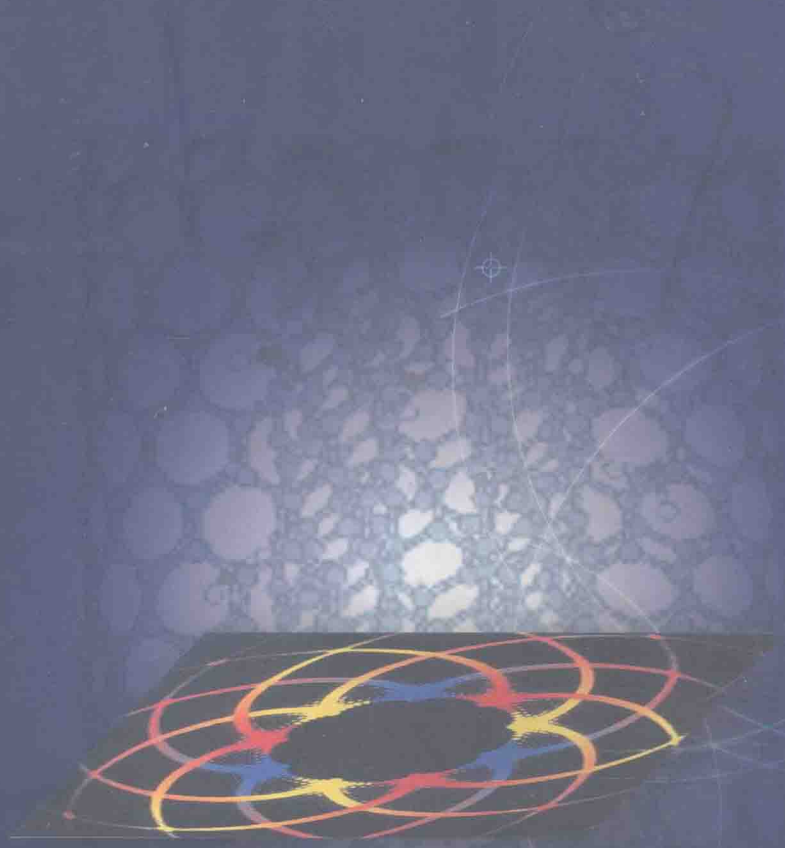


奈米材料研究  
與應用系列

Nano Technology

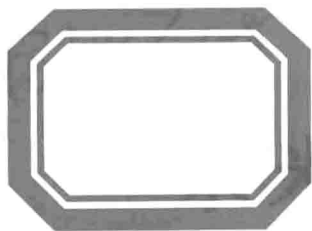


# 奈米材料技術

Nano Material Technology



朱屯 王福明 王習東 等 編著  
張勁燕 校訂



# 材料技術

*Nano Material Technology*

朱屯、王福明、王習東 等編著

張勁燕 校訂

五南圖書出版公司 印行

## 出版聲明

作品版權(2002.6)歸化學工業出版社所有，特此聲明，保留一切權利。繁體中文版的版權(2003.11)歸五南圖書股份有限公司所有，保留一切權利。未經出版人書面許可，不得翻印或以任何形式或方法使用本書中的任何內容或圖片版權所有。

國家圖書館出版品預行編目資料

奈米材料技術／朱屯、王福明、王習東等  
編著.-- 初版.-- 臺北市：五南,2003  
[民 92]  
面；公分  
含參考書目  
ISBN 957-11-3450-3 (平裝)

1.奈米技術

440.7

92019093

## 奈米材料技術 *Nano Material Technolong*

作 者 朱屯、王福明、王習東 等  
校 訂 張勁燕  
編 輯 田惠敏、蔣和平

出版者 五南圖書出版股份有限公司  
發行人 楊榮川

地 址：台北市大安區 106  
和平東路二段 339 號 4 樓

電 話：(02)27055066 (代表號)

傳 真：(02)27066100

劃 撥：0106895-3

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：[wunan@wunan.com.tw](mailto:wunan@wunan.com.tw)

顧 問 財團法人資訊工業策進會科技法律中心

版 刷 2003 年 11 月 初版一刷

定 價 580 元整

版權所有·請予尊重

## 出版者的話

奈米科技 (nano technology) 是 20 世紀 80 年代末、90 年代初才逐漸發展起來的新興學科領域。它的快速發展將在 21 世紀促使幾乎所有的工業領域產生變化。廣大科技工作者對於奈米科技的重要性已經有較高的認識，奈米科技研究，特別是在奈米材料 (nano material) 方面已經取得了重要的進展，並引起了國際上的關注。

