

奈米科技教學模組的發展及融入現有中學科學課程

林淑榜^{1*} 王國華¹ 張惠博² 王淑卿¹

¹國立彰化師範大學科學教育研究所

²高雄市立空中大學物理系

*通訊作者：sflin@cc.ncue.edu.tw

(投稿日期：民國 103 年 05 月 22 日，修訂日期：103 年 07 月 07 日，接受日期：103 年 07 月 07 日)

摘要：本文旨在提出奈米科技融入中小學課程的重要性，介紹奈米科技教學模組的設計原理和實例，並從實徵性研究資料發現教師在奈米科技教學專業知識的需求與學生的學習困難，提供教師專業發展者和設計奈米科技教學模組的教師一些啓示。

關鍵詞：奈米科技、教學模組

壹、前言

不少科學家認為奈米科技在二十一世紀對人類生活、社會和國家經濟層面產生將重大影響，因此，一些先進國家除了規劃大筆經費進行奈米科技的研究與產業發展，亦重視 K-16 奈米科技教育。我國國科會自九十一年底開始推動「奈米國家型科技計畫」，並於九十二年由教育部統籌執行「全國奈米科技人才培育計畫」，整合大學資源，培育中小學種子教師，發展奈米科技教學模組，試圖將奈米科技的知識與實驗融入中小學課程。本文旨在提出奈米科技融入中小學課程的重要性，介紹奈米科技教學模組的設計原理和實例，並從實徵性研究資料發現教師在奈米科

技教學專業知識的需求與學生的學習困難，提供教師專業發展者和設計奈米科技教學模組的教師一些啓示。

貳、奈米科技融入中學科學課程的重要性

諾貝爾物理獎得主費曼(Richard Feynman)在1959年的演講中指出「操縱和控制微小物體是可能的。如果我們能做到這些，大英百科全書就可全寫在一個針尖上。若能在原子或分子的尺度下製造材料和元件，將會有許多引人入勝的新發現。欲實現此理想，有賴新的微型化儀器設備的產生，以達到操控及量測這些微小的奈米結構。」(Feynman, 1961)。這些如科幻電影般的演說內容，竟然

容，竟然在1980年代電子掃描穿隧顯微鏡(Scanning Tunneling Microscopes)、原子力顯微鏡(Atomic Force Microscopy)等觀測、操控奈米尺度的儀器發展出來後，逐漸被實現。奈米科技最引起科學家關注的部分，乃是物質在奈米尺度下因性質改變，擴展了許多材料的功能。未來奈米材料製造與應用將逐漸影響人類的生活、經濟產業的發展。因此，有人認為奈米科技將帶來第四波的工業革命。1986年諾貝爾物理獎得主Heinrich Rohrer曾說過：「七十年代重視微米技術的國家，如今都已成為發達國家。今天重視奈米科技的國家，將很可能成為二十一世紀的先進國家。」(呂宗昕，2003)我國十分注重奈米科技的研究與發展，近十年來，許多大學開設奈米科技相關的系所與研究中心。為了讓奈米科技教育向下紮根，國科會整合了大學資源建立不少優質的奈米科技內容知識資料庫，培育奈米科技教學的種子教師。然而，在中學教育現場，仍鮮少見到教師有能力將奈米科技融入教學。再者，筆者擔任奈米科技教學模組競賽的審查委員時，亦發現鮮少教師能掌握奈米科技的核心概念和教學模組的設計原則。因此，筆者將透過本文協助教師理解如何發展奈米科技教學模組，並融入至現有的中學科學課程。

美國國家奈米科技計畫(National Nanotechnology Initiative, [NNI])對奈米科技做出以下的定義：

奈米科技是指對 1-100 奈米(nm)尺度的物質進行了解與控制，其獨特的現象能產生新奇的應用。奈米科技包括奈米尺度的科學、工程和科技中，涉及影像、測量、模擬和操縱這個長度範圍內的物質。1 奈米是指十億分之一公尺。一張紙的厚度大約是十萬奈米；一個金原子的

