

## 【附件三】成果報告

### 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：PEE1110266

學門專案分類/Division：工程

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2023.07.31

透過學生參與作業設計提升工程領域專業性課程學習成效之研究  
(配合課程名稱/半導體元件物理)

計畫主持人(Principal Investigator)：陳俐吟

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：陽明交通大學光電工程學系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開 (統一於 2025 年 7 月 31 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 9 月 14 日

# 以數位匿名工具提升工程領域學生課堂即時回饋與課堂連結之研究

## 一. 本文

### 1. 研究動機與目的

申請人自 109 學年起開設陽明交通大學研究所必修課「光電子學」、大學部選修課「半導體元件物理」。兩門課分別是針對研究所與大學部學生進入專業領域的重要基礎課程，課程涵蓋範圍皆相當廣泛：光電子學包含半導體物理、量子物理、導波光學、雷射物理、非線性光學、光電元件等；半導體元件物理則是從半導體中的載子行為開始介紹，進而談到半導體的能帶結構、pn 接面二極體、MOS 電容、MOS 電晶體等。兩門課皆包含了非常繁雜的學理與演算公式，是訓練剛進入光電系、光電所的學生所需具備必要知識的重要課程。申請人為了能即時了解學生的學習狀況，已針對各單元設計作業，以即時評量學生的學習成效，並以此作為授課速度、授課內容深度的調整依歸。在課堂上也時常花時間在闡述各章節之間的關係，協助學生建構系統性的理解，然而仍在期中考試中較為綜合的題型、較與制式計算題目不同的題型中發現學生並無法單靠教師的講授就建立較整合性知識應用能力。學生對於此課程的學習仍多僅停留在練習各章節獨立的演算解題技巧、對於各章節內的重點的認知仍較屬片段，無法整合應用。推測是過多指定性單元作業，反而讓學生迷失在各章節間獨立的習題之中，無法跨出各章節間無形的藩籬，建構出更系統化的知識架構。因此申請人想由此教學研究實踐計畫探究針對具有繁雜學理與計算的課程，引入學生自選性作業，讓學生更主動參與作業形成的過程，以及期末的自繪概念地圖作業是否能加強學生對於章節中重點、以及各章節間的關聯性的理解，並進一步提升整合知識、應用知識的能力，提升學生的學習成效。

本教學研究計畫主題為：透過學生參與作業設計提升工程領域專業性課程學習成效之研究。申請人自 109 學年起為交大光電系開設「半導體元件物理」專業選修課程，所涵蓋的內容包含半導體能帶結構、半導體異質接面能帶結構、基礎半導體元件特性與應用等，是銜接光電系基礎課程至專業應用課程的重要橋接課程。此課程的教授方式較屬於講述教學法，唯為了使學生獲得較高的學習成效，申請人除透過架構化後的系統式教學外、已以問答方式加強師生互動、丟出較有變化的問題引導學生深入思考，並在每個章節結束後使用 Kahoot! 測驗用以簡略判斷學生對於那些概念的掌握仍不完全，可即時加強說明。課程結束時將提供匿名提問之工具，可讓學生於課後提出本周學習上的問題，除了即時了解學生的學習狀況讓申請人能調整後續授課步調與內容外，亦將作為設計跨章節性作業的參考。此外，將降低由教師指派作業的比重，釋放出一部分的作業讓學生自行設計繳交，引導學生主動深入了解各章節的重要內容。由於本課程屬於交大光電系的重要選修課程之一，學生在本課程的學習體驗將影響後續選擇半導體相關領域的意願，因此有效提升學生於本門課的學習成效亦對培育半導體元件專業人才相當重要。本教學研究實踐計畫的目的有三：(1) 發展工程領域專業課程所適用之教學策略；(2) 探討本研究所採用之策略是否能有效增加學生學習具有繁雜學理與計算工作的科目時加強建構系統性的理解，提升整合應用各章節知識的能力；(3) 根據以上研究過程與結果提出改善工程領域專業課程的教學實務建議。

### 2. 研究問題

本研究所欲解決之問題為：具有繁雜學理與計算的課程，如何建立學生整合、應用知識的能力，並提升學生學習成效？本研究針對工程領域學生的學習成效提出兩個假設：(1) 自選作業與自繪概念地圖對學生建立整合、應用知識的能力有正相關；(2) 讓學生參與作業設計過程對提升學生的學習成效有正相關。110-1 所開設之光電子學，某幾週課程已導入學生自選作業作為此教學研究計畫的前期測試，學生反應自選作業

對自主學習、整合章節知識有所幫助。110-1 開設之色彩工程學某幾周課程則引入小組性作業與小組性討論，可發現有小組討論、小組作業發表活動的那週，學生的投入大幅提升，不僅課堂上交流與討論熱烈，課後的反饋也較以往來熱烈，顯現讓學生提高課程參與度可能會提升學生的學習興趣，幫助學生有更好的學習成效。



