

## 超大型積體電路技術實習課程學習成效評估之研究

### The study on evaluating learning efficiency for the practice course of VLSI technology

許重傑

建國科技大學電子工程系

Chorng-Jye Sheu

Department of Electronic Engineering, Chienkuo Technology University

#### 摘要

本研究首先建立一套半導體元件製程與特性分析之實習課程教材然後評估此教學系統之學習成效，透過簡至繁的漸進方式將半導體單元製程與元件特性模擬模組化以提升教學成效。本教學系統的內容主要涵蓋半導體元件製程與元件特性。課程教學的進行方式是以投影片簡報課堂講演、多媒體螢幕暨簡報錄影播放與動畫演示暨漸進式與模組化的半導體工藝電腦輔助設計軟體之電腦模擬實習，引導學生進行學習活動，讓學生對半導體元件製程與元件特性有全面性的認識。以合作學習（引導學生形成討論組/模擬實作組）為輔助，強化整體教學系統的效能。此教學系統落實於大學部之專業課程以提昇學生在半導體元件製程與元件特性上的專業認知而達到縮短知行差距（knowing-doing gap）之目標。本研究亦透過課程教學之實施逐步建立多媒體之課程教材、製程動畫、電腦模擬範例程式與操作示範動畫，將相關之課程教材與講義上傳至本校之數位學習系統亦可分享於網際網路中。學生於數位學習系統中“討論區”發表心得與討論，透過系統中“線上測驗”與“問卷”的功能對學生之學習成效進行評估以獲得即時之回饋訊息作為教學之改進。

**關鍵字：**半導體、製程、元件、工藝電腦輔助設計、模擬

#### Abstract

The objective of this study is first to build up an instructional system of the practice course of semiconductor-device manufacturing processes and characteristics analysis, and then evaluate the learning effectiveness of the system. Learning performance of students will be promoted step by step with modular simulation of semiconductor unit process and devices characteristics from simple to complicated cases. The instructional system includes the introduction of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics. In order to help students completely comprehend the semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics, several teaching techniques including oral lectures with multimedia, animations, and software demonstration are introduced in this system. A progressive and modular method has been proposed to assist students in the learning of subjects on the techniques of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics. In addition, the cooperative learning is used to increase the performances of the proposed instructional system. This instructional system was

implemented in undergraduate-level professional courses. According to the scheme of simulation program and the visualization effects shown on the screen, course materials with technology-literacy of semiconductor-device manufacturing processes and devices characteristics can be developed and reach the goal of reducing knowing-doing gap. The multimedia instructional materials, flash animations, demo program for simulation, and demo animations of computer simulation were developed while the courses are carrying on. These instructional materials can be uploaded on the e-learning platform of our school and shared as an opened digital instructional platform. Students can discuss the simulation results by using the “discussion area” on this e-learning platform, and the function of “online test” and “online questionnaire” of this e-learning platform can feedback the messages for teacher to improve this instructional system.

**Keyword:** Semiconductor, Manufacturing process, Device, Technology Computer Aided Design (TCAD), Simulation

## 壹、前言

### 一、研究背景

行政院經濟建設委員會（民 95）提出「我國 94-104 年科技人力供需分析」之研究報告顯示（第一部份：重要發現、第三項：短期科技人力供需推估），觀察未來 3 年重要產業科技人才調查推估結果，若在景氣持平發展的情況下，半導體產業平均每年缺 3,167 人最多，若在景氣樂觀的情況下，則仍以半導體產業平均每年缺 5,300 人最多，通訊產業平均每年缺 4,567 人次之，而其餘產業僅生技產業仍無缺口。觀察缺口變化趨勢，僅半導體產業及通訊產業缺口擴大，其餘產業缺口則逐年縮小。而有鑒於知識經濟快速發展，專業分工日趨精細，人力資本已成為經濟成長及產業發展的主要動能。故建構優質環境，提高人力素質，以適時支援產業所需之技術、專業及研發人才是刻不容緩之既定方針。

根據行政院經濟建設委員會（民 95）「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫（2007-2009 年）」的規劃，在套案一（產業發展）中所擬定之製造業重點產業發展目標中，半導體產業、平面顯示仍然扮演像當重要之角色，在套案三（產業人力）中提及我國產業正處轉型關鍵期，急需充裕的高階專業人力以支援產業轉型所需，因此，如何即時培育及延攬產業發展所需之技術／專業及研發人才，以促進科技創新及產業加值發展，實屬刻不容緩。在套案三中所提出的第三個策略－（扎根策略：強調務實致用教育，扎根技術及研發人力）－中說明以往高等教育人才培育分屬二條軌道，一般大學著重基礎科學與通才人力培育；技職教育則強調實務經驗與專門技術學習。近年來，隨著高等教育普及化，一般大學與技職教育逐漸融合，惟為因應未來經濟發展趨勢，高等教育人力培育有必要調整與產業密切結合，強化產業技術及研發人才之培育，以充裕產業所需人才。以建構職能導向、強調務實致用的培育及培訓措施，彌補科系變動趕不上產業動態需求的落差，培養具紮實技術和研發才能的人力，再創國家經濟發展高峰。

我國之技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色，然而建構一套完整的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備其所需之經費相當龐大，對於一般之私立技職院校難以在有限的教育資源中去建構昂貴的半導體元件製程與特性量測分析的實驗設備，因此在技

職院校大學部的學生通常只能從理論的講授中獲得半導體元件製程與元件特性量測分析等相關工藝技術之知識，而無法達到技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色之精神。私立科大的學生數學、理化方面的基礎學科能力相當的薄弱，以理論推導之傳統課堂講演成效十分不理想，學生學習興趣低落。由於半導體元件製程與特性分析之物理意義涉及許多數理方面的抽象概念，對於一般學生而言較不易瞭解。動畫模擬可以提供逼真的情境給學生反覆學習，有助於達成教學的目標。半導體工藝電腦輔助設計軟體之電腦模擬結合相關的理論教學同時藉由動畫模擬輔助教學之優點可提升學習者之學習成效。

配合國家之半導體、平面顯示製造業重點產業發展目標與因應未來經濟發展趨勢，本研究建立一套半導體元件製程與特性分析之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式，來提升教學成效，以培育出與光電、半導體產業密切結合之人才，強化光電、半導體產業技術及研發人才之培育，以充裕光電、半導體產業與學術界所需人才。

## 二、研究目的

根據行政院經濟建設委員會（民 95）「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫（2007-2009 年）」的規劃，在套案一（產業發展）中所擬定之製造業重點產業發展目標中，半導體產業、平面顯示仍然扮演像當重要之角色，而元件製程更是現今台灣半導體、平面顯示產業的主流。我國之技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色，然而建構一套完整的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備其所需之經費相當龐大，對於一般之技職院校（特別是私立之技職院校）更難以在有限的教育資源中去建構昂貴的半導體元件製程與元件特性量測分析的實驗設備，因此在技職院校大學部的學生通常只能從理論的講授中獲得半導體元件製程與元件特性量測分析等相關工藝技術之知識，而無法達到技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色之精神。

在精簡教育成本之前提與技職教育以強調實務經驗與專門技術學習為特色的雙重考量之下，本研究建立一套半導體元件製程與特性分析之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式，來提升教學成效，培養光電、半導體產業與學術界所需之人才。課程中先以理論之說明為導引再輔以製程之電腦模擬，使學生熟習各項製程之操控因素並能進行製程整合，最後結合元件模擬軟體完成全段半導體元件之設計與製造流程。課程教學的進行方式，主要是以課堂講演與漸進式與模組化的電腦模擬教學課程，來引導學生進行學習活動，讓學生對半導體元件製程與元件特性有全面性的認識。並以合作學習（引導學生形成討論組/模擬實作組）為輔助，以強化整體教學系統的效能。此教學系統將落實於大學部之專業課程，本研究所提出的教學系統，能夠培養學生具有中華工程教育學會認證委員會之工程及科技教育認證規範（AC2010）八大核心能力（3.1.1~3.1.8），目的是希望透過一系列成果導向（outcomes-based）持續改進的評鑑方法，幫助學生得到最符合需要的知識與能力，也幫助教師掌握學生的學習狀態、作最有效率的教學。

