

2014-2024 年化學實驗文章投稿經驗之回顧與展望

廖旭茂

台中市立大甲高級中等學校

教育部高中化學學科中心

nacl880626@gmail.com

■ 前言

《臺灣化學教育電子期刊》(以下簡稱 CET) 從 2014 年創刊起，迄今已滿十年了，在創辦人邱美虹教授的建議下，希望筆者對過去十年來實驗(含影片)文章的撰寫內容做一個回顧，這樣的邀約對個人而言是莫大的肯定，也讓筆者有一個重新審視、梳理過去實驗內容轉折、文字發展脈絡的機會；就投稿發表而言，筆者撰文早期多發表臺灣科學教育館的科學研習月刊與臺大高瞻平台上，研習月刊停刊後，實驗文字創作幾乎都發表在 CET 上。就寫作的內容來看，在 2010 至 2015 年前後，多以講究驚奇、吸睛效果的演示實驗為主，並將這些趣味的演示實驗透過化學學科中心的協助，走出教室開發成遊戲化的化學闖關活動-化學宅急便。2014 年後，智慧型手機風行，筆者運用環物虛擬實境技術(virtual reality)，開發 3D 分子撲克牌讓各種官能基的有機分子能出現手機裡，並讓使用者可以手指觸控螢幕自由翻轉分子，接續又研發寓教於樂的官能基爬爬樂桌遊，進而配合行動學習的熱潮，發展成 3D 分子撲克牌 App。2017 年起，臺灣颯起 Maker 創客風，化學學科中心辦理雷射切割、3D 列印的新科技研習，鼓勵教師自行開發實驗教具，搭配國內外綠色化學浪潮，筆者利用學校購置的雷射切割器，投入微型實驗教具開發的工作，研發了電化學相關的教具，比如平面微型電化學電池、霍夫曼微型電解水模組的設計、微型電熱式蒸餾器的設計與製作等，同時充分運用自製教具，除了在規劃成化學闖關活動外，更發展成多元的探究課程，像微型電熱式蒸餾器就可應用在肉桂精油的純化上，進而開發出特色課程-跨領域的台灣土肉桂探究之旅。近年來，因應 108 課綱探究與實作課程的發展中，鼓勵教師善用資訊科技，比如手機、可程式感測器或儀器，融入化學科課程的開發，指導學生進行化學探索；筆者順著潮流，開始接觸可應用於化學實驗教學的數位工具，發表了數篇類似文章，比如：利用智慧型手機結合 App 探究化學平衡移動、以氧化還原電位計探究 BR 振盪反應的過程等文章。

以下茲就筆者撰文，或親向身邊好友邀稿的部分，配合各時期的發展與轉折契機重要的文章，分述如下。

■ 演示實驗文章寫作的推手

話從 2011 年說起，在國立彰化師大楊水平教授的指導下，開始撰寫化學示範實驗的文章，投稿在臺灣科學教育館的科學研習月刊，以及當時的臺大高瞻平台，也就是今天的「科學 Online-高瞻自然科學教學資源平台」，其中最具人氣的實驗文章包括：竹筒炮的製作 (How to Make a Bamboo Cannon)、用固態燃料錠演示焰色試驗 (Flame Test using Solid Fuel Tablets)、吹不熄蠟燭的製作 (How to Make Magic Relighting Candles)、化學教室活動：利用化學平板探索電解 (Exploring Electrolysis using ChemPad)、開幕典禮中演示大型化學平板 (A Big ChemPad Demonstration in the Opening Ceremony)、化學教室活動：製作磁性異形 (How to Make Magnetic Alien) 等文章，這一類文章的特色就是講求演示的聲、光、顏色，及令人感到驚奇的效果，統一的格式是提供另類的實驗教具的製作方法、實驗溶液的配置及準備、實驗演示的方式與教學指引、原理與概念，以及安全提醒及注意事項，並搭配實作的教學影片，讓中小的教師們有一個較清晰的參考作法。以上述的磁力異形為例，在製作史萊姆與 QQ 球的基礎上，改變配方，將透明膠水 (含聚乙烯醇，polyvinyl alcohol, PVA) 換成白膠 (含聚醋酸乙烯酯，polyvinyl acetate, PVAc)，並添加氧化鐵黑 (ferric oxide black) 粉末取代細鐵粉，搓揉並混合均勻，形成磁性橡皮泥。此橡皮泥能被強力磁鐵吸引，操控性能極佳，伸展活靈活現，模樣猶如外星生物 (廖旭茂，2013)。因操作簡單，使用容易取得的藥品，因此在國中、小學的自然課，或安親班的實作課程都頗有人氣。圖 1 為磁力異形演示畫面。



