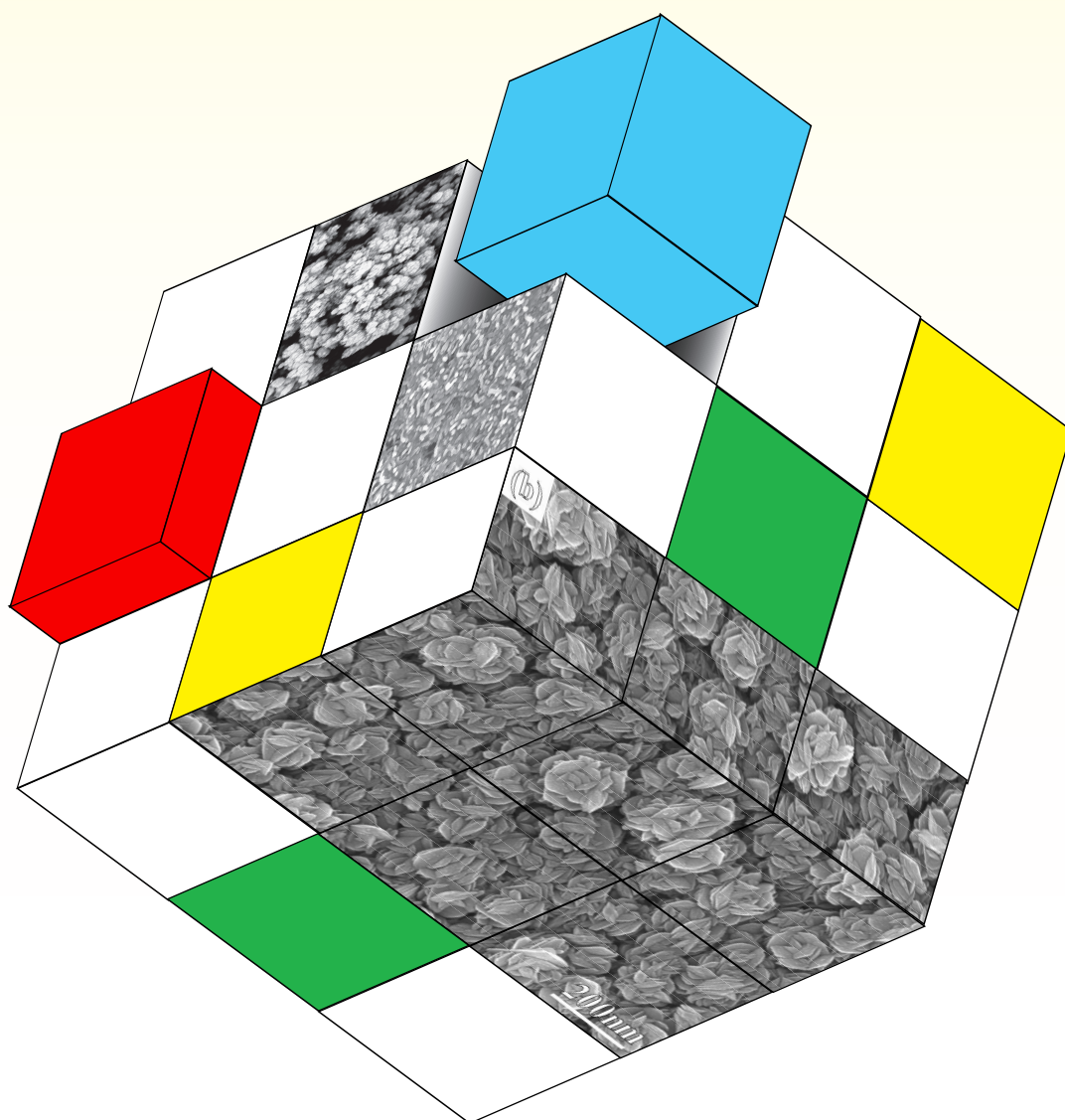


義大 研訊

Spring 2013

SEARCH & DISCOVERY

RESEARCH AT ISU & EDH



I-SHOU UNIVERSITY



E-DA HOSPITAL

02 消息報導

10 文摘

利用低成本常壓電漿鍍膜技術沉積高光伏轉換效率之TiO₂柱狀薄膜及奈米棒混成形態之研究

痞子：「英雄，我們所見略同？」

RF射頻能量對DC磁控濺鍍氧化銦錫透明導電薄膜性質之影響

平方剩餘碼代數解碼

46 活動

49 機會

56 編輯室



義大育成中心輔育有成 三廠商獲選亮點企業

經濟部中小企業處於2012年12月11日頒發亮點企業獎，義守大學創新育成中心3家廠商報名角逐，歷經一個多月的書面初審與複審，義守大學3家廠商皆順利通過評選，高吳惠琴原創藝術設計有限公司獲選亮點企業獎。希望餐飲管理有限公司與測允科技有限公司獲選小亮點企業獎。

高吳惠琴原創藝術設計是義大原住民族創業育成中心的廠商，創辦人高吳惠琴說，公司2012年2月才成立，來自排灣族的她，將排灣傳統文化與現代思維融合，創造台灣第一家以當代創意原住民金屬工藝為產品的文化創意產業品牌。

高吳惠琴說，因為育成中心的媒合讓自己的創意有機會成型，在數位多媒體學系主任孫述平的指導下，公司網站設立一項特別的服務，顧客自己上網搭配喜歡的飾品，確認結帳後才由公司專人做後續服務，不僅讓顧客擔任自己的設計師，也讓人數不多的公司營運更順暢。

此次獲選小亮點獎的其中一家廠商測允科技，是由義大首屆電機系畢業的學長李龍坤所成立。李龍坤說，公司2011年加入義大創新育成中心行列，經由育成中心媒介，成功與電機工程學系老師林偉誠與馮介川合作，分別進行「無線射頻辨識(RFID)個人智慧監控系統研製計畫」與「啟動馬達電磁開關全自動測試服務系統開發計畫」，順利提升公司在RFID開發技術上的能量以及產品品質及競爭力。

創新育成中心副組長許錦文表示，學校提供技術、由老師擔任顧問指導，都是提升微小企業創新發展的能量來源，配合政府鼓勵中小企業發展與創新，創新育成中心也希望透過此次甄選，打響南部中小企業品牌的知名度。

20校產學育成聯合成果展

14日義大世界登場

義守大學產學智財營運總中心於2012年12月14日舉辦高雄學園優質產學育成聯合成果展，20多所大專院校教授與學生互尬創意，展現創新研究成果。成果展為期兩天，高達153件新奇、有趣的研發作品參展，更有義大醫院中醫部醫師免費駐診，15日計畫到義大世界購物廣場的民眾，別忘了到C區1樓免費參觀。

開幕活動邀請到高雄市政府研究發展考核委員會副主委謝惠卿，謝惠卿表示，此次聯合成果展集合南北區大學及廠商，所以不僅育成更有媒合，透過展覽經驗分享，為產學合作做良好示範，為高雄城市發展增添能量。義守大學校長蕭介夫說，義守大學整合數個單位成立產學營運總中心，以促進產學合作作為重點目標，要將義大打造成「文化綠色矽谷」。

除了動態與靜態展覽，活動也安排技術發表，14日首場由國立聯合大學電機工程學系教



高雄學園優質產學育成聯合成果展活動照片

授吳有基介紹團隊研發的「行動式老人健康照護」系統。吳有基說，少子化已是台灣趨勢，未來青年負擔加重，因此團隊結合手機研發戒指式脈搏量測器與計步器，兒女透過手機就能知道父母今天運動量。他們也整合中醫知識，研發「察言觀色影像處理分析氣色」等，達到多方位健康照護。

高雄應用科技大學則展出一款「四國五行象棋」，一次可讓四個人同時挑戰，創意發想來自工學院長沈茂松，因為看到家裡附近老人們常常聚在一塊下棋，卻總是大家七嘴八舌討論，他想著為什麼不能讓更多人一起玩，因此研發出這款四人對戰的四國五行象棋，一兩個月前正式量產於各大書店販售。

高苑科大的「個人隨身折疊式電動自行車」則是展場詢問度最高的作品，高苑科大機械與自動科學系大四學生蘇聖宏說，他們改良學長們做的第一代作品，以創新活塞式折疊機構研發出第二代隨身自行車，可依個人身高調整，讓拖行更便利。義守大學則由機械與自動化工程學系朱力民研究團隊展出「車輛之多段式油門踏板機構」，這項作品可降低因誤踩油門釀禍，以及汽車內部裝置產生暴衝的情況發生，獲得許多發明獎肯定。



愛瘋嘉義短片賽

義大生拿最佳影片、導演、攝影三大獎

「今天農曆十五，幫忙端菜上樓，準備拜拜。」小時候不懂事，聽到阿公要我們幫忙端菜只會覺得煩；長大以後，才看見年邁阿公，拖著蹣跚步伐上樓拜拜的辛苦。因為這樣，蕭守峰有了《初一十五》的故事。

「初一、十五是傳統祭拜家中神明的日子，因為媽媽上班，將這份任務交代阿公和小孩仲延幫忙，但難得放假的仲延卻爲了睡覺跟阿公鬧脾氣，兩人起了口角....。仲延不耐煩的端上祭品，阿公也好不容易走上了神明廳，終於將一切牲禮準備妥當，仲延點上香，祖孫兩人一起祭拜。」影片細膩刻劃這段情感轉折。

義守大學大傳系畢業生蕭守峰與系上同學自組9人團隊，以《初一十五》報名嘉義縣政府舉辦的「愛瘋嘉義」創意短片競賽，擊敗業界導演，拿下最佳影片的大獎及最佳導演和最佳攝影，總獎金八萬元。《初一十五》成爲蕭守峰與同學們大學畢業的代表作，也是給自己的最佳賀禮。

從開始的前置作業到拍完影片的後製，不到兩個月的時間完成「初一十五」，擔任配樂的鍾孟浩說，最難的地方是，說服高齡八十多歲的阿公「再來一次」，阿公年紀大了容易累，所以導演蕭守峰花最多時間的地方反而是跟阿公溝通。「本來導演講了很久，阿公還是不想演，後來是導演的媽媽回來念了阿公一頓，阿公就乖乖配合演出。」鍾孟浩笑著說。「因為投影片的拍攝，讓我對自己更有信心。」鍾孟浩說，在頒獎典禮上，評審透露，在最佳影片的評選，有兩部片讓他們遲遲無法下決定，最後是因爲《初一十五》在聲音處理讓評審印象深刻脫穎而出。當天評審們也邀請鍾孟浩上台分享自己如何做這部片收音與配樂工作，讓鍾孟浩非常開心。爲了呈現更好的影片品質，鍾孟浩狠下心，用存款買了一台專業錄音機變得非常值得。

《初一十五》除了拍攝時間短，另一個特色就是成本小，鍾孟浩說，因爲劇組吃住都在導演家，花比較多反而是在交通費上，導演的媽媽不定時地替大家準備嘉義布袋特產，阿公也分享許多自己的人生經歷，即使畢業了，大家有空都還會回到嘉義看阿公。



《初一十五》影片劇照

《初一十五》影片已經上傳至YouTube供大家點閱觀賞，網址 <http://www.youtube.com/watch?v=ktDdjSrmnC8>。鍾孟浩與同學成立悠哉房影像工作室，歡迎對拍片有興趣的同學們加入粉絲專業，分享經驗。

義大21、22日舉辦國際油脂食品生物技術研討會

以生物技術篩選出對人體有益的油脂，可製成保健品，或拿來減肥、降低膽固醇、美容等，對人體相當有益。2012年國際油脂食品生物技術研討會（Aocs Asian Section）今年研討結合生物科技學系與營養學系，希望透過新技術的發表，打開未來合作契機。

2012年的國際油脂食品生物技術研討會，於12月21、22日在義守大學燕巢分部舉行，活動也邀請到美國農業部油脂研究部主任侯景滄、韓國國際食品研究機構總裁尹碩豪(Suk Hoo Yoon)等國內外生物科技專家參與。

研討會由義守大學營養學系、生物科技系與Aocs Asian Section共同主辦，義守大學副校長黃永勝表示，美國油脂化學會(Aocs)成立已有百年歷史，七年前在亞洲成立分部，每年舉辦國際性研討會，今年特別選定台灣作為國際研討會地點。

義守大學校長蕭介夫擔任21日研討會首場論文發表人，他以試驗脂肪酶與脂酶的表現，成功轉化生成生質柴油為題，蕭介夫談及目前市面上販售的柴油是來自千萬年前的植物，但利用生物技術將現在的植物轉化生質柴油，將能有效減少二氧化碳的產生。

侯景滄則報告將大豆油轉換為多醇油之菌種篩選，及其產物中脂肪酸種類的分析。尹碩豪的演講則介紹目前最先進的超臨界二氧化碳萃取法、機械壓榨及有機溶劑萃取，從中提取紫蘇油的脂肪酸成分，做油脂穩定性、抗氧化活性等特性的比較。



國際油脂食品生物技術研討會活動照片

ASEP2012亞洲學生專題賽 義大應英系拿首獎

日前高雄市政府推動ASEP2012「亞洲學生交流計畫」(Asian Student Exchange Program)，邀請日本、韓國、印尼、台灣國內外參與，共同合作製作專題。義大應英系助理教授張延惠帶領11位學生，分為兩組，各拿下象徵最高榮譽的白金獎及黃金獎。

高雄市政府教育局為推動亞洲區域性跨國校際學生網路交流，舉辦第十三屆ASEP2012「亞洲學生交流計畫」，以「競爭與合作」議題，透過與跨國際配對姊妹校的學生合作與討論，共同提出具體可行的行動方案。

應英系大一劉珍如與6位來自關西大學的同學拿到這次專題比賽最大獎白金獎，劉珍如說，為了完成專題，他們與日本關西大學外語系學生早在四週前開始討論，每週花兩小時視訊交流，日本學生抵達台北後，也馬不停蹄的製作簡報、進行英語發表排練。



ASEP2012「亞洲學生交流計畫」活動照片

「日本學生很勇於表達想法，也非常有創意。」劉珍如說。大會專題以「競爭與合作」為主題。日本同學提到，在日本考大學像戰爭，非常的競爭，團隊就以考試表現競爭，再以中國的模擬聯合國做為合作的案例，從中傳遞競爭與合作的利益，最後結合傳播的概念，訴求在競爭與合作的環境中，每個人都能傳播「你」的想法，優秀的創意概念，讓他們奪得白金獎首獎。

白金獎獲獎名單分別為英應系李雅晴、李思穎、陳珍如、吳欣怡、江品儒與日本關西大學外語學系學生團隊，黃金獎則由應英系盧茜、孔希、陳睦妮、陳怡君、李孟穎與李怡萱與東京國際大學語言學系隊伍獲得。

日本師生來台五天，趁機體驗台灣文化，劉珍如說，有次寄宿家庭請日本學生吃柚子，剝完皮就把柚子皮戴在頭上，隔天日本同學就很跑來問她，「台灣人都會把柚子皮當作帽子嗎？」劉珍如玩笑的稱是後，日本同學一臉震驚的樣子也讓她哭笑不得。除了參訪義守大學、與義大生合作製作專題，校方也安排他們寄住在寄宿家庭，由應日系學生擔任嚮導，帶他們體驗台灣飲食文化與特色景點。

利用低成本常壓電漿鍍膜技術沉積高光伏轉換效率之TiO₂柱狀薄膜及奈米棒混成形態之研究

劉文仁¹ 吳侑潤²

義守大學 材料科學與工程學系 副教授¹
義守大學 材料科學與工程學系 碩士研究生²

摘要

本研究目的乃利用低成本、操作方便之常壓電漿系統，進行具競爭力之低成本、高光伏轉換效率、高量產型之染料敏化太陽能電池光陽極形態設計、製作與分析之開發。目前研究成果顯示利用常壓電漿系統製作高準直性TiO₂柱狀薄膜及TiO₂奈米棒(TiO₂ Nano-rods, TNRs)混成形態作為光陽極之染料敏化太陽能電池(DSSC)，在1.5cm²尺寸大小基板之光伏轉換效率已經可以高達為7.523%，目前仍持續努力改善光陽極之型態與結構，朝往設定8~9%光伏轉換效率之目標前進。

關鍵詞：二氧化鈦、阻障層、奈米結構、染料敏化、常壓電漿

前言

在2012年間，矽晶片太陽能電池仍然繼



劉文仁 副教授

續發生相當嚴峻的價格下滑競爭，雖然在12月13日，中國政府宣布了「第二輪金太陽」補貼的項目總計約2.83GW，矽晶片太陽能電池成本仍維持在0.54美元每瓦左右。這將使得

強調「低成本」薄膜型太陽能電池面迎相當大的挑戰。目前發展太陽能電池作為再生能源面迎之兩大挑戰為--「提升光伏轉換效率」與「降低成本」。一般於玻璃、不銹鋼、高分子聚合物等基材上成長矽薄膜、碲化鎘(CdTe)、硒化銅銦鎳(CIGS)等太陽光電薄膜技術外，至於染料敏化太陽能電池(DSSCs)則被稱為「第三代太陽能電池」，一般認為其技術成熟及量產化時程會比薄膜太陽能電池來得更晚，雖然製造成本預期可為所有太陽能電池中最低，但其轉換效率也最低，亟需研發增加其「轉換效率」方有競爭性。DSSCs係為光陽極、染料、電解質及對電極等組件所組成，在過去二十年間因為其製造成本低及高光伏轉換效率之競爭優勢下，吸引不少研

究人員的投入。其中，光陽極(Photo-anodes)是DSSC元件核心組件之一，其性能將直接影響到電池的效率。而在研究製作光陽極之眾多材料中，以二氧化鈦(TiO₂)最引起人們的普遍關注，不僅因為TiO₂是性質穩定的n型寬能帶(Wide band-gap)半導體材料，具備無毒、無害、容易製備、價格低廉等優點，同時在光學材料、光電材料、光觸媒材料等領域具有前瞻性的應用前景。1991年M. Grätzel[1]利用多孔性TiO₂奈米顆粒(TiO₂ Nano-particles, TNPs)膜層作為光陽極，成功製備出高效率、低成本的DSSC元件，從而引起全球研究人員利用各種方法[2-17]進行製作TiO₂光陽極膜層。多孔性TiO₂奈米顆粒膜層具有比表面積大、孔隙率高之優點，可吸收較多的染料分

