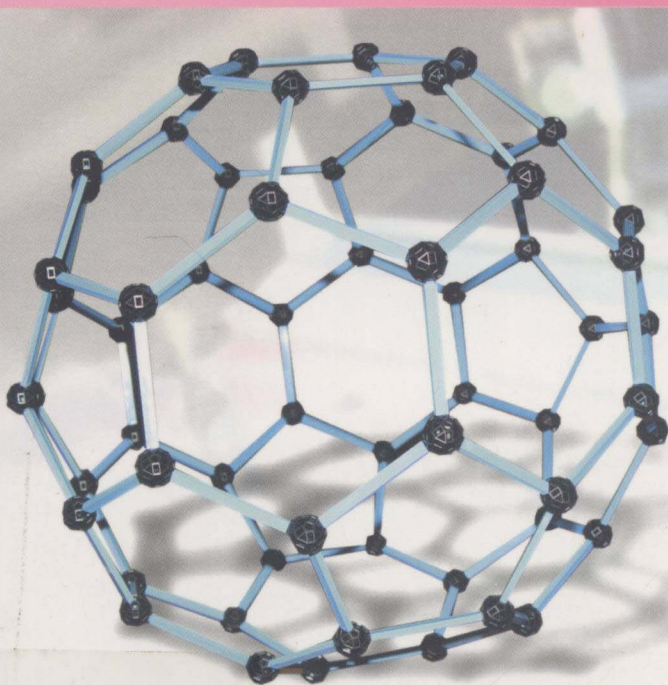


技K-12教育發展系列叢書

奈米科技交響曲

物理篇



李美英 劉怡君 合著

奈米科技
K-12
教育發展系列叢書

奈米科技交響曲

— 物理篇

黃光照、李重賢、李美英、劉怡君合著

臺大出版中心 出版

國家圖書館出版品預行編目資料

奈米科技 K-12 教育發展系列叢書

奈米科技交響曲—物理篇/ 黃光照、李重賢、
李美英、劉怡君合著. --初版--. 台北市：臺大
出版中心, 2004[民 93]

132 面；21*15 公分

ISBN 957-01-6884-6 (平裝)

440.7

93004268

統一編號 1009300729

奈米科技 K-12 教育發展系列叢書

奈米科技交響曲—物理篇

作 者 黃光照、李重賢、李美英、劉怡君

主 編 李世光、吳政忠

總 執 編 柯慶明

執行編輯 藍素華、施智綱、林宜靜、黃圓婷、何淑
真

圖文編輯 黃喬好、陳黎玲、謝育倫、劉琬琳、吳淑
慧、吳文慧、曹琬琳、許孟霖、陳思辰、
方國華

出 版 者 國立臺灣大學出版中心

發 行 人 陳維昭

發 行 所 國立臺灣大學出版中心
台北市 10617 羅斯福路四段一號
電話：(02)2363-0231 轉 3914
傳真：(02)2363-6905
E-mail: ntuprs@ntu.edu.tw

2004 年 3 月初版

ISBN 957-01-6884-6

定價：新台幣 180 元

總編審

物理	鄭天佐	中央研究院院士（物理研究所）
化學	彭旭明	中央研究院院士（化學研究所）
生物	鄭天佑	國立臺灣大學物理系教授

編審委員

物理	張所鉉	國立臺灣大學機械系教授
	張慶瑞	國立臺灣大學物理系教授
化學	陳錦地	中央研究院化學研究所研究員
	陳竹亭	國立臺灣大學化學系教授
生物	張家靖	東華大學物理系助理教授
	林榮信	國立臺灣大學藥學系助理教授

奈米國家型科技人才培育計劃出版委員會

總召集人	
楊泮池	教育部顧問室主任/台大醫院附設醫院內科部主任
執行祕書	
李世光	教育部顧問室顧問/國立臺灣大學應力所、工程科學暨海洋工程所教授
徐佳銘	教育部顧問室諮議委員/建國技術學院機電光系統研究所教授
孟繼洛	教育部顧問室諮議委員/國立臺北科技大學技術及職業教育研究所教授/亞東技術學院校長
李羅權	教育部顧問室顧問/財團法人國家太空計畫室主任
林振東	教育部顧問室顧問/東海大學教務長
陳金蓮	教育部顧問室顧問/國立臺灣科技大學電子系教授
馬振基	教育部顧問室顧問/國立清華大學化工系教授

