



2006-2007

材料科学

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国材料研究学会 编著



 中国科学技术出版社

71.22
144.1



2006-2007

材料科学

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国材料研究学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2006—2007 材料科学学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国材料研究学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2007.3

ISBN 978-7-5046-4510-4

I. 2... II. ①中... ②中... III. 材料科学—研究报告—
中国—2006—2007 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 022273 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:9 字数:216 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:25.00 元

ISBN 978-7-5046-4510-4/TB·73

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2006—2007 材料科学学科发展报告

专 家 组

组 长 周 廉

常务副组长 韩雅芳

副 组 长 李成功 陆 辛

成 员 (按姓氏笔画排序)

王天民	王占国	王洪涛	王 勇	王崇愚
邓雪萌	叶恒强	齐龙浩	杨 锐	张立德
张兴栋	张 泽	苗赫濯	林旭平	周和敏
郝维昌	夏定国	顾忠伟	徐东升	谢建新
潘 伟				

学 术 秘 书 王洪涛

序

基于我国经济社会发展和国际社会竞争态势的客观要求,党中央、国务院做出增强自主创新能力、建设创新型国家的战略部署,这是综合分析我国所处历史阶段和世界发展大势做出的重大战略决策。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。在科学技术繁荣、发展的过程中,传统的自然科学学科得以不断深入发展,新兴学科不断产生,学科间的相互渗透、相互融合的趋势不断增强;边缘学科、交叉学科纷纷涌现,新的分支学科不断衍生,科学与技术趋向综合化、整体化。及时总结、报告自然科学的学科最新研究进展,对广大科技工作者跟踪、了解、把握学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、融合与渗透,推动多学科协调发展,促进原始创新能力的提升,建设创新型国家具有非常重要的意义。为此,中国科协在连续4年编制《学科发展蓝皮书》基础上,自2006年开始启动学科发展研究及发布活动。

按照统一要求,中国力学学会、中国化学会、中国地理学会等30个全国学会申请承担了2006年相应30个一级学科发展研究任务,并编撰出版30本相应学科发展报告。在此基础上,中国科协学会学术部组织有关专家编撰了全面反映这30个一级学科的总报告——《学科发展报告综合卷(2006—2007)》。

中国科协是中国科学技术工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,开展学术交流、活跃学术思想、促进学科发展、推动自主创新是其肩负的重要任务之一。开展学科发展研究及学科发展报告发布活动,是贯彻落实科技兴国战略和可持续发展战略,弘扬科学精神,繁荣学术思想,展示学科发展风貌,拓宽学术交流渠道,更好地履行中国科协职责的一项重要举措。这套由31卷、近800余万字构成的系列学科发展报告(2006—2007),对本学科近两年来国内外科学前沿发展情况进行跟踪,回顾总结,并科学评价了近年来学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术等,体现了学科发展研究的前沿性;报告根据本学科的发展现状、动态、趋势以及国际比较和

战略需求,展望了本学科的发展前景,提出了本学科发展的对策和建议,体现了学科发展研究的前瞻性;报告由本学科领域首席科学家牵头、相关学术领域的专家学者参加研究,集中了本学科专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的全国学会和科学家、科技专家劳动智慧的结晶,也是他们学术风尚和科学责任的体现。

希望中国科协所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,充分体现中国科协“三服务、一加强”(为经济社会发展服务,为提高全民科学素质服务,为科学技术工作者服务,加强自身建设)的工作方针,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Yong, the President of the Chinese Association of Science and Technology.