直徑大約是三分之一奈米。尺寸在接近 1nm 至 100nm 之間稱為奈米尺度。物質在奈米尺度下會產生不尋常的物理、化學和生物性質。物質在奈米尺度下的性質和它以大塊狀和單一原子或分子方式呈現的性質可能不太相同 (NNI, 2010)。

上述對奈米科技的定義含括探討奈米尺度下物質的科學(簡稱奈米科學)，以及產生、測量奈米材料所涉及各種科技(簡稱奈米科技)兩大部分。其中，最後一句話則指出奈米科技與中小學科學課程中的關聯性，及學習這些知識的價值。由於中小學科學課程中所涉及的物質，大多是指自然界中物質常見的狀態，不是以粒子聚集成大塊狀的巨觀尺度(>100nm)呈現(如金箔、鐵塊)，就是以單一原子或分子的微觀尺度(<1nm)呈現(如氧氣、氮氣)。然而，物質在奈米尺度(1-100nm)下，因量子效應、表面效應和奈米粒子間的相互作用，使得他們的性質與原來處於巨觀或微觀的性質大不相同(李傳宏、黃佩珍、盧成基、彭國光、徐文泰，2001)。因此，在中小學科學教學中，教師應特別著重於物質在奈米尺度與巨觀或微觀尺度下不同的性質，以凸顯奈米材料在應用上的價值。

參、何謂教學模組？

教學模組(teaching module)通常是指一個獨立且有明確教學目標的教學單元(unit)。一個教師所設計的課程可說是由一系列教學模組所組成。其實「模組」這個概念，並非從教育領域開始，資訊或工程領域早已應用此概念多年。就以最近熱門的模組化手機為例，一位工業設計的學生 Dave Hakkens 有鑑於人們頻繁更換電子設備的浪費行為，製作了一個可拆卸元件的手機影片。影片在

Youtube 上的點閱率頗高，引起 Google 登門拜訪，引發後續模組化手機計畫推行。模組化手機的內部由一格一格的模組所組成，其中的功能可依顧客的需求自由選配。可換的模組元件包括處理器、電池、數據機、GPS、攝影機等。倘若一位關注健康狀況的顧客，可特別購買有健康監測功能的模組元件，手機便可成為他隨身的醫學監測設備。甚至，若手機快沒電了，可拆下錄影機，更換為電池，便可繼續使用手機(Ifanr, 2014)。由此可知，教學模組可讓課程的設計具有以學生為主的客製化本質。

以每一個教學模組類比為樂高玩具的基本元件。假設玩家以車子為主題進行拼裝，拼裝一個個積木時，必須考量兩個積木之間的連結性，以及整個作品的系統性。每一個玩家所組裝的車子除了具有車子的基本功能(如輪子、駕駛座)，也會有特殊的功能(如附有水管和水箱的消防車、有居家生活的露營車)。因此，當教師對某一主題了解許多與此主題相關的教學模組，或是能聯想到與此主題相關的內容，他便可依照特定的教學目標、學生的興趣、能力，選擇一部分、改裝部分教材內容、或自行增設教學模組，為學生組合成客製化的課程。Russell(1974)指出教學模組具有以下幾個特點：(一)獨立的單元，(二)目標明確，(三)知識的連結、組織與排列，(四)關心個別差異，(五)運用多元媒體，(六)立即增強反應。前三個特點乃是課程設計中基本的設計原則，而後三個特點則關注客製化的學習與學習成效的方法。儘管現有中小學課程尚未包含奈米科技的概念，但奈米科主要概念卻與課程內容所關聯。因此，教師應著重於第三個特點進行模組的設計。也就是從現有課程的概念架構，向外延伸至奈米科技相關的概念架構。下一節將利用實例詳加說明如何發展可融入中學課程的

