

第6集



# 创新者的报告

I N N O V A T O R S ' R E P O R T

中国科学院综合计划局 编

科学出版社

# 创新者的报告

(第6集)

中国科学院综合计划局 编

科学出版社

2001

## 内 容 简 介

中国科学院是我国国家创新体系的重要组成部分,是国家知识创新系统的核心部分之一,于1998年开展了知识创新工程试点工作。本书是介绍中国科学院纳米科学技术研究成果或重大阶段性进展的专集,收录了在纳米结构及表征、碳纳米管、纳米塑料、纳米陶瓷、纳米功能材料等各种制备方法与技术,以及光、电、磁、储氢和催化等性能研究方面的成果或进展,较全面地反映了中国科学院的纳米科学技术研究水平与现状。

本书可供具有大专以上文化程度的有关人员阅读参考,尤其适合从事纳米科学技术研究的专业人员。

## 创新者的报告

(第6集)

中国科学院综合计划局 编

责任编辑 李 锋 张邦固

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2000年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001年6月第二次印刷 印张:13 1/2

印数:2 501—4 000 字数:209 000

ISBN 7-03-009035-7/O·1321

定价:36.00 元

(本书若有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

# 《创新者的报告》

## 编辑委员会

主 任：陈宜瑜

副 主 任：顾文琪 李志刚

主 编：王喜敏

副 主 编：卢盛魁 黄兆良 陈教祥

编 委：(按姓氏笔画排列)

王喜敏 卢盛魁 李志刚 陈宜瑜

陈教祥 顾文琪 唐 炜 黄兆良



## 序

## Foreword

人类社会，从农业时代走向工业时代，又踏上了知识时代的征途。知识时代带来了全新思想观念，也带来了前所未有的机遇。展现在世人面前的 21 世纪是科技突飞猛进，人类的未来和国家繁荣比以往任何时候都更加依赖于创造和应用知识的能力和效率。知识创新、知识进步已成为社会和经济发展的强大推动力。正如江泽民同志所说：“科技的发展，知识的创新，越来越决定着一个国家、一个民族的发展进程。”“一个没有创新能力的民族难以屹立于世界先进民族之林。”建立国家创新体系是 21 世纪知识时代的需要，是关系到中华民族前途和命运的大事。

中国科学院在对世界经济、科技发展趋势和中国经济、科技发展战略进行研究和分析的基础上，于 1997 年底，向党中央、国务院提交了《迎接知识经济时代，建设国家创新体系》的研究报告，江泽民总书记于 1998 年 2 月 4 日在这份报告上作了重要批示：“我认为可以支持他们搞些试点，先走一步。真正搞出我们自己的创新体系。”1998 年 6 月国家科技领导小组同意我院正式启动知识创新工程试点。两年多来，在党中央、国务院和国家科技领导小组的领导下，以及有关部门的大力支持下，我院从世界科技发展趋势和国家经济与社会发展的战略需要出发，在院所两个层次凝炼和提升科技创新目标，进行了建院以来涉及面最广、意义最为深远的学科布局和组织结构调整，开展了深层次、大力度的机制改革，转换运行机制，凝聚优秀人才等方面作了大量工作，显著地提高了科技竞争力，有力地调动了科技人员的积极性，推动了科技工作快速进展，取得了一大批重大科技成果。

中国科学院的“知识创新工程”试点工作，取得了良好的开端，创新工程启动阶段即将结束，从 2001 年起，将进入创新工程试点全面推进阶段，拟用 5 年时间全面推进，再用 5 年时间全面优化完善。到 2010 年，中国科学院将大幅度提高知识创新能力，增加科技战略储备，真正成为国家科



学和高技术的知识创新中心，成为具有国际先进水平的科研基地，培养造就高级科技人才的基地和促进我国高技术产业发展的基地，为 21 世纪我国经济和科技的可持续发展奠定坚实基础，同时为全面建设我国国家创新体系积累经验。作为国家创新体系的重要组成和国家知识创新系统的核心部分之一的中国科学院将按党中央、国务院的要求，竭尽全力，锐意进取，改革创新，按期完成知识创新工程试点，争取更大成绩，为国家知识创新体系的建设，为科教兴国战略的实施，为中华民族的科技发展和经济腾飞，作出新的更大贡献。

对创新进程中取得的科技创新成果或重大进展，我们将以中国科学院科技创新成果选编形式陆续出版，旨在加强知识的传播，增强社会各界，尤其是科技界、教育界和政府机关的领导、科技人员对中国科学院创新工程的了解和监督，为建立和完善国家创新体系而共同努力。

