

融合 5E 探究式教學法的高中職奈米科技專題實驗教材設計－以「奈米二氧化鈦光觸媒」為例

楊和學 石豫臺*

國立彰化師範大學 物理系

*通訊作者: ytshih@cc.ncue.edu.tw

(投稿日期：民國 102 年 11 月 30 日，修訂日期：103 年 01 月 06 日，接受日期：103 年 01 月 08 日)

摘要：本研究針對奈米科技領域中的「光觸媒」概念，以 5E 探究式教學法為設計理念，以奈米二氧化鈦光觸媒為教學主題，開發出高中職適用的奈米科技專題實驗教材與課程。本教材在實施時，亦與一般驗證式實驗教學進行對照，之後再透過量化與質性資料的蒐集與分析，探討融合 5E 探究式教學法的奈米二氧化鈦光觸媒專題實驗教材對光觸媒概念學習與探究能力培養的成效。本教材有以下幾點特色：(一)活動與問題結合，提供學生思考情境；(二)透過對話營造新的問題與假設；(三)經過討論統整正確的觀念；(四)引導相關概念後，才進行實驗操作與紀錄；(五)對於實驗現象與數據的開放式討論與解釋；(六)實驗實作與概念引導結合，交錯進行。量化分析的結果顯示，本教材對學生在奈米二氧化鈦光觸媒的「概念學習」與「探究能力培養」確有顯著成效。藉由質性資料深入探討後更發現，將概念探究與實驗教學結合的教學策略，有助於提高學生在課堂的學習力。

關鍵詞：奈米科技、5E 探究式教學法、奈米二氧化鈦光觸媒、專題實驗

壹、前言

一、探究教學模式與實驗課程結合

近代科學教育認為學生的科學實驗應該設計成能幫助學生了解科學探究的本質，所以建議減少機械式和食譜式的操作，空出較多的時間提供學生做更深入的探究，因此在

教學模式設計上，探究活動即為核心主軸。在教材設計上，除了培養基礎科學素養外，對於知識探索、驗證、歸納、溝通、...等能力更加著重，目標在於培養學生解決問題的能力。

課堂裡的探究活動受限於學習者的認知發展，其任務的難易度無法全然與科學家進

行的科學探究相比擬，但學習者仍可進行與科學家工作相似的探究活動 (National Research Council, [NRC], 2000)。因此考量不同階段學生的認知發展，在探究式教材設計上，對於概念的教學就必須有不同的詮釋。

Hofstein 與 Lunetta(1982)指出「實驗課程」為一項具有核心價值以及學習特色的議題。藉由運用實驗室裡所需的科學知識、操作技能、科學態度...等，可引導學生獲得更佳的科學學習成效。蕭次融(1998)指出，實驗是使用具體的實物，在適當控制的條件下實際操作，以產生可測量或觀察的現象，進而利用實際的感官以形成知識概念，因此實驗在中等學校的科學教育中顯得格外重要。

環視當今中等學校的實驗課程，在普通高中的實施狀況並不理想，在專業取向的高職則執行得較為落實。但普遍而論，絕大多數高中職的實驗教材，仍舊採用一般驗證式實驗(食譜式實驗)教學模式，教材多以讓學生遵照步驟「驗證」實驗結果為目標，並無探索與創新的元素成份。學生上完課之後，對於實驗的操作可能較為熟練，但對於概念與實驗的連結卻仍然相當薄弱。Hodson(1990)也指出，實驗室的活動如果只是動手操作，而沒有讓學生清楚察覺學習目的，對學生的學習不會有助益反而產生困惑。

有鑑於此，本研究在結構式探究教學模式的基礎上，將概念探究與實驗教學課程相結合，進行高中職實驗課程的改進設計。目的在使學生可於實驗活動中探究知識、整合概念，進而進行較為深入的量測，並對量測結果有更深層次的詮釋。

二、奈米概念的學習

隨著奈米科技的蓬勃發展，市面上也充斥著各式各樣的奈米科技教材，但綜觀現今

已開發的高中職奈米科技教材，多數仍以傳統的知識講述方式鋪陳，很少有教材可讓學生透過探究與互動的實驗過程，親自製做奈米材料，觀測奈米現象。為此，本研究之實驗教材，有別於以往傳統式實驗教材，改以概念為主軸發展實驗，以生活化的現象設計實驗，並針對應學習的概念設計探究式教學流程。本教材的設計著重於實做、問題解決、邏輯思考等多面向能力訓練，符合近代科學教育發展的主流。

雖然現在生活中已有很多日用品是奈米科技的產物，學生們也普遍對於奈米科技的基本概念有一些接觸，然而，在奈米科技知識的建構過程中，卻存在許多誤解，造成學生對於奈米知識的迷思。以奈米二氧化鈦光觸媒為例，諸如「光觸媒只能是奈米等級」、「光觸媒的殺菌、去污原理是一樣的」、「奈米光觸媒只要照光就行了」、「奈米材料都可以是光觸媒材料」...等都是學生常有的誤解。有鑑於此，本研究之教材融合實驗實做、理論探究、趣味應用等面向，並歸納現行專書中常見的錯誤及學生可能存在的迷失概念，予以導正。希望藉由本教材的實施，可以提升學生對於奈米科技概念的正確認知。

