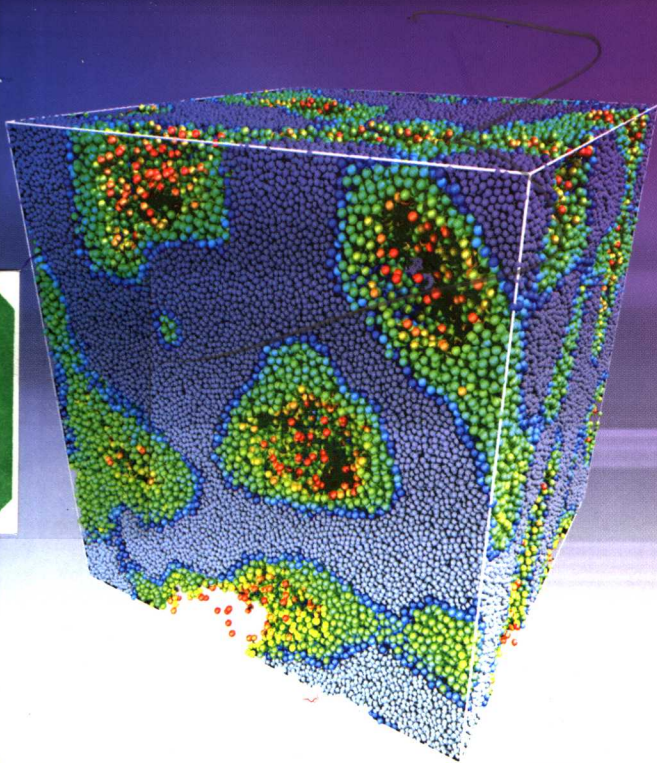
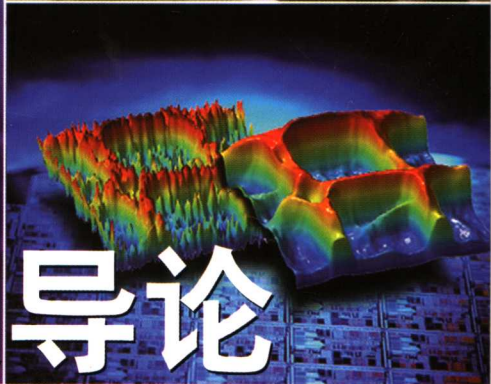
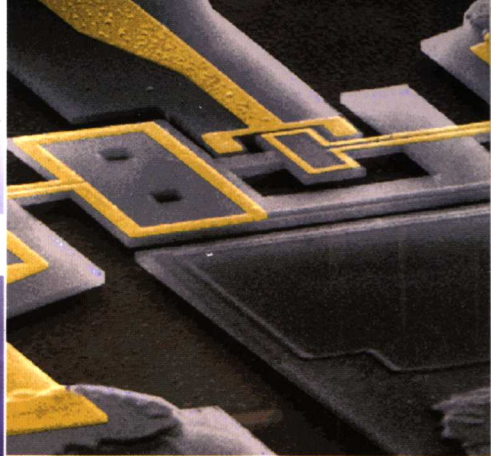


■ 高等学校教材

纳米科技导论

徐国财 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

纳米科技导论

徐国财 主 编

高等教育出版社

内容提要

本书主要介绍了纳米科技的一般概念、纳米材料学、纳米有机复合材料学、纳米无机复合材料学、纳米电子学、纳米生物医学、纳米测量与表征学、纳米经济学等 8 个方面内容。内有许多插图,以帮助读者理解和学习。本书为了解和认识纳米科技的基本知识、掌握现代先进科学技术知识提供一个平台。

本教材供高等学校化工类和材料类等相关专业的教学使用,或作为其它学科专业的选修教材或教学参考书,也可供纳米科技方面的技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

纳米科技导论 / 徐国财主编. —北京: 高等教育出版社, 2005.11

ISBN 7-04-017758-7

I. 纳… II. 徐… 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 (2005) 第 116427 号

策划编辑 郭新华 责任编辑 鲍浩波 封面设计 王凌波 责任绘图 郝林
版式设计 胡志萍 责任校对 张颖 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京奥鑫印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×960 1/16
印 张 24
字 数 440 000

版 次 2005 年 11 月第 1 版
印 次 2005 年 11 月第 1 次印刷
定 价 27.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17758-00