奈米科技教學模組。

肆、奈米科技教學模組的設計與發展

由於教學模組欲達成特定的學習目標，因此設計原則和一般課程設計相同，應注重學習目標、評量和教學三者的一致性(alignment)。近年來「國科會奈米國家型科技人才培育計畫」(簡稱奈米人才培育計畫)每年實施的教學模組競賽，亦著重於這三個方面進行評選(詳細內容請參考奈米人才培育計畫網站)。教學模組設計時最首要乃是確立學習目標。學習目標應以主題中的主要概念為考量。在奈米科技領域中，哪些是主要概念呢?美國為了促進奈米科技教育，由奈米科學與工程學習與教學中心和史丹佛研究所邀請在奈米科技領域中優秀的科學家、工程師、和科學教育家共同制訂出適合國中至大學程度學生學習奈米尺度下科學與工程的九個主要概念(big ideas)。這九個主要概念包括尺寸與尺度(size and scale)、物質的結構、尺寸特性(size-dependent properties)、力與交互作用、自組裝性(self-assembly)、工具與儀器、模型與模擬、量子效應，以及科學、科技與社會(science, technology & society)(Stevens & Krajcik, 2008)。奈米科技教育工作者常常參考這九個主要概念發展奈米科技教育的相關活動。

為了發展奈米科技教學模組，筆者提出五階段的設計原則，供教師設計教學模組之參考：(一)理解奈米科技內容知識，(二)確定融入奈米科技之主題與學習目標，(三)建立主題概念架構，(四)選擇教學模組，(五)規劃教學活動。奈米人才培育計畫已整合不少大學和博物館資源，建置奈米科技教育網站，提供中小學教師學習奈米科技相關概念和學

辦相關的教育活動，包括奈米科技教育學院、奈米新世界、奈米科學網等。同樣地，坊間也已有一些奈米科技的相關書籍。教師對奈米科技內容有所理解後，便容易與課程內容的主要概念產生連結。

發展教學模組前應先確認既有課程中每個單元的學習目標(約三~五個主要概念)或課綱中每個主題的核心概念。之後開始與奈米科技的九大概念產生聯想，寫下每一個主題中可融入奈米科技的主要概念。選定好特定主題後，繪製概念架構(如圖一)或概念圖，將課程中既有的概念與奈米科技概念建立連結，作為教學流程與活動設計的參考架構。以主題為「元素的性質」為例，設定學習目標為「各種元素在巨觀下具有特定的性質，在奈米尺度下卻有不同的性質與功用」。藉此發展課本中既有內容的概念架構，如圖一中常見金屬和非金屬元素巨觀的特質與應用。再來發展這些元素在介觀(奈米尺度)下概念架構。例如奈米金、奈米銀、奈米等級碳材料的特質與應用。圖一中以不同顏色的區塊邊界區別奈米教學模組的範圍，教師可自行選擇使用其中的教學模組，以達到自訂的學習目標。譬如，在此單元僅欲介紹奈米金、奈米銀、以及奈米尺度下碳的材料，以區別物質在巨觀與介觀下特性的差異。對於與鐵有關的奈米磁鐵之教學模組，將融入至磁鐵的單元，介紹奈米尺度下磁鐵的特性和應用，以及生物羅盤。而與鈦有關的奈米光觸媒(奈米尺度的二氧化鈦)之教學模組，將融入至生活科技建材的單元。

在「元素的性質」單元中所融入的奈米教學模組可採用的教學活動，包括(一)奈米金和奈米銀：奈米金和奈米銀在懸浮液中的顏色與巨觀的金與銀顏色的差異，討論巨觀與介觀物質顏色不同的原因，以及介紹奈米金和奈米銀具有的特殊性質和應用。(二)

