

NANO TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENT PROTECTION

環境 奈米技術

施周 張文輝 編著

馬振基 校訂



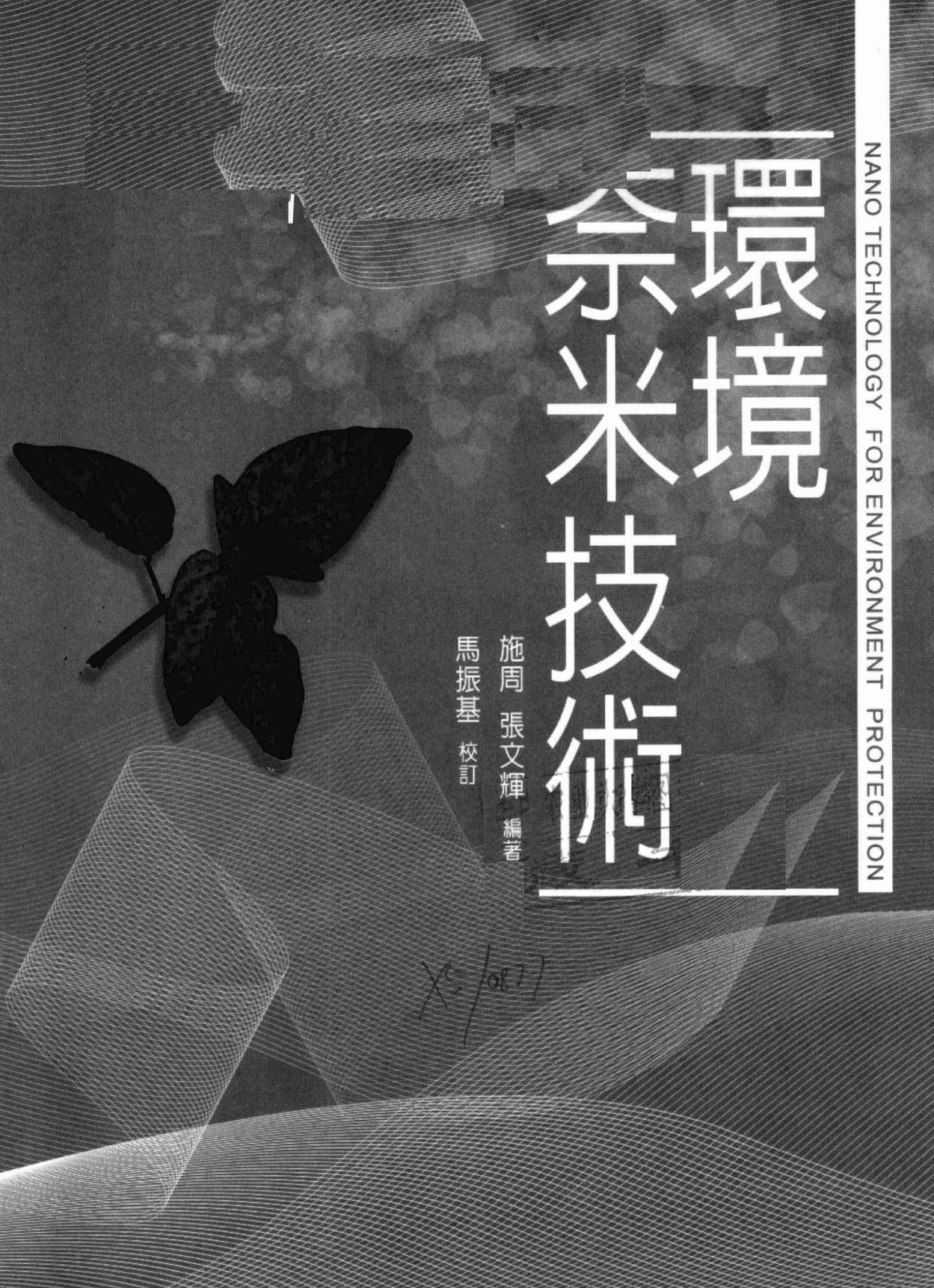
NANO TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENT PROTECTION

