

纳米科学与技术丛书

# 纳米科学与技术

刘吉平 郝向阳 编著

科学出版社

2002

## 内 容 简 介

本书为《纳米科学与技术丛书》之一。纳米技术是 21 世纪的高科技前沿技术,它将广泛涉及各学科、各行业。本书作者结合自己的科研课题,系统阐述了纳米技术的有关概念、应用、国内外研究开发战略和中国的纳米产业。本书紧跟当代纳米技术发展的最新成就和前沿,收集了国内外纳米行业研究开发的最新资料和信息,吸收了当前国内外在纳米领域的新成果、新观点、新理论和产业化实例,具有最新实时的特点,为科研工作者提供了新思路和应用信息,为企业家提供了可能推向市场的新技术和新材料,为决策者和投资商提供了决策资料。

本书可供大专院校有关专业的师生,纳米材料与技术的研究开发人员,工程师,企业家等参考、阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

纳米科学与技术/刘吉平,郝向阳编著. —北京:科学出版社,2002  
(纳米科学与技术丛书)

ISBN 7-03-010164-2

I. 纳… II. ①刘…②郝… III. 纳米材料—技术 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 009166 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2002 年 8 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2002 年 8 月第一次印刷 印张:10 1/2

印数:1—4 000 字数:322 000

定价:21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

# 序

享有盛誉的美国科学促进协会第 167 届年会已在旧金山落下帷幕。纳米技术作为该会的一个重要主题,成了这次会议发出的最强烈信号。目前,美国、日本及欧洲各国都在争夺纳米科技制高点。美国制定了纳米技术战略,与 21 世纪信息技术战略并列为最优先研究开发的重点。日本政府在其《2001 年度科学技术振兴重点指南》中,也把纳米技术列为重点,并成立了专门机构。西欧对纳米技术的投入已达数亿美元,还将纳米技术列入欧盟 2002~2006 年科研框架计划。“纳米热”的形成与新经济密切相关。新经济以知识经济为基础,面向 21 世纪的高新技术产品为特征。在新经济时代必须发展纳米技术,生产纳米产品,营造纳米经济。如果说网络技术是新经济的血管,纳米技术则是新经济的血液。纳米技术作为一种新技术,将引起产业结构的变化,为新经济创造有形财富。纳米技术还是新旧经济的纽带,应用到传统工业领域,将促进产品的更新换代。纳米技术给人类带来的变化一点也不亚于蒸汽机、计算机的贡献。

纳米科学技术的研究,目前虽然仍处于基础研究或应用基础研究阶段,但研究表明,纳米技术有可能成为替代硅和其他半导体材料而成为下一代信息的最佳选择。参加美国科学促进协会年会的各国专家认为,纳米材料的发展将会引起一场“计算机革命”。人们已看到,在一些领域,纳米技术已经得到应用,正在向产业化进军。美国、日本及欧洲各国已越来越清楚地意识到纳米技术在新经济和综合国力竞争中的分量。这是一场世界性角逐,也是一个难得的发展机遇。为迎接纳米时代的到

来,我国加快了科研和产业化部署,如“863”计划将纳米材料列为新材料专项,其他领域或部门也都给予了重视。为了使我国纳米技术沿着健康道路发展,科技部成立了“国家纳米科技指导协调委员会”。

由刘吉平教授等编写的《纳米科学与技术丛书》不仅是大量中外文献的总结,同时也反映了作者近年来在纳米材料研究与应用方面的成果。本丛书涉猎面广泛,不局限于枯燥的专业描述,而是力求深入浅出,读来生动有趣,令人耳目一新,能使各专业人员在更大的背景下了解纳米科学与技术。

师昌绪

2002年7月

## 前 言

纳米科学与技术是 20 世纪科技发展的结晶,是 21 世纪的三大高科技之一,纳米科学与技术将对其他学科、产业和社会产生深远的影响。

本书涉及了纳米技术的各分支领域,涵盖了从化工到材料、物理、机电、电子/微电子学、计算机、通信、网络、生物工程、医学、军事、制造、产业、国际国内研发战略/政策及由此引发的社会问题等各方面。