綜合以上所述，作者期望透過這次研究，發展出適用於高中職之 5E 探究式奈米科技專題實驗教材。藉由教材的實施，學生除可獲得與傳統驗證式實驗教材相同的操作能力訓練外，亦可達到概念學習與實務連結的效果，更可以在探究的過程中培養如溝通、驗證、科學問題導向...等多面向能力。

貳、文獻探討

一、學習環發展與學習環教學模式

學習環源自於皮亞傑的認知發展理論中的「心智功能概念」(mental function concept) (Abraham & Renner, 1986)。學習環中的探索、概念發明、概念擴展乃是基於皮亞傑理論中的同化、失衡、調適與組織，亦即教師發展的課程應給學生機會去進行環境資料同化，發展概念去解釋或組織資料以進行調適，運用或擴展新概念去解釋不同現象，並將新概念與舊知識組織起來。學習環發展已有多年，依據多位學者整理相關研究(Bybee, 1993; Lawson, A. E, 1995; Trowbridge & Bybee, 1990; 鍾聖校, 1999)，可歸納學習環發展的歷史概略，如表 1 所示。5E 學習環教學模式以學生為主體，著重「探究」與「解釋」。教學過程非單一路徑，教學循環可因學生反應而有所微調。教師可依據評量階段，決定回到那個階段重新進行教學循環。古士宏(2005)也提到，教師採取活化 5E 學習環教學模式，有助於教學的即時改進並提升學生的學習效率。

二、探究式實驗教學

探究式實驗教學法是一種科學的思考方法，教師從學習的情境中，引導學生發現問題、認清問題所在、進而提出可能的假設、擬定可行的解決方案、選擇最合適的方案、驗證假設並獲致結論。因此，此法是一種歷程取向的教學方法，強調以學生為中心，可培養學生獲得九年一貫課程總綱中宣示的「運用科技與資訊」、「主動探索與研究」及「獨立思考與解決問題」等基本能力(林建隆，徐順益，2007)。

在課堂中成功實施探究式教學，需具備三個決定性的要素：(一)教師必須了解科學探究的本質；(二)教師必須對特定學科的結構有足夠的了解；(三)教師必須熟練探究式

教學的策略。教師若缺乏上述的知識和能力，則選擇性較少，只能以較無效的講授式教學方法來教導科學 (Lawson, 1995)。

Herron (1971)依據探究問題、操作程序以及解答提供與否，將探究分四個層次：第 0 層次，食譜式探究(Confirmation inquiry)：研究問題、研究方法及器材，甚至連預定的研究結果都由教師事先提供、告知給學生；第 1 層次，結構式探究(Structured inquiry)：研究問題、研究方法及器材由教師事先提供給學生，但沒有告知其預定的研究結果；第 2 層次，引導式探究(Guided inquiry)：教師提供學生問題以及研究所需的器材，學生必須自己去發展研究方法以解決問題；第 3 層次，開放式探究(Open inquiry)：學生必須自己建構及設計研究問題、方法、所需器材，連研究結果事先都是未知，必須從研究過程中自行探究出研究結果。就本研究而言，作者認為在高中職階段的探究教學，由於學生的先備知識有限，教師必須有適度的引導，才能在有限的時間內，讓學生體現探究的歷程又同時兼具概念的學習。故本 5E 探究式專題實驗教材之探究教學採用「結構式探究」層次，在情境提供、問題產生與假設及研究方法設計等部分，將由老師進行引導與提供協助，課程進行過程著重於培養學生蒐集資料、分析資料、形成結論、溝通與發現、應用等探究能力。

三、高中職奈米科技相關課程的開發現況

現今一般奈米課程設計與開發，著重在兩個方面，一個是奈米概念的教學課程，另一個則是奈米實驗課程。國內對於奈米科技教育方面的研究，分為兩大主軸：(一)學生認知學習概念的過程；(二)教師對於奈米知

表 1：學習環發展歷史概略

時間	研究者	學習環	內容
1957	Karplus等人		開始進行SCIS課程計畫。
1967	Karplus & Their	探索 (Exploration) 發明 (Invention) 發現 (Discovery)	1967年Karplus & Their首先明確提出探索、發明、發現三個階段，而1970年在SCIS教師手冊首次提出「學習環」這個用語(Lawson, A. E, Abraham, M. R. & Renner, J. W., 1989)。
1977	Karplus & Lawson	探索 (Exploration) 概念引介 (Concept introduction) 概念應用(Concept application)	很多教師不了解 Karplus & Their 提出的探索、發明、發現三階段的意涵，於是 Karplus 將三階段改為探索、概念引介、概念應用 (Lawson, A. E, 1995)。
1988	Lawson 等	探索 (Exploration) 名詞引介 (Term introduction) 概念應用(Concept application)	Lawson 認為概念是學習者本身建構出來的，無法經由教師引介得來，教師只是在介紹名詞而已，因此以名詞引介代替Karplus & Lawson三階段中的概念引介(Lawson, A. E, 1995)。
1990	Trowbridge & Bybee	參與(Engagement) 探索(Exploration) 解釋(Explanation) 精緻化(Elaboration) 評量(Evaluation)	BSCS 課程是設計給小學生，具建構性的 5E 學習環教學模式 (Trowbridge & Bybee, 1990)。

