

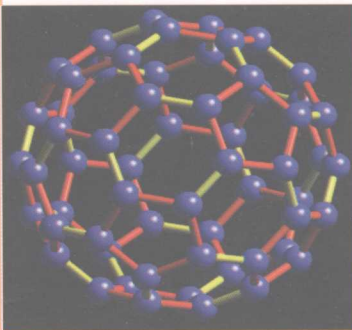
“十一五”上海重点图书
普通高等教育材料类专业规划教材

● 编 著 徐云龙 赵崇军 钱秀珍

N
AMI

纳米材料学概论

NAI LIAO XUE GAI LUN



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



华东理工大学优秀教材出版基金资助图书
普通高等教育材料类专业规划教材

纳米材料学概论

徐云龙 赵崇军 钱秀珍 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

纳米材料学概论/徐云龙,赵崇军,钱秀珍编著.
—上海:华东理工大学出版社,2008.10
(普通高等教育材料类专业规划教材)
ISBN 978-7-5628-2379-7

I. 纳... II. ①徐...②赵...③钱... 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 130578 号

普通高等教育材料类专业规划教材

纳米材料学概论

编 著/徐云龙 赵崇军 钱秀珍

策划编辑/周永斌

责任编辑/胡 景

责任校对/李 晔

封面设计/赵 军

出版发行/华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷/江苏通州市印刷总厂有限公司

开 本/787 mm×1092 mm 1/16

印 张/14.5

字 数/350 千字

版 次/2008 年 10 月第 1 版

印 次/2008 年 10 月第 1 次

印 数/1-4 050 册

书 号/ISBN 978-7-5628-2379-7/TB·24

定 价/29.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

前 言

纳米科学技术是 20 世纪 80 年代末期诞生并快速崛起的新科技,它是物理学、化学、生物学、材料学和电子学等多学科高度交叉的一门综合性学科。如同微米技术在 20 世纪 70 年代以后对人类社会进步的推动作用一样,纳米科技必将成为 21 世纪的主导技术。

纳米材料、纳米结构和纳米技术的应用不但可以节省资源和能源,而且对生态环境和人类健康也将发挥重要的作用。目前,纳米科技和纳米材料已引起世界各国的日益重视,纷纷制订纳米科技发展纲要和科技研究计划。我国的纳米科技研究也在诸多领域取得了可喜的成就,纳米高科技产业快速发展,纳米材料在改造和提升传统产业方面发挥着越来越重要的作用。为此,各行各业都迫切需要了解和掌握纳米材料和纳米科技的基本理论知识和发展趋势,为知识创新、技术创新、产品创新奠定基础。

目前,国内部分高等院校固体物理类和材料类专业已陆续开设了纳米材料本科生和研究生课程。微感不足的是,国内尚缺少适合本科生教学用的纳米材料学方面的教材。为此,作者在原有的《纳米材料学概论》讲义的基础上,结合近八年来对该课程的教学实践,以及对近年来国内外有关著作与文献的查阅和本教研室的工作积累,于 2004 年开始本教材的编写。

现代科技正在走向一个多学科交叉与融合的新阶段,为适应这一科学发展趋势,本书按照“广义纳米材料”的概念,将纳米结构与纳米组装两部分内容也编入其中,力求全面系统地介绍纳米材料和纳米科技的基础知识和重要成果。

本书按照教材和纳米材料教学的特点,力求突出以下几方面的特色:

1. 加强教材的基础性,对基本原理和基本概念进行重点阐释;
2. 为了更好地满足教学需要和体现教材特征,各章节附有“本章要求”以及“复习思

考题”；

3. 力争反映国内外纳米材料最新研究成果；
4. 加强各章节之间的有机联系,力求做到循序渐进；
5. 为了加强对相关理论的理解和学习,加入适当实例,在提高学习兴趣的前提下,加强学生对理论和实践的联系。