此前已有几种纳米方面的专著和较初级的读物出版,本书作者力图兼顾深度与广度,采用深入浅出的阐述,使其既适于专业人士,也适于领导干部和企业家以及对纳米科学感兴趣者阅读。作为抛砖引玉,如果本书能激起您的兴趣,启发您的灵感,本书作者将感到非常高兴。

本书汇聚了作者多年以来的工作,课题组硕士研究生孙洪强、田军、张艾飞、刘莉等为本书的撰写提供了大量的资料,贵州师范大学高级访问学者廖丽玲和本课题组的姜仁富副教授、贵大勇副教授也为本书收集整理了大量的资料,北京理工大学化工与材料学院、北京防护材料与技术研究所以及学术界众多科技工作者为本书的编写提出了不少宝贵意见,在此一并致谢。

由于作者学识所限,时间仓促,难免会出现疏漏,恳请广大读者谅解并批评指正。

作 者

2001 年 9 月

# 目 录

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第 1 章 纳米科学与技术基本概念       | (1)  |
| § 1.1 纳米科技基本概念          | (1)  |
| 1.1.1 基本概念              | (1)  |
| 1.1.2 纳米技术的内涵           | (2)  |
| 1.1.3 其他纳米概念            | (5)  |
| § 1.2 纳米科技发展历程          | (6)  |
| 1.2.1 纳米科技发展简史          | (6)  |
| 1.2.2 纳米技术发展可能经历的 5 个阶段 | (9)  |
| § 1.3 纳米粒子的性质           | (10) |
| 1.3.1 表面效应              | (10) |
| 1.3.2 体积效应              | (10) |
| 1.3.3 量子尺寸效应            | (11) |
| 1.3.4 宏观量子隧道效应          | (11) |
| 1.3.5 光学性质              | (12) |
| 1.3.6 电磁性质              | (13) |
| 1.3.7 化学和催化性能           | (13) |
| 1.3.8 Hall-Petch(H-P)关系 | (14) |
| 1.3.9 热性质               | (15) |
| 1.3.10 其他性质             | (16) |
| 参考文献                    | (16) |
| 第 2 章 纳米科学研究方法          | (17) |
| § 2.1 纳米粉体的制备技术         | (17) |
| 2.1.1 固相法               | (17) |
| 2.1.2 气相法               | (19) |
| 2.1.3 化学气相沉积法           | (21) |

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| 2.1.4 液相法 .....                  | (26)        |
| § 2.2 碳纳米管 .....                 | (41)        |
| 2.2.1 富勒烯 .....                  | (41)        |
| 2.2.2 碳纳米管的特性 .....              | (42)        |
| 2.2.3 碳纳米管的制备 .....              | (44)        |
| 2.2.4 性能和应用 .....                | (52)        |
| § 2.3 扫描探针显微——纳米检测和加工的核心技术 ..... | (67)        |
| 2.3.1 扫描隧道显微镜的工作原理 .....         | (68)        |
| 2.3.2 扫描探针显微技术的关键 .....          | (69)        |
| 2.3.3 扫描探针显微技术的应用 .....          | (71)        |
| 2.3.4 扫描探针显微技术的发展 .....          | (71)        |
| 参考文献 .....                       | (72)        |
| <b>第3章 纳米技术的应用 .....</b>         | <b>(75)</b> |
| § 3.1 纳米技术在日常生活中的应用 .....        | (75)        |
| 3.1.1 纳米技术在纺织品中的应用 .....         | (75)        |
| 3.1.2 食品加工 .....                 | (79)        |
| 3.1.3 纳米涂料 .....                 | (80)        |
| 3.1.4 二元协同纳米界面材料 .....           | (84)        |
| 3.1.5 纳米化妆品 .....                | (87)        |
| 3.1.6 体育器材 .....                 | (88)        |
| § 3.2 聚合物基纳米复合材料 .....           | (90)        |
| 3.2.1 纳米粒子添加共混改性聚合物 .....        | (91)        |
| 3.2.2 纳米插层复合材料 .....             | (94)        |
| 3.2.3 纳米改性聚合物基复合材料的性能 .....      | (95)        |
| 3.2.4 聚合物基纳米复合材料的应用 .....        | (97)        |
| § 3.3 纳米陶瓷与金属 .....              | (103)       |
| 3.3.1 纳米陶瓷 .....                 | (103)       |
| 3.3.2 纳米金属 .....                 | (110)       |
| § 3.4 纳米技术在催化、能源、环保领域中的应用 .....  | (113)       |
| 3.4.1 纳米催化剂 .....                | (113)       |