序 言

纳米科学技术是指在纳米尺度上研究物质的特性和相互作用以及利于这种特性开发新功能器件的一门科学技术,是现代科学和现代技术相结合的产物,涉及物理学、化学、材料学、现代仪器学、生物医学等众多基础学科。纳米科技的发展为各门基础学科的发展展示了广阔的前景,基础学科的发展又为纳米科技的发展增添了力量。纳米科技的发展是人才的发展,纳米科技人才是纳米科技发展的根本力量,人才的培养是一项持续的艰苦的工作。为了让有兴趣于纳米科技的学生了解和认识纳米科技的基本知识、基本方法、基本概念、发展形势和趋势,我们在大学高年级开设了纳米科技导论选修课,本书就是在这门选修课讲义的基础上编写而成的。根据设课学生的专业性质,对其中的授课内容有所侧重。纳米科技的发展包括三个方面:纳米材料、纳米器件、纳米尺度的检测与表征。其中纳米材料是纳米科技的基础;纳米器件的研制水平和应用程度是我们是否进入纳米时代的重要标志;纳米尺度的检测与表征是纳米科技研究必不可少的手段,是理论与实验的重要基础。本书力求紧扣这三个方面的精神,让学生能够基本了解和认识纳米科技的方方面面,掌握纳米科技发展的概况,为其以后或许从事这方面的学习与工作奠定一定的知识基础,为我国纳米科技的发展做出一定的贡献。

在本书的写作过程中,参考了许多与纳米科技相关的著作,参考了许多科技期刊相关的学术论文,参考了许多互联网上载的相关文章。作者对给予本书写作以启迪、参考、支撑的有关文献资料的作者表示衷心的感谢,对辛勤耕耘在纳米科技领域的学者专家表示由衷的钦佩和谢意。没有众多科学家和学者的艰辛劳动,就没有本书的存在基础。特别是参考的学术论文和网载文章众多而在此不再一一注明,敬请广大作者理解和谅解。

参加本书编写的有李芬(第一章部分内容),王君(第二章部分内容),吉小利(第三章部分内容),储昭荣(第四章部分内容),王艳丽(第六章部分内容),陈铎堡(第七章第二节部分内容),熊金钰(第八章部分内容)等,徐国财编写其余部分,并且负责修改和整理各章内容并统稿全书。我的学生杜虹、章建忠、陈伟章、李爱元等给予许多帮助,我的同事给予了大力支持,在此一并表示谢意。同时对安徽省自然科学基金和安徽省教育厅重点科学基金的资助表示谢意。

纳米科学技术发展速度很快,知识内容日益更新,应用对象愈加丰富。然而限于编者的水平,书中可能存在许多不妥、不足,甚至错误之处,谨祈读者指正。

徐国财
2005年3月

目 录

第一章 纳米科学技术概论	1
第一节 纳米科学技术基本概念	1
1.1 纳米	1
1.2 纳米科学	3
1.3 纳米技术	4
1.4 纳米科学技术	5
1.5 纳米科学技术的发展历史	7
第二节 纳米科学技术的社会实践性	11
2.1 可持续的社会实践活动	11
2.2 产业化实践活动	12
2.3 纳米科学技术的幻想曲	13
2.4 纳米科学技术发展的多重性	16
2.5 纳米科学技术发展的社会关怀	19
第三节 纳米科学技术发展的意义	20
3.1 客体世界的认识尺度	20
3.2 纳米科学技术发展的哲学意义	21
3.3 引导新工业革命	22
第四节 纳米科学技术的发展前景	23
4.1 纳米科学技术的发展战略	23
4.2 中国纳米科学技术发展规划	24
4.3 美国纳米科学技术发展	26
4.4 日本纳米科学技术发展	31
4.5 韩国纳米科学技术发展	32
4.6 欧盟纳米科学技术发展	32
思考题	35
第二章 纳米材料学	36
第一节 纳米材料的概念	36
第二节 纳米材料的分类	37