圖 1：磁力異形演示 (選用照片為作者自行拍攝)

水平教授對化學演示實驗的熱情與投入，文章內容準確度的堅持，以及嚴謹細緻的寫作風格，都帶給我輩正面積極的影響，可算是良師、益友。

■ 華麗實驗的衝擊與轉型契機

2013 年末後，一個因緣際會，投稿在科學研習月刊上的一篇文章：家庭化學實驗-行動電化學蝕刻，經過個平台轉載分享，幾天內即有數萬人觀看，並有大量網友留言回饋；該文章主旨是在不使用強酸、強鹼的條件下，以少量食鹽水沾濕的棉花棒，透過 USB 行動電源，在家庭裡即可在不鏽鋼的表面上產生電化學蝕刻反應，造成類似印章陰刻的效果，相關行動電化學蝕刻裝置見圖 2 (廖旭茂，2013)；後來筆者再進行改良精進，將棉花棒換成石墨塊作為陰極蝕刻台，方便在金屬書籤平面、或不鏽鋼保溫瓶的曲面上進行蝕刻，留下專屬的 LOGO (廖旭茂、黃維靜，2014)，此項教具不僅透過化學學科中心在全國北、中、南、東各社群上辦理工作坊，更曾經遠赴重洋，2015 年在東京舉行的亞洲化學教育研討會 (5thNICE) 上分享，獲得很多的認可與好評。網路的迴響，與實體的回饋證明一個化學實驗的新時代的來臨-標識著減量、低毒的綠色化學已經悄然降臨。2014 年下半年起，環保署與教育部聯手，開始委託工業研究院辦理高中職綠色化學創意競賽，更讓部分高中職教師們的實驗開發的走向更為明確。因此過往為強調聲光效果，使用過量、毒性高、難處理的化合物的實驗，慢慢的淡出課程的實作清單；實驗內容除原來的生活化不變外，走向少量甚至微型化實驗，以大幅降低廢棄物的排放，漸漸成為共識。



圖 2：行動電化學蝕刻裝置圖

圖片來源：廖旭茂 (2013)。家庭化學實驗：行動電化學蝕刻。科學研習月刊，52，11，18。網址 <https://www.ntsec.gov.tw/article/FileAtt.ashx?id=7137>

