

机械工程



国防科工委
『十五』
规划
教材

纳米科学与技术

● 袁哲俊 编著



哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·机械工程

纳米科学与技术

袁哲俊 编著

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

纳米科学与技术是近年来获得飞跃发展的新兴科学。本书全面系统地讲述了纳米科学与技术,内容包括:扫描隧道显微镜和原子力显微镜等扫描探针显微镜;摩擦力、磁力等显微镜;纳米材料;纳米级精密测量技术;纳米级精密加工和原子操纵技术;纳米级表层物理力学性能检测和纳米摩擦学;纳米电子学;微型机械和微型机电系统及其制造技术。本书内容丰富先进,不仅系统讲述了纳米科学与技术的基础原理和技术,同时还介绍了纳米科技在国内外的最新发展和成就。

本书可供高等学校机械类专业研究生和本科生选为教材,同时也是相关专业技术人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

纳米科学与技术/袁哲俊编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.8

ISBN 7-5603-2174-7

I. 纳… II. 袁… III. 纳米材料 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 061989 号

纳米科学与技术

主 编 袁哲俊

责任编辑 潘 鑫 黄菊英

责任校对 邱明霞 费佳明

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 (150006)

发行部电话:0451-86416203

E-mail: press@0451.com

肇东粮食印刷厂印刷 各地书店经销

开本:787×960 1/16

印张:34 字数:737 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数:3 000 册

ISBN 7-5603-2174-7/TB·57 定价:48.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯

乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春

杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禔

陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章

贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山

郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技



新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,



提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前言

纳米科学与技术是科技发展的一个新兴领域,近年来获得了极为迅速而广泛的发展,世界各国都投入了很大的人力、物力、财力进行这方面的开发研究。纳米科技的研究进展,如扫描隧道显微镜和多种扫描探针显微镜的发明和应用、多种优异性能纳米材料的研制成功、纳米微电子器件的制成、多种微机械和微机电系统的制成和应用、纳米生物学的进展等,都极大地推动了相关学科的迅速发展。

纳米科学与技术(nano science and technology)通常指纳米级尺度(0.1~100 nm)的科学技术,它已是深入到原子和分子级层次的科学和技术。它使人类在对自然的认识和改造方面,从宏观领域进入到了物理的微观领域,深入了一个新的层次,即从微米层次深入到分子、原子级的纳米层次。这新层次所面临的绝不是几何上“相似缩小”的问题,而是必须遵循一系列新的现象和规律。对一些宏观的物理量,如弹性模量、密度、温度等要求重新定义,在工程科学中习以为常的欧几里得几何、牛顿力学、宏观热力学和电磁学等,都已不能正常描述纳米级的物理和工程的现象规律,而量子效应、物质的波动特性和微观涨落等已不再是可忽略的,有时甚至成了主导因素。纳米科技包括物理、化学、材料和生物等多门科学,同时也包括信息、微电子、精密机械、计算机、能源、航空航天、化工、纺织、医药等的设计、制造、测量、控制和制成产品等技术。纳米科技的研究发展,可能导致精密工程、材料科学、通信和微电子技术、计算机技术、光学、化工、生物和生命技术以及生态农业等领域产生新的重大突破。这种前景使工业比较先进的国家对纳米科技给予了极大的重视,投入了大量人力、物力、财力进行研究开发。

对于纳米科学与技术的发展前景,专家们给予了极高的估计:1998



年4月,美国总统科技顾问莱恩(Lane)说:“如果我被问及明日最能产生突破的一个科技领域,我将指出这是纳米科学与技术”。1999年1月,美国国家科学基金会发表一个声明,指出:“当我们进入21世纪的时候,纳米技术将对世界人民的健康、财富和安全产生重大影响,至少如同20世纪的抗生素、集成电路和人工合成聚合物那样”。不少著名科学家认为:“纳米科技将与信息技术和生物技术一样,对21世纪的经济、国防和社会产生重大影响,并可能引导下一场工业革命”。“70年代重视微米技术的国家如今都成为了发达国家,现在重视纳米技术的国家很可能成为下一世纪的先进国家”。

1991年,美国国家关键技术委员会将纳米技术列为政府重点支持的22项关键技术之一,最近美国又将纳米科学和技术列为21世纪优先发展的重中之重的三项科技之一(另两项为信息技术和生命生物科学)。日本和欧洲各国很早就都将纳米技术列为优先科技研究项目,斥巨资资助这方面的研究。纳米科技的产业化亦进展迅速,目前已取得了可观的经济效益。