在提倡知識創新的大環境下，為滿足廣大讀者對新知識、新技術的需要，我們出版了一套《奈米材料研究與應用系列》叢書。該系列叢書包括如下：

奈米塑料 (Nano Plastics)

奈米建材 (Nano Building Material)

奈米陶瓷 (Nano Ceramics)

奈米粉體合成技術與應用 (Nano Powder Synthesis Technology and Application)

奈米纖維 (Nano Fiber)

奈米金屬 (Nano Metal)

奈米複合材料 (Nano Composite Material)

奈米催化技術 (Nano Catalytic Technology)

奈米製造技術 (Nano Fabrication Technology)

奈米碳管 (Nano Carbon Tube)

聚合物—無機奈米複合材料 (Polymer-nano Inorganic Composite Material)

奈米材料化學 (Nano Material Chemistry)

奈米材料技術 (Nano Material Technology)

## 2 出版者的話

該叢書的特點是以技術性為主，兼具科普性、實用性和前瞻性。相信本叢書的出版對於廣大從事新材料開發和奈米材料研究的科技人員會有所幫助。

## 前 言

20 世紀 60 年代諾貝爾物理獎獲得者理查·費曼 (Richard P. Feynman) 在美國物理年會上作了極富預見性的報告：若從原子和分子水準上控制物質，將會出現新的作用力和新的效應。此後，日本 (Japan) 率先開展了奈米物理和奈米化學的研究。木本 (K. Kimoto) 利用穿隧電子顯微鏡 (TEM) 觀察結晶行為，從而提出了「超微粒子結構」的新概念，即顆粒尺寸少於 100nm 的結構，具有小尺寸、表面與界面和量子尺寸三大效應。零維，稱奈米粉；一維，稱奈米線；三維，稱奈米晶 (包括缺陷的尺寸亦少於 100nm)。

20 世紀 70 年代林原 (C. Hayash) 研究了奈米粉體的性質、生產方法以及在物理、化學、生物領域中的應用，從而誕生了「奈米技術」，即在  $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{m}$  尺度上安排原子或分子。

進入 20 世紀 80 年代，奈米科技發展迅速。1981 年先後出現了掃描隧道顯微鏡 (STEM) 和原子力顯微鏡 (AFM)，從而有可能從原子和分子水準上操縱物質，推動了奈米技術的迅速發展。美國斯坦福大學 (Stanford University) 科技工作者可以搬運原子團，實現了原子自組裝，探索合成新物質。奈米材料進入研究高峰，大量文獻報導了奈米粉體的製造、表徵，其特色在於探索奈米粉體合成的新方法。

中國在 20 世紀 80 年代中期開始奈米科技的研究，取得了一批具有國際水準的研究成果，諸如：奈米微晶的製造、奈米碳管和奈米線的研究，奈米陶瓷材料改性以及原子操縱技術的開發，從而建立了原子級的檢測新方法等等。僅國家自然科學基金會就資助了 500 餘項奈米課題，至今已取

## 2 前 言

得了可喜的成績。90年代中國真空物理實驗室實現了原子的自組裝等標誌性的成果，引起國際上的關注。

1990年在美國（USA）舉辦了第一屆國際奈米科學技術會議，這表示奈米科學技術趨於成熟。1991年發現了碳奈米管（nano carbon tube, CNT），質量比鋼小6倍，而強度卻比鋼大10倍。1997年美國成功地移動了單個原子，該技術可望用於量子計算機（quantum computer）。1998年德國（German）已建立了6個奈米研究中心：奈米結構、奈米應用開發、奈米技術、奈米化學、奈米加工和奈米分析中心等。

隨著奈米科學技術的發展，奈米市場也日益擴大。奈米粉體首先用於先進陶瓷（奈米複合材料）、化學催化劑（13nm的Ni比30nm的Ni超細粉使氫的催化反應速率提高了15倍）、電子工業中磁記錄材料（IBM研製的奈米巨磁阻（GMR）磁頭使磁碟的記錄速度提高了17倍）、生物醫學（分離細胞、製造特殊藥物、定向醫療）等等，帶動了奈米科技的發展。1999年 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等氧化物的奈米粉市場已達500億美元。