環境 奈米技術

施周 張文輝 編著

馬振基 校訂

Xs/0877



版權聲明

作品版權 2003 年 5 月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 2006 年 6 月歸五南圖書出版股份有限公司所有，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。



五南

凝煉知識・品味閱讀

國家圖書館出版品預行編目資料

環境奈米技術／施周、張文輝編著．——初版．——臺北市：五南，2006[民 95]

面：公分

ISBN 957-11-4356-1（平裝）

1. 奈米技術

440.7

95009298

5E4I

環境奈米技術

NANO TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENT PROTECTION

ISBN 957-11-4356-1

編著 施周 張文輝

校訂 馬振基

文字編輯 施榮華

責任編輯 陳玉卿

封面設計 莫美龍

發行人 楊榮川

總編輯 王秀珍

出版者 五南圖書出版股份有限公司

地址 台北市大安區(106)和平東路二段 339 號 4 樓

電話：(02)2705-5066 傳真：(02)2706-6100

台中市駐區辦公室 台中市區中山路 6 號

電話：(04)2223-0891 傳真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室 高雄市新興區中山一路 290 號

電話：(07)2358-702 傳真：(07)2350-236

網址 <http://www.wunan.com.tw>

電子郵件 wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號 01068953 戶名：五南圖書出版股份有限公司

法律顧問 財團法人資訊工業策進會科技法律中心

出版日期 2006 年 6 月初版一刷

定價 新臺幣 380 元

※版權所有，欲利用本書全部或部分內容，必須徵求本公司同意※

序

隨著中國社會經濟的高速發展，城鄉面貌發生了深刻的變化。人們對改善環境污染狀況、提高生活質量、建設生態城市的要求與呼聲與日俱增。中國的環境污染經過長期治理，雖然部分地區已經有所改善，但總體上還是比較嚴重的。在有些地區要尋找一個合格的飲用水源也不容易。工業「三廢」的治理依然存在很多技術、工程及經濟可行性方面的難題。針對這種狀況，近幾年來，中國的國家和地方政府擴大了環境項目的投資力度，同時允許社會力量參與投資和建設，用市場經濟的方式運作，形成了多元投資的格局。投資的多元化，排污收費的市場化，大大推動了環境項目的建設。缺少投資、缺少運行費用的狀況得到了很大的改善。

環境問題很複雜，涉及眾多學科，需要很多技術。它的科學研究和開發已遠遠超過了傳統的學科範疇和科研單位範圍。多學科交叉，多單位合作已經成為環境工程學科發展的重要方向。社會對環境的需求為環保事業的發展提供了動力，使環境工程成為目前發展最快的學科之一，近幾年來取得了不少新的成果。化學工業出版社為了大力宣傳環保知識，推動環保的科技進步，及時組織了一套環境工程新技術叢書。這套書能在一定程度上反映中國環境技術的進展狀況，供有關人員參考。應該說化工出版社是一個很有活力的出版社，及時出版了不少有參考價值的新書，深受讀者的歡迎，是一座溝通作者與讀者間很好的橋樑。在科學技術日新月異，人類進入數字化、資訊化的時代，我們希望這座橋樑更為寬廣通暢，共同為推動中國環保技術的發展做出貢獻。

前 言

奈米科學技術 (nano science and technology) 是在奈米尺度範疇 (1~100nm) 研究物質的物理、化學特性及其應用的一門新興科學與技術。由於在奈米尺度上，材料的光、電、熱、磁等性質均發生了新的變化，因此奈米材料具有其同質常規材料所不具備的許多新特性，如很好的表面吸附性與選擇性、優良的光催化活性等。不難想像，奈米材料與技術在電腦、光學、醫藥、化工、環保等眾多領域具有廣闊的應用前景。

目前，奈米技術的研究方興未艾。環境奈米技術是奈米技術的應用研究領域之一。奈米材料和技術在環境領域的應用，一方面，可以透過提高能源和原材料的利用效率來降低廢物排放總量，實現清潔生產，保護環境；另一方面，利用奈米材料和技術的環境監測技術，可以將水中污染物和細菌檢測精度提高到奈米級水準，並使得高效快速在線監測更加容易，而利用奈米材料和技術的環境治理工程可以達到強化處理效果、降低處理能耗和成本的目的。