我国从“八五”、“九五”开始就设立了“攀登计划”项目和相关的重点和重大项目,国家自然科学基金也对纳米科技给予了重点资助。国内在纳米科技研究开发方面已有一支较强的队伍,并且主要集中在中科院和一些知名高校中。进行的研究开发工作以纳米材料、扫描探针显微术、分子电子学、微型机械和微型机电系统等方面为主,其中纳米材料方面的进展较大,在国际上也有一定影响。受到资金和物质条件的限制,成果只能集中在一些硬件条件要求不太高的领域,属于首创的成果较少。我们必须充分认识发展纳米科技的重要意义,大大增加这一领域的人力、物力、财力的投入,抓住机遇迎头赶上。

由于纳米科学与技术的极大重要性和极广阔的发展前景,国内外很多高等院校已为研究生设立了有关纳米科技的新课程,同时也为本科学



生开设了纳米科技方面的选修课。但到目前为止,虽然有关纳米科技的专著不少,但缺乏系统而全面讲述纳米科学与技术的教材。本书试图解决这方面的困难。

本书系统、全面地讲述了纳米科学与技术的各部分主要内容,收集了国内外有关纳米科技的大量文献资料,并结合了哈尔滨工业大学近年来所从事的纳米技术的研究成果和教学经验。本书不仅系统讲授了纳米科技的基础原理和技术,还介绍了国内外纳米科学与技术的最新发展和成就。

本书包括的主要内容有:扫描隧道显微镜和原子力显微镜等扫描探针显微镜;摩擦力、磁力等显微镜;纳米材料;纳米级精密测量技术;纳米级精密加工和原子操纵技术;纳米级表层物理力学性能检测和纳米摩擦学;纳米电子学;微型机械和微型机电系统及其制造技术。本书可供高等学校机械工程类专业研究生和本科学学生做教材,同时也可供从事纳米科技工作的科技人员作为一本重要的参考书。

本书在编写过程中得到了很多同志的协助,董申、梁迎春、王扬等提供了不少资料,张国雄对编写内容提了很多宝贵意见。还有些同志参加了某些章节部分内容的编写:第三章,李华;第五章,杨静;第八章,谢大纲;第十章,王扬。特此表示感谢。

纳米科学与技术是最近发展起来的新兴学科,涉及面甚广,由于作者水平所限和编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,希望读者给予指正。

董哲俊

2004年12月

目 录

第一章 纳米科学与技术概述

1.1 纳米科学与技术的特点	(1)
1.2 纳米科学与技术的发展	(1)
1.3 发展纳米科学与技术的理论基础	(5)
1.4 发展纳米科技的重要性和各国纳米科技的发展情况	(9)
复习思考题	(12)
参考文献	(13)

第二章 扫描隧道显微镜

2.1 扫描隧道显微镜发明前微观表面形貌检测技术的发展	(14)
2.2 扫描隧道显微镜的发明	(20)
2.3 扫描隧道显微镜的基本工作原理	(23)
2.4 隧道效应的原理及检测机理分析	(27)
2.5 探针针尖曲率半径对隧道电流和测量灵敏度的影响	(30)
2.6 STM 图像的分析及各因素对测量结果的影响	(34)
2.7 STM 的探针尖及其制备处理技术	(41)
2.8 STM 的扫描微进给系统	(50)
2.9 STM 的粗调系统	(57)
2.10 STM 的隔振系统	(61)
2.11 STM 在不同环境条件下的应用	(67)
复习思考题	(72)
参考文献	(72)

第三章 原子力显微镜

3.1 原子力显微镜简介	(74)
3.2 原子力显微镜的测量和扫描模式	(78)
3.3 探针 - 试件间的作用力	(82)
3.4 毛细力和 AFM 在液体中测量	(90)
3.5 影响 AFM 测量精度的若干问题分析	(95)
3.6 AFM 的微悬臂和针尖	(100)
3.7 AFM 针尖作用力和悬臂变形位移的测量	(109)
3.8 微悬臂的激振	(113)
3.9 AFM 的多微悬臂阵列	(122)
3.10 多功能扫描探针显微镜	(126)
复习思考题	(131)