圖一、110-1 色彩工程學上課情形

### 3. 文獻探討

已有許多教學相關研究指出以學生學習為中心(learner-centered teaching)的教學，不僅能反映學生的多元需求，更能提高學生的學習成效，有效傳遞知識。因此，若想有效率的提升教師教學與學生學習的效能，教師不應再是課程中的主角，而是該以學生的學習狀況、學習背景為中心，設計課程教學與學習活動(teaching and learning activities)，並在執行過程中即時評估(assess)學生是否能達到預計的學習成效(intended learning outcome)，是否需要修正課程教學與學習活動，以達到建設性調準(constructive alignment)(Biggs & Tang, 2011)。

台灣大專學生的學習動機(learning motivation)、學習投入(student engagement)與學生的學習成效有正向顯著關係(陳榮政、張家淇, 2017)。因此，若課程的設計讓學生有更多的學習投入時，將有助於學生提升學習成效，也許將有機會讓專業知識進一步內化成為可應用的能力。此外主動式學習(active learning)相較於被動式學習(passive learning)已被廣泛證明可以有效提升學生的學習成效(Prince, 2004; Handelsman et. al., 2007; Freeman et. al., 2014)。

申請人在過往的應用選修課程中曾嘗試過數種提升主動式學習的創新教學法，如在跨領域課程沉浸式體驗概論中引入合作學習教學法，讓來自不同學院的學生能在高度互動的學習環境中互相腦力激盪、互相激勵討論，針對跨領域的議題建構出更完整的觀點；合作學習法的優點為學生可在小組討論時自由發揮想法並透過交換意見重新建構自己的觀點；透過此認知過程與社交活動間的交互作用，合作學習法亦有可能讓學生在有教師或同儕支援的狀況下解決超出他們既有能力的問題(Vygotsky, 1978)，意即分組式的學習情境易可促進學生思考能力，並透過互動讓能力較低者獲得能力較高者的協助以激發其潛能，提升學習成效(Webb & Palincsar, 1996, p.858)。唯針對更具繁雜學理的較基礎性課程，如本計畫中所提及之半導體元件物理、光電子學等，為了掌握上課時間與授課內容進度，申請人仍以傳統講授教學法為主。藉由講授教學，申請人可以很明確的針對繁雜的學理與計算公式講解內容與脈絡，進行系統化教學；然而也觀察到此方法較屬於單向傳授，學生處於被動學習的狀態較多，且師生互動性較低，齊平式的教學法也較易讓老師忽略了個別差異(張世忠, 1999)，而容易對學生學習成效造成不良影響。是以申請人已於本年度的光電子學與半導體元件物理課程中納入匿名即時提問工具，加強師生互動及學生實時反饋比例；申請人也持續思考是否還有什麼方式可以在不失教學強度與嚴謹性的情況下，進一步提升學生的投入性，以彌補傳統講授法的不足，引導學生進入主動式學習。申請人曾思考過是否要以「翻轉教室」教學模式授課，透過學生的大量投入，以提高學生的學習成效；然而擔心學生課前影

片或文獻閱讀成效較難掌握，當學生課前預習學習成效不佳時，在課堂上可能會因無法即時融入討論而造成更重的挫折感；研讀專業知識本就是不輕鬆的事，課前與課後的學習投入品質實難掌握，因此轉而思考是否有機會在有限的課堂時間就使學生有著足夠的學習投入？是以申請人於 108 年度的教學研究實踐計畫曾提出使用 5E 探究教學模式於中山光電系專業選修課程「色彩學導論」。5E 探究教學法將教學過程分成環環相扣的五個階段：參與(engagement)、探索(exploration)、解釋(explanation)、精緻化(elaboration)與評量(evaluation)(Trowbridge & Bybee, 1990)，由學期末的分析結果可得知學生在「應用知識解決問題的能力」此題項有高達 4.2 的平均值，顯示使用 5E 探究法於工程專業選修課程能有效提升學生的知識應用能力。是以可看到藉由提升學生在課堂上的參與，再搭配適當的課程活動設計，能有效的增加學生應用知識解決問題的能力。

根據文獻資料，讓學生自己設計作業確是一種誘發主動式學習的策略，當學生理解該單元的學習目標後，讓學生針對學習目標擬定相對應的問題將有助於幫助學生思考所學內容，並進一步理解授課教師所擬定的學習目標的內涵(Angelo and Cross, 1993)。而亦有研究指出讓學生針對知識內涵建構概念地圖(concept map)有助於學生重新整合既有及新學習到的知識(Erdogan, 2009; Lim, Lee & Grabowski, 2009; Trundle & Bell, 2010)。

