

【附件三】成果報告

封面 Cover Page

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number :

學門專案分類/Division :

計畫年度 : 113 年度一年期 112 年度多年期

執行期間/Funding Period : 2024.08.01 – 2025.07.31

整合 PDSA 於專題導向式學習強化材料專業課程學習效能與學生工程師素養養成之研究

(智能元件設計與實務)

計畫主持人(Principal Investigator) : 梁元彰

協同主持人(Co-Principal Investigator) :

執行機構及系所(Institution/Department/Program) : (國立臺灣海洋大學／光電與材料科
技學系)

成果報告公開日期 : 立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date) : 2025 年 09 月 03 日

本文與附件 Content & Appendix

整合 PDSA 於專題導向式學習強化材料專業課程學習效能與學生工程師素養養成之研究

一、本文 (Content)

1. 研究動機與目的 (Research Motive and Purpose)

材料工程學程的開課多元，學理論述或實驗課程包羅廣泛，但甚少有單一課程能整合材料工程技術應用的學理與實務於電子或半導體產業上的應用。這主要來自於這些科技產業所需知識常為跨領域的學習，雖學理部份理應用在不同材料系統可以流通，但學生常因沒有課程內部的實務驗證，加上授課教師的照本宣科教學方式，導致學生學習相關科目知識卻無法延伸應用於半導體、電子的元件應用，因此整合性的知識傳授並搭配實務的學理驗證甚為欠缺。因此，對於過往所開設的課程「智能元件與設計實務」為例，我想重新設計課程內容將授課的學理機制集中為專題式引導的傳授，並整合以對應於課程傳授學理基礎下可延伸的實務應用為課程一部分主體，設計幾個簡易的智能元件設計讓學生在做的過程中，對於所需應具備的材料分析技術、製程參數掌控、晶體品質與缺陷、成分改質等對於功能特性量測結果的關聯性建立所需學理知識、文獻個案討論彙整穿插，來串聯成一個授課核心。這樣的課程安排有別於過往針對單一門課，按照教科書章節授課無法實現融會貫通的學習。

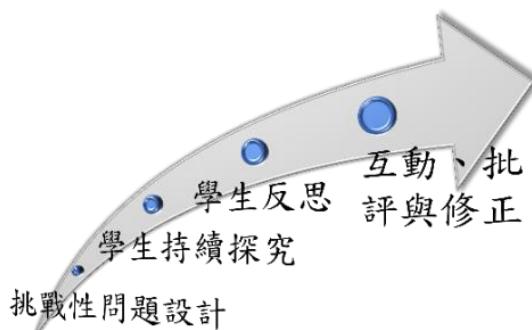
2. 研究問題 (Research Question)

本研究計畫之問題意識在於過往傳統講課授課與課堂討論的互動方式無法使學生理解所受知識的實務應用層面為何、無法引起學生的學習興趣、無法訓練出具基本工程師素養知識內涵的學習成效。為達到強化學生學以致用、學能所用、未來產業實務聯結的目標。本研究問題以原課程中加入動手實作的數個連續製程、材料分析與元件效能量測實驗。將課堂上的基礎知識與文獻個案探討中學習到的知識轉化為實際可用的實作手段，並且以製造完成後的智能元件效能、材料分析結果與製程參數的綜合關聯性的系統性且具邏輯性的分析來建立高效能功能性智能元件設計與製作專題導向學習模型，強化學習成效。藉由此模型的建立以及過程中的問題突破解決、互動指導討論、反思回饋與改進來標定學生對於此一課程的理解消化的程度。為此，我們可以比對使用添加 PDSA 循環的強化「專題導向式學習」這一個改善機制後的學生課程學習能力與以前只有課堂純講課授業解惑方式再搭以書面考試所產生的學習成效差異，並實現在這改良式的教學方式下學生求得知識實務活用與課程進步的動力。

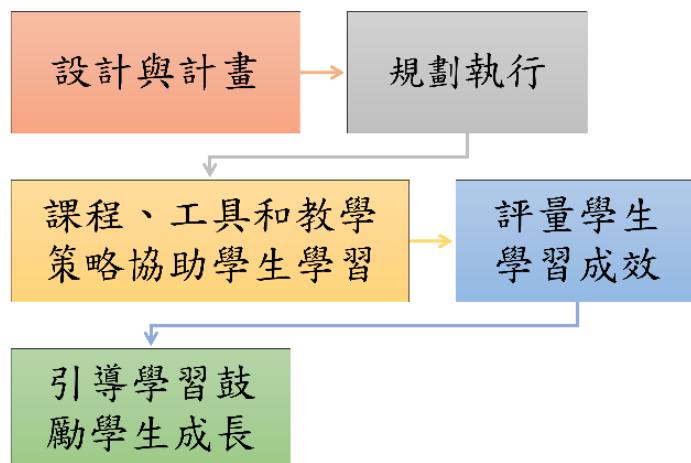
3. 文獻探討 (Literature Review)

近年有甚多的教育單位引入成果導向教育(outcome-based education)方針，實施所謂的成果導向、持續改善之雙迴圈課程規劃及管理藉由以學生學習成效為主體來使學生學習課程之後能具備帶得離開學校的軟實力。其突破傳統之處在於強調校內教學應幫助學生融化這些能力並與實際生活產生密切連結。因此，學生修了什麼課並不重要，學生在學校修課學習後能具備怎樣的能力才是重點，近年亦有學者針對核心能力目標導向、全校教育目標統整、系所課程配套連貫、學習成果能力檢核四個面向，歸結出具體改進與發展建議[1]。這部分的精神導入課程學習，著實強化了學生能力的培養。然傳統上工程學科教學精神常以 Hynes 等人所提出的工程設計流程模型運作[2]，也因此，學生在單一直觀的發展解決方案上的應用，往往

無法有效解決所遭遇的問題。相對的，來反多次的重複性測試反而消磨學生的熱忱降低學習意願。近年較為盛行的則為「專題導向式學習」方法，該方法強調授課應提供各種研究主題、問題的課程，讓學生自由選擇，教師從旁指導學生以問題解決的方式來達到學習的目的。該精神著重於 1. 讓學生透過自主學習來解決問題，2. 讓學生有省思的能力、求知與決解問題的能力，3. 具備團隊溝通合作的能力。該精神的執行可建立於 1. 專題式的問題作為課程引導，2. 學生為主動學習者和解題者，3. 教師擔任引導突破學習者，4. 小組合作學習以及 5. 跳脫傳統以多元化的評量方式評定學生學習成效[3]。這與另一種「問題導向學習」的目在協助學生在理解問題時，能統整訊息並將之應用到所聚焦的問題上來界定出他們學習的需求，來提高學習成效，「專題式導向學習」則更具有成效。這邊須注意到的，問題導向學習的目的不在解決已經被提出的問題。而是藉由這些已經被提出的問題，協助學生在理解問題時，能夠界定出他們學習的需求，統整訊息並將之應用到所聚焦的問題上，藉此進行高效的學習[4]。相對的，不同於問題導向學習，「專題導向學習」則非常重視針對所提問題的最終解決方案。釐清專題導向與問題導向的學習差異有助於採用在設計妥善的專題式學習單元下，以課堂教學的重要問題為起點。修課的學生部分專題規劃則以小群體合作方式，去尋求解決辦法[5]。專題導向學習設計的準則概念如圖一所示，而常見對應的教學實踐準則概念則如圖二所示。因此專題之進行除了課堂的授課解釋提點外，所需配合的實作進行環境可能就是開課所需先良善處理的問題。對於大學端工程領域學群的老師，有持續在產研執行經營的老師，在這方面的整合專題式導向學習授課規劃究較為有利。也較為能貼近實務業界所需工程師培養的基本素質養成。