本書介紹了與環境應用相關的奈米材料的基本概念、基本性質及基本理論，並就現有資料歸納總結了奈米材料及技術在空氣污染的防治與清潔能源的開發、水質淨化與水污染治理、噪音控制、消毒、資源可持續化利用等方面的研究與應用成果。全書共分為 9 章，其中第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章由施周負責編寫，第 4 章、第 5 章、第 9 章由張文輝負責編寫；全書最後由施周統稿。本書在編寫過程中，張彬、許光眉、王政華、李黎武、羅棟林分別參與第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 6 章、第 5 章、第 7 章、第 8 章、第 3 章、第 9 章的資料蒐集、插圖及部分文字編寫工作。

由於奈米技術與奈米材料方面的書籍不多，本書編寫時，有關奈米材

2 前 言

料的基本性質及理論部分著重參考了張立德、牟季美先生的《奈米材料和奈米結構》一書，並引用了其中一些重要結論；有關奈米技術在環境領域中的應用參閱了所蒐集到的國內外的相關書籍、論文、報刊及網上文章。由於篇幅所限，這裡不一一列舉，在此謹向本書參考文獻的作者致以衷心的感謝。本書的編著過程中，還得到國家自然科學基金項目（項目批准號50170829）的資助以及湖南大學土木工程學院水工程與科學系的大力支持與幫助，在此一併表示衷心感謝。

本書編寫時間倉促，再加之編者水準有限，不妥乃至錯誤之處難免，懇請讀者指正。若此書偶有可取之處，主要歸功於書中所引文獻的諸位專家學者，書中點金成石之咎，責在編著者。

編著者

第 1 章 概 論 1

1.1 奈米科技的基本概念及研究領域	3
1.2 奈米技術的發展歷史和現狀	4
1.3 奈米材料在高科技領域中的應用簡介	7
1.4 奈米科技在環保領域中應用的重要意義	10
參考文獻	12

第 2 章 奈米結構單元 13

2.1 團簇	14
2.2 奈米微粒	16
2.2.1 表面物理修飾	18
2.2.2 表面化學修飾	20
2.3 人造原子——量子點	23
2.4 準一維奈米結構材料	24
2.4.1 奈米碳管	24
2.4.2 奈米棒、奈米絲、奈米線和同軸奈米電纜	28
參考文獻	31

第 3 章 奈米微粒的基本理論及其物理化學特性

33

3.1	奈米粒子的基本物理效應	34
3.1.1	量子尺寸效應	34
3.1.2	小尺寸效應	35
3.1.3	表面效應	36
3.1.4	宏觀量子穿隧效應	37
3.1.5	介電限域效應	38
3.2	奈米微粒的物理特性	39
3.2.1	熱力學性能	39
3.2.2	磁學性能	40
3.2.3	光學性能	42
3.2.4	奈米懸浮微粒（溶膠）的運動性質	48
3.2.5	流變性質	51
3.3	奈米微粒的化學特性	57
3.3.1	吸附	57
3.3.2	奈米微粒的分散與團聚	61
3.3.3	表面活性及敏感性	67
3.3.4	光催化性能	67
	參考文獻	71

第 4 章 奈米固體及特性 73

4.1 奈米固體的基本構成及其分類	74
4.2 奈米固體材料的微結構	75
4.3 奈米固體材料的性能	76
4.3.1 力學性能	76
4.3.2 熱學性能	79
4.3.3 奈米結構材料中的擴散問題	82
4.3.4 光學性能	83
4.3.5 磁性	85
4.3.6 電學性能	85
4.4 奈米複合材料	87
參考文獻	91

第 5 章 奈米結構體系 93

5.1 奈米結構體系的分類	94
5.2 幾種奈米結構體系的特點	95
5.2.1 自組裝奈米結構體系	95
5.2.2 介孔固體和顆粒／介孔複合體	97
5.2.3 奈米陣列	103
參考文獻	106