■ 萬眾注目平台的登場

在美虹教授的號召與奔走下，2014 年 5 月台灣化學教育期刊正式創刊，筆者擔任實

驗含影片編輯，開始向外邀請高中教師投稿；創刊初期的資源欠缺，文章都屬於義務投稿，因此都是透過個人交情，鼓吹自己身邊的好同事或化學學科中心的好朋友來投稿，比如第三期刊出的文章-人像藍印術(陳孟男，2014)、第五期刊出的文章-趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成(黃蕙君、邱姿蓉，2015)、第七期刊出的文章-淌血的心—硫氰化鉀與鐵離子的反應(王瓊蘭，2015)。這些文章以淌血的心一文最受到閱眾的喜愛，迄撰稿日 2/13 止，已經超過八萬人拜讀過，當然這也是筆者認為最具創意、巧思的實驗文章。該文作者王瓊蘭老師利用一根迴紋針，將其彎折成愛心形狀，隨後置入盛有硫氰化鉀 KSCN 與鹽酸 HCl 溶液的透明杯中，接著再滴入一滴濃雙氧水，彎折處因發生氧化反應而釋出的微量鐵離子 Fe^{3+} 隨即與 SCN⁻ 化合成成血紅色的硫氰化鐵離子 $FeSCN^{2+}$ ，構成一幅淌血的畫面；文章最妙的地方是運用高中所學錯合反應的知識，介紹如何演示紫心、藍心、黃心的做法，內容相當精采，有興趣的讀者可以進入網站，再次欣賞這篇文章。除了文章審稿外，筆者也協助實驗過程影片拍攝；如期出刊的壓力與信念，成了個人實驗創新與文章寫作的動力來源。筆者取材於生活，指導學生探究購物發票使用的感熱紙材料的進行，進而發表了感熱紙的熱致作畫和酸鹼多段變色實驗(廖旭茂、黃家均、林群耀、廖心妍，2016)；同時透過大量閱讀嘗試取材各類型的演示實驗書本與網路素材，比如威斯康辛大學 Shakhshiri 教授的大作 Chemical Demonstrations，從 1983 年到 2011 年間，前後共發行 5 冊，堪稱演示實驗的聖經，目前在 YT 平台的化學實驗影片很多也取材於這些著作。筆者在 CET 的文章，發表了幾篇參酌 Chemical Demonstrations 內容，自行進行藥品、器材的修改後試作、撰文、拍片投稿的文章，比如探究「紅綠燈」示範實驗的多彩顏色一文，紅綠燈實驗是國、高中生最喜愛的演示實驗之一，同時也是科學展覽比賽學生最常探究的主題之一；其中所用的靛胭脂指示劑，是一種酸鹼指示劑，同時也是一種氧化還原指示劑，在氫氧化鈉存在的鹼性環境中，加入葡萄糖糖等還原糖後，會因電子得失多寡，產生兩階段變色：先變紅色，再轉為黃色。因此在不同酸鹼、氧化還原環境中，可交織成多彩顏色的變化(廖旭茂、陳熾竹、羅珮綺、林芳瑜，2015)。此外，還有螺旋狀旋光彩虹管教具設計(廖旭茂、林宸緯，2016)、亞甲藍的光致變色(廖旭茂，2016)、黑白記憶：銀鹽相紙的製作與沖印(廖旭茂，2017)三篇文章，這些富色彩、光影變化，帶來視覺衝擊的文章，頗受讀者歡迎，也都成了該時期的熱門文章。圖 3 為熱門實驗文章瀏覽人次的統計圖。從統計數字上發現，常見的熱門通俗課題，加上易取得的藥品、器材，可以帶領學生一起實作，共同完成作品的話，往往會有較高的瀏覽人次，比如黑白記憶：銀鹽相紙的製作與沖印一文，文中使用硝酸銀、氯化鈉、圖畫紙自行製作感光銀鹽相紙，利用雷射印表機輸出底片，經紫外光燈或白光 Led 燈曝光後，以海波溶液(硫代硫酸鈉， $Na_2S_2O_3$) 溶解未曝光的氯化銀 AgCl，進行定影，最後

相紙以大量清水水洗，陰乾即可得到黑白照片 (廖旭茂 · 2017)，該文章迄今已有 8 萬多人次瀏覽。反之，如果是艱澀難懂、難以理解或不易向學生解釋的主題時，縱使有很炫目的效果，但瀏覽人次會受到壓抑，以螺旋狀旋光彩虹管這篇文章最為明顯，因文章涉及旋光、散射等高中物理、化學偏難的原理，因此來信徵詢、討教做法的閱眾以大學生或碩班的研究生居多，瀏覽人次僅 16000 多人次，這點也可以推論 CET 的閱眾中，應該有相當高比例的國中和國小教師。

