

纺织服装高等教育“十二五”部委级规划教材

纳米技术 与 纳米纺织品

主 编 覃小红

副主编 刘雍 李妮

东华大学出版社

纺织服装高等教育“十二五”部委级规划教材

纳米技术 与 纳米纺织品

NA MI JI SHU YU

NA MI FANG ZHI PIN

主 编 覃小红

副主编 刘雍 李妮

东华大学出版社

内 容 提 要

本书综合了纳米技术在纺织领域的应用机理、纳米效应形成工艺、制备过程、静电纺纳米纤维纺织品的最新应用、纳米纺织品的合理设计等方面的最新研究成果,主要涉及纳米材料的制备技术、天然纤维织物和化学纤维织物中的纳米技术、纳米智能纺织品、纳米功能纺织品、分形纤维纺织品、静电纺纳米纺织品及其应用与实例以及纳米纺织品产品创新设计。全书共分 10 章,相信读者会从本书中得到有益的启示,对推动纳米技术在纺织产业的发展起到积极作用。

本书可作为高等院校纺织和材料专业的本科生和研究生教材或参考书,也可供纳米技术领域科研人员和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

纳米技术与纳米纺织品/覃小红主编. —上海:东华
大学出版社,2011.10

ISBN 978-7-81111-833-9

I. ①纳… II. ①覃… III. ①纳米材料—纺织品—
高等学校—教材 IV. ①TS106

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 004616 号

责任编辑:张 静

封面设计:李 博

纳米技术与纳米纺织品

覃小红 主编

东华大学出版社出版

上海市延安西路 1882 号

邮政编码:200051 电话:(021)62193056

新华书店上海发行所发行 苏州望电印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:400 千字

2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81111-833-9/TS·242

定价:35.00 元

前 言

纺织产业是关系我国国计民生的支柱产业,约占全国国民经济总产值的 $1/6$ 和出口创汇的 $1/4$ 。传统的纺织产业已不能满足现代产业用、装饰用、服装用纺织品的最新要求,也无法适应国际纺织品市场的激烈竞争。

纳米科技是指在纳米尺度上研究物质(包括原子、分子的操纵)的特性和相互作用,以及利用这些特性的多学科交叉的科学和技术。纳米科技的最终目标是直接以原子、分子及物质在纳米尺度上表现出来的新颖的物理、化学和生物学特性制造出具有特定功能的产品。纳米纺织品是 20 世纪 80 年代开始发展的新材料,它在纺织品原有结构物性和功能性的基础上,加入了纳米技术的内容,因而其研究与开发孕育着新一代的技术革命。

纺织品的性能及应用历来被认为取决于纤维的品种和性能、成纱结构和性能、织物结构和性能及后整理。其中纤维性能是根本,而纤维细度是纤维性能的主要体现,当纤维细度达到纳米级时,由于纳米效应使得所制成的纺织品具有传统纺织品所不具备的性能,如热湿舒适性明显提高、厚度明显降低、透气性显著,从而能开发其不同于传统纺织品的应用,比如服装、生物、组织工程、高效虑材等领域。

本书将纳米技术、纳米纤维的具体分类和制备机理、纺纱和织造及后整理过程中的纳米效应形成机理、纳米纺织品的结构形态和性能以及纳米纺织品的设计结合在一起论述,既有利于相互渗透,也有利于将纳米纺织学术理论提升到应有的高度。

本书包括广义纳米纤维纺织品和狭义纳米纤维纺织品,不仅可以两类纺织品进行分析比较、相互借鉴,同时可以适应当前纳米纺织技术及其纺织品的飞速发展,有利于纳米纺织品的优化设计、研究与应用。

本书作者来自全国多个纺织院校,均从事多年的天然纤维纳米纺织品、化学纤维纳米纺织品、智能纤维纳米纺织品、分形纤维纳米纺织品以及静电纺纳米纤维纺织品的教学和研究工作,共同商讨编写而成。作者创作本书的目的是,期望本书为我国纳米技术在纺织中的系统应用与设计的教学和研发工作贡献微薄的力量。