参考文献	(131)
第四章 摩擦力、磁力等显微镜	
4.1 多种扫描探针显微镜的出现和发展	(133)
4.2 摩擦力显微镜的发展和摩擦力检测的基本原理	(134)
4.3 FFM 的微悬臂及其受力形变检测	(137)
4.4 摩擦力显微镜使用举例	(139)
4.5 磁力显微镜的提出和发展	(146)
4.6 磁力显微镜的工作原理	(148)
4.7 测量作用磁力的力调制技术法	(151)
4.8 磁力显微镜检测作用的磁力时受其他力干扰的分析	(156)
4.9 磁力显微镜的测量分辨率	(159)
4.10 MFM 的探针针尖和微悬臂	(162)
4.11 MFM 图像的分析和其他磁测量仪器的对比	(164)
4.12 磁力显微镜的应用举例	(167)
4.13 静电力显微镜	(173)
4.14 其他扫描探针显微镜	(178)
4.15 光子扫描隧道显微镜和近场光学扫描显微镜	(180)
复习思考题	(182)
参考文献	(182)
第五章 纳米材料	
5.1 纳米材料的发展与纳米材料定义	(184)
5.2 纳米颗粒(微粉)材料	(186)
5.3 纳米微粒材料(零维纳米材料)的制造技术	(196)
5.4 纳米薄膜材料	(206)
5.5 纳米块体材料	(211)
5.6 原子团簇和碳纳米管	(217)
5.7 纳米复合材料	(241)
复习思考题	(245)
参考文献	(245)
第六章 纳米级精密测量技术	
6.1 纳米级的尺寸精度和位移的测量方法	(247)
6.2 纳米级精度的多维尺寸测量	(250)
6.3 纳米级表面形貌的测量	(253)
6.4 超精密测量的环境条件	(255)
6.5 提高三维测量系统测量精度需注意的问题	(258)
复习思考题	(261)
参考文献	(261)



第七章 纳米级超精密加工和原子操纵技术

7.1 纳米级加工的物理实质和特点	(262)
7.2 超精密机械加工技术	(264)
7.3 纳米切削的分子动力学模拟	(268)
7.4 三束加工技术	(272)
7.5 原子操纵技术的发展和操纵机理的探析	(279)
7.6 原子操纵——搬迁移动原子	(281)
7.7 原子操纵——提取去除原子和放置增添原子	(285)
7.8 SPM 进行纳米级加工的分析 and 用探针尖直接进行雕刻加工	(289)
7.9 用 SPM 进行连续原子操纵来加工微结构	(295)
7.10 用 SPM 针尖电场电流的物理化学效应来加工微结构	(297)
7.11 SPM 对 Si 表面氢原子吸附和脱附的操纵	(301)
7.12 使用 SPM 的其他纳米级精密加工	(303)
复习思考题	(305)
参考文献	(305)

第八章 纳米级表层物理力学性能检测和纳米摩擦学

8.1 纳米级表层物理力学性能的显微力学探针检测法	(306)
8.2 材料极薄表层物理力学性能的实际检测	(311)
8.3 纳米摩擦学的提出	(317)
8.4 纳米摩擦学研究使用的实验测试仪器	(319)
8.5 纳米级摩擦副材料和摩擦表面形态	(324)
8.6 边界润滑与分子膜	(328)
8.7 薄膜润滑	(338)
8.8 平滑界面的微摩擦形态	(344)
8.9 纳米摩擦学的分子动力学模拟	(354)
复习思考题	(356)
参考文献	(356)

第九章 纳米电子学

9.1 概述	(358)
9.2 微电子技术过去 30 年的发展和面临的限制	(359)
9.3 纳米电子学和纳米电器件的出现	(363)
9.4 量子电器件的主要特征	(364)
9.5 量子电系统的基础元件	(367)
9.6 纳米级单电子晶体管	(369)
9.7 分子电子学和分子电器件	(375)
9.8 原子电器件	(383)
9.9 纳米电器件的集成和量子计算机	(387)
9.10 三代电子器件的比较和纳米电子集成电路的探索	(393)
复习思考题	(396)



参考文献	(396)
------------	-------

第十章 微型机械和微型机电系统

10.1 微型机械和微型机电系统的提出	(397)
10.2 微机械和微机电系统的理论基础	(399)
10.3 微机械常用的材料	(406)
10.4 微机械和微机电系统的技术基础	(412)
10.5 微传感器	(420)
10.6 微致动器	(432)
10.7 微型机器人	(439)
10.8 微型惯性仪表(导航仪)	(444)
10.9 微飞行器	(455)
10.10 微型卫星	(466)
复习思考题	(473)
参考文献	(474)

第十一章 微型机械和微机电系统的制造

11.1 微机械与微机电系统的制造技术简介	(475)
11.2 集成电路的制造过程简介	(478)
11.3 微机械器件的薄膜制造技术	(481)
11.4 光刻工艺中的曝光技术	(485)
11.5 光刻工艺中的化学刻蚀技术	(495)
11.6 LIGA 技术	(500)
11.7 牺牲层工艺技术	(509)
11.8 微器件基板的键合技术	(512)
11.9 精微机械加工和特种加工等在微机电系统制造中的应用	(518)
复习思考题	(525)
参考文献	(525)