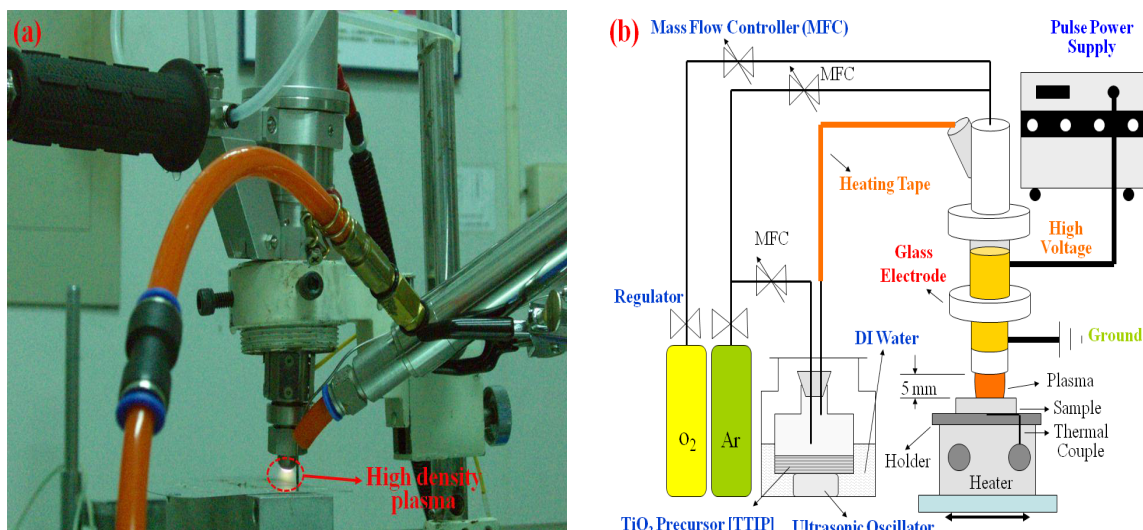


圖1. 低溫常壓電漿鍍膜系統(a)實體圖及(b)示意圖。

子，另外光照進多孔性膜層內部，會在晶粒間多次反射，造成太陽光捕獲效率的提昇。但是奈米顆粒TiO₂多孔膜層與透明導電玻璃基板之接觸界面不完全、晶界過多等問題，將會縮減電子生命週期並增加電荷發生再合併現象。最近一些研究[18-21]提出改善隨機分布TiO₂奈米形態(Morphology)之電子傳輸機制中，利用高準直性TiO₂奈米結構，如TiO₂

奈米管(TiO₂ Nano-tubes, TNTs)結構、TiO₂奈米棒(TiO₂ Nano-rods, TNRs)結構、TiO₂奈米樹枝(TiO₂ Nano-dendrites, TNDs)結構、TiO₂奈米顆粒及高準直性TiO₂奈米結構之混成結構等，改善TiO₂奈米顆粒隨機分佈形態而增加電子傳輸速率。同時一些研究[22-25]也提出使用一層薄TiO₂阻障層直接沉積於FTO基板上，目的為改善FTO/TiO₂接觸界面不完全，

防止電子從FTO基板上背向傳輸至電解液中電洞發生再合併現象。由於目前之製作大都採取化學濕式及真空製程，並無以低成本且直接快速的乾式常壓電漿製程完成類似形態之研究，因此本團隊乃利用本研究室研發之低成本常壓電漿噴流鍍膜系統(如圖1所示)，發展沉積高準直性柱狀薄膜與TiO₂奈米棒(TiO₂ Nano-rods, TNRs)混成形態作為DSSC元件之光陽極，並進行材料及光電性質方面之分析實驗。

結果與討論

本研究首先在FTO基板上以玻璃電漿電極沉積一層約50nm之TiO₂膜層作為阻障層(Barrier layer, BL)，以玻璃電漿電極於前驅物流量25sccm (mL/min)、50sccm、75sccm及100sccm；沉積溫度500°C；輸出功率286W、主電漿氬氣流量 6slm (L/min)、氧氣流量200sccm、沉積時間5分鐘等不同製程條

件下沉積單層TiO₂膜層，其膜層之掠角X光繞射分析(Low-angle grazing-incidence x-ray diffraction, GID)結果顯示銳鈦礦結構(101)結晶平面為優先成長方向。研究中發現(101)結晶平面強度隨前驅物流量增加而增加，此現象乃由於較多之前驅物加入將造成較易形成銳鈦礦結晶結構，而增加前驅物流量過大時，將造成電漿解離效率之降低，進而使得(101)結晶平面強度開始下降。圖2為改變前驅物流量25sccm、50sccm、75sccm及100sccm製程參數進行鍍製後，TiO₂膜層之上視(Top-view)及橫截面(Cross-sectional)表面形態分析。從圖中可以看出表面存在許多岩石狀(Rocky shape)TiO₂膜層形成於FTO玻璃基板上，而這些岩石狀TiO₂膜層之橫截面形態(如圖2)顯現柱狀排列存在於膜層中，由於擁有高準直性(Vertically-aligned)及緻密性膜層形態將造成高電子傳輸行為。而這結果顯示乾式常壓電漿製程沉積之阻障層，可適用於大面積基板上形成均勻、緻密且穩定之膜層。膜層平均厚度約為

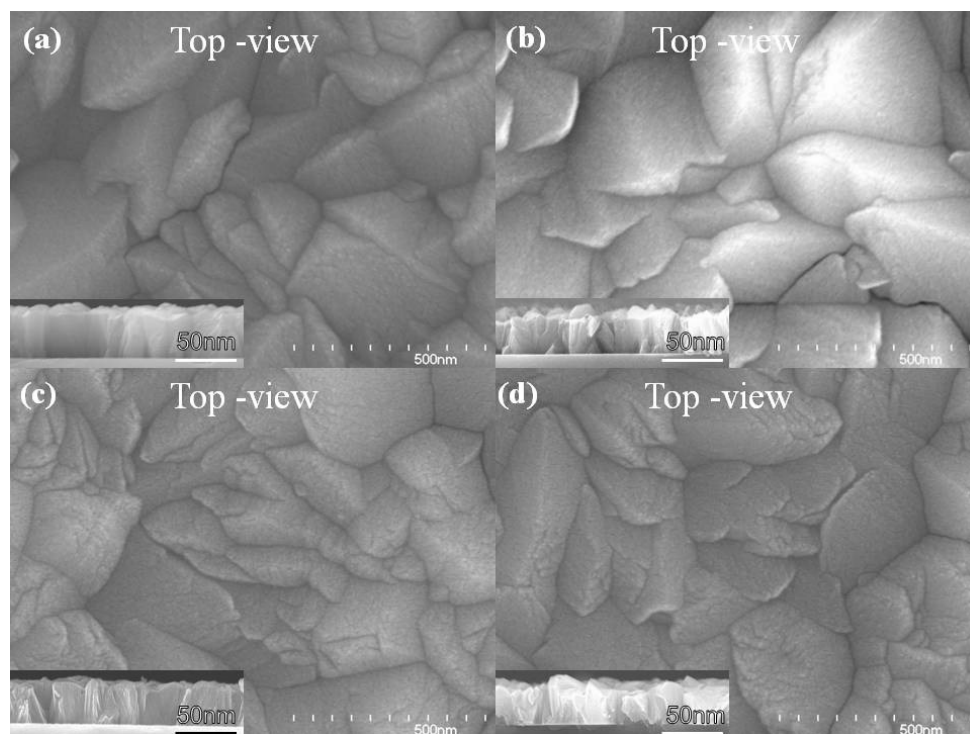


圖2. 輸出功率286W、沉積溫度500°C、沉積時間5分鐘時，前驅物流量(a) 25sccm；(b) 50sccm；(c) 75sccm；(d) 100sccm，TiO₂膜層之上視(Top-view)及橫截面(Cross-sectional)表面形態。

50nm，平均沉積速率約為10nm/min。

圖3則為改變前驅物流量25sccm 及75sccm製程參數時，高解析型穿透式電子顯微鏡(HRTEM)觀察分析發現，TiO₂膜層呈現明顯柱狀排列之單晶結構，利於電子傳輸至FTO基板上。同時於FTO與TiO₂膜層界面處呈現緻密性附著，使得FTO沒有與電解液接觸而產生電子與電洞出現再合併現象。表格1顯示於前驅物流量25sccm、50sccm、75sccm

及100sccm等不同製程條件下沉積單層二氧化鈦光陽極膜層之DSSC元件光伏特性。其中，光陽極膜層於前驅物流量75sccm、輸出功率286W、沉積溫度500°C、沉積時間5分鐘時，其開路電壓(V_{oc})及短路電流密度(J_{sc})分別為0.67V 及1.124 mA·cm⁻²，填充因子則為69.2%，光伏轉換效率可達到0.521%。其中填充因子數值較高，顯示此膜層之阻抗較小，較利於電子之傳輸。

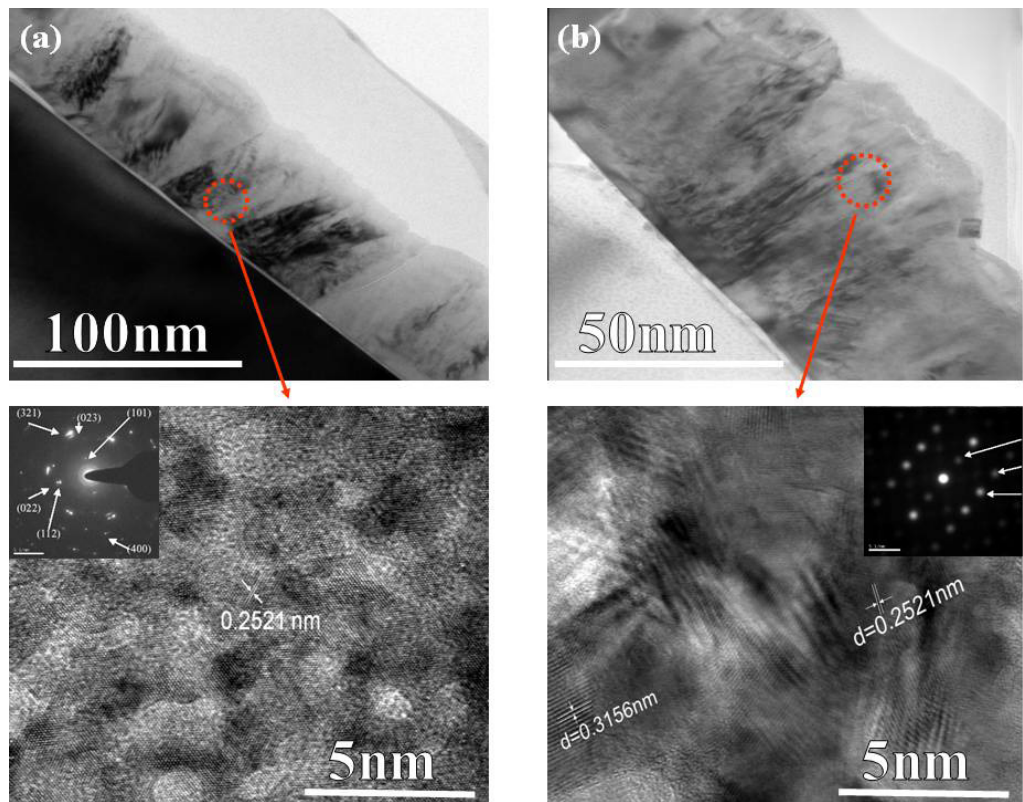


圖3. 輸出功率286W、沉積溫度500°C、沉積時間5分鐘時，前驅物流量(a) 25sccm；(b) 75sccm，TiO₂膜層之高解析型穿透式電子顯微鏡(HRTEM)分析。

表格1. 玻璃電極沉積柱狀排列二氧化鈦光陽極膜層之DSSC元件光伏特性

Precursor Flow Rates	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA·cm ⁻²)	F.F.(%)	η(%)
25sccm	0.65	0.680	64.5	0.285
50sccm	0.66	0.853	66.8	0.376
75sccm	0.67	1.124	69.2	0.521
100sccm	0.64	1.022	65.1	0.426

接著於阻障層(BL)上方進行沉積TiO₂膜層作為染料吸附層，從實驗中可以發現TiO₂奈米棒(TiO₂ Nano-rods, TNRs)、TiO₂花朵形

態(TiO₂ Flower-like morphology)、TiO₂奈米顆粒(TiO₂ Nano-particles, TNPs)等結構，可以採用金屬電漿電極於前驅物流量75sccm、

輸出功率286W、主電漿氬氣流量 6slm (L/min)、氧氣流量200sccm、沉積時間5分鐘、沉積溫度分別為300oC、400oC、500oC等不同製程條件下製作及控制成長，其形態如圖4(a)-(c)所示。依據一些研究文獻[3,5]建議，本研究之膜層總厚度控制在12 μ m。TiO₂膜層顯示其形態隨著鍍膜之沉積溫度而改變，提昇沉積溫度將使得OH官能基自TiO₂銳鈦礦(101)平面脫離並阻礙優選方向之成長，造成形態由棒狀及片狀改變至顆粒狀之變化。在這些形態中，TiO₂奈米棒形態具備較高準直性及多孔性的結構，可以增加電子傳輸及染料吸附，是可以考慮作為DSSCs元件光陽極的

理想形態。從DSSCs元件之電流密度及電壓特性中發現：TiO₂奈米棒沉積於FTO/BL基板上具有最佳的光伏特性，其開路電壓(Voc)、短路電流密度(Jsc)及填充因子分別為0.65V、20.133 mA $\cdot$ cm⁻²及57.49%，光伏轉換效率可達到7.523%。同時可以發現將TiO₂花朵形態及TiO₂奈米顆粒分別沉積於FTO/BL基板上時，其光伏轉換效率可分別達到6.407%及6.322%。然而，TiO₂奈米棒、TiO₂花朵形態及TiO₂奈米顆粒分別沉積於FTO基板上時，其光伏轉換效率可分別達到5.423%、5.112%及4.898%。因此，本研究中發現阻障層確實可以明顯改善DSSCs元件光伏轉換效率。

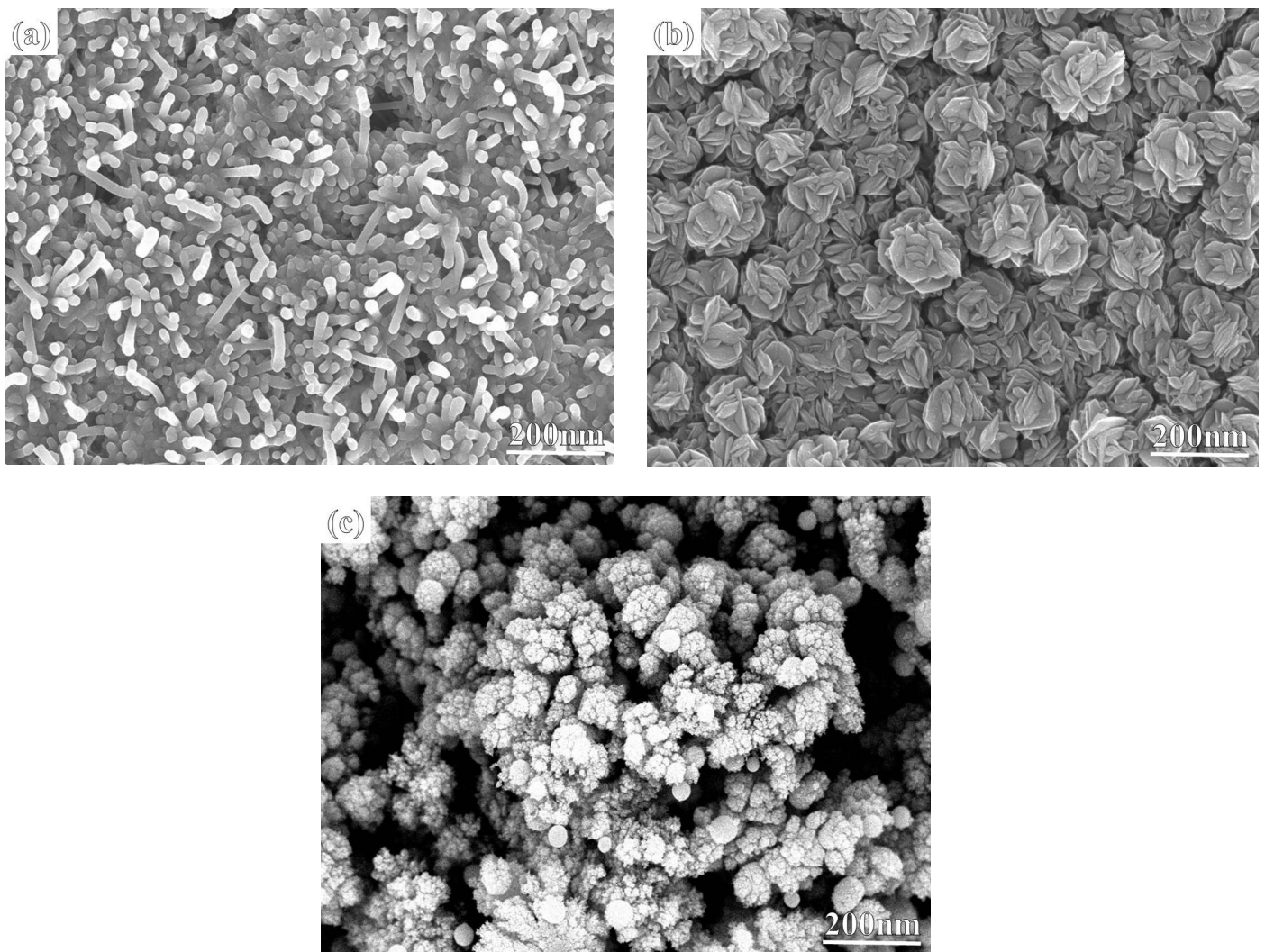


圖4. 二氧化鈦膜層形貌於沉積溫度為300°C、400°C、500°C下分別呈現 (a)奈米棒、(b)花朵型態、(c)奈米顆粒銳鈦礦結構。

結論

本研究採用低成本常壓電漿系統沉積柱狀薄膜及奈米棒狀二氧化鈦膜層形態，分別作為DSSC元件光陽極膜層之阻障層及染料吸附層，在1.5cm²尺寸大小FTO基板之其光伏轉換效率可達到7.523%。從微觀結構分析中發現，第一層阻障層具備緻密FTO/TiO₂界面及明顯柱狀排列之單晶結構，利於電子傳輸及降低載子再合併現象；至於第二層染料吸附層，由於高準直性及多孔性的奈米棒狀形態，可以提供高電子傳輸通道及高吸附染料表面積。