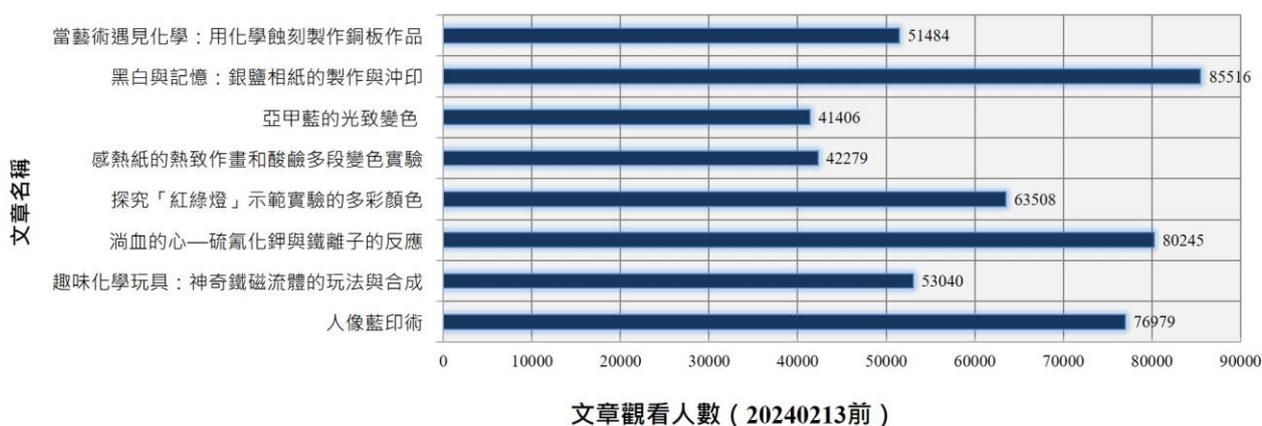


圖 3：熱門文章瀏覽人次統計圖

■ 微型實驗教具的開發與綠色化學課程的開發

2016 年起，Maker 創客自造風氣興起，臺大應力研究所的江宏仁教授率風氣之先，在臉書成立科學 Maker，透過自由贊助，分享自製的各式手機顯微鏡、光譜儀及科學實驗儀器，推廣科普教育，在中、小學科學教師的眼中是屬於最高級別的大神；化學學科中心有感於此，特地至江教授的 Scifab 工坊參觀，並邀請江教授至學科中心辦理實作工作坊；2017 年又接續辦理雷射切割、3D 列印，Arduino 程式板結合感測器在化學課程的開發的研習營，鼓勵教師應用 ICT 投入化學實驗課程開發。

搭配國內外綠色化學浪潮，筆者投入微型實驗教具開發的工作。首先針對電化學實驗教具進行設計與改良，使用壓克力的取代了易碎的玻璃；取消大體積燒杯、U 形管的使用，透過雷射切割器，製作更微型、堅固，方便攜帶的教具；實驗減量、減廢後，不僅可減輕環境負擔外，更大大提高了學生實驗的安全性；採用模組化的設計，也減輕了化學教師實驗準備與善後的工作；教具模組完成開發後，著手編寫探索化學 AP 課程，在高二選修課中試行；同時透過化學學科中心辦理種子老師實作工作坊，進行課程分享，並從老師的回饋意見中做滾

動式修正；最後撰寫文章，投稿 CET 分享給全國中小學科學教師。最近幾年來，總共發表了數篇類似的文章，比如綠色化學實驗模組的設計與應用-1：電化學模組一文，文中開發的電化學電池模組，將電化學電池平面化，使用濾紙取代 U 形管，僅使用數滴的溶液即可進行化學能轉變成電能實驗，透過串聯更能點亮 Led 燈；將電化學電池微型化，可以大幅減少有毒重金屬鹽類的使用，以及有毒廢液的排放（廖旭茂，2018）。另一篇文章-霍夫曼微型電解水模組的設計，介紹的是微型電解水器的設計，以壓克力取代傳統易碎的玻璃材質，減少 98% 電解液的使用與廢液排放；利用塑膠針筒收集陰、陽極的氣體產物；以鎳鈦合金取代價格昂貴的白金電極，讓更多的學生可以實際動手做電解水實驗（廖旭茂，2019）。另一項創作是微型電熱式蒸餾器的設計與製作，內文首先介紹蒸餾器的微型化設計，以 20 毫升樣本瓶取代傳統的圓底燒瓶，作為待蒸餾物的盛裝；應用雷射切割技術，製作支撐架；利用纏繞的電熱帶，搭配變壓器加熱，維持穩定熱源，取代昂貴的電熱包；利用珍珠奶茶吸管製作的冷凝管，取代原本笨重、昂貴的李必氏冷凝管，加上 USB 沉水小馬達循環冷卻，達成節水的目標。其中最大亮點是改良式的冷凝管，它分內、外管，內管是自行彎折的細玻璃管，是熱蒸氣的通道，而外管是珍珠奶茶吸管，是冷卻水的通道，由一個小馬達推動整個循環冷卻水流，整個系統是環保又節能的（廖旭茂，2020），有興趣的讀者可以上 CET 網站再次研讀。微型蒸餾器的出現，讓學生可以有親自接觸蒸餾實驗的機會，而不只是眼巴巴的看著老師在遙遠的講台前演示，該文目前已有超過 10000 人次瀏覽過。圖 4 為該實驗的微型蒸餾器外觀。