---

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 3.4.2 纳米技术在能源领域中的应用 .....      | (121)        |
| 3.4.3 纳米技术在环保领域中的应用 .....      | (127)        |
| § 3.5 纳米电磁材料 .....             | (134)        |
| 3.5.1 纳米磁性材料 .....             | (134)        |
| 3.5.2 聚合物基纳米复合电磁材料 .....       | (143)        |
| § 3.6 纳米光学材料 .....             | (144)        |
| 3.6.1 聚合物基纳米光学材料 .....         | (144)        |
| 3.6.2 智能塑料自组装光学材料 .....        | (145)        |
| 3.6.3 菌紫质 .....                | (146)        |
| § 3.7 纳米技术在电子技术中的应用 .....      | (156)        |
| 3.7.1 纳米器件与纳米电子学 .....         | (156)        |
| 3.7.2 芯片上的实验室 .....            | (171)        |
| 3.7.3 纳米计算机 .....              | (183)        |
| 3.7.4 纳米传感器 .....              | (194)        |
| 3.7.5 纳米家电 .....               | (203)        |
| § 3.8 纳米微机械技术 .....            | (206)        |
| 3.8.1 纳米微机械 .....              | (206)        |
| 3.8.2 纳米技术对制造业的影响 .....        | (214)        |
| § 3.9 纳米技术在分子生物与医学领域中的应用 ..... | (220)        |
| 3.9.1 纳米技术在分子生物基础研究中的应用 .....  | (220)        |
| 3.9.2 纳米技术在医学领域中的应用 .....      | (227)        |
| § 3.10 纳米技术在军事领域中的应用 .....     | (243)        |
| 3.10.1 提高常规武器装备的性能 .....       | (245)        |
| 3.10.2 微机电系统 .....             | (254)        |
| 3.10.3 纳米技术将改变战争形态 .....       | (268)        |
| 参考文献 .....                     | (269)        |
| <b>第 4 章 纳米科技应用研究展望 .....</b>  | <b>(273)</b> |
| § 4.1 相关领域对纳米技术的推动 .....       | (273)        |
| 4.1.1 分子调节剂 .....              | (273)        |
| 4.1.2 互锁分子环 .....              | (274)        |



