

一種製作與檢測奈米球陣列的教學模組

蘇郁捷 邱瑩庭 王新斐 郭政宜 洪連輝 吳仲卿*

國立彰化師範大學 物理系

(投稿日期：民國 101 年 12 月 01 日，修訂日期：101 年 12 月 18 日，接受日期：101 年 12 月 23 日)

摘要：本文建置一項適合中學生之奈米科技課程模組，以中學所具備之相關設備，使同學可以親自動手探究「自組裝奈米球」。實驗採用微米級之聚苯乙烯奈米球，透過適當之界面活性劑，配製不同濃度奈米球於異丙醇中，接著使用市售價格親民之沙拉用水籃，透過手動用水，將奈米球溶液塗佈於蓋玻片上，最後以一般放大倍率達數百倍之光學顯微鏡，進行視覺檢測。實驗結果顯示，經由調節奈米球濃度與用水籃之轉速，得以成功獲得自組裝奈米球陣列，同時展示出不同層數、長短程有序之六方最密堆積結構。更高階的檢測可以透過區域大專院校之支援，使用桌上型電子顯微鏡，取得良好景深之清晰奈米圖案結構。另外，以雷射輔助之繞射實驗，更能引發學生對奈米尺度的理解。筆者相信透過如此動手做的活動，將有助於中學生學習奈米科技的相關知能。

關鍵詞：奈米科技課程、自組裝奈米球、聚苯乙烯奈米球、沙拉用水籃、光學顯微鏡、繞射實驗

壹、簡介

近年奈米科學與技術的蓬勃發展，始於西元 2000 年美國總統柯林頓在國情資文中積極發展該領域的宣示，發起了第一波投資於奈米科技之研究[1]。隨後，國際紛紛投入龐大的經費與人力，競相研發相關之前瞻科技。因此，世界各國也逐漸把奈米科技之內涵，訂為國民必備的知能與素養。為了落實此目標，必須發展高中以下之奈米科技課

程，以培育國民的奈米科技素養。台灣更在國科會的支持下，以專案成立奈米科技辦公室，積極贊助計畫的推動與執行，引進奈米專業研究者為奈米科技設計課程，同時積極推廣中學以下(K-12)相關的奈米科技課程。

事實上，有關奈米科技之發想，為時更早。費曼博士(Richard Feymann，諾貝爾物理獎得主)在 1959 年美國物理年會之演講中，首次提到研究奈米科技的課題[2]，隨後更因雷射[3]及積體電路[4]等之發明，使得微小尺

度結構之研發逐漸蓬勃發展。西元 1982 年，賓尼格(Gerd Binnig)與羅雷爾(Heinrich Rohrer)發明了掃描式穿隧電子顯微鏡(Scanning Tunneling Microscopy, STM)[5]，大約四年後，原子力顯微鏡(Atomic force microscope, AFM)也跟著問世[6]。各式各樣用來檢測奈米級物質的儀器，陸續被發明出來，於是人類對於物質尺寸之了解，不再只是侷限於微米級以上的階段，而是更進一步地擴展到奈米級的層次。在這種小於微米尺寸下的世界，科學家發現了許多特殊的物理及化學特性；這些特殊的性質，也吸引了不同領域（從物理、化學、光學、電子、機械，乃至於與人類最為相關的生醫領域）的科學家，紛紛投入奈米科技的相關研究。

顧名思義，「奈米科技」指的是：物質組成單元之尺寸低於 100 奈米之相關科學與技術。礙於人眼可察覺之尺度，常常需要依靠一些高階檢測設備，才能進行確認。事實上，在培養一般國民奈米科技知能與素養的過程中，除了以高階儀器設備檢測自然界中已然存在的奈米結構之外，人工合成與製作奈米結構，提供了“動手做”及“從做中學”的基本教育理念。一般而言，奈米結構的製造方式主要可區分為「由上而下(Top-down)」以及「由下而上(Bottom-up)」兩種。由上而下的製作方式是利用大尺寸的材料，經過各種繁複的製程，製作出奈米尺寸的結構，如常見的各式微影術(Lithography)；反之，由下而上的製作方式，則是直接利用原子或分子具有自我形成規則性排列的特性，如奈米球自組裝(Self-assembled Nanospheres)。以現階段的奈米科技而言，絕大部分採用由上而下的方式，但此製作方式所需之儀器相當多，如曝光機、反應式離子蝕刻機等皆必需。