2.1 依据纳米材料的属性分类	37
2.2 依据纳米材料的功能分类	39
2.3 依据纳米材料的形态分类	39
2.4 依据纳米材料的来源分类	42
第三节 纳米材料的性质	43
3.1 纳米材料的基本性质	43
3.2 纳米材料的特殊性质	46
第四节 纳米材料的制备	51
4.1 纳米材料的制备方法	51
4.2 纳米材料的制备原理	53
4.3 气相法制备纳米材料	55
4.4 液相法制备纳米材料	59
4.5 固相法制备纳米材料	65
4.6 其它合成方法	67
第五节 纳米粉体表面改性	71
5.1 纳米粉体表面性质	71
5.2 纳米粉体表面改性方法	73
5.3 纳米微粒表面的改性物	74
第六节 纳米材料的应用	77
6.1 催化剂	77
6.2 传感器	78
6.3 光学防护材料	78
6.4 纳米磁性材料	80
6.5 光电转换材料	80
6.6 纳米材料的发展	81
第七节 纳米结构材料	81
7.1 碳族新成员 C_{60}	81
7.2 碳纳米管	85
第八节 纳米粉体分散体系	91
8.1 纳米粉体分散体系的概念	91
8.2 纳米磁流体	96
8.3 纳米润滑剂	99
第九节 典型纳米粉体材料	101
9.1 通用纳米粉体材料——纳米碳酸钙	101

9.2 性能优良的光催化剂——纳米 TiO_2	103
9.3 用途广泛的纳米 SiO_2	107
思考题	110
第三章 聚合物基纳米复合材料学	112
第一节 纳米复合材料的定义	112
第二节 纳米复合材料的命名与分类	113
2.1 纳米复合材料的命名	113
2.2 纳米复合材料的分类	114
第三节 纳米复合材料的性能与特点	115
3.1 纳米复合材料的基本性质	115
3.2 纳米复合材料的特殊性质	116
3.3 纳米复合材料的功能	117
3.4 纳米复合材料设计原理	118
第四节 纳米复合材料的制备	121
4.1 纳米复合材料化学	121
4.2 纳米微粒填充法	121
4.3 纳米微粒原位合成法	122
4.4 聚合物基体原位聚合法	123
4.5 两相同步原位合成法	126
4.6 插层技术合成纳米复合材料	126
4.7 杂化复合材料的制备方法	133
第五节 聚合物基纳米复合材料的发展	137
5.1 聚合物基纳米复合材料的制造方法	138
5.2 聚合物基纳米复合材料的结构表征	138
5.3 聚合物基纳米复合材料的应用研究	139
5.4 聚合物基纳米复合材料复合机理的研究	140
5.5 聚合物基纳米复合材料增强增韧机理研究	141
第六节 纳米复合橡胶	144
6.1 纳米复合橡胶的复合技术	145
6.2 纳米复合橡胶的性能	147
6.3 纳米复合橡胶的发展	148
第七节 纳米复合塑料	149
7.1 纳米复合塑料的制备与性能	149
7.2 热塑性纳米复合塑料	150
7.3 热固性纳米复合塑料	152

7.4 典型的黏土纳米复合塑料	154
7.5 功能型纳米复合塑料及其应用	157
第八节 纳米复合纤维	157
8.1 纳米微粒及其复合母料	158
8.2 纳米复合纤维的制造方法	159
8.3 纳米复合纤维的类型	160
第九节 纳米复合涂料	163
9.1 纳米复合涂料的类型	163
9.2 纳米复合涂料的制备	164
9.3 纳米复合涂料中的纳米材料	165
9.4 功能型纳米复合涂料	167
9.5 纳米复合涂料的发展	169
思考题	170
第四章 无机基纳米复合材料学	171
第一节 纳米陶瓷概况	171
1.1 纳米陶瓷的概念	171
1.2 纳米陶瓷的分类	172
1.3 纳米陶瓷的用途	174
1.4 纳米陶瓷的设计原则	177
第二节 纳米陶瓷粉体的分散	178
2.1 纳米陶瓷粉体材料	178
2.2 纳米陶瓷粉体团聚的原因	179
2.3 纳米陶瓷粉体的分散技术	180
第三节 纳米陶瓷素坯成形	183
3.1 纳米陶瓷的设计原则	184
3.2 纳米陶瓷素坯成形技术	184
第四节 纳米陶瓷的烧结技术	187
4.1 无压烧结技术	187
4.2 热压烧结技术	188
4.3 热压烧结技术	188
4.4 快速烧结技术	188
4.5 液相热压烧结技术	189
4.6 热等静压烧结技术	189
4.7 烧结工艺的发展	189
第五节 纳米陶瓷的力学性质	190