2007年2月

前 言

《2006—2007 材料科学学科发展报告》的时间跨度以 2005~2006 年为主,适当追述到进入 21 世纪以来(即“十五”期间)的材料科学技术的主要和基本的进展。由于材料学科涉及众多材料类别及相关科学技术,受中国科协委派,由中国材料研究学会负责编写的本报告侧重于材料学科的前沿材料科学技术(如纳米材料科学技术、信息功能材料科学技术等)、学科交叉材料科学技术(如生物医学材料科学技术、生态环境材料科学技术等)以及材料学科的共性基础科学技术(如材料的设计、计算与模拟,材料的制备、成型与加工以及材料的表征、评价与检测等),而对量大面广的工程基础材料(如钢铁、有色金属、水泥、塑料、树脂、合成纤维、橡胶以及聚合物基复合材料等),则仅在本报告中就工程基础材料作一综合概述,以避免与其他学会的学科发展研究报告(如中国金属学会负责编写的《冶金工程学科发展研究报告》)相重复,同时也适当兼顾了材料学科自身的学科完整性。在本报告编写过程中参阅和引用了部分内部文献和资料,如国家“863”计划、国家“973”计划、国家自然科学基金委员会有关材料方面的计划项目以及国家其他有关部门的内部文献和资料,不便一一列入公开出版的参考文献,在此一并致谢。

本报告是在中国科学技术协会大力支持下完成的,在此谨代表编写委员会表示深深的谢意!同时向为本书的编辑、出版付出辛勤劳动的工作人员表示衷心的感谢。

中国材料研究学会
2006 年 12 月

目 录

序	韩启德
前言	中国材料研究学会

综合报告

材料科学学科的研究现状与发展前景	(3)
一、引言:材料学科发展概貌	(3)
二、前沿材料和学科交叉材料科学技术方面的进展	(4)
三、工程基础材料科学技术方面的进展	(23)
四、共性基础科学技术方面的进展	(26)
参考文献	(33)

专题报告

高技术应用领域纳米材料研究的新进展	(37)
半导体光电信息功能材料研究进展	(45)
新能源材料的研究现状及发展	(56)
生物医学材料科学前沿与发展方向	(65)
生态环境材料——21 世纪材料及其产业的发展方向	(74)
先进结构陶瓷材料研究进展	(84)
计算材料学的发展与应用前景	(95)
材料智能化制备与成形加工技术发展研究	(102)
超薄膜界面结构的电子全息研究	(112)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Progress and Study on Materials Science and Engineering	(123)
---	-------

Reports on Special Topics

The Present Situation and New Achievements of Research on Nanomaterials Science	(126)
Recent Progress of Study on Semiconductor Opto-electronic Information Functional Materials	(126)

Present Situation and Recent Progress of Study on New Energy	
Materials	(127)
The Frontiers and Development Direction of Biomaterials Science	(127)
Ecomaterials—Development Direction of Materials and Related Industry	
in the 21st Century	(128)
Research Progress on Advanced Structural Ceramics	(129)
The Development and Prospect of Computational Materials Science	(130)
Intelligent; The Developing Trend of Materials Processing	(131)
Observation of Interface between Super-thin Films Using Electron	
Holography	(131)

综合报告

材料科学学科的研究现状与发展前景*

一、引言：材料学科发展概貌^[1-2]

材料是指用于制造具有一定功能和使用价值的器件的物质。20 世纪末人们通常将信息、材料和能源称为当代社会经济的三大支柱,同时又将信息科学、生命科学和材料科学誉为当代文明的三大前沿科学。

材料是人类进行科学研究和生产实践的物质基础,在漫长的人类发展历史长河中,材料一直扮演着划分时代的作用,是人类社会进步的里程碑,如历史上的新石器时代、青铜时代和铁器时代等。历史证明,每一种重要材料的发现和广泛应用,都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新水平,给社会生产力和人民生活水平带来巨大的变化。一类新材料的问世,往往孕育着一批新技术和产业的诞生,给人类社会的进步带来巨大的推进。20 世纪中叶,晶体管的发明和半导体硅材料的研制成功导致了集成电路的迅猛发展,触发了信息技术革命,使当代人类社会的物质文明和精神文明发生了质的变化。