受限於昂貴的儀器以及複雜的製程，一般的相關課程設計缺乏了可行性，是故在教

學中大部份是以宏觀的設備來模擬微觀的事實，能夠透過直接進入微米或更小尺度之實驗來提升中學生奈米科學知能與素養者，並不多見。於此，自組裝奈米球陣列之製作，在毋須花費大筆經費購置儀器設備，並避免複雜製程技術之前提下，不啻可作為推廣奈米科技觀念的第一步。

貳、實驗方法

Whitesides 首先提出「自組裝」的概念[7]。自組裝指的是微粒子（本文以奈米球為例）自行聚集並形成規則排列的結構，如糖、鹽之分子結晶，亦可視為一種自組裝的現象。自組裝的現象根據 Denkov 的研究[8]，可前後分為兩個階段：首先是藉由毛細作用力產生晶種(nucleus)，接著透過對流作用，使得奈米球形成有序的週期性排列。

一般常見的奈米球自組裝技術可分為「垂直塗佈法」、「化學（電化學）沉積法」、「旋轉塗佈法」以及「物理性模板法」等四種。考量簡單快速又能夠得到較好的奈米球陣列結構之前提下，旋轉塗佈法可謂是最佳的選擇。然而，旋轉塗佈法雖簡單，卻仍需要具備精準控制能力的旋轉塗佈機，於此，為了能夠不須使用昂貴儀器就能進行奈米科技的普遍推廣，本文提供一項既簡單又便宜的方法，可以成功製作出奈米球陣列結構。

市面上有各種不同材質和尺寸的奈米球，本實驗所選用的是微米級的聚苯乙烯奈米球(Polybead® Microsphere，如圖一中右圖。本實驗使用 1 微米及 6 微米的奈米球)，濃度為 2.5 %。經過多次實驗測試，若將買來的奈米球溶液直接塗佈於基板上，奈米球會彼此相互吸引聚集，無法形成規則排列的堆積，須另再添加適當比例的溶劑，才可以得到有序的奈米球陣列結構。本實驗所使用

的溶劑為異丙醇與界面活性劑之混合溶液，其體積比例為異丙醇：界面活性劑 = 100：1，再將此混合溶液與買來的奈米球溶液以體積比 1：1 之比例調配[10]，如圖 1 中左圖所示。本實驗所選用的界面活性劑型號為 Troton X-100，是一種常見的非離子性界面活性劑。添加界面活性劑的目的在於增加奈米球的親水性，避免奈米球彼此吸附成團，其原理是藉由界面活性劑具有親水性端(hydrophilic)與親油性端(lipophilic)，讓親油性端吸附奈米球，並浮於水面，整齊排列成膜(如圖 2) [11]。

本實驗使用市售價格親民的沙拉用水籃，作為旋轉塗佈之工具(如圖 3)。沙拉用水籃可藉由手動旋轉來控制轉速，似於專業塗佈機的功能，此外，可將橡皮擦黏貼於脫水籃中央，作為樣品載台。

塗佈時，先以雙面膠將蓋玻片黏貼固定於橡皮擦上，再以滴管吸取適量已事先調製好的奈米球溶液後，將溶液滴於蓋玻片上，再開始轉動手把進行塗佈；旋轉結束後，將塗佈好的蓋玻片取出，靜置在室溫下約 15 到 20 分鐘，使其自然風乾，即可完成自組裝奈米球陣列，接著可依不同轉速重複進行本實驗。經過多次實驗後發現：轉速慢時，較容易得到多層的奈米球結構；轉速快時，較容易得到單層排列的奈米球，但轉速如果過快，奈米球會被甩離樣品表面，因此，適當地調控轉速，即可控制奈米球的層數。本實驗以約 500 rpm 的轉速旋轉，每次旋轉的時間約為 10 秒。



圖 1：所調配之溶液比例為「異丙醇與界面活性劑：奈米球溶液 = 1:1」。右附圖為聚苯乙烯奈米球原液(Polybead® Microspheres 1 μ m)

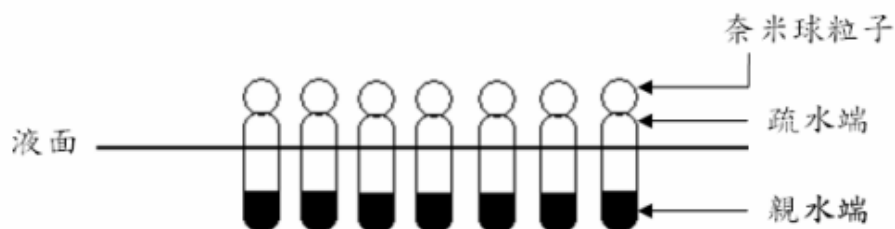
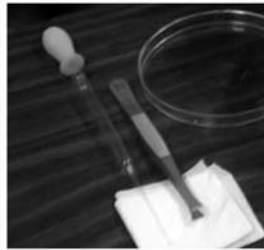


