

高中奈米科技課程的專家概念與情境式問卷之建構

盧秀琴、宋家驥*

為瞭解台灣地區「奈米國家型科技人才培育計畫」高中奈米科技課程開發的成效，用以分析高中學生對奈米科技概念應有的理解，本研究邀請奈米科技專家、科學教育專家和高中奈米科技教學的教師，組成研究團隊，使用焦點團體法共同發展台灣地區高中奈米科技課程的專家概念圖、命題知識陳述與情境式問卷，並外聘專家群完成內容效度的檢覈。研究結果包括：(1)高中「奈米科技」的專家概念圖包含：認知、情意態度和技能發展等三個主概念，每一個主概念再各自從普遍概念發展到特殊概念，並以例子做說明，加以澄清其概念。(2)由高中奈米科技專家概念圖發展成命題知識陳述，強調科學名詞的語意關係，並增加科學原理的說明。(3)由高中奈米科技專家概念圖和命題知識陳述發展成情境式問卷，分成 17 個「命題情境」，學生先閱讀「命題情境」後再回答該情境所出的 1-3 開放式問題。(4)情境式問卷可以蒐集學生的回答，作為編製二階層診斷式試題的參考，以便教師後續研究使用。

關鍵詞：奈米科技、概念圖、命題知識陳述、情境式問卷、焦點團體法

* 盧秀琴：國立臺北教育大學自然科學教育系所教授
luchowch@tea.ntue.edu.tw

宋家驥：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系教授

Development of Expert's Conception and Problem Situation Questionnaire in High School Nanotechnology Curriculum

Chow-Chin Lu & Chia-Chi Sung*

To understand the achievement of high school nanotechnology curriculum in the "Nanotechnology Human Resource Development Program" and to analyze high-school student's knowledge of nanotechnology conception in Taiwan, this research developed an expert concept map, declarative knowledge statements and a situated questionnaire for high school nanotechnology curriculum by conducting focus group interviews with experts in nanotechnology, science education and high-school nanotechnology teachers. Content validity was confirmed by specialist sub-group's review. The results were: 1. the high school "Nanotechnology" expert concept map includes three main domains: Cognitive, affection and skills development. Concepts in each domain are from general to specific, and examples are used to clarify these conception. 2. High school nanotechnology statement transform expert concepts map into declarative knowledge statement, emphasizing the meaning between scientific terms and increasing science principles description. 3. The expert concept map and declarative knowledge statements are transferred into a high school nanotechnology problem situation questionnaire, which contained 17 proposition situation. First, we ask students to read the "proposition situation", and then answer one to three open-ended questions. 4. The situated questionnaire was administered and the responses collected from the students serve as a reference for the Two-Tier Diagnostic Test, and also serves as data for teacher's future study.

Keywords: *nanotechnology, concept map, declarative knowledge statement, problem situation questionnaire, focus group interview*

* Chow-Chin Lu: Professor, Department of Science Education, National Taipei University of Education

Chia-Chi Sung: Professor, Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

高中奈米科技課程的專家概念與情境式問卷之建構

盧秀琴、宋家驥

壹、緒論

一、研究背景與動機

全球知識經濟發展的脈絡中，奈米技術的推動對於各國的產業及競爭力影響既深且廣，奈米與我們的生活息息相關，「奈米科技」是 21 世紀新產業革命的動力，奈米科技的推動能促進國家的產業及競爭力。因此，教育民眾認識奈米科技產業已成爲當務之急，台灣政府已連續六年推動「奈米國家型科技計畫」，期能作爲國內奈米科技研究的重心；其中重視「人才培育」，希望藉由計畫的推動能培育：(1)領導或執行奈米科技的人才；(2)能認知奈米科技潛能，成爲產業與商業化的人才（教育部，2002）。台灣政府有計劃的向下紮根，將奈米科技知識推廣到 K-12 的教育，尤其推動台灣高中的奈米科技課程能加速高中生的奈米科技素養，藉由奈米科技議題來加深學生對奈米科技之認識，早日成爲國家培育奈米科技的新兵，以厚植國家競增力，加速國內奈米產業的推動（李世光、林宜靜、吳政忠、黃圓婷、蔡雅雯，2003）。

推動台灣高中的奈米科技課程，必須理解高中奈米科技課程的專家概念。台灣「奈米科技 K-12 課程研發及北區人才培育」整合型計畫，包含 A, B, C 群子計畫，B 群子計畫從事課程教材研發是在 A1 子計畫的課程指標引導及 A2 子計畫的專家概念引導下，教材開發將更嚴謹；C 群子計畫從事教材、媒材的設計，將吸引 K-12 科學教師繼續研發創新的奈米教材（北區奈米科技 K-12 人才培育計畫，2009）。本研究 A2 子計畫延續「奈米國家型科技計畫」，加強科學教育的部份，蒐集奈米科技相關的文獻資料，並聘請研究奈米科技的學者專家、科教專家與科學教師組成研究團隊，以過去六年所研發之奈米科技課程、教學活動與文獻資料作爲依據，擬定高中奈米科技課程

的專家概念，作為高中奈米科技教學活動設計與行為目標擬訂之依據。其次，本研究根據高中奈米科技課程的專家概念來編製命題知識陳述和情境式問卷，將可以用來檢驗高中生對於奈米科技課程的學習，其所獲得的科學概念和可能產生的另有概念。

Novak 和 Gowin (1984) 發展一套可探討學生科學概念的工具，利用這種工具可改進教師的教學活動與學生的學習行為，此種工具稱為概念圖 (concept map)。為瞭解學生的科學概念成長，必須先發展該課程的專家概念圖。Novak (1993) 採用臨床晤談方式，研究專家概念圖和學生概念圖，得到三個結論：1. 有意義的學習是同化新的概念與命題，到已存在的認知結構裡。2. 知識以階層化的組織存在認知結構裡，且大部分的學習涉及含攝概念 (subsumption concept) 和命題，到已存在的階層化組織裡。3. 記憶學習的知識將不會被同化。因此，在同化新的概念、組織階層化的知識和概念間的命題關係時，概念圖是一個瞭解這些概念結構的方式。而概念圖的建構歷程即為概念構圖 (concept mapping)，是以命題陳述 (proposition) 的方式呈現概念與概念間有意義的關係，藉由聯結語的語意形成命題，才能發展情境式問卷 (Novak & Gowin, 1984; Treagust, 1996; Wandersee, 1990)。

二、研究目的

本研究依據奈米科技課程、教學活動與文獻資料，發展高中奈米科技課程的專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷，並聘請奈米科技專家、科教專家和資深國高中教師等三群專家，以不同觀點協助專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷的發展，以達到完整性；情境式問卷可以蒐集學生的回應，作為編製二階層診斷式試題的參考，如此能檢驗高中生對於奈米科技課程的概念學習和另有概念。

貳、文獻探討

一、奈米科技議題相關概念與研究

奈米 (nanometer; nm) 是二十一世紀最熱門的名詞，也是現代人日常生活中到處可見到的詞彙，1 奈米等於十億分之一公尺，小到我們眼睛看不到、手摸不到、也感覺不到，只有使用高解析的顯微技術才看得到它。奈米現象存在於自然界中，最有

名就是「蓮花效應」(Lotus effect)。蓮花之所以出淤泥而不染，水珠在蓮葉上不會散開的奧秘，在於蓮葉表面上精密奈米結構的絨毛，使水與葉面的接觸角大於 140 度，只要葉面稍微傾斜，水珠就會滾離葉面，帶走骯髒的灰塵(蘇俊鐘，2003)。此外，具有辨識方位能力的動物，例如鴿子、鮭魚等，這些生物體內都存有奈米級的磁性粒子，即磁場感應器，像是個生物磁羅盤，使這類生物在地磁場導航下能辨認方位，找到回家的路(廖達珊、胡苓芝、潘彥宏、孫蘭芳，2004)。而某些蝴蝶翅膀的鱗片和雄孔雀的羽毛表面，因具有特殊的光子晶體奈米構造，呈幾何結構週期性排列，可選擇性地反射部分顏色的光，並讓其餘顏色的光穿透過。當光與光子晶體所產生的夾角改變時，會使光子晶體反射不同頻率的光，所以鱗片或羽毛會隨觀看角度而改變顏色(呂宗昕，2005)。人類的生命肇始於奈米，人體細胞內外有許多奈米元件及構造，如 DNA、酵素分子、細胞膜、核醣體、脂蛋白…等。大自然的神奇之處即在於自然界的生物透過由小做大、以原子或分子為構件，自組裝堆疊成特殊的奈米結構，展現其獨特的特性或功能；以細胞膜為例，細胞膜有分隔細胞內外、控制物質進出、辨識外來分子等功能，膜上的離子通道外徑在 10 奈米以下，而內徑僅達 1~2 奈米寬，負責控制鈣、鉀、鈉、氯等離子的進出(Campbell & Reece, 2006)。此外，治療癌症的標靶藥物就是利用奈米金粒子達到標靶器官，再用加熱治療使癌細胞殺死而達到治療的效果(薛富盛、呂福興、吳宗明、曾東模，2008)。