第 6 章 奈米技術在處理空氣污染及開發 清潔能源方面的應用 109

6.1	利用奈米材料的催化活性處理空氣污染	110
6.1.1	奈米材料的催化活性	110
6.1.2	奈米催化劑在汽車尾氣處理中的應用	114
6.1.3	奈米材料在大氣淨化中的應用	126
6.2	奈米材料在開發清潔能源領域中的應用	133
6.2.1	概述	133
6.2.2	奈米碳管在新能源開發中的應用	134
6.2.3	奈米 TiO_2 在光電轉化方面的應用	139
6.2.4	奈米材料在化學電源中的作用	146
6.3	氣體感測器	152
	參考文獻	154

第 7 章 奈米技術在水處理中的應用 161

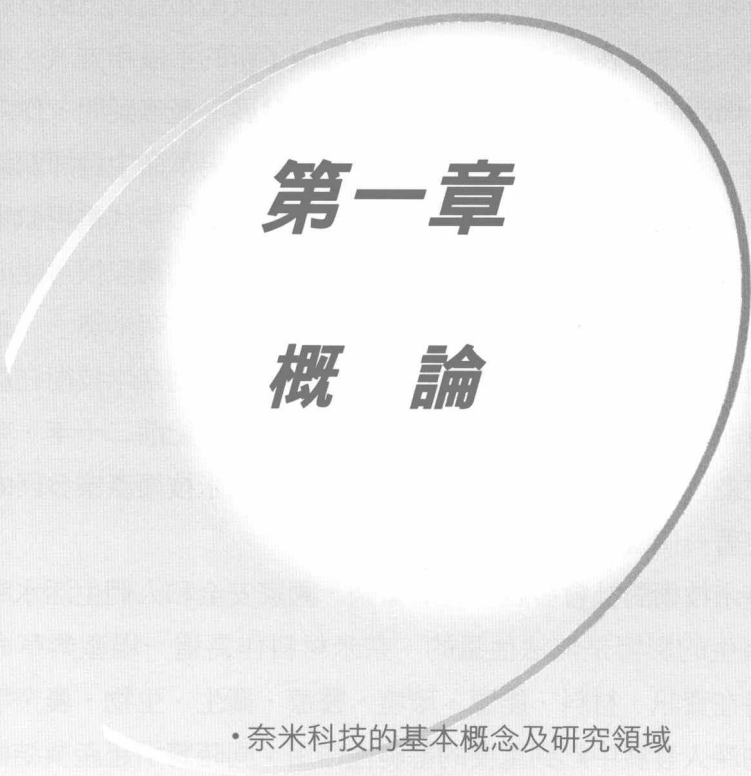
7.1	概述	162
7.2	半導體奈米顆粒的光催化技術	164
7.2.1	半導體奈米粒子光催化的機制	164
7.2.2	半導體奈米粒子的光催化活性	166
7.2.3	提高半導體奈米粒子光催化活性的方法	168
7.2.4	奈米級半導體微粒膜（晶）的製備	171

7.2.5 半導體奈米粒子光催化在水處理中的應用	173
7.3 半導體奈米粒子光電催化氧化技術	188
7.3.1 半導體奈米粒子光電催化原理	188
7.3.2 半導體奈米粒子光電催化應用	189
7.4 奈米過濾水處理技術	191
7.4.1 奈米過濾的機制與特點	191
7.4.2 奈米過濾膜的性能特點	193
7.4.3 奈米過濾膜的製備方法和情況	197
7.4.4 奈米過濾膜在水處理中的應用	199
7.5 奈米材料的吸附與強化絮凝技術	210
7.5.1 奈米粒子吸附與強化絮凝原理	210
7.5.2 奈米材料在污水處理中的應用	211
7.6 奈米結構材料的磁性特徵在鍋爐給水中的應用	214
7.7 運用奈米材料的其他性能進行城市污水處理	215
參考文獻	216

第 8 章 奈米技術在噪音控制中的應用 219

8.1 概述	220
8.2 奈米材料在控制摩擦噪音中的作用	221
8.2.1 支承負荷的「滾珠軸承」作用	222
8.2.2 奈米薄膜潤滑作用	224
8.2.3 「第三體」(the third body) 抗磨機制	226
8.2.4 奈米級金屬粉對潤滑油抗磨性能的改善	226