本教材以纳米材料的制备、结构及性能和应用为主线,从零维纳米结构单元到纳米组装体系,较系统地介绍了纳米材料的基础知识和最新科技成果。全书内容分为十章,其中第一章介绍了纳米材料的基本概念;第二章介绍了纳米材料的基本特性;第三章至第五章分别介绍了零维、一维和二维纳米结构单元的制备、结构特征及性能与应用;第六章介绍了纳米玻璃、纳米陶瓷、纳米金属和纳米高分子等三维纳米结构的制备、结构特点及性能与应用;第七章简要介绍了几种主要的三维纳米复合材料;第八章介绍了纳米结构的人工组装和分子自组装技术,以及分子器件与分子机器的类型和工作原理;第九章介绍了纳米材料的测量技术和表征方法,第十章介绍了纳米材料的应用现状和发展前景。

本书由徐云龙、钱秀珍和赵崇军共同编写,由徐云龙进行统稿和审定。在编写过程中,国家超细粉末工程研究中心於定华教授对本书提出了许多有益的建议;华东理工大学材料科学与工程学院的陶丽丽、王菟和肖宏等同学在书稿的资料收集、文字加工、绘图等方面做了大量的工作。此外,本书的编写得到了上海市纳米科技与产业发展促进中心的大力支持,华东理工大学教务处和出版社等部门的指导,谨此一并致谢。

由于纳米材料是一门新的学科,且涉及知识面广,限于作者水平,疏漏和错误之处在所难免,恳请同行专家、学者批评指正。

编者

2008年7月

内 容 简 介

本书系统地阐述了各类纳米材料的概念、制备方法、结构和性能特征以及表征技术和方法,在此基础上,展望了其发展前景。

本书旨在引导大学生对纳米科学和技术的认知与了解,帮助他们掌握纳米科技和纳米材料学的基本概念、基本原理、研究现状以及未来发展前景,从而启迪大学生的创新思维,拓宽其科学视野,培养他们对纳米科技的学习兴趣。

本书可以作为高等院校材料学、物理学和化学及有关专业高年级本科生和研究生的教材,也可作为从事纳米科技和纳米材料教学与研究工作者的参考用书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 纳米科技的基本内涵	1
一、纳米科技的起源	1
二、纳米科技的研究内容	2
第二节 纳米科技的研究意义	4
一、引发生产方式的变革	5
二、引发人类认知的革命	5
第三节 纳米材料的研究历史	6
一、纳米材料的研究历程	6
二、纳米材料的发展阶段	7
第四节 纳米材料的研究范畴	8
一、纳米材料的研究对象	8
二、纳米材料的研究内容	8
第五节 纳米化的机遇与挑战	10
一、纳米化机遇	11
二、纳米安全性	11
三、纳米标准化	12
复习思考题	13
参考文献	14
第二章 纳米材料的基本效应	15
第一节 小尺寸效应	15
一、特殊的热力学性质	15
二、特殊的磁学性质	16
三、特殊的力学性质	16
第二节 表面效应	16
第三节 量子尺寸效应	17
一、光谱线频移	18
二、导电性能的转变	18
第四节 宏观量子隧道效应	18
第五节 库仑堵塞与量子隧穿效应	19
第六节 介电限域效应	20
第七节 量子限域效应	20

第八节 应用实例	21
复习思考题	22
参考文献	22
第三章 零维纳米结构单元	23
第一节 原子团簇	23
一、原子团簇分类	24
二、碳原子团簇	24
第二节 人造原子	26
一、人造原子的概念	26
二、人造原子的特征	26
第三节 纳米粒子	27
一、纳米粒子的制备	27
二、纳米粒子的表面修饰	29
三、纳米粒子的结构特征	31
四、纳米粒子的特性	34
五、研究与发展现状	42
第四节 纳米脂质体及其靶向制剂	43
一、脂质体的组成	43
二、脂质体的形成原理	44
三、脂质体的结构与载药系统	44
四、纳米脂质体靶向给药系统	45
复习思考题	45
参考文献	46
第四章 一维纳米结构单元	47
第一节 碳纳米管	47
一、碳纳米管结构	48
二、碳纳米管的合成	48
三、碳纳米管的纯化	50
四、碳纳米管的稳定性	52
五、碳纳米管的特性	55
六、碳纳米管的应用	59
第二节 纳米线	62
一、金属纳米线	62
二、半导体纳米线	63
三、陶瓷纳米线	64
第三节 同轴纳米电缆	65
一、同轴纳米电缆的制备	65