誌謝

本研究在此感謝國科會給予研究計畫：NSC99-2221-E-214-010 & NSC100-2221-E-214-046 & NSC101-2221-E-214-023之經費補助，同時也感謝義守大學精密分析實驗室於實驗分析儀器上的協助。

參考文獻

- [1] B. O'Regan and M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", *Nature*, vol. 353, pp. 737-740, 1991.10
- [2] L. Li, R. Chen, G. Jing, G. Zhang, F. Wu, and S. Chen, "Improved performance of TiO₂ electrodes coated with NiO by magnetron sputtering for dye-sensitized solar cells", *Applied Surface Science*, vol. 256, pp.4533-4537, 2010.05
- [3] X. Tang, J. Qian, Z. Wang, H. Wang, Q. Feng, and G. Liu, "Comparison of low crystallinity TiO₂ film with nanocrystalline anatase film for dye-sensitized solar cells", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 330, pp. 386-391, 2009.02
- [4] J. S. Im, S. K. Lee, and Y.S. Lee, "Cocktail effect of Fe₂O₃ and TiO₂ semiconductors for a high performance dye-sensitized solar cell", *Applied Surface Science*, vol. 257, pp. 2164-2169, 2011.01
- [5] C.H. Huang, Y.T. Yang, and R.A. Doong, "Microwave-assisted hydrothermal synthesis of mesoporous anatase TiO₂ via sol-gel process for dye-sensitized solar cells", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 142, pp. 473-480, 2011.07
- [6] M. S. Roy, P. Balraju, M. Kumar, and G. D. Sharma, "Dye-sensitized solar cell based on Rose Bengal dye and nanocrystalline TiO₂", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, pp. 909-913, 2008.08
- [7] M. Lira-Cantu, A. Chafiq, J. Faissat, I. Gonzalez-Valls, and Y. Yu, "Oxide/polymer interfaces for hybrid and organic solar cells: Anatase vs. Rutile TiO₂", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, pp. 1362-1374, 2011.05
- [8] S. Nejati and K. K. S. Lau, "Integration of polymer electrolytes in dye sensitized solar cells by initiated chemical vapor deposition", *Thin Solid Films*, vol. 519, pp. 4551-4554, 2011.05
- [9] Z. Tachan, S. Rühle, and A. Zaban, "Dye-sensitized solar tubes: a new solar cell design for efficient current collection and improved cell sealing", *Solar Energy*

- Materials and Solar Cells, vol. 94, pp. 317-322, 2010.02
- [10] Y. C. Hong, T. Lho, B. J. Lee, H. S. Uhm, O. P. Kwon, and S. H. Lee, "Synthesis of titanium dioxide in O₂/Ar/SO₂/TiCl₄ microwave torch plasma and its band gap narrowing", *Current Applied Physics*, vol. 11, pp. 517-520, 2011.05
- [11] X. Li, Y. Zhang, Z. Zhang, J. Zhou, J. Song, B. Lu, E. Xie, and W. Lan, "Electrospraying tuned photoanode structures for dye-sensitized solar cells with enhanced energy conversion efficiency", *Journal of Power Sources*, vol. 196, pp. 1639-1644, 2011.02
- [12] A. Conde-Gallardo, M. Guerrero, N. Castillo, A.B. Soto, R. Fragoso, J.G., Cabanas-Moreno, "TiO₂ anatase thin films deposited by spray pyrolysis of an aerosol of titanium diisopropoxide", *Thin Solid Films*, vol. 473, pp. 68-73, 2005.02
- [13] X. Huang, P. Shen, B. Zhao, X. Feng, S. Jiang, H. Chen, H. Li, and S. Tan, "Stainless steel mesh-based flexible quasi-solid dye-sensitized solar cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, pp. 1005-1010, 2010.06
- [14] H. Jha, P. Roy, R. Hahn, I. Paramasivam, and P. Schmuki, "Fast formation of aligned high-aspect ratio TiO₂ nanotube bundles that lead to increased open circuit voltage when used in dye sensitized solar cells", *Electrochemistry Communications*, vol. 13, pp. 302-305, 2011.03
- [15] J. H. Park, S. Kim, and A. J. Bard, "Novel carbon-doped TiO₂ nanotube arrays with high aspect ratios for efficient solar water splitting", *Nano Letters*, vol. 6, pp. 24-28, 2006.12
- [16] A. G. Agrios and A. Hagfeldt, "Low-temperature TiO₂ films for dye-sensitized solar cells: factors affecting energy conversion efficiency", *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 112, pp. 10021-10026, 2008.06
- [17] W. J. Liu and Y. L. Lai, "Investigation of novel low temperature atmospheric pressure plasma system for deposition photo-catalytic TiO₂ thin film", *Surface & Coatings Technology*, vol. 206, pp. 959-962, 2011.11
- [18] G. K. Mor, K. Shankar, M. Paulose, O. K. Varghese, and C. A. Grimes, "Use of highly-ordered TiO₂ nanotube arrays in dye-sensitized solar cells", *Nano Letters*, vol. 6, pp. 215-218, 2005.12
- [19] J. Wang and Z. Lin, "Dye-sensitized TiO₂ nanotube solar cells: rational structural and surface engineering on TiO₂ nanotubes", *Chemistry - An Asian Journal*, vol. 7, pp. 2754-2762, 2012.12
- [20] J. Jiu, S. Isoda, F. Wang, and M. Adachi, "Dye-sensitized solar cells based on a single-crystalline TiO₂ nanorod film", *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 110, pp. 2087-2092, 2006.01
- [21] W. P. Liao and J. J. Wu, "Wet chemical route to hierarchical TiO₂ nanodendrite/nanoparticle composite anodes for dye-sensitized solar cells", *Journal of Materials Chemistry*, vol. 21, pp. 9255-9262, 2011.05

-
- [22] M. Manca , F. Malara, L. Martiradonna, L. D. Marco, R. Giannuzzi, R. Cingolani, G. Gigli, “Charge recombination reduction in dye-sensitized solar cells by means of an electron beam-deposited TiO₂ buffer layer between conductive glass and photoelectrode”, *Thin Solid Films*, vol. 518, pp. 7147-7151, 2010.09
- [23] H. Choi, C. Nahm, J. Kim, J. Moon, S. Nam, D. R. Jung, and B. Park, “The effect of TiCl₄-treated TiO₂ compact layer on the performance of dye-sensitized solar cell”, *Current Applied Physics*, vol. 12, pp. 737-741, 2012.05
- [24] J. N. Harta, D. Menzies and Y. B. Cheng, “TiO₂ sol-gel blocking layers for dye-sensitized solar cells”, *Comptes Rendus Chimie*, vol. 9, pp. 622-626, 2006.05
- [25] M. S. Wu, C. H. Tsai and T. C. Wei, “Anodic deposition of ultrathin TiO₂ film with blocking layer and anchoring layer for dye-sensitized solar cells”, *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 159, pp. B80-B85, 2011.12

痞子：「英雄，我們所見略同？」

林堉仁

義守大學電機工程學系助理教授

摘要

在軟性計算(Soft Computing, SC)的領域裡，有兩個頗負盛名的方法，分別是分類與迴歸樹 (Classification And Regression Tree, CART)，以及多層感知機 (Multi-Layer Perceptron, MLP)。這兩種軟性計算方法，依據文獻上的記載，都可用來設計出電力系統暫態穩定度預防控制策略。本文將比較，基於這兩種方法所設計出來的預防控制策略。首先，我們扼要地說明這兩種軟性計算方法的基礎原理，接著將這兩種軟性計算方法，分別應用到一個具有六個匯流排、三部發電機、三個集總負載的電力系統，設計其電力系統暫態穩定度預防控制策略。在進行綿密的計算機程式電腦模擬後，我們發現，這兩種各領崢嶸的軟性計算方法，所設計出來的電力系統暫態穩定度預防控制策略，即便不完全相等，卻也非全然相左，倒是所見略同。

關鍵詞：電力系統暫態穩定度、預防控制策略、軟性計算、分類與迴歸樹、多層感知機



林堉仁 助理教授

演出

痞子：多層感知機 (Multi-Layer Perceptron, MLP)

英雄：分類與迴歸樹 (Classification And Regression Tree, CART)

一、序曲

「大智若愚，大成若缺。」 - 老子
若說英雄是決策樹理論(Decision Trees ,

DT)豪門裡的天之驕子，這並不為過。因為在打造一株決策樹之際，英雄能在決策樹間節點之穿梭，行進路徑清晰透明。不僅能迅速地判決斷定電力系統暫態穩定的與否，英雄還能夠解釋其推理過程。在過去廿餘年來，不少北美與西歐等地的電力系統專家學者，仗著英雄果斷明確的推理，成功地設計出大型電網暫態穩定度預防控制策略。因此，英雄為這些專家學者所傳頌，極力推崇，讚不絕口 [1-4]。

痞子現身於學術界的，亦相當頻繁，堪稱是類神經網路(Artificial Neural Network, ANN) 家族裡最著名的成員。但學術界始終盛傳，痞子的推理過程，有如魔術師的黑盒子，外人想進一步瞭解，他卻往往雙肩一聳、兩手一攤，露出一付無可奉告的神秘感。據此，許多學者不明究裡，咸認痞子的判斷、推測的能力，完全是籠罩在一團迷漫的煙霧裡。以訛傳訛的結果，於是長久以來讓痞子莫名地被貼上魔術師黑盒子的標籤。在電力系統暫態穩定度研究的領域裡，即使諸多學者推薦痞子進行預測與判斷穩定度的指標或餘裕，但也僅止於此。此般黑盒子的迷思，甚囂塵上，如薄霧輕煙，瀰漫於學界 [5-9]。

其實，自一九九〇年代中期開始，已有研發人員，著手為痞子解開黑盒子的桎梏，試圖探索痞子何以精於接獲訊息，即可迅速做出準確預測判斷的能耐 [10-14]。隨著研究人員的孜孜不倦與埋首不懈，漸漸的有人意識到，痞子他那似有若無的神秘、似無若有的本能，絕非空穴來風。研究報告一篇篇地出爐，還痞子一個清白，脫帽向他致意。近年來已有研發人員，託付痞子，致力於電力系統暫態穩定度的分析，設計出電力系統暫

態穩定度獨到的預防控制策略 [15-16]。

痞子、英雄，這兩個完全截然不同軟性計算方法，都可以設計出電力系統暫態穩定度預防控制策略。本文述說一場英雄與痞子之間的競爭，分析與探討由他們所設計出來的電力系統暫態穩定度預防控制策略，是南轅北轍？或似曾相識？抑是所見略同？

二、曲目

「老者安之，朋友信之，少者懷之。」 - 孔子

圖1說明本文的大意，包括五個主要的橋段。首先是備妥測試電力系統所有資料，接著是建構電力系統暫態穩定度資料庫。這個情節又可細分成三個段落，分別是(一)隨機揀選電力系統操作情況、(二)進行電力系統暫態穩定度時域模擬與(三)記錄模擬結果。再來分別是由英雄與痞子依序出場，設計電力系統暫態穩定度預防控制策略。最後則分析並比較英雄及痞子所設計出來的預防控制策略。

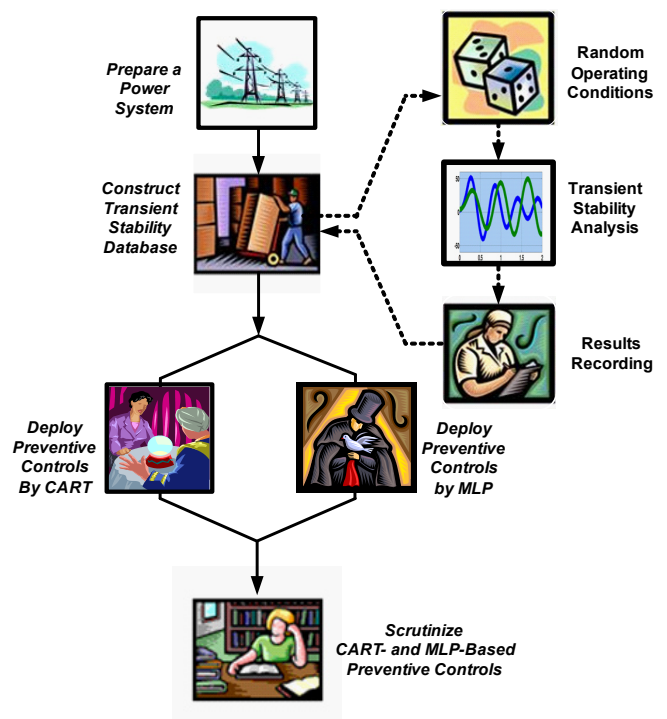


圖1

三、獨奏一：算命仙的水晶球／英雄



「驚馬十駕，功在不舍。」 - 荀子

要打造一株決策樹，英雄首先判斷該從哪一個輸入變數、且該變數的哪一個數值

值，做為決策，開始進行資料的分割 [17]。這個分割，可以把這一整群資料的散亂度，給予最大幅度的削減。這裡所謂的散亂度，可以用熱力學裡的熵，或者是該節點算術平值的歐幾里德距離的觀念，來加以解釋。第一次的資料分裂或分割，圖2的左上小圖可幫助我們瞭解英雄在打造決策樹的第一步。在圖中，圓圈裡的數字，代表該決策樹節點的次序編號。

有了第一次的分割後，接下來英雄會在現有的決策樹的節點裡，去計算每個節點的散亂度。從散亂度最大的一個節點，下手開始進行下一次的資料分割。也就是從這個散亂度最大的節點資料裡，計算出哪一個輸入屬性、且該屬性的哪一個數值，做為判斷決策，可以把這個節點裡，一群資料的散亂度給予最大幅度的削減。如圖2的右上小圖所示。

依樣畫葫蘆，英雄持續地完成：計算出散亂度最大的節點、計算出從哪一個輸入屬性、哪一個數值可以最大程度地削減該節點的散亂度、據此進行節點裡的資料分割、完成分割，如圖2的左下與右下小圖那樣。整個資料分割的程序，英雄會依照給定的條件狀況，適度停止。

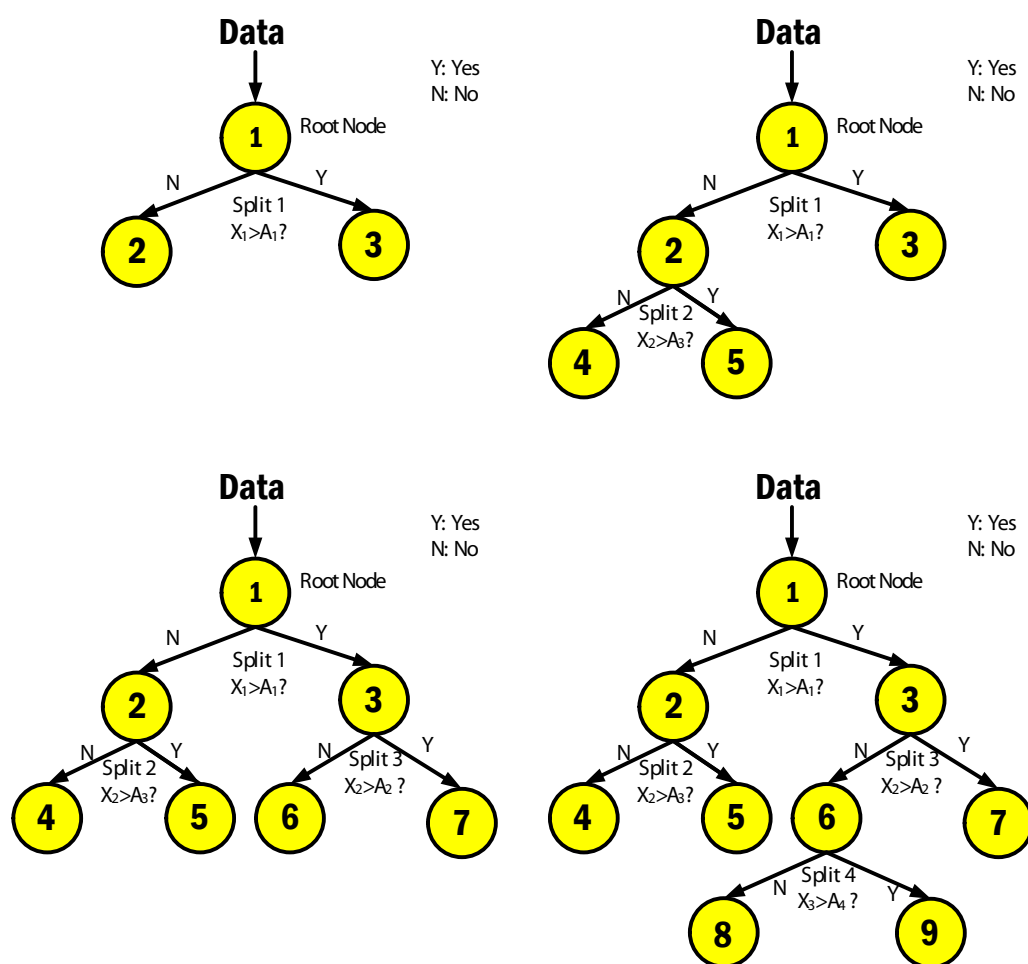


圖 2

英雄在完成了決策樹的建構，不僅可以進行預測輸出變數，更可貴的是，英雄的決策判斷過程，是透徹明瞭的。就以圖3的決策樹來說，若要抵達節點8，則英雄會指點迷津，告訴我們只要乖乖地遵循