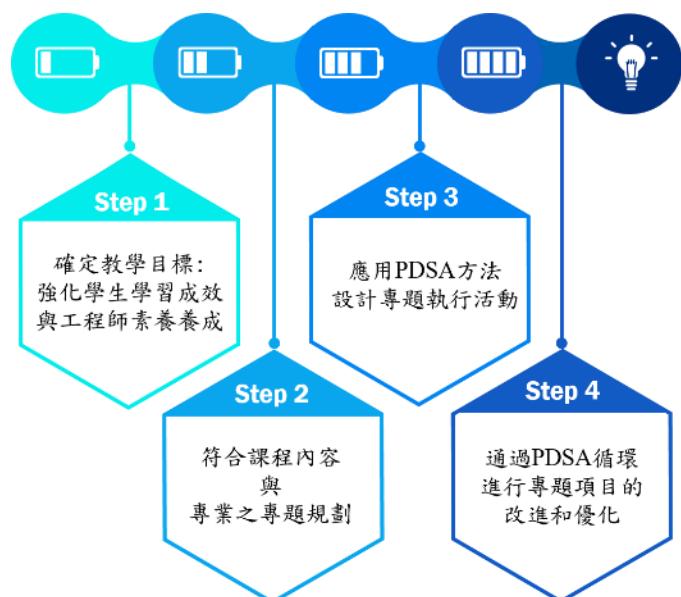
圖一、專題導向學習設計的準則概念。



圖二、教學實踐準則概念。

專題式學習特別具吸引力的是：修課學生不只必須根據自己的分析、研究和知識來導出結

論，也必須解釋推論過程，建立合乎工程邏輯觀念的模型，這強化了工程領域學生在工程師素質的養成。PDSA (Plan-Do-Study-Act) 是一種循環學習與改進模式，常用於教育、品質管理與問題解決領域，能幫助學習者與組織透過持續改進來提升效能。在 Joshi 所發表的文章中介紹了在工程教育中採用 PDSA 有效的改進技術的重要性。在實際導入 PDSA 後，教學和學習過程的效益提升可以被有效地管理和量化。導入 PDSA 使得教學和學習過程的改進更具系統性和組織性。透過不斷的計劃、執行、研究和行動，學校可以更好地滿足學生需求，提供高品質的教育[6]。亦有將 PDSA 框架應用於醫學生的抗生素使用課程來提高學生的滿意度和學習成果的成就報導。該研究中，使用 PDSA 循環，並根據學生的定性回饋進行迭代修改，使學生在課程形式、對抗生素的自我評估理解及其適當的臨床應用方面獲得了更有利的評分。而建設性主題的相關變化，在敘事評論也得到了改善。該研究顯示 97%學生對「主動學習」簡報形式的滿意度也很高。而研究報告中的呈現的為每個病例提供抗生素參考表和答案選擇，進一步提高了學生的接受度和感知的教育價值。研究結果對醫學教育有潛在影響，並表明 PDSA 循環的應用可以優化主動學習教學法和結果[7]。基於上述的論述，本研究計畫重點評論整合含有 PDSA 循環精神與手段融入專題導向學習來有效提升教學成效的可行方向。首先，**訂定明確的學習目標**：針對課程的授課內容方向，教師與學生一起訂定明確的學習目標。這樣可以幫助學生聚焦於特定的目標，並將 PDSA 方法應用於實現這些目標的過程中。其次，**培養主動學習**：專題導向學習和 PDSA 方法都鼓勵學生主動參與學習過程。學生需要積極設計和執行 PDSA 循環，並通過實踐和反思不斷改進專題。這樣可以培養學生的主動學習能力和責任感。再者，**提供支持和指導**：教師須引導學生進行計劃、執行、學習和行動的步驟，並提供必要的反饋和指導。實質鼓勵合作和交流：同組學生或跨組學生可以分享彼此的學習經驗、提供建議和反思，從而加深對 PDSA 方法的理解和應用。最後，**進行評估和回饋**：在專題導向學習中，評估應該是持續的並與 PDSA 方法相匹配。透過評估學生執行專題的表現，可以了解學生的學習進展和成效，並提供有針對性的指導，幫助學生進一步改進專題的執行和結果。相關的整合應用流程大致可以規劃於下圖三所示。總結之，通過專題導向學習和 PDSA 方法的結合使用，學生可以在實際的專題中進行主動學習和持續改進。這不僅提升了他們的學習效能，還培養了他們的問題解決能力和小組合作能力。PBL 的優勢提供學習的內容和真實場域的應用，而 PDSA 支持教學策略和學生學習成果的持續改進和評估。這種結合也促進了學生對知識的呼應理解、更有意義的學習體驗，並有效地培養了修課學生所需具備的材料特色領域工程師素養。

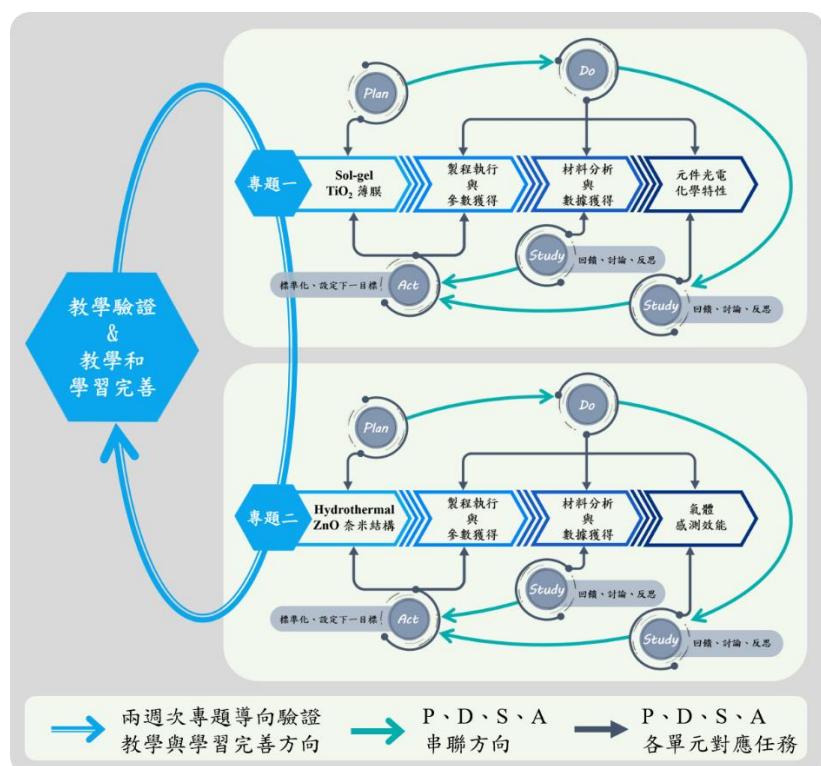


圖三、透過專題導向學習和 PDSA 方法的結合提升課程教學成效步驟。

4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

藉由選用兩個具有代表性的功能性材料(二氧化鈦與氧化鋅)以旋轉塗佈和水熱製程的搭配，來讓學生實作了解兩種製程手段的製程參數操控因子對於主動層晶體品質的操控以及反應於元件操作特性效能之影響。搭配水平爐管的製程，可選擇退火(真空與通氣)晶體品質調控，以獲得最佳化的智能元件。這邊選用氣體感測與光電化學量測來驗證所備製的元件其功能屬性優劣。這兩種量測結果皆反應到二氧化鈦與氧化鋅的半導體物性。因此，這樣的切入角度可以讓實作的同學將半導體物理與光電化學的基礎融入實務之中。而藉由旋轉塗佈和水熱製程的熟悉與了解可以延伸學生未來在功能性材料薄膜或低微度結構製程的整合開發，對於進入微電子、化工材料與半導體產業有著實的幫助。而水平爐管更是上述產業不可或缺的材料二次加工製程設備。對於水平爐管的熟悉不僅在於真空技術上的了解，更能輔助二次加工製造強化元件效能。這樣的切入安排設計，將有助於學生未來在產業就業的連結。綜合而論，兩個專題導向學習主題皆可包含兩個階段。第一階段先搭配基本材料分析技術驗證旋轉塗佈、水熱製程與退火加工樣品的材料品質特性。第二階段了解材料品質特性與功能性量測效能關聯性建立。這邊須強調的是，此門課仍是一般常規的課程授課，這邊所謂的專題導向學習的「專題」並非為期一學期或一學年的專題研究實作課。這邊為課程授課過程中所設計的「專題式學習」引導的實作輔助課程，我們強調兩個簡易實作設計過程學習導向。

規劃兩個簡易實作融入課程中，將有利於我們在具有專題導向學習的課程中加入 PDSA 的循環設計自由度。在第一個專題導向學習過程的架構下，導入 PDSA 的循環，強化反思回饋，驗證學習成效，與調整執行方向，建立並提高學生專題目標達成的機會。藉由專題一的循環執行，訓練學生實務化與吸收學理的活用，並在專題二中，再次執行一次 PDSA 的循環手段，對比兩次的循環專題導向學習，評估比較學生對於教學與學習完善性的提升程度，驗證 PDSA 輔助 PBL 的課程設計對學生學習與工程師素養養成的成效。相關教學設計與規劃流程圖如圖四所示：



圖四、教學設計與規劃流程圖。

5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

(1) 研究對象與場域

本研究規劃修課學生進入個人實驗室動手實作智能元件，以了解元件製程、材料分析、元件效能量測運作與原理的主題而設計課程強化改良。初期的教學目標讓學生能經過此課程的修課認知:(A)智能元件的設計準則、(B)了解實作元件過程中製程參數的調控邏輯與分析、(C)了解材料分析數據的涵義與製程參數關聯性的建立、(D)了解所備製智能元件之功能性量測結果與製程參數的關聯性、(E)整合製程並提出改善方案的教學目標。藉由這樣設定的研究目標，讓修課的高年級大學部學生或低年級研究生能盡早熟悉實作環境、實作儀控程序、實作場域工作守則規範，透過實踐教學於實務教學現場，來提升學生學習效率的因素。研究對象:大四以上修課學生。執行場域則包含實體教室與實驗室。

(2) 研究方法與工具

本研究在研究方法上，主要採用質化方式來蒐集研究資料，輔以量化方式分析學生的學習感受。質化研究工具包括教室觀察回饋記錄表、學生學習活動記錄等。量化研究工具包括有學理測驗、專題執行達標量化程度、專題達成報告率以及個人學習感受量表問卷回饋表。

綜合修課學生學期成績考核方式如下:

1. 學理紙筆測驗 (20%)
2. 實作元件的製程條件與量測結果模型建立作為學生成績考核評量之標準^{*} (40%)。
3. 上課或實作師生以及助教學生互動態度 (10%)。
4. 小組實作製程整合口頭報告表現 (15%)。
5. 工作態度側寫與回饋 (15%)。

*表一、專題量化考核標準以下面規範為主

項目	標準	分數
材料分析(一)	能正確比對正確主動層 XRD 晶面	100(全對)、80(小於三個晶面比對錯誤)、<60(不會比對，搞不清楚晶體結構對應的繞射晶面)。
材料分析(二)	確實參與 UV-vis 量測，redshift、Urbach energy、band gap	80-100(正確評估缺陷引起的吸收紅移、Urbach 能量、能隙計算)、60-80(光學參數部分正確)、<60(光學參數計算錯誤，學理無法驗證解釋)。
材料分析(三)	正確解析 XPS 數據	80-100(會 fitting 初始數據，且評斷鍵結能的貢獻)、60-80(會 fitting 初始數據，但無法合理解釋鍵結能位置貢獻)、<60(不會 fitting 與文獻參考解釋)。

特性量測(一)	有效光電化學數據獲得	80-100 (光電流密度可達0.7 mA/cm ² (TiO ₂)、並可以 fitting 解析出 Nyquist 曲線介面傳輸電阻值 R _{ct})、求得 OCP 曲線的τ 值，60-80 (未達預期效能、但能搭配提出材料分析數據解釋緣由，有課程學理及文獻支持，並合乎邏輯性)、0-60(有實務執行，卻無法測得光電化學五次重複循環響應電流密度變化值)。
特性量測(二)	有效氣體感測數據獲得	80-100 (100 ppm 酒精氣體感測響應倍率> 10。響應時間< 5 s、回復時間< 10 s)、60-80 (量得可用響應曲線但響應效能不符預期值。)、0-60(樣品無法獲得可靠、可分辨的響應曲線)。

(3) 研究實施程序:

