

纳米



时代

NANMI SHIDAI

现实与梦想

尹邦跃 编著

今天你如果不生活在未来
明天你将在生活在过去
今天你如果不关注纳米
明天你将被纳米所抛弃



中国轻工业出版社

纳米时代

——现实与梦想

尹邦跃 编著

中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

纳米时代——现实与梦想/尹邦跃编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2001. 7

ISBN 7-5019-3237-9

I. 纳… II. 尹… III. 纳米材料—科普知识
IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 032027 号

责任编辑:赵红玉 责任终审:劳国强 封面设计:崔 云
版式设计:智苏亚 责任校对:李 靖 责任监印:胡 兵

*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

联系电话:010—65241695

印 刷:三河市艺苑印刷厂

经 销:各地新华书店

版 次:2001年7月第1版 2001年7月第1次印刷

开 本:850×1168 1/32 印张:7

字 数:172千字 印数:1—5000

书 号:ISBN 7-5019-3237-9 /TB·034

定 价:16.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

内 容 简 介

纳米科技是 20 世纪 80 年代末 90 年代初发展起来的前沿性、交叉性的新兴学科。纳米科技将与信息技术和生物技术一样,对 21 世纪经济、国防和社会产生重大影响,并可能引导下一场工业革命。纳米科技的未来应用将远远超过计算机工业,甚至改变人们的传统思维方式和生活方式。本书介绍纳米的概念、纳米微粒的特性、纳米科技的研究领域、纳米科技的发展历程、纳米科技的重要意义和产业前景、纳米粉末的检测和表征、纳米材料的制备方法和应用领域、纳米科技的最新研究成果和产业开发现状等,重点介绍纳米科技的应用领域和产业发展。

本书可作为大专院校物理、化学、化工、冶金、材料、机械、生物、能源、电子等专业的高年级学生和研究生 的课外读物,也可供有关专业教师、科技人员、企业家、政府部门领导参考和阅读。

作 者 尹 邦 跃 编 者 尹 邦 跃 参 考 文 献 [1] 尹邦跃, 1966 年生。现在中南大学粉末冶金国家重点实验室从事博士后研究工作, 研究课题是 B₄C 超细粉末的制备及其活化烧结。博士学位论文题目是“ZrO₂ 纳米粉末的制备及其复合陶瓷的力学性能和低温时效”。在《硅酸盐学报》等刊物上共发表学术论文 20 多篇。近期研究方向是纳米陶瓷材料, 包括 ZrO₂、Al₂O₃、TiC、TiB₂、SiC、Si₃N₄ 等。

作 者 简 介

尹邦跃,男,1966 年生。现在中南大学粉末冶金国家重点实验室从事博士后研究工作,研究课题是 B₄C 超细粉末的制备及其活化烧结。博士学位论文题目是“ZrO₂ 纳米粉末的制备及其复合陶瓷的力学性能和低温时效”。在《硅酸盐学报》等刊物上共发表学术论文 20 多篇。近期研究方向是纳米陶瓷材料,包括 ZrO₂、Al₂O₃、TiC、TiB₂、SiC、Si₃N₄ 等。

编者的话

继互联网、基因等名词成为人们关注的热点之后，“纳米”一词也越来越多地跃入人们的眼帘。纳米是一种长度单位，1nm(纳米)等于10亿分之一米。对于普通老百姓来说，纳米既不可“望”又不可及，仿佛是一个距离我们十分遥远的梦。科学最神秘、最美妙之处莫过于能将前人的预言变成现实。20世纪50年代末一位科学家曾说：“如果有一天可以按人的意志安排一个个原子，那将产生怎样的奇迹呢？”这在当时只是一个美丽的梦想。然而，在21世纪的今天，我们生活中的化妆品、涂料、家用电器、食品等就有可能是应用了纳米技术的产物。在前不久举行的高交会上纳米技术掀起了一股热浪。许多人没有想到，纳米技术竟如此之快地获得了投资商的青睐，指引了创业者的投资方向。凡是有纳米产品甚至纳米概念的企业，在展会开幕的第一天就有订单入账。于细微处显神奇的纳米技术已经悄然地进入寻常百姓的生活中，渗透到了衣、食、住、行等领域，它甚至将改变人们的传统思维方式和生活方式。纳米时代不会遥远。