洛桑祥

2000 年 10 月 19 日



# 前言

## Preface

创新是人类社会进步和经济发展的动力和源泉。知识创新是指通过科学研究包括基础研究和应用研究获得新的自然科学和技术科学知识的过程。知识创新的目的是追求新发现,探索新规律,创造新方法,积累新知识,知识创新是技术创新的基础,是新技术和新发明的源泉。知识创新为人类认识世界、改造世界提供新理论和新方法,为人类文明进步和社会发展提供不竭的动力。在 21 世纪初,面临着知识经济时代的到来,建立国家创新体系是经济和社会可持续发展的基础和引擎,是综合国力和国际竞争力的支柱和后盾。如果把国家创新体系比作知识经济的动力系统,那么可以把创新知识比作其动力系统的燃料。正如江泽民主席指出:“科技的发展,知识的创新,越来越决定着一个国家、一个民族的发展进程。”

中国科学院是我国国家创新体系的重要组成部分,是国家知识创新系统的核心部分之一。在党中央、国务院和国家科技领导小组的领导及有关部门的大力支持下,我院从世界科技发展趋势和国家经济与社会发展的战略需要出发,在院所两个层次凝炼和提升科技创新目标,开始进行了建院 50 年来涉及面最广、意义最为深远的学科布局和组织结构调整,开展了深层次的、大力度的体制和机制改革,显著提高了科技竞争能力,有力地调动了科技人员的积极性,推动了科技创新的快速进展。

中国科学院创新工程试点工作 1998 年启动以来,取得了良好的开端,得到了社会各界的广泛关心与理解。为了加强创新知识的传播,同时也为了答谢各界对中国科学院的支持以及增加对我院科技创新工作进展的了解,我们对 1998 年实施创新工程试点工作以来取得的科技创新成果或重大阶段性进展进行了整理,编辑成《创新者的报告》系列书,陆续出版。

《创新者的报告》系列书属于科技创新成果或重大阶段性进展的简单介绍,不属于论文,为了节省篇幅,我们在编辑过程中,把参考文献都省略



了。读者欲了解哪项成果的详情，可与中国科学院综合计划局成果专利处联系或直接与撰写者单位联系。

在本书编辑过程中，得到了中国科学院有关部门、各研究所的领导、管理人员、科技人员的大力支持，尤其是报告的撰写者在科研工作的百忙中抽出时间为本书撰稿，在此，我们一并表示衷心感谢。

由于编写时间仓促和我们水平有限，书中谬误之处一定不少，敬请读者不吝指正。

编 者

# 纳米科学与技术研究成果专集

7

王 强 文

专集主编：解思深 张立德

专集编委：(按姓氏笔画排列)

卢 柯 高 濂 漆宗能



# 目 录

## 序

## 前言

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 纳米科技及其发展前景 .....                        | 1   |
| 非氧化物纳米材料的溶剂热合成 .....                    | 12  |
| 高分子稳定金属纳米簇的合成及催化研究 .....                | 19  |
| 纳米结构在表面上的形成与演变机制 .....                  | 26  |
| 纳米晶体 Cu 的室温超塑延展性 .....                  | 33  |
| 碳纳米管研究取得突破性进展 .....                     | 38  |
| 超高密度信息存储和分子存储的研究 .....                  | 46  |
| 有序介孔材料的合成、组装及主客体效应研究 .....              | 50  |
| 低场室温磁电阻材料( $A_2FeMoO_6$ )的制备和物性研究 ..... | 56  |
| 纳米二氧化钛的光催化特性 .....                      | 62  |
| 纳米多层膜电磁功能的微观原理研究 .....                  | 70  |
| 有机分子组装体系的扫描隧道显微镜研究 .....                | 76  |
| 纳米多层膜中的巨磁电阻效应 .....                     | 80  |
| 单分子的扫描隧道显微术研究 .....                     | 86  |
| 纳米微粒氧化镍电变色薄膜及其电变色机理 .....               | 94  |
| 纳米管中碳原子线的合成 .....                       | 102 |
| 新型高分子纳米粒子 .....                         | 109 |
| 氮化镓低维材料的制备和物性 .....                     | 115 |
| 纳米有序孔洞模板和纳米有序阵列体系的制备取得重要进展 .....        | 122 |
| 纳米超分子与功能材料 .....                        | 126 |
| 单壁纳米碳管的制备及其储氢特性研究取得重大进展 .....           | 132 |
| 共价、非共价自组装纳米结构材料的研究 .....                | 137 |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 有机/无机纳米杂化功能材料 .....         | 144 |
| 晶内型陶瓷基纳米复合材料 .....          | 149 |
| 二元协同纳米功能界面材料的设计和研制 .....    | 158 |
| 纳米粉体的分散技术及其在胶态成型中的应用 .....  | 163 |
| 激光法高产率制备纳米硅基系列粉及其应用研究 ..... | 171 |
| 纳米碳酸钙制备技术与工艺研究 .....        | 176 |
| 基于插层复合的纳米塑料 .....           | 182 |
| 高性能 70 纳米 CMOS 器件 .....     | 191 |
| 后记 .....                    | 199 |