如果 變數 X_1 大於 數值 A_1
 且 變數 X_2 小於 數值 A_2
 且 變數 X_3 小於 數值 A_4
 則 可以安然抵達 節點8

如上所述，這樣子的推測判斷，透徹清楚，這就能夠解釋，何以英雄他在電力系統穩定度控制的領域裡，能如此地呼風喚雨！

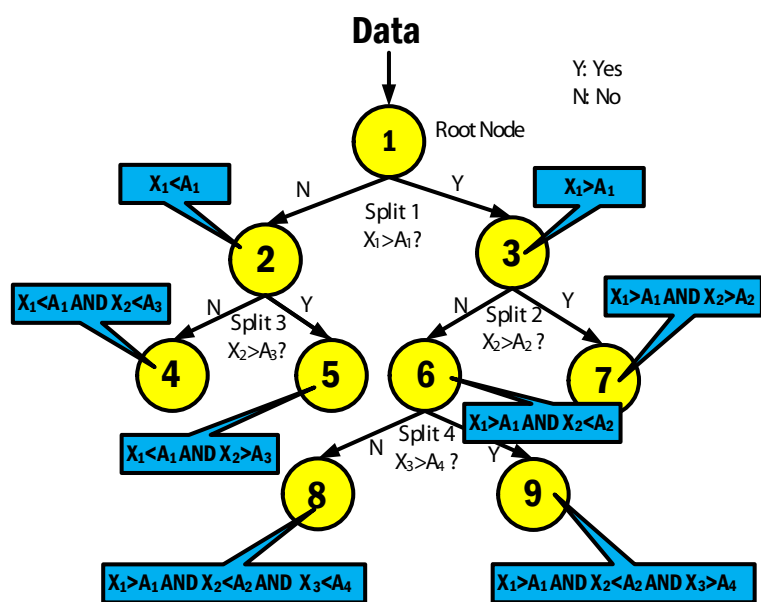


圖 3

四、獨奏二：魔術師的黑盒子 / 痞子

「桃李不言，下自成蹊。」 - 司馬遷



圖4所示，是含有一層隱藏層的痞子。輸入層和輸出層的神經元數目，是由應用問題來設定。隱藏層神經元的數量，據作

者最大的能力所知，尚無一個黃金準則來決定到底該使用多少個隱藏層神經元。通常都是由試誤法來一個一個增加或減少隱藏層的神經元個數。在輸入 - 隱藏層，與隱藏 - 輸出層之間，都有所謂的神經鏈予以鍵結。用數學術語來說，就是加權權重。

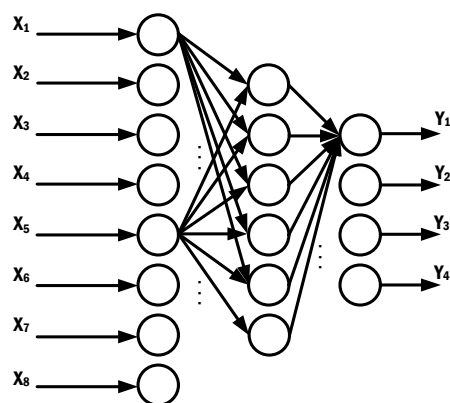


圖 4

輸入變數進入到輸入層後，考量了輸入 - 隱藏層有加權權重，痞子去計算隱藏層裡的每個神經元，總共收到多少來自輸入層神經訊號強度。每個隱藏神經元所接收到的訊號強度總合，再經由一個門檻值，來決定要觸發多少這個隱藏層神經元的輸出訊號強度。這個門檻，在數學上我們稱之為神經元刺激函數，是用來決定，到底這個隱藏層神經元所接收的訊號，強度是否夠強，強大到應該釋放多少該隱藏層神經元的輸出訊號。

痞子在隱藏 - 輸出層的操作手法，也是如出一轍。隱藏層神經元釋放出神經訊號，痞子就使用隱藏 - 輸出層有加權權重，去計算輸出層裡每個神經元，總共收到多少來自隱藏層神經訊號強度。每個輸出神經元所接收到的訊號強度，再經由一個門檻值，來決定要不要觸發輸出層神經元。這個門檻，就是用來決定，到底這個輸出層神經元所接收的訊號，強度是否夠強，到底應該釋放多少該輸

出層神經元的輸出訊號。

輸出層會有輸出訊號計算值，痞子將這個輸出層神經元計算值，和原先的資料庫裡的輸出結果，相減而得到一個期望落差值。痞子將資料庫裡的資料，一筆一筆地計算輸出與輸入之間的落差值，再一個一個地累加起來，形成痞子他要自己修身養性的根據。亦即修正他輸入 - 隱藏層，與隱藏 - 輸出層之間的神經鏈鍵結，以及隱藏層、輸出層的門檻值。痞子修行的依據，是從他內部輸出層與輸入層間的總落差值，運用數學上的最陡梯度法，進行微分運算，計算出最佳修正方向與修正量。

走馬至此，我們可以知道痞子如何將輸入與輸出訊號之間的關係給牽動起來。多年以來，學界也試圖去解讀痞子，其關鍵就在於隱藏層神經元所扮演的角色。肩負著滿滿的神經元之間的鍵結與門檻，眾多學者仍然懷疑，到底痞子能否解釋他推理判斷的過程呢？

即使質勝文則野，但痞子也絕非文勝質而史。痞子的推理過程是可以理解的[11]。先把資料的輸入變數與輸出變數，都編碼轉成二元值。再採用S型(Sigmoid Function, SF)函數，做為隱藏層與輸出層神經元的刺激函數，如此就會將隱藏層與輸出層神經元的神經輸出訊號，拮制在0和1之間。

如圖5的左上小圖所示，我們先在痞子的輸出層裡，挑選一個神經元，我們把它稱為「輸出層選定神經元」。它就是做為，我們想要瞭解的痞子真相推理規則裡，那個結果、事實。再來我們要去尋找「隱藏層特徵神經元」(Feature Detector Neurons)，如圖5的右上小圖所示。「隱藏層特徵神經元」就是那些連結到「選定輸出神經元」且隱藏 - 輸

出層神經鏈結(即加權權重)為正數的隱藏層神經元。因為若痞子採用S型神經刺激函數，這表示這些「隱藏層特徵神經元」，是能夠積極地正向觸發這個「選定輸出神經元」。再來，我們要找出「輸入層顯著神經元」(Significant Input Neurons)，如圖5左下圖所示。「輸入層顯著神經元」是那些輸入為1，且輸入 - 隱藏層神經鏈結(即加權權重)為正的輸入層神經元。當我們找出了「輸入層顯著神經元」，可以跳過隱藏層神經元，直接對應到「輸出層選定神經元」，如圖5的右下圖所示。痞子的規則推理過程，就水落石出。

如果「輸入層顯著神經元」
則「輸出層選定神經元」

不僅如此，我們還可以將這些「輸入層顯著神經元」，一個一個分別加以抑制，觀察當他們被個別壓抑時，「輸出層選定神經元」的神經輸出訊號變動的情形。並依據輸出神經元輸出訊號的變動，來決定到底哪一個「輸入層顯著神經元」，是能夠主導「輸出層選定神經元」的觸發。以圖5為例，若我們選定輸出神經元Y1為「輸出層選定神經元」，則痞子找出的「輸入層顯著神經元」為X1和X5。換句話說，痞子的推理過程如下所示：

如果 輸入神經元 X1
或 輸入神經元X5
則 輸出神經元 Y1

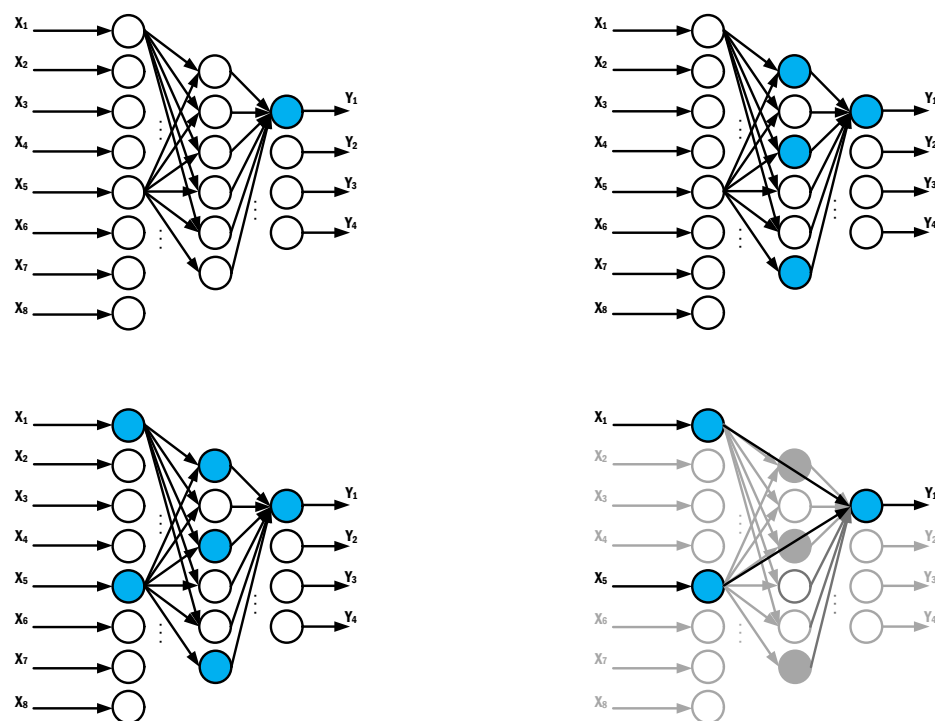


圖 5

五、協奏

「花明月黯飛輕霧。」 - 李煜



圖6是某電力系統的單線圖。該電力系統是由六個匯流排、三部同步發電機與三個負載中心所共同組成。

我們將1號發電機設定成參考匯流排，同時也假設它有足夠大的額定容量(即超高的輸出端電壓、巨大的輸出電氣功率)，讓它可視為一部所謂的無限匯流排(發電機輸出端點電壓與頻率，將不會隨著電網任何故障擾動或負載變動而產生變化)。測試系統所有設備參數，援引自[18]所列之數據。這些參數數據同時也代表該電力系統一個運轉操作狀況情形。在本文，我們稱為該電力系統之「表定運轉操作情況」。

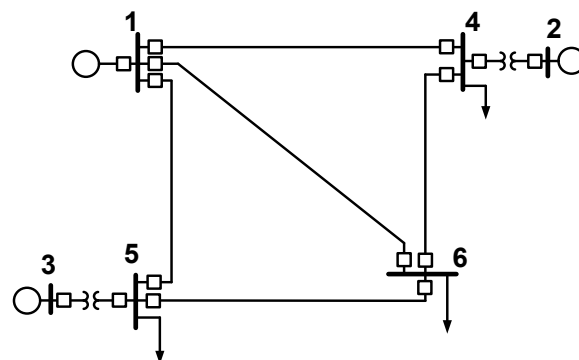


圖 6



接下來我們開始建構所需要的資料庫。我們要在這個「表定運轉操作狀況」，去隨機變化輸入變數。這裡的輸入變數是指，電力系統裡的發電機組，與負載可調整變動的參數。在發電機可調參數方面，輸入變數指的是各發電機組的端點輸出電壓、與輸出

實功功率(當然，無限匯流排的端點電壓仍是維持原先設定)。在負載可調參數方面，輸入變數指的是實功需求量、虛功需求量。因為這個電力系統有兩部發電機(發電機 2，3)與三個負載中心(匯流排 4，5，6)，因此我們將有十個輸入變數要進行變動。這些輸入變數變動的範圍，是在「表定運轉操作情況」所給定各個參數設定值之正負百分之十的區間變化。如此一來，我們就可以得到，該電力系統在「表定運轉操作情況」鄰近變動的不同運轉操作情況。

我們總共產生了3000筆隨機的不同運轉操作情況。對於這3000個不同的電力系統運轉操作情況，我們假設在匯流排1發生三相短

路接地故障，同時設定跳脫輸電線1-6來清除這個故障。我們利用暫態穩定度程式計算，在電力系統這3000種不同的操作情況、相對於上述故障的臨界清除時間(Critical Clearing Time, CCT)，做為我們資料庫的輸出變數。整個資料庫的表單如下圖7所示，該表單的維度是 3000×11。其中，3000代表著3000筆資料，而11代表有10個輸入變數，與1個輸出變數。變數P, Q, V, g, d 分別代表實功(Power)、虛功(Reactive Power)、電壓(Voltage)、發電機(Generator)與負載需求(Demand)。電壓的單位是標么，實功與虛功的單位分別為百萬瓦(MW)與百萬乏(MVar)。臨界清除時間(Critical Clearing Time, CCT)的單位則為秒。

每個操作情況 有 10 個輸入變數										每個操作情況 有 1 個輸出變數
3000 筆 電力系統 操作情況		V_{g1}	P_{g1}	V_{g2}	P_{g2}	P_{d1}	Q_{d1}	...	...	CCT
	1	1.1055	162.17	0.9532	108.27	102.65	64.366	...	...	0.284
	2	1.1379	163.71	1.0270	106.01	92.838	68.905	...	...	0.303
	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	3000	...	...	...	...	...	...	...	...	...

圖 7



我們把這3000筆電力系統操作情況交給英雄，英雄成就了一棵如下圖8所示的決策樹。在圓圈裡的數字，代表該節點的次序編號。每個節點外有兩個數字，上方的數字是該節點臨界清除時間的代表值，下方括號內的數字代表該節點所

含的電力系統操作情況資料筆數。這棵由英雄所打造出來的決策樹，臨界清除時間最大的節點，是較令電力工程師所感興趣的。不僅可以獲得較多的故障清除反應時間，同時也因為直通到該節點的沿路決策，就是按圖索驥裡的那張圖，其實也就是夢裡尋他千百度的預防控制策略。節點8的臨界清除時間值

為0.42秒，對一個頻率為60Hz的電力系統而言，將有25個週期時間可供電力系統工程師清除故障干擾，這是一個相當充裕的臨界清除時間。所能找到最大臨界清除時間，英雄的決策推理路徑如下

如果 P_{g2} 小於 145.40 MW
且 V_{g3} 大於 1.03 標么
且 V_{g2} 大於 0.99標么
且 P_{g3} 小於 97.65 MW
則 臨界清除時間是 0.42 秒

英雄說，如果我們想要得到較長的臨界清除時間，可以設定匯流排2的發電機發電量 P_{g2} 小於145.40 MW，匯流排3的發電機端電壓 V_{g3} 大於 1.03 標么，匯流排2的發電機端電壓 V_{g2} 大於0.99標么，匯流排3的發電機發電量 P_{g3} 小於97.65 MW。但我們要注意到，英雄的預防控制策略都是用邏輯運算元”且(AND)”來進行連結。同時，由於決策樹階級層級的構造，我們必須遵循一個接著一個的預防控

制策略。像是，先要執行匯流排2的發電機發電量 P_{g2} 小於145.40 MW，再來是實施匯流排3的發電機端電壓 V_{g3} 大於 1.03 標么，等等依此順序實踐控制項目。表1給了這些控制策略的實現結果。我們發現，按照圖8由英雄所得到的預防控制策略，確實能夠將臨界清除時間給予延長。此即能爭取更多的反應時間，給予電力系統工程師有充裕的黃金時間，力挽狂瀾。

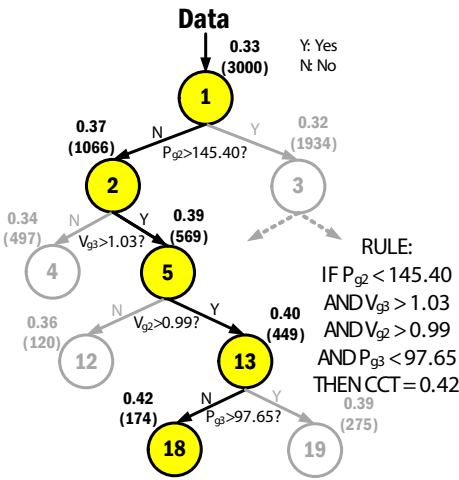


圖8

表 1

	電力系統 預防控制項目				臨界清除時間
表定運轉 操作情況	P_{g2} =150 MW	V_{g3} =1.03 標么	V_{g2} =1.04 標么	P_{g3} =100 MW	0.341 (seconds)
預防控制策略	P_{g2} = 145 MW	-	-	-	0.355
	P_{g2} = 145 MW	V_{g3} = 1.05標么	-	-	0.367
	P_{g2} = 145 MW	V_{g3} = 1.05 標么	V_{g2} = 1.02 標么	-	0.381
	P_{g2} = 145 MW	V_{g3} = 1.05標么	V_{g2} = 1.02標么	P_{g3} = 95 MW	0.381

-: 表示沒有變動 (亦即該參數設定值，一如表定運轉操作情況)



痞子要萃取規則，必須將資料表單裡每個連續數值資料，編碼轉換成二元值的資料型態。在本文裡，痞子將每個數值資料，由連續數值型態，轉換對應為3個二元位資料格式。對於每個

測試電力系統輸入變數，如果大於表定運轉操作情況參數值的3.3%到10%之間，則視為變動放大(Large)，該連續數值的變數將記錄編碼為(1, 0, 0)。若該變數是在表定參數值變動範圍的3.3%到-3.3%之間，則視為變動適中(Moderate)，該連續數值的變數記錄編碼為(0,

1, 0)。若該變數是在表定參數值變動範圍落於-3.3%到-10%之間，則視為變動減小(Small)，該連續數值的變數記錄編碼為(0, 0, 1)。

至於測試電力系統的輸出變數，若臨界清除時間大於0.35秒，則歸類在臨界清除時間延長(Long)，編碼記錄為(1, 0, 0)。如果是介於0.31到0.35秒之間，則歸類於清除時間適中(Moderate)的類別，編碼記錄為(0, 1, 0)。最

後，如果臨界清除時間低於0.31秒，則歸類於臨界清除時間縮短(Short)的類別，編碼記錄為(0, 0, 1)。這些0.31、0.35秒數字的取決，在於平均分攤資料庫輸出變數臨界清除時間成三等份。按照前述的編碼方式，痞子手上的資料庫表單的維度，將變成 3000x33。即有3000筆資料，30個輸入變數，3個輸出變數，如圖9所示。

		每個操作情況 有 30 個輸入變數															每個操作情況 有 3 個輸出變數		
		V _{g1}			P _{g1}			V _{g2}			P _{g2}			...			CCT		
		L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
3000 筆 電力系統 操作情況	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	...	...	...	0	0	1
	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	...	...	...	0	0	1
	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3000	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

圖 9

採用一層隱藏層，故痞子有輸入、隱藏、輸出共計三個神經層，各含有30、10、3個神經元。痞子將三分之二的資料庫，即2000筆的操作情況，作為訓練資料。剩下的1000筆操作情況，則做為測試資料。經過多次學習訓練與測試，最高的準確率為78.8%，痞子找出最能影響較長臨界清除時間的規則，按照輸入神經元的影響力，依次如下：

- 如果 輸入神經元 6 (Pg2 較小)
- 或 輸入神經元 7 (Vg3 較大)
- 或 輸入神經元 3 (Vg2 較小)

或 輸入神經元 12 (Pg3 較小)
則 較長的臨界清除時間

要注意到，痞子所擷取的預防控制策略，是以邏輯運算元”或(OR)”來進行連結。我們進行一連串的計算機程式模擬，所得結果如表2所列，按照痞子所萃取的電力系統預防控制策略，予以實施，則該電力系統在承受前述故障事故時，確實能有較長的臨界清除時間。