5.1 纳米陶瓷的增强增韧机理	190
5.2 增强增韧机理分析	191
5.3 纳米陶瓷的超塑性	193
第六节 纳米陶瓷的发展	194
6.1 研发特种纳米陶瓷	194
6.2 纳米陶瓷制备技术	195
6.3 纳米陶瓷理论研究	196
6.4 纳米陶瓷的应用研究	196
第七节 纳米金属材料性质	196
7.1 纳米金属材料的基本性质	197
7.2 纳米金属材料的力学性质	199
7.3 纳米金属材料的化学反应特性	202
7.4 纳米金属磁性	203
7.5 纳米金属巨磁阻效应	203
第八节 纳米金属材料的制备	204
8.1 粉末冶金法	205
8.2 原位合成技术	205
8.3 强塑性变形法	206
8.4 非晶晶化法	206
8.5 自蔓延高温合成法	207
8.6 组装法	208
8.7 表面纳米化法	208
8.8 纳米金属材料的发展	210
第九节 典型的无机基纳米复合材料	210
9.1 氧化铝陶瓷基纳米复合材料	210
9.2 天然纳米复合材料——介孔组装体系	213
9.3 金属基纳米异质复合材料	214
思考题	216
第五章 纳米电子学	217
第一节 纳米电子学概念	217
1.1 纳米电子学定义	217
1.2 纳米电子学的物质基础	218
1.3 纳米电子学的科学基础	218
1.4 纳米电子学的研究任务	218
1.5 纳米电子学的发展	219

1.6 电子器件的发展历程	220
第二节 纳米电子器件类型	222
2.1 纳米电子器件与纳米器件	222
2.2 纳米电子器件的属性分类类型	222
2.3 纳米电子器件电子受限程度分类类型	223
2.4 纳米电子器件尺寸分类类型	223
2.5 纳米电子器件电子特征分类类型	223
第三节 纳米电子器件	224
3.1 四个基本现象	224
3.2 纳米电子器件的信号载流子	225
3.3 典型纳米电子器件	226
3.4 纳米电子器件的加工技术	231
第四节 纳米有机器件	236
4.1 纳米有机器件的原理	236
4.2 纳米有机分子开关	237
4.3 有机薄膜存储器	238
4.4 DNA 器件	238
4.5 有机超分子器件的自组装	238
4.6 纳米电路与电缆	239
第五节 纳米电子学的发展	240
5.1 纳米电子学发展面临的问题	240
5.2 纳米电子学发展的战略思想	241
第六节 纳米加工技术	242
6.1 纳米加工技术途径	242
6.2 纳米加工方法	243
6.3 纳米加工成就	248
思考题	251
第六章 纳米生物医学	252
第一节 纳米生物医学概念	252
1.1 纳米生物医学定义	252
1.2 纳米生物医学的研究内容	253
第二节 纳米药物	255
2.1 纳米级药物	256
2.2 纳米效应药物	257
2.3 纳米中药	258

第三节 纳米医用材料	262
3.1 纳米医用材料的分类	262
3.2 辅助性纳米医用材料	262
3.3 功能性纳米医用材料	264
3.4 纳米医用材料的特征	265
第四节 纳米药物载体	265
4.1 纳米药物载体的性质	266
4.2 纳米药物载体种类	267
4.3 纳米凝胶	267
4.4 纳米高分子载体	268
4.5 纳米脂质体	269
4.6 固体脂质	270
4.7 磁性材料	270
4.8 树枝状大分子	271
4.9 纳米药物载体的未来	272
第五节 功能性纳米给药系统	274
5.1 纳米给药系统的特点	274
5.2 纳米给药系统的制备方法	275
5.3 眼科药物给药系统	275
5.4 免疫药物给药系统	276
5.5 抗肿瘤药物给药系统	277
第六节 纳米生物材料	278
6.1 纳米生物材料类型	278
6.2 典型的纳米生物材料	279
6.3 纳米组织工程材料	282
第七节 纳米生物器件	283
7.1 分子电动机	284
7.2 纳米生物传感器	285
7.3 纳米机器人	286
7.4 纳米生物器件应用中存在的问题	286
第八节 纳米生物医学诊断与检测技术	287
8.1 磁性纳米材料的临床诊断应用	287
8.2 纳米生物芯片	288
第九节 纳米生物医学的发展	289
思考题	291