國外也有相關的研究，學者在高中或大學發展奈米科學的教學模組(nanoscience module)，包含：蓮花效應、壁虎效應、奈米磁導航和光子晶體，他們製作模形和顯微攝影去解釋自然界的奈米現象，然後觀察學生的學習；結果發現學生對於奈米尺度的解釋是清晰的，但對於奈米現象的解釋仍存在一些迷思概念，多數學生喜愛奈米科學的課程，並希望有更多細部介紹的影片能提供學習的參考(Drane, Swarat, Light, Hersam, & Mason, 2009；Hersam, Luna, & Light, 2004)。

二、科學課程專家概念的探究

對於科學概念的研究，鄭湧涇(2000)認為傳統的紙筆測驗評量目的在於瞭解受試者答對與否，但不易測出受試者的學習困難、先存概念和另有概念等。常見的診斷學生另有概念之紙筆測驗方式有：開放式問卷、封閉式問卷、選擇題與二階層測驗問卷等，然而這些評測方法各有其特色，卻亦有其限制(陳均伊、張惠博、郭重吉，2004)。為改善科學概念評量方法的缺點，澳洲學者 Treagust(1988, 1995)提出兩階層測驗，

強調診斷工具的題目要有知識與說明兩部份，並以兩階層選擇題的方式，設計成「兩階層紙筆測驗」工具。該測驗工具第一層為是非或選擇題型式，第二層為若干敘述性選項，要求學生選擇合乎其想法的理由敘述。Treagust（1997）提出三階段十步驟來發展兩階層診斷工具：第一階段界定內容，包含：(1)分析教材內容，建立命題知識陳述。(2)發展學科內容之專家概念圖。(3)命題知識陳述和專家概念圖結合。(4)建立內容效度。第二階段蒐集有關學生概念的訊息，包含：(5)收集文獻與資料。(6)進行半結構化的晤談。(7)發展半開放式問卷測驗。第三階段發展診斷工具，包含：(8)發展二階段的診斷題目。(9)檢視診斷工具。(10)持續精鍊。

我國科學教育界有很多學者，模擬與修正 Treagust 的模式，首先發展科學課程的專家概念，之後發展命題知識陳述，最後發展二階層診斷工具，用來施測學生的概念成長與另有概念。例如：光反射與折射的另有概念診斷工具（陳均伊等，2004），國中生之遺傳學另有概念二段式診斷工具（楊坤原、張賴妙理，2004），中小學顯微鏡下的世界兩階層診斷式紙筆測驗（盧秀琴，2003）。國外也有相類似的研究，兩階層診斷測驗陸續發展且應用於生物（Haslam & Treagust, 1987；Odom & Barrow, 1995；Treagust, 2000）與化學（Peterson, Treagust, & Garnett, 1989；Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2002）等學科之學習診斷。

發展科學課程專家概念圖時，宋曜廷（2009）強調概念是指能被某些名稱或符號標示的事件或物件之共同屬性（common attributes），概念圖是以基模型態來表徵嵌在命題架構中的概念意義，即將命題概念外顯化。概念圖中以聯結線與聯結語來聯繫兩概念間的相關性，以構成一有意義的命題（proposition）。陳學志（2009）提出建立概念圖的基本步驟，即尋找相關文本開始，選擇相關的概念，將概念寫在卡片上，選出最一般化概念，從上至下依層次安排其他概念，用線將相關概念聯結，填寫 linking words。譚克平（2009）解釋概念於概念圖中的位置是依脈絡（context dependent）而定的，上層為一般化的概念，下層為特殊化的概念，最後放例子來澄清或解釋概念。情境式問卷的定義就是假設一種情境方向，引導受試者更容易作答，再詢問受試者面對此種情境時會有何種反應；情境式問卷主要與情境式學習有關，當學生看到這樣的題目，比較有日常生活經驗的聯繫，以及有具體的範圍去思索（Söderlin, 2009）。本研究採用情境式問卷，即利用高中奈米科技的科學報導當作情境，喚起學生學習的日常生活經驗，較能回答開放性問題，不致於交白卷。

參、研究方法與流程

一、研究設計

本研究為 A2 子計畫「我國 K-12 學生「奈米科技」概念理解以及相關影響因素之研究」，邀請整合型總計畫「奈米科技 K-12 課程研發及北區人才培育」的 B 群子計畫「K-12 奈米科技課程之研發與實施」、C 群子計畫「K-12 奈米科技教育推廣與教／媒材設計製作」中，發展國高中奈米科技教學課程的科學教師（6 人，因為考慮國高中奈米科技課程的銜接，延攬 2 位國中教師、4 位高中教師）、研究奈米科技的大學教授（4 人）、主持科學教育計畫的大學教授（2 人）等，組成研究團隊，蒐集高中奈米科技課程、教學活動與文獻，利用焦點團體法，發展台灣地區高中奈米科技課程的專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷，依序建立內容效度。研究設計的架構圖如圖 1 所示，本研究群包含奈米科技專家、科學教育專家、國高中科學教師，可以兼顧高中奈米科技知識的正確性，高中奈米科技課程發展的適切度和高中學生對奈米科技的理解程度為何？關於研究程序方面，先發展高中奈米科技專家概念圖，建立內容效度後，以此為據發展命題知識陳述，建立內容效度後，以此為據發展情境式問卷，建立內容效度，具備完整的結構性。而採用焦點團體法進行研究，可以在短時間內，集合高中奈米科技各層面的專家進行多次的討論、對談與修正，最後達到共識，不僅能去除自己的歧見，而且節省時間，容易執行。

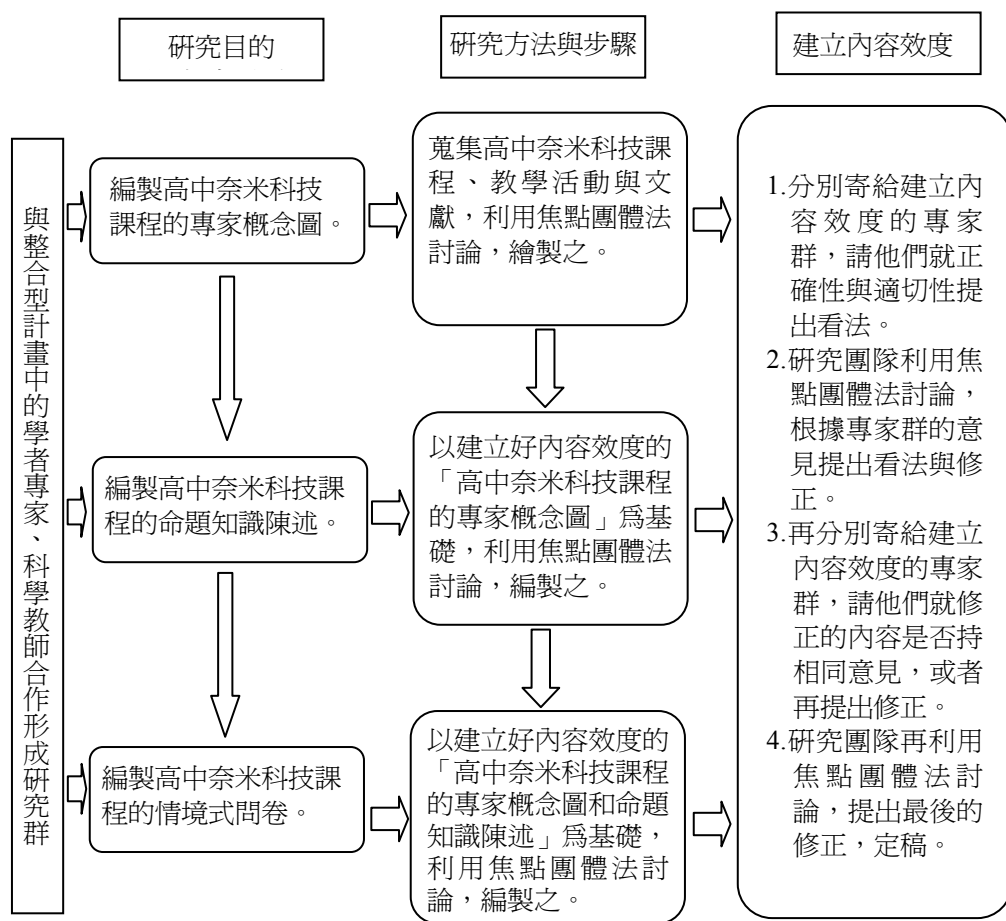


圖 1 發展台灣地區高中奈米科技課程的專家概念與情境式問卷研究架構圖

二、建立內容效度的專家群

邀請本整合型計畫以外的學者專家，包含 4 位長期研究奈米科技的學者專家，定義為 A 群（國立臺灣大學化工系教授、物理系教授、工程科學及海洋工程學系暨研究所教授、國立臺灣師範大學生物系教授），2 位長期研究科學教育的科教專家，定義為 B 群（國立臺灣師範大學科學教育研究所、國立臺灣師範大學心理與輔導學系教授），3 位任教奈米科技課程四年以上的高中教師，定義為 C 群（北一女中、建國中