表 2

	電力系統 預防控制項目				臨界清除時間
表定運轉 操作情況	$P_{g2}=150\text{ MW}$	$V_{g3}=1.03$ 標么	$V_{g2}=1.04$ 標么	$P_{g3}=100\text{ MW}$	0.341 (seconds)
預防控制 策略	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	-	-	-	0.355
	-	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	-	-	0.353
	-	-	$V_{g3}=1.02$ (輸入神經元 3)	-	0.354
	-	-	-	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.357
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	-	-	0.367
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	-	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	-	0.361
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	-	-	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.372
	-	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	-	0.354
	-	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	-	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.374
	-	-	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.351
	-	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.357
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	-	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.380
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	-	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.385
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	-	0.381
	$P_{g2}=145$ (輸入神經元 6)	$V_{g3}=1.05$ (輸入神經元 7)	$V_{g2}=1.02$ (輸入神經元 3)	$P_{g3}=95$ (輸入神經元 12)	0.381

-：表示沒有變動 (亦即該參數設定值，一如表定運轉操作情況)

六、二重奏

「過盡千帆皆不是。」 - 溫庭筠



表3將英雄與痞子的電力系統暫態穩定度預防控制擺放在一塊，一較高下。很明顯地，英雄和痞子的控制變數竟都是相同的，分別是 P_{g2} ， V_{g3} ， V_{g2} 和 P_{g3} 。而且，這四個控制變數出現的先後次序，也都是一模一樣！這表示，英雄和痞子兩者，經過綿密的計算，都能找到進行電力

系統暫態穩定度預防控制的關鍵變數。

英雄所能得到的預防控制策略，如表3左側所列。他不僅能知道有哪些變數，而且還知道這些變數控制量的多寡。但是英雄所提出的這些預防控制策略，一定要運用邏輯運算元且(AND)，加以連結。這表示這些預防控制，都要同時成立才可延長臨界清除時間。此外，由於英雄所打造的決策樹呈現階級層次，也必須要一階一階地，一步一步地依序

完成，才得以實現整體的預防控制策略。誠如圖8所示，若要得到較長的臨界清除時間，首先要完成第一個控制項目(減低發電機2的發電量，減低至小於145MW)，接著要完成第二個控制項目(提高發電機3的端電壓，提高到大於1.03標么)，依此往下續推。如果第一個控制項目沒有完成的話，那麼後續的預防控制也就跟著無效，英雄就必須另謀出路，從決策樹裡，另外找出預防控制策略。

痞子所找到的預防控制策略，也會告訴

我們有哪些控制變數必須加以調整，以及如何去調變這些控制項目。痞子用邏輯運算元或(OR)來進行預防控制的連結，所以，只要我們能夠完成其中的一項預防控制項目，就可以延長電力系統的臨界清除時間。換句話說，痞子所提供的預防控制策略，具有很好的使用彈性靈活度。但可惜的是，痞子只告訴我們這些變數該要變大還是變小，卻沒有告訴我們這些變數控制的數量，應該要為多少。這一點，確實是痞子的一大罩門。

表 3

 英雄的預防控制策略	 痞子的預防控制策略
如果 P_{g2} 小於 145.40 MW 且 V_{g3} 大於 1.03 標么 且 V_{g2} 大於 0.99標么 且 P_{g3} 小於 97.65 MW 則 臨界清除時間是 0.42 秒	如果 輸入神經元 6 (P_{g2} 較小) 或 輸入神經元 7 (V_{g3} 較大) 或 輸入神經元 3 (V_{g2} 較小) 或 輸入神經元 12 (P_{g3} 較小) 則 較長的臨界清除時間

七、詠嘆調

「對酒當歌，強樂還無味。」- 柳永

我們若更進一步探究，英雄找到的第三個控制項目是要求發電機2的端電壓，必須大於0.99標么。但是痞子的第三個控制項目，卻是要求發電機2的端電壓要變小。英雄要求要變大，且大於0.99標么，但痞子要求要變小，這似乎互相抵觸，是個兩難的僵局。

但是，我們再耐著性子繼續往下看，雖然痞子要求發電機2的端電壓要變小，但這其

實不違背英雄要求。這是因為在「表定運轉操作情況」裡，發電機2的端電壓是為1.04標么。而英雄是要求發電機2端電壓要大於0.99標么，和表定操作情況比較起來，確實是符合痞子所要求的，發電機2端電壓要變小。

英雄認為，發電機2的端電壓必須要大於0.99標么。如果痞子一意孤行，採取第三個控制項目，執意地減低發電機2的端電壓，而不顧英雄的控制項目所發出的警訊。則此時，

電力系統的臨界清除時間就會，如表4所列，的結果說明，英雄和痞子之間的互補長短。反而從原本的0.341秒，縮短為0.321秒。表4

表 4

	電力系統 預防控制項目				臨界清除時間
表定運轉 操作情況	$P_{g2}=150\text{ MW}$	$V_{g3}=1.03\text{ 標么}$	$V_{g2}=1.04\text{ 標么}$	$P_{g3}=100\text{ MW}$	0.341 (seconds)
預防控制策略	-	-	$V_{g2}=0.98\text{ (輸入神經元 3)}$	-	0.321

-：表示沒有變動 (亦即該參數設定值，一如表定運轉操作情況)

在使用痞子萃取電力系統暫態穩定度預防控制時，總會因為諸多參數例如隱藏層層數、神經元數目、局部最小值等參數設定的問題。參數對整體表現過於敏感，一直是痞子永遠的傷痛。但使用英雄來推演預防控制，就無懼參數設定敏感度。

但若採用英雄的預防控制，則因其邏輯運算元是以及(AND)來進行聯結，多所限制，處處掣肘，故在使用上，多所限制。然而，若改用痞子所得到的預防控制，卻是可以使用或(OR)邏輯運算元來進行控制的聯結，亦即享有較大的彈性與較高的自由度。

在這篇文摘裡，我們發現，由英雄，和痞子所得的預防控制，是很呈現互補的現象。倘若我們能將英雄和痞子兩者加以混搭、結合，互相截長補短，未來在電力系統相關問題，或是其他領域的應用上，可開發出他們團結的潛能。

八、尾聲

「人有悲歡離合，月有陰晴圓缺。」 - 蘇軾

在本文裡，我們以一個六個匯流排、三部發電機的電力系統，比較了英雄和痞子分別設計出來的電力系統暫態穩定度預防控制策略。經過大量的電腦計算機程式模擬運

算，我們發現，英雄和痞子都能尋覓出關鍵的控制變數。英雄提供了控制變數與控制數量，但他的預防控制策略受邏輯運算元且(AND)的限制，同時也必須要滿足逐步層次階級，才能實現臨界清除時間的延長。痞子也提供了控制變數，也能告訴我們這個變數該變大或變小，但卻沒能實質的數量資訊可供調度。惟其邏輯運算元是使用或(OR)來連結預防控制項目，具有很好的協調、彈性靈活運用的能力。

雖不相等，亦非相左。痞子英雄，所見略同。

參考文獻

- [1] E. S. Karapidakis and N. D. Hatziaargyrious, “Online preventive dynamic security of isolated power systems using decision trees,” IEEE Trans. on Power Systems, vol. 17, pp. 297-304, 2002.
- [2] J.P. Paul and K.R.W. Bell, “A flexible and comprehensive approach to the assessment of large-scale power system security under uncertainty,” International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 26, pp. 265-272, 2004.
- [3] R.S. Diao, V. Vittal, and N. Logic, “Design

- of a real-time security assessment tool for situational awareness enhancement in modern power systems,” *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 25, pp. 957-965, 2010.
- [4] I. Genc I., R. S. Diao, and V. Vittal, S. Kolluri, S. Mandal, “Decision tree-based preventive and corrective control applications for dynamic security enhancement in power systems,” *IEEE Trans. On Power Systems*, vol. 25, pp. 1611-1619, 2010.
- [5] L. Wehenkel, “Machine-learning approaches to power-system security assessment,” *IEEE Expert* pp. 60-72, 1997.
- [6] M. Pavella, “Power system transient stability assessment-traditional vs. modern methods” , *Control Engineering Practice*, vol. 6, pp. 1233-1246, 1998.
- [7] C. Olaru and L. Wehenkel, “Data mining,” *IEEE Computer Application in Power*, vol. 12, pp. 19-25, 1999. 07
- [8] K. R. Niazi, C. M. Arora, and S. L. Surana, “A hybrid approach for security evaluation and preventive control of power systems,” *IEEE Power Energy Society (PES) General Meeting*, pp. 1061-1067, 2004.
- [9] M. K. Maharana and K. S. Swarup, “Graph theoretic approach for preventive control of power systems,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 32, pp. 254-261, 2010.
- [10] R. Andrews, J. Diederich, and A. B. Tickle, “Survey and critique of techniques for extracting rules from trained artificial neural networks,” *Knowledge-Based System*, vol. 8, pp. 373-389, 1995.
- [11] M. L. Vaughn, E. Ong, and S. J. Cavill, “Interpretation and knowledge discovery from a multilayer perceptron network that performs while life sssurance risk assessment,” *Neural Computing & Applications*, vol. 6, pp. 203-213, 1997.
- [12] S. Mitra and Y. Hayashi, “Neuro-fuzzy rule generation: Survey in soft computing framework,” *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 11, pp. 748-768, 2000.
- [13] W. Duch, R. Setiono, and J. M. Zurada, “Computational intelligence methods for rule-based data understanding,” *Proceeding of IEEE*, vol. 92, pp. 771-805, 2004.
- [14] E. Kolman and M. Margaliot, “Are artificial neural networks white boxes?” *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 16, pp. 844-852, 2005.
- [15] Y.-J. Lin, “Explaining critical clearing time with the rules extracted from a multilayer perceptron artificial neural network,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, pp. 873-878, 2010.
- [16] Y.-J. Lin, “Preventive of transient instability employing rules based on back propagation based ANN for series compensation,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33, pp. 1776-1783, 2011.
- [17] J.S. R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice

Hall, 1997.

- [18] H. Saadat, Power System Analysis,
McGraw Hill, 2010.



RF射頻能量對DC磁控濺鍍氧化銮錫透明導電薄膜性質之影響

洪博彥¹、王維正^{2,3}、洪崇榮³、陳思瑋³

義守大學材料科學與工程學系副教授¹
全台電子科技有限公司製程工程師²
義守大學材料科學與工程學系研究生³

摘要

商業用的雙射頻及直流電源濺鍍機成功地於室溫下沉積透明氧化銮錫薄膜於PET塑膠基材上。本實驗探討變化RF射頻的能量及氧氣流量如何影響氧化銮錫薄膜的顯微結構、表面型態及光電性質之影響。由實驗結果得知，當RF射頻的能量愈大時，氧化銮錫薄膜具有較緻密及較大顆粒的顯微組織。同時氧化銮錫薄膜的導電機制可以依其呈現的顯微結構使用晶界散射原理加以解釋。當RF射頻的能量從0增加到100%時，氧化銮錫薄膜的電阻率從 1.8×10^{-3} 降低到 $4.9 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 。這是由於在增加RF射頻的能量時，落在基材上的離子能量亦增加，因此促進了原子的擴散能力，而這也提升了薄膜的自由電子濃度至 $4.8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、載子遷移率增加至 $26.7 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。



洪博彥 副教授

前言

氧化銮錫薄膜是一種爲人所知的重要光電材料，廣泛應用在不同領域的光電產業，例如：液晶顯示器、太陽能電池、智慧型玻璃及偵測器等。最近觸控螢幕產業需求的發展，帶動了對氧化銮錫薄膜沉積在塑膠

基材上的殷切需求，然而也面臨技術上的突破，這都對塑膠基材上沉積透明導電的性質是一項重大的挑戰[1-4]。與玻璃基材相比，塑膠基材提供了重量輕、耐用性佳、尺寸大且較薄、視角廣等優點[5]。配合在製程上發展出的捲對捲生產技術，是未來大量生產降低成本的一大利基。塑膠基材因溶點低，在沉積透明導電薄膜時的沉積溫度不能高於200°C[6]，這使得透明導電薄膜性能無法提升，因此不同的鍍膜技術被開發出來以提升透明導電薄膜的低溫性質，此技術有脈衝鍍膜技術、RF+DC雙重鍍膜技術等，其中RF+DC雙重鍍膜技術結合了RF和DC鍍膜優點是未來大量生產最被看好的鍍膜技術[7、8]。傳統DC鍍膜技術提供了高功率及高鍍膜速率，而RF鍍膜技術提供了低電壓低鍍膜速率、薄膜表面平整等特性，因此結合此兩種鍍膜技術優點，藉由控制RF的功率，將使薄膜的表面性質更優異、成膜速率快等特性。此論文內容論述有關以商業用的RF+DC雙重鍍膜技術製造透明氧化銦錫薄膜於PET塑膠基材上，探討藉由控制RF的功率及氧氣流量來達到最佳鍍膜條件。

實驗步驟

本實驗使用商業用的雙重射頻及直流電源濺鍍機將透明氧化銦錫薄膜沉積於PET塑膠基材上，靶材使用10wt%的氧化錫和90wt%的氧化銦的氧化物陶瓷，純度99.99%。塑膠基材是放在大型的載台上並以夾子夾緊以防止鍍膜時脫落，濺鍍機腔體內的加溫裝置關閉，以控制鍍膜時的溫度維持在 25 ± 2 °C左右，鍍膜前先將腔體抽真空至 10^{-6} torr，然後通入氬氣作為鍍膜媒介，爾後則維持鍍膜

的壓力在 10^{-6} torr左右，鍍膜總功率設定在1.5kw，其中RF的功率從0變化至100%，通入的氧氣流量維持在0~5 sccm，鍍膜時間是20分鐘，鍍完後的薄膜結構性質使用Panalytical, X'pert Pro的x射線繞射儀分析，表面型態使用Philips, XL-40FEG電子顯微鏡觀察，薄膜電性量測使用4點探針法，透光率使用UV/double-beam量測。

結果與討論

薄膜鍍完後先做結構分析，發現除了薄膜在100%的RF功率下所沉積的試片具有微量的結晶構造外，其餘所有的薄膜試片結構皆為非晶質，而在100%RF功率下所沉積的試片具有微量的結晶構造，這是與RF的撞擊能量有關，在高功率下的RF提供了強大的離子衝擊能量並撞擊薄膜表面，促進了原子排列能力，造成原子具有充分能量，有序的結晶成長。在鍍膜時，RF與DC模式的變換，關係到各別的沉積型態，也會造成不同結構組織，這也是此技術特別之處可依不同比例的RF與DC比例的操作模式來達到最終目的顯微組織。圖1是透明氧化銦錫薄膜於PET塑膠基材上在不同的RF功率下所呈現的試片FESEM顯微組織圖，由圖可以觀察到當RF的功率曾加時薄膜的顆粒尺寸增加，同時薄膜的緻密度亦增加，M. Bender et al. [6]研究發現隨著RF的能量增加，撞擊在基材表面薄膜的動能亦跟著增加，這有利於原子的擴散行為，增加了原子傳輸能力，薄膜顆粒可以充分成長，所以可以得到較大尺寸的顆粒。另外RF的功率亦會影響到薄的表面型態，隨著RF功率的增加，撞擊在基材表面薄膜的衝擊力亦增加，這會使基材薄膜表面平整度降低，這可

從原子顯微鏡量測的資料可知，當RF功率的 nm 增加到 9.3 nm。從0提升至100%後，薄膜表面平整度也從1.5

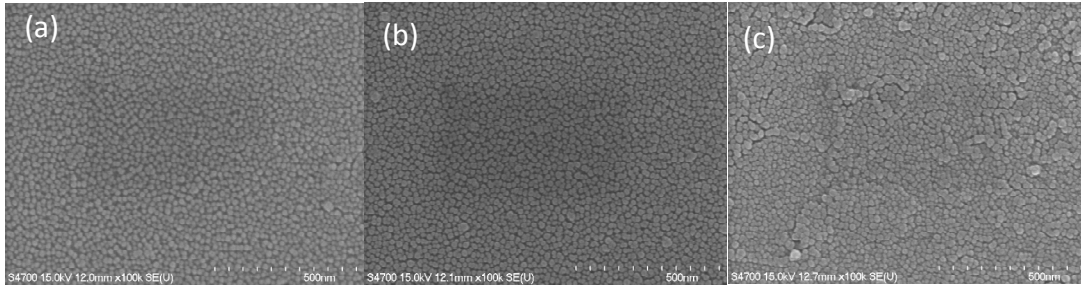


圖 1. 透明氧化銦錫薄膜沉積於PET塑膠基材上的FESEM顯微結構圖分別在RF功率是 (a) 0, (b) 50 and (c) 100%。

透明氧化銦錫薄膜沉積於PET塑膠基材上的電阻率、載子遷移率及載子濃度與RF功率的關係可以由圖2得知，當RF的功率從從0增加至100%後，透明氧化銦錫薄膜的電阻率從 1.8×10^{-3} 降低至 $4.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ ，這是因為當RF的功率增加時，提高了離子撞擊薄膜表面的動能，促進原子擴散能力，使錫原子具有充分的能量可以擴散至銦離子的晶格位置，並取代銦離子的晶格位置，增加了薄膜自由電子的濃度，進而降低氧化銦錫薄膜的電阻率。同時因為在高的RF的功率下，氧化銦錫薄膜的結晶程度增加，更多的摻雜的錫原子能夠取代銦原子，殘留在晶界的錫原子數目因而減少，這會使載子的傳輸速率降低的路徑障礙也因而減少，使得載子遷移率從 20.1 增加到 $26.7 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 。