纳米科技是在20世纪80年代末90年代初才逐步发展起来的前沿性、交叉性新兴学科领域，它将与信息技术和生物技术一样，对21世纪经济、国防和社会产生重大影响，并可能引导下一场工业革命。据统计，目前全世界纳米技术的实际应用每年可创造500亿美元的营业额。预测表明，2010年全球纳米技术的市场额将达到14400亿美元，相当于目前法国一年的GDP，这无疑是一块非常诱人的“超级蛋糕”。为了实现领导下一场工业革命的目的

标,2000年1月美国总统克林顿亲自宣布启动美国国家纳米技术计划(NNI),拿出5亿美元专门用于发展纳米技术。美国国防部近几年每年投入3500万美元,用于研制纳米武器。美国的这一战略举措立刻引发了一场全球范围内的纳米科技竞赛,日、德、英、法、瑞典、瑞士等国家也相继制定相关战略或计划,投入巨资抢占纳米科技战略高地。纳米科技在我国也受到重视。一时间,“纳米热”遍及全球。

“纳米热”的形成与新经济密切相关。新经济是以知识经济为基础,面向21世纪的高新技术产业。近年来,在美、日、欧之所以形成“纳米技术大合唱”,是因为认识到在新经济时代必须发展纳米技术,生产纳米产品,营造纳米产业。回顾信息技术对全球经济发展的影响,就会明白纳米技术的重大意义。对美国经济过去几年高速增长的原因分析,人们有这样的共识:从20世纪80年代起,美国就开始大力发展信息网络技术。到90年代,信息网络新产品问世,形成了信息网络产业,使美国经济完成了结构调整,避免了经济衰退。相反,在20世纪80年代,日本和欧洲都没有重视信息网络技术,从而在新一轮经济竞争中被美国甩到了后面。这一历史教训尤其使日本悔恨不已。如今,美、日、欧又面临21世纪新一轮经济竞争,都想在纳米科技领域捷足先登。正如诺贝尔奖获得者罗雷尔所说:“(20世纪)70年代重视微米技术的国家如今都成为发达国家,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。”

纳米材料作为一种新材料,是未来信息技术和生物技术等多种学科深入发展的重要物质基础,它将引起产业结构的重大变化,并为新经济创造有形财富。纳米技术应用到传统产业中去,将使老产品更新换代,真正实现可持续发展。这种纳米改进并不见得价格昂贵,却使产品更具有市场竞争力。纳米科技对新经济的影响已不是纸上谈兵,近年来纳米科技已取得一系列重大进展,在一些领域纳米科技已得到应用,正向产业化进军。我国已有10

多条纳米材料生产线,涉及纳米科技的企业已达 100 多家。但是,目前的主要研究方向是将纳米粉末掺加到某种传统材料中去,即进行所谓的纳米改性,看看是否具有不同于常规材料的性能,然后再寻找应用领域。例如,在化纤制品和纺织品中添加纳米微粒,可以起到除味杀菌的作用。冰箱、洗衣机可以抗菌,也是因为用了纳米材料。无菌餐具、无菌玩具、无菌纱布等产品也相继问世。在化纤布料中加入少量的纳米金属微粒,可以摆脱因摩擦而引起的静电现象。玻璃和瓷砖表面涂上纳米薄层,可以制成自洁玻璃和自洁瓷砖。利用纳米技术,使外墙涂料的耐洗刷性由原来的 1000 多次提高到了 10000 多次,老化时间也延长了 2 倍多。大气和太阳光中的紫外线对人体有害,也使塑料和橡胶制品迅速老化。利用纳米技术即可解决这些问题,于是防紫外线化妆品、防紫外线伞、抗老化塑料、抗老化橡胶等新产品随之产生。利用纳米粉末,可使废水彻底变成清水,在环保方面的应用前景极为广阔。