本书由覃小红任主编,由刘雍和李妮任副主编。各章节编写分工如下:第 2 章、第 8 章和第 9 章 9.2 由东华大学覃小红编写,第 1 章由嘉兴学院杨恩龙编写,第 3 章由河南工程学院张海霞编写,第 4 章由武汉纺织大学柯贵珍编写,第 5 章由上海工程技术大学刘晓霞编写,第 6 章由浙江理工大学李妮编写,第 7 章由东华大学高晶编写,第 9 章 9.1 和 9.3、第 10 章由天津工业大学刘雍编写。

我们相信读者会从本书中得到有益的启示,从而对推动纳米技术在纺织产业的发展起到积极作用。但限于水平,书中难免存在不足和错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 纳米技术与纳米纺织品简介	1
1.1 定义与发展史	1
1.1.1 纳米的定义	1
1.1.2 纳米材料分类及发展	1
1.1.3 纳米科技	3
1.2 纳米材料的特性	6
1.2.1 小尺寸效应	6
1.2.2 表面与界面效应	6
1.2.3 量子尺寸效应	7
1.2.4 量子隧道效应	7
1.3 纳米材料的应用方向	7
1.3.1 在催化方面的应用	7
1.3.2 在涂料方面的应用	8
1.3.3 在传感器中的应用	9
1.4 纳米技术与纳米纺织品	9
1.4.1 广义纳米纺织品	9
1.4.2 狭义纳米纺织品	11
1.4.3 分形纤维纺织品	15
第2章 纳米材料的制备技术	17
2.1 纳米粒子的制备技术及其应用	17
2.1.1 气相法	17
2.1.2 液相法	19
2.1.3 固相法	22
2.1.4 超声化学方法	22
2.1.5 化学相冷凝法	22
2.1.6 纳米粒子的应用	24
2.2 改性纳米材料	25
2.2.1 材料表面改性	25
2.2.2 有机相界面改性	26
2.3 碳纳米管的制备技术及其应用	27
2.3.1 碳纳米管的结构和性质	27

2.3.2 碳纳米管的制备	28
2.3.3 特殊结构的碳纳米管制备	31
2.3.4 碳纳米管的纯化	32
2.3.5 碳纳米管的应用	33
第3章 天然纤维织物中的纳米技术	36
3.1 天然纤维分类	36
3.2 天然纤维的内部结构	37
3.2.1 天然纤维素纤维的内部结构	37
3.2.2 天然蛋白质纤维的内部结构	42
3.3 纳米技术在天然纤维纺织品中的应用	45
3.3.1 天然纤维织物的防紫外线后整理	45
3.3.2 天然纤维织物的抗菌防臭后整理	47
3.3.3 天然纤维织物的阻燃整理	48
3.3.4 天然纤维织物的负离子整理	51
3.3.5 纳米技术在天然纤维织物中的其他应用	52
第4章 化学纤维织物中的纳米技术	56
4.1 化学纤维类别	56
4.1.1 再生纤维	56
4.1.2 合成纤维	56
4.2 化学纤维结构与性能	56
4.2.1 黏胶纤维的结构与性能	56
4.2.2 聚酯纤维的结构与性能	57
4.2.3 锦纶纤维的结构与性能	58
4.2.4 腈纶纤维的结构与性能	58
4.2.5 丙纶纤维的结构与性能	58
4.2.6 维纶纤维的结构与性能	59
4.2.7 氯纶纤维的结构与性能	59
4.3 纳米技术在化学纤维纺织品中的应用	60
4.3.1 纳米技术在抗菌除臭整理中的应用	60
4.3.2 纳米技术在导电与抗静电整理中的应用	61
4.3.3 纳米技术在抗紫外线方面的应用	62
4.3.4 纳米技术在抗老化方面的应用	64
4.3.5 纳米技术在抗电磁波整理中的应用	64
4.3.6 纳米技术在拒水拒油整理中的应用	65
4.3.7 纳米环保纺织品	65
4.3.8 纳米技术在远红外纤维及其织物中的应用	66
4.3.9 纳米技术在阻燃整理中的应用	67