識的了解與運用。儘管奈米科技人才培育為國家重點推行的計畫之一，但國內相關研究與教材開發仍多屬於國中小之範疇，其中又以國小為重，高中職適用的奈米科技教材及相關研究非常稀少。隨著國家型奈米科技人才培育計畫的推動，國中小奈米科技教材的開發與教師專業知能訓練已有顯著成效，然而在高中範疇的教材的開發與教師訓練仍需結合眾多研究者的力量加速進行。如此，除了可促進高中職學生的奈米科技知識的建構外，更可為學生日後在大學或研究所從事的相關研發工作奠定基礎。總之，奈米科技的發展看起來似乎前景光明，但是仍須仰賴教師設計適性的奈米教材或實務活動，才能深化學生的學習概念(潘文福，游可如，2011)。

參、奈米科技專題實驗教材設計

本研究根據 5E 學習環與探究式教學之學理基礎進行專題實驗設計，在奈米實驗教材設計上先找出具有明顯現象、概念說明上較為容易且適合在一般高中職學校實行之實驗，作為教材的主要內容，再將學理基礎嵌入活動流程，以互動的方式，使概念說明與實驗操作交錯進行。5E 探究式實驗教學與一般驗證式實驗教學的流程差異如圖 1 所示。

在課程實施前，針對要教授的概念進行文獻蒐集與概念圖分析，進而細分出「子概念」，再進行子概念的教學設計。光觸媒概念的歸類與整合如圖 2 所示。針對子概念設計的活動目的在幫助學生建構概念，活動設計的重點在於「問題」，也就是提問。好的問題