本研究亦透過課程教學之實施逐步建立多媒體之課程教材、電腦模擬範例程式與操作示範動畫，並將相關之課程教材與講義上傳至本校數位學習系統。學生可透過數位學習系統中“討論區”發表心得與討論，同時透過系統中“線上測驗”與“問卷”的功能對學生進行每一單元之學習成效進行評估以獲得即時之回饋訊息作為教學之改進。

透過本研究中所開發之多媒體教材與 TCAD 模擬程式，搭配本校之數位學習系統將可探

討於不同教學方法之下學生對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響與差異之分析。

## 貳、文獻探討

### 一、半導體元件製程與特性分析人才培育

由於中部科學園區快速發展、科技業陸續進駐，科技業求才若渴，根據行政院經建會觀察重要產業科技人才調查推估結果之缺口變化趨勢，僅半導體產業及通訊產業缺口擴大，其餘產業缺口則逐年縮小。對於半導體產業，如何把傑出青年培養成 IC 專業人才並能快速進入半導體產業服務，以解決人才缺口，同時讓學生能在最短的時間內具備在半導體、平面顯示產業工作的基本智能是當前相當重要的工作。

由於半導體元件的尺寸不斷地縮小，於矽晶圓上的電晶體密度相對地不斷提高。各半導體單元製程的步驟變的更加複雜，尤其是預估一系列製程步驟的工作更是複雜。對於日新月異的積體電路製造技術而言，傳統實驗取向的製造方式已經不適用於複雜、精密的製程，以往實驗所帶來大量的花費與時間上的消耗，勢必要以另一種更為經濟與方便的方式取而代之。基於此原因，逐漸地有人提出以製程模擬 (process simulation) 來替代複雜的實驗步驟。此程式亦考慮個別製程步驟順序的操作，就好像實際地在晶圓上執行，經由製程模擬的數值運算與物理機構考量之後，不但可以迅速的獲知結果，更可以由模擬的結果改善整個製程品質，同時亦可加速嶄新積體電路製程、元件和電路的發展。製程模擬對製程研發工程師是非常有用的工具，此模擬允許他們將產品製程條件發佈至生產線之前，能在電腦上先執行一些試驗性之製程已縮短新製程技術之研發時間，並探討製程步驟的變化對元件參數設計的影響。一套完整的製程步驟在電腦上僅需數小時的模擬即可完成，然而對生產線而言，此套製程步驟則可能需要數個星期，若製程條件需要修改之時，則尚需數個星期的時間。將此教學系統導入科技大學大學部的學生，可將學生培養成 IC 專業人才並能快速進入半導體產業服務，以解決人才缺口，同時讓學生能在最短的時間內具備在半導體、平面顯示產業工作的基本智能，同時可以降低所需之教育成本。

為了能協助國內產業適時補充專業人才缺口，91 年 3 月 25 日於經建會由行政院副院長主持「IC 設計產業座談會」，會中結論之一便是設置「半導體學院」積極進行培訓半導體產業人才。再根據行政院國科會於 91 年 4 月 17 日通過「晶片系統國家型科技計畫」，積極整合資源進行晶片系統產業推動工作，將 IC 設計專業人才之培訓列為計畫重點之一。

另於 95 年 11 月 7 日行政院「2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫-產業人力套案」，明確揭示透過半導體學院開發專業認證課程，經由職前、在職及轉業訓練，充裕產業所需研發人才；促使培訓機制符合產業變動需求，促進科技研發與產業創新互動與連結，提升我國人力資本之競爭優勢。

依據前三項計畫施行重點，工業局自 97 年起委託財團法人資訊工業策進會，負責統籌管理與執行，並維運半導體學院推動辦公室，期能藉由匯集產官學研多方資源，研擬出整合性的發展策略，推動並落實半導體人才培訓工作，適時協助國內半導體產業補充高素質人才，蓄積產業研發與市場能量，厚植產業實力，提升國家總體競爭力，創造出台灣半導體產業的二次躍昇。

95 年度半導體產業人才養成計畫-半導體學院之「逢甲 IC 製程工程師人才培訓班」採用與本研究相同之 TCAD 軟體進行製程模擬教學。唯該課程必須由學員自付 35,000 元之學費且為非經常性之開設課程。透過本研究之實施，學生將可循一般之專業課程選修方式選課，每年可經常性地培育至少 60~120 人以上有關半導體元件製程與元件特性分析專業技術之人才。

## 二、半導體元件製程與特性分析實驗課程之配置

Feldman (1973) 針對北美洲、南美洲、歐洲及亞洲等地區之 33 所大學進行半導體元件教學實驗問卷調查，其結論中指出對於一般大學而言設置一半導體元件實驗室是相當昂貴的投資，而實驗過程中有毒氣體、大量使用的溶劑以及氫氟酸 (HF) 的處理方式也衍生了許多更複雜的問題，因此著重於利用精密及有效程序之計算機模擬在未來必定越來越常見，而參與這些實驗與模擬練習的電機工程學生比例將自然地增加。

Bernstein、Minniti 與 Huang (1994) 於聖母大學 (University of Notre Dame) 開發出一新的積體電路製造實驗課程，課程進行之初先教導研究所學生以協助開發相關製程然後再實施於大學部高年級學生，該課程強調實體實驗室之建置同時成功地在 4 吋晶圓上製造具有 150 顆電晶體以上的互補式金屬-氧化物-半導體 (CMOS) 測試電路，然而，該課程亦強調電腦所扮演的角色，課程中採用商業化之模擬軟體 SUPREM3 進行製程模擬，學生被要求針對製程的每一個步驟進行電腦模擬同時與控制晶圓所發現之結果加以比較，在課程結束且完成正常工作的電路時此電腦模擬的經驗被證實是有用的。

## 三、半導體工藝電腦輔助設計模擬運用於半導體元件製程與特性分析實驗課程之情形

利用半導體工藝電腦輔助設計模擬 Technology Computer Aided Design (TCAD) 工具於研究所階段的教學課程中已經非常廣泛地發表於文獻中。Bindal、Parent、He 與 Kilic (2004) 使用 Silvaco 公司的元件設計工具與模擬平台，於聖荷西大學 (San Jose State University) 開發了一金氧半場效電晶體設計實驗室以強化研究所階段之元件物理課程。半導體科技產業日新月異，學術界必須跟上這個快速發展的行業，並找到有效的金氧半元件電子之教學方法。為了實現這一目標，作者認為必須解決兩個重要的問題。首先，必須鼓勵學生使用商用 CAD 工具於實驗室的設計專案。該實驗室使用 Silvaco 公司的 ATLAS 模擬器於“真實的”電晶體設計專案中。ATLAS 模擬環境利用實驗室有限的時間效率且提供關聯於可解析元件方程式與實際元件行為之有效方法。第二個問題是教導學生有效地研究和從圖書館找尋資訊而不是老師的筆記或教科書本。透過指定開放式的“現實世界”電晶體設計問題於實驗室，學生被迫去圖書館閱讀當前的技術文章以解決各種元件的設計問題。不同於 Bernstein et al. (1994) 先前於文獻中所發表之元件設計課程中為了要關聯的實驗數據與理論材料因而花費了許多的時間在潔淨室中製造元件及利用曲線追蹤儀測量元件的特性，Bindal et al. (2004) 認為元件設計課程應強調元件的物理和設計方法，而不是密集的元件製造流程，Silvaco 的元件模擬工具能夠創造出一個環境，如果需要的話，該環境可在數小時之內量測實際各種不同 MOS 電晶體結構的元件特性並加以比較。

Parent 與 Rio-Parent (2008) 也於聖荷西大學研究所階段第一年之元件物理課程中引入 TCAD (Synopsys 公司之 Sentaurus process、structure editor、device) 工具。作者表示如同 TCAD 工具重要性之與日俱增，TCAD 工具本身之使用教學也是一件困難的工作。授課教師必須察

覺教學資源不足夠時，學習這些 TCAD 工具實際上可能因壓倒學生的認知資源而阻礙學生的學習，尤其是進行複雜的專案上工作的學生。

Gallière 與 Boch (2009) 於元件物理及類比與數位積體電路設計課程中，採用 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 製程、元件模擬軟體與 HSPICE 電路模擬軟體作為學習之工具，作者亦強調使用該模擬軟體作為輔助教學工具之優點。