圖 2：界面活性劑與奈米球溶液之關係示意圖[10]



蔬果脫水籃



滴管及破片夾

圖 3：奈米球自組裝所需材料與簡易設備，一般中學學校可輕易備妥。

參、結果與討論

使用一般中學學校都備有的光學顯微鏡觀察蓋玻片，從最低的倍率(50X)開始觀察，可看到蓋玻片上有一層白色的薄膜。當倍率放大至約 500 倍時，可以明顯觀察到奈米球的排列情形(如圖 4 中左圖)；當倍率再放大至 1000 倍時，可以更清楚看到一顆顆的奈米球(如圖 4 中右圖)，並發現奈米球呈現六方最密堆積。除了以光學顯微鏡觀察外，也可進一步使用桌上型電子顯微鏡來觀察(見圖 5)。

除了以顯微鏡觀察形貌外，也可使用光學干涉來檢測奈米球是否呈規則排列，如圖 6 即為光學干涉檢測架設。利用此架設中的光學顯微鏡，將雷射光聚焦於塗有奈米球的蓋玻片上，即可在底部觀察到穿透過蓋玻片的干涉條紋(如圖 7)。

以往在奈米球的相關實驗中，為使奈米球能均勻排列在基板上，除了在溶劑中添加界面活性劑以增加親水性外，也會對基板進行表面改質。表面改質的方法有很多種，如曝照 UV 光、臭氧、打電漿及鍍膜處理等。在測試過上述各處理方法後發現，若使用蓋玻片作為基板，轉速及奈米球濃度的控制對奈米球排列之影響，比是否有無進行表面改質之影響還大，是故在此實驗中可省略基板表面改質的步驟。

肆、結論

近年因科技的進步，電子產品講究輕薄短小，奈米科技的蓬勃發展，使得政府非常重視國民的奈米相關知識之培育，致力於推廣奈米知識教育。然而，在進行相關實驗時，往往需要與鄰近大學實驗室或是科技公司合

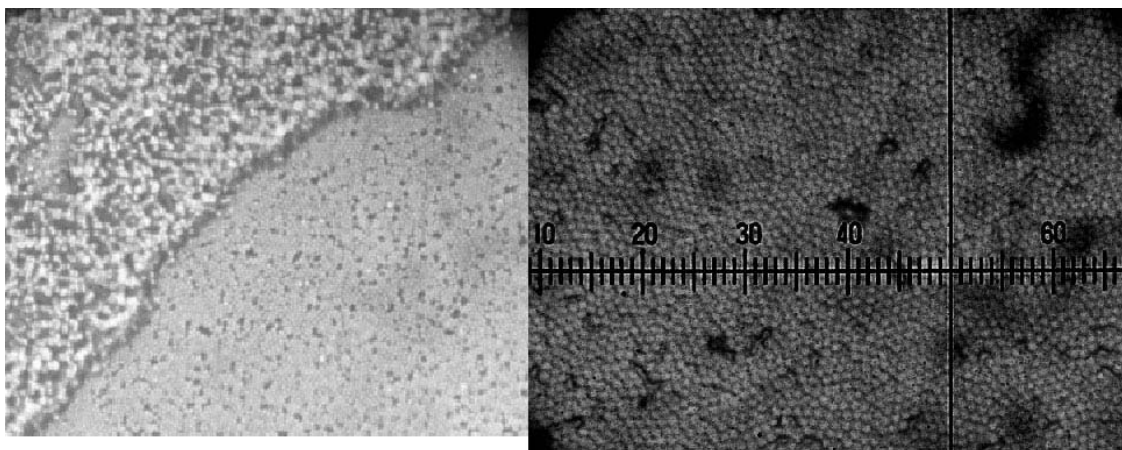


圖 4：左圖為 500 倍光學顯微鏡照片，左上角為多層區，右下角為單層區的堆疊。右圖為 1000 倍光學顯微鏡照片，從比例尺上可以清楚觀察出奈米球的直徑為 1 微米。