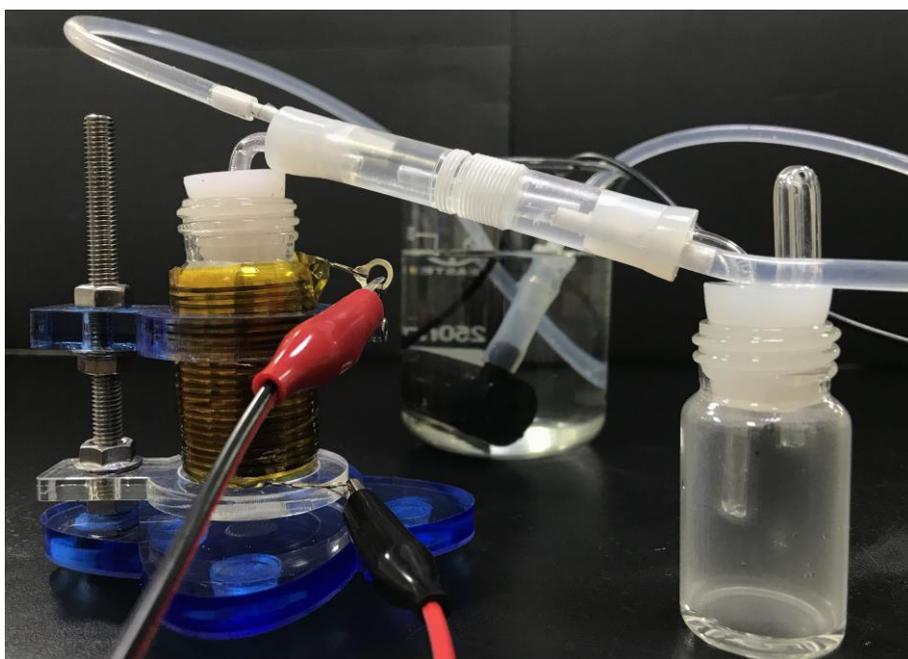


圖 4：微型電熱式蒸餾器的裝置外觀

圖片來源：廖旭茂（2020）。綠色创客-3：微型電熱式蒸餾器的設計與製作。臺灣化學教育，40。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=39263>

微型蒸餾器可用於紅酒的蒸餾，除了比較蒸餾前後溶液的顏色外，易可藉由曲折度計的測量，測量蒸餾液中酒精的濃度。筆者後來與校內生物科老師合作開發探究與實作課程，利用微型蒸餾器進行台灣土肉桂精油的純化、提取，並針對精油的成分以薄層層析法分離、鑑定肉桂醛的存在與相關化學性質檢測，並撰寫成文章。該文章更為熱門，迄今有超過 16000 人次瀏覽（廖旭茂、陳許玉鈴，2021）。

■ 定量化學的來臨-感測器的發展

因應 108 課綱中探究與實作課程的發展，數位資訊科技 ICT 融入學科教學的聲浪再次響起；筆者早期曾接觸 Vernier 商用的數位感測器平台，最先開始只是指導學生做專題與科展，慢慢地再發展為選修課的 AP 課程；在化學探究上，使用化學感測器首重在科學數據的收集、整理、歸納，並透過圖表呈現出有意義的結果來；

借助科技，進行數位化科學實驗，主要分為智慧型手機、結合 Arduino 的可程式感測器，以及商用數位感測器三大類；對化學科而言，智慧型手機是成本最便宜的，與化學相關的有氣壓、光照度與鏡頭內建的色彩感測器可用來進行科學探究，筆者曾發表利用智慧型手機結合 App 探究化學平衡移動一文，就是在介紹利用手機的鏡頭結合 RGB 色碼 App，數據化紀錄氯化亞鈷在不同氯離子濃度與不同溫度下，化學反應過程中色彩元素 RGB 值的變化，藉此來判斷化學平衡的移動（廖旭茂，2020）。

與 Arduino 結合的感測器，這幾年來資訊教育普及，編碼(Coding)風氣在校園中越來越火熱；加上大量網路社群分享、流通的資源，低廉的價格，使得中小學科展上使用可程式感測器得獎的作品也越來越多。目前化學教育相關的感測器大致可分為於氣體感測（包括氣壓感測、二氧化碳感測、氧氣感測，以及酒精感測等）、水溶液的感測器（包括 pH 計、ORP meter、導電度計、TDS 計、濁度計、溶氧計等）、光感測器（照度、紫外光等）、電感測器（電壓、電流）等。這方面學生從小學過，學習上比老師更容易上手。