「碳」的同素異形體：利用不同型態的碳(如石墨、鑽石、富勒烯和奈米碳管)理解同素異形體的概念。藉由這四種物質原子排列的圖片，說明它們特殊的性質與應用，再次體會到奈米級材料神奇的功能。(三)奈米碳黑的製作與蓮葉效應：利用蠟燭火焰尖端燃燒含有水的紙杯底部，在底部製作一層碳黑。將水滴在這層碳黑上，觀察奈米碳黑所造成的蓮葉效應。另外，再利用「遠距遙控電子顯微鏡教學網」中蓮葉效應的圖庫，呈現蓮葉表面微米級的突起(直徑約 5~10 微米的突起構造)，以及每個為米突起表面佈滿的奈米級結構(直徑約 50~100 奈米的管狀構造)，幫助學生「看」到奈米尺度下的世界。尤其，教師應善用電子顯微鏡圖片中比例尺尺標，引導學生利用倍率的概念，理解奈米世界中物體的大小。(四)富勒烯和奈米碳管：從科學史介紹 1985 年三位科學家製造出碳的同素異形體 C60(富勒烯，俗稱巴克球)，及命名巴克球的由來。C60 的備製奠定了往後奈米材料研究的基礎，就像奈米碳管的備製和它在材料、物理、化學和資訊領域上具有廣大的運用。這三位科學家因此而獲得諾貝爾化學獎(汪信、劉孝恆，2011)。並且介紹 C60 在抗愛滋藥物上的應用，以及介紹奈米碳管質地輕，硬度大，抗斷裂的能力比一般鋼鐵材料高十二倍的神奇特性。另外，奈米碳管可用來製造自行車或拐杖，甚至太空天梯。甚至，目前已可製作出完全以奈米碳管組成的電腦，它的運作比目前的矽晶電腦都快，且效能更高(Eden, 2013; Kreupl, 2013)。

伍、奈米科技教學專業知識的需求與學生學習困難的啟示

目前有關奈米科技融入教學模組的實徵性研究仍十分罕見。本文利用兩個奈米科技

另外，為了解學生學習奈米科技的學習困難，筆者分析學生參與奈米科學營後所自陳的學習資料。本研究團隊長期協助在職教師發展奈米科技教學模組，由四位教師自行設計五個奈米科學動手做活動，引導國中學生認識奈米科學的世界。五個活動分別為：(一)奈米尺度新視界，(二)植物細胞模型，(三)探究 DNA 構造與應用，(四)奈米碳黑動手做，(五)蛋再密也有縫。50 位七~九年級的學生在科學營前、後填寫 19 題奈米科學概念的選擇題測驗卷。前、後測分析結果顯示學生在奈米概念的理解有顯著提升($t=7.52, p < 0.001$)。學生在開放性問卷中普遍上表示，動手做活動讓他們覺得有趣、新奇，對奈米科技的概念更加理解。其中，值得教師留意的應是學生在這些活動中遇到的學習困難，以作為未來設計教學模組時待改進之處。從學生的回應，筆者發現在這些動手做的活動中，學生遇到的困難是難以想像奈米尺度的「小」和連結活動與奈米概念的關係。因此，以下呈現學生學習困難的資訊，並提出兩點教學改進的建議供教師參考：

一、利用已知實物、微觀物體大小體會倍率關係，以建立學生對奈米尺度的抽象概念

活動中，教師利用奈米尺度與實際生活常用尺度之對應關係，幫助學生理解奈米尺度。包括

若將台灣島縮小為十億分之一，大小約和一粒鹽差不多；原子直徑平均約零點二奈米，去氧核糖核酸(DNA)直徑二點五奈米，生物細胞一千奈米，打針時的針孔約一百萬奈米，175cm的人類相當十七億五千萬奈米！

部分學生在奈米尺度的理解上仍有困難，例如他們回應的學習困難與原因如下：

一個東西變成奈米大小會變得跟甚麼一樣大呢？因為它很抽象。(S302Lee)

把實物縮小為十億分之一的倍率，會變成甚麼樣？沒甚麼概念，不太容易比喻。(S302Tu)

要如何把東西換成奈米尺度呢？因為不知道地球多大或是一個島嶼有多大。

(S106Liao)