先課堂基礎學理總論加以說明教授，後接續實作、量測、課堂互動交互進行，以達到教後即做、做完即量、量測結果與所學知識相互比對的學習循環。若時間不足時，將以延續下午課後的晚間時段供應學生自主實作進度使用以及支薪助教補強實務互動討論進度為主要施行。相關實施程序流程符合圖四所規畫進行，在每一個專題導向中，在每一次的“Study”與“Act/Adjust”階段接收學生之學習反思與回饋，審閱學生在專題執行工作側寫報告的內容，提升師生互動改進教學方向成效。在第一週次的專題導向學習後彙整建立通過所設計評估工具，例如問卷、測試、觀察表等，收集學生對教學方法感知與學習成果的信息。然後進行統計分析，評估教學方法的效益與學生學習成效。接續，在期中結束課程時，再建立第二週次的專題導向學習後的相關評估工具回饋統計分析表，評估執行第二週次的專題導向學習方式對於進一步改善第一次專題導向周期的學習成效問題的改善效率。最終，藉由本計畫執行成果來展示如何融入 PDSA 週期改善專題導向學習的課程設計細節。通過這樣的設計，學生可以在解決實際問題的過程中不斷優化和改善他們的解決方案和結果。同時，這也幫助學生培養問題解決和持續改善的能力。教師也在其中扮演著指導者的角色，引導學生進行相應的活動，進而培養修課學生具備工程師素養。

6. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

(1) 教學過程與成果

學生背景及學習狀況調查

在本次「智能元件設計與實務」課程的教學實踐研究計畫中，透過對學生背景與學習狀況的調查，進行課程設計與學習成效的評估，圖五為學期初學生背景與學習狀況調查(a)-(g)。首先，為了確保課程設計能夠更好地符合學生的需求與學習狀況，我們在課程開始前進行了

學生背景與學習狀況調查。調查結果顯示，在修課的 10 位學生中，8 位為碩士班學生，2 位為大學部學生，且所有學生皆為首次修讀本課程。這些學生來自不同的學科背景，碩士班學生中有 50.0% 的學生並非光電與材料相關科系出身，部分學生來自化學工程、電機工程、紡織工程等工程領域，這反映了部分學生可能具有對於光電材料學理知識不足的問題，並且有超過 80.0% 的學生為首次修智能元件相關課程。此外，學習狀況的調查顯示，僅有 40.0% 的學生有課前預習的習慣，這顯示出大部分學生過往的學習模式較為被動。調查中顯示高達 50.0% 的學生過往沒有團隊合作的學習經驗，因此預估在初期的專題實驗磨合上，團隊合作方面可能需要強化。此外，只有 40.0% 的學生對於智能元件有基礎知識，這表示大部分學生過往並無此課程的學習經驗，日後在教學設計上可以先著重在對於智能元件的認識。調查中顯示，僅有 40.0% 的學生有反思及自我檢視的習慣，這可能會造成大部分的學生遇到學習困難與狀況，不會進行檢討與改善，最終形成負面的學習模式。有 30.0% 的學生希望可以在本課程學習到關於半導體的知識，另有 40.0% 的學生希望學習到有關元件知識方面的內容，在教學設計上也會參考以上內容優化及改善。有這表示這些資訊幫助我們在課程中加強支持措施，設計更多能夠激發學生主動學習的內容，並透過 PBL 專題學習來提升學生的問題解決能力和團隊合作能力。基於這些學生背景與學習狀況的調查結果，我們進一步採用了 PDSA 循環模式來對教學過程進行動態調整。結合 PBL 與 PDSA，並根據學生背景與學習狀況調查結果進行課程設計與調整，我們希望能夠幫助學生在學術與專業技能方面取得顯著進展，同時也提升教學質量和學習成效。

【學期初學生背景與學習狀況調查】

1. 學生過去科系及目前科系?

/

2. 過去是否有修過智能元件的相關課程(若勾選是，請寫上課程名稱)

是 否

3. 是否習慣在上課前預習課程內容?

A.非常同意 B.同意 C.普通 D.不同意 E.非常不同意

4. 是否善於團隊合作取向的學習方式?

A.非常同意 B.同意 C.普通 D.不同意 E.非常不同意

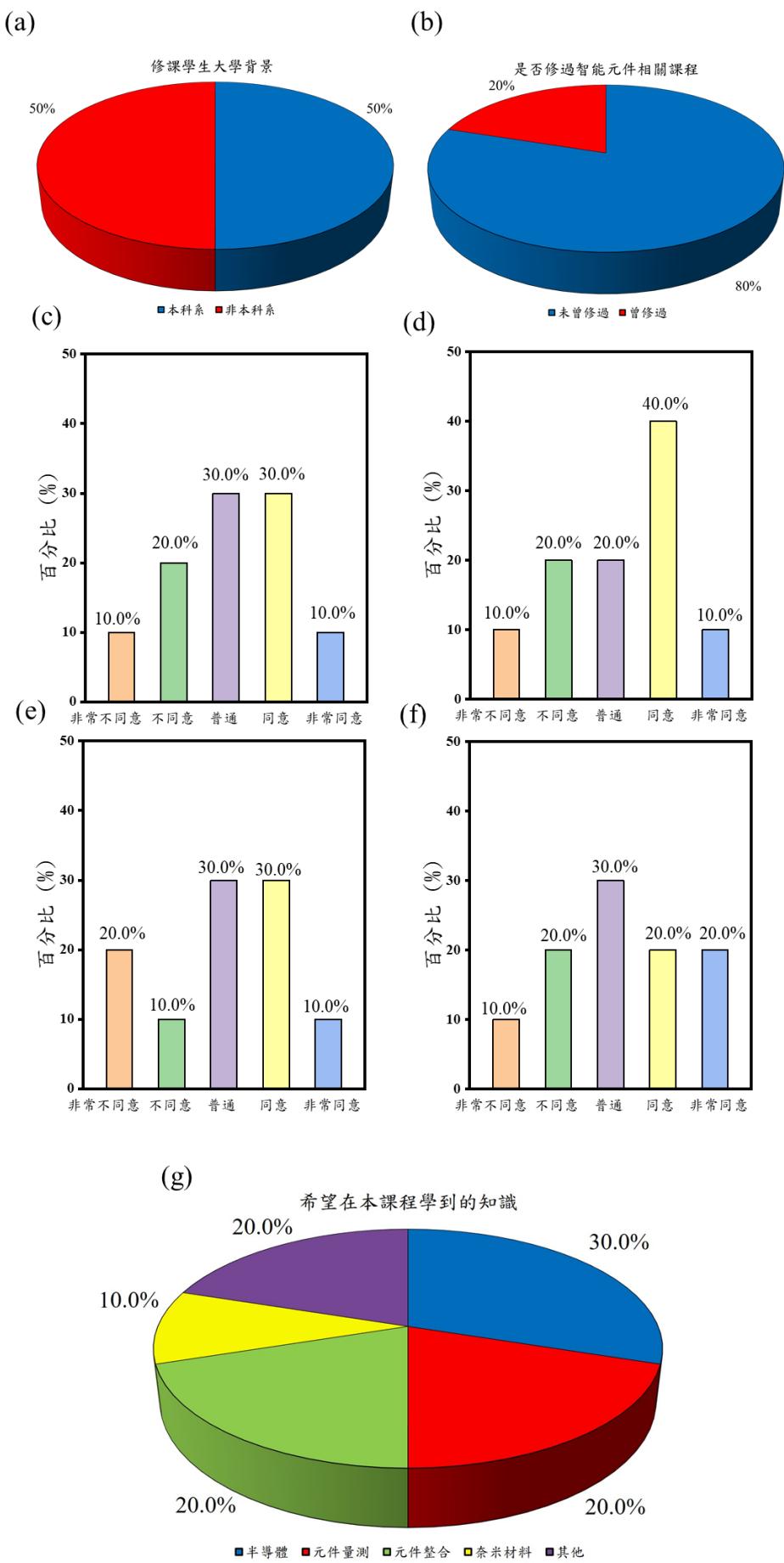
5. 是否具備學習智能元件相關知識的基礎?

A.非常同意 B.同意 C.普通 D.不同意 E.非常不同意

6. 是否會在學習後主動檢視並反思自己的表現與學習成效?

A.非常同意 B.同意 C.普通 D.不同意 E.非常不同意

7. 對這門課程有什麼樣的期待？或希望學到哪些對你未來有幫助的知識？

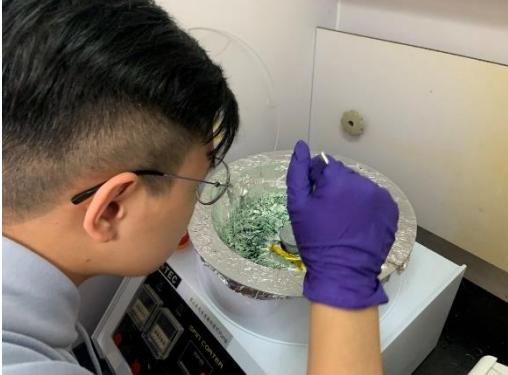


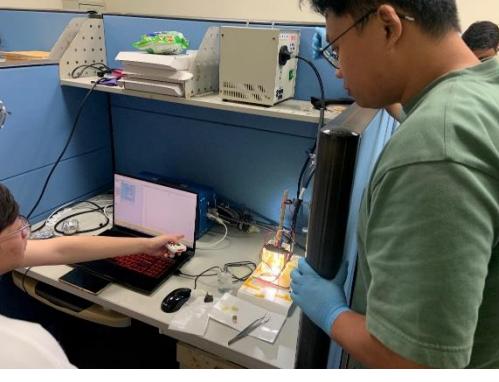
圖五、學期初學生背景與學習狀況調查 1 至 7(a)-(g)。

專題實作過程

本教學計劃規劃除了課堂學理講解外，將導入兩個專題實作實驗，並透過學生的課堂反饋做出教學改善，最終利用「學生成績考核與學習成效評量工具」「學理知識評估問卷」「學生學習回饋問卷」等評量工具評估學生的學習成效變化。專題實作學習規劃 2~3 人一組進行實作學習，實作學習將設計簡易手法的實驗:1.TiO₂ 薄膜旋塗製備 2.ZnO 晶體水熱法製備，並進行光電化學量測與元件特性分析，接著請學生將數據進行彙整，最終在學期末進行成果報告。表二為學生實作學習過程紀錄。在實作過程中，學生需自行規劃主題、查找資料、設計實驗流程並完成成果展示，從中展現出解決問題能力，能針對設計與實作中遇到的困難提出具體對策，培養系統性思考與邏輯推理的能力。熟悉材料相關儀器操作與測試流程，具備分析實驗數據與驗證理論的能力，具有實驗與操作技能。