# 第 1 章 纳米科学与技术基本概念<sup>[1~7]</sup>

## § 1.1 纳米科技基本概念

### 1.1.1 基本概念

纳米(nm)是一种长度单位,是十亿分之一( $10^{-9}$ )米。人的头发在显微镜下观察,可测得直径为  $20\sim 50\mu\text{m}$ 。单个细胞用肉眼看不见,但在显微镜下观察,可测得直径为  $5\mu\text{m}$ (即  $5\,000\text{nm}$ )。氢原子的直径为  $0.1\text{nm}$ ,一般金属原子直径为  $0.3\sim 0.4\text{nm}$ ,所以  $1\text{nm}$  约等于 4 个原子的直径。目前,最小的集成电路,每个边长为  $0.25\mu\text{m}$ ,在这个电路的表面可包含 100 万个原子。纳米科学是研究  $0.1\sim 100\text{nm}$  范围内物质所特有的现象和功能的科学,是研究在十亿分之一到千万分之一米内,原子、分子和其他类型物质的运动和变化的科学。也就是说,几十个原子、分子或成千个原子和分子“组合”在一起时,表现出既不同于单个原子、分子的性质,也不同于宏观物质的性质。有时这种组合被称为“超分子”或“人工分子”,以区别于正常的原子和分子,这种“超分子”往往具有人们意想不到的性质。天然分子的大小从具有 3 个原子的水分子到具有几百个原子的蛋白质和具有几百万个原子的 DNA 分子,都在纳米尺度范围。在纳米量级内,物质颗粒的尺寸已经接近原子,这时量子效应已开始影响到物质的结构和性能。如金属 Cu 到纳米级就成为电的不良导体; $\text{SiO}_2$  具有优良的绝缘性,而达到  $20\text{nm}$  时却开始导电。由于纳米微粒( $0.1\sim 100\text{nm}$ )结构独特,因而由其构成的纳米材料具有传统材料和器件所没有的新的特性和功能。纳米微粒的独特结构,使其产生了表面效应、体积效应和量子尺寸效应等,从而使纳米材料表现出光、电、磁、吸附、催化以及生物活性等特殊性能。

狭义的纳米技术是以纳米科学为基础制造新材料、新器件、研究新工艺的方法和手段。纳米科学与技术有时称为纳米技术,即研究结构尺度在  $0.1\sim 100\text{nm}$  范围内材料的性质及其应用。纳米科学与技术实际上就是研

究一小堆原子(团簇)甚至于单个原子或分子的一门学科。纳米技术也是用单个原子、分子制造物质的科学技术。纳米科学与纳米技术的概念在各文献中的表述也不尽相同,但会随着这门学科的发展而不断完善,这里着重介绍它的一些特征。纳米技术以现代先进科学技术为基础,是现代科学(混沌物理、量子力学、介观物理、分子生物学)和现代技术(计算机技术、微电子和扫描隧道显微镜技术、核分析技术)相结合的产物。在纳米领域,各传统学科之间的界限变得模糊,各学科高度交叉和融合。纳米科学与技术引发了一系列新的科学技术,例如纳米电子学、纳米材料学、纳米机械学等。纳米科学与技术被认为是世纪之交出现的一项高新技术。

纳米科技不是某一学科的延伸,也不是某一新工艺的产物,而是基础理论学科与当代高技术的结晶。它以物理、化学的微观研究理论为基础,以当代精密仪器和先进的分析技术为手段,是一个内容广阔的多学科群。按目前的研究领域,可把纳米技术分为纳米材料学、纳米电子学、纳米生物学、纳米机械学、纳米光学等,每一门分支又都是相互交叉的边缘科学。

### 1.1.2 纳米技术的内涵

纳米技术研究的内容主要有以下 4 个方面:

#### 1.1.2.1 纳米材料

纳米材料是指由纳米结构单元构成的任何类型的材料,如金属、陶瓷、聚合物、半导体、玻璃和复合材料等,而这些纳米级的结构单元,如纳米粒子(零维结构体系,0D)(也称超微粒子)、纳米层(二维结构体系,2D)和碳纳米管(一维结构体系,1D)等,又是由原子和分子组成的。通过改变纳米结构单元的大小,控制内部和表面的化学性质,控制它们的组合,就能设计材料的特性和功能。

#### 1.1.2.2 纳米动力学

纳米动力学主要研究微机械和微电机,或总称为微型电动机械系统(micro electronics and mechanics system, MEMS),主要用于有传动机械的微型传感器和执行器、光通信系统、特种电子设备、医疗和诊断仪器等。

MEMS用的是一种类似于集成电路设计和制造的新工艺。MEMS把传感器、电动机和各种处理器都放在一个硅芯片上形成一个系统,特点是部件很小,刻蚀的深度往往要求数百微米,而宽度误差只允许万分之一。这种工艺还可用于制作转子直径为  $400\mu\text{m}$  的三相电动机,用空气作轴承,转速可达  $10^6 \sim 10^7 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,调向时间小于  $1\mu\text{s}$ ,用于超快速离心机或陀螺仪等。目前,纳米技术还刚刚诞生,离真正的应用还有一定距离,但已显示出其重大而深远的应用前景。现在纳米技术正从 MEMS 起步引发一场技术革命。