學、萬芳高中），一起檢核高中奈米科技課程的專家概念圖、命題知識陳述與情境式問卷的正確度與適切度。

三、資料的蒐集與處理

（1）引介階段：A2 子計畫研究團隊進行「高中奈米科技」專家概念圖、命題知識陳述與情境式問卷等各階層之說明，提供所有「高中奈米科技」的相關文獻和資料。

（2）討論階段：4 位奈米科技大學教授、2 位科學教育教授、6 位科學教師一起進行焦點團體，提出不同的看法，持續修正與精緻化，整理出專家概念圖、命題知識陳述與情境式問卷等初步資料和修正資料。

（3）內容效度階段：聘請 4 位奈米科技專家、2 位科教專家、3 位高中教師，一起進行內容效度，分析這三群專家以不同觀點協助專家概念圖、命題知識陳述和問卷發展的完整性，根據這些專家的建議做修正，以獲得專家概念圖、命題知識陳述與情境式問卷等定稿資料。

肆、結果與討論

本研究主要在編製高中奈米科技的專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷。高中奈米科技的專家概念圖包含：認知（一種尺度、科技定義、自然界現象、奈米產品）、情意態度和技能發展，整理專家群覺得非常重要而決定修正的意見如表 1 所示；A 群專家主要針對專家概念圖內容的正確性和敘述的明確度做修正，B 群專家主要針對專家概念圖的標準格式和包含的內涵做修正，C 群專家則主要針對專家概念圖在教學的可行性和方便性做修正。

表 1 高中奈米科技的專家概念圖的內容效度修正意見

專家群	專家群提出應修正的內容與建議	最後修正的內容
A 群	1 光子晶體的奈米結構對光產生干涉具光程差，而形成多種色彩和增加強度；寫得不清楚。	光子晶體的奈米結構對光造成「光程差」，產生「特定波長反射率」，增加「七彩的顏色」。
	2 DVD 光碟片和奈米結構無關。	奈米產品的功能之一為「加大容載量」，運用光學干涉、繞射結構，使縫隙達到奈米等級，例如：DVD 光碟片。
	3 1.電子紙和奈米的關係不明確。 2.在室內照紫外光是否有效?或是在日照充足的房間內使用是否有效？問題應該不是在室內使用則無效，而是在室內使用需注意激發光的來源。	1.刪除電子紙的說明。 2.「奈米光觸媒產品有效的情境」修改為：戶外、日照充足、紫外光燈源。
	4 膠帶實驗中，造成不同顏色的原因是由於不同色光的折射率不同，因此在膠帶中造成的偏振特性不同，而能被偏光片取出。因此用這個實驗來模擬彩蝶的顏色可能有所不妥。	動手玩奈米：使用偏光鏡、膠帶，貼在玻璃片，對著光觀察，呈現多層色彩效應，例如「製作彩蝶名片」。
B 群	1 概念圖應該顧及認知、技能和情意，不要只偏重認知部份。	概念圖，包含認知、技能發展、情意態度，認知包含：定義、自然界現象、科技定義和奈米產品。
	2 概念是有階層的，上層為最一般化的概念，下層為最特殊化的概念，最底層加入例子。	概念圖，上層放一般化的概念，下層放特殊化的概念，把例子放在最下面。
C 群	1 1~100nm 之間並產生新的特性與現象，建議修改成 1-100nm 的產物具有新的特性與現象。	遵照指示修改：1-100nm 的產物具有新的特性與現象。
	2 建議加入各種電子顯微設備來觀察奈米結構的東西。	利用各種電子顯微鏡觀察奈米科技產品、生物或自然現象。
	3 1.產品有標靶藥物，改成「功能有」標靶藥物。 2.奈米產品的使用時機，當成例子移到最後。	1.遵照指示修改：「功能有」標靶藥物。 2.奈米光觸媒產品移到最後，改成例如：奈米光觸媒產品。

根據專家群的建議來回修正後，最後獲得專家概念圖，整理如圖 2 所示，以奈米科技的「尺度」為例說明概念圖的呈現意義，其單位為「nm」，可利用「各種電子顯微鏡」來觀察「生物或自然界現象」及「奈米科技產品」，「奈米科技產品」意思是指「1~100 nm 的產物，具有新的特性」。從表 1 和圖 2 的整理，可以發現三群專家對本研究的貢獻，A 群專家講求科學知識表達的精準性，能幫助我們使用更準確的字眼描述奈米科技的概念，如：奈米產品的功能之一為「加大容載量」，運用光學干涉、繞射結構，使縫隙達到奈米等級，例如：DVD 光碟片。B 群專家說明概念圖的基本模式和階層性，修改後使繪製出來的概念圖更具有可讀性。C 群專家則從自己教學的角度去提出建議，讓我們刪除一些拗口的科學詞彙，增加更多的例子做說明與解釋。

Ausubel、Novak 和 Hanesian (1978) 提出概念與概念之間的關係，學習者的先備知識在「有意義的學習」上扮演著重要的角色，學習者將新概念與命題同化入既有的概念與命題網路內。Novak (1993) 說明概念構圖 (concept mapping) 是以命題式的概念圖來表徵所要學習的概念與概念之間有意義的關係，是組織及呈現知識一個很有用的工具。本研究發展台灣地區高中奈米科技課程的專家概念，即遵守 Ausubel 等人和 Novak 的概念圖基本假設發展而成，奈米科技的上層為最普遍 (general) 的概念，例如：奈米科技的自然界現象包含：光子晶體、奈米磁導航、壁虎效應、蓮花效應等，然後越底層是越特殊 (specific、less general) 的概念，例如：「光子晶體的奈米結構」對「光」造成「光程差」，產生「特定波長反射率」，增加「七彩的顏色」。最後用例子說明，加以澄清其概念；例如：端紫斑蝶、青銅金龜。本概念圖也嘗試做交叉連結 (cross link)，以表示在不同領域 (domain) 概念之間的關聯；這樣可幫助學生瞭解不同領域間的知識是如何關連的，可促進學生的創造性思考。

高中奈米科技的命題知識陳述之主要概念包含：自然界現象、奈米定義與特性、情意態度、技能發展和奈米科技產品等，整理專家群覺得非常重要而決定修正的意見如表 2 所示。A 群專家針對各個命題知識陳述的定義和原理做修正，B 群專家覺得命題知識陳述應該增加科學史的說明，C 群專家則針對命題知識陳述是否方便教學與引導學生觀察做修正。

根據專家群的建議來回修正後，最後獲得高中奈米科技的命題知識陳述，並配合高中課程相關的章節、國內奈米計畫已發展的相關教材，整理如表 3 所示。此表格說明每一個高中奈米科技的命題知識陳述，都可以對應到高中奈米科技的主要概念、次要概念，以及高中課程可能有的相關章節，國內奈米計畫已發展的相關教材等。