在未来 10~20 年内,纳米尺度上的重大新发现有望带来革命性的商业应用。现有的硅芯片将被体积缩小了数百倍的纳米管元件所代替,像现在的“银河”那样的巨型计算机就可缩小到随手放进口袋的尺寸。而美国国会图书馆的信息,将被压缩到一个 0.3m 大小的硅片上。纳米陶瓷将在室温下就可以发生弯曲变形。纳米机器人可进入人体血液中循环,对身体各部位进行检测和诊断,并实施特殊治疗,如疏通脑血管中的血栓,清除心脏动脉脂肪沉积物,甚至可以吞噬病毒,杀死癌细胞。不久的将来,甚至星际旅行也将因为应用了纳米技术而变成现实。

这是一场世界性的纳米角逐,也是一个难得的发展机遇。纳米科技向各个领域的渗透日益广泛和深入,未来几乎所有现代技术领域的革新和进步都离不开纳米技术。当前,人们迫切需要了解 and 掌握纳米科技特别是纳米材料的基本知识和产业发展趋势。国内已经出版了一些关于纳米科技的学术专著。然而,普通读者非常希望能有一本通俗易懂、信息全面、富有启发意义的纳米

科技基础书籍。

本书全面介绍纳米科技的概念和研究领域，用举例的方法系统地归纳了纳米材料的特异性能，主要介绍纳米科技的发展历程；纳米科技的重要意义和产业前景，特点是用数字来说明纳米科技的产业发展现状和前景；重点介绍了纳米材料的应用、近年来纳米科技的研究成果和产业开发前景，精心收集了 42 条最新信息，包括国内外的研究成果和我国在纳米产业开发方面所取得的成绩；还介绍了作者关于科技创新和高科技产业化的一些不成熟的看法。附录部分对一些大家关心的问题进行了专门论述。

在本书的编写过程中，编者查阅了大量的文献资料。借此机会，向所有提供这些文献资料的作者表示衷心的感谢。他（她）们是：白春礼、张立德、解思深、卢柯、华中一、成会明、曹学军、崔金泰、诚夫、陈瑞金、周萍、怡然、刘道军、郝建纲、沈建苗、郭志红、杜占文、孙文德等。

如果本书能引起广大读者的兴趣，吸引更多的人去了解、学习和研究纳米科技，甚至从本书中得到启发，而寻找到纳米商机，都将使我感到莫大的欣慰。

由于时间仓促，加之编者水平有限，本书一定有许多不足之处甚至错误，恳请读者批评指正。

编者

2001 年 3 月

目 录

第 1 章 什么是纳米科技？	(1)
1.1 纳米的概念	(1)
1.2 纳米微粒的特性	(3)
1.2.1 量子尺寸效应	(3)
1.2.2 小尺寸效应	(3)
1.2.3 表面和界面效应	(4)
1.2.4 宏观量子隧道效应	(4)
1.3 纳米科技的研究领域	(14)
1.3.1 纳米材料	(15)
1.3.2 纳米器件	(17)
1.3.3 纳米结构的检测与表征	(18)
第 2 章 纳米科技是如何发展起来的？	(20)
2.1 20 世纪 80 年代末、90 年代初纳米科技正式 诞生	(20)
2.2 21 世纪初各国加紧攻关	(23)
2.2.1 美国	(23)
2.2.2 日本	(26)
2.2.3 欧洲	(27)
2.2.4 中国	(28)

第 3 章	为什么纳米科技受到特别重视?	(30)
3.1	重要意义	(30)
3.2	产业前景	(33)
第 4 章	纳米科技应用在哪些领域?	(39)
4.1	材料与制造	(39)
4.2	微电子、光电子与计算机	(41)
4.3	医学与健康	(43)
4.4	生物工程与农业	(44)
4.5	环境与能源	(45)
4.6	航空与航天	(46)
4.7	国家安全	(46)
第 5 章	纳米粉末的检测和表征	(48)
5.1	粉末粒径	(48)
5.1.1	颗粒和粒径的概念	(48)
5.1.2	粒径分布	(50)
5.1.3	平均粒径	(51)
5.2	粉末形状	(52)
5.3	粉末粒径和形状的测定方法	(54)
5.3.1	粒径测定方法	(54)
5.3.2	颗粒形状的测定方法	(58)
第 6 章	纳米材料的制备方法和应用领域	(59)
6.1	纳米材料——纳米科技的核心	(59)
6.2	纳米粉末的制备方法	(60)
6.2.1	蒸发-冷凝法	(61)
6.2.2	机械合金(MA)法	(62)
6.2.3	化学气相法	(62)