一个原子挨着一个原子,便是自然界设计和制造万物的方式,意味着能把许多分子装配成有用的器件,这样的制造过程就像结晶中的晶体自己在长大。如果人类也能在原子的水平上进行设计,便能制造出任何想要得到的材料。虽然离这种目标还相当遥远,但在利用 MEMS 上已初见端倪。今后 5 年它将在计算机硬件、通信部件特别是无线电通信的关键部件、汽车发动机、工厂装配线中取代现有昂贵的部件。

#### 1.1.2.3 纳米生物学和纳米医药学

有了纳米技术,可以研究生物分子之间的相互作用,研究磷脂、脂肪酸双层平面生物膜和 DNA 的精细结构等,还可利用自组装方法在细胞内放入零件或组件构成新的材料。新的药物,即使是微米粒子的细粉,也大约有半数不溶于水,但粒子尺度达到纳米时,则可溶于水。在医学方面,将有能力修复或更换人体损坏的器官。肽类大分子是维持生命的重要物质,将肽类制成纳米级又不使肽结构受到破坏,将有助于人体吸收,增强免疫力,延长寿命。

#### 1.1.2.4 纳米电子学

纳米电子学包括基于量子效应的纳米电子器件、纳米结构的光性质与电性质、纳米电子材料的表征以及原子操纵和原子组装等,它将掀起微型化和分子化的浪潮。

需要指出的是纳米技术的基础是纳米材料。在充满生机的 21 世纪,信息、生物技术、能源、环境、先进制造技术和国防的高速发展必然对材料提出新的要求。元件的小型化、智能化、高集成、高密度存储和超快传输等对材

料的尺寸要求越来越小;航空航天、新型军事装备及先进制造技术等对材料性能要求越来越高。新产品的创新是未来 10 年对社会发展、经济振兴、国力增强最有影响力的战略研究领域,材料的创新以及在此基础上衍生的新技术,将起重要的作用。纳米材料和纳米结构是当今新材料研究领域中最高活力、对未来经济和社会发展有着重要影响的研究对象,也是纳米科技中最活跃、最接近应用的重要组成部分。很多跨国公司、企业和财团一直密切关注纳米材料的研究,并建立了专门的研究队伍。近年来,纳米材料和纳米结构取得了引人注目的成就。例如,存储密度达到每平方英寸( $\text{in}^2$ )<sup>①</sup> 400G 的磁性纳米棒阵列的量子磁盘、成本低廉发光频段可调的高效纳米阵列激光器、价格低廉高能量转化的纳米结构太阳能电池和热电转化元件、用作轨道炮道轨的耐烧蚀高强度高韧纳米复合材料等的问世,充分显示了它在国民经济新型支柱产业和高技术领域应用的巨大潜力。纳米材料和纳米结构的应用将对如何调整国民经济支柱产业的布局、设计新产品、形成新的产业及改造传统产业注入高科技含量提供新的机遇。

研究纳米材料和纳米结构的重要科学意义在于它开辟了人们认识自然的新层次,是知识创新的源泉。由于纳米结构单元的尺度(0.1~100nm)与物质中的许多特征长度相当,如电子的德布罗意波长、超导相干长度、隧穿势垒厚度、铁磁性临界尺寸,从而导致纳米材料和纳米结构的物理、化学特性既不同于微观的原子、分子,也不同于宏观物体,从而把人们探索自然、创造知识的能力延伸到介于宏观和微观物体之间的中间领域。在纳米领域发现新现象,认识新规律,提出新概念,建立新理论,为构筑纳米材料科学体系新框架奠定基础,将极大丰富纳米物理和纳米化学等新领域的研究内涵。世纪之交,高韧性纳米陶瓷、超强纳米金属等仍然是纳米材料领域重要的研究课题;纳米结构设计,异质、异相和不同性质的纳米基元(零维纳米微粒、一维碳纳米管、纳米棒和纳米丝)的组合,纳米尺度基元的表面修饰改性等形成了当今纳米材料研究新热点,人们可以有更多的自由度按自己的意愿运用纳米技术搬运原子合成具有特殊性能的新材料。利用新物性、新原理、新方法设计纳米结构原理性器件以及纳米复合传统材料改性正孕育着新的