臺灣目前電子設計自動化 (Electronic Design Automation, 簡稱 EDA) 軟體基本上就是 Synopsys 與 Silvaco 這兩家公司分庭抗禮，而本研究採用範例程式庫相當豐富且由淺入深之模擬軟體 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 進行有關半導體元件製程與特性分析，其由淺入深之範例引導有助於大學部學生之實驗教學。相對的，Synopsys Sentaurus TCAD 則於研究所階段被廣泛地運用。

#### 四、以 Flash 製作半導體製程動畫輔助課程教學

由於半導體元件製程與特性之物理意義涉及許多工程上的抽象概念，對於一般學生而言，較不易瞭解。動畫模擬可以提供逼真的情境給學生反覆學習，極易達成教學的目標。電腦動畫模擬結合相關教學理論，藉助動畫模擬輔助教學之優點來提升學習者之學習成效。而由於 Flash 動畫教材極適於網路環境之呈現，是目前最受歡迎的動畫軟體 (García, Quirós, & Santos, 2007)。Barak、Ashkar 與 Dori (2011) 針對一些研究人員聲稱，動畫可能會阻礙學生有意義的學習或喚起誤解而進行研究，為了考察這些主張，該研究調查動畫影片對學生的學習成果和學習動機的影響。應用定量的方法，配置科學的思維能力與學習科學動機之兩份學前與學後問卷，結果指出使用動畫影片可促進學生的解釋能力和他們對科學概念的理解，調查結果同時指出與控制組的學生對比之下，學生使用動畫影片學習科學無論是在自我效能、興趣和樂趣、連接到日常生活以及他們的未來重要性等各方面均開展了學生較高的學習科學動機。學生使用動畫影片的學習應用多媒體定義中所有的三種學習風格：視覺、聽覺和動覺。多媒體的使用和學生致力於探索日常生活經驗有關的新概念的事實可以解釋其正面結果。

本研究中即是將半導體各分站製程及製程整合以 Flash 製作具有相對物理意義之動畫，透過動畫之演繹與解說有助於學生了解實際製程背後之意涵且有助於 Silvaco TCAD 模擬程式之撰寫與修改。

#### 五、基於工程教育認證之學生核心能力養成成效

Wu、Chang、Chen、Tsai 與 Yu (2005) 指出良好的認證制度能就國內工程教育推動的瓶頸提出建議，進而改善國內工程教育體質，而認證同時是與國際工程教育接軌最有效的機制。美國工程與科技認證委員會 (Accreditation Board of Engineering and Technology, 簡稱 ABET) 為落實其工程教育的改革，設計一套評鑑標準 (ABET EC2000) 供美國國內各大學院校工程課程採用，目的是希望透過一系列成果導向 (outcomes-based) 持續改進的評鑑方法，幫助學生得到最符合需要的知識與能力，也幫助教師掌握學生的學習狀態、作最有效率的教學。其建議在課程上注入各項包含培養跨領域的整合能力、訓練靈活運用應用軟硬體工具的能力、養成溝通技巧及書寫技術文件能力、團隊合作等十一個核心能力。基於成果導向的 ABET 課程認證制度對美國工程教育所呈現的品質保證功能，該研究運用 ABET EC2000 指標幫助教師將課程目標與教學活動、評量配合得當，設計出符合且有助於提升學生認知層次的教學方式，藉此達到良好之教學成效。結合 ABET EC2000 指標發展適切之評量方法，並為課程設計多

元、質化與量化並重的評量方法學以促進學生知識與實務的學習。

本研究根據中華工程教育學會認證委員會之工程及科技教育認證規範 (AC2010) 八大核心能力、系所教育目標與核心能力和 ABET EC2000 核心能力，透過學界、業界專家意見諮詢而制定出半導體元件製程與特性分析實習課程之教育目標與核心能力，目的是幫助學生得到最符合需要的知識與能力也幫助教師掌握學生的學習狀態並作最有效率的教學。

## 參、研究方法

本研究以成果導向學習 (outcome-based learning, OBL) 方式來進行大學部四年級上學期之超大型積體電路實習課程之教學系統。我們根據產業與學術研究之需求，建立教學目標、預期教學成效、教學策略及方法、評量方式與核心能力養成。並藉由多元化的教學引導 (例如，專題與問題導向學習、互動式教學、以及合作學習等)，以循序漸進的方式培養學生具備 AC2010、本系所制定之核心能力。評量則採用工程及科技教育認證規範 (AC2010) 「持續改善/評核」(continuous improvement/assessment) 之方式於多元化教學評量中，透過即時的評量回饋 (feedback)，來調整課程教學的步調與方向。

對學校而言，因為 AC2010 的認證項目揚棄了過去制式化的標準與輸入導向 (input-based) 概念，讓受認證的學系更能夠基於自身的定位、在社會中扮演的角色、以及地域性的特色等因素，擬定出各自的教育目標以接受認證。這種認證方式最大的優點，是能夠促使受認證學系依據自己的條件，建立起自己的定位與價值，進而提出切合市場需要的教育目標。舉例來說，研究型大學或技職院校，其原本設立的宗旨就有所差異，因此即便是相同學系，基於各自學校在工程科技教育上所扮演的不同角色，也勢必訂出各具特色的教育目標。而對於以專業為導向的小型校院來說，更可以透過這樣的認證精神，設定獨特的教育目標和特色，摒除與綜合型大學一起競爭的齊頭式評鑑準則，進而發展出在國外常見的「小而美」的專業知名學府。面對國內現今許多大學院校的角色定位混淆，以及所培育畢業生的專業能力不足等問題，透過這樣的認證方式，勢必可以提供一個有效的解決之道。

對學生而言，現今畢業生就業上要具備遠比傳統學科知識更多元的能力，為了要有效把這些能力應用到課程設計中，各學系可藉由 AC2010 的成果導向認證機制清楚定義出學生的核心能力，並有技巧地加入課程中，同時也鼓勵學生必需學習在跨領域或跨組織團隊中與他人合作的能力。

### 一、研究對象

本研究之研究對象為建國科技大學電子工程系四技日間部選修九十九學年度第一學期“超大型積體電路實習”課程之大學部四年級甲、乙兩班學生，以甲班為實驗組學生共 54 人及乙班為對照組學生共 43 人來進行實驗研究。實驗組於網路提供以 PowerCam 錄製之課前講解、各單元製程原理之 Flash 動畫、Silvaco TCAD 模擬程式講解動畫與輔助教學影片，於課堂上再以傳統之講述教學法、示範教學法講解一次；對照組則僅於課堂上以傳統之講述教學法、示範教學法講解一次之後進行製程模擬分析與討論，探討不同教學方法對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響。Campbell 與 Stanley (1963) 提出三種前實驗設計 (或預實驗設計, pre-experimental design)，雖不符古典實驗法的科學標準，但當完整實驗設計不可得時，有時仍得利用這些模式。包括單組個案研究 (One-shot case study)、

單組前後測設計 (One-group pretest-posttest design)、靜態組間比較 (Static-group comparison) (或稱非對等控制組後測設計)等三種。本研究中僅實施後測,但透過實驗組與對照組進行比較與研究,屬於前實驗性研究設計方法中之靜態組間比較(或稱非對等控制組後測設計)之研究方法。

## 二、教學設計

為了從科技大學之技職教育系統中培養出半導體、光電產業半導體元件製程與特性分析所需之人才,我們於超大型積體電路實習課程之 PowerPoint 簡報理論講授搭配 Flash 動畫、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影播放以及針對 Silvaco TCAD 軟體進行示範教學,於本課程中採用全面的電腦模擬教學,並透過分組合作學習、專題實驗之設計進而增加學習效果。而專業級製程模擬軟體的使用,避免昂貴製程設備的投資,也大幅縮短實際製程的製作時間,讓學生得到更多專案研習的次數,多方面的熟悉各項製程的整合情形。對於製程模擬軟體 Athena 的訓練,我們先以單元製程例題開始,務使學生熟習軟體的操作以及各項製程參數之影響,進而由專案研習學到各項製程的整合運用,最後得以 Atlas 軟體檢驗製程完成後的元件特性。這兩套軟體的搭配使學生對於元件的設計與製造有全面了解。這樣的學習對任何學生都是全新的體驗,也會超越傳統的課程所得,使學生將來在相關領域可立刻進入狀況並做出貢獻。