二、同轴纳米电缆的应用	68
第四节 纳米带	69
一、纳米带的制备方法	70
二、纳米带的特性	72
三、纳米带的应用	72
第五节 纳米环	73
一、氧化锌纳米环	73
二、金纳米环	74
三、钴纳米环	74
复习思考题	75
参考文献	75
第五章 二维纳米结构——纳米薄膜	76
第一节 纳米薄膜的分类	76
一、根据微结构划分	76
二、根据用途划分	76
三、根据层数划分	77
第二节 纳米薄膜的制备方法	77
一、物理法	77
二、化学法	84
三、分子组装方法	89
第三节 纳米薄膜的性能	99
一、力学性能	99
二、光学性能	100
三、电磁学特性	101
第四节 纳米薄膜的应用	102
一、纳米光学薄膜	102
二、纳米耐磨损膜与纳米润滑膜	102
三、纳米磁性薄膜	102
四、纳米气敏薄膜	102
五、纳米渗透薄膜	102
六、纳米绝缘薄膜	103
七、纳米光电转换薄膜	103
复习思考题	103
参考文献	103
第六章 三维纳米结构	105
第一节 纳米玻璃	105
一、纳米玻璃的研究层次	105

二、纳米玻璃的制备方法	106
三、纳米玻璃的应用	108
第二节 纳米陶瓷	109
一、纳米陶瓷的制备	109
二、纳米陶瓷的特性	111
三、纳米陶瓷的应用	112
第三节 纳米介孔材料	113
一、分类及结构特征	113
二、介孔材料的合成	113
三、介孔材料的应用	116
第四节 纳米金属	117
一、纳米晶化技术	118
二、尺度效应	119
三、纳米金属材料的应用	120
第五节 纳米高分子	121
一、螺旋结构高分子	122
二、嵌段共聚物	122
三、树枝状高分子	124
第六节 最新研究进展	126
复习思考题	127
参考文献	127
第七章 纳米复合材料	128
第一节 纳米复合材料的分类	128
第二节 纳米复合材料的设计	130
一、纳米复合材料的功能设计	130
二、纳米复合材料的合成设计	130
三、纳米复合材料的稳定化设计	131
第三节 陶瓷基纳米复合材料	131
一、陶瓷基纳米复合材料的制备	131
二、陶瓷基纳米复合材料的性能	134
三、纳米复合陶瓷的作用机制	135
第四节 金属基纳米复合材料	136
一、金属基纳米复合材料的制备	136
二、金属基纳米复合材料的性能	138
三、金属基纳米复合材料的应用	140
第五节 聚合物基纳米复合材料	141
一、插层型聚合物纳米复合材料	141
二、填充型聚合物纳米复合材料	147

第六节 聚合物/聚合物纳米复合材料	151
一、分子复合纳米聚合物材料	151
二、原位复合纳米聚合物材料	151
三、聚合物微纤/聚合物纳米复合材料	152
第七节 纳米复合材料的应用前景	152
复习思考题	152
参考文献	153
第八章 纳米组装体系	154
第一节 人工组装	155
一、原子操纵	156
二、分子操纵	159
第二节 纳米加工	162
一、利用 STM 和 AFM 的纳米加工技术	162
二、聚焦离子束技术	163
三、准分子激光直写	164
四、纳米压印	164
第三节 分子自组装	165
一、组装基本原理	166
二、组装工艺	169
第四节 分子器件	171
一、分子导线	171
二、分子开关	174
三、分子整流器	179
第五节 分子机器	180
一、DNA 镊子	181
二、分子剪刀	181
三、分子刹车	182
四、分子马达	182
复习思考题	183
参考文献	183
第九章 纳米测量与表征	185
第一节 纳米测量技术	185
一、电子显微技术	186
二、衍射技术	189
三、谱学技术	190
四、热分析技术	191
第二节 纳米材料表征	192