6.2.4	化学沉淀法	(63)
6.2.5	水热法	(64)
6.2.6	溶胶-凝胶法	(64)
6.2.7	溶剂蒸发法	(65)
6.2.8	电解法	(66)
6.2.9	高温自蔓延合成(SHS)法	(66)
6.3	纳米粉末的成型与烧结	(66)
6.4	纳米涂层和纳米薄膜	(69)
6.5	纳米材料的应用领域	(71)
6.5.1	陶瓷增韧	(71)
6.5.2	在光学上的应用	(74)
6.5.3	磁性材料	(77)
6.5.4	在生物和医学上的应用	(81)
6.5.5	在催化方面的应用	(83)
6.5.6	在其他方面的应用	(85)
第7章	纳米科技的研究成果和产业开发	(87)
7.1	量子计算机——运算速度提高一亿倍	(87)
7.2	分子开关——向分子计算机迈进	(88)
7.3	分子齿轮——分子机器踏上成功之路	(89)
7.4	分子马达——微型机器人的核心部件	(90)
7.5	纳米光刻机——向传统光刻机挑战	(91)
7.6	纳米电路——小小电路威力大	(91)
7.7	室温下移动单个原子——制造纳米机械	(92)
7.8	纳米电缆——高密度集成器的连接导线	(93)
7.9	纳米秤——竟能称取病毒的重量	(93)
7.10	纳米镊子——纳米机械的得力工具	(94)
7.11	纳米鼻——环保领域大显神威	(95)
7.12	纳米机器——引发一场新的机器革命	(96)

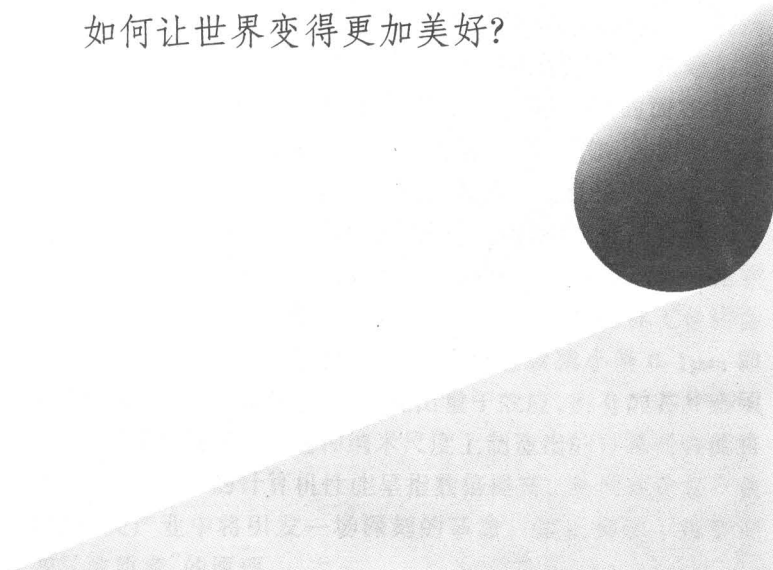
7.13	纳米医学——攻克疑难杂症的曙光	(99)
7.14	纳米加工系统——向传统加工挑战	(103)
7.15	微型化技术——未来科技的发展趋势	(105)
7.16	纳米碳管——应用前景十分诱人	(111)
7.17	纳米晶铜——奇特的变形机制	(117)
7.18	纳米金属——产业发展状况	(118)
7.19	纳米陶瓷——产业发展状况	(119)
7.20	纳米二氧化硅——白炭黑的升级产品	(121)
7.21	纳米碳酸钙——应用领域十分广泛	(123)
7.22	纳米洗衣机——抗菌家电的先驱	(124)
7.23	纳米抗菌衣——安全又舒适	(124)
7.24	纳米军服面料——野战更需要	(125)
7.25	纳米隐身涂料——奇妙的隐身术	(125)
7.26	纳米弹药——未来弹药的发展趋势	(126)
7.27	纳米武器——未来战争的“微型军”	(126)
7.28	纳米塑料——后起之秀	(128)
7.29	纳米金刚石——贵如黄金	(129)
7.30	纳米磁性材料——21 世纪的磁性材料	(130)
7.31	纳米复合钢——比硬质合金还要硬	(133)
7.32	纳米润滑材料——精密机械的润滑	(133)
7.33	纳米硫化钨、硫化钼——崭新的纳米管	(136)
7.34	量子磁盘——再创新记录	(136)
7.35	单电子晶体管——微型电脑指日可待	(137)
7.36	微型传感器——电子鼻、人工眼	(138)
7.37	纳米电容器——微小却大有作为	(139)
7.38	纳米激光器——激光器的一朵新花	(140)
7.39	纳米硒(Se)——神奇的功能保健品	(140)
7.40	纳米抗菌卫生陶瓷——追求健康生活	(141)