第七章 纳米表征学	292
第一节 纳米表征的概念	292
1.1 纳米表征技术	293
1.2 纳米测量/表征技术分类	297
1.3 纳米测量/表征技术的发展	299
1.4 纳米表征对象	300
第二节 纳米表征仪器	302
2.1 扫描隧道显微镜	302
2.2 原子力显微镜	305
2.3 透射电子显微镜	307
2.4 扫描电子显微镜	311
2.5 俄歇电子能谱仪	313
2.6 X 射线衍射分析仪	315
2.7 示差扫描量热仪	317
第三节 纳米材料的结构表征	320
3.1 纳米材料的化学成分分析	320
3.2 纳米材料表面分析	321
3.3 纳米粉体粒度的表征	321
3.4 单一纳米材料的结构表征	327
第四节 纳米表征技术的标准化	329
4.1 制定纳米测量/表征标准化的意义	329
4.2 研制自己的纳米测量仪	330
4.3 测量条件与样品的标准化	330
4.4 建立标准化的纳米测量环境	331
思考题	332
第八章 纳米经济浪潮	333
第一节 科学技术是第一生产力	333
1.1 三次工业技术革命	334
1.2 工业技术革命的启示	341
1.3 科学技术发展的模式	342
1.4 新工业技术革命的发展模式	343
第二节 纳米科技经济化	344
2.1 纳米技术是下一代信息技术的核心	344
2.2 纳米技术推动生物技术的发展	345
2.3 纳米技术向各个领域的渗透	345

2.4 纳米技术是知识经济的核心技术	346
2.5 纳米经济学	347
第三节 纳米科技的基础研究	349
3.1 基础研究的定义	349
3.2 基础研究的类型	349
3.3 纳米科技基础研究的特点	350
3.4 纳米科技基础研究的推动作用	352
第四节 纳米科技冲击波	354
4.1 冲击波中的生产力	354
4.2 冲击波中的政府职能	357
4.3 冲击波中的产业结构	359
第五节 纳米科技标准化	361
5.1 纳米产品标准化	362
5.2 建立纳米技术标准认证机构	364
思考题	365
参考书目	366

第一章

纳米科学技术概论

第一节 纳米科学技术基本概念

1.1 纳米

中国古代哲学家韩非子(公元前 280—233)曾说:“凡物之有形者,易裁也,易割也。何以论之?有形,则有短长,有短长则有大小”,由此可见,物质是有大小之别的。另一位哲学家公孙龙(公元前 325—250)则说:“一尺之棰,日取其半,万世不竭”,这说明任何物质都具有无限可分性。一尺之棰,有其大小,无限分割,那么其大小又如何衡量呢?这涉及到微观世界大小长短的衡量尺度。天津距北京是 100 km,学校操场跑道是 400 m,一根头发直径是 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,再细分下去,则必须利用更小的长度单位来衡量。SI 单位换算进制关系如表 1-1 所示,其中千分之一米是一毫米,百万分之一米是一微米,十亿分之一米是一纳米,一纳米就是一米等分十亿份的长度。这样一种长度,我们肉眼已经无法看清辨明。

表 1-1 单位换算进制

倍乘因子	词头名称	符号
$1000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	太	T
$1000\ 000\ 000 = 10^9$	吉	G
$1000\ 000 = 10^6$	兆	M
$1000 = 10^3$	千	k
$100 = 10^2$	百	h
$10 = 10^1$	十	da
$1 = 10^0$		
$0.1 = 10^{-1}$	分	d
$0.01 = 10^{-2}$	厘	c

续表

倍乘因子	词头名称	符号
$0.001 = 10^{-3}$	毫	m
$0.000\ 001 = 10^{-6}$	微	μ
$0.000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	纳	n
$0.000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	皮	p