奈米科技將推動各領域的技術創新。2000年初，美國宣布實施國家奈米技術計畫（NNI），包括7大類：材料與製造，奈米電子學和計算機技術，醫療與衛生，航空與太空，環保與能源，生物技術和農業，國家安全。其中的重點是材料、電子學和醫學3個方面。本書在上述幾個相關方面介紹了國內外發展動態和應用實例，是化學工業出版社出版的奈米材料與應用技術叢書之一。

中國金屬學會冶金物化學會理事長

北京科技大學教授

李文超

# 第 1 章 奈米材料最新科研進展 1

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| 1.1   | 引 言          | 2  |
| 1.1.1 | WTEC 的調查     | 2  |
| 1.1.2 | 美國科學基金會的資助項目 | 5  |
| 1.1.3 | 發展概況         | 8  |
| 1.2   | 奈米碳管         | 9  |
| 1.2.1 | 製造方法         | 10 |
| 1.2.2 | 碳管的純化        | 12 |
| 1.2.3 | 碳管結構         | 13 |
| 1.2.4 | 物理性質         | 15 |
| 1.2.5 | 化學性質         | 17 |
| 1.2.6 | 碳管元件         | 21 |
| 1.3   | 有機—無機奈米複合材料  | 23 |
| 1.3.1 | 分類           | 24 |
| 1.3.2 | 複合膜的製造       | 24 |
| 1.3.3 | 溶膠—凝膠法       | 25 |
| 1.3.4 | 混成物製造過程      | 27 |
| 1.3.5 | 插層複合材料       | 28 |
| 1.3.6 | 複合材料中的無機成分   | 29 |

## 2 目錄

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1.3.7 導電高分子中的無機混成材料 | 31 |
| 1.4 奈米生物材料工程        | 33 |
| 1.5 直接用原子、分子進行組裝    | 38 |
| 1.5.1 原子組裝          | 38 |
| 1.5.2 分子組裝          | 40 |
| 1.6 奈米元件            | 42 |
| 1.6.1 微電子技術發展前景     | 42 |
| 1.6.2 單電子元件         | 43 |
| 1.6.3 探測單光子的元件      | 47 |
| 1.6.4 奈米磁性元件        | 47 |
| 1.6.5 量子點雷射         | 51 |
| 1.7 奈米機器            | 52 |
| 1.7.1 理論研究          | 52 |
| 1.7.2 實驗報導          | 55 |
| 1.8 奈米分子            | 58 |
| 1.8.1 繁枝體分子         | 58 |
| 1.8.2 奈米金屬分子籠       | 60 |
| 1.8.3 奈米孔洞化合物       | 61 |
| 參考文獻                | 62 |

## 第 2 章 奈米材料在電子資訊領域

67

### 2.1 奈米電子學

68

|       |           |     |
|-------|-----------|-----|
| 2.1.1 | 奈米結構的加工技術 | 72  |
| 2.1.2 | 單電子電晶體    | 84  |
| 2.1.3 | 單電子記憶體    | 96  |
| 2.1.4 | 奈米晶片      | 101 |
| 2.1.5 | 奈米電腦      | 105 |
| 2.2   | 奈米光材料     | 116 |
| 2.2.1 | 奈米材料的光學性能 | 116 |
| 2.2.2 | 光子晶體和光子存儲 | 120 |
| 2.2.3 | 量子點雷射     | 134 |
| 2.2.4 | 光電腦       | 141 |
| 2.3   | 奈米磁性材料    | 142 |
| 2.3.1 | 奈米材料的磁特性  | 142 |
| 2.3.2 | 奈米磁性材料的應用 | 144 |
|       | 參考文獻      | 154 |

## 第 3 章 奈米材料在航空太空領域 155

---

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 3.1   | 奈米複合結構材料的技術進展 | 156 |
| 3.1.1 | 奈米金屬材料        | 158 |
| 3.1.2 | 奈米增韌補強陶瓷      | 162 |
| 3.1.3 | 聚合物基奈米複合材料    | 165 |
| 3.1.4 | 奈米增強纖維        | 166 |