4.3.10 纳米技术在智能化整理中的应用	69
4.3.11 其他功能纤维与纺织品	70
第5章 纳米智能纺织品	71
5.1 智能纺织品的定义与制备方法	71
5.1.1 智能纺织品的定义	71
5.1.2 智能纺织品的分类	71
5.1.3 智能纺织品的制备	75
5.1.4 智能材料的制备	76
5.2 纳米智能纺织品的制备	77
5.2.1 纳米智能材料	77
5.2.2 纳米智能纺织品的制备	78
5.2.3 形状记忆聚氨酯/无机纳米复合材料的制备	85
5.2.4 磁性纳米复合纤维的制备	86
5.2.5 纳米有机导电智能纤维的制备	87
5.3 纳米智能纺织品的开发与应用	88
5.3.1 拒水防污自洁纺织品	88
5.3.2 纳米相变纺织品	89
5.3.3 纳米形状记忆纺织品	92
5.3.4 纳米有机导电智能纺织品	96
5.3.5 其他纳米智能纺织材料	98
第6章 纳米功能纺织品	100
6.1 紫外线防护纳米纺织品	100
6.1.1 防紫外线纺织品的作用机理	101
6.1.2 紫外线遮蔽剂	101
6.1.3 防紫外线纺织品的制备	102
6.1.4 防紫外线纳米纺织品的性能测试	103
6.1.5 影响织物紫外线防护性能的因素	104
6.1.6 防紫外线织物的应用	106
6.2 远红外纳米纺织品	106
6.2.1 远红外纺织品的作用机理	107
6.2.2 远红外纺织品的功能及用途	107
6.2.3 远红外添加剂	108
6.2.4 远红外纺织品的加工方法	109
6.2.5 远红外纺织品的性能测试	110
6.2.6 远红外纺织品的发展趋势	111
6.3 抗菌防臭纳米纺织品	112
6.3.1 抗菌机理	112

6.3.2	抗菌剂的分类	113
6.3.3	纳米抗菌纺织品的制备方法	115
6.3.4	纳米抗菌纺织品的抗菌效果评价及测试方法	116
6.3.5	纳米抗菌纺织品的应用	120
6.3.6	抗菌防臭纺织品的发展趋势	121
6.4	导电纳米纺织品	121
6.4.1	导电纤维的导电机理	122
6.4.2	导电纺织品的分类及制造方法	122
6.4.3	纺织品抗静电性能的评价方法与标准	124
6.4.4	影响纺织品抗静电性能的主要因素	126
6.4.5	导电纤维及其纺织产品的应用	127
6.5	其他纳米功能纺织品	128
6.5.1	自洁净纺织品	128
6.5.2	特殊界面性能的纺织品	129
6.5.3	防辐射纺织品	129
6.5.4	抗老化纺织品	130
6.5.5	生命智能化纺织品	130
6.5.6	高强度高模量纤维及纺织品	130
6.5.7	防皱纺织品	130
第7章	分形纤维纺织品	132
7.1	分形的介绍	132
7.1.1	分形的概念	132
7.1.2	分形的表达和计算	133
7.1.3	分形的特征	136
7.1.4	分形维数的测定	138
7.1.5	分形理论的应用	138
7.2	分形理论及其在纺织中的应用	147
7.2.1	分形理论在纤维结构分析中的应用	147
7.2.2	分形理论在纺织品性能及外观评价方面的应用	150
7.2.3	分形理论在纺织品设计方面的应用	152
7.2.4	分形理论在纤维集合体结构和性能研究中的应用	155
7.3	分形纤维纺织品	160
7.3.1	以原纤聚集结构为特色的天然纤维	160
7.3.2	以天然卷曲或分叉形态结构为特色的天然纤维	160
7.3.3	天然纤维的表面结构	160
7.3.4	具有多孔结构的纤维集合体	161
7.3.5	具有不同粗糙度表面结构的纤维纺织制品	161
7.3.6	分形纤维纺织制品的设计与开发	161