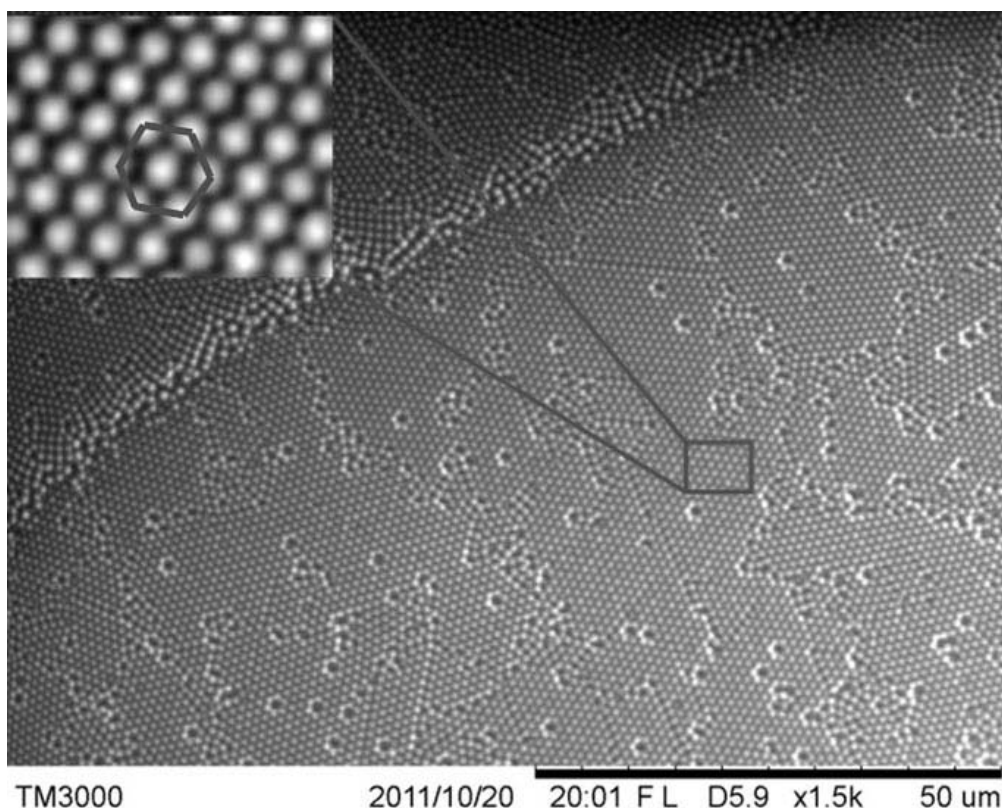


圖 5：桌上型電子顯微鏡照片(1500X)。可清楚看出六方最密堆積結構。(奈米球直徑為 1 微米)

作，才能使用到昂貴的精密儀器，但事實上，並非所有學校都能有這樣的機會和經費，此情況對於奈米教育的推廣不啻是一大阻力。於此，為了能夠更確實落實奈米教育並向下扎根，建立一套簡單又容易取得的器材與觀測儀器之實驗，絕對是不可或缺的。

本實驗以日常生活中既平價又容易取得的沙拉甩水籃，作為旋轉塗佈奈米球的工具，進行奈米相關實驗，並利用一般中學所具備的光學顯微鏡，觀察實驗結果。從本實驗可學習到，改變奈米球溶液的濃度或塗佈時的轉速，就能控制奈米球堆積的層數及分佈狀況。

