又交叉渗透,如纳米材料的合成,可分别采用化学法、物理法和生物法制备,它体现了材料学与化学、物理及生物学的融合;纳米器件依据生物学、电子学、物理学等原理工作,利用纳米材料、纳米器件加工技术制造产生,因此纳米器件的研究需要将物理、电子、材料和生物学的理论与技术相结合。制作出的纳米材料和电子器件,在材料、信息、能源、环境、生命、军事等领域均具有广泛的应用前景,因此不同专业、不同行业人员可从不同角度研究纳米科学技术。纳米科学技术涉及的面非常广,这正是纳米科学技术具有如此之大的影响力和生命力的原因之一。

纳米科学技术是以技术目标为推动力,因此纳米制造技术、纳米电子、纳米材料是纳米科学技术的重中之重,是未来纳米产业的支柱。

1.1.3 纳米科学技术的发展动力

为什么人们要研究纳米科学技术?纳米科学技术发展的动力是什么?纳米科学技术是否代表了当今科学技术发展的趋势呢?认清了这些问题,就可以充分认识纳米科学技术的重要地位。

1. 人类从微观领域认识和改造自然的迫切愿望

最早提出纳米尺度上科学技术问题的是著名物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼(Richard Feynman)。早在1959年,在他的《在底部还有大量余地》的演讲中提出了这样的设想:如果有朝一日人们能够在分子和原子水平上操纵和控制物质,将大英百科全书的内容记录到一个针头大小的地方,世界将会发生怎样的奇迹?

在这里他指出了纳米科学技术的两个重要思想,即信息储存的微小型化和人类在分子、