#### 4. 教學設計與規劃

「半導體元件物理」為陽明交大光電系的專業選修課程，從半導體中的載子行為開始介紹，進而談到半導體的能帶結構、pn 接面二極體、MOS 電容、MOS 電晶體等，是交大光電系培育半導體元件開發與應用專業人才的搖籃。本課程是 3 學分的學期課程，每周課程內容與作業如表一所示。

表二、「半導體元件物理」每周課程規劃

時間	課程內容	作業規劃
第一周	課程介紹、前測資料收集與分組	無。
第二周	半導體基礎特性、能帶理論	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第三周	半導體中的電子與電洞	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第四周	載子運動	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第五周	載子複合	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第六周	p-n 接面與電壓電流特性	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第七周	金屬-半導體接面	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第八周	期中考試	期中考試
第九周	金屬-氧化物-半導體能帶結構	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題

第十周	金屬-氧化物-半導體電容	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十一周	金屬-氧化物-半導體電晶體能帶結構	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十二周	金屬-氧化物-半導體電晶體操作原理	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十三周	半導體元件製程技術	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十四周	雙極性電晶體能帶結構	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十五周	雙極性電晶體操作原理	教師指定單元性作業 1 題、提問作業 1 題、自選作業 1 題
第十六周	期末考、後測資料收集	期末考、問卷填答、繳交期末知識地圖

第一周進行課程介紹以及前測資料收集與分組，前測資料收集包含問卷填答與基礎測驗，問卷填答內容為調查學生的學業成績、修習過的專業課程與選修課程、選修本課程之動機與期盼在這門課獲得之知識與能力等；基礎測驗則針對課程內容所觸及範圍設計選擇題與自我能力評鑑題，以了解學生修課前對課程內容的認知程度及對自我能力的評估；分組則將透過活動隨機分組，而非僅靠學生間交情或者學習能力分組，幫助學生建立更多元的對話討論空間。

第二週至第十六週每週皆有一明確主題，將以「講授→Slido 小組測驗→Padlet 匿名提問→回家作業」的模式進行，以下分項簡述重點。

**講授：**以架構化、系統化的方式精要講授本周主題的核心知識，使學生具有專業知能，時間約 2 小時。

**Slido 小組測驗：**透過 Slido 小組測驗評估學生對於本章節的重要內容概念是否了解，依據答題正確率可評估學生的學習成效。且使用小組模式可增加學生間的討論交流，以合作學習、同儕互助的方式增強學生的參與度與學習成效。

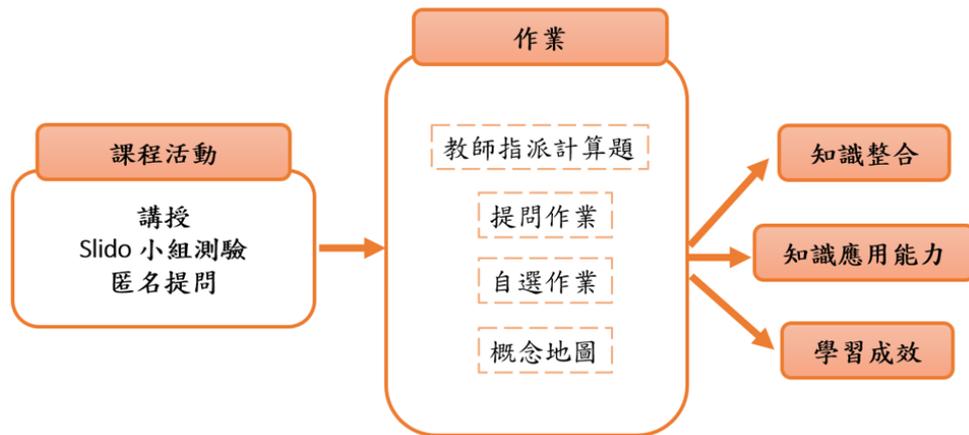
**匿名提問：**下課時間讓學生能以電子看板 padlet 提出相關問題，由於 padlet 可使用匿名功能讓學生以匿名的方式張貼問題，且每個知道此連結的學生都能看到大家的提問，因此可較方便公開討論問題內容。此匿名提問的方式應能鼓勵工程領域的學生踴躍提問，以作為教師的回饋，可供教師即時修正上課策略、作為單元自選作業的素材、或於下次上課時加強說明學生仍混淆的觀念

**回家作業：**此部分分為教師指定單元性作業、提問作業、自選作業與期末概念地圖。教師指定單元性作業為傳統經典的計算式題型，是為了不因導入新教學方式而偏廢嚴謹的計算訓練而刻意保留的傳統式作業；提問作業則是讓學生在匿名提問中所提出的題目中自選一題作為作業，引導學生主動去探究並解答學習過程中遇到的問題；自選作業則為針對該周內容的重點，選擇一相關的題目自行推導或回答相關內容。期末概念地圖則是在學生學習完整學期的內容後，將各單元間重點與之間之關聯繪製成一概念地圖，呈現在此課程中所習得之知識架構。