吳亞君	教育部顧問室研究員
吳茂昆	奈米國家型計畫辦公室計畫召集人/中研院物理所所長
楊日昌	奈米國家型計畫辦公室計畫召集人/工研院副院長
劉仲明	工研院材料所所長
鄭天佐	中研院物理所院士
張學斌	經濟部技術處顧問
林治華	經濟部技術處顧問
俞貴馨	經濟部技術處顧問
柯正峯	科教館館長
顏鴻森	工博館館長
李家維	科博館館長
吳政忠	K-12奈米人才培育計畫主持人/國立臺灣大學應力所教授
張所鉉	北區奈米人才培育中心計畫主持人/國立臺灣大學機械系教授
柯慶明	奈米人才培育出版計畫主持人/國立臺灣大學出版中心主任/國立臺灣大學中文系教授
吳文中	電子知識交換平台計畫主持人/國立臺灣大學工科所助理教授
吳武雄	K-12人才培育計畫標竿學校校長/建國中學校長
陳富貴	K-12人才培育計畫標竿學校校長/北一女中校長
戴禮明	K-12人才培育計畫標竿學校校長/新竹實驗中學校長
蕭智烈	K-12人才培育計畫標竿學校校長/敦化國中校長
何碧燕	K-12人才培育計畫標竿學校校長/仁愛國中校長
蔡秀媛	K-12人才培育計畫標竿學校校長/敦化國小校長
溫明正	K-12人才培育計畫標竿學校校長/東門國小校長

推薦序

鄭天佐

中央研究院物理研究所奈米科學實驗室

1959年美國著名物理學家費曼提出以人為方法，重新安排原子成為具有新物理性質的奈米尺寸結構以供我們製作超微小新器件的概念。

隨著尖端科學儀器的發展，製造、操縱和檢測奈米結構，甚至於單原子和分子，用來組合成為奈米元件已經不再是科幻。近幾年來奈米科學和技術進步神速，觸及領域也非常廣泛，諸如化學及材料、電子及通訊、和生物及醫學產業都將受益於奈米科技的研究。

有鑑於奈米科技將廣泛影響新世紀科技發展和人類生活，教育部積極推動奈米科技教育。非常難得的是在教育部顧問室奈米科技人才培育K-12計畫主持人和參與老師的熱忱和努力下，在短短的一年多已經完成奈米科技高中科普書籍。

書籍內容新穎豐富且深入淺出，不管是老師或學生只要花點時間讀它都將獲益不淺。奈米科技日新月異，在此我還是要鼓勵大家養成自我學習、終生學習和獨立思考的好習慣，這些書籍的確是非常好的參考書，可幫助大家踏進奈米科技的大門，但是奈米科技的將來發展恐怕還是得靠國家將來主人翁的努力。

鄭天佐

李序

李世光

教育部顧問室科技顧問

教育部顧問室推動奈米國家型科技人才培育分項計畫以來，持續以教育部黃榮村部長之「終身學習」施政方針為目標，其主軸秉持顧問室楊泮池主任之科技教育規劃理念，希望培育跨領域訓練之奈米人才，進而充分運用奈米科技所帶來之各種可能性。事實上，顧問室此次於推動科技教育與人才培育計劃時，規劃與推動相當綿密之組織體系，其基本原因乃是由於奈米科技之廣泛性與通用性。

奈米科技，即指應用介於1nm至100 nm間物質的特性所衍生的創新科技。美國IBM公司首席科學家John Armstrong曾表示：「正像七〇年代微電子技術對二十世紀產生的資訊革命一樣，奈米科學技術將成為下一世紀IT (Information Technology)時代之核心」。自美國科林頓總統於卸任前簽署奈米科技為美國國家型計劃後，奈米科技早已成為全球各國科技團隊所戮力以共之研究領域。

在我國基礎與優勢產業盡皆進入成熟期之際，我國產業之基本模式也已逐漸由過去之「快老二(Second but better!)」典範轉變為「領導創新」，此一趨勢使得我國之國家級研究單位將研究主力轉移到學界與業界的合作研究，期能藉由雙方的密切結合來加速技術移轉及產業發展躍升，使我國之微笑曲線隨之上移。基於此種推動