表二、學生實作學習過程紀錄。

實作過程	
旋轉塗佈製程	水熱製程 1
	
水熱製程 2	大氣爐管使用
	
真空爐管使用	助教協助 SEM 顯微鏡拍攝

	
紫外光-可見光分光儀量測 	元件量測-光電化學性能 
元件量測-氣體感測 	元件量測-接觸角測量 

PBL 專題期末報告

在學期中與學習末階段，本課程安排學生進行專題期中期末報告，作為整合學習成果與展現實作能力的評量依據。學生需將整個學期期間之專題實作內容進行彙整與分析，並以簡報形式進行口頭發表。評量方式將採用 C. 學生成績考核與學習成效評量工具 2. 實作元件的製程條件與量測結果模型建立作為學生成績考核評量之標準 (40%)與 4. 小組實作製程整合口頭報告表現 (15%)。圖六為本課程中三組學生的簡報投影片範例，顯示其在專題架構、數據呈現與邏輯推演上的表現。報告當日，授課教師根據學生所提出的製程條件設定與實驗量測結果，進行討論與提問。大多數同學對於此次報告準備相當用心與充足，授課教師感受到學生對於專題實作課程的熱忱與投入，專業部分，同樣感受到學生對於材料科學專業知識與口條的提升。並且授課教授引導每組學生進行提問，台上學生與台下學生以討論的方式將答案

找出，此互動提升了學生之間的邏輯與問答能力。透過此一專題報告環節，學生得以訓練資料整理、邏輯思考、表達溝通與回應問題的能力，亦有助於強化其面對技術簡報與未來職場專案簡報的實務能力。



圖六、本課程中三組學生的簡報投影片範例。

課程成果分享

為拓展學生的學習視野與實踐經驗，本課程規劃於國立台灣海洋大學-光電材料科技學系-光電綠能工作坊進行公開分享與學術交流活動，讓學生能從產業與學術不同面向了解智能元件的應用與發展。圖七 (a)、(b) 系上課程邀請業界講者(茂綸股份有限公司-張緒國經理)發表關於光通訊智能元件專題演講的活動現場。講者針對材料元件設計與製程技術趨勢進行分享，讓學生從業界角度了解最新應用實務與技術挑戰，並且學生把握機會與講者互動提問，獲得產業經驗與見解。圖七 (c) 為學生於公開學術交流活動(光電壁報競賽)中進行專題成果發表的情形。學生透過製作海報，介紹其於課程中完成的 ZnO 感測元件設計與量測成果，並就感測數據、材料製程與應用潛力進行簡報與討論。學生展現出良好的邏輯表達能力與學術素養，能清楚回應他人提問並闡述其專題成果的關鍵價值。透過這類活動，將此次實作專題於公開場合進行報告分享，學生不僅強化了專業溝通與展示能力，並提升實務能力與專業知識，也實際參與公開的學術交流場合，獲取優異競賽成績，深化了學習動機與自我期許，為未來學術或職涯發展奠定良好基礎。

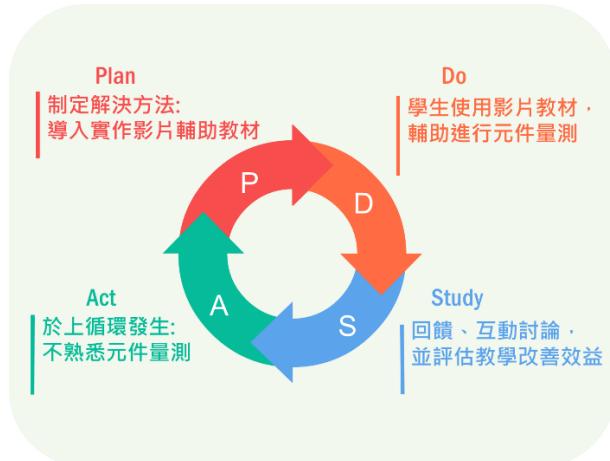


圖七、公開分享學術交流活動(a)(b)業界演講(c)將專題課程結果於公開學術活動進行分享。

PDSA 教學改善循環

找出專題一 PDSA 循環中發生的問題，在專題二 PDSA 循環中制定解決計畫，最終評估改善成效。在專題一許多學生的回饋中，多半學生表示為第一次進行元件量測較為生疏，並且量測步驟較繁瑣、難易度較高，多數同學表示無法獨立作業。為了解決同學不熟悉量測此問題，因此於下階段的 PDSA 教學循環中進行改善。計畫(Plan)導入元件量測實作影片，由助教協助拍攝剪輯元件量測實作影片輔助教材，降低學生操作難易度。在執行(Do)階段，學生

按照教師提供的影片輔助教材學習元件量測。藉由觀看影片示範及操作，學生能更清楚掌握測量步驟與注意事項，提升學習效果及實作信心。討論(Study)階段透過課堂討論與學生回饋，蒐集學生對於影片輔助教材的學習成效、實用性及理解度的意見，同時教師也進行課程成效評估。藉由討論與分析，進一步確認影片輔助教學的成效與不足之處。行動(Act)階段針對回饋與檢討中發現的問題進行調整。例如：學生能夠量測數據，但卻對數據解讀有困難，能進行下一輪的改進。如此一來，能持續優化課程內容及教學方法，確保學生能在學習過程中逐步克服挑戰。圖八為專題二教學改善循環圖。



圖八、實驗專題二 PDSA 教學改善循環。

Plan:

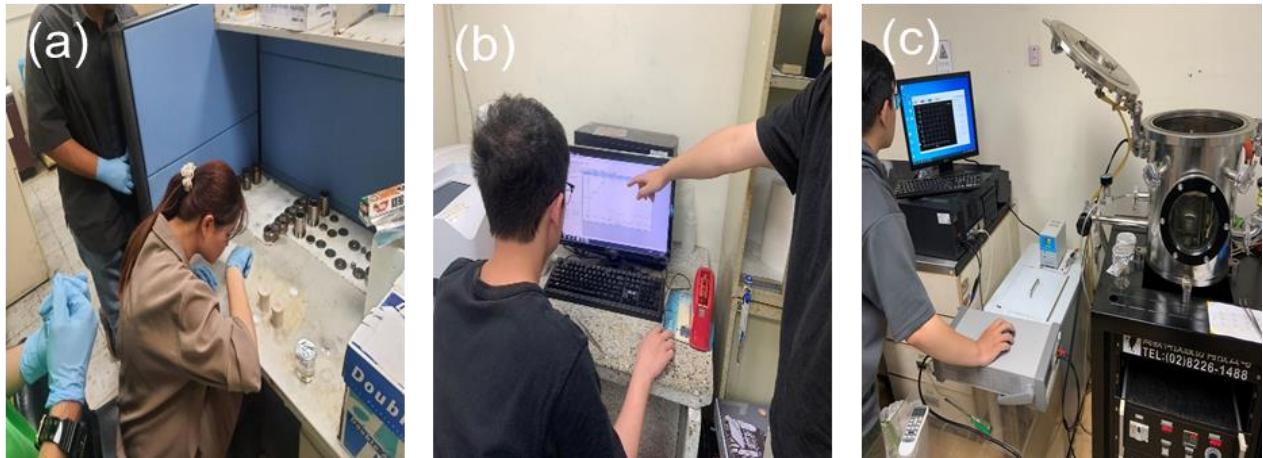
為了提升學生在專題課程中對於氣體感測器等元件量測的理解與操作能力，計畫在 Plan 階段導入「元件量測實作影片輔助教材」作為教學輔助工具。圖九展示了以實作影片為主軸的元件量測教學輔助教材拍攝畫面，內容包含儀器設備操作、數據測量及分析過程，協助學生在課程中及課後能更清楚掌握元件量測的流程與技巧，進而促進學習效果與實驗能力的提升。此影片輔助教材的製作內容涵蓋元件量測步驟、實驗設備操作、數據紀錄及儀器設定等，並結合實際拍攝示範，讓學生能夠在課前、課中或課後進行觀摩與練習。此舉有助於補足課堂教學中操作細節不足或學生操作熟練度不一致的問題，讓學生能在課程中更有效地學習與吸收量測技術，減少實驗時因操作不熟悉而造成的錯誤，並強化課堂學習成效。



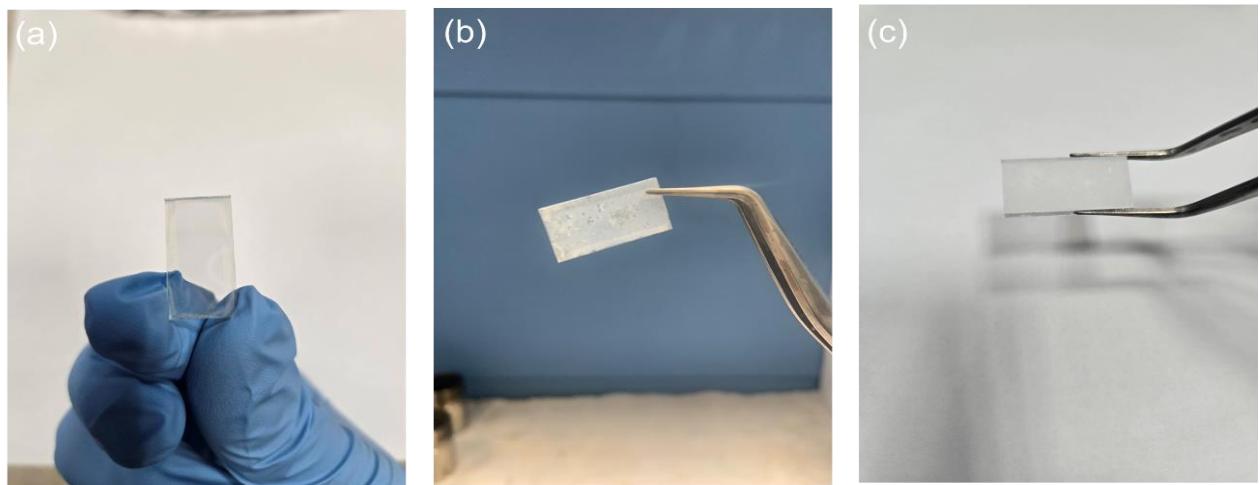
圖九、教學改善-元件量測實作影片輔助教材製作。

Do:

學生運用先前製作的「元件量測實作影片輔助教材」(圖九)進行專題二實驗，包括圖十(a)元件製作、(b)光學分析、(c)元件特性分析等學習活動，圖十一(a)、(b)、(c)為學生在專題分組製備的元件樣品實體照，這些樣品皆由學生依據課程指導內容自行設計與製作，透過此類分組專題實作，學生能實際操作實驗設備，並將所學理論應用於元件開發中。藉由影片輔助，學生能在課堂外先預習元件製作的關鍵步驟，熟悉儀器的操作及材料的準備流程，減少實驗時的操作錯誤。



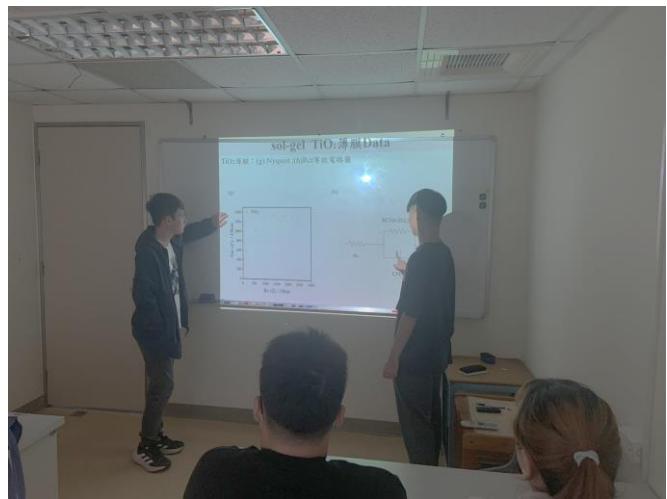
圖十、學生執行專題二實驗(a)元件製作(b)光學分析(c)元件特性分析。



圖十一、學生專題分組製備的元件樣品實體照(a)第一組(b)第二組(c)第三組。

Study:

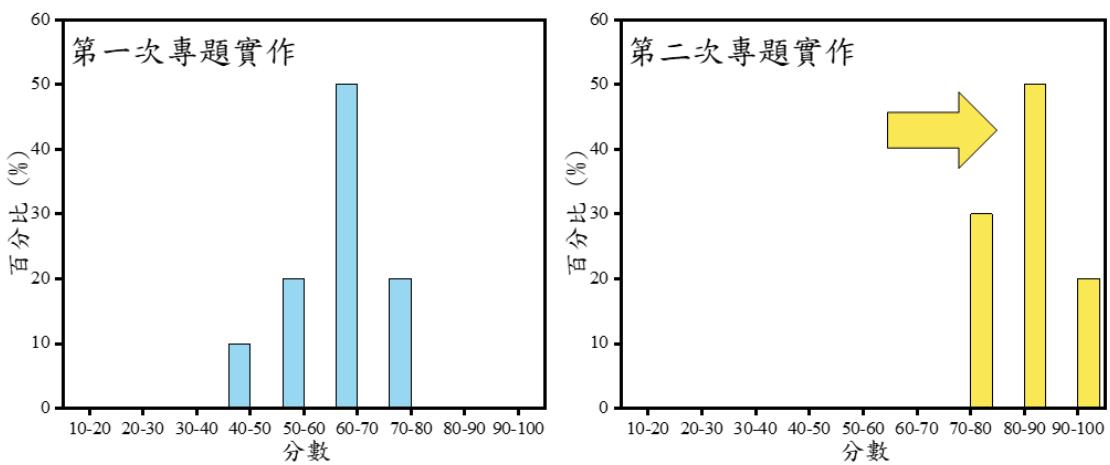
教師透過課堂討論及學生回饋，蒐集學生對於影片輔助教材的學習成效、實用性及理解度的意見。同時，教師亦進行課程成效評估，包括學生對元件製作、光學分析及元件特性量測等學習環節的掌握度。如圖十二所示，學生在課堂上進行成果分享與討論，由同學們分組進行簡報，並就影片教材中的操作細節與步驟進行互動問答。藉由這樣的討論與分析，教師能即時發現學生在影片輔助學習中遇到的問題及尚未掌握的重點，進一步確認影片輔助教學的有效性與需要改善的地方。這不僅幫助教師調整下一階段的教學策略，也讓學生學會批判性思考及表達能力的養成，形成良好的學習循環。



圖十二、學生互動討論專題數據。

Act:

在 Act 階段，教師根據 Study 階段的分析與課堂討論結果，決定對影片輔助教材進行調整與優化，同時規劃後續專題課程的改善方向。透過圖十三的分數分布圖，我們可以觀察到學生在第一次專題實作（藍色柱狀圖）多數分數集中在 60~70 分區間，平均分數為 69 分，整體表現偏低，顯示學生在元件製作及量測的熟練度不足。導入影片輔助教材後，在第二次專題實作（黃色柱狀圖）中，學生的分數明顯往 80~90 分甚至 90~100 分移動，平均分數提升至 86 分，學習成效大幅提升，代表影片輔助教材在引導學生學習及元件量測操作上發揮了顯著成效。針對此結果，教師在 Act 階段進一步調整教材內容，補強學生反映較困難的步驟（如元件製作的細節、量測儀器的設定），並增設課堂問答環節與同儕討論活動，以鞏固學習效果。同時，針對分數仍低於 70 分的少數學生，安排額外的課後輔導及示範練習，協助學生逐步達到課程目標。此外，根據學生的建議及課堂討論意見，教師也規劃將影片輔助教材持續擴充，涵蓋更多量測實驗及元件分析步驟，並加入中英文字幕及關鍵步驟標註，讓學生能更清楚掌握流程並減少錯誤發生。透過這樣的持續優化，課程內容將更加完善，學生的學習成效也會持續提升，形成良性的學習改善循環。



圖十三、第一次第二次專題實作元件的製程條件與量測結果學生分數分布圖。

PDSA 教學改善案例

根據學生的課堂反饋包括：學習回饋單、執行工作側寫報告以及學習心得進行分析，探討學生遇到什麼問題，並針對學生的學習困難，於下階段 PDSA 教學循環中進行教學方法改

善。以下為 PDSA 教學改善案例。

案例:在第一次專題小實驗時，從同學的工作心得回饋中，發現同學在記錄工作心得時，僅有撰寫實驗步驟、配方參數等等實驗筆記，卻並未對為什麼要這麼做？為何實驗條件是這樣？等問題進行紀錄與解答，且在課程中某位同學的心得(圖十六)中提到：塗佈薄膜為何需在特定溫度下加熱乾燥等疑惑。因此認為此次教學只讓大多數的學生知道實驗步驟、知道如何做出樣品，但卻不知道這個動作、步驟、條件背後的原因。為了讓學生更清楚實驗目的以及背後的原理，因此我們在第十四週的專題單元一、元件效能模型建立分析課程中導入 PDSA 教學方法改善，特別針對專題實作進行課堂實務案例討論，透過實際數據分析與學生討論，幫助學生理解材料元件之特性與應用情境，並強化其問題分析與解決能力，如圖十七課堂實務個案教師與學生討論(a)、(b)所示。課堂中，教師以過往研究成果或相關應用案例為基礎，提供學生實際量測數據作為討論材料，進行小組分析與成果分享，讓學生能從數據中觀察趨勢、判斷異常並思考其背後機制。第一次專題的學生工作心得記錄平均分數 71 分，經由教學改善後，第二次專題的學生工作心得紀錄平均分數上升至 78 分。透過課堂實務案例的討論，學生的學習心得能清楚記錄實驗目的以及背後的原理，學生更能抓住實驗核心，並且融會貫通。

TiO₂ 工作心得

在這次進行 TiO₂ 薄膜製備實驗時，我們主要透過溶液浸漬法來製備 TiO₂ 薄膜，並藉由旋轉塗佈方式將其均勻塗佈在基板上。首先要將基板放在轉臺上，並以一定速率進行旋轉，使前驅液在離心力作用下均勻分佈。

然而在操作過程中，我遇到了不少困難。最初前驅液的滴加量掌握不當，導致薄膜厚薄不均。其次，塗佈液的乾燥也令我感到疑惑，例如為什麼在特定溫度下加熱？加熱的時間長短對基板的品質影響等...而對於三個問題的我還有很多問題尚未解答，希望在課程結束後能了解更多知識。