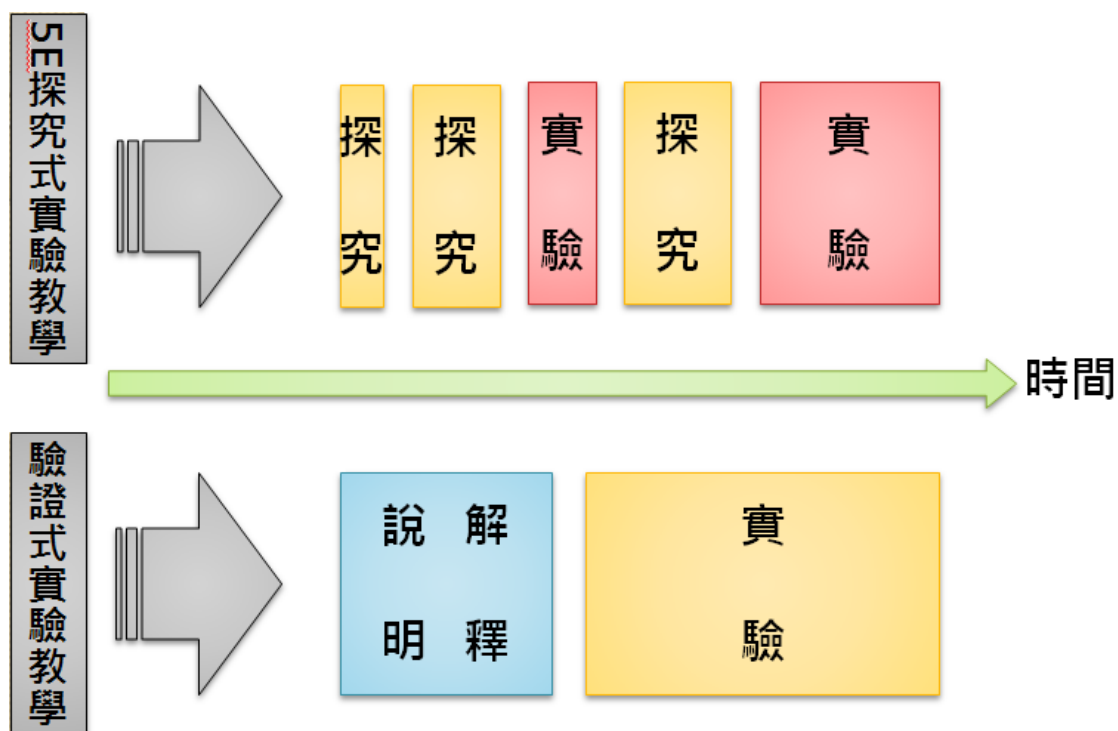


圖 1：5E 探究式實驗教學與一般驗證式實驗教學的流程差異

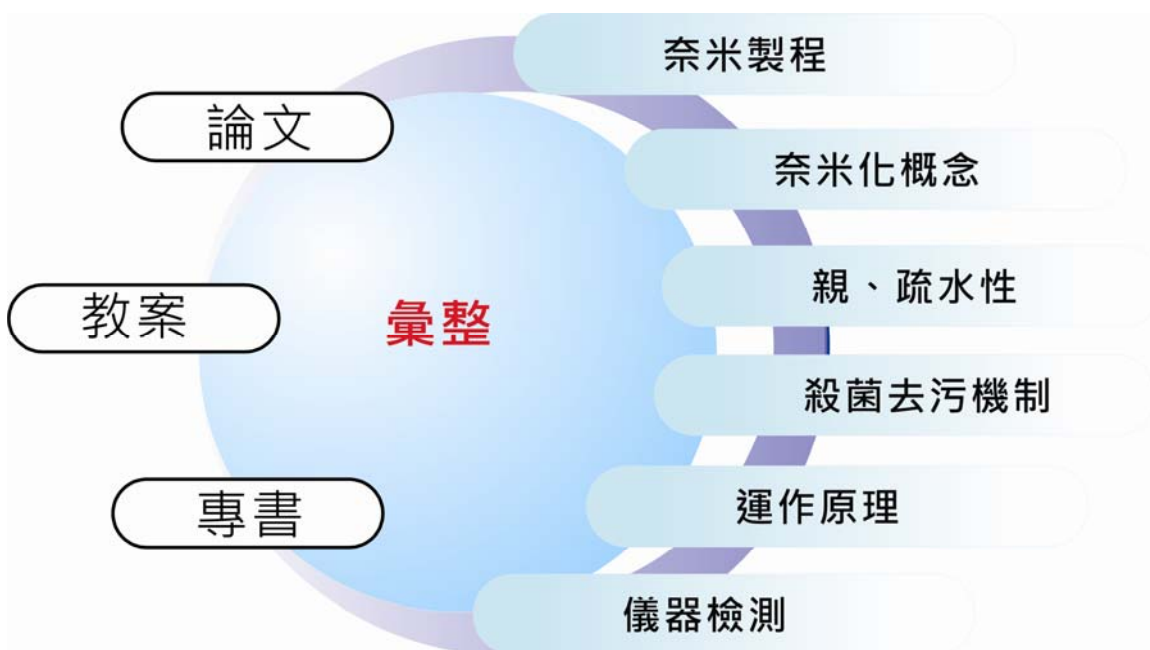


圖 2：光觸媒概念歸類與整合

才能引發學生的興趣，進而產生互動與討論，太過開放性的問題，學生不易回答，亦不易產生主動的學習，反而會淪為傳統的教授方式。圖 3 為本教材某一教學活動的設計示例。

以下簡述教材的實驗方法的選定與開發設計流程。

一、選定奈米光觸媒的製備與粒徑測定方法

現行常用於製備奈米材料的方法繁多(高逢時, 2005), 在設計高中職適用的專題實驗課程教材時, 必須考量製備方法的難易度、儀器的普遍性與課程實施的可行性...等因素。經過作者多次實做後, 發現溶膠凝膠法對於實驗環境與設備的要求較低, 而且成本低廉、成功率高, 所以選用此法做為教材中奈米二氧化鈦光觸媒的製備方法。常用於測定奈米粒子粒徑的工具具有電子顯微鏡、X 光繞射儀與分光光度計等。考量大多數高中職學校並無高單價的電子顯微鏡及 X 光繞射儀, 故教材選用較低廉的分光光度計做為測定奈米粒子粒徑的工具。一般微米級二氧化鈦粒子的能隙約在 3.2 eV, 以分光光度計量測時, 對應的吸收位置約在 380 ~ 400 奈米, 而奈米二氧化鈦粒子, 由於量子侷限效應, 具有較大的能隙, 對應的吸收位置會往短波長偏移, 故可由分光光度計量測的吸收位置估算奈米粒子的粒徑。但由於利用分光光度僅能間接測定奈米粒子的粒徑, 結果較不準確, 故在教學過程中, 僅著重於粒徑對吸收波長影響的定性分析。

二、結合理論基礎的教材設計

本教材之設計主軸是以探究式教學法融入實驗課程教學。如在前面的文獻探討中所

述, 考量教學時間與高中職學生的先備知識均十分有限, 故教材採用「結構式探究」層次, 在情境提供、問題產生與假設及研究方法設計等部分, 均由授課老師進行引導與提供協助。

探究式 5E 學習環, 包含參與 (Engagement)、探索 (Exploration)、解釋 (Explain)、精緻化 (Elaboration) 與評量 (Evaluation) 等五個向度。本研究根據探究式 5E 學習環原則所設計的奈米二氧化鈦光觸媒專題實驗教材的教學流程與意涵如表 2 所示。