典範，我們可以清楚瞭解奈米科技將是未來產業發展的重要基石。

由於人才為產業及科技發展之根本，因此如何在我國各級教育的課程中融入奈米知識的必要性乃成為當務之急。不論由科技領域、製造方法、產業推動來看，我們都可以得知奈米科技之推動均需以人才為本；這同時亦闡明奈米科技之人才培育將必須兼顧科普與菁英教育，易言之，一國的科技水準實可類比於金字塔，當其科技、科普基礎越寬廣，則其頂尖就越高，奈米人才培育為跨領域之整合與訓練，我國希望能於此一領域培育出兩類人才：一類乃是要可領導奈米科技研發、或從事奈米科技之研究工作，另外一類人才則是可認知這個產業的基本潛能同時把它商業化之人。因此此處所言的跨領域整合，絕不只是理工學院，而是需要同時包含醫學院、商學院、法學院、管理學院等等更寬廣之領域知識。

隨著此書出版，期能使國人對科技基礎知識的認知能愈見寬廣，更期許我國能在未來擁有相較他國量多且質優之奈米相關科技開發與應用人才，如此不但我國產業之全球競爭力將可提高，我國科技與產業之優勢地位也有可能更行鞏固甚至擴充。

李世光

吳序

吳政忠

臺灣大學應用力學研究所教授
奈米科技人才培育計畫推動辦公室主持人

九十一年八月，由行政院國家科學委員會所主導的奈米國家型科技計畫開始啟動，教育部顧問室李世光顧問負責「奈米科技人才培育」分項計畫之推動，希望能迅速提供我國發展奈米國家科技計畫所需之各種跨領域人才，並往下紮根至中、小學，培育下世代奈米尖兵。

此計畫在中、小學部分藉由編撰一系列奈米相關教材及舉辦教師研習營，透過國小、國中和高中教師將奈米相關知識轉化成淺顯易懂的知識以激發學生的學習興趣，進而將奈米科技人才培育向下延伸至K-12教育階段。目前參與計畫的台北市六所召集學校：臺北市立建國高級中學、臺北市立第一女子高級中學、臺北市立敦化國民中學、臺北市立仁愛國民中學、臺北市立東門國民小學、臺北市立敦化國民小學，近30位的高中、國中、國小種籽教師，經過一年多來奈米科技的培訓與自我學習，也已扮演奈米教學的先鋒部隊，到其他學校傳授他們的經驗，協助訓練更多的K-12種籽教師。

半年前，建國中學與北一女種子教師們開始將各自的收集的教材進行有系統的整理，期望能將尖端的奈米科技轉化為國高中老師及高中學生可接受的教材。教材

編撰過程中，每位參與計畫的老師皆依憑著對教育的熱情，除了自己上網尋找資料，發揮教學創意外，更挪出許多時間來產出如此豐碩的成果：“奈米科技交響曲—物理、化學、生物”。此套書，由建國中學、北一女中參與本計畫的教師執筆，範圍涵括三大領域，並深入淺出地介紹奈米尺寸、奈米材料、奈米催化劑、光子晶體、顯微技術對奈米科技的影響、奈米生物科技簡介及其應用……等科技新知，更利用實際操作以及與學校師生的互動而發展出簡易的奈米科技實驗，兼具趣味與奈米科技的相關新知識。

透過此套書付梓出版，期能引領一般社會大眾及學生一探奈米科技奧秘之究竟，更希望進一步能夠拋磚引玉，對於日後吸收相關新興領域之科學知識，可以更快速獲得知識的傳遞，並激盪出更多的創意與構想。感謝各位參與計畫成員戮力執行與付出外，對於教育部顧問室、工業技術研究院、中央研究院各部會首長及承辦人員之支持與幫忙，與台灣大學出版中心承接後續出版等事宜，皆使此書得以順利產出，呈現在大眾眼前。藉由此書之出版，期盼能激發更多人投入耕耘，獲得更多的想像與啟發。是為序。

吳政忠

前言

以長期的眼光來看，K-12之學生將會是未來十至二十年台灣於各國奈米領域發展的競爭主力，基於這樣的理念，相信向下紮根為人才培育工作首要之任務。「奈米科技(K-12)人才培育計畫」為去年推動執行之先導型計畫(pilot program)，計畫起跑之初，邀集了七所召集學校：臺北市建中、北一女、敦化國中、仁愛國中、敦化國小、東門國小及新竹實驗中學（國小、國中、高中部）共近四十名規劃委員，經過多次規劃會議及自我之修習，冀將奈米知識轉化為深入淺出之科普常識。開發出首批可以引起高、國中、國小學生興趣並適合吸收的奈米教案及教材，「奈米科技交響曲—物理、化學、生物」套書的產出，正是奈米科技人才培育計畫成果的展示，也是多位高中種籽教師一年來的心血結晶，希望能以深入淺出的方式吸引國高中生的興趣，並提供中學教師了解奈米科技之參考。