材料虽然已有上万年的发展历史,但“材料科学”的提出只是 20 世纪 60 年代的事。1957 年,前苏联人造卫星首先上天,美国朝野上下为之震惊,认为自己落后的主要原因之一是材料,于是在许多大学里成立了一批材料科学研究中心,采用先进的科学理论与实验方法来对材料进行深入研究,从此“材料科学”一词开始流行。那么“材料科学”的内涵到底是什么呢?经过广泛的争议和讨论,到 20 世纪末,在世界范围内基本上取得了关于“材料科学”的共识。这反映在由美国麻省理工学院学者主编并由英国 Pergamon 出版社自 1986 年开始出版的世界上第一部《材料科学与工程百科全书》中。它对材料科学与工程下的定义为:“材料科学与工程是研究有关材料的组成、结构、制备工艺流程与材料性能和用途的关系的知识”。随后,美国学者绘制了一个四面体,称之为材料科学与工程的四要素,即组成与结构(composition/structure)、合成与生产过程(synthesis/processing)、性质(properties)以及使用效能(performance)。所以,材料科学与工程是研究材料的组成、结构、生产过程、材料性质与使用效能及其相互关联的一门科学技术。在我国的教学、科研和研究生培养体系中,材料科学与工程是一级学科,下属的三个二级学科为:材料学(含金属材料、无机非金属材料、高分子材料以及复合材料),材料物理化学,材料加工工程。这

* 在本综合报告起草过程中,有关专家应邀专门撰写了资料,同时我们对本学科的九篇专题研究报告作了部分节录并纳入了本综合报告,在此我们对以下专家和学者表示衷心感谢:吴伯群、张立德、王占国、夏定国、张兴栋、顾忠伟、王天民、周和敏、郝维昌、苗赫濯、林旭平、潘伟、齐龙浩、邓雪萌、杨锐、徐东升、叶恒强、王崇愚、张泽、王勇、谢建新。其中王占国院士还对本报告的相关部分作了审改,钟菲菲、刘玉资在本报告的录入等方面提供了帮助,在此一并表示感谢!本综合报告涉及材料科学与工程的诸多方面,缺点在所难免,敬请读者们批评指正。

同样也反映了材料科学与工程的内涵。

材料学科(材料科学与工程)具有三个重要属性:一是多学科交叉,它是物理、化学、数学、冶金、金属、硅酸盐、高分子等众多学科相互交叉与融合的结果;二是一种与应用结合非常紧密的科学,材料学科发展的目的在于应用,要增加材料的品种,提高材料的性能和质量,合理使用材料,降低成本和减少环境污染等;三是材料学科是一门相对年轻而迅速发展的学科,它将随各有关学科的发展而得到充实和完善。

中国材料研究学会受中国科协的委派承担《2006 材料学科发展研究报告》的编写任务。本报告的编写具有特定的时代背景,这是 21 世纪初我国“十五”计划结束和“十一五”计划启动的年代;同样也是我国包括材料科学技术在内的国家级研究计划[如“973”计划、“863”计划、国家科技攻关计划(支撑计划)以及新材料产业化计划等]的“十五”和“十一五”的交接、继承和发展的年代;尤其重要的是 2006 年国务院正式发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》,其中明确提出了今后 15 年我国科技工作的指导方针是:自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来。在国际上,各国都对材料学科的发展给予了高度的重视,材料被公认为是当代科学技术发展的基础和先导。美国、日本和欧洲是当代材料科学技术最为发达的国家和地区,进入 21 世纪以来,他们的政府部门纷纷制订了有关材料科学技术及其产业的发展计划,如:美国的 21 世纪国家纳米倡议、光电子计划、光伏计划、新一代照明光源计划、先进汽车材料计划等;日本的纳米材料计划和 21 世纪之光计划等;德国的 21 世纪新材料计划;欧盟的纳米计划等。世界各国在加强对量大面广的传统工程基础材料改进的同时,高度重视材料科学与新材料的发展,其重点是纳米材料科学技术,信息功能材料科学技术,超导材料科学技术,新能源材料科学技术,生物医学材料科学技术,生态环境材料科学技术,材料的设计、计算与模拟科学技术,材料制备与成型加工科学技术,材料表征、评价与检测科学技术等。