## 三、研究程序

本研究為達成研擬半導體元件製程與特性分析教學大綱之目的,除了以文獻探討法以了解半導體元件製程與特性分析教材的內涵外,並以學界、業界專家問卷調查的方式,蒐集半導體元件製程與特性分析所需之學習背景、教材內涵及單元項目,再根據所蒐集的資料研擬半導體元件製程與特性分析教學大綱。

本研究在文獻探討之後,以學界、業界專家進行問卷調查,蒐集相關資料,經修正後作為半導體元件製程與特性分析教學大綱(超大型積體電路技術、超大型積體電路實習),與編寫單元教材之依據,授課教師依據既有的課程內容及目標,結合 AC2010 核心能力規劃出超大型積體電路實習的課程設計,並設計期末課程問卷(量表為李克特七點量尺)。研究進行之程序如圖 1 所示(紅色部分為實驗組之操作變因)。



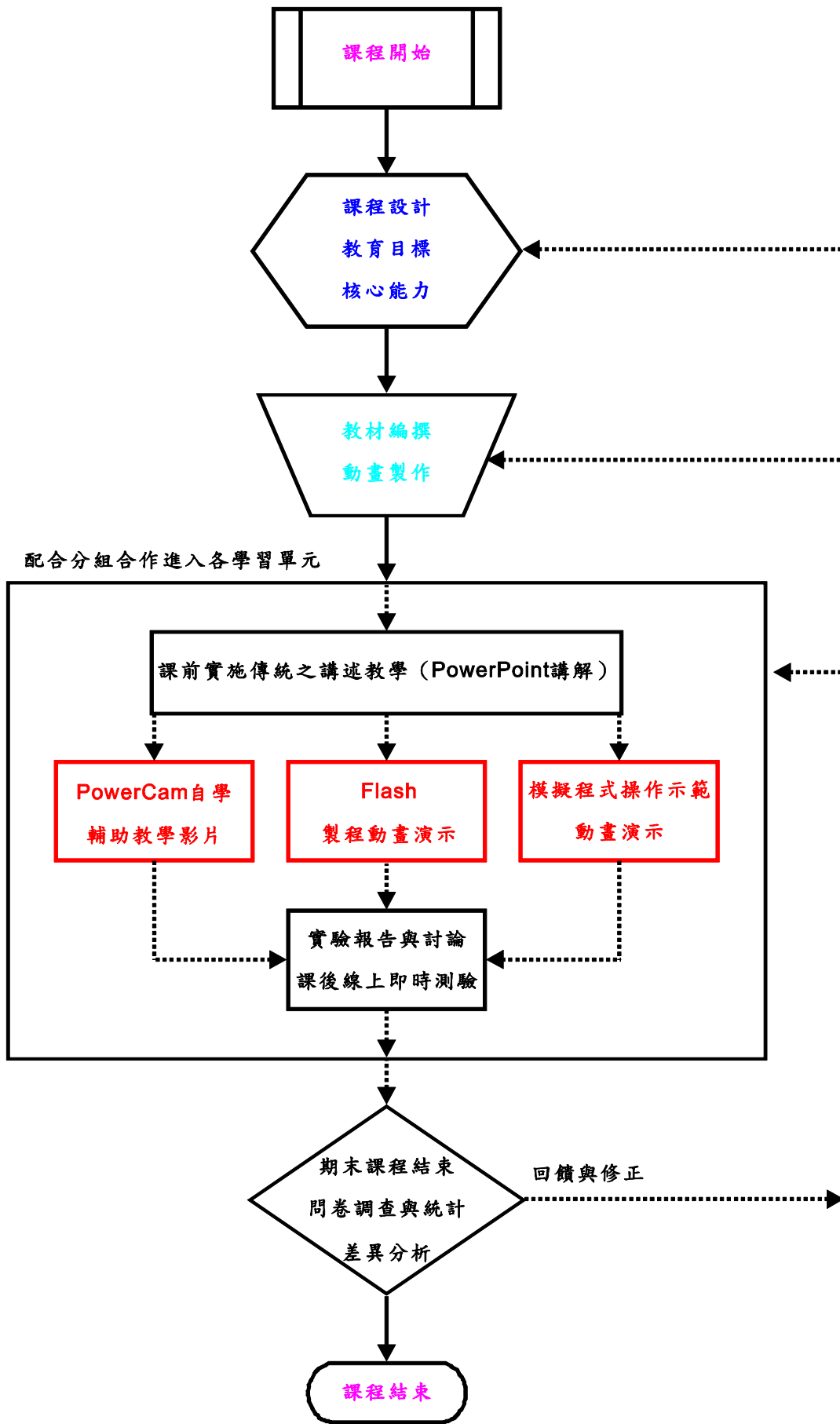


圖 1 研究進行之程序圖

## 肆、結果與討論

本研究以一年為期進行超大型積體電路實習課程之研究以建構半導體元件製程與特性分析教學系統。研究步驟共分為四個階段，第一階段進行課程設計，第二階段進行教材之編撰（PowerPoint 設計、Flash 動畫製作、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影、Silvaco TCAD 程式設計與編寫），第三階段進行問卷設計，第四階段進行課程教學實驗與結果分析，依執行之時程分述如下：

### 一、課程設計

以文獻分析法瞭解超大型積體電路實習課程的知識、技術及學科內涵，並探討超大型積體電路實習課程的學習目標及相關的學習背景。由文獻分析之結果配合本研究之模擬軟體 Silvaco TCAD（Athena、Atlas）進行有關半導體元件製程與特性分析各教學單元之教材範圍擬定。其次以目前在學界、業界專家為對象進行問卷調查諮詢意見，以蒐集以 Silvaco TCAD（Athena、Atlas）模擬軟體進行超大型積體電路實習課程所需的教學背景、教材內涵之資料，據以規劃超大型積體電路實習課程教學大綱。

在課程開始前，依照 AC2010 之規範依照下列步驟，完成超大型積體電路實習課程設計。

- （一）、檢視學校所欲達成的教育任務、課程教案之教學目標、AC2010 核心能力，
- （二）、確認並定義課程的主要教育目標，
- （三）、定義好課程目標後，列出支持這些目標的教學策略或活動，
- （四）、列出當這些策略被成功實施後，教師期待學生應學到的知識或能力，
- （五）、檢視學生們的學習結果，並寫下學生們的學習結果與 AC2010 核心能力相符的部分，
- （六）、檢視每位學生的結果並列出能夠有效評量課程的評量方式。這些評量方式必須是可試驗的，因為教師將有機會花費更多時間在此活動的修正上。

根據學界、業界專家為對象進行問卷調查之意見回饋結果，本研究中以超大型積體電路實習課程針對以建構半導體元件製程與特性分析教學系統之目的所建立之課程教學目標與核心能力（預期成效、學生學習成果）如表 1 所示。

### 二、教材之編撰

本研究根據所研擬的教學大綱，依循文獻探討的教材發展策略、教材選擇與組織及教材編寫原則，編寫各教學單元的教材，同時根據各單元製程、製程整合及元件特性，設計出以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式之教學模擬程式（專題設定、原理搜尋、Silvaco TCAD 程式設計及編寫與修改、參數萃取、結果與討論）。相關教材以及模擬程式操作之動畫錄製後依照教學之實施上傳至本校之師生部落格與影音演講活動網（<http://speech.ctu.edu.tw/s0302/?nav=speech&fid=86&tab=list>）。其中包括：

- （一）、PowerPoint 教材設計，
- （二）、多媒體 PowerCam 螢幕暨簡報錄影教材製作，
- （三）、具物理意義之單元製程 Flash 動畫製作，
- （四）、設計相關課程單元之示範教學模擬程式（Silvaco TCAD 程式設計與編寫），
- （五）、Silvaco TCAD 模擬程式操作之動畫錄製。