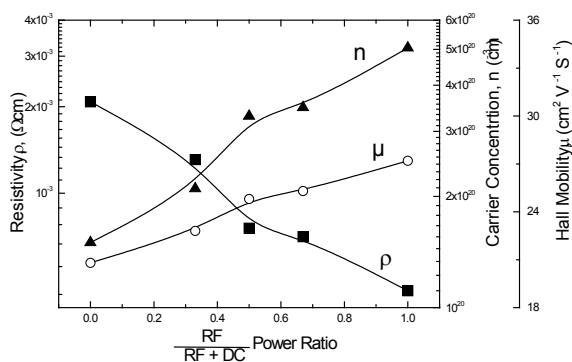


圖2 氧化銦錫薄膜的電阻率、載子遷移率及載子濃度與RF功率的關係圖

除此之外因更多的摻雜的錫原子能夠取代銦原子，造成更多的自由電子產生，這從圖可以看出隨著RF的功率增加，自由電子的濃度亦跟著增加。我們可以從公式(1)得知薄膜的導電率與薄膜的自由電子濃度和載子遷移率有關。

$$\sigma = 1/\rho = nq\mu \quad (1)$$

其中 σ 是薄膜導電率， ρ 是電阻率， n 是自由電子濃度， μ 是載子遷移率， q 是電荷量。一般對氧化銦錫薄膜而言，顆粒晶界散射機制是可以用來解釋氧化銦錫薄膜的導電原理，這是因薄膜的顆粒尺寸限制了自由電子的傳輸速率，這項假設可以讓我們從薄膜的顯微組織與薄膜的導電率得到一項重大的關係，這關係式可以用公式(2)表示[9]

$$\mu g = (Dq)/(2\pi m_e^* kT) - 1/2 \exp(-\Phi_b/kT) \quad (2)$$

其中 D 是顆粒尺寸大小， m_e^* 是電子有效質量， Φ_b 是晶界能障， k 是波茲曼常數， T 是絕對溫度。若晶界散射是主要薄膜電性的導電機制，則薄膜的片電阻 R_s 可以用下式表之

$$R_s = \rho/t = 1/(nq\mu g) = 1/BD \quad (3)$$

$$B = (tnq^2)/(2\pi m_e^* kT) - 1/2 \exp(-\Phi_b/kT) \quad (4)$$

其中 t 是薄膜厚度，圖3是薄膜的片電阻與薄膜的顆粒尺寸大小成反比的關係圖。將適當的材料常數質代入式中($me^* = 0.3me$, $n = 4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $t = 100 \text{ nm}$, $\Phi b = 0.1 \text{ eV}$ and $T = 300 \text{ K}$)，我們可以得代表公式(3)之理論曲線(如圖3)。同時將上述的材料數質代入公式中我們得到薄膜自由電子的遷移率為 $16 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，這數值與我們從點探針所量測的數值很接近，這代表以晶界散射做為主要氧化銮錫薄膜電性的導電機制是一項合理的假設。

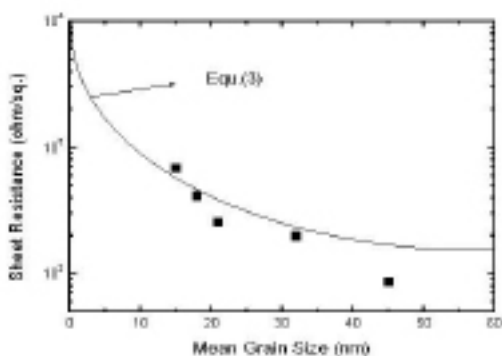


圖3. 氧化銮錫薄膜的片電阻與顆粒尺寸的關係圖

透明氧化銮錫薄膜沉積於PET塑膠基材上的電阻率、載子遷移率及載子濃度與 O_2 流量的關係可以由圖4得知，雖然所有的試片都是在室溫下完成，但是我們可以發現 O_2 流量對透明氧化銮錫薄膜的電性有重大的影響。Buchanan et. al. [9] 發現氧空缺的數量會影響到薄膜的導電率，而薄膜顆粒尺寸的大小關係到載子遷移率，因此我們可以知道當濺鍍時通入的 O_2 流量較少時，薄膜氧空缺的數量較多，所以自由電子的數目多，但當通入的 O_2 流量較多時，薄膜氧空缺的數量也會減少，薄膜的氧化銮錫較接近其標準化學當量，這也使得薄膜的結構性較佳，載子遷移率也會增加，因此綜合上述論點，通入的 O_2 流量有一反折點，由圖4得知此反折點是落在 2 sccm O_2 流量的位置上，在此我們可以得到

最佳的氧化銮錫薄膜電阻率為 $7.1 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以及載子遷移率 $24.1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 和載子濃度 $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。

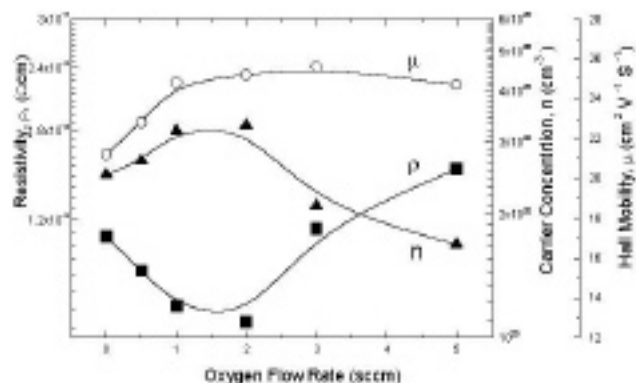


圖4. 氧化銮錫薄膜的電阻率、載子遷移率及載子濃度與 O_2 流量的關係圖

總結

本實驗使用商業用的雙重射頻及直流電源濺鍍機成功地於室溫下沉積透明氧化銮錫薄膜於PET塑膠基材上，得到薄膜的電阻率為 $4.9 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 。由顯微結構分析得知，吾人可以用晶界散射機制來解釋氧化銮錫薄膜的導電原理，藉由控制 O_2 的流量，進一步可以降低氧化銮錫薄膜的電阻率。

文獻參考

- [1] T. Feng, A. K. Ghosh, C. Fishman, "Efficient Electron-Beam Deposited ITO/NSi Solar Cells," *Journal of Applied Physics*, vol. 50, pp. 4972-4974, 1979. 07
- [2] T. Kawashima, T. Ezure, K. Okada, H. Matsui, K. Goto, N. Tanabe, "FTO/ITO double-layered transparent conductive oxide for dye-sensitized solar cells" *Journal of Photochemistry Photobiology. A:*

- Chemistry vol. 164, pp. 199-202, 2004. 10
- [3] T. Minami, "Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes", *Semiconductor Science and Technology* vol. 20, pp. S35-44, 2005. 05
- [4] B. G. Lewis, D. C. Paine, "In-depth Analysis: Key Component Industry Trends of Touch Screen Panel - ITO Film", *MRS Bull.* vol. 25, pp. 22-26, 2000. 12
- [5] C. N. de Carvalho, G. Lavareda, E. Fortunato, A. Amaral, "Properties of ITO films deposited by r.f.-PERTE on unheated polymer substrates—dependence on oxygen partial pressure", *Thin Solid Film* vol. 427, pp. 215-218, 2003. 01
- [6] M. Bender, L. Trube, J. Stollenwerk, "Characterization of a RF/dc-magnetron discharge for the sputter deposition of transparent and highly conductive ITO films", *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, vol. 69, pp. 397-401, 1999. 10
- [7] M. Stowell, J. Muller, M. Ruske, M. Lutz, T. Lins, "RF-superimposed DC and pulsed DC sputtering for deposition of transparent conductive oxides", *Thin Solid Film*, vol. 515, pp. 7654-7657, 2007. 07
- [8] A. K. Kulkarni, K. H. Schulz, T. S. Lim, M. Khan, "Dependence of the sheet resistance of indium-tin-oxide thin films on grain size and grain orientation determined from X-ray diffraction techniques", *Thin Solid Films*, vol. 345, pp. 273-278, 1999. 05
- [9] M. Buchanan, J. B. Webb, D. F. Williams, "Williams: Preparation of conducting and transparent thin films of tin-doped indium oxide by magnetron sputtering", *Applied Physics Letters*, vol. 37, pp. 213-215, 1980. 07



平方剩餘碼代數解碼

李崇道¹ 張耀祖²

義守大學通訊工程學系副教授¹
義守大學應用數學系教授²

摘要

——元平方剩餘碼是二元碼中一個非常
——好的碼，有很好的距離性質，也是一個極為難解的碼。這幾年，從未被解過、參數為(71, 36, 11), (79, 40, 15), (89, 45, 17), (97, 49, 15), (103, 52, 19) and (113, 57, 15)六個平方剩餘碼的解碼方法被義守大學編碼團隊所提出。本文將提供兩種平方剩餘碼的解碼方法，第一個方法是先使用症狀矩陣獲得未知症狀子之正確值，再使用無除式柏立根-梅西演算法，第二個方法則是用拉格朗日插值法獲得未知症狀子之正確值後，再使用無除式柏立根-梅西演算法。

關鍵字: 錯誤位標多項式，無除式柏立根-梅西演算法，拉格朗日插值法，平方剩餘碼，未知症狀子。

壹、導論

西元 1958年，Prange [1] 提出平方剩餘碼的編碼方式，該碼為循環碼的一類。平方剩餘碼有碼率不小於二分之一和較大的最小距離的特性，所以在已經知道最小距離的二

元平方剩餘碼中有許多碼都是最大的最小距離。碼長小於或等於113的二元平方剩餘碼有13個，長度為7, 17, 23, 31, 41, 47, 71, 73, 79, 89, 97, 103 和 113，其中參數(7, 4, 3)和(23, 12, 7)的平方剩餘碼分別是著名的漢明碼[2]和葛雷碼[3, 4]，人們很早就知道如何解碼；而參數為(17, 9, 5)、(31, 16, 7)、(41, 21, 9)、(47, 24, 11)和(73, 37, 13)的二元平方剩餘碼已經都被美國南加州大學里德教授及其學生們由救出解碼方法，請見參考文獻[5-8]，其他參數為(71, 36, 11)、(79, 40, 15)、(89, 45, 17)、(97, 49, 15), (103, 52, 19)和(113, 57, 15)的二元平方剩餘碼解碼方法最近已經被義守大學編碼團隊成員研究出來，請見參考文獻[9-11]。

之前，二元平方剩餘碼最常見的解碼作法是使用Sylvester結式法與 Gröbner 基底法去求得錯誤位標多項式係數。這些方法可以從具有高次、非線性且為多變數的牛頓等式組中解出錯誤位標多項式的係數。對於碼長不大的碼是可行的，但是當碼長增大時，就很難用這些方法來求錯誤位標多項式的係數。此外，不同的平方剩餘碼也使用不同的條件組來解碼，這些現象都將造成硬體實現上的

困難。

後來，義守大學編碼團隊提出一個新的解碼方法[9]，這個新解碼法的特點是使用高效率的無除式柏立根-梅西演算法來求得錯誤位標多項式，新方法比以前的方法更易於軟體實現，而且不同的二元平方剩餘碼都是用相同的解碼架構。該解碼過程有四個主要步驟：第一步驟是計算已知症狀子，第二步驟是針對某錯誤數量計算未知症狀子，第三步驟是使用無除式柏立根-梅西演算法求錯誤位標多項式，第四步驟是使用錢氏搜尋法求錯誤位置。

然而，當使上述解碼法糾正有 v 個錯的錯誤圖樣時，第二與第三步驟必須執行 v 個回合，而每個回合中要用不同的公式計算未知症狀子。為簡化解碼流程，我們發展出，針對由不可分解多項式生成平方剩餘碼，可以透過拉格朗日插值法決定出統一未知症狀子表示式，利用這個統一表示式讓解碼過程的四個步驟只需各執行一次即可。

上述兩種解碼方法已經撰寫C++程式語言並透過電腦模擬驗證，成功地解出平方剩餘碼的錯誤。

貳、使用無除式柏立根-梅西演算法來解碼

參數 n 為形式 $n = 8l \pm 1$ 的質數，其中 l 是正整數，而 Q_n 則是所有的模 n 平方剩餘數所成的集合，如下：

$$Q_n = \{i \mid i \equiv j^2 \pmod{n} \text{ for } 1 \leq j \leq n-1\} \quad (1)$$

令數字 m 為使得 n 能整除 $2^m - 1$ 的最小正整數，同時，令 α 是有限體 $GF(2^m)$ 的本

原元素，也就是說，有限體 $GF(2^m)$ 每個非零元素可以表示成 α 的某個次方。因此，如果元素 $\beta = \alpha^u$ ，其中 $u = (2^m - 1)/n$ ，則 $\beta, \beta^2, \dots, \beta^n$ 為有限體 $GF(2^m)$ 中 $x^n - 1$ 的所有根。參數為 (n, k, d) 的平方剩餘碼 C 是一個循環碼，其生成多項式為：

$$g(x) = \prod_{i \in Q_n} (x - \beta^i) \quad (2)$$

C 中的碼字是所有的二元向量 $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$

，其相應的多項式 $c(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$

乃是生成多項式 $g(x)$ 的倍式； $c(x)$ 也可稱為碼字，或是碼多項式。如果傳送方將碼字 c 在一個有干擾的通道中傳輸，而且若接收方收到向量 $r = (r_0, r_1, \dots, r_{n-1})$ ，則稱相應的多項式為接收多項式 $r(x) = r_0 + r_1x + \dots + r_{n-1}x^{n-1}$ ，接收多項式可以表為碼多項式 $c(x)$ 與錯誤多項式 $e(x) = e_0 + e_1x + \dots + e_{n-1}x^{n-1}$ 的和。當平方剩餘碼的最小距離為 d ，一個錯誤多項式 $e(x)$ 被定義為可更正的，如果 $e(x)$ 的非零項的項數不超過錯誤更正能力 $t = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$ ，符號

$\lfloor a \rfloor$ 表示不大於數字 a 的最大整數。已知症狀子可以由接收多項式 $r(x)$ 計算得知，只要將 x 代入生成多項式的根即可，表示式如下

$$\begin{aligned} S_i &= r(\beta^i) \\ &= c(\beta^i) + e(\beta^i) = e(\beta^i) = e_0 + e_1(\beta^i) + \dots + e_{n-1}(\beta^i)^{n-1}, \quad i \in Q_n. \end{aligned} \quad (3)$$

數據傳輸時，如果一個接收資料中發生了 v 個錯誤，則錯誤多項式 $e(x)$ 有 v 個非零項，可以寫為 $e(x) = x^{r_1} + x^{r_2} + x^{r_3} + \dots + x^{r_v}$ ，其中 $0 \leq r_1 < r_2 < \dots < r_v \leq n-1$ 。若 $i \in Q_n$ ，則

症狀子 S_i 可以被表示為 $S_i = Z_1^i + Z_2^i + \cdots + Z_v^i$ ，其中 $Z_1 = \beta^{r_1}, \dots, Z_v = \beta^{r_v}$ 被稱為錯誤位標。

二元平方剩餘碼的症狀子之間有一些簡單的關係存在，如 $S_2 = S_1^2$ ， $S_4 = S_2^2 = S_1^4, \dots$ 。由這些關係可以得到許多症狀子等式(例如當 $n=23$ 時，有 $S_3 = S_1^{2^8}$)，因此可以清楚地知道當 $n=23$ 時，症狀子 S_2, S_3, S_4 ，和 S_6 可以

分別被表示成症狀子 S_1 的 $2^1, 2^8, 2^2, 2^9$ 次方，類似的做法也可應用在碼長 n 是 71, 79, 97, 和 103 的情形。尤其是，當生成多項式為不可分解多項式時，每個已知症狀子都可以表示為症狀子 S_1 的某個次方，表格一列出了五個二元平方剩餘碼在等式 $S_{t_i} = S_1^{2^i}$ 中下標 “ t_i ” 的值，最左行的數字表示碼長，第一列的數字表示 i 的值。

表格一. 等式 $S_{t_i} = S_1^{2^i}$ 中標號 “ t_i ” 的值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
23	2	4	8	16	9	18	13	3	6	12							
71	2	4	8	16	32	64	57	43	15	30	60	49	27	54	37	3	6
79	2	4	8	16	32	64	49	19	38	76	73	67	55	31	62	45	11
97	2	4	8	16	32	64	31	62	27	54	11	22	44	88	79	61	25
103	2	4	8	16	32	64	25	50	100	97	91	79	55	7	14	28	56

n	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
71	12	24	48	25	50	29	58	45	19	38	5	10	20	40	9	18	36
79	22	44	9	18	36	72	65	51	23	46	13	26	52	25	50	21	42
97	50	3	6	12	24	48	96	95	93	89	81	65	33	66	35	70	43
103	9	18	36	72	41	82	61	19	38	76	49	98	93	83	63	23	46

n	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
79	5	10	20	40												
97	86	75	53	9	18	36	72	47	94	91	85	73	49			
103	92	81	59	15	30	60	17	34	68	33	66	29	58	13	26	52

假設 v 個錯誤發生，稱下列的 v 次多項式 $\sigma(z)$ 為錯誤位標多項式：

$$\sigma(z) = \prod_{j=1}^v (1 + Z_j z). \quad (4)$$

將上式右邊展開，得到：

$$\sigma(z) = 1 + \sum_{j=1}^v \sigma_j z^j, \quad (5)$$

其中係數分別為： $\sigma_1 = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_v$ ， $\sigma_2 = Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + \cdots + Z_{v-1} Z_v$ ， $\dots$ ，和 $\sigma_v = Z_1 Z_2 \cdots Z_v$ 。解平方剩餘碼的一種作法就是先求出錯誤位置多項式 $\sigma(z)$ ，然後，再應

用錢氏搜尋法找出錯誤位標多項式的根，就可得到錯誤所發生的位置。目前，人們認為無除式柏立根-梅西演算法是一個最有效率、可用來求出錯誤位標多項式的方法。然而，要使用此演算法來解平方剩餘碼，必須用到 $2t$ 個連續的已知症狀子的值 $S_1, S_2, \dots, S_{2t}$ ，也就是說，要解參數(23, 12, 7)的二元平方剩餘碼，需要六個已知症狀子之值，然而其中只有五個症狀子 S_1, S_2, S_3, S_4 ，和 S_6 可以從接收多項式 $r(x)$ 中獲得，因此是已知症狀子，症狀子 $S_5 = Z_1^5 + Z_2^5 + \cdots + Z_v^5$ 的值無法由接收多項

式 $r(x)$ 中獲得，因此 S_5 為未知症狀子。在參考文獻 [7] 中提到一種作法，可以將未知症狀子表示為某些已知症狀子的函數，下面將介紹其作法。

假設在接收向量中有 v 個錯誤，令 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_{v+1}\}$ 和 $J = \{j_1, j_2, \dots, j_{v+1}\}$ 為集合 $\{0, 1, \dots, n-1\}$ 的兩個子集合，定義矩陣 $X(I)$ 和 $X(J)$ ，如下：

$$X(I) = \begin{bmatrix} Z_1^{i_1} & Z_2^{i_1} & \dots & Z_v^{i_1} \\ Z_1^{i_2} & Z_2^{i_2} & \dots & Z_v^{i_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_1^{i_v} & Z_2^{i_v} & \dots & Z_v^{i_v} \\ Z_1^{i_{v+1}} & Z_2^{i_{v+1}} & \dots & Z_v^{i_{v+1}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\text{和 } X(J) = \begin{bmatrix} Z_1^{j_1} & Z_2^{j_1} & \dots & Z_v^{j_1} \\ Z_1^{j_2} & Z_2^{j_2} & \dots & Z_v^{j_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_1^{j_v} & Z_2^{j_v} & \dots & Z_v^{j_v} \\ Z_1^{j_{v+1}} & Z_2^{j_{v+1}} & \dots & Z_v^{j_{v+1}} \end{bmatrix}.$$