第 8 章 静电纺纳米纺织品	162
8.1 静电纺纳米纤维简介	162
8.1.1 静电纺特点	162
8.1.2 静电纺丝的发展历史	163
8.2 静电纺纳米纤维的原理与工艺	166
8.2.1 静电纺丝的原理	166
8.2.2 静电纺丝的理论分析	167
8.2.3 静电纺丝的影响因素	167
8.3 静电纺纳米纤维的研究进展	171
8.3.1 规则排列静电纺纳米纤维的制取	171
8.3.2 静电纺射流的研究	175
8.3.3 静电纺纳米纤维发展的新方向	180
8.4 静电纺纳米纺织品	182
8.4.1 静电纺防水防护服的应用	183
8.4.2 静电纺化学防护服的应用	183
8.4.3 静电纺纳米纤维保暖服的应用	184
第 9 章 静电纺纳米纺织品的应用与实例	185
9.1 生物医用纳米纺织品的应用与实例	186
9.1.1 组织工程支架	187
9.1.2 创伤敷料	192
9.1.3 药物传递与控释载体	194
9.1.4 神经修复与再生	195
9.2 过滤用纳米纺织品的应用与实例	197
9.2.1 静电纺纳米纤维的过滤机理	197
9.2.2 熔喷和纺黏无纺布的概述及其与静电纺纳米纤维毡的比较	199
9.2.3 纳米纤维毡与基布(纺黏无纺布)的孔径测试与分析	199
9.2.4 纳米纤维毡及其与基布复合体的过滤效率及过滤阻力的测试分析	202
9.3 静电纺纳米纤维的其他应用	204
9.3.1 增强材料	204
9.3.2 模板	205
9.3.3 传感器	205
第 10 章 纳米纺织产品创新设计	206
10.1 纳米纺织产品的设计方法及步骤	206
10.1.1 纳米纺织品的功能化设计	206
10.1.2 纳米纺织品的智能化设计	206
10.1.3 纳米纺织品的仿生学设计	207
10.2 创新设计思路(实例教学)	207

10.2.1 纳米材料在纺织原料中的应用 208

10.2.2 纳米材料用于纺织品的仿生学设计 209

10.2.3 纳米后整理技术在纺织品中的应用 211

10.3 纳米技术与其他高新技术的结合产品 219

10.3.1 纳米技术和光学材料与纺织品的结合 219

10.3.2 纳米技术和电子材料与纺织品的结合 222

参考文献 226

第1章

纳米技术与纳米纺织品简介

1.1 定义与发展史

如果将人类所研究的物质世界对象用长度单位加以描述,我们可以得到人类智力所延伸到的物质世界的范围。人类对客观世界的认识主要是两个层次: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,下限至无限的微观领域(Microcosmic Domain)。然而,在宏观领域和微观领域之间,还存在一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”,某些物质小到 $1\sim 100\text{ nm}$ 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。

1.1.1 纳米的定义

纳米(符号为“nm”),如同厘米、分米和米一样,是长度的度量单位。 1 nm 等于 10^{-9} m ,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。以具体的物质为例,人们往往用“细如发丝”来形容纤细的东西,其实人的头发直径一般为 $20\sim 50\text{ }\mu\text{m}$,相当于 $20\,000\sim 50\,000$ 根直径为 1 nm 的纤维并列而成。单个细菌用肉眼也看不出来,用显微镜测出其直径约为 $5\text{ }\mu\text{m}$,相当于 $5\,000\text{ nm}$ 。

1.1.2 纳米材料分类及发展

广义上,纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围($1\sim 100\text{ nm}$)或由它们作为基本单元构成的宏观材料。纳米材料是纳米科技的主要基础,它和纳米化学、纳米电子学、纳米生物学、纳米检测与表征等组成纳米科技最基本的内容,显示出丰富的层次与学科交叉特征。

纳米材料可从维数、组成相数、导电性能等不同角度进行分类,在纳米科学研究中通常按维数分类。纳米材料的基本单元按维数划分可以分为三类:

- ① 零维,指空间中三维尺度均为纳米尺度,如纳米尺度颗粒、原子团簇等。
- ② 一维,指空间中有二维处于纳米尺度,如纳米丝(Nano-silk)、纳米棒(Nano-rod)、纳米管(Nano-tube)等,或统称为纳米纤维。
- ③ 二维,指空间中有一维为纳米尺度,如超薄膜(Ultrathin Membrane)、多层膜(Multi-

layer Membrane)、超晶格(Superlattices)等。已经由静电纺丝制得的纳米纤维所组成的无纺布就是一个实例。

因为这些基本单元往往具有量子性质,所以对零维、一维和二维的基本单元,分别又有量子点(Quantum Dots)、量子线(Quantum Wires)和量子阱(Quantum Well)之称。从几何角度来分,纳米材料还包括横向结构尺寸小于 100 nm 的物体、纳米微粒与常规材料的复合体、粗糙度小于 100 nm 的表面、纳米微粒与多孔介质的组装体系等由零维、一维、二维中的一种或多种纳米材料组成的三维材料。图 1-1 为纳米材料的分类图。

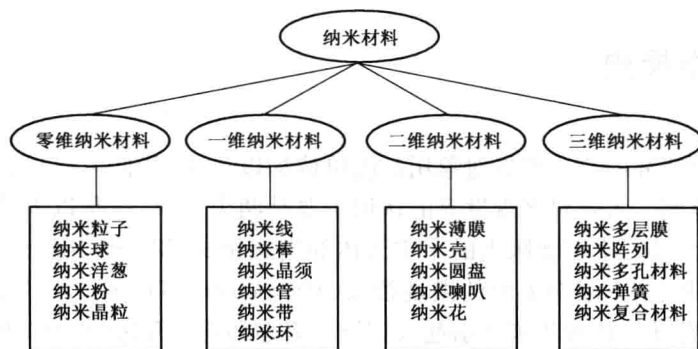


图 1-1 纳米材料的分类图

各种化学类别不同的材料,包括金属材料、无机非金属材料 and 有机材料(尤其是高分子材料),都可以制成零维、一维和二维纳米材料。目前,研究和生产最多的纳米材料是零维材料,即纳米微粒,例如纳米银粉、纳米碳酸钙等。由单相纳米微粒构成的固体材料,称之为纳米相材料(Nano-phase Materials)。由不同纳米材料之间或与其他非纳米固体材料相结合,可以形成名目繁多的纳米复合材料(Nano Composite Materials)。

自然界中早就存在纳米微粒(Nano-particles, NP)和纳米固体(Nano-solid)。例如天体的陨石碎片、人和兽类的牙齿等,都是由纳米微粒构成的。

早在一千多年前,古人就利用燃烧蜡烛收集到的碳黑作为墨的原料并用于着色的染料,这就是最早的纳米材料。我国古代铜镜表面的防锈层,经检验证实为纳米氧化锡颗粒构成的一层薄膜。但当时的人们并不知道这些是由人的肉眼根本看不到的纳米尺度小颗粒构成的。

最早提出纳米尺度的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,他在加州理工学院出席美国物理学会年会是发表了著名的演讲“在底部还有很大空间”,其中提出了以“由下而上的方法(Bottom Up)”出发,从单个分子甚至原子开始进行组装,以达到设计要求。并预言:如果人类能够在原子/分子尺度上进行材料加工、装置制备,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。

19 世纪 60 年代,随着胶体化学(Colloid Chemistry)的建立,科学家们开始了针对直径为 1~100 nm 的粒子系统即胶体(Colloid)的研究。但是,当时的化学家们并没有意识到这样一个尺寸范围是人们认识世界的一个新的层次,而只是从化学的角度作为宏观体系的中间环节进行研究。

1962 年,久保(Kubo)及其合作者针对金属超微粒子的研究,提出了著名的久保理论,也

就是超微颗粒的量子限制理论或量子限域理论,从而推动了实验物理学家向纳米尺度的微粒进行探索。

20 世纪 70 年代末到 80 年代初,科学家对一些纳米颗粒的结构、形态和特性进行了比较系统的研究。描述金属颗粒费密面附近电子能级状态的久保理论日臻完善,在用量子尺寸效应解释超微颗粒的某些特性时获得成功。

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术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。尤其是近年来,“纳米”在许多地方成为家喻户晓的名词。上至国家总统,高瞻远瞩,从战略高度予以关注;下至平民百姓,在商店中常会遇到“纳米冰箱”“纳米洗衣机”等生活用品;股民们跟着庄家的“纳米概念”起伏,或激动或顿足;科技专家们则获得大量研究经费,拟定各种研究课题,有关纳米科技的论著如雨后春笋。