关于本报告的定位问题,考虑到与材料有关其他兄弟学会的分流与中国材料研究学会本身的基本定位,我们将报告的重点放在材料学科前沿材料科学技术(如纳米材料科学技术、信息功能材料科学技术、超导材料科学技术、新能源材料科学技术等),学科交叉材料科学技术(如生物医学材料科学技术、生态环境材料科学技术等)和材料学科的共性基础科学技术(如材料设计、计算与模拟科学技术,材料的制备、成形与加工科学技术,材料的表征、评价与检测科学技术等)方面,而对工程基础材料(如金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等)的进展只作简略的综合概述,不再作重点的专题介绍,以免与其他学科发展研究报告相重复。

二、前沿材料和学科交叉材料科学技术方面的进展

近年来国内外材料学科在前沿材料和学科交叉材料方面的进展涉及广泛的领域,本报告选择的重点是纳米材料科学技术、信息功能材料科学技术、超导材料科学技术、新能源材料科学技术、生物医学材料科学技术和生态环境材料科学技术。现分别综合概述如下。

(一) 纳米材料科学技术^[2-3]

纳米科学技术是进入 21 世纪以来世界上最富有挑战性的关键科学技术,世界各国都将发展纳米科技作为国家科技发展战略目标的重点。美国自 2000 年 2 月提出“国家纳米技术倡议(NNI)”,投入到纳米科技研究开发的费用逐年增加,2000 年为 2.7 亿美元,2001 年增至 4.95 亿美元,2003 年则增至 7.102 亿美元,其国家纳米技术倡议实施计划确定了 5 个重点发展领域:基础研究、重大挑战项目研究、杰出中心和研究网络、基础研究设施以及伦理、法律和社会影响及教育培训。日本政府在“科学技术基本计划(2001~2006)”中将纳米技术、材料科学、生命科学、信息通信、环境保护等作为国家科技发展战略重点。日本通产省制订了“纳米材料计划(2001~2007)”,每年经费 3 500 万美元,研究发展的重点是:金属、陶瓷、玻璃和聚合物方面的纳米材料、纳米氧化物和半导体、纳米涂层、新型纳米功能材料以及纳米物理表征和计量。日本通产省还制订了“下一代半导体技术开发计划”,重点是 50~70 nm 的技术,政府每年投资为 6 000 万美元。欧盟在第 6 框架计划(到 2007 年为止)中,将纳米技术作为 7 个重点发展的领域之一,经费为 12 亿美元,其主要研发内容是纳米科学技术基础、多功能智能材料以及新的纳米生产工艺和器件。韩国在纳米科技方面也有较大的投入,规划目标是到 2010 年能跻身于世界纳米科技 10 强之列。中国台湾地区也制订了“纳米材料尖端研究计划”,计划 2002~2007 年,在纳米科技相关领域每年平均投入达 1 亿美元。其他国家如以色列、新加坡、印度、澳大利亚和南非等均制订了相关的纳米科技发展计划,一个激烈的国际竞争格局已经形成。据德意志银行对 2002~2006 年纳米技术产品的市场预测,纳米材料将由 2002 年的 250 亿美元增加到 2006 年的 300 亿美元。到 2015 年,有关方面预测全球纳米科技产品的市场贡献将达到 1 万亿美元以上,而其中纳米材料技术的市场规模将达到 3 000 亿~4 000 亿美元。

目前世界各国均以纳米材料的制备与加工、纳米材料性能、纳米器件、纳米材料及结构的应用等为主攻方向。近两年来的主要进展如下所述。

1. 富勒烯纳米材料的研究又有新的突破

(1)碳纳米管的分离:杜邦公司科学家发现单股 DNA 与碳纳米管的交互作用很强,据此采用杂交、分离等技术,敲开了碳纳米管在纳米生物领域应用的大门。

(2)富勒烯的毒性可归结为 C_{60} 的聚合效应,在其表面包覆一层其他化学物质可抑制富勒烯球的聚合,使其失去毒性。这对纳米药物的人体安全性及生产安全有重要意义。