表 2 高中奈米科技的命題知識陳述的內容效度修正意見

專家群	專家群提出應修正的內容與建議	最後修正的內容
A 1	經濟部推行奈米標章來辨識奈米產品的真偽，方便我們選擇奈米產品。(此點需進一步確認，因為就我所知，目前認證只確認是否合乎奈米等級，但不保證奈米效果)	目前有奈米標章的產品不多，但只要有奈米標章的產品，都會有該產品的效果與用途說明，如防污、抗菌、防蝕、耐磨耗、脫臭、淨水、隔熱…等特性。
群 2	細毛達到兩個 nm，結構接近「奈米的長度」，比水分子還細小，所以不會被水分子滲入。水分子改成水珠，長度改成尺度。	絨毛結構達接近「奈米的尺度」，使水珠與絨毛的接觸面積變小，不會被水珠滲入，因此水珠能在荷葉上輕盈的滾動。
3	光子晶體產生「彩蝶效應」的定義，指的就是在生物體表上呈現出不同波長的豔麗色彩，隨著觀察者角度的不同產生顏色的改變。說法不好，「彩蝶效應」不正確。	所謂「偏光效應」的定義，指的就是在生物體表上呈現出不同波長的豔麗色彩，隨著觀察者角度的不同產生顏色的改變。
4	高中生應該多學習一些原理。例如：奈米科技產品的醫學，標靶藥物的原理說得不够詳細，應該更詳細。	增加二條說明： 5.5.2 運用巴克球包被標靶藥物，利用核磁共振的原理把巴克球吸引到要治療的器官。 5.5.3 裝載標靶藥物的巴克球表面會被磁化，才能利用核磁共振的原理吸引到生病的器官，產生醫療效果。
B 1	應該增加科學史的說明。	1959 年物理學家費曼先生提出「將大英百科全書的內容縮小在一個針尖上」的構想，是最早提出將物體或資料「微小化」的人，因此我們稱他為「奈米科技之父」。
群 2	沒有意見	
C 1	奈米定義與特性的觀察還可以再細分，方便教學生如何觀察奈米材料。	增加三條說明： 2.2.3 將物質材料奈米化之後，物質的尺寸，物質的性質和物質的功能都會產生改變。 2.2.4 材料奈米化之後，不只是物質所佔空間變小了，原有的功能和性質也會產生改變。 2.2.5 同體積同重量的物體，切割成愈小愈多等分時，其表面積會變大，反應速率會增快。
群 2	新型態的污染物應該強調其危害的地方及程度如何。	增加一條說明： 3.1.2 四氯乙烯有刺激和麻醉作用，吸入急性中毒者有上呼吸道刺激症狀，隨之出現頭暈、頭痛、噁心、運動失調及類似酒醉的症狀。
3	我們可以利用奈米科技製作 1—100nm 之間的特性與現象，稱為奈米科技產品。應去除「奈米科技產品」，增加「或操縱」。	遵照指示修改：我們可以利用奈米科技製作或操縱 1—100nm 之間的特性與現象。

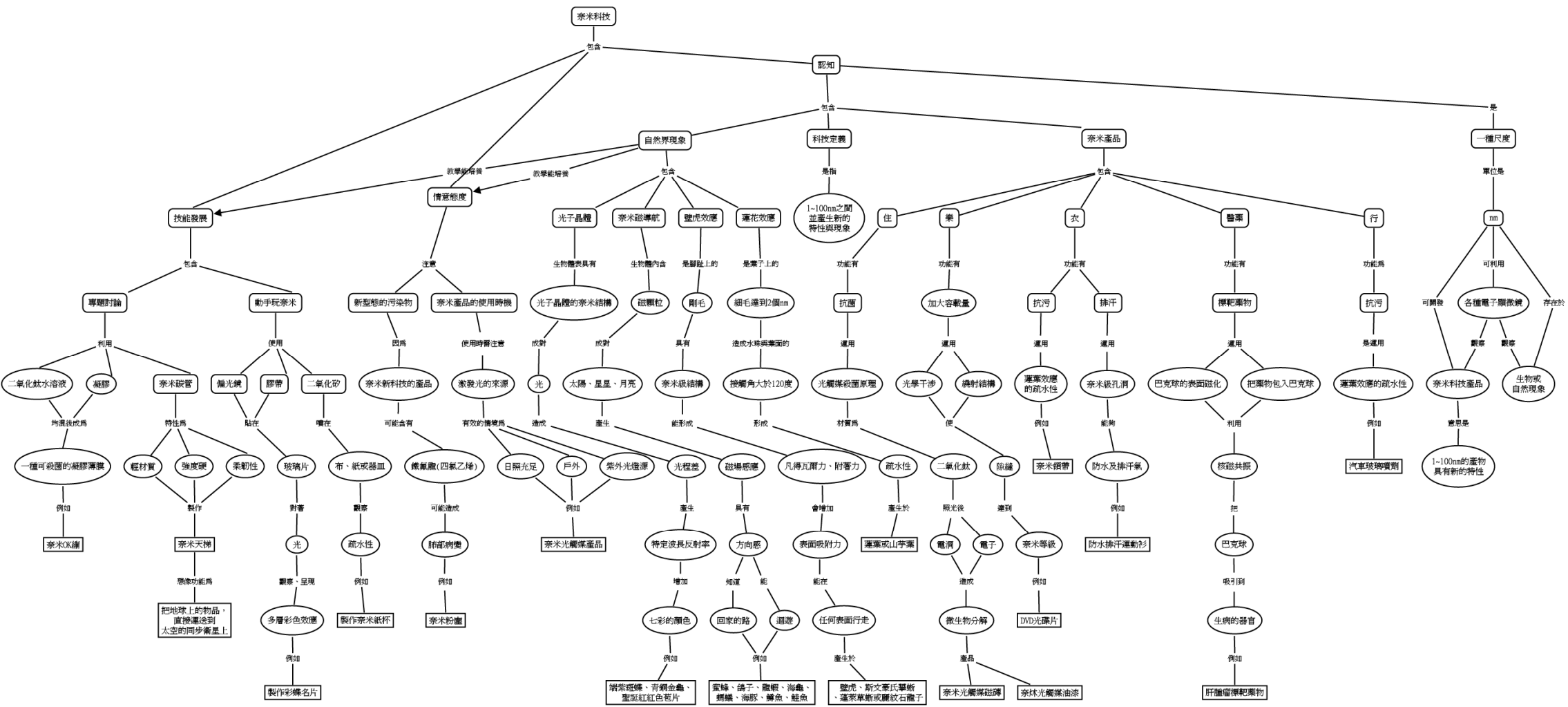


圖 2 高中奈米科技專家概念圖

表 3 高中奈米科技的命題知識陳述定稿

主要概念	次要概念	命題知識陳述細項說明	高中課程可能有的相關章節	國內奈米計畫已發展的相關教材
1. 自然界奈米現象	1.1 蓮花效應	1.1.1 荷葉或芋頭葉的表面是由一個個密密麻麻的細毛所組合而成的，絨毛結構達接近「奈米的尺度」，使水珠與絨毛的接觸面積變小，不會被水珠滲入，因此水珠能在荷葉上輕盈的滾動。 1.1.2 蓮葉表面的細毛結構，使水珠與葉面的接觸角大於 120 度，形成疏水性，所以水珠滾過蓮葉時，不但水珠會滾走，也會把附著在上面的灰塵跟著帶走。	高二物理：表面張力 11-4 接觸角	水生植物葉的蓮花效應討論奈米表面結構 奈米結構造成的疏水性和自潔效應的關係
	1.2 壁虎效應	1.2.1 許多爬蟲類生物腳趾剛毛上有匙突，屬於奈米級的結構，能行走在任何表面上，例如：壁虎、斯文豪氏攀蜥、蓬萊草蜥或麗紋石龍子。 1.2.2 具有奈米級結構的剛毛匙突，形成凡得瓦耳力，能增強與接觸面之間的作用力，可以增加表面的吸附力。	基礎化學：化學鍵 3-4 凡得瓦耳力	生物奈米現象之教學研究：掃描顯微鏡觀察壁虎的剛毛
	1.3 奈米磁導航	1.3.1 有些生物體內具有奈米級的磁顆粒，能讓牠們感應到地球磁場的變化，提供導航、避免迷路；例如：蜜蜂、鴿子、龍蝦、海龜、螞蟻、海豚、鱒魚、鮭魚。 1.3.2 有些生物體內具有極微小羅盤在指引方向，而這些極微小羅盤是由奈米尺度的磁顆粒所構成。 1.3.3 奈米磁顆粒在生物體內所扮演的角色主要為辨識位置。 1.3.4 海龜體內的奈米磁顆粒，會讓海龜的游泳方向受到星星、太陽、月亮等磁場的影響，也會受到人造磁場的影響。	基礎生物：細胞的化學組成 2-2 細胞的發現，2-3 細胞中的化學反應	介紹奈米磁導航生物 奈米磁導航融入生命教育 奈米磁在生物體的生成過程 簡易奈米磁生成實驗 奈米磁顆粒製備與簡易應用實驗