7.41	纳米高分子材料——强大的“混血儿”	(142)
7.42	纳米火车——向纳米自组装迈进	(147)
第8章	关于科技创新和高科技产业化	(152)
8.1	科技创新	(152)
8.2	高科技产业化	(155)
附录1	美国国家纳米技术计划	(158)
附录2	神奇的纳米技术	(163)
附录3	21世纪的量子芯片	(177)
附录4	摩尔定律会终结吗?	(182)
附录5	储氢的纳米碳管	(185)
附录6	纳米技术,离现实还有多远?	(188)
附录7	纳米技术,危乎哉?	(197)
附录8	如何识别真假纳米技术?	(202)
附录9	沪深两市“纳米概念”股票一览	(205)
主要参考文献		(207)

纳米科学和纳米技术的对象就是在纳米尺度上的物质世界。

纳米科学和纳米技术在 21 世纪将改变几乎每一件人造物体的特性，材料性能的重大改善和制造模式的改变将引发一场工业革命。

纳米技术将会发展到何种程度？纳米技术是否能变得经济实用？纳米技术如何让世界变得更加美好？



第 1 章

什么是纳米科技?

1.1 纳米的概念

我们的古人常用“芥子之微”、“秋毫之末”来形容东西很小。古文《核舟记》里描述了一艘用橄榄核雕刻的舟,窗子可以开合,上面居然还写着“山高月小,水落石出”八个字,令人叹为观止。这艘船的最小部件只有 0.1mm (毫米),即 $100\mu\text{m}$ (微米)。现代象牙微雕,据说小如米粒,竟能刻下《唐诗三百首》全文。粗略估算一下,在 $1\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的面积上刻两万字,每个字的面积只有 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 。然而,现在看来这些还不算最小。又如,人们往往用“细如发丝”来形容东西纤细。其实,人的头发直径一般为 $20 \sim 50\mu\text{m}$,可见并不细小。单个细菌虽然用肉眼看不见,但用显微镜测出其直径约为 $5\mu\text{m}$,也不算是最小的。就拿目前世界上最小的硅集成电路来说,线宽已经减小至 $0.13\mu\text{m}$ 。据美国半导体工业协会预计,到 2010 年半导体器件的大小还将继续减小至 $0.1\mu\text{m}$ 即 100nm (纳米)以下,到时候就会呈现出量子效应,所有的芯片必须按照新的原理来设计。在这种纳米尺度上制造出的计算机性能将比目前微米技术下的计算机性能呈指数倍提高,从而在信息产业和其他相关产业中将引发一场深刻的革命。这正验证了哲学中“量变导致质变”的原理。