(3)美国波士顿学院 Lawrence T. Scott 小组通过石墨汽化器实现了 C_{60} 的宏量制备,对规模生产 C_{60} 有重要的启示。

(4)通过吸附方法可使纳米管易于溶解于有机溶剂中,用淀粉修饰还可使纳米管易于悬浮在水合溶剂中,通过接枝改性可使纳米管具有亲水性能,既拓展了碳纳米管的应用范围,也为碳纳米管的提纯奠定了基础。

(5)基于复合纳米结构开发出不同功能的碳纳米管复合体系,并设计制造微型纳米器件:日本国家材料科学学院 Yoshio Bando 等把溶态的镓填充到纳米管腔体内制备了灵敏的微型温度计;美国 Rensselaer 工学院的 Pulickel M. Ajayan 等发展了同时在不同方向上生长碳纳米管的新技术,据此可制造微型电动机机械装置或纳米管纤维膜;清华大学的范

守善等制备了世界上最长的碳纳米管,用该碳纳米管制成的灯丝,具有负电阻温度系数,同时,利用这种超长碳纳米管线制成的偏振片,具有紫外偏振效应。

2. 具有奇异物性的新型纳米材料研制成功

(1)澳大利亚国立大学的 Andrei V. Rode 等研制了磁性碳泡沫纳米材料,并联合希腊赫拉克利的 Hellas 研究与技术基金会、克利特大学以及俄罗斯圣彼得堡的约飞技术物理研究所共同研究了其性能。该材料由 4 000 个原子构成,以团簇结成网状,团簇直径约 6 nm,以呈负曲率的双曲鞍形石墨层结构包含在七边形内,密度为正常大气压下空气密度的几分之一;有磁学性能(而最轻的硅气凝胶不具备),低于 -183°C 时有永久磁性。该材料可谓继 C_{60} 和碳管以后新发现的一种碳的同素异构体,有广泛的应用前景,也极大地丰富了碳材料的科学内涵,无疑是近年来纳米材料和纳米结构研究中最重要发现之一。

(2)最近科学家们还成功地制备出了具有磁性和半导体功能的陶瓷纳米线及由它们构筑的花样。

(3)近年来,中国科学家采用自下而上的构筑思路,发展了模板脉冲电沉积技术,充分利用纳米材料的小尺度效应,制备了半金属 Bi/Sb , Bi 的 Y 型结, SiO_2/Si 的异质结,以及喇叭形半金属一维纳米结构阵列,做到了直径和结数量可控,这些带结的纳米线的两端分别表现出不同的特性,如金属/半导体特性,其电阻输运特性完全不同于单一的材料。更重要的是,他们能用同种物质,无须通过掺杂,仅仅通过尺度差异的控制,获得具有金属/半导体类肖特基接触的同质异性结。这些成果为纳米器件的设计提供了一条新的途径。

3. 纳米材料在纳电子和光电子领域中的应用

(1)以一维纳米半导体和纳米金属为基础构筑的纳米电路取得重要突破。《科学》杂志评论:这一突破有可能为未来诞生极微小和极快速的分子计算机铺平道路,成为今后几十年科技突破的一大动力。纳米电路在不久的将来能实现即时翻译、破解气候变化谜团以及“能引发未来几十年中科学突破”的微型计算机的设计铺平道路。

(2)普林斯顿大学的 Stephen Chou 用激光协助直接压印(LADI)技术制造模压硅片,使其效率获得大幅度提高,还提高了集成密度,降低了成本。利用单个电子作为纳米电路开关的研究也取得了初步进展,有望成为未来微小型、高精度和低能耗芯片的基础,为芯片业带来新的突破。

(3)纳米场效应管在实验室问世。碳纳米晶体管每单位宽度的电荷承载能力是顶级硅晶体管原型的两倍以上。传统的 SiO_2 栅极材料不能满足纳米场效应管需要,寻找高介电常数、宽能隙、热稳定性好和抗漏电流能力强的新型纳米绝缘超薄膜是当前的前沿课题之一。