期中、期末考則為個人紙筆測驗，以問答討論題測驗學生對於半導體元件物理的專業知識的掌握程度與知識應用能力。後測資料收集則包含自評問卷與基礎測驗，自評問卷旨在讓修課學生自我評鑑修課前後對課程內容熟悉度、學習興趣，與專業技能等的提升程度，亦將請學生評估自選作業、概念地圖自繪是否對他們的知識整合能力、知識應用能力與學習成效有明顯幫助。

## 5. 研究設計與執行方法 Research Methodology

### A. 研究架構



整體而言，本研究將探討引入學生自選性作業，讓學生更主動參與作業形成的過程，以及期末的自繪概念地圖作業是否能加強學生對於章節中重點、以及各章節間的關聯性的理解，並進一步提升整合知識、應用知識的能力，提升學生的學習成效。除了以此研究發展教學策略對學習成效的影響分析外，亦將提出對工程專業學科的教學實務建議。

### B. 研究範圍

「半導體元件物理」為陽明交大光電系的專業選修課程，開設給光電所大三與大四的學生，這些學生已具備基礎物理、電子學等先備知識，本課程將由介紹半導體材料原理開始，說明能帶理論、異質接面能帶結構、半導體元件操作原理及製程等。每周課程規劃如前述表二所示，每周講授資料為教師自編之電子講義，在每周課前上傳陽明交通大學所建構之「e3 數位教學」平台，供學生課前預習。於教學現場講授當週內容，於下課時間開放學生使用 padlet 提問。每周課程結束時將進行 Slido 小組測驗，評估學生對於本章節的重要內容概念是否了解，依據答題正確率可評估學生的學習成效。且使用小組模式可增加學生間的討論交流，以合作學習、同儕互助的方式增強學生的參與度與學習成效。分組為期初時隨機分組，增加學生的溝通活動。課程採多元作業設計，包含教師指定單元性作業、提問作業、自選作業與期末概念地圖。教師指定單元性作業為傳統經典的計算式題型，是為了不因導入新教學方式而偏廢嚴謹的計算訓練而刻意保留的傳統式作業；提問作業則是讓學生在匿名提問中所提出的題目中自選一題作為作業，引導學生主動去探究並解答學習過程中遇到的問題；自選作業則為針對該周內容的重點，選擇一相關的題目自行推導或回答相關內容。期末概念地圖則是在學生學習完整學期的內容後，將各單元間重點與之間之關聯繪製成一概念地圖，呈現在此課程中所習得之知識架構。

本課程採多元化評量，涵蓋以下面向：(1)專業知識的整體性認知；(2)知識應用能力；(3)合作討論能力。執行方式則包含：個人作業、個人筆試檢核、Slido。其中自選性作業的評量方式採 criterion-reference assessment，將以四個面向分別評分：(1)與單元內容的相關性、(2)重要性、(3)邏輯性與完整性、(4)難度。

### C. 研究對象

本研究計畫的研究場域為「半導體元件物理」課程，此課程為光電系大三大四專業選修課程，無其他先修課程限制。本學期修課人數共 29 人，其中光電工程學系

大三/大四生為 23 人、電機工程學系大四生 1 人、奈米學士班大二生 5 人，學生已有修習其他必修課的經驗，習慣處理有標準答案的習題，也較習慣由教師指派作業，除了期末報告之類的經驗外，可能較無自行設計、參與作業形成過程的經驗。

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

### (1) 教學過程與成果

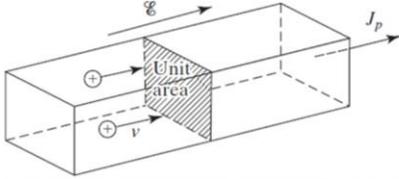
#### (1)-1 教學過程

前三分之一課程著重於半導體基礎特性，包含載子的運動與複合，中間則著重於半導體接面、金屬-半導體接面的電壓電流特性、能帶結構的分析，後三分之一課程則與基礎電機體元件的能帶結構及操作原理有關，並強調對於能帶結構以及 IV 特性的分析能力。課程透過教師講授、Slido 匿名提問、Slido 單元測驗進行。

Slido 單元測驗 (由於篇幅限制，僅摘錄部分題目與回答結果)