本教材因結合 5E 學習環之學理基礎, 以探究式教學法為主軸, 融合實驗教學的實作技能訓練, 故有以下幾點特色: (一) 將活動與問題結合, 提供學生思考情境; (二) 透過對話營造新的問題與假設; (三) 經過討論統整正確的觀念; (四) 引導相關概念後, 才進行實驗操作與紀錄; (五) 對於實驗現象與數據的開放式討論與解釋; (六) 實驗實作與概念引導結合, 交錯進行。

肆、實施對象與評量方式

本研究採取準標準實驗研究法, 依據教學法的不同, 以「奈米二氧化鈦奈米光觸媒專題實驗」為主題, 設計兩種教材: 一為融合 5E 學習環之探究式專題實驗教材, 另一為驗證式專題實驗編制教材。在教材實施之後, 依據概念題目紙筆測驗工具與探究能力量表工具, 探討兩種教材教法對於學生學習奈米科技概念的成效差異。

一、研究對象

本實驗教學之對象為苗栗縣某綜合高中化工科三年級學生。該科學生共 81 人, 由學校依照教育局規定之 S 型編班方式編成兩班

表 2：5E 探究式奈米二氧化鈦光觸媒專題實驗教材之教學流程與意涵

向度	教學流程	內容意涵
參與 (Engagement)	(1)讓學生使用市售奈米二氧化鈦光觸媒，並觀察其親水性與除污特性 (2)讓學生製備屬於自己的二氧化鈦光觸媒。	(1)以生活化例子，讓學生能夠體會光觸媒的特性，並藉此提高學生興趣。 (2)透過動手製作，增強實用技能，亦增強學習連結。
探索 (Exploration)	(1)藉由學習單的引導，探索光觸媒的特性原理與催化機制 (2)經由實際的光觸媒製作，探索相關製程。	學習單的設計包含了問題的提問。老師在教學過程透過引導的方式，依據學生狀況加入適切的問題，以降低學生的學習障礙。
解釋 (Explain)	統整光觸媒的特性原理及催化機制，以自己的話記錄在學習單中。	每經過幾個問題的探索後，必須透過簡單的統整來幫助學生整合概念，理出頭緒，讓學生知道自己現在正在學甚麼。
精緻化 (Elaboration)	小組發表實驗成果，報告光譜量測與特性觀察的結果，進而說明奈米粒子的粒徑與特性間的關係，從而理解將光觸媒奈米化的優點	在探究統整奈米光觸媒的基礎原理與機制後，以學生本體對現象做詮釋，精緻化概念模型，進而固化並增強概念間的連結。
評量 (Evaluation)	進行總結性評量、科學態度評量與科學技能評量。	在實作技能的訓練過程中，不斷強化概念間的連結。透過總結性評量，讓學生了解自己學習時的盲點，破除錯誤概念，增強正確概念的強度。