表 1

## 課程教學目標與核心能力(預期成效、學生學習成果)

| 目標/單元<br>主題                                                                                                            | 核心能力                                                                                                                           | 教學策略及方法                                                   | 評量方式                                   | 系所核心能<br>力養成                    | ABET 評鑑<br>標準 A1-A11       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 課程教學目標：<br>本課程目標在於建立一套半導體元件製程與元件特性分析之實習課程教材及其學習成效評估之教學系統，以簡至繁的漸進方式以及半導體單元製程、元件特性模擬模組化的方式來提升教學成效，進而培養光電、半導體產業與學術界所需之人才。 |                                                                                                                                |                                                           |                                        |                                 |                            |
| 超大型積體<br>電路製程簡<br>介                                                                                                    | 瞭解 IC 製造流程與原<br>理                                                                                                              | A 講述教學法<br>C 示範教學法<br>G. 電視及多媒體教學<br>法                    | g 課堂討論                                 | U6<br>G1                        | A1, A5, A11                |
| Silvaco 公司<br>PC<br>Interactive<br>Tools 簡介                                                                            | 1.熟悉 Deckbuild、<br>Tonyplot 之操作<br>2.學習使用電腦分析工<br>具                                                                            | A 講述教學法<br>C 示範教學法<br>G 電視及多媒體教學法<br>K 電腦輔助教學法            | g 課堂討論                                 | U2, U3, U6<br>G1                | A1, A5, A11                |
| Silvaco 公司<br>Tcad 簡介                                                                                                  | 1.熟悉 Athena、Atlas<br>核心之模擬運作原理<br>2.學習使用電腦分析工<br>具                                                                             | A 講述教學法<br>C 示範教學法<br>G 電視及多媒體教學法<br>K 電腦輔助教學法            | g 課堂討論                                 | U2, U3, U6<br>G1                | A1, A5, A11                |
| Athena 製程<br>模擬                                                                                                        | 1.熟練薄膜沉積、光學<br>微影、蝕刻、矽熱氧<br>化、擴散、離子植<br>入、金氧半場效電晶<br>體製程整合、互補式<br>金氧半反相器製程整<br>合之製程模擬<br>2.學習使用電腦分析工<br>具<br>3.培養團隊精神和合作<br>學習 | A 講述教學法<br>C 示範教學法<br>D 作業教學法<br>G 電視及多媒體教學法<br>K 電腦輔助教學法 | a 考試<br>b 測驗<br>d 報告<br>f 實作<br>g 課堂討論 | U2, U3, U6,<br>U8, U9<br>G1, G2 | A1, A2, A4,<br>A5, A7, A11 |
| Atlas 元件<br>特性模擬                                                                                                       | 1.熟練 MOS<br>Capacitor、<br>nMOSFET、<br>pMOSFET 元件特性<br>模擬<br>2. 學習使用電腦分析<br>工具<br>3.培養團隊精神和合作<br>學習                             | A 講述教學法<br>C 示範教學法<br>D 作業教學法<br>G 電視及多媒體教學法<br>K 電腦輔助教學法 | a 考試<br>b 測驗<br>d 報告<br>f 實作<br>g 課堂討論 | U2, U3, U6,<br>U8, U9<br>G1, G2 | A1, A2, A4,<br>A5, A7, A11 |

註：G1~G9 為本系研究所學生養成之核心能力，U1~U9 為本系大學部學生養成之核心能力，A1~A11 為 ABET EC2000 核心能力。

## 三、問卷設計

本研究於學期開學前依據超大型積體電路實習課程設計形成問卷初稿，透過學界與業界相關人員運用專家的知識和經驗，針對問卷初稿提供意見並加以修正以形成課程期末問卷(量表為李克特七點量尺，如表 2 所示)，問卷目的在檢核學生經過一學期的課程後了解學生對各項核心能力之期望程度與自評專業能力的成長。本課程設計的核心能力指標以 AC2010 之八

項核心能力與 ABET EC2000 的十一項核心能力為參考標準，問卷問題主要以涵蓋 ABET EC2000 的其中五項指標為主 (A1、A4、A5、A7、A11)。透過表 1 亦可獲得與系所學生核心能力之關聯。

表 2

課程核心能力重要性與養成成效問卷

| 您個人認為這個項目重要嗎?            |                          |                          |                          |                          |                          |                          | 課程教學目標與核心能力<br>[預期成效、學生學習成果]<br>(ABET 核心能力涵蓋項目) | 您認為本課程提供這個項目的訓練足夠嗎?      |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 非常<br>重要                 | 重要                       | 有點<br>重要                 | 普通                       | 有點<br>不重要                | 不<br>重要                  | 非常<br>不重要                |                                                 | 非常<br>足夠                 | 足<br>夠                   | 足<br>夠                   | 普通                       | 有點<br>不足<br>夠            | 不<br>足<br>夠              | 非常<br>不足<br>夠            |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能理解超大型積體電路技術之原理在本實習課程中如何被應用 (A1)               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能應用先前所學的各科工程知識到本實習課程中 (A1)                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在製程模擬演練中，我能應用超大型積體電路技術之原理而得到相關資料 (A1)           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能結合超大型積體電路技術之原理於本課程之實習報告中 (A1)                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我能調整自己來和他人合作 (A4)                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我能和他人分擔責任 (A4)                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我能支持團隊的目標 (A4)                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我能支援其它成員 (A4)                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能選擇適當的資源來收集所需的資訊 (A5)                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，就所收集的資訊中，我能選擇有用之資訊 (A5)                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我能簡化問題並建立模型 (A5)                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能依老師指定的報告格式來完成實習報告 (A7)                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在實習報告中，我能將資料用圖表呈現 (A7)                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在實習報告中，我能使用圖表表現概念 (A7)                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 我能使用電腦軟體 (如 SILVACO TCAD) 解決超大型積體電路技術問題 (A11)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我知道有哪些可使用的技巧、技術及工具 (A11)                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在作實習報告時，我有使用多項工具及技巧，以解決問題 (A11)                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 整體而言，上述本課程核心能力是否能提供您對未來就業或升學的能力需求?              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

#### 四、課程教學實驗與結果分析

##### (一) 線上測驗之實施與統計分析

於各單元製程模擬實習課後進行線上測驗，由於線上測驗安排於實驗報告上傳繳交後進行，故題數儘量力求簡要 (最多 10 題) 以免影響正常上課時間且可立即針對其學習成效進行初步之評估。實驗組共計 9 個單元分 8 次進行，對照組 (控制組) 共計 8 個單元分 7 次進行。