Join at  
**slido.com**  
#797 260



**在一個半導體材料上施加一個定電場後，關於其上漂移電流(drift current)的敘述，何者正確**

當施加同樣大小電場於兩個不同的半導體材料上，載子遷移率越大的半導體材料其上之漂移電流越大 ☺

85%

當在某固定電場方向下，電子的漂移電流方向與電洞的漂移電流方向相反

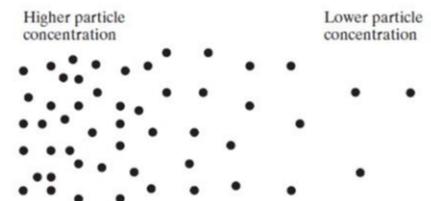
31%

半導體中的電流僅由主要載子的漂移電流貢獻

8%



Join at  
**slido.com**  
#797 260



**以下關於擴散電流的敘述，何者"錯誤"?**

電洞會由高濃度區往低濃度區擴散，電子會由低濃度區往高濃度區擴散 ☺

75%

當施予半導體一固定電場，其擴散電流會增加 ☺

50%

當半導體內載子分布不均勻時，即有擴散電流

8%

擴散電流的大小正比於載子的濃度梯度

8%

## 期中、期末紙筆測驗

請見附件一、附件二。

### (1)-2 研究分析成果

本研究設計了自評問卷於學期末施測，本門課共有 29 名學生選修，期末回收 22 份問卷，有效卷數率為 76%。本研究所分析的問題包含以下兩大類問題：

1. 總體修課學生對於自選作業的看法為何?(5 題五分量表題、2 題意見回饋題)
2. 總體修課學生對於期末知識地圖的看法為何?(1 題是非題、3 題五分量表題、2 題意見回饋題)

分析結果如下：

- 總體修課學生對於自選作業的看法為何?

#### 5 題五分量表題(1 分最低、5 分最高)：

	平均數	標準差
我喜歡教師指定作業題目勝過自己選擇作業題目	3.95	0.77
我認為自己選定作業題目能幫助我思考這個章節的重點內容	3.82	1.07
我花很多時間在想自己選定的作業題目的內容	3.55	1.12
我認為自選作業題目能幫助我學習半導體元件物理	3.77	0.90
我認為自選作業題目能幫助我提升課程的學習動力	3.36	1.02

由此表可發現，學生其實比較喜歡教師指定作業題目，分數高達 3.95 分，原因將於後面的意見回饋題分析中呈現；學生普遍認為自選題目能幫助他們思考這個章節的重點內容，以及學習半導體元件物理，平均分數分別為 3.82 與 3.77 分；但對於是否能幫助學生提升課程的學習動力此項則呈現較低的分數，僅有 3.36 分，原因亦將於後面的意見回饋題分析中呈現。

#### 2 題意見回饋題：

##### 1. 自選作業題目對你有幫助嗎？為什麼？

本題共收到 18 個正面意見、4 個負面意見，茲將回饋意見節錄整理如下：

- 能挑選自己認為該章節中較重要的內容所製成的題型。
- 可以幫助我更了解課程的內容及變化的題型。
- 有。自己找自己不懂的部分做練習，從解題過程中會更了解一些概念。
- 有，因為功課每一題都有對應到講義內的某部分內容，自選作業能夠選擇指定作業還不太熟悉的部分練習。
- 有，可以幫助我思考此章節的重點。
- 有，可以去找出自己不太會的地方。
- 有，每次找題目都在翻兩本課本找合適的。就會大概知道重點在哪。
- 有，幫我複習這單元學了什麼。
- 有，自選題可以選擇自己不明白的公式去推導或讓不懂概念加強。
- 有，可以了解一些額外想學的觀念。
- 還好，因為挑題目有點花時間。

- 我覺得有點浪費時間，老師一定比我們專業。
- 沒有。自己認為的重點不等於老師認為的重點，而考試是考老師認為的重點。我們很不幸的活在考試成績等於 everything 的社會，所以自選作業對我來說沒什麼意義。
- 自選題目好難。

大部分的學生都認為自選題對自己的學習盲點、知識整合能力、課程的學習有所幫助；但有部分學生認為自選作業太花時間、難度較高且不一定會是老師考試的重點，因此對於自選作業的看法較為負面，這有可能是前項分析成果中顯示學生其實比較喜歡教師指定作業题目的可能原因，且亦可能是造成學生對於自選作業能否提升學習動機較持保守意見的主要原因之一。