		1.3.5 鱒魚、鮭魚等迴游性魚類也是依賴體內的磁顆粒，對星星、太陽、月亮產生感應，而具有方向感能夠迴游。		
	1.4 光子晶體	1.4.1 科學家觀察某些蝴蝶翅膀，發現其鱗片的結構為奈米尺度，而且排列有規則性，這樣的構造讓蝴蝶翅膀能反射某些波長的光線。 1.4.2 所謂「偏光效應」的定義，指的就是在生物體表上呈現出不同波長的豔麗色彩，隨著觀察者角度的不同產生顏色的改變。 1.4.3 紫斑蝶和鳳斑蛾的體表都含有光子晶體的奈米結構，在光線照射下，造成光程差而產生干涉，增加特定波長反射率，形成七彩的顏色。 1.4.4 聖誕紅的紅色苞片表面，也具有光子晶體的奈米結構，所以也會產生七彩的顏色。	高三物理：光的波動 3-2 單狹縫繞射，雙狹縫干涉 簡易狹縫繞射名片製作的原理原則 物質內部奈米晶格 X-ray 繞射光譜 蝶翼鱗片上光子晶體的週期性排列，反射特定波長的可見光	
	1.5 蛾眼效應	1.5.1 科學家觀察蛾的眼睛是黑色，發現其眼睛角膜表面具奈米尺寸的構造，比入射的光線波長還小，這樣的構造讓射入的光線全部被吸收，以致完全不會反射光線而呈現黑色。		蛾眼效應的應用：不反光玻璃-眼鏡、汽車玻璃、電視或電腦螢幕。
2. 奈米定義與特性	2.1 尺度	2.1.1 奈米是一種尺度，一奈米代表是十億分之一公尺，大約是一根頭髮直徑的十萬分之一。	基礎生物： 生命樹 3-2 病毒，討論奈米尺度	表面效應、小尺寸效應的奈米材料
	2.2 觀察	2.2.1 如果沒有使用特殊的高倍率顯微鏡，而只用一般的放大鏡或顯微鏡，並無法觀察自然界生物的奈米結構。 2.2.2 我們會使用各種電子顯微觀察設備來觀察奈米級的物體。 2.2.3 將物質材料奈米化之後，不只是物質所占空間變小了，原有的功能和性質也會產生改變。 2.2.4 同體積同重量的物體，切割成愈小愈多等分時，其表面積會變大，反應速率會增快。	基礎生物：生物體的基本構造與功能 5-2 介紹電子顯微鏡 基礎化學：物質的組成 3-1 原子、分子、奈米科技	看見奈米—電子顯微鏡、原子力顯微鏡介紹 氣孔大小和蒸散量的關係，用電子顯微鏡觀察氣孔，屬於奈米等級碳的同素異形體樣本認識與模型製作

	2.3 人為產生 2.3.1 1959 年物理學家費曼先生提出「將大英百科全書的內容縮小在一個針尖上」的構想，是最早提出將物體或資料「微小化」的人，因此我們稱他為「奈米科技之父」。 2.3.2 我們可以利用奈米科技製作或操縱 1—100nm 之間的特性與現象。	基礎物理：現代科技 5-3 介紹奈米科技之父費曼先生	製做奈米二氧化矽的奈米布、奈米杯子，觀察奈米現象
3. 情意態度	3.1 新型態的污染物 3.1.1 我們應該注意新型態的污染物，因為奈米新科技的產品，在製造過程中會有極細小的粉塵產生，若從口鼻吸入或從皮膚接觸有可能造成身體的病變。 3.1.2 四氯乙烯有刺激和麻醉作用，吸入急性中毒者有上呼吸道刺激症狀，隨之出現頭暈、頭痛、噁心、運動失調及類似酒醉的症狀。	基礎生物：人類與環境，4-2 環境汙染物質	奈米科技帶來的科技便利與危機
	3.2 使用時機 3.2.1 奈米光觸媒產品使用時須注意激發光的來源，使用有效的情境是戶外、日照充足或有紫外光源的室內。 3.2.2 目前有奈米標章的產品不多，但只要有奈米標章的產品，都會有該產品的效果與用途說明，如防污、抗菌、防蝕、耐磨耗、脫臭、淨水、隔熱…等特性。		奈米銀顆粒研製及其基本理論 奈米標章介紹 奈米光觸媒的原理、反應速率與影響
4. 技能發展	4.1 專題討論 4.1.1 奈米 OK 繃就是利用自潔功能光觸媒殺菌的原理。 4.1.2 奈米 OK 繃的材質是凝膠與二氧化鈦溶液均勻混合形成一種可殺菌的凝膠薄膜。 4.1.3 太空奈米天梯是利用碳奈米管的強硬度、柔韌性和輕材質的三種特性來製成，拉成一條纜索稱之。 4.1.4 科學家未來可能利用太空奈米天梯把地球上的物品直接運送到太空的同步衛星上。	基礎化學：同分異構物，碳的同素異形體 3-2 石墨、鑽石、巴克球、奈米碳管	奈米太陽電磁、奈米去污 OK 繃專題研究 奈米光觸媒的工作原理與有機物（細菌、污染物）的分解研究 奈米碳管、奈米複合材料合成

	4.2 動手玩奈米	4.2.1 可以指導學生動手玩奈米，例如：使用二氧化矽噴在布、紙上，做成奈米布或奈米紙，可以觀察疏水性。 4.2.2 可以指導高中生製作偏光名片，就是使用偏光片和寬膠帶貼在玻璃紙上，然後對著光觀察就可以呈現多層色彩效應。	基礎化學：奈米科技介紹 4-1 奈米布料與碳黑實驗	奈米科技的基本認知 奈米布料與碳黑實驗 自製偏光名片，探討原理
5. 奈米科技產品	5.1 衣	5.1.1 運用蓮花效應的疏水性可以製造抗污的衣物，例如奈米領帶。 5.1.2 奈米級的衣物主要是利用衣物含有奈米級孔洞能夠防水和排氣，常做成防水排汗運動衫。	基礎化學：生活中的物質 5-2 衣料與化學	奈米光觸媒帽子製作 UV 燈檢測光觸媒的除臭功能
	5.2 住	5.2.1 我們住家常利用光觸媒殺菌的原理研發奈米光觸媒瓷磚或是奈米光觸媒油漆。 5.2.2 奈米光觸媒瓷磚的材質是二氧化鈦，照光之後會產生電子和電洞，它們與水和氧發生反應會產生活性氫氧自由基及過氧基活性氧成分，這些成分具分解有機化合物的能力；會造成微生物的分解而達到抗菌的功能。 5.2.3 奈米光觸媒油漆材質也是二氧化鈦，一樣有抗菌的功能。	基礎化學：生活中的物質 5-3 奈米材料	二氧化鈦光觸媒的作用原理與機制 二氧化鈦光觸媒的藍光研究 奈米磁磚、奈米馬桶 光波奈米光觸媒噴劑
	5.3 行	5.3.1 氣窗、玻璃噴劑的產品是運用蓮葉效應的疏水性做成的，所以能夠抗污、排水。		奈米可見光之光觸媒在環境清淨的應用
	5.4 樂	5.4.1 奈米光碟片運用光學干涉或繞射結構，使縫隙達到奈米等級，可以加大記錄的容載量。	高三物理：光的波動 3-2 單狹縫繞射，雙狹縫干涉	CD 和 DVD 基板 自製 Magic window
	5.5 醫學	5.5.1 治療癌症的標靶藥物之一，就是利用奈米金粒子達到標靶器官，再用加熱治療使癌細胞殺死而達到治療的效果。	基礎化學：化學電池 4-4 氧化還原反應	黃金、紅金、紫金、黑金—都是金

5.5.2 運用巴克球包覆標靶藥物，改變巴克球表面的酸鹼值，以利通過腸胃道，到要治療的器官。	化學還原法製備金奈米粒子
5.5.3 裝載標靶藥物的巴克球表面官能基會被磁化，才能利用核磁共振的原理吸引到生病的器官，產生醫療效果。	奈米銀薄膜的製作
5.5.4 用於肝腫瘤的標靶藥物，例如：sorafenib 能有效控制腫瘤生長，並達到延長患者生命的療效。	