① 非法定单位,  $1\text{in}^2 = 6.451\,6000 \times 10^{-4}\text{m}^2$ 。

突破。

总之,这一由化学、物理学、生物学以及电子学等多种学科相互交叉而形成的新学科——纳米技术,将带来一大批产业的革命,其影响将可与20世纪后半叶微电子学所起的作用相比拟,没有人能够无视这一挑战的巨大影响。

### 1.1.3 其他纳米概念

#### 1.1.3.1 准一维纳米材料

准一维纳米材料指在两维方向上为纳米尺度,长度为微米级、毫米级的新型纳米材料。早在1970年法国科学家就首次研制出直径为7nm的碳纤维。解思深等人成功合成世界上最长的碳纳米管,由此推动了整个准一维纳米材料的研究。在近10年中,各国科学家陆续合成了多种准一维纳米材料,如纳米棒、纳米线、半导体纳米量子线、纳米线阵列等。

#### 1.1.3.2 碳纳米管

碳纳米管是直径一般为0.4~30nm的圆筒形碳材料,它的平面分子结构类似在六角形金属丝网上布满了碳原子。碳纳米管具有良好的热传导性、导电性以及强度,质地轻巧,富有弹性。它的粗细只有头发丝的万分之一,是一种在电子器件、超薄显示器、燃料电池、储氢材料等领域具有广泛应用前景的材料。

#### 1.1.3.3 扫描隧道显微镜(STM)

扫描隧道显微镜是一种基于量子隧道效应的新型高分辨率显微镜。STM能以原子级空间分辨率来观察测试物质表面原子或分子的几何分布和密度分布,确定物体局域光、电、磁、热和机械特性。STM对平行和垂直于表面方向的测量分辨率分别为0.1nm和0.01nm,为此,人们可以在真空、大气或液体中对样品进行原子级分辨的无损观测。STM还具有广泛的适用性,如刻划纳米级微细线条、移动原子等实际操作,它还可以在自然条件下对生物大分子进行原子级直接观测,因而在生命科学研究中具有极大潜力。

纳米技术的进展将使我们能够深入了解我们所在的世界。室温下,原子处于我们尚不了解的各种力作用下的充满着扰动的世界里。目前,最好的科学理论、科学仪器以及计算机模拟,都只能对这一领域做初步探索。要想做进一步探索,就要借助纳米技术。

## § 1.2 纳米科技发展历程

### 1.2.1 纳米科技发展简史

1959年12月29日,著名物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼(Richard Feynman)在 *There is Plenty of Room at the Bottom* 的演讲中说:“如果有一天能够按照人的意志安排一个个原子,那将产生何等的奇迹。”人类可用很小的机器制作更小的机器,最后甚至可以根据人类的意愿,逐个排列原子或分子,制造超晶态产品,这是关于纳米技术最早的梦想。这一预言被科学界视为纳米技术萌芽的标志。