本書之能順利付梓出版，實蒙教育部科技顧問室楊泮池主任、林振東顧問、陳金蓮顧問、吳亞君博士、國家型計劃主持人中央研究院物理所吳茂昆所長、中央研究院物理所鄭天佐院士及工業技術研究院楊日昌副院長之指導與支持；台灣大學出版中心柯慶明主任、藍素華組長以及出版中心所有成員不辭辛勞的校對與協助處理相關智慧財產權及書籍發行等事宜；北區奈米科技前瞻性人才培育中心張所鉉主任、施智綱博士負責本書編

審；奈米科技K-12計畫共同主持人臺灣大學工程科學暨海洋工程學系林輝政教授、教授顧問團臺灣大學應用力學研究所劉佩玲所長、臺灣大學教育學程中心沈弘俊主任、徐式寬博士、臺灣大學工程科學暨海洋工程學系宋家驥教授；奈米科技人才培育計畫推動辦公室黃圓婷小姐、林宜靜小姐、何淑真小姐對計畫戮力執行費心盡力，併此謝忱與敬意。

未來科技將不斷進步與更新，透過科普書籍的出版，期能為K-12學生與社會大眾帶來最新知識，此書內容若有遺漏或不盡周延之處，敬所諸先進賜予匡正與指導。

李世光、吳政忠謹識
於臺灣大學應用力學研究所
民國九十三年三月十六日

奈米科技交響曲

—物理篇

目次

第一章 奈米尺寸與奈米科技1

北一女中 物理科 黃光照 教師

第二章 奈米科技報導—光子晶體.....29

建國中學 物理科 李重賢 教師

第三章 從雷射鐳子到奈米鐳子 —從微米到奈米.....51

北一女中 物理科 李美英 教師

第四章 顯微技術對奈米科技的影響...73

建國中學 物理科 劉怡君 教師

圖表目錄

Contents

- 圖1-1 各物體的大小以奈米為單位來表示 2
- 圖1-2 蓮花具有很多小凸起狀的角質層和臘質形體 4
- 圖1-3 空氣被封於液體與葉面的凹處中，減少了液體與葉面的接觸面積，產生了具強烈疏水性質的表面 4
- 圖1-4 葉面具規則的凸起微毛構造，減少了污染粒和葉子表面的接觸面積 5
- 圖1-5 葉面上的液滴，當其滾動時，便會吸附起葉面上的污染粒，帶離葉面 5
- 圖1-6 奈米科技特性的闡釋 12
- 圖1-7 奈米碳管 18
- 圖1-8 碳六十分子結構圖 18
- 圖2-1 食鹽的晶體結構 31
- 圖2-2 鑽石的晶體結構 31
- 圖2-3 能帶形成的示意圖 32
- 圖2-3(a) 單獨原子的能階－是分立的 32
- 圖2-3(b) 原子靠近後的能階－變多變密了 32
- 圖2-3(c) 很多原子靠近後的能階－細密有如帶狀 32
- 圖2-4 導體、半導體及絕緣體的示意圖 33
- 圖2-5 蛋白石是寶石的一種 35
- 圖2-6 蝴蝶蝴蝶生得真美麗 35
- 圖2-7 蛋白石(Opal)的表面 35
- 圖2-8 蝴蝶翅膀的表面 35