(4)惠普实验室宣布制造出目前密度最高的电子可寻址(electronically addressable)的 64 位元纳米存储器。它的总面积不到 $1\ \mu\text{m}^2$,位元密度比目前的硅存储晶片要高出 10 倍。这预示着分子电子学的发展将可能突破硅电子学的极限,使电脑科技进入一个新的层次,研发潜力巨大。而 IBM 公司采用“分子级联状计算”(molecular-cascade-like computation)已经制造出了一个可以进行单次计算的线圈。

(5)德国以碳纳米管为主导材料成功开发了世界上最小的纳米晶体管,沟槽长度只有18 nm,在传输能力、可选择性、激发电压、电流密度及能耗等方面具有优越特性。预计到2018年纳米晶体管的尺度会进一步减少,能耗会进一步降低,前途方兴未艾。

(6)世界上最小的纳米激光器研究有了重要突破。哈佛大学 Lieber 教授以电子驱动激光实现自组装的方法,实现了单纳米导线驱动激光和激光的纳米网络传输,纳米导线尺度是光纤激光载体的1/1 000,为实现纳米光电一体化起到了示范作用,这也是纳米材料成功应用于纳米光电领域的典型示例和近年来的重要成就之一。

4. 纳米材料在生物和微流体探测领域上的应用

(1)美国佛罗里达大学的 Tan 等人用荧光染色材料掺杂,使纳米颗粒能够定向寻找并黏附于细胞上,进而可通过观测富集在细胞表面的纳米颗粒产生的荧光而快速准确地探测特定的单个细菌或病毒细胞。

(2)哈佛大学 Lieber 等人利用纳米线场效应晶体管阵列生物传感器的电学特性,有选择性地快速识别了单个病毒。用不同的感应材料嫁接和修饰(包裹),将可以同时检测上百种病毒分子。该器件对纳米生物传感器的设计制造有着重要的指导作用,将可以推广应用于医学领域和反恐领域(快速侦察生化武器)等。

(3)美国康纳尔大学的研究人员利用振动与光学性能结合,制造了快速识别病毒分子的纳米机械称量感应器,可以检测出单个病毒分子,灵敏度高达 10^{-18} g。

(4)美国阿贡(Argonne)国家实验室的科学家们利用布朗尼(Brownian)弛豫效应制造了快速检测微生物分子的磁性材料纳米颗粒传感器。

(5)用于测量 pH 值的纳米化学传感器在美国哈佛大学研制成功,该器件也可以用来检测生物蛋白分子。

(6)以色列的 Gazit 等人利用缩氨酸纳米管比表面积大这一特性大幅度提高了电化学器件的敏感性,有望被用于检测生物化学物质和国防安全等领域,并在纳米生化感应器领域有着广阔的应用前景。

(7)美国伊利诺伊斯大学的研究者用葡萄糖修饰过的碳纳米管与血糖交互作用产生的近红外荧光峰强度的变化,制成实时连续监控血糖水平的纳米血糖探测器,可以在深层组织和全血介质中得到应用。

(8)纳米科技在追踪、识别、有针对性地治疗癌症方面也初步显示了诱人的应用前景。已有数十种基于纳米颗粒的识别或治疗的药剂上市,有些正在临床实验阶段。哈佛大学 Lieber 研究组研制出一种经过特定化学修饰的硅基纳米线阵列器件,可高灵敏度(电信号,灵敏度可达到 10^{-15} M)地检测出血清中五种癌细胞的特定标记蛋白。如果对每一根纳米线修饰上特定的抗体物质,通过检测一滴血就可以同时筛选出不同的癌细胞。斯坦福大学的 Dai 等人发现,用叶酸修饰的碳纳米管可被癌细胞经内吞作用吸收,但不被正常细胞吸收。据此用近红外光激发碳纳米管的电子态,将导致这些碳纳米管温度升高,从而用高温摧毁癌细胞。他们用 808 nm 波长,能量为 1.4 mW/cm^2 的近红外光激发辐照癌细胞所在部位,2 min 后,癌细胞全部死亡,而正常细胞没受任何影响。