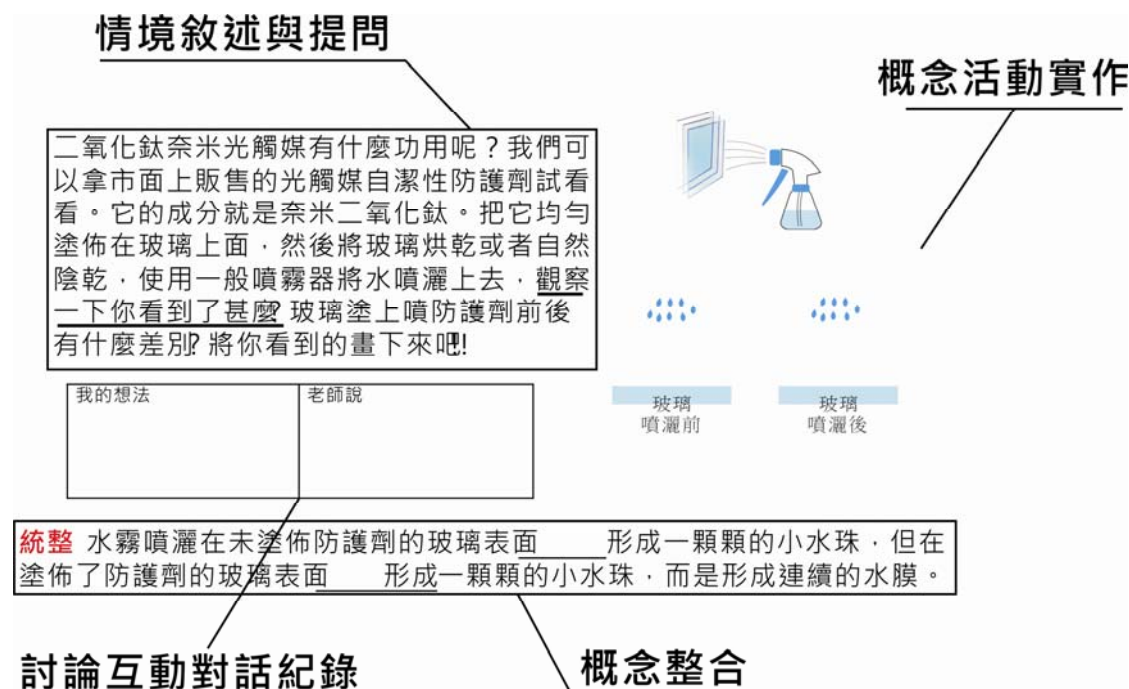


圖 3：活動設計示例

，故各班學生皆屬於常態分佈。參與研究學生在高一已修習基礎物理、基礎化學等理化基礎課程，在高二與高三則修習化工原理、化工專題實驗等進階化工專業課程。此外，所有學生皆通過乙級化工儀器操作檢定，故對於基本實驗技能與儀器操作都相當熟悉。

(一) 實驗組：

以該化工科三年級 A 班(代稱) 40 名學生為成員，進行為期兩週，共 6 小時的 5E 探究式實驗課程教學。課程進行時，以 4 人成一小組，全班共分成 10 小組。

(二) 對照組：

以該化工科三年級 B 班(代稱) 41 名學生為成員，進行為期兩週，共 6 小時的驗證式實驗課程教學。課程進行時，以 4 或 5 人成一小組，全班共分成 10 小組。

二、評量工具

(一) 奈米二氧化鈦光觸媒概念紙筆測驗工具

本研究開發奈米二氧化鈦光觸媒概念紙筆測驗工具，目的在評量學生對「奈米二氧化鈦光觸媒」相關概念的學習成效。在奈米二氧化鈦光觸媒的相關概念中，有些超越高中職學生的理解範疇。因此，本測驗工具以高一的基礎物理與基礎化學的背景知識為限制條件，篩除如表面侷限電洞等一般高中職學生不易理解的概念。

在概念測驗工具的開發上，首先查閱眾多與奈米光觸媒相關的教材與專書，再對照高中職教科書內容，確立測驗內容與範圍。經統整歸納後，可將奈米二氧化鈦光觸媒概念略分為七個部分：(1)觸媒概念 (2)親、疏水性 (3)殺菌、去污機制 (4)運作機制 (5)儀器檢測 (6)奈米化概念 (7)奈米製程，再依照教學目標定義進行命題。每部分約一至三題，七個部分總題數共 14 題。題目形成後，

再交由高中職與大學相關專長教師進行效度審查。共經三次修改後，最終製成概念紙筆測驗試題。

本測驗以彰化縣某綜合高中一年級學生進行預試，有效樣本為 32 人，內部一致性信度(KR-20)為 0.825。

(二) 探究能力量表測驗工具

本研究中根據 NRC(2000)探究能力標準，發展「探究能力量表」，以了解接受 5E 探究式或驗證式專題實驗教學的學生，在探究能力的差異，進而探討探究能力與學習成就間的關係。此量表藉由量化方式，訂定探究能力指標，目的在於評量學生的科學素養-探究能力。此量表之內容可分為六個向度，分別為「科學導向問題」、「實驗操作」、「證據解釋」、「知識解釋」、「溝通」與「驗證」。量表試題以李克特五點選項方式呈現，受試學生針對每一敘述題在五種意見「總是如此」、「經常如此」、「有時如此」、「偶爾如此」、「從未如此」中選出最符合的選項。量化統計所得分數越高，表示探究能力越高。量表分別對學生進行教學前測與後測，有效樣本數為 32 人，預試的內部一致信度(Cronbach ro)為 0.975。

伍、結果與討論

本研究以苗栗某綜合高中化工科三年級的兩班學生為研究對象，針對奈米二氧化鈦光觸媒概念，利用 5E 探究式實驗教學與一般驗證式實驗教學兩種不同的教學模式，設計奈米二氧化鈦光觸媒專題實驗之教材，作為實驗組與對照組之課程教材。課程進行前後，以奈米二氧化鈦光觸媒概念測驗與探究能力量表，探討學生對於不同教學模式之概念學習與探究能力培養之成效。

一、「奈米二氧化鈦光觸媒概念測驗」的前後測比較

爲了探討探究式實驗教學與傳統驗證式實驗教學，在概念學習成效上的差異，作者在實施教學前，分別對兩班學生實施「奈米二氧化鈦光觸媒概念測驗」的前測，在教學結束後，再對學生進行後測。事後將相關數據應用個人電腦以統計套裝軟體 SPSS 19.0 進行資料統計分析，並將此結果與研究過程中蒐集之質性資料進行比對詮釋，結果如下。