20世纪70年代,科学家开始从不同角度提出有关纳米技术的构想。美国康奈尔大学 Granqvist 和 Buhrman 利用气相凝集的手段制备出纳米颗粒,从理论及性能上全面研究了相关材料的试样,提出了纳米晶体材料的概念,成为纳米材料的创始者。1974年, Taniguchi 最早使用纳米技术(nanotechnology)一词描述精细机械加工。70年代末,德雷克斯勒(Eric Drexler)在麻省理工学院攻读博士学位学习生物及计算机科学时,就已经敏锐地意识到纳米技术的重要性及远大前景,积极提倡纳米科技的研究,并成立了纳米科技(nanoscale science & technology, NST)研究小组。1986年他在著作《创造的机器》中较详细地表述了自己的思想,当时多数主流科学家对此持怀疑态度。但在德雷克斯勒和克里斯·彼得森(Chris Peterson)的努力下,科学界终于接受了纳米技术的激进思想,德雷克斯勒也被称为纳米技术之父。纳米科技的迅速发展时期在80年代末、90年代初。1981年相继发明了费曼所期望的纳米科技研究的重要仪器——扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等微观表征和操纵仪器,它们对纳米科技的发展起到了积极的促进作用,为我们揭示了一个可直接探测的原子、分子世界,对当时称为“介观物理”(mesoscopic physics)的研究和发展产生了积极

的促进作用。介观是指介于宏观和微观之间的意思。纳米是一个介观尺度的度量单位,1nm 等于十亿分之一米,是人类毛发直径的一万分之一,是可见光最短波长的四百分之一。这是一个比微观尺度(原子大小为 0.1nm)大,又比宏观尺度(微米,光学显微镜分辨极限尺度)小的世界。在介观体系中,表面和界面问题随着几何尺寸的缩小而显得至关重要,于是逐渐发展成为一门科学。介观世界里的研究工作是从基础物理学对这个尺度上的结构(纳米结构,nano-structure)所表现出的奇异特性的研究开始的。如果考察电子通过纳米圆环所组成的电路,它的行为将不遵守欧姆定律,而表现出彼此之间的关联性(AB 效应)。在这个尺度上的物质,表面原子或分子占了相当大的比例,已经无法区分它们是长程有序(晶态)、短程有序(液态)还是完全无序(气态),由此进入了物质的一种新的状态——纳米态。并且,人们很早就注意到这种纳米态的性质主要不取决于物质体内的原子或分子,而是主要取决于物质表面或界面上分子排列的状态,由于它们具有量子力学上的强关联性而表现出完全不同于宏观和微观世界的介观性质。与此同时,纳米尺度上的多学科交叉展现出了巨大的生命力,迅速成为一个有广泛学科内容和潜在应用前景的研究领域。利用现代技术研制出第一块纳米材料的是德国学者格莱特(Gleiter)。他于 1984 年把粒径 6nm 的金属粉末压成纳米块,并且详细研究它的内部结构,指出了它的界面奇异结构和特异功能。1987 年美国 Argon 实验室用同样的方法制备出了纳米  $\text{TiO}_2$  多晶体。1986 年 11 月,召开了第一届超细结构材料会议;1988 年,美国能源部召集专题研讨会——“团聚及团簇组装材料相关的研究战略”,表现出对这一前沿领域的高度重视;1989 年,美国斯坦福大学科学家搬动原子团,写下“STANFORD”;1989 年,美国又召开专题研讨会——“具有亚微米尺度材料的研究战略”;1990 年 7 月,第一届国际纳米科学技术会议在美国巴尔的摩与第五届国家扫描隧道显微镜学会议同时举办,正式把纳米材料科学作为材料科学的一个新的分支公布于世。这标志着材料科学已进入一个新的层次,人们的认识延伸到了过去不被人们注意的纳米尺度,标志着纳米科学技术的正式诞生。《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。

1990 年,世界金属材料会议开始设立“纳米结构材料”专题;1992 年,

《纳米结构材料》杂志问世;从 1992 年开始,两年一届的世界纳米材料会议分别在墨西哥、德国、美国、瑞典举行。上述重要活动表明超细颗粒与纳米材料逐渐成为世界材料研究的热点。1992 年,美国启动“总统倡导的材料研究与开发项目”,旨在促进超细及纳米材料的商业化;1993 年,美国再次启动“联邦先进材料及工程项目”推动该领域技术的商业化。1994 年第一届“世界纳米材料及涂层”商业性会议在美国召开。1997 年,美国、日本及西欧等国政府投入纳米技术的开发经费已达 3.6 亿美元,德国政府投入约 5 000 万美元用于基础理论及应用开发。