## 2. 自選作業題目適用於半導體元件物理嗎?為什麼?

本題共收到 19 個正面意見、2 個負面意見、1 個持平意見，茲將回饋意見節錄整理如下：

- 適合，有助於更進一步認識各章節的內容。
- 可以，半物有許多小觀念容易忘記，可以透過自選作業來提醒自己。
- 是。任何科目都應該如此，其實最重要的是自我學習能力，做自主練習，對學習幫助很大。
- 適用,在環環相扣的章節中,更能把小細節弄懂。
- 適用，因為半物有很多不同的觀念，可以自己找自己不太會的觀念做題加強。
- 其實還算適用，因為可以讓我有翻課本題的動力。
- 適用，很多觀念必須透過自己思考才懂，在寫自己選的題目才會更知道哪裡不懂。
- 適用，因為這本書的題目其實跟老師上課的方向都很接近，所以可以讓學生自己選到自己想做的題目，但不會太過偏離課程。
- 適用 可以檢視自身的了解程度。
- 適用，因為有些原理的題目很少，自選題目能針對去加強。
- 我覺得其實未必很適合，但主要的原因是都找不到答案然後題目太難了，自選題目也是一種負擔。
- 沒有很適合，因為這門課理論偏多，計算我覺得是其次，單純公式比較多，題目老師選比較有水準。
- 適用，但沒意義。自己認為的重點不等於老師認為的重點，而考試是考老師認為的重點。我們很不幸的活在考試成績等於 everything 的社會，所以自選作業對我來說沒什麼意義。

大部分的學生都認為自選作業題目適合半導體元件物理課程，因為可以幫助思考、把環環相扣的小細節串在一起，而且可以自己加強不熟悉的觀念；但有部分學生認為自選作業不見得適合半導體元件物理，因為半導體元件物理的重點在於理論而非計算題，認為由教師選題會比較顧到題目該有的水準以及課程考試的重點，這亦可能是比較喜歡教師指定作業题目的可能原因，且亦可能是造成學生對於自選作業能否提升學習動機較持保守意見的主要原因之一。

- 總體修課學生對於期末知識地圖的看法為何?

### 1 題是非題

這是我第一次自己製作課程知識地圖。

是：82%

否：18%

大部分的學生都是第一次製作課程知識地圖，所佔比例為 82%。

### 3 題五分量表題(1 分最低、5 分最高)：

	平均數	標準差
我花很多時間在想課程知識地圖要怎麼畫	3.40	0.89
我認為學期結束前製作課程知識地圖有助於我思考整體課程的結構	3.86	1.06
我認為課程知識地圖有助於我學習半導體元件物理	3.77	0.90

由此表可發現，學生在課程地圖的繪製上還是需要費上一些心力，且普遍認為課程知識地圖對於思考整體課程結構以及對於學習半導體元件物理有幫助。

### 2 題意見回饋題：

#### 1. 期末自製課程知識地圖對你有幫助嗎?為什麼?

本題共收到 20 個正面意見、1 個負面意見、2 個持平意見，茲將回饋意見節錄整理如下：

- 有，可以了解概念可能可以跟其他章節的某些部分連結。
- 有，可以統整本學期所有學到的課程內容。
- 有幫助,反思了這學期自己學到什麼。
- 有，重新審視了自己學了什麼。
- 有，幫我複習這學期學了什麼。
- 有，統整整學期的內容，可以幫助之後研究所的課程。
- 是，因為這等同於最後再複習一遍這堂課整學期的內容。
- 沒有。本來就記得課程內容。
- 普通。有大致上做統整。
- 我覺得還好，反而寫作業比較有幫助。

大部分的學生都認為期末課程知識地圖對於檢視、複習整學期的內容有幫助，有助於協助學生連結章節間的知識、統整整學期的課程內容，也對銜接未來研究所的課程有所幫助；但亦有部分學生認為寫作業對於課程的學習比較有幫助。

#### 2. 你認為自製課程知識地圖適用於半導體元件物理嗎?為什麼?

本題共收到 20 個正面意見、2 個持平意見，茲將回饋意見節錄整理如下：

- 蠻適合，由於半物的課程內容具有關聯性，因此可以透過知識地圖

進行整合。

- 可以，半物內容多，觀念多，可以透過知識地圖來統整。
- 適合，環環相扣的內容，透過知識地圖更能知道章節脈絡。
- 是，因為這門課很像其他電類課程針對元件這部分來介紹的，所以知識地圖能夠讓我們知道這學期學得在半導體產業中扮演哪部分的內容。
- 適用，一學期課程內容繁多，知識地圖可以連結章節和章節之間，幫助學習和記憶。
- 適用，因為這堂課的每一章節相關都很強，所以要有知識地圖統整全部的知識。
- 我覺得還好，這個聯想本身就很 open，那會了就是會，不會就是不會。
- 我覺得還好，效果沒有那麼大。

大部分的學生都認為期末知識地圖適合半導體元件物理課程，因為可以將環環相扣的內容整合起來，連結章節間的知識，幫助他們學習與記憶；但也有部分學生認為期末知識地圖不見得適合半導體元件物理，因為這個聯想比較開放，不見得能幫助學習。