第一章 纳米科学与技术概述

1.1 纳米科学与技术的特点

纳米科学与技术(nano science and technology)通常指纳米级尺度(0.1 ~ 100 nm)的科学与技术。由于自然界中最小的氢原子直径为 0.08 nm,非金属原子直径为 0.08 ~ 0.2 nm,金属原子直径为 0.3 ~ 0.4 nm,故纳米科学与技术已是深入到原子和分子级层次的科学和技术。纳米科技包括物理、化学、材料和生物等多门科学,同时也包括信息、微电子、精密机械、计算机、能源、航空航天、化工、纺织、医药等的设计、制造、测量、控制和制成产品的技术。于细微处显神奇的纳米技术,已经悄悄地进入了人们的生活,进入到衣、食、住、行等多个领域,它甚至将影响人们的传统思想方式和生活方式。纳米时代已不是遥远的未来。

纳米科技是科技发展的一个新兴领域,它不仅仅是将加工和测量精度从微米级提高到纳米级的问题,而是在人类对自然的认识和改造方面,从宏观领域进入到物理的微观领域,深入到了一个新的层次,即从微米层次深入到分子、原子级的纳米层次。

例如世界上最新的超大规模硅集成电路的最小线宽为 0.13 μm ,如将线宽缩小到 0.08 μm (即 80 nm)以下时,将会呈现量子效应,所有芯片必须按照新的原理来设计。这种纳米尺度上制造出的计算机性能,与目前微米技术下的计算机性能相比呈现指数提高。当粒子尺寸减小到纳米尺度,到某临界值时,将会出现量子尺寸效应,导致纳米微粒的光、电、磁、热、声及超导电性与宏观特性显著不同,导致光、电、磁、热、声、力学等特性呈现新的小尺寸效应。例如,光的某些频段吸收将显著增加,并产生吸收峰的等离子共振频移;磁有序态有可能变为磁无序态;导体变为半导体或非导体;力学性能显著变化;化学活性急剧增加等。

1.2 纳米科学与技术的发展

纳米科学与技术近年来获得了快速发展,取得了多项重大成果。

一、纳米科学与技术名词的提出

1959年,著名物理学家、诺贝尔奖金获得者 R. Feynman 曾预言:“如果有一天可以按人的意志安排一个个原子,将会产生怎样的奇迹?”随着纳米科技的发展,这个美好的梦想即将成为现实。



1974年,日本的 N.Taniguch 最早使用纳米技术(nano technology)一词来描述精微机械加工。

二、扫描隧道显微镜和原子力显微镜的发明

1981年,在 IBM 公司瑞士苏黎世实验室中工作的 G.Binnig 和 H.Rohrer 发明了扫描隧道显微镜(STM),由于它的测量分辨率极高,能够观察测量物体表面单个原子和分子的排列以及电子在物体表面的行为,为表面物理、化学、生命科学和新材料的研究提供了一种全新的研究方法和工具。1983年,G.Binnig 等首次演示了在 Si(111) - 7×7 表面上具有阶梯的真实原子和分子的电子结构图像,从此原子和分子的电子结构,不再是科学家的理论和假设,而是在实际中能触知和观察到的实在物。由于 STM 的发明对纳米科技发展以及整个科技领域起到重大促进作用,因而它的发明者荣获了 1986 年的诺贝尔物理学奖。

1986年,美国斯坦福大学的 G.Binnig 和 C.Quate 等人又发明了原子力显微镜(AFM),它检测非导体材料和软质材料试件的表面微观形貌能达到原子级分辨率,并能在液体中进行检测。它与 STM 相比大大扩展了检测范围,对非导体纳米材料的发展和纳米生物学的发展,起了极大的促进作用。STM 和 AFM 的发明,使人类研究微观纳米世界有了有力的工具,有了“眼”(检测)和“手”(原子级加工)。这项有力的实验研究手段,促进并促成了 20 世纪后期的纳米科技以及整个科技领域的大发展。

基于 STM 和 AFM 的基本原理,后来又发展了一系列新的高分辨率的扫描探针显微镜,如摩擦力显微镜(FFM)、磁力显微镜(MFM)、静电力显微镜(EFM)、弹道电子发射显微镜(BEEM)、光子扫描隧道显微镜(PSTM)、扫描近场光学显微镜(SNOM)、扫描近场声学显微镜等。这些显微技术都是利用探针与试件间的不同相互作用力,来探测表面或界面在纳米尺度上表现出的物理性质和化学性质。这些专用的高分辨率显微镜,在特殊的应用领域中对纳米科技的发展起到了重要作用。