筆者曾指導學生，結合 Arduino 自製感測器進行化學探究與實作，並撰文投稿過文章，比如近期投稿的一篇文章：以氧化還原電位計 ORP meter 探究 BR 振盪反應的過程，該文章嘗試以常見的氧化還原電位感測器（Oxidation reduction potential, 簡稱 ORP），取代光電比色計，調查不同反應物濃度（如丙二酸、雙氧水等）、澱粉存在與否、溫度等條件下，氧化還原電位的變化。過程中結合 Arduino 程式板，完整紀錄振盪過程氧化還原的變化（廖旭茂、施上芸、李忻慈、陳冠愷，2023）。圖 5 為可程式氧化還原電位計監測振盪反應電位變化裝置圖。

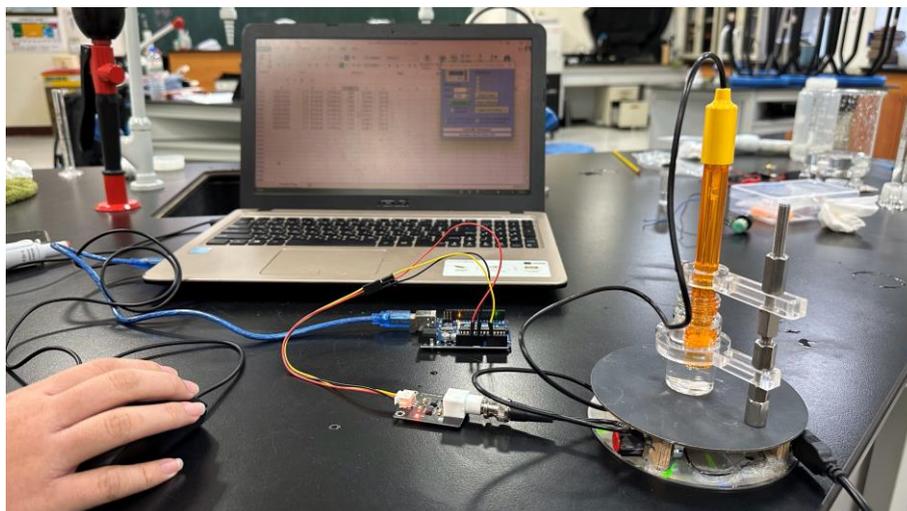


圖 5：Arduino 結合 ORP meter 監測振盪反應裝置圖

圖片來源：廖旭茂、施上芸、李忻慈、陳冠愷 (2023)。以氧化還原電位計探究 BR 振盪反應的過程。臺灣化學教育，54。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=43764>

■ 結語

現在的自己心力往兩個方向前進，一是自製教具，這原本的初衷是想幫助自己的學生能夠有更高的學習動機，更多的動手機會，然後不自覺地愛上化學。後來深陷其中，難以自拔的不是學生，反而是自己。當然這跟分享有關，當個教學點子 Giver，有時候是很幸福的，因為受眾會給你掌聲、鼓勵；分享產生了正向的回饋與循環，分享的力量很難以估量。但分享這部分並非海闊天空，一路順暢，從每次這些自製新教具的文章公布後，私底下常會有老師在詢問取得教具的方式。因為縱使我在研習場地分享了「How to do」，但製作方法通常需要繪圖軟體的設計、雷射切割機的操作，以及機械工具、電子元件的使用，種種因素大幅限縮了中小學科學教師進行參考製作的可能性。當下只能不斷地跟熱情的老師們致歉，實在因個人能力、時間、資源有限啊！因此如何推廣的這事件近幾年來一直困擾著我，誠心建議理化老師可與校內生活科技科老師合作，只要有心相信問題一定可以慢慢克服的。

另一個方向是感測器的使用，商用感測器於探索化學教學課程的開發，也越來越普遍，不過單價過高，非大部分學校可以負擔；但親切的介面，及時圖形化的呈現實驗結果，以及先進高速的數據處理，對融入課程上更直接、容易，直接免去了寫程式方面的負擔說，實在的化學教師也沒必要人人會寫程式。數位化這樣的訓練應該及早落實，不