## (2) 教師教學反思

由學生的問卷評量與回饋中，可發現自選作業以及期末知識地圖對於學生的學習成效有助益，除了能提升學生的課堂參與感外，也提供學生更多的主動學習機會。從課堂上的觀察亦明確感受到引入自選作業以及期末知識地圖後，學生會在準備作業的過程中與老師有更多互動，常常會有學生來詢問關於自選作業、期末知識地圖的相關問題；授課中若能與學生有更多互動，其實能更知道學生的學習狀況、對於課程內容的掌握程度，能夠幫助教師即時修正課程內容，及回答學生學習上的盲點，亦對於教師的課程設計與學生的學習成效有明確的幫助。然而在課程中與學生的溝通仍然是很重要的，因為感覺還是有不少學生十分在意修課成績，對於評分標準、選題原則有些疑慮，這些都需要授課教師更明確的給予指引以及評量尺規標準來協助學生減輕準備作業過程中的疑慮與心理負擔。

## (3) 學生學習回饋

以下為學生於課後教學評量時的學習回饋結果節錄：

- 老師真的教得非常好，內容講解得很清楚，還有錄影可以二刷複習，讚讚。
- 希望老師上課或者助教可以帶一些作業題目，因為真的很難。
- 自製課程知識地圖感覺蠻適合光電系的很多課程，尤其是觀念很龐雜的課程。
- 自選題目讓我在找題目的過程中更清楚自己所學的程度。
- 如果挑自選題跟老師想法差很遠，好像會練習不到老師想要傳達的知識。
- 自選題不知道解答會不知道到底能不能學到老師想要我們學的東西。
- 自選題目讓我可以學到一些額外想學的知識，蠻有趣的。

## 7. 建議與省思

如前所述，授課教師發現在課堂上引入自選作業以及期末知識地圖後可以有效幫助學生加強學習，也提高學生的參與度，有機會增加學習成效；然而自選作業仍然對部分學生來說是有些負擔的，需要拿捏在作業上的比重。知識地圖能有助於學生整合章節間知識，並幫助學生增加記憶點；但知識地圖屬於比較開放式的作業，在未來再次採用時需要多一些引導，會更能幫助學生有效的整理知識。

## 二. 參考文獻 References

1. 陳榮政、張家淇(2017)。台灣大專生學習動機對學習成效影響之研究：以學習投入為中介變項。《高等教育》，201706，105-142。
2. Trowbridge, L.W., & Bybee, R. W. (1990). *Becoming a secondary science teacher*. Columbus, OH: Merrill.
3. Webb, N. M., & Palinscar, A. S. (1996). *Group process in the class room*. In D. C. Berliner, & R. C. Calfee (Eds), *Handbook of educational Psychology* (pp. 841-873). New York: Simon & Schuster Macmillan.
4. Biggs, John B.; Tang, Catherine Kim Chow (2011). *Teaching for quality learning at university: what the student does*. Maidenhead: McGraw-Hill.
5. Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education* 93, 223-231.
6. Springer, L., Stanne, M.E., Donovan, S.S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology. *Rev. Educ. Res.* 69, 21–51.
7. Handelsman, J., Miller, S., and Pfund, C. (2007). *Scientific teaching*. New York: W.H. Freeman.
8. Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., and Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 111, 8410-8415.
9. Erdogan, Y. (2009). Paper-based and computer-based concept mappings: the effects on computer achievement, computer anxiety and computer attitude. *British Journal of Educational Technology*, 40, 821–836.
10. Lim, K. Y., Lee, H. W. & Grabowski, B. (2009). Does concept-mapping strategy work for everyone? The levels of generativity and learners' self-regulated learning skills. *British Journal of Educational Technology*, 40, 606–618.
11. Trundle, K. C. & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: a quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54, 4, 1078–1088.
12. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
13. Angelo, T.A. and Cross, K.P. (1993). *Classroom assessment techniques: a handbook for college teachers*. San Francisco: Jossey-Bass.

## 一. 附件 Appendix

### 附件一、期中紙筆測驗題目

- (40%) At room temperature, consider a Ge p-n junction with acceptor concentration of  $N_A=1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  and donor concentration of  $N_D=5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14}$ ; for Ge,  $\epsilon_r = 16$ ,  $\tau_n = \tau_p = 10^{-6} \text{ s}$ ), please derive expressions and draw the plot for: (a) the electric field distribution, (b) the potential distribution, (c) built-in potential, and (d) the depletion-layer width. Please mark all the definite value shown in the plot you draw.
- (10%) Follow the condition listed in question 1, if the Ge p-n junction is reversed biased of 1 V, please calculate the depletion-layer width.
- (20%) Follow the condition listed in question 1, if the Ge p-n junction is forward biased of 1V, please calculate: (a) the depletion-layer width, (b) the forward current density.
- (30%) For a particular semiconductor,  $E_g=1.5 \text{ eV}$ ,  $M_p^*=10M_n^*$ ,  $T=300 \text{ K}$ , and  $n_i=1 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ .
  - Determine the position of the intrinsic Fermi energy level with respect to the center of the bandgap.
  - Impurity atoms are added so that the  $E_{Fi}$  is 0.45 eV below the center of the bandgap. Are acceptor or donor atoms added? What is the concentration of impurity atoms added?
  - Using the results from (b), plot the distribution of electron and hole densities versus energy, with the energy on the vertical axis and the carrier concentration on the horizontal axis. Be sure to include the Fermi-Dirac distribution as a reference.