● 纳米时代——现实与梦想

纳米(nanometer)是长度单位,原称“毫微米”,用 nm 表示。正如是长度单位,用 m 表示一样。 $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$,即 1nm 等于 10 亿分之一米。我们知道,原子是组成物质的最小单位,自然界中氢原子的直径最小,仅为 0.08nm,非金属原子直径一般为 0.1 ~ 0.2nm,而金属原子直径一般为 0.3 ~ 0.4nm。因此,1nm 大体上相当于数个金属原子直径之和。由几个至几百个原子组成或粒径小于 1nm 的原子集合体称为“原子簇”或“团簇”(cluster)。当前能大量制备的团簇有 C_{60} 和富勒烯。 C_{60} 是由 60 个碳原子组成的足球结构的中空球形分子;由三十二面体构成,其中 20 个六边形、12 个五边形。 C_{60} 的直径为 0.7nm。通常所说的纳米是指尺度在 1 ~ 100nm 之间。可见,纳米微粒度大于原子簇,但用肉眼和一般的光学显微镜仍然是看不见的,而必须用电子显微镜放大几万倍甚至几十万倍才能看得见单个纳米微粒的大小和形貌。血液中的红血球大小为 200 ~ 300nm,一般细菌如大肠杆菌的长度为 200 ~ 600nm,而引起人体发病的病毒一般仅为几十纳米,因此,纳米微粒比红血球和细菌还要小,而与病毒大小相当或略小些,见图 1-1 所示。

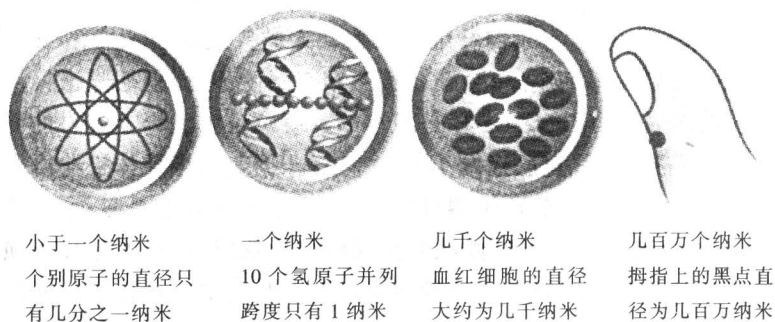


图 1-1

1.2 纳米微粒的特性

1.2.1 量子尺寸效应

当粒子尺寸下降到某一最低值时,费米能级附近的电子能级由准连续变为离散能级的现象。Kv60 提高了相邻电子能级间距 δ 与颗粒直径 α 的关系式:

$$\delta = \frac{4E_F}{3N} \propto \alpha^{-3}$$

式中, N 为一个微粒子的总导电电子数; E_F 为费米能级。对于大粒子或宏观物体包含无限个原子, 导电电子数 $N \rightarrow \infty$, 由上式可知, 能级间距 $\delta \rightarrow 0$, 即能级是连续的。而对于纳米微粒, 所包含原子数有限, N 值很小, 于是 δ 就有某一定值, 即能级分裂。当能级间距 δ 大于热能、磁能、静磁能、静电能、光子能量或超导态的凝聚能时, 必须考虑量子尺寸效应, 这就会导致纳米微粒的光、电、磁、热、声及超导电性与宏观特性有着显著的不同。例如, 纳米微粒的磁化率、比热容与所包含电子奇偶性有关, 光谱线的频移、催化性质、介电常数变化等也与所包含电子数的奇偶性有关。例如, 纳米 Ag 微粒在温度为 1K 时出现量子尺寸效应(即由导体变为绝缘体)的临界粒径为 20nm。

1.2.2 小尺寸效应

当微粒尺寸与光波的波长、传导电子的德布罗意波长以及超导态的相干长度或穿透深度等物理特征尺寸相当或更小时, 晶体周期性的边界条件将被破坏, 导致声、光、电、磁、热、力学等特性均会呈现新的小尺寸效应。例如, 光吸收显著增加, 并产生吸收峰的等离子共振频移; 磁有序态转变为磁无序态; 超导相能变为正