一奈米為十億分之一米，「十億」或奈米尺度對學生而言十分地抽象，非常不容易理解。建議教師利用三個步驟逐漸建立學生對奈米尺度的概念。首先，利用他們所熟悉的兩個物體(如台灣長度和鹽粒大小，地球和棒球直徑)，以實際的運算體會一與十億的尺度差異。再者，利用熟知的已知物(如頭髮)，與一奈米的倍率關係，建立一奈米的尺度感。例如不到兩手臂長的一米長度，切割成十億等分的一等分長度才是一奈米；頭髮直徑的十萬分之一約是一奈米。如此，學生便能體會奈米尺度是肉眼所無法看見的尺度，須用電子顯微鏡才能看見奈米尺度的物體(如螞蟻身上毛的直徑屬於奈米級的大小)。建議教師採用逐漸放大的電子顯微鏡影像和比例尺，幫助學生建立奈米世界中的尺度感。最後，利用微觀世界中常論及的物體大小(如 DNA 直徑為 2nm，三~四個金屬原子串聯長度或十個氫原子串聯為 1nm)和倍率的概念。如此，應可減輕學生奈米尺度的抽象感受。

二、加強動手做活動與奈米科技概念產生連結

儘管動手做的活動廣受學生歡迎，有些學生的學習困難卻是無法體會動手做的活動與奈米科技概念到底有何關聯。例如學生回應：

實驗都沒甚麼困難，只是有些知識不太懂(S201Ben)

雖然都有在聽課，但有些還是"有聽沒有懂，以至於不會寫題目(S302Chien)

動手做的活動十分需要教師介入、引導學生理解活動中內含的科學概念。因此，建議教師在活動之前應多準備與活動相關的討論問題，一方面作為評量學生概念理解的工具；另一方面藉著活動內容與學生互動，了解學生的想法與學習困難。從學生的回應中，即時覺察學生的另有概念，適時提供調整教學活動與策略，促進學生理解。

科技時代進步迅速，教師有責任將新興科技的基本概念融入現有的科學課程中。然而，這不僅需要教師不斷地吸收科技新知，也需要教師專業發展者提供教師發展融入新興科技的教學專業知識，協助教師具備自行發展新興科技的教學模組融入至現有課程中。更需要雙方合作收集學生學習的證據，做為調整教學模組的依據，增加學習成效，甚至做為未來融入正式課程之參考。本文以奈米科技為例，提供設計教學模組的建議，期望這些建議有助於教師創造出更符合當代社會需求、激發學生學習的教學模組。

致謝

感謝國科會專題研究計畫的經費補助(NSC102-2120-S-018-008)與參與本研究計畫之種子教師的付出。

參考文獻

1. 呂宗昕(2003)。圖解奈米科技與光觸媒。台北市：商周。
2. 李傳宏、黃佩珍、盧成基、彭國光、徐文泰(2001)。奈米材料-介觀化學世界，材料奈米技術專刊，60-68。
3. 汪信，劉孝恆(2006)。奈米材料化學，台北市：五南。
4. Eden, L. (2013)。全球首台奈米碳管晶體電腦開發成功。科技新報。網址：<http://technews.tw/2013/09/26/first-computer-made-of-carbon-nanotubes-is-unveiled/>
5. ifanr(2014)。模組化手機 Project Ara 幕後的故事。網址：<http://www.techbang.com/posts/17122-project-ara-behind-the-scenes-story>
6. Feynman, R. P. (1961). There is plenty of room at the bottom. In H. D. Gilbert (ed.) *Miniaturization* (pp. 282-296). New York, USA: Reinhold.
7. Kreupl, F. (2013). Electronics: The carbon-nanotube computer has arrived. *Nature*, 501(7468), 495-496.
8. Russell, J. D. (1974). *Modular instruction: A guide to the design, selection, utilization, and evaluation of modular materials*. Burgess Publishing Company.

The Development of Nanotechnology Teaching Modules Integrated into Middle School Science Curriculum

Shu-Fen Lin^{1*}, Kuo-Hua Wang¹, Huey-Por Chang², Shu-Ching Wang¹

¹National Changhua University of Education

²Open University of Kaohsiung

*Corresponding author: sflin@cc.ncue.edu.tw

Abstract

The purposes of this article were to introduce the importance of nanotechnology teaching modules integrated into science curriculum, and the design principles of and an example of teaching modules. Moreover, the empirical studies revealed teachers' needs of professional knowledge for nanotechnology teaching and students' learning difficulties in nanotechnology education activities. The findings would provide some implications on the development of nanotechnology teaching modules to professional developers and teachers.

Key words: Nanotechnology, Teaching module