這個實驗毋需龐大昂貴的儀器，就能讓中學生親身體驗並做出一項奈米結構實驗，不同於以往受限於只能從觀看影片中揣摩，

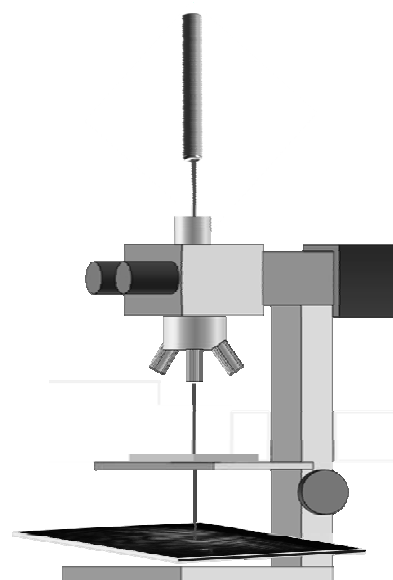


圖 6：光學檢測架設。雷射光經過光學顯微鏡的透鏡聚焦，於下方取得繞射影像。

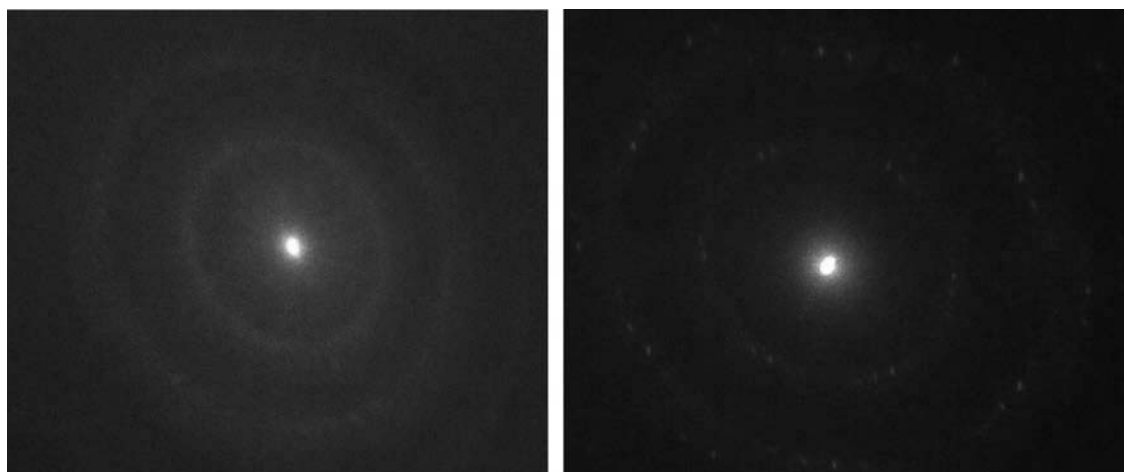


圖 7：雷射光經過透鏡聚焦，穿透過塗有奈米球基板所造成的干涉條紋。左圖為多層區，右圖為單層區。(奈米球直徑為 6 微米)

無法親自動手做的困境。有了此實驗教學方法，無論是在推廣奈米相關知識，甚至是在進行相關主題的科展活動中，都將會是一大助力。

致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會之經費資助（NSC101-2514-S-018-002-及 NSC101-2120-S-018-001-），僅此敬致謝忱。

參考文獻

- 林天送，科學發展 447 期，P72(2010)
- 周芳瑜，奈米球影術製成奈米金屬結構之研究與應用，國立成功大學光電科學與工程研究所碩士論文，P31(2007)。
- 陳沂蓉，奈米球為影術應用於建構奈米等級之二維金球陣列，國立清華大學奈米工程與微系統研究所碩士論文，P23(2008)。
- 陳冠華，以自組裝奈米球製作光子晶體之研究，國立彰化師範大學光電科技研究所碩士論文，P29(2011)。
- 蕭如珀、楊信男，物理雙月刊卅卷六期，P646(2008)
- G. Binnig and C. F. Quate, Atomic Force Microscope, Phys. Rev. Lett. 56, 930, 1986
- G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel, Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy, Phys. Rev. Lett. 49, 57, 1982.
- G.M. Whitesides and B. Grzybowski , “ Self-Assembly at All Scales”, Science 295:2418-2421 , 2002
- National Nanotechnology Initiative (NNI) , <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN/nni.pdf>
- N. D. Denkov, O. D. Velev, P. A. Kralchevsky, I. B. Ivanov, H. Yoshimura, And K.Nagayama, "Mechanism of Formation of Two-Dimensional Crystals from Latex Particles on Substrates", Langmuir 8, 3183-3190 ,1992.
- Richard P. Feynman, There's Plenty of Room at the Bottom, Journal of Microelectromechanical Systems 1, 60-66,1992.

Hands-on experiment of nanosphere array as a teaching module for high school

Y. C. Su Y. T. Chiu Fiona Wang C. Y. Kuo L. Horng J. C. Wu*
National Changhua University of Education

Abstract

We report a hands-on experiment as a module for teaching nanotechnology in high school. The objective is meant for using common facilities in high school, and thus enabling students to do hands-on experiment of self-assembled nanospheres. Polystyrene nanospheres, Polybead®, with micrometer-scale of diameter are used, in which a proper solution is made with surfactant in isopropyl alcohol. A salad dryer purchased from utensil store is employed as a spinner for spin-coating nanospheres solution on glass slide. An optical microscope with hundreds of magnification is used for inspection. Consequently, self-assembled nanosphere arrays are obtained with optimal solution concentration and spin speed, in which long/short order of hexagonal lattice with single/multi-layer structures are distributed over the glass slide. Advanced table-top scanning electron microscope supported from local colleges may resolve better images. In addition, optical diffraction patterns observed in conjunction with laser beam may facilitate the teaching procedure and conceptual understanding for high school students.

Key words: Hands-on experiment, Nanotechnology, Self-assembled nanospheres, Optical microscope, Scanning electron microscope