## 4 目錄

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 3.2   | 奈米複合塗層的應用     | 167 |
| 3.2.1 | 奈米塗層的製造、分類及特點 | 167 |
| 3.2.2 | 防護塗層          | 169 |
| 3.2.3 | 奈米微波塗層        | 175 |
| 3.2.4 | 奈米光學塗層        | 177 |
| 3.2.5 | 其他奈米功能塗層      | 184 |
| 3.3   | 應用前景及展望       | 185 |
| 3.3.1 | 奈米感測材料        | 185 |
| 3.3.2 | 新型陶瓷與新型玻璃     | 187 |
| 3.3.3 | 微波透波與吸波材料     | 188 |
| 3.4   | 在其他領域的技術進展    | 189 |
| 3.4.1 | 奈米機器人         | 189 |
| 3.4.2 | 太空升降機         | 190 |
| 3.4.3 | 武器裝備          | 190 |
|       | 參考文獻          | 194 |

## 第 4 章 奈米材料在環保和能源領域 195

---

|       |           |     |
|-------|-----------|-----|
| 4.1   | 在環保領域中的應用 | 196 |
| 4.1.1 | 奈米粒子光催化原理 | 197 |
| 4.1.2 | 在空氣淨化中的應用 | 203 |
| 4.1.3 | 污水處理      | 206 |
| 4.1.4 | 自清潔表面     | 216 |

|              |                    |            |
|--------------|--------------------|------------|
| 4.2          | 在能源領域中的技術進展與應用     | 218        |
| 4.2.1        | 奈米能源材料             | 218        |
| 4.2.2        | 綠色化學能源             | 224        |
|              | 參考文獻               | 238        |
| <b>第 5 章</b> | <b>奈米材料在生物醫藥領域</b> | <b>241</b> |
| 5.1          | 常用的生物材料及其特點        | 243        |
| 5.1.1        | 生物材料的類型及特點         | 243        |
| 5.1.2        | 奈米生物材料             | 244        |
| 5.2          | 奈米給藥系統             | 245        |
| 5.2.1        | 奈米粒用於抗腫瘤藥物的載體      | 247        |
| 5.2.2        | 奈米粒用於抗感染藥物的載體      | 249        |
| 5.2.3        | 奈米粒用於多肽蛋白類藥物的載體    | 251        |
| 5.2.4        | 奈米粒用於眼科藥物的載體       | 254        |
| 5.3          | 特殊的奈米給藥系統          | 256        |
| 5.3.1        | 奈米脂質體              | 256        |
| 5.3.2        | 固體類脂奈米粒            | 258        |
| 5.3.3        | 磁性奈米載體             | 260        |
| 5.3.4        | 長循環奈米載體            | 263        |
| 5.3.5        | 溫度敏感性奈米載體          | 264        |
| 5.3.6        | pH 敏感性奈米載體         | 266        |
| 5.3.7        | 免疫奈米載體             | 267        |

## 6 目錄

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 5.3.8 | 光敏感性奈米載體           | 269 |
| 5.4   | 基因輸送的奈米載體          | 270 |
| 5.5   | 在生物學中的應用           | 272 |
| 5.5.1 | 生物大分子的物質裝配及應用      | 272 |
| 5.5.2 | 反義核酸技術的應用          | 274 |
| 5.6   | 在醫學領域的應用           | 276 |
| 5.6.1 | 醫用奈米材料的應用          | 276 |
| 5.6.2 | 奈米機器人              | 278 |
| 5.6.3 | 疾病診斷               | 279 |
| 5.7   | 應用實例               | 280 |
| 5.7.1 | 環孢素 A 奈米乳劑的應用      | 280 |
| 5.7.2 | 磁性奈米材料在臨床磁共振成像中的應用 | 290 |
| 5.7.3 | 免疫磁性微球在生物醫學方面的應用   | 298 |
|       | 參考文獻               | 317 |