中国已成立了国家纳米科技中心,并配备了相应的资金和设施,制订了相应的纳米科技发展规划。在国家“863”计划和“973”计划的“十五”计划中已完成了有关纳米材料方面

的专项以及有关纳米材料与结构、纳电子材料与表征、纳米尺度下材料性能表征等研究项目。在纳米科技和纳米材料方面也取得了较好的进展,例如,在纳电子方面,成功地研制出波导型单电子器件晶体管和对电荷超敏感的库仑计;实现 6 nm 宽的半导体量子线台面和 6 nm 宽的线条金属栅,制备出了间隔仅为 10 nm 的多种“纳米电极对”;用 GMR 效应进行高灵敏度传感器和硬盘磁头原型的研制工作。在纳米器件的构筑与自组装、超高密度信息存储、纳米分子电子器件等方面也取得了许多有意义和有影响的结果。在纳米材料方面,以碳纳米管为代表的准一维纳米材料及其数组体系,在非水热合成纳米材料方面取得了国际领先的成果;纳米铜的超延展性、块体金属合金、纳米复相陶瓷、巨磁电阻、热磁效应、介孔组装体系的光学特性、纳米生物骨修复材料、二元协同纳米接口材料等方面处于国际先进水平;在纳米复合材料改造传统材料和产品方面的成果已部分实现了产业化,目前国内已建成 100 多条纳米材料生产线,包括纳米金属粉(如 Fe, Ni, Co, Cu, Al, Zn 等),纳米氧化物粉(如 TiO_2 , SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , Sb_2O_3 等),以及纳米陶瓷粉(如 SiC , Si_3N_4 等),总产量已达千吨级规模,除满足国内市场应用的需要外,还有部分出口。

我国在纳米科技领域发表论文的数量增加较快,2004 年发表论文的总数已占全球总论文数的 10%,其中纳米材料领域发表的论文数又占中国纳米科技领域总论文数的 23%。在纳米技术世界专利申请件数方面中国也有快速增长,以 2000~2002 年各国纳米专利申请件数为例,美国居第 1 位占 32%,日本居第 2 位占 21%,中国居第 3 位占 12%,德国居第 4 位占 11%,韩国居第 5 位占 8%。

我国在纳米材料的研发与应用方面与国外的主要差距是:资金投入较少,原始创新不够,缺少自主知识产权,高技术应用领域的纳米材料研发不够。

(二)信息功能材料科学技术^[4,6]

信息技术既是当代社会发展的支柱之一,又是当代科学发展的前沿,也是进入 21 世纪以来发展最为迅速、最富活力与挑战性的科学技术,并且对当代人类的物质文明和精神文明产生着重大的影响。信息科学技术是由信息的探测、传输、存储、显示、运算和处理所构成的,随着信息的传输、处理和存储进入以每秒太比特计的时代,信息的载体则也由电子到光电子,进而向光子的方向发展。信息材料是信息技术的基础与先导,如果没有 20 世纪中叶的半导体硅的发现和随后的低损耗石英光纤的出现,就不可能有今天规模巨大的集成电路产业、光纤通信技术乃至整个信息技术产业。从材料的角度来看,微电子材料是最重要的信息材料,光电子材料是发展最快的信息材料,而光子材料则是最有发展前途的信息材料。据统计,2004 年约 280 亿美元的半导体材料市场支撑了约 2 180 亿美元的半导体产品市场和约 9 900 亿美元的设备市场,以半导体材料为基础的信息产业已成为世界上最庞大的产业之一。

信息功能材料主要包括硅和硅基半导体材料、化合物半导体材料、高温宽带隙半导体材料、信息存储材料、有机发光与显示材料以及全固态激光器与人工晶体材料等。其主要科学与技术问题则涵盖了诸如超大直径完美硅和硅基材料的杂质、缺陷控制和制造技术、低维结构的量子调控与应用、信息功能材料结构、电子态与光电信息功能的内在关联规律、异质结构材料生长动力学,特别是大失配材料的柔性衬底理论与制备技术、异质结构