參考文獻	228
第 9 章 奈米技術在殺菌消毒、空氣淨化 及資源利用持續化中的應用	229
9.1 奈米粒子對飲用水的殺菌消毒作用	230
9.2 奈米半導體材料在空氣淨化與消毒中的應用	232
9.2.1 TiO_2 的空氣淨化與殺菌消毒機制	232
9.2.2 在空氣淨化與殺菌消毒中的應用	233
9.3 奈米技術在資源利用持續化中的應用	239
參考文獻	243
索 引	245



第一章

概 論

- 奈米科技的基本概念及研究領域
- 奈米技術的發展歷史和現狀
- 奈米材料在高科技領域中的應用簡介
- 奈米科技在環保領域中應用的重要意義

2 環境奈米技術

在進入充滿生機與挑戰的二十一世紀的今天，人類正面臨著人口、資源、能源和環境問題的嚴峻挑戰，協調環境保護與可持續發展已刻不容緩；與此同時，以奈米技術、資訊技術和生物技術為龍頭的新技術的迅速發展為這些問題的解決提供了新的手段和方法，並正在引發一場新的產業革命，推動知識經濟的發展。毫無疑問，作為二十一世紀三大主導技術之一的奈米技術，將在這場革命中發揮關鍵的作用。諾貝爾獎得主羅雷爾曾說過：「二十世紀七〇年代重視微米技術的國家如今都成為發達國家，現在重視奈米技術的國家很可能成為下一世紀的先進國家。」近年來美、日、歐掀起的「奈米熱」，正是因為意識到奈米技術在新經濟中的主宰地位，意識到奈米技術在新產業中的革命作用的結果。在富有挑戰性的二十一世紀前二十年，奈米技術將成為世界先進國家爭奪的戰略制高點，奈米技術產業發展的水準將決定著一個國家在世界經濟中的地位。

奈米技術對社會發展、經濟繁榮、國家安全和人們生活水準的提高所產生的影響是無法估量的。奈米材料作為這一場產業革命的主角，將在資訊、材料、能源、環境、醫療、衛生、生物、農業等多項學科的深入發展中起到重要的基礎性作用；同時將引起產業結構的重大變化，成為二十一世紀新的經濟增長點，並為新經濟創造財富。本章所要涉及的環境奈米技術是奈米技術應用的重要分支。奈米技術在環境保護中的廣泛應用，將會改變我們傳統的環境保護觀念，利用奈米技術解決環境問題必將成為未來環境保護發展的趨勢。毫無疑問，隨著對奈米材料的深入研究及應用，奈米科技正揭開其神秘的面紗，向我們展示其無比奧妙的「廬山真面目」。

1.1 奈米科技的基本概念及研究領域

弄清楚「什麼是奈米？什麼是奈米科學技術？奈米科技研究對象是什麼？」是我們研究環境奈米技術的首要前提。奈米（nanometer）是一長度單位，用nm表示， $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ 。而奈米科學技術（Nano-ST）是二十世紀八〇年代末剛剛誕生並正在崛起的新科技，它的基本涵義是在奈米尺寸（ $10^{-9} \sim 10^{-7}\text{m}$ ）範圍內認識和改造自然，通過直接操作和安排原子、分子創制新的物質。它是現代物理（介觀物理、量子力學和混沌物理等）和先進工程技術（計算機、微電子和掃描穿隧顯微鏡 Scanning Tunnel Microscopy, STM 等技術）結合的產物。

奈米科技的研究對象是由尺寸在 $1 \sim 100\text{nm}$ 之間的物質組成的體系的運動規律和相互作用以及可能在實際應用中的技術問題。奈米科學所研究的領域是人類過去從未涉及的非宏觀、非微觀的中間領域，即所謂的介觀領域是多種學科的交叉匯合點，它開闢了人類認識世界的新層次，也使人們改造自然的能力直接延伸到分子、原子水準，這標誌著人類的科學技術進入了一個新時代——奈米科技時代。根據奈米科技與傳統學科領域的結合，可將奈米科技分為：