# Contents

Foreword

Preface

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Nanotech and Its Development Prospective .....                                                                   | 1   |
| Solvothermal Preparation of Nanocrystalline Non-Oxides .....                                                     | 12  |
| Study on the Synthesis and Catalysis of Polymer-stabilized Metal Nanoclusters .....                              | 19  |
| Novel Formation and Decay Mechanism of Nanostructures on Surface .....                                           | 26  |
| Superplastic Extensibility of Nanocrystalline Copper at Room Temperature .....                                   | 33  |
| A Breakthrough in Carbon Nanotube Research .....                                                                 | 38  |
| Ultrahigh Density Data Storage and Molecular Recording .....                                                     | 46  |
| Synthesis Assembly and Host-guest Effect of Ordered Mesoporous Materials .....                                   | 50  |
| Low-field and Room-temperature Magnetoresistance Materials: $A_2FeMoO_6$ Preparation<br>and Properties .....     | 56  |
| The Photocatalytic Properties of Nanocrystalline $TiO_2$ .....                                                   | 62  |
| Microscopic Fundamentals of Electromagnetic Functional Metal/ Dielectric<br>Nanocomposite Multilayer Films ..... | 70  |
| Surface Stabilized Molecular Assemblies Studied by Scanning Tunneling Microscopy .....                           | 76  |
| Giant Magneto Resistance in the Nanometer Multilayers .....                                                      | 80  |
| Scanning Tunneling Microscopy Studies on Single Molecules .....                                                  | 86  |
| Nanostructured Electrochromic Nickel Oxide Films and Its Electrochromic Mechanism .....                          | 94  |
| Syntheses of Carbon-atom Wire in the Core of Nanotubes .....                                                     | 102 |
| Novel Macromolecular Nano-Spheres .....                                                                          | 109 |
| Preparation and Physical Properties of Low Dimensional GaN Materials .....                                       | 115 |
| Progress in the Fabrication of the Ordered Nanopores Template and Ordered Arrays .....                           | 122 |



|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Nano-supramolecular and Function Materials.....                                                         | 126 |
| The Process of Synthesis and Hydrogen Storage Properties of Single-walled Carbon<br>Nanotubes .....     | 132 |
| The Investigation of Covalent, Non-covalent Self-assembled Nanostructural Materials.....                | 137 |
| Hybrid Organic-inorganic Functional Nanocomposites .....                                                | 144 |
| Intra-type Ceramics Based Nanocomposites .....                                                          | 149 |
| Design and Development of the Binary Cooperative Complementary Nanoscale Interfacial<br>Materials ..... | 158 |
| Dispersion Technology of Nano-Powders and Their Application in the Colloidal Forming<br>Process .....   | 163 |
| Nano Si-based Powders by Laser Synthesizing with High Yield and Applications in<br>Industry .....       | 171 |
| Study of Nanometer Calcium Carbonate Preparation Technology.....                                        | 176 |
| Nanoplastics Based on Intercalation Compounding .....                                                   | 182 |
| High-Performance 70nm CMOS Devices .....                                                                | 191 |
| Postscript.....                                                                                         | 199 |



# 纳米科技及其发展前景

## Nanotech and Its Development Prospective

撰稿/中国科学院副院长白春礼院士

(2000 年 11 月)

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、交叉性新兴学科领域,它的迅猛发展将在 21 世纪促使几乎所有工业领域产生一场革命性的变化。目前所有发达国家的政府和企业都在对纳米科技的研发进行大量的投入,试图抢占这一 21 世纪科技战略制高点。关注纳米科技的进展,尽快组织和部署我国纳米科技的发展规划,对于我国新世纪的发展影响深远。

### 一、纳米科技的意义与发展过程

#### 1. 纳米科技的定义

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。目前人类能够研究的物质世界的最大尺度是  $10^{25}\text{m}$ (约 10 亿光年),这是我们已观测到的宇宙大致范围。人类所研究的物质世界的最小尺度为  $10^{-19}\text{m}$ (0.1 阿米)。

纳米科技中的“纳米”为  $10^{-9}\text{m}$ ,用符号表示为  $\text{nm}$ ,是  $1\text{mm}$  的 100 万分之一。原子的直径为  $0.1\sim 0.3\text{nm}$ 。研究小于  $10^{-10}\text{m}$  以下的原子内部结构属于原子核物理、粒子物理的范畴。