一、纳米材料的粒度分析	192
二、纳米材料的形貌分析	194
三、成分分析	195
四、纳米材料的结构分析	195
五、纳米材料表面与界面分析	196
第三节 纳米测量技术的展望	197
复习思考题	197
参考文献	197
第十章 纳米材料的应用与展望	199
第一节 电子信息领域	199
一、纳米发电机	199
二、纳米马达	200
三、纳米计算机	201
第二节 生物医学领域	202
一、生物导弹	203
二、纳米医用机器人	205
三、生物芯片技术	206
第三节 能源与环境领域	207
一、纳米太阳能电池	207
二、纳米光催化	209
第四节 军事与航空领域	210
一、纳米卫星	210
二、隐身材料	211
三、太空梯	212
第五节 日常生活领域	214
一、超双疏界面材料	214
二、微胶囊相变材料	215
第六节 展望	215
参考文献	218

第一章 绪 论

本章要求

1. 理解纳米科技是介于宏观领域与微观领域之间的一个新领域,熟悉介观领域的研究范围与研究范畴。
2. 了解纳米科技的起源、分类以及与其他学科的联系,全面理解纳米科技的基本内涵。
3. 深刻领会纳米科技对未来科技与社会经济发展的重大作用和深远影响。
4. 认真体会纳米材料学是怎样的一门学科,了解它与物理、化学等学科的联系。
5. 了解纳米材料在人类历史和科学技术发展过程中的历史背景。
6. 了解纳米材料的发展经历了哪些历史阶段,已取得了哪些重要成就。
7. 掌握纳米材料的研究对象和研究内容,熟悉纳米材料的主要分类。
8. 理解纳米结构、纳米图案材料和纳米组装体系的基本概念。
9. 了解纳米结构组装体系的研究意义。
10. 理解纳米安全性和纳米标准化的重要性。

人类对客观世界的认识已远远超出直接用肉眼观察的范围,并逐渐发展为两个层次:一是以人的肉眼可见的物体为最小物体开始为下限,上至无限大的宇宙天体的宏观领域(Macroscopical Domain);二是以分子、原子为最大起点,下限是无限的微观领域(Microcosmic Domain)。然而,在宏观领域和微观领域之间,还存在着—块近年来才引起人们极大兴趣和有待开拓的“处女地”,即所谓的介观领域。在这个不同于宏观和微观的“介观领域”,由于物质小到1至100纳米时,其量子效应、物质的局域性、巨大的表面及界面效应,使物质的很多性能发生质变,呈现出许多既不同于宏观物体,也不同于单个孤立原子的奇异现象,从而开辟了人类认识世界的新层次。这标志着人类的科学技术进入了一个新时代,即纳米科技时代。

第一节 纳米科技的基本内涵

一、纳米科技的起源

最早提出纳米尺度上科学和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)。1959年他在一次著名的演讲中预言:如果人类能够在原子/分子的尺度上来加工材料、制备装置,将有许多激动人心的新发现。此外他还指出,人们需要新型的微型化仪器来操纵纳米结构并测定其性质。那时,化学将变成根据人们意志逐个地准确放置原子的问题。

20世纪80年代初,扫描隧道显微镜(Scanning Tunneling Microscopy, STM)、原子力显微镜(Atomic Force Microscopy, AFM)等微观测量表征和操纵技术的发明对纳米科技的发展起到了积极的推动作用。

1990年7月,第一届国际科学技术会议与第五届国际扫描隧道显微学会议同时在美国巴尔的摩举办,《纳米技术》与《纳米生物学》这两种国际性专业期刊也相继问世。从此,一门崭新的科学技术——纳米科技得到了科技界的广泛关注。

美国IBM公司首席科学家阿姆斯壮(John Armstrong)预测:“正像20世纪70年代微电子技术产生了信息革命一样,纳米科学技术将成为下一世纪信息时代的核心。”我国著名科学家钱学森也预言:“纳米和纳米以下的结构是下一阶段科技发展的一个重点,会是一次技术革命,从而将是21世纪又一次产业革命。”无疑,纳米新科技将成为21世纪科学的前沿和主导科学。

二、纳米科技的研究内容

纳米(nm)是一个长度单位,1 nm 等于十亿分之一(10^{-9})米,1 nm 大体上相当于10个氢原子紧密地排列在一起所具有的长度。从具体的物质来说,人们往往用细如发丝来形容纤细的东西,其实人的头发一般直径为20~50 μm 。单个细菌用肉眼看不出来,用显微镜测出直径约为5 μm 。