三、原子级加工的实现

1990年,美国圣荷塞 IBM 阿尔马登研究所的 D.Eigler 等人在 4 K 温度和超真空环境中用 STM 将 Ni(110) 表面吸附的 Xe(氙)原子逐一搬迁,最终以 35 个 Xe 原子排成 IBM 三个字母,每个字母高 5 nm。1991年,日本的 S.Hosoki 等人用 STM 在 MoS_2 表面加脉冲电压,使硫原子电离而逸离试件表面,用硫空位写成“PEACE’91 HCRL”的字样,每个字母高度仅为 2 nm。美国的 D.Eigler 等人在实现 Xe 原子搬迁后,又实现了分子的搬迁排列。他们在铂单晶的表面上,将吸附的一氧化碳分子(CO)用 STM 搬迁排列起来,构成一个身高仅 5 nm 的世界上最小的人的图像。用来构成这图像的 CO 分子间距离仅为 0.5 nm,人们称它为“一氧化碳小人”。

用 STM 实现原子和分子的搬迁、去除、增添,是人类历史上首次实现原子级加工,达到了超精密加工的精度极限。



四、纳米材料的发展

1984年,德国萨尔兰大学的 H. Gleiter 等人首次采用惰性气体蒸发冷凝法制备了具有清洁表面的 Fe、Cu、Pd 等纳米金属微粉。纳米微粒的熔点以及其光、电、磁、热、声特性与宏观特性有显著不同,导致光、电、磁、热、声、力学等特性呈现新的小尺寸效应。纳米金属微粉在真空中加压制成纳米固体,具有多种优良的物理力学性能。后来又发现纳米 TiO_2 陶瓷在室温下具有韧性。

1985年,美国的 R. Smalley 和英国的 H. Kroto 在 Rice 大学采用激光轰击石墨靶,并用甲苯收集获得 C_{60} ,从此在世界上兴起了研究 C_{60} 的热潮。

1991年,日本 NEC 公司的饭岛(S. Iijima)首次发现碳纳米管,当时发现的是同轴多层的碳纳米管。现已能制造最小直径为 0.4 nm,长度为微米级和毫米级的单层碳纳米管。由于碳纳米管有多种优异特性,现在是世界上研究热点之一。2002年6月,美国华盛顿大学的威廉·布罗等用化学气象沉积法制造出碳纳米管,直径是 20 ~ 200 nm。

1988年,法国科学家在纳米 Fe/Cr 多层膜中发现巨磁电阻效应。1994年,美国 IBM 公司打开了纳米巨磁电阻材料的应用大门,用它制作磁记录装置的读出磁头,使磁盘记录密度提高 17 倍,达到 5 GB/in^2 (0.775 GB/cm^2),于 1997 年 12 月正式推出并实现商品化。

1988年,美国明尼苏达大学和普林斯顿大学联合制成量子磁盘,它是由磁性纳米棒组成的纳米阵列体系。据估计,转化为正式商品后,它的市场年销售额可达 400 亿美元。

2000年,中国科学院金属所的卢柯首次发现纳米铜的室温延展超塑性,它可在室温下拉伸 51 倍而不发生断裂。

纳米材料和纳米微结构复合材料,有可能创造出多种性能优异的新材料,是材料科学的重要研究方向,有很大的发展前途。

五、纳米电子学

1991年,美国 IBM 公司制造出一个氩原子开关,开关时间达到 30.05 ns。

1994年,法国全国科学研究中心和美国 IBM 公司共同研制成功第一个分子级放大器,其活性部分是一个直径只有 0.7 nm 的碳分子 C_{60} ,由此把电子元件微型化的系数扩大了一万倍。

1998年,S. Tans 研制成功了以单分子碳纳米管为中心岛的单电子晶体管基型。H. Park 研制成功了一种新的以单分子 C_{60} 为中心岛的半导体纳米晶体管。

2001年,美国 IBM 公司的 P. Avouris 等科学家制造出了第一批纳米碳管晶体管,发明了利用电子的波动性传递信息的导线。同年美国贝尔实验室用一个单一的有机分子制造出了世界最小的直径为 1 ~ 2 nm 的纳米晶体管。哈佛大学的 H. Park 等人把含有两个钒原子的分子插入黄金电极之间,通过调整附近的电压来启动或关闭电流。

2001年,日本电子技术综合研究所的 K. Matsumoto 研制成功了以 TiO_x 为隧道结的单电子