- 圖2-9 海毛蟲在TEM下顯示出的晶體結構 36
- 圖2-9(a) 海毛蟲的英姿 36
- 圖2-9(b) 刺毛閃爍著有如彩虹般的光芒 36
- 圖2-9(c) 刺毛在TEM下顯示出的晶體結構 36
- 圖2-10 不同維度的光子晶體示意圖 37
- 圖2-11 各種週期性排列 37
- 圖2-12 另一種三維光子晶體結構 37
- 圖2-13 人造蛋白石結構之光子晶體 39
- 圖2-14 以二維光子晶體製作的元件示意圖 44
- 圖2-15 電磁波能量傳遞方向遵守左手(left-handed)定則時的示意圖 45
- 圖2-15(a) 正常介質中，電磁波傳遞方向係遵守右手(right-handed)定則之示意圖 45
- 圖2-15(b) 電磁波能量傳遞方向遵守左手(left-handed)定則時的示意圖 45
- 圖2-16 負折射率示意圖 46
- 圖2-17 人造左手物質，在纖維玻璃板上，以銅所做環像結構的共振器 46
- 圖2-18 平面折射示意圖 47
- 圖2-18(a) 傳統介質，界面若為平面，則偏折後光線仍向外，無法會聚成像 47
- 圖2-18(b) 負折射率物質，界面雖為平面，已可使折射後的光線會聚成像 47
- 圖2-19 光源很近時，會有兩個成像 47
- 圖3-1 牛的身分論 52
- 圖3-2 科學與工業的發展史 53
- 圖3-3 雷射光束的折射路徑及基本原理 60
- 圖3-4 粒子所在位置，所受雷射光束的合力指向焦點示意圖 60

- 圖3-4(a) 微小粒子在顯微物鏡的焦點之內 60
- 圖3-4(b) 微小粒子在顯微物鏡的焦點旁邊 60
- 圖3-5 雷射鐳子影響二氧化矽(silica)位置圖 61
- 圖3-6 雷射光束完全被微小粒子吸收時，粒子所受合力 F 是指離焦點 f 61
- 圖3-7 雷射鐳子裝置圖 64
- 圖3-8 DNA分子的操控－AFM與雷射鐳子的組合應用 65
- 圖3-9 奈米鐳子的簡圖 67
- 圖3-10 奈米鐳子在SEM下的影像 67
- 圖3-11 奈米鐳子操作方式圖 69
- 圖3-11(a) A-E圖顯示當外加電壓由0增至8.5V時，兩奈米碳管臂吸引接近的情形 69
- 圖3-11(b) 外加電壓 V 和奈米碳管臂末端分開距離 de 的關係圖 69
- 圖3-12 以奈米鐳子將一塑膠小球由一奈米團中夾取並移開的情形 69
- 圖3-13 以奈米鐳子實際測量奈米級物體的電性，通過物體電流與外加電壓的關係 70
- 圖4-1 瑞立判定準則 75
- 圖4-2 顯微鏡外觀及其成像原理圖 76
- 圖4-2(a) 顯微鏡外觀 76
- 圖4-2(b) 成像原理圖 76
- 圖4-3 肉眼、光學顯微鏡、及電子顯微鏡的解析度比較 77
- 圖4-4 電子束入射樣品材料之後產生的各種訊號 78
- 圖4-5 掃描式電子顯微鏡的結構簡圖 80

- 圖4-6 電子束的速度在平行軸心方向及垂直軸心方向受到平行軸心磁場及垂直軸心磁場的影響而使行進方向有聚焦的效果 80
- 圖4-7 掃瞄線圈使電子束在樣品上作二度空間的掃瞄，並同步成像於螢幕上 81
- 圖4-8 SEM所得NaCl結晶成像 81
- 圖4-9 在古典物理與量子物理中，粒子碰到能量障礙的情況是不相同 87
- 圖4-10 穿隧電流與距離的關係圖 88
- 圖4-11 掃瞄穿隧電子顯微鏡的儀器簡圖 89
- 圖4-12 探針隨樣品表面起伏而調整其高度 91
- 圖4-13 定高度取像法 92
- 圖4-13(a) 定高度取像法 92
- 圖4-13(b) 定電流取像法 92
- 圖4-14 利用原子操縱術所排成的圖案 93
- 圖4-14(a) IBM 93
- 圖4-14(b) 原子 93
- 圖4-15 原子操縱術利用在針尖上的電場來移動原子 94
- 圖4-16 原子操縱術所排成的台灣島型 94
- 圖4-16(a) 針尖上的金原子團落在金表面上所形成的台灣島型圖 94
- 圖4-16(b) 綠色矽島：黑色位置為矽原子被拉出表面 94
- 圖4-17 由下而上，一次一次慢慢移動10個碳60分子 95
- 圖4-18 幾種不同形狀的量子圍欄圖 96
- 圖4-18(a) 在1993年所排出的圓形量子圍欄 96
- 圖4-18(b) 不同形狀的量子圍欄 96
- 圖4-19 量子幻象 97
- 圖4-20 原子力與距離的關係圖 98
- 圖4-21 原子力顯微鏡的構造簡圖 98
- 圖4-22 國立臺灣大學應力所的原子力顯微鏡 99