纳米科技是指在纳米尺度(一般为1~100 nm,但对于很小的原子和很大的分子的物质往往会突破这个下限和上限)上研究物质的特性和相互作用,同时利用这些特性在这一尺度范围内对原子、分子进行操纵和加工的多学科交叉的科学和技术。纳米科技的研究内容主要包括以下四个方面:

- (1) 创造和制备优异性能的纳米材料;
- (2) 设计和制备各种纳米器件和装置;
- (3) 探测与分析纳米区域的性质和现象;
- (4) 以原子、分子为起点,去设计制造具有特殊功能的产品。

纳米科技与以往的科技领域不同,它涉及物理学、化学、材料学、生物学和电子学等几乎所有的科学技术领域,并引发和派生了纳米物理学、纳米化学、纳米材料学、纳米生物学和纳米医学等新的前沿科学,以及纳米材料、纳米器件、纳米测量与纳米加工等密切相关而又自成体系的纳米技术领域。纳米科技所涉及的研究领域如图1-1所示。

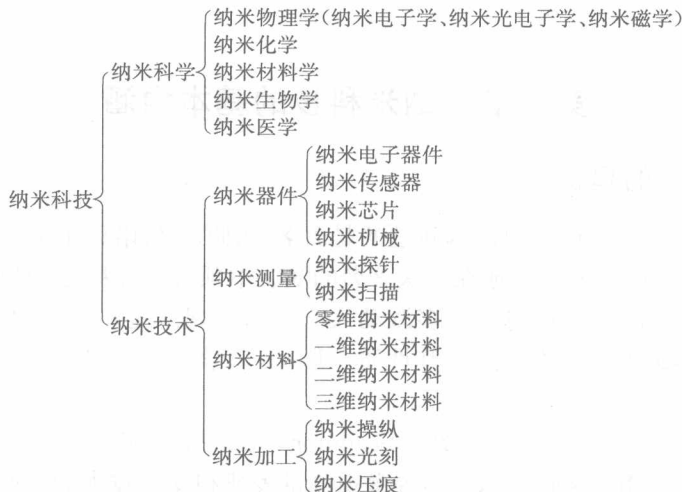


图 1-1 纳米科技的研究与应用领域

纳米物理学(Nano physics)

纳米物理学是深入提示物质在纳米空间的物理过程和物质表征的新型科学。它以纳米固体为研究对象,对其结构的奇异性、光学性质、特殊的导电机理等重要物理问题进行研究以开发物质的潜在信息和结构潜力,并将对电子技术产生重大影响。目前纳米物理学已派生出纳米电子学(Nanoelectronics)、纳米光学(Nanooptics)、纳米电磁学(Nanoelectromagnetics)和纳米光电子学(Nanooptoelectronics)等分支学科。其中纳米电子学和纳米光电子学是纳米物理学最重要的组成部分。

纳米电子学是微电子技术向纵深发展的直接结果,它的研究内容主要包括:纳米结构的光性质与电性质、纳米电子材料的表征、原子操纵和原子组装以及利用电子的量子效应原理制作量子器件(纳米器件)。纳米电子学的核心任务是解决微电子学及微电子器件进入深亚微米、纳米领域后遇到的各种技术问题、材料问题以及理论问题,并致力于发展基于全新物理原理的新一代纳米器件。

纳米光电子学是在纳米半导体材料的基础上发展起来的,是纳米电子学发展的方向。纳米光电子学是研究纳米结构中电子与光子的相互作用及其器件的一门高技术学科。光电子技术与纳米电子技术相结合而产生了纳米光电子技术。半导体硅不能发光,但采用纳米技术后,它能发出耀眼的蓝光,这也就开拓出了一门崭新的学科——纳米光电子学。在纳米科技时代,纳米电子学和纳米光电子学是纳米科技发展的重点。人们正注视着纳米电子学和纳米光电子学领域的新进展。

纳米化学(Nanochemistry)

纳米化学是研究与纳米体系相关的化学问题的一门新的分支学科,其研究对象主要包括合成纳米体系的化学方法以及纳米体系由于量子效应而产生的化学特性。过去化学家主要是通过改变物质的化学组成和化学结构来使其具有人们所需要的特性,现在的研究兴趣则开始转向由几十个、几百个、几千个原子或分子组成的聚集体的化学行为,关注它们与具有同样组成的块体材料的化学行为的差异。