- ①奈米化學；
- ②奈米材料學；
- ③奈米體系物理學；
- ④奈米電子學；
- ⑤奈米生物學；
- ⑥奈米加工學；
- ⑦奈米力學。

這七個部分是相對獨立又相互交叉、滲透的。本書所研究的環境奈米技術是奈米科技應用的重要分支，其研究涉及到奈米科技所有的

4 環境奈米技術

七部分內容，是對奈米科學的物理、化學、材料、生物、電子等多學科的綜合性應用。

1.2 奈米技術的發展歷史和現狀

奈米科技是二十世紀八〇年代末至九〇年代初正式誕生的一門新興科技，其形成歷史可大致概括如下。

． 1959 年，著名物理學家、諾貝爾獎獲得者理查德·費曼預言，人類可以用小的機器製作更小的機器，最後將變成根據人類意願逐個地排列原子，製造產品，這是關於奈米技術最早的夢想。

二十世紀六〇年代，東京大學的久保良吾（Kubo）就提出了有名的「Kubo 效應」，認為金屬超微粒子中的電子數較少，而不遵守 Fermi 統計，並證實當結構單元小於與其特性有關的臨界長度時，其特性就會發生相應的變化。二十世紀七〇年代，科學家開始從不同角度提出有關奈米科技的構想，1974 年，科學家唐尼古奇最早使用奈米技術一詞描述精密機械加工。

到二十世紀七〇年代末八〇年代初，隨著乾淨的超微粒子的製取及研究，「Kubo 效應」理論日趨完善，為日後奈米技術理論研究打下了基礎。1982 年，科學家發明研究奈米的重要工具——掃描穿隧顯微鏡（STM），為我們揭示一個可見的原子、分子世界，對奈米科技發展產生了促進作用。

奈米技術在二十世紀八〇年代末至九〇年代初得到了長足發展，並逐步成為一個奈米技術體系。1990 年 7 月，第一屆國際奈米科學技術會議在美國巴爾的摩召開，代表著奈米科學技術的正式誕生；正式提出了奈米材料學、奈米生物學、奈米電子學和奈米機械學的概念，

並決定出版《奈米技術》、《奈米結構材料》和《奈米生物學》三種國際性專業期刊。

歸納起來，奈米材料的研究發展階段大致分為三個階段。

第一階段（1977～1990 年），以在美國巴爾的摩召開的第一屆國際奈米科學技術會議為代表，正式宣布奈米材料科學為材料科學的一個新分支。

第二階段（1990～1994 年），以第二屆國際奈米材料學術會議為代表，會議認為對奈米材料微結構的研究應著眼於對不同類型材料的具體描述。

第三階段（1994 年至今），奈米材料的研究特點在於按人們的意願設計、組裝和創造新的體系，即以奈米顆粒、奈米絲和奈米管為基本單元在一維、二維、三維空間組裝奈米結構體系。

從誕生之日起，奈米科技就已經取得了很多嶄新的研究成果，其基礎研究和應用研究的銜接十分緊密，實驗成果的轉化速度迅速。1989 年史丹佛（Stanford Univ. CA.）大學搬動原子團寫下了「史丹佛大學」的英文名稱；1991 年日本飯島澄男博士（S. Iijima）首次發現奈米碳管，立刻引起奈米碳管的研究熱；1992 年日本著手研究能進入人體血管進行手術的微型機器人，從而引發一場醫學革命；1993 年中國科學院操縱原子寫出「中國」二字，代表著中國開始在國際奈米領域占有一席之地；1994 年美國著手研製「麻雀」衛星、「蚊子」導彈、「蒼蠅」飛機、「螞蟻」士兵等微型武器；到 1995 年至 1996 年中國實現了奈米碳管的大面積定向生長；1997 年法國和美國合作共同研製成功第一個分子放大器；1998 年奈米金剛石粉在中國研製成功，同年，美國成功製備出了量子磁片並迅速轉化為產品；1999 年，韓國製成奈米碳管陰極彩色顯示器樣管，同年美國研製成功 100nm 芯片；2000 年日本製成奈米碳管場發射器樣管，美國研製出量子計算機和生