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,也是一次技术革命,从而将是 21 世纪的又一次产业革命。”无疑,纳米新科技将成为 21 世纪科学的前沿和主导科学。

1.1.3 纳米科技

纳米科技是指在纳米尺度上研究物质(包括原子、分子的操纵)的特性和相互作用,以及利用这些特性的多学科交叉的科学和技术。纳米科技的最终目标是直接以原子、分子及物质在纳米尺度上表现出来的新颖的物理、化学和生物学特性制造出具有特定功能的产品。

纳米科技的研究内容主要包括四个方面:

- 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,设计和制造具有特殊功能的产品。

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 世纪前十年的 11 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了专门的纳米技术研究网。

纳米科技与以往的科技领域不同,它几乎涉及物理学、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。

1.1.3.1 纳米物理学

纳米物理学是深入揭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(Nano-electronics)、纳米光学(Nano-optics)、纳米电磁学(Nano-electromagnetics)和纳米光电子学(Nano-optoelectronics)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。

(1) 纳米电子学 纳米电子学是微电子技术向纵深发展的直接结果,其研究内容主要包括: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。

(2) 纳米光电子学 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。

1.1.3.2 纳米化学

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。在以往,化学家主要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。

1.1.3.3 纳米材料学

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,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。

1.1.3.4 纳米生物学

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。

1.1.3.5 纳米医学

纳米医学是人们在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,改善包括人类在内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(Nano-drug)、药物输运(Drug Transfer)、生物芯片(Bio-chip)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。

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 in 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倍甚至上千倍。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。

1.1.3.6 纳米加工

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、纳米光刻和纳米压痕等技术。

1.1.3.7 纳米器件

纳米器件是指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;微电子器件中的电子更多地表现出粒子性,而纳米电子器件中的电子更多地表现出波动性,其中量子效应起着重要作用。

1.2 纳米材料的特性

纳米微粒是由有限数量的原子或分子组成的、保持原来物质的化学性质并处于亚稳状态的原子团或分子团。当物质的线度减小时,其表面原子数的相对比例增大,使单原子的表面能迅速增大。到纳米尺度时,此种形态的变化反馈到物质结构和性能上,就会显示出奇异的效应,因此纳米材料具有四种最基本的特性。

1.2.1 小尺寸效应

小尺寸效应又称体积效应,即当纳米材料中的微粒尺寸小到与光波波长或德布罗意波波长、超导态的相干长度等物理特征相当或更小时,晶体周期性的边界条件被破坏,非晶态纳米微粒的颗粒表面层附近的原子密度减小,使得材料的声、光、电、磁、热、力学等特性出现改变而导致新的特性出现的现象。或者说,小尺寸效应就是当纳米材料的组成相的尺寸(如晶粒的尺寸、第二相粒子的尺寸)减小时,纳米材料的性能会发生变化,当组成相的尺寸小到与某一临界尺寸相当时,材料的性能将发生明显的变化或突变。例如,纳米材料的光吸收明显加大,并产生吸收峰的等离子共振频移;非导电材料的导电性出现;磁有序态向磁无序态转化,超导相向正常相的转变;金属熔点的明显降低等。

这些特性的发现,使人们可利用它来改变以往的金属冶炼工艺,通过改变颗粒大小来控制材料吸收波长的位移,以制得具有一定吸收频宽的纳米吸波材料,用于电磁波屏蔽、防射线辐射、隐形飞机等领域;还可根据这一效应设计许多具有优越特性的器件等。

1.2.2 表面与界面效应

纳米材料的表面效应是指纳米粒子的表面原子数与总原子数之比随粒径的变小而急剧增大后所引起的性质变化。

纳米材料由于其组成材料的纳米粒子尺寸小,微粒表面所占有的原子数目远远多于相同质量的非纳米材料的粒子表面所占有的原子数目。随着微粒子的粒径变小,其表面所占粒子数目呈几何级数增加。表面原子数占总原子数的比例和粒径之间的关系如图 1-2 所示。例如:微粒子的粒径从 100 nm 减小至 1 nm,其表面原子数占粒子中原子总数的比例急剧增加,达到 90% 以上,原子几乎全部集中到纳米粒子的表面。由于纳米粒子表面原子数增多,表面原子配位数不足和高的表面能,使这些原子易与其他原子相结合而稳定下来,因而具有很高的化学活性。