各單元之線上測驗分數分佈之長條圖統計分析詳如圖 2-8 所示，從測驗的結果顯示實驗組的所有單元製程與製程整合單元的測驗成績表現（平均值）均優於對照組。

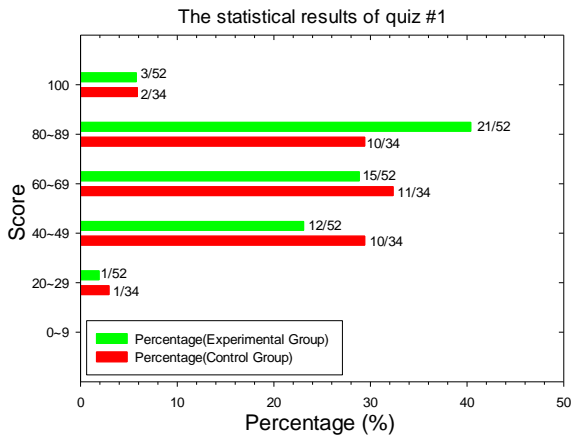


圖 2 單元 01-薄膜沉積課後測驗分析圖

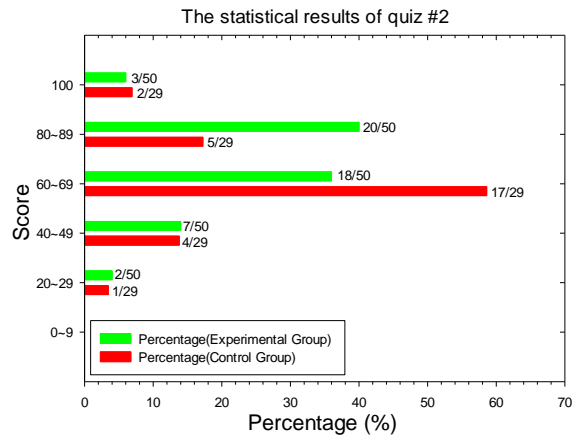


圖 3 單元 02-微影製程課後測驗分析圖

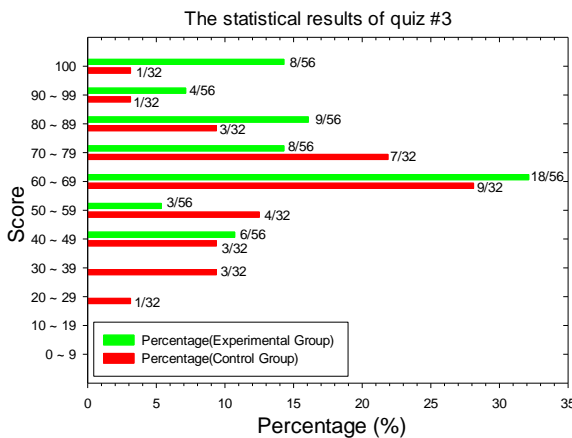


圖 4 單元 03-蝕刻製程課後測驗分析圖

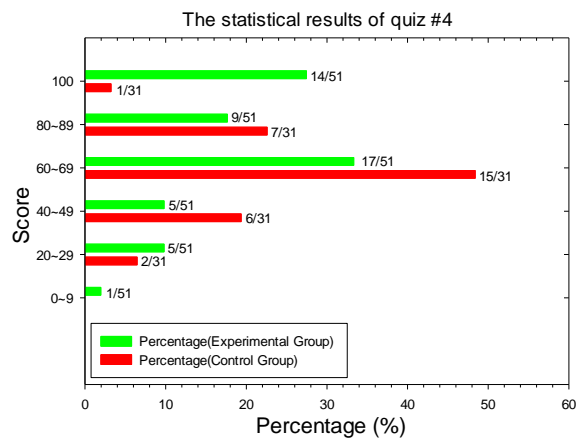


圖 5 單元 04-氧化製程課後測驗分析圖

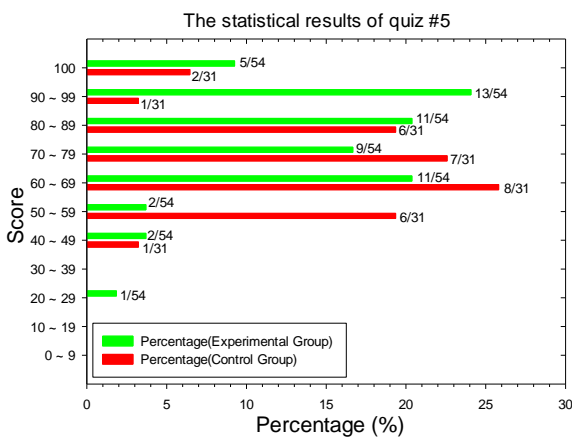


圖 6 單元 05-擴散製程課後測驗分析圖

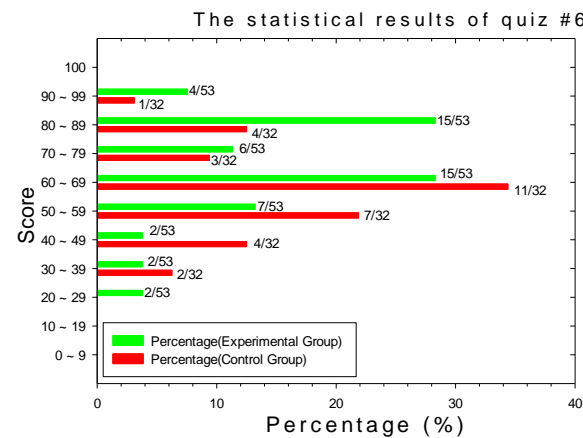


圖 7 單元 06-離子植入製程課後測驗分析圖

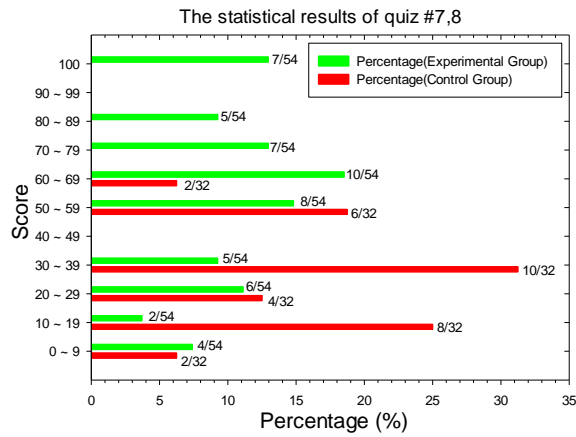


圖 8 單元 07/08-MOSFET 製程整合模擬課後測驗分析圖

針對單元 1-8 各製程模擬實習課後測驗之平均值與標準偏差，如圖 9、圖 10 將實驗組與對照組以雷達圖之形式呈現，就平均值的角度而言亦可發現實驗組的成績表現均優於對照組，特別是單元 07/08-MOSFET 製程整合模擬課後測驗的部分，由於製程複雜度的提升而實驗組的測驗成績遠高於控制組可以看出本教學系統有助於學生克服學習上的障礙進而提升學習效果。

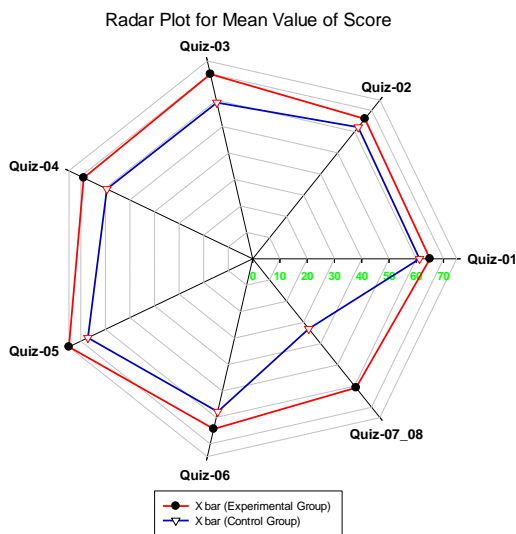


圖 9 線上測驗平均值雷達圖

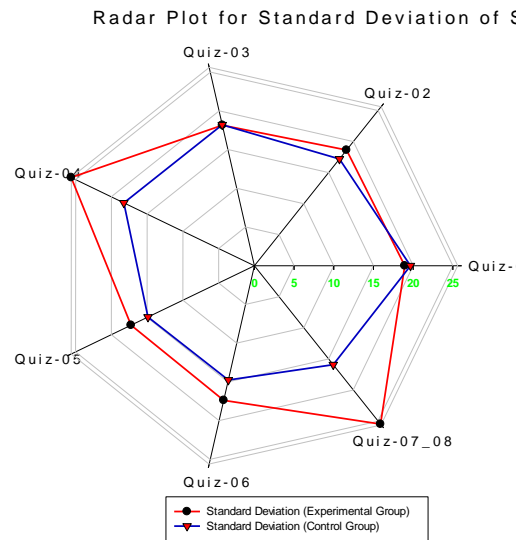


圖 10 線上測驗標準偏差值雷達圖

本研究亦以 SPSS 20 統計套裝軟體做為分析工具，針對上述之課後線上測驗以  $t$  考驗 ( $t$ -test) 進行差異性考驗。由表 3 的結果可知單元 03、05、07 與 08 之獨立樣本  $t$  檢定其顯著性值 (雙尾,  $p$ -value) 小於顯著水準 ( $\alpha=0.05$ )，拒絕虛無假設，即實驗組與對照組 (控制組) 的成績表現不同，實驗組的成績優於對照組 (控制組)；單元 04、06 之獨立樣本  $t$  檢定其顯著性值 (雙尾,  $p$ -value) 若小於顯著水準 ( $\alpha=0.1$ ) 時，亦可看出實驗組與對照組 (控制組) 的成績表現有所不同，實驗組的成績優於對照組 (控制組)，僅課程初期之單元 01、02 線上測驗之獨立樣本  $t$  檢定結果比較沒有達到顯著性的差異。

表 3  
課後線上測驗之獨立樣本檢定

|            | 測驗分數的平均值(M) |         | 平均數相等的 t 檢定 |          |
|------------|-------------|---------|-------------|----------|
|            | 實驗組         | 對照組     | t           | 顯著性 (雙尾) |
| Quiz_01    | 65.0000     | 61.1765 | .902        | .370     |
| Quiz_02    | 66.0000     | 62.0690 | .930        | .356     |
| Quiz_03    | 69.8214     | 59.0625 | 2.673       | .009**   |
| Quiz_04    | 68.8000     | 59.3548 | 1.934       | .057*    |
| Quiz_05    | 74.8148     | 67.0968 | 2.086       | .040**   |
| Quiz_06    | 64.3396     | 57.8125 | 1.773       | .080*    |
| Quiz_07_08 | 60.7800     | 33.0000 | 5.998       | .000**   |