然後考慮下面的矩陣

$$S(I, J) = X(I)X(J)^T, \quad (7)$$

其中 $X(J)^T$ 表示矩陣 $X(J)$ 的轉置矩陣。

由上面定義，可得到兩個簡單而重要的結果。

定理一：矩陣 $S(I, J)$ 是一個有如下形式的 $(v+1)$ 階方陣：

$$S(I, J) = \begin{bmatrix} S_{i_1+j_1} & S_{i_1+j_2} & \dots & S_{i_1+j_{v+1}} \\ S_{i_2+j_1} & S_{i_2+j_2} & \dots & S_{i_2+j_{v+1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i_v+j_1} & S_{i_v+j_2} & \dots & S_{i_v+j_{v+1}} \\ S_{i_{v+1}+j_1} & S_{i_{v+1}+j_2} & \dots & S_{i_{v+1}+j_{v+1}} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

其中 S_i 的下標 i 是被 n 除後的餘數。而且矩陣 $S(I, J)$ 的行列式值是等於零，

$$\det(S(I, J)) = 0. \quad (9)$$

矩陣 $S(I, J)$ 的行列式為零的原因是：方陣 $S(I, J)$ 是由兩個大小分別為 $(v+1) \times v$ 和 $v \times (v+1)$ 的矩陣相乘而得，故 $(v+1)$ 階方陣 $S(I, J)$ 的秩不會超過 v ，因此 $\det(S(I, J)) = 0$ 。

如果矩陣 $S(I, J)$ 的陣元中含有未知症狀子，則等式 (9) 給出一個多項式等式，該等式以未知症狀子當變數，已知症狀子當係數。而且，如果矩陣 $S(I, J)$ 內只含有一個未知症狀子 S_r ，則 S_r 可以被表示成某些已知症狀子的函數，因此，未知症狀子 S_r 的值可以由已知症狀子的值來決定，下面定理給出詳細的說明。

定理二：如果矩陣 $S(I, J)$ 的陣元中只有一個未知症狀子 S_r ，則 S_r 可以表為兩個與矩陣 $S(I, J)$ 有關的行列式值相除。如果 S_r 出現在矩陣 $S(I, J)$ 的第 i 行第 j 列的位置，則將 S_r 換為 0，並以符號 Δ_0 表示這個矩陣；如果直接矩陣 $S(I, J)$ 刪除第 i 行與第 j 列，將所得到的 v 階方陣以符號 Δ 表示。則未知症狀子 S_r 的值可以表示為：

$$S_r = \frac{\det(\Delta_0)}{\det(\Delta)}. \quad (10)$$

範例一：考慮 (23, 12, 7) 二元平方剩餘碼：以本原多項式 $p(x) = x^{11} + x^2 + 1$ 當作乘法模生成有限體 $GF(2^{11})$ ，而模 23 平方剩餘集合為 $Q_{23} = \{1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 13, 16, 18\}$ ，若 α 是 $GF(2^{11})$ 的本原元素，則 $\beta = \alpha^{89} \in GF(2^{11})$ ，

且 $\beta, \beta^2, \dots, \beta^{23}$ 為 $x^{23}-1$ 的所有根，此碼的錯誤更正能力為3而所需未知症狀子為 S_5 。

針對不同錯誤數量 v 的值，未知症狀子 $S_5^{(v)}$ 的值可以分別求出，如下：

針對 $v=1$ ，令 $I_1 = \{1, 2\}$ 和 $J_1 = \{0, 3\}$ ，矩陣

$$S(I_1, J_1) = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_4 & S_5^{(1)} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

其中 $S_2 = S_1^2$ 和 $S_4 = S_1^4$ ，由定理二可得 $S_5^{(1)} = S_2 S_4 / S_1 = S_1^5$ 。

針對 $v=2$ ，令 $I_2 = \{1, 2, 5\}$ 和 $J_2 = \{0, 7, 11\}$ ，可得矩陣

$$S(I_2, J_2) = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_5^{(2)} \\ S_8 & S_9 & S_{12} \\ S_{12} & S_{13} & S_{16} \end{bmatrix} \quad (12)$$

而且根據定理二，得到

$$S_5^{(2)} = \frac{\det(\Delta_0)}{\det(\Delta)} = (S_1 S_9 S_{16} + S_2 S_{12} S_{12} + S_1 S_{13} S_{12} + S_2 S_8 S_{16}) / (S_9 S_{12} + S_8 S_{13}) \quad (13)$$

針對 $v=3$ ，令 $I_3 = \{0, 1, 4, 16\}$ 和 $J_3 = \{0, 2, 8, 12\}$ ，矩陣

$$S(I_3, J_3) = \begin{bmatrix} S_0 & S_1 & S_4 & S_{16} \\ S_2 & S_3 & S_6 & S_{18} \\ S_8 & S_9 & S_{12} & S_1 \\ S_{12} & S_{13} & S_{16} & S_5^{(3)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

導出 $S_5^{(3)} = \det(\Delta_0) / \det(\Delta)$ ，其中

$$\det(\Delta_0) = \begin{vmatrix} S_0 & S_1 & S_4 & S_{16} \\ S_2 & S_3 & S_6 & S_{18} \\ S_8 & S_9 & S_{12} & S_1 \\ S_{12} & S_{13} & S_{16} & 0 \end{vmatrix} \text{ and} \quad (15)$$

$$\det(\Delta) = \begin{vmatrix} S_0 & S_1 & S_4 \\ S_2 & S_3 & S_6 \\ S_8 & S_9 & S_{12} \end{vmatrix}.$$

根據上述介紹，我們可以發展出二元平方剩餘碼的解碼演算法，共有七個步驟，如下：

- 1) 計算已知症狀子 $S_i = r(\beta^i)$ 。
- 2) 如果 $S_i = 0$ ，表示沒有錯誤發生，解碼停止。否則，建立初始值 $v=1$ 。
- 3) 計算未知症狀子 $S_r^{(v)}$ 。

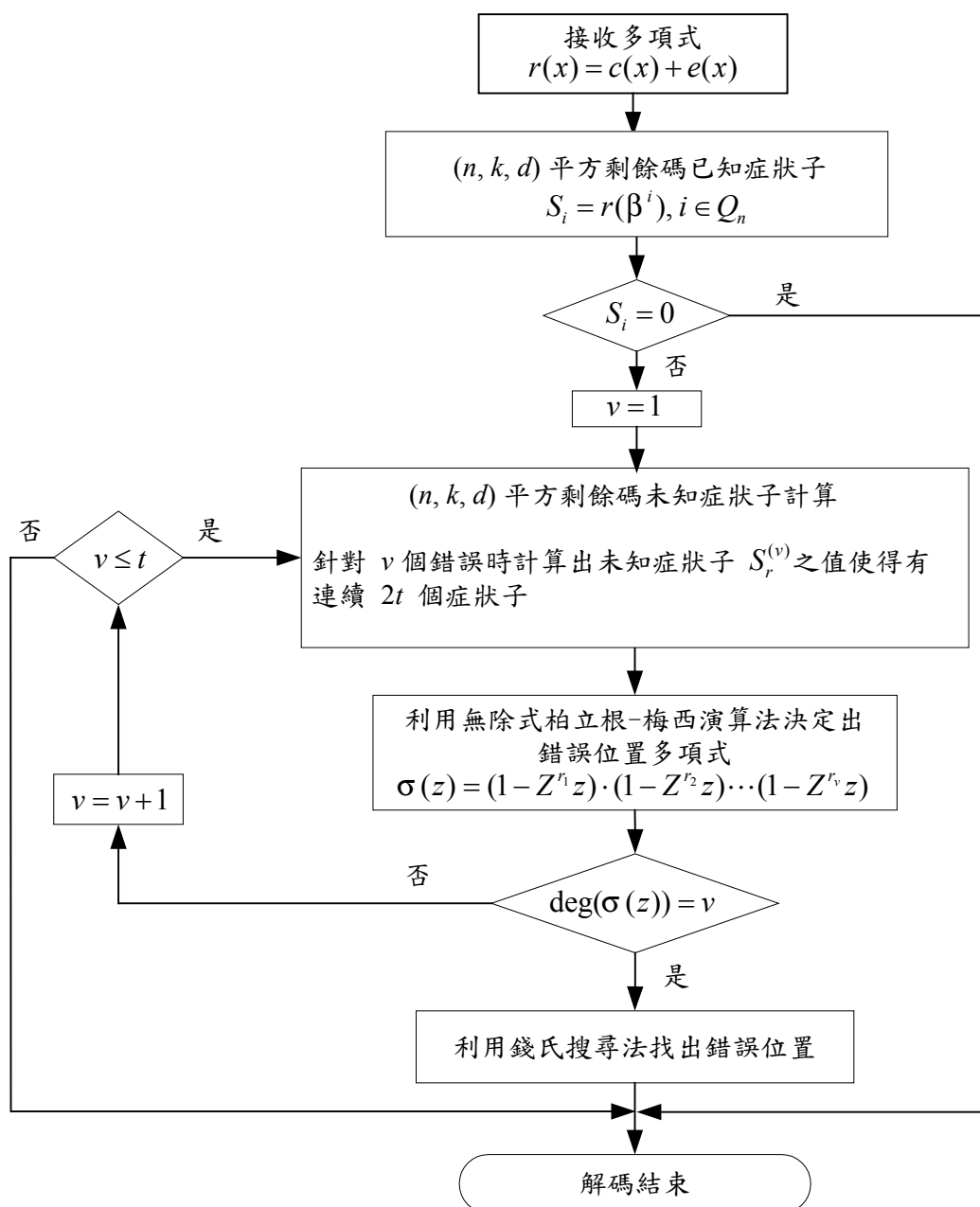
4) 將步驟1)和步驟3)得到的 $2t$ 個連續症狀子代入無除式柏立根-梅西演算法求得在 v 個錯誤情況下的錯誤位置多項式 $\sigma(z)$ 。

5) 如果 $\deg(\sigma(z)) = v$ ，進入步驟 7)。否則，更新 $v = v+1$ 。

6) 如果 $v > t$ ，解碼停止。否則，回到步驟 3)。

7) 使用錢氏搜尋法找出錯誤位置 $l_1, \dots, l_v$ 後以接收向量減去錯誤向量即可得到碼字向量，解碼完成。

上述解碼演算法可用流程圖表示，見圖一。



圖一、平方剩餘碼解碼流程圖

參、使用統一未知症狀子表示法來解碼

當二元平方剩餘碼的生成多項式為不可分解時，我們可以使用下面要介紹的方法。

考慮有限體版本的拉格朗日插值法：

若 $q \geq 0$ ，令 $a_0, a_1, \dots, a_q$ 是有限體 E 中的 $q+1$ 個不同元素，令 $b_0, b_1, \dots, b_q$ 是 $q+1$ 有限體 E 中的任意 $q+1$ 個元素，則存在唯一次數不大

於 q 的多項式 $L(x) \in E[x]$ 使得 $L(a_i) = b_i$ 其中 $i = 0, 1, \dots, q$ 。而多項式 $L(x)$ 可以表為如下形式

$$L(x) = \sum_{i=0}^q \frac{b_i}{h'(a_i)} \frac{h(x)}{x - a_i} \quad (16)$$

其中 $h(x) = \prod_{k=0}^q (x - a_k)$ 和 $h'(x)$ 是 $h(x)$ 的微

分。

拉格朗日插值法可以用來得到一個未知症狀子之統一表示式，此表示式是一個由已知症狀子為變數之多項式函數。

定義 $\Omega = \{\sum_{i=1}^v \beta^{l_i} \mid 0 \leq l_1 < \dots < l_v < n, 1 \leq v \leq t\}$ 是所有可更正的已知症狀子之集合，針對 $a = \beta^{l_1} + \dots + \beta^{l_v} \in \Omega$ ， $v \leq t$ ，定義 $a^{[r]}$ 是和式 a 中各項取 r 次方產生的新的和，也就是 $a^{[r]} = \beta^{r l_1} + \dots + \beta^{r l_v}$ 。值得注意的是如果 $a = S_1$ 是一個可更正錯誤樣式的第一個症狀子，則 $a^{[r]}$ 就是那個可更正錯誤樣式的第 r 個症狀子，因此透過拉格朗日插值法會有一個多項式 $L_r(x)$ 使得 $L_r(a) = a^{[r]}$ ，對所有的 $a \in \Omega$ 。而且如果 r 是最小平方非剩餘的數字，則多項式 $L_r(x)$ 就是所謂的統一未知症狀子表示

式。對於用拉格朗日插值法所求出的多項式 $L_r(x)$ 的描述，我們有一個結果，如下：

定理三：對於 $a = \beta^{l_1} + \dots + \beta^{l_v} \in \Omega$ ， $v \leq t$ ，

令 $a^{[r]} = \beta^{r l_1} + \dots + \beta^{r l_v}$ ，則多項式 $L_r(x)$ 定義如下

$$L_r(x) = \sum_{a \in \Omega} \frac{a^{[r]} H(x)}{H'(a_i) (x - a)} \quad (17)$$

這裡的 $H(x) = \prod_{a \in \Omega} (x - a)$ 有性質

$L_r(a) = a^{[r]}$ 滿足所有 $a \in \Omega$ 的元素並且有特定形式 $L_r(x) = x^r \varphi(x^n)$ 對於 $\varphi(x^n) \in GF(2)[x]$ 。

範例二：考慮 (23, 12, 7) 二元平方剩餘碼，因為此碼最小距離是 $d = 7$ ，所以此碼有錯誤更正能力 $t = 3$ ，從前面定義可知所有可更正的主要已知症狀子集合為

$$\begin{aligned} \Omega &= \{\beta^0, \dots, \beta^{22}\} \cup \{\beta^0 + \beta^1, \dots, \beta^{21} + \beta^{22}\} \cup \{\beta^0 + \beta^1 + \beta^2, \dots, \beta^{20} + \beta^{21} + \beta^{22}\} \\ &= \{a_0, a_1, \dots, a_{2046}\} \end{aligned} \quad (18)$$

集合 Ω 中的元素個數為

$$\binom{23}{1} + \binom{23}{2} + \binom{23}{3} = 23 + 253 + 1771 = 2047 \text{ 個，針對}$$

對所有 $i = 0, \dots, 2046$ ，如果 $a_i = e(\beta) \in \Omega$ 並

考慮 $b_i = e(\beta^3) \in GF(2^{11})$ ，透過拉格朗日插值

法後可以獲得 $L_5(x) = x^{28} + x^{51} + x^{74} + x^{166} + x^{258}$

$+ x^{281} + x^{304} + x^{396} + x^{534} + x^{580} + x^{649} + x^{672} + x^{1155}$

$+ x^{1316} + x^{1408} + x^{1546} + x^{1569}$ ，根據 $x = S_1$ 和

$L_5(x) = S_5$ ，則未知症狀子可表示成 $S_5 = S_1^{28}$

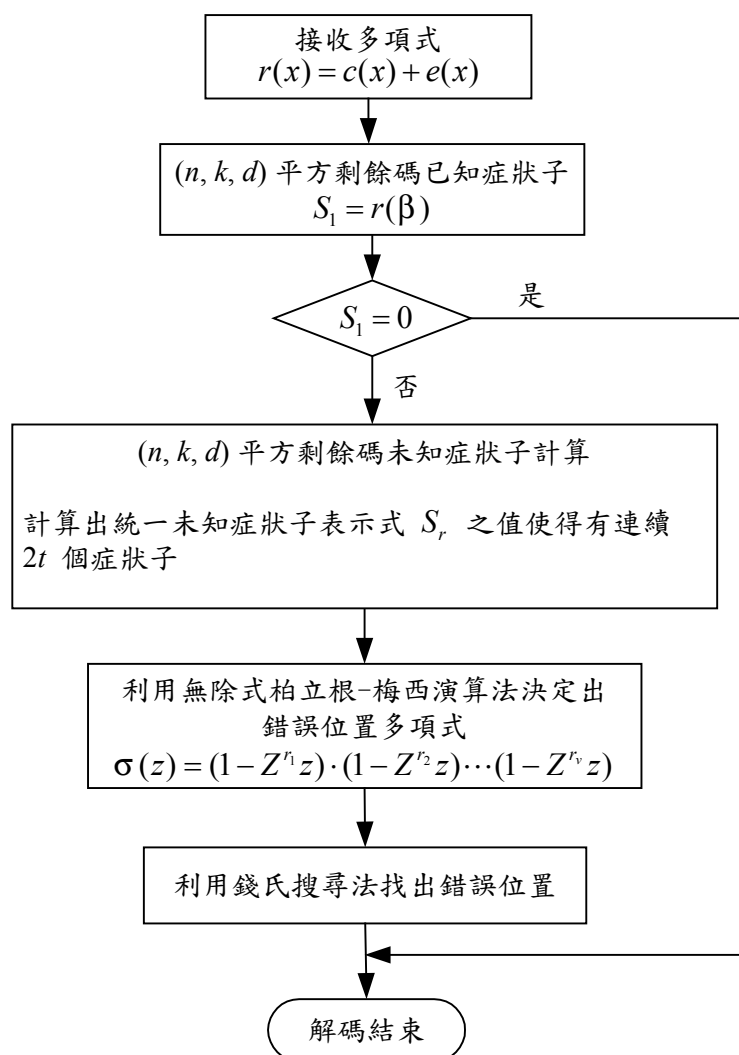
$S_1^{51} + S_1^{74} + S_1^{166} + S_1^{258} + S_1^{281} + S_1^{304} + S_1^{396} + S_1^{534}$

$+ S_1^{580} + S_1^{649} + S_1^{672} + S_1^{1155} + S_1^{1316} + S_1^{1408} + S_1^{1546} + S_1^{1569}$

。

根據上述介紹，我們可以發展出二元平方剩餘碼的第二個解碼演算法，共有五個步驟，如下：

- 1) 計算已知症狀子 $S_1 = r(\beta)$ 。
- 2) 如果 $S_i = 0$ ，代表沒有錯誤發生，解碼停止。否則，進入步驟3)。
- 3) 計算統一未知症狀子表示式 $S_r = L_r(S_1)$ 。
- 4) 將步驟1)和步驟3)得到的 $2t$ 連續症狀子代入無除式柏立根-梅西演算法決定出錯誤位置多項式 $\sigma(z)$ 。
- 5) 使用錢氏搜尋法找出錯誤位置 $l_1, \dots, l_v$ 後將接收向量扣除錯誤向量即可獲得碼字向量，解碼完成。