對於「光觸媒」、「親水性」、「殺菌去污」、「運作機制」、「儀器檢測」、「奈米化」與「製程」等七大概念向度的前後測結果與進步幅度如表 3 所示。由表 3 可看出，兩組學生在「光觸媒」、「運作機制」、「奈米化」三個概念向度上的後測表現皆有顯著進步，而實驗組的進步幅度又優於對照組。此外，實驗組在「殺菌去污」概念向度上的進步更爲明顯。經過量化分析，輔以學生晤談資料，本研究歸納出兩組學生在概念向度的前後測有顯著差異的原因爲：(一)需要記憶的知識內容，是較容易被遺忘，而有經過實驗操作的內容，學生記憶比較深刻；(二)實驗的過程有助於學生概念的建立，也有助於學生對於結果的推理能力。

在「光觸媒」、「運作機制」、「奈米化」三個概念向度的學習成效上，實驗組優於對照組的原因爲：(一)在概念學習上經由問題的探究引導，使得實驗組學生對於知識的詮釋較對照組學生完整；(二)上課時的探究問答過程，使得實驗組學生有更精緻的概念，能對原理與反應機制提出更完整的解釋；(三)對於難度較高的題目，實驗組學生的圖形解讀與解題推理能力較對照組學生佳；(四)對照組學生較不容易以新習得知識解釋新的現象。以「奈米化」概念向度爲例，對照組學生仍著眼於表面積變化所造成的影響，而實驗組學生則可以用氧化還原的觀點進行解釋。

一般奈米材料具有自潔能力的原因有三：(一)材料表面的蓮葉效應使污垢不易附著；(二)材料表面的高親水性使水膜容易形成，故污垢不易附著；(三)材料表面對於附著的有機物進行氧化還原分解。奈米二氧化鈦光觸媒的自潔能力來自後二者。在「去污殺菌」概念向度上，探討學生對於奈米二氧化鈦光觸媒自潔原理的理解，可歸納出學生對於此概念學習的問題有：(一)無法區分蓮葉效應與親水性兩種自潔原理的不同；(二)對於分解概念並不完整，無法解釋分解的原理與機制。實驗組在「殺菌去污」概念向度

表 3:奈米二氧化鈦光觸媒各概念向度前後測結果與進步幅度

	對照組			實驗組		
	前測	後測	進步幅度	前測	後測	進步幅度
光觸媒	1.53	1.83	19.6 %	1.67	2.45	46.7 %
親水性	1.42	1.50	5.6 %	1.40	1.69	20.7 %
殺菌去污	0.50	0.53	6.0 %	0.40	1.26	215.0 %
運作機制	0.18	0.23	27.8 %	0.19	0.33	73.7 %
儀器檢測	1.25	1.35	8.0 %	1.17	1.79	53.0 %
奈米化	1.08	1.30	20.4%	1.24	1.62	30.6 %
製程	1.05	1.10	4.8%	0.90	1.45	61.1 %

上的進步極為明顯，這顯示 5E 探究式實驗教學有助於學生理解較困難的光觸媒「去污殺菌」概念。

二、「探究能力測驗」後測之獨立樣本單因子分析

除了一般的前後測比較外，本研究也針對探究能力測驗進行「後測之獨立樣本單因子分析」，以比較 5E 探究式實驗教學與驗證式實驗教學在學生探究能力量表中各向度的

差異，進而了解不同實驗教學法對於學生在探究能力各向度的表現的影響，分析結果如表 4 所示。可看出實驗組學生在「知識解釋」、「溝通」與「驗證」三個向度的分數有顯著提升。將量化資料分析結果結合學生晤談資料，可歸納出實驗組學生在這三個能力向度上顯著提升的原因為：

(一)實驗沒有既定的標準答案，學生可以忠於自己的實驗數據，對自己的數據結果進行解釋，不會受到既有答案之影響。因此，

表4：各向度單因子變異數分析結果摘要表

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
科學問題導向	組間	0.665	1	0.665	1.642	0.204
	組內	32.397	81	0.405		
	總和	33.062	82			
實驗操作	組間	0.009	1	0.009	0.028	0.867
	組內	25.102	81	0.314		
	總和	25.111	82			
證據解釋	組間	0.028	1	0.028	0.085	0.771
	組內	26.709	81	0.334		
	總和	26.738	82			
知識解釋	組間	1.589	1	1.589	5.543	0.019*
	組內	22.212	81	0.274		
	總和	23.801	82			
溝通	組間	1.454	1	1.454	3.675	0.039*
	組內	31.647	81	0.396		
	總和	33.101	82			
驗證	組間	2.964	1	2.964	9.335	0.003*
	組內	25.400	80	0.318		
	總和	28.364	82			