用物理长度单位“纳米”来表述特别微小的物质世界,这种特别的世界称之为纳米世界,其中的物质就是纳米物质。纳米物质的大小通常是指一维、二维或三维的尺寸在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 范围内的颗粒状、片状、块状或液状的物质。处于这种空间的微观世界物质与宏观世界物质已具有明显不同的性质,甚至大相径庭。物理学家在 20 世纪 60 年代已从理论上证明,在 20 世纪 90 年代从实验上证实了纳米物质性质上的特点。当金属或半导体的颗粒尺寸减小到纳米尺度时,其电学性质会发生突变,同时磁性、光学性质和光电性质也会有特殊的表现,甚至其颜色也有不同的变化。人们通过一定方法和技术可以得到的极其细小的粒径在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 的超细粒子,或者一维尺寸在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 的棒(线、管)状材料,或者是尺寸在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 的微区的块状、片状材料。这些可形象地称为纳米粒子、纳米微粒,或纳米棒、纳米线、纳米管、纳米丝,或者通称为纳米材料。通常将具有一定存在形态,粒径在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 的物质称之为纳米物质。其术语表达可以是:英文术语为 nano, nanosized, nanoscale, nanostructured, nanometer 与 particles, materials, substance, solids, cluster 等任意组合构成的词组意义。中文术语能由此衍生出很多词意,诸如纳米团簇、纳米级物质、纳米颗粒、纳米微粒、纳米结构物质,纳米粒子和纳米材料等等。本书中在不同的语言环境下常用到的纳米词组有纳米粒子、纳米微粒和纳米材料等。纳米粒子大小与常见球形粒子大小的比较,如图 1-1 所示。

最早具有纳米科学技术的设想发生在 1959 年,美国著名物理学家、诺贝尔奖获得者费曼(R. Feynman 1918—1988)在一次讲演中提出:人类能够用宏观的机器制造比其体积小机器,而这较小的机器可以制作更小的机器,这样一步步达到分子尺度,即逐级缩小生产装置,以至最后直接按照意愿排列原子,制造产品。并预言,化学将发展成为根据人们的意愿逐个地准确放置原子的技术。这是最早具有现代纳米概念的思想。到 20 世纪 70 年代,相对微米加工技术,人们提出了描述精细机械加工发展的纳米技术(nanotechnology)一词。20 世纪 80 年代末又有文献提出了纳米结构材料的新概念,包括零维、二维和三维材料。20 世纪 80 年代,出现了表征纳米尺度物质的重要工具——扫描隧道显微镜

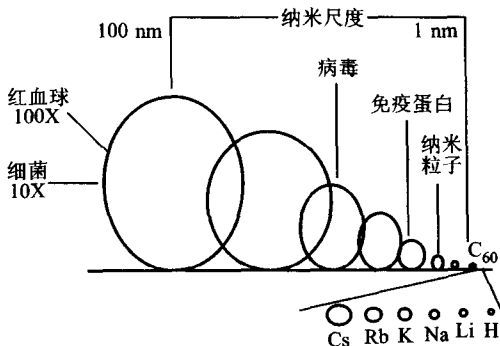


图 1-1 纳米尺度的大小与常见球形物质的比较

(STM),这是一种表征纳米尺度和纳米世界物质的直接工具,它极大地促进了在纳米尺度上认识物质的结构以及结构与性质的关系,形成了纳米科学技术。1990年在第一届纳米科学技术会议上统一了概念,正式提出纳米材料学、纳米生物学、纳米电子学和纳米机械学等概念,并决定出版纳米结构材料、纳米生物学和纳米技术的正式学术刊物。从此,这些术语广泛出现在国内国际学术会议、研讨会和协议书中,这种介于原子、分子和宏观物质之间的纳米科学技术研究成为国际科技的一大热点。

1.2 纳米科学

科学是关于自然、社会和思维规律的知识体系。一般认识的科学,是通过特殊的社会创造实践活动而形成的关于自然及其变化规律的知识体系,是知识体系及其知识社会创造规程的统一。而纳米科学是一个什么概念呢?简言之,就是关于纳米物质世界的基本知识的认识和理解,关于纳米物质世界变化规律的掌握和利用。纳米物质世界的神奇性质是纳米科学发展的驱动力。

具有完整空间点阵结构的实体为晶体,是晶体材料的主体;而把空间点阵中的空位、替位原子、间隙原子、相界、位错和晶界看作晶体材料中的缺陷。逆向思考问题,如果把“缺陷”作为主体,研制出一种晶界占有相当大体积比的材料,那么这种材料将表现出什么特殊性质呢?1984年科学实验回答了这个问题。任何金属颗粒当具有相当大的比表面时,即其尺寸在纳米量级时都呈黑色,由此诞生了纳米固体材料(nanometer sized materials)。纳米材料一诞生,即以其异乎寻常的特性引起了材料界的广泛关注。纳米材料的研究说明:不论出现什么样的科学问题,人们都会设法解决这些科学问题,从而推动科学研究的深入发展。科学问题解决了,理论就向前发展了。纳米科学的发展,就是关于纳米物质世界的科