\* $p < .1$  : 表示在顯著水準  $\alpha = 0.1$  時達顯著; \*\* $p < .05$  : 表示在顯著水準  $\alpha = 0.05$  時達顯著。

(二) 期末課程問卷統計分析

於期末授課結束後，由超大型積體電路實習課程修課學生於線上（本校師生部落格）填寫課程核心能力重要性與養成成效問卷（如表 2），針對每一題題目之實驗組與對照組進行長條圖統計分析，核心能力重要性問卷之結果如圖 11、圖 12 所示而核心能力養成成效滿意度問卷之結果如圖 13、圖 14 所示，結果顯示實驗組的分數優於對照組。

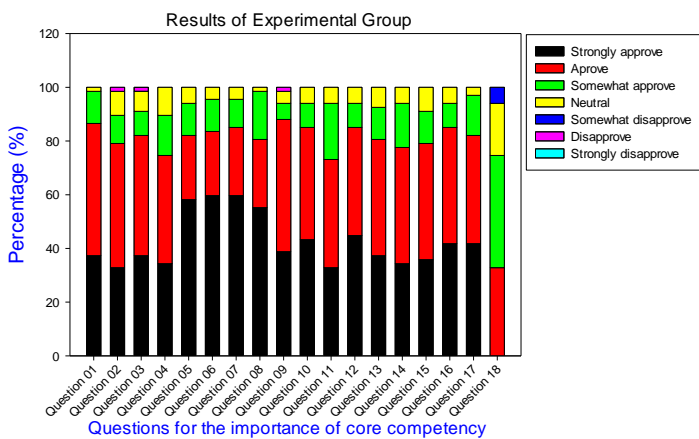


圖 11 核心能力重要性問卷(實驗組)

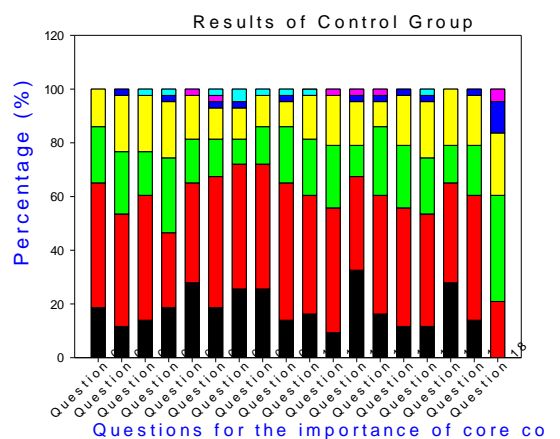


圖 12 核心能力重要性問卷(控制組)

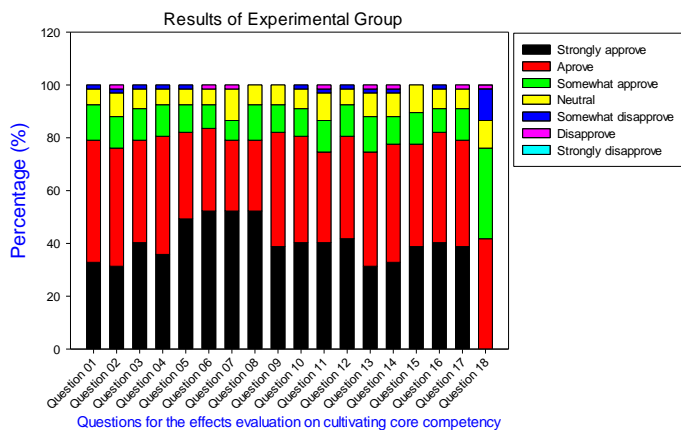


圖 13 核心能力養成成效滿意度問卷(實驗組)

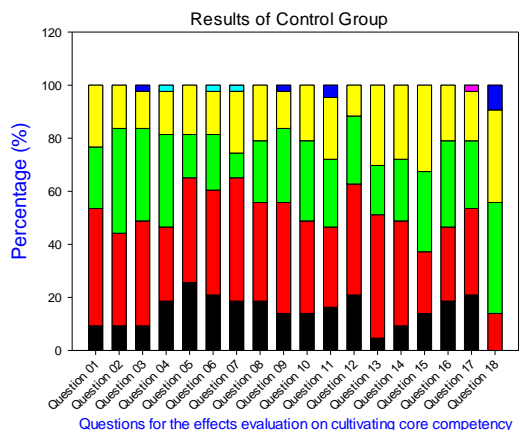


圖 14 核心能力養成成效滿意度問卷(控制組)

問卷結果同樣以 SPSS 20 進行統計分析，首先針對問卷之信度進行分析，核心能力重要性與養成成效問卷之信度分析與核心能力養成成效滿意度問卷之信度分析（如表 4）其以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值均大於 0.5，顯示問卷的一致性非常高而達到問卷的正確性。

表 4

## 核心能力重要性問卷之信度分析

| 可靠性統計量             |                              |       |
|--------------------|------------------------------|-------|
| Cronbach's Alpha 值 | 以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值 | 項目的個數 |
| .957               | .958                         | 18    |

## 核心能力養成成效滿意度問卷之信度分析

| 可靠性統計量             |                              |       |
|--------------------|------------------------------|-------|
| Cronbach's Alpha 值 | 以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值 | 項目的個數 |
| .971               | .972                         | 18    |

接著以  $t$  考驗 ( $t$ -test) 進行差異性考驗，從統計結果可以看出不管是核心能力重要性問卷、核心能力養成成效滿意度問卷（表 5）所有問卷題目之獨立樣本  $t$  檢定其顯著性值（雙尾， $p$ -value）均小於顯著水準（ $\alpha=0.05$ ），拒絕虛無假設，即實驗組與對照組（控制組）的成績表現不同，實驗組的成績優於對照組（控制組），其中絕大部分的問卷題目之獨立樣本  $t$  檢定其顯著性值（雙尾， $p$ -value）更小於顯著水準（ $\alpha=0.01$ ）時可看出實驗組與對照組（控制組）的成績表現有更顯著的不同。

表 5

## 核心能力重要性問卷之獨立樣本檢定

|             | 問卷分數的平均值(M) |      | 平均數相等的 $t$ 檢定 |          |
|-------------|-------------|------|---------------|----------|
|             | 實驗組         | 對照組  | $t$           | 顯著性 (雙尾) |
| Question_01 | 6.22        | 5.70 | 3.137         | .002***  |
| Question_02 | 5.99        | 5.40 | 2.947         | .004***  |
| Question_03 | 6.07        | 5.44 | 2.984         | .004***  |
| Question_04 | 5.99        | 5.30 | 2.993         | .004***  |
| Question_05 | 6.34        | 5.70 | 3.213         | .002***  |
| Question_06 | 6.39        | 5.53 | 3.718         | .000***  |
| Question_07 | 6.40        | 5.63 | 3.174         | .002***  |
| Question_08 | 6.34        | 5.77 | 2.992         | .003***  |
| Question_09 | 6.19        | 5.56 | 3.299         | .001***  |
| Question_10 | 6.22        | 5.51 | 3.423         | .001***  |
| Question_11 | 6.00        | 5.40 | 3.244         | .002***  |
| Question_12 | 6.24        | 5.72 | 2.548         | .012**   |
| Question_13 | 6.10        | 5.56 | 2.865         | .005***  |