圖二、第一類平方剩餘碼解碼流程圖

肆、結論

本文提供以未知症狀子計算方法與採用無除式柏立根-梅西演算法來發展二元平方剩餘碼的解碼演算法。到目前為止，碼長不大於113的所有二元平方剩餘碼已經被解碼完成。其中，碼長為71, 79, 89, 97, 103, 113的平方剩餘碼的解碼演算法則是由義守大學編碼團隊最先提出。

誌謝

本項研究的部分內容由國家科學委員會通過計畫編號：NSC99-2115-M-214-002-MY3和 NSC99-2221-E-214-051-MY3所予以補助，

作者們對其所提供的支持表示感謝。

參考資料

- [1] E. Prange, "Some cyclic error-correcting codes with simple decoding algorithms," Air Force Cambridge Research Center-TN-58-156, Cambridge, MA: 1958
- [2] R. W. Hamming, "Error detecting and error correcting codes", Bell System Technical Journal, vol. 29, pp. 147-160, 1950. 04
- [3] M. J. E. Golay, "Notes on digital coding", Proc. IRE, vol. 37, p.67, 1949. 06
- [4] I. S. Reed, X. Yin, T. K. Truong, J. K. Holmes, "Decoding the (24, 12, 8) Golay code", IEE Proceedings, vol. 137, pp. 202-206, 1990. 05
- [5] I. S. Reed, X. Yin, T. K. Truong, "Algebraic decoding of the (32, 16, 8) quadratic residue code", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 36, pp. 876-880, 1990. 07
- [6] I. S. Reed, T. K. Truong, X. Chen, X. Yin, "The algebraic decoding of the (41, 21, 9) quadratic residue code", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 38, pp. 974-985, 1992. 05
- [7] R. He, I. S. Reed, T. K. Truong, X. Chen, "Decoding the (47, 24, 11) quadratic residue code", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 47, pp. 1181-1186, 2001. 03
- [8] X. Chen, I. S. Reed, T. K. Truong, "Decoding the (73, 37, 13) quadratic residue code", IEE Proceedings, vol. 141, pp. 253-258, 1994. 09

-
- [9] Y. Chang, T. K. Truong, I. S. Reed, H. Y. Cheng, C. D. Lee, “Algebraic decoding of $(71, 36, 11)$, $(79, 40, 15)$, and $(97, 49, 15)$ quadratic residue codes” , IEEE Transactions on Communications, vol. 51, no. 9, pp. 1463-1473, 2003. 09
- [10] T. K. Truong, Y. Chang, Y. H. Chen, C. D. Lee, “Algebraic decoding of $(103, 52, 19)$ and $(113, 57, 15)$ quadratic residue codes” , IEEE Transactions on Communications, vol. 53, no. 5, pp. 749-754, 2005. 05
- [11] T. K. Truong, P. Y. Shih, W. Su, C. D. Lee, Y. Chang, “Algebraic decoding of $(89, 45, 17)$ quadratic residue code” , IEEE Transactions on Information Theory, vol. 56, no. 11, pp. 5005-5011, 2008. 11
- [12] Y. Chang, C. D. Lee, “Algebraic decoding of a class of binary cyclic codes via Lagrange interpolation formula” , IEEE Transactions on Information Theory, vol. 56, no. 1, pp. 130-139, 2010. 01



義守大學、義大醫院近期活動

- 從JCI看醫學模擬教育與應用

主講人：林哲瑋主任 (萬芳醫院臨床技能中心)

日期：2013年04月06日(六)

地點：義大醫院六樓會議廳

- 電機資訊學院專題成果展

日期：2013年04月06日(六)~04月07日(日)

地點：義守大學科技大樓1樓

- 奈米磊晶薄膜成長之同步輻射X光散射研究

主講人：李信義研究員(國家同步輻射研究中心)

日期：2013年04月10日(三)

地點：義守大學綜合教學大樓50201室

- 如何開立死亡證明

主講人：羅秀雄先生(前屏東醫師公會理事長)

日期：2013年04月11日(四)

地點：義大醫院六樓會議廳

- **人文與管理講座**

主講人：林天從副社長 (台灣時報)

日期：2013年04月15日(一) 15:30~17:30

地點：義守大學綜合教學大樓51301室

- **金屬氧化物奈米材料在氣體感測與光觸媒之應用**

主講人：張棋榕教授 (逢甲大學化學工程系)

日期：2013年04月17日(三)

地點：義守大學綜合教學大樓50201室

- **組合式醫療照護(Bundle care)減少醫療照護相關感染**

主講人：鍾幸君主任 (義大醫院感染科)

日期：2013年04月20日(六)

地點：義大醫院六樓會議廳

- **功能性氧化物材料備制與特性**

主講人：梁元彰教授 (臺灣海洋大學材料所)

日期：2013年05月01日(三)

地點：義守大學綜合教學大樓50201室

- **手部衛生推廣**

主講人：鍾幸君主任 (義大醫院感染科)

日期：2013年05月09日(四)

地點：義大醫院六樓會議廳

- **醫療職場中的性別平等**

主講人：李素慧醫師 (台大醫院內科部)

日期：2013年05月18日(六)

地點：義大醫院六樓會議廳

- **2013電子工程技術研討會**

日期：2013年05月24日(五)

地點：義守大學行政大樓10樓國際會議廳

網址：http://www.ene.isu.edu.tw/interface/overview.php?dept_mno=300

- **多重抗藥性菌株之預防及管制**

主講人：黃俊凱醫師 (義大醫院感染科)

日期：2013年06月08日(六)

地點：義大醫院六樓會議廳



國科會消息

• 工程處2013年兩岸合作研究「光電生醫感測與光電醫療器材」計畫

1. 爲了提升海峽兩岸在光電生醫研究的學術能量及品質，強調彼此的互補，透過合作共同發展，藉以促進兩岸科研技術交流與提升我國光電生醫感測技術、光電生醫影像與光電生醫診斷與治療的技術能力。希望藉由光電聲磁或與其他相關技術之結合，在與人體的組織或器官作用後，經由吸收、散射、極化（旋光性）等特徵判定生理狀態或組成，於適當的波長與功率下，發展進行侵入式與非侵入式的醫療檢測行爲，因而建立創新之基礎研究，開發光電生醫之前瞻性應用與研究
2. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/wlp.aspx?CtUnit=31&mp=1&CtNode=42>
3. 計畫截止日：2013年4月1日(一)下午6時前

• 2013 年「台加(NSC-NSERC)合作研究計畫」

1. 爲提昇我國與加國間之國際合作研究水準，2010 年2月雙方共同公告「台加(NSC-NSERC)合作研究計畫」 Concurrent Call for Proposals for Joint Research Projects。並鼓勵兩國研究人員及團隊共同提出優質之合作研究計畫案，針對共同之研究主題，由台加（NSC-NSERC）雙方分別補助所需經費。
2. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/wlp.aspx?CtUnit=31&mp=1&CtNode=42>
3. 計畫截止日：2013年4月2日(二)

• 2013年「台灣科普傳播事業發展計畫－媒體製播暨推廣試辦方案」

1. 爲擴大科普知識之傳播，促進國內科普媒體事業發展，以達到大眾科學教育之目的，依國科會補助「台灣科普傳播事業發展計畫－媒體製播暨推廣試辦方案」，補助製作科學教育影片、極短片(含極短動畫)、科普新聞短訊(分電視、報紙、電子報、廣播)、電視科學節目，及電視科學節目/影片推廣。
2. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/wlp.aspx?CtUnit=31&mp=1&CtNode=42>
3. 計畫截止日：2013年4月10日(三)下午5時前

• 2013年「任務導向型團隊赴國外研習計畫」

1. 為補助國內優秀人才赴國科會指定之國外世界級公私立研究機構，研習關鍵性科技與人文社會研究項目，以培育我國未來發展所需之研發人才，並掌握自主研發能力，進而促成我國科研創新水準之躍升。
2. 訊息相關網址：<http://www.nsc.gov.tw/int/ct.asp?xItem=21931&ctNode=1212>
3. 計畫截止日：2013年4月26日(五)

• 2013年台灣-蒙古(NSC-MECS)雙邊共同研究計畫及雙邊研討會

1. 國科會與蒙古教育文化科學部簽署科學合作協定，雙方同意共同促進台蒙科技交流；為落實前述協定，推動國內學術發展暨促進與蒙古學術合作，雙方將以共同補助雙邊合作研究計畫為主要補助活動；每年並將擇定特定領域徵求在台灣或蒙古舉辦1場雙邊學術研討會。
2. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/wlp.aspx?CtUnit=31&mp=1&CtNode=42>
3. 計畫截止日：2013年4月30日(二)

產學消息

● 經濟部技術處「鼓勵中小企業開發新技術計畫」(SBIR)

1. SBIR計畫就是「小型企業創新研發計畫 (Small Business Innovation Research)」，它是經濟部為鼓勵國內中小企業加強創新技術或產品的研發，依據「經濟部促進企業開發產業技術辦法」所訂定的計畫，期望能以此協助國內中小企業創新研發，加速提升中小企業之產業競爭力，以迎接面臨之挑戰。
2. 申請資格：依公司法設立之中小企業。
3. 受理期間：計畫為政府持續推動與支持之計畫，廠商可隨時提出申請，並無特定的申請截止日期。
4. 訊息相關網址：<http://www.sbir.org.tw/SBIR/Web/Default.aspx>

● 經濟部工業局「主導性新產品開發輔導計畫」

1. 政府為鼓勵民營事業研究開發主導性新產品，發展高科技之新興產業，提升技術層次，調整工業結構，提高國際競爭力，促進經濟成長，依據行政院「加速製造業升級及投資方案」第三項措施「加速資本及技術密集工業之發展」，訂定「主導性新產品開發輔導辦法」，以提供研究開發補助經費方式，鼓勵國內新興高科技工業具有研究發展潛力之廠商，參與本項輔導計畫。
2. 申請資格：依公司法設立之公司(詳細資格條件請參閱網站)。
3. 受理期間：計畫為政府持續推動與支持之計畫，廠商可隨時提出申請，並無特定的申請截止日期。
4. 訊息相關網址：<http://proj2.moeaidb.gov.tw/leading/index.php>

● 經濟部技術處「業界科專計畫」(ITDP)

1. 為鼓勵企業從事技術創新及應用研究，建立研發能量與制度，經濟部開放企業界申請「業界科專」計畫，藉以政府的部分經費補助，降低企業研發創新之風險與成本，且研發成果歸廠商所有，以積極鼓勵業者投入產業技術研發工作，在業界提出申請及執行計畫過程中，輔導業界建立研發管理制度、強化研發組織、培育及運用科技人才、誘發廠商自主研發投入與後續投資，並促進產、學、研之間的交流與合作，健全業界整體發展能力，達到政府「藏技於民」的美意。
2. 申請資格：依公司法設立之本公司或從事與創新服務研究發展活動相關具稅籍登記之事

務所及醫療法人、財務健全、其專業團隊具從事提供 知識之創造、流通或加值之工作經驗且有實績者，均可提出計畫申請。

3. 受理期間：計畫為政府持續推動與支持之計畫，廠商可隨時提出申請，並無特定的申請截止日期。
4. 相關連結：<http://innovation1.tdp.org.tw/index.php>

● 經濟部工業局「協助傳統產業技術開發計畫」（CITD）

1. 為落實照顧傳統產業政策，經濟部工業局積極透過「協助傳統產業技術開發計畫」，將近投入新台幣4億元，協助並鼓勵傳統產業進行新產品開發、產品設計及聯合開發，預計將嘉惠290家以上傳統產業業者，提升其競爭力。
2. 申請資格：須為民間傳統產業業者(詳細資格條件請參閱網站)。
3. 受理期間：每年兩次，約為12月～隔年1月、4月～5月。
4. 相關連結：<http://www.citd.moeaidb.gov.tw/CITDweb/Web/Default.aspx>

● 高雄市政府「地方產業創新研發推動計畫」（高雄市政府地方型SBIR）

1. 為協助各直轄市、縣(市)政府，經濟部特配合匡列相對經費，俾利各直轄市、縣(市)政府擁有加倍之經費得以辦理地方特色產業創新研發計畫之推動，帶動中小企業積極投入地方特色產業之研發，而提升具地方特色產業聚落創新研發之能量，以鼓勵中小企業創新研發之政策得以在地方紮根。基此，特規劃由各直轄市、縣(市)政府辦理「地方產業創新研發推動計畫」（地方型SBIR）。
2. 申請資格：依公司法設立之中小企業，且其本公司住所設於高雄市並取得高雄市政府核發之營利事業登記證者；或依法取得高雄市政府核發工廠登記證之工廠(詳細資格條件請參閱網站)。
3. 受理期間：約為每年6-8月（依網站公告為主）。
4. 相關連結：<http://96kuas.kcg.gov.tw/sbir/main.php>

● 行政院國家科學委員會「補助產學合作研究計畫」

1. 整併原有的大產學、小產學及數位產學相關補助要點，並建構產業需求導向之產學合作模式，以整合運用研發資源，發揮大學及研究機構之研發力量，以期能透過產學的團隊合作與相互回饋的機制，提升國內科技研發的競爭力。分為「先導型」、「應用型」及「開發型」計畫。

2. 申請資格：

- 申請機構（以下稱計畫執行機構）：係指公私立大專校院、公立研究機構及經本會認可之財團法人學術研究機構。
- 合作企業：係指依我國相關法律設立之獨資事業、合夥事業及公司，或以營利為目的，依照外國法律組織登記，並經中華民國政府認許，在中華民國境內營業之公司，並以全程參與本會產學合作研究計畫為原則。

3. 受理期間：

- 先導型產學合作計畫，申請日期約為每年2月。
- 應用型產學合作計畫，申請日期約為2月及7月。
- 開發型產學合作計畫，申請日期約為2月、7月及10月。

4. 訊息相關網址：http://www.isu.edu.tw/interface/showdoc.php?dept_id=9&levelid=7335&dept_mno=27

• 行政院國家科學委員會「產學技術聯盟合作計畫（產學小聯盟）」

1. 鑑於過往學術研究成果與業界之間的落差，且國內產業界以中小企業為多，亟需研發能量挹注，本會透過本專案鼓勵學術界研究人員以其過去研發之成果為主軸，提出協助與服務產業界為目標之計畫（可由單一或多位研究人員提出），將其所累積之研發能量，藉由業界的參與共同組成會員形式之產學技術聯盟，有效落實產學之間互動，提昇業界競爭能力。

2. 申請資格：

- 申請機構（以下稱計畫執行機構）：公私立大專院校及公立研究機關(構)。
- 計畫主持人及共同主持人之資格：比照本會補助專題研究計畫作業要點第三點規定。

3. 受理期間：計畫申請人於每年12月中前研提正式計畫申請書(線上申請)。

4. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/newwp.aspx?act=Detail&id=402881d03a98bf5b013ab1b73f901d9&ctunit=31&ctnode=42&mp=1>

• 行政院國家科學委員會「前瞻技術產學合作計畫（產學大聯盟）」

1. 為引導學界研發能量投入產業界，協助產業升級，本會特與經濟部共同推動補助「前瞻技術產學合作計畫」，以鼓勵國內企業籌組聯盟，有效縮小產學落差，促使大專校院及學術研究機構與國內企業共同投入前瞻技術研發，以強化關鍵專利布局、產業標準建立或系統整合，並協助國內企業進行長期關鍵技術研發人才培育。

2. 申請資格：

- 申請機構必須為國內公私立大專院校及公立研究機構，或經本會認可之財團法人學術研究機構及醫療社團法人學術研究機構。
- 申請人須符合「行政院國家科學委員會補助專題研究計畫作業要點」規定之計畫主持人資格。

3. 受理期間：每年12月左右。

4. 訊息相關網址：<http://web1.nsc.gov.tw/newwp.aspx?act=Detail&id=402881d03a98bf5b013ab9b096550163&ctunit=31&ctnode=42&mp=1>

• 行政院勞工委員會職業訓練局「補助大專校院辦理就業學程實施計畫」

1. 由申請補助單位運用既有制度或課程，結合「業界實務課程與講座」、「職場體驗」及「職涯相關教育」等面向，針對特定職能所設計之整合性課程。各項訓練內容學科數由申請補助單位自行規劃，並決定是否計入必修或選修學分。

2. 申請資格：台灣地區依中華民國大學法設立之公私立大學。

3. 受理期間：每年1～3月。

4. 訊息相關網址：http://youngjob.etraining.gov.tw/eTraining_100/Web/Index.aspx

• 教育部「大專畢業生創業服務計畫」

1. 為縮短大專校院學生畢業與就業間連結之平台落差，建立產學合作創業就業機制，結合各部會產業發展之資源，引導大專校院學生就業機會，實施大專畢業生創業服務計畫。

2. 申請資格：

- 設有育成單位之公私立大專校院。
- 創業團隊由各大專校院畢業生至少三人組成，其中應有三分之二以上成員為近三學年度(應屆及前二學年度)畢業生，每人限參與一組團隊，且各團隊之代表人應為近三學年度畢業者。(團隊及團員未曾接受本計畫之補助)。

3. 受理期間：每年5～6月。

4. 訊息相關網址：<http://ustart.moe.edu.tw/picpage.aspx?CDE=CGE20090519101140JR5>

• 經濟部「學界協助中小企業科技關懷計畫」

1. 旨在鼓勵更多中小企業投入產業技術研發，透過「認養計畫」之推動，由國內大專院校之學者專家擔任中小企業的短期顧問，協助廠商標定問題並進行技術諮詢與服務。

2. 申請資格：

-
- 參與專家資格：全國各公立私立大專院校任教之現職專任教師。
 - 參與廠商資格：依法辦理公司登記或商業登記且符合「中小企業認定標準」之公司或企業。
3. 受理期間：本計畫採逐月審查，分個案及專案計畫，額滿為止。受理期間為每年3～6月。
4. 訊息相關網址：<http://sita.stars.org.tw/index.aspx>



Back



義守大學 研究發展處

84001 高雄市大樹區學城路一段1號

電話：07-657-7711

傳真：07-657-7471

Mail : research@isu.edu.tw



義大醫院 醫學研究部

醫學教育部

82445 高雄市燕巢區角宿里義大路1號

電話：07-615-0011

傳真：07-615-5352

Mail : ed103390@edah.org.tw/

ed100075@edah.org.tw

發行人： 蕭介夫 校長

杜元坤 院長

總編輯： 林麗娟 副校長

蔡淳娟 副院長

周兆民 研發長

沈德村 特別助理

編輯部： 林文祥組長、陳冠儒組長
王依雯小姐、王毓雯小姐

方怡月課長、鄭靜茹小姐、
陳麗芬小姐



Back