利用这一性质,人们可以在许多方面使用纳米材料来提高材料的利用率并开发纳米材料的新用途,例如提高催化剂的效率、吸波材料的吸波率、涂料的遮盖率、杀菌剂的效率等。

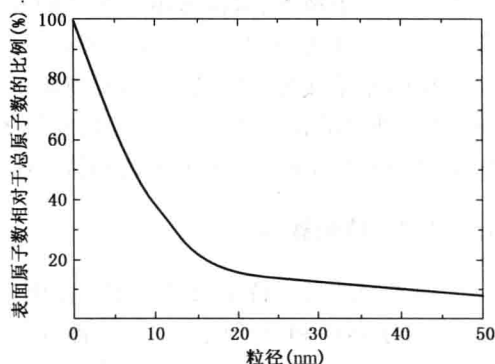


图 1-2 表面原子数占总原子数的比例和粒径之间的关系

纳米晶体材料中含有大量的晶界。例如,对于尺寸为 5 nm 的晶粒,大约有 50% 的原子处于晶粒最表面的一层平面(即原子平面)和第二层平面内;对于晶粒为 10 nm、晶界宽为 1 nm 的材料,大约有 25% 的原子位于晶界;对于尺寸为 20 nm 的晶粒,大约有 10% 的原子位于晶界。由于大量的原子存在于晶界以及局部的原子结构不同于大块晶体材料,必将使界面的自由能增加,同时使材料的宏观性能(如机械变形)发生变化。

1.2.3 量子尺寸效应

在纳米材料中,微粒尺寸达到与光波波长或其他相干波长等物理特征尺寸相当或更小时,金属费米能级附近的电子能级由准连续变为离散并使能隙变宽的现象,叫纳米材料的量子尺寸效应。

这一现象的出现使纳米银与普通银的性质完全不同,普通银为良导体,而纳米银在粒径小于 20 nm 时为绝缘体。同样,纳米材料的这一性质可用于解释 SiO_2 场为什么从绝缘体变为导体。

量子效应是指电子的能量被量子化,使电子的运动受到约束。随着金属尺寸的减小,金属费米能级附近的电子能级由准连续变为离散能级的现象、半导体微粒存在不连续的最高被占据分子轨道和最低未被占据分子轨道、能隙变宽的现象,均称为量子效应。出现量子效应的判据是能隙是否变宽。对于金属纳米材料,由于费米面附近的能隙很小,只有当其颗粒或晶粒非常小时(约几纳米),才会产生明显的量子效应。对于半导体材料,出现量子效应的尺寸比金属粒子的尺寸大得多。

1.2.4 量子隧道效应

纳米材料中的粒子所具有的穿过势垒的能力叫隧道效应。宏观物理量在量子相干器件中的隧道效应叫宏观隧道效应。例如磁化强度,具有铁磁性的磁铁,其粒子尺寸达到纳米级时,即由铁磁性变为顺磁性或软磁性。这一效应确定了现代微电子器件进一步微型化的极限,限制了磁盘等进行信息存储的最短时间。因此,它的研究对基础研究及实际应用都具有重要意义。

以上几种效应体现了纳米材料的基本特征。此外,纳米材料具有基于这些基本特征的其他特征,例如纳米材料的介电限域效应、表面缺陷、量子隧穿等。这些特性使纳米材料表现出许多奇异的物理、化学性质,出现很多从未出现的“反常现象”。纳米材料由于其尺寸变小而体现的新特性,给广大科技工作者带来了广阔的想象空间和无限的创造世界。发现材料的新性能、开发材料的新功能、制备材料的新器件以及研究因纳米材料的奇异特性所带来的创造火花,将给人类文明带来新的天地。

1.3 纳米材料的应用方向

1.3.1 在催化方面的应用

纳米粒子由于尺寸小,比表面积大,表面的键态和电子态与粒子内部不同,表面光滑程度