纳米材料学(Nanomaterials)

纳米材料学是研究纳米材料的设计、制备、性能和应用的一门纳米应用科学。在纳米尺度下,物质中电子的波动性以及原子的相互作用将受到尺寸大小的影响。如纳米尺度的结构材料,能在不改变物质化学成分的情况下,通过调节其纳米尺寸的大小来控制材料的基本性质,如熔点、磁性、电容甚至颜色等。

纳米生物学(Nanobiology)

纳米生物学是在纳米尺度上应用生物学原理研究细胞内部各种细胞的结构和功能,研究细胞内部、细胞内外之间以及整个生物体的物质、能量和信息交换的一门新学科,主要内容包括在纳米尺度上研究生物大分子的精细结构及其与功能的联系;在纳米尺度上研究DNA遗传信息,并获取生命信息,利用STM获得细胞膜和细胞器表面的结构信息;用纳米传感器获得各种系列化反应的化学信息和电化学信息;仿生学和纳米生物机器人的研究等。

生物芯片是20世纪90年代发展起来的集现代生物技术、信息技术、微电子技术和微机电技术为一体的高新技术。它主要是指通过微加工和微电子技术在固体芯片表面构建微型生物化学分析系统,以实现对生命机体的生物组分进行准确、快速、大信息量的检测。目前常见的生物芯片分为三大类:基因芯片、蛋白芯片和芯片实验室等。生物芯片的主要特点

是高通量、微型化和自动化,检测效率是传统检测手段的成百上千倍。将其直接应用于临床诊断、药物开发和人类遗传诊断,植入人体后使人们随时随地都可享受医疗,而且可在动态检测中发现疾病的先兆信息,使早期诊断和预防成为可能。

纳米医学(Nanomedicine)

所谓纳米医学,是人们从分子水平上研究和认识生命的现象和过程,创造并利用纳米装置和纳米器件来防病治病,改善包括人类的整个生命系统的一门新兴学科。纳米医学的最终目标是在分子水平上进行生命疾病的诊断、治疗以及防治。

纳米医学包括纳米药物(Nanodrug)、药物转运(Drug transfer)、生物芯片(Biochip)和纳米生物传感器(Nano-biosensor)等,其中纳米药物和生物芯片在纳米医学中占有重要的地位。

纳米加工(Nanometric Machining, NM)

纳米加工是指达到纳米级精度、尺度和效率的加工方法或工艺技术。它是为了适应微电子及纳米电子技术、微机械电子系统的发展而迅速发展起来的一门加工技术。纳米级加工是将待加工器件表面的一个个原子或分子作为直接的加工对象,因而,纳米级加工的物理实质就是要切断原子或分子间的结合,实现原子或分子的去除或增添。但各种物质是以共价键、金属键、离子键等形式结合而成的,要切断原子间的结合需要提供很大的能量密度。纳米加工主要包括原子和分子操纵技术、纳米光刻和纳米压痕等技术。

纳米器件(Nano-devices)

纳米器件是指器件的特征尺寸在纳米范围(1~100 nm)内的器件,包括纳米电子器件、纳米光电器件、分子器件和分子机器。纳米器件的工作原理和特性与传统意义上的微电子器件有根本性的不同:微电子器件中的电子输运适合于玻耳兹曼方程,而纳米电子器件中电子的运动遵循量子力学原理;微电子器件中电子更多地表现出粒子性,而纳米电子器件中电子更多地表现出波动性,其中量子效应起重要作用。

第二节 纳米科技的研究意义

纳米科技使人类认识和改造物质世界的手段和能力延伸到了原子和分子水平,它的最终目标是利用物质在纳米尺度上表现出来的特性,直接以原子、分子构筑和制造具有特定功能的产品,实现生产方式的飞跃。因而,纳米科技将对人类产生深远的影响。