## 核心能力養成成效滿意度問卷之獨立樣本檢定

|             | 問卷分數的平均值(M) |      | 平均數相等的 $t$ 檢定 |          |
|-------------|-------------|------|---------------|----------|
|             | 實驗組         | 對照組  | $t$           | 顯著性 (雙尾) |
| Question_01 | 6.03        | 5.40 | 3.477         | .001***  |
| Question_02 | 5.91        | 5.37 | 2.736         | .007***  |
| Question_03 | 6.09        | 5.40 | 3.697         | .000***  |
| Question_04 | 6.07        | 5.42 | 3.207         | .002***  |
| Question_05 | 6.22        | 5.72 | 2.570         | .012**   |
| Question_06 | 6.25        | 5.56 | 3.229         | .002***  |
| Question_07 | 6.15        | 5.51 | 2.739         | .007***  |
| Question_08 | 6.24        | 5.53 | 3.656         | .000***  |
| Question_09 | 6.13        | 5.51 | 3.443         | .001***  |
| Question_10 | 6.10        | 5.42 | 3.599         | .000***  |
| Question_11 | 5.97        | 5.30 | 2.970         | .004***  |
| Question_12 | 6.13        | 5.72 | 2.239         | .027**   |
| Question_13 | 5.90        | 5.26 | 3.153         | .002***  |



|             |      |      |       |         |      |      |       |         |
|-------------|------|------|-------|---------|------|------|-------|---------|
| Question_14 | 6.06 | 5.44 | 3.419 | .001*** | 5.94 | 5.30 | 3.113 | .002*** |
| Question_15 | 6.06 | 5.33 | 3.528 | .001*** | 6.06 | 5.19 | 4.465 | .000*** |
| Question_16 | 6.21 | 5.72 | 2.481 | .015**  | 6.12 | 5.44 | 3.506 | .001*** |
| Question_17 | 6.21 | 5.51 | 3.753 | .000*** | 6.07 | 5.51 | 2.812 | .006*** |
| Question_18 | 6.01 | 5.60 | 2.068 | .042**  | 6.01 | 5.60 | 2.050 | .043**  |

問卷分數的平均值(M)：為李克特七點量尺 1~7 得分之平均，

\*\* $p < .05$ ：表示在顯著水準  $\alpha = 0.05$  時達顯著；\*\*\* $p < .01$ ：表示在顯著水準  $\alpha = 0.01$  時達顯著。

## 伍、結論

本研究旨在建立一套半導體元件製程與特性分析之實習課程教材及其學習成效評估之教學系統，以 AC2010 之八項核心能力與 ABET EC2000 的十一項核心能力為參考標準，透過學界、業界專家之意見調查完成教學大綱與核心能力之擬定，運用專家的知識和經驗設計課程期末時之核心能力重要性與養成成效問卷，問卷問題同時涵蓋了 ABET EC2000 的其中五項指標為主 (A1、A4、A5、A7、A11)。為了達成上述之課程目標與核心能力，本研究以 Silvaco TCAD (Athena、Atlas) 之 EDA 模擬軟體，完成有關半導體元件製程與特性分析各教學單元之教材 (範例程式之撰寫)。各單元製程之原理講解說明以 PowerCam 螢幕暨簡報錄影、模擬程式操作之動畫錄製以及 Flash 虛擬製程動畫皆依照教學之實施上傳至本校之師生部落格與影音演講活動網。透過實驗組與對照組兩班學生進行教學實驗，利用分組報告、課後線上測驗、期中/期末上機實作考試及期末核心能力重要性與養成成效問卷作為反饋與評估機制。

本研究主要著眼於以 EDA 製程模擬軟體為核心所建立之相關多媒體教材對課程目標與核心能力養成成效之研究，同時於課程中各單元製程實驗以分組之方式進行，由各分組參與師生教學部落格中各單元實驗之分組討論以及透過各組學生的有效分工進而完成實驗報告的情形來看，在在都顯示了合作學習 (引導學生形成討論組/模擬實作組) 之正面效益。此外，在本研究中僅以兩人為一組進行各單元實驗之分工，而於期中/期末實施個別上機實作考試以減低在自由分組中的學習依賴性。

為了驗證本研究所設計之課程符合是否符合所訂定之課程目標與核心能力，本研究以本校電子工程系大學部四年級之兩班學生分為實驗組與控制組進行教學實驗，探討不同教學方法對半導體元件製程與特性分析實習課程學習成效與學習滿意度之影響。從線上測驗之實施與統計分析以及期末課程問卷統計分析結果可發現實驗組學生之各項統計數據明顯優於控制組，透過本研究中所設計之各項教學活動使學生提升學習的意願以提升學習成效，以培育出與光電、半導體產業密切結合之人才。

本研究對於教材製作及相關的評核與系所發展的議題進行非常詳細且廣泛的討論與說明，研究結果對於電子電機領域相關課程的老師提供高度的數位課程發展參考價值，相關的實驗方法也具體突顯出此研究之重點。

## 誌謝

本研究承蒙國科會科教處提供計畫經費資助 (編號 NSC 99-2511-S-270-001-) 得以順利完成，特此致謝。

## 參考文獻

- 行政院經濟建設委員會 (民 95)。2015 年經濟發展願景第一階段三年衝刺計畫 (2007-2009 年)。行政院經濟建設委員會研究成果報告 (行政院第 3011 次會議通過)。臺北市：行政院經濟建設委員會。
- 樓玉梅、趙偉慈、范瑟珍 (民 95)。我國 94-104 年科技人力供需分析。行政院經濟建設委員會研究成果報告 (編號：(95)019.803)。臺北市：行政院經濟建設委員會。
- Barak, M., Ashkar, T., & Dori, Y. J. (2011). Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education, 56*(3), 839-846. doi:10.1016/j.compedu.2010.10.025.
- Bernstein, G. H., Minniti, R. J., & Huang, X. K. (1994). An Advanced IC Processing Laboratory at the University of Notre Dame. *IEEE Transactions on Education, 37*(4), 334-340. doi:10.1109/13.330100.
- Bindal, A., Parent, D., He, L., & Kilic, S. (2004). *A MOSFET Design Laboratory*. Paper presented at International Conference on Engineering Education, 1-9. Retrieved from [http://www.ineer.org/Events/ICEE2004/Proceedings/Papers/177\\_abindal\\_mosfet\\_ICEE04\\_\(1\).pdf](http://www.ineer.org/Events/ICEE2004/Proceedings/Papers/177_abindal_mosfet_ICEE04_(1).pdf)
- Feldman, J. M. (1973). Semiconductor Device and Integrated Circuits Laboratories: A Survey of Current Educational Practice. *IEEE Transactions on Education, 16*(1), 2-10. doi:10.1109/TE.1973.4320780.
- Gallière, J. M., & Boch, J. (2009). *A mixed TCAD/Electrical simulation laboratory to open up the microelectronics teaching*. IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education, 37-40. doi:10.1109/MSE.2009.5270836.
- García, R. R., Quirós, J. S., Santos, R. G. (2007). Interactive multimedia animation with Macromedia Flash in Descriptive Geometry teaching. *Computers & Education, 49*(3), 615-639. doi:10.1016/j.compedu.2005.11.005.
- Parent, D. W., & Rio-Parent, L. D. (2008). Introducing TCAD Tools in a Graduate Level Device Physics Course. *IEEE Transactions on Education, 51*(3), 331-335. doi:10.1109/TE.2008.916765.
- Wu, J. C., Chang, P. F., Chen, Y. S., Tsai, S. J., & Yu, N. I. (2005). *Design of Curriculum and Assessment of Student Learning for ME Courses Based on EC-2000*. Paper presented at Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Session 3266-ABET Issues and Capstone Design. Retrieved from [http://search.asee.org/search/click?query=session\\_title%3A%22ABET+Issues+and+Capstone+Design%22+AND+conference%3A%222005+Annual+Conference%22&title=file%3A%2F%2Flocalhost%2FE%3A%2Fsearch%2Fconference%2F29%2FAC%25202005Paper219.pdf&url=%2Fsearch%2Ffetch%3Furl%3Dfile%253A%252F%252Flocalhost%252FE%253A%252Fsearch%252Fconference%252F29%252FAC%2525202005Paper219.pdf%26index%3Dconference\\_papers%26space%3D129746797203605791716676178%26type%3Dapplication%252Fpdf%26charset%3D%26spaceId=129746797203605791716676178&index=conference\\_papers&cha](http://search.asee.org/search/click?query=session_title%3A%22ABET+Issues+and+Capstone+Design%22+AND+conference%3A%222005+Annual+Conference%22&title=file%3A%2F%2Flocalhost%2FE%3A%2Fsearch%2Fconference%2F29%2FAC%25202005Paper219.pdf&url=%2Fsearch%2Ffetch%3Furl%3Dfile%253A%252F%252Flocalhost%252FE%253A%252Fsearch%252Fconference%252F29%252FAC%2525202005Paper219.pdf%26index%3Dconference_papers%26space%3D129746797203605791716676178%26type%3Dapplication%252Fpdf%26charset%3D%26spaceId=129746797203605791716676178&index=conference_papers&cha)

rset=&mimeType=application%2Fpdf

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. U.S.A. : Houghton Mifflin Company.