學生對於實驗內容之觀察印象非常深刻，也能夠清楚分辨內容知識與實驗觀察的差異。

(二)問答的過程刺激學生反思自身所欲表達的意見，以確認意見表達的一致性，故可培養學生驗證的能力。

(三)學生透過實驗與探究的過程，加強了知識與現象的連結，也加深對實驗內容的印象，對於實驗結果的詮釋也更趨精緻。

(四)團體活動促進溝通的產生，透過團體趣味活動的進行，增加了學生溝通與學習動機，也有助於口語表達能力的養成。

接受 5E 探究式實驗教學之學生，其探究能力皆有提升，且相較於對照組的學生，其溝通能力、資料詮釋能力與後設認知能力的提升更為顯著。這也顯示，5E 探究式實驗教學中，引導探究的問題設計至為重要，會直接影響教師與學生問答的成效。而在活動設計中，必須採用與生活較接近的趣味實驗以提升學生的學習動機，促進團體討論，進而提升學生在資料詮釋與表達之能力。在概念探究中，更需要與實驗內容做緊密的結合，如此有助於加深學生印象並精緻已有的概念。

陸、結論

本研究針對奈米科技領域中的「光觸媒」概念，以 5E 探究式教學法為設計理念，以奈米二氧化鈦光觸媒為教學主題，開發出高中職適用的奈米科技專題實驗教材與課程。本教材在實施時，亦與一般驗證式實驗教學進行對照，之後再透過量化與質性資料的蒐集與分析，以探討融合 5E 探究式教學法的奈米二氧化鈦光觸媒專題實驗教材對光觸媒概念學習與探究能力培養的成效。研究結果顯示，5E 探究式實驗教學相較於驗證式實驗教學在對學生在奈米二氧化鈦光觸媒的「概

念學習」、「探究能力」上均有較好的成效，而概念探究與實驗教學的結合則可提高學生在課堂學習力。本研究結果可提供相關人員在開發奈米科技教材時參考，亦有助於奈米科技人才培育計畫的推動。

致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會之經費資助(計畫編號 NSC102-2120-S-018-005-)，謹此敬致謝忱。

參考文獻

1. 古士宏 (2006)。以 5E 學習環發展學校本位課程之行動研究—以蝴蝶生態園為例。國立屏東教育大學數理學教育研究所碩士論文，未出版，屏東。
2. 林建隆、石豫臺、吳仲卿、洪連輝、溫育德、張鈞權、林富美，(2010)。高中奈米科技課程之概念與命題陳述的建構。物理教育學刊，第十一卷第二期，31-42。
3. 高逢時，(2005)。科學發展。第三百八十六期，66-71。
4. 潘文福，& 游可如。(2011)。奈米專家對於奈米相關議題實施於國小教學適切性之研究。 *Research and Development*, (61), 1-24.
5. 蕭次融，(1998)。簡易減壓過濾法。科學教育月刊，第 208 期，40—41 頁。
6. 鍾聖校 (1999)。自然與科技課程教材教法。台北：五南。
7. Abraham, M.R., and J.W. Renner. (1986). The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching* 23(2): 121–143
8. Herron, M. D. (1971). The nature of

- science enquiry. *School Review*, 79(2), 171-212.
9. Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71(256), 33-40
 10. Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217.
 11. Lawson AE (1995) *Science Teaching and the Development of Thinking*. Belmont, CA, SA: Wadsworth
 12. National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. (No.00-008103) Washington, DC, USA: National Academic Press
 13. Trowbridge, L., & Bybee, R. (1990). *Becoming a secondary school science teacher* (5th ed.). Columbus, OH: Merrill Publishing Company.

Applying the 5E Inquiry Learning Cycle Teaching Strategies to Design the Instructional Materials of Thematic Experiment in Nanotechnology Used in Senior High and Vocational Schools: Using a Lesson on TiO₂ Nano-Photocatalysts as an Example

He-Xue Yang Yu-Tai Shih*

National Changhua University of Education

*E-mail: ytshih@cc.ncue.edu.tw

Abstract

In this study, the 5E inquiry learning cycle teaching strategies, aimed at the concepts of photocatalyst in nanotechnology, was adopted as the design concept for developing instructional materials and a course based on TiO₂ nano-photocatalysts suitable for senior high and vocational school students required to complete thematic experiment in nanotechnology. The implementation of these instructional materials was compared with general confirmatory experiment instruction. By collecting and analyzing quantitative and qualitative data, this study explored how the implementation of the developed instructional experiment materials affected how the students learned photocatalyst-related concepts and cultivated inquiry ability. The instructional materials possessed the following features: (a) The activities and problems were combined to present students thinking context ; (b) new problems and hypotheses were generated through dialogue; (c) correct concepts were clarified and systematized through discussion; (d) experimental operations and records were conducted only after relevant concepts were introduced; (e) open discussions and explanations were conducted for the phenomena and data derived from experiments; and (f) experimental practices and concept introductions were integrated and implemented alternately. The quantitative analysis results showed that using these instructional materials significantly benefited the students' concept learning and inquiry training on TiO₂ nano-photocatalysts. Moreover, examining the qualitative data revealed that an instructional strategy that combines concept inquiry with experiment instruction can facilitate students' learning capabilities in class.

Key words: Nanotechnology, 5E inquiry learning cycle teaching strategies, TiO₂ nano-photocatalysts, Thematic experiment