美国《商业周刊》将纳米科技列为 21 世纪可能取得重要突破的三个领域之一(其他两个为生命科学和生物技术,从外星球获得能源)。从 1999 年开始,美国政府决定把纳米科技研究列入 21 世纪前十年十一个关键领域之一;日本政府宣布,将纳米技术列为新五年科技基本计划的研发重点,并实行“官产学”联合攻关,加速这一高新技术的开发;德国政府宣布将纳米科技列为 21 世纪科研创新的战略领域,英国贸工部公布《国家科学与创新白皮书》,宣布增加 2.5 亿英镑预算,以加强包括纳米科技在内的四大领域的研究。联合国的 19 家著名研究机构,建立专门的纳米技术研究网。

纳米科技的陡然升温不仅仅是研究对象的尺寸变小的问题,实质上是由纳米科技在推动人类社会产生巨大变革方面所具有的重要意义决定的。

一、引发生产方式的变革

从石器时代开始,人类传统的生产方式是“从大到小”或者“由上到下”的加工技术。人类从磨尖箭头到光刻芯片的所有技术,都是通过削去“多余”的物质(数以亿计的原子),以便把物质做成有用的形态。而纳米技术的实现方式是从微观到宏观,即“从小到大”或者“自下而上”。人类可以在原子水平上直接生产出自己所需要的任何东西,如分子大小的“万能制造机”、“原子装配机”,并能够运用任何材料去合成一切生存和享用的必需品。人类可以用小的机器制造更微小的机器,最后将变成根据人类意愿,逐个地排列原子,制造产品及在原子层面上操纵物质。

纳米技术能使常规材料呈现出非常规物理特性,具有巨大的市场价值和开发价值,一些发达国家都投入了大量的资金进行研究工作。目前纳米技术也已经渗透到了某些传统产业中,如染料、涂料、食品等。通过纳米技术可使涂料的耐洗刷性由原来的一千多次提高到一万多次,延长老化时间。造价更低、功能更强的微型传感器将广泛应用在社会生活的各个方面。比如,将微型传感器装在包装箱内,可通过全球定位系统,对贵重物品的运输过程实施全程跟踪监督;将微型传感器装在汽车轮胎中,可制造出智能轮胎,这种轮胎会告诉司机轮胎何时需要充气或更换。这种对传统产业进行纳米改性的技术,企业应用的投入不大,而且市场前景广阔。鉴于纳米科技对未来工业的革命性影响和对传统产业技术改造的广泛性,发达国家的企业为开拓巨大的潜在市场,正在加强技术储备,努力占领战略制高点。

目前,硅 MOS 集成电路的极限线宽一般认为是 $0.03\ \mu\text{m}$ (30 nm)。根据美国半导体工业协会预计,到 2010 年之前,微电子器件的线宽将达到这一物理极限。半导体器件的尺寸将达到 $0.1\ \mu\text{m}$ (100 nm),这正好是纳米结构器件的最大长度。这不仅是加工精度、研发投入巨大以及量子尺寸效应对现有器件特性影响所带来的物理和技术限制问题,更重要的是将受到硅及作为绝缘层的二氧化硅自身性质的限制。小于这一尺寸,所有的芯片需要按照新的原理来设计。为了突破信息产业发展的瓶颈,我们必须研究纳米尺度中的理论问题和技术问题,建立适应纳米尺度的新的集成方法和新的技术标准。而在这一尺度上制造出的新型计算机的运算和存储能力将比目前微米技术下的计算机的速度和效率提高数百万倍,使存储容量达到数万亿比特,并且使能耗降低到现在的几十万分之一;通信带宽可能会增大好几百倍;可折叠的显示器将比目前的显示器明亮 10 倍,这将对信息产业和其他相关产业的一场深刻的革命。

生命科技在纳米科技的影响下同样也面临着巨大变革。在纳米层次,生物系统具有完整、精密的结构和自我修复功能的组织,这可能使科学家将人造组件和装配系统放入细胞中,以制造出结构经过组装后的新材料和新器件。更多的与生物机体兼容的材料有可能使人类模拟自然的自行装配。因此,纳米科技是未来信息科技与生命科技进一步发展的共同基础,必将对我们的未来工作和生活产生深远的影响。

二、引发人类认知的革命

人类在感受纳米科技所展现的奇异的物质结构、特性与功能的同时,也正潜移默化地更新观念,调整着习以为常的认知方式。这主要表现在以下三个方面。

(1) 纳米科技标志着人类认识自然达到了一个新层次,其纳米尺寸效应使人们认识自