#### Room temperature properties of semiconductors: Si and Ge

Quantity	Symbol	Si	Ge	(Unit)
Crystal structure		D	D	—
Gap: Direct (D) / Indirect (I)		I	I	—
Lattice constant	$a_0 =$	5.43095	5.64613	Å
Bandgap energy	$E_g =$	1.12	0.66	eV
Intrinsic carrier concentration	$n_i =$	$1 \times 10^{10}$	$2 \times 10^{13}$	$\text{cm}^{-3}$
Effective DOS at CB edge	$N_c =$	$2.8 \times 10^{19}$	$1.0 \times 10^{19}$	$\text{cm}^{-3}$
Effective DOS at VB edge	$N_v =$	$1.0 \times 10^{19}$	$6.0 \times 10^{18}$	$\text{cm}^{-3}$
Electron mobility	$\mu_n =$	1500	3900	$\text{cm}^2/\text{Vs}$
Hole mobility	$\mu_p =$	450	1900	$\text{cm}^2/\text{Vs}$
Electron diffusion constant	$D_n =$	39	101	$\text{cm}^2/\text{s}$
Hole diffusion constant	$D_p =$	12	49	$\text{cm}^2/\text{s}$
Electron affinity	$\chi =$	4.05	4.0	V
Minority carrier lifetime	$\tau =$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	s
Electron effective mass	$m_e^* =$	$0.98 m_e$	$1.64 m_e$	—
Heavy hole effective mass	$m_{hh}^* =$	$0.49 m_e$	$0.28 m_e$	—
Relative dielectric constant	$\epsilon_r =$	11.9	16.0	—
Refractive index near $E_g$	$\bar{n} =$	3.3	4.0	—
Absorption coefficient near $E_g$	$\alpha =$	$10^3$	$10^3$	$\text{cm}^{-1}$

### 附件二、期末紙筆測驗題目

- Q1. (45 %) Considering an MOS capacitor composed of an aluminum metal gate, a  $\text{SiO}_2$  insulator, and Si as the semiconductor. The work function of aluminum is 4.1 eV. The oxide thickness is 10 nm. The electron affinity of silicon is 4.05 eV. ( $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$ ,  $\epsilon_{\text{Si}}=11.7$ ,  $\epsilon_{\text{SiO}_2}=3.9$ ). The temperature is 300K. The silicon is uniformly doped with boron so that  $\Phi_s=4.9 \text{ eV}$ .
- Is this an NMOS or PMOS capacitor/transistor?
  - What is the flat-band voltage?
  - What is the threshold voltage?
  - Please draw its capacitor-voltage characteristic plot.
  - Please draw the energy diagram illustrate the three regions: depletion, accumulation, inversion.

(d) If we decrease the thickness of oxide, how will the following parameters be affected? (Please indicate your answer by putting a mark, V, in the correct column.) Write down any relevant equation and explain briefly how you obtain the answer (a few words or one sentence).

Parameters	Increase	Decrease	Unchanged
Accumulation region capacitance			
Flat-band Voltage			
Depletion-region capacitance			
Threshold voltage			
Inversion region capacitance			

Q2. (35%) Considering an ideal N-channel MOSFET with the following parameters:  $W=20\ \mu\text{m}$ ,  $L=5\ \mu\text{m}$ ,  $T_{\text{ox}} = 0.05\ \mu\text{m}$ ,  $N_a = 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$ ,  $N^+$  poly-Si gate,  $\mu_{nS} = 800\ \text{cm}^2/\text{V/s}$  (and independent of  $V_g$ ). For question (a), (b), and (c), please ignore the bulk charge effect and velocity saturation

- What is the threshold voltage?
- What is the drain current when  $V_g=2\ \text{V}$ ?
- What is the value of  $dI_{\text{ds}}/dV_{\text{ds}}$  when  $V_g=2\ \text{V}$  and  $V_{\text{d}}=0\ \text{V}$ ?
- Considering velocity saturation effect, indicate whether  $V_{\text{dsat}}$  and  $I_{\text{dsat}}$  increase, decrease, or remain unchanged when the following device parameters are reduced.

	W	L	$T_{\text{ox}}$	$V_t$	$V_g$
$V_{\text{dsat}}$					
$I_{\text{dsat}}$					

Q3. (20%) Please clearly illustrate following terms (not only translate) and their effect on MOS transistors. (a) Body effect; (b) velocity saturation; (c) series resistance; (d) velocity overshoot.