圖十六、修課同學的工作心得記錄。

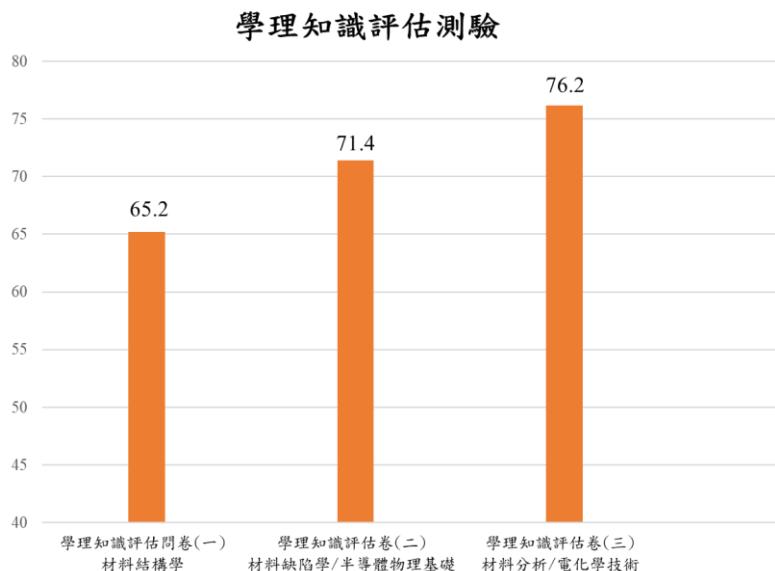


圖十七、課堂實務個案教師與學生討論(a)教師學生進行互動討論(b)同學專心聆聽實務討論。

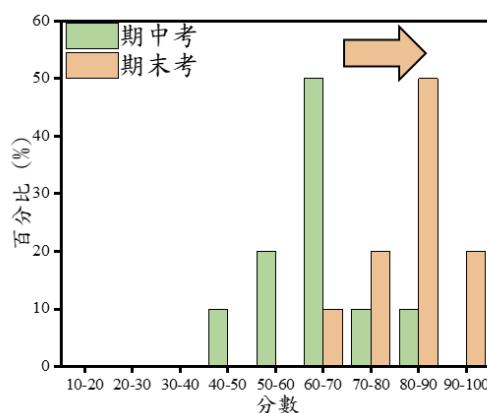
PDSA 教學模式改善前後教學成效比較

為了量化 PDSA 教學模式的教學成效，首先，在學期開始進行學理評估以及學習狀況調查作為評估學生的基準，並在課程中根據學生在課堂中提出的學習反饋，接著制定出對應的教學方法改善，如 4-3 PDSA 教學改善案例(一)(二)(三)，最終透過評估測驗、學習成績等量化分數的變化，評估教學改善後學生的學習成效變化。於學期初中末課前分別進行「學理知識評估測驗」：(一) 材料結構學、(二) 材料結構學/半導體物理基礎、(三) 材料分析/電化學技術。

根據學理知識評估問卷(一)(二)(三)分數對比結果，各模組的平均分數依序為 65.2 分、71.4 分及 76.2 分，如圖十八學理知識評估問卷(一)(二)(三)分數對比所示。整體而言，學生在學理知識的學習上呈現穩步提升的趨勢，這一進步可歸因於課程中導入的 PDSA 教學改善循環。第一階段的平均分數為 65.2 分，顯示學生在材料結構學基礎方面尚需加強；進入第二階段時，經由 PDSA 的課程調整後，學生在半導體物理基礎的學理知識上顯著進步，平均分數提升至 71.4 分；到了第三階段，學生能夠將前兩階段的學理知識整合並應用於材料分析與化電學技術領域，平均分數更進一步提高至 76.2 分。整體而言，結果顯示 PDSA 教學改善策略對於學生學理知識的學習具有積極的促進效果，有效幫助學生鞏固並深化學理基礎，展現出階段性學習成效的持續成長。除了透過知識評估問卷外，我們也透過學生在課堂上的表現(如：期中考期末考、第一次專題第二次專題時做元件的量測結果、期中期末上課互動態度、第一次專題第二次專題的口頭表現、第一次專題第二次專題的工作態度側寫與回饋)變化(圖十九)，用來評估教學成效，經過教學改善後學生在學期考試的作答能力變好，對於智能元件的專業知識有顯著的提升。

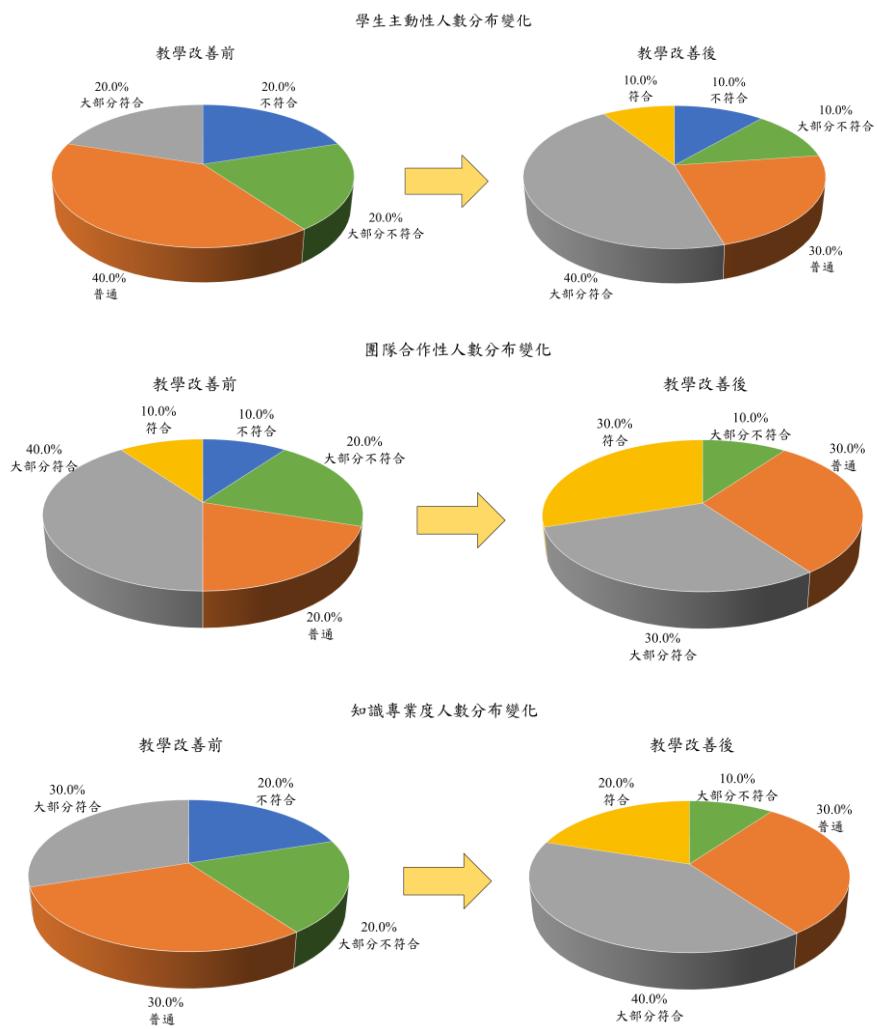


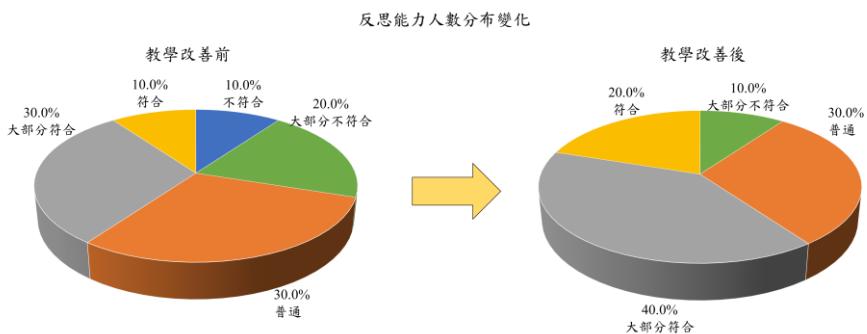
圖十八、學理知識評估問卷(一)(二)(三)分數對比。



圖十九、本學期期中考和期末考學生分數分布圖。

除了課堂考試與紙筆測驗作為教學成效評估工具外，本研究亦於學期初與學期末，針對學生學習行為進行問卷調查，深入分析 PDSA 教學模式對學生學習行為的影響。調查涵蓋「學習主動性」、「團隊合作性」、「知識專業度」及「反思能力」四個學習行為指標，每個指標皆分別於學期初-中（PDSA 教學改善前）及學期末（PDSA 教學改善後）進行評量。圖二十、則以圓餅圖呈現學生在學期初與學期末於各指標下的分布變化。以學習主動性為例，PDSA 教學改善前，選擇「符合」的比例僅佔 20.0%；而在學期末，選擇正向符合的比例顯著提升至 50%，顯示學生學習態度更為積極。同樣地，團隊合作性及反思能力在 PDSA 教學改善後，正向符合的比例達到 60.0%，明顯高於改善前 10.0%。這些結果再次驗證了 PDSA 教學模式的有效性，證明其能夠有效提升學生在學習過程中的主動性、合作性、專業度及反思能力，進一步促進學習成效的全面發展。綜合以上分析，PDSA 教學模式透過持續性之「計畫-執行-檢視-行動」循環，成功導入課堂中進行教學改善，不僅在學理知識學習成績上取得顯著提升（如期中、期末成績與不同學年度之比較），更在學生學習行為與態度上展現出全面的進步，證實教學改善方案的有效性與教學成效的顯著提升。





圖二十、學生學習行為分布變化。

除了以上的教學成效評估，我們也進行抽樣學生訪談，探討導入 PDSA 教學模式前後學生學習方式變化，以下為施測學生的個案案例訪談結果(表三):

表三、導入 PDSA 教學模式前後學生學習方式對比。

施測同學基本資料	導入前	導入後
黃同學 大學部 4 年級		
對這門課的學習興趣與投入程度是否有變化？	上課只是為了學分，本身沒有很積極在課堂。	經過預習後，同學逐漸可以理解課程內容，有逐漸提升興趣。
是否會在課堂中主動積極的發問或回答問題？	不太會，屬於被動傾聽派，很怕自己說錯話，因為自己也對課程內容不熟悉，不知道該問什麼好。	現在會更積極參與課堂討論，勇於表達想法，也可以很好的與師長應答，甚至可以幫忙同學解決基本問題。
學習方法是否有因為本課程發生改變？	以前學習方法單一的，就是一直重複看筆記和課本，。如果遇到不懂的內容，會直接跳過，很少會去找其他的資料或方法來輔助理解。	現在會根據的課程內容，試著用不同的方式來學習。希望自己可以融會貫通所以也會把實驗上遇到的問題記錄下來，上網查找資料或是與同學討論。
實驗遇到困難時的思考模式是否有發生改變？	一開始有困難只會一直等待別人的幫助，也不會尋找其他方法，更不用說會去思考實驗的潛在問題。	現在會主動尋求幫助和主動思考，讓自己不再屬於被動狀態。且主動地與師長討論可能的潛在問題。
在課程中是否有依據學習結果調整實驗方法？	以前做實驗，如果結果跟預期不符，通常會覺得是不是自己操作錯了，或者就覺得是實驗誤差，不太會去想說是不是實驗方法本身有問題。	比起一開始的茫然無措，已經會開始自己主動找答案。會先從實驗步驟再到實驗數據，一步步尋找問題所在，並且積極面對及改進。
開始實驗前是否有先設定好目標及對於結果進行追蹤確	以前連失敗的結果是甚麼都不太清楚，所以對於該設定	現在更了解實驗後，開始會設定目標並且積極嚴謹的面