以表 1 和圖 2 完成專家效度的專家概念圖，去建構高中奈米科技的命題知識陳述，再經過專家來回修正而完成內容效度，呈現如表 2 和表 3 所示。從表 3 發現，現有高中奈米科技課程都是簡單的介紹和奈米名詞引介，如：基礎化學提及碳的同素異形體，石墨、鑽石、巴克球、奈米碳管；但國內奈米計畫已發展的教材，則有詳細的教案和奈米科技概念，如：奈米光觸媒的原理、反應速率與影響。本研究建構的命題知識陳述和國內奈米計畫已發展的教材緊密結合，希望科學教師能融入高中課程使用，以命題知識陳述來引導學生學習奈米科技。

Lemke (1990) 認為學習科學是在學習如何說科學 (talking science)，也就是學習如何像科學社群裡的人一樣，用科學的語言 (language of science) 來溝通。本研究將高中奈米科技課程的專家概念圖轉化成命題知識陳述，其目的是希望科學教師能在科學教室中使用，以命題知識陳述來引導學生學習科學名詞的語意關係 (semantic relationship)，並聯結各個語意關係成為對話中的主題模式 (thematic pattern)，例如：「光子晶體」的命題知識陳述如下：紫斑蝶和鳳斑蛾的體表都含有光子晶體的奈米結構，在光線照射下，造成光程差而產生干涉，增加特定波長反射率，形成七彩的顏色。這樣的主題模式和科學知識相關的部分，就是科學概念與科學概念之間的關係，如此有助於奈米科技教學模組的設計與教學 (Drane et al., 2009; Hersam et al., 2004)。

根據圖 2 專家概念圖和和表 3 命題知識陳述編製情境式問卷，分為 17 個「命題情境」，每個「命題情境」出現 1-3 題開放式問題，可以讓科學教師篩選哪些「命題情境」是他們教過的，自由組合來測試學生。整理專家群覺得非常重要而決定修正的意見如表 4 所示；此表格說明 A 群專家主要針對情境式問卷每個「命題情境」敘述是否

明確做修正，B 群專家針對情境式問卷題目的多寡做修正，C 群專家則針對情境式問卷每個「命題情境」和「提問」，學生是否了解做修正。

表 4 高中奈米科技的情境式問卷的內容效度修正意見

專家群	專家群提出應修正的內容與建議	最後修正的內容
A 群	1 製作塑膠的材料四氯乙烯屬於奈米尺度的材料，如果處理不當會造成上呼吸道怎樣的疾病？寫得不清楚，建議修正。	製作塑膠的材料，如：四氯乙烯，若將它研磨成奈米尺度的顆粒，如果處理過程不當，會造成上呼吸道怎樣的疾病？
	2 端紫斑蝶和鳳斑蛾的鱗片會呈現奈米尺寸的週期性排列，這和照光角度不同就會改變顏色有關嗎？寫得不清楚，建議修正。	紫斑蝶和鳳斑蛾的鱗片排列有規則性，鱗片大小為奈米等級，這些昆蟲會因照光角度不同就會改變顏色嗎？
	3 牠們身體裡面有一種特殊的構造，稱為磁顆粒，它的作用和羅盤很類似，能夠感應地球磁場的變化。應該強調和奈米的關係。	牠們身體裡面有一種特殊的構造，稱為磁顆粒，它的粒徑是奈米等級，其作用和羅盤很類似，能夠感應地球磁場的變化。
	4 你認為壁虎腳上瓣膜的絨毛突起是否能增加吸附力，為什麼你這樣認為？寫得不夠正確	你認為壁虎腳上瓣膜剛毛的匙突是否能增加吸附力，為什麼你這樣認為？
B 群	1 題目會不會太多，學生寫不完。	以命題情境做自由搭配，讓教師選擇自己教過的命題情境，組合成一份問卷。
	2 沒有意見	
C 群	1 具有大容量的光碟片，它儲存記憶體的原理為何？問法不好，學生很難回答。	想一想：如果你要有「更小體積而具有超大容量」的光碟片，應如何才能辦到？
	2 命題情境：滴水在蓮葉和芋頭葉上會形成水珠，很快就流走了，描述得不好。	滴水在蓮葉和芋頭葉上會形成水珠，水珠很輕易就可以流動。
	3 命題情境：葉子表面有絨毛狀的結構，感覺上比水珠還要小，是不是因為這樣水珠無法進入葉內，就流走了。寫得不好。	發現葉子表面因為絨毛這樣的結構使水形成圓珠狀，大幅減少接觸面積。再仔細觀察一下，發現絨毛和水珠之間的接觸角大於 90 度。

根據專家群的建議來回修正後，最後建立高中奈米科技情境式問卷的內容效度。本情境式問卷共分成 17 個命題情境，命題情境 1~5 談自然界奈米現象，命題情境 6~8 談奈米定義與特性，命題情境 9~10 談研究奈米科技的情意態度，命題情境 11~12 談研究奈米科技的技能發展，命題情境 13~17 談奈米科技產品。以兩個「命題情境」作為示例，呈現情境式問卷如表 5 所示，其餘的放在附錄，提供參考。

表 5 高中奈米科技兩個命題情境的情境式問卷定稿

命題情境一	我們做一個蓮葉和芋頭葉的滴水實驗，發現滴水在蓮葉和芋頭葉上會形成水珠，水珠很輕易就可以流動，且流過的地方葉子變乾淨了。接著利用顯微鏡觀察蓮葉和芋頭葉的表面，發現葉子表面因為絨毛這樣的結構使水形成圓珠狀，大幅減少接觸面積。再仔細觀察一下，發現絨毛和水珠之間的接觸角大於 120 度。	提問	1.水滴在蓮葉和芋頭葉表面會形成水珠，你認為可能的原因是什麼？ 2.蓮葉和芋頭葉表面絨毛狀的結構，和葉表面會形成水珠有什麼關係？ 3.為什麼水滴流過蓮葉和芋頭葉的地方會變乾淨？
命題情境二	晚上我們經常看到壁虎倒立爬在天花板上都不會掉下來，甚至爬在玻璃窗上也可以迅速移動，為什麼人類就不行呢？為了解開這個謎題，我們利用掃描式電子顯微鏡觀察壁虎的腳，發現壁虎腳上有很多塊瓣膜，每一個瓣膜上面又有非常多的剛毛，具有匙突的突起物，匙突尺度非常小，大約只有 80~100 奈米，這樣能增加表面的吸附力嗎？	提問	1.你覺得壁虎在天花板上行走不會掉下來的原因是什麼？ 2.你認為壁虎腳上瓣膜剛毛的匙突是否能增加吸附力，為什麼你這樣認為？

從表 4 和表 5 發現，情境式問卷有「命題情境」做科學現象與科學概念的引導，如：命題情境一「蓮花效應」，先做蓮葉疏水現象和自潔現象觀察的引導，然後說明科學家的研究發現，蓮葉表面絨毛結構間的角度特性；才提問學生，讓學生發表自己的學習發現。如此，方便高中科學教師觀摩，思索可以融入的教材，也了解高中生應該具備哪些奈米科技概念，應該如何著手設計高中奈米科技的課程。

情境式問卷的調查，就是要求學生表達出自己的見解，這樣可以蒐集學生的正確認知和另有概念，再配合文獻探討、教師訪談的資料，可以用來編製二階層概念診斷

的試題（陳均伊等，2004；盧秀琴，2003）。到目前為止，台灣仍沒有調查高中奈米科技學習的情境式問卷，本研究根據專家概念圖（圖 2）和命題知識陳述（表 3）編製此情境式問卷，屬於一套非常完整的編製流程；能提供高中科學教師進行「奈米科技」教學時使用，不僅能評量學童的學習，還可以蒐集學生各種的答案，包含正確答案和另有概念，作為發展二階層診斷式試題的參考。

我國已經連續發展 7 年奈米科技，也希望推廣到 K-12 的教育，但多數的高中教師對於奈米科技概念相關名詞偏向於只聽過，對於它的定義則不清楚，對於各細項敘述之意義、特性或功能仍存有疑慮（陳麗文、陳淑思，2006）。為什麼會這樣呢？綜合本研究的調查、整理發現，主要是因為高中課程綱要在「奈米科技方面」的介紹很少而偏向基本認識，例如：奈米科技之父、奈米尺度、碳的同素異形體和奈米材料，無法和國內奈米計畫已發展的相關教材接軌；本研究結合國內專研奈米科技的科學家、專研概念構圖的科教專家、從事奈米科技教學的高中資深教師，一起建構高中奈米專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷，屬於一套非常完整的編製流程，又能與國內奈米計畫已發展的相關教材緊密結合；如此可以協助發展高中課程綱要和課程內容，盡快讓國內奈米計畫已發展的相關教材轉化成高中的奈米科技教材。