僅可以帶領高中學生從定性的觀察，進入定量測量與科學分析的嶄新階段，更可提升學生面對切身相關的生活議題，如食安問題，能有正確科學素養，來判斷媒體訊息的真偽。因此以過來人的身分建議，在下一次課綱改革時，直接將數位感測器直接列入設備標準，自然科物理、化學、生物、地科四科共用使用相同的數據收集平台，由教育部或各地方集體採購，自然壓低降格，預估花個幾十億，就可以將全國高中的科學實驗，全面升級，一次到位。比其經費分散，扔到地方各校，撲通一聲，來得好啊。一切成事在人，衷心期待這一天的到來。

當個不安的化學教師，回顧十幾年實驗開發的路，唯一不變的是行進的軌跡一直在變；每次出國參加研討會看到好的教學創意、或在 paper 上讀到新的實驗創新時，總迫不及待想回實驗室試看看；看多、試多了，有一陣子，腦海裡總會不時迸出靈感來，建議年輕的老師目光暫時離開手邊的那本講義，投入「試試看」的領域；多逛五金行，手變巧了，腦思路撬開來了，有天也可享受點子像豆芽菜爭相冒出土的快感。

面對快速變化的時代，改變不是壞事，勇於嘗試，讓學生看看老師也是跟得上潮流的狠角色，與大家共勉。

■ 特別致謝

感謝這十年來，邱美虹教授的提攜與鼓勵；感謝楊水平教授在發展過程提供的寶貴意見與指導；感謝化學學科中心一直提供相關支援；感謝學校的行政協助建構一流的實驗空間並提供豐沛的資源，讓我可以走到今天；感謝身邊好朋友，一起前行，共同開創一片天空。

■ 參考文獻

王瓊蘭 (2015)。淌血的心—硫氰化鉀與鐵離子的反應。臺灣化學教育，7。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=7309>

陳孟男 (2014)。人像藍印術。臺灣化學教育，3。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=2830>

黃蕙君、邱姿蓉 (2015)。趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成。臺灣化學教育，5。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118>

廖旭茂 (2013)。自製磁力異形。科學研習月刊，52，6，26-31。網址 <https://www.ntsec.gov.tw/article/FileAtt.ashx?id=7081>

- 廖旭茂 (2013)。家庭化學實驗：行動電化學蝕刻。科學研習月刊，52，11，16-19。網址 <https://www.ntsec.gov.tw/article/FileAtt.ashx?id=7137>
- 廖旭茂、黃維靜 (2014)。行動電化學蝕刻——印台和金屬書籤的製作。臺灣化學教育，2。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=2174>
- 廖旭茂、陳熾竹、羅珮綺、林芳瑜 (2015)。探究「紅綠燈」示範實驗的多彩顏色。臺灣化學教育，8。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=7857>
- 廖旭茂、林宸緯 (2016)。螺旋狀旋光彩虹管教具設計。臺灣化學教育，12。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=14964>
- 廖旭茂、黃家均、林群耀、廖心妍 (2016)。感熱紙的熱致作畫和酸鹼多段變色實驗。臺灣化學教育，13。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=16264>
- 廖旭茂 (2016)。亞甲藍的光致變色。臺灣化學教育，16。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=21492>
- 廖旭茂 (2017)。黑白與記憶：銀鹽相紙的製作與沖印。臺灣化學教育，18。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=22162>
- 廖旭茂 (2017)。當藝術遇見化學：用化學蝕刻製作銅板作品。臺灣化學教育，22。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=26185>
- 廖旭茂 (2018)。綠色化學實驗模組的設計與應用-1：電化學模組。臺灣化學教育，28。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=31224>
- 廖旭茂 (2019)。兩岸化學教育高峰論壇：綠色創客-2：霍夫曼微型電解水模組的設計與應用。臺灣化學教育，32。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=34798>
- 廖旭茂 (2020)。綠色創客-3：微型電熱式蒸餾器的設計與製作。臺灣化學教育，40。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=39263>
- 廖旭茂、陳許玉鈴 (2021)。跨領域的台灣土肉桂探究之旅—化學篇。臺灣化學教育，41。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=40042>
- 廖旭茂 (2020)。利用智慧型手機結合 App 探究化學平衡移動。臺灣化學教育，37。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=37556>
- 廖旭茂、施上芸、李忻慈、陳冠愷 (2023)。以氧化還原電位計探究 BR 振盪反應的過程。臺灣化學教育，54。網址 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=43764>