纳米科技是指在纳米尺度( $1\text{nm}$  到  $100\text{nm}$  之间)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。



当物质小到  $1\sim 100\text{nm}(10^{-9}\sim 10^{-7}\text{m})$  时, 其量子效应、物质的局域性及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。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。

## 2. 纳米科技概念的提出与发展

最早提出纳米尺度上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·费恩曼。1959 年他在一次著名的讲演中提出: 如果人类能够在原子/分子的尺度上来加工材料、制备装置, 我们将有许多激动人心的新发现。他指出, 我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的意愿逐个地准确放置原子的问题。

1974 年, Taniguchi 最早使用纳米技术(nanotechnology)一词描述精细机械加工。70 年代后期, 麻省理工学院德雷克斯勒教授提倡纳米科技的研究, 但当时多数主流科学家对此持怀疑态度。

纳米科技的迅速发展是在 80 年代末、90 年代初。80 年代初发明了费恩曼所期望的纳米科技研究的重要仪器——扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等微观表征和操纵技术, 它们对纳米科技的发展起到了积极的促进作用。与此同时, 纳米尺度上的多学科交叉展现了巨大的生命力, 迅速形成一个有广泛学科内容和潜在应用前景的研究领域。1990 年 7 月, 第一届国际纳米科学技术会议在美国巴尔的摩与第五届国际扫描隧道显微学会议同时举办, 《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。一门崭新的科学技术——纳米科技从此得到科技界的广泛关注。

## 3. 纳米科技的重要意义——为什么会出现“纳米热”?

德国科学技术部早在 1996 年就对纳米技术市场做了预测, 估计到 2010 年能达到 14 400 亿美元。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 10 年 11 个关键领域之一。2000 年 2 月美国总统克林顿宣布联邦政府将以 4.95 亿美元优先实施新的“全美纳米科技计划(NNI)”。国家科技委员会为此还



专门成立了由各部门专家组成的“纳米科学与工程技术小组”(IWGN),提出了研究报告《国家纳米技术倡议》。报告形成后,总统科技助理写信给国会称:纳米技术将与信息技术或生物技术一样,对 21 世纪经济、国防和社会产生重大影响,可能引导下一场工业革命(leading to the next industrial revolution),应把它放在科学技术的最优先地位(top priority)。

纳米科技的陡然升温不仅仅是尺度的缩小问题,实质是由纳米科技在推动人类社会产生巨大变革方面所具有的重要意义所决定的。

### (1) 纳米科技将促使人类认知的革命

首先,纳米科技的科学意义体现在:纳米尺度下的物质世界及其特性,是人类较为陌生的领域,也是一片新的研究疆土。在宏观和微观的理论充分完善之后,在介观尺度上有许多新现象、新规律有待发现,这也是新技术发展的源头;纳米科技是多学科交叉融合性质的集中体现,我们已不能将纳米科技归为任何一门传统的学科领域。而现代科技的发展几乎都是在交叉和边缘领域取得创新性突破的,在这一尺度下,充满了原始创新的机会。因此,对于还比较陌生的纳米世界中的尚待揭示的科学问题,科学家有着极大的好奇心和探索欲望。

其次,由于纳米科技是对人类认知领域新疆域的开拓,人类将面临对新理论和新发现重新学习和理解的任务。而一旦对这一领域探索过程中,形成的理论和概念在我们的生产生活中得以广泛的应用,那么,人类将建立迥异于我们肉眼所能观察到的物质世界的新观念,它将极大地丰富我们的认知世界并给人类社会带来观念上的变革。

第三,从人类未来发展的角度看,可持续发展将是人类社会进步的唯一选择。纳米科技推动产品的微型化、高性能化和与环境友好化,这将极大节约资源和能源,减少人类对其过分依赖,并促进生态环境的改善。这将在新的层次上为可持续发展的理论变为现实提供物质和技术保证。

### (2) 纳米科技将引发一场新的工业革命

由于量子效应,微电子器件的极限线宽一般认为是  $0.07\mu\text{m}(70\text{nm})$ 。根据美国半导体工业协会预计,到 2010 年半导体器件的尺寸将达到  $0.1\mu\text{m}(100\text{nm})$ ,这正好是纳米结构器件的最大长度。小于这一尺寸,所有的芯片需要按照新的原理来设计。为了突破信息产业发展的瓶颈,我们必须研究纳米尺度中的理论问题和技术问题,建立适应纳米尺度的新的集成方法新的技术标准。而在这一尺度上制造出的计算机的运算和存储能力将比目