## 第 6 章 網際網路上的奈米應用資源 **321**

---

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 6.1   | 奈米政府行動          | 323 |
| 6.1.1 | 美國國家奈米行動計畫      | 323 |
| 6.1.2 | 日本奈米計畫          | 326 |
| 6.1.3 | 德國奈米計畫          | 327 |
| 6.1.4 | 英國奈米行動計畫        | 328 |
| 6.1.5 | 世界奈米結構科學和技術調查報告 | 328 |

|       |              |            |
|-------|--------------|------------|
| 6.2   | 奈米超細粉末的應用產品  | 329        |
| 6.2.1 | 生產與綜合利用      | 330        |
| 6.2.2 | 各種添加劑與催化劑    | 339        |
| 6.2.3 | 拋光產品         | 343        |
| 6.2.4 | 環保與衛生        | 344        |
| 6.3   | 碳奈米管         | 345        |
| 6.4   | 奈米記憶體設備      | 350        |
| 6.5   | 奈米生物與醫藥      | 355        |
| 6.6   | 搜索奈米與奈米專題數據庫 | 360        |
| 6.6.1 | 通用搜索引擎       | 361        |
| 6.6.2 | 奈米專題網站       | 366        |
| 6.7   | 奈米未來         | 376        |
| 6.8   | 在網際網路上尋找其他幫助 | 380        |
| 6.8.1 | 查尋專利         | 380        |
| 6.8.2 | 郵件列表和討論區     | 382        |
|       | 參考文獻         | 384        |
|       | 索引 ( Index ) | <b>387</b> |

---

# 第一章

## 奈米材料最新科研進展

- 引 言
- 奈米碳管
- 有機—無機奈米複合材料
- 奈米生物材料工程
- 直接用原子、分子進行組裝
- 奈米元件
- 奈米機器
- 奈米分子

# 1.1 引言

當某物質尺度減少至引起其物理現象突變的臨界尺寸（critical dimension, critical size）之下時，該物質產生出許多新性質。奈米材料科學和技術正是研究這個尺度下，各種科學現象和產生的技術問題。科學家預言奈米技術將在 21 世紀發揮巨大的作用。1990 年日本（Japan）政府通產省宣布了資助兩項十年計畫，一是原子技術計畫，另一是量子裝置計畫，共近 2 億美元，從而在世界上開創了大規模的奈米技術研究的先鋒。與此同時，日本科學促進會也資助了許多項目。日本的公司和研究所主要集中研究奈米材料的加工和製造，包括先進的醫療診斷儀器和微電子（microelectronics）應用等方面。

### 1.1.1 WTEC 的調查

奈米科學和技術是廣闊的多學科領域，由於 1990 年以來該領域研究工作的爆炸性發展，美國的世界技術評估中心（World Technology Evaluation Center, WTEC）組織了一個以任色列理工學院（Rensselaer Polytechnic Institute）的席格（Siegel）教授和加州大學（University of California）聖塔·巴巴拉（Santa Barbara）分校的胡（Evelyn L. Hu）教授為首的 8 人小組，從 1996~1998 年進行了一次對奈米顆粒、奈米結構材料和奈米裝置（更為廣泛地說，是奈米科技）世界範圍研究情況的調查研究。這項研究由美國國家基金會帶頭提供資助，支持和參與的多是美國國防科研單位，如美國空軍的科研辦公室（Air Force of

Scientific Research)、陸軍、海軍、飛彈部隊的相關單位，美國國家航太總署(NASA, National Aeronautical and Space Administration)、美國國防高級研究計畫局(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)和美國國家衛生研究院(National Institute of Health, NIH)，還有美國商業部(Department of Commerce, DOC)所屬的國家標準和技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)以及美國國家能源部(Department of Energy, DOE)等 23 個單位。

提供資助的方面要求 WTEC 對其他國家在以下方面的研究和技術水準提出報告：奈米顆粒；奈米管；奈米層；奈米結構的合成、加工以及相關技術。特別注重用奈米顆粒加工和製造新材料、新裝置以及其應用的情況。另外還要就教育、基礎設施等情況進行調查，評價大學、工業研究所、技術發展部門和他們間的互動關係。世界技術評價中心的調查組還尋求建立以廣泛互聯網為基礎的國際情報資料中心，建立國外著名單位和美國單位的聯繫。

因此，調查組製定的調查目的有以下幾方面<sup>[1]</sup>：

- ①評估直接以應用為目的的研究開發和以科學好奇心驅動的研究的各自的作用。
- ②日本及其他國家奈米顆粒、奈米結構技術經濟潛力以及在國際市場上的作用。
- ③評價對於工業製造的潛在作用。
- ④比較美國和外國的主要不同。
- ⑤認識加速科技突破方面的主要條件。
- ⑥評估科技網路的作用。
- ⑦報告工業和政府計畫資助的強度。