伍、結論與建議

一、結論

奈米科技已被普遍認知為「第四次的工業革命」，不論在環境、醫療、資訊，一直到日常生活的衣、食、住、行、育、樂等，均可藉由奈米科技的研發，轉型並發展出新的機會與商品，進而衍生出無限可能的商機；台灣連續提出 k-12 培育奈米人才計畫，以奠定我國奈米科技發展的基礎。本研究組織研究團隊，成員包含研究奈米科技的學者專家、科教專家與科學教師，共同蒐集國內計畫已發展的奈米科技課程、教學活動與文獻資料作為依據，使用焦點團體法一起擬定高中奈米科技的專家概念圖、命題知識陳述和情境式問卷，並聘請專家群完成內容效度的檢覈。1.高中奈米科技專家概念圖：主概念包含認知、情意態度和技能發展，每一個主概念再各自從普遍概念發展到特殊概念，並以例子做說明，加以澄清概念；三個主概念之間又有互相連結，

說明彼此的關係，如此可以讓高中教師了解高中奈米科技課程應該包含哪些概念，它們之間的交互作用為何。2.高中奈米科技命題知識陳述：強調科學名詞的語意關係，並增加很多科學原理的呈現，例如：自然界的蓮花效應，增加說明蓮葉表面的細毛結構，使水珠與葉面的接觸角大於 120 度，形成疏水性，所以水珠滾過蓮葉時，不但水珠會滾走，也會把附著在上面的灰塵跟著帶走。如此可以讓高中教師了解每一個高中奈米科技概念背後的科學原理，並和現有高中的基礎物理、基礎化學、基礎生物的科學概念作連結，做延伸式或融入式的教學。3.高中奈米科技情境式問卷：分成 17 個「命題情境」，每個「命題情境」有 1-3 題開放式提問，高中教師可先閱讀這些「命題情境」，配合自己的課程選擇可以延伸或融入的「課程概念和命題情境」做「奈米科技」教學，富於機動性。教學後使用開放試卷測試測試學生，能蒐集學生學習奈米科技的正確認知和另有概念，作為本研究第二年發展「高中奈米科技」二階層診斷式試題的參考。

二、建議

雖然台灣奈米計畫已發展非常多的「奈米科技」教材，但高中課程綱要在「奈米科技」方面仍侷限於「奈米科技」的基本認識，對於自然界奈米現象、奈米科技產品研發和使用須知等教材則闕如。本研究發展的高中奈米科技課程的專家概念、命題知識陳述與情境式問卷，可以協助「發展高中課程綱要」研發小組，盡快讓國內奈米計畫已發展的相關教材轉化成高中可使用的「奈米科技」教材。高中的自然課程要融入「奈米科技」教材時，建議可以蒐集自然界奈米現象的資訊、目前奈米科技產品的設計原理，和目前高中課程相關的科學理論等去構思教學活動；建議教師進行「奈米科技」教學時，不仿提供學生擬定「奈米科技」研究專題的機會，讓學生關注自然界的「奈米現象」，去理解該現象背後的「科學原理」，進而研發相關的「奈米科技產品」。

誌 謝

本研究能夠順利完成，首先感謝行政院國家科學委員會的經費支持（NSC98-2120-S-002-003-NM）；再者，感謝專家群的協助，幫忙完成高中奈米科技的內容效度；最後，感謝研究團隊的鼎力相助，工作一年使能完成本論文。

參考文獻

- 北區奈米科技 K-12 人才培育計畫 (2009)。2009 年 10 月 25 日，取自奈米科技人才培育網 <http://www.nano.edu.tw/entry/album.htm>
- 宋曜廷 (2009)。**概念圖的基礎：學科概念的萃取與階層的組織**。發表於各教育階段奈米及能源科技課程概念圖建構研習營，國立台灣師範大學教育心理與輔導學系，台北市。
- 李世光、林宜靜、吳政忠、黃圓婷、蔡雅雯 (2003)。奈米科技人才培育計畫之推動規劃與展望：從 K-12 奈米人才培育試行計畫談起。**物理雙月刊**，25(3)，435-461。
- 呂宗昕 (2005)。**圖解奈米科技與光觸媒**。台北：商周出版社。
- 陳均伊、張惠博、郭重吉 (2004)。光反射與折射的另有概念診斷工具之發展與研究。**科學教育學刊**，12(3)，311-340。
- 陳學志 (2009)。**Camp Tools-概念圖免費軟體使用簡介**。發表於各教育階段奈米及能源科技課程概念圖建構研習營，國立台灣師範大學教育心理與輔導學系，台北市。
- 陳麗文、陳淑思 (2006)。**中部地區國民小學教師對奈米科技之認識**。發表於第 22 屆科學教育學術研討會，國立臺灣師範大學，台北。
- 教育部 (2002)。**奈米國家型科技計畫規畫報告 (全程計畫 92 年~97 年)**。台北：教育部。
- 楊坤原、張賴妙理 (2004)。發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念。**科學教育學刊**，12(1)，107-131。
- 廖達珊、胡苓芝、潘彥宏、孫蘭芳 (2004)。**奈米科技交響曲—生物篇**。台北：臺大出版中心。
- 鄭湧涇 (2000)。Using a diagnostic assessment instrument to assess understanding of biology concepts。載於簡茂發 (主編)，八十九學年度「自然科學概念學習研究工作坊」會議手冊 (頁 3-32)。臺北：國立台灣師範大學。
- 盧秀琴 (2003)。顯微鏡下的世界兩階層診斷式紙筆測驗的發展與效化。**國立臺北師範學院學報**，16(1)，112-136。
- 薛富盛、呂福興、吳宗明、曾東模 (2008)。**金顆億粒—奈米金粒子實驗**。台中：GB 國家網路書店。
- 譚克平 (2009)。**理論篇：概念圖的原理及製作**。發表於各教育階段奈米及能源科技課程概念圖建構研習營，國立台灣師範大學教育心理與輔導學系，台北市。

- 蘇俊鐘 (2003)。蓮花效應。2005 年 4 月 24 日，取自奈米科學網
http://nano.nchc.gov.tw/dictionary/lotus_effect.html
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2006). *Biology concepts & connections* (9th ed.). San Francisco, CA: Benjamin Cummings Company press.
- Drane, D., Swarat, S., Light, G., Hersam, M., and Mason, T. (2009). An evaluation of the efficacy and transferability of a nanoscience module. *Journal of Nano Education*, 1(1), 8-14.
- Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21(3), 203-211.
- Hersam, M. C., Luna, M., & Light, G. (2004). Implementation of interdisciplinary group learning and peer assessment in a nanotechnology engineering course. *Journal of Engineering Education*, 93, 49-57.
- Lemke, J. M. (1990). *Talking science: Language, learning, and value*. Norwood, NJ: Ablex.
- Novak, J. D. (1993). How do we learn our lesson? *Science Teacher*, 60(3), 50-55.
- Novak, J. D., & Gowin, D. (1984). *Learning how to learning*. New York: Cambridge University Press.
- Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
- Peterson, R. F., Treagust, D. F., & Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301-314.
- Söderlin, P. (2009). *Problem formulation/Problem situation questionnaire*. Retrieved January 23, 2009, from <http://www.triz-journal.com/forum/showthread.asp?messageID=1548>.
- Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 283-301.

- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159-169.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp.327-346). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Treagust, D. F. (1996). Concept mapping: A tool for improving science teaching and learning. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 32-43). New York: Teachers College Press.
- Treagust, D. F. (1997). *Diagnostic assessment of students' science knowledge*. Paper presented at the 1997 International Workshop on Student's Concept Development, Understanding Diagnosis and Teaching, National Taiwan Normal University, Taipei.
- Treagust, D. F. (2000). *An instrument to diagnose students' conceptions of breathing, gas exchange and respiration*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Sheraton New Orleans Hotel, New Orleans.
- Wandersee, J. H. (1990). Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 923-936.