認?	怎樣的目標都不知道，只會一直跟著別人的指示操作。	對實驗得出的數據，針對數據去做分析，查看是否貼近目標。如果有問題也會像上述的一步一步檢查哪個環節出了問題再去做修正。
當發生結果不如預期之事，你會做什麼調整?	遇到結果不如預期的情況，會覺得很挫折，有時候甚至會想放棄，擺爛。	如果實驗結果不如預期會更積極地去處理。會先檢查所有可能的環節，像是儀器有沒有校準、用的材料對不對、操作步驟是不是哪個地方出了問題。找到問題後記錄及改正。
實驗完成後是否會回顧過程與結果去進行討論及改變?	以前實驗做完，通常就是把報告寫一寫、交出去，就算告一段落了。	現在實驗完成後，會回頭查看自己所做的紀錄，看看可以精進哪些實驗步驟，並且會鑽研那些會使用到的數據分析程式，讓自己及同學使用起來更方便快速。
課程結束後是否會根據自己的學習結果進行調整?	以前看到成績單有及格就結束了，並不會作調整。	課程結束並不是句點，會去鑽研那些不太理解的部分，也會努力地提升自己對於課程的專業程度，因為已經了解到有了這些基礎知識才能穩穩地扎根在此領域。
在這門課中，你有沒有感覺到自己的學習是一個可以不斷修正與進步的過程?	學習對他來說是枯燥乏味的，單一又無聊。一味地接受老師給的知識但沒有融會貫通，導致學習很沒動力。	了解到學習不再是一個單純的「接受」過程，即使只是按照流程走，也可以從中得到你想獲取的新知識

(2) 教師教學反思

本課程在設計上結合理論講授與專題實作，並融入 PDSA 教學模式持續改善教學流程，以因應學生的學習需求。從學期初到期末，學生的學習成效明顯提升，不僅在學理知識的紙筆測驗分數有所進步，專題實作成果也展現出較佳的表現。在學習行為的問卷調查中，學生在「學習主動性」、「團隊合作性」、「知識專業度」及「反思能力」等四項指標皆有顯著進步，顯示學生對學習的投入度明顯增加。從課堂的專題實作觀察到，學生逐步能夠主動規劃主題、設計實驗流程並整合成果報告，顯示解決問題能力與邏輯思考能力皆有所增強。然而在初期階段，部分學生對專業術語及技術原理掌握不足，導致在報告時表達較為片段，缺乏完整邏輯。因此在教學改善中，我強化了模擬示意圖、案例分析及影片教材的運用，讓學生能更具體地理解理論概念，並在期末報告時展現更有系統的知識整合。此外，在第一次與第二次專題的比較中，學生的元件量測結果平均分數由 69 分提升至 86 分，證明了教學改善的成效。同時，期末考分數明顯優於期中考分數，顯示學生對課程內容的吸收度與應用能力都有所進步。整體而言，PDSA 教學模式在本課程中展現出良好的適應性與成效，讓教師能根據學生的學習

回饋進行即時調整，也協助學生從被動學習轉變為主動學習。未來課程將持續強化專題實作的深度與廣度，並持續結合業界案例，讓學生能在學術與實務中具備更完整的專業能力與解決問題的思維。

(3) 學生學習回饋

為評估課程設計與教學實施成效，本課程於學期末進行學生感受量表問卷調查，透過量化方式蒐集學生對課程內容、教學方式、學習成效與自我成長的主觀回饋，以作為後續課程優化之依據。圖二十一為期末感受量表學生問卷統計結果。(a) 感受量表問卷樣式，共設計 14 題，針對課程內容、教學方式、學習成效與能力養成等面向進行回饋。(b) 為各項問卷題目的統計結果，橫軸為學生在五點量表上之選擇 (1 = 非常不同意, 5 = 非常同意)，縱軸為票數統計。本課程能增進學生對教學內容知識的了解。投票結果顯示 80.0 % 學生選擇「同意」與「非常同意」，反映出本課程在知識傳授層面具有良好的教學效果。課堂內容結構清晰，理論與實務並重，搭配案例講解與實作操作，有助於學生釐清抽象概念並建立整體知識架構。此外，教師適時的補充與引導也促進學生對專業內容的掌握與理解。本課程能提升學生的學習技巧。結果顯示 70. 0% 高比例的「同意」與「非常同意」反映學生在本課程中培養出一套有效的學習策略。課程引導學生進行資料彙整、筆記摘要、關鍵資訊比對等技巧，不僅有助於當下學習，也為後續進行報告撰寫與專題規劃打下基礎。特別是透過教師示範與互動式教學，讓學生在實作中習得更多自主學習的技巧與方法。本課程能促進學生反省學習能力。本課程設計多元化的學習活動，如同儕互評、小組討論、教師回饋等，促使學生在學習歷程中不斷自我檢視與調整。此種安排讓學生能意識到自身學習的不足與進步之處，進而強化自我調整與省思的能力。數據結果顯示 60.0 % 的學生對於反思層面的體會與接受度高，顯見課程有助於培養學習上的自覺與反省習慣。本課程能促進學生整合學習的相關理論知識。透過課程中安排的專題設計與實務案例，學生需主動將過去所學理論加以整理、連結與應用。此整合過程不僅加深理解，也能提升知識間的遷移與運用能力。學生在回饋中指出，能明顯感受到從「理解」走向「整合與應用」的學習階段轉變，顯示課程內容確實促進其知識系統的建構。本課程能夠激發學生的學習動機與態度。50.0% 的學生普遍對課程表現出高度參與與學習熱忱，可能與課程主題貼近生活與實務需求、教學方式活潑互動、以及教師激勵方式有關。數據顯示 60.0% 的學生日回饋中指出，專題選題自由度高、討論氣氛開放，使其更願意投入學習與提出問題，進一步反映出課程具備激勵動機與建立正向學習態度的效果。本課程提升學生的自我導向學習意願。高度認同反映出學生逐漸具備設定目標、自主規劃與自我調整學習歷程的能力。透過專題研究及資料探索，學生習慣於尋找相關文獻、比較技術方案，進而建立獨立思考與行動的能力，這也是 PBL 教學法的核心價值。本課程能有效提升學生統整學理與實務的能力。透過結合理論知識講解與實際操作訓練，如感測元件設計、數據分析等，學生能夠將課本上的內容具象化，並理解其實際應用情境。學生普遍回饋指出，過去學習的片段知識，在本課程中得以「串聯」並實際操作驗證，有助於深化對知識的理解與記憶。本課程提升學生解決問題的能力。學生在專題實作過程中需面對實際技術挑戰，從問題定義、資料蒐集、解決策略選擇到成果驗證，每一步均需動腦與實作。此過程培養出具體的問題分析與解決流程能力。問卷結果也證實 70.0% 的學生對於此方面的學習成效給予高度肯定。本課程提升學生運用多元資訊收集與研讀的能力。課程要求學生針對技術背景、材料性質、感測原理等進行資料查詢與整合，並撰寫簡報與報告，提升學生面對大量資訊的篩選與理解能力。學生回饋中提及，透過教師提供的資源與研讀技巧，能更有系統地進行文獻蒐集與重點整理。本課程提升學生