1999 年 1 月 11~14 日,在香港科技大学举办了纳米结构材料的物理与化学高级研讨会,报告了纳米材料的制备、功能和应用等。

2000 年 6 月 12~14 日,在英国的 Surrey 大学举办了有机-无机杂化材料的国际会议,会议名称为“有机-无机杂化材料的科学、技术和应用”。会议报告分为:杂化材料的科学与工业应用、溶胶-凝胶(sol-gel)科学与技术、高聚物基复合材料、硅烷和硅酸酯及钛酸酯、表面改性、纳米技术、光学技术等 7 个专题,中国科学院长春应用化学研究所的专家应邀出席了会议。

2001 年 3 月 28~29 日由国家科技部、中国科协、中国科学院、中国工程院组织,在北京召开了首届中国国际纳米技术与应用会议。国家有关决策部门官员及专家、纳米技术研究机构代表、国内相关行业人士、企业界及投资机构代表出席了会议。

由科技部高技术研究发展中心、国家现代材料科技信息网络中心和高校校友海外联谊会联合主办的国际纳米材料高层论坛与技术应用研讨会,于 2001 年 7 月 2~5 日在北京举行。会议代表对纳米信息材料、纳米医用材料与技术、纳米金属材料、纳米非金属材料、纳米能源及环境材料、纳米材料的产业化与应用等 7 个主题进行深入讨论和广泛交流。

中国工程院副院长、中国科学院院士、中国工程院院士、美国工程院外籍院士王淀佐先生和美国工程院院士、中国工程院外籍院士 P Somasundaran 先生应邀作为大会的名誉主席,并为大会作特邀报告,美国工程院院士 Bernanrd H Kear 先生也应邀为大会作特邀报告。会议代表主要由在海内外从事纳米材料研究、开发及市场的专家组成。本次会议除邀请了一些国家的纳米材料界高层专家就国际纳米技术发展战略作主题报告外,还安



排了在海外从事纳米材料研究及市场开发的留学人员同国内高新技术开发区、投资机构、企业进行项目洽谈、技术交流和参观活动。此次会议架设起海内外纳米材料专家与企业合作的桥梁,特别是在纳米技术改造传统产业方面取得突破性进展,落实了一批纳米材料的海内外实质性合作项目。国家科技部将批专款支持留学人员在纳米领域同国内合作或回国创业活动。

2001年9月17~19日,在加拿大靠近蒙特利尔的工业材料研究所(Industrial Materials Institute)举行高聚物纳米复合材料的国际会议,会议名称为“聚合物纳米复合材料科学与技术国际会议”(International Symposium on Polymer Nanocomposites Science and Technology),它由加拿大国家研究协会、工业材料研究所和 McGill 大学共同主办。

### 1.2.2 纳米技术发展可能经历的5个阶段

纳米技术的发展可能会经历以下5个阶段:

第一阶段,发展重点是要准确地控制原子数量在100个以下的纳米结构物质,这需要使用计算机设计/制造技术和现有工厂的设备及超精密电子装置。该阶段的市场规模约为5亿美元。

第二阶段,是生产纳米结构物质。在这个阶段,纳米结构物质和纳米复合材料的制造将达到实用化水平。该阶段的市场规模在50亿~200亿美元之间。

第三阶段,大量制造复杂的纳米结构物质将成为可能。这要求有高级的计算机设计/制造系统、目标设计技术、计算机模拟技术和组装技术等。该阶段的市场规模可达100亿~1 000亿美元。

第四阶段,纳米计算机将得以实现。该阶段的市场规模将达到2 000亿~10 000亿美元。

第五阶段,科学家们将研制出能够制造动力源与程序自律化的元件和装置,市场规模将高达 $6 \times 10^4$ 亿美元。

虽然纳米技术每个阶段到来的时间有很大的不确定性,难以准确预测,但在2010年之前,纳米技术有可能发展到第三个阶段,超越“量子效应障碍”的技术而达到实用化水平。