投稿收件日：2010 年 3 月 2 日

接受日：2010 年 6 月 3 日

附錄：高中奈米科技的情境式問卷定稿

命題情境三	在大自然的生物界中，有許多迴游生物，例如：海龜、鱒魚；又有許多能夠辨識方位的生物，例如：蜜蜂、鴿子、龍蝦。為什麼這麼神奇，難道牠們身體裡面有羅盤嗎？查資料知道牠們身體裡面有一種特殊的構造，稱為磁顆粒，它的粒徑是奈米等級，其作用和羅盤很類似，能夠感應地球磁場的變化。這些生物能觀察星星、太陽、月亮的位置和身體裡面的磁顆粒交互作用後，就能夠找到回家的路。	提問	1.你認為迴游性的生物是如何辨識方位的？ 2.你認為會辨識方位的生物，和牠們身體裡面的磁顆粒有何關係？ 3.你認為生物體內的磁顆粒是怎樣的構造？為什麼它可以幫助生物辨識方位？
命題情境四	我們在野外進行觀察時，會看到紫斑蝶和鳳斑蛾體表上的顏色，一下子呈現綠色，一下子呈現藍色，一下子又呈現藍綠色，為什麼會這樣子呢？我的皮膚照光也不會改變顏色呀！觀察這些生物的結構發現，紫斑蝶和鳳斑蛾的鱗片排列有規則性，鱗片大小為奈米等級，這些昆蟲會因照光角度不同就會改變顏色嗎？	提問	1.你看到紅色的花，為什麼它是紅色的？原理是什麼？ 2.你認為端紫斑蝶和鳳斑蛾照光後，體表上會呈現不同顏色是什麼原因？ 3.蝴蝶翅膀的鱗片有週期性排列，屬於奈米尺寸光子晶體，這會如何影響蝴蝶體表的呈色？
命題情境五	科學家在觀察蛾類時，發現很多蛾類的眼睛都呈現黑色，可是果蠅的眼睛卻是紅色的，為什麼會有這種差異呢？利用掃描式電子顯微鏡觀察蛾的眼睛，發現蛾類眼睛角膜表面有許多奈米尺寸的纖毛，果蠅的眼睛卻沒有這種構造，難道蛾類有纖毛的眼睛就會呈現黑色嗎？	提問	1.為什麼某些蛾類的眼睛是黑色的，它的原理是什麼？ 2.你認為蛾類眼睛的纖毛，跟眼睛呈現黑色有絕對的關係嗎？為什麼？
命題情境六	我們經常想宇宙有多大？地球有多大？你知道你的身高有多高嗎？你知道頭髮的直徑有多大嗎？DNA 的半徑有多小嗎？	提問	1.肉眼可以看得到 1 奈米大小的東西嗎？ 2.1 奈米相當於多少公尺呢？ 3.NBA 籃球員的身高是 2 公尺，相當於 20 億奈米，那一奈米有多小？

命題情境七	如果我們用一般的光學顯微鏡可以觀察到蓮葉效應嗎？為什麼科學家可以觀察得到呢？因為他們用電子顯微鏡去觀察。光學顯微鏡能觀察到的最小尺度為 200 奈米，而電子顯微鏡能觀察到的尺度則為 0.1 奈米。我們在野炊時會把木炭變小以方便生火；泡咖啡時會習慣把糖磨細來增加溶解速率，所以當尺度變小，則增加接觸表面積，使得反應速率增加，甚至會產生一些不一樣的功能或性質。	提問	1.如果現在有一個邊長為一公尺立方的正立方體，把它切成為邊長為一公分的立方體，請問它的總表面積會增加多少？ 2.質量與溫度相同的鐵棒和鐵絲絨，何者比較快完全氧化？ 3.如果把黃金變成奈米尺度的金顆粒稱為奈米金，你認為它有什麼改變嗎？
命題情境八	小說中的福爾摩斯時常拿著放大鏡觀察；科學家虎克改良顯微鏡用來觀察細胞；人們對於微小的物體，自古以來都感興趣，想透過各種方法來觀察微小的東西，甚至操控它。 在 1933 及 1982 年所發明的掃描式電子顯微鏡（SEM）及掃描穿遂式顯微鏡（STM）大大的提升了科技的發展，讓人類可以看到微小尺度的東西。	提問	1.請問微米為 10 的幾次方公尺？奈米又是 10 的幾次方公尺？ 2.奈米科技產品指的是什麼意思？ 3.想要觀察奈米尺度的物品，可以使用哪些工具？
命題情境九	在日常生活中，奈米尺度的東西我們無法發現，因為肉眼看不見，常常忽略了它對人類帶來的危險威脅，例如一些奈米尺度的粉塵就可能影響我們的呼吸道。奈米的化妝品、防曬油在細胞孔隙中可以長久保持其功效，但卸妝需要花很大的功夫，所以奈米科技的發展有著一體兩面的問題，值得我們去思考。	提問	1.奈米尺度的粉塵為何能傷害我們的呼吸道？ 2.製作塑膠的材料，如：四氯乙烯，若將它研磨成奈米尺度的顆粒，如果處理過程不當，會造成上呼吸道怎樣的疾病？
命題情境十	號稱奈米的產品有很多，但是消費者無法判斷真偽；經濟部為了保障大家權益對於奈米產品進行認證，推行奈米標章，不希望廠商為了宣傳功效而標榜奈米，造成奈米產品的氾濫與誤解，不過目前通過奈米標章的產品類型並不多。奈米科技的新產品如何使用，以及應用範圍和原理為何？	提問	1.你覺得應該如何選擇奈米產品才是正確的？ 2.市面上聲稱有奈米能量水，你會在何種情況下購買？原因為何？ 3.請你逆向思考奈米產品可能有哪些缺點？

命題情境十一	奈米科技的發展還在初期，還需要很多年的研究才會真正成熟。奈米碳管發明之後，根據碳奈米管的強硬度、柔韌性和輕材質的三種特性，人類異想天開的想法，想製成太空天梯到月球去，可能達成願望嗎？奈米光觸媒（二氧化鈦）是在偶然的機會被發現的，這些都是很好的產品，為何應用還是那麼的少？其實在應用的層面還有很多問題需要解決。	提問	1.你認識奈米碳管嗎？你能舉出奈米碳管所運用的原理嗎？ 2.請你根據奈米的特性，研發一個奈米尺度的產品？
命題情境十二	奈米科技有這很多的應用價值，如果能了解原理，就可以親身體驗奈米科技產品的特殊性和應用價值，例如將奈米顆粒噴灑在紙上、可以藉此觀察奈米顆粒造成的疏水性效果，進一步的討論蓮葉為何具有疏水性的原理，甚至思考這樣的技術可以推廣應用在哪裡？此外，如果你了解透過偏光片與膠帶可以製造多層色的效應，你就知道偏光名片以及液晶螢幕顯示的原理。	提問	1.你能將奈米科技的疏水性運用在哪些方面？ 2.天文館的 3D 立體電影用的眼鏡是偏光片做的，我們戴上這種眼鏡，為什麼可以看到 3D 影像？
命題情境十三	奈米產品的應用很廣，例如奈米衣服、奈米領帶和奈米鞋子等能夠防水又抗污，運動排汗衫的纖維中有奈米孔隙，可增加排汗與透氣的功能，以達到涼爽且保暖的功用。	提問	1.運動排汗衫的纖維中有奈米孔隙，為什麼就可以排汗和透氣？
命題情境十四	台灣是一個溫暖潮濕的地方，容易生長黴菌，但使用奈米光觸媒的產品，例如奈米光觸媒瓷磚、奈米光觸媒油漆，照射紫外線（陽光中的紫外線）之後就具備抗菌的效果。奈米光觸媒的材質是二氧化鈦，它們具備什麼特性，這麼神奇可以抗菌？	提問	1.二氧化鈦所製造的奈米光觸媒油漆，塗在室內和室外哪一個比較能抗菌？為什麼？ 2.二氧化鈦所製造的奈米光觸媒磁磚，照射太陽光後為什麼可以抗菌？

命題情境十五	在雨中行進的車子，車窗玻璃會模糊不清，使開車的人產生某種程度的危險，如果把車窗玻璃改成奈米科技的產品，就可以順利排水甚至有防污的效果，這是科技的一大進步，讓開車的人既舒適又安全。	提問	1. 為什麼奈米科技做成的汽車玻璃能夠排水又防污？
命題情境十六	我們現在可以把十部電影和一萬首流行歌曲全部存放在一片小小的光碟片中，這是現在科技可以做到的。為什麼這麼小的光碟片具有這麼大的容量？	提問	1. 想一想：如果你要有「更小體積而具有超大容量」的光碟片，應如何才能辦到？
命題情境十七	現今人類的癌症已變成一種慢性病而非致死的病，為什麼呢？因為我們針對各種的癌症研發標靶藥物，奈米科技使標靶藥物的功效大大提升，使人恢復健康。	提問	1. 奈米科技產品的標靶藥物為什麼能直接攻擊癌細胞，而不會傷害其他的正常細胞？