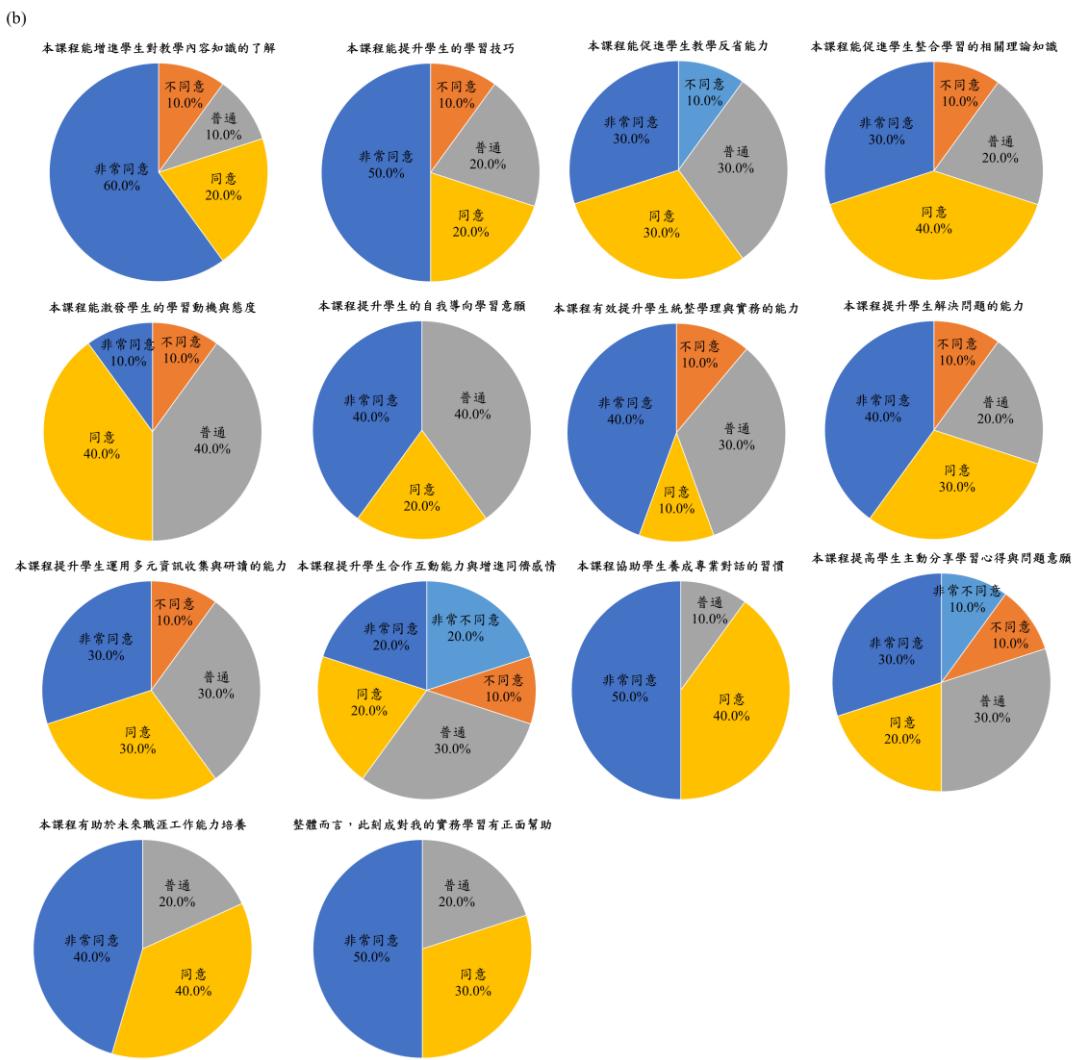
合作互動能力與增進同儕感情。僅有 40.0%的學生持正面看法，但與其他項目相比，意見略為分歧，可能反映出部分學生在團隊溝通或角色分配上仍感挑戰。未來可透過明確分工、協作技巧工作坊等方式進一步強化團隊運作的順暢性與合作氛圍。本課程協助學生養成專業對話的習慣。學生在發表成果與接受提問過程中，需練習以專業語言清楚傳達資訊，這促使其在語言表達、思考邏輯與自信心方面皆有所提升。學生指出，課堂中教師不斷鼓勵使用專業術語並給予實用建議，有助於建立正確的表達習慣。50.0%的學生表示本課程提高分享學習心得與問題意願。儘管整體反應仍偏正面，但分布略微分散，顯示部分學生可能對於公開表達心得尚存壓力。未來可透過更多非正式分享機制（如匿名討論、線上回饋系統）或循序漸進的發表機會，提升學生表達安全感與意願。本課程有助未來職涯工作能力培養。80.0%的學生認為課程內容貼近產業需求，如感測技術、材料特性、數據處理等，皆屬實務應用性高的主題。透過模擬業界實作流程與成果展示，提升學生對職場技術標準與職能要求的認知，為未來職涯發展奠定良好基礎。整體而言，此課程對我的實務學習有正面幫助。此題為整體性評估，80.0%的學生表示課程內容豐富、教學方式具啟發性、學習成效明顯。從學科知識、技能應用到態度養成皆有提升，證明本課程設計符合學習者需求並達成教學目標。為評估「智能元件設計與實務」課程成效，學期末實施學生感受量表問卷，針對課程內容、教學方式、學習成效與能力養成等面向進行量化分析。調查結果顯示，學生普遍肯定課程能有效提升其專業知識理解、學習技巧、自主學習能力與問題解決能力。學生認為課程理論與實務並重，結合案例教學與實作訓練，有助於釐清概念並深化學習。專題導向與互動式教學激發學習動機，也培養了資料查詢、統整應用與專業表達能力。在團隊合作與溝通面向，大多數學生持正面回饋，部分學生則指出仍有協作挑戰，未來可加強分組引導與協作訓練。整體而言，學生普遍認為課程內容貼近實務，對其職涯技能發展具備高度助益，課程在知識、技能與態度三方面皆達成良好教學成效。

(a)

感受量表問卷

五個級等: 1. 非常不同意、2. 不同意、3. 普通、4. 同意、5. 非常同意

	1	2	3	4	5
1. 本課程能增進學生對教學內容知識的了解	<input type="checkbox"/>				
2. 本課程能提升學生的學習技巧	<input type="checkbox"/>				
3. 本課程能促進學生教學反省能力	<input type="checkbox"/>				
4. 本課程促進學生整合學習的相關理論知識	<input type="checkbox"/>				
5. 本課程能夠激發學生的學習動機與態度	<input type="checkbox"/>				
6. 本課程提升學生的自我導向學習意願	<input type="checkbox"/>				
7. 本課程有效提升學生統整學理與實務的能力	<input type="checkbox"/>				
8. 本課程提升學生解決問題的能力	<input type="checkbox"/>				
9. 本課程提升學生運用多元資訊收集與研讀的能力	<input type="checkbox"/>				
10. 本課程提升學生合作互動能力與增進同儕感情	<input type="checkbox"/>				
11. 本課程協助學生養成專業對話的習慣	<input type="checkbox"/>				
12. 本課程提高學生主動分享學習心得與問題意願	<input type="checkbox"/>				
13. 本課程有助未來職涯工作能力培養	<input type="checkbox"/>				
14. 整體而言，此課程對我的實務學習有正面幫助	<input type="checkbox"/>				

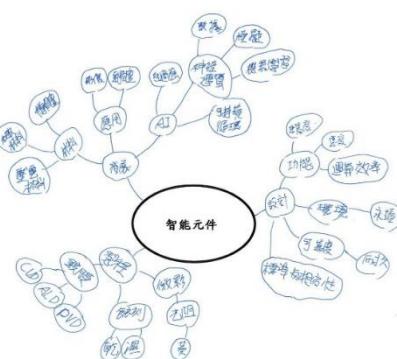


圖二十一、期末感受量表學生問卷統計(a)感受量表問卷;(b)項目1至14統計結果。

本研究除了感受量表以外，於期末也抽樣進行學生訪談，探討學生的反饋，個案訪談內容案例如下(表四)：

表四、期末學生訪談表。

基本資料	姓名	生理性別	科系/年級
	鍾同學	男	光電與材料科技學系/碩一
是否提升實務技能與問題解決能力?	是。		
您認為自己對課程的理解程度為何? (高/普通/低)	普通。		
講師的講解是否清楚易懂?	是。		
修課前，你對智能元件的瞭解為何?	高科技，是精密的，尺寸是微/奈米等級。		
最喜歡課程的哪一部份?	我最有印象的地方是SEM與XRD的地方，可以幫助我認識分析的手法，SEM可以看到樣品的型貌，XRD可以得到樣		

		品的結構分析。
教師是否能激發您的學習興趣?		是。
心智圖		
學習課程前		學習課程後
		
分析		
<p>關鍵字:半導體、製程、發展、智能、核心等名詞，另有奈米、可靠性、精準度、速度等形容詞。</p> <p>數目: 13</p>		<p>關鍵字:含有製程、薄膜、蝕刻、微影、半導體、壓電材料、光敏材料、AI、神經運算、功能、環境、永續等等名詞與自適應、模擬、機械學習、精準度、速度、效率、乾、濕等形容詞。</p> <p>數目 : 34</p>
解析		
<p>第一張圖主要關注「智能元件」的構成、特性和發展，包括材料、製程、核心、延續、設計、成本、發展、應用、未來等，第二張圖則在第一張的基礎上進行了更為深入和具體的闡述，兩張圖的對比可以清晰地看出學生的學習進度。第二張圖在第一張的基礎上增加了許多新的分支和更詳細的內容，表明對「智能元件」這一主題的理解正在不斷深入和豐富。表示此學生的條理有提升、增加聯想能力且表示出積極探索。</p>		

7. 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

經過本學期的教學實施與觀察，本課程在結合理論講授及專題實作的設計上，確實引導學生從基礎學理到實務應用的逐步銜接。透過專題實作中的「 TiO_2 薄膜旋塗製備」及「 ZnO 晶體水熱法製備」兩項簡易實驗，學生在學期初對專業儀器及實驗流程的陌生感逐漸降低，能較順利地投入專題學習。特別是在成果報告中，學生能有效整理資料並以邏輯化方式呈現，顯示了資料整合與表達能力的明顯成長。然而，觀察到部分學生在團隊協作與問題分析上尚有進步空間，尤其是在初期面對複雜或陌生問題時，仍容易停留在執行層面，而忽略了問題背後的理論脈絡與分析推論。這顯示未來課程可在專題引導階段，強化問題架構化分析的訓練，讓學生在實作前能先釐清研究目的與可能影響變因，進一步提升專業素養與問題解決的深度。此外，本課程透過課堂問卷與學生訪談發現，學生普遍認同 PDSA 教學模式在課程進行中帶來的反思與改善效果，但也有部分學生反映專業術語及相關知識的吸收過程中仍感到挑戰。建議未來能在課程前期安排更充分的前導教材及概念釐清，協助學生在進入實作

前先打好理論基礎。最後，在教學執行面上，建議持續保留課堂中的學生自主提問與同儕互評環節，讓學生能在學習歷程中扮演積極的學習者角色，而非僅是被動的知識接收者。透過這樣的安排，可促進學生自主學習及問題意識，並為後續職場或進階學習奠定良好的能力基礎。整體而言，本課程的設計與執行雖已達到預期目標，但仍有精進空間，期望未來能在跨領域應用與學理實務結合上持續優化，讓學生的學習歷程更加完整且具挑戰性。

二、參考文獻 (References)

1. 洪煌堯, 吳惠萍, 邱婕欣, 張芷瑄, 林奎宇, & 洪國財. (2015). 高等教育成果導向教育之發展與反思. 通識教育學刊, (15), 51-76.
2. Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses.
3. Al Mulhim, E., & Eldokhny, A. (2020). The impact of collaborative group size on students' achievement and product quality in project-based learning environments. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 15(10), 157-174.
4. Savery, J. R., & Duffy, T. M. (1995). Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework. Educational technology, 35(5), 31-38.
5. 王金國. (2018). 以專題式學習法培養國民核心素養. 臺灣教育評論月刊, 7(2), 107-111.
6. Joshi, S. R. (2019). Total quality management based improvement of teaching and learning methodology in engineering education. TOTAL QUALITY MANAGEMENT, 6(11).
7. Rose, S., Hamill, R., Caruso, A., & Appelbaum, N. P. (2021). Applying the Plan-Do-Study-Act cycle in medical education to refine an antibiotics therapy active learning session. BMC Medical Education, 21, 1-7.